

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2565)

บทความวิจัย

สนับสนุนโดย



คณะสถิติประยุกต์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์



เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
Operations Research Network of Thailand

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research)

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2565)

เจ้าของ	คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
ผู้รับผิดชอบดำเนินการ	เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
ที่ปรึกษา	1. ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.นราศรี ไวนิชกุล 2. คณบดีคณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
บรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจน์ภา อมรัชกุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์)
กองบรรณาธิการ	1. ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ประชุม สุวดี (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์) 2. ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 3. ศาสตราจารย์ ดร.วรพัทธ์ ขจิตวิยานุกุล (มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์) 4. รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิต หล่อจิระขุนท์กุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์) 5. รองศาสตราจารย์ ดร.พิรุทธิ์ ชาญเศรษฐิกุล (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) 6. รองศาสตราจารย์ ดร.วลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) 7. ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 8. ศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ผู้ประสานงาน	นายบุญชนะ เมฆโต
สำนักงาน	คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ เลขที่ 148 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม. 10240 โทร.02-7273038 Fax. 02-7274061 e-mail : orjournal.th@gmail.com website : http://www.orjournal.org
กำหนดออก	ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม - ธันวาคม)
การเผยแพร่	เป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ เผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย
การอุดหนุน	ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายจ่ายเงินทุนคณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

บรรณาธิการแถลง

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research, TJOR) เกิดขึ้นจากความร่วมมือของคณาจารย์ และนักวิจัยในเครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research Network of Thailand, OR-NET) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีคุณภาพในระดับชาติ วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานเป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ซึ่งมีกรอบเวลาในการออกเล่มปีละ 2 ฉบับ ฉบับแรกระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายนของปี และฉบับที่ 2 ระหว่าง เดือนกรกฎาคม-เดือนธันวาคมของปี ซึ่งวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 10 ฉบับที่ 1 (เล่มที่ 19) ของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดบทความและวารสารฉบับเต็มได้ที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> คณะผู้จัดทำและกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้วิจัย ผู้สนใจ และผู้เกี่ยวข้องในแวดวงวิชาการต่อไป

หากคุณค่าทางความรู้ที่ผู้อ่านได้รับจากการรวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านการวิจัยดำเนินงานในวารสารเล่มนี้ บรรณาธิการขอขอบคุณที่ดั่งกล่าวแต่บรรณาธิการคนแรก คือ รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ เนียมมณี ผู้ร่วมก่อตั้งเครือข่ายการวิจัยดำเนินงานและวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน นอกจากนี้ทางเครือข่ายการวิจัยดำเนินงานขอร่วมไว้อาลัยกับการจากไปของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริง ปรีชานนท์ ซึ่งเป็นหนึ่งในสมาชิกเริ่มต้นและกำลังสำคัญของเครือข่ายตลอดมา

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานได้รับการจัดกลุ่มวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ดัชนีอ้างอิงวารสารไทย(Thai-Journal Citation Index Centre) อยู่ในวารสารกลุ่มที่ 1 ซึ่งจะมีผลจนถึงปี 2567

กาญจน์ภา อมรัชกุล

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

บรรณาธิการแถลง

บทความวิจัย

The Development of the Sentiment and Visual Characterization Analyzer for the Social Media Images 1

Prasit Chulanutrakul and Worapol Pongpech

A Two-Phase Heuristic for Solving Vehicle Routing Problem: A Case Study of Snack Wholesale in Kalasin Province 16

Anucha Sriburum, Thaithat Sudsuansee, Waraporn Waworot and Amin Lawong

Two-echelon Inventory Model with Uncertainty Demand 29

Siraprapa Manomat

Application of Analytical Hierarchy Process to New Office Location Selection: A Case Study of Maintenance Service Company for Petrochemical Industry 42

Chatchai Jaitiya and Saowanit Lekkhavat

Inventory Models from Medicine Demand Forecasting with Dummy Variables and Interaction Terms of Multiple Regression 52

Tapmanee Tapabut

Street Fashion Company's Optimal Order Quantity Using Newsvendor Model and Simulation Model 64

Siriphan Kajeeratwatthana

Comparison Simultaneous Row-and-Column Generation Approach for Large-Scale Linear Programming Problem and secondary memory utilization	82
<i>Pawit Kraisornnukhor, Peerayuth Charnsethikul, Thanapan Kongtong and Papis Wongchaisuwat</i>	
Evaluating the effects of different factors on the order picking efficiency in the single-block warehouse	94
<i>Makusee Masae, Wasin Padungwech and Panupong Vichitkunakorn</i>	
Pharmacist scheduling models to reduce workload inequality	103
<i>Pariwat Arrichat¹, Sarawut Jansuwan, Siwiga Dusadenoad and Akkaranan Pongsathornwiwat</i>	
Heuristic to Minimize the Number of Tardy Jobs for 2-Stages Assembly Scheduling Problem	113
<i>Nattakorn Puttasorn, Tanawat Varoonchotikul, Witid Junin and Anot Chaimanee</i>	
Efficiency Analysis of Hydroelectric Power Plant Establishment for Medium Reservoirs: A Case Study of Lampang Province	128
<i>Pandhita Norasretpanya, Kasita jittasamroeng and Wutiphol Sintunavarat</i>	
An Allocation of Insurance Surveyors Based on a Covering of the Number of Accidents: A Case Study of an Insurance Company in Nakhon Ratchasima	140
<i>Supphaluk Chookaew, Manatsawee Pongariyasap and Aua-aree Boonperm</i>	
An Integer Goal Programming Model for a Touring Route Planning under the Factors by Tourists	153
<i>Thanyarat Booncherd, Nayada Karnthang, Chomphunut Buarod and Aua-aree Boonperm</i>	

An improvement of Chemotherapy Infusion center via simulation:

A case study of university hospital in the deep south of Thailand

166

Nitipat Laomongkholsaisri, Palida Suttishe, Jirawan Jansuwan, Sumalee Wungthanakorn

Cholticha Thongprom, Irin Adjanaromwat and Pasuree Sangsupawanich

A Hybrid Differential Evolution for the Blood Routing Problems:

A Case Study of Hospital Cluster in Songkhla Province

179

Kunanon Intapan, Wanatchapong Kongkaew, Sakesun Suthummanon,

Supattra Mitundee and Siriphat Saranobphakhun

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

การพัฒนาการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางความรู้สึกและลักษณะทางการภาพของรูปภาพ ในสื่อเครือข่ายสังคม

ประสิทธิ์ จุฬานุกรกุล¹ และ วรพล พงษ์เพชร²

สาขาวิชาการวิเคราะห์ธุรกิจและวิทยาการข้อมูล คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (NIDA)

148 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

Received: 18 June 2021; Revised: 21 December 2021; Accepted: 3 May 2022

บทคัดย่อ

การพิจารณาเลือกดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) หรือการเลือกรูปภาพบนสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ตให้เหมาะสมเป็นส่วนหนึ่งของการทำการตลาดออนไลน์ที่ดี แต่การพิจารณาว่าดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ใดมีความเหมาะสมนั้น มีความยุ่งยากอยู่พอสมควร เนื่องจากการเลือกดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) มักใช้ประสบการณ์ของผู้ทำการตลาดออนไลน์เพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้คำนึงถึงรูปภาพที่อยู่ภายใต้ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการสร้างเครื่องมือในการวิเคราะห์รูปภาพที่อยู่ภายใต้ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) หรือรูปภาพบนสื่อเครือข่ายสังคมของผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) หรือสามารถประยุกต์ใช้เพื่อการหาผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ตให้เหมาะสม และมีการนำระบบที่พัฒนาได้มาลองใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกหาผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ต

คำสำคัญ: การเรียนรู้เชิงลึก, การวิเคราะห์ภาพ, เครือข่ายสังคมออนไลน์, แฮชแท็ก

* Corresponding author. E-mail: prasit.chul@stu.nida.ac.th

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาการวิเคราะห์ธุรกิจและวิทยาการข้อมูล คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

² อาจารย์ สาขาวิชาการวิเคราะห์ธุรกิจและวิทยาการข้อมูล คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

The Development of the Sentiment and Visual Characterization Analyzer for the Social Media Images

Prasit Chulanutrakul¹ and Worapol Pongpech²

Business Analytics and Data Science, BADS Graduate School of Applied Statistics

National Institute of Development Administration (NIDA)

148 Serithai Road, Klong-Chan, Bangkok, Thailand, 10240

Received: 18 June 2021; Revised: 21 December 2021; Accepted: 3 May 2022

Abstract

The consideration of Hashtag or choosing it appropriately to pictures on social media is one of a good strategy for online marketing. However, it is quite complicated to consider for a proper hashtag because it only requires the experience of online marketers regardless of the pictures under the hashtag. This research is made to generate a tool for analysis of pictures under a searched hashtag or pictures of influencers on social media. Moreover, it is used for making decision on the hashtag and be able to integrate in searching for the suitable influencers on social media. Moreover, the developed system is demonstrated as a case study for decision making in selecting influencers in social media networks on the Internet.

Keywords: deep learning, image analytics, social network, hashtag

* Corresponding author. E-mail: prasit.chul@stu.nida.ac.th

¹ Master's degree in Graduate School of Applied Statistics (GSAS), National Institute of Development Administration (NIDA)

² Lecturer in Graduate School of Applied Statistics (GSAS), National Institute of Development Administration (NIDA)

1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการตลาดออนไลน์เข้ามามีบทบาทในการทำรายได้ของบริษัทต่างๆ ทั้งส่วนที่เป็นการโฆษณาสินค้าของบริษัทและส่วนของการสร้างการรับรู้ของยี่ห้อสินค้า และการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับสินค้า การโฆษณาในสื่อสังคมออนไลน์มีหลายปัจจัยที่เป็นปัจจัยส่งเสริมการขายสินค้า การเลือกดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) เป็นหนึ่งในปัญหาหลักของงานวิจัยนี้ การพิจารณาเลือกดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ให้มีความเหมาะสมกับรูปภาพโฆษณาบนสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ต เป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างหนึ่ง โดยปกติการพิจารณาเลือกนั้นมักมาจากประสบการณ์ของผู้ทำการตลาดออนไลน์เพียงอย่างเดียวไม่ได้มาจากการตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูล เนื่องจากการที่จะให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจนั้นทำได้ยากและอาจจะต้องใช้มนุษย์เพื่อทำการวิเคราะห์รูปภาพทีละรูป ทำให้ใช้ทั้งกำลังคนจำนวนมากและใช้เวลานาน ด้วยเหตุนี้จึงอาจทำให้เกิดการตัดสินใจผิดพลาดได้ งานวิจัยนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับการเลือกหาผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ตเพื่อเป็นผู้ส่งเสริมการขายสินค้าได้อีกด้วยจาก ระบบที่สร้างขึ้น ดังนั้นจึงนำเสนอทั้ง การพิจารณาเลือกดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) และ การเลือกหาผู้มีอิทธิพล (Influencer)

การวิเคราะห์รูปภาพที่อยู่ภายใต้ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในแง่มุมต่างๆ ได้อีกมาก เช่นในบางหมวดหมู่ของดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ที่เป็นยี่ห้อของสินค้า รูปภาพภายใต้ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) เหล่านั้นจะเป็นการกล่าวถึงสินค้าของยี่ห้อเหล่านั้น การวิเคราะห์ในรายละเอียดจะเปิดเผยให้เห็นถึงเสียงของลูกค้า (Voice of Customers) ที่แท้จริง ผ่านลูกค้าที่ซื้อสินค้าหรือบริการ และนำมาลงในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถนำมาใช้กับการวิเคราะห์ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเพื่อวิเคราะห์ถึงกระแสที่เกิดขึ้นในช่วงนั้นได้อีกด้วย โดยปกติแล้วกระแสของสังคมเป็นสิ่งที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ทำให้ต้องทำการวิเคราะห์อย่างสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามเครื่องมือที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะสามารถนำเข้ามาช่วยเพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างอัตโนมัติ

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการสร้างเครื่องมือวิเคราะห์เพื่อวิเคราะห์รูปภาพจำนวนมากเพื่อหาลักษณะทางกายภาพของภาพเบื้องต้น คือ ขนาด, การวางแนวภาพ และอัตราส่วนภาพ กับการวิเคราะห์องค์ประกอบของรูปภาพเชิงลึก เช่นลักษณะของรูปภาพ (Image Style) , ความรู้สึกในรูปภาพ (Image Sentiment), ฉากหลังของรูปภาพ (Scene) และ วัตถุที่อยู่ในรูปภาพ (Object) พร้อมทั้งสรุปผลเป็นคะแนนให้พร้อมสำหรับการตัดสินใจ

เนื่องด้วยการวิเคราะห์ลักษณะของรูปภาพ (Image Style) ความรู้สึกในรูปภาพ (Image Sentiment), ฉากหลังของรูปภาพ (Scene) และ วัตถุที่อยู่ในรูปภาพ (Object) ใช้เทคนิคการวิเคราะห์เพื่อการจำแนกประเภทรูปภาพ (Image Classification) เป็นพื้นฐาน ซึ่งการวิเคราะห์เพื่อการจำแนกประเภทรูปภาพ (Image Classification) นั้นเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง (unstructured data) การวิเคราะห์ในรูปแบบนี้จำเป็นต้องมีสองกระบวนการคือ กระบวนการสกัดตัวแทนที่มีลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) และกระบวนการจำแนกประเภทรูปภาพ (Image Classification) ในแนวทางดั้งเดิมปัญหาหนึ่งในการวิเคราะห์คือกระบวนการสกัดตัวแทนที่มีลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) แต่เดิมการจัดการกับรูปภาพ และการสร้างตัวแทนที่มีลักษณะเฉพาะมักเป็นการสร้างจากเทคนิคทำมือ (Hand-Crafted Feature Extraction) เพื่อเลือกหาวิธีการสกัดลักษณะเฉพาะ เช่น Haar-like feature, Histogram of Oriented Gradients (HOG), bag of visual words (BOVW), Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) และ Speeded Up Robust Feature (SURF) กระบวนการเหล่านี้ใช้เวลาอย่างมาก และต้องพึ่งพาผู้เชี่ยวชาญเชิงลึกในศาสตร์สาขาใดสาขาหนึ่ง (Domain Expert) ในประเภทของภาพที่ทำการแยก และความสามารถในการสกัดนำเอาตัวแทนที่มีลักษณะเฉพาะออกมาได้ดีหรือไม่นั้นจะขึ้นกับความรู้เชิงลึก (Domain Knowledge) ของผู้เชี่ยวชาญในศาสตร์สาขาใดสาขาหนึ่ง (Domain Expert) ของชนิดรูปภาพนั้นๆ ซึ่งผลของการทำนายด้วยตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องแบบดั้งเดิม (Traditional machine learning) เช่น SVM จะขึ้นกับขั้นตอนการสกัดตัวแทนที่มีลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) เป็นหลักด้วย

ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคที่ใช้กระบวนการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เข้ามาเพื่อสกัดตัวแทนที่มีลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) ได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญเชิงลึก (Domain Expert) มาสกัดตัวแทนที่มีลักษณะเฉพาะ (feature) โดยเทคนิคที่นิยมใช้คือ Convolutional Neural Networks (CNN) ที่สามารถสกัดเอาตัวแทนที่ยังคงรักษาเอกลักษณ์เฉพาะของรูปได้เป็นอย่างดีหรือสามารถรักษาความเหมือนกัน (Preserve Similarity) ของรูปแม้จะถูกแปลง (Map) จากปริภูมิรูปที่ป้อนเข้า (Input Space) ไปอยู่บนโดเมนของปริภูมิมิติสูง (High Dimensional Space) ของปริภูมิตัวแทนที่มีลักษณะเฉพาะ (Feature Space) แล้วก็ตาม ทำให้ในงานวิจัยนี้จึงจะนำเอาตัวแบบประเภท Convolutional Neural Networks (CNN) มาใช้งานเพื่อให้ตอบโจทย์ของการวิเคราะห์ดังกล่าว

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

โดยปกติงานวิจัยที่ทำการวิเคราะห์ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ส่วนมากจะเป็นงานวิจัยที่ทำกับเครือข่ายสังคมประเภทที่เป็นข้อความ เช่น Twitter เป็นหลัก ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เนื้อหาของดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ของรูปภาพ หรือรูปภาพที่ผู้มีอิทธิพล (Influencer) นำมาลงเครือข่ายสังคม (Social Network) มีจำนวนไม่มาก หนึ่งในนั้นคืองานวิจัยของ Hu และ คณะ (2014) [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหาประเภทของรูปภาพที่ผู้ใช้นิยมนำไปยัง Instagram และจัดกลุ่มของผู้ใช้บริการ Instagram จากรูปที่นำไปยัง Instagram ซึ่งการทำความเข้าใจกลไกของของเครือข่ายสังคม (Social Network) เหล่านี้หมายถึงการทำงานกับพลวัตของมนุษย์ วัฒนธรรมสังคม และสิ่งแวดล้อมซึ่งจะทำให้เห็นถึงสถานการณ์ต่างๆ จากมุมมองทางธุรกิจ การสื่อสาร และการตลาด [2]

ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของสื่อสังคมออนไลน์ที่เน้นการให้ผู้ใช้งานลงรูปภาพคือ ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ที่ประกอบไปด้วย “#” และข้อความ เช่น “#อร่อย” เพื่อจัดหมวดหมู่รูปภาพในแอปพลิเคชันสื่อสังคมออนไลน์ เช่น Instagram [3] ซึ่งดัชนีถ้อยคำนี้มีหน้าที่เป็นตัวบอกลักษณะ

ของรูปภาพ หรือมีความเกี่ยวข้องกับคำอธิบายรูปภาพ (Caption) เพื่ออธิบายเนื้อหาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนั้นดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) จึงเป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้เพื่อจัดการข้อมูลสารสนเทศ [4] ในทางเดียวกัน Ibba และ คณะ (2015) [2] ได้กล่าวว่า ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) คือ ระบบที่คั่นหนังสือทางสังคม (Social Bookmarking System) ซึ่งเป็นระบบที่ผู้ใช้สร้างขึ้นเองในการจำแนกและจัดระเบียบเนื้อหาออนไลน์เป็นหมวดหมู่ต่างๆ โดยใช้ข้อมูลอภิพันธุ์ (Metadata) เช่นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Tag) การใช้ดัชนีถ้อยคำ บางประเภทยังสามารถทำให้ชุมชนบางประเภทก่อตัวขึ้น เช่นกลุ่มสาธารณะเฉพาะกิจที่สร้างขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อตอบสนองกับเหตุการณ์เฉพาะหรือปัญหาเฉพาะหน้าได้ [5] ทำให้สามารถใช้ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) เพื่อติดตามกระแสสังคมได้ ดังนั้นการหา ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ที่เหมาะสมจะทำให้ผู้ที่เข้ามาใช้งานสามารถเข้าถึง สินค้าและบริการ ได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากถูกจัดหมวดหมู่อย่างเหมาะสมแล้ว

การใช้ผู้มีอิทธิพล (Influencer) อย่างมีประสิทธิภาพต้องทำความเข้าใจผู้ชม และการเข้าใจอินฟลูเอนเซอร์ด้วยจำนวนผู้ติดตามที่แท้จริงของผู้มีอิทธิพลไม่จำเป็นต้องแปลว่าบุคคลนั้นเหมาะสมสำหรับแบรนด์ใดแบรนด์หนึ่งเนื่องจากผู้มีอิทธิพล (Influencer) บน Social Media ต่างจากโฆษณาแบบดั้งเดิม หรือการใช้คนดังมาพูดแทนแบรนด์คือ Influencer จะโต้ตอบและพูดคุยกับผู้ติดตามอยู่เป็นประจำ ดังนั้นจะเป็นการเชื่อมโยงกับกลุ่มเป้าหมาย (Relatability) และความเป็นเอกลักษณ์ (Authenticity) การเลือกหา ผู้มีอิทธิพล (Influencer) บน Social Media จึงจำเป็นต้องหาผู้ที่มีความเหมาะสมครบถ้วน

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางความรู้สึกและลักษณะทางกายภาพของดัชนีถ้อยคำของรูปภาพในสื่อเครือข่ายสังคมมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้เทคนิคต่างๆ มาประกอบกัน การจำแนกความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Classification) และการจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพ (Image Style Classification) จึงเป็นส่วนหนึ่งเพื่อการวิเคราะห์นี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา Satoh (2016) [6] ได้สร้างตัวแบบสำหรับจำแนกความรู้สึก

(Sentiment Analysis) โดยใช้รูปภาพในโซเชียลมีเดียจากเว็บไซต์ Flickr และ Instagram ด้วยเทคนิค “ถุงของภาพคำศัพท์ (Bag of visual words)” นอกจากนี้ ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ประเภท Convolutional Neural Network (CNN) เพื่อการจำแนกประเภทรูปภาพ (Image Classification) ที่สามารถนำมาวิเคราะห์รูปภาพบนสื่อเครือข่ายสังคมได้

Gajarla และ Gupta (2011) [7] ได้ทำการใช้ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks, CNN) เพื่อการจำแนกประเภท (Classification) สองตัวแบบเพื่อการตรวจจับรูปภาพตามอารมณ์ (Emotional Detection) และ การวิเคราะห์ความรู้สึกในรูปภาพ (Sentiment Analysis) โดยเก็บรวบรวมรูปภาพในโซเชียลมีเดียจากเว็บไซต์ Flickr นอกจากนี้ Karayev และ คณะ (2014) [8] ได้ใช้รูปภาพจาก Flickr และ Wikipaintings เพื่อสร้างตัวแบบประเภท Convolutional Neural Network (CNN) เพื่อจำแนกตามตามสไตล์ของรูปภาพ (Recognizing Image Style) จากนั้น Zhou และ คณะ (2017) [9] ได้นำเสนอการจำแนกพื้นหลังรูปภาพ (Image Scene Classification) ที่สามารถนำมาใช้กับการวิเคราะห์พื้นหลังของภาพ

การจำแนกรูปภาพด้วยตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Networks, CNN) นั้น มีผู้พัฒนาออกมาหลายตัว แต่ EfficientNet ที่ถูกพัฒนาโดย Tan และ Le (2020) [10] เป็นตัวแบบ state-of-the-art ที่ให้ความแม่นยำถึง 84.3% สูงเป็นอันดับหนึ่งบนชุดข้อมูล ImageNet ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 8.4 เท่า และเร็วกว่า 6.1 เท่า เมื่อเทียบกับตัวแบบคอนโวลูชันที่ดีที่สุด จึงเป็นตัวแบบที่เหมาะสมต่อการนำมาผ่านเทคนิค กระบวนการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) เพื่อการจำแนกรูปภาพได้เป็นอย่างดี ซึ่งกระบวนการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) คือ เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) โดยตัวแบบได้รับการฝึกอบรมและพัฒนาสำหรับงานหนึ่งงานแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในงานที่เกี่ยวข้องได้ [11]

การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) เป็นอีกส่วนสำคัญที่สามารถนำมาใช้กับการตรวจจับวัตถุที่ต้องการรวมถึงหาจำนวนวัตถุที่เกิดขึ้นในภาพ ซึ่งมีผู้พัฒนาออกมาหลายตัว แต่ Redmon และ คณะ (2016) [12] ได้นำเสนอตัวแบบ YOLO ที่สามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างรวดเร็วและใช้ทรัพยากรการประมวลผลที่น้อย โดย YOLO ถูกสอนบนชุดข้อมูล COCO [13] เทคนิคที่กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ให้รวมกันเพื่อวิเคราะห์ ลักษณะเฉพาะของดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ได้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะทางความรู้สึกและลักษณะทางกายภาพในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็นสองส่วนใหญ่ คือ ส่วนแรก ลักษณะทางกายภาพของภาพเบื้องต้น ได้แก่ ขนาด การวางแนวภาพ และ อัตราส่วนภาพที่จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าสถิติเชิงพรรณนาเพื่อการอธิบายลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของรูปภาพ

ส่วนที่สอง การวิเคราะห์องค์ประกอบของรูปภาพเชิงลึก เช่น ลักษณะของรูปภาพ (Image Style) ความรู้สึกในรูปภาพ (Image Sentiment) ฉากหลังของรูปภาพ (Scene) และ วัตถุที่อยู่ในรูปภาพ (Object) ซึ่งการวิเคราะห์องค์ประกอบของรูปภาพเชิงลึกจะใช้เทคนิคการประยุกต์ตัวแบบสองรูปแบบคือ “ตัวแบบสำเร็จรูป” ซึ่งหมายถึง ตัวแบบที่ผ่านการสอนแล้ว (Pre-trained model) ที่ไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงตัวแบบใดๆ เนื่องจากมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ “ตัวแบบใหม่” ที่เกิดจากการนำเอาตัวแบบที่ผ่านการสอนแล้ว (Pretrained-Model) มาผ่านกระบวนการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) ให้ได้ตัวแบบที่มีความสามารถเฉพาะ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่เฉพาะเจาะจงยิ่งขึ้น แล้วนำผลลัพธ์ของแต่ละตัวแบบมาคิดเป็นค่าสถิติเชิงพรรณนา และคะแนนความเหมาะสมของดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ที่จะนำมาใช้ หรือ ผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้สำหรับการตัดสินใจ

ทุกเทคนิคทางการประมวลผลภาพและปัญหาดังที่กล่าวมาจำถูกนำมาประยุกต์ใช้โดยการนำมาสร้างเป็นระบบ

ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) หรือ การเลือกหาผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสม

ตัวแบบสำเร็จรูป

“ตัวแบบสำเร็จรูป” ที่นำมาใช้งาน มีสองตัวแบบคือ ตัวแบบจำแนกประเภทฉากหลัง (Scene Classification Model) และ ตัวแบบการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 รายละเอียดตัวแบบสำเร็จรูป

ตารางที่ 1 รายละเอียดตัวแบบสำเร็จรูป

ชื่อ	ประเภท	ชนิด	ข้อมูลที่ใช้สอน	จุดประสงค์ตัวแบบ
ตัวแบบจำแนกประเภทฉากหลัง	จำแนกประเภท	VGG16	Place365	จำแนกประเภทฉากหลังรูป
ตัวแบบตรวจจับวัตถุ	ตรวจจับวัตถุ	YOLO V4	COCO	ตรวจจับวัตถุทั่วไป

ตัวแบบจำแนกประเภทฉากหลัง (Scene Classification Model) เป็นตัวแบบที่มีความสามารถในการทำนายฉากหลังของภาพได้ 365 ชนิด โดยสามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับชนิดพื้นหลังได้ที่เว็บไซต์ <http://places2.csail.mit.edu/explore.html> ตัวแบบนี้ยังสามารถทำนายออกมาเป็นภาพภายนอก หรือภายในอาคารสถานที่ได้อีกด้วย ตัวแบบนี้จะนำมาใช้วิเคราะห์หาว่าภาพถูกถ่ายขึ้นที่ไหน และอยู่ภายนอก หรือภายในอาคารสถานที่

ตัวแบบตรวจจับวัตถุ (Object Detection) สามารถตรวจจับวัตถุได้ 80 วัตถุซึ่งจะนำมาใช้เพื่อตรวจสอบวัตถุที่สนใจในรูปภาพว่ามีปรากฏอยู่เท่าใดและยังสามารถนำมาหา Rule Set ว่าวัตถุใดเกิดขึ้นพร้อมกับวัตถุใดได้ด้วย

ตัวแบบใหม่

การพัฒนา “ตัวแบบใหม่” ทั้งสองตัวแบบ จะใช้ตัวแบบแกน (Backbone) คือ EfficientNet B0 นำมาผ่านกระบวนการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) เพื่อให้ได้ตัวแบบสำหรับ

1. ตัวแบบจำแนกประเภทความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Classification)

2. ตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพ (Image Style Classification)

3.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการสร้างตัวแบบการจำแนกประเภทความรู้สึกของรูปภาพ (Image Sentiment Classification) และ ตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพ (Image Style Classification) ดังนั้นจึงมีข้อมูลรูปภาพสองส่วนหลักที่ต้องใช้เพื่อการสอนตัวแบบ โดยเป็นข้อมูลสำหรับการสอนตัวแบบมาจากจากเว็บไซต์ ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่อยู่ของรูปภาพ (URL) จากเว็บไซต์ Flickr ที่ถูกติดสลากไว้แล้ว ใช้สำหรับการสอนตัวแบบจำแนกประเภทความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Classification) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ชุดข้อมูลความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Dataset)

ข้อมูลสำหรับการสอนตัวแบบมาจากจากเว็บไซต์ <https://mm.doshisha.ac.jp/senti/CrossSentiment.html>

2) ชุดข้อมูลลักษณะรูปภาพ (Image Style Dataset)

ข้อมูลสำหรับการสอนตัวแบบมาจากจากเว็บไซต์ <http://vislab.berkeleyvision.org/datasets.html>

3.2 การเตรียมข้อมูล

3.2.1 การดึงรูปภาพจากที่อยู่ของรูปภาพ (URL)

ข้อมูลทั้งสองชุดข้อมูลเป็นรายการที่อยู่ของรูปภาพ (URL) ดังนั้นจึงใช้วิธีการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการดึงข้อมูลรูปภาพออกมา ซึ่งที่อยู่ของรูปภาพ (URL) บางส่วนมีความเสียหายไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ โดยชุดข้อมูลความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Dataset) มีจำนวนรูปภาพที่สามารถเข้าถึงได้ รวมรูปภาพทั้งหมด 66,839 รูป ส่วนชุดข้อมูลลักษณะรูปภาพ (Image Style Dataset) มีจำนวนรูปภาพที่สามารถเข้าถึงได้ รวมรูปภาพทั้งหมด 63,989 รูป

3.2.2 การให้ฉลากข้อมูล

1) ชุดข้อมูลความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Dataset)

สำหรับชุดข้อมูลความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Dataset) จะมีการให้ฉลากข้อมูล (Data Labelling) โดยให้ผู้ติดฉลาก (labeller) จำนวน 3 คน โดยแต่ละรูปภาพผู้ติดฉลากแต่ละคนจะระบุความรู้สึกให้รูปภาพนั้นได้เพียงความรู้สึกเดียวซึ่งประกอบด้วย แง่ลบ (Negative), กลาง (Neutral) และ แ่งบวก (Positive) เท่านั้น แต่เพื่อให้การระดับของความรู้สึกมีความละเอียดยิ่งขึ้นในงานวิจัยนี้จะให้วิธีแบ่งความรู้สึกออกเป็น 5 ระดับ คือ แ่งลบอย่างยิ่ง (Highly Negative), แ่งลบ (Negative), กลาง (Neutral), แ่งบวก (Positive) และ แ่งบวกอย่างยิ่ง (Highly Positive) โดยมีเกณฑ์การแปลงคะแนนจากคะแนนที่ผู้ติดฉลากให้ดังนี้

- แ่งลบอย่างยิ่ง (Highly Negative) ก็ต่อเมื่อ ผู้ติดฉลาก (labeller) ทั้ง 3 คนให้รูปเป็น (Negative)
- แ่งลบ (Negative) ก็ต่อเมื่อ ผู้ติดฉลาก (labeller) 2 คนให้รูปเป็น ลบ (Negative) และ 1 คนให้เป็น กลาง (Neutral)
- กลาง (Neutral) ก็ต่อเมื่อ ผู้ติดฉลาก (labeller) ทั้ง 3 คนให้รูปเป็น กลาง (Neutral)
- แ่งบวก (Positive) ก็ต่อเมื่อ ผู้ติดฉลาก (labeller) 2 คนให้รูปเป็น บวก (Positive) และ 1 คนให้เป็น กลาง (Neutral)
- แ่งบวกอย่างยิ่ง (Highly Positive) ก็ต่อเมื่อ ผู้ติดฉลาก (labeller) ทั้ง 3 คนให้รูปเป็น (Positive)

สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2 การแปลงคะแนนความรู้สึก

ตารางที่ 2 การแปลงคะแนนความรู้สึก

	แง่ลบ (Negative)	กลาง (Neutral)	แง่บวก (Positive)
แง่ลบอย่างยิ่ง (Highly Negative)	3	0	0
แง่ลบ (Negative)	2	1	0
กลาง (Neutral)	1	2	0
กลาง (Neutral)	0	3	0
กลาง (Neutral)	0	2	1
แง่บวก (Positive)	0	1	2
แง่บวกอย่างยิ่ง (Highly Positive)	0	0	3

ภายหลังจากการแปลงคะแนน จะมีจำนวนรูปภาพในแต่ละประเภทฉลากดังตารางที่ 3 จำนวนรูปภาพในชุดข้อมูลความรู้สึกรูปภาพแยกตามความรู้สึก

ตารางที่ 3 จำนวนรูปภาพในชุดข้อมูลความรู้สึกรูปภาพแยกตามความรู้สึก

ประเภท	จำนวน (รูป)
Highly Negative	7,122
Negative	7,005
Neutral	9,838
Positive	13,697
Highly Positive	29,177
รวมรูปภาพทั้งหมด	66,839 รูป

2) ชุดข้อมูลลักษณะรูปภาพ (Image Style Dataset)

สำหรับข้อมูลสำหรับสอนตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพ (Image Style Classification) ฉลากข้อมูลที่ให้มามีความสมบูรณ์พร้อมใช้งาน ไม่จำเป็นต้องให้ฉลากข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งมีจำนวนรูปภาพในแต่ละประเภทฉลากดังตารางที่ 4 จำนวนรูปภาพในชุดข้อมูลลักษณะรูปภาพแยกตามลักษณะรูปภาพ

ตารางที่ 4 จำนวนรูปภาพในชุดข้อมูลลักษณะรูปภาพแยกตามลักษณะรูปภาพ

ประเภท	จำนวน (รูป)	ประเภท	จำนวน (รูป)
Bokeh	3,262	Macro	3,322
Bright	3,208	Melancholy	2,753
Depth of Field	3,102	Minimal	3,195
Detailed	2,743	Noir	3,570
Ethereal	3,220	Pastel	2,912
Geometric Composition	3,150	Romantic	2,957
Hazy	3,385	Serene	3,625
HDR	3,283	Sunny	3,210
Horror	3,511	Texture	3,306
Long Exposure	3,097	Vintage	3,178
รวมรูปภาพทั้งหมด	63,989 รูป		

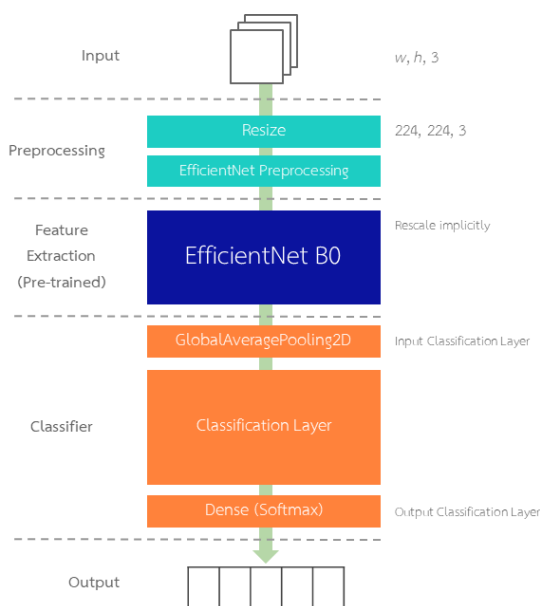
3.3 การสร้างตัวแบบใหม่

ทั้งสองตัวแบบ เกิดจากการนำเอาตัวแบบที่ผ่านการสอนแล้ว (Pretrained-Model) มาผ่านกระบวนการถ่ายทอดการเรียนรู้ (Transfer Learning) โดยใช้ ส่วนการสกัดลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction) เป็นโครงข่าย

ประสาท (Neural Network) ประเภทคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network) ชนิด EfficientNet B0 ที่ผ่านการสอนแล้วบนชุดข้อมูล ImageNet (Pre-trained on ImageNet Dataset) โดยนำชั้นตัวแบบจำแนกประเภท (Classification Layer) ออก แล้วสร้างชั้นตัวแบบจำแนกประเภทใหม่ จากนั้นทำการป้องกันไม่ให้น้ำหนักของชั้นการสกัดลักษณะเฉพาะ (Feature Extraction Layer) เปลี่ยนแปลง แล้วทำการสอนตัวแบบทั้งหมดด้วยชุดข้อมูลสอน

โดยชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นชุดสอน (Train Set) และ ชุดทดสอบ (Test Set) ในอัตราส่วน 80:20 เหมือนกัน ทั้งตัวแบบการจำแนกประเภทความรู้สึกของรูปภาพ (Image Sentiment Classification) และ ตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพ (Image Style Classification)

รูปที่ 1 แสดงถึงโครงสร้างโดยคร่าว ของตัวแบบใหม่ โดยตัวแบบใหม่จะนำเรารูปภาพป้อนเข้า (Input) ผ่าน กระบวนการประมวลผล (Preprocessing) เพื่อปรับรูปภาพ ให้มีความเหมาะสมกับตัวแบบ โดยขั้นตอนนี้จะมีสองส่วน คือการปรับขนาดรูปภาพ (Resize) และ การประมวลผลที่จำเพาะเฉพาะของตัวแบบ EfficientNet (EfficientNet Preprocessing) หลังจากนั้นภาพที่ผ่านกระบวนการประมวลผลแล้วจะถูกผ่านชั้นการสกัดลักษณะเฉพาะ และ ผ่านชั้นตัวแบบจำแนกประเภทแล้ว จะได้ออกมาเป็นผลลัพธ์ การทำนายของตัวแบบใหม่



รูปที่ 1 โครงสร้างโดยคร่าวของตัวแบบใหม่

รายละเอียดของประเภท ขนาดตัวแบบจำแนกประเภทของแต่ละตัวแบบแสดงดังรายละเอียดใน ตารางที่ 5 รายละเอียดของตัวแบบใหม่ที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 5 รายละเอียดของตัวแบบใหม่ที่สร้างขึ้น

รายการ	ตัวแบบการจำแนกประเภท	
	ความรู้สึกของรูปภาพ	ลักษณะรูปภาพ
ประเภท	Multiclass Classification	Multiclass Classification
ขนาดรูปภาพป้อนเข้า	224 x 224 (3 Channels)	224 x 224 (3 Channels)
Mini Batch Size	32	32
Optimizer	Adam	Adam
Loss Function	Categorical Cross Entropy	Categorical Cross Entropy

สำหรับรายละเอียดของชั้นตัวแบบจำแนกประเภท (Classification Layer) ของตัวแบบ ตัวแบบการจำแนกประเภทความรู้สึกของรูปภาพ (Image Sentiment Classification) และ ตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพ (Image Style Classification) แสดงในตารางที่ 6 รายละเอียดชั้นการจำแนกประเภทของตัวแบบการจำแนกประเภทความรู้สึกของรูปภาพและ ตารางที่ 7 รายละเอียดชั้นการจำแนกประเภทของตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพการคำนวณคะแนน ตามลำดับ

ตารางที่ 6 รายละเอียดชั้นการจำแนกประเภทของตัวแบบการจำแนกประเภทความรู้สึกของรูปภาพ

Layer Type	Dimension	Activation Function	Drop out	Batch Normalization
Global Average Pooling 2D	-	-	-	-
Fully Connected	1024	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	1024	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	1024	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	512	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	256	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	128	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	64	ReLU	30%	Yes
Fully Connected (Output)	5	SoftMax	-	-

ตารางที่ 7 รายละเอียดขั้นตอนการจำแนกประเภทของตัวแบบ
จำแนกประเภทลักษณะรูปภาพการคำนวณคะแนน

Layer Type	Dimension	Activation Function	Drop out	Batch Normalization
Global Average Pooling 2D	-	-	20%	Yes
Fully Connected	512	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	256	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	128	ReLU	30%	Yes
Fully Connected	64	ReLU	30%	Yes
Fully Connected (Output)	20	SoftMax	-	-

3.4 การคำนวณคะแนนความเหมาะสม

3.4.1 การคำนวณคะแนนความเหมาะสมสำหรับ ความรู้สึกรูปภาพ

$$S(P, E) = W(P) \times F(E)^T \quad (1)$$

เมื่อ

$S(P, E)$ คือ คะแนน มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

P คือ เมทริก ขนาด $m \times n$

p_{ij} คือสมาชิกของ P ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นของรูป i ที่จะ
เป็นประเภท j

- i จะมีค่าตั้งแต่ $1 - n$ โดย n คือจำนวนรูปที่มีทั้งหมด
- j จะมีค่าตั้งแต่ $1 - 5$ (มี 5 ความรู้สึก เรียงตามลำดับคือแง่บวกอย่างยิ่ง (Highly Positive), แ่บวก (Positive), กลาง (Neutral), ลบ (Negative) และ ลบอย่างยิ่ง (Highly Negative))

โดยที่ p_{ij} จะมีคุณสมบัติคือ

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1; \text{ เมื่อ } i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} = n \quad (3)$$

E คือ ความรู้สึกที่สนใจซึ่งมีค่าได้ คือ แ่บวก (Positive), กลาง (Neutral) และ ลบ (Negative)

$W(P)$ คือ เมทริกผลรวมความน่าจะเป็นของแต่ละความรู้สึก
ทุกรูปภาพสามารถคำนวณได้จาก

$$W(P) = \left[\sum_{i=0}^n p_{i,1}, \sum_{i=0}^n p_{i,2}, \sum_{i=0}^n p_{i,3}, \sum_{i=0}^n p_{i,4}, \sum_{i=0}^n p_{i,5} \right] \quad (4)$$

$F(E)$ คือ เมทริกตัวคูณปัจจัยสามารถคำนวณได้จาก

$$F(E) = [w_{\text{highly positive}}, w_{\text{positive}}, w_{\text{neutral}}, w_{\text{negative}}, w_{\text{highly negative}}] \quad (5)$$

โดยที่ w น้ำหนักคะแนนในแต่ละความรู้สึกที่สนใจ

กรณี $E = \text{Positive}$

$$w_{\text{highly positive}} = 1$$

$$w_{\text{positive}} = 0.75$$

$$w_{\text{neutral}} = 0.5$$

$$w_{\text{negative}} = 0.25$$

$$w_{\text{highly negative}} = 0$$

กรณี $E = \text{Neutral}$

$$w_{\text{highly positive}} = 0$$

$$w_{\text{positive}} = 0.5$$

$$w_{\text{neutral}} = 1$$

$$w_{\text{negative}} = 0.5$$

$$w_{\text{highly negative}} = 0$$

กรณี $E = \text{Negative}$

$$w_{\text{highly positive}} = 0$$

$$w_{\text{positive}} = 0.25$$

$$w_{\text{neutral}} = 0.5$$

$$w_{\text{negative}} = 0.75$$

$$w_{\text{highly negative}} = 1$$

3.4.2 การคำนวณคะแนนความเหมาะสมสำหรับ ฉากหลังและลักษณะรูปภาพ

$$S(P, E) = \sum_{k=1}^d e_k \quad (6)$$

เมื่อ

$S(P, E)$ คือ คะแนน มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

P คือ เมทริก ขนาด $m \times n$

p_{ij} คือสมาชิกของ P ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นของรูป i ที่จะ
เป็นประเภท j

- i จะมีค่าตั้งแต่ 1 - n โดย n คือจำนวนรูปที่มีทั้งหมด
- j จะมีค่าตั้งแต่ 1 - m โดย m คือจำนวนประเภทของภาพที่มีทั้งหมด

โดยที่ p_{ij} จะมีคุณสมบัติคือ

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1; \text{ เมื่อ } i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} = n \quad (8)$$

d คือ จำนวนประเภทของรูปที่สนใจ เป็นจำนวนเต็ม ในช่วง $[1, m]$ เช่นหากมีประเภทของภาพที่ตัวแบบสามารถทำนายได้ทั้งหมด 10 ประเภท และ เราสนใจประเภทของภาพ 2 ประเภท ที่เป็นซับเซตของภาพที่ตัวแบบสามารถทำนายได้ ดังนั้น $d = 2$

e_k คือคะแนนของแต่ละประเภทของภาพที่สนใจ โดยที่ k มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง d สามารถคำนวณได้จาก

$$e_k = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n p_{ij}, & \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n p_{ij} < \frac{1}{d} \\ \frac{1}{d}, & \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n p_{ij} \geq \frac{1}{d} \end{cases} \quad (9)$$

3.4.3 การคำนวณคะแนนความเหมาะสมสำหรับวัตถุที่สนใจ

$$S = \frac{I(E)}{n} \quad (10)$$

เมื่อ

S คือ คะแนน มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

$I(E)$ คือ จำนวนภาพที่มี วัตถุที่สนใจ E ปรากฏอยู่ในภาพ

n คือจำนวนรูปที่มีทั้งหมด

3.4.4 การคำนวณคะแนนความเหมาะสมรวม

$$S_{Overall} = \frac{\sum S}{n} \quad (11)$$

เมื่อ

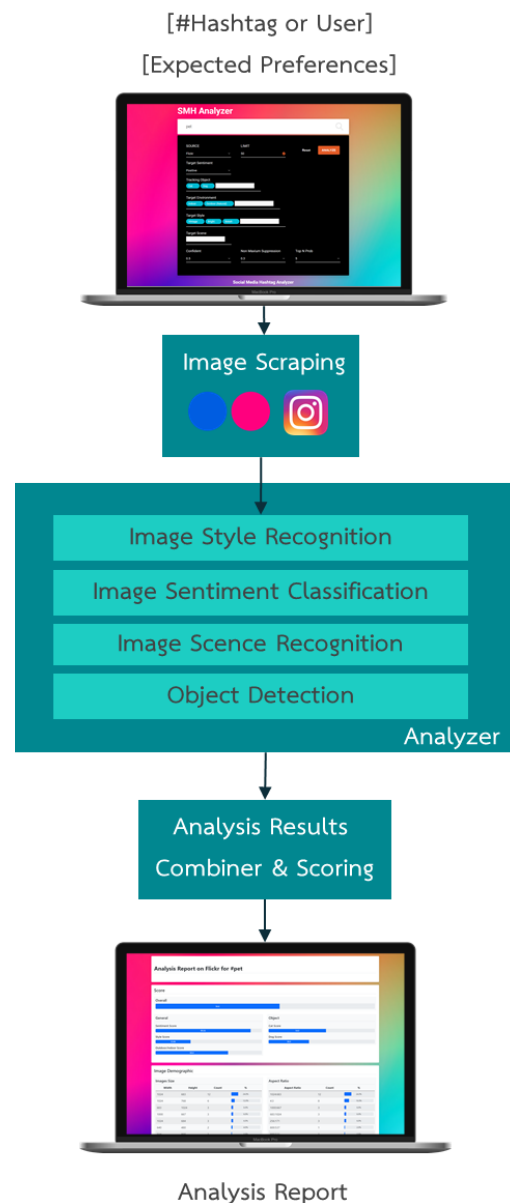
$S_{Overall}$ คือ คะแนนรวม มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

S คือ คะแนน มีค่าอยู่ในช่วง $[0, 1]$

n คือจำนวนคะแนนที่นำมาใช้ทั้งหมด

3.5 การวิเคราะห์และการแสดงผลของระบบ

เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัววิเคราะห์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้ได้จริง ตัววิเคราะห์นี้จึงถูกครอบด้วยส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) ที่พัฒนาขึ้นด้วย ภาษา Python ร่วมกับ Flask web framework และ Bootstrap โดยระบบสามารถวิเคราะห์ได้สองรูปแบบคือ การวิเคราะห์ด้วยแฮชแท็ก (Hashtag) บน Instagram และ Flickr และการวิเคราะห์ผู้ใช้หรือผู้มีอิทธิพล (Influencer) บน Instagram ได้อย่างอัตโนมัติโดยมีผังการทำงานดัง รูปที่ 2 ผังการทำงานของระบบ



รูปที่ 2 ผังการทำงานของระบบ

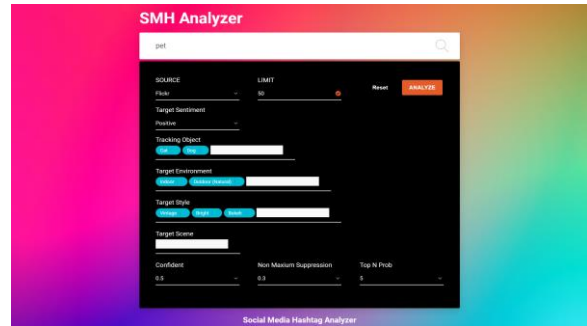
โดยระบบจะเริ่มจากการรับเอาข้อมูลป้อนเข้า (Input) โดยผ่านทางหน้าเว็บดังในรูปที่ 3 ตัวอย่างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน: หน้าสำหรับรับข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วนคือ ส่วนเป้าหมายที่เป็นดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) หรือชื่อบัญชีผู้ใช้ (Username) ที่เปิดบัญชีเป็นสาธารณะ โดยระบบสามารถรับดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) ของแอปพลิเคชัน Instagram และ Flickr ได้ แต่สำหรับบัญชีผู้ใช้จะสามารถรับได้เพียงแค่ของแอปพลิเคชัน Instagram เท่านั้น พร้อมทั้งต้องระบุจำนวนภาพที่จะนำมาวิเคราะห์ด้วย ส่วนที่สองที่รับคือ ค่าความคาดหวังในด้านต่างๆของชุดรูปภาพที่ต้องการซึ่งมีดังนี้

- ความรู้สึกต่อรูปภาพที่ต้องการ
- วัตถุที่ต้องการให้ปรากฏบนรูปภาพ
- พื้นหลังที่ต้องการ
- บรรยากาศที่ต้องการ (ภายในหรือภายนอกสถานที่)

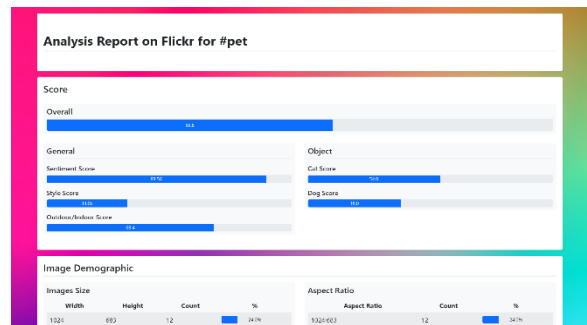
ต่อมาระบบทำการดาวน์โหลดรูปภาพล่าสุดภายใต้ดัชนีถ้อยคำ (Hashtag) หรือ ชื่อบัญชีผู้ใช้ (Username) นั้นๆ โดยอัตโนมัติเพื่อรอการวิเคราะห์ จากนั้นรูปภาพทั้งหมดจะผ่านตัวแบบทั้งหมดที่ประกอบไปด้วย

- 1) ตัวแบบจำแนกประเภทฉากหลัง (Scene Classification Model)
- 2) ตัวแบบการตรวจจับวัตถุ (Object Detection)
- 3) ตัวแบบจำแนกประเภทความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Classification)
- 4) ตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพ (Image Style Classification)

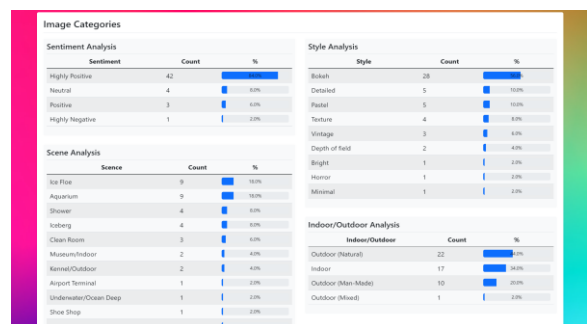
และส่งผลการทำงานทั้งหมดไปยังตัวรวมผลการวิเคราะห์ และคิดค่าคะแนนความเหมาะสม พร้อมทั้งออกรายงานผ่านทางหน้าเว็บเพื่อให้ผู้ใช้งานใช้เพื่อการตัดสินใจ ดังรูปที่ 4 ตัวอย่างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน: หน้าแสดงรายงานการวิเคราะห์ (1) และ รูปที่ 5 ตัวอย่างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน: หน้าแสดงรายงานการวิเคราะห์ (2)



รูปที่ 3 ตัวอย่างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน: หน้าสำหรับรับข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์



รูปที่ 4 ตัวอย่างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน: หน้าแสดงรายงานการวิเคราะห์ (1)



รูปที่ 5 ตัวอย่างส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน: หน้าแสดงรายงานการวิเคราะห์ (2)

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลของตัวแบบใหม่

ในงานวิจัยนี้มีการสร้างตัวแบบเพื่อทำการวิเคราะห์รูปภาพขึ้นสองตัวแบบ ซึ่งรายละเอียดความแม่นยำของตัวแบบเป็นดังนี้

4.1.1 ตัวแบบจำแนกประเภทความรู้สึกรูปภาพ (Image Sentiment Classification)

ผลของความแม่นยำของตัวแบบเมื่อประเมินด้วยชุดข้อมูลสอนคือ 49.36% แต่เมื่อประเมินด้วยชุดข้อมูลทดสอบจะได้ ความแม่นยำ 47.21% สำหรับรายละเอียดความแม่นยำที่วัดด้วยมาตรวัดอื่นอยู่ใน ตารางที่ 8

แม้ว่าจะได้คะแนนความแม่นยำจะไม่สูงนักแต่หากพิจารณาว่า แบ่งความรู้สึกออกเป็น 5 ระดับคือ แง่ลบอย่างยิ่ง (Highly Negative), แ่ลบ(Negative), กลาง(Neutral), แ่บวก (Positive) และ แ่บวกอย่างยิ่ง (Highly Positive) สามารถเปลี่ยนเป็นตัวเลขตั้งแต่ 0 ที่แทนแง่ลบอย่างยิ่ง ถึง 4 ที่แทนแง่บวกอย่างยิ่ง หากนำเอามาคำนวณเพื่อหาค่า MAE และ MAPE จะได้ 1.05 และ 49.98% ตามลำดับ แสดงถึงค่าที่ทำนายได้จะผิดพลาดโดยเฉลี่ยประมาณหนึ่งลำดับและเมื่อพิจารณา ค่าMSE และ MSPE จะได้ 2.68 และ 147.35% ที่สามารถบอกได้ว่าค่าที่ทำนายมีความต่างจากค่าจริงแบบแตกต่างกันมากมีจำนวนน้อย แสดงให้เห็นว่าในการใช้ตัวแบบนี้ให้ ประเมินผลรูปภาพยังคงให้ผลที่สะท้อนความเป็นจริงและมีความน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 8 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของตัวแบบจำแนกประเภทความรู้สึกรูปภาพโดยประเมินจากชุดข้อมูลทดสอบ

CLASS	MACRO AVG	WEIGHTED AVG
PRECISION	27%	35%
RECALL	30%	47%
F1-SCORE	24%	35%
SUPPORT	13,366	13,366
ACCURACY	47.21%	

4.1.2 ตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพ (Image Style Classification)

ผลของความแม่นยำของตัวแบบเมื่อประเมินด้วยชุดข้อมูลสอนคือ 49.16% แต่เมื่อประเมินด้วยชุดข้อมูลทดสอบจะได้ ความแม่นยำ 43.50% สำหรับรายละเอียดความแม่นยำที่วัดด้วยมาตรวัดอื่นแสดงในตารางที่ 9

Error! Reference source not found. ตารางแสดงค่าความแม่นยำของตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพโดยประเมินจากชุดข้อมูลทดสอบ

CLASS	MACRO AVG	WEIGHTED AVG
-------	-----------	--------------

PRECISION	41%	41%
RECALL	43%	44%
F1-SCORE	40%	41%
SUPPORT	12,792	12,797
ACCURACY	43.50%	

เนื่องจากภาพที่ใช้ในการสอนตัวแบบนั้นมีความกำกวมเนื่องจาก ภาพหนึ่งๆนั้น สามารถมีได้หลายลักษณะในหนึ่งภาพทำให้ความแม่นยำของตัวแบบไม่สูงนัก แต่เมื่อพิจารณาด้วยตัวบุคคลจะพบว่าภาพส่วนมากมักเป็นลักษณะผสมและผลความน่าจะเป็นที่สูงเป็นสามอันดับแรกเป็นลักษณะที่ผสมกัน หากเราทำการประเมินตัวแบบใหม่โดย หากประเภทของรูปภาพที่ตัวแบบทำนาย ในความน่าจะเป็นสูงสุด 3 อันดับแรกของ มีหนึ่งในสามเป็นค่าที่ตรงกับค่าลักษณะที่ให้ไว้ จะถือว่าตัวแบบทำนายถูก จะได้ ค่าความแม่นยำสูงขึ้นมาก โดยได้ค่าความแม่นยำที่ 68.83% รายละเอียดความแม่นยำที่วัดด้วยมาตรวัดอื่นอยู่ใน ตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตารางแสดงค่าความแม่นยำของตัวแบบจำแนกประเภทลักษณะรูปภาพโดยประเมินจากชุดข้อมูลทดสอบ คิดจาก ความน่าจะเป็นสามอันดับสูงสุด

CLASS	MACRO AVG	WEIGHTED AVG
PRECISION	70%	70%
RECALL	68%	69%
F1-SCORE	68%	68%
SUPPORT	12,792	12,797
ACCURACY	68.83%	

4.2 กรณีศึกษากรณีศึกษาการวิเคราะห์หาผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ต ที่เหมาะสม

เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัววิเคราะห์ที่สร้างขึ้นสามารถทำการวิเคราะห์หาผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสมในการเป็นผู้นำเสนอสินค้า (Presenter) ได้ จึงได้ทำการทดลองทดสอบหาผู้มีอิทธิพลใน

สื่อเครือข่ายสังคมทางอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสมที่สุดในการเป็นตัวแทนสินค้าสเก็ทบอร์ดที่กำลังเป็นกระแสนิยมในปัจจุบัน ในกรณีนี้จะวิเคราะห์ภาพที่ถูกนำขึ้นไปยังบัญชี Instagram ของตัวอย่าง 7 ราย ตั้งแต่วันที่ 01/01/2021 ถึง วันที่ 01/06/2021 โดยสองราย errorbxx และ weir____things เป็นผู้ใช้ทั่วไปที่ชื่นชอบสเก็ทบอร์ดมีการนำภาพที่มีสเก็ทบอร์ดขึ้นไปยังบัญชีของตนจำนวนมากอีก 5 รายเป็นดารานักแสดงโดยมีนักแสดงที่มีความชื่นชอบในการเล่นสเก็ทบอร์ดจำนวน 4 รายได้แก่ joeybangkokboy, paloyh, apitsada และ toeyjarinporn โดยอีกหนึ่งราย คือ sirinissirin ที่ไม่ได้เล่นสเก็ทบอร์ด รายละเอียดอื่นๆ เกี่ยวกับบัญชี Instagram จะแสดงในตาราง ตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตารางแสดงรายละเอียดของบัญชี Instagram ตัวอย่าง

ชื่อผู้ใช้	ประเภทผู้ใช้	จำนวนโพสต์ทั้งหมด	จำนวนผู้ติดตาม	จำนวนรูปที่นำมาวิเคราะห์
errorbxx	ทั่วไป	1,215	1,294	54
weir____things	ทั่วไป	2,941.00	4,624	397
joeybangkokboy	ดารา	1,626.00	1.2 ล้าน	32
sirinissirin	ดารา	997.00	1.6 ล้าน	146
paloyh	ดารา	9,953.00	1.2 ล้าน	761
apitsada	ดารา	8,619.00	3.7 ล้าน	374
toeyjarinporn	ดารา	8,967.00	7.1 ล้าน	347

หากกำหนดความต้องการให้ผู้ที่จะมาเป็นผู้นำเสนอสินค้า (Presenter) จะต้องมี ความรู้สีกุภาพเป็นบวก, ลักษณะรูปภาพ (Style) เป็นแบบ Bright และ Noir, สภาพแวดล้อมเป็นแบบกลางแจ้ง ที่มนุษย์สร้างขึ้น มีวัตถุที่สำคัญคือ บุคคลและสเก็ทบอร์ด เพื่อให้เข้ากับแบรนด์ จะได้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ ดังตารางที่ 12Error! Reference source not found. ผลการวิเคราะห์ผู้ใช้งานเหมาะสมในการเป็นผู้นำเสนอสินค้า (Presenter)

ตารางที่ 12Error! Reference source not found. ผลการวิเคราะห์ผู้ใช้งานเหมาะสมในการเป็นผู้นำเสนอสินค้า (Presenter)

ชื่อผู้ใช้	คะแนนทั่วไป			คะแนนวัตถุ		รวม
	ความรู้สีก	ลักษณะ	ภายใน/นอก	บุคคล	สเก็ทบอร์ด	
joeybangkokboy	77.32	9.99	36.56	78.1	40.62	48.5
				2		2
sirinissirin	89.41	9.17	33.33	94.5	0	45.2
				2		9
apitsada	87.33	10.96	24.94	78.0	0.27	40.3
				7		1
toeyjarinporn	84.62	8.35	30.17	79.8	2.59	41.1
				3		1
paloyh	82.03	12.38	28.21	65.3	5.46	38.6
				4		8
weir____things	86.28	18.25	32.16	89.4	53.15	55.8
				2		5
errorbxx	71.6	8.72	35.5	92.5	9.26	43.5
				9		3

จากผลข้างต้นจะเห็นว่า หากต้องการเลือกดาราที่เหมาะสมมาเป็นผู้นำเสนอสินค้า (Presenter) เพียงคนเดียวจากดารา 5 ท่าน พบว่า joeybangkokboy เป็นผู้ที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีคะแนนการวิเคราะห์รวมที่สูงที่สุด

แต่หากพิจารณาเลือก 2 คน การพิจารณาต้องนำเอาคะแนนวัตถุสเก็ทบอร์ด เข้ามาพิจารณาร่วมด้วย เนื่องจากผู้ที่มีคะแนนรวมเป็นอันดับสอง คือ sirinissirin พบว่าไม่มีรูปที่มีสเก็ทบอร์ดเลย เนื่องจากการคิดคะแนนมาจากหลายส่วน ดังนั้นหากต้องการให้กรองแต่ผู้ที่มีวัตถุที่ต้องการสามารถทำได้โดยการเพิ่มน้ำหนักในการให้คะแนนของวัตถุนั้นๆในสูตรการคำนวณคะแนนได้ แต่อย่างไรก็ตามการตัดสินใจเลือกผู้มีอิทธิพล (Influencer) ในสื่อเครือข่ายสังคมอาจจะเลือกผู้ที่ยังไม่เคยลงรูปที่มีสเก็ทบอร์ดในบัญชีสื่อเครือข่ายสังคมของตนได้ เนื่องจากมีหลายส่วนที่เหมาะสมและ ในบางครั้ง การลงภาพครั้งแรก อาจจะทำให้เกิดกระแสที่แรงกว่าผู้ที่เคยลงรูปแบบดังกล่าวอยู่แล้ว แต่ในกรณีศึกษาที่ใช้เงื่อนไขการตรงกับความต้องการที่ระบุมากที่สุดจึงได้ผลลัพธ์ในแบบดังกล่าว ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์สำหรับกลุ่มดารา ให้ผลที่ตรงกับลักษณะที่เป็นจริงของการใช้งาน Instagram จากที่ได้ทำการสังเกตพฤติกรรมการใช้งานจริง

5. สรุปผล

เนื่องจากการสร้างเครื่องมือการวิเคราะห์ที่มีความแม่นยำและให้มีความครอบคลุม (Generalization) กับข้อมูลในความเป็นจริงนั้นทำได้ยาก ข้อจำกัดของตัววิเคราะห์นี้จึงขึ้นกับตัวแบบที่นำมาใช้หากข้อมูลรูปภาพนำเข้ามีลักษณะที่คล้ายกับข้อมูลสอนตัวแบบก็จะมีความแม่นยำที่ดี แต่หากข้อมูลที่นำเข้ามีความแตกต่าง อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ ตัวแบบที่นำมาใช้มีทั้งตัวแบบสำเร็จรูป และตัวแบบใหม่ ที่มีการทำนายที่จำกัดชนิด (Class) ของผลการทำนายที่อาจจะยังไม่ครอบคลุมการวิเคราะห์ ในแง่มุมเฉพาะ หากต้องนำไปใช้จริงอาจจะต้องทำการเปลี่ยนชุดการสอนของตัวแบบให้เข้ากับลักษณะงานจริง เฉพาะด้านที่ต้องการวิเคราะห์ให้มากขึ้น และ ในระบบปัจจุบันการคิดคะแนนของระบบยังเป็นการคำนวณจากสูตรที่คิดขึ้นหากสามารถที่จะสร้างตัวแบบขึ้นอีกตัวเพื่อใช้สำหรับการคิดคะแนน จะทำให้งานวิจัยมีความน่าสนใจขึ้นอีก

ตัววิเคราะห์นี้ยังมีจุดที่นำไปพัฒนาต่อยอดได้อีก โดยสามารถที่จะเพิ่มตัวแบบในการวิเคราะห์ด้านอื่นๆ เข้าไป เช่น การวิเคราะห์ว่าภาพมีความรุนแรง การพนัน เรื่องที่เกี่ยวข้องกับการเมือง และมีภาพที่เป็นโฆษณา เป็นต้น เพื่อให้มีแง่มุมในการวิเคราะห์เพิ่มขึ้น และหากสามารถเพิ่มเติมการหาวัตถุจากภาพของวัตถุที่ป้อนเข้าไปได้ จะสามารถทำให้แบรนด์ต่างๆ หาความนิยมของกระแสสินค้าตนได้ อีกทั้งหากสามารถทำให้ระบบสามารถระบุเป้าหมายหลายเป้าหมายในคราวเดียว พร้อมทั้งทำการการเปรียบเทียบคะแนนของเป้าหมายโดยอัตโนมัติจะทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้สะดวกสบายยิ่งขึ้น อีกทั้งตัวระบบยังสามารถพัฒนาต่อยอดให้เป็นระบบช่วยตรวจสอบสถานะทางเครือข่ายสังคมออนไลน์ (Social Network Monitoring) ที่สามารถวิเคราะห์ถึงเทรนของเครือข่ายสังคมในขณะนั้นได้อีกด้วย

6. Source Code

URL สำหรับดาวน์โหลด Source Code ของงานวิจัยนี้:

<https://github.com/NickyPSCK/Instagram-Hashtag-Analyzer-App>

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Hu, L. Manikonda and S. Kambhampati, "What We Instagram: A First Analysis of Instagram Photo Content and User Types," in *Proceedings of the 8th International Conference on Weblogs and Social Media*, The AAAI Press, pp.595-598, 2014.
- [2] S. Ibba, M. Orrù, F.E. Pani and S. Porru, "Hashtag of Instagram: From Folksonomy to Complex Network," in *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*, Lisbon, Portugal, pp.279-284, 2015.
- [3] I. Dorsch, "Content description on a mobile image sharing service: Hashtags on Instagram," *Journal of Information Science Theory and Practice.*, vol.6, no.2, pp.46-61, 2018.
- [4] A. Mathes, "Folksonomies - cooperative classification and communication through shared metadata," *Journal of Computer-Mediated Communication.*, vol. 47, 2004.
- [5] Bruns, Axel & Burgess and Jean, "The Use of Twitter Hashtags in The Formation of Ad Hoc Publics," in *Proceedings of the 6th European Consortium for Political Research (ECPR) General Conference 2011*, pp. 1-9, 2011.
- [6] K. S. Satoh, "Image Sentiment Analysis Using Correlations Among Visual, Textual, and Sentiment Views," in *International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing IEEE*, 2016.

- [7] V. Gajarla and A. Gupta, "Emotion Detection and Sentiment Analysis of Images," Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, 2011.
- [8] S. Karayev, M. Trentacoste, H. Han, A. Agarwala, Trevor Darrell, A. Hertzmann and H. Winnemoeller, "Recognizing Image Style," in *Proceedings British Machine Vision Conference*, BMVA Press, 2014.
- [9] B. Zhou, A. Lapedriza, A. Khosla, A. Oliva and A. Torralba, "Places: A 10 million image database for scene recognition," *Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 40, no. 6, pp. 1452 - 1464, 2017.
- [10] M. Tan and Q. V. Le, "EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks," in *The International Conference on Machine Learning*, Long Beach, California, pp.6105-6114, 2019.
- [11] M. Hussain, J. J. Bird and D. R. Faria, "A Study on CNN Transfer Learning for Image Classification," in *EventUKCI'18: 18th Annual UK Workshop on Computational Intelligence - Nottingham*, United Kingdom, pp.191-202, 2018.
- [12] J. Redmon, S. Divvalay, R. Girshick and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Las Vegas, NV, USA. IEEE, 2016.
- [13] T. Lin, M. Maire, S. Belongie, L. Bourdev, R. Girshick, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, C.L. Zitnick and P. Dollár, "Microsoft COCO: Common Objects in Context," in *European Conference on Computer Vision, Computer Vision – ECCV 2014*, pp. 740-755, 2014.

ฮิวริสติกแบบสองเฟสสำหรับการจัดเส้นทางขนส่ง : กรณีศึกษาร้านขายส่งขนมแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกาฬสินธุ์

อนุชา ศรีบุญรัมย์^{*1}, ไทยศน์ สุดสวนสี², วราภรณ์ วโรต³ และ อามิณห์ หล้าวงศ์⁴

^{1,2,3,4} มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ 62/1 ถนนเกษตรสมบูรณ์ ต.กาฬสินธุ์ อ.เมือง จ. กาฬสินธุ์ 46000

Received: 21 July 2021; Revised: 21 January 2022; Accepted: 1 February 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอฮิวริสติก สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบความจุของยานพาหนะจำกัด (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของอัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์ไจคุมาร์ (Fisher and Jaikumar Algorithm, FJA) สำหรับการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของบริษัทการศึกษา ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางรวมต่ำสุด โดยขั้นตอนของฮิวริสติก FJA ที่นำเสนอแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจุดที่ตั้งของยานพาหนะ (Seed) ขั้นตอนที่ 2 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหาการมอบหมายงานทั่วไป (Generalized Assignment Problem, GAP) เพื่อจัดสรรลูกค้าให้แต่ละกลุ่ม และขั้นตอนสุดท้าย จัดลำดับการขนส่งสินค้าให้แต่ละกลุ่ม โดยใช้แบบจำลองปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem Model, TSP model) ผลการทดสอบพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพอยู่ระดับที่ดี สามารถลดระยะทางขนส่งรวมจากเดิม 1,093.4 กิโลเมตร ลดลงเหลือ 766.15 กิโลเมตร คิดเป็น 29.93 %

คำสำคัญ: อัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์ไจคุมาร์, การจัดเส้นทางขนส่ง, ปัญหาการมอบหมายงานทั่วไป, ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

* Corresponding author. E-mail: Anucha.sr@ksu.ac.th

^{1,2,3,4} อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

A Two-Phase Heuristic for Solving Vehicle Routing Problem: A Case Study of Snack Wholesale in Kalasin Province

Anucha Sriburum^{*1}, Thaithat Sudsuansee², Waraporn Waworot³ and Amin Lawong⁴

^{1,2,3,4} Kalasin University, 62/1 Kasetsoomboon Rd., Muang District, Kalasin 46000, Thailand

Received: 21 July 2021; Revised: 21 January 2022; Accepted: 1 February 2022

Abstract

This paper is to present a heuristic for solving the capacitated vehicle routing problem (CVRP). We apply the concept of Fisher and Jaikumar Algorithm (FJA) for solving CVRP in a case study. The objective of this case is to minimize total distance traveled. A variant FJA consists of three steps. The first step is to generate the seed vehicles. The second step is to formulate the Generalized Assignment Problem (GAP) to allocate customers into each group. The Final step is to generate the transport route using Travelling Salesman Problem Model (TSP model). The computational results showed that the proposed algorithm provided effective solutions. The total distance is decreased from 1,093.4 kilometers to 766.15 kilometers can be reduced to 29.93%.

Keywords: Fisher and Jaikumar algorithm, Vehicle routing problem, Generalized Assignment Problem, Heuristic, Travelling Salesman Problem

* Corresponding author. E-mail: Anucha.sr@ksu.ac.th

^{1,2,3,4} Lecturer in Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

1. บทนำ

ปัจจุบันองค์กรธุรกิจในภาคอุตสาหกรรมและบริการต่าง ๆ มีการแข่งขันสูง การที่องค์กรจะอยู่รอดในตลาดการแข่งขันที่นับวันสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง องค์กรจะต้องปรับตัวให้สามารถแข่งขันในตลาดการค้า ซึ่งการลดต้นทุนสินค้าและบริการ รวมถึงการสร้างภาพพจน์ให้สูงสุดให้แก่ลูกค้าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งต่อความอยู่รอดขององค์กรธุรกิจ โดยต้นทุนการขนส่งเป็นหนึ่งในต้นทุนโลจิสติกส์ ที่มีความสำคัญต่อต้นทุนการผลิตสินค้า จากข้อมูลรายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2562 ของสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ [1] พบว่า ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเป็นต้นทุนโลจิสติกส์ที่มีสัดส่วนมากที่สุดร้อยละ 49.7 รองลงมาคือ ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ร้อยละ 42.8 และต้นทุนการบริหารจัดการ ร้อยละ 7.5 โดยปัจจัยด้านราคาขายน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งสูง เนื่องจากราคาเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี ทำให้ธุรกิจและหน่วยงานต่าง ๆ ให้ความสำคัญเกี่ยวกับต้นทุนการขนส่งเพิ่มขึ้น หากองค์กรธุรกิจใดสามารถบริหารจัดการต้นทุนการขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ต้นทุนของการผลิตสินค้าต่ำ ซึ่งหมายถึงองค์กรธุรกิจจะได้ผลกำไรเพิ่มขึ้น และธุรกิจจะมีความสามารถในการแข่งขันในตลาดการค้าได้ดียิ่งขึ้น

ปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งถูกพัฒนามาจากปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Travel Salesman Problem) โดยปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งถูกศึกษาอย่างเป็นทางการครั้งแรกในงานวิจัยของ Dantzig and Ramser [2] ปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) โดยปัญหา Classical VRP เป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization problem) ที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนในการคำนวณ เนื่องจากปัญหา VRP เป็นปัญหาแบบ NP-hard ญัณฐานันท์ สุพรรณานนท์ และปณิพร เรืองเชิงชุม [3] ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของปัญหา Classical VRP เป็นการกำหนดเส้นทางของการขนส่งยานพาหนะ ให้เกิดต้นทุนการขนส่งโดยรวมต่ำสุด หรือระยะทางโดยรวมต่ำสุด โดยมีข้อจำกัดดังนี้ (1) ยานพาหนะแต่ละคันจะเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้า (Depot) ไปยังกลุ่มลูกค้า (Customers) เพื่อให้บริการรับหรือส่งสินค้า

ให้กับลูกค้าทุกราย เมื่อรับหรือส่งสินค้าครบทุกรายแล้ว ยานพาหนะทุกคันจะต้องเดินทางกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าเดิม (2) ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียวเท่านั้น (3) ลูกค้าแต่ละรายจะเป็นจุดของความต้องการ (Demand) สินค้าเหล่านี้จะถูกเก็บขนโดยใช้ยานพาหนะที่มีอยู่ ซึ่งปริมาณสินค้ารวมที่เก็บขนจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะนั้น จากการทบทวนงานวิจัยของ สุวิมล คำแสน และคณะ[4] และ นรงค์ วิชาพา และคณะ [5] พบว่าในการแก้ปัญหา VRPs สามารถจำแนกได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีแบบแม่นยำตรง (Exact Method) และวิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic/Meta-Heuristic) ข้อดีของวิธีแบบแม่นยำคือได้ผลเฉลยดีที่สุด (Optimal Solution) แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการประมวลผลนาน ถ้าหากปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นอาจไม่สามารถหาผลเฉลยได้ ด้วยเหตุนี้นักวิจัยส่วนใหญ่จึงนิยมใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการแก้ปัญหา VRPs แม้ว่าจะไม่ยืนยันว่าผลเฉลยที่ได้จากวิธีเชิงฮิวริสติกเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ผลเฉลยที่ได้สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติหรือการใช้งานจริง ข้อดีที่สำคัญของวิธีเชิงฮิวริสติกได้แก่การใช้เวลาในการประมวลผลรวดเร็วกว่าวิธีแบบแม่นยำ และผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับวิธีแบบแม่นยำ ซึ่งอัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์โจคุมาร์เป็น ฮิวริสติกที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหา VRPs อย่างแพร่หลายในวรรณกรรม [6] จุดเด่นของอัลกอริทึมนี้มีขั้นตอนการคำนวณชัดเจน เข้าใจง่าย แต่ผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริงได้

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ประกอบกิจการขนส่งสินค้าประเภทขนมซึ่งมีที่ตั้งอยู่ในอำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยมีลูกค้าจำนวน 180 ราย ครอบคลุมพื้นที่อำเภอภูพานรายณ์ นามน สมเด็จ กมลาไสย และเมืองกาฬสินธุ์ ซึ่งในปัจจุบันการจัดเส้นทางของการขนส่งของบริษัทยังไม่เป็นระบบ โดยยังคงใช้ประสบการณ์ของพนักงานขนส่งสินค้าในการวางแผนเส้นทางของการขนส่งในแต่ละวัน ทำให้บริษัทมีต้นทุนการขนส่งสูง และไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างทันเวลา

ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดของอัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์โจคุมาร์ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทขายส่งขนมแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยมีวัตถุประสงค์ของ

งานวิจัยนี้เพื่อหาเส้นทางการขนส่งที่มีระยะทางการขนส่งโดยรวมต่ำสุด ภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าทันเวลาที่กำหนด ทั้งนี้ผู้วิจัยเชื่อว่าวิธีการที่นำเสนอจะสามารถนำไปประยุกต์ร่วมกับวิธีอื่น เช่น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) หรือวิธีเชิงฮิวริสติก (ฮิวริสติก และเมตาฮิวริสติก) อื่นได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีเชิงฮิวริสติก สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบความจุของยานพาหนะจำกัด ดังต่อไปนี้

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบความจุของยานพาหนะจำกัด (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบความจุของยานพาหนะจำกัด (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) โดยทั่วไปหมายถึงปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) การจัดเส้นทางการขนส่งเป็นการกำหนดยานพาหนะให้เดินทางไปรับหรือส่งสินค้าไปยังลูกค้าตามปริมาณความต้องการของลูกค้าที่สั่งซื้อ โดยปริมาณความจุของยานพาหนะที่ใช้สำหรับการขนส่งสินค้ามีความจุจำกัด ยานพาหนะจะเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้า (Depot) ไปยังลูกค้าแต่ละรายตามคำสั่งซื้อ และเมื่อรับหรือส่งสินค้าครบทุกรายแล้ว ยานพาหนะจะเดินทางกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าที่เดิม ปัญหา VRP เป็นปัญหาที่สำคัญในระบบโลจิสติกส์ของทุกประเทศ หากต้นทุนการขนส่งต่ำจะทำให้ความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาดจะมีศักยภาพเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ยากต่อการคำนวณ หรือปัญหาแบบเอ็นพีแบบยาก (NP-hard) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าวิธีแก้ปัญห VRPs แบ่งเป็น 2 ประเภท นักวิจัยกลุ่มแรกได้นำเสนอวิธีแบบแม่นยำ (Exact method) สำหรับการแก้ปัญห VRPs เช่น Hokama et al. [7] ใช้วิธี Branch and Cut Oppen et al. [8] ใช้วิธี Column Generation Yu et al. [9] ใช้วิธี Branch-and-price อย่างไรก็ตาม วิธีการเหล่านี้สามารถแก้ปัญห VRPs

ได้อย่างจำกัด ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นอาจไม่สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยส่วนใหญ่จึงนิยมแก้ปัญห VRPs ด้วยวิธีการฮิวริสติก (Heuristic) เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการแก้ปัญหจริง เนื่องจากเวลาการประมวลผลรวดเร็ว และได้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดจากวิธีแม่นยำ นำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพจัดเส้นทางเดินรถกรณีศึกษา ที่เป็นปัญหาด้านขนส่งสินค้าที่ไม่เกินปริมาณความจุของรถและการกระจายสินค้าไปยังลูกค้าโดยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ตัวอย่างเช่น วิธีฟิชเชอร์แอนด์ไจคุมาร์ (Fisher and Jaikumar Algorithm) [10] อัลกอริทึมแบบกวาด (Sweep Algorithm) [11] อัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) [12] และ Hanafi et al. [11] นำเสนอวิธีการใช้ Sweep Algorithm กับปัญหา CVRP แบ่งขั้นตอนในการแก้ปัญหเป็นสองเฟส (1) จัดกลุ่มลูกค้า และ (2) สร้างเส้นทางขนส่ง เพื่อหาจำนวนยานพาหนะที่จัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า โดยมีระยะทางรวมในการจัดส่งสินค้าที่ต่ำสุด จูตินนท์ ศรีสุวรรณดี และระพีพันธ์ ปิตาคะโส [13] ได้ประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดและปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยการย้ายลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Crossover -Move) การสลับสองตำแหน่ง (2-opt) และการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One-Move) ในการแก้ปัญห VRP โดยมีความจุของยานพาหนะมีจำกัด และลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการไม่แน่นอน Ombuki et al. [14] ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) นำมาแก้ปัญห VRP แบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Problem) โดยการหาจำนวนรถขนส่งที่น้อยที่สุดและมีผลรวมต้นทุนการขนส่งหรือระยะทางที่สั้นที่สุด ภิกขญา คงแก้ว และธนัญญา วสุศรี [15] ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาฮิวริสติกตามหลักการ Clarke and Wright Saving Algorithm โดยการเพิ่มกระบวนการเลือกยานพาหนะและปรับเปลี่ยนวิธีการเลือกลูกค้าลำดับถัดไป สำหรับการจัดสรรเส้นทางการรับและส่งสินค้าที่มีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลาย กนกวรรณ สุภักดี และคณะ [16] นำเสนอการพัฒนาการประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการจัดเส้นทาง เพื่อการพัฒนาแบบการจัดเส้นทางการขนส่งแบบได้อินทรีย์ด้านเวลาและความจุของรถขนส่งโรงเรียน Gendreau et al. [17] นำเสนอวิธีการ Tabu search สำหรับการแก้ปัญห

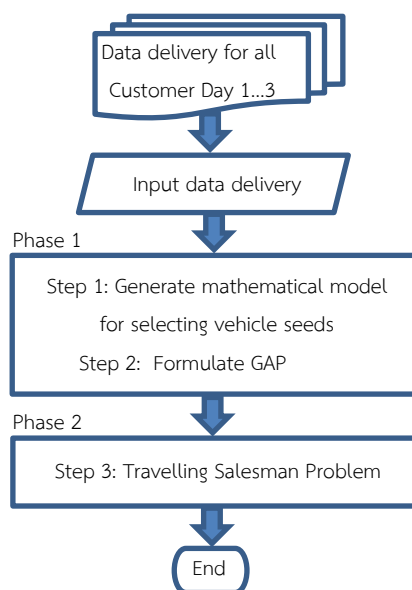
ยานพาหนะที่มีความแตกต่างกันโดยพิจารณาต้นทุนขนส่งที่ต่ำที่สุด Marinkis et al. [18] นำเสนอวิธี PSO สำหรับการแก้ปัญหา VRP โดยมีความต้องการไม่แน่นอน Chowmalia and Suktoa [19] ได้นำเสนออัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์ไจคุมาร์สำหรับการแก้ปัญหา MCVRP การจัดเส้นทางขนส่งแบบยานพาหนะมีหลายช่องบรรจุ (Multi capacitated vehicle routing problem, MCVRP) สำหรับการขนส่งน้ำมันเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้าในจังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งมีขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้ (1) เลือกตำแหน่งที่ตั้งของยานพาหนะ (Seed) (2) จัดกลุ่มลูกค้าโดยใช้แบบจำลองปัญหาการมอบหมายงานทั่วไป เพื่อจัดกลุ่มลูกค้าให้แต่ละยานพาหนะ และ (3) จัดเส้นทางขนส่งให้แต่ละกลุ่มหรือแต่ละยานพาหนะ Chowmalia and Suktoa [20] ได้นำเสนอฮิวริสติกแบบผสมผสานระหว่าง FJA และ Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) เพื่อปรับปรุงคำตอบของ FJA ให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นวิธี FJA เป็นหนึ่งในวิธีฮิวริสติกที่มีขั้นตอนที่ชัดเจน เข้าใจง่าย และมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง โดยทั่วไปวิธี Fisher and Jaikumar จะให้คุณภาพของคำตอบที่ดีกว่า ฮิวริสติกแบบประหยัด [10, 19-20] เนื่องจากขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งของ Seed จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของคำตอบ ดังนั้นขั้นตอนการเลือก Seeds จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีนี้

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวคิดของ FJA มาประยุกต์ใช้กับบริษัทกรณีศึกษา โดยการปรับปรุงวิธีการเลือกตำแหน่งของ seed ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่ที่สร้างขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคำตอบให้ดียิ่งขึ้น โดยมีขั้นตอนดังนี้ เฟส 1) ประกอบด้วยการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของยานพาหนะ (Seed) โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใหม่ เพื่อเลือกตำแหน่ง Seed และการจัดกลุ่มลูกค้าภายใต้ความจุของยานพาหนะจำกัด เฟส 2) การจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้วิธี TSP

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยในบทความนี้จะเป็นการนำเสนอขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดส่งสินค้าประเภทนมในบริษัท

กรณีศึกษา โดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์ไจคุมาร์ในการหาผลเฉลย โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วิธีฟิชเชอร์แอนด์ไจคุมาร์

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา

รวบรวมข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษา โดยศึกษาการจัดส่งสินค้าและรวบรวมข้อมูลเชิงลึกที่สำคัญ ประกอบด้วย จำนวนรถขนส่งสินค้า จุดที่ทำการส่งสินค้า ระยะทางการส่งสินค้า ความจุของรถขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าในปัจจุบัน โดยรวบรวมข้อมูลจำนวน 3 วัน

3.2 สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา

สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP เริ่มจากการกำหนด ตัวดัชนี พารามิเตอร์ แปรต้นสินใจ สร้างสมการเป้าหมาย และข้อจำกัด ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

ดัชนี : กำหนดให้กราฟ $G = (V, A)$ โดย V แทนเซตของจุดทั้งหมด (nodes) ซึ่งประกอบด้วยจุดของศูนย์กระจายสินค้าและจุดของลูกค้า ซึ่ง $V = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ กำหนดให้จุดที่ 1 เป็นที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า ส่วนจุด $\{2, 3, 4, \dots, N\}$ แทนจุดของลูกค้า และ A แทนเซตของเส้นเชื่อมระหว่างจุดทั้งหมด ซึ่ง $(i, j) \in A$

พารามิเตอร์ : dt_{ij} แทนระยะทางการขนส่งจากจุด i ไปยังจุด j ; k แทนเซตของยานพาหนะ $k = \{1, 2, 3, \dots, K\}$; N แทนเซตของจุดทั้งหมด $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$; q_k แทนความจุของยานพาหนะคันที่ k

ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี : x_{ijk} เท่ากับ 1 ถ้ามีการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยใช้ รถคันที่ k ; x_{ijk} เท่ากับ 0 ถ้าไม่มีการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยใช้รถคันที่ k ; Z_k เท่ากับ 1 ถ้ายานพาหนะคันที่ k มีการเดินทาง; Z_k เท่ากับ 0 ถ้ายานพาหนะคันที่ k ไม่มีการเดินทาง S จำนวนลูกค้าที่อยู่ในเส้นทาง และ V จำนวนลูกค้าทั้งหมด

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K dt_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{ijk} = NZ_k, \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq 1, \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ipk} - \sum_{j=1}^N x_{jpk} = 0, \quad \forall k, \forall p \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1, i \neq j}^N x_{ijk} = 1, \quad \forall j \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1, j \neq i}^N x_{ijk} = 1, \quad \forall i \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1, i \neq j}^N d_j x_{ijk} \leq q_k, \quad \forall k \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i1k} = 1 \quad \forall k \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in S, i \neq j} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad S \subseteq V \setminus \{0\} \quad (9)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad (10)$$

$$z_k \in \{0, 1\} \quad (11)$$

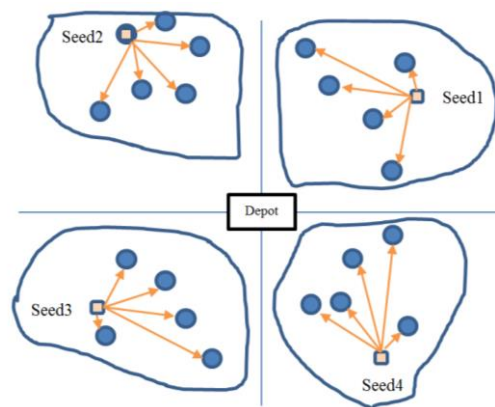
สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายระยะทางรวมต่ำสุด สมการที่ (2) เป็นเส้นเชื่อมระหว่างจุด i และ j ซึ่งมีได้ไม่เกินจำนวนจุดทั้งหมด (N) เมื่อใช้ยานพาหนะ k โดย x_{ijk} จะมีค่าเป็นหนึ่งเมื่อยานพาหนะคันที่ k ถูกใช้ สมการที่ (3) เป็นการประกันว่ายานพาหนะ k ไม่จำเป็นต้องออกจากที่ตั้งทุกคัน สมการที่ (4) เป็นการประกันว่าเมื่อยานพาหนะ k ไปรับสินค้าที่จุดใดแล้วต้องออกจากจุดนั้น สมการที่ (5) เป็นการประกันว่ายานพาหนะ k เดินทางเข้าไปรับสินค้าจากลูกค้า j ได้เพียง 1 รายเท่านั้น สมการที่ (6) เป็นการประกัน

ว่ายานพาหนะ k จะออกเดินทางจากจุด i เข้าไปรับสินค้าจากลูกค้า j ได้เพียง 1 รายเท่านั้น สมการที่ (7) เป็นการประกันว่าปริมาณสินค้ารวมที่บรรทุกด้วยยานพาหนะ k ต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะนั้นด้วย สมการที่ (8) เป็นการประกันว่ายานพาหนะ k ที่ออกเดินทางต้องกลับมาถึงที่ตั้ง สมการที่ (9) ป้องกันไม่ให้เกิดทัวร์ย่อย (subtour) สมการที่ (10) ถึงสมการที่ (11) แสดงตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวเลขแบบไบนารี

3.3 อัลกอริธึมแบบสองเฟส (Two-phase heuristic)

อัลกอริธึมแบบสองเฟสที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือ อัลกอริธึมฟิชเชอร์แอนด์โจคูมาร์ ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกตำแหน่งที่ตั้งของยานพาหนะ (Seed) ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งของยานพาหนะจะถูกกำหนดไว้ที่จุดใด ๆ ของลูกค้า การกำหนดตำแหน่งของ Seed ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ทุก ๆ ลูกค้าเป็นแคนดิเดต Seed โดยแนวคิดการกำหนด Seed ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เลือกตำแหน่งที่ตั้งสมมุติ (Seed) ที่ตำแหน่งของลูกค้า

จากรูปที่ 2 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดตำแหน่งของ Seed ได้ดังนี้

ดัชนี: i แทนที่ตั้งของแคนดิเดต Seed, $i = 1, 2, 3, \dots, I$;

j เป็นตำแหน่งของลูกค้า $j = 1, 2, 3, \dots, J$

พารามิเตอร์: dt_{ij} แทนระยะทางการขนส่งจากจุด Seed i ไปยังจุดลูกค้า j ; d_j แทนความต้องการสินค้าแต่ละ

ลูกค้า; q_k แทนความจุของยานพาหนะคันที่ k ; nv แทนจำนวนยานพาหนะที่ต้องการใช้

ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี: x_{ij} เท่ากับ 1 ถ้ามีการเดินทางจาก Seed i ไปยังลูกค้า j ; x_{ij} เท่ากับ 0 ถ้าไม่มีการเดินทางจาก Seed i ไปยังลูกค้า j ; y_{ik} เท่ากับ 1 ถ้ายานพาหนะคันที่ k ถูกกำหนดไว้ที่ Seed i ; y_{ik} เท่ากับ 0 ถ้ายานพาหนะคันที่ k ไม่ถูกกำหนดไว้ที่ Seed i

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min. } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J dt_{ij} x_{ij} \quad (12)$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1, \quad \forall j=1,2,3,\dots,J \quad (13)$$

$$\sum_{k=1}^K y_{ik} \leq 1, \quad \forall i=1,2,3,\dots,I \quad (14)$$

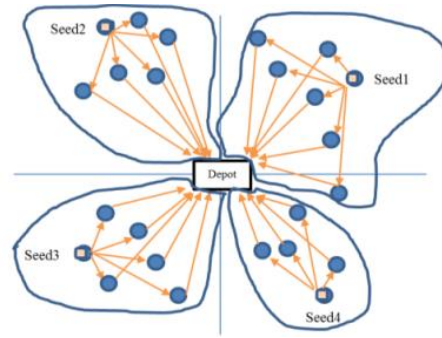
$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K y_{ik} = nv \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^J d_j x_{ij} \leq \sum_{k=1}^K q_k y_{ik}, \quad \forall i \quad (16)$$

$$x_{ij}, y_{ik} \in \{0,1\} \quad (17)$$

สมการที่ (12) เป็นสมการวัตถุประสงค์เพื่อต้นทุนระยะทางโดยรวมต่ำสุด สมการที่ (13) ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจาก seed (ยานพาหนะ) ได้เพียงหนึ่งคันเท่านั้น สมการที่ (14) ที่ตำแหน่ง Seed จะตั้งยานพาหนะ k ได้เพียงหนึ่งคันเท่านั้น สมการที่ (15) กำหนดจำนวนยานพาหนะ หรือจำนวน Seed ที่ต้องการติดตั้ง สมการที่ (16) ผลรวมความต้องการสินค้าที่ Seed ที่เปิดต้องน้อยกว่าความจุของยานพาหนะที่ติดตั้งที่ตำแหน่ง Seed นั้น สมการที่ (17) ตัวแปร x_{ij} และ y_{ik} เป็นตัวแปรแบบไบนารี

ขั้นตอนที่ 2 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มอบหมายงานทั่วไป (Generalized Assignment Problem model, GAP model) เพื่อจัดกลุ่มลูกค้าให้กับยานพาหนะแต่ละคัน (Seed) โดยแนวคิดของการจัดสรรลูกค้าให้กับแต่ละ Seed ดังแสดงในรูปที่ 3 และสามารถสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ GAP ถูกสร้างขึ้นเพื่อจัดสรรลูกค้าให้แก่กลุ่มโดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3 การจัดกลุ่มลูกค้าโดยใช้ GAP model

ดัชนี: k เป็นตำแหน่งที่ตั้งของยานพาหนะ k ; j เป็นตำแหน่งของลูกค้า $j = 1, 2, 3, \dots, J$

พารามิเตอร์: c_{kj} แทนต้นทุนแทรกจากจุด Seed k ไปยังลูกค้า j ; d_j แทนความต้องการสินค้าแต่ละลูกค้า j ; cv_k แทนความจุของยานพาหนะคันที่ k

ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี: y_{kj} เท่ากับ 1 ถ้ารถคันที่ k ถูกกำหนดให้บริการลูกค้า j ; y_{kj} เท่ากับ 0 ถ้ายานพาหนะคันที่ k ไม่ถูกกำหนดให้บริการลูกค้า j ; z_k เท่ากับ 1 ถ้ายานพาหนะคันที่ k ถูกใช้บริการ; z_k เท่ากับ 0 ถ้ายานพาหนะคันที่ k ไม่ถูกใช้บริการ

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min. } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J c_{kj} y_{kj} \quad (18)$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_{k=1}^K y_{kj} = 1, \quad \forall j=1,2,3,\dots,J \quad (19)$$

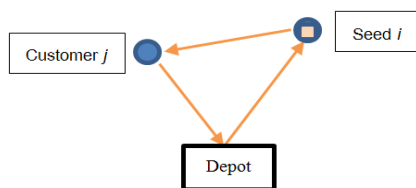
$$z_k \geq y_{kj}, \quad \forall k, \forall j \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^J d_j y_{kj} \leq q_k z_k, \quad \forall k \quad (21)$$

$$y_{kj}, z_k \in \{0,1\} \quad (22)$$

สมการที่ (18) เป็นสมการวัตถุประสงค์เพื่อต้นทุนแทรกโดยรวมต่ำสุด สมการที่ (19) ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากยานพาหนะเพียงหนึ่งคันเท่านั้น สมการที่ (20) ยานพาหนะ k จะให้บริการลูกค้า j ได้ก็ต่อเมื่อยานพาหนะ k ได้ถูกนำมาใช้แล้วเท่านั้น สมการที่ (21) แต่ละยานพาหนะ k จะบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินความจุของตัวเอง สมการที่ (22) ตัวแปร y_{kj} และ z_k เป็นตัวแปรแบบไบนารี

3.3.1 การคำนวณต้นทุนแทรก (Insertion Cost)
การคำนวณต้นทุนแทรก ดังแสดงในรูปที่ 4 และสมการที่ 23

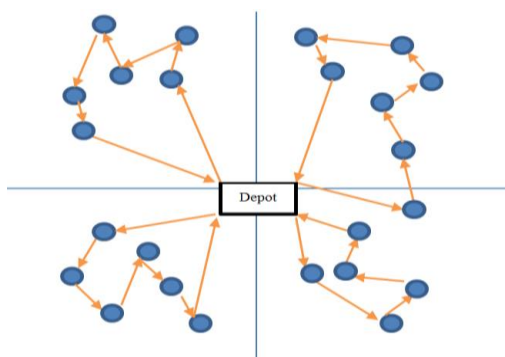


รูปที่ 4 แนวคิดการคำนวณต้นทุนแทรก (c_{kj})

$$c_{kj} = dt_{sj} + dt_{j0} - dt_{0s} \quad (23)$$

เมื่อ c_{kj} คือต้นทุนแทรก, dt_{sj} คือระยะทางจาก seed ไปยังลูกค้า j , dt_{j0} คือระยะทางจากลูกค้า j ไปยัง depot และ dt_{0s} คือระยะทางจาก depot ไปยัง seed

ขั้นตอนที่ 3 จัดลำดับการขนส่งสินค้าให้แต่ละกลุ่มในบทความนี้จะใช้ TSP model [21] โดยแนวคิดของ TSP แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 จัดลำดับการขนส่งโดยใช้ TSP Model

สำหรับตัวแบบ TSP สามารถค้นหาได้ในวรรณกรรมทั่วไป [21] จากนั้นนำตัวแบบนี้มาเขียนและประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Lingo

4. การประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา

ผลการศึกษาที่ได้จากระเบียบวิธีวิจัยในครั้งนี้จะเป็นการนำเสนอหัวข้อสำคัญที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยการสัมภาษณ์เจ้าของสถานประกอบการ 1 คน และพนักงานจัดส่งสินค้าจำนวน 3 คน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้อ เช่น (1) รายชื่อและจำนวนลูกค้าที่ขนส่งในแต่ละวัน (2) ปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อในแต่ละวัน (3) จำนวนและความจุของรถ (4) เส้นทางในการเดินทางในแต่ละวันการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลในช่วง เดือนธันวาคม 2562 จำนวน 3 วันต่อเนื่อง จากนั้นนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาสร้างเมทริกซ์ระยะทางใน Excel ดังแสดงในภาคผนวก

4.2 ผลเฉลยของฮิวริสติกฟิชเชอร์แอนโจคูมาร์สำหรับปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

ฮิวริสติกฟิชเชอร์แอนโจคูมาร์ในหัวข้อที่ 3.3 สามารถนำมาใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งในแต่ละวันได้ดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณวันที่ 1 เริ่มจากขั้นตอนที่ 1 เลือกตำแหน่งที่ตั้งของยานพาหนะ (Seed) โดยใช้สมการที่ (11) ถึง (16) โดยกำหนดข้อมูลดังนี้ 1. สร้างเมทริกซ์ระยะทาง ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีข้อมูล dt_{ij} , d_j , cv_k และ nv โดยกำหนด $nv = 3$ คัน และ $cv_1 = 600$ กิโลกรัม, $cv_2 = 600$ กิโลกรัม และ $cv_3 = 600$ กิโลกรัม หลังจากนั้นใช้ซอฟต์แวร์ Lingo ในการประมวลผล ซึ่งผลเฉลยจากการคำนวณได้ตำแหน่งของ seed ที่ C5, C6 และ C12 (เป็นตำแหน่งที่ตั้งของยานพาหนะคันที่ 1 คันที่ 2 และคันที่ 3 ตามลำดับ) จากนั้นคำนวณค่าต้นทุนแทรกโดยใช้สมการที่ (23) โดยตัวอย่างการคำนวณแสดงดังนี้

$$c_{s_1c_1} = dt_{s_1c_1} + dt_{c_1s_1} - dt_{s_10} = 39.6 + 11.1 - 21.1 = 29.6$$

ส่วนรายละเอียดต้นทุนแทรกอื่นแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการคำนวณต้นทุนแทรก

ต้นทุนแทรก	C5 (S_1)	C6 (S_2)	C12 (S_3)
C1	29.6	45.6	37.7
C2	43.9	64	71.1
C3	42	62.1	66.5
C4	62.3	52	82.9
C5	37.4	62.4	65.8
C6	67.2	54.4	88.1
C7	64.6	60.9	89.6

ต้นทุนแทรก	C5 (S ₁)	C6 (S ₂)	C12 (S ₃)
C8	63.3	88.6	91.6
C9	68.1	93.5	96.5
C10	75.3	84.6	69.2
C11	76.6	88.9	55.9
C12	78.6	89.6	55.6
C13	79	96.5	49
C14	92.6	114.4	62.6
C15	83	100.5	53.6
C16	25.1	46.9	19.4

หลังจากได้ตารางต้นทุนแทรกแล้วนำข้อมูลเหล่านี้ใส่ในตัวแทนทางคณิตศาสตร์ GAP Model ดังแสดงในสมการที่ (18) ถึง (22) จะได้ผลการจัดกลุ่มลูกค้าดังนี้ seed 1 ประกอบด้วยลูกค้า C2, C3, C5, C8, C9, C16 seed 2 ประกอบด้วยลูกค้า C1, C4, C6, C7 และ seed 3 ประกอบด้วยลูกค้า C10, C11, C12, C13, C14, C15

หลังจากการจัดกลุ่มให้แต่ละ seed แล้ว จากนั้นนำข้อมูลของแต่ละกลุ่มไปจัดลำดับการขนส่งโดยใช้ตัวแทนทางคณิตศาสตร์ TSP Model โดยรายละเอียดการคำนวณของวันที่ 2 และวันที่ 3 ใช้ขั้นตอนเดียวกันกับวันที่ 1 ซึ่งได้ผลการจัดเส้นทางขนส่งดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้อัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์โจคุมาร์

วันที่ 1	เส้นทางขนส่ง (กิโลเมตร)
รถคันที่ 1	R1: D-C2-C3-C5-C8-C9-C16-D 18.2+0.35+3.2+14.6+5.1+37.8+27.6 = 106.85 กิโลเมตร
รถคันที่ 2	R2: D-C4-C6-C7-C1-D 19.4+8.7+4.9+16.8+18.5=68.30 กิโลเมตร
รถคันที่ 3	R3: D-C14-C15-C13-C12-C11-C10-D 19.8+15.6+1.6+6.8+1.3+16.9+7.4 = 69.40 กิโลเมตร
ระยะทางรวม	244.55 กิโลเมตร
วันที่ 2	เส้นทางขนส่ง (กิโลเมตร)
รถคันที่ 1	R1: D-C3-C2-C5-C4-D 59.9+1.8+3.8+0.5+58.8 =124.30 กิโลเมตร
รถคันที่ 2	R2: D-C15-C7-C14-C13-D 73.9+5.6+3.2+4+70.9=157.60 กิโลเมตร

รถคันที่ 3	R3: D-C11-C10-C12-C9-C8-C6-C1-D 69.8+1.9+1.7+0.8+0.35+0.65+54.9+39.6 =169.70 กิโลเมตร
ระยะทางรวม	451.60 กิโลเมตร
วันที่ 3	เส้นทางขนส่ง (กิโลเมตร)
รถคันที่ 1	R1: D-C5-C2-C8-C11-C9-C10-C16-C17-D 1.2+1+11.8+16.8+8.2+3.8+6.4+3.4+1.9 = 54.50 กิโลเมตร
รถคันที่ 2	R2: D-C15-C3-C12-C4-C7-C18-D 4+2.8+0.35+0.15+0.19+0.13+1 = 8.62 กิโลเมตร
รถคันที่ 3	R3: D-C6-C14-C13-C20-C1-C21-C19-D 1.5+0.35+0.9+0.5+0.95+0.7+0.28+1.7 = 6.88 กิโลเมตร
ระยะทางรวม	70.00 กิโลเมตร
รวมระยะเดินทางทั้ง 3 วัน มีระยะทางโดยรวม 766.15 กิโลเมตร	

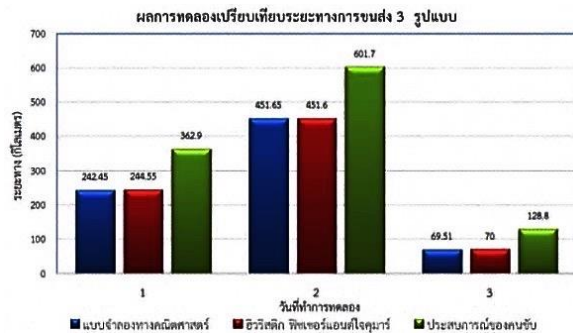
4.3 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมฟิชเชอร์และโจคุมาร์

ผลการเปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางขนส่ง 3 วิธี ประกอบด้วย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์โจคุมาร์ และประสบการณ์ของคนขับ ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบเส้นทางขนส่งทั้ง 3 วิธี

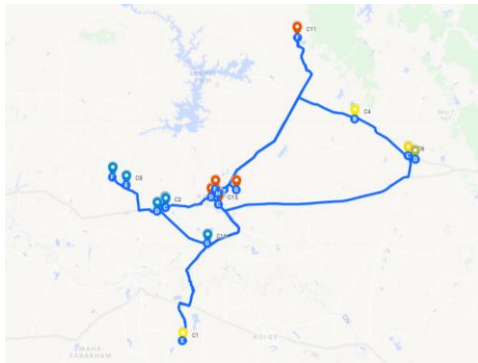
วันที่	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (กิโลเมตร)	อัลกอริทึมฟิชเชอร์แอนด์โจคุมาร์ (กิโลเมตร)	ประสบการณ์ของคนขับ (กิโลเมตร)
1	242.45*	244.55	362.9
2	451.65*	451.60	601.7
3	69.51*	70.00	128.8
รวม	763.61	766.15	1,093.40

* เวลาในการประมวลผลด้วย Lingo เท่ากับ 48 ชั่วโมง



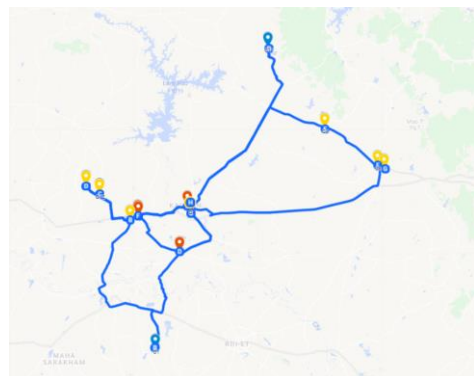
รูปที่ 6 เปรียบเทียบระยะทางการขนส่งของทั้ง 3 วิธี

ผลการจัดเส้นทางของวันที่ 1 ด้วยอัลกอริทึมพิกเซอร์แอนด์ไจคุมาร์ และประสบการณ์ของคนขับ ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ตัวอย่างเส้นทางวันที่ 1 ด้วยอัลกอริทึมพิกเซอร์แอนด์ไจคุมาร์

การจัดเส้นทางของการขนส่งของวันที่ 1 โดยใช้ อัลกอริทึมพิกเซอร์แอนด์ไจคุมาร์



รูปที่ 8 ตัวอย่างเส้นทางวันที่ 1 ด้วยประสบการณ์ของคนขับ

การจัดเส้นทางของการขนส่งของวันที่ 1 โดยใช้ ประสบการณ์ของคนขับ

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองปัญหา CVRP พบว่าการใช้ซอฟต์แวร์ Lingo ได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 48 ชั่วโมง ซึ่งไม่สามารถใช้สำหรับการวางแผนจัดเส้นทาง การขนส่งในทางปฏิบัติได้ เพราะการจัดส่งสินค้าเป็นแบบ รับคำสั่งซื้อแบบสั่งวันนี้ต้องได้รับสินค้าในวันพรุ่งนี้ ดังนั้น ในทางปฏิบัติการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพิกเซอร์แอนด์ไจคุ มาร์จึงมีความเหมาะสมกว่าวิธีแมนตรึงที่ต้องใช้เวลานานใน การประมวลผล โดยผลลัพธ์ที่ได้จากอัลกอริทึมที่นำเสนอ สามารถลดระยะทางขนส่งโดยรวม จากเดิมที่ใช้ ประสบการณ์คนขับรถ 1,093.40 กิโลเมตร ลดลงเหลือ 766.15 กิโลเมตร คิดเป็น 29.93% ซึ่งผลการจัดเส้นทาง การขนส่ง ดังนี้ วันที่ 1: ระยะทางการขนส่งโดยรวม เท่ากับ 244.55 กิโลเมตร ; วันที่ 2 : ระยะทางการขนส่งโดยรวม เท่ากับ 451.60 กิโลเมตร ; วันที่ 3 : ระยะทางการขนส่ง โดยรวม เท่ากับ 70.00 กิโลเมตร

จากผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึมพิกเซอร์แอนด์ไจคุ มาร์ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตามในอนาคต สามารถนำอัลกอริทึมนี้ไปบูรณาการร่วมกับวิธีการอื่น เช่น GA, SA และ วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) เพื่อให้คุณภาพของคำตอบดีขึ้น หรืออีกแนวทางหนึ่งคือการ นำอัลกอริทึมที่นำเสนอไปใช้ในกรณีศึกษาอื่น ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัย ภาพสินธุ์ และขอขอบคุณสถานประกอบการที่ให้ข้อมูล และ สุตท้ายข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ข้อเสนอแนะ งานวิจัยฉบับนี้ในศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2562, “สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ,” [ออนไลน์]. ที่มา:

- https://www.nesdc.go.th/more_news.php?cid=717&filename=. [วันที่เข้าถึง 16 กรกฎาคม 2564].
- [2] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, "The truck dispatching problem," *Management Science.*, vol. 6, no. 1, pp. 80–91, 1959.
- [3] ณัฏฐ์ดนัย สุพัฒน์ธนานนท์ และ ปณัฑพร เรืองเชิงชุม, "การเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม: กรณีศึกษาธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่ม," *วารสารศรีปทุมปริทัศน์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.*, ปีที่ 12, น. 37-50, 2563.
- [4] สุวิมล คำแสน, อธิวัฒน์ บุญมี และ อัมภิกา บุญมี, "การวางแผนเส้นทางการเยี่ยมชมจุดท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบเวลาโดยประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม: กรณีศึกษาเมืองจำลอง จังหวัดชลบุรี," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน.*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, น. 1-12, 2561.
- [5] นรงค์ วิหาพา, ไทยทัศน์ สุดสวนสี และ พรเทพ ขอบข่ายเกียรติ, "การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบผสมผสานด้วยฮิวริสติกแบบแทรกไปข้างหน้าและวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, น. 4-13, 2562.
- [6] T. Sultana, M. A. H. Akhand and M. M. Hafizur Rahman, "A Variant Fisher and Jaikumar Algorithm to Solve Capacitated Vehicle Routing Problem," in *8th International Conference on Information Technology (ICIT)*, Jordan, 2017.
- [7] P. Hokama, F. K. Miyazawa and E. C. Xavier, "A branch – and – cut approach for the vehicle routing problem with loading constraints," *Expert Systems with Applications.*, vol. 47, pp. 1-13, 2016.
- [8] J. Oppen, A. Løkketangen and J. Desrosiers, "Solving a rich vehicle routing and inventory problem using column generation," *Computer & Operations Research.*, vol. 37, no. 7, pp. 1308 -1317, 2010.
- [9] Y. Yu, S. Wang, J. Wang and M. Huang, "A branch-and-price algorithm for the heterogeneous fleet green vehicle routing problem with time windows," *Transportation Research Part B.*, vol. 122, pp. 511-527, 2019.
- [10] M. L. Fisher and R. Jaikumar, "A generalized assignment heuristic for vehicle routing," *Networks and International journal.*, vol. 11, no. 2, pp. 109–124, 1981.
- [11] R.Hanafi, Rusma, F. Mardin, S.M. Parenreng and A. Azzali, "Distribution Route Optimization of a Capacitated Vehicle Routing Problem by Sweep Algorithm," in *EICSE (Third EPI International Conference on Science and Engineering)*, 2019.
- [12] N.Wichapa and P.Khokhajaikiat, "Solving a multi-objective location routing problem for infectious waste disposal using hybrid goal programming and hybrid genetic algorithm," *International Journal of Industrial Engineering Computations.*, vol. 9, no. 1, pp. 75–98, 2018.
- [13] จิตินันท์ ศรีสุวรรณดี และ ระพีพันธ์ ปีตาเคโส, "การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะด้วยวิธีการอาณานิคมมดกรณีศึกษาบริษัทเจียร์นายน้ำดื่ม," *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 15, น.706-714, 2012.
- [14] B. Ombuki, B. J. Ross and F. Hranshar, "Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows," *Applied Intelligence.*, vol.24, no. 1, pp.7-30, 2006.
- [15] ภิกขญา คงแก้ว และ ธนัญญา วสุศรี, "การพัฒนาฮิวริสติกเพื่อการจัดสรรเส้นทางการรับและส่งสินค้าที่มีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลาย," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, น.111-123, 2560.
- [16] กนกวรรณ สุภักดี, ภัทรา สอนโสภะเชือก, เกียรติศักดิ์ พระเนตร และ ฐาตา โคตรมงคล, "การพัฒนาแบบการจัดเส้นทางรถขนส่งนมโรงเรียนในจังหวัดอุบลและศรีสะเกษ," *วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย.*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, น.59-65, 2562.

- [17] M. Gendreau, G. Laporte, C. Musaraganyi And E. D. Taillard, "A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem," *Computers and Operations Research.*, vol. 26, no. 12, pp. 1153-1173. 1999.
- [18] Y. Marinkis, G. R. Ordanidou and M. Marinaki, "Particle swarm optimization for the vehicle routing problem with stochastic demands," *Journal of Applied Soft Computing.*, vol.13, no. 4, pp. 1693-1704, 2013.
- [19] W. Chowmalia and S. Suktoa, "A novel two-phase approach for solving the multi-compartment vehicle routing problem with a heterogeneous fleet of vehicles: a case study on fuel delivery," *Decision Science Letters.*, vol.9, no. 1, pp. 77-90, 2020.
- [20] W. Chowmalia and S. Suktoa, "A hybrid FJA-ALNS algorithm for solving the multi-compartment vehicle routing problem with a heterogeneous fleet of vehicles for the fuel delivery problem," *Decision Science Letters.*, vol.10, no. 4, pp. 497-510, 2021.
- [21] Applegate and et al, "On the solution of travelling salesman problems," *Documenta Mathematica.*, vol. 3, pp. 645- 656, 1998.

7. ภาคผนวก

ตารางที่ 1 แสดงเมตริกซ์ระยะทางของลูกตัวที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงตัวชี้วัดของหลักสูตรที่ 1																			
d	0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	d _j	
0	0	18.5	18.2	18.5	19.4	21.1	15	19.8	35.7	40.4	7.4	15.4	15.1	21.9	19.8	22.9	27.6	0	
1	C1	18.5	0	10.6	10.5	27.2	11.1	21	16.8	25.7	30.4	23.2	18.6	19.8	20	33.9	20.9	9.4	168
2	C2	18.2	10.6	0	0.35	23.1	2.9	16.9	12.6	17.5	22.1	23.9	29.6	28	30.9	44.9	31.9	22.1	75
3	C3	18.5	10.5	0.35	0	23.4	3.2	17.2	13	17.8	22.5	24.2	27.2	28.3	28.5	42.4	29.5	17.9	82
4	C4	19.4	27.2	23.1	23.4	0	25.1	8.7	12.9	39.7	44.3	35	40	39.7	46.5	60.4	47.5	40.2	75
5	C5	21.1	11.1	2.9	3.2	25.1	0	18.9	14.7	14.6	19.2	25.9	27.9	29	29.2	43.1	30.2	18.6	123
6	C6	15	21	16.9	17.2	8.7	18.9	0	4.9	33.8	38.5	29.1	34.1	33.9	40.6	58.8	41.6	34.3	145
7	C7	19.8	16.8	12.6	13	12.9	14.7	4.9	0	69.4	74.1	42.4	41.6	41.4	40.5	28.5	42.2	54.2	83
8	C8	35.7	25.7	17.5	17.8	39.7	44.3	38.5	69.4	0	5.1	40.4	42.4	43.6	43.7	57.7	47.8	33.2	85
9	C9	40.4	30.4	22.1	22.5	44.3	19.2	38.5	74.1	5.1	0	45	47	48.2	48.4	62.3	49.4	37.8	125
10	C10	7.4	23.2	23.9	24.2	35	25.9	29.1	42.4	40.4	45	0	16.9	16.7	20.6	34.5	24.4	26.4	87
11	C11	15.4	18.6	29.6	27.2	40	27.9	34.1	41.6	42.4	47	16.9	0	1.3	8	21.8	9	12.4	98
12	C12	15.1	19.8	28	28.3	39.7	29	33.9	41.4	43.6	48.2	16.7	1.3	0	6.8	21.1	10.9	13.5	130
13	C13	21.9	20	30.9	28.5	46.5	29.2	40.6	40.5	43.7	48.4	20.6	8	6.8	0	13.9	1.6	13.7	105
14	C14	19.8	33.9	44.9	42.4	60.4	43.1	58.8	28.5	57.7	62.3	34.5	21.8	21.1	13.9	0	15.6	15.6	83
15	C15	22.9	20.9	31.9	29.5	47.5	30.2	41.6	42.2	47.8	49.4	24.4	9	10.9	1.6	15.6	0	14.6	93
16	C16	27.6	9.4	22.1	17.9	40.2	18.6	34.3	54.2	33.2	37.8	26.4	12.4	13.5	13.7	15.6	14.6	0	95

ตารางที่ 1 แสดงเมตริกซ์ระยะทางของลูกตัวที่ 2

d_j	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
0	0	39.6	62.1	59.9	58.3	58.5	69.4	71	69.8	70	70.5	69.8	70.7	70.9	70.6	73.9
1	39.6	0	78.3	76.9	77.3	75	54.9	56.5	55.3	55.5	56	57.7	56.2	56.4	56.1	59.4
2	62.1	78.3	0	1.8	6.2	3.8	23.6	25.7	23.5	23.7	24.1	24.9	23.5	25.7	25.3	31.4
3	59.9	76.9	1.8	0	2.1	2.1	21.9	24	21.8	22	22.4	23.2	21.8	23.3	23.6	29.7
4	58.3	77.3	3.8	2.1	0	0.5	20.4	22.5	20.3	20.4	20.8	21.6	20.3	21.8	22	28.1
5	58.5	75	3.8	2.1	0.5	0	20.4	22.5	20.3	20.4	20.8	21.6	20.3	21.8	22	28.1
6	69.4	54.9	23.6	21.9	20.4	20.4	0	2.2	0.65	0.55	1.6	3.3	1.3	2.1	1.8	7.9
7	71	56.5	25.7	24	22.5	22.5	2.2	0	2.8	2.6	3.9	5.6	3.4	3.6	3.2	5.6
8	69.8	55.3	23.5	21.8	20.3	20.3	0.65	2.8	0	0.35	1.1	2.7	1.1	3	2.9	8.8
9	70	55.5	23.7	22	20.4	20.4	0.55	2.6	0.35	0	1.3	3.1	0.8	3.4	2.6	8.7
10	70.5	56	24.1	22.4	20.8	20.8	1.6	3.9	1.1	1.3	0	1.9	1.7	3.8	3.4	9.5
11	69.8	57.7	24.9	23.2	21.6	21.6	3.3	5.6	2.7	3.1	1.9	0	3.4	5.5	5.2	11.3
12	70.7	56.2	23.5	21.8	20.3	20.3	3.4	1.1	0.8	1.7	3.4	0	4.4	7.9	12.3	8.9
13	70.9	56.4	25.7	23.3	21.8	21.8	5.6	2.1	3.6	3	3.4	5.5	4.4	0	4	11.6
14	70.6	56.1	25.3	23.6	22	22	56.1	1.8	3.2	2.9	2.6	3.4	5.2	7.9	4	7.6
15	73.9	59.4	31.4	29.7	28.1	28.1	59.4	7.9	8.8	8.7	9.5	11.3	12.3	11.6	7.6	0

ตารางที่ 1 แสดงเมตริกซ์ระยะทางของลูกตัวที่ 3

d_j	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21
0	0	2.2	1.5	1.3	1.4	1.2	1.5	1.2	1.2	6	9.2	10	1.2	2.3	1.8	4	4	1.9	1	1.7	2.1
1	2.2	0	1.5	1.6	1.4	1.7	1.8	1.3	1.3	6.8	9.9	10.7	1.3	1.2	1.8	4.1	5.5	3.8	1.1	1.2	0.95
2	1.5	1.6	0	1.6	1	1	1.7	1.4	1.1	5.3	8.4	13.3	1.3	1.9	1.9	4.3	4.8	3.6	0.9	1.2	2.4
3	1.3	1.6	1.6	0	0.5	0.55	0.2	0.7	1.3	7.8	10.9	15.8	0.35	1.7	0.55	2.8	4.2	3	0.65	0.95	1.8
4	1.4	1.4	1	0.5	0	0.3	0.7	0.19	1.29	5.8	8.9	13.8	0.15	1.3	1.2	3.4	3.9	2.8	1.3	0.65	1
5	1.2	1.7	1	0.55	0.3	0	0.7	0.5	1.24	5.5	8.6	13.5	1.3	1.9	1.4	3.6	4.1	2.9	0.6	1.4	1.8
6	1.5	1.8	1.7	0.2	0.7	0.7	0	1	1.31	7.6	10	15.6	0.8	1.3	0.35	2.6	4	2.9	1.3	1.1	1.1
7	1.2	1.3	1.4	0.7	0.19	0.5	1	0	1.29	5.9	9	13.9	0.35	1.5	1.4	3.7	4.1	2.9	0.13	0.85	1.3
8	1.2	1.3	1.4	0.7	0.19	0.5	1	0	1.29	5.9	9	13.9	0.35	1.5	1.4	3.7	4.1	2.9	0.13	0.85	1.3
9	6	9.2	9.9	8.4	10.9	8.9	8.6	10	9	13.9	3.8	0	11.7	9.6	11.3	10.6	12	6.4	8.2	9.5	11.4
10	9.2	10	10.7	9.6	11.3	10.6	12	6.4	8.2	9.5	11.4	10	8.1	11.7	10.6	12	6.4	8.2	9.5	11.4	10
11	14	14.7	13.3	15.8	13.8	13.5	15.6	13.9	16.8	8.2	11.7	0	11.8	13.5	12.8	14.2	13.4	10.4	11.1	11.7	13.6
12	12	12	1.5	1.3	0.35	0.15	1.3	0.8	0.35	1.31	6.5	9.6	11.8	0	1.4	0.9	3.1	3.6	2.4	0.28	0.8
13	2.3	1.2	1.9	1.7	1.3	1.9	1.3	1.5	1.38	7.1	11.3	13.5	1.4	0	0.9	3.2	4.6	2.7	1.6	1.4	1
14	1.8	1.8	1.9	0.55	1.2	1.4	0.35	1.4	1.34	6.6	10.6	12.8	0.9	0.9	0	2.4	3.8	4.2	4.3	4.1	3.6
15	4	4.1	4.3	2.8	3.4	3.6	2.6	3.7	19.1	9	12	14.2	3.1	3.2	2.4	0	3	3.4	4.3	4.2	4.7
16	4	5.5	4.8	4.2	3.9	4.1	4	4.1	18.3	8.2	6.4	13.4	3.6	4.6	3.8	3	0	2.7	3.3	3.8	3.6
17	1.9	3.8	3.6	3	2.8	2.9	2.9	2.9	13.6	5.2	8.2	10.6	2.6	3.5	2.7	4.2	3.0	2.7	0	0.75	1.2
18	1	1.1	0.9	0.65	1.3	0.6	1.3	0.13	1.26	5.8	8.9	11.1	0.28	1.7	1.6	4.3	4.3	3.3	0.75	0	0.5
19	1.7	1.2	1.2	0.95	0.65	1.4	1.1	0.45	1.31	6.5	9.5	11.7	0.8	1.1	1.4	4.1	4.2	3.8	1.2	0.5	0
20	2.1	0.95	2.4	1.8	1	1.8	1.1	1.3	14.2	6.9	11.4	13.6	1.2	0.5	1	3.6	4.7	3.6	1	0.28	0.25
21	1.9	0.7	1.8	1.9	0.9	1.4	1.1	1.1	13.6	8.3	11.5	21	1.1	0.7	1	3.7	4.7	2.7	1.6	1.4	1

ตัวแบบสินค้าคงคลังสองระดับเมื่อมีความต้องการสินค้าไม่แน่นอน

ศิริประภา มโนมัยย์¹

คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Received: 15 September 2021; Revised: 27 November 2021; Accepted: 28 December 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบสินค้าคงคลังสองระดับกรณีที่มีความต้องการสินค้าไม่แน่นอนและเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของตัวแบบโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบขั้นตอนวิธีแมลงปอ (Dragonfly Algorithms; DA) วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization ; PSO) และขั้นตอนวิธีค้างคาว (Bat Algorithm ; BA) ศึกษาภายใต้สถานการณ์สินค้าสองรายการมีความต้องการสินค้าที่เท่ากัน และไม่เท่ากัน โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ รอบของการค้นหาคำตอบ จำนวนสินค้ารายการที่บรรจุในแต่ละแพ็คเกจ ราคาสินค้าต่อหน่วย ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการจัดส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเนื่องจากสินค้าไม่พอจำหน่าย ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ ค่าใช้จ่ายในการสั่งผลิต ค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้าต่อหน่วยต่อหน่วยเวลาของผู้ขาย ค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้าต่อหน่วยต่อหน่วยเวลาของผู้ซื้อ ประสิทธิภาพของวิธีการค้นหาคำตอบพิจารณาจากการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละวิธี ผลการวิจัยพบว่า วิธี DA ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีอื่นและเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อจำนวนรอบการค้นหาคำตอบมากกว่าหรือเท่ากับ 50 ในขณะที่วิธี PSO เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดและเริ่มเสถียรที่จำนวนรอบของการค้นหาคำตอบมากกว่า 500 สำหรับวิธี BA ให้คำตอบที่ด้อยกว่าวิธีอื่นทุกกรณี

คำสำคัญ: ตัวแบบสินค้าคงคลังสองระดับ, ความต้องการสินค้าไม่แน่นอน, เมตาฮิวริสติก

* Corresponding author. E-mail: sirapapa.m@sci.kmutnb.ac.th

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Two-echelon Inventory Model with Uncertainty Demand

Siraprapa Manomat¹

Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB),
1518 Pracharat 1 Rd., Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800, Thailand

Received: 15 September 2021; Revised: 27 November 2021; Accepted: 28 December 2021

Abstract

This research aims to develop a two-echelon inventory model under uncertain demand and to compare three meta heuristic method such as a Dragonfly Algorithm (DA), Particle Swarm Optimization (PSO) and Bat Algorithm (BA). Two products with equal and unequal demand are studied in various parameters such as iteration, the number of products in each package, purchasing price per unit, backorder cost per unit, shortage cost for each unit that is lost sale, constant cost per order, buyer's constant product cost for each setup, vendor's holding cost per unit time per unit and buyer's holding cost per unit time per unit parameters. Minimum total inventory costs are investigated. The results showed that the DA method approach to the optimal solution when the iterations are greater than or equal to 50, while the PSO method approach to the optimal solution when the iterations are greater than 500. The BA method is inferior answers in all cases.

Keywords: Two-echelon inventory model, Uncertainty demand, Meta heuristic

* Corresponding author. E-mail: siraprapa.m@sci.kmutnb.ac.th

¹ Assistant Professor in Faculty of applied science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

1. บทนำ

การจัดการสินค้าคงคลังเป็นกิจกรรมหนึ่งในกระบวนการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (Logistic and supply chain) ซึ่งการจัดการสินค้าคงคลังที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดต้นทุนรวมของระบบได้ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการบริหารจัดการสินค้าคงคลังได้แก่ ลักษณะความต้องการสินค้า ระบบการเติมเต็มสินค้า และนโยบายสินค้าคงคลัง มีผู้พัฒนาแบบที่ใช้ในการแก้ปัญหาสินค้าคงคลังที่แตกต่างกันไป ซึ่งส่วนใหญ่จะศึกษาภายใต้ความต้องการสินค้าคงที่ (Deterministic demand) หรือเป็นระบบสินค้าคงคลังภายใต้คลังเดียว (Single-echelon inventory system) อย่างไรก็ตามระบบการกระจายสินค้าในปัจจุบันมิใช่เป็นลักษณะคลังสินค้าระดับเดียว อาจมีศูนย์กระจายสินค้าก่อนจัดส่งถึงร้านค้าปลีก เพื่อความรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง รูปแบบดังกล่าวเรียกว่าระบบสินค้าคงคลัง 2 ระดับ (Two-echelon inventory systems) โดยระดับที่ 1 คือคลังสินค้าของร้านค้าปลีก และระดับที่ 2 คือคลังสินค้าของศูนย์กระจายสินค้า ทำหน้าที่เติมสินค้าให้กับร้านค้าปลีก ซึ่งมีผู้พัฒนาและออกแบบนโยบายสำหรับแก้ปัญหาสินค้าคงคลังสองระดับอย่างต่อเนื่อง เช่น วราภรณ์ พกนันท และคณะ [1] ได้ศึกษาแบบจำลองการเติมเต็มร่วม สำหรับระบบสินค้าแบบสองระดับ ภายใต้การศึกษาระยะเวลานำ, จารุมาศ แสงสว่าง และวุฒิชัย ศรีโสตาพล [2] ได้พัฒนาแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับที่มีเวลานำและมีการคืนสินค้าที่ขึ้นอยู่กับความต้องการสินค้า, Yang และ Zeng [3] ได้พัฒนาแบบและวิธีการหาตำแหน่งการตั้งคลังสินค้าแบบสองระดับ, Sadjady และ Davoudpour [4] ได้ออกแบบระบบโซ่อุปทานที่มีคลังสินค้าแบบสองระดับสำหรับสินค้าหลายรายการ Mahmoodi และคณะ [5] ได้พัฒนาแบบสินค้าคงคลังสองระดับที่มีการเติมเต็มสินค้าและมีนโยบายยอมให้เกิดการขาดแคลนสินค้า

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่าการใช้ตัวแบบแทนระบบของปัญหา ตัวแบบจะแตกต่างกันไปตามข้อตกลงเบื้องต้น และเงื่อนไขต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดตัวแบบสินค้าคงคลังมากมาย การวิเคราะห์ปัญหาสินค้าคงคลังนั้นจึงต้องเลือกตัวแบบให้เหมาะสมกับสภาพปัญหาในสถานการณ์จริง ตามปัจจัยที่กล่าวไปแล้ว นอกจากนี้

การเลือกตัวแบบที่เหมาะสมแล้ว การเลือกวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมก็เป็นประเด็นสำคัญที่ต้องทำการศึกษาต่อไป เนื่องจากตัวแบบสินค้าคงคลังตั้งแต่สองระดับขึ้นไปมีความซับซ้อนและมีตัวแปรที่ต้องหาคำตอบจำนวนมาก โดยทั่วไปจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จะมากจนไม่สามารถใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ธรรมดาแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมได้ วิธีการหาคำตอบที่นิยมใช้ในกรณีนี้ได้แก่วิธีฮิวริสติก (Heuristic) และวิธีเมตาฮิวริสติก (Meta heuristic) ซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีการประมาณการคำตอบอย่างมีหลักการ ส่วนวิธีเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการประมาณการคำตอบที่พัฒนาภายหลังและใช้แนวคิดจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ โดยเฉพาะพฤติกรรมของสัตว์สังคม เช่น มด ผีเสื้อ ค้างคาว หรือแมลงเป็นต้น วิธีการประมาณคำตอบทั้งสองแบบนี้มิได้รับประกันว่าคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่เป็นวิธีที่ลดระยะเวลาในการคำนวณคำตอบได้อย่างมาก

การนำวิธีเมตาฮิวริสติกมาแก้ปัญหาตัวแบบสินค้าคงคลังได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น Samani และ Hosseimi-Motlagh [6] ได้ใช้ขั้นตอนวิธีแบบผสมผสาน (Hybrid Algorithm) แก้ปัญหาการวางตำแหน่งคลังสินค้าแบบสองระดับกรณีที่มีความต้องการสินค้าเป็นแบบฟัซซี (Fuzzy demand), Seifbarghy และคณะ [7] ได้นำเสนอตัวแบบสินค้าสำหรับปัญหาที่มีผู้ผลิตรายเดียวแต่มีผู้ซื้อหลายราย ซึ่งผู้ผลิตต้องผลิตและส่งสินค้าไปยังผู้ซื้อ การคำนวณยึดหลักการของการสั่งซื้อที่ประหยัด และใช้วิธีการหาคำตอบตามวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO) ศิริรัตน์ กะการดี และ ศิริประภา มโนมัยย์ [8] ได้ศึกษาตัวแบบสินค้าคงคลังสามระดับสำหรับสินค้ารายการเดียวโดยเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบด้วยวิธี PSO และขั้นตอนวิธีค้างคาว (Bat Algorithm; BA) ซึ่งผลการทดลองพบว่าวิธี PSO มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบดีกว่าวิธี BA แต่ใช้เวลาประมวลผลสูงกว่าร้อยละ 49.64

ในปี 2016 Mirjalili [9] พัฒนาวิธีการค้นหาคำตอบแบบขั้นตอนวิธีแมงปอ (Dragonfly Algorithms; DA) โดยการเลียนแบบการจับกลุ่มของแมลงปอในธรรมชาติ, ต่อมาในปี 2020 Rahman และ Rashid [10] ได้ศึกษาและนำวิธี DA ไปใช้ในการหาคำตอบในงานวิศวกรรมเครื่องกลและ

วิศวกรรมไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกับวิธีเมตาฮิวริสติกอื่น ๆ ซึ่งพบว่าวิธี DA มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้ดีและรู้เข้าหาคำตอบได้เร็ว ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยศึกษาการนำวิธี DA มาใช้ในการหาคำตอบของตัวแบบสินค้าคงคลังสองระดับ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบสินค้าคงคลังสองระดับกรณีที่มีความต้องการสินค้าไม่แน่นอนและเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของตัวแบบโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบ DA, วิธี PSO และวิธี BA

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 กำหนดข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบที่ศึกษา

ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แทนปัญหาสินค้าคงคลังสองระดับ เมื่อกำหนดให้ความต้องการสินค้าไม่แน่นอน และหาคำตอบด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นของตัวแบบที่ศึกษาดังนี้

2.1.1 การกำหนดรูปแบบปัญหาสินค้าคงคลังสองระดับที่มีลักษณะผู้ขายหรือผู้ผลิตหนึ่งรายส่งสินค้าหลายรายการไปยังร้านค้า 1 แห่ง

2.1.2 รูปแบบปัญหาที่ศึกษาอาจเกิดสินค้าขาดมือ

2.1.3 ความต้องการสินค้าแต่รายการเป็นอิสระกันและมีลักษณะไม่แน่นอน (Uncertainty) โดยกำหนดให้ความต้องการสินค้ารายการที่ i มีการแจกแจงแบบเอกรูป (Uniform distribution) อยู่ในช่วง $(D_i^{\min}, D_i^{\max})$

2.2 กำหนดตัวแปรตัดสินใจและพารามิเตอร์ของตัวแบบ

กำหนดให้ i แทนรายการสินค้าที่จัดส่งจากผู้ขาย (Vendor) ไปยังผู้ซื้อ (Buyer) มีจำนวนทั้งหมด p รายการ ($i=1, 2, \dots, p$)

2.2.1 ตัวแปรตัดสินใจ

ให้ n_i^o = จำนวนครั้งของการจัดส่งสินค้ารายการที่ i จากผู้ขายไปยังผู้ซื้อ

M_i = จำนวนของแพ็คเกจสำหรับการส่งสินค้ารายการที่ i

n_i = จำนวนสินค้ารายการที่ i ที่บรรจุในแต่ละแพ็คเกจ

r_i = จุดสั่งซื้อสินค้ารายการที่ i

Q_i = จำนวนการสั่งซื้อสินค้ารายการที่ i โดยเฉลี่ย ซึ่งคำนวณจาก $n_i M_i$
 n_i^o, M_i, r_i และ Q_i เป็นจำนวนเต็มที่มากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

2.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในตัวแบบ

Y_i เป็นตัวแปรสุ่มที่แทนความต้องการสินค้ารายการที่ i ซึ่งมีความไม่แน่นอน (Uncertainty Demand) มีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบเอกรูปไม่ต่อเนื่อง ที่มีค่าต่ำสุดเป็น $D_i^{\min}$ และมีค่าสูงสุดเป็น $D_i^{\max}$ ($Y_i \sim U(D_i^{\min}, D_i^{\max})$) โดยค่าคาดหวังของความต้องการสินค้ารายการที่ i เขียนแทนด้วย D_i คำนวณได้จากสูตร

$$D_i = \frac{(D_i^{\min} + D_i^{\max})}{2} \quad (1)$$

RD_i แทนพิสัยของความต้องการสินค้ารายการที่ i ($RD_i = D_i^{\max} - D_i^{\min}$)

P_i เป็นอัตราการผลิตสินค้ารายการที่ i โดยอัตราการผลิตสินค้ารายการที่ i จะน้อยกว่าความต้องการสินค้า จึงจะมีสินค้าคงคลัง ($P_i \geq D_i$)

SL_i เป็นระดับการบริการลูกค้าสำหรับสินค้ารายการที่ i หรือความน่าจะเป็นที่ความต้องการสินค้าของลูกค้าไม่เกินกว่าปริมาณสินค้าคงคลังที่มีอยู่

C_i เป็นราคาสินค้าต่อหน่วย (Purchasing price per unit) สำหรับสินค้ารายการที่ i

A_i เป็นค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อ (ต่อหนึ่งคำสั่งซื้อ) สำหรับสินค้ารายการที่ i

A_i^t เป็นค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าของผู้ซื้อ (ต่อหนึ่งเที่ยว) สำหรับสินค้ารายการที่ i

A_i^p เป็นค่าใช้จ่ายในการส่งผลิตของผู้ซื้อสำหรับการตั้งคำสั่งรายการที่ i แต่ละครั้ง

h_i^v เป็นค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้าต่อหน่วยต่อหน่วยเวลาของผู้ขาย (Vendor's holding cost) สำหรับสินค้ารายการที่ i

h_i^b เป็นค่าใช้จ่ายในการถือครองสินค้าต่อหน่วยต่อหน่วยเวลาของผู้ซื้อ (Buyer's holding cost) สำหรับสินค้ารายการที่ i

B_i เป็นอัตราร้อยละของความต้องการสินค้ารายการที่ i ที่ไม่ได้รับการตอบสนองที่ถูกจัดส่งในภายหลัง (Back order)

s_i เป็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยในการจัดส่งสินค้ารายการที่ i ภายหลัง (Back ordered cost)

$\tilde{s}_i$ เป็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเนื่องจากสินค้ารายการที่ i ไม่พอจำหน่าย เกิดการสูญเสียการขาย (Lost sale)

LT_i เป็นเวลานำการผลิตสำหรับสินค้ารายการที่ i (the i^{th} Product lead time) คำนวณจาก

$$LT_i = \frac{Q_i}{P_i} + \gamma_i \quad (2)$$

เมื่อ γ_i คือเวลาที่เกิดการล่าช้าจากการขนส่งหรือผลิต

2.3 สร้างตัวแบบสินค้าคลังสองระดับ

ตัวแบบสินค้าคลังสองระดับพัฒนาจากตัวแบบสินค้าคงคลังสองระดับของ Taleizadeh และคณะ [11] งานวิจัยนี้กำหนดให้มีผู้ขาย 1 ราย ผู้ซื้อ 1 ราย แต่มีสินค้าที่ซื้อขายหลายรายการ ภายใต้ความต้องการสินค้ารายการที่ i มีการแจกแจงแบบเอกรูป ช่วงความต้องการสินค้าอยู่ระหว่าง $D_i^{\min}$ และ $D_i^{\max}$ โดยค่าใช้จ่ายรวมของระบบสินค้าคงคลังสองระดับประกอบด้วยค่าใช้จ่ายคาดหวังรวมของทางผู้ซื้อต่อหน่วยเวลา (Buyer's total expected cost per unit time) และค่าใช้จ่ายรวมของทางผู้ขายสำหรับสินค้ารายการที่ i (Vendor's total cost for the i^{th} product) โดยทางด้านผู้ซื้อจะมีค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้า ค่าใช้จ่ายในการเก็บสินค้า ค่าใช้จ่ายที่จัดส่งสินค้าที่หลังกรณีมีสินค้าไม่พอ (Back order cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดการสูญเสียการขายกรณีมีสินค้าไม่พอ (Lost sale cost) และค่าใช้จ่ายในการไปรับสินค้า สำหรับทางด้านผู้ขาย มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตหรือค่าติดตั้งเครื่องจักร (Setup cost) และค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าของผู้ขาย ซึ่งมีสมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัดของตัวแบบดังนี้

2.3.1 สมการเป้าหมาย

$$\text{Min TC} = \sum_{i=1}^p \frac{(A_i + A_i^p)D_i}{n_i^0} + \sum_{i=1}^p h_i^b \left[\frac{n_i M_i}{2} + r_i \right.$$

$$\left. - D_i \left(\frac{n_i M_i}{P_i} + \gamma_i \right) + \frac{(1 - B_i)(D_i^{\max} - r_i)^2}{2(D_i^{\max} - D_i^{\min})} \right] + \sum_{i=1}^p \frac{(s_i B_i + \tilde{s}_i(1 - B_i)D_i(D_i^{\max} - r_i)^2)}{2n_i^0 n_i M_i (D_i^{\max} - D_i^{\min})} + \sum_{i=1}^p \frac{D_i A_i^t}{n_i M_i} + \sum_{i=1}^p h_i^v \frac{n_i M_i}{2} \left[n_i^0 \left(1 - \frac{D_i}{P_i} \right) - 1 + \frac{2D_i}{P_i} \right] \quad (3)$$

2.3.2 สมการข้อจำกัด

ณ จุดสั่งซื้อต้องมีสินค้ามากกว่าหรือเท่ากับความต้องการสินค้าแต่ละรายการที่ระดับบริการ SL_i และจำนวนการสั่งซื้อต้องเท่ากับจำนวนสินค้าในแต่ละแพ็คเกจ (n_i) คูณกับจำนวนแพ็คเกจ (M_i) แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$r_i \geq \left(\frac{n_i M_i}{P_i} + \gamma_i \right) + [(D_i^{\max} - D_i^{\min})SL_i + D_i^{\max}] \quad (4)$$

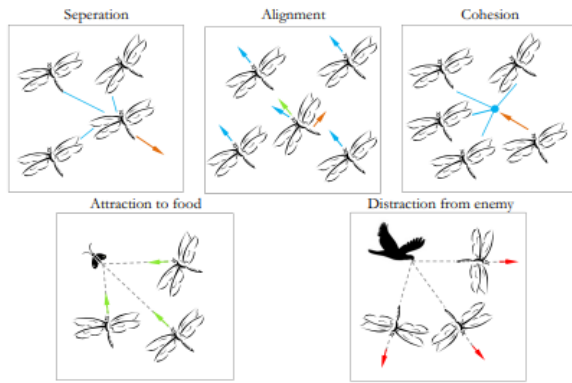
$$Q_i = n_i M_i \quad (5)$$

$$n_i^0, M_i, r_i, Q_i \geq 0 \quad \forall i; i = 1, 2, \dots, p \quad (6)$$

2.4 ศึกษาวิธีเมตาฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหา

2.4.1 ขั้นตอนวิธีแมลงปอ (Dragonfly Algorithm; DA)

Mirjalili พัฒนาวิธี DA ซึ่งเป็นวิธีเมตาฮิวริสติก โดยเลียนแบบพฤติกรรมการจับกลุ่มของฝูงแมลงปอที่มีการจับกลุ่มแบบกลุ่มใหญ่แบบคงที่และสร้างกลุ่มย่อยบินผ่านพื้นที่ต่าง ๆ (static and dynamic swarming behaviours) เพื่อบินสำรวจและหาอาหาร โดยแมลงปอจะบินเป็นฝูงใหญ่และไปในทิศทางเดียวกันเพื่อหาอาหาร [9] อัลกอริทึมนี้ออกแบบให้เป็น 2 ระยะเลียนแบบพฤติกรรมของแมลงปอ โดยระยะแรกจะรวมกลุ่มแบบคงที่ และระยะที่สองแมลงปอจะสร้างฝูงย่อยเพื่อออกสำรวจและค้นหาอาหาร โดยไปในทิศทางเดียวเพื่อเจอตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด การเคลื่อนที่ของแมลงปอแบ่งได้เป็น 5 ลักษณะ ได้แก่ การสร้างฝูงย่อย (Separation) การจัดทิศทาง (Alignment) การติดต่อกัน (Cohesion) การบินเข้าหาอาหาร (Attraction to food) และการบินหนีจากศัตรู (Distraction from enemy) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแมลงปอ ที่มา: [9]

จากพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของแมลงปอ กำหนดให้ P แทนตำแหน่งปัจจุบันของแมลงปอตัวที่สนใจ (ตัวที่ i) P_j แทนตำแหน่งของตัวที่ j ที่อยู่ในตำแหน่งข้างเคียง และ m แทนจำนวนแมลงปอที่อยู่ข้างเคียง สมการที่ใช้แทนการเคลื่อนที่แสดงได้ดังนี้

2.4.1.1 การสร้างฝูงย่อยแทนด้วยสมการ

$$S_i = -\sum_{j=1}^m P - P_j \quad (7)$$

2.4.1.2 การจัดทิศทางแทนด้วยสมการ

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^m V_j}{m} \quad (8)$$

2.4.1.3 การติดต่อกันแทนด้วยสมการ

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^m P_j}{m} - P \quad (9)$$

2.4.1.4 การบินเข้าหาอาหารแทนด้วยสมการ

$$F_i = F_p - P \quad (10)$$

2.4.1.5 การบินหนีจากศัตรูแทนด้วยสมการ

$$E_i = E_p - P \quad (11)$$

รหัสเทียม (Pseudo-codes) ของ DA [12] แสดงดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของแมลงปอแต่ละตัว P_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, m$

ขั้นที่ 2 กำหนด step vectors เริ่มต้น (ΔP_i เมื่อ $i = 1, 2, \dots, m$)

ขั้นที่ 3 ถ้า $t < t_{\max}$ ค่าสูงสุดของจำนวนรอบการค้นหาคำตอบ ให้ทำขั้นตอนที่ 4 ถึง 13

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าฟิตเนสของแมลงปอแต่ละตัว $f(P_i)$

ขั้นที่ 5 ปรับปรุงตำแหน่งของอาหารและศัตรู

ขั้นที่ 6 ปรับปรุงค่า s, a, c, f, e และ w ซึ่งเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งมีผลต่อการเข้าสู่ของคำตอบ

ขั้นที่ 7 คำนวณค่า S, A, C, F, E ตามสมการ (7) ถึง (11)

ขั้นที่ 8 ปรับปรุงรัศมีของตำแหน่งข้างเคียง

ขั้นที่ 9 ถ้ามีแมลงปออยู่ใกล้เคียงอย่างน้อย 1 ตัวให้ปรับปรุงเวกเตอร์ความเร็ว ตามขั้นตอนที่ 10 และปรับปรุงตำแหน่งตามขั้นตอนที่ 11 ถ้าไม่เป็นตามขั้นที่ 9 ให้ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 12

ขั้นที่ 10 ปรับปรุง ΔP_i^{t+1} ตามสมการที่ (12)

$$\Delta P_i^{t+1} = (sS_i + aA_i + cC_i + fF_i + eE_i) + w\Delta P_i^t \quad (12)$$

ขั้นที่ 11 ปรับปรุงเวกเตอร์ตำแหน่งในตามสมการที่ (13)

$$P_i^{t+1} = P_i^t + \Delta P_i^{t+1} \quad (13)$$

ขั้นที่ 12 ถ้าไม่เป็นตามขั้นตอนที่ 9 ให้ปรับปรุงค่าตำแหน่งด้วยสมการที่ (14)

$$P_i^{t+1} = P_i^t + 0.01 \left(\frac{r_1}{|r_2|^\beta} \right) \sigma \times P_i^t \quad (14)$$

เมื่อ r_1, r_2 เป็นเวกเตอร์สุ่มที่มีการแจกแจงแบบเอกรูปในช่วง $[0, 1]$ β เป็นค่าคงที่ และ σ คำนวณจากสมการที่ (15)

$$\sigma = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\frac{\Gamma\beta}{2}\right)}{\Gamma \times 2 \left(\frac{\beta-1}{2}\right) \times \beta \times \left(\frac{1+\beta}{2}\right)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (15)$$

$$\Gamma(a) = \int_0^\infty (t^{a-1} e^{-t}) dt \quad (16)$$

เมื่อ a เป็นจำนวนเต็ม จะได้ดังสมการที่ (17)

$$\Gamma(a) = (a-1)! \quad (17)$$

ขั้นที่ 13 ตรวจสอบและแก้ไขตำแหน่งใหม่ตามขอบเขตของตัวแปร

2.4.2 วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO)

Wilson นักวิจัยชาวอังกฤษ [13] ได้ศึกษาวิธีการหาอาหารของฝูงนก ซึ่งเป็นแนวคิดพื้นฐานในการพัฒนาวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค โดยศึกษาลักษณะการหาอาหารร่วมกันของฝูงนกที่หาอาหารของนกแต่ละตัวในฝูง และให้นกตัวอื่นสามารถเข้าถึงแหล่งอาหารได้โดยไม่เกิดการแย่งชิงอาหารระหว่างนกแต่ละตัวภายในฝูง

การหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) จะแทนคำตอบที่เป็นไปได้ด้วยตำแหน่งของอนุภาค (นกแต่ละตัว) อนุภาคทุกตัวจะมีค่าฟิตเนสที่ได้จากฟังก์ชันฟิตเนส (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์) ที่ใช้ในการหาค่าเหมาะที่สุด ค่าความเร็วในการเดินทางที่จะเป็นตัวกำกับระยะการเดินทางของอนุภาคโดยอนุภาคทุกตัวจะเดินตามอนุภาคที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด (g_{best}) ซึ่งในการเคลื่อนที่แต่ละครั้งอนุภาคจะจดจำตำแหน่งที่ดีที่สุดของตนที่พบมา (p_{best}) และจะทำการปรับความเร็วด้วยค่าองค์ประกอบความเร่งจากนั้นนำความเร็วที่ปรับแล้วไปหาตำแหน่งที่ดีกว่าที่พบมา [14]

กำหนดให้ $x(t)$ คือ ตำแหน่งของอนุภาคหรือคำตอบที่เป็นไปได้ตัวที่ i^{th} มิติ k เมื่อ k เป็นจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะที่สุด รอบที่ t โดย

$$x_{ik}(t) = [x_{i,1}(t), x_{i,2}(t), x_{i,3}(t), \dots, x_{i,k}(t)] \quad (18)$$

n คือ จำนวนประชากรหรือจำนวนอนุภาค

$v(t)$ คือ ความเร็วของกลุ่มอนุภาค ซึ่งความเร็วของอนุภาคตัวที่ i^{th} มิติ k ของรอบค้นหาที่ t สามารถเขียนได้เป็น $v_{ik}(t)$

p_{best} คือ ค่าที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาคจะมีการปรับค่าอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการทำคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

g_{best} คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคที่คัดมาจากราคาที่ดีที่สุดของอนุภาคทุกตัวที่ผ่านมาของการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

t_{max} คือ จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบด้วยวิธี PSO

$[X_{min}, X_{max}]$ คือ ช่วงของอนุภาค (Particle range)

c_1, c_2 คือ องค์ประกอบการเร่ง

w คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

รหัสเทียม (Pseudo-codes) ของวิธี PSO แสดงดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้นโดยทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค ($x_{ik}(t)$) ที่อยู่ในช่วง $[X_{min}, X_{max}]$ ด้วยความเร็วของอนุภาค ($v_{ik}(t)$) และหาค่าฟิตเนส $f(x(t))$ ให้กับอนุภาคแต่ละตัว จากนั้นคำนวณหาค่า p_{best} และ g_{best}

ขั้นที่ 2 เพิ่มค่า $t = t+1$

ขั้นที่ 3 ปรับค่าความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวจากค่า $v_{i,k}(t)$, $p_{best}(t)$ และ $g_{best}(t)$ ที่ได้จากขั้นตอนขั้นต้นตามสมการที่ (19)

$$v_{i,k}(t+1) = w \times v_{i,k}(t) + c_1 \times r_1 \times (p_{best}(t) - x_{i,k}(t)) + c_2 \times r_2 \times (g_{best}(t) - x_{i,k}(t)) \quad (19)$$

ขั้นที่ 4 : นำค่าความเร็วที่ได้มาปรับค่าตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัวดังสมการที่ (20)

$$x_{i,k}(t+1) = x_{i,k}(t) + v_{i,k}(t+1) \quad (20)$$

ขั้นที่ 5 : คำนวณค่าฟิตเนส $f(x_{i,k}(t+1))$ และหาค่า $p_{best}(t+1)$ และ $g_{best}(t+1)$

ขั้นที่ 6 : ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 2 ถึง 5 จนกว่า $t = t_{max}$ แล้วจึงยุติการค้นหา

2.4.3 ขั้นตอนวิธีค้างคาว (Bat Algorithm; BA)

วิธี BA มีแนวคิดจากพฤติกรรมการหาอาหารของค้างคาว ซึ่งเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่เล็กที่สุด โดยใช้วิธีปล่อยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงของค้างคาว (Sonar) ไปกระทบเหยื่อ แล้วเกิดการสะท้อนมายังหูของค้างคาว ทำให้สามารถรับรู้ตำแหน่งและระยะห่างของสิ่งกีดขวางเพื่อนำทางไปหาเหยื่อ และหลีกเลี่ยงอุปสรรคต่าง ๆ [15] มีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

2.4.3.1 ค้างคาวค้นหาตำแหน่งของเหยื่อหรือวัตถุโดยใช้เสียงสะท้อนกลับเพื่อรับรู้ถึงระยะทางและความแตกต่างระหว่างอาหาร เหยื่อ และสิ่งกีดขวาง

2.4.3.2 ค้างคาวบินอย่างไร้แบบแผน (Randomly) ด้วยความเร็วที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณชีพ (Pulse) ที่ปล่อยออกมาเรียกว่าความถี่พัลส์ และความ

ดังของเสียงค้างคาว ซึ่งการปล่อยความถี่พัลส์จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อใกล้เหยื่อมากขึ้น

2.4.3.3 ความดังของเสียงค้างคาว (Loudness, A) สามารถเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบ ซึ่งความดังจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อค้างคาวเข้าใกล้เหยื่อเพิ่มมากขึ้น

2.4.3.4 พารามิเตอร์ของวิธี BA

x_i^t คือ ค่าตอบของค้างคาวตัวที่ i ในรอบการค้นหาคำตอบเท่ากับ t ซึ่งมีมิติเท่ากับ k เมื่อ k เป็นจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสมที่สุด

v_i^t คือ ความเร็วของค้างคาวตัวที่ i ในรอบการค้นหาคำตอบเท่ากับ t

f_i คือ ความถี่พัลส์ของค้างคาวตัวที่ i

A_i คือ ความดังของเสียงค้างคาวตัวที่ i

r_i คือ อัตราการปล่อยพัลส์ของค้างคาวตัวที่ i

n คือ จำนวนค้างคาวทั้งหมด

t คือ จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบ

ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (21)$$

เมื่อ $\beta \in [0,1]$ ถูกสุ่มมาจากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_*)f_i \quad (22)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (23)$$

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (24)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)]; r \in [0,1] \quad (25)$$

รหัสเทียม (Pseudo-codes) ของวิธี BA แสดงดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ n , $t_{\max}$, α และ γ

ขั้นที่ 2 สุ่มพารามิเตอร์เริ่มต้นให้กับ x_i^t , v_i^t , r_i , f_i และ A_i

ขั้นที่ 3 ปรับค่าพัลส์ คำนวณค่าความเร็ว และค่าตำแหน่งตามสมการที่ (21), (22) และ (23) ตามลำดับ

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าฟิตเนสและหาคำตอบ

ขั้นที่ 5 สร้างเลขสุ่ม rand1 ($0 < \text{rand1} < 1$)

ขั้นที่ 6 ถ้าเลขสุ่มน้อยกว่า r_i^t คำนวณค่าฟิตเนสใหม่โดย

$$x_{\text{new}} = x_{\text{old}} + \epsilon A_i^t \quad (26)$$

และข้ามไปทำขั้นที่ 8

ขั้นที่ 7 ถ้าไม่เป็นตามขั้นที่ 6 สร้างเลขสุ่มใหม่ ($0 < \text{rand2} < 1$)

ถ้าเลขสุ่มใหม่น้อยกว่า A_i และ $f(x_i(t)) < f(x_0)$ ให้

ปรับค่าความดังของเสียงและอัตราการปล่อยพัลส์

ของค้างคาวตามสมการที่ (24) และ (25) ตามลำดับ

ขั้นที่ 8 หาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับรอบการค้นหาคำตอบที่ t จากค่าฟิตเนสที่ต่ำสุด ทำจนครบจำนวนรอบที่กำหนด

สำหรับการคำนวณด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกในงานวิจัยนี้ได้ใช้แพ็คเกจ 'metaheuristicOpt' [16] ในโปรแกรม R

2.5 จำลองสถานการณ์สินค้าคงคลังสองระดับและคำนวณค่าใช้จ่ายรวมของระบบ

ในงานวิจัยนี้ได้สร้างสถานการณ์ของสินค้าคงคลังสองระดับขึ้นมา โดยได้ออกแบบการทดลองให้มีผู้ขาย 1 ราย ผู้ซื้อ 1 ราย โดยกำหนดลักษณะความต้องการสินค้าแต่ละรายการต่อปีไม่แน่นอนมีลักษณะการแจกแจงแบบเอกรูปอยู่ในช่วง ($D_i^{\min}$, $D_i^{\max}$) กำหนดจำนวนรายการสินค้าที่ซื้อขายเป็น 2 รายการเนื่องจากเป็นกรณีให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้น้อยที่สุด ซึ่งแบ่งเป็น 4 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 สินค้าทั้งสองรายการมีความต้องการเฉลี่ยและพิสัยเท่ากัน

กรณีที่ 2 สินค้าทั้งสองรายการมีความต้องการเฉลี่ยเท่ากันแต่พิสัยต่างกันเล็กน้อย (RD_i ต่างกัน 500)

กรณีที่ 3 สินค้าทั้งสองรายการมีความต้องการเฉลี่ยเท่ากันแต่พิสัยแตกต่างกันมาก (RD_i ต่างกัน 2,000)

กรณีที่ 4 สินค้าทั้งสองรายการมีความต้องการเฉลี่ยและพิสัยแตกต่างกัน

ความต้องการสินค้าต่ำสุด ($D_i^{\min}$) ความต้องการสินค้าสูงสุด ($D_i^{\max}$) ความต้องการสินค้าเฉลี่ย (D_i) และพิสัยของความต้องการสินค้า (RD_i) แสดงดังตารางที่ 1

กำหนดให้เวลาที่เกิดการล่าช้าจากการขนส่งหรือผลิตเป็น 1 สัปดาห์ ($\gamma_i = 0.02$) อัตราการผลิตสินค้ารายการที่ i เป็น 15,000 ($P_i = 15,000$ ซึ่ง $P_i \geq D_i$) ระดับการให้บริการเป็นร้อยละ 90 $A_i^t = 1,000$ และ $B_i = 0.9$

ในแต่ละกรณีที่ศึกษาแบ่งออกเป็นกรณีย่อยอีก 2 กรณี คือ

กรณีย่อยที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ $n_i, C_i, s_i, \xi_i, A_i, A_i^p, h_i^v$ และ h_i^b ของสินค้ารายการที่ 1 และรายการที่ 2 เท่ากัน โดย $n_i = 10, C_i = 50, s_i = 100, \xi_i = 120, A_i = 200, A_i^p = 150, h_i^v = 10$ และ $h_i^b = 15$

กรณีย่อยที่ 2 กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของสินค้าทั้งสองรายการแตกต่างกัน สินค้ารายการที่ 1 $n_1 = 10, C_1 = 50, s_1 = 100, \xi_1 = 120, A_1 = 200, A_1^p = 150, h_1^v = 10$ และ $h_1^b = 15$ สินค้ารายการที่ 2 กำหนดให้ $n_2 = 12, C_2 = 100, s_2 = 120, \xi_2 = 150, A_2 = 250, A_2^p = 170, h_2^v = 15$ และ $h_2^b = 25$

ตารางที่ 1 ความต้องการสินค้าแต่ละกรณีการศึกษา

กรณีที่ 1				
รายการที่	$D_i^{\min}$	$D_i^{\max}$	D_i	RD_i
1	10,000	10,500	10,250	500
2	10,000	10,500	10,250	500
กรณีที่ 2				
รายการที่	$D_i^{\min}$	$D_i^{\max}$	D_i	RD_i
1	10,000	11,000	10,500	1,000
2	9,750	11,250	10,500	1,500
กรณีที่ 3				
รายการที่	$D_i^{\min}$	$D_i^{\max}$	D_i	RD_i
1	10,000	13,000	11,500	3,000
2	9,000	14,000	11,500	5,000

ตารางที่ 1 (ต่อ)

กรณีที่ 4				
รายการที่	$D_i^{\min}$	$D_i^{\max}$	D_i	RD_i
1	10,000	11,000	10,500	1,000
2	10,000	13,000	11,500	3,000

การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับแต่ละวิธี วิธี DA กำหนด s และ $a = 0.1, c = 0.7, f$ และ $e = 1$ ตามงานวิจัยของ Mirjalili [9] กับ Huang และคณะ [17] ซึ่งเปรียบเทียบวิธี DA ที่ใช้พารามิเตอร์ดังกล่าวกับวิธี PSO ที่ใช้ $c_1 = 2, c_2 = 2, w = 1$ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Taleizadeh และคณะ [11] ที่ใช้วิธี PSO แก้ปัญหาสินค้าคงคลังที่มีผู้ซื้อและผู้ขาย 1 ราย ลักษณะปัญหาใกล้เคียงกับปัญหาที่ศึกษา โดยให้ขอบเขตที่เหมาะสมของค่า c_1, c_2 และ w อยู่ที่ $[1.5, 2], [2, 2.5]$ และ $[0.4, 1.4]$ ตามลำดับ ผู้วิจัยปรับค่าภายใต้ขอบเขตดังกล่าว พบว่าหลายกรณี $c_1 = 2, c_2 = 2.5, w = 1$ ให้คำตอบดีกว่าจึงกำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธี PSO ส่วนวิธี BA กำหนดค่าตาม ศิริรัตน์ กะการดี และ ศิริประภา มโนมัย [8] ได้ค่า $f_{\max} = 100, f_{\min} = 0.1, \alpha = 0.1$ และ $\gamma = 1$ ซึ่งค่า α จะอยู่ในช่วง $(0, 1)$ และ $\gamma \geq 1$ [16] สำหรับจำนวนประชากร (pop size) ทั้ง 3 วิธี กำหนดเป็น 500 ทำการทดลองภายใต้จำนวนรอบของการค้นหาคำตอบเป็น 10, 30, 50, 100, 300, 500 และ 1,000 ตามลำดับ สังเกตการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ

3. ผลการทดลอง

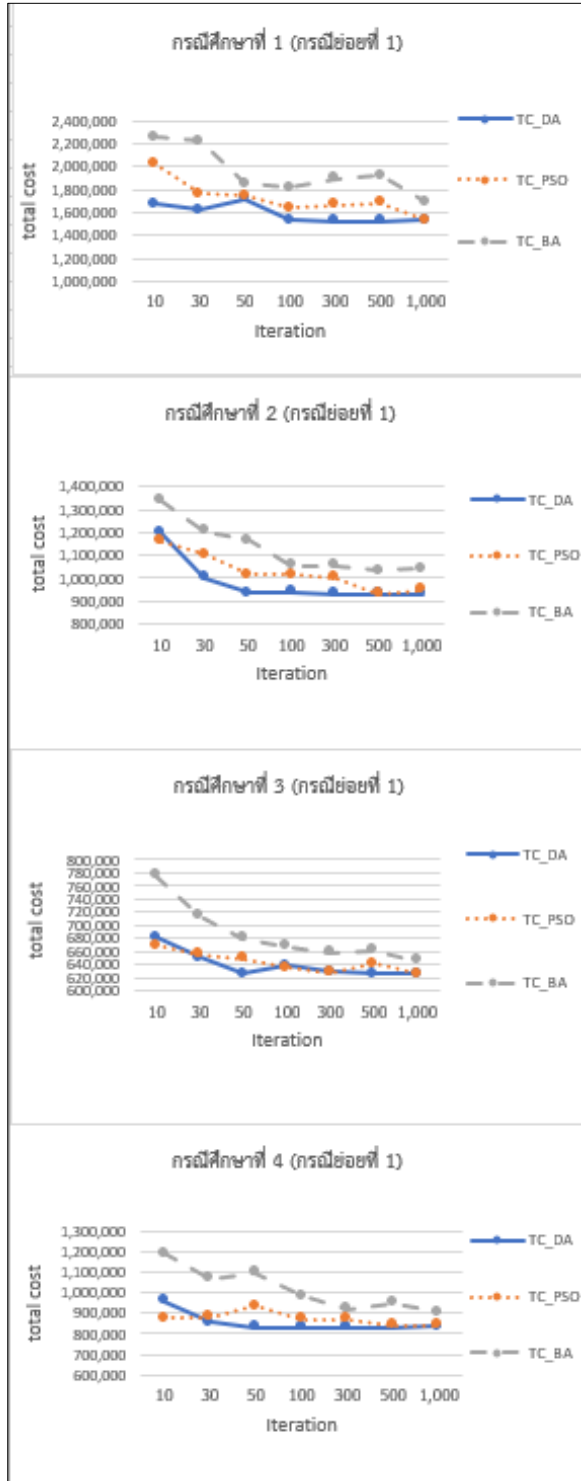
จากการจำลองสถานการณ์ที่ศึกษาและคำนวณคำตอบของตัวแบบที่ศึกษา ได้ผลการคำนวณทั้ง 4 กรณีศึกษา และ 2 กรณีย่อย แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3

จากรูปที่ 2 และ 3 พบว่าการคำนวณด้วยวิธี DA จะลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมได้เร็วกว่าวิธี PSO และ BA โดยวิธี DA จะเริ่มลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่จำนวนรอบของการค้นหาคำตอบเป็น 50 ในขณะที่วิธี PSO จะเริ่มลู่เข้าสู่คำตอบเมื่อจำนวนรอบของการค้นหาคำตอบสูงกว่า 500

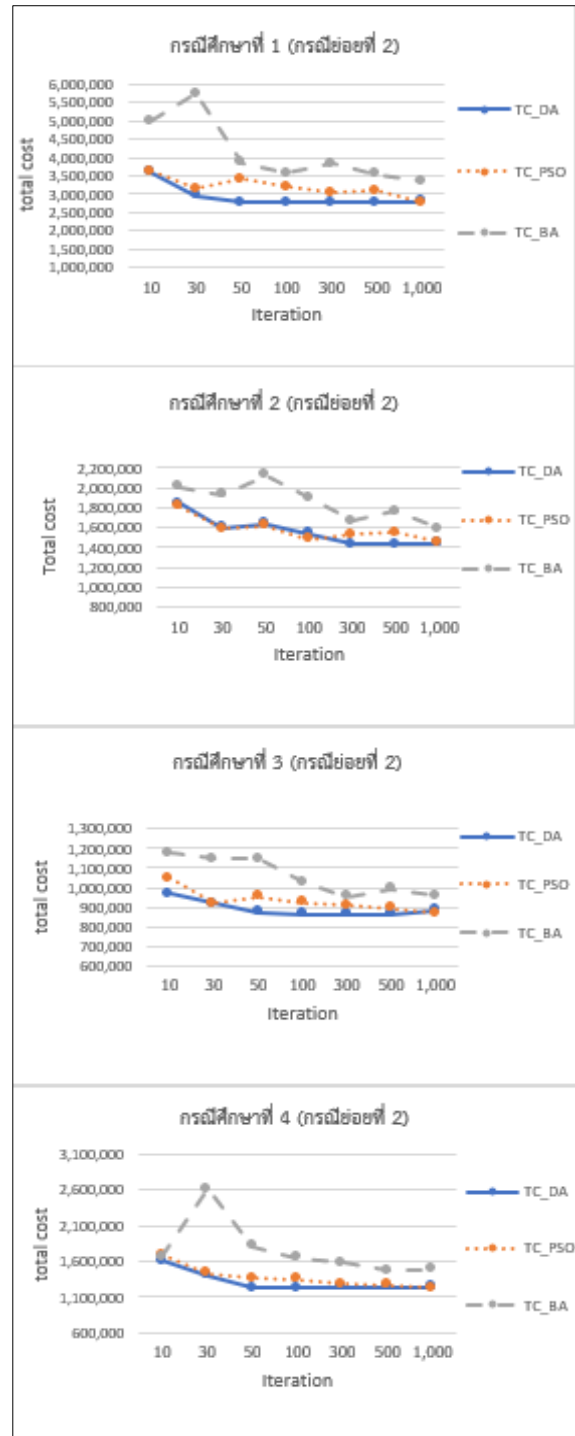
สำหรับวิธี BA มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ (จำนวนรอบที่ 1,000 รอบ คำตอบของวิธี BA ยังไม่ให้ค่าที่ต่ำและไม่เสถียร) เมื่อนำวิธี PSO และวิธี BA มาเทียบกับวิธี DA โดยพิจารณาจากร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายรวม (TC) ที่ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบ PSO หรือ BA เทียบกับ DA ตามสมการที่ (27)

$$\%diff = \frac{(TC_{PSO} \text{ or } TC_{BA} - TC_{DA})}{TC_{DA}} \times 100 \quad (27)$$

ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 การลู่เข้าคำตอบกรณีศึกษาที่ 1 ถึง 4 (สำหรับกรณีย่อยที่ 1)



รูปที่ 3 การลู่เข้าคำตอบกรณีศึกษาที่ 1 ถึง 4 (สำหรับกรณีย่อยที่ 2)

จากตารางที่ 2 พบว่าในบางกรณีที่จำนวนรอบของการค้นหาคำตอบเป็น 10 วิธี PSO จะให้คำตอบต่ำกว่าวิธี DA (ค่า %diff ติดลบ) แต่ยังไม่เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งพบในกรณีที่ค่าเฉลี่ยและพิสัยของความต้องการสินค้าไม่เท่ากัน (กรณีศึกษาที่ 2-4) แต่เมื่อรอบของการค้นหาคำตอบมากกว่า 500 วิธี DA และ PSO มีประสิทธิภาพแตกต่างกันไม่มาก ในขณะที่วิธี BA เมื่อนำไปเทียบกับวิธี DA พบว่าคำตอบมีความแตกต่างกันมาก โดยมี %diff สูงสุดถึง 95.33% (กรณีศึกษาที่ 1 กรณีย่อยที่2)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบวิธีการค้นหาคำตอบทั้ง 3 วิธี

t	กรณีที่1 (ย่อย1)		กรณีที่1 (ย่อย2)	
	PSO/DA	BA/DA	PSO/DA	BA/DA
10	20.87%	34.40%	0.79%	38.95%
30	8.74%	36.92%	6.41%	95.33%
50	1.25%	7.50%	23.15%	39.70%
100	7.16%	18.87%	15.04%	29.17%
300	9.17%	24.25%	9.72%	38.20%
500	9.97%	25.96%	11.64%	27.95%
1,000	0.03%	10.55%	0.44%	21.35%
t	กรณีที่2 (ย่อย1)		กรณีที่2 (ย่อย2)	
	PSO/DA	BA/DA	PSO/DA	BA/DA
10	-2.86%	12.18%	-1.55%	9.16%
30	10.24%	20.57%	-0.41%	21.01%
50	8.91%	24.74%	-1.06%	29.70%
100	8.06%	12.28%	-3.52%	23.73%
300	7.56%	13.37%	6.87%	16.67%
500	0.04%	11.36%	8.43%	23.13%
1,000	2.10%	12.23%	0.40%	9.70%
t	กรณีที่3 (ย่อย1)		กรณีที่3 (ย่อย2)	
	PSO/DA	BA/DA	PSO/DA	BA/DA
10	-1.82%	13.89%	8.30%	21.69%
30	0.76%	9.82%	-0.06%	24.93%
50	3.77%	8.79%	8.98%	31.60%
100	-0.29%	4.69%	7.09%	19.20%
300	-0.37%	4.58%	5.13%	10.51%
500	2.59%	5.70%	3.03%	14.60%

1,000	-0.01%	3.26%	-1.87%	8.62%
t	กรณีที่4 (ย่อย1)		กรณีที่4 (ย่อย2)	
	PSO/DA	BA/DA	PSO/DA	BA/DA
10	-8.89%	24.40%	5.13%	3.30%
30	2.95%	24.62%	1.56%	85.84%
50	11.81%	31.69%	10.98%	47.71%
100	4.74%	17.90%	10.15%	34.95%
300	4.80%	10.35%	3.20%	28.15%
500	0.77%	13.99%	2.60%	19.57%
1,000	0.65%	8.58%	0.26%	21.22%

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ตัวแบบสินค้าคงคลังสองระดับเป็นปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะและเงื่อนไขของการจัดการสินค้าคงคลัง การหาคำตอบด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ธรรมดาอาจทำได้ยาก จึงนำวิธีเมตาฮิวริสติกมาใช้ในการหาคำตอบ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธี DA มีประสิทธิภาพและลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้จำนวนรอบการค้นหาคำตอบน้อยกว่าวิธี PSO และ BA โดยในตัวแบบที่ศึกษาจะเริ่มลู่เข้าสู่คำตอบที่จำนวนรอบของการค้นหาคำตอบเป็น 50 ในขณะที่วิธี PSO เริ่มลู่เข้าสู่คำตอบที่จำนวนรอบของการค้นหาคำตอบมากกว่า 500 สำหรับวิธี BA จำนวนรอบของการค้นหาคำตอบเป็น 1,000 ยังไม่ลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของวิธีขึ้นกับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด ผู้วิจัยได้ศึกษาและทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบสินค้าคงคลังที่คาดว่าจะมีความสำคัญ ถึงแม้ว่าค่าของคำตอบที่คำนวณได้ไม่เท่ากันแต่ทิศทางของคำตอบส่วนใหญ่เป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ คำตอบที่คำนวณจากวิธี DA จะเริ่มเสถียรเมื่อใช้จำนวนรอบของการค้นหาคำตอบตั้งแต่ 50 รอบขึ้นไป ซึ่งผลจากการวิจัยสามารถนำไปเป็นแนวทางในการเลือกวิธีการหาคำตอบของปัญหาสินค้าคงคลังสองระดับที่มีลักษณะความต้องการไม่แน่นอน เพื่อใช้ในการตัดสินใจอย่างมีประสิทธิภาพได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ สัญญาทุนเลขที่ 6345103 ผู้วิจัย
ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วราภรณ์ พกนันท, ปวีณา เชาวลิตวงศ์ และนระเกณท์ พุ่มชูศรี, “นโยบายการเติมเต็มร่วมแบบสามารถจัดหาได้ สำหรับระบบแบบสองระดับ ภายใต้การศึกษาระยะเวลา,” *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, น. 27-47, 2557.
- [2] จารุมาศ แสงสว่าง และ วุฒิชัย ศรีโสตาพล, “ตัวแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับที่มีเวลานำและ การคืนสินค้าขึ้นอยู่กับความต้องการสินค้า,” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 2, น. 145-153, 2560.
- [3] P. Yang and L. Zeng, “Model and method for Two-echelon location routing problem with time constraints in city logistics,” *Mathematical Problem in Engineering*, 2018.
- [4] H. Sadjady and H. Davoudpour, “Two-echelon, multi-commodity supply chain network design with mode selection lead-times and inventory costs,” *Computers & Operations Research*, vol. 39, pp. 1345-1354, 2012.
- [5] A. Mahmoodi, A. Haji and R. Haji, “A Two-echelon inventory model with perishable items and lost sales,” *Scientia Iranica*, vol.23, no.5, pp. 2277-2286, 2016
- [6] M. G. Samani and S. M. Hosseimi-Motlahg, “A Hybrid algorithm for a Two-echelon location-routing problem with simultaneous pickup and delivery under fuzzy demand,” *International Journal of Transportation Engineering*, vol.5, no.1, pp. 59-85, 2017.
- [7] M. Seifbarghy, M. M. Kalani, M. Hemmati, “A Discrete Particle Swarm Optimization algorithm with local search for a production-based Two-echelon single-vendor multiple-buyer supply chain,” *Journal of Industrial Engineering International*, vol. 12, pp. 29-43, 2016.
- [8] ศิริรัตน์ กะการดี และ ศิริประภา มโนมัย, “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการหาค่าเหมาะสมสุดแบบกลุ่มอนุภาคและวิธีแบบสำหรับตัวแบบสินค้าคงคลัง 3 ระดับชั้น,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, น. 11-19, 2563.
- [9] S. Mirjalili “Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems,” *Neural Computing and Applications*, vol. 27, pp. 1053-1073, 2016.
- [10] C. M. Rahman and T. A. Rashid, “A Survey on Dragonfly Algorithm and its applications in engineering,” [Online]. Available: 10.1093/jcde/qwaa037. [Accessed 27 May 2521].
- [11] A. A. Taleizadeh, S.T.A. Niaki, N. Shafii, R.G. Meibodi and A. Jabbarzadeh, “A Particle Swarm Optimization approach for constraint joint single buyer-single vendor inventory problem with changeable lead time and (r,Q) policy in supply chain,” *International Advanced Manufacturing Technology*, vol 51, pp.1209-1223, 2010.
- [12] Y. Meraihi, A. R. Cherif, D. Acheli and M. Mahseur, “Dragonfly Algorithm: a comprehensive review and applications,” *Neural Computing and Applications*, vol. 32, pp.16625-16646, 2020.
- [13] E. O. Wilson, *Sociobiology: The New Synthesis*, Cambridge: Belknap Press, 1975.
- [14] J. Kennedy, R. Eberhart, “Particle Swarm Optimization,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Australia, pp. 1942-1945, 1995.
- [15] X. S. Yang, “A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm in J.R. González, D.A. Pelta, C. Cruz, G. Terrazas, and N. Krasnogor (eds.),” *Nature*

Inspired Cooperative Strategies for Optimization Studies in Computational Intelligence., vol. 284, pp. 65-74, 2010.

- [16] L. S. Riza, M. B. A. Prabowo, E. Junaeti, A. G. Abdullah and K. A. Fariza, "Development and experimentation of R package "metaheuristicOpt" on continuous optimization," *Journal of Engineering Science and Technology.*, vol. 16, no. 2, pp.1006–1018, 2021.
- [17] H. Huang, X. Feng, S. Zhou, J. Jiang, H. Chen, Y. Li and C. Li, "A new fruit fly optimization algorithm enhanced support vector machine for diagnosis of breast cancer based on high-level features," *BMC Bioinformatics.*, vol. 20, no. 290, 2019. doi:10.1186/s12859-019-2771-z

การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์สำหรับการเลือกทำเลที่ตั้งสำนักงาน
โรงงานแห่งใหม่ กรณีศึกษาบริษัทซ่อมบำรุงของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

ฉัตรชัย ใจทिया¹ และ เสาวนิตย์ เลขวัต^{*2}

คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี 20131

Received: 16 November 2021; Revised: 14 February 2022; Accepted: 29 March 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งสำนักงานโรงงานแห่งใหม่ของบริษัท ABC ในจังหวัดระยอง โดยเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process : AHP) มาใช้ในการศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจ แบ่งเป็นปัจจัยหลักจำนวน 5 ปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยด้านที่ดิน ปัจจัยด้านความพร้อมของพื้นที่ ปัจจัยด้านลูกค้า ปัจจัยด้านการคมนาคม และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนปัจจัยย่อยมีจำนวน 15 ปัจจัย และทำการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักและจัดลำดับความสำคัญปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยที่มีผลต่อการตัดสินใจเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับทำเลที่ตั้งทางเลือกจำนวน 3 แห่ง ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยด้านลูกค้ามีความสำคัญมากที่สุด (40%) รองลงมาเป็นปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม (26%) ปัจจัยด้านความพร้อมพื้นที่ (18%) ปัจจัยด้านที่ดิน (10%) ตามลำดับ และปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุดคือปัจจัยด้านการคมนาคม (6%) สำหรับปัจจัยย่อยที่มีความสำคัญมากที่สุด 5 อันดับแรก ประกอบด้วย ปัจจัยจำนวนลูกค้าในพื้นที่ (25.60%) รองลงมาเป็นปัจจัยการตอบสนองต่อลูกค้า (14.40%) ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม (9.10%) ปัจจัยทัศนคติของชุมชน (8.64%) ปัจจัยระบบสาธารณูปโภค (7.92%) ตามลำดับ ส่วนทำเลที่ตั้งทางเลือกที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด (45.40%) รองลงมาเป็นนิคมอุตสาหกรรมเอเซียระยอง (31.48%) และลำดับสุดท้ายนิคมอุตสาหกรรมดับบลิวเอชเอ ตะวันออก (มาบตาพุด) (23.12%)

คำสำคัญ: การเลือกทำเลที่ตั้ง, กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์, การตัดสินใจ

* Corresponding author. E-mail: saowanit.le@go.buu.ac.th

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

² อาจารย์ สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Application of Analytical Hierarchy Process to New Office Location Selection: A Case Study of Maintenance Service Company for Petrochemical Industry

Chatchai Jaitiya¹ and Saowanit Lekkhavat^{*2}

Faculty of Logistics, Burapha University,

169 Long-Hard Bangsaen Rd., Saensook District, Muang, Chonburi 20131, Thailand

Received: 16 November 2021; Revised: 14 February 2022; Accepted: 29 March 2022

Abstract

The purpose of this research is to study and prioritize factors affecting the selection of location of ABC's new office in Rayong Province by applying Analytical Hierarchy Process (AHP). The factors which affect to the decision making which can be divided into 5 main factors which are 1) utility factors 2) transport factors 3) customer factors 4) employee factors 5) community factors and 15 secondary factors. The data is then obtained to create the model to compare the priorities of primary and secondary factors affecting decision-making. When different factors are compared with the alternative location, the decision-making approach for the location of the new factory office is the most suitable. The weight analysis of the main factors showed that customer factor was the most important (40%), followed by the environmental factor (26%), utilities factor (18%), the land factor (10%), whereas the least significant factor is transportation factors (6%). By the way another top five most important for the secondary factors were: number of customers in the area (25.60%), followed by customer response factor (14.40%), flood risk factor (9.10%), community attitude factor (8.64%), utilities factor (7.92). % respectively. The most suitable alternative location is Map Ta Phut Industrial Estate (45.40%), followed by Asia Industrial Estate, Rayong (31.48%), and lastly, WHA Eastern Industrial Estate (Map Ta Phut) (23.12%), respectively.

Keywords: location selection, analytical hierarchy process, decision making

* Corresponding author. E-mail: saowanit.le@go.buu.ac.th

1 Master's student in Department of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics, Burapha University

2 Lecturer in Department of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics, Burapha University

1. บทนำ

นับจากโครงการพัฒนาพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกที่กำหนดแนวทางการพัฒนาให้จังหวัดระยองเป็นศูนย์กลางความเจริญแห่งใหม่ ได้กำหนดพื้นที่บริเวณมาตาพุต เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรม มีท่าเรือน้ำลึกขนส่งสินค้า เป็นที่ตั้งของอุตสาหกรรมสำคัญ อีกทั้งยังถูกกำหนดให้เป็นเขตส่งเสริมการลงทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุนส่งผลให้จังหวัดระยองมีการลงทุนและการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว บริษัทกรณีศึกษาตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลมาตาพุต อำเภอเมือง จังหวัดระยอง ให้บริการงานวิศวกรรมและงานซ่อมบำรุงกับกลุ่มลูกค้าในนิคมอุตสาหกรรมมาตาพุต ด้วยลักษณะการประกอบธุรกิจที่เป็นงานบริการทำให้บริษัทมีการจ้างพนักงานเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ตามการขยายธุรกิจของกลุ่มลูกค้าของบริษัท แต่เนื่องจากพื้นที่ของบริษัทในปัจจุบันมีขนาดเล็กและคับแคบ ไม่สามารถขยายพื้นที่เพื่อรองรับจำนวนพนักงานที่จะต้องเพิ่มขึ้นได้ ทั้งในส่วนของอาคารสำนักงาน พื้นที่จอดรถยนต์ และระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ ทำให้ต้องหาทำเลที่ตั้งสำนักงานโรงงานแห่งใหม่เพื่อรองรับพนักงานที่เพิ่มขึ้นและย้ายพนักงานบางส่วนไปอยู่ที่สำนักงานแห่งใหม่เพื่อลดความแออัดในพื้นที่เดิมและให้การใช้งานพื้นที่เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย ในการพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้งสำนักงานโรงงานแห่งใหม่ได้นำเทคนิคการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making) มาใช้ เนื่องจากการเลือกทำเลที่ตั้งเป็นการตัดสินใจระยะยาว และส่งผลต่อการปฏิบัติงานของบริษัทในระยะกลางและระยะสั้น จึงจำเป็นต้องปรึกษาผู้เชี่ยวชาญหลายท่านเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยจำนวนมากทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยย่อย ซึ่งกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น หรือ AHP เป็นเทคนิคที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้เพราะเป็นการตัดสินใจหมู่ที่มีผู้ตัดสินใจหลายคนและใช้การหาค่าถ่วงน้ำหนักแบบเปรียบเทียบเป็นคูในการเสนอแนวทางในการตัดสินใจ และสามารถใช้ได้กับเกณฑ์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยปัจจัยหลักประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านที่ดิน ปัจจัยด้านความพร้อมของพื้นที่ ปัจจัยด้านลูกค้า ปัจจัยด้านการคมนาคม และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ส่วน

ปัจจัยย่อยมีจำนวน 15 ปัจจัย แล้วนำมาเปรียบเทียบลำดับความสำคัญเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้ง จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับทำเลที่ตั้งทางเลือกจนได้ทางเลือกที่ดีที่สุด ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือ เพราะมีรูปแบบการตัดสินใจที่เป็นลำดับขั้นตอนและมีประสิทธิภาพ

2. หลักการและทฤษฎี

ความจำเป็นในการเลือกทำเลที่ตั้ง นอกจากธุรกิจจะเริ่มประกอบกิจการใหม่แล้ว การขยายกิจการโดยการตั้งสาขาเพิ่มขึ้น สถานที่ประกอบกิจการในปัจจุบันมีเนื้อที่น้อยเกินไป ขยายไม่ได้ หรือมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านการตลาด หรือ ต้นทุนในการประกอบกิจการในสถานที่ปัจจุบันถึงจุดอิ่มตัวหรือแพงกว่าเมื่อเทียบกับสถานที่อื่นที่น่าสนใจหรือ แม้แต่ทรัพยากรในสถานที่ประกอบกิจการในปัจจุบันหมดลง ทำให้การเลือกทำเลที่ตั้งมีความสำคัญอย่างมากเพราะเป็นการผูกพันระยะยาว หากมีข้อผิดพลาดจะเป็นการยากต่อการแก้ไข ถ้าเลือกทำเลที่ตั้งได้ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อการดำเนินงาน ลักษณะทำเลที่ตั้งโดยทั่วไปอาจจะไม่มีทำเลใดทำเลหนึ่งดีกว่าทำเลอื่น ๆ อย่างโดดเด่นเห็นได้ชัด แต่มีทำเลหลาย ๆ ทำเลที่ยอมรับได้ ดังนั้น หลายองค์กรจึงไม่ได้กำหนดการเลือกทำเลใดโดยเฉพาะ แต่จะหาทำเลหลาย ๆ ทำเลที่เหมาะสมเพื่อที่จะเลือกและหลีกเลี่ยงการเลือกทำเลที่อาจก่อให้เกิดปัญหาในอนาคต[1]

การเลือกทำเลที่ตั้งพื้นที่ควรพิจารณาปัจจัยหลายปัจจัยประกอบกันมากกว่ามุ่งเน้นแต่ปัจจัยเดียว ปัจจัยที่จะใช้พิจารณาควรเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานธุรกิจ เช่น ถ้าดำเนินกิจการคลังสินค้าขึ้นส่วนยานยนต์ ควรหาทำเลที่อยู่ใกล้โรงงานผลิตรถยนต์ เป็นต้น ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกทำเลที่ตั้ง สามารถแบ่งเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่อาจวัดออกมาในรูปของปริมาณเป็นตัวเลखได้อย่างชัดเจน แต่ก็มีอิทธิพลอย่างสำคัญ เช่น ลูกค้า เส้นทางคมนาคม แหล่งแรงงาน ทักษะคติของชุมชน บริการสาธารณะ สิ่งแวดล้อม เป็นต้น ส่วนปัจจัยพิจารณาในเชิงปริมาณ เช่น ต้นทุนเกี่ยวกับค่าที่ดิน การก่อสร้าง แรงงาน เป็นต้น[2]

ปัจจัยด้านลูกค้าเป็นอีกหนึ่งปัจจัยพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้ง เช่นเดียวกับงานวิจัยเรื่องแนวทางการเลือกทำเล

ที่ตั้งสาขาของศูนย์การค้าหรรพสินค้า ผลการวิจัยพบว่า ผู้ตัดสินใจให้ความสำคัญต่อปัจจัยด้านลักษณะที่ดิน ปัจจัยด้านลูกค้า ปัจจัยด้านคู่แข่ง ปัจจัยด้านการคมนาคม ปัจจัยด้านกฎหมายและข้อบังคับ และปัจจัยด้านโอกาสในการเติบโตของเมืองในลำดับมาก ขณะที่ปัจจัยด้านการขนส่งและด้านการอำนวยความสะดวกอยู่ในลำดับปานกลาง และปัจจัยด้านแหล่งแรงงานและแหล่งวัตถุดิบมีลำดับความสำคัญที่น้อย[3] และงานวิจัยเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้งของร้านขายแก๊สโดยวิธี AHP ผลการวิจัยพบว่า ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลัก เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ด้านรายละเอียดของสถานประกอบการ (0.409) ด้านแหล่งวัตถุดิบ (0.340) ด้านแหล่งลูกค้า (0.211) และด้านสิ่งอำนวยความสะดวก (0.132)[4]

ปัจจัยด้านการคมนาคมมาเป็นอีกหนึ่งปัจจัยพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้ง เช่น งานวิจัยการเลือกทำเลที่ตั้งของบริษัทขายอะไหล่รถยนต์โดยวิธี AHP: บริษัท ABC จำกัด ผลการวิจัยพบว่า ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยหลักในการเลือกทำเลที่ตั้งได้น้ำหนักความสำคัญเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ โครงสร้างพื้นฐาน 0.257 การขนส่ง 0.251 ต้นทุน 0.211 การแข่งขัน 0.148 และความปลอดภัย 0.133[5] และงานวิจัยเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งตามความคิดเห็นของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตขนาดกลางในจังหวัดหนองคาย ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีข้อเสนอแนะในการเลือกทำเลที่ตั้งจากสภาพแวดล้อมทางกายภาพ เช่น มีภูมิประเทศติดกับการค้าขายแดนลุ่มน้ำโขง ร้อยละ 68 เลือกทำเลที่ตั้งโดยดูจากความสะดวกในการขนส่ง ร้อยละ 66.50 เลือกทำเลที่ตั้งใกล้แหล่งน้ำ ร้อยละ 50.25 เลือกทำเลที่ตั้งตามแหล่งวัตถุดิบ ร้อยละ 49.50 เลือกทำเลที่ตั้งตามแรงงาน ร้อยละ 24.50 ตามลำดับ[6]

ปัจจัยด้านบริการสาธารณะ เป็นอีกหนึ่งในปัจจัยพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้ง เช่น งานวิจัยเรื่องปัจจัยที่ใช้ในการวางแผนองค์การธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ด้านการเลือกทำเลที่ตั้งหมู่บ้านจัดสรรยุคใหม่ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยหลักที่ผู้ประกอบการใช้ในการเลือกทำเลเพื่อการพัฒนาโครงการหมู่บ้านจัดสรรมีปัจจัยทั้ง 6 ด้าน เรียงลำดับตามความสำคัญ คือ ปัจจัยการเข้าถึงสิ่งอำนวยความสะดวก 31% ปัจจัยการ

เข้าถึงการเดินทาง 28% ปัจจัยการเข้าถึงสถานที่ทำงาน 20% ปัจจัยภัยพิบัติและอาชญากรรม 14% ปัจจัยแผนพัฒนาเมือง 5% ปัจจัยทางภูมิศาสตร์ 2%[7]

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เป็นปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาในงานวิจัย เช่น งานวิจัยการเลือกที่ตั้งคลังน้ำมันในประเทศไทยโดยใช้วิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ผลการวิจัยพบว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัยเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ความพร้อมของระบบสาธารณูปโภค 0.27 ความเหมาะสมด้านสิ่งแวดล้อม 0.176 ความสะดวกในการขนส่ง 0.168 ค่าก่อสร้างท่อน้ำมันส่วนต่อเข้าคลังน้ำมัน 0.160 ความปลอดภัยจากปัญหาน้ำท่วม 0.117 ความสามารถในการขยายพื้นที่คลังน้ำมัน 0.107[8]

ตารางที่ 1 สรุปปัจจัยหลัก ปัจจัยย่อยและเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง	ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง
[3]	ที่ดิน	ราคาที่ดิน
[3]	ที่ดิน	ขนาดที่ดิน
[3]	ที่ดิน	รูปร่างที่ดิน
[8]	ความพร้อมของพื้นที่	ทัศนคติของชุมชน
[5]	ความพร้อมของพื้นที่	บริการสาธารณะ
[5]	ความพร้อมของพื้นที่	ระบบสาธารณูปโภค
[4]	ลูกค้า	จำนวนลูกค้าในพื้นที่
[4]	ลูกค้า	การตอบสนองต่อลูกค้า
[5]	การคมนาคม	ต้นทุนการขนส่ง
[6]	การคมนาคม	ถนนกว้าง
[6]	การคมนาคม	เดินทางได้หลายเส้นทาง
[8]	สิ่งแวดล้อม	ผลกระทบต่อการศึกษาในชุมชน
[8]	สิ่งแวดล้อม	มลภาวะฝุ่นและเสียง
[8]	สิ่งแวดล้อม	เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม
[8]	สิ่งแวดล้อม	เสี่ยงต่อสารเคมีรั่วไหล

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถาม และการสัมภาษณ์ร่วมกันโดยให้กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ใส่คะแนนด้วยตนเองพร้อมกับการสัมภาษณ์แบบหนึ่งต่อหนึ่ง โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 – 15 กรกฎาคม 2564 แบบสอบถามที่ใช้ได้ศึกษาปัจจัยจากเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง[9] ในการเลือกทำเลที่ตั้ง และนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ทำให้ได้ปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยดังนี้ ที่ดิน (ราคาที่ดิน ขนาดที่ดิน รูปร่างที่ดิน) ความพร้อมของพื้นที่ (ทัศนคติของชุมชน บริการสาธารณะ ระบบสาธารณูปโภค) ลูกค้า (จำนวนลูกค้าในพื้นที่ การตอบสนองต่อลูกค้า) การคมนาคม (ต้นทุนการขนส่ง ถนนกว้าง เดินทางได้หลายเส้นทาง) สิ่งแวดล้อม (ผลกระทบต่อการสัญจรในชุมชน มลภาวะฝุ่นและเสียง เสียงต่อการเกิดน้ำท่วม เสียงต่อสารเคมีรั่วไหล) ในส่วนของทำเลที่ตั้งทางเลือก บริษัทมีนโยบายต้องการให้ทำเลที่ตั้งแห่งใหม่อยู่ใกล้กับพื้นที่ดั้งเดิม เพื่อให้การบริหารงานและต้นทุนในการดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด พบว่าในพื้นที่รอบข้างมีนิคมอุตสาหกรรมที่อยู่ 3 แห่งเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน คือ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรม WHA ตะวันออก (มาบตาพุด) นิคมอุตสาหกรรมเอเชีย ระยอง จากนั้นนำมาร่างเป็นแบบสอบถาม AHP และทดสอบแบบสอบถามด้วยการวัดความเที่ยงตรงจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ดัชนีค่าความสอดคล้อง (IOC) ที่ได้มีค่ามากกว่า 0.5 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ สามารถดูเอกสารได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับเต็ม ทำให้ได้แบบสอบถามที่สมบูรณ์

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจงหรือ Purposive Selection เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงตามหลักการของเหตุผล โดยให้มีความสอดคล้องกับปัญหาการวิจัย[10] และกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยสูตรสำเร็จของ Taro Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% จากผู้บริหารที่มีอำนาจในการตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้ง จำนวน 7 ท่าน ประกอบด้วย ผู้จัดการฝ่ายเพิ่มประสิทธิภาพองค์กร

ผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการโครงการ ผู้จัดการฝ่ายการเงินและบัญชี ผู้จัดการฝ่ายบริหารงานจัดหา ผู้จัดการส่วนกลยุทธ์และบริหารกิจการองค์กร ผู้จัดการส่วนบริหารองค์กรและสื่อสารภาพลักษณ์ และผู้จัดการส่วนเพิ่มประสิทธิภาพความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม

โดยการแทนสูตรคำนวณดังนี้

$$n = \frac{7}{1+7(0.05)^2} \quad (1)$$

ทำให้ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 7 ท่านเพื่อเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม ผลที่ได้นำมาวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักลำดับความสำคัญของปัจจัยหลัก ค่าน้ำหนักลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อยและลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งทางเลือก

3.3 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP)

AHP เป็นกระบวนการช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งอาศัยหลักการของการตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์ ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายรูปแบบ โดยเฉพาะการนำไปใช้ในการเลือกทำเลที่ตั้ง จุดเด่นที่สำคัญของกระบวนการ AHP[11] คือ เป็นการเปรียบเทียบปัจจัยการตัดสินใจทีละคู่ เพื่อลดความสับสนของผู้ตอบแบบสอบถาม และมีการตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลตลอดการวิเคราะห์ ป้องกันความผิดพลาดผลของการตัดสินใจอยู่ในรูปลำดับความสำคัญ มีโครงสร้างที่เป็นแผนภูมิระดับชั้นง่ายต่อการใช้และการทำความเข้าใจ และผลลัพธ์ที่ได้เป็นปริมาณตัวเลข ขั้นตอนของวิธีการกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ประกอบด้วย การกำหนดประเด็นปัญหา การสังเคราะห์องค์ประกอบของปัญหา การพิจารณาเปรียบเทียบระดับความสำคัญแบบเป็นคู่ คำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญ นำทางเลือกที่กำหนดมาเปรียบเทียบผ่านปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจทีละปัจจัย ซึ่งต้องกำหนดปัจจัยของเป้าหมายที่ต้องการศึกษาให้อยู่ในลักษณะเป็นลำดับชั้น ส่วนในระดับที่ต่ำลงมาจะเป็นปัจจัยย่อยตามลำดับจนถึงทางเลือกซึ่งเป็นระดับต่ำสุดของการจัดลำดับชั้นการวิเคราะห์จะใช้หลักการเปรียบเทียบเป็นคู่ของปัจจัยดังตารางที่ 2 ซึ่งค่าความสำคัญในการเปรียบเทียบแปลงมาเป็นตัวเลขระหว่าง 1 ถึง 9 โดยที่ a_{ij} คือ สมาชิกในแถวที่ i หลักที่ j ของเมตริกซ์ หมายถึง ผลการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัย A_i และ A_j กำหนด

มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบตั้งแต่ 1 ถึง 9 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3 หลังจากทราบผลการเปรียบเทียบในแต่ละคู่แล้ว จึงคำนวณหาน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ออกมาเป็นตัวเลข เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของแต่ละเกณฑ์อย่างชัดเจน[12]

ตารางที่ 2 เมตริกซ์เปรียบเทียบระดับความสำคัญแบบเป็นคู่

ปัจจัยการตัดสินใจ		ปัจจัย				
		A1	A2	A3	A4	A5
ปัจจัย	A1	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	a ₁₄	a ₁₅
	A2	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	a ₂₄	a ₂₅
	A3	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	a ₃₄	a ₃₅
	A4	a ₄₁	a ₄₂	a ₄₃	a ₄₄	a ₄₅
	A5	a ₅₁	a ₅₂	a ₅₃	a ₅₄	a ₅₅

ตารางที่ 3 ความหมายของการเปรียบเทียบเป็นรายคู่[13]

ระดับความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้งสองปัจจัยมีความสำคัญเท่ากัน
3	สำคัญมากกว่าเล็กน้อย	พอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งเล็กน้อย
5	สำคัญมากกว่าปานกลาง	พอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
7	สำคัญมากกว่าค่อนข้างมาก	เห็นได้ชัดว่าปัจจัยหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่ง
9	สำคัญมากกว่าสูงสุด	มีหลักฐานยืนยันชัดเจนว่าปัจจัยหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่ง
2, 4, 6, 8	ค่ากลางระหว่างความเข้มข้น	รู้สึกว่าการก้ำกึ่งระหว่างระดับความสำคัญสองระดับ

4. ผลการวิจัย

4.1 ลำดับความสำคัญของปัจจัยหลัก

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์และประมวลผลตามขั้นตอนของวิธี AHP ประกอบไปด้วย ค่าคะแนนเปรียบเทียบแต่ละคู่ของปัจจัยหลัก ค่าเฉลี่ยเมตริกซ์การเปรียบเทียบแต่ละคู่ของปัจจัยหลัก เนื่องจากข้อมูลที่ได้มีค่าที่แตกต่างกันมากแต่มีค่าไม่มากจึงใช้วิธี Geometric Mean ตามเมตริกซ์ A โดยมาจากวิธีการในตารางที่ 2 ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์การให้ลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งสำนักงานโรงงานแห่งใหม่ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยหลัก

ปัจจัยหลัก	เมตริกซ์ A				
	L	U	C	T	E
L	1	0.46	0.23	2.71	0.26
U	2.17	1	0.38	3.77	0.62
C	4.35	2.63	1	5.25	1.95
T	0.37	0.27	0.19	1	0.24
E	3.85	1.61	0.51	4.17	1
ผลรวม	11.74	5.97	2.31	16.9	4.07

โดยที่ L คือ ที่ดิน

U คือ ความพร้อมพื้นที่

C คือ ลูกค้า

T คือ การคมนาคม

E คือ สิ่งแวดล้อม

จากนั้นทำการ Normalization ซึ่งเป็นการปรับผลรวมของแต่ละคอลัมน์ให้เท่ากับ 1 เพื่อปรับค่าคะแนนให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อลดความแตกต่างของหน่วยวัดและช่วงค่าคะแนน แล้วหาค่าเฉลี่ยแต่ละแถวเพื่อหาค่าน้ำหนักเพื่อให้ได้ลำดับความสำคัญในแต่ละปัจจัย ตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 Normalization และ ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก

ปัจจัยหลัก	เมตริกซ์ A					รวม	W
	L	U	C	T	E		
L	0.09	0.08	0.10	0.16	0.06	0.49	0.10
U	0.18	0.17	0.16	0.22	0.15	0.88	0.18
C	0.37	0.44	0.43	0.31	0.48	2.02	0.40
T	0.03	0.05	0.08	0.06	0.06	0.28	0.06
E	0.33	0.27	0.22	0.25	0.25	1.32	0.26
รวม	1	1	1	1	1		1

เมื่อได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักแล้วทำการตรวจสอบค่าความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Ratio: CR) ค่า CR จะต้องไม่เกิน 0.1 ถึงจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ถ้าค่า CR มีค่ามากกว่า 0.1 แสดงว่าข้อมูลคะแนนความสำคัญที่ได้จากการเปรียบเทียบของเป็นคู่ไม่มีความสอดคล้องกันจะต้องปรับแก้คะแนนความสำคัญในการเปรียบเทียบของเป็นคู่ใหม่ก่อนที่จะวิเคราะห์ในลำดับขั้นถัดไป

โดยการแทนสูตรคำนวณดังนี้

$$CR = \frac{0.03}{1.12} \quad (2)$$

ค่า CR ที่ได้เท่ากับ 0.03 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสรุปผลการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยหลักดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ลำดับความสำคัญของปัจจัยหลัก

ปัจจัยหลัก	ค่าน้ำหนัก (%)	ค่า CR
ลูกค้า (C)	40	0.03
สิ่งแวดล้อม (E)	26	
ความพร้อมพื้นที่ (U)	18	
ที่ดิน (L)	10	
การคมนาคม (T)	6	

4.2 ลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อย

หลังจากที่ได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักแล้ว ก็นำไปคำนวณหาค่าน้ำหนักของปัจจัยย่อยทั้งหมดและตรวจสอบค่าความสอดคล้องของข้อมูล ซึ่งสรุปได้ดังนี้ น้ำหนักของปัจจัยย่อยในปัจจัยหลักด้านที่ดิน ประกอบด้วย ราคาที่ดิน

(4.40%) ขนาดที่ดิน (4.80%) รูปร่างที่ดิน (0.80%) ค่า CR เท่ากับ 0 น้ำหนักของปัจจัยย่อยในปัจจัยหลักด้านความพร้อมของพื้นที่ ประกอบด้วย ทัศนคติของชุมชน (8.64%) บริการสาธารณะ (1.44%) ระบบสาธารณูปโภค (7.92%) ค่า CR เท่ากับ 0 น้ำหนักของปัจจัยย่อยในปัจจัยหลักด้านลูกค้า ประกอบด้วย จำนวนลูกค้าในพื้นที่ (25.60%) การตอบสนองต่อลูกค้า (14.40%) ค่า CR เท่ากับ 0 น้ำหนักของปัจจัยย่อยด้านการคมนาคม ประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง (3.54%) ถนนกว้าง (0.90%) เดินทางได้หลายเส้นทาง (1.56%) ค่า CR เท่ากับ 0 น้ำหนักของปัจจัยย่อยในปัจจัยหลักด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย ผลกระทบต่อการสัญจรในชุมชน (6.24%) มลภาวะฝุ่นและเสียง (6.24%) เสียงต่อการเกิดน้ำท่วม (9.10%) เสียงต่อสารเคมีรั่วไหล (4.42%) ค่า CR เท่ากับ 0.01 เรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อยทั้งหมดได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อยทั้งหมด

ลำดับที่	ปัจจัยย่อย	ค่าน้ำหนัก (%)
1	จำนวนลูกค้าในพื้นที่	25.60
2	การตอบสนองต่อลูกค้า	14.40
3	เสียงต่อการเกิดน้ำท่วม	9.10
4	ทัศนคติของชุมชน	8.64
5	ระบบสาธารณูปโภค	7.92
6	ผลกระทบต่อการสัญจรในชุมชน	6.24
7	มลภาวะฝุ่นและเสียง	6.24
8	ขนาดที่ดิน	4.80
9	เสียงต่อสารเคมีรั่วไหล	4.42
10	ราคาที่ดิน	4.40
11	ต้นทุนการขนส่ง	3.54
12	เดินทางได้หลายเส้นทาง	1.56
13	บริการสาธารณะ	1.44
14	ถนนกว้าง	0.90
15	รูปร่างที่ดิน	0.80

4.3 ลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งทางเลือก

การวิเคราะห์ผลด้วย AHP เพื่อให้ได้ลำดับของทำเลที่ตั้งทางเลือก โดยการนำค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักและค่าน้ำหนักของทำเลที่ตั้งทางเลือกมาคำนวณ ตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 น้ำหนักของปัจจัยหลักและค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักของทำเลที่ตั้งทางเลือก

น้ำหนัก ของ ปัจจัย หลัก	น้ำหนักของทำเลที่ตั้งทางเลือก		
	นิคม อุตสาหกรรม มาบตาพุด	นิคม อุตสาหกรรม WHA EIE	นิคม อุตสาหกรรม เอเชียระยอง
0.10	0.19	0.20	0.61
0.18	0.62	0.27	0.11
0.40	0.69	0.24	0.07
0.06	0.27	0.20	0.53
0.26	0.12	0.21	0.67

การคำนวณหาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุด ใช้วิธี Weighted Sum of Score ด้วยการหาผลรวมของผลคูณระหว่างค่าน้ำหนักกับคะแนนของแต่ละทำเลที่ตั้งทางเลือก ดังนี้

นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด = $[(0.10 \times 0.19) + (0.18 \times 0.62) + (0.40 \times 0.69) + (0.06 \times 0.27) + (0.26 \times 0.12)]$

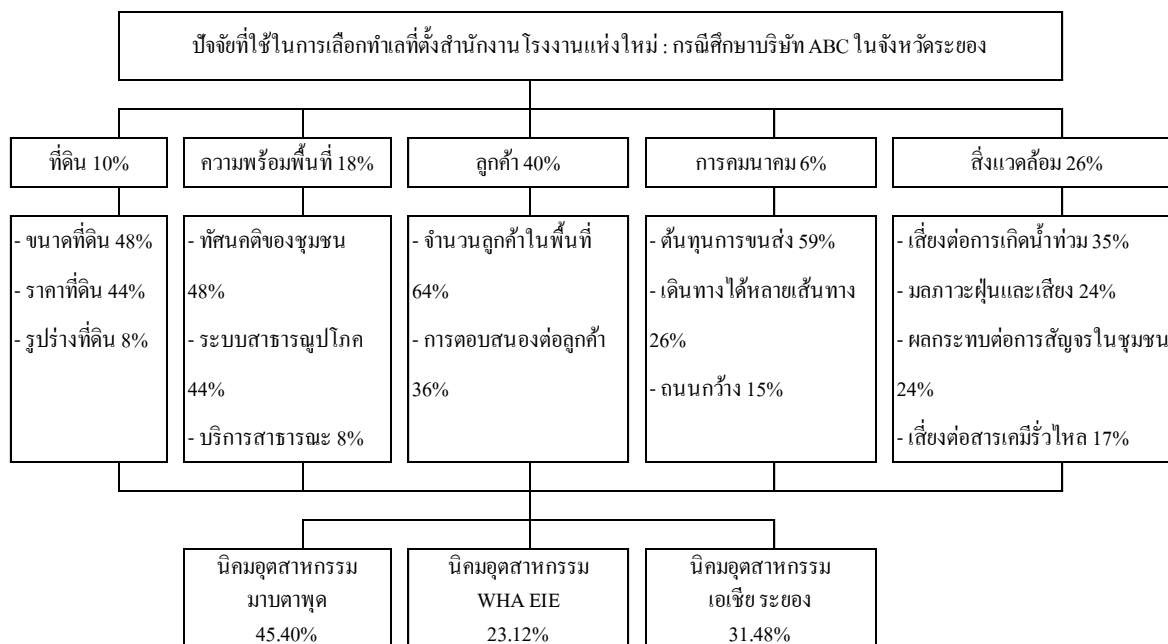
นิคมอุตสาหกรรม WHA EIE = $[(0.10 \times 0.20) + (0.18 \times 0.27) + (0.40 \times 0.24) + (0.06 \times 0.20) + (0.26 \times 0.21)]$

นิคมอุตสาหกรรมเอเชียระยอง = $[(0.10 \times 0.61) + (0.18 \times 0.11) + (0.40 \times 0.07) + (0.06 \times 0.53) + (0.26 \times 0.67)]$

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดได้ 0.4540 นิคมอุตสาหกรรม WHA EIE ได้ 0.2312 นิคมอุตสาหกรรมเอเชียระยองได้ 0.3148 ทำให้ทราบว่าทางเลือกที่มีระดับคะแนนมากที่สุด คือ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จากปัจจัยด้านลูกค้าและความพร้อมของพื้นที่ทั้งระบบสาธารณูปโภคและโครงสร้างพื้นฐานที่มากกว่า

สรุปจากการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งสำนักงานโรงงานแห่งใหม่ และการลำดับความสำคัญของทำเลที่ตั้งทางเลือกจากแบบสอบถามกลุ่มตัวอย่างผู้บริหารของบริษัท จำนวน 7 คน โดยใช้วิธีการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ผลการวิเคราะห์

ข้อมูลสรุปได้ดังนี้ ปัจจัยหลักที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยหลักด้านลูกค้ามีความสำคัญมากที่สุดอยู่ที่ 40% และปัจจัยหลักด้านการคมนาคมมีความสำคัญน้อยที่สุดอยู่ที่ 6% ในส่วนของปัจจัยย่อยจำนวน 15 ปัจจัย พบว่าในปัจจัยหลักด้านที่ดิน ปัจจัยย่อยด้านขนาดที่ดินมีความสำคัญมากที่สุดอยู่ที่ 48% ในปัจจัยหลักด้านความพร้อมพื้นที่ ปัจจัยย่อยด้านทัศนคติของชุมชนมีความสำคัญมากที่สุดอยู่ที่ 48% ในปัจจัยหลักด้านลูกค้า ปัจจัยย่อยด้านจำนวนลูกค้าในพื้นที่ที่มีความสำคัญมากที่สุดอยู่ที่ 64% ในปัจจัยหลักด้านการคมนาคม ปัจจัยย่อยด้านต้นทุนการขนส่งมีความสำคัญมากที่สุดอยู่ที่ 59% และในปัจจัยหลักด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยย่อยด้านความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมมีความสำคัญมากที่สุดอยู่ที่ 35% จากผลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าลำดับความสำคัญของปัจจัยหลักด้านลูกค้าอยู่ที่ 40% และปัจจัยย่อยของปัจจัยหลักด้านลูกค้าคือ จำนวนลูกค้าในพื้นที่อยู่ที่ 25.60% และการตอบสนองต่อลูกค้าอยู่ที่ 14.40% มีความสำคัญมากที่สุดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ในส่วนของทำเลที่ตั้งทางเลือก จำนวน 3 ทางเลือกพบว่า นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีความเหมาะสมมากที่สุดอยู่ที่ 45.40% รองลงมาเป็นนิคมอุตสาหกรรมเอเชียระยองอยู่ที่ 31.48% และนิคมอุตสาหกรรม WHA EIE น้อยที่สุดอยู่ที่ 23.23% โดยนำมาสรุปในรูปแบบของแผนภูมิเชิงลำดับชั้นได้ดังภาพที่ 1



รูปที่ 1 สรุปผลการวิจัยในรูปแบบของแผนภูมิเชิงลำดับชั้น

5. สรุปผล

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษา คือ การศึกษาปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งสำนักงานโรงงานแห่งใหม่ โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) มาจัดระบบในการตัดสินใจ เพื่อนำเสนอข้อมูลให้กับบริษัทในการใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกทำเลที่ตั้งของสำนักงานโรงงานแห่งใหม่ได้อย่างเหมาะสมและตอบโจทย์ความต้องการ โดยใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นผู้บริหารของบริษัทที่มีบทบาทและเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในเรื่องการเลือกทำเลที่ตั้งของบริษัทจำนวน 7 คน โดยมีปัจจัยสำคัญที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีอยู่ 5 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านที่ดิน ด้านความพร้อมของพื้นที่ ด้านลูกค้า ด้านการคมนาคม และด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลที่ได้รับจากการทำแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างได้ให้ความสำคัญด้านลูกค้ามากที่สุด ถัดมาเป็นด้านสิ่งแวดล้อม ด้านความพร้อมของพื้นที่ ด้านที่ดิน และด้านการคมนาคม ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อยในปัจจัยหลักด้านต่าง ๆ แล้วสรุปในแต่ละปัจจัยได้ดังนี้ ในปัจจัยด้านลูกค้า ได้ให้ความสำคัญด้านจำนวนลูกค้าในพื้นที่มากที่สุด ในปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ได้ให้ความสำคัญกับการเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม

มากที่สุด ในปัจจัยด้านความพร้อมของพื้นที่ ได้ให้ความสำคัญกับทิศนาคีของชุมชนมากที่สุด ในปัจจัยด้านที่ดิน ได้ให้ความสำคัญกับขนาดที่ดินมากที่สุด และในปัจจัยด้านการคมนาคม ได้ให้ความสำคัญกับต้นทุนการขนส่งมากที่สุด น้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการคำนวณเมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับทำเลที่ตั้งทางเลือกของทั้ง 3 พื้นที่ โดยทำการเปรียบเทียบตามเกณฑ์ปัจจัยทุก ๆ ปัจจัย เพื่อเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุด ผลที่ได้คือ ทำเลที่ตั้งในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีการตรวจสอบค่าความสอดคล้อง ผลที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0.1 อย่างมาก ดังนั้น ผลที่ได้ถือว่ามีความเที่ยงตรงสูง นอกจากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้แล้ว สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการหาทำเลที่ตั้งในด้านอื่นๆ ที่มีความใกล้เคียงกันได้ โดยการวิเคราะห์ต่อยอดหรือศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของปัจจัยหลักและปัจจัยรองที่เลือกใช้โดยพิจารณาควบคู่ไปกับแหล่งที่ตั้งทางเลือกทั้งที่อยู่ภายในหรือภายนอกนิคมอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้มีการประเมินน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยจากผู้เชี่ยวชาญเพียง 7 ท่าน ดังนั้นหากมีผู้เชี่ยวชาญมากขึ้นอาจสะท้อนค่าได้แม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้อาจเพิ่มปัจจัยด้านกฎหมาย ระเบียบและข้อบังคับ ที่มีความสำคัญใน

การเลือกทำเลที่ตั้งเข้ามาเพิ่มเติม เนื่องจากในแต่ละพื้นที่อาจจะมีกฎหมายและข้อบังคับที่แตกต่างกันออกไป รวมทั้งปัจจัยด้านคู่แข่งในพื้นที่ในกรณีที่ทางเลือกของทำเลที่ตั้งไม่ได้อยู่ในนิคมอุตสาหกรรม นอกจากนั้นวิธี AHP มีการใช้ค่าถ่วงน้ำหนักในการเสนอแนวทางในการตัดสินใจ ทำให้การตัดสินใจขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญและเหมาะสมสำหรับกรณีที่จำนวนเกณฑ์และทางเลือกไม่มากนัก อีกทั้งเหมาะสมกับเกณฑ์เชิงคุณภาพ สำหรับกรณีที่เป็นการตัดสินใจที่มีจำนวนปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยจำนวนมากและมีทางเลือกหลายแห่ง วิธี Data Environment Analysis (DEA) เป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหาด้านข้อจำกัดและลดความยุ่งยากของ วิธี AHP

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ประสงค์ ปรานีตพลกรัง, การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ, กรุงเทพมหานคร: Diamond in Business World, 2547.
- [2] อรทัย วานิชดี, ธุรกิจทั่วไป, กรุงเทพมหานคร: ประสานมิตร, 2545.
- [3] ขจรศักดิ์ ไชยวงศ์, “แนวทางการเลือกทำเลที่ตั้งสาขาของศูนย์การค้ามอลล์”, วิทยาศาสตร์ มหาคณิศ, สาขาวิชาวิศวกรรมการพัฒนา อสังหาริมทรัพย์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2560.
- [4] กันต์ธมน สุขกระจำ, “ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการตัดสินใจในการเลือกทำเลที่ตั้งของร้านขายแก๊ส โดยวิธี AHP,” วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง., ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, น. 1-11, 2560.
- [5] กันต์ธมน สุขกระจำ, “การเลือกทำเลที่ตั้งของบริษัทขายอะไหล่รถยนต์โดยวิธี AHP: บริษัท ABC จำกัด,” วารสารการประชุมมหาดไทยวิชาการระดับชาติและนานาชาติ, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, น. 1421-1428, 2561.
- [6] ปริณัทร วงศ์ปัจฉิม, “ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกทำเลที่ตั้งตามความคิดเห็นของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตขนาดกลางในจังหวัดหนองคาย,” วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม., ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, น. 10-18, 2560.
- [7] รุ่งอาทิตย์ บุชาอินทร์ และกฤษฎา จรินทร์, “ปัจจัยที่ใช้ในการวางแผนองค์การธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ด้านการเลือกทำเลที่ตั้งหมู่บ้านจัดสรรยุคใหม่,” วารสารปัญญาภิวัฒน์., ปีที่ 8, ฉบับที่ 2, น. 1-10, 2559.
- [8] ธนวัฒน์ เมธีธัญญรัตน์, “การเลือกที่ตั้งคลังน้ำมันในประเทศไทยโดยใช้วิธีลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์,” วิศวกรรมสาร, ปีที่ 32, ฉบับที่ 3, น. 37-42, 2558.
- [9] จุฑามาศ อินทร์แก้ว, “การวิเคราะห์ปัจจัยการเลือกทำเลที่ตั้งสาขา กรณีศึกษา หจก. เอสเอส ค้าไม้ จังหวัดสุราษฎร์ธานี,” บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2556.
- [10] สมชาย วรภิรมย์สกุล, ระเบียบวิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์, อุดรธานี: อักษรศิลป์การพิมพ์, 2554.
- [11] วิฑูรย์ ต้นศิริคงคล, AHP การตัดสินใจขั้นสูงเพื่อความก้าวหน้าขององค์กรและความอยู่ดีมีสุขของมหาชน, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง, 2557.
- [12] สุธรรม อรุณ, “การตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP),” Process Management., ปีที่ 64, ฉบับที่ 1, น. 83-89, 2549.
- [13] สถาพร โอภาสานนท์, การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์สำหรับธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์: ทฤษฎีและการปฏิบัติ, กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2558.

การวางแผนนโยบายสินค้าจากค่าพยากรณ์ความต้องการยาด้วยวิธีการถดถอย เชิงพหุคูณซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงตัวเลขและตัวแปรเชิงกลุ่ม

เทพมณี เทพบุตร^{1*}

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (NIDA) 148 ถนนเสรีไทย เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

Received: 25 January 2022; Revised: 13 March 2022; Accepted: 6 June 2022

บทคัดย่อ

กรณีศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ปริมาณความต้องการยารายการใหม่ (generic) และยาเดิม (original) ซึ่งคาดว่าจะได้รับผลกระทบ และนำค่าพยากรณ์ที่ได้ไปสร้างนโยบายจัดการสินค้าคงคลัง ณ โรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่ง ในการวางแผนนโยบายสินค้าคงคลัง มีความไม่แน่นอนทั้งปริมาณความต้องการและระยะเวลาจัดส่งสินค้า (lead time) ผู้วิจัยพิจารณาตัวแบบสินค้าคงคลังสามตัวแบบ ตัวแบบ 1 และตัวแบบ 2 สมมติให้ปริมาณความต้องการกระจายตัวแบบปกติแต่มีแนวคิดการคำนวณระดับสั่งถึง (order-up-to level) และจุดสั่งซื้อ (reorder point) ที่แตกต่างกัน ส่วนตัวแบบ 3 ไม่ได้ใช้ข้อสมมติของการกระจายตัวปกติแต่ใช้ฟังก์ชันการกระจายเชิงประจักษ์ (empirical distribution function) ของระยะเวลาจัดส่งสินค้าและหาการกระจายตัวที่เหมาะสม (fitting distribution) ของความต้องการยาด้วยโปรแกรม R Studio สำหรับยารายการใหม่ใช้การพยากรณ์ใช้ตัวแบบการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (multiple regression model) ตัวแปรอิสระมีทั้งตัวแปรเชิงตัวเลข (numerical variable) เช่น ราคาขาย และตัวแปรเชิงกลุ่ม (categorical variable) เช่น กลุ่มแพทย์ที่สั่งใช้ยา แผนกที่มีการใช้ยา การจัดประเภทกลุ่มยาในโรงพยาบาลและบริษัทผู้จำหน่าย หลังจากที่ได้ทดลองนโยบายการจัดการคลังสินค้ากับข้อมูลความต้องการใช้ยาจริงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าระดับการให้บริการ (cycle service level (CSL)) มากกว่า 99% สำหรับยาใหม่ 8 ใน 10 รายการ ค่าใช้จ่ายในการจัดการคลังสินค้าลดลงได้เฉลี่ย 60% เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายจากนโยบายเดิม นอกจากนี้ยังได้ศึกษารูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมเพื่อสร้างนโยบายการจัดการคลังสินค้ากับรายการยาเดิม ที่คาดว่าความต้องการจะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับผลกระทบจากยารายการใหม่ นอกเหนือไปจากตัวแบบถดถอยในตอนต้น วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาสามารถใช้กับยาเดิมซึ่งมีข้อมูลในอดีต ในกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ใช้ตัวแบบ innovations state space สำหรับ exponential smoothing (ETS) ตัวแบบ autoregressive integrated moving average (ARIMA) และ ตัวแบบ neural network autoregression (NNAR) หลังจากที่ได้ทดลองนโยบายการจัดการคลังสินค้ากับข้อมูลความต้องการใช้ยาจริงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าระดับการให้บริการมากกว่า 99% สำหรับยาเดิม 9 ใน 10 รายการ ค่าใช้จ่ายในการจัดการคลังสินค้าลดลงได้เฉลี่ย 47% เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายจากนโยบายเดิม

คำสำคัญ: การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ, ตัวแบบสินค้าคงคลัง, การพยากรณ์ความต้องการยา

* Corresponding author. E-mail: tapmanee.tap@gmail.com

¹ นักศึกษามหาบัณฑิต หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Inventory Models from Medicine Demand Forecasting with Dummy Variables and Interaction Terms of Multiple Regression

Tapmanee Tapabut^{1*}

Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration (NIDA)
148 Serithai Road, Bangkok, Bangkok 10240 THAILAND

Received: 25 January 2022; Revised: 13 March 2022; Accepted: 6 June 2022

Abstract

The objective of this study is to forecast the demand for both generic and original medicines and to construct their inventory policies at a hospital using these forecasts. To construct an inventory policy, both uncertainties in demand and lead time are accounted for. We consider three inventory models: Models 1 and 2 assume normal distribution, but different calculations are used to compute the order-up-to level and the reorder point. Model 3 does not assume normal distribution but uses the empirical distribution of the lead time and fits distribution to the demand using the R Studio program. In our multiple regression model for the generic medicines, our independent variables include both numerical variables, such as price, and categorical variables, such as group of doctors, section in hospital, classification of medicine and vendor of medicine. After applying the proposed inventory policy to the six-month actual data, we find that the cycle service level (CSL) exceeds 99% for 8 out of 10 generic medicines, and the inventory cost is reduced by 60%, compared to the cost given the current policy. Furthermore, we quantify the effect of these new generic medicines to the original medicines and obtain the appropriate forecasts and the corresponding inventory policies for the affected original medicines. In addition to the proposed regression models, time series forecasting models can be used for original medicines, whose historical data are available. In this case study, we use the innovations state space model for exponential smoothing (ETS), the autoregressive integrated moving average (ARIMA) and the neural network autoregression (NNAR) models. Our result reveals that the CSL exceeds 99% for 9 out of 10 original medicines, and the inventory cost is reduced by 47%, compared to the cost given the current policy.

Keywords: Multiple Regression, Inventory Model, Medicine Forecasting

* Corresponding author. E-mail: tapmanee.tap@gmail.com

¹ Master's degree in Department of Logistics Management, Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

1. ที่มาและความสำคัญ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความต้องการรายการยาใหม่ ณ โรงพยาบาลเอกชนแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยอาศัยข้อมูลตั้งแต่ เดือนเมษายน พ.ศ.2560 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 โดยปกติโรงพยาบาลมีรายการยาหลักเรียกว่า “ยา Original” และรายการยาทางเลือกเรียกว่า “ยา Generic” ซึ่งเป็นยาที่มีส่วนประกอบเหมือนกันใช้ในการรักษาอาการเดียวกันและสามารถใช้ทดแทนกันได้ โดยทั่วไปทางโรงพยาบาลจะมีการนำรายการยา Original เข้ามาใช้ก่อน และเมื่อพบว่าความต้องการใช้รายการดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น ทางโรงพยาบาลจะมีการพิจารณานำยา Generic เข้ามาเพื่อเพิ่มการเข้าถึงยาให้กับคนไข้ในกลุ่มที่หลากหลายมากยิ่งขึ้นเนื่องจากยา Generic มักมีราคาต่ำกว่ายา Original

ปัญหาที่พบในช่วงแรกของการนำยา Generic เข้ามาคือทางโรงพยาบาลไม่สามารถคาดการณ์ปริมาณความต้องการยา Generic ได้ เนื่องจากเป็นรายการยาที่นำเข้ามาใหม่ ไม่มีข้อมูลในอดีต ส่งผลให้ยากต่อการวางแผนจัดการนโยบายคลังสินค้า

การศึกษานี้จึงได้นำหลักการของ Multiple Regression with Dummy Variables มาสร้างเป็นสมการ โดยประกอบด้วยตัวแปรซึ่งเป็นปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความต้องการยา Generic ได้แก่ ราคาขาย กลุ่มแพทย์ที่สั่งใช้ยา แผนกที่มีการใช้ยา การจัดประเภทกลุ่มยาในโรงพยาบาล และบริษัทผู้จำหน่าย เพื่อคาดการณ์ปริมาณความต้องการยาและนำมาวางแผนนโยบายการจัดการคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพ สามารถลดต้นทุนการจัดการคลังสินค้าลงและยังกระชับการให้บริการ ซึ่งก็คือโอกาสที่ยาจะไม่ขาดสต็อกในแต่ละรอบการสั่งซื้อตามที่โรงพยาบาลกำหนด จากทฤษฎีการจัดการสินค้าคงคลังระดับการให้บริการสามารถวัดได้หลายแบบ เช่น แบบ Cycle Service Level (CSL) หมายถึงความน่าจะเป็นที่ยาเพียงพอในแต่ละรอบการสั่งซื้อ แบบ Fill Rate (FR) หมายถึงสัดส่วนของปริมาณความต้องการที่ตอบสนองได้จากสต็อกที่มีอยู่ เนื่องจากหากเกิดเหตุการณ์ยาขาดไม่ว่าจะขาดเป็นจำนวนมากหรือน้อย ในแต่ละครั้งที่ยาขาดส่งผลกระทบต่อการรักษาผู้ป่วย ทางโรงพยาบาลจึงเลือกการวัดระดับการให้บริการแบบ Cycle Service Level (CSL)

2. แนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพยากรณ์ด้วยวิธี Multiple Regression with Dummy Variables

[1] การพยากรณ์สินค้าด้วยวิธีการ Regression เหมาะกับรายการสินค้าที่สนใจ (dependent Variable) ซึ่งทราบว่าปัจจัยใดบ้างเป็นส่วนเกี่ยวข้อง (Independent Variable) โดยนำชุดข้อมูล dependent Variable และ Independent Variable มาสร้างเป็นสมการเชิงเส้น ซึ่ง Independent Variable ในสมการสามารถมีได้มากกว่า 1 ตัวแปรโดยจะเรียก Regression ที่มี Independent Variable มากกว่า 1 ตัวแปรว่า Multiple Regression

หลังจากที่ได้สมการ Regression แล้วสามารถตรวจสอบว่าตัวแบบที่ได้มีความสมรूपกับข้อมูลมากเพียงใดได้จากค่า Adjusted R-square โดยจะเลือกตัวแบบที่มี Adjusted R-Square สูงสุด

ในปัญหานี้ Independent Variable บางตัวเป็น Categorical Data เช่น กลุ่มแพทย์ที่ใช้ยา แผนกที่มีการใช้ยา เป็นต้น ดังนั้นจึงได้มีการกำหนด Dummy Variable เข้ามาใช้ในตัวแบบ Regression

2.2 การพยากรณ์ข้อมูลประเภท Time series

2.2.1 [2] State space model for exponential smoothing Model (ETS) เป็นตัวแบบการพยากรณ์แบบซึ่งพิจารณา 3 parameter ของชุดข้อมูล ได้แก่ Error, Trend และ Seasonal

2.2.2 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) อาศัยข้อมูลในอดีตเพื่อกำหนดรูปแบบของข้อมูลและพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต แบบจำลอง ARIMA ประกอบด้วย 3 ส่วน Autoregressive process, Integrated และ Moving average process

2.2.3 Neural Network Autoregression (NNAR) โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้ คือ ข้อมูลอินพุต (input), ข้อมูลเอาต์พุต (output), ค่า

น้ำหนัก (weights), ฟังก์ชันผลรวม (Summation function) และฟังก์ชันการแปลง (transfer function)

2.3 การวางแผนนโยบายการสั่งซื้อแบบ Periodic Review

[3] นโยบายการจัดการคลังสินค้าแบบ Periodic Review เป็นนโยบายที่มีการสั่งซื้อสินค้าตามรอบการสั่งซื้อ (Review Period) ซึ่งแต่ละรอบการสั่งซื้ออาจมีปริมาณการสั่งซื้อไม่เท่ากัน โดยปกติมักจะกำหนดปริมาณการสั่งซื้อจาก Maximum Level หรือ Order-up-to level (OUTL) ปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละครั้ง คำนวณได้จาก

$$Q = (OUTL - IP)^+ \quad (1)$$

โดยที่ IP แทนระดับสินค้าคงคลัง (Inventory Position). เครื่องหมาย $(x)^+ = \max(x, 0)$ แทน Positive Part ของ x .

ในบางครั้งนโยบายการจัดการคลังสินค้าแบบ Periodic Review อาจจะถูกกำหนดค่า Re-order point (ROP) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$ROP = SS + \bar{D}_L \quad (2)$$

โดยที่ SS แทน Safety stock และ $\bar{D}_L$ แทนค่าเฉลี่ยของปริมาณความต้องการในช่วงเวลานำ (Lead Time) โดยสมการ (2) มีข้อกำหนด (Assumption) คือให้ปริมาณความต้องการเป็น Normal Distribution

2.4 การกำหนดนโยบายการสั่งซื้อสำหรับสินค้าที่การกระจายตัวของความต้องการไม่ได้อยู่ในรูปแบบ Normal Distribution

เนื่องจากสูตรในการคำนวณหานโยบายจัดการคลังสินค้าเป็นการคำนวณบนพื้นฐานของการกระจายตัวของความต้องการสินค้าในรูปแบบ Normal Distribution ดังนั้นหากความต้องการของสินค้าไม่ได้มีการกระจายตัวแบบ Normal Distribution อาจส่งผลให้นโยบายการจัดการคลังสินค้าไม่สามารถตอบสนองตามเป้าหมายค่าระดับการให้บริการที่ตั้งไว้ได้

ดังนั้นหากตรวจสอบความต้องการของสินค้าแล้วพบว่าไม่ได้มีการกระจายตัวแบบ Normal Distribution

อาจใช้เทคนิคการจำลองความต้องการของสินค้าให้สอดคล้องกับรูปแบบการกระจายตัวของความต้องการสินค้า จากนั้นใช้ Excel Solver มาช่วยคำนวณหานโยบายการจัดการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าระดับการให้บริการตามที่ต้องการ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยวิธีการพยากรณ์ความต้องการยาในโรงพยาบาล เช่น [4] ได้ศึกษาการพยากรณ์ความต้องการยาโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ดังนี้ คือ Naïve Method, Moving Average, Exponential Smoothing, Holt's และ Holt-Winters' ซึ่งผลการศึกษพบว่ามียาพยากรณ์ได้แม่นยำร้อยละ 60 ของตัวยาทั้งหมดที่ศึกษาและพบว่ามียาจ่ายภายนอกหลายอย่างมีผลต่อความต้องการยานอกจากนี้ [5] ยังได้ศึกษาการพยากรณ์ความต้องการยาโดยวิธี Neural Network Autoregression พบว่าการพยากรณ์รายวันมีความแม่นยำกว่าการพยากรณ์รายเดือน

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับนโยบายการจัดการคลังยาในโรงพยาบาลเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่าย เช่น [6] ใช้นโยบายการจัดการคลังสินค้าแบบ (s,Q) พบว่าสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายการจัดการคลังสินค้าได้ 21.23% และ [7] ได้มีการศึกษานโยบายการจัดการคลังสินค้าที่เหมาะสม พบว่านโยบาย (s,Q) สามารถลดค่าใช้จ่ายรวมได้มากกว่า นโยบาย (s,S)

งานวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยข้างต้น เน้นการพยากรณ์ความต้องการยารายการใหม่ มีการใช้ตัวแบบ Proposed Regression Method ซึ่งทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการยากับปัจจัยต่างๆ เป็นสมการถดถอย (Regression equation) สมการดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้พยากรณ์ปริมาณความต้องการที่ไม่มีข้อมูลในอดีต และสร้างนโยบายสินค้าคงคลังจากสามตัวแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อ 3

3. วิธีการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 จัดการข้อมูล โดยข้อมูลส่วนที่ 1 สำหรับการพยากรณ์ เก็บข้อมูลความต้องการยาเป็นรายเดือน และปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อความต้องการยา

รายการใหม่ ได้แก่ ราคาขาย กลุ่มแพทย์ที่ส่งใช้ยา แผนกที่มีการใช้ยา การจัดประเภทกลุ่มยาในโรงพยาบาลและบริษัทผู้จำหน่าย พร้อมทั้งจัดการข้อมูลให้อยู่ในตาราง Excel ในรูปแบบที่นำมาวิเคราะห์ต่อไป

ข้อมูลส่วนที่ 2 สำหรับการสร้างและจำลองนโยบายเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายจริงที่เกิดขึ้นในกระบวนการจัดการคลังสินค้า, ข้อมูล Lead Time ของแต่ละบริษัทผู้จำหน่าย และรายละเอียดของยาแต่ละรายการซึ่งได้แก่ ราคาทุนต่อหน่วย, ขนาดบรรจุภัณฑ์, ความต้องการรายวัน, จำนวนครั้งในการสั่งซื้อของช่วงเวลาที่น่าสนใจ และจำนวนสินค้าคงเหลือในช่วงเวลาที่น่าสนใจ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสมการ Regression นำข้อมูลรูปแบบ Excel จากขั้นตอนที่ 1 import เข้าโปรแกรม R studio โดยเลือกเฉพาะรายการยาที่มีการใช้ในโรงพยาบาลทั้งยา Generic และยา Original มาตั้งแต่ เดือนเมษายน 2561 จำนวน 102 ตัวยาหรือ 51 คู่ สร้างเป็นสมการ Regression ได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 p + \beta_2 m + \beta_3 d_1 + \beta_4 c_1 + \beta_5 c_2 + \beta_6 c_3 + \beta_7 c_4 + \beta_8 g_1 + \beta_9 g_2 + \beta_{10} g_3 + \beta_{11} g_4 + \beta_{12} g_5 + \beta_{13} v_1 + \beta_{14} v_2 + \beta_{15} v_3 + \beta_{16} v_4 + \beta_{17} (p g_1) + \beta_{18} (p g_2) + \beta_{19} (p g_3) + \beta_{20} (p g_4) + \beta_{21} (p g_5) \quad (3)$$

โดยที่ y คือ % ส่วนแบ่งตลาดของของยา Generic ซึ่งคำนวณจาก ความต้องการยา Generic/(ความต้องการรวมของยา Generic และ Original)

β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

p คือ ราคาขายยา Generic

m คือ สัดส่วนราคาขายยา Original / ราคาขาย Generic

d_i คือ กลุ่มแพทย์ที่ส่งใช้ยา; $i = 0,1$ โดยที่

กลุ่มแพทย์	d_0	d_1
แพทย์กลุ่ม 1	0	0
แพทย์กลุ่ม 2	0	1

c_i คือ แผนกที่มีการใช้ยา; $i = 0,1,2,...,4$

แผนก	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4
อายุรกรรม	0	0	0	0	0
สูติ	0	1	0	0	0
หูคอจมูก	0	0	1	0	0
กระดูก	0	0	0	1	0
ผิวหนัง	0	0	0	0	1

g_i คือ การจัดประเภทกลุ่มยาในโรงพยาบาล; $i = 0,1,2,...,5$

กลุ่มยา	g_0	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
ความดัน	0	0	0	0	0	0
ไอ	0	1	0	0	0	0
ประสาท	0	0	1	0	0	0
ฆ่าเชื้อ	0	0	0	1	0	0
ต่อมไทรอยด์	0	0	0	0	1	0
แก้แพ้	0	0	0	0	0	1

v_i คือ บริษัทผู้จำหน่าย; $i = 0,1,2,3,4$

บริษัท	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4
อื่นๆ	0	0	0	0	0
A	0	1	0	0	0
B	0	0	1	0	0
C	0	0	0	1	0
D	0	0	0	0	1

สังเกตว่าในสมการ (3) มี Interaction Term ระหว่างราคาขายยา และประเภทกลุ่มยาในโรงพยาบาลด้วย ซึ่งคือ 5 พจน์สุดท้าย

ขั้นตอนที่ 3 พยากรณ์ความต้องการยา ส่วนที่ 1 เป็นยา Original 10 รายการ โดยนำข้อมูลความต้องการรายเดือนในอดีตรูปแบบไฟล์ Excel import เข้าโปรแกรม R studio และพยากรณ์ความต้องการในอีก 6 เดือนข้างหน้า โดยเดือนที่ 1 เริ่มพยากรณ์คือเดือนที่เริ่มมียา Generic เข้ามาในโรงพยาบาลเป็นเดือนแรก ใช้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับการมีชุดข้อมูลในอดีตอ้างอิงจาก 2.2 และวิธี Proposed Regression Method รวมทั้งหมดเป็น 4 วิธี

1) พยากรณ์ด้วยวิธี State space model for exponential smoothing Model (ETS) ใช้โปรแกรม R studio ด้วยคำสั่งดังรูปที่ 1

```
dta <- ts(d$name, start = c(yyyy1,m1),end = c(yyyy2,m2),
         frequency = 12)
dta
dtfe <- forecast(dta, h=6)
summary(dtfe)
```

รูปที่ 1 คำสั่งการพยากรณ์ด้วยวิธี ETS ใน R studio

โดยที่ d คือ ชื่อไฟล์ที่ import เข้าโปรแกรม R studio
name คือ ชื่อยาเป็นภาษาอังกฤษตามชื่อคอลัมน์ในไฟล์ Excel

yyyy1, m1 คือ ปี ค.ศ. และเดือน เริ่มต้นของข้อมูลในไฟล์ Excel

yyyy2, m2 คือ ปี ค.ศ. และเดือน สิ้นสุดของข้อมูลในไฟล์ Excel

2) พยากรณ์ด้วยวิธี Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) ใช้โปรแกรม R studio ด้วยคำสั่งดังรูปที่ 2

```
fit <- auto.arima(dta)
forecast(fit, h=6)
accuracy(fit)
```

รูปที่ 2 คำสั่งการพยากรณ์ด้วยวิธี ARIMA ใน R studio

3) พยากรณ์ด้วยวิธี Neural Network Autoregression (NNAR) ด้วยคำสั่งดังรูปที่ 3

```
fitNN <- nnetar(dta, lambda=0)
dtfn <- forecast(fitNN, PI=TRUE, level=c(0.95, 0.99), h=6)
summary(dtfn)
```

รูปที่ 3 คำสั่งการพยากรณ์ด้วยวิธี NNAR ใน R studio

4) พยากรณ์ด้วยวิธี Proposed Regression Method โดยการนำค่า% ส่วนแบ่งของยา Original ที่คำนวณได้จากสมการ Regression มาคูณกับค่าพยากรณ์จากวิธี ETS ซึ่งเป็นค่าความต้องการในแต่ละเดือน

ส่วนที่ 2 เป็นยา Generic 10 รายการ พยากรณ์ด้วยวิธี Proposed Regression Method โดยการนำค่า% ส่วน

แบ่งของยา Generic ที่คำนวณได้จากสมการ Regression มาคูณกับค่าพยากรณ์ยา Original จากวิธี ETS ในแต่ละเดือน

ขั้นตอนที่ 4 สร้างนโยบายการจัดการคลังสินค้า

โดยมี 3 ตัวแบบ

ตัวแบบ 1 สร้างนโยบายการจัดการคลังสินค้า แบบ Periodic Review โดยคำนวณค่า Minimum Level และ Maximum Level โดยกำหนด Cycle service level (α) = 0.99 จากนั้นคำนวณค่า safety factor (z)

$$z = \Phi^{-1}(\alpha) \quad (4)$$

คำนวณค่า s fety stock (SS.)

$$SS. = z\sqrt{(R + E[L])\sigma^2 + var(L)\mu^2} \quad (5)$$

โดยที่ R คือ Review Period

μ คือ ค่าเฉลี่ยของความต้องการในหนึ่งวัน

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการในหนึ่งวัน (มีค่าเท่ากับ RMSE ที่ได้จากการพยากรณ์)

$E(L)$ คือ ค่าเฉลี่ยของ Lead Time

$Var(L)$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Lead Time

คำนวณ Minimum Level หรือ ROP

$$ROP = SS. + (E(L)) \mu \quad (6)$$

คำนวณ Maximum Level หรือ OUTL

$$OUTL = SS. + (R + E(L)) \mu \quad (7)$$

ตัวแบบ 2 การคำนวณเหมือนกัน ตัวแบบ 1 ต่างกันเพียงการคำนวณวิธี การคำนวณ Minimum Level และ Maximum Level ดังนี้

คำนวณ Minimum Level หรือ ROP

$$ROP = SS + (E(L) + \sqrt{Var(L)}\Phi^{-1}(0.99)) \mu \quad (8)$$

คำนวณ Maximum Level หรือ OUTL

$$OUTL = SS + (R + E(L) + \sqrt{Var(L)}\Phi^{-1}(0.99)) \mu \quad (9)$$

สังเกตว่าใน (8) และ (9) จะใช้ 99th percentile ของ Lead time แทนที่จะใช้ 50th percentile เนื่องจากตัวแบบ 2 ต้องการเพิ่ม Maximum Level และ Minimum Level เพื่อลดโอกาสสินค้าขาดมือ

ตัวแบบ 3 ตรวจสอบรูปแบบการกระจายตัวของยา โดยนำข้อมูลความต้องการรายวันในอดีตจัดรูปแบบไฟล์ Excel import ในโปรแกรม R studio จากนั้นใช้คำสั่งดังรูปที่ 4

```
summary(d0)
hist(d0$name)
sel <- d0$name > 0
d1 <- d0$name[sel]
head(d1)
summary(d1)
hist(d1)
hist(log(d1))

library(fitdistrplus)

fg <- fitdistr(d1, "gamma")
fw <- fitdistr(d1, "weibull")
fln <- fitdistr(d1, "lnorm")
fn <- fitdistr(d1, "norm")
plot.legend <- c("weibull", "lognormal", "gamma", "normal")
denscomp(list(fw, fln, fg, fn), legendtext = plot.legend)
summary(fw)
summary(fln)
```

รูปที่ 4 คำสั่งตรวจสอบการกระจายตัวใน R studio

โดยที่ d0 คือ ชื่อไฟล์ที่ import เข้าโปรแกรม R studio

name คือ ชื่อตามชื่อคอลัมน์ในไฟล์ Excel

เลือกรูปแบบการกระจายตัวของความต้องการยาที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่า p-value และ เกณฑ์ข้อสนเทศของอาไคเค (Akaike's Information Criterion: AIC) จากนั้นนำข้อมูลการกระจายตัวของยามาสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Excel โดยจำลองปริมาณความต้องการยาและจำลอง Lead Time จากนั้นใช้ Excel Solver ช่วยคำนวณค่า Maximum Level หรือ OUTL และ Minimum Level หรือ ROP ที่เหมาะสม ในขั้นตอนนี้มีตัวแปรสองกลุ่ม ได้แก่ ปริมาณความต้องการซึ่งมีการแจกแจงดังรูปที่ 4 และ Lead Time ไม่แน่นอนโดยมีการแจกแจงเชิงประจักษ์ (Empirical Distribution) จากข้อมูลในอดีตดังรูปที่ 6 เนื่องจากมีทั้งปริมาณความต้องการที่ไม่แน่นอนและ Lead Time ที่ไม่แน่นอน ส่งผลให้ยากที่จะระบุการแจกแจงของปริมาณความต้องการในช่วง Lead Time จึงต้องทำการจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของนโยบายสินค้าคงคลังที่ได้ค่าระดับการให้บริการที่ต้องการ

การหา Maximum Level หรือ OUTL ดังรูปที่ 6

1) สร้างแบบจำลองสำหรับความต้องการในช่วง Lead Time และ Review Period

(1) จำลองความต้องการยาในแต่ละวันจากข้อมูลรายละเอียดการกระจายตัวจากโปรแกรม R studio (โดยหากเป็นตัวยา Generic ให้นำค่า Demand จากตัวแบบการจำลองนี้คูณกับ % ส่วนแบ่งของยา Generic ที่คำนวณได้จากสมการ Regression ในขั้นตอนที่ 2

(2) จำลอง Lead Time จากข้อมูลการส่งสินค้าย้อนหลังของบริษัทผู้จำหน่าย

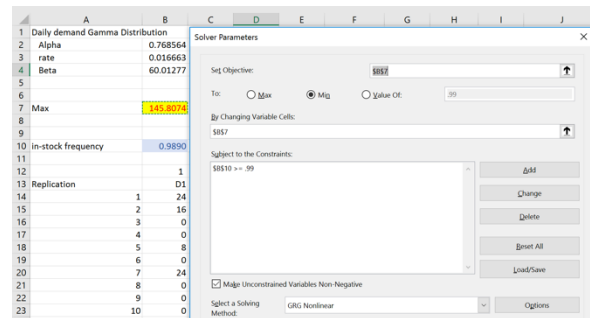
(3) กำหนดให้ Review Period คือ 1 วัน

(4) D in R+L คือผลรวมของความต้องการที่เกิดขึ้นในช่วง Lead Time และ Review จากการจำลองความต้องการและการจำลอง Lead Time

(5) in-stock ind คือโอกาสที่มีสินค้าเพียงพอต่อความต้องการ โดยมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีสินค้าเพียงพอ และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อสินค้าไม่เพียงพอ

(6) in-stock frequency คือ โอกาสที่มีสินค้าเพียงพอต่อความต้องการในแต่ละรอบการสั่งซื้อหรือค่าระดับการให้บริการ (CSL) จากผลการจำลอง 1,000 รอบการสั่งซื้อ

2) ใช้ Excel Solver หาค่า Maximum Level ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 Excel Solver สำหรับการหาค่า Maximum Level แบบจำลอง ตัวแบบ 3

(1) Objective คือ min ของค่า Maximum Level หรือ OUTL

(2) Changing Variable คือ ค่า Maximum Level

(3) Constrain คือ ค่า in-stock frequency หรือค่าระดับการให้บริการ (CSL) มากกว่า 0.99

(4) เลือก Solving Method เป็น GRG Nonlinear

การหา Minimum Level หรือ ROP ใช้วิธีการเหมือนกับการหาค่า Maximum Level ต่างกันเพียงเปลี่ยนข้อมูลในคอลัมน์ D in R+L เป็น D in L หรือผลรวมของความต้องการที่เกิดขึ้นในช่วง Lead Time จากการจำลองความต้องการและการจำลอง Lead Time

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการวิจัยขั้นตอนที่ 3 และ 4

ประเภทของยา	วิธีการพยากรณ์	ตัวแบบสำหรับสร้างนโยบายคลังสินค้า
ยา Original (มีข้อมูลในอดีต)	State space model for exponential smoothing Model (ETS)	ตัวแบบ 1
		ตัวแบบ 2
	Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)	ตัวแบบ 1
		ตัวแบบ 2
	Neural Network Autoregression (NNAR)	ตัวแบบ 1
		ตัวแบบ 2
	Proposed Regression Method	ตัวแบบ 1
		ตัวแบบ 2
ตัวแบบ 3		
ยา Generic (ไม่มีข้อมูลในอดีต)	Proposed Regression Method	ตัวแบบ 1
		ตัวแบบ 2
	ตัวแบบ 3	

ขั้นตอนที่ 5 ทดลองนโยบายการจัดการคลังสินค้ากับข้อมูลความต้องการจริง นำค่า Minimum Level และ Maximum Level ที่คำนวณได้จาก ตัวแบบทั้ง 3 มากำหนดนโยบายการจัดการคลังเปรียบเทียบกับข้อมูลความต้องการรายวันที่เกิดขึ้นจริงในระยะเวลา 6 เดือน และข้อมูล Lead Time ของบริษัทผู้จำหน่าย ดังรูปที่ 7 เพื่อประเมิน

ค่าใช้จ่ายในการจัดการคลังสินค้าและค่าระดับการให้บริการที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 6 เลือกวิธีที่เหมาะสมในการสร้างนโยบายการจัดการคลังสินค้า หากเป็นยา Original จะมีการพิจารณาทั้งรูปแบบการพยากรณ์และตัวแบบ ส่วนยา Generic จะมีการพิจารณาเฉพาะตัวแบบที่เหมาะสมเท่านั้น โดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ ร้อยละค่าใช้จ่ายในการจัดการคลังสินค้าที่ประหยัดลงได้เมื่อเทียบกับนโยบายเดิม (% SAVE) และ ค่าระดับการให้บริการโดยพิจารณาจากค่า p-value ของตัวแปรในสมการ Regression

(1) พิจารณาจากร้อยละค่าใช้จ่ายที่ประหยัดลงได้

$$y = \beta_0 + \beta_1 a_2 + \beta_2 a_3 + \beta_3 b_2 + \beta_4 b_3 + \beta_5 b_4 + \beta_6 b_5 \quad (10)$$

โดยที่ y คือ %SAVE ของแต่ละนโยบาย

a_i คือ ตัวแบบ; $i = 1, 2, 3$

b_i คือ รูปแบบการพยากรณ์ที่ใช้; $i = 1, 2, 3, 4, 5$

(2) พิจารณาจากค่าระดับการให้บริการ

$$y = \beta_0 + \beta_1 a_2 + \beta_2 a_3 + \beta_3 b_2 + \beta_4 b_3 + \beta_5 b_4 + \beta_6 b_5 \quad (11)$$

โดยที่ y คือ ค่าระดับการให้บริการ (CSL) ของแต่ละนโยบาย

a_i คือ ตัวแบบ; $i = 1, 2, 3$

b_i คือ รูปแบบการพยากรณ์ที่ใช้; $i = 1, 2, 3, 4, 5$

ขั้นตอนที่ 7 เปรียบเทียบนโยบายปัจจุบันกับนโยบายใหม่ เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดการคลังสินค้าจากต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง (Inventory Holding cost) และต้นทุนในการติดตั้ง (Set-up cost) และต้นทุนการขาดสินค้าคงคลัง (Shortage cost) โดยเทียบค่าใช้จ่ายที่ได้จากนโยบายการจัดการคลังสินค้าแบบเดิมกับค่าใช้จ่ายจากนโยบายการจัดการคลังสินค้าแบบใหม่

Daily demand Gamma Distribution				break point		demand		Lead time distribution		
Alpha	0.7685645	zero		0		0		Breakpoint	Prob	Lead time (week)
rate	0.0166631	positive		0.6131805		1		0	0.7113402	
Beta	60.012771							0.7113402	0.0824742	
								0.7938144	0.1546392	
								0.9484536	0.0515464	
Max	145.80743							1	0	
in-stock frequency	0.9880									
	1	2	3	4	5	6				
Replication	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Lead time	D in R+L		in-stock ind
1	27	0	0	0	27	0	1	27.4		1
2	0	0	26	0	0	40	1	-		1
3	27	46	0	18	0	0	1	73.3		1
4	0	0	17	26	8	0	1	-		1
5	0	6	0	0	0	7	1	5.7		1
6	9	0	31	0	0	5	3	39.9		1
7	0	27	0	0	1	17	1	27.2		1
8	0	92	0	2	19	12	1	92.2		1
9	0	0	0	48	0	0	1	-		1
10	51	40	2	38	0	5	1	90.8		1
11	0	3	0	14	0	0	3	16.4		1
12	0	0	8	1	0	25	2	8.4		1
13	5	0	0	0	21	0	1	4.5		1
14	0	0	0	0	18	0	1	-		1
15	40	0	75	0	0	48	1	39.9		1
16	0	0	115	0	0	16	1	-		1
17	0	27	0	24	0	0	4	51.0		1

รูปที่ 6 ตัวอย่างแบบจำลองตัวแบบ 3 สำหรับการหาค่า Maximum Level ในขั้นตอนที่ 4

Simulation of Replenishment System													
ROP	294.22						Target Actual	CSL		0.99	1		
Max	300.18						Ordering cost (THB/order)			1			
							Unit Holding cost (THB/unit/6 Month)			3.638			
							(THB/6 month)	Actual					
							Setup cost	48.00					
							Holding cost	1,113.83					
							back order cost	-					
							Total Cost	1,161.83					
6 mth	184	Days						Shortage	0 times	40 Baht per occur			
No.	Day	Demand	Lead time	Receipts	IO	IL	Inventory on-hands	IP	Back order	Order Quantity	Due Date of Order		
										0	0		
										0	0		
										0	0		
										0	0		
										0	0		
1	1-Mar	0	2	0	0	810	810	810	0	0			
2	2-Mar	30	1	0	0	780	780	780	0	0			
3	3-Mar	0	2	0	0	780	780	780	0	0			
4	4-Mar	0	1	0	0	780	780	780	0	0			
5	5-Mar	0	3	0	0	780	780	780	0	0			
6	6-Mar	86	1	0	0	694	694	694	0	0			
7	7-Mar	0	2	0	0	694	694	694	0	0			
8	8-Mar	25	2	0	0	669	669	669	0	0			
9	9-Mar	0	1	0	0	669	669	669	0	0			
10	10-Mar	0	1	0	0	669	669	669	0	0			
11	11-Mar	60	1	0	0	609	609	609	0	0			
12	12-Mar	0	1	0	0	609	609	609	0	0			
											Lead time distribution		
											Cumulative	value	prob
											0	1	0.4
											0.411111111	2	0.2
											0.655555556	3	0.1
											0.833333333	4	0.1
											0.977777778	5	0.0
											[Lead time]	2.12222222	

รูปที่ 7 ตัวอย่างแบบจำลองนโยบายการจัดการคลังสินค้า ในขั้นตอนที่ 5

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการจำลองนโยบาย

4.1 ผลการสร้างสมการ Regression

จากการลองสร้างสมการ Regression โดยใช้ปัจจัยที่ คาดว่าจะเกี่ยวข้องทั้งหมดโดยไม่มี Interaction ได้ค่า Adjusted R-squared = 0.6892 และเมื่อใส่ interaction

ระหว่างราคาขายยากับกลุ่มยาเข้าไปในสมการพบว่าค่า Adjusted R-squared เพิ่มขึ้นเป็น 0.8091 โดยสมการ Regression ซึ่งมี interaction ระหว่างปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้

$$\hat{y} = 0.4185 - 0.0067p + 0.0629m + 0.5066d_1 + 0.6523c_1 + 0.3779c_2 + 0.4343c_3 + 0.3111c_4 - 0.3618g_1 - 0.3590g_2 - 0.3424g_3 - 0.3173g_4 + 0.0159g_5 + 0.0944v_1 - 0.1818v_2 + 0.0144v_3 + 0.0071v_4 + 0.0059(pg_1) + 0.0019(pg_2) + 0.0069(pg_3) + 0.0083(pg_4) - 0.0106(pg_5) \quad (12)$$

4.2 ผลการเลือกวิธีที่เหมาะสมในการสร้างนโยบายการจัดการคลังสินค้า

```
lm(formula = dor$persave ~ factor(dor$Model) + factor(dor$Forecast),
  data = dor)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.8258 -0.0384  0.0985  0.1888  0.6450

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    0.48538    0.15773   3.077  0.00282 **
factor(dor$Model)2 -0.08442    0.14107  -0.598  0.55117
factor(dor$Model)3 -0.06582    0.25432  -0.259  0.79643
factor(dor$Forecast)2 -0.03469    0.19951  -0.174  0.86240
factor(dor$Forecast)3 -0.04216    0.19951  -0.211  0.83317
factor(dor$Forecast)4 -0.49217    0.19951  -2.467  0.01566 *
factor(dor$Forecast)5      NA         NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

รูปที่ 8 ค่า p-value ของตัวแปรในสมการ %SAVE ของยา Original

```
lm(formula = dor$CSL ~ factor(dor$Model) + factor(dor$Forecast),
  data = dor)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.210706  0.009782  0.017000  0.025775  0.059294

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    0.94071    0.01525  61.701  <2e-16 ***
factor(dor$Model)2  0.01013    0.01364   0.743  0.4596
factor(dor$Model)3  0.04484    0.02458  1.824  0.0717 .
factor(dor$Forecast)2  0.03196    0.01929  1.657  0.1012
factor(dor$Forecast)3  0.03211    0.01929  1.665  0.0996 .
factor(dor$Forecast)4  0.03819    0.01929  1.980  0.0509 .
factor(dor$Forecast)5      NA         NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

รูปที่ 9 ค่า p-value ของตัวแปรในสมการค่าระดับการให้บริการ (CSL) ของยา Original

จากรูป 8-9 พิจารณาค่า p-value จากสมการ Regression ของตัวยา Original พบว่าตัวแบบ 3 เป็นตัวแบบที่เหมาะสมเนื่องจากให้ค่าระดับการให้บริการ (CSL) สูงอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.1) นอกจากนี้รูปแบบการพยากรณ์แบบที่ 3 คือ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) เป็นรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมเนื่องจากให้ค่าระดับการให้บริการ (CSL) สูงอย่างมีนัยสำคัญ

(p-value < 0.1) ส่วนรูปแบบการพยากรณ์แบบที่ 4 คือ Neural Network Autoregression (NNAR) ไม่เหมาะสมเนื่องจากให้ค่า %SAVE น้อยกว่ารูปแบบการพยากรณ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05)

ดังนั้นการวางแผนนโยบายการจัดการคลังสินค้าสำหรับยา Original วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมคือ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) โดยตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการสร้างนโยบายการจัดการคลังสินค้า คือ ตัวแบบ 1, ตัวแบบ 2 และ ตัวแบบ 3

```
lm(formula = dg$persave ~ factor(dg$Model), data = dg)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.6133 -0.1567  0.1069  0.1703  0.3007

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    0.513643    0.078932   6.507 5.62e-07 ***
factor(dg$Model)2 -0.014367    0.111626  -0.129  0.899
factor(dg$Model)3  0.002173    0.111626   0.019  0.985
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

รูปที่ 10 ค่า p-value ของตัวแปรในสมการ %SAVE ของยา Generic

```
lm(formula = dg$CSL ~ factor(dg$Model), data = dg)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.301775 -0.004321  0.014826  0.022973  0.102435

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    0.97678    0.02662  36.690  <2e-16 ***
factor(dg$Model)2  0.00689    0.03765   0.183  0.8562
factor(dg$Model)3 -0.07922    0.03765  -2.104  0.0448 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

รูปที่ 11 ค่า p-value ของตัวแปรในสมการค่าระดับการให้บริการ (CSL) ของยา Generic

จากรูป 10-11 พิจารณาค่า p-value จากสมการ Regression ของตัวยา Generic ตัวแบบ 3 ไม่เหมาะสมเนื่องจากให้ค่า CSL น้อยกว่าตัวแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05) ในขณะที่ผลของ %SAVE ไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นการวางแผนนโยบายการจัดการคลังสินค้าสำหรับยา Generic เนื่องจากเป็นรายการยาเข้าใหม่ ไม่มีข้อมูลในอดีตจึงมีวิธีการพยากรณ์แบบเดียวคือ Proposed Regression Method โดยตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการสร้างนโยบายการจัดการคลังสินค้า คือ ตัวแบบ 1 และ ตัวแบบ 2

4.3 ผลการกำหนดนโยบายการจัดการคลังสินค้า เปรียบเทียบกับความต้องการรายวันที่เกิดขึ้นจริง

ตารางที่ 2 %SAVE และค่าระดับการให้บริการ (CSL) ของ
นโยบายที่เหมาะสมสำหรับยา Generic

code SAP	%SAVE	New CSL	Model
PHCC0127	67%	0.99	2
PHEN0022	74%	1.00	1
PHTT1183	45%	0.99	2
PHTT0767	63%	1.00	1
PHTT1123	33%	1.00	1
PHTT1124	68%	1.00	2
PHTT0031	60%	1.00	2
PHTT1046	68%	1.00	1

ตารางที่ 3 %SAVE และค่าระดับการให้บริการ (CSL) ของ
นโยบายที่เหมาะสมสำหรับยา Original

code SAP	%SAVE	New CSL	Model	Forecast
PHCC0071	48%	1.00	3	
PHEN0012	68%	1.00	3	
PHTT0235	63%	0.99	1	3
PHTT0374	58%	1.00	1	3
PHTT0499	62%	0.99	2	3
PHTT0526	31%	1.00	2	3
PHTT0714	37%	1.00	1	3
PHTT0762	16%	1.00	3	
PHTT0867	41%	0.99	1	3

5. สรุปผล

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์เพื่อหานโยบายการจัดการ
คลังสินค้าที่เหมาะสมกับยารายการใหม่ซึ่งไม่มีข้อมูลในอดีต
และยารายการเดิมซึ่งคาดว่าความต้องการจะได้รับ
ผลกระทบจากการนำเข้ายารายการใหม่ พบว่า

ยารายการใหม่ หรือยา Generic เมื่อใช้การพยากรณ์
ความต้องการด้วยวิธี Proposed Regression Method และ

ใช้ตัวแบบ 1 และตัวแบบ 2 พบว่า มียา 8 รายการที่ได้ค่า
ระดับการให้บริการ มากกว่า 0.99 โดยเมื่อทดลองนโยบาย
สำหรับยาทั้ง 8 รายการนี้กับข้อมูลความต้องการรายวันที่
เกิดขึ้นจริงพบว่า ในระยะเวลา 6 เดือนสามารถลดค่าใช้จ่าย
ในการจัดการคลังสินค้าลงได้เฉลี่ย 60% เมื่อเทียบกับการ
จัดการคลังสินค้าแบบเดิม รายละเอียดดังตารางที่ 2

ยารายการเดิมซึ่งคาดว่าจะได้รับผลกระทบ หรือยา
Original เมื่อใช้การพยากรณ์ ความต้องการด้วยวิธี
Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)
และใช้ตัวแบบ 1, ตัวแบบ 2 และ ตัวแบบ 3 พบว่า มียา 9
รายการที่ได้ค่าระดับการให้บริการมากกว่า 0.99 โดยเมื่อ
ทดลองนโยบายสำหรับยาทั้ง 9 รายการนี้กับข้อมูลความ
ต้องการรายวันที่เกิดขึ้นจริงพบว่า ในระยะเวลา 6 เดือน
สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดการคลังสินค้าลงได้เฉลี่ย 47%
เมื่อเทียบกับการจัดการคลังสินค้าแบบเดิมรายละเอียดดัง
ตารางที่ 3

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการ
วางแผนนโยบายการจัดการคลังสินค้าสำหรับยารายการใหม่
ในโรงพยาบาลเฉพาะยา Generic เท่านั้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้
ข้อมูลความต้องการของยา Original ตัวยาเดียวกันที่มีอยู่
เดิมในโรงพยาบาลมาประกอบ หากมีข้อมูลมากกว่านี้ทาง
ผู้วิจัยเสนอให้หาปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความต้องการยา
Original เพื่อนำมาประกอบการพยากรณ์ความต้องการยา
Original ซึ่งเป็นรายการยาใหม่ ตัวยาใหม่ของโรงพยาบาล

สำหรับนโยบายการจัดการสินค้าของยาบางรายการที่
ค่าระดับการให้บริการน้อยกว่า 0.99 ควรมีนโยบายการ
จัดการเพิ่มเติม เช่น การติดตามข้อมูลวันนัดคนไข้ร่วมด้วย
เพื่อช่วยเตรียมยาล่วงหน้าก่อนถึงวันนัด และขั้นตอนการขอ
ยืมระหว่างโรงพยาบาลในเครือหรือโรงพยาบาลข้างเคียง

งานวิจัยนี้ได้ทดลองสร้างนโยบายการจัดการ
คลังสินค้าสำหรับยาทั้งหมดเพียง 20 รายการ จากรายการ
ยาทั้งหมดในโรงพยาบาลประมาณ 2,000 รายการ ในการ
ปฏิบัติงานจริงควรทดลองสร้างนโยบายการจัดการคลังสินค้า
ของยาทุกรายการเพื่อหานโยบายในการจัดการที่เหมาะสม
ที่สุดเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายการจัดการคลังสินค้าได้มากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องมาจากผู้เขียนได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์สาขาการจัดการสาขาโลจิสติกส์คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ที่ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ทำให้บทความนี้ถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบคุณโรงพยาบาลกรณีศึกษาที่ได้อนุมัติเห็นชอบ ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการจัดทำงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. E. Hanke and D. W. Wichern, Business Forecasting, 8th ed., New Jersey: Pearson Education, Inc, 2005.
- [2] R. J. Hyndman, and G. Athanasopoulos, "OText," [Online]. Available: <http://otexts.com/fpp2>. [Accessed 1 March 2021].
- [3] M. A. Waller and T. L. Esper, The Definitive Guide to Inventory Management: Principles and Strategies for the Efficient Flow of Inventory across the Supply Chain. Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), Upper Saddle River, 2014.
- [4] อนุพงษ์ พึ่งศักดิ์, "ความถูกต้องและประสิทธิผลของการพยากรณ์อุปสงค์สำหรับการบริหารคลังยา," เกสซ์ ศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางเภสัชกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2558.
- [5] พนิดา ยืนยงสวัสดิ์ และพญ. มีสัจ, "การพยากรณ์ปริมาณการใช้ยาในโรงพยาบาลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม," วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, ปีที่ 2, ฉบับที่ 3, น. 19-27, 2549.
- [6] จันทร์เพ็ญ อนุรัตน์นันท, ประจวบ กล่อมจิตร, พัชรธีรา พรหมทอง และรจเรข เลขกุล, "การจัดตารางการส่งซื้อยาในโรงพยาบาลรัฐ กรณีศึกษาโรงพยาบาลสิรินธร," วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, น. 8-19, 2563.
- [7] อดิเรก คุณอมรเลิศ, "การพัฒนาด้านแบบการจัดการคลังยาที่เหมาะสมสำหรับระดับการให้บริการของโรงพยาบาล," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2562.

การศึกษาสินค้าสตริตแฟชันโดยใช้ตัวแบบ Newsvendor และการ Simulation ในการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม

สิริพรรณ ขจีรัตน์วัฒนา^{1*}

ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

148 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

Received: 25 January 2022; Revised: 12 April 2022; Accepted: 5 May 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละกลุ่มสินค้าให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยใช้วิธีการพยากรณ์ความต้องการสินค้าด้วยโปรแกรม R Studio เพื่อหาค่า MAPE ต่ำที่สุดจากหลายตัวแบบการพยากรณ์ เช่น ตัวแบบ State Space สำหรับ Exponential Smoothing (ETS) ตัวแบบ Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) และตัวแบบ Neural Network Autoregression (NNAR) ค่าพยากรณ์ที่ได้จะเป็นตัวแปรนำเข้าสำหรับตัวแบบการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่ใช้ตัวแบบ Newsvendor แบบพื้นฐาน หลังจากนั้นเปรียบเทียบปริมาณการสั่งซื้อ รายได้และกำไรของ 2 นโยบาย คือ นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม กับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่จากตัวแบบ Newsvendor แบบพื้นฐาน พบว่า นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่มีปริมาณการสั่งซื้อลดลงจากนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม 3,541 ชิ้น หรือ 12.31% และสามารถทำกำไรได้เพิ่มขึ้นจากนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม 575,682.49 บาท หรือ 2.07% และมีการพัฒนาเป็นตัวแบบ Newsvendor ดัดแปลง โดยมีพิจารณาการจัดงานเซลล์สินค้าหลังจบฤดูกาลขายเพิ่มเข้าไปด้วย ให้ตรงกับสถานการณ์ของบริษัทรถยนต์ศึกษา โดยการ Simulation เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อสินค้า รายได้และกำไรในของ 3 นโยบาย คือ นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่จากตัวแบบ Newsvendor แบบพื้นฐาน และนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization ซึ่งเป็นตัวแบบ Newsvendor ดัดแปลงให้มีการพิจารณาการจัดงานเซลล์สินค้าหลังจบฤดูกาล ผลการศึกษาสรุปได้ว่า นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization นั้นได้ปริมาณการสั่งซื้อทั้งหมด 21,141 ชิ้น มีปริมาณการสั่งซื้อลดลงจากนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม 7,613 ชิ้น หรือ 26.48% และทำกำไรได้มากที่สุด 34,522,135.58 บาท ทำให้มีกำไรเพิ่มขึ้นจากนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม 15,818,564.43 บาท หรือ 84.58% และเมื่อมีปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่ลดลงแล้ว ทำให้จำนวนสินค้าคงคลังที่เหลือหลังฤดูกาลจำหน่ายสินค้ามีปริมาณลดลง จึงส่งผลให้การถือครองสินค้าจาก 10.91 เดือน ลดลงเหลือ 4.84 เดือน เป็นการลดค่าใช้จ่ายในการจัดการสินค้าคงคลังได้อีกด้วย

คำสำคัญ: สตริตแฟชัน, การพยากรณ์ความต้องการ, ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม, ตัวแบบ Newsvendor, ค่าคาดหวังกำไรสูงสุด

* Corresponding author. E-mail: Siriphan.kaj@stu.nida.ac.th

¹ นักศึกษามหาบัณฑิต หลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Street Fashion Company's Optimal Order Quantity Using Newsvendor Model and Simulation Model

Siriphan Kajeeratwatthana^{1*}

Logistics Management, Graduate School of Applied Statistics , National Institute of Development
Administration 148 Seri-Thai Road, Klong-Chan, Bangkok, Bangkok Thailand 10240

Received: 25 January 2022; Revised: 12 April 2022; Accepted: 5 May 2022

Abstract

The objective of this research is to study the demand forecasting to increase the forecast accuracy of each product category. The forecasting step is carried out using R Studio program to minimize the MAPE among several forecasting models such as the state space model for exponential smoothing (ETS), the autoregressive integrated moving average (ARIMA) model and the neural network autoregression (NNAR) model. Then, we study and analyze the data to find the suitable order quantity, using the basic newsvendor model. After that, we compare the order quantity, revenue, and profit between the company's current company and the new policy with the basic newsvendor model. After we deploy the new policy, we find that the order quantity decreases 3,541 pieces or 12.31%, compared to those of the current company policy, and the profit increases 575,682.49 Baht or 2.07% %, compared to those of the current company policy. Next, we study and improve the modified newsvendor model to incorporate the promotional sales events after the selling season ends. Taking the company's practice, which has the seasonal regular sales and sales event, into account to run the simulation to find of the suitable order quantity for purchasing, revenue, and profit under three different scenarios, namely the current company policy, the new policy from the basic newsvendor model, and the optimization policy from the modified newsvendor model. As the conclusion of this study, using the optimization policy results in the total order quantity 21,141 pieces (decreased 7,613 pieces or 26.48% compared to those of the company policy) and the max profit 34,522,135.58 Baht (increased 15,818,564.43 Baht or 84.58% compared to those of the company policy). Additionally, when the order quantity decreases, the inventory after-seasonal regular sales will decrease as well, leading to the decreased in the inventory day from 10.91 months to 4.84 months and to the inventory cost saving.

Keywords: Street fashion, Demand Forecasting, The suitable order quantity for purchasing, Newsvendor model, Expected profit maximization

* Corresponding author. E-mail: Siriphan.kaj@stu.nida.ac.th

¹ Master's degree in Department of Logistics Management, Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

1. บทนำ

ธุรกิจสินค้าแฟชั่นในปัจจุบันนั้นมีการแข่งขันสูงมาก และมีความหลากหลายสไตล์ให้ลูกค้าเลือกได้มาก แต่ทำให้การออกแบบ สี กระแสของสินค้าเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน จึงต้องมีกลยุทธ์ในด้านต่างๆ จึงทำให้บริษัทหลายบริษัทต้องมีการปรับตัวและเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา เพื่อสามารถแข่งขันได้ในตลาด และเป็นผู้นำในธุรกิจแฟชั่น ซึ่งสินค้าแฟชั่นนั้นยังเป็นปัจจัยหลักของมนุษย์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นหญิงหรือชายยังคงต้องมีการใช้เพื่อเสริมบุคลิกภาพในดูดีอยู่เสมอเป็นการแสดงสถานภาพทางสังคม จึงเป็นธุรกิจที่สามารถเติบโตได้ดีและรวดเร็ว สามารถสร้างรายได้และกำไรให้กับผู้ประกอบการธุรกิจได้

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทสินค้าสตรีแฟชั่น เป็นบริษัทจัดจำหน่ายสินค้าในร้านค้าปลีก มีร้านค้าปลีกทั้งหมด 5 สาขา มีนโยบายการสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้าเป็นเวลา 6 เดือน ก่อนเริ่มฤดูกาลวางจำหน่ายสินค้าและจะทำการสั่งซื้อสินค้า 1 ครั้งต่อฤดูกาล โดยแบ่งฤดูกาลการจัดจำหน่ายสินค้าเป็น 4 ฤดูกาล คือ ฤดูใบไม้ผลิ (Spring, SP) คือ เดือนมกราคมถึงมีนาคม ฤดูร้อน (Summer, SU) คือ เดือนเมษายนถึงมิถุนายน ฤดูใบไม้ร่วง (Fall, FA) คือ เดือนกรกฎาคมถึงกันยายน และฤดูหนาว (Holiday, HO) คือ เดือนตุลาคมถึงธันวาคม และแบ่งกลุ่มสินค้าออกเป็น 3 กลุ่มสินค้า คือ รองเท้า (Shoes) เสื้อผ้า (Clothing) และเครื่องประดับ (Accessories) การสั่งซื้อสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบันจะสั่งซื้อกลุ่มสินค้ารองเท้าเป็นร้อยละ 92 กลุ่มสินค้าเสื้อผ้าเป็นร้อยละ 6 และกลุ่มสินค้าเครื่องประดับเป็นร้อยละ 2 ทางผู้วิจัยจึงนำข้อมูลของบริษัทสินค้าสตรีแฟชั่นมาทำการพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน พบว่า มีวิธีการพยากรณ์สินค้าโดยการรวมยอดขายสินค้าของแต่ละฤดูกาลในปีก่อน นำมาใช้พยากรณ์ในปีปัจจุบันเพื่อทำการสั่งซื้อสินค้า ทำให้การพยากรณ์นั้นไม่มีความแม่นยำ จึงมีการสั่งซื้อสินค้าจำนวนมากกว่าความต้องการของลูกค้า ทำให้มีสินค้าคงคลังเหลือจำนวนมากและสินค้ามีอายุเกินช่วงฤดูกาลที่จัด

จำหน่าย จึงทำให้สินค้ามีมูลค่าลดลงและสร้างกำไรให้บริษัทลดลงอีกด้วย

โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาแนวทางการพยากรณ์ยอดขายให้มีความแม่นยำ เพื่อการวางแผนการสั่งซื้อเป็นไปอย่างเหมาะสมสามารถตัดสินใจกำหนดระดับปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า และลดปริมาณสินค้าที่เหลือจากการขายในแต่ละฤดูกาลให้น้อยที่สุด มีการเปรียบเทียบรายได้และกำไรของบริษัทระหว่างนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมกับการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ และมีการเปรียบเทียบรายได้และกำไรของบริษัทระหว่างนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม การสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่และการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization ของการจัดงานเซลล์สำหรับสินค้าที่เหลือจากการขายในแต่ละฤดูกาล

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์

การพยากรณ์ความต้องการของสินค้า เป็นการประมาณการเกี่ยวกับความต้องการของลูกค้าในอนาคต โดยใช้ข้อมูลในอดีตที่เกิดขึ้นจริงมาใช้ เพื่อให้ธุรกิจนั้นสามารถนำข้อมูลที่ได้มาจัดการในด้านการสั่งซื้อสินค้า สินค้าคงคลังจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการวางแผนก่อนที่จะเริ่มขั้นตอนถัดไป เพราะความต้องการสินค้าของลูกค้าไม่น่าจะแน่นอน มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วตามสถานการณ์ต่างๆ โดยเฉพาะสินค้าแฟชั่นและงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการพยากรณ์ต่างๆ 5 วิธี [1] ดังนี้

2.1.1 การพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Simple Exponential Smoothing) เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่เคลื่อนไหวอยู่ในระดับคงที่หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเป็นข้อมูลที่ไม่มียอดคงที่ของแนวโน้ม และไม่มีควมผันแปรตามฤดูกาล มีเฉพาะความผันแปร เนื่องจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติเพียงอย่างเดียว และเหมาะกับการพยากรณ์ระยะสั้น มีสมการการคำนวณดังนี้

Forecast equation $\hat{y}_{t+h|t} = \ell_t$ (1)

Smoothing equation $\ell_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)\ell_{t-1}$ (2)

โดยกำหนดให้

ℓ_t = ค่าการพยากรณ์ ณ ช่วงเวลาที่ t

y_t = ค่าข้อมูลจริงที่เวลา t

ℓ_{t-1} = ค่าการพยากรณ์ก่อนช่วงเวลาที่ t

α = ค่าคงที่ของการปรับเรียบ ($0 < \alpha < 1$)

2.1.2 การพยากรณ์แบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล

(Double Exponential Smoothing or Holt's Method)

การพยากรณ์ที่มีลักษณะคล้ายกับการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Simple Exponential Smoothing)

แต่การพยากรณ์แบบ Double Exponential or Holt's Method เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มแบบเส้นตรง แต่ไม่มีความเป็นฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง และยังเหมาะกับการพยากรณ์ในระยะสั้น จนถึง การพยากรณ์ในระยะปานกลาง มีสมการการคำนวณ ดังนี้

Forecast equation $\hat{y}_{t+h|t} = \ell_t + hb_t$ (3)

Level equation $\ell_t = \alpha y_t + (1 - \alpha)(\ell_{t-1} + b_{t-1})$ (4)

Trend equation $b_t = \beta^*(\ell_t - \ell_{t-1}) + (1 - \beta^*)b_{t-1}$ (5)

โดยกำหนดให้

ℓ_t = ค่าการพยากรณ์ ณ ช่วงเวลาที่ t

y_t = ค่าข้อมูลจริงที่เวลา t

ℓ_{t-1} = ค่าการพยากรณ์ก่อนช่วงเวลาที่ t

α = ค่าคงที่ของการปรับเรียบ ($0 < \alpha < 1$)

h = ช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

b_t = ตัวประมาณแนวโน้ม ณ ช่วงเวลาที่ t

b_{t-1} = ตัวประมาณแนวโน้มก่อนช่วงเวลาที่ t

β^* = ค่าคงที่ของการปรับเรียบ ($0 < \beta < 1$)

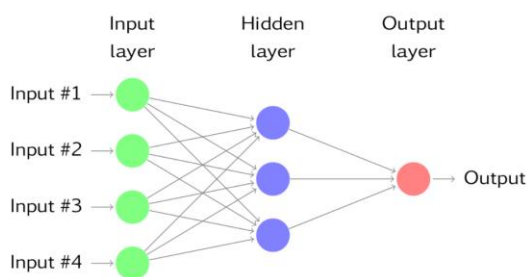
2.1.3 การพยากรณ์แบบ ETS (State Space Models for Exponential Smoothing) เป็นวิธีการ

พยากรณ์ที่ดูจาก Trend และ Seasonality ของข้อมูล ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ E (Error) + T (Trend) + S (Seasonality) โดยที่รูปแบบการเขียนโมเดล คือ ETS(Error, Trend, Seasonal) โดยมีประเภทของข้อมูล คือ Error เป็นไปได้ทั้ง Additive หรือ Multiplicative {A, M} Trend เป็นไปได้ทั้ง None, Additive หรือ Additive Damped {N, A, A_d} Seasonal เป็นไปได้ทั้ง None, Additive หรือ Multiplicative {N, A, M}

2.1.4 การพยากรณ์แบบ Arima (Auto Regressive Integrated Moving Average) แบบจำลองตัวแบบ ARIMA (p, d, q) มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ Auto Regressive AR : (p), Integrated (I) และ Moving Average MA : (q) สำหรับ AR (p) เป็นรูปแบบที่ แสดงว่าค่าสังเกต y_t ขึ้นอยู่กับค่าของ $y_{t-1}, \dots, y_{t-p}$ หรือค่าสังเกตที่เกิดขึ้นก่อนหน้าค่า p ส่วนรูปแบบ MA (q) เป็นรูปแบบที่ แสดงค่าสังเกต y_t ขึ้นอยู่กับค่าความคลาดเคลื่อน $\epsilon_{t-1}, \dots, \epsilon_{t-q}$ หรือ ความคลาดเคลื่อนที่อยู่ก่อนหน้าค่า q ส่วน Integrated (I) เป็นการหาผลต่าง (Difference) ของอนุกรมเวลา มีสมการการคำนวณดังนี้

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + \epsilon_t \quad (6)$$

2.1.5 การพยากรณ์แบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Autoregression) โครงข่ายประสาทเทียม คือ การจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์เพื่อให้มีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วย เซลล์ประสาทหรือนิวรอน (Neurons) และจุดเชื่อมต่อประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทจะมีปลายรับกระแสประสาทซึ่งเปรียบเสมือนข้อมูลเข้า และมีปลายส่งกระแสประสาทซึ่งเปรียบเสมือนข้อมูลผลลัพธ์ เป็นการคำนวณแบบ Connectionist โดยมีชั้นของข้อมูล Input layer, Hidden layer และ Output layer ดังแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองการเชื่อมต่อของข้อมูลในโครงข่ายประสาทเทียม

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบ Newsvendor

เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ในการกำหนดสินค้าคงคลังที่ดีที่สุด โดยมีราคาที่สูงและความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอน ใช้กับการสั่งซื้อสินค้าเพียงครั้งเดียว และสินค้าที่มีการขายในระยะสั้นหรือมีอายุจำกัด ที่ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน ทำให้สินค้าหมดอายุ ถ้าสมมติ มูลค่าสินค้าที่เหลือจะลดลงไปมาก

โดยกำหนดตัวแปรนำเข้า (Input Parameters) ดังต่อไปนี้

- D = ปริมาณความต้องการของสินค้า
- p = รายได้ต่อหน่วยของสินค้า
- c = ต้นทุนต่อหน่วยของสินค้า
- s = มูลค่าซากต่อหน่วยของสินค้า

และมีตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) คือ

- x = ปริมาณการสั่งซื้อของสินค้า

ซึ่งตัวแบบ Newsvendor มีต้นทุนของ Overage Cost (C_o) คือ ต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าที่เหลือจากการจัดจำหน่าย และ Underage Cost (C_u) คือ ต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าที่มีความต้องการมากกว่าสินค้าที่มีอยู่ มีสมการดังนี้

$$\text{Overage Cost } C_o = c - s \quad (7)$$

$$= (\text{unit cost}) - (\text{unit salvage})$$

$$\text{Underage Cost } C_u = p - c \quad (8)$$

$$= (\text{selling price}) - (\text{unit cost})$$

ถ้ามีการสั่งซื้อสินค้ามากกว่าความต้องการก็ทำให้มีสินค้าเหลือเป็นจำนวนมาก แต่ถ้ามีการสั่งซื้อสินค้าน้อยกว่าความต้องการก็จะทำให้ไม่มีสินค้าขายให้กับลูกค้า เกิดค่าเสียโอกาสในการขายขึ้นอีก ดังนั้นจะต้องมีการสั่งซื้อในปริมาณ

ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุดและได้กำไรมากที่สุด ได้จากสมการอัตราส่วนวิกฤต (Critical Ratio) และให้ค่า x เป็นจำนวนการสั่งซื้อที่เหมาะสม คำนวณได้จากสมการ Order Quantity ดังนี้

$$\text{Critical Ratio} = \frac{C_u}{C_u + C_o} \quad (9)$$

$$\text{Order Quantity } x = \mu + k\sigma \quad (10)$$

และการหา Expected Profit ได้จากสมการ ดังนี้

$$\psi(x) = pE[\min(x, D)] + sE[(x - D)^+] - cx \quad (11)$$

โดยที่ $(x - D)^+ = \max((x - D), 0)$ หมายความว่า ค่าที่มากที่สุดระหว่างปริมาณการสั่งซื้อสินค้าลบปริมาณความต้องการของสินค้า จะต้องมีที่เป็นค่าบวกหรือศูนย์เสมอ ถึงแม้ว่าปริมาณความต้องการของสินค้าจะมีมากกว่าปริมาณการสั่งซื้อสินค้าก็ตาม

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ Solver

Solver เป็นการสร้างตัวแบบเพื่อการตัดสินใจ (Decision model) ของปัญหา [2] ผลของตัวแบบเป็นการประมวลผลโดยในเชิงตัวเลข เรียกว่า ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ที่แสดงความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของสิ่งต่างๆ ที่สนใจและเงื่อนไขต่างๆ ที่จำเป็นต้องคำนึงถึงในสถานการณ์ของปัญหานั้น โดยตัวแบบทางคณิตศาสตร์นั้น มีองค์ประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ

2.3.1 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) เป็นตัวแปรที่เราสนใจหาคำตอบของปัญหา เพื่อการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น อย่างเช่น การผลิตสินค้าในโรงงานแห่งหนึ่ง จะต้องมีการวางแผนการผลิตและต้องการทราบว่าควรผลิตสินค้าแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใดในแต่ละสัปดาห์

2.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) เป็นฟังก์ชันที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัดสินใจต่างๆ กับวัตถุประสงค์ของปัญหา จะสามารถหาคำตอบที่เราต้องการได้ อย่างเช่น การลงทุนที่ต้องการใช้เงินลงทุนที่ต้องการผลตอบแทนรายปีมากที่สุด จึงเรียกฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้ว่า ค่าสูงสุด (Maximization) แต่ถ้าเป็นในเรื่องของการขนส่งที่มีความสัมพันธ์ของค่าขนส่งกับปริมาณ

สินค้าที่ขนส่งในแต่ละเส้นทางให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด จึงเรียกฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้ว่า ค่าต่ำสุด (Minimization)

2.3.3 ข้อจำกัด (Constraints) เงื่อนไขข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของปัญหา บอกให้ทราบว่าทำอะไรได้บ้างหรือไม่ได้บ้าง ต้องมีการกำหนดข้อจำกัดของปัญหาเพื่อจะได้ตรงกับสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นจึงจะสามารถแก้ปัญหาได้ตรงตามวัตถุประสงค์ เช่น การลงทุน มีนโยบายว่าจะต้องลงทุนในธุรกิจประเภทที่ 2 ที่มีความเสี่ยงสูง จึงมีการกำหนดจำนวนเงินที่ลงทุนไปไม่เกิน 1 ล้านบาท เป็นต้น

2.4 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของสินค้าคงคลัง

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของสินค้าคงคลัง ในที่นี้ คือ Inventory Day คือ จำนวนวันที่สินค้าคงคลังที่เหลือจากการจัดจำหน่ายสินค้าถูกเก็บเอาไว้ในคลังสินค้าก่อนที่จะสามารถนำไปใช้หรือขายออกไปได้ หากไม่มีการรับสต็อกสินค้าใหม่เข้ามาอีก ซึ่งนำมาช่วยวัดดูว่าสินค้าคงคลังที่เหลือจากการจัดจำหน่ายสินค้านั้นเหลือมากหรือน้อยเท่าไร แสดงให้เห็นว่าเงินทุนที่ได้ลงทุนไปในตัวสินค้านั้นจะใช้ระยะเวลาเท่าไรในการเปลี่ยนตัวสินค้าเป็นรายรับ ยิ่งมีค่าสูงเท่าไร หมายความว่า ใช้ระยะเวลานานกว่าจะเปลี่ยนตัวสินค้าเป็นรายรับจนสินค้าหมดลง โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$\text{Inventory Day} = \frac{\text{Inventory end year (units)}}{\text{Sales per year (units)}} \quad (12)$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ คือ [3] การพยากรณ์ในสินค้าแฟชั่นด้วยวิธีต่างๆ โดยการดูค่า MAPE ที่มีค่าต่ำสุดของแต่ละวิธีการพยากรณ์ เพื่อหาค่าความต้องการของสินค้าเพื่อให้จำนวนการสั่งซื้อมีปริมาณที่ใกล้เคียงกับความต้องการในอนาคต เป็นการลดปริมาณและค่าใช้จ่ายในสินค้าคงคลัง และ[4] มีการประยุกต์ใช้โปรแกรม R Studio โดยการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมหาศาลเพื่อพยากรณ์จำนวนผู้รับบริการด้านสุขภาพในประเทศไทย เพื่อการวางแผนจัดสรรทรัพยากรการให้บริการด้านสุขภาพที่รองรับจำนวนผู้เข้ารับบริการได้อย่างเหมาะสม

ตัวแบบ Newsvendor มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือ [5] การใช้ตัวแบบ Newsvendor ที่มีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณกรณีศึกษาแบรนด์เสื้อผ้าแฟชั่นมีการคำนวณจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีข้อจำกัดในเรื่องงบประมาณ ใช้หาปริมาณการสั่งผลิตสินค้าที่เหมาะสมได้ดี และทำให้ได้ค่าคาดหวังกำไรรวมสูงสุด [6] การกำหนดปริมาณการผลิตข้าวเปลือกที่เหมาะสมเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันและอนาคตด้วยตัวแบบ Newsvendor ใช้ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก ผลผลิต และอัตราการใส่ปุ๋ย โดยจะหาค่าพื้นที่เพาะปลูกและค่าคาดหวังกำไรสูงสุดทั้งในกรณีไม่เพิ่มปุ๋ยและเพิ่มปุ๋ย เพื่อใช้พื้นที่เพาะปลูกให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และ [7] ตัวแบบสโตแคสติกสำหรับการสั่งซื้อรถโฟล์คลิฟท์เพื่อจำหน่ายภายใต้งบประมาณที่จำกัด จะหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยมีการลงงบประมาณลง และหาค่าคาดหวังกำไรสูงสุด เพื่อเป็นการลดต้นทุนการสั่งซื้อรถโฟล์คลิฟท์

การหาค่า optimization โดยการใช้ Solver มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือ [8] ทำการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สำหรับกระบวนการสั่งซื้อวัตถุดิบเข้า และการใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็น Add-in ใน Microsoft Excel 2010 โดยการหาค่าตอบแบบ Nonlinear Programming ในการจัดการของบริษัท เพื่อตอบสนองในค่าใช้จ่ายต้นทุนให้น้อยที่สุด (Minimize Cost) ในต้นทุนการจัดเก็บสินค้า ต้นทุนการสั่งซื้อสินค้า ต้นทุนการโดนปรับเมื่อส่งสินค้าให้ลูกค้าล่าช้า และต้นทุนการจ่ายเงินเพิ่มเพื่อให้ซัพพลายเออร์ส่งสินค้าให้รวดเร็วขึ้น

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

โดยวิธีการดำเนินงานวิจัย มีขั้นตอนดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลจำนวนการสั่งซื้อจริง และยอดขายที่เกิดขึ้นจริง และข้อมูลราคาต้นทุนสินค้าเฉลี่ย ราคาขายเฉลี่ย ราคามูลค่าซากสินค้าเฉลี่ย แบ่งเป็นกลุ่มสินค้าและฤดูกาลของปี พ.ศ.2560 – 2563
2. การพยากรณ์ความต้องการสินค้าในปี พ.ศ.2563 ด้วยโปรแกรม R Studio ในแต่ละกลุ่มสินค้า ด้วยวิธีการพยากรณ์แบบปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล Simple

Exponential Smoothing การพยากรณ์แบบดับเบิลเอ็กซ์โพเนนเชียล (Double Exponential Smoothing or Holt's Method) การพยากรณ์แบบ ETS (State Space Models for Exponential Smoothing) การพยากรณ์แบบ Arima (Auto Regressive Integrated Moving Average) และการพยากรณ์แบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network Autoregression) โดยจะดูว่าวิธีการพยากรณ์ในแต่ละวิธีนั้นวิธีไหนให้ค่าความคลาดเคลื่อน MAPE น้อยที่สุด

3. หาค่าปริมาณความต้องการสินค้า ได้จากค่าการพยากรณ์ที่มีค่าความคลาดเคลื่อน MAPE น้อยที่สุด เพื่อนำมาหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error) และ Mean Squared Error (MSE) ของแต่ละกลุ่มสินค้า โดยการใช้สมการการคำนวณดังนี้

การหาความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (Error)

$$e_t = A_t - F_t \quad \text{โดยที่ } t = 1, 2, 3, \dots, n \quad (13)$$

การคำนวณ Mean Squared Error (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad \text{โดยที่ } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (14)$$

การคำนวณ Root Mean Squared Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (15)$$

4. นโยบายการสั่งซื้อสินค้า ในบทความนี้พิจารณาสามนโยบาย ดังนี้

1. นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม เป็นนโยบายปัจจุบันที่บริษัทกรณีศึกษาใช้อยู่ ตัวอย่างเช่น ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่เกิดขึ้นจริง

2. นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ มาจากการประยุกต์ใช้ตัวแบบ Newsvendor โดยตรงซึ่งไม่ได้พิจารณาการจัดงานเซลล์สินค้า

3. นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization มาจากการดัดแปลงตัวแบบ Newsvendor พื้นฐานและ Solver ในการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเพื่อให้ได้กำไรมากที่สุด โดยมีการพิจารณาการจัดงานเซลล์สินค้าทั้งหมดฤดูกาลเข้าร่วมไปด้วย

สำหรับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ เป็นการประยุกต์ใช้ตัวแบบ Newsvendor ของการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมและกำไรที่คาดว่าจะได้รับ (Expected Profit) โดยกำหนดสมการ ดังนี้

ตัวแปรนำเข้า (Input Variables)

D_{ij} = ปริมาณความต้องการของสินค้าในกลุ่มสินค้าที่ j ในฤดูกาลที่ i

p_{ij} = รายได้ต่อหน่วยของสินค้าในกลุ่มสินค้าที่ j ในฤดูกาลที่ i

c_{ij} = ต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าในกลุ่มสินค้าที่ j ในฤดูกาลที่ i

s_{ij} = มูลค่าซากต่อหน่วยของสินค้าในกลุ่มสินค้าที่ j ในฤดูกาลที่ i

μ_{ij} = ปริมาณความต้องการของสินค้าในกลุ่มสินค้าที่ j ในฤดูกาลที่ i

σ_{ij} = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสินค้าในกลุ่มสินค้าที่ j ในฤดูกาลที่ i

โดยที่ กลุ่มสินค้าที่ $j = 1, 2, 3$ คือ กลุ่มสินค้าเครื่องประดับ (Accessories) กลุ่มสินค้าเสื้อผ้า (Clothing) และกลุ่มสินค้ารองเท้า (Shoes)

ฤดูกาลที่ $i = 1, 2, 3, 4$ คือ ฤดูใบไม้ผลิ (SP) ฤดูร้อน (SU) ฤดูใบไม้ร่วง (FA) และฤดูหนาว (HO)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

x_{ij} = ปริมาณการสั่งซื้อของสินค้าในกลุ่มสินค้าที่ j ในฤดูกาลที่ i

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\psi(x_{ij}) = p_{ij}E[\min(x_{ij}, D_{ij})] + s_{ij}E[(x_{ij} - D_{ij})^+] - c_{ij}x_{ij} \quad (16)$$

โดยที่ $(x_{ij} - D_{ij})^+ = \max((x_{ij} - D_{ij}), 0)$ หมายความว่าค่าที่มากที่สุดระหว่างปริมาณการสั่งซื้อสินค้าลบปริมาณความต้องการของสินค้า จะต้องมีค่าเป็นค่าบวกหรือศูนย์เสมอ ถึงแม้ว่าปริมาณความต้องการของสินค้าจะมีมากกว่าปริมาณการสั่งซื้อสินค้าก็ตาม

การคำนวณตัวแบบ Newsvendor มีขั้นตอนการคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

1) การคำนวณ Overage Cost (C_o) และ Underage Cost (C_u)

$$C_{o_{ij}} = c_{ij} - s_{ij} \quad (17)$$

$$C_{u_{ij}} = p_{ij} - c_{ij} \quad (18)$$

2) การคำนวณอัตราส่วนวิกฤต (Critical Ratio) และ Safety factor

$$\text{Critical Ratio} = \frac{c_{uj}}{c_{uj} + c_{oj}} \quad (19)$$

$$\text{Safety factor } k_{ij} = \Phi^{-1}\left(\frac{c_{uj}}{c_{uj} + c_{oj}}\right) \quad (20)$$

3) การคำนวณ Order Quantity

$$x_{ij} = \mu_{ij} + k_{ij}\sigma_{ij} \quad (21)$$

การใช้ฟังก์ชันใน Excel สามารถหา Order Quantity ได้โดยใช้ฟังก์ชัน

$$\text{NORM.INV}(\text{Critical Ratio}, \mu_{ij}, \sigma_{ij}) \quad (22)$$

4) การคำนวณ Standardizing

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \quad (23)$$

5) การคำนวณ Normal Loss Function

$$L(z_{ij}) = E[(Z_{ij} - z_{ij})^+] \quad (24)$$

$$L(z_{ij}) = \phi(z_{ij}) - z_{ij}(1 - \Phi(z_{ij})) \quad (25)$$

สามารถใช้ฟังก์ชันนี้ใน Excel หา Normal Loss Function ได้โดยใช้ฟังก์ชัน

$$\text{NORM.S.DIST}(z_{ij}, 0) - z_{ij}(1 - \text{NORM.S.DIST}(z_{ij}, 1)) \quad (26)$$

6) การคำนวณ Expected Lost Sales

$$E[(D_{ij} - x_{ij})^+] = \sigma_{ij}L(z_{ij}) \quad (27)$$

7) การคำนวณ Expected Sales

Expected Sales = Expected Demand – Expected Lost Sales

$$E[\min(x_{ij}, D_{ij})] = E[D_{ij}] - E[(D_{ij} - x_{ij})^+] \quad (28)$$

8) การคำนวณ Expected Leftovers

Expected Leftovers = Order Quantity – Expected Sales

$$E[(x_{ij} - D_{ij})^+] = x_{ij} - E[\min(x_{ij}, D_{ij})] \quad (29)$$

9) การคำนวณ Expected Salvage

$$\text{Expected Salvage} = s_{ij}E[(x_{ij} - D_{ij})^+] \quad (30)$$

10) การคำนวณ Expected Revenue

$$\text{Expected Revenue} = p_{ij}E[\min(x_{ij}, D_{ij})] \quad (31)$$

11) การคำนวณ Cost

$$\text{Cost} = c_{ij}x_{ij} \quad (32)$$

5. เปรียบเทียบรายได้และกำไรของบริษัทกับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมและนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ และใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของสินค้าคงคลัง

เมื่อเห็นว่านโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ดีกว่านโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม จึงพัฒนาเพิ่มนโยบายใหม่ให้พิจารณาการจัดงานเซลล์สินค้าเข้าร่วมด้วย ตามในข้อ 6

6. ประยุกต์ Simulation กับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่และนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization ของการจัดงานเซลล์สินค้าโดยการหานโยบายการสั่งซื้อแบบ Optimization เพื่อหาจำนวนการสั่งซื้อที่ทำให้ได้กำไรมากที่สุด โดยกำหนดสมการดังนี้

ตัวแปรนำเข้า (Input Variables)

D_{ij} = ปริมาณความต้องการของสินค้าในช่วงฤดูกาลจำหน่ายสินค้าในฤดูกาลที่ j ในกลุ่มสินค้าที่ i

d_{ijk} = ปริมาณความต้องการของสินค้าในช่วงการจัดงานเซลล์สินค้าของเดือนที่ k ในฤดูกาลที่ j ในกลุ่มสินค้าที่ i

L_{ijk} = ปริมาณสินค้าที่เหลือก่อนการจัดงานเซลล์สินค้าของเดือนที่ k ในฤดูกาลที่ j ในกลุ่มสินค้าที่ i

c_{ij} = ต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าในฤดูกาลที่ j ในกลุ่มสินค้าที่ i

p_{ij} = รายได้ต่อหน่วยของสินค้าในช่วงฤดูกาลจำหน่ายสินค้าในฤดูกาลที่ j ในกลุ่มสินค้าที่ i

s_{ijk} = รายได้ต่อหน่วยของสินค้าในช่วงการจัดงานเซลล์สินค้าของเดือนที่ k ในฤดูกาลที่ j ในกลุ่มสินค้าที่ i

E_{ijk} = ค่าใช้จ่ายในการจัดงานเซลล์สินค้าของเดือนที่ k ในฤดูกาลที่ j ในกลุ่มสินค้าที่ i

โดยที่ $i = 1, 2, 3$

$j = 1, 2, 3, 4$

$k = 1, 2, 3, \dots, n$; n = จำนวนเดือนที่จัดงานเซลส์สินค้า
 $l = 1, 2, 3, \dots, m$; m = จำนวนรอบการทำซ้ำของการจำลอง

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

x_{ij} = ปริมาณการสั่งซื้อของสินค้าในฤดูกาลที่ j ในกลุ่มสินค้าที่ i

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

Max Average Profit =

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 \left[\frac{\sum_{l=1}^m p_{ij} [\min(x_{ij}, D_{ij})]}{m} + \sum_{k=1}^n \frac{\sum_{l=1}^m [s_{ijk} [\min(L_{ijk}, d_{ijk})] - E_{ijk}]}{m} - c_{ij} x_{ij} \right] \quad (33)$$

ข้อจำกัด (Constraints)

$$L_{ij1} = x_{ij} - \min(x_{ij}, D_{ij}) \quad (34)$$

$$L_{ijk} = L_{ij(k-1)} - \min(L_{ij(k-1)}, d_{ij(k-1)}) \quad (35)$$

; $k = 2, 3, 4, \dots, n$

7. เปรียบเทียบการ Simulation กับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่และนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization ของการจัดงานเซลส์สินค้า และใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของสินค้าคงคลัง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลจากการพยากรณ์ด้วยวิธีต่างๆโดยใช้โปรแกรม R Studio

โดยผลการพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE ต่ำสุดของแต่ละกลุ่มสินค้า แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE ต่ำสุดและค่า RMSE ของแต่ละกลุ่มสินค้า

Category	Forecasting Method	MAPE	RMSE
Accessories	SES	34.77347	75.9613
Clothing	SES	62.09337	248.0212
Shoes	ETS(M,N,N)	32.46844	1024.2360

4.2 ผลการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสินค้าแต่ละฤดูกาล

ปริมาณความต้องการสินค้าและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฤดูกาลต่างๆในแต่ละกลุ่มสินค้า แสดงดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณความต้องการสินค้าและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อนในแต่ละกลุ่มสินค้า

กลุ่มสินค้า	ฤดูใบไม้ผลิ (SP)		ฤดูร้อน (SU)	
	Mean	RMSE	Mean	RMSE
Accessories	116.64	45.36	116.64	27.64
Clothing	339.72	91.28	339.72	196.72
Shoes	4177.00	945.00	4177.00	1017.00

ตารางที่ 3 ปริมาณความต้องการสินค้าและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฤดูใบไม้ร่วงและฤดูหนาวในแต่ละกลุ่มสินค้า

กลุ่มสินค้า	ฤดูใบไม้ร่วง (FA)		ฤดูหนาว (HO)	
	Mean	RMSE	Mean	RMSE
Accessories	116.64	140.36	116.64	23.64
Clothing	339.72	406.28	339.72	184.28
Shoes	4177.00	1080.00	4177.00	1050.00

4.3 ผลตัวแบบ Newsvendor ของสินค้าแต่ละฤดูกาล

การวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมและกำไรที่คาดว่าจะได้รับของตัวแบบ Newsvendor แสดงดังตารางที่ 4 และ 5 จะได้ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าและกำไรที่คาดว่าจะได้รับทั้งปี พ.ศ.2563 คือ 25,213 ชิ้น และ 37,177,277.44 บาท

ตารางที่ 4 ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมของสินค้าแต่ละฤดูกาล

ฤดูกาล	กลุ่มสินค้า	ปริมาณสั่งซื้อที่เหมาะสม	รวมการสั่งซื้อ
		ชิ้น	ชิ้น
ฤดูใบไม้ผลิ (SP)	Accessories	175	6,021
	Clothing	457	
	Shoes	5,389	
ฤดูร้อน (SU)	Accessories	153	6,226
	Clothing	592	
	Shoes	5,481	
ฤดูใบไม้ร่วง (FA)	Accessories	297	6,720
	Clothing	861	
	Shoes	5,562	
ฤดูหนาว (HO)	Accessories	147	6,246
	Clothing	576	
	Shoes	5,523	
รวมทั้งหมด		25,213	

ตารางที่ 5 กำไรที่คาดว่าจะได้รับของสินค้าแต่ละฤดูกาล

ฤดูกาล	กลุ่มสินค้า	กำไรที่คาดว่าจะได้รับ	รวมกำไรที่คาดว่าจะได้รับ
		บาท	บาท
ฤดูใบไม้ผลิ (SP)	Accessories	48,009.88	9,413,673.98
	Clothing	442,594.07	
	Shoes	8,923,070.03	
ฤดูร้อน (SU)	Accessories	48,960.97	9,288,946.63
	Clothing	327,130.92	
	Shoes	8,912,854.73	
ฤดูใบไม้ร่วง (FA)	Accessories	40,789.20	9,015,379.16
	Clothing	315,139.19	
	Shoes	8,659,450.77	
ฤดูหนาว (HO)	Accessories	64,743.86	9,459,277.67
	Clothing	412,156.82	
	Shoes	8,982,376.99	
รวมทั้งหมวด		37,177,277.44	

4.4 ผลการเปรียบเทียบรายได้และกำไรของบริษัทกับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมและนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่

การเปรียบเทียบผลกำไรระหว่างนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมกับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ของปี 2563 นั้น นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมทำได้ 27,798,291.28 บาท และนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ทำได้ 28,373,973.77 บาท แสดงดังตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่านโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่นั้นให้กำไรมากกว่านโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมรวม 575,682.49 บาท กำไรเพิ่มขึ้นคิดเป็น 2.07%

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลกำไรระหว่างนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมกับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่

ฤดูกาล	จำนวนการสั่งซื้อ (ชิ้น)		จำนวนที่ขายได้ (ชิ้น)	กำไร (บาท)	
	นโยบายแบบเดิม	นโยบายแบบใหม่		นโยบายแบบเดิม	นโยบายแบบใหม่
ฤดูใบไม้ผลิ (SP)	7,143	6,021	3,825	7,125,874.40	7,347,463.31
ฤดูร้อน (SU)	7,190	6,226	3,392	6,482,097.96	6,638,268.56
ฤดูใบไม้ร่วง (FA)	7,350	6,720	4,100	7,070,920.03	7,165,850.34
ฤดูหนาว (HO)	7,071	6,246	3,744	7,119,398.90	7,222,391.57
Total	28,754	25,213	15,061	27,798,291.28	28,373,973.77

4.5 การประยุกต์ Simulation กับนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่และนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization ของการจัดงานเซลล์สินค้า

การ Simulation กับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นกับบริษัทกรณีศึกษา ทั้งในสถานการณ์การจัดจำหน่ายสินค้าในช่วงฤดูกาลและหลังฤดูกาลนั้น โดยการ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม จะใช้ข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่เกิดขึ้นจริงของบริษัทกรณีศึกษา โดยจะยกตัวอย่างในกลุ่มสินค้าเครื่องประดับแสดงได้ดังตารางที่ 7

การ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ ปริมาณการสั่งซื้อสินค้ามาจากการประยุกต์ใช้ตัวแบบ Newsvendor ของกลุ่มสินค้าเครื่องประดับแสดงได้ดังตารางที่ 8 และการ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization มาจากการดัดแปลงตัวแบบ Newsvendor พื้นฐานและ Solver ในการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเพื่อให้ได้กำไรมากที่สุด โดยมีการพิจารณาการจัดงานเซลล์สินค้าหลังหมดฤดูกาลเข้าร่วมไปด้วย ของกลุ่มสินค้าเครื่องประดับของฤดูใบไม้ผลิ (SP) แสดงได้ดังตารางที่ 9

การ Simulation นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม

ตารางที่ 7 การ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมของกลุ่มสินค้าเครื่องประดับ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
11	Decision variable								
12	Order quantity	3730							
13									
14	Simulated Quantities					At regular price			
15	Year	Season	Order	Unit Cost	Cost	Demand	Sales	Selling price	Revenue
16	2563	SP	648	1,680.41	B 1,088,905.68	431	431	3,055.29	B 1,316,829.99
17	2563	SU	835	1,326.76	B 1,107,844.60	143	143	2,412.29	B 344,957.47
18	2563	FA	1093	1,478.63	B 1,616,142.59	746	746	2,688.42	B 2,005,561.32
19	2563	HO	1154	1,658.26	B 1,913,632.04	524	524	3,015.02	B 1,579,870.48
20	Total		3730		B 5,726,524.91	1844	1844		B5,247,219.26

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	AW	AX	AY	AZ	BA
11															
12															
13															
14	At sale price (Month 1st)				At sale price (Month 2nd)				At sale price (Month 10th)				Profit		
15	Left over	Sales	Discount price	Event Cost	Revenue	Left over	Sales	Discount price	Event Cost	Revenue	Left over	Sales	Discount price	Revenue	
16	208	35	494.86	B 1,520.00	B 15,800.10	173	35	395.89	B 1,520.00	B 13,856.08	0	0	296.92	B -	B 29,555.73
17	327	35	489.00	B 1,520.00	B 15,595.00	292	35	391.20	B 1,520.00	B 13,692.00	12	12	293.40	B 3,520.80	B 32,033.60
18	211	35	507.65	B 1,520.00	B 16,247.75	176	35	406.12	B 1,520.00	B 14,214.20	0	0	304.59	B -	B 73,005.36
19	301	35	642.11	B 1,520.00	B 20,953.68	266	35	513.68	B 1,520.00	B 17,978.94	0	0	385.26	B -	B 30,926.24
20	1047	140		B 6,080.00	B 68,596.53	907	140		B 6,080.00	B 59,741.22	12	12		B 3,520.80	B 39,601.25

การ Simulation นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่

ตารางที่ 8 การ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ของกลุ่มสินค้าเครื่องประดับ

	A		B	C	D	E	F	G	H	I
11	Decision variable									
12	Order quantity		772							
13										
14	Simulated quantities						At regular price			
15	Year		Season	Order	Unit Cost	Cost	Demand	Sales	Selling price	Revenue
16	2563		SP	175	544.35	B 95,261.25	162	162	989.72	B 160,334.64
17	2563		SU	153	537.90	B 82,298.70	89	89	978.00	B 87,042.00
18	2563		FA	297	558.41	B 165,847.77	257	257	1,015.30	B 260,932.10
19	2563		HO	147	706.31	B 103,827.57	93	93	1,284.21	B 119,431.53
20	Total			772	B 447,235.29		601	601	B 627,740.27	

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
11											
12											
13											
14	At sale price (Month 1 st)					At sale price (Month 2 nd)					Profit
15	Left over	Sales	Discount price	Event Cost	Revenue	Left over	Sales	Discount price	Event Cost	Revenue	
16	13	13	494.86	B 1,520.00	B 4,913.18	0	0	395.89	B -	B -	B 69,986.57
17	64	35	489.00	B 1,520.00	B 15,595.00	29	29	391.20	B 1,520.00	B 11,344.80	B 31,683.10
18	40	35	507.65	B 1,520.00	B 16,247.75	5	5	406.12	B 1,520.00	B 2,030.60	B 113,362.68
19	54	35	642.11	B 1,520.00	B 20,953.68	19	19	513.68	B 1,520.00	B 9,760.00	B 46,317.63
20	171	118		B 6,080.00	B 57,709.61	53	53		B 4,560.00	B 23,135.40	B 261,349.98

การ Simulation นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization

การคำนวณหา Sample Size Determination จากสมการ

$$n = \frac{4 \times (\text{Estimated standard deviation})^2}{B^2}$$

โดยที่ Estimated standard deviation = Standard deviation ของ Profit ที่ได้จากการ Simulation

B = half-length การเปลี่ยนแปลงของกำไรไม่เกินที่กำหนด

ตารางที่ 9 การ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization ในกลุ่มสินค้าเครื่องประดับ (Accessories) ของฤดูใบไม้ผลิ (SP)

Summary measures for simulation below		95% confidence interval for expected profit		half-length	฿ 3,995.16
Average Profit	฿ 42,192.45	$2s/\sqrt{n}$	฿ 1,997.58	Assume half-length	฿ 2,000.00
Stdev of profit	฿ 22,333.60	Lower limit	฿ 40,194.87	Sample Size Determination	499
Minimum profit	-฿ 39,824.30	Upper limit	฿ 44,190.03	$n = \frac{4 \times (\text{Estimated standard deviation})^2}{B^2}$	
Maximum profit	฿ 65,078.23	n (Replications)	500		

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
15	Decision variable									
16	Order quantity	146								
17										
18	Simulated quantities						At regular price			
19	Replication	Year	Season	Order	Unit Cost	Cost	Demand	Sales	Selling price	Revenue
20	1	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	37	37	989.72	฿ 36,748.81
21	2	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	103	103	989.72	฿ 101,815.29
22	3	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	70	70	989.72	฿ 69,671.64
23	4	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	173	146	989.72	฿ 144,619.58
24	5	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	70	70	989.72	฿ 69,402.61
25	6	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	92	92	989.72	฿ 91,112.29
26	7	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	108	108	989.72	฿ 106,497.34
27	8	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	58	58	989.72	฿ 57,770.47
28	9	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	170	146	989.72	฿ 144,619.58
29	10	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	129	129	989.72	฿ 127,960.26
510	491	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	52	52	989.72	฿ 50,983.59
511	492	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	211	146	989.72	฿ 144,619.58
512	493	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	70	70	989.72	฿ 68,913.59
513	494	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	55	55	989.72	฿ 54,515.76
514	495	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	133	133	989.72	฿ 131,841.57
515	496	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	67	67	989.72	฿ 66,677.07
516	497	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	123	123	989.72	฿ 122,045.46
517	498	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	62	62	989.72	฿ 61,447.08
518	499	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	119	119	989.72	฿ 117,919.45
519	500	2563	SP	146	544.35	฿79,541.36	161	146	989.72	฿ 144,619.58

	K	L	M	N	O	P	AR	AS	AT	AU	AV	AW
15												
16												
17						฿ 8,238.70					฿ 21.82	
18	At sale price (Month 1st)						At sale price (Month 7th)					Profit
19	Left over	Demand	Sales	Discount price	Event Cost	Revenue	Left over	Demand	Sales	Discount price	Revenue	
20	109	59	59	494.86	฿1,520.00	฿27,876.99	0	67	0	296.92	฿ -	฿ 1,325.24
21	43	-4	0	494.86	฿1,520.00	฿ 1,520.00	0	-25	0	296.92	฿ -	฿ 36,355.65
22	76	19	19	494.86	฿1,520.00	฿ 8,044.21	0	55	0	296.92	฿ -	฿ 16,684.43
23	0	12	0	494.86	฿ -	฿ -	0	41	0	296.92	฿ -	฿ 65,078.23
24	76	40	40	494.86	฿1,520.00	฿18,167.07	0	-85	0	296.92	฿ -	฿ 16,022.33
25	54	34	34	494.86	฿1,520.00	฿15,210.25	0	16	0	296.92	฿ -	฿ 33,279.90
26	39	-18	0	494.86	฿1,520.00	฿ 1,520.00	0	32	0	296.92	฿ -	฿ 35,623.59
27	88	30	30	494.86	฿1,520.00	฿13,452.79	0	84	0	296.92	฿ -	฿ 6,850.39
28	0	-1	0	494.86	฿ -	฿ -	0	71	0	296.92	฿ -	฿ 65,078.23
29	17	15	15	494.86	฿1,520.00	฿ 5,928.11	0	50	0	296.92	฿ -	฿ 51,835.95
510	95	105	95	494.86	฿1,520.00	฿45,298.00	0	14	0	296.92	฿ -	฿ 16,740.23
511	0	-6	0	494.86	฿ -	฿ -	0	48	0	296.92	฿ -	฿ 65,078.23
512	76	58	58	494.86	฿1,520.00	฿27,375.45	0	31	0	296.92	฿ -	฿ 22,393.72
513	91	21	21	494.86	฿1,520.00	฿ 8,910.49	0	47	0	296.92	฿ -	฿ 4,057.94
514	13	11	11	494.86	฿1,520.00	฿ 3,986.83	0	63	0	296.92	฿ -	฿ 55,472.79
515	79	23	23	494.86	฿1,520.00	฿ 9,948.07	0	55	0	296.92	฿ -	฿ 17,566.34
516	23	38	23	494.86	฿1,520.00	฿ 9,767.06	0	62	0	296.92	฿ -	฿ 52,271.17
517	84	29	29	494.86	฿1,520.00	฿12,902.63	0	62	0	296.92	฿ -	฿ 10,543.46
518	27	2	2	494.86	฿1,520.00	฿ 413.87	0	128	0	296.92	฿ -	฿ 42,270.59
519	0	71	0	494.86	฿ -	฿ -	0	41	0	296.92	฿ -	฿ 65,078.23

ผลการคำนวณกำไรนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมแสดงดังตารางที่ 10 นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่แสดงดังตารางที่ 11 และนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization แสดงดังตารางที่ 12 ดังนี้

นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม

ตารางที่ 10 ผลกำไรจากการ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม

Category	Cost	Revenue at regular price	Revenue at Sale price	Demand	Order Quantity	Profit
Shoes	฿ 63,702,544.54	฿ 62,520,583.69	฿ 18,606,409.18	12,616	23,376	฿ 17,424,448.33
Accessories	฿ 964,797.92	฿ 627,740.27	฿ 376,658.90	601	1,648	฿ 39,601.25
Clothing	฿ 5,726,524.91	฿ 5,247,219.26	฿ 1,718,827.22	1,844	3,730	฿ 1,239,521.57
Total	฿70,393,867.37	฿68,395,543.22	฿20,701,895.30	15,061	28,754	฿18,703,571.15

นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่

ตารางที่ 11 ผลกำไรจากการ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่

Category	Cost	Revenue at regular price	Revenue at Sale price	Demand	Order Quantity	Profit
Shoes	฿ 59,832,482.00	฿ 62,520,583.69	฿ 16,495,467.42	12,616	21,955	฿ 19,183,569.11
Accessories	฿ 447,235.29	฿ 627,740.27	฿ 80,845.00	601	772	฿ 261,349.98
Clothing	฿ 3,781,647.48	฿ 5,247,219.26	฿ 603,247.17	1,844	2,486	฿ 2,068,818.95
Total	฿64,061,364.77	฿68,395,543.22	฿17,179,559.60	15,061	25,213	฿21,513,738.05

นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization

ตารางที่ 12 ผลกำไรจากการ Simulation ของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization

Category	Cost	Average Revenue at regular price	Average Revenue at Sale price	Demand	Order Quantity	Average Profit
Shoes	฿ 51,518,338.05	฿ 78,949,838.73	฿5,674,222.95	16,721	18,901	฿ 33,105,723.63
Accessories	฿ 369,884.38	฿ 483,097.39	฿ 66,085.00	472	638	฿ 179,294.23
Clothing	฿ 2,458,632.33	฿ 3,254,584.73	฿ 441,165.31	1,341	1,602	฿ 1,237,117.72
Total	฿54,346,854.76	฿82,687,520.85	฿6,181,473.26	18,534	21,141	฿ 34,522,135.58

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

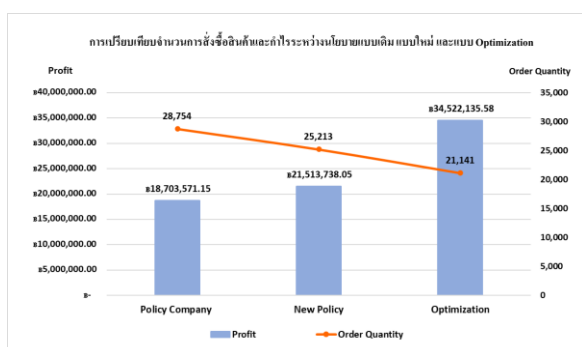
การวิเคราะห์จากตัวแบบ Newsvendor จำนวนการสั่งซื้อทั้งปีน้อยกว่านโยบายการสั่งซื้อแบบเดิม นั่นคือจากจำนวนการสั่งซื้อ 28,754 ชิ้น ลดลงเหลือ 25,213 ชิ้น จำนวนการสั่งซื้อลดลง 3,541 ชิ้น คิดเป็น 12.31% และนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมทำกำไรได้ 27,798,291.28 บาท และ นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ทำกำไรได้ 28,373,973.77 บาท แสดงดังตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่านโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่นั้นให้กำไรมากกว่านโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมรวม 575,682.49 บาท กำไรเพิ่มขึ้น คิดเป็น 2.07%

เมื่อมีการเพิ่มสถานการณ์ของบริษัทที่มีการจัดงานเซลส์สินค้าเข้ามา มูลค่าสินค้าจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไป จึงทำให้เกิดการสร้างรายได้จากมูลค่าซากได้น้อยกว่าการคำนวณเหมือนตัวแบบ Newsvendor ข้างต้น

มีการใช้การ Simulation กับสถานการณ์การจัดงานเซลส์สินค้าทุกๆ เดือนจนสินค้าในแต่ละฤดูกาลหมดลงของนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่ และนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบ Optimization จะเห็นได้ว่า นโยบายการสั่งซื้อแบบ Optimization มีจำนวนการสั่งซื้อที่น้อยที่สุด คือ 21,141 ชิ้น ลดลงจากนโยบายการสั่งซื้อแบบเดิม 7,613 ชิ้น คิดเป็น 26.48% นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมมีกำไร 18,703,571.15 บาท นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่มีกำไร 21,513,738.05 บาท กำไรมากขึ้นจากนโยบายการสั่งซื้อแบบเดิม 2,810,166.90 บาท คิดเป็น 15.02% และนโยบายการสั่งซื้อแบบ Optimization มีกำไรมากที่สุด 34,522,135.58 บาท ซึ่งมีกำไรมากขึ้นจากนโยบายการสั่งซื้อแบบเดิม 15,818,564.43 บาท คิดเป็น 84.58% แสดงดังตารางที่ 13 และรูปที่ 2

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบจำนวนการสั่งซื้อสินค้าและกำไรของแต่ละนโยบายในแต่ละกลุ่มสินค้า

Category	Order Quantity			Profit		
	Company Policy	New Policy	Optimization Policy	Company Policy	New Policy	Optimization Policy
Shoes	23,376	21,955	18,901	฿ 17,424,448.33	฿ 19,183,569.11	฿ 33,105,723.63
Accessories	1,648	772	638	฿ 39,601.25	฿ 261,349.98	฿ 179,294.23
Clothing	3,730	2,486	1,602	฿ 1,239,521.57	฿ 2,068,818.95	฿ 1,237,117.72
Total	28,754	25,213	21,141	฿18,703,571.15	฿ 21,513,738.05	฿ 34,522,135.58



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบจำนวนการสั่งซื้อสินค้าและกำไรของแต่ละนโยบาย

เมื่อทราบจำนวนการสั่งซื้อสินค้าของแต่ละนโยบายแล้วว่า วิธีการใช้นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบใหม่และแบบ

Optimization ลดลง จึงส่งผลให้จำนวนสินค้าคงคลังที่หมดหลังฤดูกาลจัดจำหน่ายสินค้านั้นลดลงด้วย แสดงดังตารางที่ 14 และ 15 โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพของสินค้าคงคลัง แสดงดังตารางที่ 16 ซึ่งการใช้นโยบายการสั่งซื้อแบบเดิมนั้นมีสินค้าคงคลังเหลืออยู่ทั้งหมด 13,693 ชิ้น การถือครองสินค้าคงคลัง 10.91 เดือน การใช้นโยบายการสั่งซื้อแบบใหม่มีสินค้าคงคลังเหลืออยู่ทั้งหมด 10,152 ชิ้น การถือครองสินค้าคงคลัง 8.09 เดือน ลดลงจากการใช้นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิม และการใช้นโยบายการสั่งซื้อแบบ Optimization มีสินค้าคงคลังเหลืออยู่ทั้งหมด 6,080 ชิ้น การถือครองสินค้าคงคลัง 4.84 เดือน ลดลงจากการใช้นโยบายการสั่งซื้อสินค้าแบบเดิมและนโยบายการสั่งซื้อ

สินค้าแบบใหม่ และแสดงการเปรียบเทียบของแต่ละนโยบายการสั่งซื้อสินค้าดังแสดงรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวแบบ Newsvendor และ Optimization นั้น สามารถลดจำนวนการสั่งซื้อให้น้อยลงได้ มีต้นทุนในการจ่ายค่าสินค้าลดลง มีสินค้าคงคลังเหลือน้อยลง และส่งผลให้เกิดการสร้างกำไรได้มากขึ้น

ตารางที่ 14 จำนวนการสั่งซื้อสินค้าของแต่ละนโยบายและยอดขายที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละฤดูกาล

ฤดูกาล	จำนวนการสั่งซื้อ (ชิ้น)			จำนวนที่ขายได้ (ชิ้น)
	นโยบายแบบเดิม	นโยบายแบบใหม่	นโยบายแบบ Optimization	
ฤดูใบไม้ผลิ (SP)	7,143	6,021	5,368	3,825
ฤดูร้อน (SU)	7,190	6,226	5,253	3,392
ฤดูใบไม้ร่วง (FA)	7,350	6,720	5,292	4,100
ฤดูหนาว (HO)	7,071	6,246	5,228	3,744
รวมทั้งหมด	28,754	25,213	21,141	15,061

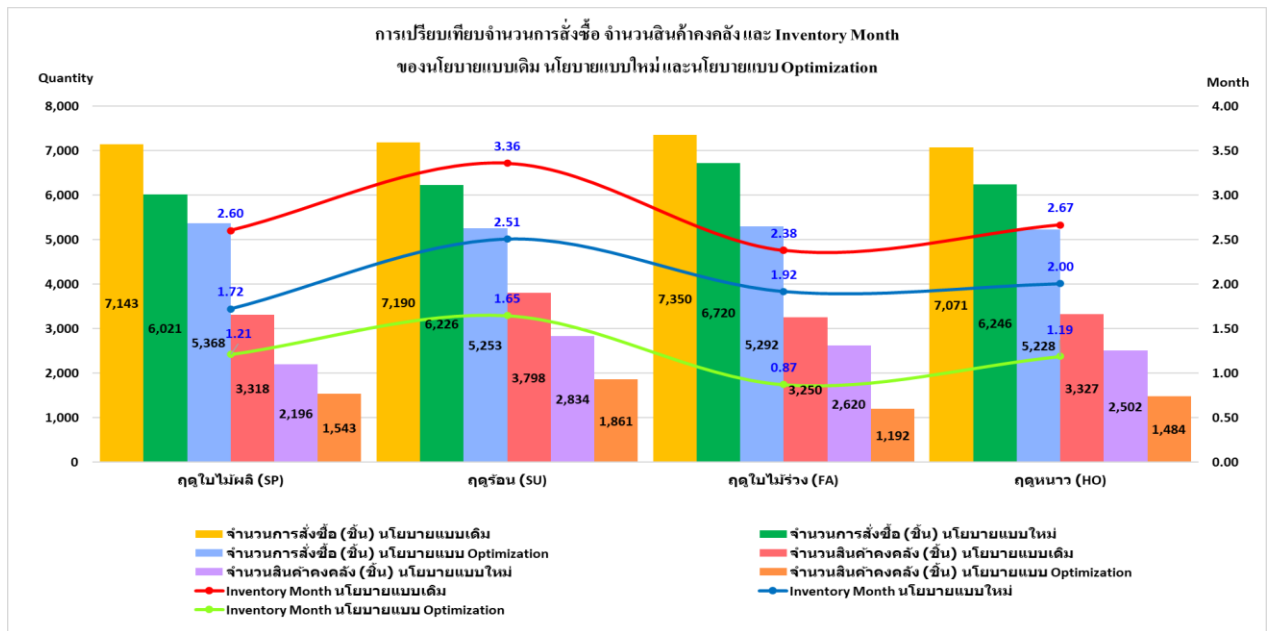
ตารางที่ 15 จำนวนสินค้าคงคลังหลังฤดูกาลการจัดจำหน่ายสินค้าของแต่ละนโยบายในแต่ละฤดูกาล

ฤดูกาล	จำนวนสินค้าคงคลัง (ชิ้น)		
	นโยบายแบบเดิม	นโยบายแบบใหม่	นโยบายแบบ Optimization
ฤดูใบไม้ผลิ (SP)	3,318	2,196	1,543
ฤดูร้อน (SU)	3,798	2,834	1,861
ฤดูใบไม้ร่วง (FA)	3,250	2,620	1,192
ฤดูหนาว (HO)	3,327	2,502	1,484
รวมทั้งหมด	13,693	10,152	6,080

ตารางที่ 16 จำนวนเดือนที่สินค้าคงคลังถูกเก็บไว้ในคลังสินค้า

ฤดูกาล	Inventory Month		
	นโยบายแบบเดิม	นโยบายแบบใหม่	นโยบายแบบ Optimization
ฤดูใบไม้ผลิ (SP)	2.60	1.72	1.21
ฤดูร้อน (SU)	3.36	2.51	1.65
ฤดูใบไม้ร่วง (FA)	2.38	1.92	0.87
ฤดูหนาว (HO)	2.67	2.00	1.19
รวมทั้งหมด	10.91	8.09	4.84

งานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่สามารถมีตัวแบบย่อยได้มากมาย เช่น ETS มี 18 ตัวแบบย่อย (Error 2 แบบ X Trend 3 แบบ X Seasonal 3 แบบ) แต่ละตัวแบบย่อย สามารถมีค่าปรับเรียบได้หลากหลายทำนองเดียวกัน ARIMA(p,d,q) มีค่า p,d,q ได้หลากหลายอย่างไรก็ดีเพื่อให้ได้ค่า MAPE และ RMSE ต่ำลง สามารถพิจารณาตัวแบบพยากรณ์แบบถดถอย (Regression) นอกจากข้อมูลความต้องการสินค้าในอดีต



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบจำนวนการสั่งซื้อ จำนวนสินค้าคงคลัง และ Inventory Month ของแต่ละนโยบายในแต่ละฤดูกาล

ตัวแบบพยากรณ์แบบถดถอยต้องใช้ข้อมูลของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อความต้องการของสินค้า ต้องรวบรวมข้อมูลอื่นๆ มากขึ้น อีกหนึ่งข้อจำกัดในงานวิจัยนี้มีการจัดแบ่งแค่กลุ่มสินค้าเท่านั้น ที่ใช้ในการพยากรณ์หาความต้องการสินค้า และตัวแบบ Newsvendor ซึ่งยังไม่ได้มีจัดแบ่งสินค้าแบบอย่างอื่นอีก เพื่อให้เกิดความหลากหลายในการพยากรณ์ซึ่งจะเป็นแนวทางนำไปหาค่าการสั่งซื้อที่ชัดเจนแบ่งได้ละเอียดมากขึ้น ทำให้เกิดความแม่นยำของจำนวนการสั่งซื้อมากขึ้นด้วย อย่างเช่น การแบ่งสีของสินค้า การแบ่งรุ่นสินค้า การแบ่งประเภทย่อยของกลุ่มสินค้า เครื่องประดับและเสื้อผ้า การแบ่งเพศชายหญิง การแบ่งขนาด (Size) สินค้า เป็นต้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. J. Hyndman, and G. Athanasopoulos, Forecasting: principles and practice, 3rd edition, Melbourne: OTexts, 2021.
- [2] พัทธกร เนียมมณี, ตัวแบบการจัดการทรัพยากร, กรุงเทพฯ: โครงการส่งเสริมและพัฒนาเอกสารวิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2556.

- [3] อนุสรณ์ บุญสง่า, “การพยากรณ์ความต้องการวันตามกรณีศึกษา: ร้านรักแวน,” ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2559.
- [4] กานต์ ยงศิริวิทย์ และภาคภูมิ ชัยศิริประเสริฐ, “การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมหาศาลเพื่อพยากรณ์จำนวนผู้เข้ารับบริการด้านสุขภาพในประเทศไทยโดยใช้โปรแกรมภาษา R,” ใน การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 5, 2560.
- [5] อวยพร พุ่มนิษฐ์, ศิริภา ดุษฎีโหนด และกาญจน์ภา อมรัชกุล, “ตัวแบบ Newsvendor ที่มีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณ: กรณีศึกษาแบรนด์เสื้อผ้าแฟชั่น,” ใน การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2558, 2558.
- [6] ณัฐพร เกียรติเลิศเสรี และกาญจน์ภา อมรัชกุล, “การกำหนดปริมาณการผลิตข้าวเปลือกที่เหมาะสมเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันและอนาคตด้วยตัวแบบ Newsvendor,” ใน การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2563, 2563.

- [7] กุลวุฒิ โตรอด ชานนท์ พรหมสกล และกนกพร ศรีปฐม
สวัสดี, “ตัวแบบสโตแคสติกสำหรับการสั่งซื้อออร์โพร
คลิฟท์เพื่อจำหน่ายภายใต้งบประมาณที่จำกัด,”
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม., ปีที่ 16,
ฉบับที่ 1, น. 47-61, 2563.
- [8] อติชัย วรรณะภูติ และสรวิชัย เยาวสุวรรณ์ไชย,
“แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับกระบวนการสั่งซื้อธุรกิจ
นำเข้า,” ใน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับ
บัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34, 2558.

การเปรียบเทียบวิธีการสร้างแถวและวิธีการสร้างสดมภ์สำหรับปัญหาคำหนดการเชิงเส้น ขนาดใหญ่และการใช้หน่วยความจำสำรอง

ปวิธ ไกรสรนุเคราะห์^{1*}, พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล², ธนพันธ์ คงทอง³ และ พาพิศ วงศ์ชัยสุวัฒน์⁴

^{1, 2, 4}สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน) กรุงเทพฯ 10900

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ศรีราชา) ชลบุรี 20230

Received: 31 January 2022; Revised: 12 April 2022; Accepted: 6 May 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการสร้างแถวและสดมภ์ (Row-and-column generation) และทำการเปรียบเทียบวิธีการวิจัย 4 รูปแบบ คือ วิธีการตรงแบบเต็มรูปแบบ (Linear programming with full model, LPFM) วิธีการสลับการสร้างแถวและสดมภ์ (Switching row-and-column generation, SRCG) วิธีการสร้างสดมภ์ขึ้นกับแถว (Row-dependent-column generation, RDCG) และวิธีการสร้างแถวขึ้นกับสดมภ์ (Column-dependent-column generation, CDRG) โดยวัดประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการด้วยคุณภาพของคำตอบ และระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล จากการศึกษาปัญหาคำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large-scale linear programming problem) พบว่าเมื่อขนาดปัญหาขนาดใหญ่ขึ้นถึงช่วงหนึ่ง จะทำให้วิธีการตรงแบบเต็มรูปแบบไม่สามารถหาคำตอบได้เนื่องจากขีดจำกัดของทรัพยากรและทั้ง 4 วิธีการให้คุณภาพของคำตอบที่ใกล้เคียงกัน แต่จะมีความแตกต่างในด้านของระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลซึ่งวิธีการสร้างแถวขึ้นกับสดมภ์ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลโดยเฉลี่ย (Average processing time) ต่ำที่สุด และในบทความเพิ่มเติมได้นำเสนอให้เก็บข้อมูลบางส่วนที่ไม่ได้ใช้ขณะนั้นจากหน่วยความจำหลัก (Primary storage) ไปยังหน่วยความจำสำรอง (Secondary storage) เพื่อเพิ่มพื้นที่ของหน่วยความจำหลักในการคำนวณปัญหา ซึ่งพบว่าจะสามารถแก้ปัญหาคำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ได้มากกว่าเดิม

คำสำคัญ: ปัญหาคำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่, การสร้างแถว, การสร้างสดมภ์, หน่วยความจำสำรอง

* Corresponding author: E-mail: pawit.krai@ku.th

¹นิสิต หลักสูตรดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

³อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ศรีราชา)

⁴ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

Comparison Simultaneous Row-and-Column Generation Approach for Large-Scale Linear Programming Problem and secondary memory utilization

Pawit Kraisornnukhor^{1*}, Peerayuth Charnsethikul², Thanapan Kongtong³ and Papis Wongchaisuwat⁴

^{1, 2, 4}Industrial Engineering Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Kasetsart University (Bangkaeng), Bangkok 10900

³ Industrial Engineering Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Kasetsart University (sriracha), Bangkok 10900

Received: 31 January 2022; Revised: 12 April 2022; Accepted: 6 May 2022

Abstract

This research studied the methods to solve linear programming by simultaneous row-and-column generation approach and compared efficiency among 4 methods: Linear Programming with Full Model (LPFM), Switching Row-and-Column Generation (SRCG), Row-Dependent-Column Generation (RDCG) and Column-Dependent-Column Generation (CDRG). The study compares optimal objective value and processing time when solving large-scale linear programming problem. The result showed that some of large-scale linear programming problems cannot solve using LPFM directly due to out-of-core memory. The solutions quality solved by each method is the same. However, there are differences in processing time in which RDCG provided optimal solutions with the least average processing time. And in the last chapter recommended to store some unused data from the primary storage to the secondary storage to free up the space of the main memory. Which was found to be able to solve larger problems.

Keywords: Large-scale linear programming, Row generation, Column generation, Secondary storage

* Corresponding author: E-mail: pawit.krai@ku.th

¹Doctoral Student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University (Bangkaeng)

²Associate Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University (Bangkaeng)

³Lecturer in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University (sriracha)

⁴Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University (Bangkaeng)

1. คำนำ

เป็นที่รู้กันว่าปัจจุบันได้เข้ายุคที่มีข้อมูลมหาศาล (Big Data) ซึ่งหลายองค์กรต้องการที่จะนำข้อมูลดังกล่าวมาทำงานวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อที่จะเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้กับตนเอง ซึ่งการนำข้อมูลมหาศาลมาวิเคราะห์ จะส่งผลให้มีจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขจำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีความรู้เพื่อที่จะช่วยหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบ

จากที่กล่าวมาเป็นเหตุให้เกิดการค้นคว้าวิจัยหลายรูปแบบที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบ อย่างเช่น วิธีการฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) [7 - 8] วิธีเมตาฮิวริสติก (Meta-heuristic Algorithm) [9 - 10] และวิธีการแบ่งย่อยปัญหา (Decomposition algorithm) [1 - 6] สำหรับการแก้ปัญหาที่กำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large-scale linear programming, LSLP)

เป็นที่รู้กันว่าการแก้ปัญหา LSLP โดยวิธีการตรงแบบเต็มรูปแบบ (Full model of linear programming, FMLP) นั้นจะใช้ระยะเวลาและทรัพยากรเป็นอย่างมากในการประมวลผล อย่างงานวิจัยของ [4] และ [6] ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการแก้ปัญหาที่กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming, LP) ด้วยวิธีการตรงแบบเต็มรูปแบบใช้ระยะเวลาที่นานกว่าวิธีเฉพาะทางอื่นที่ถูกนำมาปรับใช้

โดยงานของ [4] ได้ใช้วิธีการสร้างแถวสำหรับการแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ ในกรณีที่มีจำนวนเงื่อนไข (Constraint) มากกว่าจำนวนตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) มากๆ และงานของ [6] ได้ใช้วิธีการสร้างสแตมภ์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ ในกรณีที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจมากกว่าจำนวนเงื่อนไขมากๆ

สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาปัญหากรณีที่มีจำนวนเงื่อนไขและตัวแปรตัดสินใจมากเกินไปจนจำกัดของหน่วยความจำหลัก การศึกษาในงานวิจัยชิ้นนี้จึงเป็นการหาวิธีผสมผสานที่เหมาะสม จากการนำวิธีการสร้างสแตมภ์และสร้างแถวมาหากกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้แก้ปัญหาพร้อมกันเป็น 3 วิธีการ ภายใต้คุณลักษณะปลีกย่อยลงไป

อีก เช่น กรณีที่จำนวนตัวแปรมากกว่าจำนวนข้อจำกัดหรือจำนวนข้อจำกัดมากกว่าตัวแปร หรือทั้งสองค่ามีปริมาณไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งจะเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาตรงแบบเต็มรูปแบบ (Linear programming with full model) ในเชิงของคุณภาพคำตอบ (Fitness value) และระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยเฉลี่ย (Average processing time)

2. ขั้นตอนวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการแก้ปัญหาที่กำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ ด้วยวิธีการ 4 รูปแบบ คือ วิธีการตรงแบบเต็มรูปแบบ (Linear Programming with Full Model, LPFM) วิธีการสลับการสร้างแถวและสแตมภ์ (Switching row-and-column generation, SRCG) วิธีการสร้างสแตมภ์ขึ้นกับแถว (Row-dependent-column generation, RDCG) และวิธีการสร้างแถวขึ้นกับสแตมภ์ (Column-dependent-column generation, CDRG) และวัดประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการด้วยคุณภาพของคำตอบ และระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเต็มรูปแบบ (Mathematical Model: Full Model)

งานวิจัยนี้ได้กำหนดการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขนาด $M \times N$ ซึ่งแสดงดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^N -c_j x_j \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \leq b_i \quad ; i = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

$$x_j \geq 0 \quad ; j = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

โดยที่ Z คือ ค่าเป้าหมายของแบบจำลองแบบเต็มรูปแบบ

c_j คือ สัมประสิทธิ์ที่ j ของสมการเป้าหมาย ; $\forall j$

x_j คือ ตัวแปรตัดสินใจที่ j ; $\forall j$

a_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ของเงื่อนไขที่ i สำหรับตัวแปรที่ j ; $\forall ij$

b_i คือ ค่าจำกัดของเงื่อนไขที่ i ; $\forall i$

จากสมการที่ (1) – (3) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเต็มรูป (Full Model) ขนาด $M \times N$ โดยสมการที่ (1) แสดงสมการเป้าหมาย (Objective function) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบให้มีค่าน้อยที่สุด อสมการที่ (2) แสดงข้อจำกัด (Constraint) ของแบบจำลอง และอสมการที่ (3) เพื่อกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจต้องไม่น้อยกว่า 0

2.2 แบบจำลองของปัญหาย่อย (Mathematical Model: Sub Problem)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเต็มรูปที่มีขนาด $M \times N$ จะทำการย่อปัญหาเป็นขนาด $m \times n$ เพื่อให้ง่ายต่อการแก้ไขปัญหา กล่าวคือปัญหาย่อยเป็นสับเซต (Subset) ของปัญหาแบบเต็มรูป

$$\text{Minimize } Z' = \sum_{k=1}^n c_k x_k \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^n a_{rk} x_k \leq b_r \quad ; r = 1, 2, \dots, m$$

$$x_k \geq 0 \quad ; \forall k \quad (6)$$

โดยที่ Z' คือ ค่าเป้าหมายของแบบจำลองปัญหาย่อย

c_k คือ สัมประสิทธิ์ที่ k ของสมการเป้าหมาย
; $k = 1, \dots, n$

x_k คือ ตัวแปรตัดสินใจที่ k ; $k = 1, \dots, n$

a_{rk} คือ สัมประสิทธิ์ของเงื่อนไขที่ r สำหรับตัวแปรที่ k ; $\forall r, k$

b_r คือ ค่าจำกัดของเงื่อนไขที่ r ; $\forall r$

จากสมการที่ (4) – (6) เป็นลักษณะของปัญหาย่อยขนาด $m \times n$ โดยสมการที่ (4) แสดงสมการเป้าหมายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาย่อย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบให้มีค่าน้อยที่สุด อสมการที่ (5) แสดงข้อจำกัดของแบบจำลองของปัญหาย่อย และอสมการที่ (6) เพื่อกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจต้องไม่น้อยกว่า 0

2.3 แบบจำลองของปัญหาคู่ควบ (Mathematical Model: Duality Problem)

เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบดั้งเดิม (Primal Problem) ของปัญหาย่อยนำมาแปลงเป็นปัญหาคู่ควบ (Dual problem) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Minimize } W = \sum_{i=1}^m b_i p_i \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} p_i \geq c_j \quad ; j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$p_i \geq 0 \quad ; i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

โดยที่ W คือ ค่าเป้าหมายของแบบจำลองของปัญหาคู่ควบ

สมการที่ (7) แสดงสมการเป้าหมายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาคู่ควบ ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของสมการเป้าหมายคือค่าด้านขวา (Right hand side, RHS) ของอสมการข้อจำกัดของปัญหาดั้งเดิม (5) และตัวแปรตัดสินใจของปัญหาคู่ควบคือ ค่าเงา (shadow price, p_i) ของแบบจำลองแบบเต็มรูป ต่อมาสมการที่ (8) แสดงสมการข้อจำกัดของปัญหาคู่ควบ โดยค่าทางขวา (RHS) ของปัญหาคู่ควบคือสัมประสิทธิ์ของสมการที่ (1) รวมถึงเครื่องหมายของอสมการจะสอดคล้องกับอสมการที่ (6) และอสมการที่ (9) เพื่อกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจต้องไม่น้อยกว่า 0 ซึ่งมีความสอดคล้องกับเครื่องหมายอสมการที่ (5)

2.4 หลักการแก้ปัญหาด้วยการสร้างสดมภ์ (Principle of column generation approach)

วิธีการสร้างสดมภ์เริ่มจากการนำปัญหามาขนาดย่อยอย่างสมการที่ (4) – (6) มาทำการแก้ปัญหา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ (Output) จะได้ค่าเป้าหมาย (Fitness value) ค่าตัวแปรตัดสินใจ และค่าเงาหรือค่าตัวแปรตัดสินใจของปัญหาคู่ควบ เนื่องจากการสร้างสดมภ์เป็นการเพิ่มตัวแปรนำเข้าจากการใช้หลักของทฤษฎีคู่ควบจากสมการที่ (7) – (8) โดยจะตรวจสอบค่าการผิดเงื่อนไขของอสมการที่ (8) ซึ่งเขียนเป็นสมการดังนี้

$$\varepsilon_{\text{column}} = \text{Min}\{c_j - \sum_{i=1}^m a_{ij} p_i\} ; j = 1, \dots, N \quad (10)$$

โดยที่ ε_{column} คือ ค่าที่น้อยที่สุดของผลต่างระหว่างค่าทางขวามือและค่าทางซ้ายมือของสมการเงื่อนไขของปัญหาคู่ควบ

จากสมการที่ (10) หากตัวแปรตัดสินใจใดที่ค่าผิดเงื่อนไขมากที่สุด จะถูกพิจารณาให้นำเข้าปัญหาย่อย โดยการสร้างสมการ เพื่อเพิ่มตัวแปรเข้าไปในปัญหาย่อย โดยวัตถุประสงค์ของการสร้างสมการคือการเลือกตัวแปรตัดสินใจที่จำเป็นจากแบบจำลองแบบเต็มรูปเข้าสู่ปัญหาย่อย

2.4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการสร้างสมการกับวิธีการตรงแบบเต็มรูป

เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรมากๆ ด้วยวิธีการสร้างสมการ สำหรับโจทย์ปัญหาทั่วไปที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้ออกแบบการทดลองให้มีขนาดปัญหาแตกต่างกัน 8 ขนาด ซึ่งลองทดสอบ 1 รอบการทดลอง “N/A” หมายถึงไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากหน่วยความจำหลักไม่เพียงพอ (Out-of-core memory) ดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าวิธีการสร้างสมการสามารถให้คุณภาพของคำตอบได้ใกล้เคียงกับวิธีการ LPFM อีกทั้งยังใช้เวลาเฉลี่ยน้อยกว่าทุกขนาดการทดลอง ดังนั้น เพื่อให้เกิดความชัดเจนในเรื่องประสิทธิภาพการหาคำตอบ จึงขยายผลการทดลองโดยทำการทดลองซ้ำเป็น 5 รอบการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยเฉลี่ยของวิธีการสร้างสมการน้อยกว่าวิธีการ LPFM ในทุกกรณี อีกทั้งยังสามารถหาผลคำตอบในปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรมากได้ ดังนั้นปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถนำวิธีการสร้างสมการไปประยุกต์ใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์ของประสิทธิภาพของคำตอบใน 1 รอบการทดลองของวิธีการสร้างสมการเทียบกับวิธีการตรงแบบเต็มรูป

ลำดับที่	จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	วิธีการตรง		วิธีการสร้างสมการ	
			ค่าเป้าหมาย	ประมวลผล (วินาที)	ค่าเป้าหมาย	ประมวลผล (วินาที)
1	10	50000	-289.16587	10.54843	-289.16587	0.32134
2	10	100000	-294.61277	39.72316	-294.61277	0.22348
5	50	50000	-256.40719	18.89889	-256.40719	0.58067
3	10	500000	-324.23177	1153.27205	-324.23177	0.33896
6	50	100000	-261.19895	88.43738	-261.19895	0.74498
4	10	1000000	-317.0094	4449.32139	-317.0094	0.61156
7	50	500000	-262.65485	2636.20556	-262.65485	1.77896
8	50	1000000	-262.42872	9225.70931	-262.42872	2.55826
9	50	8000000	N/A	N/A	-269.5359	154.70088
10	80	5000000	N/A	N/A	-260.82205	34.38280
11	100	5000000	N/A	N/A	-259.07318	509.13599

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยเฉลี่ยของวิธีการสร้างสมการเทียบกับวิธีการตรงแบบเต็มรูป

ลำดับที่	จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	วิธีการตรง	วิธีการสร้างสมการ
			ระยะเวลาประมวลผลโดยเฉลี่ย (วินาที)	ระยะเวลาประมวลผลโดยเฉลี่ย (วินาที)
1	10	50000	7.89064	0.19644
2	10	100000	38.82950	0.19279
5	50	50000	19.61540	0.53788
3	10	500000	1098.75447	0.30851
6	50	100000	93.20430	0.68521
4	10	1000000	4539.17195	0.46050
7	50	500000	2361.35339	1.78414
8	50	1000000	9862.63822	2.60890
9	50	8000000	N/A	184.22584
10	80	5000000	N/A	31.43372
11	100	5000000	N/A	236.06913

2.5 หลักการแก้ปัญหาด้วยการสร้างแถว (Principle of row generation approach)

วิธีการสร้างแถวเริ่มจากการนำปัญหามาขนาดย่อยอย่างสมการที่ (4) – (6) มาทำการแก้ปัญหา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ จะได้ค่าเป้าหมาย ค่าตัวแปรตัดสินใจ และค่าเงาหรือค่าตัวแปรตัดสินใจของปัญหาคู่ควบ เนื่องจากการสร้างแถวเป็นการเพิ่มเงื่อนไข โดยจะตรวจสอบค่าการผิดเงื่อนไขของสมการที่ (2) ซึ่งเขียนเป็นสมการดังนี้

$$\varepsilon_{row} = \min\{b_i - \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j\}; i = 1, \dots, M \quad (11)$$

โดยที่ ε_{row} คือ ค่าที่น้อยที่สุดของผลต่างระหว่างค่าทางขวามือและค่าทางซ้ายมือของสมการเงื่อนไขของปัญหาหลัก

จากสมการที่ (11) หากเงื่อนไขใดที่ค่าผิวดเนินไขมากที่สุด จะถูกพิจารณาให้นำเข้าปัญหาย่อย โดยการสร้างแถว เพื่อเพิ่มเงื่อนไขเข้าไปในปัญหาย่อย โดยวัตถุประสงค์ของการสร้างแถวคือการเลือกเงื่อนไขที่เป็นจากแบบจำลองแบบเต็มรูปเข้าสู่ปัญหาย่อย

2.5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการสร้างแถวกับวิธีการตรงแบบเต็มรูป

เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาที่มีจำนวนตัวเงื่อนไขมากๆ ด้วยวิธีการสร้างแถว สำหรับโจทย์ปัญหาทั่วไปที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งได้ออกแบบการทดลองใช้มีขนาดปัญหาแตกต่างกัน 8 ขนาด ซึ่งลองทดสอบ 1 รอบการทดลอง ดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าวิธีการสร้างแถวสามารถให้คุณภาพของคำตอบได้ใกล้เคียงกับวิธีการ LPFM อีกทั้งยังใช้เวลาน้อยกว่าทุกขนาดการทดลอง ดังนั้น เพื่อให้เกิดความชัดเจนในเรื่องประสิทธิภาพการหาคำตอบ จึงขยายผลการทดลองโดยทำการทดลองซ้ำเป็น 5 รอบการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยเฉลี่ยของวิธีการสร้างแถวน้อยกว่าวิธีการ LPFM ในทุกรณี อีกทั้งยังสามารถหาผลคำตอบในปัญหาที่มีจำนวนเงื่อนไขมากได้ ดังนั้นปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถนำวิธีการสร้างแถวไปประยุกต์ใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของประสิทธิภาพของคำตอบใน 1 รอบการทดลองของวิธีการสร้างแถวเทียบกับวิธีการตรงแบบเต็มรูป

ลำดับที่	จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	วิธีการตรง		วิธีการสร้างแถว	
			ค่าเป้าหมาย	ระยะเวลาประมวลผล (วินาที)	ค่าเป้าหมาย	ระยะเวลาประมวลผล (วินาที)
1	50000	10	-161.98822	12.84708	-161.98822	0.09309
2	100000	10	-142.28526	52.28872	-142.28526	0.14483
5	50000	50	-176.4006	46.38095	-176.4006	0.25681
3	500000	10	-159.69959	1346.62239	-159.69959	0.12161
6	100000	50	-172.98185	245.68112	-172.98185	0.27790
4	1000000	10	-155.73181	5327.63624	-155.73181	0.17431
7	500000	50	-173.25679	6736.15155	-173.25679	0.76500
8	1000000	50	-173.47545	27006.47334	-173.47545	1.44540
9	8000000	50	N/A	N/A	-166.13673	42.21860
10	5000000	80	N/A	N/A	-174.29073	27.31059
11	5000000	100	N/A	N/A	-177.87075	64.98894

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ของระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยเฉลี่ยของวิธีการสร้างแถวเทียบกับวิธีการตรงแบบเต็มรูป

ลำดับที่	จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	วิธีการตรง	วิธีการสร้างแถว
			ระยะเวลาประมวลผลโดยเฉลี่ย (วินาที)	ระยะเวลาประมวลผลโดยเฉลี่ย (วินาที)
1	50000	10	13.27460	0.05697
2	100000	10	53.66912	0.10775
5	50000	50	52.88390	0.33979
3	500000	10	1367.68030	0.11362
6	100000	50	245.70466	0.30596
4	1000000	10	5476.77261	0.21058
7	500000	50	6642.59914	0.83997
8	1000000	50	27065.45797	1.46140
9	8000000	50	N/A	39.73759
10	5000000	80	N/A	23.03271
11	5000000	100	N/A	73.91578

3 ขั้นตอนวิธีการสร้างแถวและวิธีการสร้างสมรรถ (Simultaneous Row-and-Column Generation Approach)

ขั้นตอนวิธีการผสมขั้นตอนวิธีการการสร้างแถวและการสร้างสมรรถที่งานวิจัยนี้ จะมีขั้นตอนพื้นฐานที่เหมือนกันดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขนาดย่อยขนาด $m \times n$ จากแบบจำลองแบบเต็มรูปขนาด $M \times N$

ขั้นตอนที่ 2: ตามหลักการสร้างแถวและสร้างสมรรถ เพื่อให้สะดวกต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์เข้าแบบจำลองของปัญหาย่อยได้ถูกต้องตามตัวแปรและเงื่อนไขที่ถูกเลือกจากปัญหาใหญ่ จึงทำการสร้างสัมประสิทธิ์ย่อยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับวิธีการสร้างสมรรถ (a_{column}) ที่จะเก็บสัมประสิทธิ์ของทุกตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองแบบเต็มรูปตามเงื่อนไขที่มีของแบบจำลองย่อย ซึ่งมีขนาด $m \times N$ และสำหรับวิธีการสร้างแถว (a_{row}) ที่จะเก็บสัมประสิทธิ์ของทุกเงื่อนไขของแบบจำลองแบบเต็มรูปตามตัวแปรตัดสินใจที่มีของแบบจำลองย่อย ซึ่งมีขนาด $M \times n$

ขั้นตอนที่ 3 การตัดสินใจขั้นตอนการเลือกเข้าใช้วิธีการสร้างแถวหรือวิธีการสร้างสมรรถ ซึ่งทั้ง 3 วิธีการจะมีความแตกต่างกันในส่วนนี้ โดยมีขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 วิธีการสลับการสร้างแถวและสดมภ์

ขั้นตอนที่ 1: หาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อย ซึ่งจะ
ได้ผลลัพธ์เป็นค่าเป้าหมาย ค่าตัวแปรตัดสินใจ และค่าเงา
หรือค่าตัวแปรตัดสินใจของปัญหาคู่ควบ

ขั้นตอนที่ 2: นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหา ε_{column} และ
 ε_{row}

ขั้นตอนที่ 3: เปรียบเทียบ ε_{column} และ ε_{row} หาก
 ε_{column} มีค่าน้อยกว่า ε_{row} ให้เข้าวิธีการสร้างสดมภ์
แต่หากตรงกันข้าม ให้เข้าวิธีการสร้างแถว

ขั้นตอนที่ 4: ทำขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่ง
ทั้ง ε_{column} และ ε_{row} มีค่ามากกว่า 0
ขั้นตอนวิธีการสลับการสร้างแถวและสดมภ์ถูกแสดงดังรูป
ที่ 1

3.2 วิธีการสดมภ์ขึ้นกับแถว

ขั้นตอนที่ 1: หาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อย ซึ่งจะ
ได้ผลลัพธ์เป็นค่าเป้าหมาย ค่าตัวแปรตัดสินใจ และค่าเงา
หรือค่าตัวแปรตัดสินใจของปัญหาคู่ควบ

ขั้นตอนที่ 2: นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหา ε_{column} และ
ทำการสร้างสดมภ์

ขั้นตอนที่ 3: ทำขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่ง
ทั้ง ε_{column} มีค่ามากกว่า 0

ขั้นตอนที่ 4: นำผลลัพธ์ล่าสุดที่ได้ไปคำนวณหา ε_{row}
และสร้างแถว

ขั้นตอนที่ 5: ทำขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 จนกระทั่ง
ทั้ง ε_{row} มีค่ามากกว่า 0

วิธีการสร้างสดมภ์ขึ้นกับแถวถูกแสดงดังรูปที่ 2

3.2 วิธีการแถวขึ้นกับสดมภ์

ขั้นตอนที่ 1: หาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อย ซึ่งจะ
ได้ผลลัพธ์เป็นค่าเป้าหมาย ค่าตัวแปรตัดสินใจ และค่าเงา
หรือค่าตัวแปรตัดสินใจของปัญหาคู่ควบ

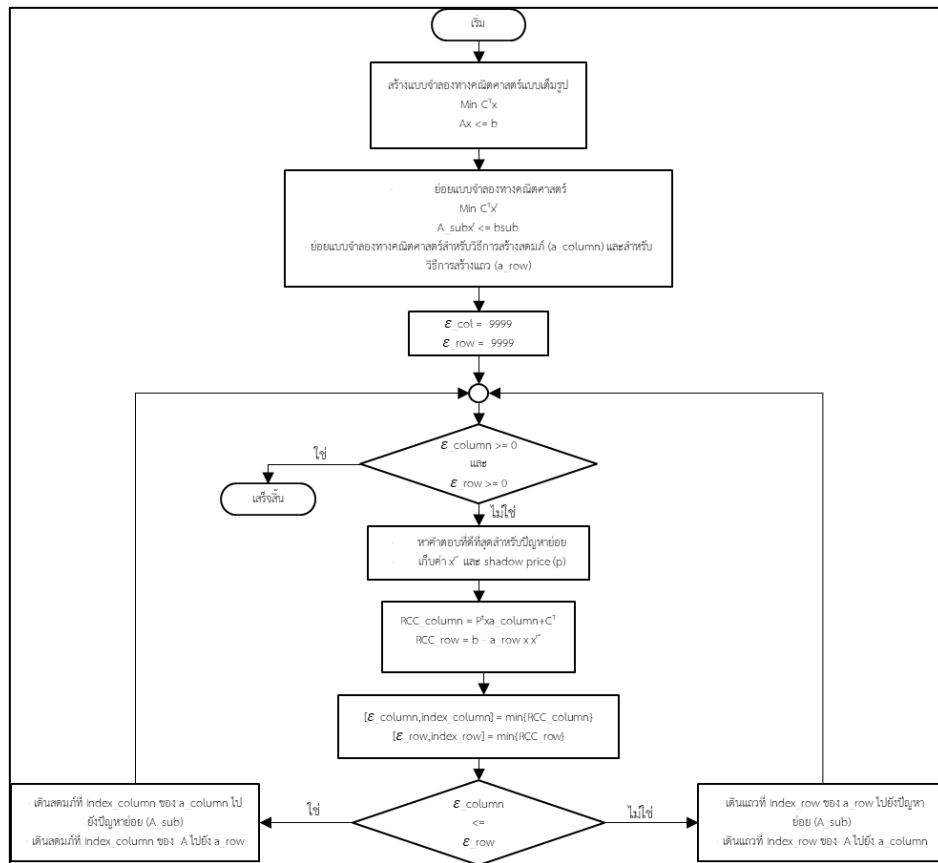
ขั้นตอนที่ 2: นำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณหา ε_{row} และทำ
การสร้างแถว

ขั้นตอนที่ 3: ทำขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่ง
ทั้ง ε_{row} มีค่ามากกว่า 0

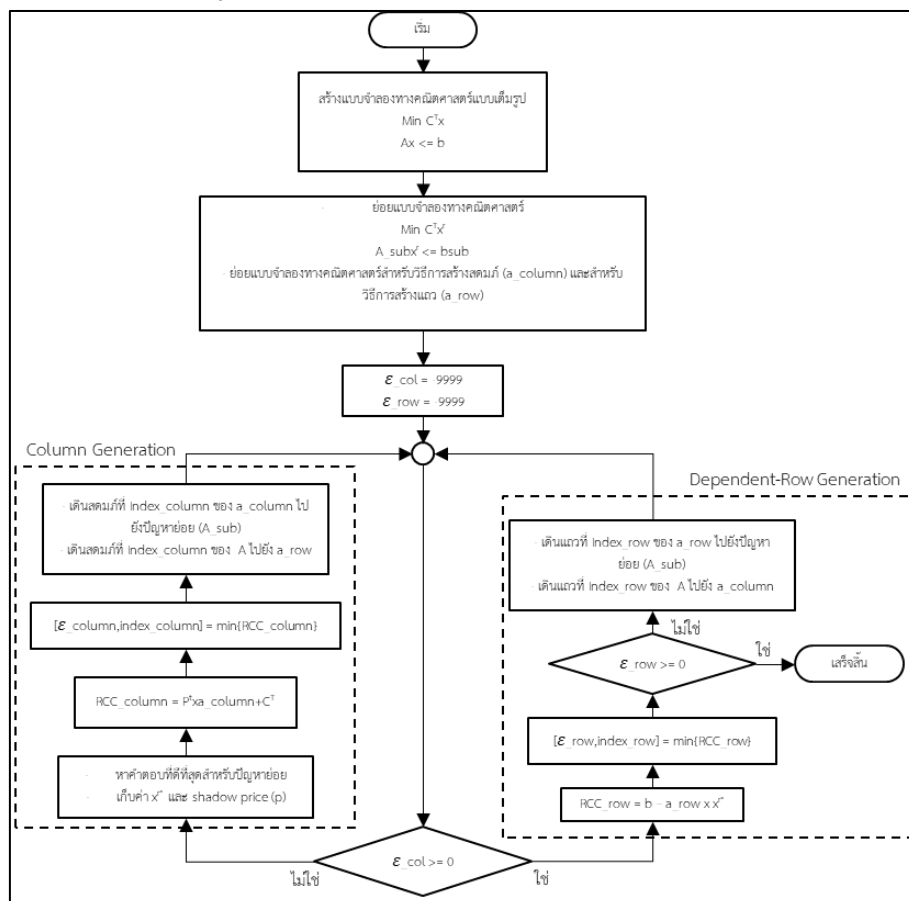
ขั้นตอนที่ 4: นำผลลัพธ์ล่าสุดที่ได้ไปคำนวณหา ε_{column}
และทำการสร้างสดมภ์

ขั้นตอนที่ 5: ทำขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 จนกระทั่ง
ทั้ง ε_{column} มีค่ามากกว่า 0

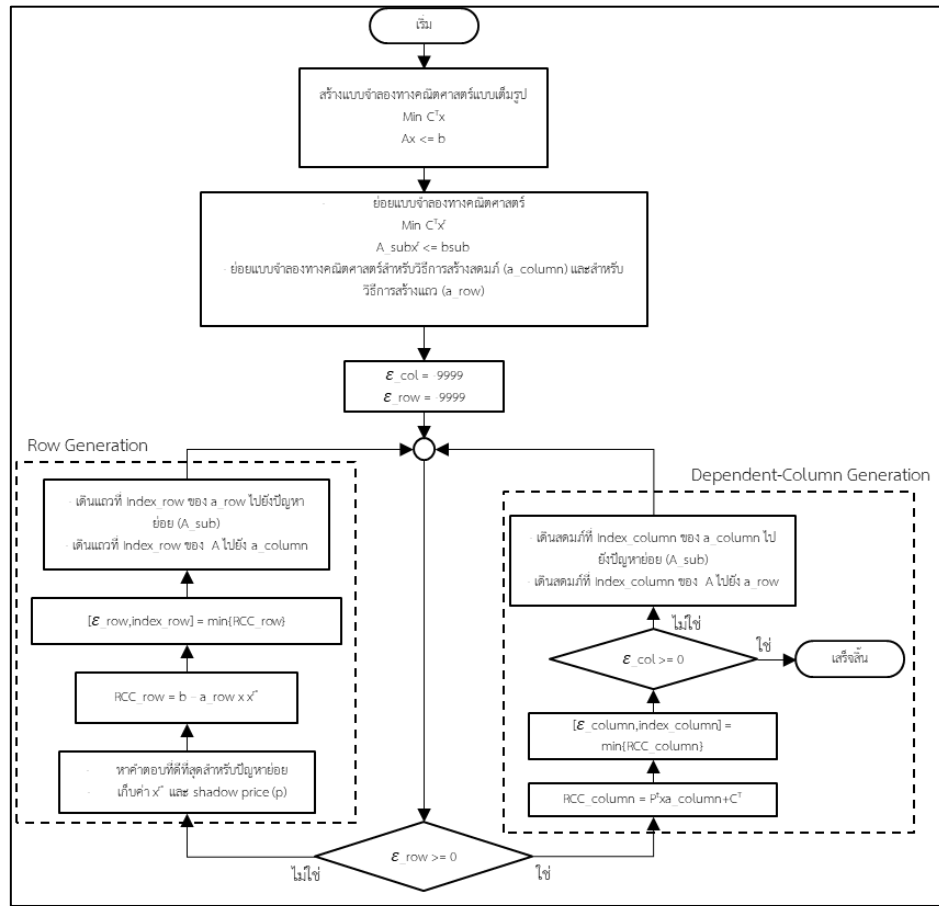
วิธีการสร้างแถวขึ้นกับสดมภ์ถูกแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนวิธีการสลับการสร้างแถวและ



รูปที่ 2 แผนผังขั้นตอนวิธีการสร้างแถวขึ้นกับสแตมภ์



รูปที่ 3 แผนผังขั้นตอนวิธีการสร้างสมมติขึ้นกับแถว

4 การออกแบบการทดลองโจทย์ปัญหา

เพื่อการวัดผลการทดลอง งานวิจัยนี้ได้สร้างโจทย์ปัญหา ที่เป็นแบบสุ่มค่าและหนาแน่นไปด้วยตัวเลขที่ไม่ใช่ศูนย์ในเมตริกซ์ (Dense matrix) ข้อจำกัด สำหรับการทดลองหลายขนาดของจำนวนเงื่อนไข M และจำนวนตัวแปร N ให้แต่ละส่วนมีขนาดตั้งแต่ 5,000 ถึง 20,000 และกำหนดการสร้างโจทย์ปัญหาดังนี้

$c_j \sim \text{Uni}[0.1, 1.1]$; $\forall_j$ คือมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) โดยกำหนดค่าไม่ต่ำกว่า 0.1 และไม่เกิน 1.1

$a_{ij} \sim \text{Uni}[1, 2]$; $\forall_{ij}$ คือมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) โดยกำหนดค่าไม่ต่ำกว่า 1 และไม่เกิน 2

$b_i \sim \text{Uni}[300, 401]$; $\forall_i$ คือมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) โดยกำหนดค่าไม่ต่ำกว่า 300 และไม่เกิน 401

ซอฟต์แวร์ (Software)

วิธีการแก้ปัญหาคำหนดการเชิงเส้น (linprog) บน MATLAB R2021b บนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์ (Windows 10 PRO)

อุปกรณ์

- Intel i5-4690 3.5 GHZ RAM 8 GB

5 ผลการวิจัย

ทำการทดลองวัดประสิทธิภาพของทั้ง 4 วิธีการ โดยมีการกำหนดขนาดของปัญหา 14 แบบ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของคำตอบของทั้ง 4 วิธีการให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่ง “N/A” หมายถึงไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากหน่วยความจำหลักไม่เพียงพอ (Out-of-core memory) ดังตารางที่ 5

สืบเนื่องจากผลลัพธ์ของค่าเป้าหมายไม่มีความแตกต่างกันมากนักของทั้ง 4 วิธีการ จึงทำการวัด

ประสิทธิภาพด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยเฉลี่ย (Average processing time) โดยการทดลองซ้ำในแต่ละปัญหาอีก 5 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบจะมีการสุ่มตัวเลขสำหรับการสร้างโจทย์ปัญหาที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์ของประสิทธิภาพของคำตอบใน 1 รอบการทดลอง

ลำดับ	จำนวน เต็ม	จำนวน ตัวแปร	วิธีการหาคำตอบ				วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับแถว				วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับคอลัมน์			
			วิธีการตรง		การสร้างแถวและคอลัมน์		วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับแถว		วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับคอลัมน์		วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับแถว		วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับคอลัมน์	
			ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา
1	5000	10000	-219.154	46.57181	-219.154	81.47468	-219.154	84.63120	-219.154	28.69066	-219.154	28.69066	-219.154	28.69066
2	10000	5000	-215.716	125.98870	-215.716	36.39134	-215.716	32.54040	-215.716	17.64044	-215.716	17.64044	-215.716	17.64044
3	5000	15000	-220.14	132.42278	-220.14	77.90746	-220.14	67.23225	-220.14	49.72490	-220.14	49.72490	-220.14	49.72490
4	15000	5000	-215.071	335.50706	-215.071	62.84183	-215.071	63.23313	-215.071	27.97448	-215.071	27.97448	-215.071	27.97448
5	5000	20000	-220.454	520.61781	-220.454	88.08352	-220.454	82.97043	-220.454	70.33993	-220.454	70.33993	-220.454	70.33993
6	10000	10000	-217.935	455.11545	-217.935	116.49054	-217.935	103.51096	-217.935	64.05637	-217.935	64.05637	-217.935	64.05637
7	10000	15000	-218.882	1133.09763	-218.882	170.26484	-218.882	167.55677	-218.882	89.16230	-218.882	89.16230	-218.882	89.16230
8	15000	10000	N/A	N/A	-217.143	133.94351	-217.143	143.91303	-217.143	77.13220	-217.143	77.13220	-217.143	77.13220
9	10000	20000	N/A	N/A	-219.789	237.52056	-219.789	225.54162	-219.789	145.58199	-219.789	145.58199	-219.789	145.58199
10	20000	10000	N/A	N/A	-216.469	165.29074	-216.469	182.03382	-216.469	87.53562	-216.469	87.53562	-216.469	87.53562
11	15000	15000	N/A	N/A	-217.726	245.86972	-217.726	248.68947	-217.726	142.29838	-217.726	142.29838	-217.726	142.29838
12	15000	20000	N/A	N/A	-218.546	379.93975	-218.546	371.23413	-218.546	243.95376	-218.546	243.95376	-218.546	243.95376
13	20000	15000	N/A	N/A	-217.551	356.82366	-217.551	369.62353	-217.551	205.18482	-217.551	205.18482	-217.551	205.18482
14	20000	20000	N/A	N/A	-218.284	609.52366	-218.284	643.11995	-218.284	342.08712	-218.284	342.08712	-218.284	342.08712

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์ของระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลโดยเฉลี่ย

ลำดับ	จำนวนเต็ม	จำนวนตัวแปร	วิธีการหาคำตอบ				วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับแถว				วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับคอลัมน์			
			วิธีการตรง		การสร้างแถวและคอลัมน์		วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับแถว		วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับคอลัมน์		วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับแถว		วิธีการสร้างคำตอบขึ้นกับคอลัมน์	
			ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา	ค่า	ระยะเวลา
1	5000	10000	91.48457	41.72101	41.72101	41.99774	41.99774	29.54423	41.72101	41.99774	41.99774	29.54423	41.72101	41.99774
2	10000	5000	133.07323	36.45976	36.45976	37.87565	37.87565	19.62240	36.45976	37.87565	37.87565	19.62240	36.45976	37.87565
3	5000	15000	181.36293	76.14838	76.14838	70.07413	70.07413	51.71818	76.14838	70.07413	70.07413	51.71818	76.14838	70.07413
4	15000	5000	295.38589	63.50171	63.50171	62.76971	62.76971	28.87450	63.50171	62.76971	62.76971	28.87450	63.50171	62.76971
5	5000	20000	269.07404	92.54860	92.54860	89.90592	89.90592	69.00494	92.54860	89.90592	89.90592	69.00494	92.54860	89.90592
6	10000	10000	344.18495	111.52845	111.52845	102.36471	102.36471	59.38972	111.52845	102.36471	102.36471	59.38972	111.52845	102.36471
7	10000	15000	1340.60110	193.98651	193.98651	184.31089	184.31089	106.66751	193.98651	184.31089	184.31089	106.66751	193.98651	184.31089
8	15000	10000	N/A	151.48364	151.48364	143.95147	143.95147	74.16020	151.48364	143.95147	143.95147	74.16020	151.48364	143.95147
9	10000	20000	N/A	252.64751	252.64751	256.25022	256.25022	161.23621	252.64751	256.25022	256.25022	161.23621	252.64751	256.25022
10	20000	10000	N/A	196.09125	196.09125	201.42715	201.42715	99.47513	196.09125	201.42715	201.42715	99.47513	196.09125	201.42715
11	15000	15000	N/A	274.86621	274.86621	280.93340	280.93340	150.25910	274.86621	280.93340	280.93340	150.25910	274.86621	280.93340
12	15000	20000	N/A	409.66976	409.66976	401.06738	401.06738	232.28657	409.66976	401.06738	401.06738	232.28657	409.66976	401.06738
13	20000	15000	N/A	402.88522	402.88522	422.13514	422.13514	213.38505	402.88522	422.13514	422.13514	213.38505	402.88522	422.13514
14	20000	20000	N/A	642.81913	642.81913	643.93991	643.93991	377.60577	642.81913	643.93991	643.93991	377.60577	642.81913	643.93991

จากตารางที่ 5 และตารางที่ 6 วิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปแบบ (LPPFM) จะคำนวณไม่ได้ตั้งแต่ปัญหาที่ 8 เป็นต้นไป เนื่องจากใช้ตัวแปรและเงื่อนไขทั้งหมดในการประมวลผลหาคำตอบ ซึ่งทำให้เกิดหน่วยความจำหลักไม่เพียงพอ แต่กลับกันวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการสร้างแถวและสแต็กสามารถคำนวณหาผลคำตอบในขนาดปัญหาดังกล่าวได้ อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพของระยะเวลาที่ใช้ประมวลผลที่ดีกว่าในทุกกรณีเช่นกัน

เมื่อพิจารณาวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการสร้างแถวและสแต็กทั้ง 3 วิธีการ พบว่า วิธีการสร้างสแต็กขึ้นกับแถว (CDR) จะมีประสิทธิภาพมากที่สุด อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะขึ้นอยู่กับจำนวนของเงื่อนไข ดังนั้นวิธีการสร้างสแต็กขึ้นกับแถว (CDR) ที่จะเน้นการเลือกตัวแปรที่สำคัญเข้ามาก่อนแล้วจึงเลือกเงื่อนไขที่สำคัญ ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีการสร้างแถวขึ้นกับ

สแต็ก (RDC) ที่มีลักษณะตรงกันข้าม ส่งผลให้รูปแบบของปัญหาของวิธีการสร้างสแต็กขึ้นกับแถว (CDR) มีจำนวนเงื่อนไขในการพิจารณาน้อยกว่าวิธีการสร้างแถวขึ้นกับสแต็ก (RDC) ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อยกว่า ส่วนวิธีการสลับวิธีการสร้างแถวและสแต็ก (SRCG) นั้น เนื่องจากมิได้มีการเน้นสร้างแถวหรือสแต็กเป็นหลัก จำนวนเงื่อนไขของปัญหาอาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการสร้างแถวขึ้นกับสแต็ก (RDC) ซึ่งก็จะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในบางครั้งอาจจะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลได้ดีกว่าหรือแย่กว่าก็ได้เช่นกัน

5 สรุปและแนวทางในอนาคต

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบลำดับของวิธีการสร้างแถวและสแต็ก ด้วยการเปรียบเทียบวิธีการวิจัย 4 รูปแบบ คือ วิธีการตรงแบบเต็ม วิธีการสลับการสร้างแถวและสแต็ก วิธีการสร้างสแต็กขึ้นกับแถวและวิธีการสร้างแถวขึ้นกับสแต็ก โดยวัดประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการด้วยคุณภาพของคำตอบ และระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการนำการสร้างสแต็กและการสร้างแถวมาประยุกต์ใช้สามารถหาคำตอบได้ดีพอกับวิธีการตรงแบบเต็มรูปแบบ และให้ประสิทธิภาพในเชิงของระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลได้ดีกว่า อีกทั้งยังหาคำตอบในปัญหามาตรฐานได้ ในขณะที่การแก้ปัญหาวิธีการตรงแบบเต็มรูปแบบทำให้เกิดปัญหาคำนวณความจำไม่เพียงพอ และวิธีการนำการสร้างสแต็กและการสร้างแถวทั้ง 3 วิธีการ พบว่าประสิทธิภาพของวิธีการสร้างสแต็กขึ้นกับแถว (CDRG) ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาเป็นวิธีการสร้างแถวขึ้นกับสแต็ก (RDCG) และสุดท้าย (SRCG)

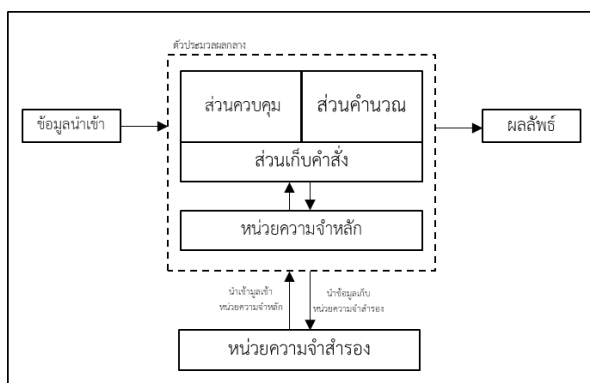
ซึ่งแนวทางในอนาคตอาจจะมีการวิจัยกลยุทธ์อื่นๆ มาปรับใช้ หรือมีการปรับปรุงพารามิเตอร์ในการสร้างโจทย์ปัญหา เพื่อเป็นการพิสูจน์และยืนยันว่าประสิทธิภาพของวิธีการสร้างสแต็กขึ้นกับแถว (CDRG) ยังคงดีที่สุด

6 ส่วนขยายเพิ่มเติม

สำหรับการขยายงานวิจัยในภายภาคหน้าอาจจะทำการหาโครงสร้างของโจทย์ปัญหาที่เหมาะสมกันของแต่ละ

ละวิธีการ เพื่อหากลยุทธ์ในการเลือกใช้ในแต่ละวิธีการ หรือปรับปรุงวิธีการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพรองรับโจทย์ ปัญหาที่ใหญ่ขึ้น ดังเช่นตัวอย่างดังต่อไปนี้ จะเป็นการเก็บ ข้อมูลบางส่วนที่ไม่ได้ใช้ขณะนั้นจากหน่วยความจำหลัก (Primary storage) ไปยังหน่วยความจำสำรอง (Secondary storage) เพื่อเพิ่มพื้นที่ของหน่วยความจำหลักในการคำนวณปัญหา ดังรูปที่ 4

โดยการทดลองนี้ได้เก็บข้อมูลไปยังฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Drive, HDD) โดยใช้วิธีการสร้างสมรรถนะกับ แถว (CDR) สำหรับโจทย์ปัญหา $M \times N$ เป็น $1,000 \times 1,000,000$ และกำหนดแบบจำลองขนาดย่อย $m \times n$ เป็น $50 \times 10,000$ จากขนาดปัญหาหลักดังกล่าว หากมิได้ใช้การเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำสำรองจะทำให้เกิด ปัญหาหน่วยความจำหลักไม่เพียงพอ ซึ่งพบว่าสามารถ ประมวลผลค่าตอบได้ แต่ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงระยะเวลา ที่ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างหน่วยความจำหลักและ หน่วยความจำสำรอง ซึ่งทำให้ใช้ระยะเวลาในการถ่ายโอน ข้อมูลนานพอสมควร ซึ่งผลการทดลองครั้งเดียวใช้เวลา 4.65 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเสนอให้หาแนวทางในการเพิ่ม ประสิทธิภาพการถ่ายโอนข้อมูล หรือการคำนวณแบบ คู่ขนาน (Parallel processing) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้ ดีมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4 แผนผังขั้นตอนการประมวลผลของหน่วยประมวลผล
อ้างอิง: <https://computersciencewiki.org/>

7. เอกสารอ้างอิง

[1] G. B. Dantzig and P. Wolfe, "Decomposition Principle for Linear Programs," *Operations Research*, vol. 8, no. 1, pp. 101-111.

[2] R. E. Bixby, J. W. Gregory, I. J. Lustig, R. E. Marsten and D. F. Shanno, "Very Large-Scale Linear Programming: A Case Study in Combining Interior Point and Simplex Methods," *Operations Research*, vol. 40, pp. 885-897, 1992.

[3] J. F. Benders, "Partitioning procedures for solving mixed-variables programming problems," *Numerische Mathematik*, vol. 4, no. 3, pp. 238-252, 1962.

[4] อภิศักดิ์ วิทยาประภากร, เอราริล ถาวร, เรืองทิวา ทิพย์ศักดิ์ และ พิรยุทธ ชาญเศรษฐิกุล, "การแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ด้วยเทคนิคการสร้างแถว," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, น. 10-21, 2561.

[5] G. Dantzig, R. Fulkerson and S. Jonhson, "Solution of a large-scale travelling-salesman problem," *Journal of the Operation Research Society of America*, vol. 2, no. 4, pp. 393-410, 1954.

[6] รัฐพล สังคะสุข, ฐิติรัตน์ วิวิธเกียรติกุล, เบญจพร พวงจาปี, ศรีนทิพย์ อนุรักษ์, สหชาติ เลิศศิริเกสัช และ พิรยุทธ ชาญเศรษฐิกุล, "การแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ ด้วยวิธีการสร้างสมรรถนะ," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1, น. 37-48, 2563.

[7] A. Sangiovanni-Vincentelli, Li-Kuan Chen and L. Chua, "An efficient heuristic cluster algorithm for tearing large-scale networks," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 24, no. 12, pp. 709-717, 1977.

[8] J. Kytöjoki, T. Nuortio, O. Bräysy and M. Gendreau, "An efficient variable neighborhood search heuristic for very large-scale vehicle routing problems," *Computers & Operations Research*, vol. 34, no. 9, pp. 2743-2757, 2007.

- [9] ปวิธ ไกรสรนุเคราะห์, รมิดายุ อยู่สุข และ นราภรณ์ เกาประเสริฐ, “การปรับปรุงวิธีอาณาจักรมดสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าแบบมีขอบเขตเวลาและแบ่งส่งสินค้า,” *วิศวกรรมสาร ธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, น.1-8, 2020.
- [10] ปวิธ ไกรสรนุเคราะห์, รมิดายุ อยู่สุข, แพรพรรณ ประหยัทธิพิย และ นราภรณ์ เกาประเสริฐ, “การพัฒนาโปรแกรมในการจัดลำดับเครื่องเล่นในสวนสนุกโดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ,” in *The 5th Thai-Nichi Institute of Technology Academic Conference 2019*, 2019.

การประเมินผลกระทบของปัจจัยที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพของการหยิบสินค้า ในคลังสินค้าที่มีผังแบบหนึ่งบล็อก

มะกุซี มะแซ^{1*} วติน ผดุงเวช² และ ภาณุพงศ์ วิจิตรคุณากร³

¹หน่วยวิจัยสถิติและการประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถนนกาญจนวนิชย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

²ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพระราม 6 ราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

³หน่วยวิจัยคณิตวิเคราะห์เชิงประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

15 ถนนกาญจนวนิชย์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Received: 27 January 2022; Revised: 19 March 2022; Accepted: 6 May 2022

บทคัดย่อ

การดำเนินการในคลังสินค้าเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้แรงงานมากและคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงเมื่อเทียบกับต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด ในบรรดาการดำเนินการต่างๆในคลังสินค้า การหยิบสินค้าถือเป็นหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญที่สุด โดยเป็นกระบวนการที่ผู้หยิบสินค้าเดินหยิบสินค้าจากตำแหน่งต่าง ๆ ในคลังสินค้า ซึ่งพบว่าระยะทางรวมที่ผู้หยิบสินค้าเดินหยิบสินค้ามีผลต่อปริมาณงานที่ทำได้ในเวลาหนึ่งในคลังสินค้า ดังนั้นการลดระยะทางที่ไม่เกิดประโยชน์นี้จึงเป็นหนึ่งในกลไกสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของคลังสินค้าได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของปัจจัยที่แตกต่างกันต่อระยะทางที่ผู้หยิบสินค้าเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้าที่มีผังแบบหนึ่งบล็อก โดยพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ประกอบด้วยขนาดของใบสั่งซื้อ ตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการหยิบสินค้า วิธีการเดินหยิบสินค้า และวิธีการเก็บสินค้า ผู้วิจัยจำลองสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของแต่ละระดับของปัจจัยต่างๆ และใช้ผลลัพธ์จากการจำลองไปศึกษาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่าง ๆ ต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการวิเคราะห์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าปัจจัยหลักทุก ๆ ปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบผลกระทบร่วมของ 3 ปัจจัยพบว่าส่วนใหญ่จะไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า ยกเว้นผลกระทบร่วมของ 3 ปัจจัยที่ประกอบด้วยขนาดของใบสั่งซื้อ ตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการหยิบสินค้า และวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนผลการทดสอบของผลกระทบร่วมของ 4 ปัจจัย พบว่าไม่มีผลกระทบร่วมกันต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้า

คำสำคัญ: เส้นทางการหยิบสินค้า, การจัดเก็บสินค้า, การหยิบสินค้า, คลังสินค้า

* Corresponding author: E-mail: makusee.ma@psu.ac.th

¹ อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Evaluating the effects of different factors on the order picking efficiency in the single-block warehouse

Makusee Masae^{1*}, Wasin Padungwech² and Panupong Vichitkunakorn³

¹Statistics and Applications Research Unit, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, 15 Kanjanavanich Road, Hatyai, Songkhla 90110

²Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahidol University, Rama VI Road, Ratchathewi, Bangkok, 10400.

³Applied Analysis Research Unit, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University, 15 Kanjanavanich Road, Hatyai, Songkhla 90110

Received: 27 January 2022; Revised: 19 March 2022; Accepted: 6 May 2022

Abstract

Warehouse operations are labor-intensive activities, and they account for the highest share of the total logistics cost. Among the various operations in warehouses, order picking, which is the process of retrieving a set of requested items from specified storage locations in a warehouse, is one of the most critical ones. The picking travel distance required by the order pickers has profound effects on the warehouse throughput. Hence, reducing this unproductive traveling of the order pickers is a significant lever for increasing the total warehouse throughput. The focus of the paper at hand is to evaluate the effects of four main factors, including pick-list sizes, depot location, order picker routing policies, and storage assignment policies on the picking travel distance in a single block warehouse. We simulate all possible combinations of several levels and evaluate the main and interaction effects using the analysis of variance (ANOVA). According to ANOVA analysis, all main single effects and two-way interactions have a statistically significant effect on the picking travel distance at a level of significance α of 0.05. On the other hand, most of the three-way interactions are not statistically significant at an α of 0.05, except the three-way interactions between pick-list sizes, depot location, and storage assignment policies. In terms of four-way interactions, they are not statistically significant at an α of 0.05.

Keywords: picking route, storage assignment, order picking, warehousing

* Corresponding author: E-mail: makusee.ma@psu.ac.th

¹ Lecturer, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University

² Lecturer, Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahidol University

³ Assistant Professor, Division of Computational Science, Faculty of Science, Prince of Songkla University

1. Introduction

Warehouses play a vital role in the supply chain process as they facilitate the shipping of products to the next stage of the supply chain with the highest level of customer service and at the lowest possible cost. As a result, both researchers and practitioners have focused on improving warehouse operations in the past to enhance the efficiency of the supply chain. Among the various warehouse operations, order picking, which is commonly defined as the process of retrieving requested items from storage locations in a warehouse in response to customer orders [1-2], is the most costly activity [3]. Some authors estimated that it accounts for up to 55% of the total warehouse operating costs [4]. In addition, order picking is a critical process for every supply chain because of its direct influence on customer satisfaction [5], which is the main performance factor in e-commerce retail. Underperforming in order picking can cause both unsatisfied customers and high warehouse operating costs. Consequently, improving the efficiency of order picking will lead to lower logistics costs and to an improved performance of the whole supply chain [6-7]. In picker-to-parts systems, order pickers travel through the aisles of the warehouse to pick requested items from storage locations. The time required by the order pickers to travel through the warehouse may account for up to 50% of the total order picking time [8-9]. Hence, reducing this unproductive and non-value adding time is an essential lever for lowering warehouse operating costs. Since the travelling distance is proportional to the travelling time, minimizing the travelling distance of a picking tour is often considered equivalent to reducing the travelling time, and it is seen as a major contributor to the improvement of order picking efficiency. To reduce picking travel distance, previous research has focused on single order picking planning

problem, but this research breaks new ground by combining multiple planning problems. Therefore, the main contribution of the paper at hand is to evaluate the effects of four main factors, including pick-list sizes, depot location, order picker routing policies, and storage assignment policies on the picking travel distance in a single block warehouse.

2. Problem description

We assume a single block warehouse, which is a layout that is common in practice and that this is the most frequently used layout in the literature [5],[10]. The warehouse under study is the single-block warehouse with ten aisles. The picking aisles are two-sided with the width of 1 meter. The dimension (width*depth*height) of each storage location is 1*1*1 meter³ containing a single type of SKU, and 1,000 SKUs (100 in each aisle) are stored in the warehouse in total. This layout is consistent with the warehouse layout literatures of [11-12]. In defining the model, we make the following design assumptions.

1. There is only one depot, where order pickers receive orders and where retrieved items are dropped off for further processing.
2. Order pickers can retrieve the requested items from storage racks arranged on both sides of the picking aisles without having to cross the aisles.
3. Order pickers working in the same area can pass each other, which means that we do not consider picker congestion within aisles.
4. The requested items can be picked directly from the racks without additional vertical travel, which means that in this study we focus on the picker routing problem in a low-level picker-to-parts system.
5. An item is stored in a single location only, which means we consider order picking in a single storage system.

3. Order picker routing

3.1 Exact algorithm

Ratliff and Rosenthal [13] developed exact routing algorithm for routing order pickers through a single-block warehouse as illustrated in Figure 1. The rectangle boxes in Figure 1 represent the storage locations in warehouse, where the black boxes are locations of items to be picked. The order picker receives a pick-list containing a list of items to be picked at the depot, starts retrieving all requested items from storage locations, and then returns to the depot to drop off the retrieved items. Ratliff and Rosenthal [13] defined the picker routing problem as the problem of finding a tour of minimal length on a graph representation of the investigated warehouse.

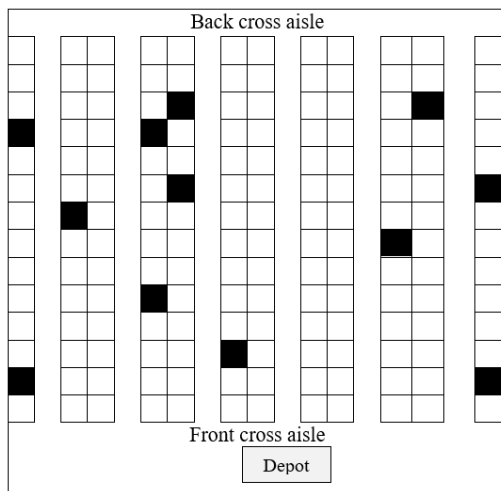


Figure 1 warehouse with a single block [13].

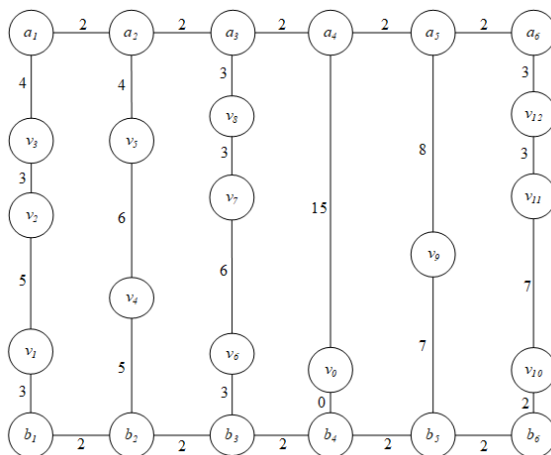


Figure 2 Graph representation G , where $m = 12$ and $n = 6$ [13].

The authors defined a graph G in Figure 2 associated with the picker routing problem in Figure 1, where the vertex v_0 represents the location of the depot and the vertices $v_i, i = 1, 2, 3, \dots, m$, represent the storage locations of all m requested items. The vertices a_j and b_j are back and front endpoints of each picking aisle $j, j = 1, 2, 3, \dots, n$. The weight of an edge corresponds to the distance between the endpoints of that edge. The algorithm of Ratliff and Rosenthal [13] aims to find the shortest order picking tour that starts from v_0 , determines a sequence of storage locations $v_i, i = 1, 2, 3, \dots, m$ that have to be visited, and ends at v_0 . As can be seen, a tour of an order picker in the warehouse corresponds to a tour on the graph G . So, the problem of finding the shortest order picking tour is identical to the problem of finding a tour on the graph G containing all the required vertices.

3.2 Heuristics

S-shape: The order picker starts in the first aisle that contains requested items and traverses the aisle completely. The picker then moves to the next aisle that contains requested items, traverses this aisle completely, and continues in this fashion until all requested items have been retrieved.

Largest gap: This heuristic divides aisles into two halves using the largest gap between two requested items or between the aisle exits and a requested item for defining the front and back part of each aisle. The order picker enters the aisles in the front part of the warehouse that contain requested items and leaves each aisle on the side where s/he entered it without accessing the back part. Once the front part of the warehouse has been completed, the order picker moves to the back part of the warehouse to complete all aisles in the same fashion.

3.3 Meta-heuristics

Adaptive large neighborhood search (ALNS) is based on the large neighborhood search (LNS), a metaheuristic introduced by Shaw [14]. In an LNS, the neighborhoods are defined by destroy and repair operators. A destroy operator is used to remove a set of vertices to cut the present solution into parts in each iteration of the search. Then, a repair operator is used to re-combine the removed vertices and the remaining parts of the solution to obtain a new feasible solution. A destroy operator that can affect a large portion of a solution, hence the name “large neighborhood search”, has potential to help the search navigate different parts of a solution space and lessen a chance of getting stuck at local optima, especially when a problem being tackled has constraints that make it difficult to move from one feasible solution to another by small changes. ALNS has been developed by Ropke and Pisinger [15] and extends the LNS by an adaptive selection mechanism for choosing a destroy and repair operator at each iteration from a “portfolio”, i.e. a set of operators. The use of multiple operators and the ability to choose them adaptively in the ALNS allows the search to adjust itself to different instances of the same problem. As it contains a mechanism for choosing operators, ALNS can also be viewed as a hyper-heuristic; it is a heuristic for deciding which heuristic (destroy/repair operators) to use for creating a new feasible solution. ALNS is comprised of four main steps: (1) creating an initial solution; (2) choosing a destroy operator and performing a destroy operator; (3) picking a repair operator and performing a repair operator; and (4) renewing the parameters and the current solution. Such parameters include those that control the probability of choosing each destroy or repair operator. For example, one may adjust the parameters in such a way that an operator that leads to a better solution has a higher probability of being chosen in the next iteration.

A pseudocode of ALNS used in this work is given below, where N_item is the pick-list size, and N_itr is the number of iterations to be specified.

```

Given:  $N\_item$ ,  $N\_itr$ .
Generate an initial solution, called  $S$ .
Set  $Best\_S = S$ .
For each destroy operator:
    Set its score = 1.
For  $itr = 1$  to  $N\_itr$ :
    Randomly choose the number of items to
    remove from the route  $S$ , called  $N\_to\_remove$ .
    Randomly choose one of the destroy
    operators.
    Apply the chosen destroy operator with
     $N\_to\_remove$  to  $S$ . Call the result  $New\_S$ .
    Repair  $New\_S$ .
    If  $New\_S$  is accepted
        Set  $S = New\_S$ .
        Set  $delta = 1$ .
    If total distance of  $New\_S$  is less than  $Best\_S$ 
        Set  $Best\_S = New\_S$ .
        Set  $delta = 2$ .
    Increase the score of the chosen destroy
    operator by  $delta$ .
Return  $Best\_S$ .
    
```

In this work, N_itr is set to $100 \times N_item$, and N_to_remove ranges between 1 and $\min(1, N_item/2)$. An initial solution is generated by randomly permuting items to be picked. Destroy operators are randomly chosen by a process similar to roulette wheel selection in a genetic algorithm [18] with the operators' scores viewed as their “fitness”. Destroy operators considered here are “random removal” (randomly removing a given number of items from the route) and “worst removal” (successively removing an item that leads to the highest saving of distance).

4. Storage assignment

Four storage assignment policies are considered in our study, namely (1) random storage with uniform demand, (2) turnover-based storage with 20/40 demand skewness, (3) turnover-based storage with 20/60 demand skewness, and (4) turnover-based storage with 20/80 demand skewness. The notation x/y indicates that $x\%$ of the items represents $y\%$ of the total demand. For a random storage policy, items are assigned randomly to locations available in the warehouse. In case of turnover-based storage, we implement the turnover-based storage with demand skewness proposed by Çelik and Süral [9] and Pohl et al. [16] by assigning higher demand to items closer to the depot. To do so, we first sort the storage locations in increasing order of their distance from the depot. Secondly, to account for demand skewness, we use the model of Bender [17] as in equation (1) to determine the probability that the item stored in storage location i will be added to a picklist.

$$F(x) = (1 + A)x/(A + x) \quad (1)$$

The function $F(x)$ is a cumulative distribution function for $x \in [0,1]$. The variable A is a shape factor depending on the demand skewness, where the values of A are 0.60, 0.20, and 0.07 for the demand skewness of 20/40, 20/60, and 20/80, respectively. Assume that the number of items in the warehouse is N . The probability that the item i will be added to the picklist is equal to p_i , as in equation (2):

$$p_i = F(i/N) - F((i-1)/N), \quad (2) \\ i = 1, 2, 3, \dots, N$$

Since the function F is concave down (i.e., F has negative second derivative), an item closer to the depot has higher demand.

5. Experimental design

To investigate the effects of different parameters on the picking travel distance in the single-block warehouse, we use the parameters summarized in Table 1. As can be seen, the

experimental design consists of four factors: picklist sizes (number of items in an order), depot location, order picker routing policies, and storage assignment policies, with some problem sets taken from [11]. This experiment considers five different picklist sizes with 5, 15, 25, 35, and 45 items. The depot locations considered are central (in the middle of the front cross aisle) (C) and decentral (in the front of the left-most aisle) (D). The order picker routing policies factor investigated here include the exact algorithm (E), the S-shape (S), the largest gap (L), and the adaptive large neighborhood search (ALNS) policy. Four storage assignment policies are considered in our study, namely (1) random storage with uniform demand (R), (2) turnover-based storage with 20/40 demand skewness (TB1), (3) turnover-based storage with 20/60 demand skewness (TB2), and (4) turnover-based storage with 20/80 demand skewness (TB3).

Table 1 Parameters used for evaluating the effect of different parameters on the picking travel distance.

Picklist	5, 15, 25, 35, 45
Depot	C, D
Routing	E, S, L, ALNS
Storage	R, TB1, TB2, TB3

6. Results and statistical analysis

The results of the experiment were analyzed by full factorial design using SPSS software. Table 2 shows the ANOVA results for the picking travel distance. The ANOVA results indicate that the main effect, depot, was found to be statistically significant at a level of significance α of 0.05. The factors, picklist, routing, and storage are also statistically significant; however, these results are not surprising as they are naturally happened. Explaining the effect of the picklist sizes on the picking travel distances is simple and straightforward. An increase in picklist size should

be directly translated to an increase in the picking travel distances. Regarding the storage assignment policy, the turnover-based storage policy results in less travel distance than a random storage policy. This result follows from the fact that in the case of higher demand skewness, frequently requested items are assigned closer to the depot, resulting in shorter travel distances. The two-way interactions were found to be statistically significant at a level of significance α of 0.05. On the other hand, most of the three-way interactions are not significant because there is no interaction effect of the three factors on the mean of picking travel distance. The only thing that is significant is the three-way interactions between picklist, depot, and storage. In terms of four-way interactions, they are not significant at a level of significance α of 0.05 for the similar mentioned interaction of four different factors.

Table 2 Full-factorial ANOVA results for picking travel distance.

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Distance					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	14879157.6 ^a	159	93579.607	55.373	.000
Intercept	111216680.8	1	111216680.8	65809.076	.000
Picklist	10585220.68	4	2646305.170	1565.870	.000
Depot	12418.880	1	12418.880	7.348	.007
Routing	1338351.300	3	446117.100	263.976	.000
Storage	2201404.180	3	733801.393	434.205	.000
Picklist * Depot	21077.520	4	5269.380	3.118	.015
Picklist * Routing	116032.000	12	9669.333	5.722	.000
Picklist * Storage	276543.520	12	23045.293	13.636	.000
Depot * Routing	24363.480	3	8121.160	4.805	.003
Depot * Storage	45100.440	3	15033.480	8.896	.000
Routing * Storage	107872.660	9	11985.851	7.092	.000
Picklist * Depot * Routing	5526.120	12	460.510	.272	.993
Picklist * Depot * Storage	40800.360	12	3400.030	2.012	.021
Picklist * Routing * Storage	71810.040	36	1994.723	1.180	.220
Depot * Routing * Storage	25010.800	9	2778.978	1.644	.099
Picklist * Depot * Routing * Storage	7625.600	36	211.822	.125	1.000
Error	1081593.600	640	1689.990		
Total	127177432.0	800			
Corrected Total	15960751.18	799			

a. R Squared = .932 (Adjusted R Squared = .915)

The two main decision problems which are usually solved to increase order picking efficiency include picker routing and storage assignment policies. Table 3 and Figure 3 show the average picking travel distance of the four order picker routing policies in combination with four storage assignment policies. As can be seen, E outperforms ALNS, L, and S for all storage assignment policies. Furthermore, an increase in the skewness of demand reduces the average picking travel distance for all routing policies. In terms of depot location, we summarize the effect of the depot locations on the picking travel distance in Figure 4. It is obvious that the average picking travel distance decreases when the depot location considered is decentralized.

Table 3 Average picking travel distance (meters).

Storage \ Routing	R	TB1	TB2	TB3
E	391.64	372.76	320.16	241.52
S	474.76	461.52	424.08	388.88
L	431.36	419.72	371.36	289.76
ALNS	407.44	391.40	331.72	247.60

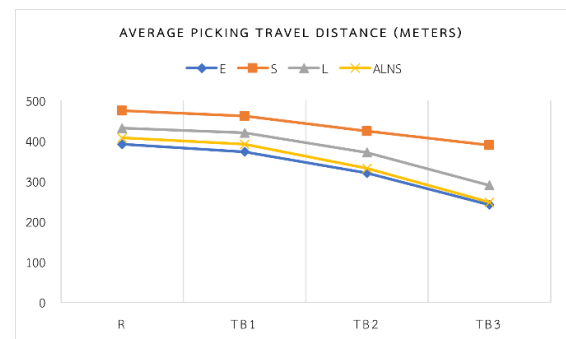


Figure 3 Average picking travel distance (meters) for the order picker routing policies in combination with various storage assignment policies.

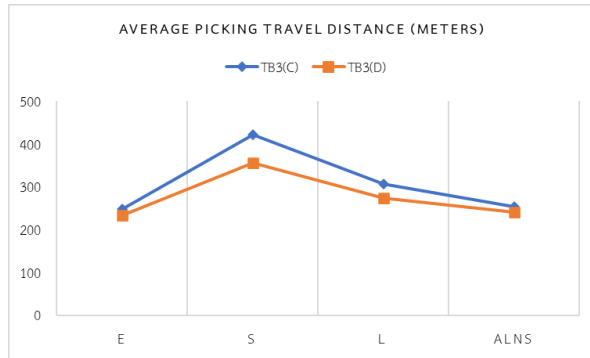


Figure 4 Average picking travel distance (meters) for each routing policy in combination with TB3 under different depot locations.

7. Conclusions and future research

This paper evaluated the effects of four main factors, including pick-list sizes, depot location, order picker routing policies, and storage assignment policies on the picking travel distance in a single block warehouse. The ANOVA results indicated that all the considered parameters and their two-way interactions affect the travel distance. Our computational results showed that the picking travel distance from the combination of exact routing, turnover-based storage with 20/80 demand skewness, and decentralized depot is shorter than the picking travel distance from other combinations. These findings should encourage practitioners to implement the exact routing policy [13] and use decentralized depot together with turnover-based storage assignment. This work could be extended in various directions. For example, future work could also study the effect of order batching on the picking travel distance. Moreover, future research could consider the occurrence of picker blocking in warehouses.

8. Acknowledgments

The authors wish to acknowledge the support of "Faculty of Science Research Fund"

(fiscal year 2020) from Faculty of Science, Prince of Songkla University.

8. References

- [1] C. H. Glock and E. H. Grosse, "Storage policies and order picking strategies in U-shaped order-picking systems with a movable base," *International Journal of Production Research.*, vol. 50, no. 16, pp. 4344-4357, 2012.
- [2] S. Henn, S. Koch, H. Gerking and G. Wäscher, "A U-shaped layout for manual order-picking systems," *Logistics Research.*, vol. 6, no. 4, pp. 245-261, 2013.
- [3] T. Van Gils, K. Ramaekers, A. Caris and R. B. de Koster, "Designing Efficient Order Picking Systems by Combining Planning Problems: State-of-the-art Classification and Review," *European Journal of Operational Research.*, vol. 267, no. 1, pp. 1-15, 2018.
- [4] L. Pansart, N. Catusse and H. Cambazard, "Exact algorithms for the order picking problem," *Computers & Operations Research.*, vol. 100, pp. 117-127, 2018.
- [5] T. Franzke, E. H. Grosse, C. H. Glock and R. Elbert, "An investigation of the effects of storage assignment and picker routing on the occurrence of picker blocking in manual picker-to-parts warehouses," *The International Journal of Logistics Management.*, vol. 28, no. 3, pp. 841-863, 2017.
- [6] F. Chen, G. Xu and Y. Wei, "Heuristic routing methods in multiple-block warehouses with ultra-narrow aisles and access restriction," *International Journal of Production Research.*, vol. 57, no. 1, pp. 228-249, 2019.
- [7] I. Žulj, C. H. Glock, E. H. Grosse and M. Schneider, "Picker routing and storage-

- assignment strategies for precedence-constrained order picking,” *Computers & Industrial Engineering*., vol. 123, pp. 338-347, 2018.
- [8] R. De Koster, T. Le-Duc and K. J. Roodbergen, “Design and control of warehouse order picking: A literature review,” *European Journal of Operational Research*., vol. 182, no. 2, pp. 481-501, 2007.
- [9] M. Çelik and H. Süral, “Order picking under random and turnover-based storage policies in fishbone aisle warehouses,” *IIE Transactions*., vol. 46, no. 3, pp. 283-300, 2014.
- [10] M. Masae, C. H. Glock and E. H. Grosse, “Order picker routing in warehouses: A systematic literature review,” *International Journal of Production Economics*., vol. 224, pp. 1-22, 2020.
- [11] C. G. Petersen and R. W. Schmenner, “An evaluation of routing and volume based storage policies in an order picking operation,” *Decision Sciences*., vol. 30, no. 2, pp. 481-501, 1999.
- [12] C. G. Petersen, G. R. Aase, and D. R. Heiser, “Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage,” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*., vol. 34, no. 7, pp. 534-544, 2004.
- [13] H. D. Ratliff and A. S. Rosenthal, “Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem,” *Operations Research*., vol. 31, no. 3, pp. 507-521, 1983.
- [14] P. Shaw, “Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems,” in *Proceeding of International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, 1998.
- [15] S. Ropke and D. Pisinger, “An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows,” *Transportation science*., vol. 40, no. 4, pp. 455-472, 2006.
- [16] L. M. Pohl, R. D. Meller and K. R. Gue, “Turnover-based storage in non-traditional unit-load warehouse designs,” *IIE Transactions*., vol. 43, no. 10, pp. 703-720, 2011.
- [17] P. S. Bender, “Mathematical modeling of the 20/80 rule: theory and practice,” *Journal of Business Logistics*., vol. 2, no. 2, pp. 139-157, 1981.
- [18] S. Mirjalili, *Evolutionary Algorithms and Neural Networks. Studies in Computational Intelligence*, Springer, pp. 43-55, 2019.

ตัวแบบการจัดตารางเวรของเภสัชกรเพื่อลดความเหลื่อมล้ำของภาระงาน

ปรีวัฒน์ อารีชาติ^{1*}, สราวุธ จันทร์สุวรรณ², ศิวิกา ดุษฎีโหนด² และอัคนันท์ พงศธรวิวัฒน์²

^{1,2}สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ 148 คณะสถิติประยุกต์ สถาบันพัฒนาบริหารศาสตร์ กรุงเทพฯ 10240

Received: 29 January 2022; Revised: 20 April 2022; Accepted: 6 May 2022

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ สำหรับการจัดตารางการปฏิบัติงานนอกเวลาราชการของเภสัชกร โรงพยาบาลตติยภูมิแห่งหนึ่งในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เภสัชกรแต่ละคนมีจำนวนงานและประเภทของงานที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อให้เกิดความเหลื่อมลำน้อยที่สุด โดยจำเป็นจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ที่โรงพยาบาลกำหนด งานแต่ละประเภทมีน้ำหนักที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าความยากปฏิบัติงานนั้น ผู้วิจัยสร้างสองตัวแบบซึ่งมีฟังก์ชันจุดประสงค์ 2 คือ Mean squared error และ Gini mean difference ในทางเศรษฐศาสตร์ ความเหลื่อมล้ำสามารถวัดจากค่า Gini Index ที่คำนวณจากการสร้าง Lorenz curve การหาคำตอบของตัวแบบทำโดย Open Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมส่วนเพิ่มจาก Microsoft excel จากนั้นจึงเปรียบเทียบความไม่เท่าเทียมกันของแต่ละคนด้วยการคำนวณค่า Gini Index และเปรียบเทียบกับการจัดแบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน พบว่า การกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย Gini mean difference และ mean squared error และการจัดตารางแบบเดิม ให้ค่า Gini Index เท่ากับ 5.27, 7.03 และ 11.58 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ตัวแบบที่ใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย Gini mean difference สามารถสร้างรูปแบบการตัดสินใจที่มีความไม่เท่าเทียมกันน้อยที่สุด

คำสำคัญ: ตัวแบบการตัดสินใจ, Open Solver, Gini Index, Gini mean difference

* Corresponding author: E-mail: pariwat.arr@stu.nida.ac.th

¹นักศึกษา สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันพัฒนาบริหารศาสตร์

²อาจารย์ สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันพัฒนาบริหารศาสตร์

Pharmacist scheduling models to reduce workload inequality

Pariwat Arrichat^{1*}, Sarawut Jansuwan²,

Siwiga Dusadenoad² and Akkaranan Pongsathornwiwat²

^{1, 2}Logistics Management, Graduate School of Applied Statistics,

148 National Institute of Development Administration, Bangkok 10240

Received: 29 January 2022; Revised: 20 April 2022; Accepted: 6 May 2022

Abstract

This study presents mathematical models for scheduling pharmacists at a tertiary hospital in Bangkok. The objective is to minimize the workload inequality as much as possible subject to various constraints imposed by the hospital. Each type of work receives a different weight, which represents different attractiveness of each job. We develop two models, whose objective functions are 1) Mean squared error (MSE), and 2) Gini mean difference (GMD). As in economics, the inequality can be measured by the Gini index, constructed from the Lorenz curve. The models are solved using Open Solver for Excel. Then, we compare the scheduling plans from the two decision models and the current scheduling plan. Our results reveal that the Gini indices from the GMD solution, the MSE solution and the current schedule are 5.27, 7.03 and 11.58, respectively. From this case study, we conclude that the GMD model results in the lowest workload inequality.

Keywords: decision-making model, Open Solver, GINI Index, Gini mean difference

* Corresponding author: E-mail: pariwat.arr@stu.nida.ac.th

¹ Student in Logistics Management Program, Graduate School of Applied Statistics, NIDA

² Teacher in Logistics Management Program, Graduate School of Applied Statistics, NIDA

1. บทนำ

ปัญหาการจัดตารางการทำงานเป็นปัญหาที่ทุกหน่วยงานต้องพบเจอเช่น การจัดตารางเรียน ตารางสอน การจัดตารางการทำงานของพนักงานบริษัท การจัดตารางเดินรถ และปัญหาการจัดตารางการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ต่าง ๆ เป็นต้น

ในการทำงานโดยทั่วไปของบุคลากรทางการแพทย์ในโรงพยาบาลทุกระดับ จำเป็นจะต้องมีเจ้าหน้าที่ของแต่ละแผนกเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับเหตุการณ์ต่าง ๆ อยู่เสมอ รวมทั้งเภสัชกรที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบใบสั่งยา และตรวจสอบความถูกต้องของยาก่อนที่จะส่งมอบให้กับผู้ป่วยก็มีความจำเป็นที่จะต้องปฏิบัติงานหมุนเวียนกันตลอด 24 ชั่วโมง โดยทุกคนจะได้รับหน้าที่ให้ปฏิบัติงานนอกเวลาราชการในแต่ละวันและแต่ละประเภทเวรที่แตกต่างกันออกไป ประกอบกับในแต่ละเวรมีความแตกต่างกันของระยะเวลาในการอยู่เวร ค่าตอบแทน ความเสี่ยง ลักษณะผู้ป่วย จำนวนเภสัชกรในแต่ละเวร และจำนวนผู้ป่วยเป็นต้น เพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกันในการปฏิบัติหน้าที่จึงจำเป็นต้องมีการจัดตารางเวรในแต่ละเดือน อีกทั้งในวันราชการและวันหยุดราชการมีจำนวนเภสัชกรที่ปฏิบัติงานไม่เท่ากันอาจทำให้เกิดความเหลื่อมล้ำกันได้ โดยตารางการปฏิบัติงานที่ดีจะทำให้เภสัชกรแต่ละคนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เกิดความเมื่อยล้าจากการปฏิบัติงานติดต่อกันนานเกินความจำเป็น โดยต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของระยะเวลาการปฏิบัติงาน การพัก จำนวนเภสัชกรในแต่ละเวรให้สอดคล้องกับนโยบายและเงื่อนไขต่าง ๆ ของโรงพยาบาลนั้น ๆ

โดยทั่วไปเภสัชกรอาวุโสจะรับหน้าที่ในการจัดตารางการปฏิบัติของเภสัชกรทุกคน โดยจะจัดตารางทุกเดือนเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนเภสัชกรที่มี จำนวนวันหยุดราชการ เป็นต้น แต่พบปัญหาเรื่องของจำนวนเวรและประเภทของเวรที่มีความแตกต่างกัน ส่งผลให้เภสัชกรแต่ละคนเกิดความเมื่อยล้าทั้งทางร่างกายและจิตใจ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการศึกษาตัวแบบการตัดสินใจการจัดตารางการปฏิบัติงานนอกเวลาราชการของเภสัชกร

เพื่อให้เภสัชกรแต่ละคนมีจำนวนเวรและประเภทของเวรที่ต้องปฏิบัติงานใกล้เคียงกัน โดยใช้โปรแกรม Open Solver ซึ่งกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์เป็น mean square error และ Gini mean difference ให้ต่ำที่สุด จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบค่า Gini Index

โดยการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบการตัดสินใจในการจัดตารางเวรนอกเวลาราชการสำหรับเภสัชกร เพื่อเปรียบเทียบค่าความไม่เท่าเทียมกัน โดยใช้ Gini Index จากตัวแบบการตัดสินใจสองตัวแบบตัวแรกที่มีการกำหนดค่าฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นค่า mean square error และตัวแบบที่สองเป็น Gini mean difference ที่ต่ำที่สุด และเปรียบเทียบการจัดตารางเวรแบบเดิม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวัดความไม่เท่าเทียมกันหรือความเหลื่อมล้ำในสังคม นิยมค่าสัมประสิทธิ์จีนิ (Gini coefficient) เป็นเครื่องมือชี้วัดค่าความเหลื่อมล้ำในการกระจาย โดยคำนวณจากพื้นที่ใต้เส้นลอเรนซ์ ค่าสัมประสิทธิ์จีนิจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าสัมประสิทธิ์จีนิเท่ากับ 0 แสดงว่าการกระจายงานเท่าเทียมกันอย่างสมบูรณ์ (เส้นลอเรนซ์เป็นเส้นตรงเฉียง 45 องศา) ดังนั้นถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของจีนิยิ่งมากแสดงว่าความเหลื่อมล้ำหรือความไม่เท่าเทียมกันของปริมาณงานจะยิ่งสูง แต่ไม่สูงกว่า 1 เพราะถ้าค่าสัมประสิทธิ์จีนิเท่ากับ 1 แสดงว่าการกระจายงานไม่เท่าเทียมกันอย่างสมบูรณ์[1]

จากการศึกษาของ โยธินา โยธิและรติ โยจรัส ทำการสร้างแบบจำลองตารางงานของพยาบาลด้วยวิธีการเชิงจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรม lingo โดยกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้มีวันหยุดมากที่สุด แล้วเปรียบเทียบกับตารางการจัดตารางงานด้วยหัวหน้าพยาบาล พบว่าโปรแกรม lingo สามารถจัดตารางงานได้อย่างเหมาะสมกับภาระงานและสอดคล้องตามเงื่อนไขของโรงพยาบาล [2]

มีการศึกษาในลักษณะคล้ายคลึงกัน จากการศึกษาของพรไพบุลย์ ปุชปาคม ทำการจัดตารางการทำงาน of พนักงานอำนวยความสะดวกในรีสอร์ท เพื่อให้ภาระงานของพนักงานในแต่ละกะและภาระงานรวมของพนักงานแต่ละคนแตกต่างกันน้อยที่สุด ด้วยการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิง

เส้นจำนวนเต็ม โดยใช้ทั้งโปรแกรม Microsoft Excel และ หาค่าผลลัพธ์โดยใช้โปรแกรม A Modeling Language for Mathematical Programming และโปรแกรม CPLEX Optimization Studio 12.4 พบว่าตัวแบบมีความถูกต้อง สามารถใช้แก้ปัญหาที่มีจำนวนพนักงานแตกต่างกันได้ [3] และการศึกษาของโกลัญญา ชูแก้ว ได้พัฒนาโปรแกรม เลขฐานสองแบบไม่เชิงเส้นสำหรับปัญหาการจัดตารางการ เรียนการสอนในวิทยาลัยเทคนิคแห่งหนึ่งเพื่อทำให้ความ แปรปรวนของภาระงานสอนน้อยที่สุด โดยใช้โปรแกรม Premium Solver และยังสามารถพัฒนาวิธีฮิวริสติกในการ แก้ปัญหาด้วย[4]

ในการวัดการกระจายงานและค่าความไม่เท่าเทียม กัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ พงศ์กร จันทราขและสืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์ ที่วิเคราะห์การกระจายการถือครองที่ดินด้วยเส้น โค้งลอเรนซ์ (Lorenz Curve) และสัมประสิทธิ์จินี (Gini Coefficient) [5]

3. ตัวแบบการตัดสินใจในการจัดตารางเวรนอก เวลาราชการสำหรับเภสัชกร

3.1 ข้อมูลการจัดตารางเวร

จากการสอบถามข้อมูลและสังเกตการจัดตาราง เวรของเภสัชกรอาวุโส พบว่า สามารถแบ่งประเภทของเวร ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

- 1) เวิร์กที่ปฏิบัติหน้าที่ 4 ชั่วโมง สัมผัสคนไข้ความ เสี่ยงต่ำ ปริมาณคนไข้มาก ค่าตอบแทนสูง ได้แก่ เวิร์กห้องยา ผู้ป่วยนอกตึก A และ B ซึ่งต้องการเภสัชกรในวันธรรมดาตึก A 3 คน ตึก B 5 คน วันหยุดราชการตึก A 4คน ตึก B 5 คน
- 2) เวิร์กที่ปฏิบัติหน้าที่ 4 ชั่วโมง สัมผัสคนไข้ความ เสี่ยงปานกลาง-สูง ปริมาณคนไข้น้อย ค่าตอบแทนน้อย ได้แก่ เวิร์กห้องยาผู้ป่วยใน เวิร์กห้องยาฉุกเฉิน เวิร์กคลินิกผู้ป่วย โรคทางเดินหายใจ (Acute Respiratory Infection) ซึ่ง ต้องการเภสัชกรในวันธรรมดาเวรละ 1 คน และ วันหยุดราชการจะไม่มีเวร 4 ชั่วโมงของห้องยาผู้ป่วยใน แต่ เวิร์กคลินิกผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจจะเพิ่มเป็น 3 คน และเวร ห้องยาฉุกเฉินเท่าเดิม

- 3) เวิร์กที่ปฏิบัติหน้าที่ 8 ชั่วโมง สัมผัสคนไข้ความ เสี่ยงปานกลาง-สูง ปริมาณคนไข้มาก ค่าตอบแทนสูง ได้แก่ เวิร์กห้องยาฉุกเฉิน และเวิร์กห้องยาผู้ป่วยใน ซึ่งต้องการเภสัช กรในวันธรรมดา 1 คนและ 2 คน ตามลำดับ และใน วันหยุดราชการ 3 คนและ 5 คน ตามลำดับ

- 4) เวิร์กที่ปฏิบัติหน้าที่ 8 ชั่วโมง เวิร์กกลางคืน สัมผัส คนไข้ความ เสี่ยงปานกลาง-สูง ปริมาณคนไข้น้อย ค่าตอบแทนสูง วันต่อไปทำงานตามปกติ ได้แก่ เวิร์กตึก ซึ่ง ต้องการเภสัชกร 2 คนในทุกวัน

จากการสอบถามเภสัชกรผู้ปฏิบัติงานโดยให้ คะแนนกลุ่มเวรที่อยากจะปฏิบัติและไม่อยากปฏิบัติมากที่สุด พบว่า เภสัชกรส่วนใหญ่ อยากปฏิบัติงานในกลุ่มที่ 1 มาก ที่สุด กลุ่มที่ 2, 3 รองลงมา และไม่อยากปฏิบัติงานมากที่สุด คือกลุ่มที่ 4 ดังนั้น จึงสามารถให้คะแนนความพึงพอใจใน การอยากปฏิบัติงานในแต่ละเวร คือ กลุ่มที่1 เท่ากับ 1 คะแนน เรื่อยไปถึงกลุ่มที่ 4 คือ 4 คะแนน

ข้อกำหนดสำหรับเภสัชกรผู้ปฏิบัติงานให้เป็นไป ตามข้อกำหนดสำหรับการจัดตารางเวรดังต่อไปนี้

- 1) ในหนึ่งวันเภสัชกรสามารถมีอยู่เวรได้เพียง 1 เวิร์กเท่านั้น
- 2) ถ้าเภสัชกรอยู่เวรตึกจะต้องไม่มีเวรใดๆเลยใน วันถัดไป
- 3) เภสัชกรทุกคนจะต้องมีเวรตึกคนละ 1 หรือ 2 เวิร์กต่อเดือน
- 4) เภสัชกรทุกคนจะต้องมีเวรรวมทั้งเดือนอยู่ใน ช่วงจำนวนเวรเฉลี่ยบวก/ลบ 1 หรือไม่เกิน 15 เวิร์กต่อ เดือน
- 5) ในแต่ละเวรในแต่ละวันจะต้องมีจำนวนเภสัชกร เท่ากับจำนวนที่ได้รับอนุมัติเท่านั้น

3.2 สัญลักษณ์และตัวแปรการตัดสินใจ

- a คือ จำนวนวันในแต่ละเดือน
- b คือ จำนวนประเภทของเวร

c คือ จำนวนเภสัชกรทั้งหมด

i คือ วันที่ ใน 1 เดือนที่จัดเวร ($i = 1, 2, 3, \dots, a$)

j คือ ประเภทของเวรที่เภสัชกรจะต้องอยู่ปฏิบัติงาน

โดยกำหนดให้

j = 1 หมายถึง เวร 4 ชั่วโมง ห้องยาฉุกเฉิน

j = 2 หมายถึง เวร 8 ชั่วโมง ห้องยาฉุกเฉิน

j = 3 หมายถึง เวรห้องจ่ายยาผู้ป่วยนอก ตึก A

j = 4 หมายถึง เวรห้องจ่ายยาผู้ป่วยนอก ตึก B

j = 5 หมายถึง เวร 4 ชั่วโมง ห้องยาผู้ป่วยใน

j = 6 หมายถึง เวร 8 ชั่วโมง ห้องยาผู้ป่วยใน

j = 7 หมายถึง เวรคลินิกผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ

j = 8 หมายถึง เวรตึก

k คือ เภสัชกรที่มีหน้าที่อยู่เวร ($k=1, 2, 3, \dots, 45$)

D_j คือ จำนวนเภสัชกรที่ต้องอยู่เวรประเภท j ในแต่ละวัน

W_j คือ คะแนนความอยากปฏิบัติงานในเวรประเภท j โดยมีค่าที่เป็นไปได้คือ 1, 2, 3 และ 4 ซึ่ง 1 หมายถึงความอยากปฏิบัติงานในเวรสูงสุด และ 4 หมายถึงความอยากปฏิบัติงานในเวรต่ำสุด

ตารางที่ 1 ค่าความอยากปฏิบัติงาน (W) ในเวรแต่ละประเภท (j)

j	1	2	3	4	5	6	7	8
W_j	2	3	1	1	2	3	2	4

X^U คือ ขอบบนของจำนวนเวรต่อเภสัชกร 1 คน

X^L คือ ขอบล่างของจำนวนเวรต่อเภสัชกร 1 คน

X^{NU} คือ ขอบบนของจำนวนเวรตึกของเภสัชกร 1 คน

X^{NL} คือ ขอบล่างของจำนวนเวรตึกของเภสัชกร 1 คน

ตัวแปรตัดสินใจ

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อเภสัชกรคนที่ } k \text{ อยู่ปฏิบัติหน้าที่เวร} \\ & j \text{ ในวันที่ } i \\ 0 & \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

3.2 ฟังก์ชันจุดประสงค์และข้อจำกัด

ผู้ศึกษาได้สร้างแบบจำลองการตัดสินใจสำหรับการอยู่ปฏิบัติงานนอกเวลาราชการของเภสัชกร โดยได้กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์คือ ภาระงานในการอยู่เวรของเภสัชกรแต่ละคนแตกต่างกันน้อยที่สุด โดยใช้ค่า Mean square error และ Gini mean difference ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum_{k=1}^c \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a W_j X_{ijk}}{c} \quad (1)$$

1) ตัวแบบหนึ่ง กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นค่า Mean square error น้อยที่สุด

$$\text{Min} \frac{\sum_{k=1}^c [(\sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a W_j X_{ijk}) - \bar{X}]^2}{c} \quad (2)$$

2) ตัวแบบสอง กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นค่า Gini mean difference น้อยที่สุด

ให้

$$S_k = \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a W_j X_{ijk} \quad (3)$$

นิยาม Gini mean difference (GMD) ของ $\{S_1, \dots, S_c\}$ ดังนี้ [6]

$$GMD = \frac{1}{2c^2} \sum_{k=1}^c \sum_{p=1}^c |S_k - S_p| \quad (4)$$

$$= \frac{1}{c^2} \sum_{k=1}^c \sum_{p=k+1}^c |S_k - S_p| \quad (5)$$

ดังนั้น ตัวแบบสองมีฟังก์ชันจุดประสงค์เป็น

Min GMD

โดยมีเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ ดังนี้

1) ในหนึ่งวันเภสัชกรสามารถมีอยู่เวรได้เพียง 1 เวรเท่านั้น

$$\sum_{j=1}^b X_{ijk} \leq 1 ; \forall i, \forall k \quad (6)$$

2) ในแต่ละเวรในแต่ละวันจะต้องมีจำนวนเภสัชกรเท่ากับจำนวนที่ได้รับอนุมัติเท่านั้น

$$\sum_{k=1}^c X_{ijk} = D_j ; \forall i, \forall j \quad (7)$$

3) ถ้าเภสัชกรอยู่เวรติดแล้วจะต้องไม่มีเวรใดๆเลยในวันถัดไป

$$X_{i-1,8,k} + \sum_{j=1}^b X_{ijk} \leq 1; \forall i, \forall k \quad (8)$$

เมื่อ $i - 1, 8, k$ คือ เวรติดของวันก่อนหน้าของเภสัชกรคนที่ k

4) เภสัชกรทุกคนมีจำนวนเวรใกล้เคียงกัน

$$\sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a X_{ijk} \geq X^L; \forall k \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a X_{ijk} \leq X^U; \forall k \quad (10)$$

$$X^U - X^L = 1 \quad (11)$$

5) เภสัชกรทุกคนมีจำนวนเวรติดใกล้เคียงกัน

$$\sum_{i=1}^a X_{i8k} \leq X^{NU} ; \forall k \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^a X_{i8k} \geq X^{NL} ; \forall k \quad (13)$$

$$X^{NU} - X^{NL} = 1 \quad (14)$$

จากแบบจำลองการตัดสินใจและข้อจำกัดของการจัดตารางการปฏิบัติงานนอกเวลาราชการของเภสัชกร โดยกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ตามตัวแบบแรกและแบบที่สองที่แตกต่างกันและเงื่อนไข (6) - (14) นำมาจัดตารางการ

ปฏิบัติงานโดยใช้โปรแกรม Open Solver ทำให้สามารถหาปริมาณงาน (workload) จากปริมาณเวรที่เภสัชกรแต่ละคนต้องปฏิบัติและค่าน้ำหนักของแต่ละเวรเวร จากนั้นจึงนำมาจัดกลุ่มและคำนวณหาค่า Gini Index เพื่อเปรียบเทียบความไม่เท่าเทียมกันในการปฏิบัติงานของเภสัชกรและฟังก์ชันจุดประสงค์แต่ละแบบ นอกจากนั้นดำเนินการเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจดังกล่าวกับการจัดตารางการปฏิบัติงานแบบเดิมที่จัดโดยเภสัชกรอาวุโส

3.3 การวัดความไม่เท่าเทียมกัน โดยใช้ Gini Index

ผู้ศึกษาได้นำปริมาณงานของเภสัชกรแต่ละคนที่ได้จากโปรแกรม Open Solver มาวัดความไม่เท่าเทียมกันโดยการสร้างเส้นโค้ง Lorenz วรรณศิลป์ พิรพันธุ์ (2003) และ วริษฐา บุญทวนวงศ์ (2562) [7, 8] ได้มีการแนะนำการสร้างเส้นโค้ง Lorenz และการคำนวณหาค่า Gini Index โดยเริ่มจากการนำปริมาณงาน (workload) มาเรียงลำดับจากน้อยไปมาก จากนั้นแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่มเท่า ๆ กัน แล้วหาผลรวมและร้อยละของปริมาณงานของแต่ละกลุ่ม จากนั้นคำนวณร้อยละของปริมาณงานสะสมและสร้างกราฟของร้อยละของประชากรกับร้อยละของปริมาณงานสะสมจะทำให้ได้เส้นโค้ง Lorenz

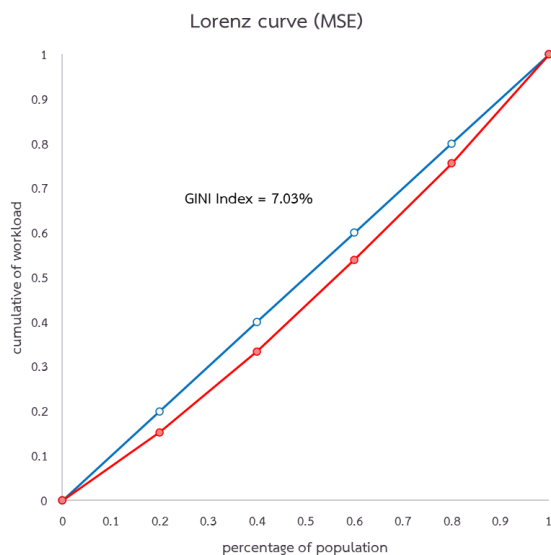
ถ้าหากการกระจายตัวของปริมาณงานไปแต่ละกลุ่มมีความสอดคล้องสม่ำเสมอ เส้น Lorenz จะเข้าใกล้เส้นทแยงมุมมากหรือซ้อนทับกับเส้นทแยงมุม แต่ถ้าหากเส้น Lorenz อยู่ห่างจากเส้นทแยงมุมออกไป แสดงว่าการกระจายตัวของปริมาณงานไปแต่ละกลุ่มประชากรไม่สอดคล้องสม่ำเสมอ

การวัดค่าความไม่เท่าเทียมกัน [4, 6] โดยใช้ Gini Index สามารถทำได้โดยการหาค่า Concentration Index จากการคำนวณหาสัดส่วนระหว่างความต่างของพื้นที่ใต้กราฟระหว่างเส้นทแยงมุมกับเส้นโค้ง Lorenz ที่สร้างขึ้นกับพื้นที่ใต้กราฟของเส้นทแยงมุม โดยค่าที่ได้ เรียกว่า Gini coefficient มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่ายิ่งน้อยแสดงถึงเส้นโค้ง Lorenz เข้าใกล้เส้นทแยงมุมมาก การกระจายตัวของปริมาณงานไปแต่ละกลุ่มประชากรมีความสอดคล้องสม่ำเสมอ แต่ในทางตรงข้าม ค่า Gini coefficient มีค่ามาก แสดงให้เห็นว่าเส้นโค้ง Lorenz อยู่ห่างจากเส้นทแยง

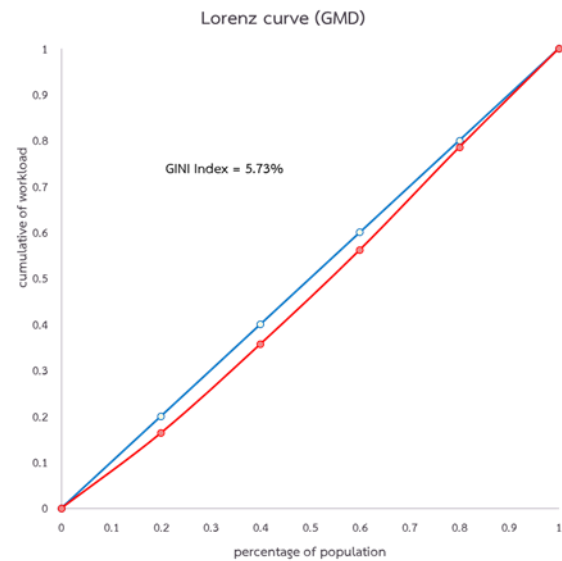
มามาก การกระจายตัวของปริมาณงานไปแต่ละกลุ่มประชากรไม่สอดคล้องสม่ำเสมอ อาจกระจุกอยู่เพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง ซึ่งเมื่อนำค่า Gini Coefficient คูณด้วย 100 จะทำได้ค่า Gini Index ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบการกระจายของปริมาณงานจากการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจการจัดตารางเวรโดยใช้โปรแกรม Open Solver ซึ่งกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์แตกต่างกัน และเปรียบเทียบกับการจัดตารางเวรแบบเดิม

4. ผลการศึกษา

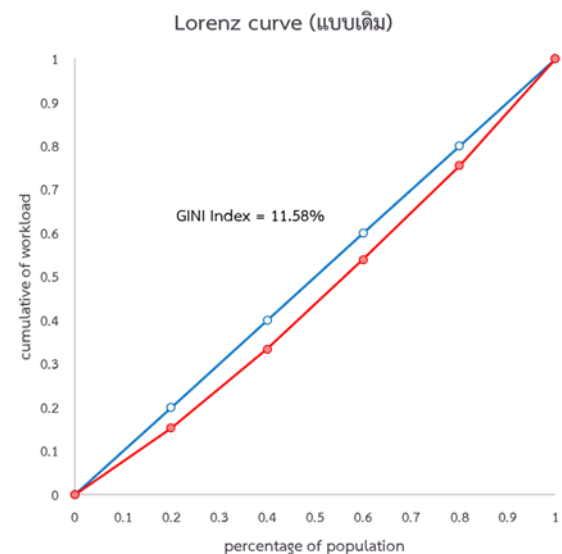
จากแบบจำลองการตัดสินใจสำหรับการอยู่ปฏิบัติงานนอกเวลาราชการของเภสัชกร โดยกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ (1) และ (2) ที่แตกต่างกันและเงื่อนไข (3) - (8) นั้น โดยใช้โปรแกรม Open Solver และจากการจัดแบบเดิมโดยเภสัชกรอาวุโส มีผลการศึกษาตามตารางที่ 2 และสามารถสร้างเส้นโค้ง Lorenz และหาค่า Gini Index ตามรูปที่ 1 ถึง 3 ดังนี้



รูปที่ 1 เส้นโค้ง Lorenz และค่า Gini Index จากการใช้โปรแกรม Open Solver โดยกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นค่า Mean square error ของภาระงานในการอยู่เวรของเภสัชกรแต่ละคนน้อยที่สุด



รูปที่ 2 เส้นโค้ง Lorenz และค่า Gini Index จากการใช้โปรแกรม Open Solver โดยกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นค่า Gini mean difference ของภาระงานในการอยู่เวรของเภสัชกรแต่ละคนน้อยที่สุด



รูปที่ 3 เส้นโค้ง Lorenz และค่า Gini Index จากการจัดแบบเดิมโดยเภสัชกรอาวุโส

จากรูปที่ 1 - 3 แสดงให้เห็นว่าการจัดตารางการปฏิบัติงานของเภสัชกรนอกเวลาราชการแบบที่ใช้โปรแกรม Open Solver ให้ค่า Gini Index ต่ำกว่าแบบดั้งเดิม และการใช้ค่า Gini mean difference เป็นฟังก์ชันจุดประสงค์ให้ค่า Gini Index ต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของเกสซ์กรกับจำนวนเวรทั้งหมด จำนวนเวรตึก และ workload เปรียบเทียบระหว่างฟังก์ชัน จุดประสงค์ทั้ง 2 แบบ และแบบดั้งเดิม

เกสซ์กร	จำนวนเวรทั้งหมด			workload			จำนวนเวรตึก		
	MSE	GMD	จีดีเอ	MSE	GMD	จีดีเอ	MSE	GMD	จีดีเอ
1	12	12	14	16	20	22	1	1	1
2	12	12	14	29	23	27	2	1	2
3	12	12	12	20	18	25	1	1	3
4	12	12	12	19	26	23	1	2	1
5	13	12	18	27	25	38	1	2	3
6	12	12	12	29	28	27	2	1	0
7	12	12	10	22	20	17	1	1	1
8	12	12	11	21	22	21	1	1	2
9	12	12	10	28	27	18	2	2	1
10	12	12	10	23	22	16	2	2	0
11	12	12	12	27	28	31	1	1	2
12	12	12	10	22	23	20	1	1	1
13	12	12	10	27	25	17	2	1	0
14	12	12	13	24	24	29	1	1	2
15	12	12	14	26	25	28	1	1	1
16	12	13	11	26	28	19	2	2	0
17	12	12	13	22	20	23	1	1	1
18	12	12	11	22	23	22	1	1	2
19	12	12	14	22	21	25	2	1	1
20	12	12	10	27	26	19	2	2	2
21	12	12	13	21	23	24	1	1	1
22	12	12	12	22	21	26	1	1	3
23	12	12	11	25	23	21	2	1	1
24	12	12	12	31	27	28	2	2	1
25	12	12	11	23	15	23	1	1	1
26	12	12	15	24	15	35	1	2	3
27	12	12	15	28	27	36	2	1	3
28	12	12	11	23	25	18	1	1	0
29	12	12	10	29	23	23	1	1	0
30	13	13	15	23	28	30	1	2	1
31	12	12	12	27	24	29	1	1	2
32	12	12	12	23	23	23	1	1	1
33	12	12	11	25	27	19	1	1	0
34	12	12	13	25	24	29	1	1	2
35	12	13	10	21	24	22	1	1	2
36	12	12	13	26	28	29	1	2	2
37	12	12	11	22	21	19	1	1	1
38	12	12	10	26	24	20	2	1	2
39	12	12	10	25	26	17	2	2	0
40	12	12	11	27	27	26	2	2	2
41	12	12	11	26	24	20	2	2	1
42	12	12	13	29	29	29	1	1	0
43	12	12	11	21	20	24	1	1	2
44	12	12	13	22	22	23	1	2	1
45	13	12	16	19	22	32	1	2	2

ตารางที่ 2 เป็นตารางสรุปจำนวนเวรทั้งหมด workload และจำนวนเวรตึกของเกสซ์กรแต่ละคน เปรียบเทียบระหว่างการใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์ Mean square error และ Gini mean difference และการจัดแบบเดิมโดยเกสซ์กรอาวุโส จะเห็นได้ว่าจำนวนเวรทั้งหมดของเกสซ์กรแต่ละคนที่จัดโดยใช้โปรแกรม Open Solver เท่ากับ 12 – 13 เวร แต่การจัดแบบเดิมเกสซ์กรมีความแตกต่างกันอยู่ในช่วง 10-18 เวรต่อคน

จำนวนเวรตึกของเกสซ์กรแต่ละคนจัดโดยใช้โปรแกรม Open Solver อยู่ระหว่าง 1-2 เวร แต่การจัดแบบเดิมมีความแตกต่างกัน โดยเกสซ์กรบางคนไม่มีเวรตึกเลย หรือมีมากถึง 3 เวร

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ workload ของเกสซ์กรแต่ละคนจะเปรียบเทียบความไม่เท่าเทียมกันโดยการคำนวณค่า Gini Index จากการจัดตารางเวรโดยใช้โปรแกรม Open

Solver ที่กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน และ การจัดตารางเวรแบบเดิม แสดงตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ของค่า Gini Index และ MSE เปรียบเทียบระหว่างการจัดแบบเดิม และการใช้ optimization ที่มี Objective function ที่แตกต่างกัน

วิธีการจัดตารางเวร	Gini Index	MSE
แบบเดิม	11.58	27.97
Open Solver-MSE	7.03	10.20
Open Solver-GDM	5.73	15.17

จากตารางที่ 3 พบว่าการจัดตารางเวรโดยใช้โปรแกรม Open Solver ที่กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย Gini mean difference จะมีค่า Gini Index ต่ำที่สุด คือร้อยละ 5.73 การกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย Mean square error มีค่า Gini Index เท่ากับร้อยละ 7.03 และการจัดแบบเดิมมีค่า Gini Index มากที่สุด เท่ากับร้อยละ 11.58 แสดงให้เห็นว่าการใช้โปรแกรม Open Solver ที่กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย Gini mean difference ทำให้ workload ของเกสซ์กรแต่ละคนมีความเท่าเทียมกันมากที่สุด โดยมีค่า Gini Index ต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ

แต่เมื่อพิจารณาเฉพาะค่า Mean square error พบว่าการจัดตารางเวรโดยใช้โปรแกรม Open Solver ที่กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย Mean square error มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 10.20 การกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย Gini mean difference มีค่าเท่ากับ 15.17 และการจัดแบบเดิมมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 27.97 แสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาเฉพาะค่า Mean square error การใช้โปรแกรม Open Solver ที่กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ด้วย Mean square error ทำให้ workload ของเกสซ์กรแต่ละคนแตกต่างจากค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับแบบอื่น ๆ

5. สรุปผล

การศึกษานี้เป็นการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจในการจัดตารางการปฏิบัติงานนอกเวลาราชการของเกสซ์กรในโรงพยาบาลของรัฐขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ในพื้นที่

กรุงเทพมหานคร โดยมีการเก็บข้อมูลจากการสอบถามข้อมูล ที่จำเป็นสำหรับการจัดตารางเวรจากเภสัชกรอาวุโสที่มีหน้าที่ในการจัดตารางการปฏิบัติงานเป็นประจำทุกเดือน และสอบถามความอยากรู้ว่าในเวรแต่ละประเภทจากเภสัชกรที่ปฏิบัติงานนอกเวลาราชการ และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ ที่มีตัวแปรการตัดสินใจแบบศูนย์-หนึ่ง และกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม Open Solver ที่มีการกำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ 2 แบบ คือ Mean square error และ Gini mean difference ซึ่ง Mean square error เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณงานของเภสัชกรแต่ละคนกับปริมาณงานเฉลี่ย ซึ่งเมื่อค่า Mean square error มีค่าน้อยแสดงได้ว่าเภสัชกรแต่ละคนมีปริมาณงานใกล้เคียงกัน ส่วนฟังก์ชันจุดประสงค์แบบที่สอง คือ Gini mean difference จากนิยามของ Allison ได้นิยามความหมายของ Gini Mean Difference ไว้ว่า “The average absolute difference between all pairs of individuals” [9] ซึ่งวัดค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของปริมาณของเภสัชกรแต่ละคน โดยคำนวณเป็นคู่ ๆ จนครบทุกคู่ จากนั้นจึงสร้างเส้นโค้ง Lorenz คำนวณค่า Gini Index และเปรียบเทียบค่าความไม่เท่าเทียมกันโดยใช้ Gini Index และเปรียบเทียบกับการจัดตารางแบบเดิม

จากผลการศึกษาพบว่า สามารถจัดตารางการปฏิบัติงานนอกเวลาของเภสัชกรที่มีจำนวนเวรทั้งหมดจำนวนเวรตึกใกล้เคียงกันใกล้เคียงกันมากที่สุด และ workload เท่าเทียมกันมากที่สุด สอดคล้องกับจำนวนเภสัชกรที่มี และจำนวนวันหยุดราชการในแต่ละเดือน ซึ่งแตกต่างจากการจัดตารางเวรโดยเภสัชกรอาวุโสที่พบปัญหาเรื่องจำนวนเวรและประเภทของเวรที่มีความแตกต่างกัน ส่งผลให้เภสัชกรแต่ละคนเกิดความเมื่อยล้าทั้งทางร่างกายและจิตใจ หากนำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้ในการจัดตารางการปฏิบัติงานจริงจะสามารถลดความแตกต่างของจำนวนเวรและประเภทเวรของเภสัชกรแต่ละคน สามารถปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อนึ่ง ค่า Gini Index หรือ Gini coefficient เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดความไม่เท่าเทียมหรือความเหลื่อมล้ำของการกระจายของรายได้ หรือการศึกษา ไปในประชากรในแต่ละกลุ่ม งานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้ค่า Gini

Index ในการวัดความไม่เท่าเทียมกันหรือความเหลื่อมล้ำของปริมาณงานของเภสัชกรแต่ละคน โดยต้องการให้เภสัชกรแต่ละคนมีปริมาณงานแตกต่างกันน้อยที่สุด งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการตัดสินใจ โดยการใช้ Gini mean difference เป็นฟังก์ชันจุดประสงค์ ทำให้ workload ของเภสัชกรแต่ละคนมีความเท่าเทียมกันมากที่สุด เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางการปฏิบัติงานของเภสัชกรและสามารถขยายขอบเขตการศึกษา กับปัญหาอื่น ๆ ที่มีตัวแปรการตัดสินใจและเงื่อนไขมากขึ้นได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการศึกษาขอขอบคุณเภสัชกรอาวุโสและเภสัชกรผู้ปฏิบัติงานทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้อง ทำให้สามารถจัดตารางการปฏิบัติงานสำหรับเภสัชกรได้อย่างราบรื่น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กริธา เอี่ยมสกุล, สมบัติ พันธิวิศิษฐ์, จรินทร์ เทศวานิช และ สมศักดิ์ เปรียบพร้อม, “การวิเคราะห์การกระจายการถือครองที่ดินในภาคเกษตรกรรมของไทย.,” *วารสารศรีนครินทร์วิจัยและพัฒนา.*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 15, น. 1-18, 2559.
- [2] โยธินา โยธี และ รติ โบจรัส, “การสร้างแบบจำลองตารางงานของพยาบาลด้วยการกำหนดการเชิงจำนวนเต็มกรณีศึกษา: โรงพยาบาลค่ายสรรพสิทธิประสงค์,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน.*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, น. 20-29, กรกฎาคม-ธันวาคม, 2562.
- [3] พรไพบุลย์ ปุષปาคม, “การจัดตารางการทำงานของพนักงานอำนวยความสะดวกในรีสอร์ท,” *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 2, น. 37-42, กรกฎาคม-ธันวาคม, 2556.
- [4] โกลัญญา ชูแก้ว, “การจัดตารางการเรียนการสอนของวิทยาลัยเทคนิคเพื่อจัดสมดุลภาระงานของผู้สอนโดยวิธีการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์และวิธีฮิวริสติก,” *วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาห*

การ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
กรุงเทพฯ, 2561.

- [5] พงศ์กร จันทราชและ สืบพงษ์ พงษ์สวัสดิ์, “การวิเคราะห์การกระจายการถือครองที่ดินของเกษตรกรด้วยเส้นโค้งลอเรนซ์และสัมประสิทธิ์จีนิ,” *วารสารวิชาการปทุมวัน*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 31, น. 47-61, พฤษภาคม - สิงหาคม, 2564.
- [6] P. Cerone and S.S. Dragomir. “Bounds for the Gini mean difference of an empirical distribution,” *Applied Mathematics Letters*, vol 19, pp. 283-289, 2006.
- [7] วรณศิลป์ พิรพันธุ์, “การวัดความสม่ำเสมอหรือความสอดคล้องของการกระจายตัวในพื้นที่,” [Online]. แหล่งที่มา: <http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~pwannasi/Lorenz.pdf>. [วันที่เข้าถึง 3 กันยายน 2564].
- [8] วริษฐา บุญทนางค์, “ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเหลื่อมล้ำทางรายได้ของประเทศไทย,” *เศรษฐศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 2562.
- [9] Jasso Guillermina. “On Gini’s Mean Difference and Gini’s Index of Concentration,” *American Sociological Review*, vol. 44, no. 5, pp. 867–70. 1979.

ฮิวริสติกเพื่อลดจำนวนงานล่าช้าสำหรับปัญหาการจัดตารางการประกอบ 2 ระดับ

ณัฐกร พุทธสอน¹, ธนวัฒน์ วรณโชติกุล², วิทิต จันทรอินทร์³ และ อดจ ชัยมณี⁴

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน
จ.นครปฐม 73140

Received: 31 January 2022; Revised: 21 March 2022; Accepted: 5 May 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปัญหาการจัดตารางการประกอบสำหรับกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วยงาน n งาน ระบบการประกอบมี 2 ระยะ ระยะแรกมีเครื่องจักรเดี่ยว m เครื่องที่เป็นอิสระต่อกันดำเนินการผลิตชิ้นส่วนประกอบของงาน เมื่อชิ้นส่วนประกอบทุกชิ้นของงานใดถูกผลิตเสร็จจะถูกนำมาประกอบกันเป็นชิ้นงานในระยะที่สอง วัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนงานล่าช้าในกระบวนการผลิต ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงคุณลักษณะของปัญหาและหาคำตอบที่ดีที่สุด กระบวนการหาคำตอบซึ่งถูกให้ชื่อว่าฮิวริสติก Nattakorn, Witid, Tanawat and Anot (NWTAN) ถูกพัฒนาขึ้นอยู่บนพื้นฐานของกฎการจัดลำดับงานและแนวคิดของอัลกอริทึมมัวร์-ฮอดจสัน เพื่อใช้หาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาดังกล่าว โดยพิจารณาหางานล่าช้าและหาตำแหน่งงานใหม่เพื่อปรับปรุงตารางการผลิตให้ดียิ่งขึ้น การทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่นำเสนอทำโดยนำคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์และคำตอบจากวิธีการเชิงพันธุกรรม ผลการศึกษา พบว่าจากปัญหาทดสอบทั้งหมด 30 ปัญหา ฮิวริสติก NWTAN สามารถให้คำตอบที่ดีในเวลากการประมวลผลที่สมเหตุสมผล

คำสำคัญ: การจัดตารางการประกอบ, จำนวนงานล่าช้า, ฮิวริสติก

* Corresponding author. E-mail: fenganc@ku.ac.th

¹ นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Heuristic to Minimize the Number of Tardy Jobs for 2-Stages Assembly Scheduling Problem

Nattakorn Puttasorn¹, Tanawat Varoonchotikul², Witid Junin³ and Anot Chaimanee^{*4}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen,
Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

Received: 31 January 2022; Revised: 21 March 2022; Accepted: 5 May 2022

Abstract

This research considers the assembly scheduling problem for a production process that consists of n jobs. The assembly system consists of 2 stages. In the first stage, there are m independent single machines that produce the components of a job, and when the components are finished, they are assembled into the work piece in the second stage. The research objective is to minimize the number of tardy jobs. The mathematical model is constructed to represent the problem characteristics and determine the optimal solution. Then, the solution procedure called heuristic Nattakorn, Witid, Tanawat, and Anot (NWTa) is developed based on the dispatching rule and the Moore-Hodgson Algorithm concept for determining a proper solution by considering tardy jobs and finding new positions to improve a production schedule. To evaluate the performance of the proposed heuristic, the solution obtained from the heuristic is compared with the optimal solution determined by the mathematical model and the solution found from the genetic algorithm. From the results of 30 problems, the heuristic NWTa can provide good solutions in a reasonable amount of time.

Keywords: assembly scheduling, tardy jobs, heuristic

* Corresponding author. E-mail: fenganc@ku.ac.th

¹Student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

²Student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

³Student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

⁴Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University.

1. บทนำ

การจัดลำดับงานและตารางการผลิตเป็นกิจกรรมหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการจัดการการผลิต เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากรและกำหนดการผลิตงานเพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถทำงานให้เสร็จได้ในเวลาที่เหมาะสม [1] ส่งผลให้กระบวนการผลิตเกิดประสิทธิภาพ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตทั้งในโรงงานขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีการแข่งขันทางด้านการผลิตสูง จึงต้องการการวางแผนและควบคุมการผลิตที่มีประสิทธิภาพ การจัดลำดับงานและตารางการผลิตเป็นเครื่องมือหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการผลิต หากสามารถดำเนินการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างเต็มที่ จะเป็นการสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันเมื่อเปรียบเทียบกับคู่แข่งที่ผลิตสินค้าในลักษณะเดียวกัน ซึ่งวัตถุประสงค์ที่สำคัญประการหนึ่งของการจัดตารางการผลิตและถูกใช้กับระบบการผลิตที่หลากหลาย คือ การลดความล่าช้าของงาน (Number of Tardy Jobs) [2], [4-11], [20] ซึ่งเมื่อมีงานล่าช้าเกิดในกระบวนการผลิตจะนำไปสู่การเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากค่าใช้จ่ายปกติ เช่น ค่าปรับจากลูกค้า อัตราค่าขนส่งพิเศษ นอกจากนี้ยังส่งผลต่อภาพพจน์ของผู้ผลิตจนอาจสูญเสียโอกาสในการผลิตสินค้าครั้งต่อไป

การจัดตารางการผลิตมีหลายประเภท เช่น การจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรเดี่ยว (Single Machine) การจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop) การจัดตารางการผลิตแบบตามงาน (Job Shop) ขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการผลิตนั้นว่ามีความสอดคล้องกับการจัดตารางการผลิตแบบใด นอกจากนี้ยังมีกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมที่เป็นการรวมคุณลักษณะการจัดตารางการผลิตหลายประเภทเข้าด้วยกัน ลักษณะการจัดตารางการผลิตประเภทหนึ่งที่น่าสนใจศึกษา คือ การจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรเดี่ยวจำนวนหลายเครื่อง โดยแต่ละเครื่องจะดำเนินการผลิตชิ้นส่วนประกอบ หลังจากนั้นจะนำชิ้นส่วนเหล่านั้นมาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ การจัดตารางการผลิตในลักษณะดังกล่าวมักจะเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ประกอบด้วย เครื่องจักรเดี่ยวหลายเครื่องที่เป็นอิสระต่อกัน เช่น โรงงานผลิตตุ๊กตา ที่ต้องตัดเย็บชิ้นส่วนต่างๆ แล้วนำชิ้นส่วนเหล่านั้นมาประกอบกันเป็นตุ๊กตาประเภทต่างๆ

โรงงานผลิตอุปกรณ์พลาสติกกันกระแทก ที่ต้องทำการตัดชิ้นส่วนประกอบ แล้วนำชิ้นส่วนมาต่อเข้าด้วยกัน หรือแม้กระทั่งโรงงานขนาดเล็กในสถานศึกษา เป็นต้น กล่าวคือเครื่องจักรแต่ละเครื่องสามารถผลิตชิ้นส่วนประกอบโดยไม่ขึ้นกับเครื่องจักรอื่นๆ หลังจากนั้นนำชิ้นส่วนที่ได้มาประกอบกันเป็นชิ้นงานต่อไป ทั้งนี้หากในกระบวนการผลิตมีผลิตภัณฑ์หลายประเภท และชิ้นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทมีเวลาการผลิตแตกต่างกัน อีกทั้งมีกำหนดส่งที่ไม่เหมือนกัน การจัดลำดับงานและตารางการผลิตของชิ้นส่วนประกอบบนแต่ละเครื่องจักรเพื่อนำมาประกอบกันเป็นผลิตภัณฑ์ให้ทันตามวันกำหนดส่งของลูกค้าแต่ละราย เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ถ้าตารางการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ อาจทำให้เกิดงานล่าช้า ส่งผลให้เกิดข้อเสียเปรียบแก่ผู้ผลิตสินค้า

จากลักษณะของกระบวนการผลิตที่กล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จะเสนอกระบวนการฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้จัดตารางการประกอบโดยชิ้นส่วนประกอบแต่ละชิ้นจะถูกผลิตบนเครื่องจักรหนึ่งเครื่องจากเครื่องจักรหลายเครื่องที่เป็นอิสระต่อกันในระยะที่หนึ่ง เมื่อผลิตชิ้นส่วนประกอบทุกชิ้นเสร็จ จะถูกนำมาประกอบกันเป็นผลิตภัณฑ์ในระยะที่สอง วัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนงานล่าช้าในระบบการผลิต โดยฮิวริสติกที่นำเสนอจะสามารถให้คำตอบที่ดีเวลาการประมวลผลที่สั้นและเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์การผลิตจริง

2. การทบทวนวรรณกรรม

ในอดีตมีผู้วิจัยหลายท่าน มุ่งเน้นพัฒนากระบวนการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดจำนวนงานล่าช้า เริ่มต้นจากงานวิจัยที่สำคัญ ซึ่งเสนออัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นโดยมัวร์ (J.M. Moore) เพื่อหาลำดับของงานที่ดีที่สุด (Optimal Sequence) ของปัญหาการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรเดี่ยวเพื่อลดจำนวนงานล่าช้า ในช่วงท้ายของบทความได้เสนออีกเวอร์ชันของกระบวนการหาคำตอบซึ่งถูกรวมนำเสนอโดยฮอดจ์สัน (T.E. Hodgson) [2-3] ถูกเรียกว่าอัลกอริทึมมัวร์-ฮอดจ์สัน (Moore-Hodgson Algorithm) ทั้งนี้ในช่วงหลายปีหลังยังมีผู้วิจัยสนใจศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรเดี่ยวเพื่อลดจำนวนงานล่าช้า [4] ได้สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบของ

ปัญหามิติเล็ก แต่ไม่เหมาะกับการให้คำตอบสำหรับปัญหามิติใหญ่ จึงได้พัฒนาฮิวริสติกส์ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของอัลกอริทึมของมัวร์ (Moore's Algorithm) เพื่อใช้หาคำตอบในเวลาประมวลผลที่สมเหตุสมผล การศึกษาในงานในลักษณะเดียวกัน แต่เพิ่มข้อจำกัดด้านสภาพพร้อมใช้งาน (Availability Constraint) นั่นคือ มีช่วงเวลาที่เครื่องจักรเสียหรืออยู่ในช่วงบำรุงรักษา [5] กระบวนการฮิวริสติกและการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) ถูกสร้างขึ้นเพื่อหาคำตอบของปัญหา วิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพการหาคำตอบที่ดีกว่าวิธีการอื่นใน [6] การจัดตารางการผลิตเพื่อลดจำนวนงานล่าช้าภายใต้เวลาการผลิตที่ไม่แน่นอนถูกศึกษาโดย [7] ในงานวิจัยได้พัฒนาระบบการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตเพื่อใช้ในการหาคำตอบ ผลการศึกษาพบว่าคำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด หลังจากนั้น [8] ได้เพิ่มเงื่อนไขเรื่องช่วงเวลาซ่อมบำรุงที่ยืดหยุ่น (Flexible Maintenance) นั่นคือ ช่วงเวลาซ่อมบำรุงเป็นหนึ่งในตัวแปรตัดสินใจ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ถูกสร้างขึ้นเพื่อหาคำตอบสำหรับปัญหามิติเล็กแต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นจะใช้เวลาประมวลผลที่ยาวนาน จึงพัฒนาฮิวริสติกเพื่อใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ผลการทดลองพบว่าความผิดพลาดของคำตอบจากฮิวริสติกเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ 10.93%

นอกจากการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรเดียวยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางการผลิตในสถานะอื่นๆ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนงานล่าช้า [9] ได้ศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop) แบบ 2 เครื่องจักร โดยวันกำหนดส่งของแต่ละงานเป็นวันเดียวกัน วัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนงานล่าช้า กระบวนการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและฮิวริสติกถูกพัฒนาโดย [10] เพื่อลดจำนวนงานล่าช้าของเครื่องจักรขนานที่มีเวลาการทำงานต่างกัน (Uniform Parallel Machines) โดยพิจารณาทรัพยากรในระบบการผลิต ผลการศึกษาจากการทดสอบ 2 แบบ คือ การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับคำตอบที่ดีที่สุด และการเปรียบเทียบกันเองระหว่าง 5 ฮิวริสติก พบว่าฮิวริสติก 3 วิธีการ มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าฮิวริสติกอีก 2 วิธีการ [11] วิจัยเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน โดยช่วงเวลาซ่อม

บำรุงถูกพิจารณาบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ในงานวิจัยได้เสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์และกระบวนการฮิวริสติก เพื่อหาคำตอบของปัญหา ซึ่งพบคำตอบที่ดีที่สุด 19 ปัญหาจาก 54 ปัญหาทดสอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตของชิ้นส่วนประกอบแล้วนำชิ้นส่วนเหล่านั้นมาประกอบเป็นชิ้นงาน เป็นสิ่งที่นักวิจัยหลายท่านสนใจศึกษาในสถานะของปัญหาและวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไป ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนสองระยะ (Two-Stage Flow Shop) ถูกศึกษาโดย [12] โดยชิ้นส่วนประกอบจะถูกผลิตบนเครื่องจักรในระยะที่หนึ่ง และถูกนำไปประกอบรวมกันบนเครื่องจักรในระยะที่สองเพื่อลดผลรวมของเวลาเสร็จงานที่มากที่สุด (Makespan) และความล่าช้าที่มากที่สุด (Maximum Lateness) ในงานวิจัยใช้การค้นหาคำตอบ 3 แบบ ผลการทดลองพบว่า วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO) และวิธีวิวัฒนาการผลต่างแบบปรับเองได้ (Self-Adaptive Differential Evolution; SDE) ให้ผลที่ดีกว่าการค้นหาแบบทาบู่ (Tabu Search; TS) [13] ศึกษาปัญหาการจัดตารางการประกอบสำหรับเครื่องจักรสองเครื่องโดยมีข้อจำกัดด้านของคลังวัตถุดิบเพื่อลดผลรวมช่วงเวลาล่าช้าของงานแบบถ่วงน้ำหนัก (Total Weight Tardiness) ผู้วิจัยเสนอกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-Integer Programming; MIP) และกำหนดการข้อจำกัด (Constraint Programming; CP) ผลการทดลองพบว่า MIP ให้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่มีเวลาการผลิตสั้น ในขณะที่ CP มีแนวโน้มจะให้คำตอบที่ดีกว่าสำหรับปัญหาที่มีเวลาการผลิตนาน [14] ศึกษาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนสองระยะ วัตถุประสงค์เพื่อลดผลรวมของช่วงเวลาล่าช้า (Total Tardiness) ผู้วิจัยนำเสนออัลกอริทึมใหม่สองวิธีการและปรับใช้อัลกอริทึมที่มีอยู่แล้วในการหาคำตอบของปัญหา ผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึมใหม่ที่นำเสนอสามารถลดค่าคำตอบจากการปรับใช้อัลกอริทึมเดิม กระบวนการฮิวริสติกและวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search Algorithm) เพื่อหาคำตอบของการจัดตารางการประกอบไหลเลื่อนสองระยะถูกสร้างขึ้น [15] เพื่อลดผลรวมเวลาเสร็จงาน (Total Completion Time) ผลการทดลองพบว่าฮิวริสติกที่เสนอให้ผลที่ดีกว่าฮิวริสติกของ [16-17] และการหาคำตอบ

เฉพาะที่มีประสิทธิภาพการหาคำตอบดีกว่าเมตาฮิวริสติกของ [18]

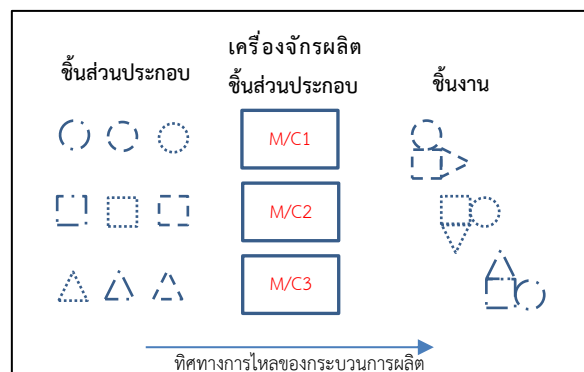
ต่อมาการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้หาคำตอบสำหรับสภาวะการจัดตารางการผลิตลักษณะเดียวกันเพื่อลดผลรวมเวลาล่าช้าและต้นทุนการส่งสินค้าถูกสร้างโดย [19] แต่อย่างไรก็ตามตัวแบบนี้ไม่รับประกันการหาคำตอบในเวลาการประมวลผลที่สมเหตุสมผล ผู้วิจัยจึงได้นำเสนออัลกอริทึม ICA และ HICA มาใช้ในการหาคำตอบ ผลการทดลองพบว่า HICA ให้คำตอบที่ดีกว่า แต่เวลาประมวลผลนานกว่า CIA [20] ศึกษาสภาวะปัญหาในลักษณะเดียวกันแต่พิจารณาชิ้นส่วนประกอบที่มาจากลูกค้าแต่ละราย และมีวัตถุประสงค์เพื่อลดผลรวมต้นทุนของงานล่าช้าและการส่งสินค้า ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA) และวิธีการเชิงพันธุกรรมแบบสองระดับที่ถูกปรับปรุงเพิ่ม (Bi-level Improve Genetic algorithm; IGA) ถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผลการทดลองพบว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์ประมวลผลหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วสำหรับปัญหาขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับ IGA แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นตัวแบบทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลาการประมวลผลนานกว่า และ IGA มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบดีกว่า GA ปัญหาการจัดตารางการประกอบสองระดับยังถูกศึกษาโดย [21] วัตถุประสงค์เพื่อลดผลรวมเวลาเสร็จงาน ในงานวิจัยได้สร้างกระบวนการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต และฮิวริสติกเข้ามาใช้ในการหาคำตอบ ผลการทดลองพบว่ากระบวนการหาคำตอบทั้งหมดให้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาการประมวลผลที่เหมาะสม [22] ศึกษาปัญหาการประกอบแบบไหลเลื่อน (Assembly Flow Shop) วัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาเสร็จงานที่มากที่สุด ในงานวิจัยได้พัฒนาวิธีการหาคำตอบที่เรียกว่า BSIG ผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า BSIG มีประสิทธิภาพดีกว่ากระบวนการหาคำตอบเดิมที่มีอยู่แล้วของ [23]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตของชิ้นส่วนประกอบ บนเครื่องจักรหลายเครื่องที่เป็นอิสระต่อกัน เมื่อชิ้นส่วนประกอบของงานใดๆ ถูกผลิตครบแล้วจะถูกนำมาประกอบกันเป็นชิ้นงาน ซึ่งพบในอุตสาหกรรมขนาดเล็กดังที่กล่าวในบทนำ อีกทั้งพบในอุตสาหกรรมการผลิตสติกเกอร์ฉลาก [19] และอุตสาหกรรมการประกอบเฟอร์นิเจอร์ [20] และยังเป็นลักษณะปัญหาที่พบในระบบ

จริง (Real Life Problem) โดยมีผู้วิจัยหลายท่าน [12-20] กล่าวถึง ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล [24] โรงงานประกอบเครื่องดับเพลิง [25] การจัดตารางแบบสอบถาม (Queries) ในระบบฐานข้อมูล [26] เป็นต้น ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงคุณลักษณะของปัญหาและใช้หาคำตอบที่ดีที่สุด หลังจากนั้นจะนำเสนอกระบวนการฮิวริสติกเพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในระบบงานจริงที่กล่าวข้างต้น วัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนงานล่าช้า ซึ่งไม่ใช่เป็นเพียงตัววัดประสิทธิภาพที่ได้รับความสนใจในแง่การศึกษาเท่านั้น แต่ยังเป็นวัตถุประสงค์ที่สำคัญในเชิงปฏิบัติจริงเนื่องจากสามารถบันทึกผลได้ง่าย [27] ฮิวริสติกที่นำเสนอจะช่วยให้การหาคำตอบที่เหมาะสมในเวลาประมวลผลที่สั้นกว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์

3. คุณลักษณะของปัญหาและตัวแบบทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้สนใจปัญหาการจัดตารางการผลิตของงาน n งาน แต่ละงานมีชิ้นส่วนประกอบ m ชิ้น กล่าวคือ แต่ละชิ้นส่วนประกอบของงาน i ($i=1,2,...,n$) จะถูกผลิตบนเครื่องจักร k ($k=1,2,...,m$) ที่แตกต่างกัน ชิ้นส่วนประกอบที่ถูกผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะมีลำดับการผลิตที่ l ($l=1,2,...,L$) ลักษณะของกระบวนการแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งลำดับการผลิตของชิ้นส่วนประกอบบนแต่ละเครื่องจักรอาจเหมือนหรือแตกต่างกันก็ได้ (Permutation or Non-Permutation)



ภาพที่ 1 แสดงคุณลักษณะการผลิต

ทั้งนี้ปัญหาในงานวิจัยอยู่ภายใต้สมมติฐาน คือ

- 1) เมื่อเริ่มผลิตชิ้นส่วนประกอบใดแล้วจะต้องทำจนเสร็จสมบูรณ์โดยไม่มีการหยุดหรือนำชิ้นส่วนอื่นมาแทรก (No preemption)
- 2) พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาสำหรับการจัดตารางการผลิตของงานทุกงานเป็นค่าคงที่
- 3) เครื่องจักรพร้อมใช้งานตลอดเวลา ไม่พิจารณากรณีที่เครื่องจักรเสีย
- 4) ชิ้นส่วนประกอบใดๆ จะถูกกำหนดให้ผลิตได้บนเครื่องจักรเพียงหนึ่งเครื่อง
- 5) เมื่อชิ้นส่วนประกอบทุกชิ้นของงานใดๆ ถูกผลิตเสร็จสามารถดำเนินการประกอบได้ทันที (มีกำลังการผลิตเพียงพอ)

จากคุณลักษณะของปัญหาสามารถแสดงสัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยและตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

สัญลักษณ์

- n = จำนวนงานทั้งหมดในระบบ
 m = จำนวนเครื่องจักรทั้งหมดในระบบ
 L = จำนวนลำดับงานทั้งหมดในตารางการผลิต
 U = จำนวนงานล่าช้า
 i, j = ดัชนีแสดงถึงงาน ; $i = 1, 2, \dots, n$
 l = ดัชนีแสดงถึงลำดับงาน ; $l = 0, 1, \dots, L$
 k = ดัชนีแสดงถึงเครื่องจักร ; $k = 1, 2, \dots, m$
 u = ดัชนีแสดงถึงงานล่าช้า ; $u = 1, 2, \dots, U$
 d_i = วันกำหนดส่งของงาน i
 P_{ik} = เวลาการผลิตชิ้นส่วนประกอบของงาน i บนเครื่องจักร k
 As_i = เวลาการประกอบของงาน i
 C_{ilk} = เวลาเสร็จงานของงาน i ในลำดับ l บนเครื่องจักร k
 $Cmax_i$ = เวลาที่สามารถนำชิ้นส่วนมาประกอบเป็นงาน i
 T_i = จำนวนที่กำหนดความล่าช้าของงาน i
 J_{ilk} = งาน i ลำดับ l บนเครื่องจักร k
 $J_{i \in (1, \dots, n)}^u$ = งาน i ที่ถูกพิจารณาเป็นงานล่าช้า
 $X_{ilk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าชิ้นส่วนประกอบงาน } i \text{ อยู่ในลำดับ } l \text{ บนเครื่องจักร } k \\ 0 & \text{ถ้าชิ้นส่วนประกอบงาน } i \text{ อยู่ในตำแหน่งอื่นๆ บนเครื่องจักร } k \end{cases}$
 $N_i^U = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าชิ้นงาน } i \text{ เป็นงานล่าช้า} \\ 0 & \text{ในทางตรงข้าม} \end{cases}$

M = จำนวนที่มีค่ามาก

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ *Minimize* $U = \sum_{i=1}^n N_i^U$

$$\sum_{l=1}^L x_{ilk} = 1 \quad ; i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ilk} = 1 \quad ; l = 1, 2, \dots, L; k = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$C_{ilk} \geq x_{ilk} P_{ik} \quad ; i = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, L; k = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$C_{ilk} - C_{j(l-1)k} + M(1 - x_{ilk}) \geq P_{jk} \quad ; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n (i \neq j); l = 2, 3, \dots, L; k = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$Cmax_i \geq C_{ilk} \quad ; i = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, L; k = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$T_i \geq Cmax_i + As_i - d_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$T_i \leq M \cdot N_i^U \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

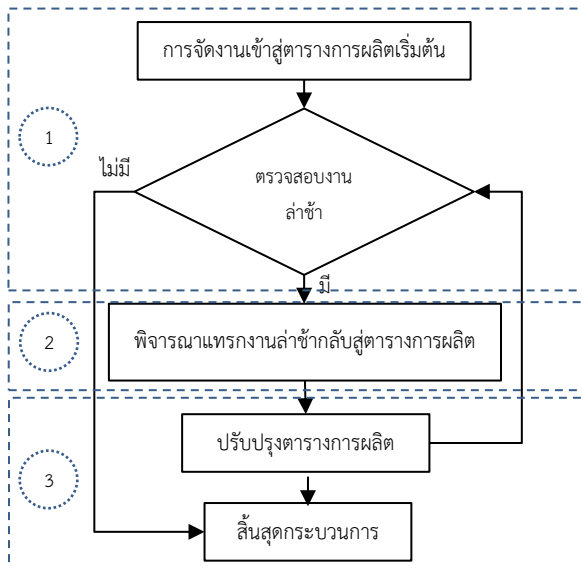
จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ฟังก์ชันวัตถุประสงค์แสดงถึงผลรวมจำนวนงานล่าช้า ข้อจำกัดที่ (1) และ (2) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าชิ้นส่วนประกอบของงาน i จะถูกจัดอยู่ในลำดับที่ l บนเครื่องจักร k ได้เพียงหนึ่งครั้ง ข้อจำกัดที่ (3) เพื่อให้เวลาเสร็จงานของชิ้นส่วนประกอบของงาน i ในตำแหน่งที่ l บนเครื่องจักร k ใดๆ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับเวลาการผลิตของมันเอง ข้อจำกัดที่ (4) เพื่อให้ชิ้นส่วนประกอบที่ผลิตต่อเนื่องกันบนเครื่องจักรเดียวไม่ซ้อนทับกัน ข้อจำกัดที่ (5) เพื่อกำหนดเวลาการเริ่มประกอบของงาน i ต้องมากกว่าหรือเท่ากับเวลาเสร็จงานของชิ้นส่วนประกอบทุกชิ้นของงานนั้นบนทุกเครื่องจักร ข้อจำกัดที่ (6) และ ข้อจำกัดที่ (7) เป็นการชี้ว่างาน i เสร็จหลังวันกำหนดส่งงานหรือไม่ และถ้าเสร็จงานหลังวันกำหนดส่งจะถูกระบุว่าเป็นงานล่าช้า

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นใช้แสดงคุณลักษณะของปัญหา และถูกใช้ประมวลผลหาคำตอบที่ดีที่สุดของจัดตารางการผลิตในงานวิจัย

4. อิวิริสติก Nattakorn, Witid, Tanawat and Anot (NWT A)

กระบวนการอิวิริสติกถูกพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของกฎการจัดลำดับงานโดยงานที่มีกำหนดส่งเร็วที่สุดถูกผลิตก่อน (Earliest Due Date; EDD) เนื่องจากถูกใช้จัดลำดับงานสำหรับการวัดประสิทธิภาพแบบเรกูลาร์ (Regular Performance Measure) เพื่อลดความล่าช้าของงานในหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เช่น ช่วงเวลาล่าช้าที่มากที่สุด

(Maximum Tardiness) [28] ความล่าช้าที่มากที่สุด (Maximum Lateness) และยังคงใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการหาคำตอบเพื่อลดจำนวนงานล่าช้าบนเครื่องจักรเดียว [27-28] อีกทั้งวิธีสถิติที่พัฒนาขึ้นยังอ้างอิงแนวคิดของอัลกอริทึมมาร์-ฮอดจ์สัน ที่ใช้ลดจำนวนงานล่าช้าบนเครื่องจักรเดียว โดยการนำงานที่มีผลกระทบทำให้งานอื่นๆ ล่าช้าไปไว้ในลำดับสุดท้ายของตารางการผลิต [1] วิธีสถิติที่ถูกนำเสนอในงานวิจัยซึ่งถูกให้ชื่อว่า วิธีสถิติ Nattakorn, Witid, Tanawat and Anot (วิธีสถิติ NNTA) มีแนวคิดการค้นหางานที่อาจส่งผลกระทบทำให้งานอื่นล่าช้า แต่จะหาตำแหน่งใหม่ที่เหมาะสมกว่าและส่งผลกระทบต่อตารางการผลิตดีขึ้น ถ้าไม่มีตำแหน่งที่เหมาะสมจึงนำงานดังกล่าวไปไว้ในลำดับสุดท้ายของตารางการผลิต กรอบแนวคิดของวิธีสถิติ NNTA แสดงดังแผนภูมิการไหลดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดวิธีสถิติ NNTA

หมายเหตุ หมายเลขกำกับใช้แสดงการจับคู่กับขั้นตอนวิธีสถิติ NNTA

การจัดงานเข้าสู่ตารางการผลิตเริ่มต้น เป็นการจัดงานเข้าสู่เซต FS งานใดที่มีวันกำหนดส่งก่อนจะถูกนำไปเข้าสู่ตารางการผลิตก่อน

$$FS = \{J_{i \in \{1,2,\dots,n\},l}, J_{i \in \{1,2,\dots,n\},l+1}, \dots, J_{i \in \{1,2,\dots,n\},L}\} \quad (8)$$

ตรวจสอบงานล่าช้า พิจารณาตารางการผลิตเริ่มต้น หากงาน $J_{i,l}$ ใดๆ ประกอบเสร็จแล้วเวลาเสร็จงานมากกว่าวันกำหนดส่ง งาน $J_{i,l}$ จะถูกระบุเป็นกลุ่มงานล่าช้า

$J_{i \in \{1,\dots,n\}}^u$; $u = 1, 2, \dots, U$ แล้วเลือกงานที่อาจส่งผลกระทบทำให้งานอื่นๆ ล่าช้า เพื่อพิจารณาหาตำแหน่งใหม่ที่เหมาะสม

$$CS = \{J_{i \in \{1,\dots,n\}}^1, J_{i \in \{1,\dots,n\}}^2, \dots, J_{i \in \{1,\dots,n\}}^U\} \quad (9)$$

หลังจากนั้นงานล่าช้าอื่นๆ จะถูกพิจารณาอยู่ในตารางการผลิตตามลำดับงานใน FS ย้ายตำแหน่งงานทุกงานไปทางซ้ายจนเวลาเสร็จงานเป็นไปตามสมการที่ (10)

$$C_{i \in \{1,\dots,n\},l,k} - P_{i,k} = C_{i \in \{1,\dots,n\},l-1,k}; k = 1, \dots, m; l = 2, \dots, L \quad (10)$$

พิจารณาแทรกงานล่าช้ากลับสู่ตารางการผลิต เป็นการหาตำแหน่งใหม่สำหรับงานที่ถูกเลือก โดยเริ่มจากการย้ายตำแหน่งงานในตารางงานผลิตไปทางขวา เริ่มจากงานลำดับสุดท้ายถึงงานในลำดับหลังตำแหน่งที่จะนำงานไปแทรก เพื่อให้เกิดช่องว่าง ระยะการย้ายตำแหน่งงานพิจารณา ดังนี้

ลักษณะการย้ายตำแหน่งแบบ 1 หากงานในตำแหน่ง $l=L$ ประกอบเสร็จก่อนวันกำหนดส่ง การย้ายตำแหน่งงานจะเป็นไปตามสมการที่ (11) และงานในตำแหน่ง $l=L-1, L-2, \dots, 1$ งานใดประกอบเสร็จก่อนวันกำหนดส่งจะย้ายตำแหน่งเป็นไปตามสมการที่ (12) แต่ถ้าประกอบเสร็จหลังวันกำหนดส่งการย้ายตำแหน่งจะเป็นไปตามสมการที่ (13)

$$C_{i,L,k} + As_i = d_i; k = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

$$C_{i,l,k} = \min(d_i - As_i, C_{j,l+1,k} - P_{j,k}); k = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

$$C_{i,l,k} = C_{j,l+1,k} - P_{j,k}; k = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

ลักษณะการย้ายตำแหน่งงานแบบ 2 ถ้างานในตำแหน่ง $l=L$ ประกอบเสร็จหลังวันกำหนดส่งและพิจารณาต่องานตำแหน่งที่ $l=L-1$ ต่อด้วย $l=L-2$ ไปจนถึงตำแหน่ง $l=1$ โดยหากงานที่ต่อเนื่องกันยังเป็นงานที่ประกอบเสร็จล่าช้า การย้ายตำแหน่งงานจะเป็นไปตามสมการที่ (14) จนพบงานแรกประกอบเสร็จก่อนกำหนดส่ง การย้ายตำแหน่งงานจะเป็นไปตามสมการที่ (15) หลังจากนั้นการย้ายตำแหน่งงานที่เหลือจะเป็นไปตามเงื่อนไขตั้งสมการที่ (12) หรือ (13)

$$C_{i,l,k} + As_i = \infty; l = L, L-1, \dots, 1; k = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

$$C_{i,l \in \{1, \dots, L-1\}, k} + As_i = d_i; \quad k=1, 2, \dots, m \quad (15)$$

หากหาตำแหน่งที่เหมาะสมไม่ได้ งานนั้นจะถูกจัดอยู่ในเซต TS ซึ่งจะถูกจัดเป็นงานในลำดับท้ายตารางการผลิต

$$TS = \{J_{i \in \{1, 2, \dots, n\}, l}, J_{i \in \{1, 2, \dots, n\}, l+1}, \dots, J_{i \in \{1, 2, \dots, n\}, L}\} \quad (16)$$

ปรับปรุงตารางการผลิต ปรับปรุงลำดับงานในเซต FS ตารางการผลิตจะถูกปรับปรุง ไม่ว่าจะแทรกงานล่าช้าเข้าสู่ตำแหน่งใหม่ได้หรือไม่

สิ้นสุดกระบวนการ สรุปตารางการผลิตที่ได้และจำนวนงานล่าช้าทั้งหมด โดยลำดับงานจะเริ่มจากเซต FS แล้วตามด้วยงานในเซต TS

จากกรอบแนวคิดของฮิวริสติก NWTa สามารถแสดงกระบวนการทำงานได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนฮิวริสติก NWTa

ขั้นตอนที่ 1 จัดงานเข้าสู่เซต FS ตามเงื่อนไข $d_{i \in \{1, 2, \dots, n\}} \leq d_{i \in \{1, 2, \dots, n\}} \leq \dots \leq d_{i \in \{1, 2, \dots, n\}}$ เพื่อสร้างตารางการผลิตเริ่มต้น, $CS = \{ \}$, $TS = \{ \}$

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบงานล่าช้าในเซต FS จาก $\max_k(C_{i,l,k}) + As_i > d_i; \forall i$ พิจารณาจำนวนงานล่าช้าใน CS ถ้า $U \leq 2$ ทำต่อ **ขั้นตอนที่ 3** แต่ถ้า $U > 2$ ทำต่อ **ขั้นตอนที่ 4** แต่ถ้า $U = 0$ ทำต่อ **ขั้นตอนที่ 9**

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณางานล่าช้าแรก $J_{i \in \{1, \dots, n\}}^{u=1}$ ย้ายตำแหน่งงานในเซต FS ไปทางซ้ายตามสมการที่ (10) ทำต่อ **ขั้นตอนที่ 5**

ขั้นตอนที่ 4 หางานล่าช้าใน CS ที่มีระยะเวลาดำเนินงานมากที่สุด $P_{i \in \{1, \dots, n\}, k} = \max_k \{P_{i \in \{1, \dots, n\}, k}^{u \in \{1, \dots, U\}}\}$ เพื่อพิจารณาหาตำแหน่งงานใหม่

ขั้นตอนที่ 4.1 หากไม่ใช้งาน $J_{i \in \{1, \dots, n\}}^U$ พิจารณางานที่เหลือใน CS กลับสู่ตารางการผลิตตามลำดับงานใน FS ย้ายตำแหน่งงานไปทางซ้ายตามสมการที่ (10) แล้วไปทำใน **ขั้นตอนที่ 5**

ขั้นตอนที่ 4.2 หากเป็นงาน $J_{i \in \{1, \dots, n\}}^U$ หางานที่ $P_{i \in \{1, \dots, n\}, k} = \max_k \{P_{i \in \{1, \dots, n\}, k}^{u \in \{1, \dots, U-1\}}\}$ เพื่อพิจารณาหาตำแหน่งงานใหม่ พิจารณางานที่เหลือใน CS กลับสู่ตารางการผลิตตามลำดับงานใน FS แล้วย้ายตำแหน่งงานไปทางซ้ายตามสมการที่ (10) แล้วไปทำใน **ขั้นตอนที่ 5**

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาเพื่อแทรกงานระหว่างคู่ลำดับในเซต FS โดยเรียงลำดับ $[(J_{i,l-1}, J_{i,l-2}), (J_{i,l-2}, J_{i,l-3}), \dots, (J_{i,l-1}, J_{i,l-2})]$ แล้วไปทำ **ขั้นตอนที่ 6**

ขั้นตอนที่ 6 ย้ายตำแหน่งงานที่เหลือในเซต FS ไปทางขวาตามลักษณะการย้ายตำแหน่งงานแบบ 1 หรือลักษณะการย้ายตำแหน่งงานแบบ 2

ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาแทรกงาน $J_{i \in \{1, \dots, n\}}^u$ กลับสู่ตารางการผลิตเริ่มต้นตามลำดับงานในเซต FS ตามขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 7.1 งาน $J_{i \in \{1, \dots, n\}}^u$ จะถูกแทรกบนแต่ละเครื่องจักรได้ถ้า $C_{i,l-a,k} - P_{i,k} - C_{i,l-b,k} \geq P_{i,k}^u; k=1, 2, \dots, m, [(a, b) = (1, 2), (2, 3), \dots]$ แล้วไปทำ **ขั้นตอน 7.2** ในทางตรงข้ามต้องไปทำ **ขั้นตอนที่ 7.3**

ขั้นตอนที่ 7.2 ถ้า $C_{i,k}^u + As_i \leq d_i^u; k=1, 2, \dots, m$ ไปทำ **ขั้นตอนที่ 8** ในทางตรงข้ามไปทำ **ขั้นตอน 7.3**

ขั้นตอนที่ 7.3 หากคู่ลำดับที่พิจารณาเป็นคู่ลำดับสุดท้ายงาน $J_{i \in \{1, \dots, n\}}^u$ จะถูกนำเข้าสู่เซต TS แล้วไปทำใน **ขั้นตอนที่ 8** ในทางตรงข้ามกลับไปทำ **ขั้นตอนที่ 5**

ขั้นตอนที่ 8 ปรับปรุงตารางการผลิตในเซต FS และทำต่อ **ขั้นตอนที่ 2**

ขั้นตอนที่ 9 สรุปตารางการผลิตโดยลำดับงานเริ่มจากงานในเซต $FS = \{J_{i \in \{1, 2, \dots, n\}, 1}, J_{i \in \{1, 2, \dots, n\}, 2}, \dots, J_{i \in \{1, 2, \dots, n\}, l}\}$ และตามด้วยงานในเซต

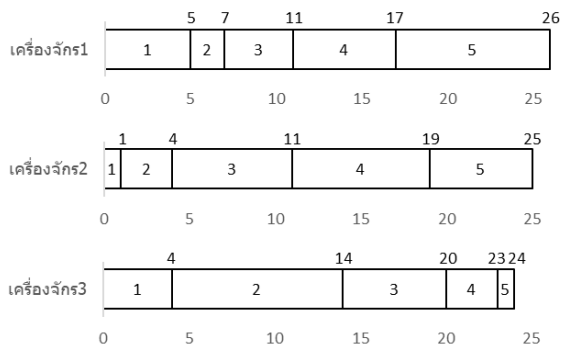
$TS = \{J_{i \in \{1, \dots, n\}, l+1}, J_{i \in \{1, \dots, n\}, l+2}, \dots, J_{i \in \{1, \dots, n\}, L}\}$ สิ้นสุดกระบวนการ

หมายเหตุ หมายเลขกำกับใช้แสดงการจับคู่กับกรอบแนวคิดฮิวริสติก NWTa ในภาพที่ 2

จากกระบวนการหาคำตอบ แสดงตัวอย่างการใช้งานได้ ดังนี้
ตัวอย่างที่ 1 ระบบการผลิตประกอบด้วยงาน 5 งาน แต่ละงานมีชิ้นส่วนประกอบ 3 ชิ้น ถูกผลิตบนเครื่องจักร 3 เครื่อง ข้อมูลที่ใช้พิจารณาจัดตารางการผลิต แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาการผลิต เวลาการประกอบ และวันกำหนดส่ง

งาน i	P_{ik}			As_i	d_i
	เครื่องจักร1	เครื่องจักร2	เครื่องจักร3		
1	5	1	4	2	9
2	2	3	10	6	14
3	4	7	6	1	19
4	6	8	3	4	24
5	9	6	1	9	30



ภาพที่ 3 ตารางการผลิตเริ่มต้นตามลำดับงานแบบงานที่มีกำหนดส่งเร็วที่สุดถูกผลิตก่อน

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณางานล่าช้าที่มีระยะเวลาดำเนินงานที่มากที่สุด $P_{i \in \{1, \dots, n\}, k} = \max_k \{P_{2,k}^{u=1}, P_{3,k}^{u=2}, P_{4,k}^{u=3}, P_{5,k}^{u=4}\} = P_{2,3} = 10$

ขั้นตอนที่ 4.1 พิจารณา $J_2^{u=1}$ เพื่อหาตำแหน่งใหม่ ย้ายตำแหน่งงานในตารางการผลิตตามลำดับงานใน FS ไปทางซ้าย

$$C_{5,5,k} - P_{5,5,k} = C_{4,4,k}; \forall k$$

$$C_{4,4,k} - P_{4,4,k} = C_{3,3,k}; \forall k$$

$$C_{3,3,k} - P_{3,3,k} = C_{1,1,k}; \forall k$$

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณางานในกลุ่มล่าช้า ($J_{i,l-1}, J_{i,l-2}$) ในเซต FS แล้วไปทำขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 ทำการย้ายงานในเซต FS ไปทางขวาตามลักษณะการย้ายตำแหน่งงานแบบ 2 แล้วทำขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาแทรกงาน J_2^u กลับสู่ตารางการผลิตในเซต FS

ขั้นตอนที่ 7.1 งาน J_2^u จะถูกแทรกงานบนแต่ละเครื่องจักรได้ถ้า

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 7 - 5 - 0 = 2 = 2 \quad (\text{ตรงตามเงื่อนไข})$$

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 5 - 1 - 0 = 4 > 3 \quad (\text{ตรงตามเงื่อนไข})$$

ขั้นตอนที่ 1 จัดงานเข้าสู่เซต $FS = \{J_{1,1}, J_{2,2}, J_{3,3}, J_{4,4}, J_{5,5}\}$

ตามเงื่อนไข $d_1 \leq d_2 \leq d_3 \leq d_4 \leq d_5$, สร้างตารางการผลิต

เริ่มต้น $CS = \{\}$ และ $TS = \{\}$

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบงานล่าช้าในเซต FS

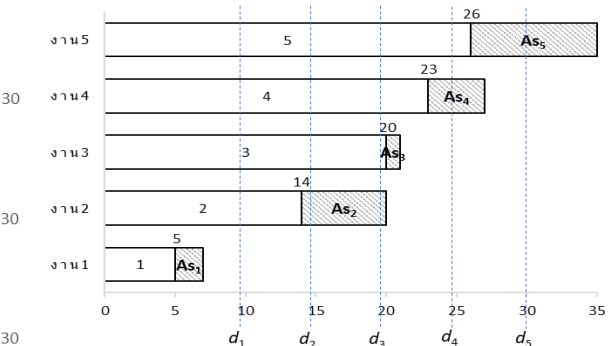
$$\max_k (C_{2,2,k}) + As_2 > d_2 = 14 + 6 = 20 > 14$$

$$\max_k (C_{3,3,k}) + As_3 > d_3 = 20 + 1 = 21 > 19$$

$$\max_k (C_{4,4,k}) + As_4 > d_4 = 23 + 4 = 27 > 24$$

$$\max_k (C_{5,5,k}) + As_5 > d_5 = 26 + 9 = 35 > 30$$

$CS = \{J_{i=2}^{u=1}, J_3^2, J_4^3, J_5^{u=4}\}$ งานล่าช้า $U > 2$ ทำต่อ **ขั้นตอนที่ 4**



$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 7 - 4 - 0 = 3 < 10 \quad (\text{ไม่ตรงตามเงื่อนไข})$$

ไปทำขั้นตอนที่ 7.3

ขั้นตอนที่ 7.3 $J_2^{u=1}$ ถูกนำเข้าสู่เซต $TS = \{J_{2,l=5}\}$ แล้วไปทำในขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 8 อัปเดตตารางการผลิตตามลำดับงานในเซต

$FS = \{J_{1,1}, J_{3,2}, J_{4,3}, J_{5,4}\}$ แล้วทำต่อใน **ขั้นตอนที่ 2**

ขั้นตอนที่ 2 ทำการตรวจสอบงานล่าช้าในเซต FS

$$\max_k (C_{5,4,k}) + As_5 > d_5 = 24 + 9 = 33 > 30$$

$CS = \{J_5^U\}$ งานล่าช้า $U \leq 2$ ทำต่อ **ขั้นตอนที่ 3**

ขั้นตอนที่ 3 ย้ายตำแหน่งงานในเซต FS ไปซ้ายเมื่อทำต่อ **ขั้นตอนที่ 5**

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณางานในกลุ่มล่าช้า ($J_{i,l-1}, J_{i,l-2}$) ในเซต FS แล้วไปทำขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 ทำการย้ายงานในเซต FS ไปทางขวาตามลักษณะการย้ายตำแหน่งงานแบบ 1 แล้วไปทำขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาแทรกงาน J_5^U กลับสู่ตารางการผลิตในเซต FS

ขั้นตอนที่ 7.1 งาน J_5^U จะถูกแทรกงานบนแต่ละเครื่องจักรได้ถ้า

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 20 - 6 - 9 = 5 < 9 \text{ (ไม่ตรงตามเงื่อนไข)}$$

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 20 - 8 - 8 = 4 < 6 \text{ (ไม่ตรงตามเงื่อนไข)}$$

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 20 - 3 - 10 = 7 > 1 \text{ (ตรงตามเงื่อนไข)}$$

ขั้นตอนที่ 7.3 ยังไม่ใช่คู่ลำดับสุดท้ายงาน กลับไปทำขั้นตอนที่ 5
ขั้นตอนที่ 5 พิจารณางานที่ละคู่ลำดับ $(J_{i,l-2}, J_{i,l-3})$ ในเซต FS แล้วไปทำขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 ทำการย้ายงานในเซต FS ไปทางขวาตามลักษณะการย้ายตำแหน่งแบบ 1 แล้วไปทำขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาแทรกงาน J_5^U กลับสู่ตารางการผลิตในเซต FS

ขั้นตอนที่ 7.1 งาน J_5^U จะถูกแทรกงานบนแต่ละเครื่องจักรได้ถ้า

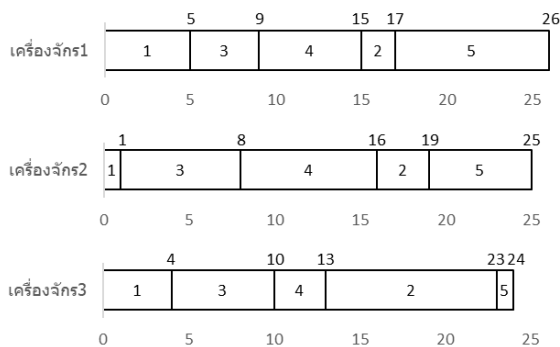
$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 14 - 4 - 5 = 5 < 9 \text{ (ไม่ตรงตามเงื่อนไข)}$$

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 12 - 7 - 1 = 4 < 6 \text{ (ไม่ตรงตามเงื่อนไข)}$$

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 17 - 6 - 4 = 7 > 1 \text{ (ตรงตามเงื่อนไข)}$$

ขั้นตอนที่ 7.3 ยังไม่ใช่คู่ลำดับสุดท้ายงาน กลับไปทำขั้นตอนที่ 5
ขั้นตอนที่ 5 พิจารณางานที่ละคู่ลำดับ $(J_{i,l-3}, J_{i,l-4})$ ในเซต FS แล้วไปทำขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 ทำการย้ายงานในเซต FS ไปทางขวาตามลักษณะการย้ายตำแหน่งแบบ 1 แล้วไปทำขั้นตอนที่ 7



ภาพที่ 4 ตารางการผลิตจากฮิวริสติก NWT

5. การทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการฮิวริสติก

ในหัวข้อนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพการหาคำตอบของฮิวริสติก NWT เปรียบเทียบกับการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้ยังนำวิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) เข้ามาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาคำตอบอีกด้วย โดยกำหนดจำนวนประชากร คือ 100 โครโมโซม ความน่าจะเป็นการไขว้สายพันธุ์ (p_c) และความน่าจะเป็นการกลายพันธุ์ (p_m) เท่ากับ 0.8 และ 0.1 ตามลำดับ อ้างอิงจาก [29] การดำเนินการเชิงพันธุกรรม ใช้การไขว้สายพันธุ์แบบยูนิฟอร์ม ออเดอร์ เบส (Uniform

ขั้นตอนที่ 7 พิจารณาแทรกงาน J_5^U กลับสู่ตารางการผลิตในเซต FS

ขั้นตอนที่ 7.1 งาน J_5^U จะถูกแทรกงานบนแต่ละเครื่องจักรได้ถ้า

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 7 - 5 - 0 = 2 < 9 \text{ (ไม่ตรงตามเงื่อนไข)}$$

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 5 - 1 - 0 = 4 < 6 \text{ (ไม่ตรงตามเงื่อนไข)}$$

$$C_{i,l-1,k} - P_{i,k} - C_{i,l-2,k} = 7 - 4 - 0 = 3 > 1 \text{ (ตรงตามเงื่อนไข)}$$

ขั้นตอนที่ 7.3 J_5^U ถูกนำเข้าสู่เซต $TS = \{J_{2,4}, J_{5,5}\}$ แล้วไปทำในขั้นตอนที่ 8

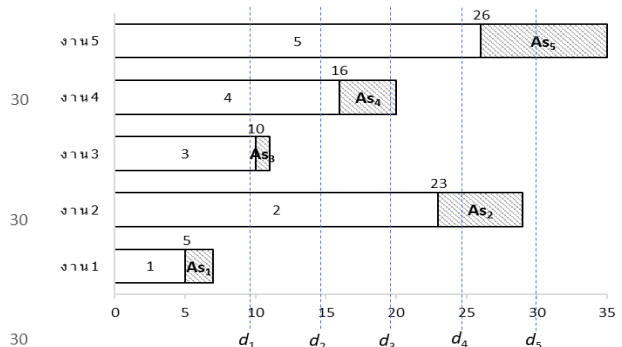
ขั้นตอนที่ 8 ปรับปรุงตารางการผลิตตามลำดับงานในเซต

$FS = \{J_{1,1}, J_{3,2}, J_{4,3}\}$ แล้วทำต่อใน ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบงานล่าช้าในเซต FS ได้ $U = 0$

ขั้นตอนที่ 9 สรุปตารางการผลิตโดยลำดับงานเริ่มจากงานในเซต $FS = \{J_{1,1}, J_{3,2}, J_{4,3}\}$ ต่อด้วยงานในเซต $TS = \{J_{2,4}, J_{5,5}\}$

จากการจัดตารางการผลิตโดยใช้ฮิวริสติก NWT มีงานล่าช้าเท่ากับ 2 งาน สรุปเป็นตารางการผลิตได้ดังภาพที่ 4



Order Based Crossover) ซึ่งถูกเสนอแนะโดย [30] ว่าเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการจัดลำดับงาน และใช้การกลายพันธุ์แบบแลกเปลี่ยน (Swapping Mutation) เงื่อนไขการหยุด (Stopping Criteria) ได้แก่ คำตอบของการประมวลผล 100 รุ่นที่ต่อเนื่องกันไม่ถูกปรับปรุง หรือประมวลผลครบ 1000 รุ่น ทั้งนี้ ฮิวริสติกและกระบวนการเชิงพันธุกรรม ถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรม MATLAB R2021a ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ถูกเขียนบน GAMs Studio ทั้งสามกระบวนการหาคำตอบถูกประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU@2.50GHz RAM 8.00 GB

การทดลองมีตัวแปรนำเข้าแสดงดัง ตารางที่ 2 โดย เวลาการผลิตชิ้นส่วนและเวลาการประกอบชิ้นส่วนเข้า ด้วยกันถูกกำหนดมาจากเลขสุ่มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 ซึ่งอ้างอิงจาก [6], [13] และเป็นการแจกแจงแบบเอกรูป เพื่อให้ครอบคลุมเวลาการทำงานของการผลิตที่หลากหลาย ทั้งนี้วันกำหนดส่งมาจากแนวคิดที่ว่าไม่ว่างานใดๆ จะถูก

กำหนดอยู่ลำดับใดบนตารางการผลิต ตั้งแต่ลำดับแรกจน ลำดับสุดท้าย งานนั้นมีโอกาสจะถูกผลิตเสร็จทันกำหนดส่งงาน การทดลองสนใจปัจจัยจำนวนงาน (3 ระดับ) จำนวนเครื่องจักร (2 ระดับ) จากระดับของปัจจัยสามารถสร้างกลุ่มปัญหาทดสอบได้ 6 กลุ่ม (6 Combinations) และทำการประมวลผลกลุ่มปัญหาละ 5 การทำซ้ำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตัวแปรนำเข้าสำหรับสร้างปัญหาทดสอบ

ตัวแปรนำเข้า	การกำหนดค่า
จำนวนงาน (n)	5,8,10
จำนวนเครื่องจักร (m)	3,5
เวลาการผลิต (P_{ik})	Discrete Uniform [1,10]
เวลาการประกอบ (As_i)	Discrete Uniform [1,10]
วันกำหนดส่งงาน (d_i)	Discrete uniform [$\max_k(P_{ik} + As_i), (\sum_i \sum_k P_{ik} / m) + \sum_i As_i$]

ตารางที่ 3 ผลการทดลองของ 6 กลุ่มปัญหาทดสอบ

	Group1 ($m=3, n=5$)				Group2 ($m=5, n=5$)				Group3 ($m=3, n=8$)				Group4 ($m=5, n=8$)				Group5 ($m=3, n=10$)				Group6 ($m=5, n=10$)			
	Nwta		Ga		Nwta		Ga		Nwta		Ga		Nwta		Ga		Nwta		Ga		Nwta		Ga	
	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D	Gap ^C	U ^D
	0	2	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	2	3	0	1	0	1
	0	1	0	1	0	2	0	2	0	2	0	2	0	1	0	1	0	2	0	2	0	1	1	2
	0	1	0	1	0	3	0	3	0	1	0	1	0	2	0	2	0	1	1	2	0	2	0	2
	0	1	0	1	0	2	0	2	0	3	0	3	1	2	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2
	0	2	0	2	0	1	0	1	0	2	1	3	0	2	1	3	0	1	1	2	1	3	1	3
Average	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.2	-	0.8	-	0.2	-	0.6	-
Number of OPT found	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5	-	4	-	4	-	4	-	4	-	2	-	4	-	2
CPU time (Sec)	Heuristic ^E (GA ^E)		0.017		0.026		0.037		0.028		0.03		0.036		0.041		0.034		0.032		0.035		0.054	
	Math Model ^F		0.166		0.49		13.3		14.78		1377.99		6163.22											

^C ผลต่างระหว่างคำตอบที่ได้จากฮิวริสติก Nwta (หรือ Ga) และตัวแบบทางคณิตศาสตร์, ^D จำนวนงานล่าช้าที่ได้จากฮิวริสติก Nwta (หรือ Ga),

^E เวลาการประมวลผลโดยเฉลี่ยในหน่วย วินาที ของฮิวริสติก Nwta (หรือ Ga), ^F เวลาการประมวลผลโดยเฉลี่ยในหน่วย วินาที ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์

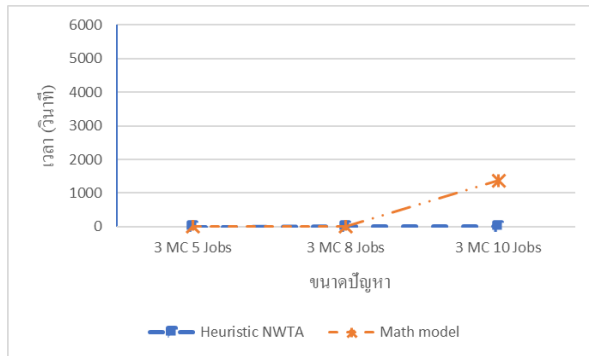
จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์จากฮิวริสติก Nwta เปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดคือ 0.2 ในกลุ่มปัญหาที่ 4 กลุ่มปัญหาที่ 5 และกลุ่มปัญหาที่ 6 ทั้งสามกลุ่มพบคำตอบที่ดีที่สุด 4 จาก 5 ปัญหาทดสอบ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาการหาคำตอบจากฮิวริสติกที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ Ga พบว่า ฮิวริสติก Nwta ให้คำตอบที่ดีกว่า โดยเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้น Ga มีจำนวนปัญหาที่พบคำตอบเทียบเท่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์น้อยลง กลุ่มปัญหาที่ 3 และ 4 พบคำตอบที่ดีที่สุด 4 จาก 5

ปัญหาทดสอบ โดยกลุ่มปัญหาที่ 5 และ 6 แต่ละกลุ่มพบเจอคำตอบเทียบเท่ากับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ 2 จาก 5 ปัญหาทดสอบ ค่าเฉลี่ยความแตกต่างมากที่สุดระหว่างผลลัพธ์จาก Ga เปรียบเทียบกับคำตอบจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ คือ 0.8

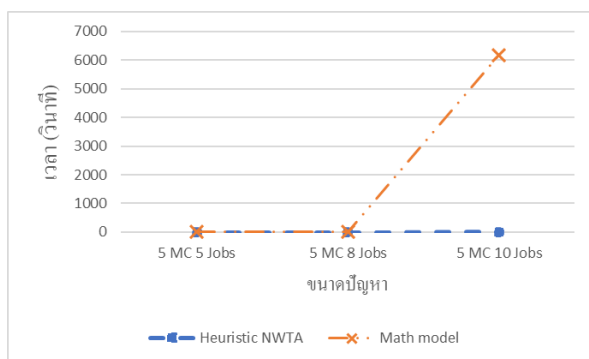
เมื่อพิจารณาเวลาประมวลผลเฉลี่ยของฮิวริสติก Nwta และ Ga มีค่าน้อยตั้งแต่ปัญหาขนาดเล็กจนเมื่อขนาดปัญหาใหญ่ขึ้น แต่ตัวแบบทางคณิตศาสตร์มีเวลาการประมวลผลที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้จำกัดเวลาการประมวลผลของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ คือ 10800 วินาที ซึ่งจากตารางที่ 3 พบว่าในกลุ่มปัญหาที่ 6 ซึ่งมีขนาดปัญหาใหญ่สุดมีเวลาการประมวลผลเฉลี่ยของตัวแบบคณิตศาสตร์นานที่สุด

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการหาตารางการผลิตสำหรับปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวนงานหรือเครื่องจักรไม่มาก ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เหมาะสำหรับการ



ภาพที่ 5 เวลาการประมวลผลกรณีเครื่องจักร 3 เครื่อง



ภาพที่ 6 เวลาการประมวลผลกรณีเครื่องจักร 5 เครื่อง

ใช้หาคำตอบ แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นฮิวริสติก NWTa เหมาะกับการใช้หาคำตอบทั้งในด้านคุณภาพของคำตอบและเวลาการประมวลผล ทั้งนี้สามารถพิจารณาการเพิ่มขึ้นของเวลาประมวลผลเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้นจากกราฟในภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในกลุ่มปัญหาที่มีขนาดเล็กเวลาการประมวลผลของฮิวริสติก NWTa ใกล้เคียงกับเวลาการประมวลผลหาคำตอบจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ นั่นหมายถึงประสิทธิภาพด้านความเร็วในการหาคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ยังคงมีประสิทธิภาพที่ดี แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นฮิวริสติก NWTa จะให้คำตอบที่เหมาะสมในเวลาการประมวลผลที่สั้นกว่าการหาคำตอบจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาการลดจำนวนงานล่าช้าสำหรับปัญหาการจัดตารางการประกอบที่มีงาน n งาน แต่ละงานมีชิ้นส่วนประกอบ m ชิ้น ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ถูกสร้างขึ้นเพื่อแสดงถึงคุณลักษณะของปัญหาและหาคำตอบที่ดีที่สุด งานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาระบบการทางฮิวริสติกซึ่งถูกให้ชื่อว่า ฮิวริสติก NWTa ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของกฎการจัดลำดับงาน และแนวคิดของอัลกอริทึมมัวร์-ฮอดจ์สัน ฮิวริสติกที่นำเสนอมีขั้นตอนการทำงานที่ส่งผลกระทบต่อตารางการผลิตขาดประสิทธิภาพ แต่ก่อนที่จะตัดสินใจว่างานนั้นควรถูกจัดเป็นงานล่าช้าในระบบการผลิตหรือไม่ จะมีการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของงานใหม่ โดยคาดหวังว่าตารางการผลิตจะถูกปรับปรุงตามวัตถุประสงค์ ก่อนที่จะตัดสินใจกำหนดงานนั้นให้อยู่ในลำดับท้ายของตารางการผลิต

หลังจากพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์และฮิวริสติก NWTa แล้ว จึงทำการจัดตั้งปัญหาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการฮิวริสติก โดยการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกกับคำตอบที่ดีที่สุดจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และคำตอบที่ได้จาก GA จากผลการทดลอง ทั้งหมด 30 ปัญหาพบว่าค่าเฉลี่ยมากที่สุดของความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์จากฮิวริสติกเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด คือ 0.2 ส่วนกระบวนการ GA พบจำนวนปัญหาที่ให้คำตอบเท่ากับตัวแบบทางคณิตศาสตร์น้อยลงเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้น และประสิทธิภาพการหาคำตอบยังดีกว่าฮิวริสติก NWTa ทั้งนี้เวลาประมวลผลโดยเฉลี่ยของฮิวริสติก NWTa กระบวนการ GA มีค่าน้อยตั้งแต่กลุ่มปัญหาขนาดเล็กถึงกลุ่มปัญหาขนาดใหญ่ ส่วนตัวแบบทางคณิตศาสตร์ใช้เวลาการประมวลผลที่ยาวนานขึ้นเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้น

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าปัญหาที่มีขนาดเล็ก เวลาการประมวลผลของตัวแบบทางคณิตศาสตร์แตกต่างจากฮิวริสติกและกระบวนการเชิงพันธุกรรมเล็กน้อยแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นจะเห็นได้ว่าเวลาในการประมวลผลของตัวแบบทางคณิตศาสตร์นั้นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนกระบวนการเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพการหาคำตอบที่ไม่ดี ดังนั้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ฮิวริสติก NWTa เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการหา

คำตอบที่เหมาะสมภายในระยะเวลาประมวลผลที่สมเหตุสมผล

7. ข้อเสนอแนะและสิ่งที่สนใจจะวิจัยต่อในอนาคต

จากการศึกษาพบว่าการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการหาคำตอบมีระยะเวลาการประมวลผลนานเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่วิธีการฮิวริสติกมีระยะเวลาในการประมวลผลที่เร็วกว่า และมีประสิทธิภาพการหาคำตอบที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชิงพันธุกรรม การนำฮิวริสติกที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้หาคำตอบสามารถช่วยลดเวลาในการจัดตารางการผลิตให้น้อยลงและได้คำตอบที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามจากการทดสอบประสิทธิภาพพบว่ากระบวนการฮิวริสติกยังไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในทุกปัญหาทดสอบ และหากพิจารณาเวลาการประมวลผลที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของตัวแบบทางคณิตศาสตร์หากปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ตัวแบบทางคณิตศาสตร์จึงมีแนวโน้มที่จะไม่สามารถหาคำตอบในเวลาที่ยอมรับได้หากปัญหามีขนาดใหญ่มาก จากผลการทดลองจึงพบประเด็นที่น่าสนใจและพัฒนาต่อ คือ

1) การพัฒนากระบวนการฮิวริสติกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น หรือการสร้างกระบวนการหาคำตอบร่วมกับกระบวนการเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการเชิงพันธุกรรมแบบผสม (Hybrid Genetic Algorithm) เพื่อให้สามารถพบจำนวนปัญหาที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Number of OPT found) เพิ่มขึ้น

2) การทดสอบประสิทธิภาพกระบวนการหาคำตอบในงานวิจัยนี้ค่อยๆ เพิ่มขนาดปัญหาไปเรื่อยๆ จนพบว่ามีบางปัญหา ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ใช้เวลาประมวลผลถึงขีดจำกัดที่กำหนด จึงกำหนดเป็นขนาดของปัญหาที่ใหญ่ที่สุดในงานวิจัย ดังนั้นการทดลองประมวลผลสำหรับขนาดของปัญหาที่ใหญ่ขึ้นกว่าปัญหาที่ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้ เพื่อหาขีดความสามารถของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจศึกษา

3) นำฮิวริสติกที่ได้พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการหาคำตอบจากวิธีการหาคำตอบแบบอื่นๆ เช่น PSO, DE, TS เป็นต้น

4) การเพิ่มสภาวะของปัญหาที่เป็นอีกหนึ่งประเด็นที่น่าสนใจ เช่น การเพิ่มขีดจำกัดของสถานีประกอบ ภายใต้

ข้อจำกัดของจำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนคนงานซึ่งมีหน้าที่ประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน

สี่ประเด็นที่น่าสนใจข้างต้นเป็นการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและหาขีดจำกัดของกระบวนการหาคำตอบ อีกทั้งการเพิ่มความซับซ้อนของปัญหา ยังเป็นการเพิ่มขอบเขตการนำไปใช้งานในสถานการณ์การทำงานที่หลากหลายมากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าศึกษาและวิจัยต่อในอนาคต

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. M. Morton, and D. W. Pentico, *Heuristic Scheduling System with Applications to Production System and Project Management*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1993.
- [2] J. M. Moore, "An n job, one machine sequencing algorithm for minimizing the number of late Jobs," *Management Science.*, vol.15, no.1, pp.102–109. 1968.
- [3] J. Cheriyan, R. Ravi, and M. Skutella, "A simple proof of the Moore-Hodgson Algorithm for minimizing the number of late jobs," *Operation Research Letters.*, vol.49, pp. 842-843. 2021.
- [4] J. Y. Lee and Y. D. Kim, "Minimizing the number of tardy jobs in a single-machine scheduling problem with periodic maintenance," *Computer & Operations Research.*, vol. 39, pp. 2196-2205. 2021.
- [5] E. Molaei and G. Moslehi, "Minimizing the number of tardy jobs on a single machine with an availability constraint," *Journal of Industrial Engineering.*, vol.14, pp. 1-13. 2014.
- [6] W. J. Chen, "Minimizing number of tardy jobs on a single machine subject to periodic maintenance," *Omega.*, vol. 37, no. 3, pp. 591–599, 2009.
- [7] A. Aydileka, H. Aydilek, and A. Allahverdi, "Algorithms for minimizing the number of tardy jobs for reducing production cost with uncertain

- processing times,” *Applied Mathematical Modelling.*, vol. 45, pp. 982 – 996, 2017.
- [8] F. Ganji, and A. Jamali, “Minimizing the number of tardy jobs on single machine scheduling with flexible maintenance Time”, *Journal of Algorithms and Computation.*, vol. 50, no. 2, pp. 103 -119. 2018.
- [9] F. D. Croce, N. D. Gupta, and R. Tadei, “Minimizing tardy jobs in flow shop with common due date,” *European Journal of Operational Research.*, vol. 120, pp. 375-381. 2000.
- [10] A. J. Ruiz-Torres, F. J. Lo’pez, J. C. Ho, “Scheduling uniform parallel machines subject to a secondary resource to minimize the number of tardy jobs,” *European Journal of Operational Research.*, vol.179, pp. 302–315. 2007.
- [11] A. Najat, C. Yuan., S. Gursel., and Y. Tao, “Minimizing the Number of Tardy Jobs on Identical Parallel Machines Subject to Periodic Maintenance,” in *Proceeding of 29th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2019)*, Limerick, Ireland, June 24-28, 2019, pp. 1409-1416.
- [12] F. S. Al-Anzi and A. Allahverdi, “Heuristics for a two-stage assembly flowshop with bicriteria of maximum lateness and makespan,” *Computers & Operations Research.*, vol. 36, No. 9, pp. 2682-2689. 2009.
- [13] D. Terekhov, M. K. Dogru, U. Özen, and J. Christopher Beck, “Solving two-machine assembly scheduling problems with inventory constraints,” *Computers & Industrial Engineering.*, vol.63 , pp.120-134, 2012.
- [14] A. Allahverdi, H. Aydilek, and A. Aydilek, “Two-stage assembly scheduling problem for minimizing total tardiness with setup times,” *Applied Mathematical Modelling.*, vol. 40, pp. 7796-7815, 2016.
- [15] J. M. Framinan and P. Perez-Gonzalez,” The 2-stage assembly flowshop scheduling problem with total completion time: efficient constructive heuristic and metaheuristic,” *Computers and Operations Research.*, vol. 88, pp. 237-246, 2017.
- [16] A. Tozkapan, Ö. Kirca, and C. S. Chung, “A branch and bound algorithm to minimize the total weighted flowtime for the two-stage assembly scheduling problem,” *Computer and Operation Research.*, vol.30, no. 2, 309–320. 2003.
- [17] F. S. Al-Anzi and A. Allahverdi, “A hybrid tabu search heuristic for the two-stage assembly scheduling problem,” *International Journal of Operations Research.*, vol. 3, no. 2, pp. 109–119. 2006.
- [18] F. S. Al-Anzi and A. Allahverdi, “An artificial immune system heuristic for two-stage multi-machine assembly scheduling problem to minimize total completion time,” *Journal of Manufacturing System.*, vol. 32, no. 4, pp. 825–830. 2013.
- [19] H. Kazemi, M. M. Mazdeh, and M. Rostami. “The two stage assembly flow-shop scheduling problem with batching and delivery,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 63 , pp. 98-107, 2017.
- [20] S. A. Basir, M. M. Mazdeh, and M. Namakshenas, “Bi-level genetic algorithms for a two-stage assembly flow-shop scheduling problem with batch delivery system,” *Computers & Industrial Engineering.*, vol.126, pp. 217-231, 2018.
- [21] I. S. Lee, “Minimizing total completion time in the assembly scheduling problem,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence.*, vol.122, pp. 211-218, 2018.

- [22] H. Ochia and O. B. Drissb, "Scheduling the distributed assembly flowshop problem to minimize the makespan," *Procedia Computer Science.*, vol.164, pp.471-477, 2019.
- [23] S. Hatami, R. Ruiz, and C. Andres-Romano, "The distributed assembly permutation flowshop scheduling problem," *International Journal of Production Research.*, vol. 51, no. 17, pp. 5292-5308, 2013.
- [24] C. N. Potts, S. V. Sevast'janov, V. A. Strusevich, LN. Van Wassenhove, and CM. Zwaneveld, "The two-stage assembly scheduling problem: complexity and approximation," *Operations Research.*, vol.43, no.2, pp. 346-355, 1995.
- [25] C. Y. Lee, T. C. E. Cheng, B. T. M. Lin, "Minimizing the makespan in the 3-machine assembly-type flowshop scheduling problem," *Management Science.*, vol.39, pp.616-625, 1993.
- [26] A. Allahverdi, F. S. Al-Anzi, "Evolutionary heuristics and an algorithm for the two-stage assembly scheduling problem to minimize makespan with setup times," *International Journal of Production Research.*, vol.44, pp.4713-4735, 2006.
- [27] M. Pinedo, "SCHEDULING: Theory, Algorithms, and Systems," 4th edition. Prentice Hall, New Jersey, 2012.
- [28] K. R. Baker and D. Trietsch, *Principles of Sequencing and Scheduling*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- [29] A. Chaimanee and W. Supithak "A memetic algorithm to minimize the total sum of earliness tardiness and sequence dependent setup costs for flow shop scheduling problems with job distinct due windows," *Songklanakarin Journal of Science and Technology.*, vol. 40, no. 5, pp.1203 1218, 2018.
- [30] C. Y. Lee and J. Y. Choi, "A genetic algorithm for job sequencing problems with distinct due dates and general early-tardy penalty weights," *Computers and Operations Researches.*, vol.22, no. 8, pp.857-869, 1995.

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดลำปาง

ปณิจิตา นรเศรษฐ์ปัญญา¹, กศิตา จิตตสำเร็จ² และวุฒิพล สิ้นฐานาวรัตน์³

สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

99 หมู่ 18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

Received: 31 January 2022; Revised: 21 March 2022; Accepted: 6 May 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะพื้นที่และความเหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในจังหวัดลำปาง และคิดค้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตและกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน ผลการศึกษาสรุปได้ว่า การคัดเลือกอ่างเก็บน้ำสำหรับการวิเคราะห์ความเหมาะสมการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำโดยนำวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ (Exponential smoothing Holt-Winter method) มาทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำล้นหน้า 3 ปี ของอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง 29 แห่ง พบว่ามีอ่างเก็บน้ำจำนวน 17 แห่งที่สามารถจัดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดกลางและสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้ คิดเป็นร้อยละ 58.62 ของจำนวนอ่างเก็บน้ำทั้งหมด จากนั้นเมื่อนำอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมมาคัดเลือกประเภทกังหัน พบว่าสามารถเลือกใช้กังหันได้ 2 ประเภท ได้แก่ กังหันน้ำแรงสuction Kaplan จำนวน 13 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 76.47 ของอ่างเก็บน้ำทั้งหมดที่สามารถจัดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดกลาง และกังหันน้ำแรงกระแทก Crossflow จำนวน 4 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 23.53 ของอ่างเก็บน้ำทั้งหมดที่สามารถจัดตั้งโรงไฟฟ้าขนาดกลาง เมื่อนำข้อมูลข้างต้นมาใช้ในการวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนโดยอาศัยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-integer linear programming) พบว่ามีพื้นที่ที่เหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแม่ทาก อ่างเก็บน้ำแม่ตำ และอ่างเก็บน้ำแม่วะ โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ชุมชนบ้านหลาย 21.21 กิโลวัตต์, ชุมชนสบแม่ท่า 301.04 กิโลวัตต์ และชุมชนหัวทุ่ง 297.15 กิโลวัตต์ ตามลำดับ จากผลการศึกษาดังกล่าวเป็นเพียงการนำเสนอวิธีการเชิงปริมาณเพื่อประเมินการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ อย่างไรก็ตามในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำยังต้องมีการศึกษาปัจจัยด้านอื่น ๆ ในเชิงคุณภาพควบคู่กันเพื่อเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจขั้นสุดท้าย

คำสำคัญ: อ่างเก็บน้ำขนาดกลาง, เครื่องกังหันน้ำ, วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์, ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นแบบผสม

* Corresponding author. E-mail: wutiphol@mathstat.sci.tu.ac.th

^{1,2,3} สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

Efficiency Analysis of Hydroelectric Power Plant Establishment for Medium Reservoirs: A Case Study of Lampang Province

Pandhita Norasretpanya¹, Kasita jittasamroeng² and Wutiphol Sintunavarat³

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,
Thammasat University Rangsit Campus,
99 Moo 18, Klong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand

Received: 31 January 2022; Revised: 21 March 2022; Accepted: 6 May 2022

Abstract

The purpose of this research is to study the characteristics and suitability for the establishment of medium-sized hydroelectric power plants in Lampang province and invent a mathematical model for planning the production and distribution of electricity to the community. The obtained results of this research conclude that the selection of reservoirs for the feasibility analysis of hydropower plant establishments by using the Exponential smoothing Holt-Winter method to forecast water volumes three years in advance of 29 medium-sized reservoirs found that 17 reservoirs were able to establish medium-sized power plants and could be analyzed further, which is 58.62% of the total number of reservoirs. Afterward, a suitable turbine type was chosen based on the appropriate reservoirs. It was found that two types of turbines could be used: 13 Kaplan reflex hydro turbines, representing 76.47 percent of all reservoirs capable of establishing medium-sized power plants, and 4 Crossflow impact hydro turbines, representing 23.53 percent of all reservoirs capable of establishing medium-sized power plants. The above information was applied in planning the production and distribution of electricity to communities through a mixed-integer linear programming model. The presented model found that there are three suitable areas for the establishment of hydroelectric power plants, including Mae Tok reservoir, Mae Tam reservoir, and Mae Wa reservoir. In addition, each reservoir distributes electric power to Ban Lai community of 21.21 KW, to Sop Mae Tam community of 301.04 KW, and Hua Thung community of 297.15 KW, respectively. According to the results of this research It is merely a quantitative approach to assess the establishment of hydroelectric power plants. However, in establishing a hydroelectric power plant, other qualitative factors need to be studied in parallel as a final decision component.

Keywords: medium sized reservoir, hydro turbine, exponential smoothing Holt-Winter method, mixed-integer linear programming model

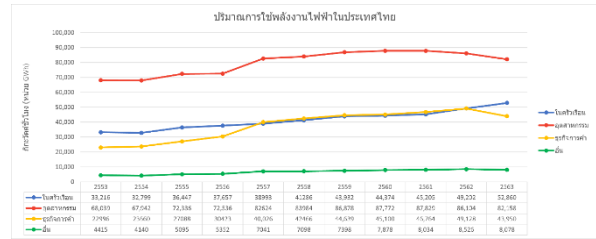
* Corresponding author. E-mail: wutiphol@mathstat.sci.tu.ac.th

^{1,2,3} Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University Rangsit Campus 12120, Thailand

1. บทนำ

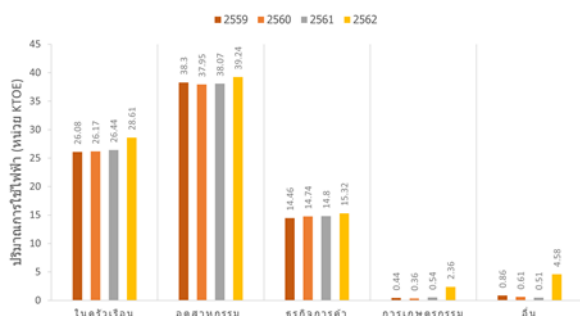
ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าถือเป็นพลังงานที่เป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อน เศรษฐกิจ การใช้ชีวิตของประชาชน ในภาคครัวเรือน การบริโภคในภาคธุรกิจ การท่องเที่ยว และกิจกรรมอื่น ๆ อีกมากมายที่ต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีการคาดการณ์ว่าในอนาคตข้างหน้าจะมีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อย ๆ เพื่อรองรับการเติบโต การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และสิ่งอื่น ๆ ที่มาจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว

การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณ 15,970 ktoe ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละภาคเศรษฐกิจในปี พ.ศ. 2563 พบว่า โดยรวมมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นประกอบด้วย การใช้พลังงานในภาคเกษตรกรรม มีปริมาณ 39.91 ktoe ภาคอุตสาหกรรม มีปริมาณ 9,054.80 ktoe ภาคครัวเรือน มีปริมาณ 4,197.32 ktoe ภาคธุรกิจการค้า มีปริมาณ 2,546.09 ktoe ภาคขนส่ง มีปริมาณ 11.63 ktoe และภาคอื่น ๆ มีปริมาณ 120.70 ktoe ทั้งนี้ภาคเศรษฐกิจที่เป็นการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายมากที่สุด คือ ภาคอุตสาหกรรม คิดเป็นร้อยละ 56.70 รองลงมาเป็นการใช้ในภาคครัวเรือน ภาคธุรกิจการค้า ภาคเกษตรกรรม ภาคอื่น ๆ และภาคการขนส่ง ร้อยละ 26.28, 15.94, 0.76, 0.25 และ 0.07 ตามลำดับ (ดูรูปที่ 1 ประกอบ) และจากข้อมูลกระทรวงพลังงานพบว่าในปี พ.ศ. 2561 ประเทศไทยมีการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองภายในหน่วยงานรัฐบาล หรือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) อยู่ที่ 35.13% โดยสัดส่วนที่เหลืออีก 64.87% รับมาจากหน่วยงานภาคเอกชน ซึ่งแบ่งเป็นซื้อจากประเทศลาว 12.55% เอกชนรายใหญ่ 32.78 % และเอกชนรายเล็ก 20.84% (อ้างอิงจาก [1])



รูปที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยแยกตามภาคเศรษฐกิจตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – พ.ศ. 2563

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงมาก โดยการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ภายในประเทศเป็นการผลิตไฟฟ้าจากทรัพยากรธรรมชาติ อาทิ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นทรัพยากรใช้แล้วหมดไป และก่อปัญหาในเรื่องของการก่อมลพิษ ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญในการนำพลังงานทดแทน หรือไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียนด้านพลังงานน้ำมาศึกษาในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลาง เพื่อลดปัญหาการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป และเป็นการพัฒนาอย่างยั่งยืน สามารถเข้าถึงแหล่งผู้ใช้ พื้นที่ชุมชนที่อยู่ห่างไกลเนื่องจากไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ดังนั้น คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่กล่าวข้างต้น โดยเลือกพื้นที่ในจังหวัดลำปาง เนื่องจากเป็นพื้นที่ทางภาคเหนือที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดกลางจำนวนมากเหมาะสำหรับทำการศึกษาวิเคราะห์การจัดตั้งโรงงานไฟฟ้า พร้อมกันนี้ทางคณะผู้จัดทำจะคิดค้นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-integer linear programming) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนการกระจายกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงงานไฟฟ้าพลังงานน้ำให้ทุกพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อรองรับต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าในจังหวัดลำปางที่เพิ่มมากขึ้น ดังข้อมูลในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายสาขาจังหวัดลำปาง ปี พ.ศ. 2559 - พ.ศ. 2562

2. การทบทวนวรรณกรรม

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในพื้นที่จังหวัดลำปาง ได้ทำการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

2.1. โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ

งานวิจัยเกี่ยวกับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมีจำนวนมาก แต่มีงานวิจัยส่วนน้อยที่มีการดำเนินการเกี่ยวกับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยหลัก 3 เรื่องที่มีความสอดคล้องกับแผนการดำเนินงานของบทความวิจัยฉบับนี้

ในปี พ.ศ. 2553 อีลิเย่ สนิโซ [2] ศึกษาการออกแบบติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำและทดสอบระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งเสนอแนวทางการเลือกใช้กังหันผลิตไฟฟ้าแบบคอปยาว (Kaplan hydro turbine) ที่สามารถใช้กับลำธารที่มีความสูงของหัวน้ำต่ำมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ และแบ่งการปล่อยน้ำออกเป็น 3 รูปแบบ คือ 1) ปล่อยน้ำในปริมาณ 30% (ปริมาณหนึ่งในสามของท่อ) 2) ปล่อยน้ำในปริมาณ 50% (ปริมาณหนึ่งในสองของท่อ) 3) ปล่อยน้ำในปริมาณ 100% (เต็มท่อ) เพื่อทำการวัดแรงเคลื่อนและความถี่ไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ดิจิทัล (Digital multimeter) ต่อมาในปี พ.ศ. 2555 ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [3] ได้ศึกษาการประเมินศักยภาพพลังงานน้ำขนาดเล็กประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก คือ 1) กำลังไฟฟ้าที่ได้จากน้ำตก (หน่วยเป็น

วัตต์) และ 2) พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตได้ (หน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) สามารถคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้จากข้อมูลด้านแหล่งน้ำประกอบด้วยอัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) และความสูงของน้ำ (Head) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านอื่น ๆ ที่มีความสำคัญและความจำเป็นที่นำมาพิจารณาในการประเมินศักยภาพของพลังงานน้ำเช่น ปริมาณความต้องการใช้ในปัจจุบันและในอนาคตของผู้ใช้น้ำบริเวณลุ่มน้ำและปริมาณน้ำไหลต่ำสุดที่ต้องคงไว้, ข้อมูลด้านอุทกธรณีวิทยาและลักษณะพื้นที่, การวิเคราะห์ผลกระทบของโครงการต่อสภาพแวดล้อม เป็นต้น และในปี พ.ศ. 2560 ศร วงศ์ชัย วันนะสด และ เกียรติยุทธ กวีญาณ [4] ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กที่สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวจากสถานีวัดน้ำ 4 สถานี เพื่อหาพลังงานไฟฟ้าต่อปีและวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการสร้างโครงการ ซึ่งจะพิจารณากังหัน 3 แบบ ได้แก่ ฟรานซิส (Francis) เพนตัน (Pelton) และคาปาลาน (Kaplan) โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาอัตราการไหลของลำน้ำ

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการศึกษาด้านการสร้างและพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำด้วยกังหันน้ำขนาดเล็ก คณะผู้จัดทำจึงนำเรื่องการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ อัตราการไหลออกแบบ ประสิทธิภาพการทำงานของกังหันน้ำ และการหาลำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานน้ำมาปรับใช้ในการคำนวณกำลังการผลิตและคัดเลือกประเภทของกังหันที่เหมาะสม

2.2. วิธีการพยากรณ์

การพยากรณ์เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งช่วยในการนำข้อมูลในอดีตมาทำนายการเกิดเหตุการณ์ในอนาคตได้อย่างแม่นยำ โดยวิธีการพยากรณ์มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีความเหมาะสมกับประเภทข้อมูลที่แตกต่างกัน คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยยกตัวอย่างการศึกษาจำนวน 3 เรื่อง ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2543 จักรกฤษ กิตตินากุล [5] ศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ข้อมูลตามฤดูกาลโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins technique) และวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเตอร์ (Exponential smoothing Holt-Winter method) ซึ่งใช้ข้อมูลอนุกรม

เวลาที่มีฤดูกาลในการวิเคราะห์ คือ ปริมาณน้ำฝนจังหวัดเชียงใหม่ และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error : MSE) ผลการศึกษาพบว่าวิธีปรับให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเตอร์มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีบอกซ์-เจนกินส์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2558 วราจกนา กิรติวิบูลย์ [6] ศึกษาปริมาณน้ำฝนในอดีตของอำเภอเมือง จังหวัดน่าน โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนได้แก่ วิธีของบอกซ์-เจนกินส์ วิธีปรับให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเตอร์ และวิธีพยากรณ์รวม ซึ่งผลการวิจัยพบว่าวิธีพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมกับข้อมูล คือ วิธีการพยากรณ์รวม และในปี พ.ศ. 2560 ชมปานตา และ ยุภาวดี สารัญฤทธิ์ [7] ศึกษาปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ และเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ 3 วิธี ได้แก่ วิธีแยกส่วนประกอบ วิธีทำให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเตอร์แบบคูณและวิธีของบอกซ์-เจนกินส์ ซึ่งพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ผลการวิจัยสรุปผลได้ว่าวิธีปรับให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเตอร์แบบคูณเป็นวิธีที่เหมาะสมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนมากที่สุด รองลงมาคือวิธีบอกซ์-เจนกินส์

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมา เป็นการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนโดยเปรียบเทียบวิธีการทางพยากรณ์หลายตัวแบบเพื่อหาตัวแบบที่ให้ค่าพยากรณ์ที่ดีที่สุด ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าคณะผู้จัดทำไม่สามารถหาวิธีการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำได้โดยตรง ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีปรับให้เรียบของเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเตอร์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ค่าพยากรณ์ได้แม่นยำกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยจะใช้วิธีการดังกล่าวในการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดกลางเพื่อใช้ในการตัดสินใจจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำในพื้นที่จังหวัดลำปางและนำปริมาณน้ำที่ได้จากการพยากรณ์ไปใช้ในการคำนวณกำลังการผลิตและประเภทของกังหันน้ำที่เหมาะสมต่อไป

2.3. การหาตำแหน่งที่ตั้งและการขนส่ง

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนและกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน จึงมีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ

การหาตำแหน่งที่ตั้งและการขนส่ง สำหรับนำมาปรับใช้ในการสร้างตัวแบบตามวัตถุประสงค์ โดยคณะผู้จัดทำได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2557 ปรุฬห์ มะยะเฉียว [8] ทำการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโดยมุ่งเน้นอธิบายลักษณะของปัญหาต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่าการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งต้องพิจารณาถึงปัจจัยและทรัพยากรการผลิต ในลำดับต่อมาจะเป็นงานวิจัยที่นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming model) ในการดำเนินธุรกิจและใช้ซอฟต์แวร์ในการหาผลเฉลย โดยในปี พ.ศ. 2560 เพชรายุทธ แซ่หลี่ และ อภิชัย ฤทธิวิรุฬห์ [9] ศึกษาการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบ ในการวางแผนแรงงานสำหรับการผลิตชิงตง เพื่อให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด โดยใช้ Open Solver ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ประเภท add-in ใน Microsoft Excel ในการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด และต่อมาในปี พ.ศ. 2563 วลัยลักษณ์ อัคริธวงศ์ และ สิวินีย์ ปงลังกา [10] ศึกษาการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าให้กับ บริษัทไพรสมิไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าไปให้ลูกค้าได้สะดวกและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น โดยใช้โปรแกรม LINGO ในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

จากงานวิจัยสามเรื่องดังกล่าวในส่วนสุดท้ายนี้ช่วยให้คณะผู้จัดทำเล็งเห็นวิธีการที่เหมาะสมในการนำประยุกต์ใช้สำหรับการวางแผนการผลิตและกระจายกระแสไฟฟ้าให้กับชุมชนรอบอ่างเก็บน้ำ โดยเลือกใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม ในการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้ Open Solver เป็นซอฟต์แวร์ในการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการของงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดเก็บข้อมูล การพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ การคำนวณกำลังการผลิตและประเภทของกังหัน และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1. การจัดเก็บข้อมูล

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลประเภททุติยภูมิจากแหล่งข้อมูล ดังต่อไปนี้

- 1) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าภาคครัวเรือนจำนวน 7 อำเภอ ได้แก่ ห้างฉัตร เถินเสริมงาม ลำปาง เกาะคา จาว และแม่ทะ
- 2) สำนักงานชลประทานที่ 2 จังหวัดลำปาง โดยเก็บข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2559 - ธันวาคม พ.ศ. 2563 พร้อมทั้งเก็บข้อมูลจำนวนและขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำ
- 3) Google map และ Google earth โดยเก็บข้อมูลด้านลักษณะพื้นที่ และเส้นทางการนำจ่ายกระแสไฟฟ้า
- 4) สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง โดยเก็บข้อมูลรายชื่อชุมชนและจำนวนครัวเรือน

3.2. พยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2559 - ธันวาคม พ.ศ. 2563 จำนวน 60 ชุด มาทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำล่วงหน้า 3 ปี เพื่อวิเคราะห์อ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ โดยใช้วิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์-วินเทอร์ หลังจากการคำนวณจะแบ่งค่าพยากรณ์ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 1) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้น้อยกว่า 0.50 ล้าน ลบ.ม.
 - 2) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้ตั้งแต่ 0.51 แต่ไม่เกิน 1.50 ล้าน ลบ.ม.
 - 3) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้มากกว่า 1.51 ล้าน ลบ.ม.
- ทั้งนี้กลุ่มที่สามารถนำไปคำนวณต่อในขั้นตอนต่อไป คือ กลุ่มที่ 2 และ 3 เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะทำให้เกิดความสูงของหัวน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมในการหมุนกังหันน้ำ

3.3. การพิจารณาประเภทของกังหันและคำนวณกำลังการผลิต

ในขั้นตอนนี้จะนำอ่างเก็บน้ำที่ผ่านเกณฑ์ในหัวข้อที่ 3.2 มาทำการคัดเลือกประเภทกังหันให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำโดยการเลือกชนิดของกังหันน้ำขึ้นอยู่กับระดับความสูงของ

หัวน้ำและความเร็วจำเพาะเป็นหลักซึ่งกังหันน้ำแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเร็วจำเพาะและระดับความสูงของหัวน้ำที่เหมาะสมกับกังหันน้ำแต่ละประเภท (อ้างอิงจาก [11])

ชนิดกังหันน้ำ	ความสูงของหัวน้ำ (m)	ความเร็วจำเพาะ (rpm)
Crossflow	1 - 30	20 - 200
Francis	14 - 450	30 - 400
Kaplan	1 - 70	200 - 1000
Pelton	มากกว่า 150	10 - 30

ข้อมูลความเร็วจำเพาะในตารางที่ 1 สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$S = \frac{n\sqrt{P}}{H^{1.25}}$$

โดย S แทน ความเร็วจำเพาะ

n แทน ประสิทธิภาพของกังหันน้ำ (%)

P แทน กำลังการผลิตไฟฟ้าของอ่างเก็บน้ำ (KW)

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$P = 9.81 \times H \times \text{อัตราการไหล (m/s)}$$

H แทน ความสูงของหัวน้ำของอ่างเก็บน้ำ (m)

จากนั้นเมื่อทราบกำลังการผลิตไฟฟ้าของอ่างเก็บน้ำจะสามารถหากำลังการผลิตไฟฟ้า w ได้ดังนี้

$$w = 0.5 \times P$$

3.4. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.1-3.3 ที่ผ่านมา จะทราบจำนวนอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ประเภทของกังหัน และกำลังการผลิตไฟฟ้า ในขั้นตอนนี้จึงเป็นการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับวางแผนการผลิตและกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนรอบอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ดัชนี (Indices)

i แทน โรงงานไฟฟ้า โดยที่ $i \in \{1,2,3,\dots,n\}$

j แทน ชุมชนในจังหวัดลำปาง โดยที่ $j \in \{1,2,3,\dots,m\}$

พารามิเตอร์ (Parameters)

E_j = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในชุมชน j

S_i = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้า i สามารถผลิตได้
ต่อหนึ่งกังหัน

D_{ij} = ระยะทางระหว่างโรงไฟฟ้า i ถึงชุมชน j

L_{ij} = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปจากระยะทาง

ระหว่างโรงไฟฟ้า i ถึงชุมชน j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อเลือกปล่อยกระแสไฟฟ้าจาก} \\ & \text{โรงงาน } i \text{ ไปชุมชน } j \\ 0 & \text{เมื่อไม่มีการปล่อยกระแสไฟฟ้าจาก} \\ & \text{โรงงาน } i \text{ ไปชุมชน } j \end{cases}$

Y_i = จำนวนกังหันที่ติดตั้งโรงไฟฟ้า i

ฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function)

การวางแผนการผลิตกระแสไฟฟ้าต้องการให้มีต้นทุนน้อยที่สุด จึงกำหนดวัตถุประสงค์ให้ผลรวมของจำนวนกังหันติดตั้งน้อยที่สุด เนื่องจากสมมติให้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกังหันมีราคาเท่ากันทุกประเภท ซึ่งทำให้ได้ฟังก์ชันจุดประสงค์ ดังนี้

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^n Y_i$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

ในการวางแผนผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าจะพิจารณาถึงเงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้

1) การจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ : ทุกพื้นที่ที่พิจารณาต้องมีการเลือกจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำอย่างน้อย 1 ที่ ดังข้อสมการที่ (1)

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (1)$$

2) จำนวนกังหันน้ำ : เนื่องจากพื้นที่ในการสร้างโรงไฟฟ้ามีขนาดจำกัดจึงสามารถติดตั้งกังหันน้ำในแต่ละโรงไฟฟ้าได้ไม่เกิน 4 เครื่อง ดังข้อสมการที่ (2)

$$Y_i \leq 4 \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (2)$$

3) การจำหน่ายกระแสไฟฟ้า : ผลรวมของความต้องการปริมาณไฟฟ้าและปริมาณไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปจากระยะทางการจำหน่ายของชุมชนที่มีการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจะต้องไม่เกินปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (ต่อกังหัน) กับจำนวนกังหันติดตั้ง ณ โรงไฟฟ้าที่จัดตั้ง ดังข้อสมการที่ (3)

$$\sum_{j=1}^m (E_j + L_{ij}) X_{ij} \leq S_i \times Y_i \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (3)$$

โดยปริมาณไฟฟ้าที่จะสูญเสียไปจากระยะทาง (L_{ij}) คำนวณได้จากแรงดันตกคร่อมสายไฟ (Voltage Dropped : V_d) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งกระแสไฟฟ้า เพราะหากระยะทางมากแรงดันไฟฟ้าภายในสายไฟจะตกลงจนไม่สามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ จึงต้องมีการคำนวณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการจัดส่งไปยังพื้นที่ต่าง ๆ โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณแรงดันตกคร่อมไฟฟ้า ดังนี้

$$V_d = I \times R$$

โดยที่ V_d แทน แรงดันตกคร่อมสายไฟ มีหน่วยเป็น โวลต์

I แทน กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็น

แอมแปร์

R แทน ความต้านทาน มีหน่วยเป็น โอห์ม

ซึ่ง I และ R หาได้จากสูตร ดังนี้

$$I = \frac{P}{V}$$

$$R = 5.88 \times \text{ระยะทาง (กิโลเมตร)} \times \text{จำนวนสายไฟ}$$

เมื่อ P แทน กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น วัตต์

V แทน ความต่างศักย์ มีหน่วยเป็น โวลต์

4) ระยะทางการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า : การจำหน่ายกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่มีการเลือกให้ส่งกระแสไฟฟ้าไปยังชุมชนจะต้องไม่เกินระยะทาง 5 กิโลเมตร ดังข้อสมการที่ (4)

$$D_{ij} \times X_{ij} \leq 5 \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (4)$$

$$\forall j \in \{1,2,3,\dots,m\},$$

5) เงื่อนไขบังคับของตัวแปรตัดสินใจ ดังเงื่อนไขที่ (5) และ (6)

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (5)$$

$$\forall j \in \{1,2,3,\dots,m\},$$

$$Y_i \geq 0 \text{ และ } Y_i \text{ เป็นจำนวนเต็ม} \quad (6)$$

$$\forall i \in \{1,2,3,\dots,n\}$$

4. ผลการศึกษา

จากการดำเนินการศึกษาโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ชนิดและประสิทธิภาพของกังหันน้ำ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อปีของชุมชนรอบอ่างเก็บน้ำ ในการวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีในหัวข้อที่ 3 ได้ผลลัพธ์เชิงตัวเลขแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ปริมาณจากการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 ปี กำลังการผลิตและคัดเลือกประเภทกังหันที่เหมาะสม และการวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน โดยจะยกตัวอย่างผลการศึกษาของพื้นที่อำเภอสบปราบ ดังนี้

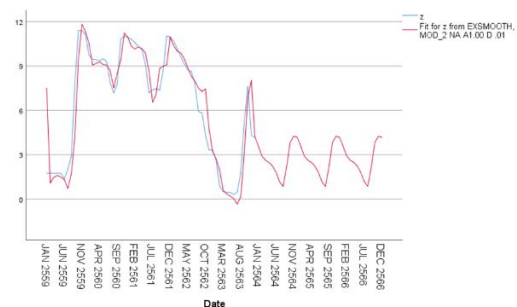
4.1. ตัวอย่างผลลัพธ์จากการพยากรณ์ปริมาณน้ำล่วงหน้า 3 ปี

ค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำล่วงหน้า 3 ปี สามารถดูได้จากตารางที่ 2 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ดูได้จากรูปที่ 3-6

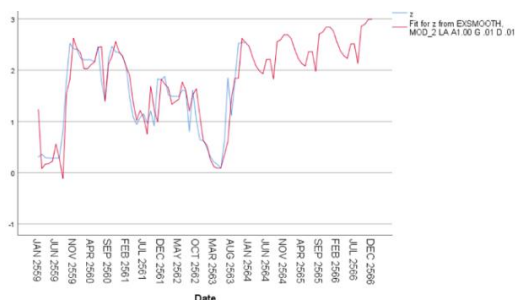
ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำของอ่างเก็บน้ำในอำเภอสบปราบ ซึ่งมีหน่วยเป็นล้าน ลบ.ม.

เดือน	แม่ทาน	ห้วยสมัย	แม่ทก	แม่เรียง
ม.ค.-64	3.5686	1.0731	1.0973	1.1297
ก.พ.-64	2.9102	1.0546	1.0947	1.1185
มี.ค.-64	2.6268	1.0408	1.0893	1.1163
เม.ย.-64	2.4822	1.0311	1.0849	1.0828
พ.ค.-64	2.2315	0.9924	1.0593	1.0682
มิ.ย.-64	1.8027	0.9873	1.0020	1.0329
ก.ค.-64	1.1631	0.9919	0.9660	0.8662
ส.ค.-64	0.8599	0.8672	0.7359	0.7125
ก.ย.-64	2.2093	1.2509	0.8292	0.8606

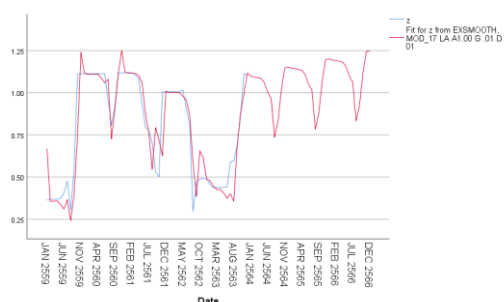
เดือน	แม่ทาน	ห้วยสมัย	แม่ทก	แม่เรียง
ต.ค.-64	3.8374	1.1176	1.0184	0.9656
พ.ย.-64	4.2528	1.1343	1.1476	0.9742
ธ.ค.-64	4.1750	1.0808	1.1514	1.0917
ม.ค.-65	3.5686	1.0515	1.1456	1.1175
ก.พ.-65	2.9102	1.0329	1.1430	1.1062
มี.ค.-65	2.6268	1.0192	1.1377	1.1040
เม.ย.-65	2.4822	1.0094	1.1332	1.0705
พ.ค.-65	2.2315	0.9708	1.1077	1.0560
มิ.ย.-65	1.8027	0.9657	1.0504	1.0207
ก.ค.-65	1.1631	0.9703	1.0144	0.8540
ส.ค.-65	0.8599	0.8455	0.7843	0.7003
ก.ย.-65	2.2093	1.2292	0.8775	0.8484
ต.ค.-65	3.8374	1.0959	1.0667	0.9533
พ.ย.-65	4.2528	1.1126	1.1960	0.9619
ธ.ค.-65	4.1750	1.0592	1.1998	1.0794
ม.ค.-66	3.5686	1.0298	1.1940	1.1052
ก.พ.-66	2.9102	1.0113	1.1914	1.0940
มี.ค.-66	2.6268	0.9975	1.1861	1.0918
เม.ย.-66	2.4822	0.9878	1.1816	1.0583
พ.ค.-66	2.2315	0.9491	1.1560	1.0437
มิ.ย.-66	1.8027	0.9441	1.0988	1.0084
ก.ค.-66	1.1631	0.9487	1.0628	0.8417
ส.ค.-66	0.8599	0.8239	0.8326	0.6880
ก.ย.-66	2.2093	1.2076	0.9259	0.8361
ต.ค.-66	3.8374	1.0743	1.1151	0.9411
พ.ย.-66	4.2528	1.0910	1.2444	0.9497
เฉลี่ยต่อปี	2.6760	1.0302	1.0714	0.9893



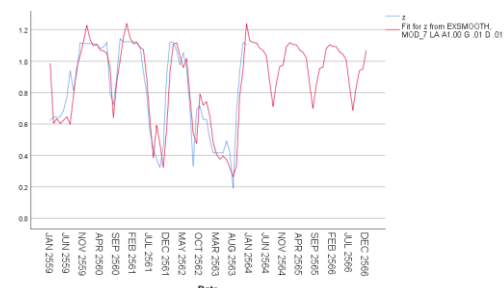
รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำอ่างเก็บน้ำแม่ทาน



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ปริมาณน้ำอ่างเก็บน้ำแม่ห้วยสมย์



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ปริมาณน้ำอ่างเก็บน้ำแม่ทก



รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์ ปริมาณน้ำอ่างเก็บน้ำแม่เรียง

จากการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำของพื้นที่ อำเภอสบปราบ พบว่าอ่างเก็บน้ำในพื้นที่ทั้ง 4 แห่ง สามารถ จัดกลุ่มค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ได้ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

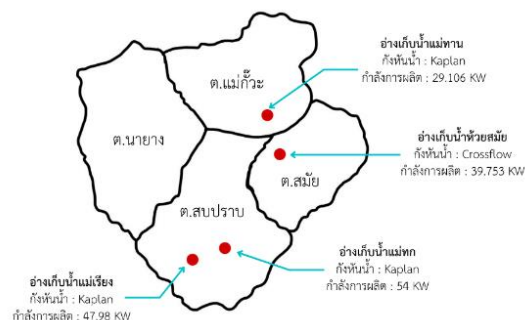
- 1) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้ตั้งแต่ 0.51 แต่ไม่เกิน 1.50 ล้าน ลบ.ม ได้แก่ อ่างเก็บน้ำห้วยสมย์ แม่ทก และ แม่เรียง
- 2) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ได้มากกว่า 1.51 ล้าน ลบ.ม. ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแม่ทาน

4.2 ตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณกำลังการผลิตและคัดเลือกประเภทกังหันที่เหมาะสมกับระดับหัวน้ำของอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณกำลังการผลิตและคัดเลือกประเภทกังหันที่เหมาะสมกับระดับหัวน้ำของอ่างเก็บน้ำ สามารถดูได้จาก ตารางที่ 3 และแผนที่แสดงตำแหน่งอ่างเก็บน้ำ ดูได้จาก รูปที่ 7

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การคำนวณกำลังการผลิตและประเภทกังหันที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำในอำเภอสบปราบ

อ่างเก็บน้ำ	พลังน้ำ (P)	กำลังการผลิต (W)	ความเร็วจำเพาะ (S)	กังหัน
แม่ทาน	32.34	29.10	984.45	Kaplan
ห้วยสมย์	44.17	39.75	144.67	Crossflow
แม่ทก	60.00	54.00	292.44	Kaplan
แม่เรียง	53.32	47.98	210.03	Kaplan



รูปที่ 7 อ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์การจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในอำเภอสบปราบ

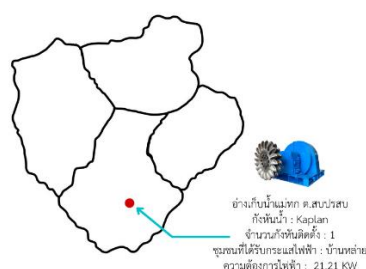
จากการคัดเลือกประเภทของกังหันน้ำ พบว่า มีกังหันน้ำที่สอดคล้อง 2 ประเภท ได้แก่ กังหันน้ำ Kaplan จำนวน 3 เครื่อง และกังหันน้ำ Crossflow จำนวน 1 เครื่อง

4.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน

การวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน สามารถดูได้จากตารางที่ 4 และแผนที่แสดงตำแหน่งอ่างเก็บน้ำที่ถูกเลือกให้จัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ดูได้จาก รูปที่ 8

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์จากการวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนของอ่างเก็บน้ำในอำเภอสบปราบ

อ่างเก็บน้ำ	จำนวนกังหันติดตั้ง	ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ (KW)	ชุมชนที่ได้รับไฟฟ้า	ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการ (KW)
แม่ทาน	0	-	-	-
ห้วยสมัย	0	-	-	-
แม่เรียง	0	-	-	-
แม่ทก	1	54	บ้านหลาย	21.22



รูปที่ 8 อ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในอำเภอสบปราบ

จากการวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนของพื้นที่อำเภอสบปราบ พบว่ามีอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสม 1 แห่ง คือ อ่างเก็บน้ำแม่ทก ในพื้นที่ตำบลสบปราบ โดยติดตั้งกังหันน้ำจำนวน 1 เครื่อง ผลิตกระแสไฟฟ้าได้จำนวน 54 KW และนำจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับชุมชนบ้านหลาย

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผล

จากการศึกษาและวิจัย เรื่องการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในพื้นที่จังหวัดลำปางสามารถสรุปผลการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดกลางจำนวน 29 แห่ง สามารถแบ่งกลุ่มค่าพยากรณ์ ได้ดังนี้

1) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์น้อยกว่า 0.50 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 13 แห่ง ได้แก่ ห้วยหลวงวังวู แม่พริก แม่พริกผาวัง

ชู แม่อ่อน แม่ทรายคำ แม่ฮอน แม่ปอน แม่ยาว แม่ต๋าน้อย แม่ทะ แม่เฟือง และแม่ล้อหัก

2) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์ตั้งแต่ 0.51 แต่ไม่เกิน 1.50 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 10 แห่ง ได้แก่ แม่ไพร แม่ไฮ แม่กิด แม่อาบ ห้วยสมัย แม่ทก แม่เรียง แม่ค่อม แม่สัน และห้วยหลวง

3) ปริมาณน้ำที่พยากรณ์มากกว่า 1.51 ล้าน ลบ.ม. จำนวน 7 แห่ง ได้แก่ แม่ฟ้า แม่ทาน แม่วะ ห้วยเกียง แม่ธิ แม่เลียงพัฒนา และแม่ต้า

ดังนั้น อ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้า มีจำนวน 17 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 58.62 ของจำนวนอ่างเก็บน้ำขนาดกลางในจังหวัดลำปาง

ส่วนที่ 2 การคัดเลือกประเภทของกังหันของอ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมจำนวน 17 แห่ง มีกังหันที่สอดคล้องกับระดับความสูงหัวน้ำและความเร็วจำเพาะ 2 ประเภท ได้แก่ กังหันน้ำแรงสละทอน Kaplan มากที่สุด จำนวน 13 แห่ง คิดเป็น ร้อยละ 76.47 และกังหันน้ำประเภทแรงกระแทก Crossflow จำนวน 4 แห่ง คิดเป็นร้อยละ 23.53 ของจำนวนอ่างเก็บน้ำที่มีความเหมาะสมสำหรับการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้า

ส่วนที่ 3 การวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชนรอบอ่างเก็บน้ำโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม มีอ่างเก็บน้ำที่ถูกเลือกให้มีการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแม่ทก อ่างเก็บน้ำแม่ต้า และอ่างเก็บน้ำแม่วะ โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ชุมชนบ้านหลาย 21.21 KW, ชุมชนสบแม่ท่า 301.04 KW และชุมชนหัวทุ่ง 297.15 KW ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 42.85 ของจำนวนอ่างเก็บน้ำทั้งหมดที่เหมาะสม

5.2. ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางในพื้นที่จังหวัดลำปาง ผลการดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ สามารถวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่และความเหมาะสมในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางได้ และสามารถคิดค้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนการผลิตและการกระจายกระแสไฟฟ้าสู่ชุมชน สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังนี้

1) วิธีการพยากรณ์สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของข้อมูลที่น่ามาพิจารณา โดยวิธีการพยากรณ์ที่ดีที่สุด คือ วิธีการพยากรณ์แบบรวม เนื่องจากการผสมผสานวิธีการจากกระบวนการอื่น ๆ เข้าด้วยกัน จึงทำให้ค่าพยากรณ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

2) ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงการ คือ ตัวต้นแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ ดังนั้น หากมีเงื่อนไขในการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเพิ่มเติม ผู้ที่สนใจสามารถเพิ่มสมการ/ผลการในแบบจำลองดังกล่าวได้ และสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตามความเหมาะสมของพื้นที่ที่พิจารณา

3) กรณีที่ต้องการส่งกระแสไฟฟ้าเพื่อช่วยเหลือพื้นที่ที่ขาดแคลนไฟฟ้า สามารถเพิ่มข้อมูลระยะทางลงในข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณา เนื่องจากการส่งกระแสไฟฟ้าจะส่งผ่านเสาไฟฟ้าตามท้องถนน ดังนั้นหากต้องการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถคำนวณระยะทางต่อจากจุดสิ้นสุดของเสาไฟฟ้าเข้าไปถึงชุมชนที่ต้องการได้ทันทีซึ่งจะไม่มีผลกระทบกับตัวแบบที่จัดทำขึ้น แต่อาจมีค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งเสาไฟฟ้าเพิ่มเติม

4) บทความวิจัยฉบับนี้เป็น การนำเสนอวิธีการเชิงปริมาณที่สามารถวิเคราะห์ได้ในรูปแบบสถิติ เพื่อประเมินการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ อย่างไรก็ตามในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำยังต้องมีการศึกษาปัจจัยด้านอื่น ๆ ในเชิงคุณภาพควบคู่กัน ซึ่งความสามารถในการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยประกอบกัน ได้แก่ ความต้องการใช้พลังงาน ต้นทุนทางเศรษฐกิจ ความคุ้มค่าในการลงทุน สภาพแวดล้อม และพื้นที่ในการจัดตั้งที่เหมาะสม ประโยชน์ที่ชุมชนจะได้รับ รวมถึงความคิดเห็นของชุมชนโดยรอบ ดังนั้นจึงต้องศึกษาปัจจัยเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจขั้นสุดท้าย

5.3. แนวทางการใช้ประโยชน์ของงานวิจัย

1) การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ : สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการพิจารณาการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน

2) การใช้ประโยชน์เชิงสาธารณะ : สามารถส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นให้กับประชาชนในการผลิตกระแสไฟฟ้า

ให้ใช้ได้อย่างทั่วถึงและยั่งยืน โดยทำหน้าที่เป็นโรงไฟฟ้าแบบ Non-Firm หรือพลังงานทดแทนที่น่ามาเสริมกับระบบไฟฟ้าหลัก

3) การใช้ประโยชน์เชิงพื้นที่ : สามารถปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่พิจารณาได้ เพื่อให้การวิเคราะห์สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณหน่วยงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำนักงานใหญ่ ที่อำนวยความสะดวกให้ข้อมูลเพื่อศึกษาในงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณโครงการปริญญาตรีภาคพิเศษ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติที่มอบทุนสนับสนุนการทำวิจัยด้านคณิตศาสตร์และสถิติ หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์การจัดการ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน, “รายงานสถิติพลังงาน 2563 (พิมพ์ครั้งที่ 1),” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://shorturl.asia/pJCWX>. [เข้าถึงวันที่ 10 มิถุนายน 2564].
- [2] อีลิเย่ สนิโซ, “พลังงานน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก : การติดตั้งและทดสอบระบบ ณ มูลนิธิสุขแก้ว แก้วแดง,” *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 13, น. 1-9, 2553.
- [3] ศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “โครงการศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมของการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนในนิคมสร้างตนเอง 6 แห่ง (พิมพ์ครั้งที่ 1),” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://shorturl.asia/uLmJe>. [เข้าถึงวันที่ 12 มิถุนายน 2564].
- [4] ศรวงศ์ชัย วันนะสดี และ เกียรติยุทธ กวีญาณ, “ศึกษาความเหมาะสมโครงการไฟฟ้าพลังงานน้ำเพื่อการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก,” *วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 2560.

- [5] จักรกฤษ กิตตินภากุล “การเปรียบเทียบการวิเคราะห์ข้อมูลตามฤดูกาลโดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบโวลท์-วินเตอร์,” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
- [6] วรางคณา กิรติวิบูลย์, “การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนอำเภอเมือง จังหวัดน่าน,” *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 38, น. 211-223, 2558.
- [7] ชม ปานตา และยุภาวดี สำราญฤทธิ์, “การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติ,” *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 9, น. 127-142, 2560.
- [8] พรุฬ มะยะเฉียว, “การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง,” *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 6, น. 132-145, 2557.
- [9] เพชรายุทธ แซ่หลี่ และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์. “แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนแรงงานในการผลิตขิงดอง,” *วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยนเรศวร.*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 9, น. 48-54, 2560.
- [10] วลัยลักษณ์ อัคริรวงศ์ และ สวินัย ปงลังกา, “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า: กรณีศึกษา บริษัท ไปรษณีย์ไทยดิสทริบิวชั่น จำกัด,” *วารสารสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ.*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, น. 10-24, 2563.
- [11] กระทรวงพลังงาน, “คู่มือการติดตั้งเครื่องจักรกลไฟฟ้าพลังงานน้ำและระบบ (พิมพ์ครั้งที่ 1),” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: shorturl.asia/9HnO5. [เข้าถึงวันที่ 18 มิถุนายน 2564].

ภาคผนวก

ผู้อ่านสามารถดูรายละเอียดผลลัพธ์ทั้งหมดได้ทาง QR Code ที่แสดงด้านล่าง



การจัดสรรพนักงานสำรวจภัยภายใต้การครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุ: กรณีศึกษา บริษัท ประกันภัยแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา

ศุภลักษณ์ ชูแก้ว¹, มณีสริย์ พงษ์อริยะทรัพย์² และเอื้ออารี บุญเพิ่ม^{*3}

^{1, 2, 3}สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

Received: 31 January 2022; Revised: 21 March 2022; Accepted: 6 May 2022

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มเพื่อหาจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่เหมาะสมของบริษัทประกันภัยแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งตัวแบบที่นำเสนอได้นำหลักการของปัญหาการปกคลุมเซตมาประยุกต์ใช้ในการสร้างตัวแบบ โดยพิจารณาการครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุ และระยะเวลาในการเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุที่พนักงานสำรวจภัยสามารถเดินทางไปได้ภายในระยะเวลาที่ลูกค้าพึงพอใจ ซึ่งผลลัพธ์ของตัวแบบประกอบด้วยจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่เหมาะสม และตำแหน่งที่พักที่พนักงานสำรวจภัยสามารถพักอาศัยได้ เมื่อทดสอบตัวแบบที่นำเสนอด้วยข้อมูลของบริษัทประกันภัย พบว่า จำนวนพนักงานสำรวจภัยจำนวน 15 คน เป็นจำนวนพนักงานที่เหมาะสมและสามารถเดินทางจากที่พักไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุได้ภายในระยะเวลา 42 นาที ซึ่งคิดเป็น 81.82 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนอุบัติเหตุทั้งหมด และหากบริษัทต้องการให้พนักงานสำรวจภัยเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุภายในระยะเวลา 30 นาที คิดเป็น 36.36 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนอุบัติเหตุทั้งหมด จากผลลัพธ์ที่นำเสนอ บริษัทประกันภัยสามารถนำตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มไปใช้เพื่อพิจารณาการจัดสรรจำนวนพนักงานสำรวจภัยให้ครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุ ซึ่งจะสามารถยกระดับความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้

คำสำคัญ: กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม, ปัญหาการปกคลุมเซต, การจัดสรรพนักงานสำรวจภัย, ประกันภัยรถยนต์

* Corresponding author: E-mail: aua-aree@mathstat.sci.tu.ac.th

^{1, 2, 3}สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

An Allocation of Insurance Surveyors Based on a Covering of the Number of Accidents: A Case Study of an Insurance Company in Nakhon Ratchasima

Supphaluk Chookaew¹, Manatsawee Pongariyasap² and Aua-aree Boonperm^{*3}

^{1, 2, 3}Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University (Rangsit Center) 99 Moo 18 Klong Nueng, Klong Luang, Pathum Thani 12120

Received: 31 January 2022; Revised: 21 March 2022; Accepted: 6 May 2022

Abstract

In this paper, an integer programming model is presented to determine the optimal number of surveyors in a case study of an Insurance Company in Nakhon Ratchasima. The proposed model has applied the principle of the set covering problem by considering the coverage of the number of accidents and the length of time to travel to the accident scene that surveyors can travel within the customer satisfied. When testing the proposed model with an insurance company's data, the results show that the optimal number of surveyors is 15, and surveyors can travel to the accident scene in 42 minutes, which can reach about 81.82 percent of all cases. If the company requires surveyors to travel to the scene within 30 minutes, it can reach 36.36 percent of all cases. By the results, insurance companies can use the proposed integer programming model to determine the allocation of surveys to cover the number of accidents, which will enhance customer satisfaction.

Keywords: integer programming, set covering problem, surveyor allocation, car insurance

* Corresponding author: E-mail: aua-aree@mathstat.sci.tu.ac.th

^{1, 2, 3}Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University (Rangsit Center)

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอุบัติเหตุบนท้องถนนสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก ซึ่งอุบัติเหตุบนท้องถนนถือเป็นปัญหาหลักของประเทศไทย จากข้อมูลในปี 2564 ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุประจำจังหวัด (THAI RSC) [1] ได้รายงานข้อมูลอุบัติเหตุตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 - 2563 ซึ่งพบว่ามีอุบัติเหตุทางรถยนต์เกิดขึ้นกว่า 16,682,076 ครั้ง ซึ่งอัตราการเกิดอุบัติเหตุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการทำให้ประกันภัยรถยนต์จึงมีความจำเป็นสำหรับผู้ขับขี่เนื่องจากช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายหากเกิดอุบัติเหตุ

สำหรับประกันภัยรถยนต์มี 2 ประเภทคือ ประกันภาคบังคับ และประกันภาคสมัครใจ ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการบังคับให้รถยนต์ทุกคันทำประกันภัยรถยนต์แบบภาคบังคับ เพื่อเป็นหลักประกันว่าจะได้รับความคุ้มครองและค่ารักษาพยาบาลจากอุบัติเหตุ นับว่าเป็นการช่วยแบ่งเบาภาระค่าเสียหายและความเดือดร้อน โดยการประกันภัยรถยนต์แบบภาคบังคับจะช่วยคุ้มครองตามที่กฎหมายกำหนดเท่านั้น ซึ่งจะไม่ครอบคลุมกรณีเกิดอุบัติเหตุรถยนต์ที่มีความสูญเสียทั้งผู้คนและทรัพย์สิน ไม่ว่าใครจะเป็นฝ่ายถูกหรือผิด ดังนั้นผู้ขับขี่จึงต้องมีการทำประกันภัยรถยนต์ภาคสมัครใจเพื่อช่วยแบ่งเบาภาระค่าใช้จ่ายในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ โดยความคุ้มครองจะขึ้นอยู่กับประเภทความคุ้มครองที่เลือกซื้อ ซึ่งไม่ได้ถูกบังคับโดยกฎหมายว่าต้องซื้อประกันภัยนี้หรือไม่

บริษัทประกันภัยแห่งหนึ่งรับทำประกันภัยรถยนต์ทั้งภาคบังคับและภาคสมัครใจ และได้ให้บริการลูกค้าทั่วประเทศ โดยในแต่ละครั้งที่มียารายงานการเกิดอุบัติเหตุทางบริษัทจะส่งพนักงานสำรวจภัยเดินทางไปให้บริการ 1 คนต่อ 1 อุบัติเหตุ ซึ่งพนักงานสำรวจภัยนั้นมีหน้าที่ตรวจสอบความเสียหาย ประเมินและรวบรวมข้อมูลจากสถานที่เกิดเหตุ รวมทั้งการให้คำแนะนำแก่ผู้เอาประกันภัย ซึ่งพนักงานสำรวจภัยจะต้องเดินทางไปให้ถึงที่เกิดเหตุภายในระยะเวลาที่ลูกค้าพึงพอใจ ในปัจจุบันบริษัทมีพนักงานสำรวจภัยรถยนต์อยู่ 2 ประเภท คือ พนักงานประจำและพนักงานฟรีแลนซ์ โดยพนักงานประจำจะได้รับค่าตอบแทนเป็นเงินเดือน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ ในขณะที่พนักงานฟรีแลนซ์จะได้รับค่าตอบแทนและค่าใช้จ่ายในแต่ละครั้งตามที่ตกลงกับทาง

บริษัทโดยมีสัญญารายปี แต่เนื่องจากทางบริษัทมีจำนวนพนักงานสำรวจภัยประเภทพนักงานประจำเต็มอัตราที่ทางบริษัทกำหนดไว้แล้ว ดังนั้นการเพิ่มหรือลดจำนวนพนักงานจะสามารถทำได้กับพนักงานสำรวจภัยประเภทฟรีแลนซ์เท่านั้น

สำหรับการจัดสรรจำนวนพนักงานสำรวจภัยในแต่ละสาขาที่ผ่านมา บริษัทได้พบปัญหาการร้องขอเพิ่มจำนวนพนักงานสำรวจภัย โดยในปัจจุบันทางบริษัทได้แก้ปัญหานี้โดยพิจารณาจากคำร้องขอพนักงานของแต่ละสาขาเป็นรายกรณี ซึ่งในการพิจารณาว่าทางบริษัทจะเพิ่มจำนวนพนักงานให้ในสาขาที่ร้องขอมาหรือไม่ ทางบริษัทใช้เพียงข้อมูลในอดีตโดยขาดการนำเหตุและปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลให้ไม่ครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุและระยะเวลาการเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุที่ลูกค้าพึงพอใจได้

จากการสอบถามข้อมูลของบริษัททบทวนภัยดังกล่าวพบว่าสาเหตุหลักที่พนักงานสำรวจภัยไม่สามารถไปได้ทันเวลามี 2 ประการคือ 1) พนักงานสำรวจภัยยังไม่เพียงพอต่อจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น และ 2) ตำแหน่งที่พักของพนักงานสำรวจภัยมีเพียง 3 จุดในจังหวัดนครราชสีมา ทำให้ในบางกรณีการเดินทางของพนักงานสำรวจภัยไปยังจุดเกิดเหตุใช้เวลานาน และอาจส่งผลให้ลูกค้าที่รอรับบริการเกิดความไม่พึงพอใจ จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงต้องการสร้างเครื่องมือในการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยให้เหมาะสมต่อจำนวนอุบัติเหตุและครอบคลุมพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ โดยหาจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่เหมาะสมต่อจำนวนอุบัติเหตุและครอบคลุมพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ พร้อมทั้งตำแหน่งที่พักที่พนักงานสำรวจภัยสามารถเดินทางไปจุดเกิดเหตุได้ทันเวลา โดยเครื่องมือที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม โดยประยุกต์ใช้รูปแบบปัญหาการป้อนข้อมูลเพื่อพิจารณาถึงจำนวนพนักงานที่เหมาะสม พร้อมทั้งครอบคลุมพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาพิจารณาได้แก่ข้อมูลจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดในพื้นที่ที่บริษัทรับผิดชอบ ตำแหน่งละติจูด ลองจิจูดของจุดเกิดอุบัติเหตุในพื้นที่ในเขตจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้เป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ. 2564 รวมเป็นระยะเวลา 44 เดือน ข้อมูลจำนวนอุบัติเหตุขั้นต่ำของพนักงานหนึ่งคนที่ต้องรับผิดชอบ

ต่อเดือน และตำบลที่มีหอพักหรือพาร์ทเมนต์ที่พนักงานสามารถพักอาศัยอยู่ได้

2. การทบทวนวรรณกรรม

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง [2] เป็นปัญหาที่ต้องการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ โรงงาน หรือคลังสินค้า เพื่อให้มีจำนวนหรือต้นทุนในการสร้างสถานที่ให้บริการน้อยที่สุด โดยลูกค้าสามารถเข้ารับบริการอย่างทั่วถึงด้วยระยะทางหรือระยะเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งนี้ก็มีผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาจริงอย่างหลากหลาย

ในปี 2554 จันทรศิริ สิงห์เถื่อน [3] ได้ศึกษาวิธีการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาค่าตอบที่ดีที่สุด โดยได้แบ่งปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่ ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบดีเทอร์มินิสติก ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบพลวัต ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบสโตแคสติกและปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบโรบัสต์ ซึ่งการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเป็นการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญ เนื่องจากการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการจะส่งผลต่อความสามารถในการให้บริการ

ในปี 2557 วโรส อินทศิริพงษ์ [4] ได้พัฒนาตัวแบบการจัดสรรตำแหน่งชุดปฏิบัติการฉุกเฉินเพื่อเพิ่มจำนวนผู้ป่วยฉุกเฉินให้ได้รับการบริการทางการแพทย์ฉุกเฉินจาก ALS (ชุดปฏิบัติการฉุกเฉินระดับสูง) ภายในระยะเวลาตอบสนอง 8 นาทีให้ได้มากที่สุด โดยเลือกใช้วิธีการกำหนดจุดบริการที่เหมาะสมแบบดีเทอร์มินิสติก ซึ่งเป็นตัวแบบพื้นฐานที่สามารถพัฒนาต่อยอดไปยังตัวแบบอื่น ๆ ที่มีความซับซ้อนขึ้นได้ ซึ่งงานวิจัยนี้มีแนวทางการปรับปรุงการปฏิบัติการฉุกเฉินในจังหวัดนครราชสีมา 2 แนวทางคือ 1) การยกระดับที่ตั้ง BLS (ชุดปฏิบัติการฉุกเฉินระดับต้นหรือระดับพื้นฐาน) หรือ FR (ชุดปฏิบัติการฉุกเฉินเบื้องต้น) เพื่อเป็นชุดปฏิบัติการฉุกเฉินระดับสูง จากตัวแบบยกระดับ และ 2) การใช้ BLS หรือ FR ไปรับผู้ป่วยฉุกเฉินแล้วส่งต่อไปให้กับ ALS จากตัวแบบส่งต่อ ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อนำตัวแบบยกระดับทำการยกระดับที่ตั้ง BLS หรือ FR ให้เป็น ALS

จำนวนเหตุฉุกเฉินที่จะได้รับการบริการแพทย์ฉุกเฉินระดับสูงจาก ALS ภายในระยะเวลาตอบสนอง 8 นาทีเพิ่มเป็นร้อยละ 100 และหากใช้ตัวแบบการส่งต่อเพื่อส่งต่อผู้ป่วยจาก BLS หรือ FR ให้กับ ALS แล้วจำนวนเหตุฉุกเฉินที่จะได้รับการบริการทางการแพทย์ฉุกเฉินระดับสูงจาก ALS นี้เพิ่มเป็นร้อยละ 89.61 และถัดมาในปี 2559 นัธดณัย จันลาวงค์ [5] ได้นำเสนอตัวแบบในการจัดสรรตำแหน่งจุดให้บริการทางการแพทย์ฉุกเฉินในจังหวัดนครราชสีมา เพื่อให้หน่วยปฏิบัติงานสามารถเข้าถึงผู้ป่วยระดับฉุกเฉินได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากผู้ป่วยระดับฉุกเฉินในพื้นที่ห่างไกลมีโอกาสเสียชีวิตสูงจากการไม่มีสถานฉุกเฉิน ดังนั้นการเพิ่มสถานฉุกเฉินจะช่วยเพิ่มโอกาสการรอดชีวิตของผู้ป่วยฉุกเฉินในพื้นที่ห่างไกลได้ โดยอันดับแรกตัวแบบจะเลือกสถานที่ที่มีตำแหน่งที่สามารถเข้าถึงผู้ป่วยในพื้นที่ห่างไกลได้เร็วที่สุด จนเมื่อเพิ่มสถานแล้วอัตราการรอดชีวิตไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ จึงได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

ในปี 2561 วิศรุต ปองเสงี่ยม และคณะ [6] ได้นำเสนอการกำหนดจุดบริการช่วยเหลือฉุกเฉินบนทางหลวงเพื่อช่วยเหลือด้านการเดินทางและแพทย์ฉุกเฉินในพื้นที่จังหวัดนครปฐม ซึ่งได้เปรียบเทียบการกำหนดตำแหน่งตามจำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่และการกำหนดตำแหน่งตามจำนวนอุบัติเหตุในพื้นที่ 74 ตำบล โดยระยะครอบคลุมสำหรับจุดบริการช่วยเหลือฉุกเฉินแบ่งเป็น 3 ประเภท ได้แก่ จุดบริการช่วยเหลือฉุกเฉินขนาดเล็กซึ่งสามารถทำหน้าที่ช่วยเหลือครอบคลุมระยะทาง 10 กิโลเมตร จุดบริการช่วยเหลือฉุกเฉินขนาดกลางจะครอบคลุมระยะทาง 15 กิโลเมตรและจุดบริการฉุกเฉินขนาดใหญ่จะครอบคลุมระยะทาง 20 กิโลเมตร โดยใช้ตัวแบบการเลือกที่ตั้งที่ครอบคลุมความต้องการสูงสุด (maximal covering location model) ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งจุดบริการช่วยเหลือฉุกเฉินบนทางหลวงที่ครอบคลุมความต้องการในพื้นที่ได้สูงสุด ผลจากการทดลองพบว่า การกำหนดจุดบริการขนาดใหญ่ซึ่งครอบคลุมระยะทาง 20 กิโลเมตรจำนวน 8 ตำแหน่ง จะครอบคลุมประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ได้สูงสุดร้อยละ 99.37 และครอบคลุมจำนวนการเกิดอุบัติเหตุในพื้นที่ได้สูงสุดร้อยละ 99.47

ในปี 2561 พรอนันต์ โนใหม่ [7] ได้ศึกษาปัญหาการเลือกจุดที่ตั้งของสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

และมีจำนวนจุดที่ตั้งน้อยที่สุด ซึ่งจะพิจารณาปัจจัยทางด้านขนาดความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ที่ไม่เท่ากันของรถยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่นและกำหนดให้ในปัจจุบันไม่มีสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าอื่น ๆ บนเส้นทาง โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์แบบฮิวริสติกในการเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าที่น้อยที่สุด และสามารถครอบคลุมการเดินทางของรถยนต์ไฟฟ้าตลอดเส้นทาง ซึ่งเส้นทางในกรณีศึกษาคือ เส้นทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ที่เป็นไปได้ในการตั้งสถานีชาร์จไฟฟ้าจำนวน 21 จุด ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาคือต้องตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าจำนวน 15 จุด จึงจะทำให้รถยนต์ไฟฟ้าสามารถเดินทางบนถนนในกรณีศึกษาได้ตลอดเส้นทาง

ในปี 2561 อธิวัฒน์ ลีนะธรรม และ เปรมพร เขมาวุฒ [8] ได้ศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้งคลังสินค้าในการกระจายสินค้าไปยังลูกค้าในพื้นที่ภาคใต้ โดยประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ในการหาที่ตั้งคลังสินค้าที่เหมาะสมและมีต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด โดยจะพิจารณาดำเนินการขนส่งจากโรงงานผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า และต้นทุนการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือการตั้งคลังสินค้าที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยที่ค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลงถึงร้อยละ 30.70

จากการศึกษางานวิจัยพบว่าปัญหาการปกคลุมเขตสามารถนำมาประยุกต์หาตำแหน่งที่ตั้งเพื่อพิจารณาถึงความต้องการได้ ดังนั้นผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้ปัญหาการปกคลุมเขตเพื่อนำมาแก้ปัญหาการจัดสรรจำนวนพนักงานสำรวจภัยเพื่อให้ครอบคลุมจำนวน

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลจำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยที่เรียกใช้บริการกับทางบริษัท เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยให้เหมาะสม ซึ่งการพิจารณาถึงความครอบคลุมจะต้องมีการติดตามพื้นที่ศึกษา ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการรวบรวมข้อมูลและตัวแบบที่จะใช้ในการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยซึ่งมีระเบียบวิธีในการดำเนินงาน ดังนี้

1. รวบรวมและคัดกรองข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุ

2. ติดตามตารางพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา และบันทึกข้อมูลตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุลงในช่อง
3. สร้างตัวแบบเพื่อหาจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่เหมาะสม
4. หาผลลัพธ์ของตัวแบบ
5. จัดสรรพนักงานสำรวจภัย

3.1 รวบรวมและคัดกรองข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุ

ขั้นตอนการรวบรวมและคัดกรองข้อมูลเกี่ยวกับอุบัติเหตุนี้ ข้อมูลทั้งหมดได้มาจากบริษัทประกันภัยแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2561 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ. 2564 รวมเป็นระยะเวลา 44 เดือน โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ได้ให้ความสำคัญกับตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของสถานที่เกิดอุบัติเหตุ ซึ่งมีข้อมูลบางส่วนที่ไม่ได้ระบุตำแหน่งละติจูดและลองจิจูด สาเหตุอาจเกิดจากการที่เป็นกรณีที่เกิดเหตุที่ไม่รุนแรงจึงนัดหมายสถานที่เพื่อเจรจายกเลิกหลังจากเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นตำแหน่งของอำเภอของการนัดหมาย ผู้จัดทำจึงได้เฉลี่ยข้อมูลตำแหน่งละติจูด ลองจิจูดของแต่ละอำเภอและนำไปเติมในข้อมูลส่วนที่ขาดหายไป

3.2 ติดตามตารางพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาและบันทึกข้อมูลตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุลงในช่อง

จากข้อมูลที่ได้มานั้น จุดเกิดอุบัติเหตุจะมีลักษณะกระจัดกระจายไปตามแต่ละพื้นที่ ทำให้มีจุดที่ต้องนำมาคำนวณมากมาย ซึ่งการพิจารณาพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ จะพิจารณาพื้นที่ที่ติดกับจังหวัดนครราชสีมาด้วย เนื่องจากผู้ทำประกันภัยรถยนต์ในจังหวัดนครราชสีมา มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุในพื้นที่ที่ติดกับนครราชสีมาได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ติดตามตารางพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา และพื้นที่ที่ติดกับจังหวัดนครราชสีมา เพื่อประมาณจำนวนอุบัติเหตุในแต่ละพื้นที่ โดยแบ่งการติดตามตารางออกเป็น 2 รูปแบบ คือตารางจำนวน 72 ช่อง และ 110 ช่อง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างขนาดที่แตกต่างกันของพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ การติดตามตารางทั้ง 2 รูปแบบแสดงดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

64	65	66	67	68	69	70	71	72
55	56	57	58	59	60	61	62	63
46	47	48	49	50	51	52	53	54
37	38	39	40	41	42	43	44	45
28	29	30	31	32	33	34	35	36
19	20	21	22	23	24	25	26	27
10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	2	3	4	5	6	7	8	9

รูปที่ 1 ตีตาราง 72 ช่อง

100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

รูปที่ 2 ตีตาราง 110 ช่อง

เมื่อตีตารางพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาแล้ว จากนั้น นำข้อมูลตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุมาใส่ลงในช่องของแต่ละรูปแบบ โดยให้จุดศูนย์กลางของแต่ละช่องเป็นเสมือนตัวแทนของจุดเกิดเหตุ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์และคำนวณ และกำหนดให้ n_i แทนจำนวนการเกิดอุบัติเหตุบนช่องที่ i จำนวนอุบัติเหตุของแต่ละช่องจะพิจารณาโดยแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

1. จำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$n_i = \max\{\bar{y}_{ij} \mid j = 1, 2, \dots, 12\} \quad (1)$$

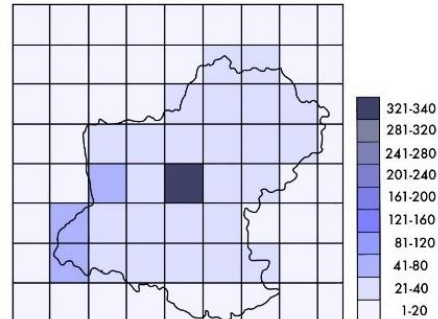
โดยที่ $\bar{y}_{ij}$ แทนจำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยของช่องที่ i ในเดือนที่ j

2. จำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยต่อเดือน จากข้อมูลจำนวน 44 เดือน ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

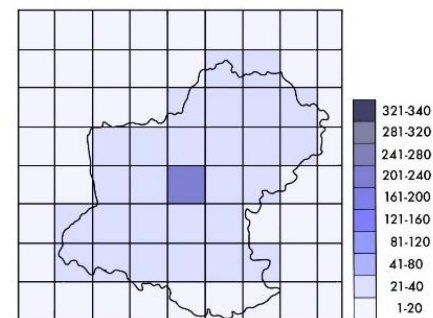
$$n_i = \frac{N_i}{44} \quad (2)$$

โดยที่ N_i แทนจำนวนอุบัติเหตุรวมของช่องที่ i

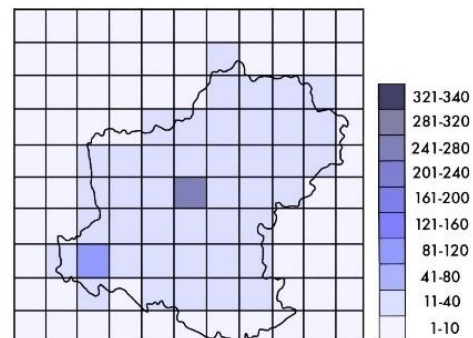
เมื่อนำข้อมูลจำนวนอุบัติเหตุที่ได้จากแต่ละกรณีระบุลงในแต่ละช่องของพื้นที่ทั้งหมด สามารถแสดงดังรูปภาพต่อไปนี้



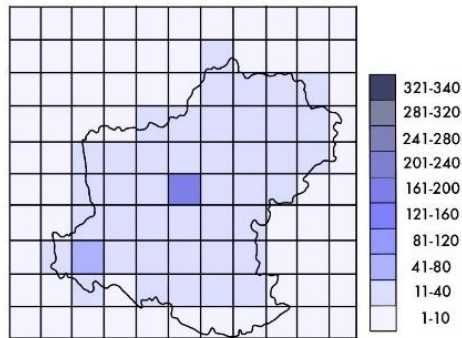
รูปที่ 3 จำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด 72 ช่อง



รูปที่ 4 จำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยต่อเดือนของ 72 ช่อง



รูปที่ 6 จำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยรายเดือนสูงสุด 110 ช่อง



รูปที่ 7 จำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยต่อเดือนของ 110 ช่อง

จากการสำรวจพื้นที่ที่พักอาศัยในจังหวัดนครราชสีมา ผู้วิจัยได้รวบรวมตำแหน่งที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้ โดยพิจารณาจากตำบลที่มีหอพักหรืออพาร์ทเมนต์ที่สามารถให้พนักงานสำรวจภัยอาศัยอยู่ได้ ซึ่งมีทั้งหมด 48 ตำบล แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ตำแหน่งที่พักที่พนักงานสำรวจภัยสามารถพักได้

สำหรับรายชื่อสถานที่ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถพักอาศัยได้สามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 รายชื่อสถานที่ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถพักได้

ตำบล	รายชื่อตำบล	ตำบล	รายชื่อตำบล
1	บ้านเกาะ	25	กุดน้อย
2	หัวทะเล	26	สีคิ้ว
3	ในเมือง (เมือง)	27	มิตรภาพ
4	โพธิ์กลาง	28	บัวใหญ่
5	สุรนารี	29	ชุมพวง
6	จอหอ	30	ประทาย
7	มะเริง	31	ห้วยแถลง
8	หนอง	32	พญาเย็น

	บัวศาลา		
9	ปรุใหญ่	33	ในเมือง (พิมาย)
10	หนองจะบก	34	หมูสี
11	หนองไผ่ล้อม	35	ด่านขุนทด
12	หมีนไวย	36	สำนักตะคร้อ
13	หนองระเวียง (เมือง)	37	บ้านใหม่ (ครบุรี)
14	โคกกรวด	38	แหลมทอง
15	บ้านใหม่ (เมือง)	39	หนองไทร
16	ปากช่อง	40	พระพุทธ
17	เมืองปัก	41	ท่าช้าง
18	ขามทะเลสอ	42	โนนสูง
19	สูงเนิน	43	ธารปราสาท
20	นากลาง	44	ไทยสามัคคี
21	มะเกลือเก่า	45	ธงชัยเหนือ
22	กุดจิก	46	กุดโบสถ์
23	มะเกลือใหม่	47	แก้งสนามนาง
24	โชคชัย	48	บ้านเหลื่อม

3.3 สร้างตัวแบบเพื่อหาจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่เหมาะสม

เมื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงในแผนที่ที่ได้ติดดาวตารางแล้ว จากนั้นผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบโดยพิจารณาจากการแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถพักอาศัยได้ และพิจารณาพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ โดยเงื่อนไขในการครอบคลุมจะพิจารณาสัดส่วนระหว่างจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในพื้นที่กับจำนวนอุบัติเหตุขั้นต่ำของพนักงานหนึ่งคนที่ต้องรับผิดชอบต่อเดือน และพิจารณาระยะเวลาที่พนักงานสำรวจภัยสามารถเดินทางจากที่พักอาศัยไปยังจุดเกิดเหตุได้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 42 นาที ซึ่งเป็นเวลาเฉลี่ยจากข้อมูลของบริษัท (เก็บข้อมูลจากการใช้ Google Map โดยไม่คำนึงถึงสภาพรถติด)

สำหรับตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มสามารถเขียนได้โดยกำหนดให้ เซต ดัชนี พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจดังต่อไปนี้

เซตและดัชนี

I แทน เซตของพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดอุบัติเหตุ

J แทน เซตของพื้นที่ทั้งหมดที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้

i แทน ดัชนีของพื้นที่ i ที่เกิดอุบัติเหตุ

j แทน ดัชนีของพื้นที่ j ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้

พารามิเตอร์

n_i แทน จำนวนอุบัติเหตุที่เกิดในพื้นที่ i

K แทน จำนวนอุบัติเหตุที่มากที่สุดของพนักงานหนึ่งคนที่ต้องรับผิดชอบต่อเดือน

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าพื้นที่ } i \text{ มีพนักงานจากพื้นที่ } j \text{ ไปได้} \\ & \text{ภายในเวลา 42 นาที} \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

โดยที่ $i \in I$ และ $j \in J$

ตัวแปรตัดสินใจ

x_j แทน จำนวนพนักงานสำรวจภัยในพื้นที่ j

โดยที่ $j \in J$

ตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มสำหรับการหาจำนวนพนักงานสำรวจภัยโดยพิจารณาการครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\min \sum_{j \in J} x_j \quad (3)$$

$$\text{subject to } \sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq \frac{n_i}{K} \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$x_j \geq 0 \text{ และเป็นจำนวนเต็ม } \forall j \in J \quad (5)$$

จากตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (3) หมายความว่า ต้องการหาจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่น้อยที่สุดในพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยจะสามารถอยู่ได้ เงื่อนไขบังคับ (4) หมายความว่า จำนวนพนักงานสำรวจภัยในแต่ละพื้นที่ที่สามารถเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในระยะเวลา 42 นาที จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนพนักงานขั้นต่ำที่ต้องรับผิดชอบในพื้นที่ i

และเงื่อนไขบังคับ (5) หมายความว่าจำนวนพนักงานสำรวจภัยในพื้นที่ j จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0 และเป็นจำนวนเต็ม

3.4 หาผลลัพธ์ของตัวแบบ

สำหรับการหาผลลัพธ์ของตัวแบบจะต้องมีข้อมูลของจำนวนอุบัติเหตุ และที่พิกัดภัยของพนักงานสำรวจภัย ซึ่งจากข้อมูลพบว่าพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้ที่สามารถเดินทางได้ภายใน 42 นาทีและมีอุบัติเหตุรวมกันไม่ถึง 20 ครั้ง ซึ่งจำนวนอุบัติเหตุในพื้นที่นั้นไม่ถึงครึ่งหนึ่งของจำนวนอุบัติเหตุขั้นต่ำที่พนักงานควรรับผิดชอบในแต่ละเดือน ส่งผลให้เกิดความไม่คุ้มค่าหากจะให้พนักงานสำรวจภัยรับผิดชอบพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นพื้นที่ดังกล่าวจะถูกตัดออกจากการหาผลลัพธ์ของตัวแบบ และในบางพื้นที่ที่จะนำมาพิจารณาการเกิดอุบัติเหตุ หากในพื้นที่นั้นไม่มีพนักงานสำรวจภัยเดินทางไปได้ภายในระยะเวลา 42 นาที พื้นที่ดังกล่าวจะถูกตัดออก หลังการพิจารณาข้างต้นและด้วยเงื่อนไขการพิจารณาจำนวนอุบัติเหตุที่แตกต่างกัน ทำให้ข้อมูลที่จะนำมาใช้เพื่อหาผลลัพธ์ของตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มสามารถแบ่งออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

ตารางที่ 2 เงื่อนไขที่จะนำไปใช้ในตัวแบบจำนวน 4 กรณี

กรณี	รูปแบบ	T	M	n_i
1	72 (ช่อง)	40	22	จำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดที่เกิดในพื้นที่ i
2		34	19	จำนวนอุบัติเหตุจากการเฉลี่ยต่อเดือนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ i
3	110 (ช่อง)	41	36	จำนวนอุบัติเหตุเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดที่เกิดในพื้นที่ i
4		38	33	จำนวนอุบัติเหตุจากการเฉลี่ยต่อเดือนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ i

เมื่อ M คือ จำนวนพื้นที่ทั้งหมดที่มีการเกิดอุบัติเหตุ

T คือ จำนวนพื้นที่ทั้งหมดที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้

n_i คือ จำนวนอุบัติเหตุที่เกิดในพื้นที่ i

3.5 จัดสรรพนักงานสำรวจภัย

หลังจากการหาผลลัพธ์ของตัวแบบด้วย Microsoft Excel Solver ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่น้อยที่สุด และตำแหน่งที่พักของพนักงานสำรวจภัยเพื่อให้บริษัทสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบของพนักงานสำรวจภัย โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้ที่ได้จากผลลัพธ์ของตัวแบบ และพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุซึ่งพนักงานสำรวจภัยสามารถเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุไม่เกินระยะเวลา 42 นาที ใส่ลงในแผนที่
2. พิจารณาช่องที่ถูกตัดออกจากที่กล่าวในหัวข้อ 3.4 นั่นคือพิจารณาพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้ว่าพื้นที่ใดที่จะเป็นผู้รับผิดชอบพื้นที่นั้น ซึ่งมีเกณฑ์การตัดสินใจโดยให้พนักงานในพื้นที่ที่พนักงานสามารถอยู่ได้ไปถึงจุดเกิดเหตุได้ในระยะเวลาที่เร็วที่สุด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลลัพธ์ของตัวแบบ

จากการแก้ปัญหาการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยภายใต้การครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุ โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มด้วยโปรแกรม Microsoft Excel Solver ซึ่งมีข้อมูลนำเข้าดังหัวข้อ 3.4 ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนพนักงานสำรวจภัยที่เหมาะสม

กรณี	จำนวนพนักงานสำรวจภัย (คน)
1	15
2	11
3	15
4	12

สำหรับข้อมูลของจำนวนพนักงานสำรวจภัยของแต่ละพื้นที่แสดงดังตารางต่อไปนี้

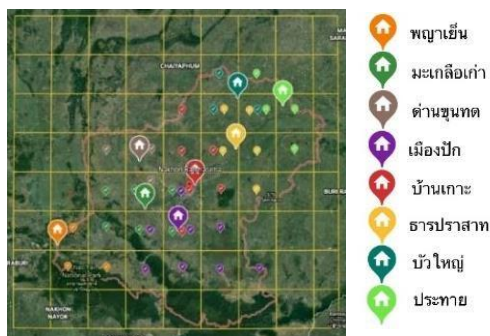
ตารางที่ 4 จำนวนพนักงานสำรวจภัยของแต่ละพื้นที่

กรณี	พื้นที่ที่พนักงานสามารถอยู่ได้	จำนวนพนักงานในแต่ละพื้นที่ (คน)
1	พญาเย็น	2
	มะเกลือเก่า	2
	ด่านขุนทด	1
	เมืองปัก	1
	บ้านเกาะ	6
	ธารปราสาท	1
	บัวใหญ่	1
	ประทาย	1
2	พญาเย็น	1
	มะเกลือเก่า	1
	ด่านขุนทด	1
	เมืองปัก	1
	บ้านเกาะ	5
	ธารปราสาท	1
	ประทาย	1
3	หมูสี	1
	ปากช่อง	2
	มะเกลือเก่า	7
	โชคชัย	1
	บ้านเกาะ	1
	ในเมือง (พิมาย)	1
	แก้งสนามนาง	1
	ชุมพวง	1
4	หมูสี	1
	ปากช่อง	1
	มะเกลือเก่า	5
	โชคชัย	1
	บ้านเกาะ	1
	ในเมือง (พิมาย)	1
	บัวใหญ่	1
	ประทาย	1

4.2 ผลลัพธ์การจัดสรรพนักงานสำรวจภัย

จากผลลัพธ์ที่ได้ผู้วิจัยได้นำจำนวนพนักงานสำรวจภัยมาจัดสรรพนักงานสำรวจภัย ได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 ผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีที่ 1 คือมีพนักงานสำรวจภัยจำนวน 15 คน โดยมีพนักงานสำรวจภัยจำนวน 2 คนอยู่ที่ตำบลพญาเย็น มี 2 คนอยู่ที่ตำบลมะเกลือเก่า มี 1 คนอยู่ที่ตำบลด่านขุนทด มี 1 คนอยู่ที่ตำบลเมืองปัก มี 6 คนอยู่ที่ตำบลบ้านเกาะ มี 1 คนอยู่ที่ตำบลธารปราสาท มี 1 คนอยู่ที่ตำบลบัวใหญ่และมี 1 คนอยู่ในตำบลประทาย และเมื่อนำช่องที่ 11 12 13 15 16 และ 50 ที่ถูกตัดก่อนการหาผลลัพธ์ด้วย Microsoft Excel นำเข้ามาจัดสรรพื้นที่ที่ได้รับผิดชอบด้วยเกณฑ์จากหัวข้อที่ 3.5 จะได้ว่าช่องที่ 11 และ 12 ให้พนักงานจากตำบลพญาเย็นเป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 13 15 และ 16 ให้พนักงานจากตำบลเมืองปักเป็นผู้รับผิดชอบ และช่องที่ 50 ให้พนักงานจากตำบลบ้านเกาะเป็นผู้รับผิดชอบ ซึ่งจากการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยจะทำให้ประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในเวลา 42 นาที คิดเป็นร้อยละ 78.57 และประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในเวลา 30 นาที คิดเป็นร้อยละ 39.29 โดยรูปภาพที่ 10 จะแสดงพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยต้องรับผิดชอบ ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ที่ปักหมุดสีแดงใหญ่เป็นเขตตำบลพญาเย็น จะรับผิดชอบจำนวนอุบัติเหตุในพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุที่ปักหมุดสีแดงอันเล็กทั้งหมด



รูปที่ 10 ผลลัพธ์การจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบของกรณีที่ 1

กรณีที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีที่ 2 คือมีพนักงานสำรวจภัยจำนวน 11 คน โดยมีพนักงานสำรวจภัยจำนวน 2 คนอยู่ที่ตำบลพญาเย็น มี 1 คนอยู่ที่ตำบลมะเกลือเก่า มี 1 คนอยู่ที่ตำบลด่านขุนทด มี 1 คนอยู่ที่ตำบลเมืองปัก มี 5 คน

อยู่ที่ตำบลบ้านเกาะ มี 1 คนอยู่ที่ตำบลธารปราสาทและมี 1 คนอยู่ในตำบลประทาย เมื่อนำช่องที่ 11 12 13 15 16 50 และ 60 ที่ถูกตัดก่อนการหาผลลัพธ์ด้วย Microsoft Excel นำเข้ามาจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบด้วยเกณฑ์จากหัวข้อที่ 3.5 จะได้ว่าช่องที่ 11 และ 12 ให้พนักงานจากตำบลพญาเย็นเป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 13 15 และ 16 ให้พนักงานจากตำบลเมืองปักเป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 50 ให้พนักงานจากตำบลบ้านเกาะเป็นผู้รับผิดชอบ และช่องที่ 60 ให้พนักงานจากตำบลประทายเป็นผู้รับผิดชอบ ซึ่งจากการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยจะทำให้ประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในเวลา 42 นาที คิดเป็นร้อยละ 75 และประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในเวลา 30 นาที คิดเป็นร้อยละ 35.71 โดยรูปภาพที่ 11 จะแสดงพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยต้องรับผิดชอบ ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ที่ปักหมุดสีแดงใหญ่เป็นเขตตำบลพญาเย็น จะรับผิดชอบจำนวนอุบัติเหตุในพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุที่ปักหมุดสีแดงอันเล็กทั้งหมด



รูปที่ 11 ผลลัพธ์การจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบของกรณีที่ 2

กรณีที่ 3 ผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีที่ 3 คือมีพนักงานสำรวจภัยจำนวน 15 คน โดยมีพนักงานสำรวจภัยจำนวน 1 คนอยู่ที่ตำบลหมูสี มี 2 คนอยู่ที่ตำบลปากช่อง มี 7 คน อยู่ที่ตำบลมะเกลือเก่า มี 1 คนอยู่ที่ตำบลโชคชัย มี 1 คนอยู่ที่ตำบลบ้านเกาะ มี 1 คนอยู่ในเมือง(อำเภอพิมาย) มี 1 คนอยู่ในตำบลแก้งสนามนาง และมี 1 คนอยู่ที่ตำบลชุมพวง เมื่อนำช่องที่ 16 17 18 19 58 59 60 และ 71 ที่ถูกตัดก่อนการหาผลลัพธ์ด้วย Microsoft Excel นำเข้ามาจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบด้วยเกณฑ์จากหัวข้อที่ 3.5 จะได้ว่าช่องที่ 16 17 18 และ 19 ให้พนักงานจากตำบลโชคชัยเป็นผู้รับผิดชอบ

ช่องที่ 58 ให้พนักงานจากตำบลปากช่องเป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 59 และ 60 ให้พนักงานจากตำบลมะเกลือเก่าเป็นผู้รับผิดชอบ และช่องที่ 71 ให้พนักงานจากตำบลบ้านเกาะเป็นผู้รับผิดชอบ ซึ่งจากการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยจะทำให้ประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในเวลา 42 นาที คิดเป็นร้อยละ 81.82 และประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในเวลา 30 นาที คิดเป็นร้อยละ 36.36 โดยรูปภาพที่ 12 จะแสดงพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยต้องรับผิดชอบ ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ปึกหมุดสีชมพูใหญ่เป็นเขตตำบลปากช่อง จะรับผิดชอบจำนวนอุบัติเหตุในพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุที่ปึกหมุดสีชมพูอันเล็กทั้งหมด



รูปที่ 12 ผลลัพธ์การจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบของกรณี 3

กรณี 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากกรณี 4 คือมีพนักงานสำรวจภัยจำนวน 12 คน โดยมีพนักงานสำรวจภัยจำนวน 1 คนอยู่ที่ตำบลหมูสี มี 1 คนอยู่ที่ตำบลปากช่อง มี 5 คนอยู่ที่ตำบลมะเกลือเก่า มี 1 คนอยู่ที่ตำบลโชคชัย มี 1 คนอยู่ที่ตำบลบ้านเกาะ มี 1 คนอยู่ที่ตำบลในเมือง (อำเภอพินาย) มี 1 คนอยู่ที่ตำบลบัวใหญ่ และมี 1 คนอยู่ในตำบลประทาย ซึ่งรูปที่ 13 คือการนำช่องที่ 16 17 18 19 58 59 60 65 71 72 และ 95 ที่ถูกตัดก่อนการหาผลลัพธ์ด้วย Microsoft Excel นำเข้ามาจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบด้วยเกณฑ์จากหัวข้อที่ 3.5 จะได้ว่าช่องที่ 16 17 18 และ 19 ให้พนักงานจากตำบลโชคชัยเป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 58 ให้พนักงานจากตำบลปากช่องเป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 59 และ

60 ให้พนักงานจากตำบลมะเกลือเก่าเป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 65 ให้พนักงานจากตำบลในเมือง (พินาย) เป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 71 และ 72 ให้พนักงานที่จากตำบลบ้านเกาะเป็นผู้รับผิดชอบ ช่องที่ 95 ให้พนักงานจากตำบลบัวใหญ่เป็นผู้รับผิดชอบ ซึ่งจากการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยจะทำให้ประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในเวลา 42 นาที คิดเป็นร้อยละ 75 และประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในเวลา 30 นาที คิดเป็นร้อยละ 31.82 โดยรูปภาพที่ 13 จะแสดงพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยต้องรับผิดชอบ ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ปึกหมุดสีชมพูใหญ่เป็นเขตตำบลปากช่อง จะรับผิดชอบจำนวนอุบัติเหตุในพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุที่ปึกหมุดสีชมพูอันเล็กทั้งหมด



รูปที่ 13 ผลลัพธ์การจัดสรรพื้นที่รับผิดชอบของกรณี 4

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุของผลลัพธ์จากตัวแบบและการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยทั้ง 4 กรณี โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเดินทาง จะพิจารณาจากพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดอุบัติเหตุของข้อมูลจริง และจัดสรรให้พนักงานที่อยู่ในพื้นที่ที่ต้องรับผิดชอบเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุ โดยมีการคำนวณดังนี้จำนวนพื้นที่ที่พนักงานพนักงานสำรวจภัยสามารถเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุได้ทันภายใน 42 นาทีที่ได้จากผลลัพธ์ หารด้วยจำนวนตารางทั้งหมดที่มีการเกิดอุบัติเหตุ และคูณด้วย 100 ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในระยะเวลา 42 นาที และ 30 นาที ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ

รูปแบบ (ช่อง)	กรณี	เดินทางภายใน เวลา 42 นาที	เดินทางภายใน เวลา 30 นาที
72	1	78.57 %	39.29 %
	2	75.00 %	35.71 %
110	3	81.82 %	36.36 %
	4	75.00 %	31.82 %

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์โดยคำนึงถึงด้านประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุและด้านจำนวนพนักงานที่น้อยที่สุด พบว่ากรณีที่ 3 เป็นกรณีที่ดียิ่งที่สุดในด้านประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุ และกรณีที่ 2 เป็นด้านที่จำนวนพนักงานที่น้อยที่สุด ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำผลลัพธ์จากทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ซึ่งผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลลัพธ์กับข้อมูลจริง

	ข้อมูลจริง	กรณี 3	กรณี 2
จำนวนพนักงาน (คน)	10	15	11
ประสิทธิภาพการเดินทางภายใน 42 นาที	50.67%	81.82%	75.00%
ประสิทธิภาพการเดินทางภายใน 30 นาที	28.98%	36.36%	35.71%

5. สรุปผลการวิจัย (Conclusions)

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มสำหรับการจัดสรรพนักงานสำรวจภัยภายใต้การครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุ โดยมีกรณีศึกษา คือบริษัทประกันภัยแห่งหนึ่งในจังหวัดนครราชสีมา สำหรับการสร้างตัวแบบจะพิจารณาจากข้อมูลจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่บริษัทรับผิดชอบ ตำแหน่งละติจูดลองจิจูดของจุดเกิดอุบัติเหตุในพื้นที่ในเขตจังหวัดนครราชสีมา จำนวนอุบัติเหตุขั้นต่ำของพนักงานหนึ่งคนที่ต้องรับผิดชอบต่อเดือน และค่ารถที่มีหอพักหรืออพาร์ทเมนต์ที่พนักงานสามารถพักอาศัยอยู่ได้ เพื่อคำนวณหาจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่น้อย

ที่สุดที่เหมาะสมต่อจำนวนอุบัติเหตุและครอบคลุมพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุ

จากการพิจารณาผลลัพธ์ทั้ง 4 กรณี พบว่าผลลัพธ์จากกรณีที่ 3 เป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังจุดเกิดเหตุภายในระยะเวลา 42 นาที โดยตัวแบบได้แสดงจำนวนพนักงานสำรวจภัยที่น้อยที่สุดและเลือกพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้ ซึ่งจะผ่านการจัดสรรจำนวนพนักงานสำรวจภัยอีกครั้งจากผู้วิจัย ดังนั้นจะได้จำนวนพนักงานที่น้อยที่สุดจำนวน 15 คน ที่สามารถเดินทางจากพื้นที่ที่พนักงานสำรวจภัยสามารถอยู่ได้ไปยังพื้นที่ที่เกิดอุบัติเหตุภายในระยะเวลา 42 นาที คิดเป็นร้อยละ 81.82 และสามารถเดินทางไปให้ทันภายในระยะเวลา 30 นาที คิดเป็นร้อยละ 36.36

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ บริษัทประกันภัยแห่งนี้สามารถนำตัวแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่ได้ไปประกอบการตัดสินใจในการเพิ่มจำนวนพนักงานสำรวจภัยให้ครอบคลุมจำนวนอุบัติเหตุ และสามารถนำตัวแบบไปประยุกต์ใช้กับสาขาอื่น ๆ เพื่อยกระดับความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากบริษัทประกันภัยแห่งหนึ่งที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูล และคำแนะนำต่าง ๆ พร้อมทั้งตอบข้อซักถามที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุประจำจังหวัด, “จำนวนอุบัติเหตุทางด้านการรถยนต์ (พิมพ์ครั้งที่ 1),” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.thairsc.com/p77/index/10>. [วันที่เข้าถึง 20 มีนาคม 2564].
- [2] พรุพ มะยะเฉียว, “การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง,” วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์., ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, น. 132-145, 2557.
- [3] จันทรศิริ สิงห์เถื่อน, “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด,”

วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 24, ฉบับที่ 78, น. 107-112, 2554.

- [4] วโรส อินทศิริพงษ์, “การพัฒนาตัวแบบการจัดสรรตำแหน่งของหน่วยการแพทย์ฉุกเฉินเพื่อลดระยะเวลาการเข้าถึงจุดเกิดเหตุ : กรณีศึกษาจังหวัดนครราชสีมา,” วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2557.
- [5] นัทรัดน้อย จันลาวังค์, “การกำหนดที่ตั้งจุดบริการแพทย์ฉุกเฉินด้วยตัวแบบปัญหาอัตรารอดชีวิตของผู้ป่วยสูงสุด,” วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2559.
- [6] วิศรุต ปองเสงี่ยม ชัยพร วงศ์พิศาล และ อรุไร แสงสว่าง, “การกำหนดที่ตั้งสถานี่ช่วยเหลือฉุกเฉินที่เหมาะสมบนทางหลวงโดยตัวแบบครอบคลุมความต้องการสูงสุด: กรณีศึกษาจังหวัดนครปฐม,” วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์, ปีที่ 28, ฉบับที่ 3, น. 493-502, 2561.
- [7] พรอยนันทน์ โนใหม่, “การเลือกจุดที่ตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าที่มีความจุไฟฟ้าแตกต่างกันบนเส้นทางหลวงภาคตะวันออกเฉียงเหนือในประเทศไทย,” วิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2561.
- [8] อธิวัฒน์ สีนะธรรม และเปรมพร เขมาวุฒม์, “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งคลังสินค้าโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษา : โรงงานผลิตเบียร์,” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, ปีที่ 19, ฉบับที่ 36, น. 14-26, 2561.

ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายเชิงจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยว ภายใต้ปัจจัยของนักท่องเที่ยว

ธัญญรัตน์ บุญเชิด¹, ณฤดา การถาง², ชมพูนุช บัวรอด³ และเอื้ออารี บุญเพิ่ม^{*4}

^{1, 2, 3, 4}สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
99 หมู่ 18 ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

Received: 31 January 2022; Revised: 26 March 2022; Accepted: 6 May 2022

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปปัญหาการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวสามารถประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายในการจัดเส้นทางได้ อย่างไรก็ตามปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจะพิจารณาจำนวนสถานที่ทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านเวลา รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ของนักท่องเที่ยว ซึ่งจะพิจารณาได้เพียงปัจจัยเดียวในแต่ละครั้ง ในบางครั้งนักท่องเที่ยวอาจให้ความสำคัญกับแต่ละปัจจัยต่างกันไป ดังนั้นในบทความนี้ ผู้วิจัยจึงนำเสนอตัวแบบกำหนดการเป้าหมายเชิงจำนวนเต็มเพื่อวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวอย่างครอบคลุมและตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวให้มากที่สุด โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย เวลา และความพึงพอใจต่อสถานที่ท่องเที่ยว ซึ่งในตัวแบบที่นำเสนอได้เพิ่มเงื่อนไขการเลือกสถานที่ในตัวของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย พร้อมทั้งนำกำหนดการเป้าหมายมาประยุกต์ใช้ให้เพื่อตอบสนองปัจจัยของนักท่องเที่ยวให้ได้มากที่สุด จากผลลัพธ์ของตัวแบบแสดงให้เห็นว่าสามารถนำตัวแบบที่นำเสนอไปใช้ในการวางแผนการเดินทางจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการกำหนดเส้นทางด้วยตนเองหรือการใช้การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงาน

คำสำคัญ: ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายเชิงจำนวนเต็ม, ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย, การวางแผนเส้นทาง

* Corresponding author: E-mail: aua-aree@mathstat.sci.tu.ac.th

^{1, 2, 3, 4}สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

An Integer Goal Programming Model for a Touring Route Planning under the Factors by Tourists

Thanyarat Booncherd¹, Nayada Karnthang², Chomphunut Buarod³ and Aua-aree Boonperm^{*4}

^{1, 2, 3, 4}Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University (Rangsit Center) 99 Moo 18 Klong Nueng, Klong Luang, Pathum Thani 12120

Received: 31 January 2022; Revised: 26 March 2022; Accepted: 6 May 2022

Abstract

Generally, a touring route planning can be solved by applying the traveling salesman problem (TSP). However, TSP considers the total number of locations regardless of time constraints, including the various factors of tourists, which can be considered only one factor at a time. Sometimes tourists may prioritize each factor differently. Therefore, in this paper, we propose an integer goal programming model to plan a comprehensive travel itinerary and meet the needs of tourists as much as possible by considering factors of cost, time, and satisfaction with the tourist attractions. In the proposed model, constraints to select locations are introduced to the traveling salesman model, and goal programming is applied to meet the requirement of tourists. The model results show that the proposed model can be used more efficiently in actual trip planning than manual routing or the use of the traveling salesman problem.

Keywords: integer goal programming model, traveling salesman problem, route planning

*Corresponding author: E-mail: aua-aree@mathstat.sci.tu.ac.th

^{1, 2, 3, 4}Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University (Rangsit Center)

1. บทนำ

การท่องเที่ยวเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจในสังคมปัจจุบัน จากรายงานของเว็บไซต์ข่าวฐานเศรษฐกิจ [1] กล่าวว่า ภาวะเศรษฐกิจการท่องเที่ยวของประเทศไทยในไตรมาสที่ 3 ของปี 2558 อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเติบโตในอัตราค่อนข้างสูง มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมทางตรงทางการท่องเที่ยว (Tourism Direct GDP: TDGDP) มีค่าประมาณร้อยละ 5.45 เมื่อเทียบกับ GDP รวมของประเทศ นอกจากนี้ยังมีการเดินทางท่องเที่ยวของคนไทยโดยประมาณมากกว่า 130 ล้านคนต่อครั้ง สร้างรายได้มากกว่า 7 แสนล้านบาทต่อปี และในปี 2560 ภายใตยุทธศาสตร์การท่องเที่ยวไทยปี 2558 - 2560 มีการตั้งเป้ารายได้จากการท่องเที่ยวสูงถึง 2.25 ล้านล้านบาท และการท่องเที่ยวไทยเป็นที่นิยมในนักท่องเที่ยวเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเก็บสถิติของจำนวนนักท่องเที่ยวและรายได้จากนักท่องเที่ยวต่างชาติที่เข้ามาท่องเที่ยวในประเทศไทย โดยกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา [2] บ่งบอกว่ามีจำนวนนักท่องเที่ยวในปี 2562 เพิ่มขึ้นจากปี 2563 อยู่ร้อยละ 4.55 ส่งผลให้รายได้มีการเติบโตร้อยละ 1.90 โดยเฉพาะสถานที่ท่องเที่ยวที่เป็นแหล่งการท่องเที่ยวหลักที่สำคัญ เช่น กรุงเทพฯ ภูเก็ต รวมถึงชลบุรี ที่ทำรายได้รวมกันเกินครึ่งของรายได้การท่องเที่ยวทั้งหมด

ประเทศไทยมีสถานที่ท่องเที่ยวหลายรูปแบบโดยแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ การท่องเที่ยวทางธรรมชาติ การท่องเที่ยวเชิงศาสนาและวัฒนธรรม การท่องเที่ยวเชิงศิลปะและการท่องเที่ยวสมัยใหม่ ทำให้มีนักท่องเที่ยวทั้งในและต่างประเทศมาเยี่ยมชมเป็นจำนวนมาก ซึ่งในการท่องเที่ยวแต่ละครั้งทุกคนมีความต้องการที่จะไปท่องเที่ยวในทุกสถานที่ที่สำคัญ แต่เนื่องด้วยเวลาที่จำกัดและระยะทางในการเดินทางในแต่ละสถานที่ที่ไม่เท่ากัน ส่งผลให้นักท่องเที่ยวไม่สามารถเข้าชมสถานที่ได้ครบตามแผนที่วางไว้ นอกจากเรื่องเวลาหรือระยะทางในการเดินทางที่ส่งผลให้นักท่องเที่ยวไม่สามารถเดินทางตามแผนที่วางไว้ได้ ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญ เช่น วันและเวลาเปิด-ปิดของสถานที่ต่าง ๆ ดังนั้น การวางแผนจัดการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวจึงต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และระยะเวลาในการเดินทางท่องเที่ยวเพื่อให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้

ในปัจจุบันการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางท่องเที่ยวโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด หรือระยะทางที่น้อยที่สุดสามารถทำได้โดยการประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย อย่างไรก็ตามการใช้รูปแบบการเดินทางของพนักงานขายจะพิจารณาถึงจำนวนสถานที่ทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงเวลาที่จำกัด ซึ่งเวลาเป็นอีกหนึ่งสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อแผนที่วางเอาไว้ เช่น ช่วงเวลารถติดจะส่งผลกระทบต่อเวลาในการเดินทางระหว่างแต่ละสถานที่ ถ้าการเดินทางในสถานที่หนึ่งเกิดการล่าช้าจะส่งผลกระทบต่อสถานที่ถัดไป และสุดท้ายจะไม่สามารถไปครบทุกสถานที่ตามที่วางแผนไว้

นอกจากการคำนึงถึงเวลา และค่าใช้จ่าย ความพึงพอใจต่อสถานที่ที่นักท่องเที่ยวต้องการเดินทางไปเที่ยวก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่นักท่องเที่ยวนำมาพิจารณา เพื่อวางแผนจัดเส้นทางท่องเที่ยว ซึ่งการจัดเส้นทางท่องเที่ยวเพื่อตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ เวลา ค่าใช้จ่าย และความพึงพอใจ เป็นการจัดเส้นทางที่เป็นไปได้ยากสำหรับนักท่องเที่ยวที่ต้องการการจัดเส้นทางด้วยตนเอง

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ถ้าเรามีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาแก้ปัญหาดังกล่าวได้อย่างครอบคลุมและตรงตามความต้องการของนักท่องเที่ยวมากที่สุด โดยพิจารณาปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย พร้อม ๆ กันการจัดเส้นทางท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวจะตรงกับความต้องการของนักท่องเที่ยวมากที่สุด และเส้นทางที่ได้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการจัดเส้นทางด้วยตนเอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการแก้ปัญหานี้โดยสร้างแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยปรับปรุงรูปแบบการเดินทางของพนักงานขายให้สามารถเลือกสถานที่ได้ร่วมกับตัวแบบกำหนดการเป้าหมาย โดยนักท่องเที่ยวสามารถระบุความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ได้ตามความต้องการของนักท่องเที่ยว ซึ่งตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะช่วยเพิ่มโอกาสให้นักท่องเที่ยวไปตามสถานที่ต่าง ๆ ได้ครบตามแผนที่วางไว้มากขึ้น โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือปัจจัยตามความต้องการของนักท่องเที่ยว

2. การทบทวนวรรณกรรม

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางท่องเที่ยวสามารถแก้ได้โดยการประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่บริษัททัวร์ส่วนใหญ่ใช้ในการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยว ตัวอย่างเช่น ในปี 2013 ชุมพล รอดแจ่ม [3] ได้ศึกษาสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดนนทบุรี เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการหาความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวในจังหวัดนนทบุรี โดยมีวัตถุประสงค์ คือ ศึกษาค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการท่องเที่ยวของแต่ละคน รวมถึงมีการศึกษาเส้นทางในการเดินทางของสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ เพื่อจัดสรรเส้นทางในการเดินทางท่องเที่ยว ต่อมาในปี 2014 ชนิดาภา ไมตรีแก้ว [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวกลุ่มประเทศตะวันออก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนและเวลาในการเดินทางของแต่ละแหล่งท่องเที่ยว ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสรุปว่าเวลาในการเดินทางไปยังสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ มีผลต่อการควบคุมงบประมาณในการท่องเที่ยว

และในปี 2019 รัตน์ดิ ธิกาปูน และคณะ [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกใช้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเดินทางท่องเที่ยวในเขตพัฒนาการท่องเที่ยวมรดกโลกด้านวัฒนธรรม เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่จะสามารถท่องเที่ยวได้หลากหลายและแตกต่างกัน ซึ่งการเลือกเส้นทางในการเดินทางสำหรับสถานที่ท่องเที่ยวที่มีความหลากหลายนั้นจะต้องมีการคำนึงถึงระยะทางของแต่ละสถานที่

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการท่องเที่ยว เช่น ในปี 2020 Warisa Wisittipanich [6] ได้ศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีจุดเริ่มต้น คือ ที่พักและมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทริปท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีเงื่อนไขทางด้านงบประมาณที่จำกัด ดังนั้นการเลือกสถานที่และจำนวนวันในการท่องเที่ยวได้ถูกจำกัดโดยค่าใช้จ่ายที่มี ต่อมาในปี 2021 Narisara Khamsing [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดลำดับสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดบุรีรัมย์ โดยมีโรงแรมเป็นจุดเริ่มต้น และมีเงื่อนไขทางด้านระยะทางและระยะเวลาเป็นข้อจำกัด ทำให้การจัดลำดับสถานที่ท่องเที่ยวในครั้งนี้มีการจัดสรรเวลาให้เพียงพอต่อจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่วางแผนไว้ รวมถึงต้องมีระยะทางและค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่านักวิจัยจะใช้ตัวแบบของปัญหาการเดินทางขายของพนักงานขายมาวางแผนการจัดเส้นทางสำหรับการเดินทางท่องเที่ยว แต่เนื่องจากการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจะสามารถจัดเส้นทางได้เพียงการพิจารณาเพียงปัจจัยเดียว นั่นคือลดระยะเวลา หรือลดค่าใช้จ่าย หรือเพิ่มความพึงพอใจ เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถตอบโจทย์ที่ผู้วิจัยสนใจได้ครบถ้วนและไม่ได้ให้ผลลัพธ์ที่ครอบคลุมทั้ง 3 ปัจจัยที่นักท่องเที่ยวต้องการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยของ Xiongbing Wu [8] ในปี 2017 โดยศึกษาบริษัททัวร์แห่งหนึ่ง ซึ่งต้องการวางแผนการเดินทางให้ตรงกับเวลาและความชอบของนักท่องเที่ยว รวมถึงทางบริษัททัวร์มีปัจจัยหลักในการวางแผน คือ งบประมาณค่าใช้จ่ายของนักท่องเที่ยวซึ่งจุดประสงค์ที่บริษัททัวร์แห่งนี้ต้องการ คือ ขายทัวร์ให้ได้กำไรสูงสุดด้วยวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย แต่ในการจัดเส้นทางท่องเที่ยวของงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงเวลาที่มีอยู่จำกัด ดังนั้นการจัดทัวร์แต่ละครั้งมีโอกาสที่จะไม่เป็นไปตามแผนที่จัดเส้นทางไว้ และในปีเดียวกัน Zakiah Hashim [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการตั้งโปรแกรมเพื่อกำหนดเส้นทางท่องเที่ยวด้วยตัวเองในตรังกานู โดยการใช้ข้อมูลแต่ละสถานที่และถนนเส้นทางต่าง ๆ ทั้ง 7 เมือง มาใช้ในการเขียนโปรแกรม เพื่อลดระยะทางในการเดินทางท่องเที่ยวและลดต้นทุนที่พัก

ต่อมาในปี 2019 รักชนก ตระกูลพัฑ [10] ได้ศึกษาและสร้างระบบแนะนำเส้นทางท่องเที่ยวของที่พักอากาศเขตดอนเมืองและบริเวณโดยรอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อสร้างความพึงพอใจของกลุ่มนักท่องเที่ยว ซึ่งมีเงื่อนไขการทำงาน คือ จำนวนเวลาการท่องเที่ยว 1 วันโดยประมาณ วันท่องเที่ยว และความพึงพอใจจากกลุ่มนักท่องเที่ยว ซึ่งโปรแกรมที่ได้สามารถแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวที่พักอากาศเขตดอนเมืองและบริเวณโดยรอบได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการทำงานด้วยวิธี Brute Force ที่เป็นขั้นตอนการหาผลเฉลยเหมาะที่สุดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งจะทำงานโดยการสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าการแก้ปัญหาการวางแผนจัดเส้นทางท่องเที่ยว งานวิจัยส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาในเรื่องของความพึงพอใจของ

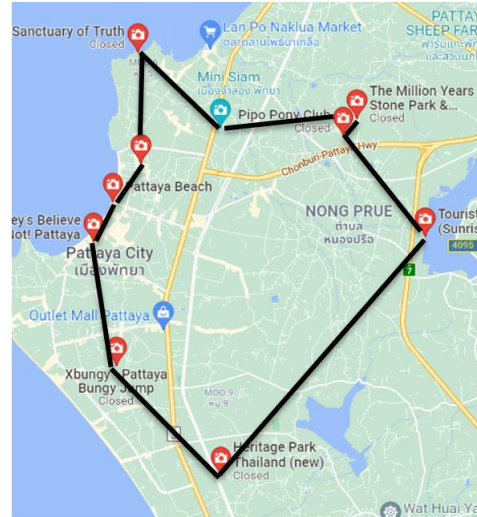
นักท่องเที่ยวและการลดค่าใช้จ่ายแบบแยกกัน ซึ่งยังไม่มีกรนำเวลา ค่าใช้จ่ายและความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวมาพิจารณาพร้อมกัน รวมถึงงานวิจัยส่วนใหญ่ที่สนใจเรื่องของเวลาใช้การแก้ปัญหาด้วยตัวแบบการเดินทางพนักงานขาย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์โดยนำการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายมาปรับปรุง และใช้ร่วมกับกำหนดการเป้าหมาย เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง การท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขด้านเวลา ค่าใช้จ่าย และความพึงพอใจของนักท่องเที่ยว เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวมากที่สุด

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอตัวแบบกำหนดการเป้าหมายเพื่อวางแผนการจัดเส้นทางนักท่องเที่ยว โดยตัวแบบที่สร้างขึ้นมีพื้นฐานมาจากตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายและตัวแบบกำหนดการเป้าหมาย ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายและตัวแบบกำหนดการเป้าหมาย

3.1 ตัวแบบการเดินทางของพนักงานขาย

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย [13] เป็นปัญหาการจัดเส้นทางที่มีวัตถุประสงค์ในการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง โดยเส้นทางในการเดินทางของพนักงานขายต้องไปครบทุกสถานที่ แต่ละสถานที่ที่จะเดินทางไปเพียงครั้งเดียว และต้องกลับมาที่จุดเริ่มต้นด้วยระยะทางที่สั้นที่สุด รวมถึงต้องห้ามเกิดการเดินทางซ้ำซ้อนและการเดินทางย้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเดินทาง ตัวอย่างเช่นในงานวิจัยของ เสกสรรค์ วินยางค์กุล และคณะ [14] ได้ศึกษาปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดด้วยการประยุกต์ใช้ตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยต้องการหาเส้นทางของรถรางนำเที่ยวในเทศบาลนครเชียงราย ซึ่งต้องการเดินทางท่องเที่ยวทั้งหมด 9 แห่ง และเงื่อนไขในการเดินทางคือเดินทางท่องเที่ยวให้ครบทั้ง 9 แห่ง โดยมีระยะทางที่สั้นที่สุดซึ่งตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายนิยมนำมาใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางท่องเที่ยวและการขนส่งสินค้าของโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 1 ตัวอย่างเส้นทางการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

จากเงื่อนไขต่าง ๆ ข้างต้น ตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายสามารถเขียนได้โดยกำหนดให้ ดัชนี พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจเป็นดังนี้

ตารางที่ 1 ดัชนี พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจของตัวแบบการเดินทางของพนักงานขาย

ดัชนี	
i	= สถานที่ i
j	= สถานที่ j
พารามิเตอร์	
N	= จำนวนสถานที่ทั้งหมด
C_{ij}	= ระยะทางระหว่างสถานที่ i ไปสถานที่ j
ตัวแปรตัดสินใจ	
x_{ij}	= $\begin{cases} 1, & \text{ถ้ามีการเดินทางจากสถานที่ } i \text{ ไปสถานที่ } j \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$
u_i, u_j	= ตัวแปรเสริมที่ใช้ในการป้องกันการเดินทางย้อน

ตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N C_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{j=1, j \neq i}^N x_{ij} = 1 \quad ; \forall j = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N x_{ij} = 1 \quad ; \forall i = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N - 1 \quad ; 2 \leq i \neq j \leq N \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad ; \forall i, j = 1, \dots, N \quad (5)$$

$$u_i \geq 0 \quad ; \forall i = 2, \dots, N \quad (6)$$

จากตัวแบบการเดินทางของพนักงานขาย ฟังก์ชันจุดประสงค์ (1) ต้องการหาระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมดน้อยที่สุด เงื่อนไขบังคับ (2) และ (3) ในแต่ละวันจะต้องมีการเดินทางเข้าเพียงครั้งเดียวและมีการเดินทางออกเพียงครั้งเดียว เงื่อนไขบังคับ (4) การป้องกันการเดินทางย่อย (subtour) และเงื่อนไขบังคับ (5) และ (6) เป็นค่าที่เป็นไปได้ของตัวแปรตัดสินใจ

3.2 ตัวแบบกำหนดการเป้าหมาย

กำหนดการเป้าหมายถูกกล่าวถึงครั้งแรกโดย Charnes และคณะ [15] เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจากกำหนดการเชิงเส้นซึ่งต้องการแก้ปัญหาเชิงเส้นที่มีเป้าหมายเดียว แต่ในความเป็นจริงเป้าหมายมักมีมากกว่าหนึ่งเป้าหมาย ดังนั้นปัญหาที่มีหลายเป้าหมายควรประยุกต์ใช้ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายแทนการใช้ตัวแบบเชิงเส้น เนื่องจากตัวแบบกำหนดการเป้าหมายสามารถพิจารณาหลายเป้าหมายประกอบกัน ส่งผลให้ต้องมีการจัดลำดับเป้าหมายที่เรียงตามลำดับความสำคัญจากมากไปน้อยได้ เนื่องจากเป้าหมายแต่ละเป้าหมายมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ดังนั้นตัวแบบกำหนดการเป้าหมายจะพยายามให้บรรลุเป้าหมายตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ นั่นคือการพยายามให้มีค่าเบี่ยงเบนจากเงื่อนไขที่ตั้งไว้ให้น้อยที่สุด ค่าเบี่ยงเบนนี้จัดเป็นตัวแปรที่เรียกว่าตัวแปรเบี่ยงเบน ซึ่งอาจมีค่าเบี่ยงเบนสูงหรือต่ำกว่าเป้าหมาย

รูปแบบทั่วไปของกำหนดการเป้าหมายประกอบด้วยฟังก์ชันจุดประสงค์ ซึ่งต้องการหาค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมทั้งหมดของส่วนเบี่ยงเบนจากเป้าหมาย ภายใต้เงื่อนไขบังคับทั่วไป (functional constraints) ซึ่งเป็นเงื่อนไขทั่วไปของปัญหา และเงื่อนไขบังคับของเป้าหมาย (goal constraints)

ซึ่งจะพิจารณาตัวแปรส่วนเบี่ยงเบนให้สอดคล้องกับเป้าหมาย สำหรับการหาคำตอบของกำหนดการเป้าหมายสามารถหาได้หลายรูปแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายแบบให้ความสำคัญกับลำดับเป้าหมาย (preemptive priority factors) ในการพิจารณาหาคำตอบ ซึ่งตัวแบบนี้จะพิจารณาเป้าหมายที่สำคัญที่สุดเป็นลำดับแรก ส่วนเป้าหมายที่สำคัญรองลงมาจะพิจารณาให้บรรลุเป็นลำดับถัดไป

4. ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายสำหรับจัดเส้นทางการท่องเที่ยว

จากปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวเพื่อตอบสนองความต้องการทั้ง 3 เป้าหมายของนักท่องเที่ยว ผู้วิจัยได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาและมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมกับความต้องการของนักท่องเที่ยว โดยความต้องการของนักท่องเที่ยวจะคำนึงถึง เวลา ค่าใช้จ่าย และความพึงพอใจในแต่ละสถานที่ของนักท่องเที่ยว และเนื่องจากตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขายต้องการจัดเส้นทางในการเดินทางของพนักงานขายโดยต้องไปครบทุกสถานที่ ทำให้ตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหานี้ได้ เนื่องจากการเดินทางให้ครบทุกสถานที่ไม่สามารถควบคุมเวลาและค่าใช้จ่ายของนักท่องเที่ยวได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะสร้างตัวแบบกำหนดการเป้าหมายร่วมกับการปรับปรุงตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายเพื่อเลือกสถานที่และจัดเส้นทางโดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นไปตามเป้าหมายของนักท่องเที่ยวมากที่สุด

สำหรับตัวแบบกำหนดการเป้าหมายสำหรับการจัดการท่องเที่ยว สามารถเขียนได้โดยกำหนดให้เซตพารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจเป็นดังนี้

ตารางที่ 2 ดัชนีของตัวแบบจำลองกำหนดการเป้าหมายสำหรับการจัดการการท่องเที่ยว

ดัชนี	
i	= สถานที่ i
j	= สถานที่ j

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ของตัวแบบกำหนดการเป้าหมายสำหรับการจัดการการท่องเที่ยว

พารามิเตอร์ (Parameter)	
N	= จำนวนสถานที่ทั้งหมด
T_{ij}	= เวลาในการเดินทางจากสถานที่ i ไปสถานที่ j
t_i	= เวลาที่ใช้อยู่ในสถานที่ i
p_i	= ค่าเช่าของสถานที่ i
S_i	= ความพึงพอใจในสถานที่ i
H	= เวลาที่ผู้ใช้กำหนด (นาท)
B	= งบประมาณที่ผู้ใช้กำหนด (บาท)
S	= ความพึงพอใจที่ผู้ใช้กำหนด (ค่าเฉลี่ย)
CI	= ค่าเดินทางตลอดการเดินทาง

ตารางที่ 4 ตัวแปรตัดสินใจของตัวแบบจำลองกำหนดการเป้าหมายสำหรับการจัดการการท่องเที่ยว

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)	
x_{ij}	= $\begin{cases} 1; & \text{ถ้ามีการเดินทางจากสถานที่ } i \text{ ไปสถานที่ } j \\ 0; & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$
y_i	= $\begin{cases} 1; & \text{ถ้าสถานที่ } i \text{ ถูกเลือก} \\ 0; & \text{ถ้าสถานที่ } i \text{ ไม่ถูกเลือก} \end{cases}$
d_1^+	= เวลาที่ขาดจากเป้าหมาย
d_1^-	= เวลาที่เกินจากเป้าหมาย
d_2^+	= ค่าใช้จ่ายที่ขาดจากเป้าหมาย
d_2^-	= ค่าใช้จ่ายที่เกินจากเป้าหมาย
d_3^+	= ค่าความพึงพอใจที่ขาดจากเป้าหมาย
d_3^-	= ค่าความพึงพอใจที่เกินจากเป้าหมาย
u_i, u_j	= ตัวแปรเสริมที่ใช้ในการป้องกันการเดินทางย่อย

เนื่องจากตัวแบบกำหนดการเป้าหมายจะประกอบด้วยเงื่อนไขบังคับทั่วไปและเงื่อนไขบังคับของ

เป้าหมาย ซึ่งเงื่อนไขบังคับทั่วไปและเงื่อนไขบังคับของเป้าหมายสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 เงื่อนไขบังคับทั่วไป

ในงานวิจัยนี้เงื่อนไขบังคับทั่วไปจะเป็นเงื่อนไขที่เกี่ยวกับการเลือกสถานที่และการจัดลำดับสถานที่ท่องเที่ยวสำหรับการจัดเส้นทางท่องเที่ยว อย่างไรก็ตามตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายจะต้องเดินทางได้ครบทุกสถานที่ซึ่งจะส่งผลต่อเวลาและค่าใช้จ่าย ดังนั้นตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายจะถูกปรับให้เหมาะสมกับปัญหาที่ผู้วิจัยสนใจ นั่นคือสถานที่ทุกสถานที่ไม่จำเป็นต้องมีการถูกเลือกในการจัดเส้นทาง ซึ่งเงื่อนไขบังคับทั่วไปสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

เงื่อนไขบังคับทั่วไป

$$\sum_{i=1, i \neq j}^N x_{ij} \leq 1 \quad ; \forall j = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^N x_{ij} \leq 1 \quad ; \forall i = 1, \dots, N \quad (8)$$

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N-1 \quad ; 2 \leq i \neq j \leq N \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ji} + \sum_{i=1}^N x_{ij} = 2y_i \quad ; \forall i = 1, \dots, N \quad (10)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ji} = \sum_{j=1}^N x_{ij} \quad ; \forall i = 1, \dots, N \quad (11)$$

$$x_{ij}, y_i \in \{0, 1\} \quad ; \forall i, j = 1, \dots, N, i \neq j \quad (12)$$

$$u_i \in R^+ \quad ; \forall i = 1, \dots, N \quad (13)$$

จากเงื่อนไขบังคับทั่วไป เงื่อนไขบังคับ (7) และ (8) เป็นการพิจารณาว่า ในแต่ละสถานที่จะต้องมีการเดินทางเข้าและออกได้ไม่เกิน 1 ครั้ง และในเงื่อนไข (9) เป็นการป้องกันการเดินทางย่อย (subtour) เงื่อนไข (10) หมายถึงสถานที่ i ถูกแวะเมื่อมีขาเข้าและออกจากสถานที่ i ในเงื่อนไข (11) เมื่อมีการเดินทางเข้าสถานที่ i แล้วต้องมีการเดินทางขาออกจากสถานที่ i และเงื่อนไขบังคับ (12) และ (13) เป็นค่าที่เป็นไปได้ของตัวแปรตัดสินใจ

4.2 เงื่อนไขบังคับของเป้าหมาย

ในงานวิจัยนี้เงื่อนไขบังคับของเป้าหมายเป็นเงื่อนไขสำหรับพิจารณาเป้าหมายของนักท่องเที่ยว นั่นคือพิจารณาเวลา ค่าใช้จ่าย และความพึงพอใจจากความต้องการของนักท่องเที่ยว โดยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

เงื่อนไขบังคับของเป้าหมาย

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N T_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^N t_i y_i + d_1^+ - d_1^- = H \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^N P_i y_i + CT + d_2^+ - d_2^- = B \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^N S_i y_i + d_3^+ - d_3^- = S \sum_{i=1}^N y_i \quad (16)$$

$$d_1^+, d_1^-, d_2^+, d_2^-, d_3^+, d_3^- \geq 0 \quad (17)$$

จากเงื่อนไขบังคับของเป้าหมาย เงื่อนไขบังคับ (14) เป็นการกำหนดเป้าหมายโดยพิจารณาค่าเบี่ยงเบนของเวลากับเวลาที่กำหนด และในเงื่อนไขบังคับ (15) เป็นการกำหนดเป้าหมายโดยพิจารณาค่าเบี่ยงเบนของค่าใช้จ่ายกับค่าใช้จ่ายที่กำหนด ในเงื่อนไขบังคับ (16) เป็นการกำหนดเป้าหมายโดยพิจารณาค่าเบี่ยงเบนของความพึงพอใจกับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่กำหนด และเงื่อนไขบังคับ (17) ค่าเบี่ยงเบนต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

5. ผลลัพธ์ของตัวแบบ

สำหรับการทดสอบตัวแบบ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบตัวแบบที่นำเสนอด้วยโปรแกรม CPLEX บน Intel core i5 แบบ Quad-core 6MB 3.8GHz โดยในงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการทดสอบกับกรณีศึกษาทั้งหมด 2 กรณีศึกษา ได้แก่ สถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย และเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ เนื่องจากต้องการแสดงให้เห็นว่าตัวแบบนี้สามารถนำไปปรับใช้ได้กับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งแต่ละกรณีศึกษาจะเลือกสถานที่ทั้งหมด 10 สถานที่ โดยข้อมูลก็นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลเวลาเดินทางจากแต่ละสถานที่ไปยังสถานที่อื่น ๆ และเวลาเข้าชมในแต่ละสถานที่ ค่าบัตรเข้าชม และค่าความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวในแต่ละสถานที่ โดยข้อมูลของเวลาในการเดินทางผู้วิจัยนำมาจาก google map (ไม่พิจารณาถึงสภาพการจราจร) ในขณะที่ข้อมูลของเวลาที่ใช้ในแต่ละสถานที่ ค่าเข้าชม และค่าความ

พึงพอใจ โดยค่าความพึงพอใจจะพิจารณาจากคะแนนรีวิวของนักท่องเที่ยว และผู้วิจัยได้รวบรวมมาจาก 3 เว็บไซต์ ได้แก่ เว็บไซต์ดวงใจ (www.wongnai.com) เว็บไซต์ Trip (th.trip.com) และ เว็บไซต์ th.tripadvisor.com และนำข้อมูลจากทั้ง 3 เว็บไซต์มาเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นเวลาที่ใช้ ค่าเข้าชม และค่าความพึงพอใจในแต่ละสถานที่ ซึ่งผลลัพธ์ของแต่ละกรณีศึกษาเป็นดังนี้

5.1 กรณีศึกษาของจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

ในกรณีศึกษาของจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย จะพิจารณาการเปิดให้บริการของแต่ละสถานที่ที่เป็น เวลา 09.00 น. - 19.00 น. ทำให้มีเวลาในการเดินทางท่องเที่ยวมากที่สุดคือ 10 ชั่วโมง หรือ 600 นาที ซึ่งในการทดสอบนั้น ผู้วิจัยจะพิจารณาเวลาของนักท่องเที่ยวในช่วง [180,600] และในส่วนของการค่าใช้จ่ายและความพึงพอใจของแต่ละสถานที่ที่จะถูกกำหนดในช่วง [500,1000] และ [1,5] ตามลำดับ สำหรับความพึงพอใจจะมีค่าระดับมากที่สุดคือ 5 และน้อยที่สุดคือ 1 ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานจริง นักท่องเที่ยวสามารถระบุค่าเหล่านี้ได้ด้วยตนเอง โดยนักท่องเที่ยวจะเป็นผู้ระบุว่า ค่าใช้จ่ายที่มีเป็นเท่าใด เวลาที่ต้องการใช้ในการเดินทางเป็นเท่าใด และค่าความพึงพอใจในสถานที่ที่ต้องการเดินทางเฉลี่ยควรไม่ต่ำกว่าเท่าใด พร้อมทั้งกำหนดลำดับความสำคัญของเป้าหมาย สำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลตัวอย่างจากการสุ่มค่าของนักท่องเที่ยว แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การกำหนดเป้าหมายและข้อมูลของนักท่องเที่ยวรูปแบบที่ 1

เป้าหมาย	ปัจจัย	นักท่องเที่ยวระบุข้อมูล
1	ค่าใช้จ่าย (บาท)	700
2	เวลา (นาที)	600
3	ความพึงพอใจ	2

จากตารางที่ 5 นักท่องเที่ยวกำหนดลำดับความสำคัญของเป้าหมายเป็นดังนี้
เป้าหมายที่ 1: ค่าใช้จ่ายในการท่องเที่ยวไม่เกิน 700 บาท
เป้าหมายที่ 2: ระยะเวลาในการท่องเที่ยวคือ 600 นาที
เป้าหมายที่ 3: ความพึงพอใจเฉลี่ยต่อสถานที่ท่องเที่ยวต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 2

เมื่อนำลำดับความสำคัญของเป้าหมายต่าง ๆ ไปหาคำตอบโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายแบบให้ความสำคัญกับลำดับเป้าหมาย (preemptive priority factors) ในการหาคำตอบ ซึ่งสามารถแสดงวิธีการหาคำตอบได้ดังนี้

$$\text{เป้าหมายที่ 1: } \min d_2^- \quad (18)$$

subject to

$$\text{เงื่อนไขบังคับทั่วไป} \quad (7) - (13)$$

$$\text{เงื่อนไขบังคับเป้าหมาย} \quad (14) - (17)$$

$$\text{เป้าหมายที่ 2: } \min d_1^+ + d_1^- \quad (19)$$

subject to

$$\text{เงื่อนไขบังคับทั่วไป} \quad (7) - (13)$$

$$\text{เงื่อนไขบังคับเป้าหมาย} \quad (14) - (17)$$

$$d_2^- = z_1^* \quad (20)$$

เมื่อ z_1^* คือค่าที่เหมาะสมที่สุดของเป้าหมายที่ 1

$$\text{เป้าหมายที่ 3: } \min d_3^+ \quad (21)$$

subject to

$$\text{เงื่อนไขบังคับทั่วไป} \quad (7) - (13)$$

$$\text{เงื่อนไขบังคับเป้าหมาย} \quad (14) - (17)$$

$$d_2^- = z_1^*$$

$$d_1^+ + d_1^- = z_2^* \quad (22)$$

เมื่อ z_2^* คือค่าที่เหมาะสมที่สุดของเป้าหมายที่ 2

การหาผลลัพธ์จะเริ่มจากการหาผลลัพธ์ของตัวแบบในเป้าหมายที่ 1 ซึ่งฟังก์ชันจุดประสงค์ของเป้าหมายที่ 1 คือการหาค่าต่ำที่สุดของส่วนที่เกินจากค่าใช้จ่าย นั่นคือค่าใช้จ่ายจะต้องไม่เกินค่าที่นักท่องเที่ยวตั้งไว้ หรือถ้าเกินค่าที่ตั้งไว้จะต้องเกินน้อยที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบในเป้าหมายที่ 1 จะให้ค่าต่ำที่สุดคือ z_1^* หลังจากนั้น ตัวแบบในเป้าหมายที่ 2 จะถูกหาคำตอบ โดยตัวแบบนี้จะถูกกำหนดค่าส่วนเกินที่ต่ำที่สุดของค่าใช้จ่ายไว้ให้เป็น z_1^* นั่นคือการให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายเป็นอันดับที่ 1 และในเป้าหมายที่ 2 ฟังก์ชันจุดประสงค์ คือการหาค่าผลรวมต่ำ

ที่สุดของส่วนที่เกินและส่วนที่ขาดของเวลาที่นักท่องเที่ยวกำหนด นั่นคือนักท่องเที่ยวมีเวลาในการท่องเที่ยวตามที่นักท่องเที่ยวกำหนด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบในเป้าหมายที่ 2 จะให้ค่าต่ำที่สุดคือ z_2^* หลังจากนั้น ตัวแบบในเป้าหมายที่ 3 จะถูกหาคำตอบ โดยตัวแบบนี้จะถูกกำหนดค่าส่วนเกินที่ต่ำที่สุดของค่าใช้จ่ายไว้ให้เป็น z_1^* นั่นคือยังคงให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายเป็นอันดับที่ 1 และกำหนดค่าผลรวมของส่วนที่เกินและส่วนที่ขาดของเวลาให้เป็น z_2^* นั่นคือนักท่องเที่ยวให้ความสำคัญกับเวลาเป็นอันดับที่ 2 และฟังก์ชันจุดประสงค์ของเป้าหมายที่ 3 คือการหาค่าต่ำที่สุดของส่วนที่ขาดจากค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ นั่นคือความพึงพอใจจะต้องไม่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่นักท่องเที่ยวกำหนด และเมื่อได้ผลลัพธ์จากตัวแบบของเป้าหมายที่ 3 ผลลัพธ์นี้จะเป็นผลลัพธ์ที่ตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวตามลำดับความสำคัญที่นักท่องเที่ยวกำหนด โดยระยะเวลารวมที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม CPLEX จะใช้เวลา 18.8 วินาที ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลลัพธ์ของข้อมูลในตารางที่ 5

จากรูปที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงสถานที่และเส้นทางการท่องเที่ยว และค่าของเป้าหมายต่าง ๆ โดยเป้าหมายที่ 1 คือค่าใช้จ่าย มีค่าเท่ากับ 260 บาท ซึ่งไม่เกินเป้าหมายที่นักท่องเที่ยวกำหนด เป้าหมายที่ 2 คือเวลามีค่าเท่ากับ 600 นาที ซึ่งตรงตามความต้องการของนักท่องเที่ยว และเป้าหมายที่ 3 คือความพึงพอใจเฉลี่ยเป็น 3.5 ซึ่งมากกว่าความพึงพอใจที่นักท่องเที่ยวกำหนด

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการกำหนดเป้าหมาย ผู้วิจัยได้เปลี่ยนลำดับของเป้าหมายใหม่ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การกำหนดเป้าหมายและข้อมูลของนักท่องเที่ยวรูปแบบที่ 2

เป้าหมาย	ปัจจัย	นักท่องเที่ยวระบุข้อมูล
1	ความพึงพอใจ	2
2	เวลา (นาทีก)	600
3	ค่าใช้จ่าย (บาท)	700

จากตารางที่ 6 นักท่องเที่ยวกำหนดลำดับความสำคัญของเป้าหมายเป็นดังนี้

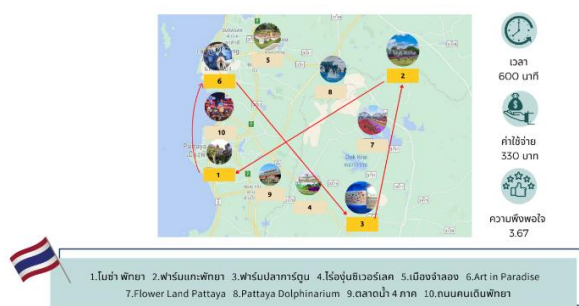
เป้าหมายที่ 1: ความพึงพอใจเฉลี่ยต่อสถานที่ท่องเที่ยวต้อง

มากกว่าหรือเท่ากับ 2

เป้าหมายที่ 2: ระยะเวลาในการท่องเที่ยวคือ 600 นาที

เป้าหมายที่ 3: ค่าใช้จ่ายในการท่องเที่ยวไม่เกิน 700 บาท

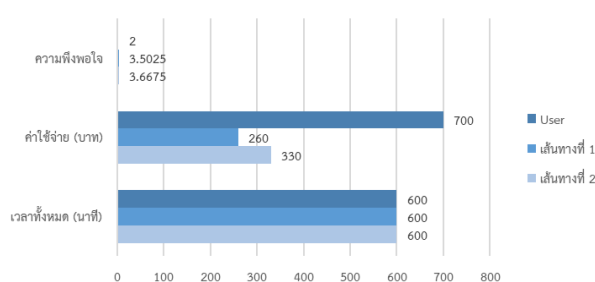
เมื่อนำลำดับความสำคัญของเป้าหมายต่าง ๆ ไปหาคำตอบโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายแบบให้ความสำคัญกับลำดับเป้าหมาย (preemptive priority factors) ในการหาคำตอบ ซึ่งมีวิธีการหาคำตอบดังที่กล่าวไปในรูปแบบที่ 1 โดยเรียงลำดับของเป้าหมายใหม่ ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลลัพธ์ของข้อมูลในตารางที่ 6

จากรูปที่ 3 ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงสถานที่และเส้นทางการท่องเที่ยว และค่าของเป้าหมายต่าง ๆ โดยเป้าหมายที่ 1 คือความพึงพอใจเฉลี่ยเป็น 3.67 ซึ่งมากกว่าความพึงพอใจที่นักท่องเที่ยวกำหนด เป้าหมายที่ 2 คือเวลามีค่าเท่ากับ 600 นาที ซึ่งตรงตามความต้องการของนักท่องเที่ยว และเป้าหมายที่ 3 คือค่าใช้จ่าย มีค่าเท่ากับ 330 บาท ซึ่งไม่เกินเป้าหมายที่นักท่องเที่ยวกำหนด

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดลำดับของเป้าหมาย จะเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จะสอดคล้องกับเป้าหมายที่นักท่องเที่ยวให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก และยังคงสอดคล้องกับทุก ๆ เป้าหมาย รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าของเป้าหมายต่าง ๆ จากทั้ง 2 เส้นทาง เมื่อมีการกำหนดลำดับความสำคัญของเป้าหมายที่ต่างกัน โดยสังเกตได้ว่าความพึงพอใจที่ได้จากเส้นทางที่ 1 และเส้นทางที่ 2 นั้นสูงกว่าที่นักท่องเที่ยว (User) กำหนดไว้ แต่ค่าใช้จ่ายที่ได้กลับน้อยกว่าที่นักท่องเที่ยว (User) กำหนดไว้ และในส่วนของเวลาที่ใช้ในการเดินทางท่องเที่ยวทั้งหมดเป็นไปตามที่นักท่องเที่ยว (User) ต้องการนั่นเอง



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของทั้ง 2 เส้นทาง

จากการศึกษากรณีศึกษาของจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย พบว่าสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ ในจังหวัดชลบุรีมีค่าใช้จ่ายในการเข้าเยี่ยมชมที่ค่อนข้างต่ำและใกล้เคียงกัน จึงทำให้ไม่เห็นถึงความแตกต่างของการจัดลำดับเป้าหมายในด้านของค่าใช้จ่าย ดังนั้นเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของลำดับของเป้าหมาย ผู้วิจัยจึงได้นำตัวแบบที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ในการจัดเส้นทางท่องเที่ยวในเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ

5.2 กรณีศึกษาของเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ

ในกรณีศึกษาของเมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษของจะพิจารณาการเปิดให้บริการของแต่ละสถานที่เป็น เวลา 09.00 น. - 19.00 น. ทำให้มีเวลาในการเดินทางท่องเที่ยวมากที่สุดคือ 10 ชั่วโมง หรือ 600 นาที ซึ่งในการทดสอบนั้น ผู้วิจัยจะพิจารณาเวลาของนักท่องเที่ยวในช่วง [180,600] ในส่วนของค่าใช้จ่ายรวมจะถูกกำหนดในช่วง[3000,9000] และความพึงพอใจของแต่ละสถานที่จะถูกกำหนดในช่วง และ [1,5] ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานจริง นักท่องเที่ยว

สามารถระบุค่าเหล่านี้ได้ด้วยตนเอง สำหรับข้อมูลตัวอย่างจากการสุ่มค่านักท่องเที่ยว แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การกำหนดเป้าหมายและข้อมูลของนักท่องเที่ยว

เป้าหมาย	ปัจจัย	นักท่องเที่ยวระบุข้อมูล
1	ค่าใช้จ่าย (บาท)	3000
2	ความพึงพอใจ	4.5
3	เวลา (นาที)	600

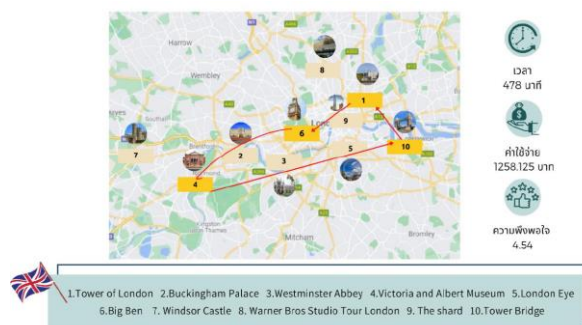
จากตารางที่ 7 นักท่องเที่ยวกำหนดลำดับความสำคัญของเป้าหมายเป็นดังนี้

เป้าหมายที่ 1: ค่าใช้จ่ายในการท่องเที่ยวไม่เกิน 3000 บาท

เป้าหมายที่ 2: ความพึงพอใจเฉลี่ยต่อสถานที่ท่องเที่ยวต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 4.5

เป้าหมายที่ 3: ระยะเวลาในการท่องเที่ยวคือ 600 นาที

เมื่อนำลำดับความสำคัญของเป้าหมายต่าง ๆ ไปหาคำตอบโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายแบบให้ความสำคัญกับลำดับเป้าหมาย (preemptive priority factors) ในการหาคำตอบ ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลลัพธ์ของข้อมูลในตารางที่ 7

จากรูปที่ 5 ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงสถานที่และเส้นทางการท่องเที่ยว และค่าของเป้าหมายต่าง ๆ โดยเป้าหมายที่ 1 คือค่าใช้จ่าย มีค่าเท่ากับ 1258.125 บาท ซึ่งไม่เกินเป้าหมายที่นักท่องเที่ยวกำหนด เป้าหมายที่ 2 คือความพึงพอใจเฉลี่ยเป็น 4.54 ซึ่งมากกว่าความพึงพอใจที่นักท่องเที่ยวกำหนด และเป้าหมายที่ 3 คือเวลามีค่าเท่ากับ 478 นาที ซึ่งต่ำกว่าความต้องการของนักท่องเที่ยว

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของการกำหนดเป้าหมาย ผู้วิจัยได้เปลี่ยนลำดับของเป้าหมายใหม่ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การกำหนดเป้าหมายและข้อมูลของนักท่องเที่ยว

เป้าหมาย	ปัจจัย	นักท่องเที่ยวระบุข้อมูล
1	ความพึงพอใจ	4.5
2	เวลา (นาที)	600
3	ค่าใช้จ่าย (บาท)	3000

จากตารางที่ 8 นักท่องเที่ยวกำหนดลำดับความสำคัญของเป้าหมายเป็นดังนี้

เป้าหมายที่ 1: ความพึงพอใจเฉลี่ยต่อสถานที่ท่องเที่ยวต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 4.5

เป้าหมายที่ 2: ระยะเวลาในการท่องเที่ยวคือ 600 นาที

เป้าหมายที่ 3: ค่าใช้จ่ายในการท่องเที่ยวไม่เกิน 3000 บาท

เมื่อนำลำดับความสำคัญของเป้าหมายต่าง ๆ ไปหาคำตอบโดยใช้ตัวแบบกำหนดการเป้าหมายแบบให้ความสำคัญกับลำดับเป้าหมาย (preemptive priority factors) ในการหาคำตอบ ได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลลัพธ์ของข้อมูลในตารางที่ 8

จากรูปที่ 6 ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงสถานที่และเส้นทางการท่องเที่ยว และค่าของเป้าหมายต่าง ๆ โดยเป้าหมายที่ 1 คือความพึงพอใจเฉลี่ยเป็น 4.6 ซึ่งมากกว่าความพึงพอใจที่นักท่องเที่ยวกำหนด เป้าหมายที่ 2 คือเวลามีค่าเท่ากับ 600 นาที ซึ่งตรงตามความต้องการของนักท่องเที่ยว และเป้าหมายที่ 3 คือค่าใช้จ่าย มีค่าเท่ากับ 2996.625 บาท ซึ่งไม่เกินเป้าหมายที่นักท่องเที่ยวกำหนด แต่มีค่ามากกว่าการ

กำหนดเป้าหมายในรูปแบบที่ 1 เนื่องจากในข้อมูลตัวอย่างนี้ให้ความสำคัญกับค่าใช้จ่ายเป็นลำดับสุดท้าย

จากผลลัพธ์การจัดเส้นทางท่องเที่ยวในแต่ละลำดับความสำคัญด้วยตัวแบบที่นำเสนอ แสดงให้เห็นว่าลำดับความสำคัญมีความจำเป็นในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางท่องเที่ยวให้ตรงกับความต้องการของนักท่องเที่ยว และผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบมีความสอดคล้องกับปัจจัยที่นักท่องเที่ยวกำหนด ซึ่งเมื่อนำวิธีการที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับปัญหาด้วยตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายจะพบว่า ตัวแบบที่นำเสนอเหมาะสมกับการจัดเส้นทางให้นักท่องเที่ยวมากกว่าการแก้ปัญหาด้วยตัวแบบการเดินทางของพนักงานขาย เนื่องจากตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายจะให้ความสำคัญที่ละปัจจัยรวมทั้งทำหน้าที่จัดเส้นทางในทุกสถานที่ โดยไม่สามารถเลือกสถานที่เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของนักท่องเที่ยวได้ ส่งผลให้เส้นทางที่ได้ไม่ตรงกับความต้องการของนักท่องเที่ยว ดังนั้นตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายจึงไม่เหมาะที่จะแก้ปัญหานี้

6. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอตัวแบบกำหนดการเป้าหมายสำหรับการวางแผนเส้นทางท่องเที่ยวภายใต้การกำหนดปัจจัยของนักท่องเที่ยว เพื่อสร้างแผนการท่องเที่ยวที่สอดคล้องกับความต้องการของนักท่องเที่ยว และแสดงผลทางด้านการจัดลำดับสถานที่ในการท่องเที่ยวโดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่นักท่องเที่ยวสามารถกำหนดได้ โดยทดสอบตัวแบบกับกรณีศึกษา 2 กรณี จากการศึกษากรณีศึกษาทั้ง 2 กรณีศึกษา ได้แก่ จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย และเมืองลอนดอนประเทศอังกฤษ ซึ่งผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางทั้งหมดที่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดทั้งด้านเวลา ค่าใช้จ่าย และความพึงพอใจ

จากการทดสอบและผลลัพธ์ที่ได้พบว่า นักท่องเที่ยวสามารถนำตัวแบบกำหนดการเป้าหมายสำหรับการจัดการท่องเที่ยวไปใช้ในการจัดเส้นทางท่องเที่ยวได้จริงและมีประสิทธิภาพมากกว่าการจัดเส้นทางด้วยตนเอง รวมถึงตัวแบบที่นำเสนอช่วยให้ง่ายต่อการจัดการท่องเที่ยวให้เป็นเรื่องที่ย่อยและรวดเร็ว เพราะตัวแบบที่นำเสนอ

สามารถเลือกสถานที่ให้เอง ซึ่งในงานวิจัยส่วนใหญ่จะนำเพียงตัวแบบการเดินทางของพนักงานขายมาใช้ ซึ่งต้องพิจารณาสถานที่ทั้งหมด และในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากการกำหนดปัจจัยทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ เวลา ค่าใช้จ่าย และความพึงพอใจ ซึ่งนักท่องเที่ยวสามารถกำหนดปัจจัยเหล่านี้ได้ด้วยตนเอง

อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้ ในการหาผลลัพธ์ยังมีความซับซ้อน ซึ่งนักท่องเที่ยวโดยทั่วไปอาจจะใช้งานได้ยุ่งยาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนางานวิจัยนี้ โดยนำตัวแบบหรือวิธีการที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้ในการสร้างเว็บไซต์และลดการคำนวณเพื่อที่จะช่วยให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้าถึงการใช้งานในการวางแผนจัดเส้นทางได้ง่ายยิ่งขึ้น และนอกจากนี้ ตัวแบบที่นำเสนอ ยังไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการจัดเส้นทาง เช่น ปัจจัยทางด้านรถติด การท่องเที่ยวในหลาย ๆ วัน หรือด้านที่พัก เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยจะนำไปศึกษาต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนสนับสนุนการทำวิจัยด้านคณิตศาสตร์และสถิติ (โครงการปริญญาตรีภาคพิเศษ สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ) หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์การจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีการศึกษา 2564 ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฐานเศรษฐกิจ, “รายได้การท่องเที่ยวของประเทศไทย,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.thansettakij.com/business/70424>. [วันที่เข้าถึง 15 สิงหาคม 2564].
- [2] กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, “จำนวนนักท่องเที่ยวและรายได้การท่องเที่ยวของประเทศไทยจากนักท่องเที่ยวต่างชาติ,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.mots.go.th/>. [วันที่เข้าถึง 15 สิงหาคม 2564].
- [3] ชุมพล รอดแจ่ม., “เส้นทางท่องเที่ยวเชิงศิลปวัฒนธรรม อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี,”

- รายงานการวิจัย, วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์, นนทบุรี, 2556.
- [4] ชนิดาภา ไมตรีแก้ว, “การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงเส้นทางการท่องเที่ยวอำเภอบ้านนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สำหรับนักท่องเที่ยวชาวไทย,” ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการอุตสาหกรรมบริการ, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, 2559.
- [5] รัตน์ดิ ธิกานูน และคณะ, “การศึกษาเส้นทางเชื่อมโยงการท่องเที่ยวในเขตพัฒนาการท่องเที่ยวมรดกโลกด้านวัฒนธรรม,” in *Proceedings of the 8th Undergraduate in Applied Mathematics Conference (UAMC 2019)*, 2561
- [6] W. Wisittipanich, “Multi-objective tourist trip design problem in Chiang Mai City,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.*, vol. 895, no. 1, pp. 1-7, 2020.
- [7] N. Khamsing, “Modified ALNS algorithm for a processing application of family tourist route planning: a case study of Buriramin Thailand,” *Computation.*, vol. 9, no. 2, pp. 1-30, 2020.
- [8] X. Wu, “A tour route planning model for tourism experience utility maximization,” *Advances in Mechanical Engineering (AIME).*, vol. 9, no. 10, pp. 1-8, 2017.
- [9] Z. Hashim and W. R. Ismail, “Self-drive tourism route in Terengganu: an application of goal programming model,” *Sains Humanika.*, vol. 9, pp. 51-57, 2017.
- [10] รักชนก ตระกูลพั้ว และ ณรงค์เดช กิริติพรานนท์, “ระบบแนะนำเส้นทางท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวเขตตอนเมืองและบริเวณโดยรอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมเพื่อความพึงพอใจกลุ่มนักท่องเที่ยว,” รายงานการวิจัย, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, กรุงเทพฯ, 2562.
- [11] F. Jolai and M. Aghdaghi, “A goal programming model for single vehicle routing problem with multiple routes,” *Journal of Industrial and Systems Engineering.*, vol 2, no. 2, pp. 154-163, 2008.
- [12] A. Afriani, H. Saleh and M. D. H. Gamal, “An application of goal programming: the best route to discover a wonderful West Sumatera,” *Science Publishing Group.*, vol. 5, no. 1, pp. 9-13, 2019.
- [13] E. L. Lawler, *The Travelling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization*, John Wiley & Sons, 1985.
- [14] เสกสรรค์ วินยาศกุล และคณะ, “การประยุกต์ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลล์แมนกรณีศึกษาการจัดการเส้นทางรถรางนำเที่ยวของเทศบาลนครเชียงราย,” *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง.*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, หน้า 85-97, 2557
- [15] A. Charnes, W. W. Cooper and R. Ferguson, “Optimal estimation of executive compensation by linear programming,” *Management Science.*, vol. 1, pp. 138-151, 1955.

การปรับปรุงศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดด้วยการจำลอง กรณีศึกษาโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย ในภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย

นิติพัฒน์ เหล่ามงคลชัยศรี^{1*}, ปาลิตา สุทธิชัย², จิราวรรณ จันทร์สุวรรณ³, สุมาลี วัฒนการ⁴, ชลธิชา ทองพร้อม⁵,
ไอริน อัจฉนารมย์วาท⁶ และ ภาสุรี แสงสุกวานิช⁷

¹งานนโยบายและแผน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110

²วิชาเอกการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110

³สาขาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 90000

^{4, 5}ฝ่ายบริการพยาบาล คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110

⁶สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110

⁷สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ 90110

Received: 25 January 2022; Revised: 11 March 2022; Accepted: 5 May 2022

บทคัดย่อ

มะเร็งถือเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของทุกๆ ประเทศ ในปี พ.ศ. 2563 มีผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่มากถึง 10 ล้านรายทั่วโลก และในจำนวนนี้มีผู้เสียชีวิตประมาณ 10 ล้านราย ทำให้ในทุกๆ โรงพยาบาลเห็นถึงความสำคัญในการรักษาและเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการ เพื่อรองรับผู้ป่วยโรคมะเร็งที่เข้ามารับการรักษาที่ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด กรณีศึกษาโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยในภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย โดยการประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Promodel[®] เพื่อวิเคราะห์หรือลดประโยชน์ในการครองเตียงผู้ป่วยโรคมะเร็ง ผลการศึกษาพบว่า การให้บริการในวันทำการ (วันจันทร์ถึงศุกร์) โดยเปิดให้บริการเตียงที่ 1 - 20 ในเวลา 7.30 น. ถึง 16.30 น. เตียงที่ 21 - 23 เปิดให้บริการในเวลา 11.00 น. ถึง 16.30 น. และเตียงที่ 24 - 26 เปิดให้บริการในเวลา 13.30 น. ถึง 16.30 น. เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพราะทำให้อรรถประโยชน์ในการครองเตียงของผู้ป่วยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 73.61 เป็นร้อยละ 84.16 หรือคิดเป็นร้อยละ 10.55 ในขณะที่อัตราการใช้งานเตียงจากการให้บริการของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดลดลงจากร้อยละ 24.12 เป็นร้อยละ 13.23 หรือคิดเป็นร้อยละ 10.89 และยิ่งไปกว่านั้นยังทำให้ระยะเวลาการทำงานของพยาบาลและผู้ช่วยพยาบาลลดลงจาก 104,790 นาทีต่อสัปดาห์ เหลือ 86,940 นาทีต่อสัปดาห์ หรือคิดเป็นร้อยละ 17.03

คำสำคัญ: โรงพยาบาล, ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด, การจำลองสถานการณ์

* Corresponding author: E-mail: nitipat.l@psu.ac.th

¹นักวิเคราะห์โลจิสติกส์ งานนโยบายและแผน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²อาจารย์ วิชาเอกการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

³อาจารย์ สาขาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

^{4, 5}พยาบาลวิชาชีพ ฝ่ายบริการพยาบาล คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

⁶สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

⁷อาจารย์ สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

An improvement of Chemotherapy Infusion center via simulation: A case study of university hospital in the deep south of Thailand

Nitipat Laomongkholsaisri^{1*}, Palida Suttishe², Jirawan Jansuwan³, Sumalee Wungthanakorn⁴
Cholticha Thongprom⁵, Irin Adjanaromwat⁶ and Pasuree Sangsupawanich⁷

¹Policy and Planning Analysis Section, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University 90110

²Major in Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Management Sciences, Prince of Songkla University 90110

³Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Srivijaya 90000

^{4, 5}Nursing Services Division, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University 90110

⁶Department of Industrial Engineering and Manufacturing, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University 90110

⁷Department of Pediatrics, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University 90110

Received: 25 January 2022; Revised: 11 March 2022; Accepted: 5 May 2022

Abstract

Cancer is one of the world's largest health problems. Worldwide, an estimated 19.3 million new cancer cases and almost 10.0 million cancer deaths occurred in 2020. Every hospital is aware of the quality of their services; they provide an efficient assistance for cancer patients at Chemotherapy Infusion center. The purpose of this research is to improve the efficiency of Chemotherapy Infusion center through a case study of university hospital in the deep south of Thailand. In this research, the simulation approach via Promodel[®] simulation software is applied to analyze the utilization of cancer patients' beds. As a result, it showed that opening cancer patients' beds no. 1 – 20 from 7:30 a.m. to 4:30 p.m., no. 21 – 23 from 11:00 a.m. to 4:30 p.m. and no. 24 – 26 from 1:30 p.m. to 4:30 p.m. on working days was the best alternative scenario. The utilization of cancer patients' beds was increased from 73.61 to 84.16 percent or 10.55 percent while the vacancy rates of cancer patients' beds decreased from 24.12 to 13.23 percent or 10.89 percent. Moreover, the working time of the nurses and their assistants was decreased from 104,790 to 86,940 minutes/week or 17.03 percent.

Keywords: hospital, chemotherapy infusion center, simulation model

* Corresponding author: E-mail: nitipat.l@psu.ac.th

¹Policy and Planning Analysis Section, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University.

²Major in Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Management Sciences, Prince of Songkla University.

³Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Srivijaya.

^{4, 5}Nursing Services Division, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University.

⁶Department of Industrial Engineering and Manufacturing, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University.

⁷Department of Pediatrics, Faculty of Medicine, Prince of Songkla University.

1. บทนำ

ในปัจจุบันโรคมะเร็งถือเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก และมีแนวโน้มอัตราการเกิดโรคมะเร็งขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากสถิติทั่วโลก ในปี พ.ศ. 2563 พบว่ามีผู้ป่วยโรคมะเร็งรายใหม่สูงถึง 19.3 ล้านราย และเสียชีวิตมากถึง 10 ล้านราย [1] และในประเทศไทยก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยสถิติพบว่า มีผู้ป่วยโรคมะเร็งรายใหม่ 139,206 รายต่อปี และในจำนวนนี้มีผู้เสียชีวิตมากถึง 84,073 รายต่อปี [2] ซึ่งในปัจจุบันการรักษาโรคมะเร็งมีแนวทางที่หลากหลาย เช่น การผ่าตัด รังสีรักษา ฮอโมนบำบัด การรักษาแบบผสม และการให้ยาเคมีบำบัด

การให้ยาเคมีบำบัดเป็นการให้ยาซึ่งมีฤทธิ์ทำลายหรือหยุดยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อร้าย บางครั้งอาจมีผลทำให้เซลล์ปกติของร่างกายถูกทำลาย ส่งผลให้เกิดอาการข้างเคียง เช่น อาเจียน คลื่นไส้ เบื่ออาหาร ปากอักเสบ ภูมิคุ้มกันต่ำ ท้องเสีย ผอมลง ซึ่งอาการเหล่านี้จะมากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของยา สภาพความแข็งแรงของร่างกาย รวมถึงความพร้อมทางด้านจิตใจของผู้ป่วย [3]

โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เป็นโรงพยาบาลระดับตติยภูมิ (โรครายและซับซ้อน) ขนาด 853 เตียง [4] มีผู้ป่วยที่เข้ามาทำการรักษาโรคมะเร็งด้วยการให้ยาเคมีบำบัดเพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ปี โดยในปีพ.ศ. 2563 มีผู้ป่วยนอกที่เข้ารับบริการจำนวน 14,849 ครั้ง หรือมีผู้ป่วยเข้ารับบริการเฉลี่ยต่อวันมากถึง 50 ถึง 60 ราย ทำให้ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด ซึ่งเป็นสถานที่ในการให้ยาเคมีบำบัดสำหรับผู้ป่วยนอกต้องมีการบริหารจัดการทรัพยากรทั้งเตียง พยาบาล ผู้ช่วยพยาบาล ยา และอุปกรณ์การแพทย์ให้มีความเพียงพอและมีความเหมาะสมเพื่อที่จะสามารถรองรับการเข้ามารับบริการของผู้ป่วยโรคมะเร็งในแต่ละวัน

ในปัจจุบันศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดมีจำนวนเตียงในการให้บริการทั้งหมด 26 เตียง เป็นเตียงหลัก จำนวน 20 เตียง และเตียงเสริมจำนวน 6 เตียง โดยในเวลาราชการจะเปิดให้บริการเตียงหลักตั้งแต่เวลา 7.30 – 16.30 น. และเตียงเสริมจะแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกจะมีเตียงเสริมจำนวน 3 เตียง เริ่มเปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 11.30 – 16.30 น.

และชุดที่สอง มีเตียงเสริมจำนวน 3 เตียง เริ่มเปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 13.00 – 16.30 น. ในส่วนของนอกเวลาราชการจะมีจำนวนเตียงในการเปิดเพียง 15 เตียง โดย 10 เตียง เปิดตั้งแต่เวลา 16.30 – 20.00 น. และอีก 5 เตียง เปิดตั้งแต่เวลา 16.30 – 18.00 น. ด้วยการรักษาโรคมะเร็งซึ่งเป็นโรคที่มีความซับซ้อนและหลากหลายชนิด มีสูตรยาเคมีจำนวนมาก ทำให้ระยะเวลาในการรักษาผู้ป่วยแต่ละรายแตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ 30 นาที หรือมากถึง 8 ชั่วโมง และจากการวิเคราะห์สถานการณ์ในปัจจุบัน พบว่า มีอรรถประโยชน์ในการครองเตียงเฉลี่ยเพียงร้อยละ 76.04 และมีอัตราการว่างของเตียงมากถึงร้อยละ 21.53 จึงเป็นโจทย์ความท้าทายในการบริหารจัดการทรัพยากรให้มีความเพียงพอและเหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา

ดังนั้นในบทความนี้ จะเป็นการจำลองสถานการณ์กระบวนการการเข้ารับบริการของผู้ป่วยโรคมะเร็งศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด โดยใช้จำนวนผู้ป่วยที่เข้ามารับบริการในแต่ละช่วงเวลา และระยะเวลาการให้ยาเคมีแต่ละชนิด เป็นตัวแปรในการจำลองสถานการณ์ โดยใช้โปรแกรม Promodel® เข้ามาช่วยในการออกแบบ วิเคราะห์ และสร้างสถานการณ์ทางเลือกเพื่อเพิ่มอรรถประโยชน์ในการครองเตียงของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดให้สูงมากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีอรรถประโยชน์ (Utility Function)

ทฤษฎีอรรถประโยชน์ [5] เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้เป็นพื้นฐานในการตัดสินใจในการเลือกรูปแบบต่าง ๆ กันเป็นจำนวนมาก โดยจะเลือกรูปแบบที่มีอรรถประโยชน์สูงสุด (Maximum Utility) ทฤษฎีอรรถประโยชน์จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ ในหลากหลายสถานการณ์ เช่น อรรถประโยชน์ในการครองเตียงของหอผู้ป่วย กล่าวคือ เมื่อระยะเวลาที่เตียงของหอผู้ป่วยถูกใช้เป็นระยะเวลานานเท่าไร อรรถประโยชน์ในการครองเตียงของหอผู้ป่วยจะมีความมากขึ้น ดังสมการที่ 1

$$\text{อรรถประโยชน์ในการครองเตียง} = \frac{\text{ระยะเวลาที่เตียงถูกใช้งาน}}{\text{ระยะเวลาที่เตียงเปิดให้บริการทั้งหมด}} \quad (1)$$

2.2 ทฤษฎีการจำลองสถานการณ์ (Simulation)

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) [6] เป็นการรวบรวมวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบต่าง ๆ มาไว้บนคอมพิวเตอร์ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วย เพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ โดยมีการเก็บข้อมูลและทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต และจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญการจำลองสถานการณ์ [7] พบว่าสิ่งสำคัญของการจำลองสถานการณ์คือตัวแบบจำลองที่มีความสมเหตุสมผลและสามารถพิสูจน์ได้ภายใต้ปัจจัยการนำเข้า (Input) และนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ (Output) ที่ระบบประมวลออกมา ซึ่งกระบวนการจำลองสถานการณ์ให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ มีความยืดหยุ่นสูง สามารถจำลองเหตุการณ์ได้หลายครั้ง เมื่อเทียบกับการลงมือทำจริง และเหมาะกับการวิเคราะห์ระบบจริงที่มีขั้นตอนที่ซับซ้อน สามารถทดลองได้โดยไม่ต้องหยุดระบบจริง รวมถึงระบบย่อย ๆ ของระบบใหญ่ได้ ซึ่งมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการนำมาปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดโดยไม่จำเป็นต้องหยุดระบบการทำงานจริง เพราะการหยุดระบบงานจริงจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ที่รอรับการบริการจากศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของแผนกขนย้ายผู้ป่วยในโรงพยาบาล [8] โดยการใช้การประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Promodel® เพื่อวิเคราะห์ระดับประสิทธิภาพการขนย้ายผู้ป่วย ทั้งเวลาการรอคอยของผู้ป่วยที่รอรับการขนย้าย และอัตราประโยชน์จากการทำงานของเจ้าหน้าที่ขนย้าย โดยมีการเสนอทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด คือ มีอัตราประโยชน์จากการทำงานของเจ้าหน้าที่ขนย้ายเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 24 เวลาเฉลี่ยที่ผู้ป่วยอยู่ในระบบลดลงร้อยละ 6 และเวลาเฉลี่ยที่ผู้ป่วยอยู่ในแถวคอยสำหรับผู้ป่วยในแต่ละระดับบริการลดลงร้อยละ 4.26 11.29 และ 9.79 ในกรณีด่วนวิกฤติ ด่วน และปกติ ตามลำดับ และมีค่าตอบแทนเจ้าหน้าที่ขนย้ายลดลงจาก 1,005,531.20 บาทต่อปี เป็น 942,685.50 บาทต่อปี (คิดเป็นร้อยละ 6.25)

การศึกษาแบบจำลองการสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดการเตียงในการดูแลสุขภาพ [9] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถเข้าถึงการดูแลได้ทันทั้งที่และจัดการการจัดสรรทรัพยากรอย่างจำกัด โดยใช้โปรแกรม Arena Simulation ผลการวิจัยพบว่าการใช้เวลาในการหมุนเวียนเตียงลดลงหนึ่งชั่วโมงทำให้การรอคอยของผู้ป่วยลดลง นอกจากนี้การลดระยะเวลาเฉลี่ยในการเข้าพักรักษาใช้เวลา 10 ชั่วโมง ส่งผลให้การลดเวลาในการรอคอยของผู้ป่วยโดยเฉลี่ยและคิวผู้ป่วยโดยเฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การวิเคราะห์เปรียบเทียบของแผนกยังแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงเวลาเฉลี่ยในการรอคอยเฉลี่ยจำนวนผู้ป่วยที่อยู่ในคิวและระยะเวลาในการพักเฉลี่ย โดยการเพิ่มเตียง 2 เตียงงานวิจัยนี้เน้นการประยุกต์ใช้การจำลองในการดูแลสุขภาพผ่านข้อมูลที่มีจะพร้อมใช้งานในระบบติดตามการจัดการเตียงพฤติกรรมดำเนินงานของโรงพยาบาลสามารถเป็นแบบจำลองซึ่งจะช่วยให้การจัดการโรงพยาบาลสามารถทดสอบผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายและลดความเสี่ยง

การจำลองระบบปัญหาแถวคอยและสถานการณ์ทางเลือกด้วยโปรแกรม Arena เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของคลินิกกุมารเวชและอายุรกรรม [10] ผลการศึกษา พบว่า การเพิ่มพยาบาล ณ จุดซักประวัติ 1 คน ในช่วงเช้าของวันจันทร์ถึงวันพฤหัสบดีและวันศุกร์ จะทำให้เวลารอรับบริการเฉลี่ยรวมของผู้ป่วยลดลงร้อยละ 27.73 และ 31.79

การปรับปรุงการบริการ โดยวิธีการศึกษาการทำงาน แถวคอยและการจำลองแบบปัญหา โดยการรวมงานและเพิ่มช่องเวรระเบียบกับการตรวจสอบสิทธิ โดยการเพิ่มสถานีดัดกรองและการปรับปรุงแถวคอยเป็นแถวคอยเดียว ทำให้สามารถให้บริการผู้ป่วยได้เร็วขึ้น ร้อยละ 61.71 [11]

การสร้างแบบจำลองเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่งผู้ป่วยบนโปรแกรม Arena มีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ (1) การพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์รูปแบบทั่วไป (2) ทดสอบตัวแบบจำลองโดยใช้เครื่องมือในการสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของที่โรงพยาบาล North York โรงพยาบาล Juravinski และศูนย์ Cancer [12] ผลการเลือกใช้แบบจำลองทำให้ KPI ของโรงพยาบาลดีขึ้น ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนกะ

การทำงานของคนเปล ปรับปรุงเวลาตอบสนอง ปรับปรุงเวลา
งาน และการระบุจำนวนงานของบริการการใช้คนเปล 2 คน
ใหม่ ในโรงพยาบาล North York ทำให้อรอบการหมุนของ
เวลาเฉลี่ยลดลงจาก 39.31 เหลือ 23.38 นาที

3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้ครอบคลุมการศึกษาการเข้ามาใช้บริการ
ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดของโรงพยาบาลกรณีศึกษา โดยใน
ปัจจุบันศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดกำลังประสบปัญหาการบริหาร
จัดการเตียงและคิว เนื่องจากศูนย์ไม่ทราบล่วงหน้าว่าสูตรยา
ใดมาก่อน จากการเข้าสำรวจและสังเกตการณ์ในพื้นที่ (โดย
ผู้วิจัย) ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดมีจำนวนเตียงในการให้บริการ
ทั้งหมด 26 เตียง เป็นเตียงหลัก จำนวน 20 เตียง และเตียง
เสริมจำนวน 6 เตียง โดยในเวลาราชการเตียงหลักจะเปิด
ให้บริการตั้งแต่เวลา 7.30 – 16.30 น. และเตียงเสริมจะแบ่ง
ออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกจะมีเตียงเสริมจำนวน 3 เตียง เริ่มเปิด
ให้บริการตั้งแต่เวลา 11.30 – 16.30 น. และชุดที่สอง มีเตียง
เสริมจำนวน 3 เตียง เริ่มเปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 13.00 –
16.30 น. ในส่วนของนอกเวลาราชการจะมีจำนวนเตียงในการ
เปิดเพียง 15 เตียง โดย 10 เตียง เปิดตั้งแต่เวลา 16.30 –
20.00 น. และอีก 5 เตียง เปิดตั้งแต่เวลา 16.30 – 18.00 น.
โดยผู้วิจัยพบว่า ในปัจจุบันศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดมี
อรรถประโยชน์ในการครองเตียงเฉลี่ยร้อยละ 76.04 และมี
อัตราการว่างของเตียงร้อยละ 21.53 ทำให้ผู้วิจัยศึกษาจำนวน
คนไข้ที่เข้ามาใช้บริการในแต่ละช่วงเวลาและระยะเวลาที่ให
ยาในแต่ละช่วงเวลา เพื่อทำการออกแบบและวิเคราะห์ในการ
เพิ่มอรรถประโยชน์ในการครองเตียงของศูนย์ให้ยาเคมี และ
ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่างจะเป็นผู้เข้ามาใช้บริการศูนย์ให้ยา
เคมีบำบัด ขั้นตอนการวิจัยในงานวิจัยนี้ สามารถเขียนเป็น
ขั้นตอนได้ ดังนี้

1. ลงสำรวจพื้นที่ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดโรงพยาบาล
สงขลาครินทร์ เพื่อพิจารณาสภาพปัจจุบันของการทำงาน
ในส่วนของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด และปัญหาการบริหาร
จัดการเตียงและคิว

2. ศึกษาสภาพแผนผังพื้นที่และการทำงานพื้นที่
ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดโรงพยาบาลสงขลาครินทร์ ในปัจจุบัน
แสดงดังรูปที่ 1 เพื่อออกแบบกรอบแนวคิดในการวิจัย



รูปที่ 1 สภาพการใช้งานพื้นที่ ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด
โรงพยาบาลสงขลาครินทร์ ในปัจจุบัน

3. เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณผู้มาใช้บริการใน
พื้นที่ และปริมาณการใช้เตียงในแต่ละช่วงเวลา โดยในเวล
าราชการตั้งแต่เวลา 7.30 – 16.30 น. และนอกเวลาราชการ
ตั้งแต่เวลา 16.30 – 20.00 น.

4. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาการแจกแจงความถี่
(Distribution) อัตราการเข้ามา (Arrival Time) ในพื้นที่ศูนย์ให้
ยาเคมีบำบัด เพื่อหาการแจกแจงความถี่ของเวลาในการ
ให้บริการ (Service Time) ของเจ้าหน้าที่ในการให้บริการแต่ละ
คน (แต่ละช่องบริการ) ในการให้บริการในแต่ละวันที่เก็บข้อมูล
จากนั้นนำมาหาค่าการแจกแจงความถี่

5. สร้างแบบจำลองสถานการณ์แถวคอย สร้าง
ทางเลือก และทำการตรวจสอบและทดสอบผลลัพธ์ของ
แบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Promodel®

6. ทำการประมวลผลแบบจำลองทางเลือกโดยการ
เพิ่ม/ลดในช่วงเวลาการเปิดปิดเตียงในการให้บริการของ
ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดในแบบจำลอง เพื่อหาความเหมาะสม
ของอรรถประโยชน์ในการครองเตียง และอัตราการว่างของ
เตียง

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

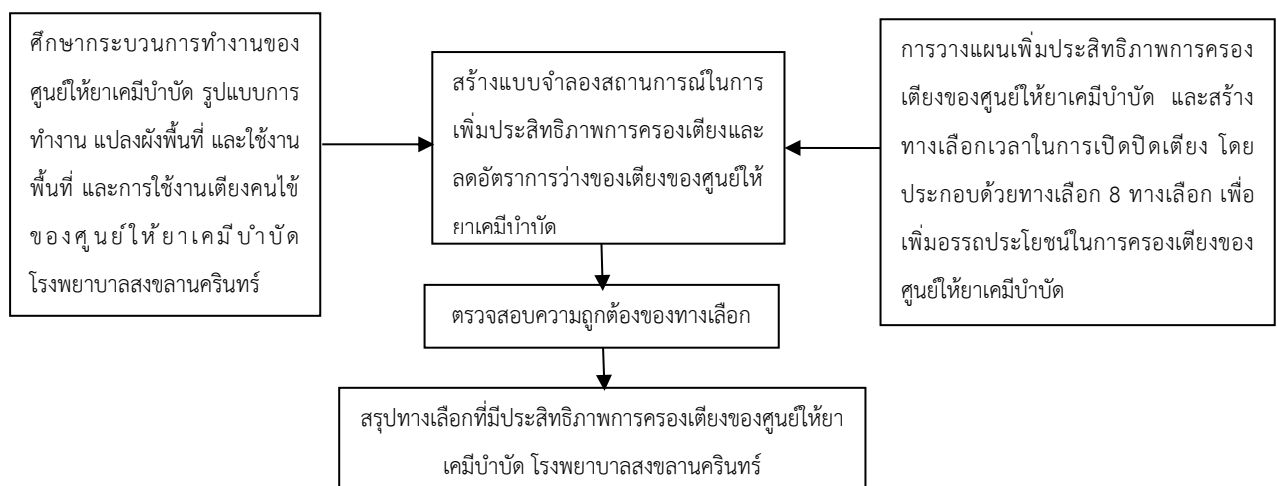
4.1 การวิเคราะห์สภาพปัจจุบัน

1) ศึกษาสภาพปัจจุบันของการทำงานของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

ในปัจจุบันขั้นตอนการให้บริการของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดเริ่มต้นโดย OPD ส่งหัตถกรรมเคมีบำบัด เพื่อทำการตรวจสอบว่ามีเตียงหรือไม่ หากมีจะทำการลงทะเบียนซักประวัติ ต่อมาให้ยาเคมีบำบัด ล้างเส้น และคนไข้ออกจากระบบ

2) กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้วิจัยสนใจเกิดจากแนวคิด (Conceptual) ที่จะหาสาเหตุของปัญหาการบริหารจัดการเตียงและคิวคนไข้ขึ้นในศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด จากการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ทั้งจากการทบทวนวรรณกรรมและการสังเกตการณ์ลงสำรวจพื้นที่แผนกเวชระเบียนโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ผู้วิจัยได้สร้างกรอบงานวิจัย (Conceptual Research Framework) ขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยและแผนการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กรอบแนวความคิดการวิจัย (Conceptual Research Framework)

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลเข้า

การเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยทำการบันทึกจำนวนและเวลาการเข้ามาของคนไข้ที่เข้ามาในศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด ในช่วงเวลาราชการ จันทร์ - ศุกร์ ตั้งแต่เวลา 7.30 - 16.30 น. และนอกเวลาราชการจันทร์ - ศุกร์ ตั้งแต่เวลา 16.30 - 20.00 น. เป็นระยะเวลา 6 เดือน คนไข้ที่เข้ารับการรักษาที่ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดมาจากคลินิกต่าง ๆ ภายในโรงพยาบาล เช่น คลินิกอายุรกรรม คลินิกนรีเวช คลินิกศัลยกรรม เป็นต้นโดยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประมวลผล และแบบฟอร์มบันทึกเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณที่ออกแบบโดยผู้วิจัย เพื่อเก็บข้อมูลจำนวนคนไข้และระยะเวลาในการให้ยาเคมีบำบัดของแต่ละคลินิก ผู้วิจัยทำการป้อนข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลในการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของอัตราการเข้ามาของคนไข้ของแต่ละคลินิกในแต่ละวัน (Arrival Time) (ตารางที่ 1) และระยะเวลาในการให้ยาเคมีบำบัดของแต่ละสูตรยา (Service Time) (ตารางที่ 2) โดยใช้ช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการกระจายตัวของอัตราการเข้ามาของคนไข้

วัน	คลินิก	การกระจายตัว	อัตราการเข้ามาของคนไข้		P-Value
			Avg.	S.D.	
จันทร์	อายุรกรรม	normal	7.35	2.76	0.391
	นารีเวช-ศัลยกรรม	normal	14.04	2.70	0.081
อังคาร	อายุรกรรม	normal	10.11	3.13	0.299
	ศัลยกรรม	normal	4.32	3.71	0.287
ศุกร์	นารีเวช-ศัลยกรรม	normal	7.15	4.11	0.244

ตารางที่ 2 ตัวอย่างระยะเวลาในการให้ยาเคมีบำบัดของแต่ละสูตรยา

สูตรยา	การกระจายตัว	ระยะเวลาการให้ยา(นาที)		P-Value
		Avg.	S.D.	
A	normal	151.2	9.72	0.274
B	normal	210.1	7.69	0.370
C	normal	392.7	9.04	0.160
D	normal	451.4	9.82	0.186

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลแล้ว เพื่อความแม่นยำและความถูกต้องของข้อมูลในการวิเคราะห์ จึงทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเข้ามาของคนไข้ในแต่ละช่วงเวลาและความน่าจะเป็นของการได้รับยาเคมีบำบัดในแต่ละช่วงเวลาของคนไข้ (Probability) เช่น วันจันทร์ คลินิกอายุรกรรม เมื่อแบ่งความน่าจะเป็นที่คนไข้จะเข้ามาในแต่ละช่วงเวลา จะพบว่า เวลา 8.00 – 8.59 น. มีค่าความน่าจะเป็นที่คนไข้จะเข้ามาเป็น 0.0730 และเวลา 9.00 – 9.59 น. มีค่าความน่าจะเป็นที่คนไข้จะเข้ามาเป็น 0.1406 เป็นต้น โดยเวลาในแต่ละวันของแต่ละคลินิก เมื่อรวมกันจะต้องมีค่าความน่าจะเป็นที่คนไข้จะเข้ามาเป็นไม่เกิน 1 และความน่าจะเป็นของการได้รับยาเคมีบำบัดในแต่ละช่วงเวลาของคนไข้ จะได้จากในแต่ละช่วงเวลา และผลรวมของในแต่ละช่วงเวลาจะมีความ

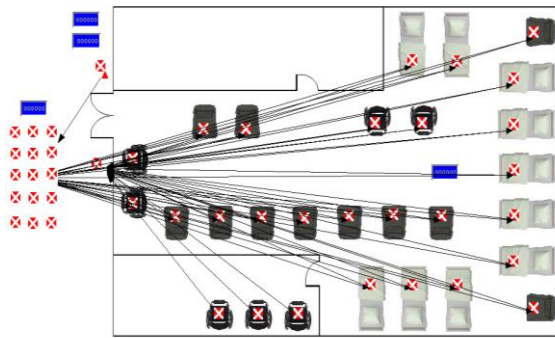
น่าจะเป็นของการได้รับยาเคมีบำบัดไม่เกิน 1 ดังตัวอย่างตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความน่าจะเป็นของการเข้ามาของคนไข้ในแต่ละช่วงเวลาและความน่าจะเป็นของการได้รับยาเคมีบำบัดในแต่ละช่วงเวลาของคนไข้

วัน	คลินิก	เวลา	ความน่าจะเป็นของการเข้ามาของคนไข้	ความน่าจะเป็นของการได้รับยาเคมีบำบัด	
				สูตรยา	ความน่าจะเป็น
จันทร์	อายุรกรรม	8.00น.	0.0730	C	0.2143
				D	0.2143
	อายุรกรรม	10.00น.	0.1406	C	0.0370
				D	0.1855
	อายุรกรรม	13.00น.	0.0938	C	0.1110
				D	0.0000
อังคาร	อายุรกรรม	8.00น.	0.0476	A	0.2727
				B	0.0000
	อายุรกรรม	10.00น.	0.1026	A	0.4800
				B	0.0000
	อายุรกรรม	13.00น.	0.1062	A	0.1304
				B	0.0000

4.3 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

หลังจากทำการศึกษาศาภาพการทำงานปัจจุบันของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์แล้วจึงทำการออกแบบแบบจำลองสถานการณ์ของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด โดยใช้โปรแกรม Promodel® ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์การทำงานของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดในปัจจุบัน เพื่อถ่ายทอดการศึกษาปัญหาและการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งการสร้างแบบจำลองของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดแสดงดังรูปที่ 3 และนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3 แบบจำลองสถานการณ์ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องและการทวนสอบความสมเหตุสมผล

เมื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ของระบบงานศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดก่อนการปรับปรุงแล้ว หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Verification) โดยทดสอบขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองว่ามีลักษณะการทำงานเหมือนระบบงานจริงหรือไม่ ในการทดสอบความสมเหตุสมผล (Validation) ของแบบจำลองเป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถใช้แทนระบบงานจริง โดยการกำหนดสมมติฐานและให้ค่า μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนการเข้ารับบริการของคนไข้ของสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง และ μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนการเข้ารับบริการของคนไข้ของสถานการณ์จำลองจริง ดังนี้

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_1 - \mu_2 &= 0 \\ H_1 : \mu_1 - \mu_2 &\neq 0 \end{aligned}$$

โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การทดสอบความเพียงพอของตัวแบบ และ (2) การทดสอบเปรียบเทียบข้อมูล 2 ชุด (2 Sample-t) โดยจะดูผลที่ค่า P-Value หากมากกว่า 0.05 หมายถึง ยอมรับว่าแบบจำลองสามารถใช้แทนระบบจริงได้ จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่า ๆ ระหว่างตัวแบบจำลองกับระบบจริง (Calibration) และเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนของจำนวนคนที่ออกจากระบบจริง และแบบจำลองด้วยการทดสอบ t-test และผลการทวนสอบความสมเหตุสมผลทางสถิติของแบบจำลอง แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทวนสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง

ข้อมูลทดสอบ	การแจกแจงแบบ	จำนวนข้อมูล (ครั้ง)	P-Value	2 Sample T-test
สถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง	ปกติ	27	0.884	P-Value = 0.232
สถานการณ์จำลอง	ปกติ	10	0.868	

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 นั่นคือยอมรับสมมติฐานหลัก กล่าวคือ จำนวนคนไข้ที่ออกจากระบบจริงและระบบจำลองไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงถือได้ว่าตัวแบบจำลองสามารถเป็นตัวแทนของระบบงานจริงได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์จำนวนการเข้า (Run) ที่เหมาะสม หลังจากได้ตัวแบบจำลองของระบบงานจริงทำการคำนวณหาค่าขอบล่างของจำนวนรอบทำซ้ำ ดังแสดงในสมการที่ 2

$$R \geq \left(\frac{Z_{\alpha} S_0}{\varepsilon} \right)^2 \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) แทนค่าจำนวนครั้งการรันครั้งแรก R_0 เท่ากับ 10 ครั้ง และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง S_0 เท่ากับ 30.95 คน/สัปดาห์ ค่าขอบเขตของความคลาดเคลื่อน ε เท่ากับ 14.95 คน/สัปดาห์ ซึ่งมาจากร้อยละ 10 ของกลุ่มตัวอย่างที่สนใจ และค่าความเชื่อมั่นที่ $1 - \alpha$ เท่ากับ 0.95 ผลการคำนวณจากสมการ (1) พบว่าขอบล่างของจำนวนรอบทำซ้ำที่ต้องการเท่ากับ 16.46 ครั้ง จากนั้นทำการเพิ่มค่า R จนกว่าจะได้จำนวนจริงบวกที่น้อยที่สุดที่ทำให้สมการในตารางที่ 5 เป็นจริง โดยเพิ่มค่า R ให้มีค่ามากกว่า 16.64 ในการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การคำนวณหาจำนวนครั้งในการทดลองรันที่เหมาะสม

R	17	18	19
$t_{0.025, R-1}$	2.12	2.11	2.11
$(t_{\alpha/2, R-1} S_0 / \varepsilon)^2$	19.26	19.08	18.91

จากตารางที่ 5 เมื่อทำการทำการตรวจสอบอสมการด้วย R ที่ 17 18 และ 19 ตามลำดับ พบว่าอสมการที่ R เท่ากับ 19 มีค่าจริงน้อยที่สุดจึงเป็นจำนวนครั้งในการทดลองรันที่เหมาะสม และเนื่องจากได้มีการจำลองด้วยจำนวนรอบทำซ้ำครั้งแรกจำนวน 10 ครั้ง ดังนั้นจะมีการทดลองรันเพิ่มขึ้น ($R - R_0$) จำนวน 9 ครั้ง โดยผลของการทดลองรันจำนวน 19 ครั้ง จะได้จำนวนคนไข้ที่ออกจากระบบ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 จำนวนคนไข้ที่ออกจากระบบจากการทดลองรันจำนวน 19 ครั้ง

การทดลองรัน (ครั้ง)	จำนวนคนไข้ที่ออกจากระบบ	การทดลองรัน (ครั้ง)	จำนวนคนไข้ที่ออกจากระบบ
1	324	11	313
2	338	12	301
3	292	13	289
4	302	14	274
5	255	15	324
6	333	16	274
7	262	17	300
8	293	18	300
9	326	19	260
10	278		
ค่าเฉลี่ย	295.22		

จากผลของการทดลองรัน สามารถนำมาคำนวณช่วงความเชื่อมั่น ของค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ป่วยที่ออกจากระบบ

ตารางที่ 7 สถานการณ์ทางเลือกเพื่อการปรับปรุง

สถานการณ์จำลอง	เตียงที่ 1 - 20	เตียงที่ 1 - 5	เตียงที่ 6 - 10	เตียงที่ 11 - 15	เตียงที่ 16 - 20	เตียงที่ 21 - 23		เตียงที่ 24 - 26	
	เปิด	ปิด	ปิด	ปิด	ปิด	เปิด	ปิด	เปิด	ปิด
ทางเลือก 1	7:30	20:00	20:00	16:30	16:30	11:00	16:30	13:00	16:30
ทางเลือก 2	7:30	16:30	16:30	16:30	16:30	11:00	16:30	13:00	16:30
ทางเลือก 3	7:30	18:00	18:00	18:00	16:30	11:00	16:30	13:00	16:30
ทางเลือก 4	7:30	18:00	18:00	18:00	16:30	11:00	16:30	11:00	16:30
ทางเลือก 5	7:30	16:30	16:30	16:30	16:30	11:00	16:30	11:00	16:30
ทางเลือก 6	7:30	20:00	20:00	16:30	16:30	11:00	16:30	11:00	16:30
ทางเลือก 7	7:30	18:00	18:00	16:30	16:30	11:00	16:30	13:00	16:30
ทางเลือก 8	7:30	18:00	18:00	16:30	16:30	11:00	16:30	11:00	16:30

(Confidence Interval) พบว่า ช่วงของความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยจำนวนผู้ป่วยที่ออกจากระบบ มีค่าเท่ากับ 295.22 ± 0.5 คนต่อเดือน

4.5 การเปรียบเทียบทางเลือก

การเปรียบเทียบทางเลือกในครั้งนี้นำผู้วิจัยได้ออกทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับปรุงออกเป็น 8 สถานการณ์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่แตกต่างกันของอรรถประโยชน์ในการครองเตียง โดยในแต่ละสถานการณ์จะมีความแตกต่างกันของช่วงเวลาในการเปิดปิดการให้บริการ โดยช่วงเวลาเปิดจะแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาเปิด 7:30น. จะทำการเปิดจำนวน 20 เตียง ซึ่งรองรับคนไข้ในกลุ่มที่นัดหมายล่วงหน้าในช่วงเช้าและคนไข้ที่ได้รับการส่งมาจากคลินิก OPD ช่วงเวลาเปิด 11:00น. และ 13:00น. โดยส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มคนไข้ที่ได้รับการส่งมาจากคลินิก OPD ช่วงเวลาปิดให้บริการจะแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาปิด 16:30น. 18:00น. และ 20:00น. โดย 2 ช่วงเวลาหลังจะเป็นนอกเวลาราชการ โดยกรณีที่เปิดจะต้องมีจำนวนเตียงที่เปิดอย่างน้อย 10 เตียง (พยาบาล 1 คน ดู 5 เตียง เพื่อรองรับปัญหาที่จะเกิดขึ้นกรณีที่ผู้ป่วยมีอาการแพ้ยาหรืออื่น ๆ) ดังแสดงช่วงเวลาเปิดปิดดังตารางที่ 7 ซึ่งในแต่ละสถานการณ์ทางเลือกจะไม่กระทบต่อจำนวนและต้นทุนการจ้างงานพยาบาลหรือผู้ช่วยพยาบาล เนื่องจากสามารถปรับหรือโยกย้ายตารางการทำงานของพยาบาลและผู้ช่วยพยาบาลได้

การประเมินผลและการเปรียบเทียบแบบจำลองของแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มอรรถประโยชน์ในการครองเตียงด้วยวิธี Bonferroni โดยกำหนดค่านัยสำคัญ $\alpha = 0.15$ และตั้งสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_M = \mu_{M1} = \mu_{M2} \dots = \mu_{M8}$$

$$H_1 : \mu_M \neq \mu_{M1} \text{ หรือ } \mu_M \neq \mu_{M2} \dots \text{ หรือ } \mu_{M7} \neq \mu_{M8}$$

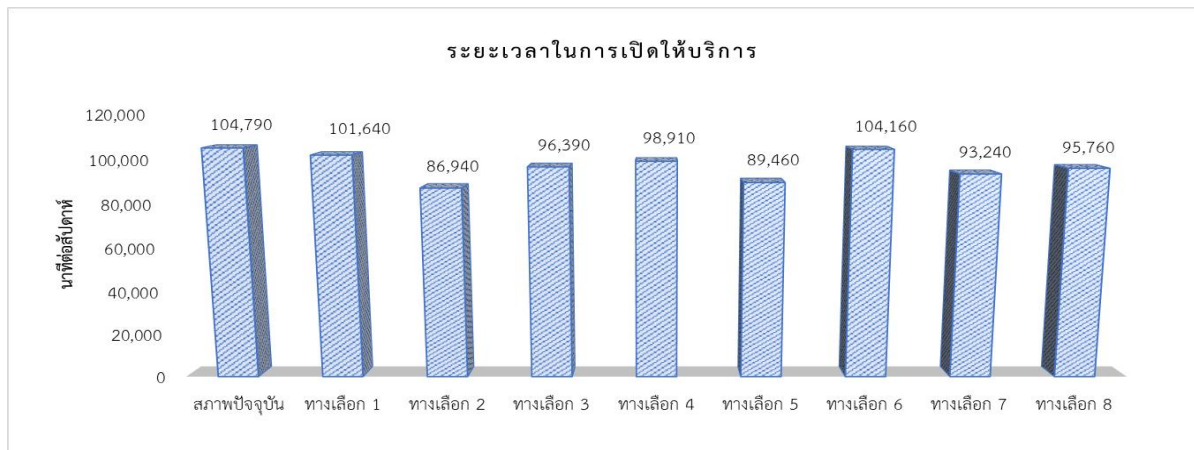
เมื่อประมวลผลการจำลองทั้งหมดแล้วจะได้ค่าเฉลี่ยของอรรถประโยชน์ในการครองเตียง และนำผลที่ได้ดังกล่าวมาเปรียบเทียบอรรถประโยชน์ในการครองเตียงจากการจำลองสถานการณ์จริง ดังตารางที่ 8 พบว่า ช่วงความเชื่อมั่นของผลต่างของอรรถประโยชน์ในการครองเตียงทั้งหมดไม่ครอบคลุมค่าศูนย์ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ผลต่างของอรรถประโยชน์ในการครองเตียงทั้งหมดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.15$ โดยแบบจำลองทางเลือกที่ 2 มีอรรถประโยชน์ในการครองเตียงมากที่สุด คือ ร้อยละ 84.16 เพิ่มขึ้นจากสภาพปัจจุบัน 10.55 รองลงมาเป็นแบบจำลองทางเลือกที่ 5, 7, 3, 1, 8, 4 และ 6 มีอรรถประโยชน์ในการครองเตียง (81.25), (78.31), (77.64), (76.28), (74.71), (74.16) และ (74.01) ตามลำดับ เพิ่มขึ้นจากเดิม (7.65), (4.70), (4.03), (2.67), (1.10), (0.56) และ (0.41) ตามลำดับ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลการจำลองสถานการณ์มาเปรียบเทียบเพิ่มเติมใน 3 ตัวชี้วัดคือ (1) ระยะเวลาการให้บริการ พบว่า สถานการณ์ทางเลือกที่ 2 มีระยะเวลาการให้บริการน้อยที่สุดคือ 86,940 นาทีต่อสัปดาห์ หรือลดลงจากสภาพปัจจุบันร้อยละ 17.03 และสถานการณ์ที่ 5, 7, 8, 3, 4, 1 และ 6 มีระยะเวลาในการเปิดให้บริการ (104,160), (101,640), (98,910), (96,390), (95,760), (93,240), (89,460) และ (86,940) นาทีต่อสัปดาห์ ตามลำดับ ลดลงจากสภาพปัจจุบันร้อยละ (14.63), (11.02), (8.62),

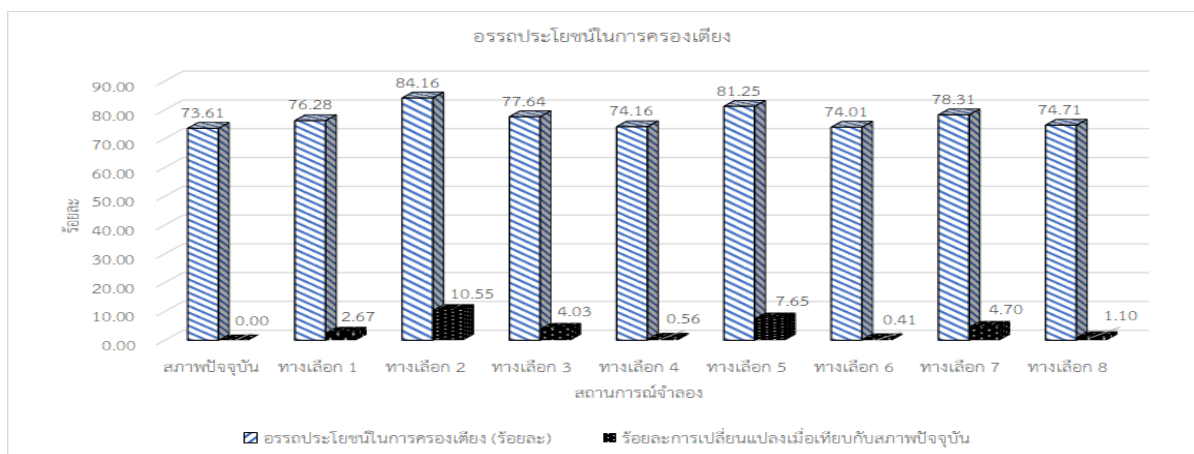
(8.02), (5.61), (3.01) และ (0.60) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4 (2) อัตราการว่างของเตียง พบว่า สถานการณ์ทางเลือกที่ 2 มีอัตราการว่างของเตียงต่ำที่สุดคือร้อยละ 13.23 หรือลดลงจากสภาพปัจจุบันร้อยละ 10.89 และสถานการณ์ที่ 5, 7, 3, 1, 8, 4 และ 6 มีอัตราการว่างของเตียง (16.30), (19.31), (19.93), (24.41), (22.92), (23.45) และ (23.65) ลดลงจากเดิม (7.82), (4.81), (4.19), (2.70), (1.20), (0.67) และ (0.47) ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5 และ (3) จำนวนการเข้ารับบริการของคนไข้ พบว่า จำนวนการเข้ารับบริการของคนไข้ในแต่ละสถานการณ์ทางเลือกมีความใกล้เคียงกันทุกสถานการณ์ แสดงดังรูปที่ 6

ตารางที่ 8 อรรถประโยชน์ในการครองเตียงในแต่ละแบบจำลอง

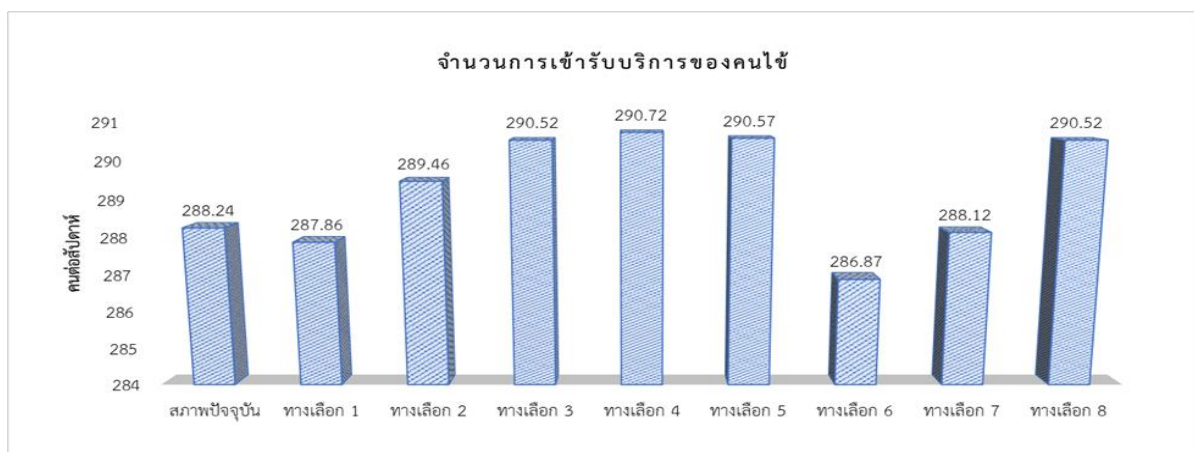
รูปแบบ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สภาพปัจจุบัน (M)	73.61	3.85
ทางเลือกที่ 1 (M ₁)	76.28	5.04
ทางเลือกที่ 2 (M ₂)	84.16	5.44
ทางเลือกที่ 3 (M ₃)	77.64	5.08
ทางเลือกที่ 4 (M ₄)	74.16	5.79
ทางเลือกที่ 5 (M ₅)	81.25	6.77
ทางเลือกที่ 6 (M ₆)	74.01	5.17
ทางเลือกที่ 7 (M ₇)	78.31	5.47
ทางเลือกที่ 8 (M ₈)	74.71	6.38
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M-M1)} : -3.86 \leq \mu_M - \mu_{M1} \leq -1.48$		
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M-M2)} : -12.14 \leq \mu_M - \mu_{M2} \leq -8.97$		
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M-M3)} : -5.26 \leq \mu_M - \mu_{M3} \leq -2.80$		
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M-M4)} : -2.49 \leq \mu_M - \mu_{M4} \leq 1.38$		
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M-M5)} : -10.56 \leq \mu_M - \mu_{M5} \leq -6.73$		
:		
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M5-M8)} : 6.16 \leq \mu_{M5} - \mu_{M8} \leq 6.93$		
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M6-M7)} : -4.59 \leq \mu_{M6} - \mu_{M7} \leq -3.99$		
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M6-M8)} : -1.91 \leq \mu_{M6} - \mu_{M8} \leq 0.52$		
ช่วงความเชื่อมั่น $\mu_{(M7-M8)} : 2.68 \leq \mu_{M7} - \mu_{M8} \leq 4.51$		



รูปที่ 4 ระยะเวลาในการเปิดให้บริการ (นาที่ต่อสัปดาห์)



รูปที่ 5 อัตราการว่างของเตียง (ร้อยละ)



รูปที่ 6 จำนวนการเข้ารับบริการของคนไข้ (คนต่อสัปดาห์)

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการจำลองสถานการณ์การออกแบบการให้บริการของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ เพื่อวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของการให้บริการและจำลองสถานการณ์ทางเลือกในการปรับปรุง โดยใช้โปรแกรม Promodel® พบว่า สถานการณ์ในแต่ละทางเลือกสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดในเชิงการปฏิบัติงานจริงได้ดี และเมื่อพิจารณาทุกตัวชี้วัดในภาพรวมจากสถานการณ์ทางเลือกที่สร้างขึ้น พบว่าทางเลือกที่ 2 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการจำลองสถานการณ์ โดยกำหนดระยะเวลาในการให้บริการในวันทำการ (วันจันทร์ถึงศุกร์) และเปิดให้บริการเพียงที่ 1 - 20 ในเวลา 7.30 น. ถึง 16.30 น. เพียงที่ 21 - 23 เปิดให้บริการเวลา 11.00 น. ถึง 16.30 น. และเพียงที่ 24 - 26 เปิดให้บริการเวลา 13.30 น. ถึง 16.30 น. ทำให้มีระยะเวลาในการเปิดให้บริการลดลงจาก 104,790 นาทีต่อสัปดาห์ เหลือ 86,940 นาทีต่อสัปดาห์ หรือคิดเป็นร้อยละ 17.03 ในขณะที่จำนวนคนไข้ที่เข้ามาใช้บริการมีจำนวนใกล้เคียงกับในปัจจุบัน (289 คนต่อสัปดาห์) และมีอรรถประโยชน์ในการครองเตียงของผู้ป่วยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 73.61 เป็นร้อยละ 84.16 หรือคิดเป็นร้อยละ 10.55 และอัตราความว่างของเตียงจากการให้บริการของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัดลดลงจากร้อยละ 24.12 เป็นร้อยละ 13.23 หรือคิดเป็นร้อยละ 10.89 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอทางเลือก 2 เพื่อเป็นตัวแบบในการเพิ่มอรรถประโยชน์ในการครองเตียงของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด ภาควิชาการพยาบาลสงขลานครินทร์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.นพ.กิตติพงศ์ เรียบร้อย ผู้อำนวยการโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล และผศ.ดร.วันฐณพงษ์ คงแก้ว อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ สำหรับการสนับสนุนและเอื้อเฟื้อข้อมูล รวมถึงคำแนะนำ ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์จนทำให้บทความสำเร็จลงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Sung, J. Ferlay, R. L. Siegel, M. Laversanne, I. Soerjomataram, A. Jemal and F. Bray, "Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries," *CA: A Cancer Journal for Clinicians.*, vol. 71, no. 3, pp. 209-249, 2021.
- [2] กรุงเทพธุรกิจ, "5 อันดับ "โรคมะเร็ง" พบมากในไทย และ 7 สัญญาณเตือนที่ต้องรู้," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.bangkokbiznews.com/social/976618>. [วันที่เข้าถึง 10 ธันวาคม 2564].
- [3] โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, "เคมีบำบัด," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.bumrungrad.com/th/treatments/chemo-therapy>. [วันที่เข้าถึง 10 ธันวาคม 2564].
- [4] โรงพยาบาลสงขลานครินทร์, "ข้อมูลโรงพยาบาล," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://hospital.psu.ac.th/1DataHos.php>. [วันที่เข้าถึง 10 ธันวาคม 2564].
- [5] ณภัทร เลขาวิมลธรรม, "การพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางสำหรับนักเรียนระหว่างรถนักเรียนและยานพาหนะอื่น," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.
- [6] D. W. Kelton, R. P. Sadowski and D. T. Sturrock, *Simulation with Arena*, 3rd ed., McGraw - Hill: The McGraw - Hill Company, 2003.
- [7] A. Maria, "Introduction to model and simulation." in *Proceeding of the 1997 Winter Simulation Conference ed.*, 1997.
- [8] จิราวรรณ จันทน์สุวรรณ, นิกร ศิริวงศ์ไพศาล และวันฐณพงษ์ คงแก้ว, "การจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของแผนกขนย้ายผู้ป่วย: ภาควิชาการพยาบาลสงขลานครินทร์," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน.*, vol. 7, no. 1, pp. 25-35, 2562.

- [9] E. A. Cudney, R. A. Baru, I. Guardiola, T. Materla, W. Cahill, R. Phillips, B. Mutter, D. Warner, C. Masek, "A decision support simulation model for bed management in healthcare," *International Journal of Health Care Quality Assurance*, vol. 32, no. 2, pp. 499-515, 2019.
- [10] ศศิวรรณ รัตนอุบล และชานินทร์ ศรีสุวรรณนภา, "การจำลองสถานการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของคลินิกกุมารเวชและอายุรกรรมตึกผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลพัทลุง," *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, ปีที่ 22, 2556.
- [11] ศิลปชัย วัฒนเสย และพิษณุ มนต์ปิติ, "การปรับปรุงการบริการโรงพยาบาล: กรณีศึกษาโรงพยาบาลรัฐบาล," ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, 2554.
- [12] H. Carly, "Improving Patient Transportation Performance by Developing and Implementing a Generic Simulation Model," Master of Applied Science, Mechanical and Industrial Engineering University, 2015.

การจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบผสมผสาน กรณีศึกษา กลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดสงขลา

คุณานนต์ อินทพาน¹, วณัฐพงษ์ คงแก้ว^{2*}, เสกสรร สุธรรมานนท์³, สุภัตตรา มิณดี⁴ และ ศิริภัทร์ สารานพคุณ⁵

^{1,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90110

^{4,5} ภาควิชาโลหิตแห่งชาติที่ 12 ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Received: 26 January 2022; Revised: 3 April 2022; Accepted: 5 May 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดส่งโลหิตสำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นศูนย์กลางการกระจายโลหิตให้โรงพยาบาลต่าง ๆ ในจังหวัดสงขลาและจังหวัดอื่น ๆ ในภาคใต้ตอนล่าง การจัดส่งโลหิตของภาคบริการโลหิตฯ แห่งนี้เป็นรูปแบบปัญหาการจัดรถขนส่งที่อยู่ภายใต้ความแน่นอนของอุปสงค์ที่มีเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกของรถ งานวิจัยนี้เสนอวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่แบบใหม่ (DE+NLS) เพื่อจัดเส้นทางขนส่งโลหิตให้มีระยะทางรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ในการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จะทดสอบด้วยข้อมูลการจัดส่งโลหิตในกลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดสงขลาในสถานการณ์ขนส่งแบบปกติในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 30 วัน และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธี DE+NLS กับวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิม วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดั้งเดิม (DE) และวิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) จากการทดลองพบว่า วิธี DE+NLS ให้ผลรวมระยะทางที่น้อยกว่าวิธีการแบบเดิม วิธี DE และวิธี SA ซึ่งวิธี DE+NLS ให้ระยะทางรวมลดลงเป็น 4,017.38 กิโลเมตร (จากระบบเดิม 10,804.20 กิโลเมตร) นอกจากนี้ผลการทดสอบทางสถิติจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า วิธี DE+NLS เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี DE และวิธี SA อย่างมีนัยสำคัญ ในด้านเวลาที่ใช้นับหาคำตอบพบว่า วิธี DE+NLS ใช้เวลาน้อยกว่าวิธี SA อย่างไรก็ดี วิธี DE+NLS ยังคงใช้เวลามากกว่าวิธี DE เล็กน้อย เนื่องด้วยการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าด้วยการค้นหาแบบเฉพาะที่ นอกจากนี้ วิธี DE+NLS สามารถลดต้นทุนการจัดส่งได้มากที่สุด ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้เท่ากับ 17,463.54 บาท คิดเป็นร้อยละลดลง 62.81% จากวิธีการแบบเดิม ดังนั้น วิธี DE+NLS จึงเป็นวิธีการที่ได้รับการออกแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาที่กำหนด

คำสำคัญ: วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง, การค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่, ปัญหาการจัดส่งโลหิต

* Corresponding author. E-mail: wanatchapong.k@psu.ac.th

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

³ รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

⁴ หัวหน้าภาควิชาโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา

⁵ หัวหน้างานผลิตส่วนประกอบโลหิต ภาควิชาโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา

A Hybrid Differential Evolution for the Blood Routing Problems: A Case Study of Hospital Cluster in Songkhla Province

Kunanon Intapan¹, Wanatchapong Kongkaew^{2*}, Sakesun Suthummanon³, Supattra Mitundee⁴ and
Siriphat Saranobphakhun⁵

^{1,2,3} Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of
Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand

^{4,5} The 12th Regional Blood Centre, khuanlang Sub-district, Hat Yai, Songkhla 90110, Thailand

Received: 26 January 2022; Revised: 3 April 2022; Accepted: 5 May 2022

Abstract

This research has studied the blood delivery for the 12th Regional Blood Centre (RBC), Songkhla province, where is the center of blood distribution to hospitals in Songkhla province and other provinces in lower South of Thailand. The blood delivery of this RBC was modelled as the capacitated vehicle routing problem under the known demand of blood. This work has proposed the differential evolution hybridized with the new local search, called DE+NLS algorithm, to find out the optimal route with shortest total distance. For the testing of performance, it was executed on the 30 datasets of real-world case study that were collected during the period of August, 2021. The performance of DE+NLS, in addition, were compared with the current routing method, standard differential evolution (DE) algorithm and simulated annealing (SA) algorithm. As a results, the DE+NLS produced the route having less total distance than the DE and SA. The overall total distance obtained by the DE+NLS was reduced from 10,804.20 kilometers (by current routing method) to 4,017.38 kilometers. The statistical results clearly indicated that the DE+NLS was an efficient method and it significantly outperformed the DE and SA methods. The DE+NLS spent less time than the SA while it consumed slightly more than the DE due to the local search procedure. Moreover, the DE+NLS achieved the lowest transportation cost at 17,463.54 Baht, which was decreased by 61.82% from the current method. Thus, the DE+NLS was a well-design and efficient algorithm for the given problems.

Keywords: differential evolution, local Search, blood routing problem

* Corresponding author. E-mail: wanatchapong.k@psu.ac.th

¹ Student in the Industrial and Systems Engineering Master's Program, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

² Assistant Professor in Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

³ Associate Professor in Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

⁴ Chief of the 12th Regional Blood Centre, Songkhla

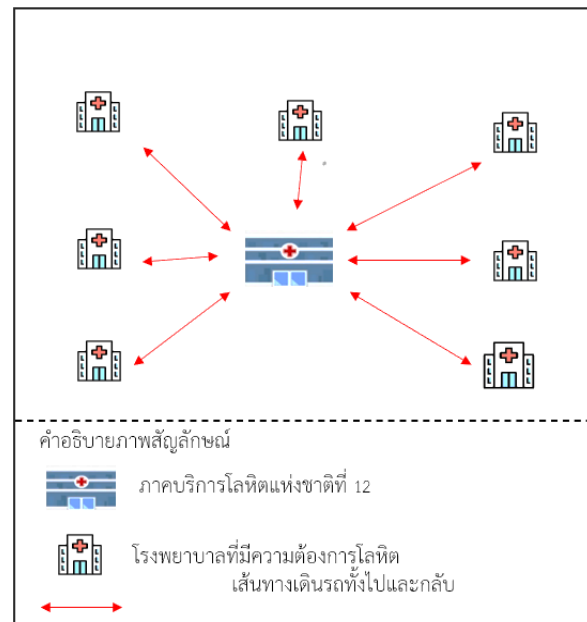
⁵ Head of Blood preparation unit of the 12th Regional Blood Centre, Songkhla

1. คำนำ

โลหิตหรือเลือดเป็นหนึ่งในทรัพยากรที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตอยู่ของมนุษย์ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางติดต่อระหว่างเซลล์ของร่างกาย เพื่อขนส่งออกซิเจนและอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและนำคาร์บอนไดออกไซด์ไปขับออกทางปอด แล้วนำของเสียต่าง ๆ เพื่อขับออกทางไต นอกจากนี้เลือดยังเป็นระบบป้องกันด้วยระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายและช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ซึ่งการได้มาของโลหิตเพื่อใช้ในระบบสาธารณสุขของประเทศไทยนั้นต้องมาจากการบริจาคของผู้บริจาคโลหิตเท่านั้น โดยมีการดำเนินงานต่าง ๆ ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกันและเชื่อมโยงกันภายในโซ่อุปทานโลหิตที่ประกอบด้วย การจัดหาโลหิต การตรวจสอบโลหิต การผลิตและปั่นแยกส่วนประกอบโลหิต การจัดการคลังโลหิต การจัดสรรโลหิต และการถ่ายโลหิต [1] ในการดำเนินงานภายในโซ่อุปทานโลหิตมีองค์กรหลักที่ดูแลการรับบริจาคโลหิตในประเทศไทยคือ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติสภากาชาดไทย โดยโรงพยาบาลที่ต้องการโลหิตเพื่อให้บริการให้ผู้ป่วย ต้องดำเนินการผ่านศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ (National Blood Centre, NBC) ซึ่งองค์กรที่จัดตั้งเพื่อให้บริการโลหิตในเขตกรุงเทพมหานครโดยเฉพาะ มีหน้าที่ประสานสัมพันธ์การรับบริจาคโลหิต จัดตั้งจุดรับบริการโลหิตนอกสถานที่ การคัดกรองโลหิต การสำรองโลหิต การบริหารคลังและการจัดส่งโลหิต สำหรับส่วนภูมิภาคได้มีจัดตั้งภาคบริการโลหิตแห่งชาติ (Regional Blood Centre, RBCs) ซึ่งมีทั้งหมด 12 แห่ง และแบ่งตามภูมิภาคการบริหารของกระทรวงมหาดไทย ที่ทำหน้าที่เหมือนกับ NBC และมีความต้องการโลหิตในแต่ละวันของประเทศไทยแบ่งตามหมู่โลหิตคือ หมู่ A 400 ยูนิต หมู่ B 400 ยูนิต หมู่ O 600 ยูนิต และหมู่ AB 100 ยูนิต (1 ยูนิตมีค่าประมาณโลหิต 400 ซีซี) [2] เมื่อภาคบริการโลหิตแห่งชาติได้รับความต้องการโลหิตจากโรงพยาบาลที่อยู่ในเครือข่ายแล้ว จะจัดเตรียมโลหิตและแจกจ่ายให้แต่ละโรงพยาบาลตามความต้องการ

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ศึกษาการแจกจ่ายโลหิตโดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา ตำบลควนลัง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นศูนย์ห่วงโซ่อุปทานโลหิตใน 7 จังหวัดพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ได้แก่ สงขลา พัทลุง

ตรัง สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส โดยมีโรงพยาบาลในเครือข่ายที่ใช้บริการเบิกโลหิตและส่วนประกอบโลหิตจำนวน 89 แห่ง อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การแจกจ่ายโลหิตภายในจังหวัดสงขลาเท่านั้นและมีจำนวนโรงพยาบาลที่อยู่ภายใต้การบริการโลหิตของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ทั้งหมด 21 โรงพยาบาล [3] ในปัจจุบันโรงพยาบาลจะแจ้งความต้องการใช้แต่ละวันมายังภาคบริการโลหิตฯ เมื่อความต้องการโลหิตของโรงพยาบาลนั้น ๆ ได้รับการอนุมัติแล้ว โรงพยาบาลนั้น ๆ จะจัดสรรรถของโรงพยาบาลมารับโลหิตที่ภาคบริการโลหิตฯ (ดังรูปที่ 1) ซึ่งบางครั้งเป็นการวิ่งรถเปล่าเพียงเพื่อมารับโลหิตเท่านั้น ทำให้เกิดความสูญเปล่าในการขนส่งหรือสูญเสียโอกาสในการใช้รถ ณ เวลานั้น ๆ ของโรงพยาบาล นอกจากนี้ยังมีระยะทางรวมในการขนส่งโลหิตในแต่ละรอบสูง เนื่องจาก 1 โรงพยาบาลส่งรถมาเพียงเพื่อรับโลหิตตามที่ร้องขอเท่านั้น ไม่ได้มีการเวียนส่งโลหิตให้แก่โรงพยาบาลอื่น ๆ ที่มีความต้องการในช่วงเวลาเดียวกัน



รูปที่ 1 รูปแบบการกระจายโลหิตในกลุ่มโรงพยาบาลจังหวัดสงขลาในปัจจุบัน

จากปัญหาดังกล่าว ภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการแจกจ่ายให้แต่ละโรงพยาบาลโดยใช้รถขนส่งที่ได้รับจัดสรรมาจำนวน 1 คัน เพื่อช่วยให้ต้นทุน

ภายในโซ่อุปทานโดยรวมลดลง ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกระจายโลหิตที่มีระยะทางมากขึ้นไป โดยแนวคิดดังกล่าวจะจัดส่งโลหิตเริ่มจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังแต่ละโรงพยาบาลที่แจ้งความต้องการโลหิตในวันนั้น ๆ ซึ่งลักษณะแนวคิดนี้สอดคล้องกับปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem, VRP) สำหรับรถ 1 คัน ที่พิจารณาทั้งความต้องการโลหิตของแต่ละโรงพยาบาลและความจุของรถที่ใช้ในการจัดส่งต่อหนึ่งรอบ เมื่อจัดส่งโลหิตครบตามความต้องการของแต่ละโรงพยาบาลแล้วจะกลับมาที่จุดเริ่มต้น เพื่อหยุดการจัดส่งหรือเริ่มรอบการขนส่งรอบใหม่ในการกระจายโลหิตไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ที่มีความต้องการโลหิตและยังไม่ได้จัดส่ง

ปัญหาการจัดส่งโลหิต (Blood Routing Problem) เป็นลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งชนิดหนึ่งที่มีเงื่อนไขด้านความจุในการขนส่ง (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP) และทราบปริมาณความต้องการของแต่ละโรงพยาบาล (ลูกค้า) และสถานที่ในการจัดส่งที่แน่นอน ซึ่งโรงพยาบาลแต่ละแห่งต้องแจ้งความต้องการโลหิตมายังภาคบริการโลหิตฯ เพื่อจัดเตรียมโลหิตตามความต้องการ ก่อนที่จะดำเนินการจัดเส้นทางรถเพื่อการกระจายโลหิต [2, 4, 5] สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดส่งโลหิตมีการนำเสนอรูปแบบที่แตกต่างกันตามเงื่อนไขที่พิจารณา เช่น การพิจารณาปริมาณความต้องการตามหมู่เลือด [2] การพิจารณาข้อจำกัดด้านกรอบเวลาของสถานที่บริจาคและด้านเวลาที่เน่าเสียของเลือด [4] การพิจารณาเวลาขนส่งร่วมกับเวลาที่อยู่ในโรงพยาบาล [6] เป็นต้น เนื่องจากปัญหาการจัดส่งโลหิตเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง จึงทำให้วิธีการแก้ปัญหาอยู่ในรูปแบบที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยเวลาโพลิโนเมียลแบบยาก (Non Polynomial Hard, NP-Hard) ซึ่งมีความซับซ้อนในการแก้ปัญหาและอาจใช้เวลาอันยาวนานถ้าแก้ปัญหาด้วยวิธีแมนตรึง เนื่องจากคำตอบที่เป็นไปได้มีจำนวนมาก โดยทั่วไปมักนิยมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) [2, 4-5, 7-9]

วิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristic) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือได้และมีคุณภาพดีเพียงพอต่อการนำไปใช้วางแผนการดำเนินงานต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งวิธี

เมตาฮิวริสติกส์ถูกนำไปใช้แก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดการการผลิตและโลจิสติกส์ที่หลากหลาย เช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม (Lot Sizing Problem) ปัญหาการจัดลำดับงานการผลิต (Scheduling Problem) ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางของพนักงานขาย (TSP) และปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (VRP) เป็นต้น สำหรับปัญหาการจัดส่งโลหิตได้นำเสนอวิธีเมตาฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหา เช่น การแก้ปัญหาการจัดส่งเลือดด้วยวิธีไฮบริดการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Hybrid Cuckoo Search Algorithm, HCS) [2] การจัดเส้นทางในการรับส่งเลือดด้วยวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing, SA) [4] เป็นต้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่สำหรับปัญหาการจัดส่งโลหิต กรณีศึกษาการจัดส่งโลหิตภายในจังหวัดสงขลาของภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 และมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีที่มีการนำเสนอก่อนหน้านี้ เนื้อหาที่เหลือของบทความนี้ประกอบด้วย สมการและเงื่อนไขของปัญหาการจัดส่งโลหิต วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างและการค้นหาเฉพาะที่สำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิต การออกแบบการทดลอง ผลการทดลองและการสรุปผล

2. สมการและเงื่อนไขของปัญหาการจัดส่งโลหิต

รูปแบบของสมการปัญหาการจัดส่งโลหิตสำหรับรถ 1 คัน มีเป้าหมายเพื่อหาระยะทางการขนส่งโลหิตรวมน้อยที่สุด โดยเริ่มจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ในจังหวัดสงขลาที่มีความต้องการโลหิตให้ครบทุกโรงพยาบาล โดยภาคบริการโลหิตแห่งชาติฯ จะบรรจุโลหิตแต่ละหมู่ลงในกล่องโฟมขนาดเดียว และรถสามารถบรรจุได้สูงสุด 40 กล่อง ซึ่งความหมายของตัวแปรต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์

สัญลักษณ์	ความหมาย
N	จำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด
K	จำนวนรถทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งโลหิต

ตารางที่ 1 คำอธิบายสัญลักษณ์คณิตศาสตร์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
i	ดัชนีแทนหมายเลขโรงพยาบาลต้นทาง i
j	ดัชนีแทนหมายเลขโรงพยาบาลปลายทาง j
k	ดัชนีแทนรถขนส่งโลหิตหรือรถจัดส่ง k
Z	ระยะทางรวมในการจัดส่งโลหิตจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาล
d_{ij}	ระยะทางที่ใช้สำหรับจัดส่งจากโรงพยาบาล i ไปโรงพยาบาล j
q_i	ความต้องการใช้โลหิต (ทุกหมู่โลหิต) ของโรงพยาบาล i
a_k	ความจุของรถขนส่งโลหิต k
U_i^k	ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อกำหนดเส้นทางเดินวนรอบไม่ครบหรือป้องกันเส้นทางจัดส่งโลหิตวนรอบไม่ครบ
X_{ij}^k	ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 ถ้าวรถขนส่งโลหิต k มีการเดินทางจากโรงพยาบาล i ไป j และเป็น 0 เมื่อไม่มีการเดินทาง
Y_{ij}^k	ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเป็น 1 เมื่อโลหิตสำหรับโรงพยาบาลที่ i ถูกบรรจุในรถขนส่ง k และเป็น 0 เมื่อไม่มีการบรรจุทุกโลหิตในรถขนส่ง k

สำหรับตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ปรับจากตัวแบบ VRP ใน [2, 9] โดยมีการกำหนดสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดดังต่อไปนี้

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N d_{ij} X_{ij}^k \quad (1)$$

โดยมีสมการข้อจำกัด (Constraints) ดังนี้

$$\sum_{j=1}^N X_{0j}^k \leq 1, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{ip}^k = \sum_{j=0}^N X_{pj}^k, \quad p = 1, 2, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_i^k = 1, \quad i = 1, \dots, N \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N q_i Y_i^k \leq a_k, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

$$Y_i^k \leq \sum_{j=0}^N X_{ji}^k, \quad i = 1, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^N X_{ij}^k \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$U_i^k \geq U_j^k + q_i - a_k + (a_k (X_{ij}^k + X_{ji}^k)) - X_{ij}^k (q_i + q_j),$$

$$k = 1, 2, \dots, K; \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, 2, \dots, N \text{ เมื่อ } i \neq j \quad (8)$$

$$U_i^k \leq a_k - X_{0i}^k (a_k + q_i),$$

$$k = 1, 2, \dots, K; \quad i = 1, \dots, N, \quad (9)$$

$$U_i^k \leq q_i + \sum_{j=1}^N q_j X_{ji}^k,$$

$$k = 1, 2, \dots, K; \quad i = 1, \dots, N \quad (10)$$

$$X_{ij}^k = \{0, 1\},$$

$$i = 1, \dots, N; \quad j = 1, 2, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (11)$$

$$Y_i^k = \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (12)$$

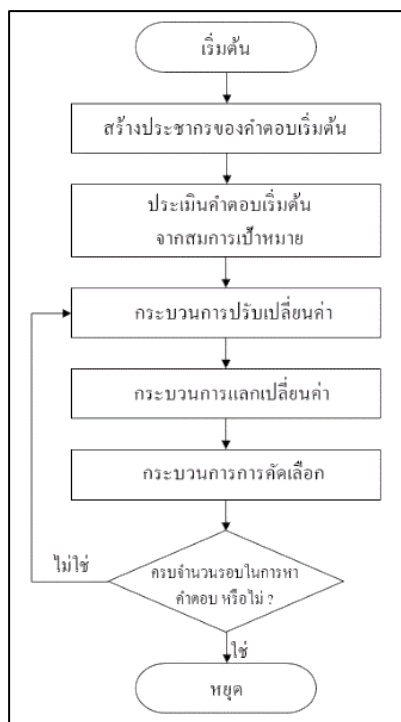
$$U_i^k \geq 0, \quad i = 1, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (13)$$

วัตถุประสงค์ (1) เป็นระยะทางรวมในการจัดส่งโลหิตจากโรงพยาบาล i ไปโรงพยาบาล j โดยรถขนส่งโลหิต k เงื่อนไขที่ (2) เป็นการประกันว่า รถขนส่งโลหิต k จะเดินทางออกจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติฯ (ตำแหน่งที่ 0) และจัดส่งโลหิตไปยังโรงพยาบาล j อย่างน้อย 1 แห่ง เงื่อนไขที่ (3) เป็นสมการที่รับประกันว่าโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง ๆ จะได้รับเดินทางเข้าและออกเท่ากันเป็นจำนวน 1 ครั้ง เงื่อนไขที่ (4) เป็นการรับประกันว่าโรงพยาบาลหนึ่ง ๆ จะได้รับการจัดส่งโลหิตจากรถขนส่งอย่างน้อย 1 คัน เงื่อนไขที่ (5) เป็นการประกันว่ารถขนส่งโลหิตใด ๆ จะขนส่งโลหิตไปส่งให้กับโรงพยาบาลไม่เกินความสามารถในการบรรจุทุกได้ เงื่อนไขที่ (6) รับประกันว่าการจัดส่งให้โรงพยาบาล i ได้ก็ต่อเมื่อรถขนส่งโลหิต k เดินทางผ่านโรงพยาบาล i จากเส้นทางของโรงพยาบาล j แห่งใดแห่งหนึ่งเท่านั้น และเงื่อนไขที่ (7) รับประกันว่าโรงพยาบาล j ใด ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านโดยรถขนส่งโลหิตใด ๆ อย่างน้อย 1 ครั้ง โดยใช้เส้นทางที่ผ่านมาจากเมือง i ใด ๆ เงื่อนไขที่ (8) – (10) เป็นการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดเส้นทางย่อย (Subtour) และเงื่อนไขที่ (11) – (13) เป็นการจำกัดขอบเขตค่าของตัวแปรตัดสินใจ

3. วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm, DE) เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของเลขจำนวนจริงและนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีวิวัฒนาการ ซึ่งได้มีการนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 2000 เริ่มแรกใช้ในการแก้ปัญหาจัดสรรเส้นทางการบิน ต่อมาได้มีการพัฒนาการแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย หนึ่งใน การแก้ปัญหาที่ได้รับความนิยมที่สุดคือการจัดเส้นทางเดินรถภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป กระบวนการของวิธีนี้มีความคล้ายกับวิธีวิวัฒนาการตามปกติ คือ การสร้างประชากรเริ่มต้น ประเมินค่าฟังก์ชันหรือค่าสมการเป้าหมายของเวกเตอร์เป้าหมาย และผลิตประชากรรุ่นใหม่ด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน คือ การสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) การสร้างไทรอัลเวกเตอร์ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนค่าพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) และการเลือกเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับรอบถัดไป (Selection) [9, 10, 13]

การทำงานของวิธี DE จะพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้นไปเรื่อย ๆ ในแต่ละรอบของการหาคำตอบ ซึ่งขั้นตอนการทำงานของวิธี DE สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

4. วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิต

ในหัวข้อนี้จะอธิบายวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ (Differential Evolution with New Local Search, DE+NLS) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิตดังต่อไปนี้

4.1 การแทนคำตอบและการสร้างประชากรเริ่มต้น

ในการสร้างประชากรเริ่มต้น ผู้วิจัยได้สร้างอาร์เรย์สองมิติ ความกว้างแทนด้วยตำแหน่งของโรงพยาบาลโดยหลักของโรงพยาบาลจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการดำเนินการ ความยาวแทนจำนวนเส้นทางที่ทำการออกแบบในแต่ละรอบโดยใช้หลักการสุ่มเลข ตั้งแต่ 0.01 – 1.00 (ใช้ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ให้ทุก ๆ หลักในอาร์เรย์หลังจากนั้นทำการเรียงเลขสุ่มจากน้อยไปมาก จะได้เส้นทางหลังจากเรียงเลขสุ่มดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบการสร้างเลขสุ่มของประชากร

1	2	3	4	5	6
0.34	0.22	0.36	0.77	0.89	0.11
0.21	0.34	0.65	0.55	0.27	0.83
0.45	0.55	0.50	0.36	0.35	0.33
0.88	0.78	0.31	0.79	0.36	0.99
0.34	0.44	0.21	0.11	0.81	0.56

จากตารางที่ 2 แสดงการสร้างประชากรเริ่มต้น 5 เส้นทาง จากโรงพยาบาลจำนวน 6 แห่ง และการหาเส้นทางจัดส่งจะทำการเรียงเลขสุ่มจากน้อยไปมาก กล่าวคือโรงพยาบาลที่มีเลขสุ่มน้อยที่สุดในแต่ละแถวจะถูกกำหนดให้เป็นโรงพยาบาลแรกที่ต้องเดินทางไปส่งโลหิต และส่งให้โรงพยาบาลเลขสุ่มที่มากขึ้นในลำดับถัด ๆ ไป จนครบทุกโรงพยาบาล เมื่อจัดส่งครบทุกโรงพยาบาลแล้วจะจบการจัดส่งทั้งหมดที่ตำแหน่ง 0 (ภาคบริการโลหิตฯ)

4.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธี DE+NLS สำหรับปัญหาการจัดส่งโลหิต

ขั้นตอนการทำงานของวิธี DE+NLS สำหรับการแก้ปัญหาการจัดส่งโลหิต สามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นที่เกี่ยวข้องสำหรับการสร้างคือ ค่า F , CR , NP และจำนวนรอบการรัน โดยที่สามารถเปลี่ยนแปลงความต้องการโลหิตให้เป็นไปตามความเป็นจริงได้ทุกเมื่อที่เริ่มการรันรอบใหม่

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างเส้นทางขนส่งเริ่มต้น เป็นการสร้างประชากรชุดแรกเพื่อเข้าสู่กระบวนการพัฒนาคำตอบในรุ่นถัด ๆ ไป โดยการสร้างประชากรเริ่มต้นจะเป็นรูปแบบเดียวกับที่อธิบายในหัวข้อ 4.1 ในงานวิจัยนี้กำหนดประชากรเริ่มต้นที่ 10 เส้นทาง โดยการสุ่มค่าเลขสุ่มจากการแจกแจงแบบเอกรูป (Uniform Distribution) ที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่าวัตถุประสงค์ งานวิจัยนี้ค่าวัตถุประสงค์คือ ระยะทางโดยรวม โดยการคำนวณค่าระยะทางเป็นการอ้างอิงข้อมูลระยะทางจากอาร์เรย์ 2 มิติ ที่ได้เก็บค่าระยะทางจากโรงพยาบาลต่าง ๆ ไว้ โดยอ้างอิงข้อมูลระยะทางคู่ของสถานที่ใด ๆ จากกูเกิล แมพ (Google Map) และการตรวจสอบค่าระยะทางของแต่ละเส้นทางจะบอกถึงคุณภาพของการหาคำตอบที่สามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้ ตามจำนวนรอบของการพัฒนาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์ด้วยการปรับค่าในพิกัดเวกเตอร์ (Mutation) จากความเชื่อที่ว่า การพัฒนาจะให้คำตอบที่ดีขึ้นกว่าชุดคำตอบเดิม ซึ่งในการสร้างมิวแทนต์เวกเตอร์จะเป็นลักษณะของการปรับค่าสุ่มประจำหลักของเส้นทาง โดยทำไปทีละเส้นทางจากขั้นตอนที่ 2 เริ่มจากการสุ่มค่าเลขลำดับของเวกเตอร์ r_1 , r_2 และ r_3 และอ้างอิงค่าจากเวกเตอร์เป้าหมาย X จากเลขลำดับของเวกเตอร์ข้างต้น แล้วทำการปรับค่าด้วยสมการของ DE/rand/1/bin [9, 10, 13] ดังในสมการ (14) ซึ่งค่าพิกัดใหม่จะแตกต่างไปจากค่าพิกัดในประชากรเริ่มต้นด้วยปัจจัยขยายผลต่าง (Weighting factor, F) การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดมีขั้นตอนย่อยดังนี้

1. เลือกเวกเตอร์สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่า X และสุ่มค่าเลขลำดับของเวกเตอร์

2. พัฒนาคำตอบด้วยสมการอย่างง่าย ดังนี้

$$V_{i,g} = X_{r_1,g} + F(X_{r_2,g} - X_{r_3,g}) \quad (14)$$

สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณของขั้นตอนที่ 2

ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมายที่ 1

โรงพยาบาล	1	2	3	4	5	6
$X_{1,g}$	0.3 4	0.2 2	0.3 6	0.7 7	0.8 9	0.1 1
$X_{4,g}$	0.8 8	0.7 8	0.3 1	0.7 9	0.3 6	0.9 9
$X_{5,g}$	0.3 4	0.4 4	0.2 1	0.1 1	0.8 1	0.5 6
$V_{1,g}$	0.8 3	0.5 3	0.4 5	1.3 8	0.4 9	0.5 0

จากตารางที่ 3 แสดงการหามิวแทนต์เวกเตอร์ (Mutant Vector) ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป้าหมายที่ 1 โดยใช้ค่า $F = 0.9$, $r_1 = 1$, $r_2 = 4$ และ $r_3 = 5$ จากค่าพิกัดที่ 1 ในตารางที่ 2 และแทนค่าลงในสมการ (14) ได้คือ $0.34 + 0.9 \cdot (0.88 - 0.34)$ เท่ากับ 0.83

3. ถอดรหัสเพื่อจัดเส้นทางเดินรถใหม่ ด้วยวิธีการเดียวกับขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) เป็นการสร้างไทรอัลเวกเตอร์ (Trial Vector) โดยการสุ่มค่า CR ที่อยู่ในช่วง (0, 1) สำหรับการสุ่มค่า $X_{i,g}$ และ $V_{i,g}$ สำหรับเส้นทางที่จะสร้างขึ้นมาใหม่ โดยสุ่มในช่องใดที่มีค่าต่ำกว่าค่า CR ให้ใช้ค่า $X_{i,g}$ และช่องใดมีค่ามากกว่า CR ให้ใช้ค่า $V_{i,g}$ ต่อมาสุ่มค่าประจำหลักให้กับทุก ๆ ตำแหน่ง โดยใช้ค่าสุ่มเท่ากับจำนวนโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตในรอบนั้น ๆ ตำแหน่งเลขสุ่มใดตรงกับตำแหน่งโรงพยาบาลนั้น ๆ ให้ใช้ค่า $V_{i,g}$ เพื่อเป็นการทวนสอบว่าจะมีการสุ่มค่าในเส้นทางใหม่ของ $X_{i,g}$ และ $V_{i,g}$ ก่อนจบขั้นตอนทำการหาเส้นทางใหม่เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อได้คำตอบจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแล้ว ให้ส่งคำตอบมายังขั้นตอนการค้นหาแบบเฉพาะที่แบบใหม่ (New Local Search, NLS) จะสร้างคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงของปัญหาปัจจุบันด้วยวิธีการค้นหาแบบเฉพาะที่ทั้งหมด 5 วิธี คือ การแลกเปลี่ยน (Swap) การแทรก (Insert) การพลิกกลับด้านภายในคำตอบ (Inverse) การค้นหาแบบเดินสุ่ม (Random Walk) [11] และการนำค่าเฉลี่ยเลขสุ่มของเส้นทางที่มีค่าระยะทางดีที่สุดมาแทรกกลางเส้นทาง [12] โดยดำเนินการไปพร้อมกันทุก ๆ วิธี

ขั้นตอนที่ 7 การส่งคืนคำตอบที่ดีที่สุด เป็นการส่งค่าจากขั้นตอนที่ 1 - 6 เพื่อเข้าสู่กระบวนการพัฒนาคำตอบในรอบถัด ๆ ไป เมื่อตรวจสอบว่าการรันครบตามจำนวนรอบการค้นหา (รอบการรัน) ที่กำหนดไว้ ให้แสดงเส้นทางที่ดีที่สุดและจบการดำเนินการ

จากขั้นตอนที่ 1 - 7 สามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 3

ALGORITHM: DE+NLS

NP : population size, F : weighting factor, CR : recombination probability, $MAXFES$: maximum number of functions evaluations

INITIALIZATION at $g = 0$; Initialize all NP individuals with random positions in the search space;

While $FES < MAXFES$ do

For $i = 1$ to NP do

GENERATE ten individuals $X_{1,g}, X_{2,g}, \dots, X_{10,g}$ from the current population randomly.

MUTATION From the donor vector using Eq. (14)

RECOMBINATION The trial vector $U_{i,g}$ is developed either from the elements of the target vector $X_{i,g}$ or the elements of the donor vector $V_{i,g}$, as follows:

$$U_{ij} = \begin{cases} V_{ij} & , \text{ if } r_{ij} \leq CR \text{ or } j = j_{\text{rand}} \\ X_{ij} & , \text{ Otherwise} \end{cases}$$

ALGORITHM: DE+NLS (Continued)

where $I = \{1, \dots, NP\}$, $J = \{1, \dots, D\}$, $r_{ij} \sim U(0,1)$ is a uniformly distributed random number which is generated for each j and $j_{\text{rand}} \in \{1, \dots, D\}$ is a random integer used to ensure that $U_{i,g} \neq X_{i,g}$ in all cases

EVALUATE AND SELECTION if $f(U_{i,g}) \leq f(X_{i,g})$

then replace the individual $X_{i,g}$ in the population with trial vector $U_{i,g}$

Submit best solution to next process amount = NP

NEW LOCAL SEARCH (NLS)

Begin

Every solution is executed by all of 5 local search methods: swap, insert, reverse, random walk, and insert the average of the value of best path vector.

End

RETURN The best solution.

รูปที่ 3 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี DE+NLS (ต่อ)

5. การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่แบบใหม่ (DE+NLS) ในการหาเส้นทางทางขนส่งโลจิสติกส์โดยใช้ค่าระยะทางรวมในการขนส่งเป็นตัวชี้วัด นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบกับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดั้งเดิม (DE) และวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulating Annealing, SA) ซึ่งวิธี SA เป็นวิธีที่ได้มีการนำมาใช้ในการจัดเส้นทางสำหรับปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์ [4] และการจัดเส้นทางในปัญหาดังกล่าวมีลักษณะที่คล้ายกันกับงานวิจัยนี้ การเปรียบเทียบผลจากแต่ละวิธีกับผลการดำเนินงานในระบบปัจจุบัน รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบภายใต้จำนวนรอบการรันที่เท่ากัน

ในการทดลองสำหรับทั้งสามวิธีข้างต้น จะเขียนชุดคำสั่ง (Code) ด้วยภาษาคอมพิวเตอร์จาวา (Java) บน

รูปที่ 3 รหัสเทียมขั้นตอนวิธี DE+NLS

โปรแกรม NetBeans IDE 8.2 RC และทำการทดลองบนคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกันที่มีระบบปฏิบัติการ Intel Core i5-1135G7 2.40GHz, Ram 8 GB, 64-bit ด้วยปัญหาทดลองหรือปัญหาการจัดเส้นทางจำนวน 30 ชุดข้อมูล (ปัญหา) ซึ่งเป็นข้อมูลความต้องการโลหิตย้อนหลังจำนวน 30 วัน ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 จากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา และแต่ละปัญหาจะรันเป็นจำนวน 10 รอบ ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นสำหรับวิธี DE และวิธี DE+NLS ใช้ค่าพารามิเตอร์จาก [11] นั่นคือ $F = 0.9$, $CR = 0.7$, จำนวนเส้นทางเริ่มต้น (NP) เท่ากับ 10 เส้นทาง ส่วนวิธี SA ใช้ค่าพารามิเตอร์จาก [4] นั่นคือ อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 1,500 จนถึงอุณหภูมิปลายเท่ากับ 0.01 และลดลงด้วยอัตราเย็นตัวลง $\beta = 0.99$

6. ผลการทดลอง

จากการทดสอบความสามารถของทั้ง 3 วิธี ด้วยปัญหาการจัดส่งโลหิตจำนวน 30 ปัญหา โดยจำนวนรอบการหาคำตอบสำหรับวิธี DE และวิธี DE+NLS คือ 100 รอบ ส่วนวิธี SA ไม่ได้กำหนดจำนวนรอบ แต่จะกำหนดให้ค้นหาคำตอบโดยเริ่มจากค่าอุณหภูมิต้นเท่ากับ 1,500 จนถึงอุณหภูมิลายเท่ากับ 0.01 และลดลงด้วยอัตราเย็นตัวลง $\beta = 0.99$ [4] ผลการทดลองของแต่ละวิธีแสดงได้ดังตารางที่ 4

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่า การจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตด้วยวิธี DE, SA และ DE+NLS สามารถ

ทำให้ระยะทางรวมในการจัดส่งโลหิตแต่ละวันลดลง ยกเว้นบางวันที่ไม่มีความต้องการโลหิต รวมไปถึงวันที่มีความต้องการโลหิตเพียงโรงพยาบาลเดียว อย่างไรก็ตาม การจัดส่งเส้นทางจัดส่งโลหิตในภาพรวมตลอดทั้งเดือนสิงหาคม พบว่าทั้ง 3 วิธี ให้ผลรวมระยะทางลดลงจากระบบเดิมอยู่ที่ 10,804.20 กิโลเมตร ลดลงเป็น 4,232.40, 4,185.49 และ 4,017.38 กิโลเมตร ตามลำดับ และวิธี DE+NLS สามารถค้นหาเส้นทางจัดส่งโลหิตที่ให้ผลรวมระยะทางสั้นที่สุดเมื่อเทียบกับวิธี DE และวิธี SA นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาการจัดเส้นทางรายวันพบว่า วิธี DE+NLS สามารถค้นหาเส้นทางจัดส่งโลหิตที่มีระยะทางน้อยกว่า (หรือเท่ากับ) วิธี DE ทุกวัน และวิธี SA เกือบทุกวัน ยกเว้นการจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตในวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ที่วิธี SA ให้เส้นทางที่ดีกว่า

เมื่อพิจารณาด้านเวลาการค้นหาคำตอบพบว่า ในภาพรวมวิธี DE ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุดในขณะที่วิธี DE+NLS ใช้เวลาในการค้นหาที่รองลงมา และวิธี SA ใช้เวลานานที่สุด ซึ่งวิธี DE+NLS จะใช้เวลานานกว่าวิธี DE เนื่องจากวิธี DE+NLS จะใช้ระยะเวลาส่วนหนึ่งกับการค้นหาแบบเฉพาะที่ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาด้านขนาดปัญหา (จำนวนโรงพยาบาล) พบว่า จำนวนโรงพยาบาลมีผลต่อการหาคำตอบ ซึ่งจะเห็นว่าคำตอบที่ได้จากวิธี DE, SA และ DE+NLS จะมีระยะทางที่น้อยกว่าวิธีระบบเดิมอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ วิธี DE, SA และวิธี DE+NLS จะใช้เวลาค้นหาคำตอบที่น้อย ดังนั้น การแก้ปัญหาด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกส์มีความเป็นไปได้และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้จัดเส้นทางในทางปฏิบัติ

ตารางที่ 4 ผลการจัดเส้นทางของแต่ละวิธี

วันที่	จำนวน โรงพยาบาล	ค่าเฉลี่ยของระยะทางรวมในแต่ละวิธี (กิโลเมตร)				ค่าเฉลี่ยของเวลาในการค้นหาคำตอบ (วินาที)		
		ระบบเดิม	DE	SA [4]	DE+NLS	DE	SA [4]	DE+NLS
1	6	807.60	169.50	154.62	140	1.10	1.40	1.20
2	5	292.80	151	138.35	131.40	1.00	1.10	1.10
3	5	504.80	248.80	247.60	239.20	1.00	1.20	1.00
4	3	112.20	30.40	29	29	0.30	0.30	0.30
5	2	182.40	25	25	25	0.30	0.40	0.30
6	5	335	166.60	161.99	159.98	1.00	1.10	1.10
7	2	145.20	57	57	57	0.10	0.20	0.20
8	7	644.40	340.10	354.46	322.60	1.10	1.20	1.10
9	6	443.40	205.60	198.40	200.80	1.00	1.10	1.00
10	6	573.20	245.6	227	223	1.00	1.00	1.00
11	0	N/A*	N/A*	N/A*	N/A*	N/A*	N/A*	N/A*
12	5	483.40	160.5	172.5	159	1.00	1.10	1.10
13	2	64	39	39	39	0.10	0.10	0.10
14	1	36	36	36	36	0.10	0.30	0.10
15	6	498.60	182.7	185.6	182	1.00	1.20	1.00
16	5	454.20	160	160.6	151	1.00	1.10	1.00
17	3	246.80	102	102	102	0.30	0.40	0.40
18	3	266.60	92	92	92	0.30	0.50	0.50
19	7	472	188.8	188	188	1.50	1.40	1.40
20	2	122.80	24	24	24	0.20	0.30	0.20
21	3	112.20	29	29	29	0.20	0.4	0.20
22	6	441.20	146.8	160.57	124	1.10	1.20	1.20
23	5	452.80	146	142.3	133	0.90	1.2	0.90
24	4	420.80	184	179	179	1.20	1.20	1.20
25	6	567.80	199.2	190.6	187	1.20	1.20	1.20
26	5	322	211.7	209.9	209.9	1.00	0.80	0.80
27	4	337.60	97.6	98.2	97.3	1.00	1.20	1.20
28	4	520.40	182.6	194.6	177.2	0.30	0.60	0.40
29	5	472	220	197	190	1.30	1.50	1.30
30	5	472	190.9	191.2	190	0.90	1.10	0.90
ผลรวม		10,804.20	4,232.40	4,185.49	4,017.38	22.5	25.8	23.4

* N/A คือ ไม่มีการจัดเส้นทาง เนื่องจากไม่มีความต้องการโลหิตในวันดังกล่าว

เนื่องจากระยะทางที่ได้จากแต่ละวิธีการไม่แตกต่างกันมาก (ดังแสดงในตารางที่ 4) เพื่อยืนยันผลลัพธ์ว่า วิธี DE+NLS ที่นำเสนอให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี DE และวิธี SA จะทดสอบโดยอาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีทดสอบ t แบบจับคู่ (Paired-Sample t -Test) เนื่องจากต้องการทดสอบความแตกต่างของวิธีการแต่ละคู่ในแต่ละวัน โดยไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของประชากรและมีจำนวนข้อมูล 29 ค่า (ไม่นำวันที่ 11 มาวิเคราะห์ เพราะไม่มีการจัดเส้นทาง) ซึ่งข้อมูลระยะทางได้มาจากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายจากประชากรระยะทางของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดอย่างเท่าเทียมกันและเป็นอิสระต่อกัน การทดสอบนี้ใช้ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 5

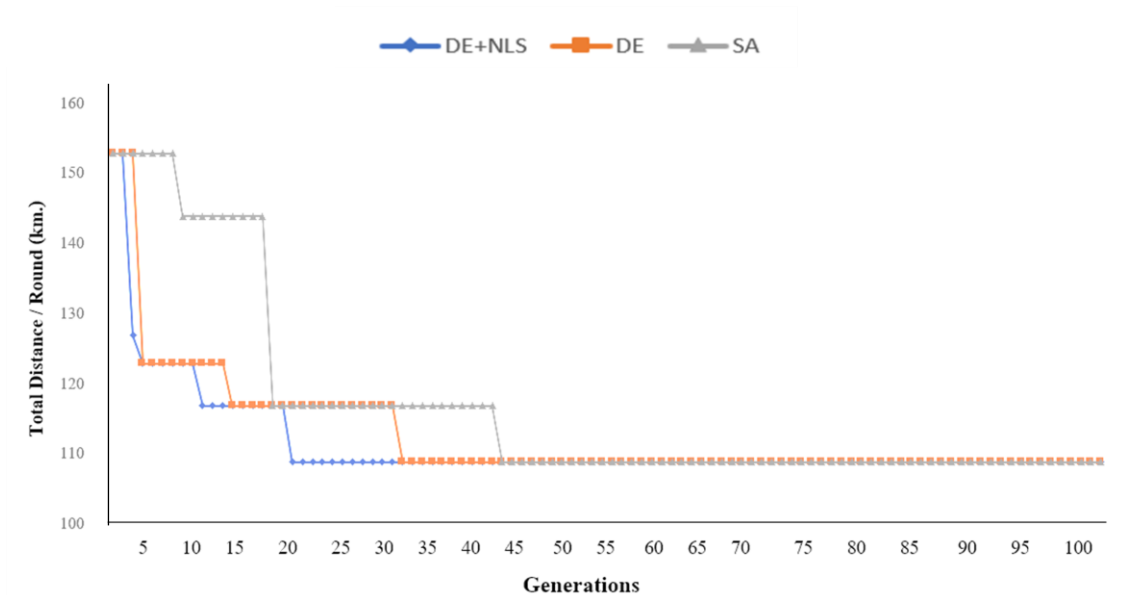
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบวิธีทดสอบ t แบบจับคู่

คู่ของวิธีการที่ต้องการเปรียบเทียบ	ค่า P-value
DE+NLS vs. DE	0.0025
DE+NLS vs. SA	0.0026
DE vs. SA	0.3190

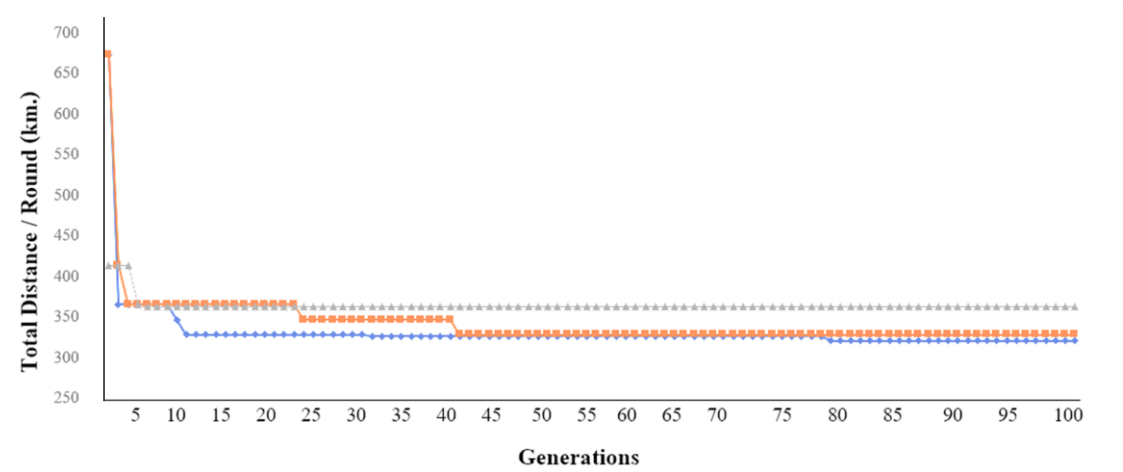
จากการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติพบว่า คู่ของวิธี DE+NLS เทียบกับวิธี DE และคู่ของวิธี DE+NLS เทียบกับวิธี SA ให้ค่า P-value ที่น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ในขณะที่คู่ของวิธี DE เทียบกับวิธี SA มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทดสอบ ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า วิธี DE+NLS สามารถค้นหาคำตอบได้ดีกว่าวิธี DE และวิธี SA ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

นอกจากนี้ ผลการจัดเส้นทางสำหรับวิธี SA ในตารางที่ 4 ไม่ได้มีการกำหนดจำนวนรอบการหาคำตอบ ดังเช่นที่มีการกำหนดในวิธี DE และวิธี DE+NLS โดยการหยุดค้นหาคำตอบของวิธี SA จะกำหนดด้วยการกำหนดค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 1,500 และและอุณหภูมิปลายที่ 0.01 และมีอัตราการเย็นตัวลง ($\beta = 0.99$) ส่งผลให้มีจำนวนรอบในการหาคำตอบประมาณ 1,500 รอบ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์พฤติกรรมการค้นหาคำตอบของทั้ง 3 วิธี ภายใต้เงื่อนไขจำนวนรอบ 100 รอบ แสดงดังในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่า ทั้ง 3 วิธี สามารถเข้าสู่คำตอบที่อาจเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาตัวอย่างวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2564 ภายในจำนวนรอบ 100 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) ในขณะที่การเข้าสู่คำตอบของปัญหาตัวอย่างวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2564 จะเห็นว่า วิธี DE+NLS สามารถเข้าสู่คำตอบที่รวดเร็วกว่าวิธี DE และวิธี SA อีกทั้งเมื่อรันครบจำนวน 100 รอบ พบว่า วิธี DE+NLS สามารถค้นหาคำตอบของปัญหาได้คำตอบที่ดีกว่าวิธี DE และวิธี SA



(ก) ปัญหาตัวอย่างวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2564



(ข) ปัญหาตัวอย่างวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2564

รูปที่ 4 พฤติกรรมการค้นหาคำตอบของทั้ง 3 วิธี ภายใต้รอบการรันจำนวน 100 รอบ

เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนการจัดส่ง งานวิจัยนี้ พิจารณาค่าน้ำมันรถที่ใช้ในการจัดส่งโลหิต ซึ่งคำนวณจากราคาน้ำมัน 29.69 บาทต่อลิตร ณ วันที่ 29 สิงหาคม 2564 [14] คูณกับอัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถขนส่ง (รถตู้ 4 ล้อ แบบดีเซล) และคูณด้วยระยะทางที่ใช้ในการจัดส่ง ดัง

แสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจะเห็นว่าวิธี DE, SA และ DE+NLS สามารถลดต้นทุนการจัดส่งจากวิธีแบบเดิมได้อย่างเห็นได้ชัด และวิธี DE+NLS สามารถลดต้นทุนการจัดส่งได้มากที่สุด ซึ่งมีต้นทุนลดลงจากวิธีแบบเดิมเท่ากับ 17,463.54 บาท (คิดเป็นร้อยละลดลง 62.81)

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบต้นทุนการจัดส่งโลหิต

ข้อมูล	วิธีการ			
	แบบเดิม	DE	SA	DE+NLS
ระยะทางรวมทั้งเดือน (กิโลเมตร)	10,804.20	4,232.40	4,185.49	4,017.38
อัตราการใช้เชื้อเพลิงของรถขนส่ง (กิโลเมตรต่อลิตร)*	6.83			
ต้นทุนน้ำมัน (บาท)	46,965.84	18,398.23	18,194.31	17,463.54
ร้อยละลดลงจากวิธีการแบบเดิม	-	60.82	61.26	62.81

หมายเหตุ * ข้อมูลจากการทดลองในการจัดส่งโลหิตจริงด้วยการเติมน้ำมัน 1 ครั้ง วันที่ 15 มกราคม 2565

7. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีพัฒนาการโดยใช้ผลต่างร่วมกับการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะที่แบบใหม่ เรียกว่า DE+NLS เพื่อจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตจากภาคบริการโลหิตแห่งชาติที่ 12 ไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ภายในจังหวัดสงขลาที่ได้แจ้งความต้องการโลหิต โดยในการจัดเส้นทางจัดส่งโลหิตแต่ละรอบนั้น จะจัดเส้นทางเฉพาะโรงพยาบาลที่มีความต้องการโลหิตเท่านั้น ในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธี DE+NLS ได้ทดลองด้วยปัญหาตัวอย่างจำนวน 30 ชุด ซึ่งเป็นข้อมูลการจัดส่งโลหิตของเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 30 วัน และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิม วิธีพัฒนาการโดยใช้ผลต่างแบบดั้งเดิม (DE) และวิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) ผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาผลรวมของระยะทางทั้งเดือนสิงหาคม วิธี DE+NLS สามารถค้นหาเส้นทางที่มีผลรวมของระยะทางน้อยกว่าวิธีแบบเดิม วิธี DE และวิธี SA นอกจากนี้ในการจัดเส้นทางรายวันพบว่า วิธี DE+NLS ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีแบบเดิมและวิธี DE ในทุกวัน ในขณะที่วิธี DE+NLS ให้คำตอบที่แย่กว่าวิธี SA เพียง 1 วันเท่านั้น

ในด้านเวลาที่ใช้ค้นหาคำตอบพบว่า วิธี DE+NLS ใช้เวลาน้อยกว่าวิธี SA อย่างไรก็ดี วิธี DE+NLS ยังคงใช้เวลามากกว่าวิธี DE เล็กน้อย เนื่องด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าด้วยการค้นหาแบบเฉพาะที่ ในด้านต้นทุนการจัดส่งพบว่า วิธี DE+NLS สามารถลดต้นทุนการจัดส่งได้มากที่สุด ซึ่งสามารถลดต้นทุนได้เท่ากับ 17,463.54 บาท คิดเป็นร้อยละลดลง 62.81% ดังนั้น วิธี DE+NLS เป็น

วิธีที่มีการออกแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบในการจัดเส้นทางขนส่งโลหิตสำหรับปัญหากรณีศึกษา

สำหรับการต่อยอดในงานวิจัยต่อไป จะเกี่ยวข้องกับการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา การพัฒนาปรับปรุงวิธีการให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การเทียบเคียงวิธีการกับตัวแบบปัญหาที่อื่นเกี่ยวข้อง และการพิจารณาต้นทุนให้ครอบคลุมทุกด้าน รวมไปถึงการเพิ่มความสามารถในการแก้ปัญหาที่มีขนาดปัญหาที่ใหญ่ขึ้น มีความซับซ้อนและสอดคล้องกับการดำเนินงานในสถานการณ์จริงมากขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิจัย บุญญานุสิทธิ์, “การพัฒนาตัวแบบการจัดสรรโลหิตสำหรับภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ในประเทศไทย,” สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2559.
- [2] คณน สุจาร์ และสิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์, “การแก้ปัญหาการจัดส่งเลือดด้วยวิธีไฮบริดการค้นหาแบบนกเขาหัว,” วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต., ปีที่ 8, ฉบับที่ 2, หน้า 206-226, พฤษภาคม - สิงหาคม 2561.
- [3] ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย, “คู่มือปฏิบัติการโลหิตแห่งชาติที่ 12 จังหวัดสงขลา,” วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2559.
- [4] T. Iswari, V. F. Yu, A. M. S. Asih, “Simulated Annealing for the blood pickup routing problem,” *International Journal of Information*

- and Management Sciences., vol. 27, pp. 317-327, 2016.
- [5] M. A. H. Akhand, H. P. Zahrul, T. Sultana, and Al-Mahmud. "Solving capacitated vehicle routing problem with route optimization using intelligence," in *Proceedings of the 2nd International Conference on Electrical Information and Communication Technologies*, EICT, Khulna, Bangladesh, 2015.
- [6] N. Taweegsornpun and M. Raweewan, "Vehicle routing for blood product delivery," *Panyapiwat Journal*, vol. 9, no. Supplementary, pp. 230-243, 2560.
- [7] ณัฏพร ไชยเสนา, "การจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกส์: กรณีศึกษา บริษัทผู้ให้บริการขนส่ง," *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2, น. 64-76, 2561.
- [8] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, "วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อการแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์," พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.
- [9] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, "วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง: สำหรับแก้ไขปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์," ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- [10] วรณัฐพงษ์ คงแก้ว และศิวิชัย วิทยศิลป์, "การวิจัยดำเนินงาน: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้," สงขลา: ไอคิวมีเดีย, 2564.
- [11] กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และระพีพันธ์ ปิตาคะโส, "การประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบ เส้นตรงประเภทที่ 1 : กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, น. 39-50, 2556.
- [12] วรณัฐพงษ์ คงแก้ว และศิวิชัย วิทยศิลป์, "ขั้นตอนวิธีหึ่งห้อยแบบผสมผสานเพื่อลดต้นทุนรวมจากงานที่เสร็จก่อนและงานที่เสร็จล่าช้าให้น้อยที่สุด ในการจัดตารางการผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, น. 79-91, 2564.
- [13] M. Georgioudakis and V. Plevris, "A comparative study of differential evolution variants in constrained structural optimization," *Frontiers in Built Environment*, vol. 6, no. 102, 2020.
- [14] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, "ราคาขายปลีกน้ำมัน," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://www.eppo.go.th/epposite/index.php/th/petroleum/price/oil-price?orders\[publishUp\]=publishUp&issearch=1](http://www.eppo.go.th/epposite/index.php/th/petroleum/price/oil-price?orders[publishUp]=publishUp&issearch=1). [วันที่เข้าถึง 28 มกราคม 2565].

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research, TJOR) เป็นวารสารทางวิชาการ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่งานวิจัยและบทความทางวิชาการทางเว็บไซต์ โดยได้รับการจัดกลุ่มวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ดัชนีอ้างอิงวารสารไทย TCI อยู่ในวารสารกลุ่มที่ 1 โดยวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ประมาณเดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคมของทุกปี ซึ่งบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารไทยการวิจัยดำเนินงานมี 3 ลักษณะ

1. บทวิเคราะห์หรือบทวิจารณ์ (Review Paper) เพื่ออธิบายการพัฒนาในหัวข้อการวิจัยดำเนินงานในช่วงที่ผ่านมา
2. บทความที่เน้นการประยุกต์ใช้ความรู้หรือวิธีการด้านการวิจัยดำเนินงาน เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในภาครัฐและเอกชน หรือองค์กรที่ไม่แสวงผลกำไร
3. บทความที่เน้นทฤษฎีหรือวิธีการด้านวิจัยดำเนินงานที่พัฒนาขึ้นจากแนวคิดของผู้วิจัย หรือเพิ่มเติมองค์ความรู้เดิม

ขอบเขตเนื้อหาบทความ

ทฤษฎี (Theory) และระเบียบวิธี (Methodology) ของบทความที่สามารถส่งตีพิมพ์ในวารสารไทยการวิจัยดำเนินงานแบ่งเป็น 9 กลุ่มคือ

- Continuous Optimization
- Discrete Optimization
- Stochastic Processes and Statistics
- Simulation
- Heuristics and Meta-heuristics
- Production, Manufacturing and Logistics
- Decision Support in Manufacturing and Logistics
- Computational Intelligence in Manufacturing
- Data Analytics

หลักเกณฑ์ในการลงตีพิมพ์ต้นฉบับของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเองไม่ได้ลอกเลียน หรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้เขียนต้องเขียนต้นฉบับตามรูปแบบที่กำหนดเท่านั้น
5. ผู้เขียนต้องแก้ไขบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ตามข้อเสนอแนะของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) จนกว่าผู้ทรงคุณวุฒิหรือบรรณาธิการจะยอมรับบทความของท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิมีสิทธิ์ปฏิเสธบทความได้ หากบทความไม่มีคุณภาพเพียงพอ
6. หลังจากผู้เขียนได้แก้ไขบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง ก่อนการตีพิมพ์

ขั้นตอนการส่งต้นฉบับบทความ

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. กรณียังไม่ได้เป็นสมาชิกของระบบ Thai Journals Online (ThaiJO) ให้ลงทะเบียนผ่านเว็บไซต์ <http://www.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> โดยเลือกเมนู register กรอกข้อมูลให้ครบถ้วนแล้วส่งข้อมูล ให้จำชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านไว้ สำหรับเข้าระบบครั้งต่อไป
4. กรณีเป็นสมาชิกของระบบ Thai Journals Online (ThaiJO) แล้ว ให้เข้าสู่เว็บไซต์ <http://www.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> เลือกเมนู Log in เพื่อเข้าสู่ระบบ และเริ่มต้นการส่งบทความโดย สามารถดาวน์โหลดคู่มือการส่งบทความผ่านระบบ Thai Journals Online ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> โดยให้ส่งบทความต้นฉบับเป็นไฟล์นามสกุล .doc และ .pdf
5. กองบรรณาธิการวารสารรับต้นฉบับบทความ ผ่านทางระบบการส่งต้นฉบับในเว็บไซต์ หรือผ่านทางอีเมล orjournal.th@gmail.com
6. กองบรรณาธิการวารสารพิจารณาบทความขั้นต้น แล้วแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้เขียน หากบทความนั้น ผ่านการพิจารณาขั้นต้น กองบรรณาธิการจะส่งบทความนั้น ให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องพิจารณาบทความ และกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้เขียนภายใน 30 วัน หากมีการ

แก้ไขให้ผู้พิมพ์แก้ไขบทความตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน และนำผลงานที่แก้ไขปรับปรุงแล้วส่งให้แก่บรรณาธิการ/ผู้ประสานงานวารสาร ภายในระยะเวลาที่กำหนดหลังได้รับแจ้งผลการพิจารณา

7. สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิโดยไม่มีการแก้ไข นำส่งกองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่ในวารสารตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้กองบรรณาธิการจะทำหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ของท่านเป็นลายลักษณ์อักษร

****หมายเหตุ** ต้นฉบับบทความที่ไม่สมบูรณ์ หรือรูปแบบไม่ถูกต้อง จะถูกส่งคืนผู้เขียนบทความเพื่อแก้ไข ก่อนส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาต่อไป

รูปแบบและการจัดพิมพ์

1. บทความต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ละภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว และความยาวไม่เกิน 25 บรรทัด หรือไม่เกิน 1 หน้ากระดาษขนาด A4 (8.27 นิ้ว * 11.69 นิ้ว)
2. บทความทั้งหมดควรมีความยาวไม่เกิน 10 หน้ากระดาษ (รวมบทความย่อภาษาไทย บทความย่อภาษาอังกฤษและบรรณานุกรม)
3. พิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Windows รูปแบบตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร ขนาด 14 แบบธรรมดา โดยจัดหน้าเป็นแบบ 2 คอลัมน์
4. รายละเอียดรูปแบบการจัดพิมพ์และการตั้งค่าต่างๆ นั้นสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> เข้าเมนู Submission ► Click >>>> Article Template

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ผู้ประสานงานวารสารฯ

นายบุญชนะ เมฆโต โทรศัพท์: 02-727-3038 โทรสาร 02-3744061

E-mail: orjournal.th@gmail.com

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เลขที่ 148 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม.10240



OR-NET