

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2564)

บทความวิจัย

สนับสนุนโดย



คณะสถิติประยุกต์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์



เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
Operations Research Network of Thailand

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research)

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2564)

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 หล่อจิระขุนทด (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.02-7273078 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 9 ฉบับที่ 2 (เล่มที่ 18) ของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดบทความและวารสารฉบับเต็มได้ที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> คณะผู้จัดทำและกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้วิจัย ผู้สนใจ และผู้เกี่ยวข้องในแวดวงวิชาการต่อไป

หากคุณค่าทางความรู้ที่ผู้อ่านได้รับจากการรวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านการวิจัยดำเนินงานในวารสารเล่มนี้ บรรณาธิการขอขอบคุณที่ดีดังกล่าวดังแต่บรรณาธิการคนแรก 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 Study of Milk-Run Vehicle Routing Problem and Receiving Schedule Adjustment A Case Study of Just-In-Time Automobile Factory ABC <i>Paranut Kunwimol and Sarawut Jansuwan</i>	1
Forecasting Export Values of Cars, Equipment and Parts of Thailand by Time Series Methods <i>Uracha Chantrapha and Nantachai Kantanantha</i>	12
Application of Association Rules Bases Storage Location Assignments for Improving Class-Based Warehouse Design: Case Study A Packaging Company <i>Akkadet Ubonsai and Akkaranan Phongsatornwiwat</i>	21
Application of Bi-level Decision-Making Technique to manage Inventory and Transportation System: Case Study of Wholesaler in Chiang Mai Province <i>Pornvisa Tharakhum, Chompoonoot Kasemset and Tinnakorn Phongthiya</i>	36
Analysis of clusters among the Retirement Mutual Funds before and during the COVID-19 crisis period <i>Suda Tragantalerngsak, Sasiprapa Hiriote, Tanai Boonfueang and Jeeranun Akawannung</i>	47
A Comparison of Forecasting Methods for Seasonal Time-series with Many Zeros <i>Thassakorn Sawetsuthipan and Peerayuth Charnsethikul</i>	57

The Development of Internal Audit Process Analysis using Process Mining and Machine Learning Techniques <i>Krisanapong Wimonasuk and Worapol Pongpech</i>	68
Applying Mathematical Modelling for Job Shop Scheduling Problem: A Case Study of Automotive Part Factory <i>Panjarat Phaettho and Saowanit Lekhavat</i>	82
An Improved Truncated Distribution for Modelling the Procurement Planning of Agricultural Product <i>Siraprapha Deepradit and Roongrat Pisuchpen</i>	93
Parallel machine scheduling with sequence dependent setup time for tire building process <i>Jakrawarn Kunadilok and Arada Chaiyacod</i>	104

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

การศึกษาเพื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งรูปแบบมิลค์รันและการจัดการกำหนดการรับสินค้า กรณีศึกษา การส่งชิ้นส่วนโรงงานประกอบรถยนต์แบบทันเวลาพอดี ABC

ปารณท์ กัญวิมล^{1*} และ สราวุธ จันทรสุวรรณ²

^{1, 2}ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

148 หมู่ 3 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

Received: 6 April 2021; Revised: 18 July 2021; Accepted: 19 July 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการวิเคราะห์และปรับปรุงการขนส่งรูปแบบมิลค์รันของโรงงานประกอบรถยนต์แบบทันเวลาพอดีที่เป็นกรณีศึกษาตั้งอยู่ในพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจภาคตะวันออกของประเทศไทย เพื่อลดต้นทุนจากค่าขนส่งที่มาจากค่าขนส่งจากผู้ผลิตชิ้นส่วนจำนวน 35 แห่งในเขตพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี ไปยังโรงงานประกอบรถยนต์ในเขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลความต้องการชิ้นส่วนเพื่อการผลิตรถยนต์รายวันมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณสินค้าที่ต้องขนส่งและออกแบบเส้นทางการขนส่งโดยใช้หลักการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem หรือ VRP) เข้ามาจัดเส้นทางขนส่ง โดยประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีแบบ Metaheuristics Large Neighborhood Search (LNS) ด้วยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์การจัดเส้นทางขนส่งที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า วิธีแบบวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) สามารถลดต้นทุนการขนส่งลดลง 9,089,924 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 41.6 ขณะที่วิธี Metaheuristics สามารถลดต้นทุนการขนส่งเหลือ 11,962,011 บาทต่อปี ลดลง 9,897,072 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 45.28 ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดต้นทุนได้มากที่สุดของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ การศึกษา ยังได้จัดกำหนดการเข้ามาถึงของรถขนส่งสินค้าโดยใช้วิธีการกระจายกำหนดการณีสอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ใช้ปฏิบัติในการรับส่งสินค้าเดิม ซึ่งทำให้การบริหารจัดการดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้แผนงานดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้ทันทีและเป็นการลดปัญหาความแออัดได้พร้อมกัน

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ, Metaheuristics Large Neighborhood Search (LNS), การขนส่งรูปแบบมิลค์รัน, วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

* Corresponding author. E-mail: sarawut@as.nida.ac.th

^{1,2} ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

The Study of Milk-Run Vehicle Routing Problem and Receiving Schedule Adjustment A Case Study of Just-In-Time Automobile Factory ABC

Paranut Kunwimol¹, Sarawut Jansuwan²

^{1, 2}Logistics Management, National Institute of Development Administration (NIDA),
148 Moo 3, Seri-thai Road, Klong-Chan, Bangkok, Bangkok Thailand 10240

Received: 6 April 2021; Revised: 18 July 2021; Accepted: 19 July 2021

Abstract

This study aims to improve the milk-run vehicle route of a case study of Just-In-Time automotive manufacturing located in the eastern economic corridor, Thailand. The milk-run vehicles typically pick up the automotive parts from suppliers located in Chonburi and Rayong to the factory in Laem Chabang Industrial estate, Chonburi. Two vehicle routing problem (VRP) methods including Saving Algorithm and Metaheuristics Large Neighborhood Search (LNS) in VRP Spreadsheet Solver, are studied. The results obtained from these two methods are evaluated and further adapted to the practice. The results indicate the saving algorithm can reduce the transportation cost and save about 9,089,924 Baht/Year (about 41.6%), while the metaheuristics method can save 11,962,011 Baht/Year (about 45.3 %). Further, the schedule of truck arrival is also improved using the recent constraints of operational time of the factory and the folk lift resource available during the slot. The proposed method could alleviate the congestion of truck arrivals during peak period in the factory effectively.

Keywords: vehicle routing problem, metaheuristics Large Neighborhood Search (LNS), milk run transportation model, saving algorithm

* Corresponding author: E-mail: sarawut@as.nida.ac.th

*1, 2 Logistics Management Program, Graduate School of Applied Statistics (GSAS), NIDA

1. บทนำ

การขนส่งแบบมิลค์รันเป็นแนวปฏิบัติที่สนับสนุนการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) ซึ่งได้รับการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตและประกอบรถยนต์ บริษัทกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตรถยนต์ซึ่งตั้งโรงงานอยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย มียอดผลิตรถยนต์กว่า 480,000 คันต่อปี และมีการดำเนินโครงการลดต้นทุนการขนส่งโดยการจัตรถบรรทุกเพื่อรับชิ้นงานเองในรูปแบบมิลค์รัน (Milk-run) บริษัทกรณีศึกษาได้จัดรูปแบบพื้นที่ของ ผู้ผลิตชิ้นส่วน (Supplier) หลักๆ ออกเป็น 3 พื้นที่ โดยพื้นที่ที่ทางผู้ทำวิจัยได้นำมาศึกษาคือพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี พื้นที่จังหวัดระยองและชลบุรีเป็นพื้นที่ที่มีผู้ผลิตชิ้นส่วน (Supplier) อยู่จำนวน 35 ราย และผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดนี้จะต้องส่งสินค้าให้กับบริษัทกรณีศึกษาเป็นจำนวนเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 941.12 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำให้บริษัทกรณีศึกษาต้องใช้รถบรรทุกจ้างจากผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์ (Service Provider) ทำการรับสินค้าโดยใช้รถกระบะบรรทุกถึง 17 คันต่อวันโดยต้องวิ่งรับและส่งสินค้ารวมอยู่ที่ 49 รอบต่อวัน เฉลี่ยต่อเดือนมีต้นทุนสูงถึง 1.82 ล้านบาท แต่มีค่าเฉลี่ยปริมาณสินค้าที่ขนส่งรอบอยู่แค่เพียงร้อยละ 57.22 เท่านั้นซึ่งสะท้อนถึงปัญหาการบริหารจัดการรถบรรทุกที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ อีกทั้งการจัดการการรับสินค้าบริเวณโรงงานเกิดปัญหาความล่าช้าติดขัดเนื่องจากรถกระบะบรรทุกขนส่งเดินทางเข้ามาถึงพื้นที่โรงงานในเวลาใกล้เคียงกัน ทำให้เกิดความติดขัดหนาแน่นในการเคลื่อนย้ายสินค้าลงจากรถบรรทุกเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตที่ต้องการความรวดเร็วทันเวลา

จากปัญหาข้างต้นโดยวิจัยได้มุ่งเน้นการศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งเพื่อลดต้นทุนจากกระบวนการขนส่งจากผู้ผลิตชิ้นส่วนมายังโรงงานประกอบรถยนต์ โดยนำเอาหลักการการขนส่งแบบมิลค์รันมาประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีการ Metaheuristics Large Neighborhood Search (LNS) ด้วยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver (Erdoğan, 2017) เป็นโปรแกรมเพื่อให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อศึกษาและจัดเส้นทางทำให้

เกิดอรรถประโยชน์สูงสุดในการขนส่ง และยังได้มีการจัดตารางการรับสินค้าในบริษัทกรณีศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับเวลาที่เส้นทางรถบรรทุกเข้าสู่โรงงานและปรับแต่งให้มีการกระจายตัวที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาความติดขัดล่าช้าบริเวณจุดรับสินค้า

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดเทคนิคมิลค์รัน

ตามหลักแล้วเส้นทางมิลค์รันจะใช้งานได้ดีกับผู้จัดส่งวัตถุดิบท้องถิ่น แต่เส้นทางมิลค์รันท้องถิ่นก็สามารถรวมผู้จัดส่งวัตถุดิบที่อยู่ห่างไกลซึ่งเป็นผู้ดูแลคลังสินค้าท้องถิ่นเข้าไว้ได้ด้วยเช่นกันกลุ่มผู้จัดส่งวัตถุดิบที่อยู่ห่างไกลในเส้นทางมิลค์รันไม่ควรมียุติจัดส่งวัตถุดิบมากกว่า 4 ถึง 5 ราย ซึ่งปกติจะเป็นกลุ่มที่ถูกเลือกมาจากท่าเรือที่ตั้งอยู่ไม่ห่างไกลกันมาก แต่ถ้ามีผู้จัดส่งวัตถุดิบหลายรายรวมอยู่ใกล้กันก็อาจจะสามารถใช้จุดหมายปลายทางภายในโรงงานเป็นเกณฑ์ในการจัดกลุ่มและกำหนดเส้นทางโดยลำดับของผู้จัดส่งวัตถุดิบจะเปลี่ยนไปเป็นตารางเวลาของเส้นทางมิลค์รัน ซึ่งจะเป็นการแสดงเวลาที่มาถึงและเวลาที่ออกจากแต่ละโรงงานและจะต้องมีการติดตามการดำเนินงานของเส้นทางมิลค์รันนี้เทียบกับตารางเวลาเพื่อจะได้ปรับปรุงให้ดีขึ้นและเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเบี่ยงเบนของตารางเวลานี้ส่งผลกระทบต่อการจัดส่งวัสดุให้แก่โรงงาน

2.2 ทฤษฎีปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

การหาเส้นทางขนส่งและกระจายสินค้าจากคลังสินค้าไปลูกค้าในพื้นที่ต่าง ๆ ให้ประโยชน์สูงสุดจัดอยู่ในปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้ทฤษฎีกราฟจำลองโครงข่ายเส้นทางคมนาคม การเปลี่ยนแปลงปัญหาจริงให้อยู่ในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ และการแก้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเทคนิคการแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือ วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) ในการวิจัยครั้งนี้สามารถแยกทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้ ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) ปัญหาพื้นฐานของการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะเป็นการ

กำหนดเส้นทางของ ยานพาหนะแต่ละคันเพื่อไปให้บริการลูกค้าที่กำหนดโดยค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะของแต่ละบริษัทแต่ละกรณีศึกษานั้นอาจจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับบริษัทที่กำหนดให้ยานพาหนะทุกคันจะต้องออกจากและกลับเข้าสู่ Depot เดิม หรือยานพาหนะจะต้องออกจาก Depot หนึ่งแต่กลับเข้าสู่ Depot อีกแห่งหนึ่งก็ได้ หรือแม้กระทั่งการออกแบบเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่บริษัทมียานพาหนะจำนวนหลายคัน เวลาที่ให้บริการและความสามารถในการบรรทุกสินค้าของยานพาหนะแต่ละคันที่อาจเท่ากัน หรือไม่เท่ากัน เป็นต้น ดังนั้นเราอาจจำแนกปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะออกเป็นลักษณะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางข้างต้นทำให้เกิดแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีความซับซ้อนและแปรเปลี่ยนไปตามรายละเอียดขององค์ประกอบของปัญหาได้ด้วยวิธีการจำลองปัญหา ดังนี้

1. การจัดเส้นทางการเดินทางเพียง 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem, TSP)
2. การจัดเส้นทางการเดินทางแบบหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesman Problem, MTSP)
3. ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Classical Vehicle Routing Problem (Classical VRP)

ปัญหาในระดับนี้จะเป็นการหาจำนวนเส้นทางและลำดับในการส่งสินค้าของลูกค้าแต่ละราย ภายใต้ข้อจำกัดของรถซึ่งบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินความจุที่กำหนดไว้ ด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) เนื่องจากการรวมให้ลูกค้าอยู่ในเส้นทางเดียวกันที่จะรับสินค้าที่ใกล้ที่สุดก่อนและจึงไปรับสินค้าในลำดับถัดไปจนเต็มพื้นที่ขนส่ง โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)
2. คำนวณค่าความประหยัด (Savings) ซึ่งเขียนแทนด้วยระหว่างลูกค้า 2 คน นั่นคือลูกค้า i และลูกค้า j

$$S_{ij} = C_{Di} + C_{Dj} - C_{ij} \quad (1)$$

โดยที่ S_{ij} = ระยะการเดินทางที่ประหยัดได้เมื่อวิ่งรถรอบเดียว

C_{Di} = เป็นค่าใช้จ่าย เวลา หรือระยะทางระหว่าง Depot และลูกค้า i (ในตัวอย่างนี้ เราใช้ระยะทางหน่วยเป็น กม. แทนค่าใช้จ่าย)

C_{ij} = เป็นค่าใช้จ่าย เวลา หรือระยะทางระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j (ในตัวอย่างนี้ เราใช้ระยะทางแทนค่าใช้จ่าย)

D = แทนสัญลักษณ์ของ Depot

ตารางที่ 1 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือก
1. จำนวนของยานพาหนะ	- จำนวนยานพาหนะเดียว - จำนวนยานพาหนะหลายคัน
2. ประเภทของยานพาหนะ	- ประเภทเดียวกันทั้งหมด - หลายประเภท
3. โรงจอดรถหรือสถานีหรือคลังสินค้า (Depot)	- จำนวนสถานที่เดียว - จำนวนหลายสถานที่
4. ความต้องการในการขนส่ง	- ความต้องการที่แน่นอน - ความต้องการที่ไม่แน่นอน
5. จุดเกิดของความต้องการ	- ที่ตำแหน่งและเส้นทาง
6. ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
7. เวลาในการขนส่งที่ยอมรับได้มากที่สุด	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
8. ข้อจำกัดทางด้านเวลาในการขนส่ง	- แบบด้านเดียว - แบบสองด้าน

3. ทำการจัดเรียงลำดับค่าความประหยัด (Saving) จากค่าที่มากที่สุดไปยังค่าน้อยที่สุด โดยหากค่า Savings มีเครื่องหมายเป็นบวก จะทำการรวมลูกค้า i และลูกค้า j ให้อยู่ใน เส้นทางเดียวกันนั้น วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด เมื่อคำนวณค่า Saving จากการรวมให้ลูกค้าอยู่ในเส้นทางเดียวกัน มีเครื่องหมายเป็นบวก เราจึงกำหนดให้ ลูกค้า i และลูกค้า j อยู่ในเส้นทางเดียวกันจากรูปในขั้นตอนสุดท้ายเราจะเห็นว่ารถบรรทุกเดินทางออกจาก Depot รับสินค้าที่ลูกค้า i และลูกค้า j หลังจากนั้นเดินทางกลับเข้ามาที่ Depot

2.3 วิธีการจัดเส้นทางขนส่งแบบ Heuristics

การจัดเส้นทางแบบ Saving Algorithms (Clarke and Wright, 1964) เป็นทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับในการจัดการปัญหาการจัดการขนส่งเนื่องจากสอดคล้องกับแนวคิดการจัดเส้นทางของนักวางแผนที่ต้องการจัดเส้นทางที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุดโดยใช้วิธีการควรวรรวมจุดรับสินค้าที่อยู่ใกล้เคียงให้รวมเป็นวงรอบเดียวกันภายใต้ข้อจำกัดของน้ำหนักและเวลาในการทำงานที่นักวางแผนพอที่จะประมาณการได้อีกทั้งเป็นวิธีที่เข้าใจง่ายไม่ซับซ้อนทางผู้วิจัยจึงเลือกการจัดเส้นทางแบบ Saving Algorithms มาศึกษาเปรียบเทียบกับวิธี การจัดเส้นทางด้วย Large Neighborhood Search (LNS) ซึ่งเป็นการมุ่งหาเส้นทางการเดินทางโดยการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) แบบวนซ้ำและใช้ Genetic Algorithm (GA) เป็นกลไกในการแสวงหาคำตอบ อย่างไรก็ตาม LNS Metaheuristics ได้มีการเสนอครั้งแรกโดย Shaw (1998) ซึ่งใช้วิธีการทำลายและสร้างใหม่ (Destroy and Repair method) โดยกระบวนการทำลายเป็นการแยกจุดรับส่งเดิมออกจากวงรอบที่เคยสร้างไว้และการซ่อมเป็นการนำจุดดังกล่าวไปรวมกับวงรอบข้างเคียงแล้วทำการประเมินผลลัพธ์ที่จะต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดไว้ โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้ VRP Spreadsheet Solver (Erdoğan, 2017) ที่จัดเส้นทางขนส่งสินค้าด้วยวิธีดังกล่าว เปรียบเทียบกับ Saving Algorithm เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้ปฏิบัติจริง

กระบวนการเริ่มต้นออกแบบการทำงานของ การจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้าตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการด้วยการดึงข้อมูลการจัดรถตามคำสั่งซื้อเดิมของศูนย์กระจายสินค้าโดยนำข้อมูลที่ต้องการได้แก่ จำนวนลูกค้า พิกัดที่อยู่ จำนวนความต้องการของลูกค้า อีกทั้งยังทำการศึกษาข้อจำกัดของตัวรถขนส่งในเรื่อง 1) ความเร็ว 2) ความสามารถบรรทุก 3) หน้าต่างเวลา (Time Window) โดยทำการจัดเส้นทางทั้งตามข้อมูลการรับสินค้าเดิมและจัดเส้นทางขนส่งแบบมิลค์รันของกรณีศึกษา

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

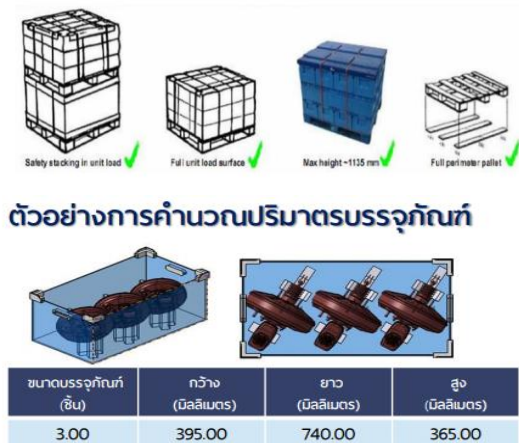
3.1 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งรูปแบบมิลค์รันของบริษัทประกอบรถยนต์กรณีศึกษาและผู้ส่งชิ้นส่วนในจังหวัดชลบุรีและระยองซึ่งเป็นพื้นที่ตั้งของผู้ประกอบการผลิตชิ้นส่วนที่ซัพพลายให้กับโรงงานประกอบรถยนต์ ABC ที่ตั้งในเขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง โดย เวลาในการรับสินค้าอยู่ในขอบเขตที่กำหนด โดยเวลารับสินค้าจากทางผู้ผลิตจะแตกต่างกันไป แต่เวลาในการส่งสินค้าจะอยู่ในช่วงเวลา 8.00 ถึง 19.00 นาฬิกาซึ่งเป็นเวลาทำการของบริษัท โดยรถขนส่งที่ใช้เป็นรถบรรทุก 6 ล้อที่มีความกว้างของตู้ขนส่งอยู่ที่ 2,400 มิลลิเมตร ความยาว 6,900 มิลลิเมตรและความสูง 2,400 มิลลิเมตร ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึง พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 เป็นตัวแทนสำหรับการวิเคราะห์การปฏิบัติการการขนส่งดังกล่าว รถบรรทุกที่ผู้วิจัยได้เลือกมาเป็นส่วนหนึ่งในการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เทคนิคมิลค์รันเป็นรถบรรทุกชนิด 6 ล้อแบบตู้บรรทุกขนาดใหญ่ ซึ่งมีรายละเอียดและรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงรายละเอียดขนาด ความกว้าง ยาว สูง และปริมาตรบรรจุรูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของบรรจุภัณฑ์และการจัดเรียงในพื้นที่บรรทุกของกรณีศึกษา ซึ่งปริมาตรนี้จะใช้เป็นข้อมูลเรื่องข้อจำกัดในการบรรทุกสินค้าต่อไป



ชนิดของรถบรรทุก	ปริมาตรของตู้สินค้า				
	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	ความสูง (มิลลิเมตร)	ปริมาตรที่สามารถบรรจุได้ (ลบ.มตร)	ปริมาตรสินค้าที่คิดไว้ใช้จริง (ลบ.มตร)
รถบรรทุก 6 ล้อ	2,400	6,900	2,400	39.74	31.44

รูปที่ 1 รายละเอียดรถบรรทุกชนิด 6 ล้อ ตู้ใหญ่ที่ใช้สำหรับมิลค์รัน



รูปที่ 2 รายละเอียดของบรรจุภัณฑ์และการจัดเรียงในพื้นที่บรรจุของกรณีศึกษา

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าคุณสมบัติบรรจุภัณฑ์สินค้าได้ทั้งหมดเท่ากับ 39.74 ลบ.เมตร แต่ต้องมีการปรับลดเพื่อให้มีพื้นที่ใช้สอยอื่นๆ เช่น พื้นที่ในการยกสินค้าไม่ให้สินค้าเกิดการกระแทก ดังนั้นผู้วิจัยจะใช้ค่า 31.44 ลบ.เมตร เป็นความสามารถในการขนส่งต่อรอบ นอกจากนี้ การวางแผนบรรจุภัณฑ์ต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนดเพื่อลดปัญหาการเสียหายของชิ้นส่วนและบรรจุภัณฑ์ การจัดเรียงแสดงในรูปที่ 2

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

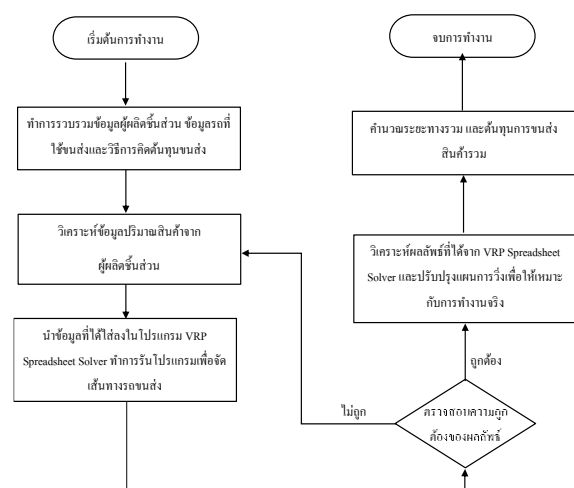
การเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้มีกระบวนการดังนี้

- 1) คัดเลือกผู้ผลิตชิ้นส่วนที่มีการจัดส่งชิ้นส่วนให้กับกลุ่มรถยนต์ที่มีทำเลที่ตั้งอยู่ที่จังหวัดชลบุรีและจังหวัดระยองซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาและเป็นขอบเขตการศึกษาในครั้งนี้
- 2) ทำการระบุตำแหน่งของโรงงานและซัพพลายเออร์ด้วยตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Latitude, Longitude) เพื่อใช้ในการหาระยะทางและสร้างตารางระยะทางจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทาง (Distance Matrix)
- 3) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง เช่น ต้นทุนการขนส่งและข้อมูลบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจำเป็นต้องนำไปใช้ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการขนส่งและข้อมูล

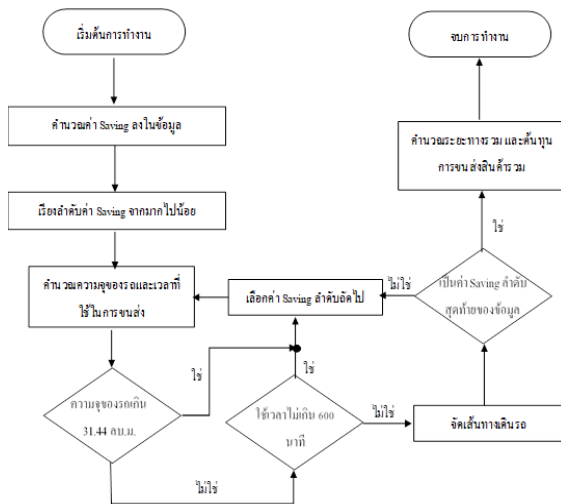
ปริมาณสินค้าที่สามารถบรรจุไปได้ในแต่ละเที่ยวรวมถึงการจัดการบรรจุภัณฑ์สำหรับใช้หมุนเวียน นอกจากนี้จำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลของรถที่ใช้ในการขนส่ง เช่น ขนาดของตู้บรรทุกสินค้าและอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงเพื่อประกอบการวิเคราะห์ต้นทุนค่าขนส่ง 4) การเก็บข้อมูลการเดินทางของเส้นทางรถมัลติคันที่มีการบันทึกข้อมูลใน Activity Log ของรถบรรทุกขนส่งซึ่งประกอบด้วยเส้นทางจุดที่มีการแวะรับสินค้า ระยะเวลาในการขนสินค้า ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างจุด เวลาในการเดินทางเข้ามาถึงโรงงาน เวลาในการขนสินค้าลงจากรถ เพื่อจะนำมาสู่กระบวนการปรับปรุงเส้นทางรถที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

3.3 กระบวนการศึกษาและวิเคราะห์ผล

กระบวนการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางของวิธี Metaheuristics LNS ด้วยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver ซึ่งใช้เป็น MS Excel Plug-In กับกระบวนการด้วยวิธี Saving Algorithm เพื่อเปรียบเทียบหาชุดคำตอบระหว่างสองวิธีที่ให้ผลลัพธ์คือค่าขนส่งสินค้าต่ำที่สุด รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงกระบวนการจัดเส้นทางของวิธี Metaheuristics LNS ด้วยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver และกระบวนการจัดเส้นทางของวิธี Saving Algorithm ตามลำดับ



รูปที่ 3 กระบวนการจัดเส้นทางของวิธี Metaheuristics LNS



รูปที่ 4 กระบวนการจัดเส้นทางของวิธี Saving Algorithm

โดยมีข้อมูลนำเข้าชุดเดียวกัน สังเกตว่า กระบวนการ Saving Algorithm นั้นจะต้องมีกระบวนการคำนวณค่าความประหยัด (Savings) และการเรียงลำดับ (Sorting) ระยะทางที่ประหยัดเพื่อสร้างกลุ่มเส้นทางเดินรถอีกชั้นหนึ่ง นอกจากนั้น ยังต้องมีการพิจารณาถึงข้อจำกัด (Constraint) เช่น ระยะเวลาในการดำเนินงาน ปริมาตรที่บรรจุได้ของรถบรรทุก เช่นเดียวกับวิธี Metaheuristics

เมื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์จากแต่ละวิธี ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาและคัดเลือกวิธีการขนส่งสินค้าที่มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุดมาใช้ในการทำงานของโรงงานประกอบรถยนต์ ABC การนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปใช้งานนั้นจะมีกระบวนการวิเคราะห์ความเหมาะสมของเส้นทางที่จะเข้ามายังโรงงาน เนื่องจากปัญหาความแออัดของรถขนส่งที่เข้าถึงโรงงานในเวลาใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยได้ทำการจัดการจัดการกำหนดการรับสินค้า (Scheduling) ของกลุ่มรถให้มีการกระจายตัวที่เหมาะสมโดยปรับปรุงด้วยเกณฑ์แบบ Heuristics ด้วยการจัดเลือก Slot ของการจัดส่งโดยใช้เกณฑ์ดังนี้

1. เลื่อนแผนรอบส่งที่เป็นรอบสุดท้ายของแต่ละคันให้ส่งช้าลง แต่ให้เข้าไปในช่วงเวลาที่ไม่มีการเข้าส่งแต่ต้องไม่เกินเวลาที่กำหนด 19.00 (Time Window Constraint)
2. เลื่อนแผนการส่งในรอบก่อนหน้าตามแผนการส่งช้าลงในรอบสุดท้าย

3. ปรับ/สลับช่องส่งชิ้นส่วนไปยังช่องที่ว่างเพื่อให้รถโฟร์คลิฟท์สามารถกระจายตัวทำงานได้โดยพิจารณาเวลาที่กำหนดเดิมก่อน เป็นต้น

เมื่อได้ผลการปรับเปลี่ยนดังกล่าวแล้วก็จะนำไปปรับเวลาในการออกรถเพื่อปรับสินค้าให้สอดคล้องกับตารางเวลาที่จัดการใหม่ตามลำดับ

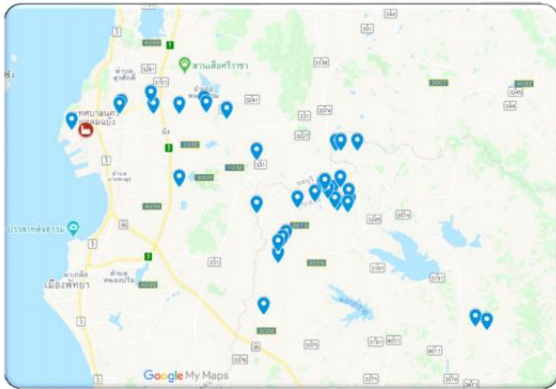
4. ผลการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลผู้ผลิตชิ้นส่วน

จากจำนวนผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้งหมด 35 ราย มีโรงงานการผลิตที่อยู่ในจังหวัดชลบุรีจำนวน 12 ราย และอยู่ในจังหวัดระยอง 23 ราย รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งโรงงานและผู้ผลิตชิ้นส่วนในพื้นที่ศึกษาซึ่งจะเห็นได้ว่าตำแหน่งส่วนใหญ่มีการกระจายตัวอยู่ในจังหวัดชลบุรีและบางส่วนของจังหวัดระยองซึ่งการเคลื่อนย้ายสินค้ามายังโรงงานที่อยู่ในเขตนิคมแหลมฉบังมีระยะทางที่แตกต่างกัน การจัดเส้นทางเดินรถจำเป็นต้องมีการ Cluster กลุ่มของผู้ผลิตและการจัดลำดับการรับส่งให้สอดคล้องกัน นอกจากนั้น ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างของปริมาณของชิ้นส่วนที่ผู้ผลิตจะต้องจัดส่งโรงงานในแต่ละวัน สังเกตว่าปริมาณของสินค้ามีความแตกต่างกันในแต่ละผู้ผลิตกันอย่างมาก โดยมีปริมาณตั้งแต่ 5-70 ลบ.ม. ขณะที่รถบรรทุกมีความสามารถในการรองรับสินค้าได้ 31.44 ลบ.ม. ต่อคัน

ซึ่งหากไม่มีการจัดการเส้นทางเดินรถที่มีประสิทธิภาพในการรวบรวมสินค้าให้เต็มความจุก็อาจจะทำให้เกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่เป็นสัดส่วนสูงดังที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน นอกจากนั้น การพิจารณาเวลาในการทำงาน (Operation Hour) และหน้าต่างเวลาในการรับสินค้า (Time Window) รวมไปถึงเวลาในการรับสินค้า (Service Time) เพื่อประกอบการพิจารณาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่สุดถือเป็นปัจจัยที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างระยะเวลาดังกล่าวของผู้ผลิต

ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานประกอบและผู้ผลิตชิ้นส่วนทั้ง 35 ราย



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานประกอบและผู้ผลิตชิ้นส่วน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างของปริมาณของชิ้นส่วนที่ผู้ผลิตจะต้องจัดส่งโรงงานในแต่ละวัน

ลำดับ	ผู้ผลิตชิ้นส่วน	ปริมาณการขนส่ง (ลบ.ม.ต่อวัน)	พิกัดละติจูด, ลองจิจูด
1	P001	5.65	12.890822, 101.098326
2	K001	21.66	13.101748, 101.057634
3	T001	69.09	13.108649, 101.034300
.	.	.	.
35	S001	26.49	13.005583, 101.135234

ตารางที่ 3 ข้อมูลของการทำงาน-เลิกงาน และระยะเวลาการรับสินค้า

ลำดับ	ชื่อผู้ผลิต ชิ้นส่วน	เวลาเริ่ม งาน	เวลาเลิกงาน	ระยะเวลาการ รับสินค้า (นาที)
1	P001	08:30	17:00	30
2	K001	08:30	17:00	30
3	T001	08:30	16:30	30

4.2 ผลการวิเคราะห์เส้นทางการเดินทาง

ผลการวิเคราะห์เส้นทางการเดินทางของการจัดเส้นทางทั้ง 2 วิธีแสดงได้ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์การจัดเส้นทางด้วย Saving Algorithm

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์การจัดลำดับการประหยัดคำนวณจากสมการที่ (1) เรียงจากมากสุดไปน้อยสุดโดยเป็นการวิเคราะห์ทุกคู่ลำดับ (i, j) ก่อนนำผลลัพธ์ดังกล่าวมาจัดเส้นทางการเดินทางตามลำดับ และตารางที่ 5 สรุปผลการจัดเส้นทางเดินทางโดยการใช้ วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ต้องการรถขนส่งจำนวน 11 คัน จากเดิมที่ต้องใช้รถขนส่งจำนวน 17 คัน มีจำนวนเที่ยวรวมทั้งหมด 35 เที่ยว ในระยะทางรวม 2,328.82 กม.และมีค่าเฉลี่ยความสามารถที่ใช้งานได้ (Utilization) อยู่ที่ 85.52% ตามลำดับ

2) ผลการวิเคราะห์การจัดเส้นทางด้วย วิธี Metaheuristics LNS

ตารางที่ 5 สรุปผลการจัดเส้นทางด้วย วิธี Metaheuristics LNS ผลการศึกษาสรุปได้ว่าต้องการรถขนส่งจำนวน 10 คัน มีจำนวนเที่ยวรวมทั้งหมด 37 เที่ยว ในระยะทางรวม 2,310.51 กม.และมีค่าเฉลี่ยความสามารถที่ใช้งานได้ (Utilization) อยู่ที่ 80.89% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าวิธี Metaheuristics

ตารางที่ 4 การค่า Savings ที่ได้จากการคำนวณ

N_i	N_j	S_{ij}	C_{id}	C_{di}	C_{ij}
H003	H005	129.76	66.96	64.66	1.86
E001	E012	93.20	47.78	47.22	1.79
E001	E009	92.75	47.78	46.31	1.34
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
N002	P001	(0.43)	5.75	38.84	45.02

ตารางที่ 5 สรุปผลการจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และ วิธี Metaheuristics LNS

ผลการวิเคราะห์	หน่วย	วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด	วิธี Metaheuristics ด้วย VRP Spreadsheet Solver
จำนวนรถขนส่งที่ใช้	คัน	11	10
จำนวนรอบการวิ่ง	รอบ	35	37
ระยะทางโดยรวม	กิโลเมตร	2,328.82	2,310.51
ค่าเฉลี่ยความสามารถที่ชนได้	ร้อยละ	85.5	80.9

ด้วย VRP Spreadsheet Solver สามารถประหยัดจำนวนรถที่ใช้ลงได้มากกว่าการจัดแบบ วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) 1 คัน และมีระยะทางในการเดินทางรวมน้อยกว่าเล็กน้อย

4.3 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

จากผลการศึกษาจะเห็นว่าการจัดเส้นทางโดยใช้วิธี Metaheuristics LNS สามารถลดปริมาณการใช้รถขนส่งลงไปจากการจัดเส้นทางแบบเดิม 17 คัน เหลือ 10 คัน คิดเป็นการลดลงถึงร้อยละ 41.17, ลดจำนวนรอบที่รถต้องวิ่งไปกลับระหว่างผู้ผลิตชิ้นส่วนและโรงงานประกอบลงไปจากแบบเดิม 49 รอบต่อวัน เหลือเพียง 37 รอบต่อวัน คิดเป็น ลดลงร้อยละ 16.32, ค่าเฉลี่ยความสามารถที่ชนได้เพิ่มขึ้นจากเดิม 17.99 ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ เหลือ 25.43 ลูกบาศก์เมตรต่อรอบ ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 41.35 โดยจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางแบบเดิมกับการจัดเส้นทางแบบที่เสนอ

ผลการจัดเส้นทางการเดินทางที่เสนอทั้งสองวิธีสามารถช่วยในการประหยัดต้นทุนได้ถึง 9,089,924 บาท/ปี และ 9,897,072 บาท/ปี คิดเป็นร้อยละ 41.58 และ 45.28 ตามลำดับ โดยผลของการจัดเส้นทางนี้จะได้นำไปใช้ประยุกต์ในการจัดเส้นทางในโรงงานต่อไป

4.4 การจัดการกำหนดการรับสินค้าในโรงงาน

ผลจากการศึกษาในข้อ 4.3 นำมาใช้ในการจัดเส้นทางการเดินทางในโรงงานได้จริง แต่จะเกิดปัญหาเรื่องเวลาในการเข้ามาถึงของรถสินค้าที่มีการกระจุกตัวของรถขนส่ง ก่อให้เกิดปัญหาความแออัดและความล่าช้า (Delay) บริเวณสถานีรับสินค้ารวมถึงการที่มีรถไฟร์คลิฟท์ในโรงงาน 4 คันก็จำเป็นต้องมีการบริหารจัดการการเคลื่อนย้ายสินค้าจากรถบรรทุกไปสู่กระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่เกิดปัญหาดังกล่าวด้วย

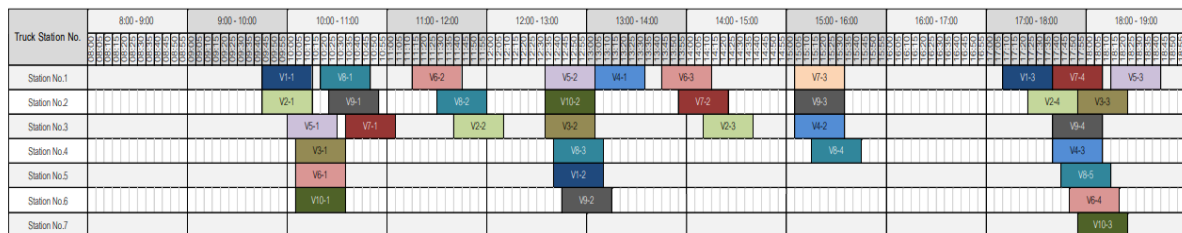
ตารางที่ 6 ผลการศึกษาและเปรียบเทียบ

ผลการวิเคราะห์	หน่วย	การจัดเส้นทางแบบเดิม	การจัดเส้นทางแบบวิธี Saving Algorithm	การจัดเส้นทางโดย Metaheuristics LNS
จำนวนรถขนส่งที่ใช้	คัน	17	11	10
จำนวนรอบการวิ่ง	รอบ	49	35	37
ระยะทางโดยรวม	กิโลเมตร	3,118.5	2,328.8	2,310.5
ค่าเฉลี่ยที่ชนได้	ลูกบาศก์เมตร	17.9	26.89	25.4
ค่าเฉลี่ยที่ชนได้	ร้อยละ	57.2	85.5	80.9
ต้นทุนก่อนปรับปรุงรายเดือน	บาท/เดือน	1,821,590	1,064,097	996,834
ต้นทุนก่อนปรับปรุงต่อปี	บาท/ปี	21,859,083	12,769,159	11,962,011
ต้นทุนที่ประหยัดได้	บาท/ปี	-	9,089,924	9,897,072
ร้อยละที่ประหยัดได้	-	-	41.58	45.28

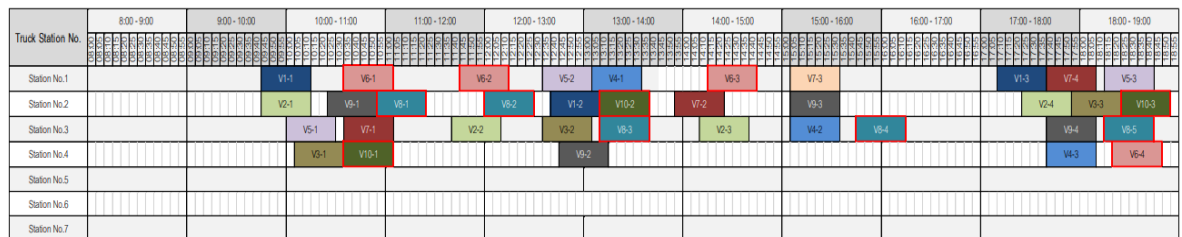
ผู้วิจัยได้จัดทำกำหนดการโดยใช้วิธีการกระจายกำหนดการตามเกณฑ์ที่ได้อธิบายก่อนหน้าและได้ใช้ MS Excel Solver ในการช่วยในการจัดเรียงกำหนดการใหม่เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของกำหนดการรถเข้ามายังพื้นที่โรงงาน

ให้มีความเหมาะสม สอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ใช้ปฏิบัติในการรับส่งสินค้าเดิม ซึ่งทำให้การบริหารจัดการดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้แผนงานดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้ทันทีและเป็นการลดปัญหาความแออัดได้พร้อมกัน รูปที่ 6 และ รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของกำหนดการตามแผนจัดเส้นทางการเดินทางแบบวิธี Metaheuristics LNS และการจัดการกำหนดการใหม่ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่า กำหนดการตามแผนจัดเส้นทางการเดินทางแบบวิธี Metaheuristics LNS ในรูปที่ 6 นั้นมีการกระจุกตัวในบางช่วงเวลาเช่น 10.00-11.00 12.00-13.00 และ 17.00-18.00

ขณะที่บางช่วงเวลานั้นไม่มีรถเข้ามาจัดส่งสินค้าเลย ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการจัดการคนงานและรถโฟล์คลิฟท์ที่มีอยู่อย่างจำกัด ขณะที่รถที่มาจอดรอก็จะทำให้เกิดความติดขัดในพื้นที่รับส่งสินค้าซึ่งอยู่ใกล้พื้นที่การผลิตและไม่ส่งผลต่อการจัดการการขนส่งในพื้นที่โรงงาน การจัดการกำหนดการใหม่ดังแสดงในรูปที่ 7 สะท้อนการกระจายตัวของการเข้ามาของรถขนส่งให้กระจายตัวภายใต้ระยะเวลาทำงานปกติ อีกทั้งเป็นการทำงานเพียง 4 สถานีโดยใช้รถโฟล์คลิฟท์ที่มีได้อย่างพอดี



รูปที่ 6 การกระจายตัวของกำหนดการตามแผนจัดเส้นทางการเดินทางแบบวิธี Metaheuristics LNS (ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 7 การกระจายตัวของกำหนดการตามแผนจัดเส้นทางการเดินทางแบบวิธี Metaheuristics LNS (หลังปรับปรุง)

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการวิเคราะห์และปรับปรุงการขนส่งรูปแบบมิลค์รัน เพื่อลดต้นทุนจากค่าขนส่งที่มาจากค่ารับสินค้าจากผู้ผลิตชิ้นส่วนจำนวน 35 แห่งในเขตพื้นที่จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี ไปยังโรงงานประกอบรถยนต์ในเขตนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีค่าใช้จ่ายกว่าปีละ 21.86 ล้านบาท การศึกษาประยุกต์การจัดการเส้นทางเดินทางโดยใช้ วิธีแบบวิธีอัลกอริทึมแบบ ประหยัด (Saving Algorithm) และ วิธี Metaheuristics ด้วย VRP Spreadsheet Solver

เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการขนส่งนั้น วิธีแบบวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) สามารถลดต้นทุนการขนส่งจากเดิม 21,859,083 บาทต่อปี เหลือ 12,769,159 บาทต่อปี ลดลง 9,089,924 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 41.58 แต่วิธี Metaheuristics LNS สามารถลดต้นทุนการขนส่งเหลือ 11,962,011 บาทต่อปี ลดลง 9,897,072 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 45.28 ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดต้นทุนได้มากที่สุดของงานวิจัยนี้ นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้จัดทำกำหนดการเข้ามาถึงของรถขนส่งสินค้าโดยใช้วิธีการกระจายกำหนดการณสอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ใช้ปฏิบัติในการรับส่งสินค้าเดิม ซึ่ง

ทำให้การบริหารจัดการดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ทำให้แผนงานดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้ทันที และเป็นการลดปัญหาความแออัดได้พร้อมกัน อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะต่อการวิจัยในอนาคตโดยควรจะมีการวิเคราะห์ถึงการจัดตารางเวลาที่เหมาะสมที่สุดด้วยแนวทาง Scheduling Problem ทำให้การจัดตารางการเข้าถึงของรถมีความเหมาะสมที่สุด นอกจากนั้น ควรศึกษากรณีที่มีระยะเวลาในการเดินทางแต่ละเส้นทางมีความไม่แน่นอนซึ่งอาจจะเกิดจากปัญหาความติดขัด (Congestion) บนเส้นทางโดยเสนอให้มีการศึกษาในลักษณะ Stochastic VRP ที่พิจารณาถึง Stochastic Service Time และ Travel Time ซึ่งอาจจะประยุกต์ใช้แนวทางการทำแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) มาช่วยในการวิเคราะห์ต่อไป

6. บรรณานุกรม

- [1] นคร ไชยวงศ์ศักดิ์ และ ประเวศ อนันต์เอื้อ, “การจัดการเส้นทางการขนส่งโดยใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาล,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1, 2558.
- [2] พลอยไพลิน ภูมิโคกรักษ์, “การพัฒนาระบบการจัดการเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง,” *วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*, 2560.
- [3] นครินทร์ บินศิริ, นันทิ สุทธิการณนัย และ สุกมนัส การพบ, “การประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดเส้นทางเพื่อการจัดการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ร้านสะดวกซื้อ,” *วารสารประจำวิทยาลัยสุรนารี*, ปีที่ 12, ฉบับที่ 2, 2561.
- [4] ธภัทร ธาราศักดิ์, “การประยุกต์ใช้เทคนิคมิลค์รันในการขนส่งวัตถุดิบของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์,” *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2559.
- [5] ภูชงค์ เวฬุวัน และ ภาณุพงษ์ ศรีมุงกุล, “การเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยการใช้โปรแกรม VRP Spreadsheet Solver กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้าในจังหวัดขอนแก่น,” *สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตขอนแก่น*, 2561.
- [6] ชินภัทร อ่อนฉิม และ นันทิ สุทธิการณนัย, “การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าสำหรับศูนย์กระจายสินค้าบางนา ด้วยวิธีการจัด Routing สายรถขนส่งในกรุงเทพฯและปริมณฑล,” *บัณฑิตวิทยาลัย, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*, 2560.
- [7] ทิพวรรณ วิริยะสวกิจ, “การลดต้นทุนการขนส่งโดยการศึกษาประยุกต์ใช้การขนส่งแบบมิลค์รัน (Milk run),” *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2558.
- [8] วารินทร์รัตน์ รินมุกดา, ต้นติกร พิษณุพิบูล, กิตติชัย ศรีสุขนาม และ อนุรักษ์ วัฒนธรรวรงค์, “การศึกษาหารูปแบบการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนค่าขนส่ง: กรณีศึกษา บริษัทขายผลไม้ ABC,” *วารสารปัญญาภิวัฒน์*, ปีที่ 8, ฉบับที่ 3, 2559.
- [9] G. Erdoğan, “An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems,” *Computers & Operations Research*, vol 84, pp. 62-72, 2017.
- [10] P. Shaw, “Using Constraint Programming and Local Search Methods to Solve Vehicle Routing Problems,” in *CP-98 (Fourth International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming)*, 1998.

การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบของประเทศไทย ด้วยวิธีอนุกรมเวลา

อุรชา จันทรภา^{*1} และนันท์ชัย กานตานันทะ²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

Received: 8 April 2021; Revised: 27 April 2021; Accepted: 18 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบของประเทศไทย ด้วยวิธีอนุกรมเวลา โดยเปรียบเทียบการพยากรณ์วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ และวิธี Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิธีการพยากรณ์เป็น ข้อมูลมูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบรายเดือนจากสำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 เป็นจำนวนทั้งหมด 144 เดือน ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด โดย ข้อมูลชุดที่หนึ่ง เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จะถูกใช้สำหรับการสร้างตัวแบบ พยากรณ์ ส่วนของข้อมูลชุดที่สอง เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จะใช้ในการ เปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ผลการศึกษาพบว่า วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 9.68% ในขณะที่วิธี ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธี SARIMA มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 9.91% 10.18% ตามลำดับ ดังนั้นวิธี ปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์จึงมีความเหมาะสมและมีความแม่นยำในการพยากรณ์มูลค่าการส่งออก รถยนต์ อุปกรณ์และชิ้นส่วนของประเทศไทยมากที่สุด

คำสำคัญ: การพยากรณ์, มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบ, วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และ วินเทอร์, วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่, วิธี SARIMA

* Corresponding author. E-mail: urc.chantrapha@gmail.com

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Forecasting Export Values of Cars, Equipment and Parts of Thailand by Time Series Methods

Uracha Chantrapha^{*1} and Nantachai Kantanantha²

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
Bangkok 10330

Received: 6 April 2021; Revised: 18 July 2021; Accepted: 19 July 2021

Abstract

This research aimed to study the forecasting methods for the export values of cars, equipment and parts of Thailand by time series methods including moving average, Holt-Winters exponential smoothing and seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA). The monthly export value data were gathered from Office of the Permanent Secretary Ministry of Commerce from January 2008 to December 2019, a total of 144 months. The data were divided into two sets. The first set was the data from January 2008 to December 2018 and was used to develop the forecasting models. The second set was the data from January 2019 to December 2019 and was used to compare the forecast accuracy by the mean absolute percentage error (MAPE). The results of study showed that the Holt-Winters exponential smoothing method had MAPE at 9.68% while the moving average and the SARIMA methods that had MAPEs at 9.91% and 10.18%, respectively. Thus, the Holt-Winters exponential smoothing method was the most appropriate and had the highest accuracy on forecast of the export values of cars, equipment and parts of Thailand.

Keywords: Forecasting, Export values of cars equipment and parts, Moving average method, Holt-Winters exponential smoothing method, SARIMA method

* Corresponding author. E-mail: urc.chantrapha@gmail.com

1 Master's student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

2 Lecturer in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

1. บทนำ

ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยนับว่าเป็นภาคหลักที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศไทย เป็นตัวบ่งชี้เศรษฐกิจในประเทศว่าไปในทิศทางใด อุตสาหกรรมต่าง ๆ ในประเทศเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างรายได้ เพิ่มมูลค่าทางการค้าและสามารถบอกอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจได้เป็นอย่างดี รวมถึงการจ้างงาน สามารถบอกค่าครองชีพที่เกิดขึ้นได้ โดยมีการสนับสนุนด้านนโยบายจากทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ในแง่ของรัฐบาลสามารถสร้างรายได้เข้ามาในประเทศจากการส่งออก ภาคเอกชนจะเป็นการลงทุนที่ให้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นมาจากการลงทุนคนไทยหรือต่างประเทศ เข้ามาลงทุนในประเทศไทย ผลผลิตที่ได้จากแต่ละภาคอุตสาหกรรม การส่งออกสินค้าเป็นการลดปริมาณสินค้าที่มากเกินไปความต้องการของตลาด รวมถึงการผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการในต่างประเทศ

ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานกระทรวงพาณิชย์ [1] ให้ข้อมูลว่า หมวดสินค้าอุตสาหกรรมมีสินค้าที่มีมูลค่าส่งออกมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ 1. รถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบ 2. อัญมณี และเครื่องประดับ 3. เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบ 4. ผลิตภัณฑ์ยาง 5. เม็ดพลาสติก มูลค่าการส่งออกสินค้าที่มีมูลค่ามากที่สุดในหมวดอุตสาหกรรม เป็นสินค้ารถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบ ในปี พ.ศ. 2560-2563 สินค้ารถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบมีมูลค่าส่งออก 914,343.87 ล้านบาท 927,501.26 ล้านบาท 846,435.16 ล้านบาท และ 656,725.37 ล้านบาท ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการขยายตัว ร้อยละ 0.93 1.44 -8.74 และ -22.41 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบในแต่ละปี มีความผันผวนที่เกิดจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น เศรษฐกิจโลกมีการเติบโตต่ำสุดในรอบ 10 ปีและเศรษฐกิจของประเทศคู่ค้าสำคัญของไทยถูกกดดันจากความขัดแย้งทางการค้าระหว่างสหรัฐฯ และจีน [2]

ประเทศไทยมีการลงทุนและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตรถยนต์ อุปกรณ์ และชิ้นส่วนที่มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ผลผลิตมีคุณภาพตามมาตรฐานในระดับที่โลกยอมรับ สามารถส่งออกไปยังประเทศต่าง ๆ ได้ จากข้อมูลปี พ.ศ. 2563 ประเทศที่มีมูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และ

ส่วนประกอบจากประเทศไทยมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ ประเทศออสเตรเลียมีส่วนการส่งออกจากไทย 19.30% รองลงมาเป็นประเทศญี่ปุ่นมีส่วนการส่งออกจากไทย 9.78% ประเทศจีนมีส่วนการส่งออกจากไทย 6.70% ประเทศเวียดนามมีส่วนการส่งออกจากไทย 6.26% และประเทศฟิลิปปินส์มีส่วนการส่งออกจากไทย 5.63% [3]

ในแต่ละปีตลาดการส่งออกจะมีความผันผวนที่อาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะส่งผลกระทบในส่วนแบ่งทางการตลาดและมูลค่าส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบที่มีการแข่งขันกับประเทศอื่น และจะเห็นได้ว่ามูลค่าการส่งออกมีความสำคัญกับประเทศไทย หากมีการศึกษาตัวแบบพยากรณ์มูลค่าส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบด้วยวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม จะช่วยให้ทราบแนวโน้มความต้องการของตลาดและมูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบที่มีความแม่นยำ

งานวิจัยนี้จะมุ่งศึกษาตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบ โดยจะทำการวิเคราะห์หาตัวแบบพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบที่เหมาะสม ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัวแบบด้วยอนุกรมเวลา (Time Series) โดยจะเลือกตัวแบบที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ต่ำที่สุด การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบ จะสามารถช่วยให้ภาครัฐที่เกี่ยวข้องมีการวางนโยบายดูแลการค้าที่เหมาะสม บ่งบอกว่ามีการขยายตัวของมูลค่าทางการค้าระหว่างประเทศเติบโตไปในทิศทางใด เป็นแนวทางในการปรับแผนการเรียกเก็บภาษีในการนำเข้าและส่งออก เพื่อช่วยกระตุ้นให้เกิดการส่งออกเป็นการรักษาผลประโยชน์ทางการค้า การลงทุนของประเทศไทย ช่วยเป็นแนวทางในการพัฒนาศักยภาพกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์และชิ้นส่วนได้ในอนาคต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพยากรณ์ (Forecasting) เป็นการทำนายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยใช้ข้อมูลในอดีตเป็นตัวช่วยในการทำนาย การพยากรณ์สามารถแบ่งตามระยะเวลาได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) การพยากรณ์ระยะสั้น (Short-

term forecasts) เป็นการทำนายช่วงระยะเวลานั้น ๆ ไม่เกิน 1 ปี เช่น วัน สัปดาห์ เดือน เป็นต้น 2) การพยากรณ์ระยะกลาง (Medium-term forecasts) เป็นการพยากรณ์ช่วงเวลาเป็นหนึ่งปีหรือสองปี ในการพยากรณ์ระยะสั้นและระยะกลาง จะเหมาะกับการจัดการการดำเนินงานให้อยู่ในงบหรือแผนที่วางไว้ 3) การพยากรณ์ระยะยาว (Long-term forecasts) จะเป็นการพยากรณ์เพื่อใช้สำหรับในการวางแผนกลยุทธ์ที่ใช้เวลาในการดำเนินการหลายปี

เทคนิคในการพยากรณ์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative forecasting techniques) เป็นการพยากรณ์ที่อาศัยการตัดสินใจที่มาจากประสบการณ์และทัศนคติของผู้พยากรณ์เอง แทบจะไม่ใช้ข้อมูลในอดีตมาพยากรณ์ เช่น การออกผลิตภัณฑ์ใหม่ บริษัทจะยังไม่มีข้อมูลในอดีตที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากอยู่ในช่วงเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ บริษัทจะใช้การตัดสินใจเชิงคุณภาพในการวางแผนการตลาดและทดสอบผู้บริโภค 2) การพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative forecasting techniques) เป็นการพยากรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้การนำข้อมูลในอดีตมาสร้างเป็นรูปแบบในการพยากรณ์ [4]

2.1.1 วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method)

วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เป็นวิธีที่ง่ายและนิยมใช้กันเป็นอย่างมาก วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่คือการเฉลี่ยข้อมูลในช่วงใกล้เคียงกันในปัจจุบันในจำนวน k ตัว (ส่วนใหญ่จะใช้ k เป็นจำนวนเลขคี่ เช่น 3 5 7 และ 9 เป็นต้น) เมื่อเวลาเปลี่ยนไปจำนวนข้อมูลที่ใช้หาค่าเฉลี่ยจะมีจำนวนเท่าเดิม แต่ตัวเลขของข้อมูลจะเปลี่ยนแปลง [5] สามารถอธิบายได้จากสมการดังนี้

$$\hat{Y}_{t+1} = \frac{Y_t + Y_{t-1} + \dots + Y_{t-k+1}}{k} \quad (1)$$

เมื่อ $\hat{Y}_{t+1}$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+1$

Y_t คือ ค่าจริง ณ เวลา t

k คือ จำนวนช่วงของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

2.1.2 วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ (Holt-Winters Exponential Smoothing Method)

วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์เป็นวิธีการพยากรณ์ที่มีการพัฒนามาจากแบบวิธีปรับเรียบ

เอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์ ใช้กับข้อมูลที่มีแนวโน้มและฤดูกาล โดยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก (Additive) จะใช้สำหรับข้อมูลที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลคงที่ [6] มีสมการแสดงดังนี้

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-M}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3)$$

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-M} \quad (4)$$

$$\hat{Y}_{t+k} = L_t + kT_t + S_{t+k-M} \quad (5)$$

วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบคูณ (Multiplicative) จะใช้สำหรับข้อมูลที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลเพิ่มขึ้น มีสมการแสดงดังนี้

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-M}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (6)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (7)$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-M} \quad (8)$$

$$\hat{Y}_{t+k} = (L_t + kT_t)S_{t+k-M} \quad (9)$$

เมื่อ L_t คือ ค่าระดับ ณ เวลา t

T_t คือ ค่าแนวโน้ม ณ เวลา t

S_t คือ ค่าฤดูกาล ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

Y_t คือ ค่าจริง ณ เวลา t

α คือ ค่าคงที่สำหรับค่าระดับ

β คือ ค่าคงที่สำหรับค่าแนวโน้ม

γ คือ ค่าคงที่สำหรับค่าฤดูกาล

k คือ จำนวนช่วงเวลาที่พยากรณ์

M คือ จำนวนฤดูกาล

2.1.3 วิธี Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

วิธี ARIMA เป็นการพยากรณ์ที่มีการพิจารณา ลักษณะของอนุกรมเวลามีสหสัมพันธ์กันของข้อมูลอย่างไร หากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นอนุกรมเวลาแบบไม่คงที่ จะต้องแปลงอนุกรมเวลาให้คงที่ ก่อนกำหนดตัวแบบการพยากรณ์ โดยตัวแบบทั่วไปของ ARIMA จะเขียนอยู่ในรูปของ ARIMA (p, d, q) เมื่อข้อมูลมีรูปแบบแนวโน้มและมีความผันแปรของฤดูกาลเป็นส่วนประกอบสำคัญ ตัวแบบการ

พยากรณ์จะอยู่ในรูปของ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) สามารถเขียนด้วยสัญลักษณ์ SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)_s [7] แสดงในสมการดังนี้

$$\phi_p(B)\phi_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^DY_t = \theta_q(B)\theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (10)$$

เมื่อ $\phi_p(B)$ คือ สหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ p

$\phi_p(B^s)$ คือ สหสัมพันธ์ในตัวเองแบบฤดูกาลอันดับที่ P

$\theta_q(B)$ คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q

$\theta_q(B^s)$ คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ฤดูกาลลำดับที่ Q

Y_t คือ ข้อมูลอนุกรม ณ เวลา t

ε_t คือ ค่าคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

d คือ จำนวนครั้งที่หาผลต่าง

D คือ จำนวนครั้งที่หาผลต่างฤดูกาล

2.1.4 การวัดความแม่นยำของการพยากรณ์ (Forecasting Accuracy Measurement)

การวัดความแม่นยำของการพยากรณ์เป็นการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยอย่างไร [8] ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีวัดค่าความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) โดยการหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ทำให้สามารถเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีพยากรณ์ที่มีความแตกต่างกันในรูปแบบของร้อยละ สามารถเข้าใจได้ง่าย โดยสมการหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย สามารถแสดงได้ดังนี้

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t} \times 100\% \quad (11)$$

เมื่อ Y_t คือ ค่าจริง ณ เวลา t

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t

n คือ จำนวนค่าพยากรณ์

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Veiga *et al.* [9] ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ระหว่างวิธี SARIMA และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ สำหรับพยากรณ์ความต้องการของผลิตภัณฑ์นม การวัดค่าความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์จะใช้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) ที่ต่ำ

ที่สุดในการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่า วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าวิธี SARIMA โดยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำกว่าวิธี SARIMA

Kumar *et al.* [10] ได้ทำการพยากรณ์ราคาหัวหอมในตลาดบังกาลอร์ ประเทศอินเดีย เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์ระหว่างวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ และวิธี ARIMA โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ในการเปรียบเทียบการพยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่า วิธี ARIMA ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์

Udom และ Phumchusri [11] ได้ศึกษาการพยากรณ์ยอดขายพลาสติกในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ระหว่างวิธี ARIMA วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ด้วยค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) จากการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์พบว่า วิธี ARIMA มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์

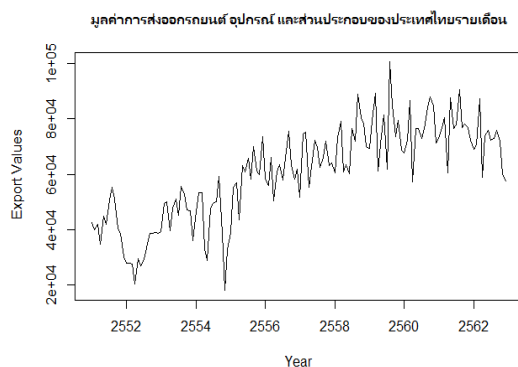
Shitan *et al.* [12] ได้ทำการศึกษาดัชนีแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์มูลค่าการส่งออกของประเทศบังคลาเทศด้วยวิธี SARIMA โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เป็นตัวหาค่าพารามิเตอร์ของวิธี SARIMA ที่เหมาะสมที่สุด จากการศึกษาตัวแบบ SARIMA ที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกของประเทศบังคลาเทศ คือ SARIMA (1,1,0)(0,1,1)₁₂ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ค่ารากที่สองของความ

คลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน
สัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำกว่าตัวแบบ SARIMA (4,1,2)(1,1,0)₁₂

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลมาจากศูนย์เทคโนโลยีและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร เป็นข้อมูลมูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบของประเทศไทย รายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 เป็นจำนวนทั้งหมด 144 เดือน แสดงดังรูปที่ 1 โดยมีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดแรกเป็นข้อมูล ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 จะใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ส่วนข้อมูลชุดที่สองเป็น ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 จะใช้ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีพยากรณ์ ที่สร้างด้วยข้อมูลชุดแรก



รูปที่ 1 มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์ และส่วนประกอบของประเทศไทยรายเดือน

3.2 การเลือกวิธีการพยากรณ์

งานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ตัวแบบการพยากรณ์มูลค่า การส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบของประเทศไทยด้วยวิธีอนุกรมเวลา 3 วิธี ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธี ปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ และวิธี SARIMA โดยใช้โปรแกรม R ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์

3.3 การคัดเลือกวิธีการพยากรณ์

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบผลการพยากรณ์ที่ได้จากแต่ละ วิธีด้วยค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เพื่อคัดเลือกวิธีการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมและมีความ แม่นยำมากที่สุด

4. ผลการวิจัย

การศึกษาเพื่อหาตัวแบบการพยากรณ์มูลค่าการ ส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ.2561 (ข้อมูลชุดที่ 1) ในการสร้างตัวแบบ พยากรณ์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ และวิธี SARIMA นำตัวแบบ พยากรณ์ที่ได้มาเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบ พยากรณ์แต่ละวิธี โดยข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 (ข้อมูลชุดที่ 2) ถูกใช้ในการหา ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการศึกษาของการพยากรณ์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

จากผลการพยากรณ์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ โดย กำหนดจำนวนช่วงของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (k) เท่ากับ 3 5 6 และ 9 เดือน เมื่อพิจารณาจำนวนช่วงที่เหมาะสมสำหรับตัว แบบพยากรณ์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ โดยเลือกจำนวนช่วงที่ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยน้อยที่สุด พบว่า ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เมื่อ k เท่ากับ 3 เดือน มีค่าร้อยละความ คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 15.13% เป็นตัวแบบที่ เหมาะสมในการพยากรณ์ ดังในแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนช่วงของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (k) ของวิธี ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

จำนวนช่วง (k)	MAPE
3	15.13%
5	15.25%
6	15.14%
9	15.75%

4.2 ผลการศึกษาของการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์

สำหรับการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะมีแนวโน้มและฤดูกาล ซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลที่คงที่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวกในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ ค่าพารามิเตอร์ในการปรับเรียบได้มาจากโปรแกรม R โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ (ข้อมูลชุดที่ 1) คือ $\alpha = 0.425$, $\beta = 0.027$ และ $\gamma = 0.349$ มีค่าฤดูกาล ดังแสดงในตารางที่ 2 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\hat{Y}_{t+k} = 74,053.758 + k(104.792) + \hat{S}_i \quad (12)$$

เมื่อ k คือ จำนวนช่วงเวลาที่ยาพยากรณ์

ตารางที่ 2 ค่าฤดูกาลรายเดือนของวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์รูปแบบบวก

เดือน	$\hat{S}_i$
มกราคม	-3,751.580
กุมภาพันธ์	3,708.575
มีนาคม	8,893.760
เมษายน	-12,889.419
พฤษภาคม	1,718.175
มิถุนายน	-307.205
กรกฎาคม	-711.132
สิงหาคม	9,044.783
กันยายน	8,999.922
ตุลาคม	6,154.742
พฤศจิกายน	3,188.899
ธันวาคม	-2,433.320

4.3 ผลการศึกษาของการพยากรณ์ด้วยวิธี SARIMA

จากการศึกษาการพยากรณ์ด้วยวิธี SARIMA พบว่า มีตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นไปได้หลายตัวแบบสำหรับข้อมูลชุดนี้ เมื่อพิจารณาตัวแบบที่เหมาะสมโดยใช้ค่า Corrected for Akaike's Information Criterion (AICc) ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นตัว

ปรับแก้ความเอนเอียงของ AIC เพื่อปรับค่าของการพยากรณ์ให้มีความแม่นยำมากขึ้น พบว่า ตัวแบบที่มีความเหมาะสมกับมูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบมากที่สุด คือ SARIMA (0,1,1)(0,0,2)₁₂ มีค่า AICc เท่ากับ 2,753.900 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธี SARIMA

ตัวแบบพยากรณ์	AICc
SARIMA (0,1,2) (0,0,2) [12]	2,754.203
SARIMA (0,1,2) (0,0,1) [12]	2,763.299
SARIMA (0,1,1) (0,0,2) [12]	2,753.900
SARIMA (0,1,1) (0,0,1) [12]	2,762.702
SARIMA (0,1,0) (0,0,2) [12]	2,790.319
SARIMA (1,1,1) (0,0,2) [12]	2,754.214
SARIMA (1,1,0) (0,0,2) [12]	2,771.190
SARIMA (1,1,2) (0,0,2) [12]	2,754.992

4.4 ผลการศึกษาความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์

เมื่อพิจารณาความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์สำหรับการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบ โดยเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ และวิธี SARIMA ที่ได้จากหัวข้อที่ 4.1 ถึง 4.3 กับข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 เพื่อหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด โดยจะทำการพยากรณ์ข้อมูลล่วงหน้าทีละหนึ่งเดือน และนำข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงของเดือนที่ได้พยากรณ์ไปแล้วมาใช้ในการพยากรณ์ของเดือนถัดไป พบว่า วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 9.91% วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 9.68% และวิธี SARIMA มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 10.18% จะเห็นได้ว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธี SARIMA ดังแสดงในตารางที่ 4

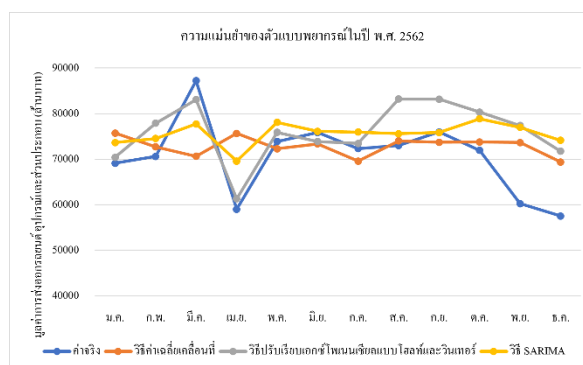
ตารางที่ 4 ความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ในปี พ.ศ. 2562

เดือน	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์		
		วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่	วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์	วิธี SARIMA
ม.ค.	69,103.80	75,717.95	70,406.97	73,645.16
ก.พ.	70,592.76	72,685.30	77,867.13	74,499.28
มี.ค.	87,201.98	70,630.16	83,052.31	77,722.61
เม.ย.	58,983.41	75,632.85	61,269.13	69,555.13
พ.ค.	73,853.13	72,259.38	75,876.73	78,069.48
มิ.ย.	75,853.07	73,346.17	73,851.35	76,079.08
ก.ค.	72,298.02	69,563.20	73,447.42	75,938.07
ส.ค.	72,969.38	74,001.41	83,203.33	75,576.74
ก.ย.	75,980.48	73,706.82	83,158.47	75,841.67
ต.ค.	71,921.81	73,749.29	80,313.29	78,850.86
พ.ย.	60,199.84	73,623.89	77,347.45	76,968.37
ธ.ค.	57,477.49	69,367.38	71,725.23	74,124.52
MAPE		9.91%	9.68%	10.18%

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ และวิธี SARIMA โดยเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีการพยากรณ์ด้วยค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบการพยากรณ์ของตัวแบบพยากรณ์แต่ละวิธี แสดงดังรูปที่ 2 การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบด้วยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 9.68% ถือได้ว่าเป็นการพยากรณ์ที่มีความใกล้เคียงค่าจริงและมีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธี SARIMA ตัวแบบพยากรณ์ของวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์จึงมีความเหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์

มูลค่าการส่งออกรถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบของประเทศไทย



รูปที่ 2 เปรียบเทียบการพยากรณ์ของตัวแบบพยากรณ์แต่ละวิธี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานกระทรวงพาณิชย์, “สินค้าส่งออกสำคัญของไทย,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomTo pNCountry&Option=1&Lang=Th&ImExType=1>. [วันที่เข้าถึง 20 ธันวาคม 2563].
- [2] วรณา ยงพิศาลภพ, “แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม: อุตสาหกรรมยานยนต์,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Hi-tech-Industries/Automobiles/IO/io-automobile-20>. [วันที่เข้าถึง 25 ธันวาคม 2563].
- [3] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานกระทรวงพาณิชย์, “ตลาดส่งออกของไทยรายสินค้า,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomTo pNCountry&Option=1&Lang=Th&ImExType=1>. [วันที่เข้าถึง 20 ธันวาคม 2563].
- [4] D. C. Montgomery, C. L. Jennings, and M. Kulahci, Introduction to time series analysis and forecasting, Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2008.

- [5] S. C. Albright and W. L. Winston, Business Analytics: Data Analysis and Decision Making, Cengage Learning, 2016.
- [6] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, Forecasting: principles and practice, 2nd ed., OTexts: Melbourne, Australia, 2018.
- [7] S. Makridakis, S. Wheelwright and R. J. Hyndman, Forecasting methods and applications, John Wiley & sons, 3rd ed., New York: John Wiley & Sons, 2008.
- [8] J. E. Hanke and D. W. Wichern, Business forecasting, 9th ed., Upper Saddle River, N.J: Pearson/Prentice Hall, 2009.
- [9] C. P. D. Veiga, U. Tortato, and W. V. D. Silva, "Demand forecasting in food retail: a comparison between the Holt- Winters and ARIMA models," *WSEAS transactions on business and economics.*, vol. 11, no. 1, pp. 608-614, 2014.
- [10] T. L. M. Kumar, H. S. Surendra, and R. Munirajappa, "Holt-Winters exponential smoothing and seasonal ARIMA time-series technique for forecasting of onion price in Bangalore market," *Mysore Journal of Agricultural Sciences.*, vol. 45, no. 3, pp. 602-607, 2011.
- [11] P. Udom and N. Phumchusri, "A comparison study between time series model and ARIMA model for sales forecasting of distributor in plastic industry," *IOSR Journal of Engineering.*, vol. 4, no. 2, pp. 32–38, 2014.
- [12] M. Shitan, M. M. Hossain and M. Rajeb, "A re-analysis of time series modelling of Bangladesh export values," *International Journal of Statistical Sciences.*, vol. 12, pp. 79-88, 2012.

การประยุกต์ใช้กฎความสัมพันธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัทจัดจำหน่ายสินค้าบรรจุภัณฑ์ขนมและอาหารแห่งหนึ่ง

อรรคเดช อุบลไทร¹ และอักรนันท์ พงศธรวิวัฒน์^{2*}

ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

148 หมู่ 3 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

Received: 11 April 2021; Revised: 13 May 2021; Accepted: 18 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทจัดจำหน่ายสินค้าบรรจุภัณฑ์แห่งหนึ่ง จากการศึกษาบริษัทกรณีศึกษาก่อนการปรับปรุงพบว่า ตำแหน่งการจัดวางสินค้าของสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวเร็ว (fast moving) ภายในคลังสินค้าไม่เหมาะสมถูกจัดวางอย่างกระจายทั่วบริเวณ ทำให้ภาพรวมพนักงานหยิบสินค้าเดินระยะทางไกลถึง 952,989 เมตรต่อปี และเกิดความล่าช้าในการหยิบสินค้าส่งผลให้เกิดการจ้างงานคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการจ้างงานเพิ่มขึ้น 56,172 บาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วนถึง 39% ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบรูปแบบตำแหน่งการจัดวางสินค้าเพื่อให้การดำเนินงานภายในคลังมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ตำแหน่งจัดเก็บ (Storage Location) ใหม่ในการจัดวางสินค้าโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีกฎความสัมพันธ์ของสินค้า (Association Rules) เพื่อสร้างกลุ่มของสินค้าที่ถูกหยิบร่วมกันร่วมกับเทคนิคการแบ่งกลุ่มสินค้าโดยเลือกการจัดเรียงตามการเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า โดยนำหลักการตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing Model) ตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางไว้ใกล้ประตู (Fast Mover Closest to the Door) ร่วมกับเครื่องมือ Open Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของการจัดวางสินค้า ผลการศึกษาพบว่า การจัดวางตำแหน่งสินค้ารูปแบบใหม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการคลังสินค้าเพิ่มขึ้น ระยะทางในการหยิบสินค้าลดลง 289,678.40 เมตรต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 30.40% ระยะเวลาในการจ้างงานล่วงเวลาลดลง 822 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 90.76% ค่าใช้จ่ายในการจ้างงานล่วงเวลาลดลง 50,982 บาทต่อปี และยังสามารถช่วยเพิ่มอัตราผลผลิตภาพการหยิบสินค้าของพนักงานในการหยิบช่วงการหยิบแบบปกติดีขึ้น 158 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 6.82%

คำสำคัญ: การกำหนดตำแหน่งการจัดวางสินค้า, กฎความสัมพันธ์, การปรับปรุงประสิทธิภาพคลังสินค้า, กรณีศึกษา

* Corresponding author. E-mail: akkaranan@as.nida.ac.th

^{1,2} ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Application of Association Rules Bases Storage Location Assignments for Improving Class-Based Warehouse Design: Case Study A Packaging Company

Akkadet Ubonsai¹ and Akkaranan Phongsatornwiwat^{*2}

Logistics Management, National Institute of Development Administration (NIDA),
148 Moo 3, Seri-thai Road, Klong-Chan, Bangkok, Bangkok Thailand 10240

Received: 11 April 2021; Revised: 13 May 2021; Accepted: 18 May 2021

Abstract

The objective of this research is to improve the efficiency of a warehouse of a packaging company by re-assignment of storage location. As observed the company's exiting problems, there is an issue on the inappropriate storage locations of fast-moving items, causing problems of unnecessary travel distances about 952,989 meters a year in total, and delays shipping as well as additional costs of overtime in 56,172 Baht a year. To overcome this, the study formulated the problem as storage location re-assignment problems. The revised product placements and locations are applied a concept of association rules to find the relationships between items that be frequently ordered together and make them as the new product family, ranging from high-, medium-, and low movements. The proposed linear programming problem is solved by Fast-Mover-Closet-to-Door concepts with Open Solver in Microsoft Excel as the solver tool to find the optimal solution. The result shows that the new product location and layout can significantly help improving the warehouse efficiency in terms of decreasing picking distances by 289,678.40 meters per year, accounting for 30.40%, reducing the period of overtime hiring by 822 hours per year, explain 90.76%, and reducing overtime costs by 50,982 baht a year approximately. Furthermore, it can improve the labor productivity of normal picking times up to 158 hours per year (6.82%).

Keywords: storage location assignments, association rules, warehouse efficiency improvement, case study

* Corresponding author. E-mail: akkaranan@as.nida.ac.th

1 Master Student in Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

2 Lecturer in Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

1. บทนำ

ปัญหาการจัดสรรตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า (Storage Location Assignment Problems) มีความสำคัญเพราะจะทำให้สินค้ามีการเคลื่อนไหวจนถึงมือลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยประหยัดต้นทุนดำเนินการทั้งจากการได้เปรียบในเรื่องการจัดสรรพื้นที่การจัดเก็บ (Space Utilizations) และการลดระยะทางในการหยิบสินค้าเพื่อจัดส่ง (Shorten Travel Distances) [1-2] ดังนั้น หากออกแบบการจัดการคลังสินค้าได้ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น การกำหนดตำแหน่งของสินค้าที่มีความต้องการมาก อยู่ในตำแหน่งที่ไกลจากบริเวณจัดส่ง เป็นต้น [2] ก็จะทำให้เสียต้นทุนทั้งด้านกระบวนการทำงานที่ไม่เป็นระเบียบ และก่อให้เกิดต้นทุนที่สูงเกินไปในการทำงาน นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการตอบสนองความต้องการของลูกค้าจะลดลง ส่งผลต่อความสัมพันธ์ของลูกค้ากับองค์กรในอนาคต [1]

บริษัทกรณีศึกษาจัดจำหน่ายสินค้าบรรจุภัณฑ์ขนมและอาหารแห่งหนึ่งประสบปัญหาในด้านต้นทุนการจัดเก็บและหยิบจับสินค้าเพื่อจัดส่งที่สูง จากการลงพื้นที่ศึกษาคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาพบว่า ปัญหาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้าลดลง เกิดจากการจัดวางสินค้ายังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ เช่น การจัดวางสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวเร็ว (High Velocity) ถูกกำหนดตำแหน่งการจัดวางอย่างกระจัดกระจายทั่วบริเวณ ทำให้เกิดระยะทางที่ก่อให้เกิดมูลค่า (Unproductive Travel Distances) จำนวนมาก ผู้วิจัยทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 2 คำสั่งซื้อที่เกิดขึ้นพบว่า สัดส่วนระยะเวลาในการหยิบสินค้าของพนักงานสูงถึง 59% เมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมหลักในคลังสินค้าทั้งหมด การหยิบสินค้าดังกล่าวส่งผลสืบเนื่องทำให้ระยะทางในการหยิบสินค้า (Travelling Distance) มากถึง 952,989 เมตรต่อปี ระยะทางดังกล่าวทำให้เกิดการจ้างงานล่วงเวลาสูงถึง 906 ชั่วโมงต่อปี และทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจ้างงานเพิ่มขึ้น 56,172 บาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 39% อีกทั้งทางบริษัทกรณีศึกษา ยังไม่มีนโยบายแบบแผนในการจัดการคลังสินค้าอย่างชัดเจน จากสภาพปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งแก้ไขปัญหามาเพื่อ

ปรับปรุงและออกแบบตำแหน่งการจัดวางตำแหน่งของสินค้าของกรณีศึกษาให้ถูกต้องเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ประกอบด้วย 1. เพื่อศึกษาและเรียนรู้การจัดพื้นที่ตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาและเพื่อระบุสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น 2. เพื่อปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า เพื่อให้ระยะทาง ระยะเวลารวมถึงค่าใช้จ่ายในการหยิบสินค้าลดลง และ 3. เพื่อแนะนำแนวทางและกำหนดเป็นแนวทางมาตรฐานในการจัดวางตำแหน่งของสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาต่อไป ผลการศึกษาพบว่า การจัดวางตำแหน่งสินค้ารูปแบบใหม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการคลังสินค้าเพิ่มขึ้น ระยะทางในการหยิบสินค้าลดลง 289,678.40 เมตรต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 30.40% ระยะเวลาในการจ้างงานล่วงเวลาลดลง 822 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 90.76% ค่าใช้จ่ายในการจ้างงานล่วงเวลาลดลง 50,982 บาทต่อปี และยังสามารถช่วยเพิ่มอัตราผลผลิตภาพการหยิบสินค้าของพนักงานในการหยิบช่วงการหยิบแบบปกติดีขึ้น 158 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 6.82% นอกจากนั้นยังช่วยตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวางแผนคลังสินค้า คือ การวางแผนในการจัดตั้งคลังสินค้าให้เครื่องมือ อุปกรณ์เหมาะสม กับหน้าที่ในแต่ละงาน รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกในคลังสินค้า เพื่อให้กระบวนการทำงานเป็นไปอย่างราบรื่น ปลอดภัย และรวดเร็ว โดยให้ระยะทางและระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายสั้นที่สุด และเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุด [2]

2.2 ลักษณะของการจัดเก็บสินค้าเป็น 3 ลักษณะ คือ 1. การจัดเก็บสินค้าแบบไม่แน่นอน (Random-based storage) เป็นการเก็บสินค้าตามความสะดวกของผู้จัดเก็บ 2. การจัดเก็บตามปริมาณความต้องการพื้นฐาน (Volume-based storage) เป็นการเก็บโดยอาศัยปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการเป็นพื้นฐาน และ 3. การจัดเก็บระดับของสินค้า (Class-based storage) เป็นการแบ่งสินค้าตามระดับความต้องการสินค้าของลูกค้าเป็นกลุ่มใหญ่ๆ [3]

2.3 การจัดทำผังกระบวนการทางธุรกิจ IDEFO เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำผังกระบวนการทางธุรกิจ ซึ่งแสดงตัวแบบของกิจกรรมและทรัพยากรที่ใช้ในรูปแบบของปัจจัยป้อนเข้า (Input) ตัวขับเคลื่อน (Mechanism) ตัวควบคุม (Control) และผลลัพธ์ (Output) เป็นเครื่องมือแสดงผังกระบวนการทางธุรกิจของการไหลของข้อมูลสารสนเทศ และการไหลของวัสดุ โดยจำลองการกระทำและกิจกรรมขององค์กรในสถานการณ์จริง ซึ่งมุ่งเน้นการบ่งชี้กระบวนการวิเคราะห์การติดต่อสื่อสาร และการประสานงานในโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ [4]

2.4 การวิเคราะห์แบบ ABC Analysis เป็นแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับสินค้าตามกลุ่มสินค้าโดยการจัดลำดับตามปริมาณการใช้สูงหรือมูลค่าของสินค้า โดยสามารถจัดกลุ่มของสินค้าได้ดังนี้ 1. สินค้ากลุ่ม A ที่มีจำนวนเพียงร้อยละ 10 แต่มีมูลค่าสูงถึงร้อยละ 70 2. สินค้ากลุ่ม B ที่มีจำนวนร้อยละ 20 และมีมูลค่าร้อยละ 20 3. สินค้ากลุ่ม C ที่มีจำนวนร้อยละ 70 แต่มีมูลค่าเพียงร้อยละ 10 [5]

2.5 การแบ่งกลุ่มโดยการวิเคราะห์ Entry-Item-Quantity (EIQ) พิจารณาจำนวนการหยิบสินค้าแต่ละ SKUs (Stock Keeping Units) ในคลังสินค้า โดยพิจารณาจากจำนวน SKUs ที่ถูกหยิบมากที่สุดจากยอดคำสั่งซื้อทั้งหมด ดังตัวอย่างการแบ่งกลุ่มสินค้าในตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณค่า IQ: Order Quantity (Q) of Each Item (I) , IK: Frequency of Order (K) of Each Item (I), EQ: Order Quantity (Q) from Each Customer (E), และ EN: Number of Items (N) Ordered by Each Customer (E) [6] จากตารางที่ 1 อธิบายได้ว่า Entry of orders คือ จำนวนธุรกรรมของคำสั่งซื้อ (Transaction Order) ที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด แทนด้วย E1, E2, E3 และ E4 ในแนวนอน ในขณะที่สินค้า (Items) คือ สินค้าแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน แทนด้วย 11, 12, 13, 14, 15 และ 16 ในแนวนอน หากต้องการหาค่า IQ และ IK จะสามารถดูได้จาก สินค้า 11 มีลูกค้าสั่งซื้อสินค้า 3 ชิ้นในคำสั่งซื้อ E1 สั่งซื้อสินค้า 2 ชิ้นในคำสั่งซื้อ E2 สั่งซื้อสินค้า 4 ชิ้นในคำสั่งซื้อ E3 และสั่งซื้อสินค้า 2 ชิ้นในคำสั่งซื้อ E4 หมายความว่า สินค้ารายการที่ 11 เกิดจำนวนคำสั่งซื้อ (Order Quantity) หรือค่า IQ จำนวนรวม 11 ชิ้นในทุกๆ ธุรกรรมรวมกัน และหากต้องการทราบจำนวนความถี่ของสินค้ารายการ 11 ให้นับ

ค่าแต่ละธุรกรรมคำสั่งซื้อ ที่เกิดขึ้นเพียงอย่างละ 1 ครั้งเท่านั้น จะได้ผลรวมความถี่ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 4 ครั้งรวมกันของทุกๆ ธุรกรรม ฉะนั้นค่าความถี่ของคำสั่งซื้อ (Frequency of Order) หรือค่า IK จึงเท่ากับ 4 ในทางกลับกันหากต้องการทราบค่า EQ ให้นำจำนวนสินค้าที่ลูกค้าสั่งแต่ละรายการมารวมกันภายใน 1 ธุรกรรมเดียวกัน และค่า EN คือจำนวนครั้งของสินค้ารายการนั้นๆ ที่เกิดขึ้นจริงซึ่งนับเป็น 1 ครั้งเท่านั้น อย่างไรก็ตามผลรวมสุดท้ายของค่า IQ จะเท่ากับค่า EQ และผลรวมของค่า IK จะเท่ากับค่า EN [13]

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณค่า IQ และ IK [6]

		Items (Unites*pieces)								
		11	12	13	14	15	16		EQ	EN
Entry of orders	E1	3	5		1	2	3		14	5
	E2	2		4	6	7			19	4
	E3	4					8		12	2
	E4	2	8		3	5	2		20	5
		EQ Total								
	IQ	11	13	4	10	14	13	IQ Total	65	EN Tot
	IK	4	2	1	3	3	3	IK Total		16

2.6 การหยิบสินค้า เริ่มด้วยการค้นหาจากใบสั่งสินค้า และหยิบตามนโยบายการหยิบ เมื่อได้ค้นหาสินค้าเรียบร้อยแล้ว เจ้าหน้าที่จะทำการหยิบสินค้าตามใบหยิบสินค้า และทำการตรวจทานก่อนนำสินค้าส่งออก การหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อ (Order Picking) คือ เมื่อมีคำสั่งซื้อเข้ามา ผู้หยิบจะเดินไปหยิบสินค้าตามรายการที่อยู่ในใบสั่งจนครบทุกรายการสินค้า ถ้ามีคำสั่งใหม่จะต้องเดินไปหยิบใหม่ [7]

2.7 การหาความสัมพันธ์ (Association Rules) เป็นเทคนิคหนึ่งในการทำเหมืองข้อมูลที่ ค้นหาความสัมพันธ์ของเหตุการณ์หรือวัตถุที่เกิดขึ้นร่วมกันหรือพร้อมกัน แล้วนำมาสร้างกฎขึ้นมาเพื่อที่จะทำนายเหตุการณ์หรือการเกิดขึ้นของวัตถุนั้นๆ ในอนาคต ซึ่งนำไปใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น การวิเคราะห์พฤติกรรม การซื้อสินค้า ถ้าลูกค้าซื้อสินค้า A แล้วมักจะซื้อสินค้า B ตามไปด้วย [8] แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากความสัมพันธ์มาใช้ในการจัดวางสินค้าบนชั้นวาง [9] เป็นต้น การหาความสัมพันธ์นั้นจะต้องมีการนับความถี่ (Frequency) ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น แล้วนำความถี่ที่ได้มาจัด

ความสัมพันธ์ของวัตถุ 2 ชนิดขึ้นไป ยกตัวอย่างเช่น A->B [support, confidence] โดยที่ A แทนสินค้านม (Milk) และ B แทนสินค้าไข่ (Egg) เช่น นม->ไข่[support=25%, confidence=80%] หมายความว่า 25% ของคำสั่งซื้อทั้งหมด ลูกค้าน่าจะซื้อนมและไข่พร้อมกัน และ 80% ของลูกค้าที่ซื้อนมแล้วจะต้องซื้อไข่ด้วย [9] เกณฑ์ที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์มี 2 เกณฑ์หลักคือ 1. Support เป็นค่าที่บอกว่าความถี่ที่เกิดขึ้นบ่อยมากน้อยเท่าใด 2. Confidence เป็นค่าที่บอกว่าโอกาสที่เกิดขึ้นจะมีผลลัพธ์มากน้อยเท่าใด โดยค่าทั้งสองอย่างจะต้องผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่เรียกว่า Minimum Threshold ที่ผู้วิเคราะห์ข้อมูลกำหนดขึ้นมา โดยค่า support และ confidence มีสูตรการคำนวณ ดังนี้ [9]

$$\text{Support (A,B)} = \frac{\text{Frequent of A,B}}{N} \quad (1)$$

โดยที่ Frequent คือ จำนวนธุรกรรมที่ปรากฏรายการทั้ง A และ B
N คือ จำนวนธุรกรรมทั้งหมด

$$\text{Confidence (A,B)} = \frac{\text{Support (A,B)}}{\text{Support (A)}} \quad (2)$$

โดยที่ Support (A,B) คือ จำนวนธุรกรรมที่ปรากฏรายการ A และ B
Support (A) คือ จำนวนธุรกรรมที่ปรากฏรายการ A

สำหรับการประยุกต์การหาความสัมพันธ์ในงานวิจัยนี้ เพื่อทำการจัดกลุ่มของสินค้าที่มีโอกาสถูกหยิบร่วมกันวางตำแหน่งไว้ใกล้กัน หรือทำการจัดกลุ่มสินค้าแบบกลุ่มเดียวกัน (Product Family) ข้อได้เปรียบดังกล่าวจะช่วยลดระยะทางในการหยิบสินค้าตามใบสั่งหยิบ [13] โดยงานวิจัยนี้จะทำการหาความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Orange ซึ่งเป็นเครื่องมือแบบซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส (Open Sources) สำหรับการวิจัยเรียนรู้ของเครื่อง การทำเหมืองข้อมูล และการนำเสนอภาพข้อมูล จุดเด่นอยู่ที่การเขียนโปรแกรมแบบเห็นภาพ สามารถใช้เพื่อการสำรวจวิเคราะห์ข้อมูล และนำเสนอข้อมูลเป็นภาพ [10]

2.8 ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing Model) เป็นการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการวางแผนการจัดสรรพื้นที่ภายในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพทำให้พื้นที่ภายในคลังสินค้ามีการใช้ประโยชน์อย่างเต็ม

พื้นที่ โดยตัวแบบที่เป็นที่นิยมนั้นจะเป็นตัวแบบปัญหามอบหมายงาน (Assignment Problems) เพื่อกำหนดสมการที่ใช้หาตำแหน่งการจัดวางสินค้าอย่างเหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละประเภท โดยวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่ใช้ในการนำสินค้าเข้าและออก รวมถึงข้อมูลความถี่ในการจัดเก็บสินค้าร่วมกับหลักการสินค้าเคลื่อนไหวยาวไกลที่สุด ซึ่งนำมาใช้ปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าให้ดียิ่งขึ้น [11] สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรม Open Solver เพราะเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์หาคำตอบการจัดพื้นที่การวางผังสินค้าเพื่อให้มีความรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ

3. วิจัยดำเนินงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวความคิดการวิจัย 5 กระบวนการ ดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ผู้วิจัยลงภาคสนามเข้าพบผู้ประกอบการเพื่อหาหรือสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริงเกี่ยวกับคลังสินค้าที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานขององค์กร จากการสำรวจหน้างานจริงทำให้ทราบสภาพปัญหาของคลังสินค้าหลายประการ ได้แก่ การกำหนดการจัดวางสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวช้าอยู่บริเวณโซนด้านหน้า ชั้นวางสินค้าบางส่วนไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ สินค้าต่างรายการวางทับซ้อนบนพื้นที่ตำแหน่งเดียวกัน บางตำแหน่งพื้นที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ในการวางสินค้า ทางเดินมีขนาดไม่เท่ากัน สินค้าต่างหมวดวางปะปนกัน เป็นต้น โดยปัญหาที่ทางผู้ประกอบการให้ความสำคัญและเน้นย้ำมากที่สุด คือ ความล่าช้าในการหยิบสินค้าของพนักงาน เนื่องจากการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าค่อนข้างไม่เป็นระเบียบ ทำให้การหาสินค้าเป็นไปด้วยความยากลำบาก รวมถึงการจัดวางสินค้ากลุ่มเคลื่อนไหวยังไม่เหมาะสมด้วย ซึ่งนำไปสู่ปัญหาการจ้างงานล่วงเวลาที่มากขึ้น และมีค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อให้เห็นความชัดเจนของสภาพคลังสินค้า ทางผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่างรูปที่ 1 ประกอบดังนี้

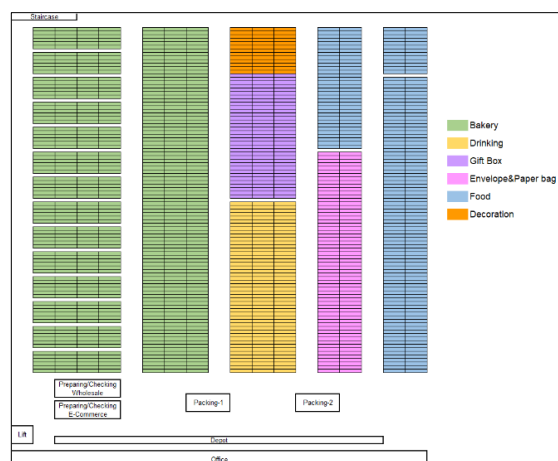


รูปที่ 1 การจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าก่อนการปรับปรุง

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลกิจกรรมคลังสินค้า

ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับข้อมูลพื้นฐานที่มีความจำเป็นต่อการวิเคราะห์การดำเนินการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า ดังนี้

3.2.1 พื้นที่คลังสินค้า มีขนาดของพื้นที่รวม 1,200 ตารางเมตร แบ่งพื้นที่การจัดเก็บสินค้าประเภทบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด 6 หมวด ได้แก่ หมวดเบเกอรี่ หมวดเครื่องดื่ม หมวดกล่องของขวัญ หมวดของและอุปกรณ์ครัว หมวดอาหาร และหมวดของตกแต่ง ตามรูปที่ 2 จากการวิเคราะห์และจำแนกข้อมูลพบว่า หมวดเบเกอรี่ (Bakery) มีจำนวนสินค้า 350 รายการ สัดส่วนยอดขาย 42% สัดส่วนคำสั่งซื้อ 42% และสัดส่วนความถี่ของสินค้าสูงถึง 49% ซึ่งเป็นข้อมูล 1 ปีย้อนหลัง (สิงหาคม 2562 - กรกฎาคม 2563) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกศึกษาและให้ความสนใจเฉพาะพื้นที่ หมวดเบเกอรี่ (Bakery) เท่านั้น โดยหมวดเบเกอรี่มีตำแหน่งการจัดวางสินค้าจำนวนทั้งหมด 350 ตำแหน่ง ซึ่งเท่ากับจำนวนรายการสินค้าในหมวดเบเกอรี่ 350 รายการ โดยหมวดเบเกอรี่มีขนาดพื้นที่โดยรวม 174.585 ตารางเมตร ตามพื้นที่สีเขียวของรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังคลังสินค้าและโซนเบเกอรี่ของบริษัทกรณีศึกษา

3.2.2 ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ รหัสสินค้า (SKUs Code) ชื่อสินค้า (SKUs Name) หมวดสินค้า (Category) เลขที่เอกสาร (Transaction order) จำนวนขาย (Quantity) หน่วยนับสินค้า (Unit) และยอดขายสินค้า (Sales) ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูล

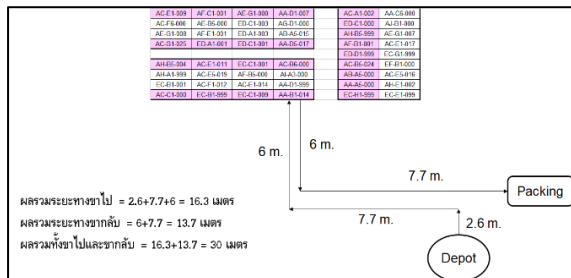
รหัสสินค้า	ชื่อสินค้า	หมวด	เลขที่เอกสาร	จำนวน	หน่วยนับ	ยอดขาย
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6209009	3	พค	720
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6209087	1	พค	240
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6209357	1	พค	240
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6210241	10	พค	2400
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6210254	1	พค	240
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6210302	1	พค	240

3.2.3 ตำแหน่งพื้นที่การจัดวางสินค้าโซนเบเกอรี่ มีขนาดพื้นที่ 174.585 ตารางเมตร แบ่งออกทั้งหมดเป็น 3 โซนหลัก ได้แก่ โซนที่ 1 อักษร A-N ประกอบไปด้วย 14 โซนย่อย มีขนาดพื้นที่ในการวางสินค้าโซนละ 2x1 ตารางเมตร โซนที่ 2 อักษร O มีขนาดพื้นที่ 12.5x0.9 ตารางเมตร และโซนที่ 3 อักษร P มีขนาดพื้นที่ 14.8x0.9 ตารางเมตร โดยโซน A-N มีขนาดทางเดิน 1.3 เมตร และโซน O และ P 2.3 เมตร แสดงได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนโซนและตำแหน่งการวางของหมวดเบเกอร์

ส่วนที่	โซน	ขนาดพื้นที่ (ตร.ม.)	ความสูง (ม.)	จำนวนชั้น	ชั้น 1: หอบ (ชั้นล่างสุด) (โลเคชัน)	ชั้น 2: หอบ (ชั้นกลาง) (โลเคชัน)	จำนวนช่องหอบทั้งหมด (โลเคชัน)	ชั้น 3: ส้วม (ชั้นบนสุด) (โลเคชัน)	จำนวนช่องส้วมทั้งหมด (โลเคชัน)	จำนวนช่องทั้งหมด (โลเคชัน)
1	A	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	B	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	C	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	D	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	E	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	F	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	G	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	H	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	I	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	J	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	K	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	L	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	M	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
1	N	2	1.8	3	8	8	16	8	8	24
2	O	11.25	2	3	29	29	58	29	29	87
3	P	13.32	2	3	34	34	68	34	34	102
จำนวนช่องทั้งหมด (โลเคชัน)					175	175	350	175	175	525

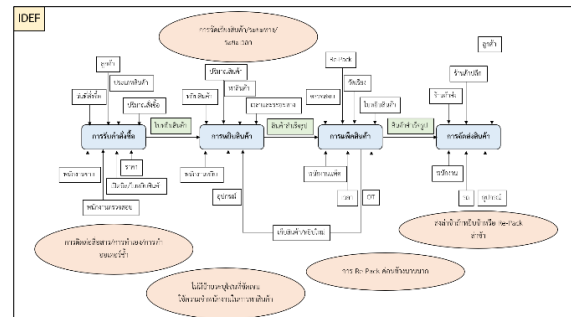
3.2.4 รูปแบบการเดินของพนักงานหยิบสินค้า เป็นแบบเส้นตรงโดยเริ่มจากจุดเริ่มต้น (Depot) จะรับใบรายการสินค้าเพื่อหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อ (Order Picking) จากนั้นจึงหยิบสินค้าแต่ละตำแหน่งตามใบรายการระบุโดยนำสินค้ามาวางที่พื้นที่แพ็คสินค้า (Packing Area) เพื่อกระบวนการบรรจุต่อไปโดยลักษณะการเดินของพนักงานหยิบสินค้า แสดงได้ตามรูปที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 3 รูปแบบการเดินของพนักงานหยิบสินค้าแบบเส้นตรง

3.2.5 กิจกรรมหลักภายในคลังสินค้าประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ 1. พนักงานขายรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า 2. พนักงานหยิบรับใบคำสั่งซื้อหรือใบรายการสินค้าจากจุด Depot แล้วดำเนินการหยิบสินค้า 3. หยิบสินค้าตามใบรายการคำสั่งซื้อตามตำแหน่งการวางสินค้าต่างๆ 4. แพ็คสินค้า 5. ตรวจสอบและติดบาร์โค้ดสินค้า 6. เตรียมการจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้า จากทั้ง 6 กิจกรรมหลักภายใน

คลังสินค้าทำให้ผู้วิจัยสร้างผังกระบวนการทางธุรกิจภายใต้ระบบ IDEF (Integration Definition Function Modeling) โดยระบบ IDEF เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแสดงกระบวนการทางธุรกิจ ทั้งการไหลของวัสดุ และการไหลของสารสนเทศ เพื่อจำลองกระบวนการในสถานการณ์การดำเนินงานจริง เพื่อวิเคราะห์การสื่อสารและประสานงานภายในห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ รวมถึงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจริง [14] จาก IDEF ทำให้พบว่า ทุกกระบวนการต่างพบปัญหาที่มีระดับความสำคัญแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามทางผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตและพิจารณาถึงปัญหาเริ่มต้นที่ก่อให้เกิดปัญหาหลัก และเป็นปัญหาเบื้องต้นที่สำคัญที่สุดที่ควรได้รับการแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก คือปัญหาด้านการหยิบสินค้าที่เกิดความล่าช้าสูงอันเกิดมาจากการจัดวางตำแหน่งสินค้าที่ไม่เหมาะสม และทำให้เกิดการจ้ำงานล่วงเวลาของพนักงานหยิบสินค้าเกินความจำเป็น



ซึ่งผู้วิจัยได้แสดงกระบวนการทางธุรกิจ IDEF ตามรูปที่ 4

รูปที่ 4 ผังกระบวนการทางธุรกิจภายใต้ระบบ IDEF

เพื่อสร้างระดับความมั่นใจของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ปัญหาผ่านระบบ IDEF ทางผู้วิจัยได้ทำการสุ่มตัวอย่าง 2 คำสั่งซื้อเพื่อจับเวลาแต่ละกระบวนการของกิจกรรมหลักภายในคลังสินค้า และพบว่ากระบวนการหยิบสินค้าใช้ระยะเวลาโดยเฉลี่ยมากที่สุดถึง 58.5% จากภาพรวมทุกกิจกรรมตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การจับเวลากิจกรรมหลักภายในคลังสินค้า

รายการที่	วันที่	ลูกค้า	ทำบัตรหยิบสินค้า (นาที)	หยิบสินค้า (นาที)	สร้างบาร์โค้ด (นาที)	ติดบาร์โค้ด (นาที)	ทำหน้าส่ง (นาที)	เก็บของออก (นาที)	นำส่ง (นาที)	รวม (นาที)	หมายเหตุ
1	9/9/2020	สยามเบเกอรี่	7.26	132.45	-	40.15	8.23	5.14	13.51	208.30	SO0005251
2	9/9/2020	โคมะจิอุทสึ	5.12	31.13	4.21	15.13	7.44	3.14	5.12	72.15	SO0005250
ระยะเวลาโดยเฉลี่ย (นาที)			6.32	82.38	2.18	28.13	8.06	4.23	9.53	140.82	
% ที่คำนวณ			4.49%	58.50%	1.54%	19.98%	5.72%	3.01%	6.76%	100%	

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลความถี่ของสินค้าและจัดกลุ่มสินค้า

3.3.1 การประยุกต์โดยใช้เทคนิค EIQ Analysis Methodology เพื่อวิเคราะห์หาความถี่สินค้าหมวดเบเกอรี่ทั้ง 350 รายการ จากการวิเคราะห์ธุรกรรมการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้าตลอดระยะเวลา 1 ปีที่ผ่านมาทำให้ได้ค่า $EQ = IQ = 88,260$ ขึ้นต่อปี และค่า $EN = IK = 14,656$ ครั้งต่อปี นั้นหมายความว่า ค่าความถี่ของทุกรายการสินค้ารวมกันจากทุกธุรกรรมของคำสั่งซื้อ ทำให้ได้ค่าความถี่โดยรวม 14,656 ครั้งต่อปี ภายใต้จำนวนสินค้าที่ถูกขายไปทั้งหมด 88,260 ขึ้นต่อปี ซึ่งผู้วิจัยจะนำค่าการวิเคราะห์ดังกล่าวไปจัดกลุ่มต่อไป

3.3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มสินค้า โดยเลือกการจัดเรียงตามการเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า หรือ ABC Analysis ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความถี่จากการวิเคราะห์ผ่านเทคนิค EIQ Analysis มาทำการจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มตามการเคลื่อนไหวของสินค้า พบว่า กลุ่ม A คือ กลุ่มสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวเร็ว ประกอบด้วย 80 รายการ สัดส่วน 22.9% ความถี่โดยรวม 8,858 ครั้งต่อปี สัดส่วน 60.4% ยอดขาย 6.7 ล้านบาทต่อปี สัดส่วน 57.5% กลุ่ม B คือ กลุ่มสินค้าเคลื่อนไหวปานกลาง ประกอบด้วย 105 รายการ สัดส่วน 30% ความถี่รวม 4,469 ครั้งต่อปี สัดส่วน 30.5% ยอดขาย 3.5 ล้านบาทต่อปี สัดส่วน 30.3% และกลุ่ม C คือ กลุ่มสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวช้า ประกอบด้วย 165 รายการ สัดส่วน 47.1% ความถี่รวม 1,329 ครั้งต่อปี สัดส่วน 9.1% ยอดขาย 1.4 ล้านบาทต่อปี สัดส่วน 12.2% ฉะนั้นจากข้อมูลดังกล่าวกลุ่ม A ควรจัดไว้ใกล้จุด Depot มากที่สุด และกลุ่ม B C ตามลำดับ

3.4 การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model) เพื่อใช้หาตำแหน่งการจัดวางสินค้าอย่างเหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละประเภท โดยคำนึงถึงระยะทางที่ใช้ในการวัดการนำสินค้าเข้าและออก รวมถึงข้อมูลความถี่ในการจัดเก็บสินค้ามาใช้พิจารณา ด้วยหลักการของตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น หรือ Simplex Method ซึ่งเป็นทฤษฎีของ George B. Dantzig โดยใช้ร่วมกับหลักการที่ว่า สินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางไว้ใกล้ประตู (Fastest Turning

Closest to the Door) มาใช้ในการปรับตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นสูตรที่ใช้คำนวณ คือ [12]

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function):

$$\text{Min} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f_i e_{ij} x_{ij}$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints):

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = q_i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1 \quad (5)$$

$$x_{ij} = \{0,1\} \quad (6)$$

กำหนดให้

f_i คือ ความถี่การหยิบของสินค้า i

e_{ij} คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของสินค้าจาก i ไปยังโลเคชัน j

q_i คือ ความต้องการพื้นที่จัดเก็บสินค้า i

x_{ij} = 1 ยอมรับสินค้า i ไปเก็บยังโซน j
= 0 ไม่ยอมรับสินค้า i ไปเก็บยังโซน j

และ i = 1 ถึง M ; โดย M คือ ประเภทของสินค้า

J = 1 ถึง N ; โดย N คือ โซนพื้นที่จัดเก็บ

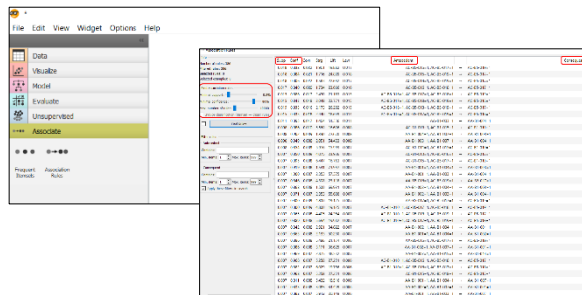
สินค้า

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ข้างต้นถือเป็นตัวแบบมาตรฐานที่หลายงานวิจัยนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาในลักษณะของโปรแกรมเชิงเส้น โดยเฉพาะปัญหาด้านการจัดสรรทรัพยากร เช่น วัตถุดิบ คน เครื่องจักร เงินทุน เวลา สถานที่ เป็นต้น ด้วยเหตุผลที่ว่าทรัพยากรมีอยู่อย่างจำกัดจึงจำเป็นต้องจัดสรรทรัพยากรได้อย่างดี ทั้งนี้ ความแตกต่างของตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้จะต้องใช้แก้ไขปัญหาเพื่อเป้าหมาย (Objective) หาค่าสูงสุด เช่น ต้องการจัดสรรวัตถุดิบในการผลิตสินค้าอย่างไรเพื่อให้ได้กำไรรวมสูงสุด หรือ ต้องมอบหมายผู้รับผิดชอบโครงการอย่างไรเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรวมแล้วต่ำที่สุด หรือ แม้กระทั่งการจัดสรรตำแหน่งพื้นที่ภายในคลังสินค้าอย่างไรเพื่อให้ระยะทางรวมลดลงมากที่สุด เป็นต้น อีกทั้ง

ยังมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัด (Constraints) บางประการที่เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดค่าเป้าหมาย เหมาะกับปัญหาที่มีทางเลือกที่มีความเป็นไปได้สูง และเป้าหมายและเงื่อนไขของปัญหาสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการเส้นตรงได้ [12]

3.5 การประยุกต์ใช้กฎความสัมพันธ์ (Association Rules)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ข้อมูลความถี่จากการวิเคราะห์ EIQ Analysis จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรม Orange เพื่อหาความสัมพันธ์ของสินค้าภายในคลังที่มักจะถูกล้างซื้อพร้อมๆ กัน ผู้วิจัยเริ่มด้วยการเปิดใช้ฟังก์ชัน Associate เลือก Frequent Itemsets เพื่อหาความถี่ของกลุ่มสินค้า และเลือก Association Rules เพื่อให้โปรแกรมทำการสร้าง (generate) กฎที่มีความสัมพันธ์ร่วมกันออกมา จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเลือกค่าสนับสนุนขั้นต่ำ (Minimum Support) ที่ 0.5% ค่าความเชื่อมั่น (Confidence) ที่ 80% ทำให้ได้ผลลัพธ์ของกฎออกมาทั้งหมด 386 กฎ ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 การใช้ Association Rules ใน Orange

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ข้อมูลความสัมพันธ์ของสินค้าหรือ Association Rules ทั้ง 386 rules มาแล้ว จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาจำแนกออกเป็น 36 รายการสินค้า ผ่านการ Duplicate บน Microsoft Excel แล้วนำทั้ง 36 รายการสินค้าที่มีความสัมพันธ์กันมาทำการจัดกลุ่มตามความสัมพันธ์ของค่า support และ confidence สูงที่สุด ยกตัวอย่างเช่น สินค้า AC-B1-010 เป็นสินค้าที่มีความถี่ 245 ครั้งต่อปี ซึ่งเป็นความถี่สูงสุดจากทั้งหมด 36 รายการ

โดย AC-B1-010 มักเกิดคำสั่งซื้อพร้อมกันกับ 9 รายการสินค้า ในคอลัมน์ D ซึ่งจะเห็นได้ว่า AC-B1-010 จะถูกเลือกให้วางใกล้กับ AC-B5-018 เพราะมีค่า support ที่สูงสุดในกลุ่ม 0.7% และ confidence สูงสุดในกลุ่ม 96.80% และที่สำคัญยังมีความถี่มากเป็นอันดับที่สองคือ 205 ครั้งต่อปี รองมาจาก AC-B1-010 ด้วยเหตุผลดังกล่าว AC-B1-010 ควรวางตำแหน่งติดกับ AC-B5-018 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจับคู่สินค้าที่มีความสัมพันธ์กัน

Major SKUs	Freq	Ranking	Minor SKUs	Freq	No.Relation of Rule	% Relation	Max Sup	Max Conf
AC-B1-010	245	1	AC-B5-017	163	17	25.76%	0.70%	96.80%
		2	AC-B5-018	205	14	21.21%	0.70%	96.80%
		3	AC-B5-016	170	12	18.18%	0.70%	96.80%
		4	AC-B5-019	192	15	22.73%	0.70%	88.90%
		5	AC-B1-015	129	3	4.55%	0.60%	100.00%
		6	AC-B1-014	56	1	1.52%	0.60%	87.10%
		7	AC-B1-009	81	2	3.03%	0.50%	88.50%
		8	AA-B5-016	119	1	1.52%	0.50%	82.10%
		9	AA-B5-017	168	1	1.52%	0.50%	82.10%

อย่างไรก็ตาม การจับกลุ่มความสัมพันธ์ของสินค้าทั้ง 36 รายการ ทำให้ผู้วิจัยสามารถแบ่งกลุ่มออกมาได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม ดังนี้ โดยแต่ละกลุ่มจะระบุถึงจำนวนรายการ รายการสินค้า และความถี่โดยเฉลี่ย ดังแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 กลุ่มความสัมพันธ์ของสินค้า (Product Family)

Group	1	2	3	4
1	AC-B1-010	AA-B1-007	AH-E5-000	AA-C1-007
2	AC-B5-018	AA-D1-007	AH-E5-005	AA-C1-011
3	AC-B5-019	AA-B1-001	AH-E5-004	AA-C1-010
4	AC-B5-016	AA-B1-014	AH-E1-000	
5	AA-B5-017	AA-B1-004	AH-B5-004	
6	AC-B5-017	AA-B1-002		
7	AC-B1-011	AA-B1-015		
8	AA-J1-012	AA-D1-001		
9	AC-B1-015	AA-B1-003		
10	AA-B5-016	AA-B1-009		
11	AA-J1-013	AA-D1-009		
12	AC-A1-007	AA-D1-003		
13	AC-B1-009	AA-D1-004		
14	AC-B1-014	AA-D1-005		
Avg. Freq	144.29	78.21	133	94.67

หลังจากที่ผู้วิจัยได้จับกลุ่มสินค้าทั้ง 36 รายการให้เป็น 4 กลุ่มแล้ว ในขั้นตอนต่อไปผู้วิจัยจะทำการสร้างแบบจำลองและทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) ดังแสดงในสมการที่ (3) – (6) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทั้งสี่ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

4. ผลการวิเคราะห์

ผู้วิจัยได้แบ่งผลการศึกษาเปรียบเทียบไว้ 3 รูปแบบ คือ ก่อนการปรับปรุง ระหว่างการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง ดังนี้

4.1 ก่อนการปรับปรุง

รูปแบบการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้าของผู้ประกอบการไม่มีการกำหนดรูปแบบหรือนโยบายที่ชัดเจน ทำให้กลุ่มสินค้าเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า ถูกจัดวางอย่างกระจัดกระจายตามรูปที่ 6 ซึ่งพบว่า การจัดวางรูปแบบเดิมก่อนปรับปรุงพนักงานหยิบสินค้าต้องเดินทางระยะไกลถึง 952,989 เมตรต่อปี ตามตารางที่ 7 ระยะทางที่ไกลทำให้พนักงานหยิบสินค้าใช้เวลาในการหยิบสินค้านานมากขึ้น ชั่วโมงการทำงานในเวลาปกติจึงไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการจ้างงานล่วงเวลาสูงถึง 906 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าใช้จ่าย 56,172 บาท

AC-A1-007	AH-B5-005	AC-B1-999	EC-C1-006	AA-J1-999	ED-D1-004	B	A	C	C	C	B	C	B
AE-A1-999	AH-A1-003	AC-E1-015	AH-C1-001	AC-A1-001	AE-D1-000	B	A	B	C	B	A	C	B
AA-E1-007	AG-A5-000	ED-E1-001	AH-E5-005	AH-C5-000	AC-D1-000	A	B	C	C	A	A	C	B
AC-D5-000	ED-F1-009	ED-D1-999	AG-C5-006	AE-G6-000	ED-B1-002	C	C	C	A	A	B	B	C
AE-E1-000	AH-A1-001			AH-E1-000	AH-A1-001	A	B	A	B	A	B	A	B
AA-D1-014	AH-A1-002	AA-B1-002	AB-A1-003	AG-A1-005	AF-B1-005	B	B	A	B	A	C	C	C
AG-B5-000	ED-B1-999	AE-B1-004	AA-B1-003	AF-A1-999	AF-A1-001	A	C	B	A	B	C	C	C
AA-C1-010	ED-F1-000	AA-H1-000	AH-E5-004	AA-D1-005	EF-B6-000	A	C	B	A	C	C	C	C
AC-F1-999	AG-B1-004	AH-B1-003	AC-B5-019	AE-E3-002	AA-F6-000	C	C	B	A	A	C	C	C
AA-B5-017	AE-F1-000	AA-B1-015	AG-A1-003	ED-B1-009	AC-F1-011	C	A	C	A	C	C	C	B
AF-A1-003	AB-A5-013	AA-J6-000	AB-A1-003	AC-A5-000	AA-D5-000	C	B	A	B	A	C	C	A
AA-B5-016	AC-A1-999	AC-B5-017	EC-G1-019	AC-G1-026	ED-F1-004	C	C	B	B	B	A	B	A
AC-D1-007	AE-A1-002	EC-E1-999	AH-C1-002	AC-C1-002	AJ-A1-000	A	B	A	C	B	A	C	B
AC-C1-001	AF-B1-004	AF-C1-002	AG-A1-999	AH-E1-007	AH-A1-000	C	B	C	B	A	C	C	C
AC-D5-010	AG-B1-007	AA-B1-009	EF-C6-000	AE-B1-999	AA-C1-000	C	C	C	C	C	C	C	C
AA-H1-004	AC-A1-011	AG-B1-001	AA-E1-009	AG-B1-999	AA-K6-000	C	C	C	C	C	C	C	C
AA-K1-999	AB-A1-005	AC-E5-018	EC-C1-000	AC-A5-000	AA-D5-000	A	B	C	C	C	C	C	B
AC-E1-009	AF-C1-001	AE-G1-000	AA-D1-007	EC-C1-006	AE-F6-000	C	B	C	C	C	A	A	C
AC-F6-000	AE-B5-000	ED-C1-003	AG-D1-000	AC-A1-002	AA-C6-000	C	C	C	A	A	B	B	C
AC-G1-000	AF-E1-001	ED-A1-003	AG-A5-016	ED-C1-000	AJ-B1-000	B	A	B	C	C	C	B	B
AC-G1-026	ED-A1-001	ED-C1-001	AA-D5-017	AH-B5-999	AE-G1-007	C	C	C	C	C	C	C	C
AH-B5-004	AC-E1-011	EC-C1-001	AC-B6-000	AF-B1-001	AE-E1-017	B	B	B	C	B	C	C	C
AH-A1-999	AC-E5-019	AF-B5-000	AH-A3-000	ED-D1-999	EC-G1-999	A	B	C	A	A	B	C	C
EC-B1-001	AC-F1-012	AC-E1-014	AA-D1-999	AC-B5-024	EF-B1-000	A	B	C	C	A	B	C	C
AC-C1-000	EC-B1-999	EC-C1-009	AA-B1-014	AB-A5-000	AC-E5-016	B	B	C	C	C	A	C	C
				AA-A5-000	AH-E1-002	C	B	C	B	A	C	B	C
				EC-H1-999	EC-E1-005	C	C	C	A	A	B	C	C

รูปที่ 6 แผนผังการจัดวางตำแหน่งสินค้าก่อนปรับปรุง

ตารางที่ 7 ระยะทางรวมของพนักงานหยิบสินค้าก่อนการปรับปรุง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	No	SKU	Location	A07	A08	O01	O02	A05	A06	O03	O04	A03	A04	O05	O06	A01	A02
2	1	AC-B1-010	245	7,350	7,350	7,350	7,350	7,595	7,595	7,595	7,595	7,840	7,840	7,840	8,085	8,085	8,085
3	2	AE-H1-010	209	6,270	6,270	6,270	6,270	6,479	6,479	6,479	6,479	6,688	6,688	6,688	6,897	6,897	6,897
4	3	AC-B5-018	205	6,130	6,130	6,130	6,130	6,335	6,335	6,335	6,335	6,540	6,540	6,540	6,745	6,745	6,745
5	4	AA-B1-007	201	6,030	6,030	6,030	6,030	6,231	6,231	6,231	6,231	6,432	6,432	6,432	6,633	6,633	6,633
6	5	AC-B5-019	192	5,760	5,760	5,760	5,760	5,952	5,952	5,952	5,952	6,144	6,144	6,144	6,336	6,336	6,336
7	6	AB-A5-000	172	5,160	5,160	5,160	5,160	5,332	5,332	5,332	5,332	5,504	5,504	5,504	5,676	5,676	5,676
8	7	AC-B5-016	170	5,100	5,100	5,100	5,100	5,270	5,270	5,270	5,270	5,440	5,440	5,440	5,610	5,610	5,610
9	8	AA-B5-017	168	5,040	5,040	5,040	5,040	5,208	5,208	5,208	5,208	5,376	5,376	5,376	5,544	5,544	5,544
10	9	AH-C5-000	163	4,890	4,890	4,890	4,890	5,053	5,053	5,053	5,053	5,216	5,216	5,216	5,379	5,379	5,379
11	10	AC-B5-017	163	4,890	4,890	4,890	4,890	5,053	5,053	5,053	5,053	5,216	5,216	5,216	5,379	5,379	5,379
12	11	AH-E5-000	163	4,890	4,890	4,890	4,890	5,053	5,053	5,053	5,053	5,216	5,216	5,216	5,379	5,379	5,379
13	12	AH-B5-000	161	4,830	4,830	4,830	4,830	4,991	4,991	4,991	4,991	5,152	5,152	5,152	5,313	5,313	5,313
14	13	AH-E5-005	148	4,440	4,440	4,440	4,440	4,588	4,588	4,588	4,588	4,736	4,736	4,736	4,884	4,884	4,884
15	14	AC-A5-000	146	4,380	4,380	4,380	4,380	4,526	4,526	4,526	4,526	4,672	4,672	4,672	4,818	4,818	4,818
16	15	AB-B1-011	144	4,320	4,320	4,320	4,320	4,464	4,464	4,464	4,464	4,608	4,608	4,608	4,752	4,752	4,752
17	16	AA-G6-000	141	4,230	4,230	4,230	4,230	4,371	4,371	4,371	4,371	4,512	4,512	4,512	4,653	4,653	4,653
18	17	AA-D1-007	141	4,230	4,230	4,230	4,230	4,371	4,371	4,371	4,371	4,512	4,512	4,512	4,653	4,653	4,653

4.2 ระหว่างการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับปรุงรูปแบบตำแหน่งการจัดวางสินค้าแบบใหม่ภายใต้การจัดกลุ่มสินค้าตามการเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า ตามลำดับ โดยการจัดกลุ่มในรูปแบบนี้ทางผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญการจัดกลุ่มตามมูลค่ายอดขายสินค้าของทั้งปีที่ผ่านมา พบว่า กลุ่ม A จำนวน 70 รายการ คิดเป็น 20% ยอดขาย 60% กลุ่ม B จำนวน 105 รายการ คิดเป็น 30% ยอดขาย 30% และกลุ่ม C จำนวน 175 รายการ คิดเป็น 50% และยอดขายเพียง 10% โดยการปรับปรุงในครั้งนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการจับคู่ของข้อมูลของรายการสินค้าที่มียอดขายมากที่สุดคู่กับตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด จากการออกแบบพบว่า ระยะทางรวมของพนักงานหยิบสินค้าลดลงเหลือ 691,649 เมตรต่อปี จากเดิม 952,989 เมตรต่อปี คิดเป็น 27.42% อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือ Open Solver Excel มาใช้ในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพิ่มเติม โดยทำการนิยาม Objective function และ constraints ตามรูปที่ 7 และทำการ Solve แยกกลุ่มตามกลุ่ม A B และ C ตามตารางที่ 8 และ 9 ทำให้ได้ผลลัพธ์ของระยะทางใหม่ลดลงเหลือ 670,257.8 เมตรต่อปี ตามตารางแสดงผลที่ 9

OpenSolver - Model

What is AutoModel?

AutoModel

AutoModel is a feature of OpenSolver that tries to automatically determine the problem you are trying to optimise by observing the structure of the spreadsheet. It will turn its best guess into a Solver model, which you can then edit in this window.

Objective Cell:

\$B\$52

maximise

minimise

target value:

Variable Cells:

\$D\$76:\$B\$145

Constraints:

<Add new constraint>

\$B\$76:\$B\$145 = \$B\$76:\$B\$145

\$D\$146:\$B\$146 = \$D\$146:\$B\$146

\$D\$76:\$B\$145 bin

Add constraint

Cancel

Delete selected constraint

☒ Make unconstrained variable cells non-negative
 ☒ Show named ranges in constraint list

Sensitivity Analysis

☐ List sensitivity analysis on the same sheet with top left cell:
 ☐ Output sensitivity analysis:
 ☒ updating any previous output sheet
 ☐ on a new sheet

Solver Engine:

Current Solver Engine: CBC

Solver Engine...

☒ Show model after saving

Clear Model

Options...

Save Model

Cancel

รูปที่ 7 หน้าต่าง Open Solver Excel

ตารางที่ 8 ผลรวมของระยะทางและความถี่ของสินค้า

Rank	Code-1	Code-2	Location Code	Distance (m.)	SKUs	Frequency (time)	Class	Total Distance (m.)
1	A	01	A01	33	EC-B1-001	2	C	66
2	A	02	A02	33	AC-C1-000	16	C	528
3	A	03	A03	32	AC-F1-012	33	B	1,056
4	A	04	A04	32	EC-B1-999	2	C	64
5	A	05	A05	31	AC-E1-014	5	C	155
6	A	06	A06	31	EC-C1-009	6	C	186
350	P	68	P68	96.6	EC-E1-009	3	C	290
Total Distance								952,989

ตารางที่ 9 ผลรวมของระยะทางใหม่ลดลง

Rank	Code-1	Code-2	Location Code	Distance (m.)	SKUs	Frequency (time)	Class	Total Distance (m.)
1	A	07	A07	30.00	AC-B1-010	245	A	7350
2	A	08	A08	30.00	AE-H1-010	209	A	6270
3	O	01	O01	30.00	AC-B5-018	205	A	6150
4	O	02	O02	30.00	AA-B1-007	201	A	6030
5	A	05	A05	31.00	AC-B5-019	192	A	5952
6	A	06	A06	31.00	AB-A5-000	172	A	5332
350	N	10	N10	97.40	AF-A1-003	1	C	97.4
Total Distance								670257.8

4.3 หลังการปรับปรุง

จากความสัมพันธ์ของสินค้า (Association Rules) ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการจัดกลุ่มจาก 36 รายการสินค้า เป็น 4 กลุ่มใหญ่นั้น ทางผู้วิจัยขอเรียกสินค้ากลุ่มนี้ว่า สินค้ากลุ่ม “Family Zone” เพื่อให้เข้าใจง่ายต่อการทำความเข้าใจ ฉะนั้นจึงได้ทำการออกแบบรูปแบบการจัดวางสินค้าเพิ่มเติมอีก 4 รูปแบบ เพื่อบริการการจัดวางสินค้ากลุ่ม Family Zone ดังต่อไปนี้

4.3.1 จัดวางโซนซ้ายอย่างเดียว (Family Left Zone) เป็นการการจัดวางสินค้ากลุ่ม Family Zone ทั้ง 36 รายการไว้ทางโซนด้านหน้าซ้ายสุดเพียงอย่างเดียว โดยมีแบบจำลองในการจัดวางตามรูปที่ 8 และรูปแบบการจัดวางสินค้าจะเป็นไปตามรูปที่ 9 โดยหลักการของการจัดวางสินค้าทางผู้วิจัยได้ใช้หลักการความถี่โดยเฉลี่ยของกลุ่มมากที่สุดจะถูกจับคู่กับตำแหน่งวางสินค้าที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด

C10	C12	C14	C16			O28	O27		47	46	45	44		43	43
C09	C11	C13	C15			O26	O25		47	46	45	44		42	42
C01	C03	C05	C07			O24	O23		42	41	40	39		41	41
C02	C04	C06	C08			O22	O21		42	41	40	39		40	40
						O20	O19							39	39
B10	B12	B14	B16			O18	O17		42	41	40	39		38	38
B09	B11	B13	B15			O16	O15		42	41	40	39		37	37
B01	B03	B05	B07			O14	O13		38	37	36	35		36	36
B02	B04	B06	B08			O12	O11		38	37	36	35		35	35
						O10	O09							34	34
A10	A12	A14	A16			O08	O07		38	37	36	35		33	33
A09	A11	A13	A15			O06	O05		38	37	36	35		32	32
A01	A03	A05	A07			O04	O03		33	32	31	30		31	31
A02	A04	A06	A08			O02	O01		33	32	31	30		30	30
Depot (Entrance & Exit)								Depot (Entrance & Exit)							

รูปที่ 8 แบบจำลองการจัดวาง Family Left Zone

ABA1-011	AE-A1-001	AC-G1-025	AE-H1-009		AA-C1-000	AC-A1-000		B	A	A	A	A	A	A	A
ED-A1-001	AC-A1-005	AE-A1-004	AH-B5-005		AA-E1-007	AC-B1-000		A	A	A	A	A	A	A	A
AA-K1-014	AA-B5-000	AA-B1-003	AA-B1-002		AA-C5-000	ED-A1-003		A	A	B	A	A	A	A	A
ED-A1-000	ED-D1-000	AA-B1-009	AA-B1-015		ED-B1-003	AH-C1-000		A	A	A	B	A	A	A	A
AA-D1-005	AA-D1-003	AA-C1-010	AA-C1-011		AA-G1-000	AA-G1-007		A	A	A	A	A	A	A	A
AA-D1-004	AA-D1-000	AA-C1-001	AA-C1-007		AA-J1-000	AA-D1-000		B	B	A	A	A	A	A	A
AA-B1-014	AA-D1-007	AA-B1-007	AH-E5-004		AC-A1-001	AE-H5-000		A	A	A	A	A	A	A	A
AA-B1-004	AA-B1-001	AH-B5-004	AH-E1-000		AC-B6-000	AH-A5-000		A	A	A	A	A	A	A	A
					AC-F6-000	ED-B1-000		A	A	A	A	A	A	A	A
					AH-B1-002	AB-A1-000		A	A	A	A	A	A	A	A
AC-B1-014	AC-A1-007	AA-B5-016	AH-E5-005		AC-G1-026	AA-B1-000		B	A	A	A	A	A	A	A
AC-B1-009	AA-J1-013	AC-B1-015	AH-E5-000		AA-G5-000	AC-A5-000		A	A	A	A	A	A	A	A
AC-B1-011	AA-B5-017	AC-B5-019	AC-B1-010		AH-B5-000	AH-C5-000		A	A	A	A	A	A	A	A
AA-J1-012	AC-B5-017	AC-B5-016	AC-B5-018		AB-A5-000	AE-H1-010		A	A	A	A	A	A	A	A
Depot (Entrance & Exit)								Depot (Entrance & Exit)							

รูปที่ 9 การจัดวางสินค้ารูปแบบ Family Left Zone

4.3.2 จัดวางโซนขวาอย่างเดียว (Family Right Zone) เป็นการการจัดวางสินค้ากลุ่ม Family Zone ทั้ง 36 รายการไว้ทางโซนด้านหน้าขวาสุดเพียงอย่างเดียว โดยมีแบบจำลองในการจัดวางตามรูปที่ 10 และรูปแบบการจัดวางสินค้าจะเป็นไปตามรูปที่ 11

D10	D12	D14	D16			O38	O37		51	50	49	48		48	48
D09	D11	D13	D15			O36	O35		51	50	49	48		47	47
D01	D03	D05	D07			O34	O33		47	46	45	44		46	46
D02	D04	D06	D08			O32	O31		47	46	45	44		45	45
						O30	O29							44	44
C10	C12	C14	C16			O28	O27		47	46	45	44		43	43
C09	C11	C13	C15			O26	O25		47	46	45	44		42	42
C01	C03	C05	C07			O24	O23		42	41	40	39		41	41
C02	C04	C06	C08			O22	O21		42	41	40	39		40	40
						O20	O19							39	39
B10	B12	B14	B16			O18	O17		42	41	40	39		38	38
B09	B11	B13	B15			O16	O15		42	41	40	39		37	37
B01	B03	B05	B07			O14	O13		38	37	36	35		36	36
B02	B04	B06	B08			O12	O11		38	37	36	35		35	35
						O10	O09							34	34
A10	A12	A14	A16			O08	O07		38	37	36	35		33	33
A09	A11	A13	A15			O06	O05		38	37	36	35		32	32
A01	A03	A05	A07			O04	O03		33	32	31	30		31	31
A02	A04	A06	A08			O02	O01		33	32	31	30		30	30
Depot (Entrance & Exit)								Depot (Entrance & Exit)							

รูปที่ 10 แบบจำลองการจัดวาง Family Right Zone

ED-C1-006	AB-A1-012	AB-A1-005	ED-C1-003		AH-D5-000	AA-H1-005		B	B	B	B	B	B	B	B
AB-A1-009	AA-H1-004	AB-A1-006	AE-B1-004		AA-D1-005	AA-D1-004		B	B	B	B	B	B	B	B
AA-D5-000	ED-A1-001	AE-A1-001	AA-K1-013		AA-D1-003	AA-D1-009		B	A	A	A	A	A	A	A
ED-B1-004	AE-H1-011	AH-B1-000	AH-A1-000		AA-B1-009	AA-B1-003		B	B	A	A	A	A	A	A
AB-A1-011	AE-B1-003	AG-B1-000	AH-A5-004		AA-D1-001	AA-B1-015									
AC-A1-003	AE-A5-000	AC-A1-005	ED-D1-004		AA-B1-002	AC-B1-014		B	A	A	A	A	A	A	A
AE-A1-004	AE-H1-009	AC-A1-000	AC-B1-000		AA-D1-004	AC-B1-009		B	A	A	A	A	A	A	A
AC-G1-025	AC-F1-000	AH-B5-005	AA-E1-007		AA-B1-014	AC-A1-007		A	A	A	A	A	A	A	A
					AA-B1-001	AA-J1-013		A	A	A	A	A	A	A	A
					AA-D1-007	AA-B5-016									
AH-G1-002	AH-A1-002	ED-A1-000	ED-D1-000		AA-B1-007	AC-B1-015		A	A	A	A	A	A	A	A
AG-A1-000	AA-C1-000	AH-A5-000	AB-A1-000		AA-C1-010	AA-J1-010		A	A	A	A	A	A	A	A
ED-A1-003	AA-G1-007	AE-H5-000	ED-B1-000		AA-C1-011	AC-B1-011		A	A	A	A	A	A	A	A
AA-C5-000	AA-G1-000	AC-A1-001	AC-F6-000		AA-C1-007	AC-B5-017		A	A	A	A	A	A	A	A
					AH-B5-004	AA-B5-017									
ED-B1-003	AA-J1-000	AC-B6-000	AH-B1-002		AH-E1-000	AC-B5-016		A	A	A	A	A	A	A	A
AH-C1-000	AA-D1-000	AH-A5-000	AB-A1-000		AH-E5-004	AC-B5-019		A	A	A	A	A	A	A	A
AA-B1-000	AC-A5-000	AH-C5-000	AE-H1-010		AH-E5-005	AC-B5-015		A	A	A	A	A	A	A	A
AC-G1-026	AA-G6-000	AH-B5-000	AB-A5-000		AH-E5-000	AC-B1-010		A	A	A	A	A	A	A	A
Depot (Entrance & Exit)								Depot (Entrance & Exit)							

รูปที่ 11 การจัดวางสินค้ารูปแบบ Family Right Zone

ตารางที่ 10 ผลลัพธ์เปรียบเทียบของระยะทางที่สามารถลดลงได้

Type	Family Zone	Total Distance Meter/Year	Selected
1	Left	663,714.40	No
2	Right	663,310.60	Yes
3	Mixed 1	667,122.60	No
4	Mixed 2	665,466.00	No

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ทุกแบบจำลอง

ขั้นตอน	แบบจำลอง	ระยะทาง (เมตร)
ก่อนการปรับปรุง	Existing layout	952,988.60
ระหว่างการพัฒนาปรับปรุง	Class-based layout	691,649.00
	Class-based layout with optimal location	670,257.80
หลังการพัฒนาปรับปรุง	Family left zone	663,714.40
	Family right zone	663,310.60
	Family mixed zone-1	667,122.60
	Family mixed zone-2	665,466.00

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงตำแหน่งการวางสินค้าเพื่อลดระยะทางในการหยิบสินค้าเพื่อจัดส่งผลจากการศึกษา พบว่า กรณีศึกษาเดิมนั้นมีรูปแบบการจัดวางสินค้ามีระยะทางรวม (total distances) ในการหยิบสินค้า เท่ากับ 952,988.60 เมตรต่อปี หลังจากการปรับปรุงแล้ว ทำให้ระยะทางรวมเหลือ 663,310.60 เมตรต่อปี ระยะทางรวมลดลงไปมากถึง 289,678 เมตรต่อปี

หรือคิดเป็นสัดส่วน 30.40% เมื่อระยะทางในการเดินหยิบสินค้าของพนักงานลดลง ทำให้เวลาในการทำงานล่วงเวลาของพนักงานหยิบสินค้าลดลงเช่นกัน จากเดิม 906 ชั่วโมงต่อปี เหลือเพียง 83.70 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งชั่วโมงทำงานล่วงเวลารวมลดลงไปมากถึง 822 ชั่วโมงหรือคิดเป็นสัดส่วนมากถึง 90.76% ทางด้านค่าใช้จ่ายค่าจ้างล่วงเวลาเช่นเดียวกัน เมื่อเวลาในการทำงานล่วงเวลาลดลง ทำให้ค่าจ้างล่วงเวลาลดลงตามไปด้วย ในสัดส่วนที่เท่าๆ กัน จากเดิมต้องผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่าย 56,172 บาทต่อปี ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงเหลือเพียง 5,189.67 บาทต่อปี โดยค่าใช้จ่ายลดลง 50,982.33 บาทต่อปี นอกจากนั้นประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มเติมพบว่า เวลาที่ลดลงส่งผลเชิงบวกต่อชั่วโมงการทำงานในช่วงเวลาปกติให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย โดยชั่วโมงการทำงานแบบเดิมอยู่ที่ 2,320 ชั่วโมงต่อปี แต่หลังการปรับปรุงทำให้มีเวลาคงเหลือหลังจากหักชั่วโมงล่วงเวลาไปแล้วที่ 158 ชั่วโมงต่อปี ส่งผลให้สามารถเพิ่มประโยชน์ของเวลาในการทำงานได้เพิ่มขึ้น 6.81%

6. ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

6.1 ข้อจำกัดในการวิจัย

6.1.1 ข้อจำกัดทางด้านเวลาที่ใช้ในการศึกษาจึงไม่สามารถศึกษาครบทุกโซนและทุกกลุ่มสินค้าได้ และข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์มีเพียงแค่ 1 ปีย้อนหลัง หากมีข้อมูลเพิ่มมากขึ้น จะสามารถช่วยวิเคราะห์การจัดวางตำแหน่งสินค้าได้ดียิ่งขึ้น

6.1.2 การใช้วิธี Solver เพื่อแก้ไขการจัดวางตำแหน่งของสินค้าตามความถี่ของสินค้า ในบางครั้งอาจไม่ได้ตอบโจทย์สำหรับผู้ประกอบการทั้งหมด ซึ่งสินค้าบางรายการสำหรับผู้ประกอบการแล้วควรวางอยู่ด้วยกัน หรือตามมูลค่าของสินค้ามากกว่า ในส่วนนี้เป็นส่วนวิจัยในอนาคตที่น่าสนใจทำการพัฒนาตัวแบบที่ตรงกับโจทย์และความต้องการของกรณีศึกษามากยิ่งขึ้น

6.2 การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้จริง

6.2.1 การนำ Association Rules มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีความสำคัญต่อการศึกษามาก เนื่องจากลักษณะการจัดกลุ่มความสัมพันธ์ของ

สินค้าส่วนใหญ่สามารถนำมาใช้กับการปรับตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าของผู้ประกอบการได้จริงและช่วยให้ทราบพฤติกรรมของเป้าหมายได้ จากการใช้อัลกอริทึมจัดการเชื่อมความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ต่างๆ ที่เราต้องการหา คัดกรองข้อมูลออกมาตามความสัมพันธ์วิเคราะห์ข้อมูลออกมาจนมีความน่าเชื่อถือและนำไปใช้ได้จริง

6.2.2 กรณีศึกษาเริ่มนำไปปรับใช้จริงในบางส่วนของพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่ประยุกต์ใช้การออกแบบด้วย Association Rule และพื้นที่อื่นๆ ทดสอบปรับตามตาม Class-based Warehouse Layout หรือ ABC Analysis ซึ่งทำให้ผู้ประกอบการมีความเห็นว่า พนักงานหยิบสินค้าทำงานได้อย่างง่ายขึ้น และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น และทำให้ค่าใช้จ่าย OT ลดลงกว่า 50%

6.2.3 จากการนำผลการศึกษามาประยุกต์ใช้จริง ผู้วิจัยพบว่า หากนำ Association Rules มาประยุกต์ใช้ได้ อย่างเต็มพื้นที่ สำหรับพื้นที่อีก 90% ที่เหลือ และรวมไปถึงหมวดโซนอื่นๆ ในคลังสินค้า น่าจะทำให้เกิดความสอดคล้องในการหยิบสินค้ามากยิ่งขึ้น และเกิดประสิทธิภาพในการหยิบสินค้ามากยิ่งขึ้นตามไปด้วย

6.2.4 นอกจากระยะเวลาทางรวม ระยะเวลาในการทำงานรวม และค่าใช้จ่ายทางด้าน OT ที่ลดลงแล้ว การใช้พื้นที่ของการนำ Shelf มาใช้ก็สามารถทำให้การ Utilization ของพื้นที่จัดเก็บได้ดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามส่วนนี้ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวัดผลการปรับปรุงเพื่อการวัดผลออกมาเป็นตัวเลข

7. การติดตามผลหลังการปรับปรุง

หลังจากผลการวิจัยสรุปเสร็จสิ้นแล้ว ทางผู้วิจัยได้นำเสนอผลงานกับทางผู้ประกอบการเพื่อนำไปปรับใช้จริง ซึ่งทางผู้ประกอบการได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี และได้เริ่มทำการปรับตำแหน่งการจัดวางสินค้าใหม่ครั้งแรกเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2563 เป็นต้นมา ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บรูปภาพเปรียบเทียบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงตามรูปที่ 16 และ รูปที่ 17



รูปที่ 16 การจัดวางตำแหน่งสินค้าก่อนปรับปรุง



รูปที่ 17 การจัดวางตำแหน่งสินค้าหลังปรับปรุง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] เมธิณี ศรีกาญจน์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล, “การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทศรีไทยซูเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน) สาขาสุโขทัย,” *WMS Journal of Management.*, ฉบับที่ 3, น. 8-20, 2555.
- [2] อธิระ เมธารัตนกุล, “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์,” *งานนิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2557.
- [3] อรรถธรณ์ มัชฌิมกิจ, ศุภชัย ภิธัชเพ็ญ, กันยา อัครอารีย์, “การปรับปรุงการจัดเก็บสินค้าคงคลัง

- ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้บรรจุขวดโดยใช้ชั้นวางสินค้าและการจัดเก็บสินค้าตามปริมาณความต้องการพื้นฐาน,” ใน *การประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 9 (ThaiVCML2009)*, 19-21 พฤศจิกายน 2552. มหาวิทยาลัยบูรพา: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.
- [4] ศิริวัฒน์ รุ่งมณีรัตน์, “การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า: กรณีศึกษาโรงงานผลิตผงอุตสาหกรรม,” *ปริญญานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 2555.
- [5] วิทยา คาระคำ, “แนวทางการออกแบบผังการจัดเก็บสินค้าสำหรับคลังสินค้า บริษัท ABC จำกัด,” *งานนิพนธ์, บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2559.
- [6] สมคิด พาละแพน และ จุฑา พิชิตลำเค็ญ, “การปรับปรุงผังการจัดเก็บสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานในกระบวนการรับและจ่ายสินค้า: กรณีศึกษาคลังจัดเก็บผลิตภัณฑ์นมสำเร็จรูป,” ใน *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555*, เพชรบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555.
- [7] ณัฐวดี ปัญญาพานิช, “การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกระบวนการหยิบสินค้า,” *วิทยานิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2556.
- [8] นันทวุฒิ คะอังกู, “วิธีแบ่งช่วงข้อมูลสำหรับการหาความสัมพันธ์,” *วิทยานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*, 2555.
- [9] วิวัฒน์ ชินนาทศิริกุล, “การทำเหมืองข้อมูล ตอน การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วย Apriori algorithm,” *สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.wiwatchin.com/page/article/Apriori.pdf>. [วันที่เข้าถึง 25 ธันวาคม 2563].*
- [10] ทองพูล หีบไธสง, “การทำเหมืองข้อมูลด้วยโปรแกรม Orange,” *คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 2561.
- [11] ไชยพร ปรีชาวงศ์, “การเพิ่มประสิทธิภาพคลังสินค้าอัตโนมัติด้วยการจัดแบ่งพื้นที่จัดเก็บสินค้า,” *งานนิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2556.
- [12] โสภณ สุขสวัสดิ์, “การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า: กรณีศึกษาบริษัทผลิตยางผสม (RUBBER COMPOUND),” *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2557.
- [13] Y.F. Chuang, H.T. Lee, Y.C. Lai, “Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 63, pp. 1171-1177, 2012.
- [14] รัตนาพร แจ่มเรือง และ วัชรพจน์ ทรัพย์สงวนบุญ, “การวิเคราะห์ความสูญเสียในโซ่อุปทานค้าปลีกด้วยผังกระบวนการทางธุรกิจภายใต้ระบบ INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF),” *Journal of Economics Chiang Mai University*, ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2556), น. 72-86, 2556.

การประยุกต์ใช้เทคนิคการตัดสินใจสองระดับเพื่อการจัดการระบบสินค้าคงคลัง และการขนส่งสินค้า กรณีศึกษาร้านขายส่ง จังหวัดเชียงใหม่

พรวิสา ทาระคำ¹, ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์² และทินกร ปงธิยา^{3*}

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

Received: 8 April 2021; Revised: 27 April 2021; Accepted: 18 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอตัวแบบการตัดสินใจสองระดับเพื่อการจัดการระบบสินค้าคงคลังและการขนส่งสินค้าของรายขายส่งกรณีศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงใหม่ที่เดิมไม่ได้มีวิธีการจัดการที่เหมาะสม ตัวแบบการตัดสินใจระดับที่หนึ่ง ประกอบด้วย การแบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังด้วยการพิจารณาหลักเกณฑ์และการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น เพื่อแบ่งสินค้าคงคลังออกเป็น 3 กลุ่ม คือ A, B และ C โดย A คือ กลุ่มสินค้าที่มีความสำคัญมากที่สุด ส่วน B และ C มีความสำคัญน้อยลงตามลำดับ และการหาค่าต้นทุนการสั่งซื้อที่เหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละกลุ่ม ตัวแบบการตัดสินใจระดับที่สอง เป็นการนำผลที่ได้จากตัวแบบระดับที่หนึ่งมาใช้ในการพัฒนาตัวแบบการตัดสินใจเพื่อการจัดตารางขนส่งเพื่อไปรับสินค้าเข้าคลังสินค้า โดยใช้เทคนิคการจัดลำดับงานตามลำดับความสำคัญ ผลที่ได้จากตัวแบบการตัดสินใจทั้งสองระดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลย้อนหลังของร้านขายส่งกรณี พบว่า ค่าใช้จ่ายในการจัดการสินค้าคงคลังลดลงจาก 35,527,645 บาทต่อปี เหลือ 28,530,943.50 บาทต่อปี หรือลดลงร้อยละ 19.69 และ จำนวนรอบของรถขนส่งในระยะเวลา 3 เดือนลดลงจาก 60 รอบ เหลือ 48 รอบ หรือลดลงร้อยละ 20 คิดเป็นจำนวนเงินเท่ากับ 274,560 บาทต่อปี

คำสำคัญ: ตัวการจัดการสินค้าคงคลัง, การจัดกลุ่มสินค้าคงคลังโดยการพิจารณาหลักเกณฑ์, แบบการตัดสินใจสองระดับ, การจัดรถขนส่ง

*Corresponding author. E-mail: tinnakorn.phongthiya@cmu.ac.th

^{1, 2, 3} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Application of Bi-level Decision-Making Technique to manage Inventory and Transportation System: Case Study of Wholesaler in Chiang Mai Province

Pornvisa Tharakhum¹, Chompoonoot Kasemset² and Tinnakorn Phongthiya^{3*}

^{1,2,3} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University,
Chiang Mai 50200

Received: 12 April 2021; Revised: 27 April 2021; Accepted: 18 May 2021

Abstract

The objective of this research was to apply a bi-level decision-making technique to manage inventory and transportation system of a case study (a wholesaler in Chiang Mai Province) that did not have previously appropriate system. The first level of the decision-making is to manage inventory system. Techniques, including a Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) and an Analytical Hierarchy Process (AHP), were used to classify the products of the case study into three groups, including A, B, and C where products in group A are the most important while products in group B and C are less important, respectively. Then, the appropriate inventory ordering policies for each product group were selected considering their importance and value. The second level of the decision-making is to manage a transportation scheduling based on the importance and inventory ordering policies of each product group and using a Priority Queuing (PC) technique. The results of this research were compared with the actual data of the case study. It showed that the application of bi-level decision-making to manage inventory system and transportation scheduling of the case study can reduce inventory management cost by approximately 19.69 percent and the number of transportation cycles 12 cycles in three months.

Keywords: inventory management, multi-criteria inventory classification, bi-level decision-making, transportation scheduling

*Corresponding author. E-mail: tinnakorn.phongthiya@cmu.ac.th

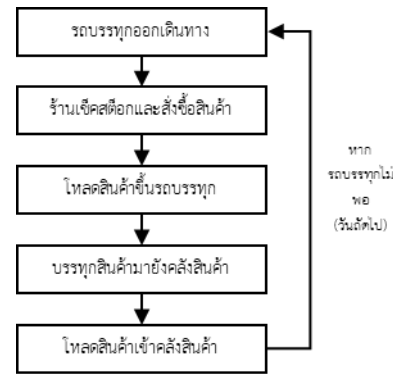
^{1, 2, 3} Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

1. บทนำ

ปัจจุบันการจัดการกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์มีความสำคัญอย่างมากในการดำเนินธุรกิจ เพราะกิจกรรมโลจิสติกส์มีผลโดยตรงต่อต้นทุนรวมของสินค้า แม้ว่ากิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์จะประกอบด้วย 13 กิจกรรมหลัก [1] แต่กิจกรรมที่มีผลต่อต้นทุนรวมของสินค้ามากที่สุด ก็คือ การบริหารจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management) และ การขนส่ง (Transportation) อ้างอิงจากข้อมูลต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทย พบว่า ประเทศไทยมีต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังและการขนส่งสินค้าเฉลี่ยมากถึงร้อยละ 42 และ 49 ของต้นทุนรวมทั้งหมด ตามลำดับ [2]

การจัดการสินค้าคงคลังและการจัดการการขนส่งเป็นกิจกรรมโลจิสติกส์ที่แยกส่วนจากกัน กล่าวคือกิจกรรมทั้งสองเกิดขึ้นในระดับการทำงานที่ไม่เท่ากัน การจัดการสินค้าคงคลังเป็นแผนงานในระดับของการวางแผนยุทธวิธี (Tactical Planning) ที่ทำร่วมกันระหว่างผู้บริหาร แต่การวางแผนการขนส่งเป็นการวางแผนในระดับปฏิบัติการ (Operational Planning) แม้กิจกรรมทั้งสองจะอยู่ในระดับแผนงานที่ต่างกัน แต่ก็ส่งผลเกี่ยวข้องกันเพราะการขนส่งเป็นการนำเข้าสู่สินค้าคงคลังเพื่อเติมเต็มให้อยู่ในระดับขั้นที่กำหนดไว้โดยแผนการจัดการสินค้าคงคลังนั่นเอง

กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นธุรกิจประเภทร้านขายส่งสินค้า ตั้งอยู่ที่ตลาดสดอำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ ร้านขายส่งกรณีศึกษามีการจำหน่ายสินค้าทั้งหมด 240 รายการ แบ่งออกได้เป็น 7 กลุ่ม ประกอบด้วย (1) ขนมราคา 1 บาท 45 รายการ (2) ขนมราคา 2 บาท 33 รายการ (3) ขนมราคา 3 บาท 12 รายการ (4) ขนมบรรจุซองราคา 5 บาท 61 รายการ (5) ขนมบรรจุซองราคา 10 บาท 5 รายการ (6) กลุ่มอาหารแห้ง 74 รายการ และ (7) กลุ่มอาหารสด 10 รายการ ซึ่งกระบวนการรับสินค้าเข้าคลังสินค้าของร้านขายส่งกรณีศึกษา แสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการรับสินค้าเข้าคลังสินค้าของร้านกรณีศึกษา

เดิมร้านขายส่งกรณีศึกษาไม่ได้มีวิธีการจัดการสินค้าคงคลังและการขนส่ง กระบวนการรับสินค้าเข้าคลังสินค้าจะเริ่มโดยที่พนักงานขับรถขนส่งไปยังตลาดขนาดใหญ่ในตัวเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยไม่ทราบจำนวนสินค้าที่ต้องขนในแต่ละเที่ยว ส่วนเจ้าของร้านจะใช้เพียงวิธีการสำรวจที่หน้าร้านและในคลังสินค้าว่า สินค้าชนิดใดใกล้จะหมด จากนั้นจะทำการสั่งซื้อสินค้าผ่านทางโทรศัพท์ เมื่อรถขนส่งไปถึงก็จะบรรจุสินค้าขึ้นรถและกลับไปยังคลังสินค้า ในกรณีที่รถขนส่งไม่สามารถบรรจุสินค้าที่ต้องการได้ทั้งหมด รถขนส่งจะต้องกลับมารับสินค้าที่เหลือในวันถัดไป

จากการขาดการจัดการสินค้าคงคลังและรถขนส่งที่เหมาะสมของร้านค้าส่งกรณีศึกษา สามารถสรุปปัญหาได้ ดังนี้ (1) ในการไปรับสินค้าแต่ละครั้ง ไม่มีการวางแผนการรับรายการสินค้า และปริมาณสินค้าที่ต้องการ (2) ด้วยการที่ไม่มีการวางแผนรายการสินค้าและด้วยปริมาณความจุของรถขนส่งที่จำกัด การสั่งซื้อสินค้าบางครั้งมีปริมาณมากกว่าความจุของรถขนส่ง ทำให้ไม่สามารถรับสินค้าที่ต้องการได้ทั้งหมดภายในครั้งเดียว ทำให้ทางร้านต้องเพิ่มรอบการขนส่งสินค้า ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนการขนส่งและสร้างปัญหาสินค้าล่าช้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าได้

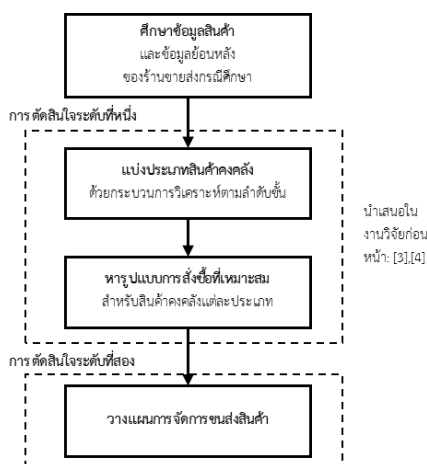
จากปัญหาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าการขาดการวางแผนการจัดการสินค้าคงคลัง มีผลโดยตรงต่อการวางแผนการออกไปรับสินค้าของรถขนส่ง ซึ่งถ้ามีการวางแผนการจัดการสินค้าคงคลังที่เหมาะสม ก็จะสามารถจัด

แผนการรับสินค้าของรถขนส่งได้อย่างเป็นระบบและประสิทธิภาพ อีกทั้งยังลดต้นทุนทั้งในการจัดการสินค้าคงคลังและการขนส่งอีกด้วย

จากการสำรวจข้อมูลย้อนหลังของร้านขายส่งกรณีศึกษาพบว่า ทางร้านมีค่าใช้จ่ายในการจัดสินค้าคงคลังเท่ากับ 35,527,645 บาทต่อปี และจากใช้รถบรรทุก 4 ล้อขนาดใหญ่ที่มีปริมาตร 12,240,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรในการขนส่งสินค้า มีจำนวนรอบของการขนส่งย้อนหลังสามเดือนเท่ากับ 60 รอบ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอตัวแบบการตัดสินใจแบบสองระดับเพื่อจัดการสินค้าคงคลังและการขนส่งของร้านขายส่งกรณีศึกษา เพื่อลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลัง และลดจำนวนรอบของการขนส่ง โดยการตัดสินใจระดับแรกเป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการสินค้าคงคลัง ประกอบด้วย การแบ่งประเภทของสินค้าคงคลัง และการหาหนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม และการตัดสินใจระดับที่สองเป็นการจัดการเกี่ยวกับการจัดรถเพื่อการขนส่งสินค้า

2. กรอบแนวคิดงานวิจัย

กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ (ภาพที่ 2) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ (1) การศึกษาข้อมูลสินค้าของร้านขายส่งกรณีศึกษา (2) การตัดสินใจระดับที่หนึ่ง ที่พิจารณาการแบ่งสินค้าคงคลังและการหาหนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม และ (3) การตัดสินใจระดับที่สองที่พิจารณาการวางแผนการจัดการขนส่งสินค้า



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดงานวิจัย

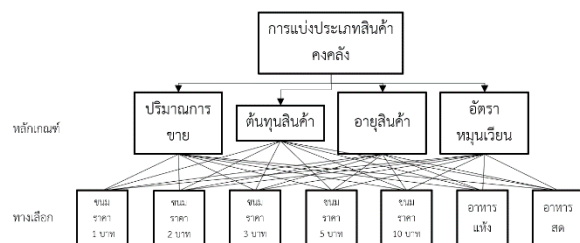
เนื่องจากผู้วิจัยได้นำเสนอตัวแบบการตัดสินใจระดับที่หนึ่ง ที่ประกอบด้วย การแบ่งประเภทสินค้าคงคลังและการหาหนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมของสินค้าคงคลังแต่ละประเภทไปในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [3], [4] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะสรุปผลของการออกแบบการตัดสินใจระดับที่หนึ่ง (แสดงในส่วนที่ 3) และเน้นการนำเสนอตัวแบบการตัดสินใจระดับที่สอง ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการรถขนส่งสินค้า (แสดงในส่วนที่ 4)

3. การตัดสินใจระดับที่หนึ่ง: การแบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังและการหาหนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม

การตัดสินใจระดับที่หนึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังและการหาหนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสมของแต่ละกลุ่มสินค้า โดยในการแบ่งกลุ่มสินค้าได้ประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process; AHP) ที่พิจารณาหลายหลักเกณฑ์ เข้ามาช่วยในการแบ่งประเภทของสินค้าคงคลังแบบ ABC [5], [6] จากนั้นจะนำความต้องการของสินค้าแต่ละประเภทมาหาหนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม

3.1 การแบ่งประเภทสินค้าคงคลังด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP)

หลักเกณฑ์ที่นำมาพิจารณาแบ่งประเภทสินค้าคงคลังที่เลือกโดยเจ้าของกิจการประกอบด้วย ปริมาณการขาย, ต้นทุนสินค้า, อายุสินค้า, และอัตราหมุนเวียนของสินค้า ซึ่งสามารถนำมาสร้างเป็นโครงสร้างลำดับชั้นของการตัดสินใจร่วมกับประเภทของสินค้าทั้ง 7 กลุ่ม ได้ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างลำดับชั้นของการตัดสินใจ

จากนั้นจะให้เจ้าของกิจการประเมินเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญรายคู่ เพื่อนำผลที่ได้ไปคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ และค่าความสอดคล้องของข้อมูล ดังตัวอย่างในตารางที่ 1 (ดูตัวอย่างวิธีการคำนวณได้ที่ภาคผนวก และงานวิจัยก่อนหน้านี้ [3], [4])

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการให้ความสำคัญรายคู่ของหลักเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการพิจารณาสินค้าคงคลัง

Criteria	Sale Quantity	Unit Cost	Cycle Life	Inventory Turnover	Geometric mean	Weight	Product	Ratio
Sale Quantity	1	9/5	9/3	9/7	1.6232	0.3720	1.4904	4.0071
Unit Cost	5/9	1	9/6	5/7	0.9809	0.2248	0.9040	4.0219
Cycle Life	3/9	3/7	1	3/7	0.4974	0.1140	0.4583	4.0207
Inventory Turnover	7/9	7/5	7/3	1	1.2625	0.2893	1.1592	4.0071
Sum					4.3641	1.0000	λ_{max}	4.0142
							CI	0.0047
							RI	0.9000
							CI/RI	0.0052

ผลการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญจากการเปรียบเทียบรายคู่ทุกหลักเกณฑ์ และแต่ละทางเลือกภายใต้หลักเกณฑ์แสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งค่าเหล่านี้จะนำไปคำนวณค่าน้ำหนักรวมเพื่อนำไปใช้ในการแบ่งกลุ่มสินค้า ดังแสดงในตารางที่ 2 (ดูวิธีการคำนวณเพิ่มเติมได้ที่งานวิจัยก่อนหน้า [3], [4])

การแบ่งประเภทสินค้าคงคลัง				
	ปริมาณการขาย (0.3720)	ต้นทุนสินค้า (0.2248)	อายุสินค้า (0.1140)	อัตราหมุนเวียน (0.2893)
ขนมราคา 1 บาท	(0.1367)	(0.1175)	(0.1068)	(0.1404)
ขนมราคา 2 บาท	(0.2109)	(0.0783)	(0.1068)	(0.2011)
ขนมราคา 3 บาท	(0.0632)	(0.2776)	(0.1068)	(0.1104)
ขนมราคา 5 บาท	(0.3139)	(0.1023)	(0.1068)	(0.1917)
ขนมราคา 10 บาท	(0.0375)	(0.0579)	(0.1068)	(0.0662)
อาหารแห้ง	(0.1367)	(0.1330)	(0.1433)	(0.0662)
อาหารสด	(0.1012)	(0.1755)	(0.3126)	(0.2240)

ภาพที่ 4 ค่าน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์ และแต่ละทางเลือก

ตารางที่ 2 การแบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังของร้านค้ากรณีศึกษา

กลุ่มสินค้า	จำนวน (รายการ)	ค่าน้ำหนัก	ผลรวมค่าน้ำหนักสะสม	กลุ่ม
ขนมราคา 5 บาท	61	0.2049	0.2049	A
อาหารสด	10	0.1752	0.3801	
ขนมราคา 2 บาท	33	0.1662	0.5463	B
ขนมราคา 1 บาท	45	0.1436	0.6899	
ขนมราคา 3 บาท	12	0.1306	0.8205	C
อาหารแห้ง	74	0.1185	0.9390	
ขนมราคา 10 บาท	5	0.0610	1	

3.2 การหารูปแบบการสั่งซื้อสินค้าคงคลังที่เหมาะสม

เมื่อได้กลุ่มของสินค้าคงคลังแล้ว หลังจากนั้นจะเป็นการหารูปแบบการสั่งซื้อสินค้าแต่ละกลุ่มเหมาะสม ซึ่งจะพิจารณาจากค่าน้ำหนักความสำคัญที่ได้จาก AHP ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความสำคัญของสินค้าคงคลัง

กลุ่ม	รายการสินค้า	หลักเกณฑ์			
		ปริมาณการขาย	ต้นทุนต่อหน่วย	อายุสินค้า	อัตราหมุนเวียน
A	กลุ่มขนมราคา 5 บาทและอาหารสด	สูง	ปานกลาง	สูง ถึง ปานกลาง	สูง
B	กลุ่มขนมราคา 2 บาท, 1 บาท และ 2 บาท	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
C	กลุ่มขนมราคา 10 บาท และอาหารแห้ง	น้อย	น้อยถึงสูง	ปานกลาง ถึงนาน	น้อย

สินค้ากลุ่ม A มีปริมาณการขายและอัตราการหมุนเวียนสูง ดังนั้นนโยบายการสั่งซื้อที่เหมาะสม คือ การสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ) ที่จะสั่งเมื่อสินค้าคงคลังมีระดับถึงจุดสั่งซื้อ (Re-order Point) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสินค้าขาดมือ และระดับการให้บริการอยู่ที่ร้อยละ 100 [7] ซึ่งการใช้รูปแบบการสั่งซื้อสินค้าแบบ EOQ กับสินค้ากลุ่ม A จะมีค่าใช้จ่าย 10,441,584 บาทต่อปี

สินค้ากลุ่ม B ที่มีปริมาณการขายและอัตราการหมุนเวียนปานกลาง จะใช้รูปแบบการสั่งซื้อแบบล้นงวด (Fixed Order Interval; FOI) ที่รอบเวลาการสั่งซื้อจะเป็นรอบเวลาในการสั่งซื้อร่วมกันของสินค้าทุกรายการในใบสั่งซื้อสินค้า [7] ซึ่งการใช้รูปแบบนี้กับสินค้ากลุ่ม B จะมีค่าใช้จ่ายต่อปีเท่ากับ 12,342,168 บาท

สินค้ากลุ่ม C ที่มีปริมาณการขายและอัตราการหมุนเวียนที่ต่ำ จะใช้วิธีการสั่งซื้อแบบสองถัง (Two-bin) ถึงที่หนึ่งใส่สินค้าไว้เท่ากับปริมาณจุดสั่งซื้อ และถึงที่สองจะใส่สินค้าเท่ากับปริมาณส่วนต่างของจุดสั่งซื้อถึงระดับสูงสุดที่ต้องการเบิกใช้ [7] ซึ่งการใช้รูปแบบนี้กับ

สินค้ากลุ่ม C จะมีค่าใช้จ่ายต่อปีเท่ากับ 5,747,191.50 บาท

จากการกำหนดรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการสั่งซื้อสินค้าแต่ละประเภทพบว่าค่าใช้จ่ายในการจัดการสินค้าคงคลังลดลงจาก 35,527,645 บาทต่อปี เหลือ 28,530,943.50 บาทต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 19.69 (ดูตัวอย่างวิธีการคำนวณเพิ่มเติมได้ที่ [3], [4])

4. การตัดสินใจระดับที่สอง: การจัดการรถขนส่งสินค้า

4.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง: การจัดลำดับงาน

ในการจัดลำดับงาน สามารถประยุกต์ใช้เทคนิคหลายเทคนิคเข้ามาช่วย โดยเทคนิคที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือการจัดลำดับงานโดยใช้กฎความสำคัญ (Priority Rule for Dispatching Jobs) ยกตัวอย่างเช่น การจัดงานมาก่อนผลิตก่อน (First Come First Serve: FCFS) เป็นการจัดลำดับงานโดยทำงานที่เข้ามาก่อนเป็นลำดับแรกและงานที่เข้ามาทีหลังทำเป็นลำดับถัดไป การจัดลำดับงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดทำก่อน (Shortest Processing Time: SPT) เป็นการจัดลำดับความสำคัญของงานโดยเริ่มทำงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดทำก่อนแล้วค่อยทำงานที่ต้องใช้เวลามากเป็นลำดับถัดไป การจัดงานที่มีกำหนดส่งมอบงานเร็วที่สุดก่อน (Earliest Due Date: EDD) เป็นการจัดลำดับความสำคัญของงานโดยให้ทำงานที่มีการส่งมอบเร็วที่สุดก่อนแล้วค่อยทำงานที่มีกำหนดส่งมอบนานกว่าเป็นลำดับถัดไป การจัดงานที่มีเวลามากที่สุดทำก่อน (Longest Processing Time: LPT) เป็นการจัดลำดับความสำคัญของงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลามากที่สุดก่อนเป็นลำดับแรกแล้วค่อยทำงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าเป็นลำดับถัดไป การจัดลำดับงานแบบการให้ความสำคัญในการจัดแถวคอยที่ต่างกัน (Priority Queuing: PQ) เป็นเทคนิคการจัดลำดับงานโดยให้ลำดับความสำคัญกับแถวคอยในการเข้าทำงาน ในแถวคอยจะแบ่งออกเป็นหลายแถวเพื่อรองรับแต่ละแถวคอยที่มีความสำคัญในระดับบริการที่แตกต่างกัน

ซึ่งในการเลือกเทคนิคที่จะนำไปใช้ในการจัดลำดับงานนั้น จะพิจารณาจากตัวชี้วัดที่ต้องการ เช่น

EDD จะมุ่งเน้นการส่งงานให้ทันกำหนดการส่งมอบงาน SPT จะเป็นการมุ่งเน้นให้งานออกจากกระบวนการผลิตเร็วที่สุด เป็นต้น [8]

4.2 การจัดการขนส่งสินค้า

เมื่อได้กลุ่มของสินค้าและรูปแบบการสั่งซื้อที่เหมาะสมของสินค้าแต่ละกลุ่มจากตัวแบบการตัดสินใจระดับที่หนึ่งแล้ว ผลที่ได้จะนำมาใช้ในการเสนอรูปแบบการตัดสินใจระดับที่สองที่เป็นการวางแผนการจัดตารางรถเพื่อออกไปรับสินค้าเข้าคลังสินค้า

จากการพิจารณาเทคนิคการจัดลำดับงานที่ได้นำเสนอไปในทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง พบว่า เทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนการจัดการรถขนส่งสินค้าของร้านขายส่งกรณีศึกษา คือ เทคนิคการจัดลำดับความสำคัญในการจัดแถวคอยที่ต่างกัน (Priority Queuing; PQ) เนื่องจากเทคนิคนี้จะจัดลำดับโดยให้ความสำคัญกับสิ่งที่สำคัญที่สุดก่อน ตามด้วยสิ่งสำคัญรองลงมาตามลำดับ ซึ่งเหมาะกับการนำมาใช้ในการวางแผนการจัดการรถขนส่งสินค้าของร้านขายส่งกรณีศึกษาที่จะให้ความสำคัญกับสินค้ากลุ่ม A, B และ C ตามลำดับ โดยสินค้าในกลุ่ม A และ C จะทำการสั่งซื้อสินค้าเมื่อระดับสินค้าถึงจุดสั่งซื้อ (Re-order Point) และสินค้ากลุ่ม B จะสั่งเมื่อถึงรอบระยะเวลาในการสั่งซื้อ

ผลของการนำเทคนิค PQ มาใช้ในการออกแบบกระบวนการจัดการรถขนส่งสินค้าเพื่อไปรับสินค้าแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจากภาพจะเห็นได้ว่า กระบวนการจัดการรถขนส่ง สามารถแบ่งออกได้เป็นสามส่วน ประกอบด้วย ส่วนสีฟ้า เป็นส่วนที่พิจารณาคำสั่งซื้อคงค้างของสินค้าวันก่อนหน้า (Day N-1) ส่วนสีเขียว เป็นส่วนที่พิจารณาคำสั่งซื้อของวันที่พิจารณาคำสั่งซื้อ (Day N) และส่วน สีส้ม เป็นส่วนที่พิจารณาคำสั่งซื้อของวันถัดไป (Day N+1) ซึ่งการพิจารณาในส่วนสีส้มจะเกิดขึ้นเมื่อรถบรรทุกมีปริมาณเหลือจากการบรรจุสินค้าคงค้างของ Day N-1 และสินค้าที่ต้องการใน Day N

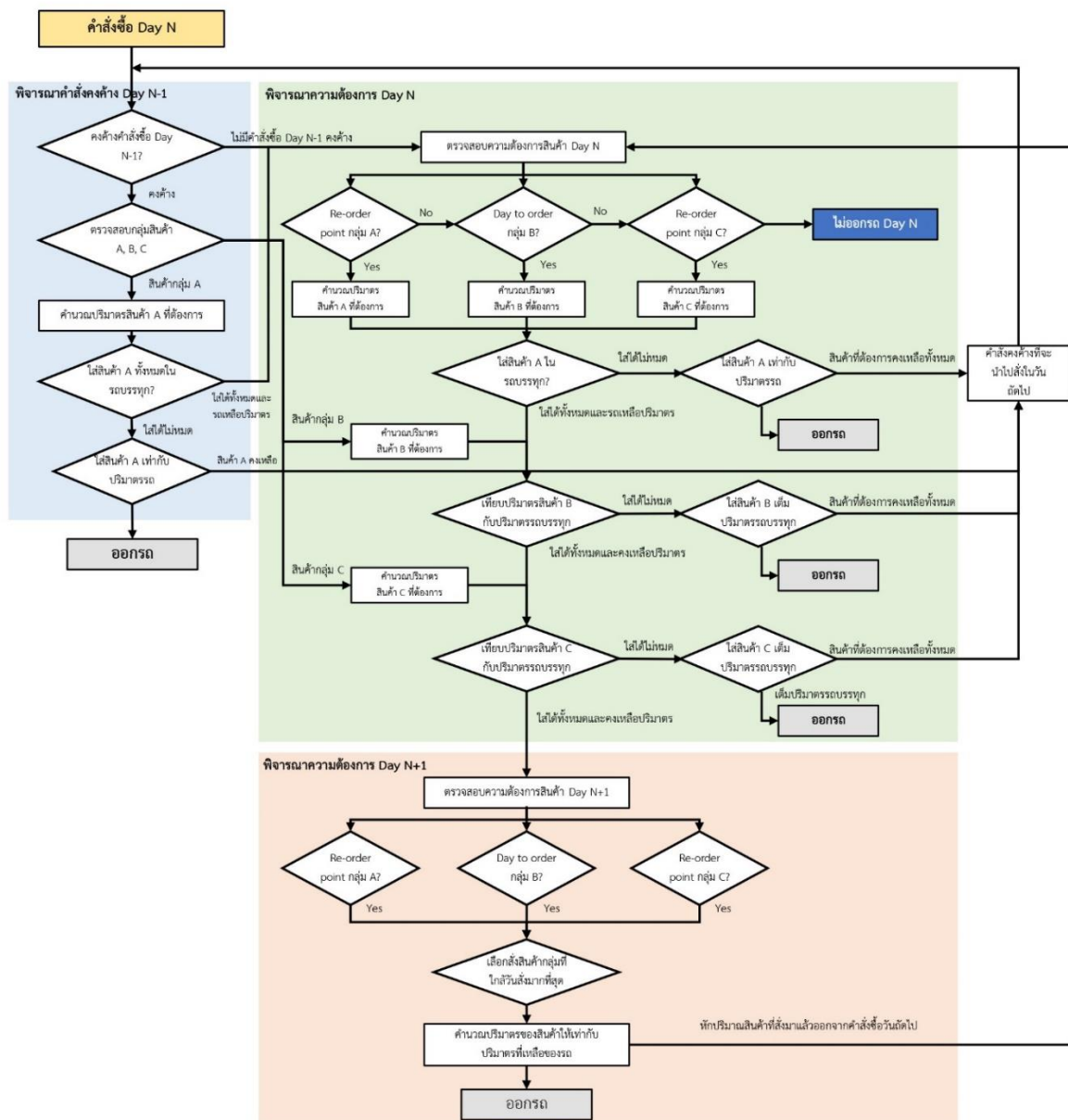
กระบวนการจะเริ่มขึ้นเมื่อถึงรอบที่ต้องออกไปรับสินค้าวันใดๆ (Day N) พนักงานจะทำการตรวจสอบสินค้าที่จะต้องไปรับ โดยเริ่มจากการตรวจสอบคำสั่งคงค้างของวันก่อนหน้า (Day N-1) ถ้าพบว่ามีคำสั่งคงค้าง

พนักงานจะต้องตรวจสอบต่อว่ามีสินค้ากลุ่ม A คงค้างหรือไม่ ถ้ามีให้จัดลำดับสินค้ากลุ่ม A ขึ้นรถเป็นอันดับแรก หลังจากนั้นให้พิจารณาปริมาณของรถบรรทุกว่าคงเหลือหรือไม่ ถ้ามีปริมาณคงเหลือให้เริ่มพิจารณาความต้องการสินค้าของ Day N โดยพิจารณาสินค้ากลุ่ม A, B และ C ตามลำดับ การจัดรายการรับสินค้าขึ้นรถขนส่งทุกครั้งจะต้องพิจารณาเทียบกับปริมาณของรถบรรทุก ถ้ารายการสินค้าเต็มปริมาณรถบรรทุก จะส่งรถออกไปรับสินค้าทันที แต่ถ้าปริมาณของสินค้าที่ต้องการมากกว่าปริมาณของรถบรรทุกก็จะแบ่งไปรับสินค้าในวันถัดไป และคำสั่งนั้นจะถูกพิจารณาเป็นคำสั่งคงค้าง

แต่ในกรณีที่เมื่อพิจารณาความต้องการของ Day N-1 และ Day N ทั้งหมดแล้ว รถบรรทุกยังมีปริมาณเหลือ จะดึงความต้องการของวันถัดไป (Day N+1) มาพิจารณาว่ามีสินค้ากลุ่มใดที่ใกล้จะถึงจุดสั่งซื้อหรือวันที่สั่งซื้อมากที่สุด และจัดรายการสินค้านั้น เต็มให้เต็มปริมาณรถบรรทุก และเมื่อเต็มรายการสินค้านั้นเข้าไปแล้ว ต้องทำการหักรายการสินค้านั้นออกในการสั่งซื้อครั้งถัดไป



ภาพที่ 4 รถบรรทุก 4 ล้อขนาดใหญ่ (ตัวอย่าง) ที่ร้านขายส่งกรณีศึกษาใช้ ปริมาตรบรรจุ 12,240,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 5 ตัวแบบการตัดสินใจระดับที่สอง: การวางแผนการจัดรถขนส่งสินค้า

ตัวอย่างการจัดรายการสินค้าสำหรับรถขนส่งวันที่ 38
(กรณีปริมาตรของรายการสินค้าที่ต้องการมีมากกว่า
ปริมาตรรถบรรทุก)

ดังที่ได้อธิบายไปแล้วว่า การจัดรายการสินค้าสำหรับรถขนส่งวันใดๆ (Day N) จะต้องพิจารณาความต้องการสินค้าคงค้างของวันก่อนหน้าก่อน (Day N+1) (ภาพที่ 3) ดังเช่นตัวอย่างนี้ การจัดรายการสินค้าสำหรับรถบรรทุกวันที่ 38 จะต้องพิจารณาค่าสังคงค้างของวันที่ 37 ซึ่งพบว่า มีสินค้ากลุ่ม C คงค้างอยู่ 4 รายการ

(ตารางที่ 3) และเนื่องจากไม่ใช่สินค้ากลุ่ม A สินค้าคงค้างทั้ง 4 รายการนี้จะถูกนำไปพิจารณาพร้อมกับรายการสินค้ากลุ่ม C ของรายการสินค้าวันที่ 38

เมื่อรายการสินค้าค้างค้างของวันที่ 37 ไม่มีสินค้า
กลุ่ม A ดังนั้นการจัดรายการสินค้าสำหรับรถขนส่งวันที่
38 จะเรียงลำดับตามกลุ่มของสินค้า A, B, และ C
ตามลำดับ ซึ่งในวันที่ 38 มีความต้องการสินค้ากลุ่ม A
จำนวน 9 รายการ, สินค้ากลุ่ม B จำนวน 2 รายการ (ไม่มี
สินค้ากลุ่ม C) หลังจากคำนวณปริมาตรของสินค้ากลุ่ม A

และ B แล้วพบว่า เมื่อบรรจุสินค้าทั้ง 11 รายการเข้าไปในรถขนส่งแล้วมีปริมาตรเหลือเพียงพอที่จะบรรจุสินค้ากลุ่ม C 4 รายการที่เป็นคำสั่งคงค้างของวันที่ 37 ได้ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 3: การจัดรายการสินค้าสำหรับรถขนส่งวันที่ 37

วันที่	กลุ่มสินค้า	จำนวนสินค้า (รายการ)	ปริมาตรสินค้ารวม (cm ³)	ปริมาตรสะสม (cm ³)	บรรจุในรถขนส่ง
37	A	7	9,522,525.90	9,522,525.90	ได้
	B	22	2,204,308.53	11,726,834.43	ได้
	C	1	512,571.57	12,239,406.93	ได้
	C	4	793,646.38	-	ไม่ได้ (คงค้างและสั่งในวันที่ 38)

ตารางที่ 4: การจัดรายการสินค้าสำหรับรถขนส่งวันที่ 38

วันที่	กลุ่มสินค้า	จำนวนสินค้า (รายการ)	ปริมาตรสินค้ารวม (cm ³)	ปริมาตรสะสม (cm ³)	บรรจุในรถขนส่ง
38	A	9	11,331,000.12	11,331,000.12	ได้
	B	2	111,497.25	11,443,497.37	ได้
	C	4	793,646.38	12,236,143.75	ได้
	(คงค้าง)				

ตัวอย่างการจัดรายการสินค้าสำหรับรถขนส่งวันที่ 12 (กรณีปริมาตรรถบรรทุกเหลือ)

ในการจัดรายการสินค้าสำหรับรถขนส่งวันที่ 12 พบว่า ไม่มีคำสั่งคงค้างของวันที่ 11 ดังนั้นสามารถพิจารณาความต้องการสินค้าของวันที่ 12 ได้เลย ซึ่งในวันที่ 12 มีความต้องการสินค้าทั้งหมด 59 รายการ แบ่งเป็นสินค้า A ทั้งหมด 9 รายการ และสินค้า B ทั้งหมด 50 รายการ ปริมาตรรวม 12,002,395.60 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อบรรจุเข้ารถบรรทุกพบว่า มีปริมาตรเหลือจึงดึงความต้องการสินค้าวันถัดไป คือวันที่ 13 มาพิจารณาเพื่อจัดรายการสินค้าให้เต็มปริมาตรรถขนส่ง ซึ่งในวันที่ 13 มีรายการสินค้าที่ต้องการประกอบด้วยสินค้ากลุ่ม B 42 รายการและสินค้ากลุ่ม C 56 รายการ (ไม่มีสินค้ากลุ่ม A) เมื่อคำนวณปริมาตรของสินค้าแล้ว สามารถเพิ่มสินค้ากลุ่ม B ของวันที่ 13 จำนวน 3 รายการ

ปริมาตรรวม 230,370 ลูกบาศก์เซนติเมตร เข้าไปเพื่อเติมเต็มปริมาตรของรถบรรทุกได้ (ตารางที่ 5) หลังจากนั้นรายการสินค้าจำนวน 3 รายการที่ถูกเพิ่มเข้าไปในรายการคำสั่งซื้อของวันที่ 12 จะถูกหักออกจากรายการความต้องการของวันที่ 13

ตารางที่ 5: การจัดรายการสินค้าสำหรับรถขนส่งวันที่ 12

วันที่	กลุ่มสินค้า	จำนวนสินค้า (รายการ)	ปริมาตรสินค้ารวม (cm ³)	ปริมาตรสะสม (cm ³)	บรรจุในรถขนส่ง
12	A	9	3,053,905.5	3,053,905.5	ได้
	B	50	8,948,490.1	12,002,395.60	ได้
13	B	3	230,370	12,232,765.60	ได้

จากตัวแบบที่น่าเสนอ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือนของร้านขายส่งพบว่า ภายในระยะเวลาสามเดือนจะมีการออกรถขนส่งไปรับสินค้าทั้งหมด 48 ครั้ง และเมื่อเทียบกับข้อมูลเดิมของร้านค้าที่มีการออกไปรับสินค้าจริงทั้งสิ้น 60 ครั้ง จะพบว่าการวางแผนการจัดตารางรถขนส่งสินค้าแบบใหม่สามารถลดจำนวนรถที่ออกไปรับสินค้าได้ 12 ครั้ง ซึ่งสามารถประมาณต้นทุนของการขนส่งสินค้าที่ลดลงได้เท่ากับ 274,560 บาทต่อปี

5. สรุปผล

งานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอตัวแบบการตัดสินใจแบบสองระดับเพื่อเชื่อมโยงการจัดการสินค้าคงคลังและการจัดรถขนส่งของร้านขายส่งกรณีศึกษาที่เดิมไม่ได้มีการวางแผนในการจัดการสินค้าคงคลังและการจัดการรถขนส่ง ตัวแบบที่น่าเสนอในงานวิจัยนี้มีการตัดสินใจอยู่ในสองระดับ โดยตัวแบบระดับที่หนึ่งเป็นการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสินค้าคงคลัง ประกอบด้วย การแบ่งกลุ่มสินค้า การหารูปแบบการสั่งซื้อสินค้าคงคลังที่เหมาะสมของแต่ละกลุ่ม และตัวแบบระดับที่สองเป็นการจัดการรถขนส่งสินค้าที่พิจารณาจากระดับความสำคัญสินค้าแต่ละกลุ่มร่วมกับการปริมาตรของรถขนส่ง

ตัวแบบที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพกับข้อมูลย้อนหลังของร้านขายส่งกรณีศึกษา พบว่า (1) ค่าใช้จ่ายในการจัดการสินค้าคงคลังลดลงจาก

35,527,645 บาทต่อปี เหลือ 28,530,943.50 บาทต่อปี หรือลดลงร้อยละ 19.69 และ (2) จำนวนรอบของรถขนส่งในระยะเวลา 3 เดือน ลดลงจาก 60 รอบเหลือ 48 รอบ หรือลดลงร้อยละ 20 คิดเป็นจำนวนเงินเท่ากับ 274,560 บาทต่อปี

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบการตัดสินใจที่นำเสนอการเชื่อมโยงกันระหว่างกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์ที่อยู่ต่างระดับกัน ช่วยให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลไปยังการลดลงของต้นทุนรวมทั้งระบบด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้การประเมินผลโดยการเปรียบเทียบจากข้อมูลในอดีต ซึ่งข้อมูลที่เก็บมาจากร้านขายส่งกรณีศึกษาที่มีข้อจำกัด เนื่องจากทางร้านไม่มีระบบการเก็บข้อมูลในอดีตที่เหมาะสม หากร้านขายส่งกรณีศึกษามีระบบการเก็บข้อมูลย้อนหลังที่เหมาะสม ข้อมูลดังกล่าวอาจจะสามารถนำมาทดสอบตัวแบบโดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์เข้ามาช่วย ซึ่งอาจจะทำให้เห็นผลที่เกิดขึ้นจากตัวแบบที่นำเสนอได้ชัดเจนและมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนิตศักดิ์ พุฒิพัฒน์โมซิต, “องค์ประกอบของกิจกรรมโลจิสติกส์,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://logisticscorner.com/index.php?option=com_content&view=article&id=368:2009-07-01-01-15-53&catid=40:logistics&Itemid=87. [วันที่เข้าถึง 3 มกราคม 2564].
- [2] ธนิต โสรัตน์, “การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย ปี 2553/2554,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://logisticscorner.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2259:-25532554&catid=40:logistics&Itemid=87. [วันที่เข้าถึง 3 มกราคม 2564].
- [3] พรวิสา ทาระคำ และ ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์, “การจัดการสินค้าคงคลังสำหรับกรณีร้านขายส่ง,” ใน *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2559*. กรุงเทพมหานคร, 2559.
- [4] P. Tharakhum and C. Kasemsert, “Application of Bi-level Decision-Making Model in Logistic Activities Management for Wholesaler,” in *Proceeding of 15th Thai Value Chain Management and Logistics Conference (Thai VMCL 2015)*, Thailand, 2015.
- [5] C.Y. Tsai and S.W. Yeh, “A multiple objective swarm optimization approach for inventory classification,” *International Journal of Production Economics.*, vol. 114, pp. 656-666, 2008.
- [6] A. H. Vencheh and A. Mohamadghasemi, “A fuzzy AHP-DEA approach for multi-criteria ABC inventory classification,” *Expert System with Applications.*, vol. 38, vol. 4, pp. 3346-3352, 2011.
- [7] ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์, ฤทธิภูมิการจัดการพัสดุคงคลังและการประยุกต์ใช้สำหรับตัวแบบพัสดุคงคลังดีเทอร์มินิสติกแบบต่อเนื่อง, เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2559.
- [8] C. Kasemset, and E. Pintaruean, “Application of Job Sequencing Policies in Refrigerated Truck Sequencing: A Case Study,” in *Proceeding of 2017 International Conference on Industrial Engineering Management Science and Application (ICIMSA)*, South Korea, 2017.

ภาคผนวก

ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักของแต่ละหลักเกณฑ์ที่ใช้

ในการแบ่งกลุ่มสินค้า

Criteria	Sale Quantity	Unit Cost	Cycle Life	Inventory Turnover	Geometric mean	Weight	Product	Ratio
Sale Quantity	1	9/5	9/3	9/7	1.6232	0.3720	1.4904	4.0071
Unit Cost	5/9	1	9/6	5/7	0.9809	0.2248	0.9040	4.0219
Cycle Life	3/9	3/7	1	3/7	0.4974	0.1140	0.4583	4.0207
Inventory Turnover	7/9	7/5	7/3	1	1.2625	0.2893	1.1592	4.0071
				Sum	4.3641	1.0000	λ_{max}	4.0142
							CI	0.0047
							RI	0.9000
							CI/RI	0.0052

Geometric Mean:

$$\text{Geometric Mean} = \sqrt[4]{1 \times \left(\frac{9}{5}\right) \times \left(\frac{9}{3}\right) \times \left(\frac{9}{7}\right)} = 1.6232$$

Weight:

$$\begin{aligned} \text{Weight (Sale Quality)} &= \text{Geometric Mean} / \text{Sum Geometric Mean} \\ &= 1.6232 / 4.3641 \\ &= 0.3720 \end{aligned}$$

Product:

$$\begin{aligned} \text{Product (Sale Quality)} &= (1 \times 0.3720) + (9/5 \times 0.2248) + \\ &\quad (9/3 \times 0.1140) + (9/7 \times 0.2893) \\ &= 1.4904 \end{aligned}$$

Ratio:

$$\begin{aligned} \text{Ratio} &= \text{Product} / \text{Weight} \\ &= 1.4904 / 0.3720 \\ &= 4.0071 \end{aligned}$$

λ_{max} :

$$\begin{aligned} \lambda_{max} &= \frac{\sum \text{Ratio}}{n} \\ &= \frac{4.0071 + 4.0219 + 4.0207 + 4.0071}{4} \\ &= 4.0142 \end{aligned}$$

Consistency Index; C.I.:

$$\begin{aligned} \text{C.I.} &= \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \\ &= \frac{(4.0142 - 4)}{(4-1)} \\ &= 0.0047 \end{aligned}$$

Consistency Ratio: C.R.:

$$\text{C.R.} = \text{C.I.} / \text{R.I.} \quad ; \text{ When R.I.} = \text{mean random}$$

C.I.

$$\begin{aligned} &= 0.0047 / 9 \quad ; \text{ R.I} = 9.000 \text{ when } n = 4 \\ &= 0.0052 \end{aligned}$$

ถ้าค่า C.R. ≤ 1 ถือว่ายอมรับได้

การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ ช่วงก่อนและระหว่างการเกิดวิกฤติโรคโควิด-19

สุดา ตระการเถลิงศักดิ์^{*1}, ศศิประภา หิริโอตป²,

ทนาย บุญเรือง³ และ จิรนนท์ เอกวรรณง⁴

^{1,2,3,4}ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

Received: 13 April 2021; Revised: 28 April 2021; Accepted: 18 May 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการวิเคราะห์แบ่งกลุ่มของกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) ด้วยวิธี Multidimensional Scaling (MDS) โดยใช้มาตรวัดอัตราส่วนเทอร์เนอร์ และเปรียบเทียบโครงสร้างการจัดกลุ่มในช่วงก่อนการระบาดของโรคโควิด-19 (ปี 2560-2562) และช่วงระหว่างการระบาดของโรคโควิด-19 (ปี 2563) ผลการศึกษาพบว่า วิธี MDS แสดงการจัดกลุ่มกองทุนรวม RMF ที่แตกต่างกันตามลักษณะนโยบายการลงทุนของกองทุน ในช่วงก่อนวิกฤติโควิด-19 สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เน้นการลงทุนในตลาดหุ้นภายในประเทศและพันธบัตรรัฐบาล กลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 เป็นกองทุนที่ลงทุนในกองทุนต่างประเทศเพียงอย่างเดียว (feeder fund) สำหรับช่วงระหว่างการระบาดของโควิด 19 มีการจัดกลุ่มเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ลงทุนในตลาดหุ้นในประเทศและพันธบัตรรัฐบาล กลุ่มที่ 2 เป็นกองทุนประเภท feeder fund และกลุ่มที่ 3 เป็น feeder fund ที่ลงทุนในหุ้นในหมวดบริการสุขภาพในตลาดหุ้นทั่วโลก

คำสำคัญ: กองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ, อัตราส่วนเทอร์เนอร์, วิธี Multidimensional Scaling

*Corresponding author. E-mail: tragantalerngsa_s@silpakorn.edu

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

^{3,4} นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Analysis of clusters among the Retirement Mutual Funds before and during the COVID-19 crisis period

Suda Tragantalerngsak^{*1} Sasiprapa Hirio²

Tanai Boonfueang³ and Jeeranun Akawannung⁴

^{1,2,3,4}Statistics Department, Faculty of science, Silpakorn university,
Muang, Nakhon Pathom 73000

Received: 13 April 2021; Revised: 28 April 2021; Accepted: 18 May 2021

Abstract

The objectives of this paper are to investigate the clusters of the Retirement Mutual Fund (RMF), using Multidimensional Scaling (MDS) method with their Treynor ratio measurements and to compare the structure of those clusters before the COVID-19 crisis period (year 2017-2019) and during the COVID-19 crisis period (year 2020). The results illustrated that the map from MDS indicated the different clusters of RMF funds according to their investment policy. Before the COVID-19 crisis period, the RMF funds are grouped into 3 clusters. The first cluster is the group of the RMF funds which mainly invest in Thai capital market and government bond. The second and the third consist of the feeder funds or the funds that invest in foreign capital market. During the COVID-19 crisis period, the RMF funds are also able to group into 3 clusters. The first one is the group that invests in Thai capital market and government bond. The second and the third are the general feeder funds and the feeder funds that invest in healthcare sector in all of the world capital market, respectively.

Keywords: Retirement Mutual Fund (RMF), Treynor Ratio, Multidimensional Scaling method (MDS)

* Corresponding author. E-mail: tragantalerngsa_s@silpakorn.edu

¹ Associate Professor in Department of Statistics, Faculty of Science, Silpakorn University

² Assistant Professor in Department of Statistics, Faculty of Science, Silpakorn University

^{3,4} Student in Department of Statistics, Faculty of Science, Silpakorn University

1. บทนำ

การลงทุนในกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) เป็นการออมเงินและการลงทุนที่ได้รับความนิยมจากนักลงทุนที่ต้องการนำไปเป็นค่าลดหย่อนภาษี และสร้างกำไรจากการขายคืนหน่วยลงทุน (Capital Gain) เมื่อถือครบตามกำหนดระยะเวลา การลงทุนในกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพค่อนข้างใช้ระยะเวลาในการลงทุนที่ยาวนาน ทำให้มีโอกาสได้รับผลกระทบจากสภาพเศรษฐกิจและสภาวะการลงทุนในแต่ละช่วงได้ ดังนั้นการจะตัดสินใจลงทุนในกองทุนรวมใดควรพิจารณาถึงความเหมาะสมของผลตอบแทนและความเสี่ยงของกองทุนรวมก่อน มาตราวัดอัตราส่วนเทรเนอร์ (Trenor Ratio) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนจากการลงทุนเทียบกับความเสี่ยงที่เป็นระบบ

เนื่องจากกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) ที่เสนอขายให้กับนักลงทุนมีเป็นจำนวนมากและมีอัตราผลตอบแทนและความเสี่ยงที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังมีความอ่อนไหวตามการเปลี่ยนแปลงของเวลาและปัจจัยแวดล้อมที่ต่างต่างกัน กองทุนรวมบางกองทุนได้รับผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกัน ในขณะที่บางกองทุนไม่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมนั้น ดังนั้นการศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกันของกองทุนที่จะลงทุนจึงเป็นเรื่องหนึ่งที่มีความสำคัญ การจัดกลุ่มกองทุนรวม RMF เป็นแนวทางหนึ่งที่นักลงทุนสามารถนำมาใช้เพื่อกระจายการลงทุนไปในกลุ่มต่างๆ เพื่อลดความเสี่ยงจากความผันผวนทางเศรษฐกิจได้

วิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการจัดกลุ่มกองทุนรวม RMF มีหลายวิธี Mantegna [1] เป็นผู้ริเริ่มในการนำวิธี Minimum spanning tree (MST) มาใช้ในการจัดกลุ่มหุ้น หลังจากนั้นแนวคิดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย Yang et al. [2] ใช้วิธี MST ในการวิเคราะห์การจัดกลุ่มอุตสาหกรรม 29 อุตสาหกรรมในตลาดหุ้นประเทศจีนช่วงก่อนและหลังการเกิดวิกฤติการณ์ทางการเงิน สูดา และคณะ [3] ใช้วิธี MST ในการจัดกลุ่มหุ้นใน SET 50 ชญาณี และพรพิมล [4] จัดกลุ่มกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) โดยการใช้การแบ่งกลุ่มอนุกรมเวลาบนหลักการสร้างเครือข่าย

และการตรวจหาชุมชน (Time series clustering technique based on community detection in networks)

Multidimensional Scaling (MDS) เป็นวิธีการทางสถิติอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เพื่อจัดกลุ่มกองทุน โดยการใช้แผนภาพแสดงตำแหน่งสัมพันธ์อธิบายความคล้ายคลึง (Similarity) ของกองทุนเหล่านั้น โดยกองทุนที่มีสหสัมพันธ์กันสูง จะมีระยะห่างระหว่างกันน้อย ส่วนกองทุนที่มีสหสัมพันธ์กันน้อยหรือเป็นค่าลบ จะมีระยะห่างจากกันมาก Machado [5] ใช้วิธี MDS ในการจัดกลุ่มตลาดหลักทรัพย์ 15 แห่งในอเมริกา เอเชีย/แปซิฟิก และยุโรป โกลัญญา และ อันยามัย [6] ใช้วิธี MDS ในจัดกลุ่มกองทุนเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) บนมาตราวัดอัตราส่วนชาร์ปและมาตราวัดอัตราส่วนเทรเนอร์ พบว่าทั้งสองมาตราวัดให้ผลการจัดกลุ่มใกล้เคียงกัน วิธี Hierarchical tree (HT) เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ในช่วงต้นปี 2563 เกิดการระบาดของโรคโควิด-19 ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมากต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย นักลงทุนเกิดความไม่มั่นใจในการลงทุน ดัชนีตลาดหลักทรัพย์มีความผันผวนและปรับตัวลดลงอย่างมาก กองทุนรวมต่างๆ รวมทั้งกองทุนเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) หลายกองทุนต่างได้รับผลกระทบ มูลค่าทรัพย์สินสุทธิต่อหน่วยลงทุน (NAV) ของกองทุนมีค่าลดลงอย่างมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบลักษณะและการจัดกลุ่มกองทุนรวม RMF ในช่วงก่อนและระหว่างการเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจวางแผนการจัดพอร์ตการลงทุนของนักลงทุนในกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) โดยจะพิจารณาบนมาตราวัดอัตราส่วนเทรเนอร์ (Trenor Ratio) และใช้วิธี Multidimensional Scaling (MDS) ในการจัดกลุ่ม

2. วิธี Multidimensional Scaling (MDS)

วิธี Multidimensional Scaling (MDS) เป็นเทคนิคทางสถิติ ในการสร้างแผนภาพแสดงตำแหน่งสัมพันธ์ของหน่วยสังเกต (Objects) โดยการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ระยะทางเพื่อหาความเหมือน ความต่างระหว่างหน่วยสังเกต

วิธี MDS เป็นวิธีการหนึ่งที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างหลักทรัพย์

การวิเคราะห์การจัดกลุ่มกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ RMF ด้วยวิธี MDS บนมาตรวัดอัตราส่วนเทอร์เนอร์ มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณค่าเฉลี่ยของอัตราผลตอบแทนของแต่ละกองทุน

ให้ NAV_t แทนมูลค่าทรัพย์สินสุทธิของกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ ณ เวลาที่ t n แทนจำนวนระยะเวลา

อัตราผลตอบแทนกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ p ณ เวลาที่ t เป็น

$$R_{pt} = \left(\frac{NAV_t - NAV_{t-1}}{NAV_{t-1}} \right) \quad (1)$$

ค่าเฉลี่ยของอัตราผลตอบแทนของกองทุน คือ

$$\bar{R}_p = \frac{\sum_{t=1}^n R_{pt}}{n} \quad (2)$$

2. คำนวณค่าวัดผลการดำเนินงานตามมาตรวัดอัตราส่วนเทอร์เนอร์

ให้ R_{ft} แทนอัตราผลตอบแทนปราศจากความเสี่ยง ณ เวลาที่ t อัตราผลตอบแทนปราศจากความเสี่ยงเฉลี่ย $\bar{R}_f$ เป็น

$$\bar{R}_f = \frac{\sum_{t=1}^n R_{ft}}{n} \quad (3)$$

ให้ $SETTRI_t$ แทนดัชนีผลตอบแทนรวมของตลาด ณ เวลาที่ t อัตราผลตอบแทนของตลาด ณ เวลาทำการที่ t (R_{mt}) เป็น

$$R_{mt} = \left(\frac{SETTRI_t - SETTRI_{t-1}}{SETTRI_{t-1}} \right) \quad (4)$$

ค่ามาตรวัดอัตราส่วนเทอร์เนอร์ของกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ p (T_p) เป็น

$$T_p = \frac{\bar{R}_p - \bar{R}_f}{\beta_p} \quad (5)$$

โดยสัมประสิทธิ์เบต้าของกองทุน p (β_p) คำนวณดังนี้

$$\beta_p = \frac{\sigma_{pm}}{\sigma_m^2} \quad (6)$$

σ_{pm} เป็นความแปรปรวนร่วมระหว่างอัตราผลตอบแทนของกองทุนรวม p กับอัตราผลตอบแทนของตลาด

$$\sigma_{pm} = \frac{\sum_{t=1}^n (R_{pt} - \bar{R}_p)(R_{mt} - \bar{R}_m)}{n} \quad (7)$$

σ_m^2 เป็นความแปรปรวนของอัตราผลตอบแทนของตลาด

$$\sigma_m^2 = \frac{\sum_{t=1}^n (R_{mt} - \bar{R}_m)^2}{n-1} \quad (8)$$

$\bar{R}_m$ เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราผลตอบแทนของตลาด

$$\bar{R}_m = \frac{\sum_{t=1}^n R_{mt}}{n} \quad (9)$$

3. นำค่าวัดผลการดำเนินงานตามมาตรวัดอัตราส่วนเทอร์เนอร์ ที่ได้จาก ข้อ 2. มาทำการปรับให้เป็นค่ามาตรฐานโดยวิธีการ Standardize และหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสองระหว่างกองทุน i และกองทุน j

$$d_{(i,j)} = \left(\frac{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T x_i(t) \cdot x_j(t)}{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (x_i(t))^2 \cdot \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (x_j(t))^2}} \right)^2 \quad (10)$$

$x_i(t)$ คือ ค่าวัดผลการดำเนินงานที่ได้ปรับเป็นค่ามาตรฐานแล้วของกองทุนที่ i จาก ณ จุดเวลาเวลาที่ t

$x_j(t)$ คือ ค่าวัดผลการดำเนินงานที่ได้ปรับเป็นค่ามาตรฐานแล้วของกองทุนที่ j จาก ณ จุดเวลาเวลาที่ t

T เป็นจำนวนเวลาช่วงที่ใช้ในการคำนวณ (จำนวนเดือนของช่วงก่อนหรือระหว่างการเกิดโรคระบาด)

4. นำค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง มาสร้างแผนภาพการกระจายของตำแหน่งสัมพันธ์ของกองทุนโดยวิธี Multidimensional Scaling (MDS) ซึ่งจะได้ค่าระยะทาง

ระหว่างจุด i และ j (d_{ij}) ในรูปแบบของเมทริกซ์ระยะทาง (distance matrix)

5. ตรวจสอบความเหมาะสมในการแสดงแผนภาพการกระจายของตำแหน่งสัมพัทธ์ที่สร้างจากผลการดำเนินงานของกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) ดังนี้

5.1 พิจารณาแผนภาพ Stress Plot สำหรับเลือกจำนวนมิติ (dimension) ในการแสดงแผนภาพการกระจายตำแหน่งสัมพัทธ์ของกองทุน โดยพิจารณาจากค่า Normalized Raw Stress ที่ลดลงอย่างรวดเร็วและเข้าใกล้ค่าศูนย์ ซึ่งเป็นจำนวนมิติที่สามารถแสดงแผนภาพการกระจายตำแหน่งสัมพัทธ์สอดคล้องกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสองมากที่สุด

$$\text{Normalized Raw Stress} = \sqrt{\frac{\sum (d_{ij} - \hat{d}_{ij})^2}{\sum d_{ij}^2}} \quad (11)$$

5.2 พิจารณาค่า Tucker's Coefficient of Congruence เพื่อวัดความสอดคล้องของระยะทางระหว่างกองทุนที่ได้จากวิธี MDS กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสอง

Tucker's Coefficient of Congruence

$$= \frac{\sum d_{ij} \hat{d}_{ij}}{\sqrt{\sum d_{ij}^2 \sum \hat{d}_{ij}^2}} \quad (12)$$

Normalized Raw Stress และ Tucker's Coefficient of Congruence สามารถบอกได้ว่าระยะทางที่สร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างกองทุนโดยวิธี Multidimensional Scaling (MDS) มีความเหมาะสมสำหรับการพิจารณาระยะทางระหว่างกองทุนหรือไม่ โดย Normalized Raw Stress ควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ส่วนค่า Tucker's Coefficient of Congruence ควรมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง

3. ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิของกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) จำนวน 20 กองทุน แสดงในตาราง 1 โดยใช้ข้อมูลมูลค่าทรัพย์สินสุทธิต่อหน่วยลงทุน

(NAV) ย้อนหลังช่วงก่อนและช่วงระหว่างเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 คือช่วง 4 มกราคม 2560 ถึง 30 ธันวาคม 2562 และช่วง 2 มกราคม 2563 ถึง 30 ธันวาคม 2563 ตามลำดับ จากเว็บไซต์ของบริษัทจัดการกองทุน 5 บริษัท ได้แก่ บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนกรุงไทย จำกัด [7] บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนสิริไทย จำกัด [8] บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนบัวหลวง จำกัด [9] บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนยูโอบี จำกัด [10] และ บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนทิสโก้ จำกัด [11]

ในการคำนวณค่าอัตราส่วนเทรเนอร์ ใช้อัตราผลตอบแทนของพันธบัตรรัฐบาลที่มีอายุ 14 วัน จากเว็บไซต์ของธนาคารแห่งประเทศไทย [12] เป็นอัตราผลตอบแทนปราศจากความเสี่ยง (R_f) และใช้ดัชนีผลตอบแทนรวมตลาดหลักทรัพย์ (SET Total Return Index: SET TRI) จากเว็บไซต์ของตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย [13] เป็นอัตราผลตอบแทนของตลาด (SETTRI)

ตารางที่ 1 รายชื่อกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) 20 กองทุน

	ชื่อกองทุน		ชื่อกองทุน		ชื่อกองทุน
ธนาคารกรุงไทย	BBASICRMF	ธนาคารกรุงไทย	KT-HiDivRMF	ธนาคารทีเอสโก้	TEGRMF-A
	BSIRIRMF		KTSE-RMF		TEGRMF-B
	IN-RMF		KSRMF		TMSRMF-A
	BERMF		KTWEQRMF*		THDRMF
ธนาคารสิริไทย	KS20RMF	ธนาคารยูโอบี	UHCRMF**		
	KEQRMF		ERMF		
	KEURMF*		CPRMF1***		
	KJPRMF*		CGRMF		

หมายเหตุ

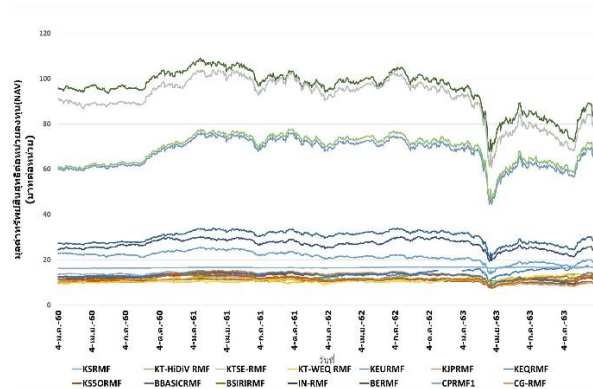
* เป็น feeder fund ลงทุนในกองทุนต่างประเทศเพียงกองเดียว

** เป็น feeder fund เน้นการลงทุนในหุ้นด้านบริการสุขภาพทั่วโลก

*** เน้นการลงทุนในพันธบัตรรัฐบาล

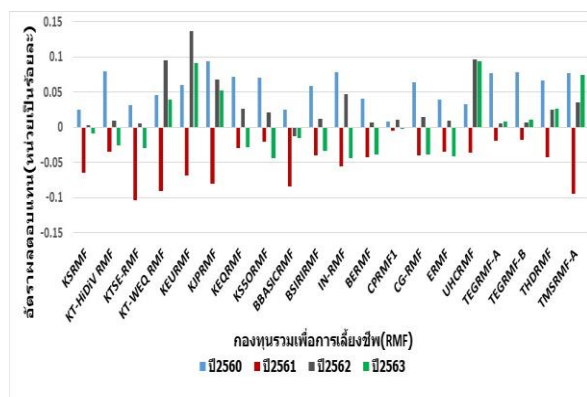
ที่เหลือเป็นกองทุนที่เน้นการลงทุนในตลาดหุ้นในประเทศไทย

4. ผลการวิจัย



รูปที่ 1 มูลค่าทรัพย์สินสุทธิต่อหน่วยลงทุนของกองทุนรวม RMF

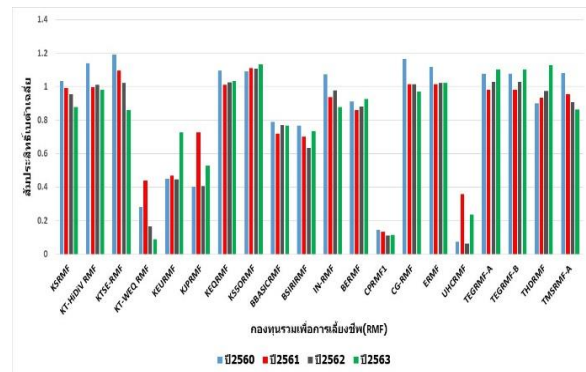
รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบมูลค่าทรัพย์สินสุทธิต่อหน่วยลงทุน (NAV) ของกองทุนรวม RMF จำนวน 20 กองทุน ระหว่างปี 2560-2563 พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงมูลค่าทรัพย์สินสุทธิต่อหน่วยลงทุนของกองทุนทั้ง 20 กองทุน เป็นไปในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ในช่วงเดือนมีนาคมถึง เมษายน 2563 ซึ่งเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 รอบแรกในประเทศไทย ส่งผลให้มูลค่าทรัพย์สินสุทธิต่อหน่วยลงทุนของทุกกองทุนปรับตัวลดลงอย่างรุนแรง และค่อยๆ พ้นตัวขึ้นในช่วงกลางปี



รูปที่ 2 อัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปีของกองทุน RMF ปี 2560- 2563

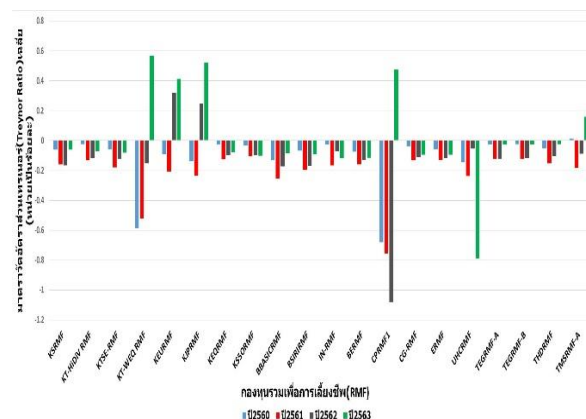
รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่อปี จะเห็นว่าในปี 2561 กองทุนรวม RMF ทั้ง 20 กองมีอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยติดลบ แม้ปี 2562 เกือบทุกกองทุน (ยกเว้นกองทุน BBASICRMF) มีแนวโน้มการ

ดำเนินงานดีขึ้นและสามารถสร้างอัตราผลตอบแทนที่เป็นค่าบวกได้ แต่ในปี 2563 กองทุนหลายแห่งกลับมีอัตราผลตอบแทนเป็นค่าลบ แต่ก็มีบางกองทุนที่ยังคงมีอัตราผลตอบแทนเป็นบวก ที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ KEURMF KJPRMF KT-WEQRMF UHCRMF และ TMSRMF-A



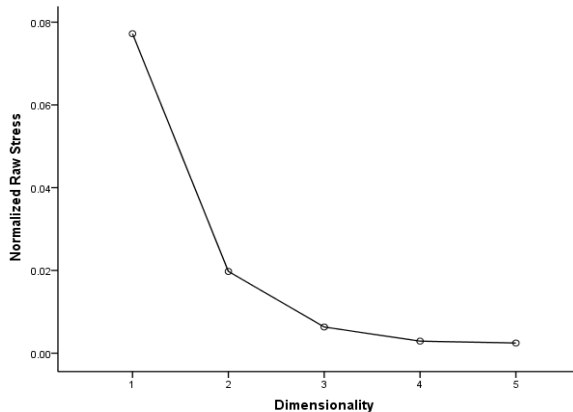
รูปที่ 3 สัมประสิทธิ์เบต้าเฉลี่ยของกองทุนรวม RMF ปี 2560-2563

จากรูปที่ 3 ทุกกองทุนรวม RMF มีค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เบต้ามากกว่า 0 แสดงว่าความผันผวนของอัตราผลตอบแทนของกองทุนรวมมีทิศทางเดียวกับความผันผวนของตลาดหลักทรัพย์ โดยกองทุนที่มีค่าเบต้ามากกว่า 1 แสดงว่าเป็นกองทุนที่มีความผันผวนมากกว่าความผันผวนของอัตราผลตอบแทนของตลาดหลักทรัพย์ เช่น KS50RMF และ KEQRRMF ที่มีสัมประสิทธิ์เบต้าเฉลี่ยมากกว่า 1 ทั้ง 4 ปี แสดงถึงเป็นกองทุนที่มีความเสี่ยงสูง

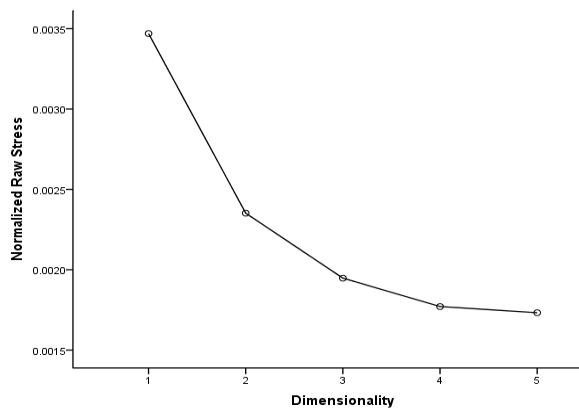


รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยมาตรวัดอัตราส่วนของเทรนเนอร์ของทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ ระหว่างปี 2560 ถึง ปี 2563

ค่าเฉลี่ยมาตรวัดอัตราส่วนเทอร์เนอร์ในรูปแบบที่ 4 ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่าอัตราผลตอบแทนที่ได้จากกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF) น้อยกว่าอัตราผลตอบแทนที่ได้จากพันธบัตรรัฐบาล ยกเว้นกองทุน KT-WEQRMF, KEURMF, KJPRMF และ CPRMF1 ที่สามารถให้อัตราผลตอบแทนดีกว่าพันธบัตรรัฐบาลในปี 2562 และ/หรือ 2563



รูปที่ 5 แผนภาพ Stress Plot ช่วงก่อนเกิดการระบาดโรคโควิด-19



รูปที่ 6 แผนภาพ Stress Plot ช่วงระหว่างการระบาดโรคโควิด-19

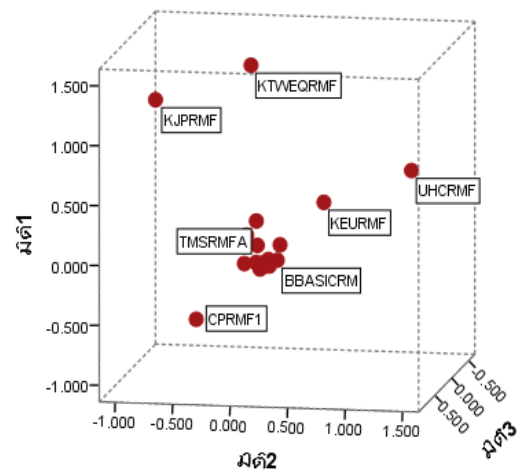
จากการวิเคราะห์การจัดกลุ่มกองทุนรวม RMF โดยวิธี MDS โดยใช้ข้อมูลปี 2560-2562 เป็นช่วงก่อนเกิดการระบาดโควิด-19 และข้อมูลปี 2563 เป็นช่วงระหว่างเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 จาก Stress Plot ในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 พบว่าทั้งช่วงก่อนและระหว่างการเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 แผนภาพการกระจายของตำแหน่งสัมพัทธ์ที่เหมาะสม คือแบบ 3 มิติ พิจารณาจากจุดหักศอกในแผนภาพ

ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มมิติมากขึ้นมีผลต่อการลดลงของค่า stress ไม่มากนัก

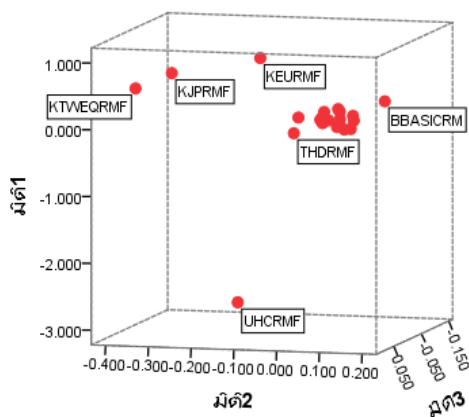
จากค่าวัด Goodness of Fit ของแผนภาพจากวิธี MDS กรณี 3 มิติ แสดงในตาราง 2 ค่า Normalized Raw Stress มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าระยะทางที่ได้จากแผนภาพโดยวิธี MDS ไม่ต่างจากระยะทางจริง และ Tucker's coefficient of Congruence มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าระยะทางที่ได้จากแผนภาพโดยวิธี MDS กับระยะทางจริงมีความสอดคล้องกัน

ตาราง 2 ค่าวัด Goodness of Fit ของแผนภาพจากวิธี MDS กรณี 3 มิติ

ค่าวัดความเหมาะสม	ช่วงก่อนเกิดการระบาด	ช่วงระหว่างการระบาด
Normalized Raw Stress	0.00422	0.00250
Tucker's coefficient of Congruence	0.99789	0.99875



รูปที่ 7 แผนภาพการกระจายของตำแหน่งสัมพัทธ์ของกองทุนรวม RMF ช่วงก่อนเกิดโรคระบาดโควิด-19



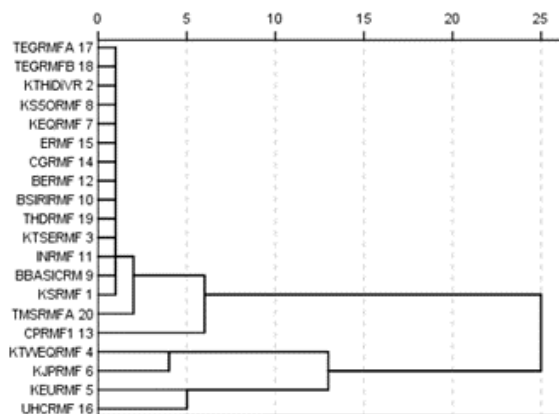
รูปที่ 8 แผนภาพการกระจายของตำแหน่งสัมพัทธ์ของกองทุนรวม RMF ช่วงระหว่างการเกิดโรคระบาดโควิด-19

แผนภาพการกระจายของตำแหน่งสัมพัทธ์ของกองทุนรวม RMF ช่วงก่อน และระหว่างการเกิดโรคระบาดโควิด-19 ในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงบางอย่างในลักษณะการจัดกลุ่มของกองทุนรวม

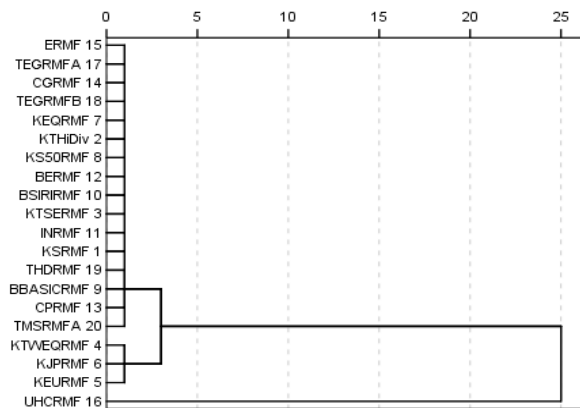
ช่วงก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 กองทุนรวม RMF ส่วนใหญ่มีการรวมกลุ่มโดยแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 16 กองทุน เป็นกองทุนที่เน้นการลงทุนในตราสารทุนภายในประเทศ รวมทั้ง CPRMF1 ซึ่งเป็นกองทุนที่เน้นการลงทุนในพันธบัตรรัฐบาลและเงินฝาก กลุ่มที่ 2 มีจำนวน 2 กองทุน คือ KJPRMF และ KT-WEQRMF และกลุ่มที่ 3 มีจำนวน 2 กองทุน คือ KEURMF และ UHCRMF ซึ่งกองทุนในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 เป็นกองทุนประเภท feeder fund คือกองทุนที่เน้นลงทุนในกองทุนต่างประเทศเพียงกองเดียว

ช่วงระหว่างการระบาดของโรคโควิด-19 จะเห็นลักษณะการรวมกลุ่มของกองทุนรวมชัดเจนมากขึ้น โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 จำนวน 16 กองทุน เป็นกองทุนที่เน้นการลงทุนในตราสารทุนภายในประเทศและรวมกองทุนที่เน้นการลงทุนในพันธบัตรด้วย กลุ่มที่ 2 เป็นกองทุนประเภท feeder fund มี 3 กองทุน คือ KJPRMF, KEURMF และ KT-WEQRMF ส่วนกลุ่มที่ 3 มี 1 กองทุน คือ UHCRMF ซึ่งเป็นกองทุนประเภท feeder fund ที่เน้นลงทุนด้านบริการสุขภาพ ที่มีตำแหน่งห่างออกมาอย่างเห็นได้ชัด

เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้จากวิธี MDS จึงทำการเปรียบเทียบการจัดกลุ่มกองทุนกับวิธี Hierarchical cluster ทั้งแบบ average linkage , single linkage, complete linkage โดยใช้เมทริกซ์สารสนเทศจาก MDS ซึ่งทั้งสามแบบให้แผนภาพ dendrogram ลักษณะที่เหมือนกัน รูปที่ 9 และรูปที่ 10 แสดงแผนภาพ dendrogram แบบ average linkage ช่วงก่อนและระหว่างการเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 จะเห็นลักษณะการจัดกลุ่มที่สอดคล้องกับวิธี MDS



รูปที่ 9 แผนภาพ dendrogram แบบ average linkage ช่วงก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19



รูปที่ 10 แผนภาพ dendrogram แบบ average linkage ช่วงระหว่างการเกิดการระบาดของโรคโควิด-19

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราผลตอบแทนและความเสี่ยงของแต่ละกลุ่ม ช่วงก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 **กลุ่มที่ 1** มีอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่ำสุด ความผันผวนของอัตราผลตอบแทนอยู่ระหว่างกลุ่มที่

2 และกลุ่มที่ 3 ความเสี่ยงแบบเป็นระบบน้อยกว่าความเสี่ยงตลาดเล็กน้อย (สัมประสิทธิ์เบต้ามีค่าใกล้ 1)

กลุ่มที่ 2 มีอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มแรก และมีความผันผวนของอัตราผลตอบแทนมากที่สุด ความเสี่ยงแบบเป็นระบบน้อยกว่าความเสี่ยงของตลาด (สัมประสิทธิ์เบต้ามีค่าน้อยกว่า 1)

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่อัตราผลตอบแทนเฉลี่ยสูงสุดและความเสี่ยงน้อยสุด (ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราผลตอบแทนและสัมประสิทธิ์เบต่าน้อยสุด)

ช่วงระหว่างการระบาดของโรคโควิด-19 **กลุ่มที่ 1** ยังคงเป็นกลุ่มที่ให้อัตราผลตอบแทนเฉลี่ยต่ำสุดและมีค่าลบ ความผันผวนของอัตราผลตอบแทนไม่ต่างจากกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ความเสี่ยงแบบเป็นระบบน้อยกว่าความเสี่ยงตลาดเล็กน้อย

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มซึ่งมีอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น มีความเสี่ยงแบบเป็นระบบน้อยกว่าความเสี่ยงของตลาด โดยมีค่าใกล้เคียงกับช่วงก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีอัตราผลตอบแทนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมากและมีค่าสัมประสิทธิ์เบต้าต่ำสุด และลดลงจากช่วงก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 อย่างมาก

ตารางที่ 3 อัตราผลตอบแทนเฉลี่ยและความเสี่ยงของแต่ละกลุ่ม

		อัตราผลตอบแทนเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	สัมประสิทธิ์เบต้าเฉลี่ย
ช่วงก่อนการระบาด	กลุ่ม 1	0.00817	0.57355	0.92857
	กลุ่ม 2	0.02241	0.72943	0.40343
	กลุ่ม 3	0.03733	0.49403	0.31001
ช่วงระหว่างการระบาด	กลุ่ม 1	-0.01440	1.41192	0.90595
	กลุ่ม 2	0.06102	1.45628	0.44784
	กลุ่ม 3	0.09457	1.42613	0.23553

5. สรุปและอภิปรายผล

ทั้งในช่วงก่อนและระหว่างการระบาดของโรคโควิด-19 การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มด้วยวิธี MDS บนมาตรวัด

อัตราส่วนเทรเนอร์ ได้แสดงให้เห็นถึงการจัดกลุ่มกองทุนรวม RMF ตามลักษณะนโยบายการลงทุนของกองทุน คือ แบ่งเป็นกลุ่มที่เน้นการลงทุนในตลาดหุ้นภายในประเทศ และกลุ่มที่เป็น feeder fund ที่มีนโยบายลงทุนในกองทุนต่างประเทศเพียงกองเดียว อย่างไรก็ตามในระหว่างที่เกิดการระบาดของโควิด-19 นั้น กองทุนที่เน้นการลงทุนในธุรกิจบริการสุขภาพจะมีความแตกต่างจากกองทุนอื่นอย่างเห็นได้ชัด

จากการที่ประเทศไทยเผชิญกับปัญหาเศรษฐกิจทั้งจากปัจจัยภายในประเทศและต่างประเทศ มาตั้งแต่ก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 ส่งผลให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนในกองทุนรวม (RMF) ที่มีนโยบายเน้นการลงทุนในประเทศมีค่าลดต่ำลงเกือบทุกกองทุน นักลงทุนจึงหันไปสนใจลงทุนในกองทุนรวมที่มีนโยบายลงทุนในต่างประเทศซึ่งมีโอกาสสร้างผลตอบแทนได้มากกว่า จึงปรากฏลักษณะการจัดกลุ่มของกองทุนที่เน้นการลงทุนในประเทศกับการลงทุนในต่างประเทศที่ค่อนข้างชัดเจน จากการระบาดของ COVID-19 ทั่วโลก ส่งผลให้กองทุนต่างๆ ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศชะลอการลงทุนเพื่อรอดูทิศทาง การเปลี่ยนแปลงราคาสินทรัพย์ทั้งในตลาดเงินและตลาดทุนทั่วโลกที่มีความผันผวนอย่างมาก แต่ก็ยังคงพอมองเห็นการแยกกลุ่มกันของกองทุนที่มีนโยบายการลงทุนในประเทศและต่างประเทศอยู่ แต่ไม่ชัดเจนเท่าช่วงก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 อย่างไรก็ตามในช่วงวิกฤติการณ์การระบาดของโรคโควิด-19 กองทุน UHCRMF ซึ่งเป็นกองทุนที่มีนโยบายมุ่งเน้นการลงทุนในอุตสาหกรรม Healthcare ทั่วโลก มีอัตราผลตอบแทนเพิ่มสูงขึ้นสวนทางกับอัตราผลตอบแทนของตลาด วิธี MDS แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งสัมพันธ์ของกองทุนนี้ที่ถูกจัดแยกออกมาจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] R. N. Mantegna, " Hierarchical structure in financial markets, " *The European Physical Journal B*, pp. 193-197, 1999.

- [2] R. Yang, X. Li, and T. Zhang, "Analysis of linkage effects among industry sectors in China's stock market before and after the financial crisis," *Physica A*, vol. 411, pp. 12-20, 2014.
- [3] สุดา ตระการเถลิงศักดิ์, ญัฐชา ชุ่มสุนทร และ บุญอนันต์ ลีขยาภิตติกร "การวิเคราะห์โครงสร้างอิงค่าสหสัมพันธ์ของหุ้นใน SET50" *Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University.*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 5, น. 1-16, 2559.
- [4] ชญานี พูลพิพัฒน์ และ พรพิมล กันพงษ์, "การวิเคราะห์แบ่งกลุ่มกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF)" รายงานโครงการวิจัยของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาสถิติ, ภาควิชาสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2562.
- [5] J. T. Machado, F. B. Duarte, and M. G. Duarte, "Analysis of Stock Market Indices Through Multidimensional Scaling," *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation.*, vol. 16, no. 12, pp. 4610-4618, 2011.
- [6] โกลัญญา ทะธารัมย์ และ ธันยามัย เรืองชัย, "การวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนและความเสี่ยงของกองทุนรวมเพื่อการเลี้ยงชีพ (RMF)," รายงานโครงการวิจัยของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาสถิติ, ภาควิชาสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2561.
- [7] เว็บไซต์บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนกรุงไทย จำกัด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.ktam.co.th/rmf-ltf.aspx?lang=th>. [วันที่เข้าถึง 25 มกราคม 2564].
- [8] เว็บไซต์บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนกสิกรไทย จำกัด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.kasikornasset.com/th/mutualfund/objectives/Pages/index.aspx?g=33&v=> [วันที่เข้าถึง 25 มกราคม 2564].
- [9] เว็บไซต์บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนบัวหลวง จำกัด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.bblam.co.th/products/provident-funds/provident-fund-knowledge>. [วันที่เข้าถึง 25 มกราคม 2564].
- [10] เว็บไซต์บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนยูโอบี จำกัด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.uboa.com.co.th/th/fund-type/6/retirement> [วันที่เข้าถึง 25 มกราคม 2564]
- [11] เว็บไซต์บริษัทหลักทรัพย์จัดการกองทุนทีเอสโก้ จำกัด. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.tiscoasset.com/th/mf/html/index.jsp> [วันที่เข้าถึง 25 มกราคม 2564]
- [12] เว็บไซต์ธนาคารแห่งประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.bot.or.th/Thai/DebtSecurities/Auction/Yields/Pages/default.aspx> [วันที่เข้าถึง 25 มกราคม 2564].
- [13] เว็บไซต์ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.set.or.th/th/market/tri.html> [วันที่เข้าถึง 25 มกราคม 2564].

การเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ของอนุกรมเวลารูปแบบตามฤดูกาลที่มีเลขศูนย์จำนวนมาก

ธรรศกรณ์ เสวตสุทธิพันธ์^{*1} และ พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล²

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Received: 20 April 2021; Revised: 7 June 2021; Accepted: 14 June 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หอนุกรมเวลาของข้อมูลจำนวนพื้นที่การเกิดไฟป่ารายวันในจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งจัดอยู่ในประเภทของอนุกรมเวลารูปแบบตามฤดูกาล และข้อมูลยังมีค่าที่เป็นศูนย์เป็นช่วงกว้างในหลายช่วงเวลาซึ่งอาจส่งผลให้มีความแปรปรวนที่สูง โดยข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ จำนวนพื้นที่การเกิดไฟป่า และสภาพภูมิอากาศซึ่งนำมาใช้เป็นปัจจัยที่อาจส่งผลต่อจำนวนพื้นที่ไฟป่า และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างตัวแบบจำลองพยากรณ์ที่เหมาะสม โดยจะเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ทั้งหมด 6 วิธี ได้แก่ การพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรจัดประเภท, การพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยแบบแบบโพลีโนเมียลหลายตัวแปร, การพยากรณ์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์แบบตัดทอน, การพยากรณ์ด้วยวิธี Holt-Winters แบบผลบวก, การพยากรณ์ตามแนวคิดของบ็อกซ์-เจนกินส์ด้วยวิธี SARIMAX, และการพยากรณ์โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อวัดประสิทธิภาพของตัวแบบจำลองจะแบ่งข้อมูลสำหรับทดสอบออกเป็น 4 ช่วง คือ 3 เดือน, 6 เดือน, 1 ปี และ 1 ปี 9 เดือน จากนั้นเปรียบเทียบด้วยตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 6 แบบด้วยค่าคลาดเคลื่อน RMSE ซึ่งผลการทดลองพบว่า การพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยแบบพหุคูณแบบมีตัวแปรจัดประเภทให้ค่า RMSE ต่ำสุดสำหรับข้อมูลทดสอบในช่วงเวลา 3 เดือน, 6 เดือน และ 1 ปี และการพยากรณ์ด้วยวิธี SARIMAX ให้ค่า RMSE ต่ำสุดสำหรับข้อมูลทดสอบในช่วงเวลา 1 ปี 9 เดือน

คำสำคัญ: ข้อมูลอนุกรมเวลา, การพยากรณ์, ไฟป่า

* Corresponding author. E-mail: thassakorn.sa@ku.th

¹ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

A Comparison of Forecasting Methods for Seasonal Time-series with Many Zeros

Thassakorn Sawetsuthipan^{*1} and Peerayuth Charnsethikul²

Kasetsart University, 50 Ngamwongwan Rd., Lad Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

Received: 20 April 2021; Revised: 7 June 2021; Accepted: 14 June 2021

Abstract

The research aims to analyze the time series of daily wildfires area in Chiang Mai which are classified as seasonality, and the data also has a wide range of zero values over a number of periods which can result in high variance. The data used consists of two parts: the number of wildfires area and the climate which can be used as a factor that can affect the number of wildfire area. The obtained data used to create the appropriate forecasting model by comparing the six forecasting methods which are multiple regression with categorical variable, multivariate polynomial regression, the truncated fourier series, Holt-Winters's additive method, SARIMAX methods by Box-Jenkins, and artificial neural network; in addition, to measure the efficiency of the model. The test data is divided into four phases: 3 months, 6 months, 1 year and 1 year 6 months, and compare with the six forecast methods by root mean square error (RMSE). The results showed that the Multiple Regression with Categorical Variable provided the lowest RMSE values for test data over a period of 3 months, 6 months, and 1 year, and SARIMAX method provided the lowest RMSE values for test data over a period of 1 year and 9 months.

Keywords: time series data, forecasting, wildfires

* Corresponding author. E-mail: thassakorn.sa@ku.th

¹ Graduate Student in Faculty of engineering, Kasetsart University

² Associate Professor in Faculty of engineering, Kasetsart University

1. คำนำ

“ไฟป่า” จัดเป็นภัยพิบัติอย่างหนึ่งที่มีสาเหตุการเกิดได้ทั้งจากธรรมชาติ และมนุษย์ ซึ่งมักเกิดขึ้นบริเวณทางตอนบนของประเทศ เช่น ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจะเกิดในช่วงฤดูแล้งระหว่างช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม [1] ซึ่งในบางเดือนอาจจะไม่พบการเกิดไฟป่าตลอดทั้งเดือน หรือเป็นเวลาหลายเดือน ส่งผลให้การเกิดไฟป่านั้นจัดเป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีรูปแบบตามฤดูกาลที่มีเลขศูนย์จำนวนมาก การพยากรณ์สถานการณ์ไฟป่าในปัจจุบันจะใช้ปัจจัยสภาพอากาศประกอบกับแผนที่แสดงจุดความร้อน (Hotspot Maps) ซึ่งเป็นการติดตามสถานการณ์จากดาวเทียมAqua โดยระบบ MODIS โดยในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พื้นที่ทางภาคเหนือจัดอยู่ในกลุ่มที่มีดัชนีการเกิดไฟป่า (Fire Weather Index; FWI) ในระดับสูง ไปจนถึงรุนแรง ปัจจัยหลักที่มีผลต่อพฤติกรรมไฟป่านั้นประกอบด้วย ลักษณะเชื้อเพลิง ลักษณะอากาศ และลักษณะภูมิประเทศ [2] จากข้อมูลสถิติการเกิดไฟป่าของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ส่วนควบคุมไฟป่า ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2552 ถึง วันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2562 พบว่าภาคเหนือมีจำนวนการเกิดไฟป่าถึง 37,306 ครั้ง ซึ่งคิดเป็น 67.04 % ของอัตราการการเกิดไฟป่าในประเทศไทย โดยจังหวัดที่มีการเกิดไฟป่ามากที่สุดคือ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีจำนวนการเกิดไฟป่าสูงถึง 14,306 ครั้ง คิดเป็น 25.71 % ของอัตราการเกิดไฟป่าในประเทศ

งานวิจัยนี้จะแบ่งข้อมูลอนุกรมเวลาสำหรับสร้างตัวแบบจำลองของวิธีพยากรณ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามข้อมูลที่น่าสนใจ ได้แก่

1) ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่ใช้ปัจจัยทางสภาพอากาศมาเกี่ยวข้อง จะทำการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 2 วิธี คือ วิธีอนุกรมฟูเรียร์แบบตัดตอน (The Truncated Fourier series) และ วิธี Holt-Winters แบบผลบวก (Holt-Winters's additive method)

2) ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ใช้ปัจจัยทางสภาพอากาศมาเกี่ยวข้อง จะทำการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ 4 วิธี โดยการใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรจัดประเภท (Multiple Regression with Categorical Variables), วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลแบบหลายตัวแปร

(Multivariate Polynomial Regression), วิธีการใช้แบบจำลอง SARIMAX (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Explanatory Variable) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธี Holt-Winters แบบผลบวก

เป็นวิธีการพยากรณ์ที่นิยมใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีรูปแบบเป็นฤดูกาล ถูกคิดค้นโดยโฮลท์ วินเทอร์ [3-4] มีการใช้ค่าปรับเรียบ 3 ค่าได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ของการปรับระดับให้เรียบ (Coefficient for The Level Smoothing; α), ค่าสัมประสิทธิ์ของการปรับแนวโน้มให้เรียบ(Coefficient for The Trend Smoothing; β) และค่าสัมประสิทธิ์ของการปรับฤดูกาลให้เรียบ (Coefficient for The Seasonal Smoothing; γ) โดยมีรูปแบบตามสมการที่ 1 – 5

$$s_0 = x_0 \quad (1)$$

$$s_t = \alpha(x_t - c_{t-L}) + (1 - \alpha)(s_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2)$$

$$b_t = \beta(s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (3)$$

$$c_t = \gamma(x_t - s_{t-1} - b_{t-1}) + (1 - \gamma)c_{t-L} \quad (4)$$

$$F_{t+m} = s_t + mb_t + c_{t-L+1+(m-1)mod L} \quad (5)$$

เมื่อ s_t คือ ค่าระดับของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

b_t คือ ค่าแนวโน้มของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

c_t คือ ค่าฤดูกาลของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

x_t คือ ค่าอุปสงค์ ณ เวลา t

α, β และ γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปรับเรียบ โดยที่ $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$ และ $0 \leq \gamma \leq 1$

L คือ จำนวนคาบฤดูกาลของอนุกรมเวลา

m คือ จำนวนเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

F_{t+m} คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+m$

ซึ่งในการศึกษานี้ใช้วิธี Holt-Winters แบบผลบวกเนื่องจากข้อมูลมีเลขศูนย์เป็นจำนวนมาก หากใช้วิธี Holt-Winters แบบผลคูณ อาจส่งผลให้ไม่สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปรับเรียบได้

2.2 อนุกรมฟูเรียร์แบบตัดทอน

อนุกรมฟูเรียร์ หรือ อนุกรมฟูรีเยถูกคิดค้นโดย โฌแซ็ฟ ฟูรีเย นิยมใช้กับอนุกรมที่มีลักษณะเป็นสัญญาณที่มีคาบเป็นระยะ ๆ มีลักษณะเป็นอนุกรมอนันต์ ซึ่งอนุกรมฟูเรียร์แบบตัดทอนสามารถใช้ประมาณค่าของฟังก์ชันในช่วงที่จำกัดได้โดยใช้จำนวน N ตัว ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้อนุกรมฟูเรียร์มีความสามารถในการตามข้อมูลรูปแบบปรากฏการณ์ตามฤดูกาลได้ จึงนำลักษณะเฉพาะนี้มาใช้ในการพยากรณ์ โดยมีรูปแบบเป็นฟังก์ชันตรีโกณมิติตามสมการที่ 6

$$f_N(t) = a_0 + \sum_{n=1}^N \left[a_n \cos\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi nt}{T}\right) \right] \quad (6)$$

เมื่อ a_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์แทนขนาดของเทอมโคไซน์
 b_n คือ ค่าสัมประสิทธิ์แทนขนาดของเทอมไซน์
 T คือ จำนวนคาบเวลาของสัญญาณ

2.3 วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม ในงานวิจัยนี้ได้ทำการใช้การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยทางสภาพอากาศซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ กับจำนวนพื้นที่การเกิดไฟป่าที่เป็นตัวแปรตาม สำหรับใช้ในการพยากรณ์ 2 ประเภท ได้แก่

1) การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรจัดประเภทเป็นการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น โดยศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป มีรูปแบบสมการถดถอยดังสมการที่ 7

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \varepsilon \quad (7)$$

เมื่อ Y คือ ค่าของตัวแปรตาม

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย

X คือ ค่าของตัวแปรอิสระ

2) การวิเคราะห์ด้วยการถดถอยแบบโพลีโนเมียลแบบหลายตัวแปร เป็นการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้ง โดยศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป มีรูปแบบสมการถดถอยดังสมการที่ 8

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1^2 + \beta_4 X_2^2 + \beta_5 X_1 X_2 + \dots + \varepsilon \quad (8)$$

เมื่อ Y คือ ค่าของตัวแปรตาม

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย

X คือ ค่าของตัวแปรอิสระ

2.4 ตัวแบบจำลอง SARIMAX

เป็นแบบจำลองที่ถูกพัฒนามาจากแบบจำลอง ARIMA ของ Box และ Jenkins [5] ซึ่งเป็นวิเคราะห์อนุกรมเวลาเพื่อใช้ในการพยากรณ์จากการสังเกตข้อมูลในอดีตและวิเคราะห์แนวโน้มในอนาคต ซึ่งตัวแบบจำลอง SARIMAX มีการใช้พารามิเตอร์ของฤดูกาลและปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการพยากรณ์ โดยมีรูปแบบดังสมการที่ 9

$$\begin{aligned} \theta(L)^p \phi(L)^q \Delta^d \Delta_s^D y_t &= \Phi(L)^q \phi(L)^q \Delta^d \Delta_s^D \varepsilon_t \\ &+ \sum_{i=1}^n \beta_i X_t^i \end{aligned} \quad (9)$$

เมื่อ p คือ จำนวนระยะห่างของข้อมูลในอดีตจากปัจจุบัน

q คือ จำนวนระยะห่างของค่าคลาดเคลื่อนในอดีตจากปัจจุบัน

P คือ จำนวนระยะห่างของข้อมูลฤดูกาล s ในอดีตจากปัจจุบัน

Q คือ จำนวนระยะห่างของค่าคลาดเคลื่อนของฤดูกาล s ในอดีตจากปัจจุบัน

n คือ จำนวนตัวแปรปัจจัยภายนอก

θ คือ พารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

ϕ คือ พารามิเตอร์ของค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ของฤดูกาล s

Φ คือ พารามิเตอร์ของ Autoregressive Parameter

$\emptyset$ คือ พารามิเตอร์ของ Autoregressive Parameter ของฤดูกาล
 L คือ ตัวดำเนินการล่าช้า (Lag Operator)
 L^s คือ ตัวดำเนินการล่าช้าของฤดูกาล s
 Δ คือ ตัวดำเนินการรวม (Integration Operator)
 Δ_s คือ ตัวดำเนินการรวมของฤดูกาล s
 β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระตัวที่ i
 X_t^i คือ ค่าของตัวแปรอิสระตัวที่ i ณ เวลา t
 y_t คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลา ณ เวลา t
 ϵ_t คือ ค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลา t

2.5 วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

เป็นศาสตร์ด้านปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการหาคำตอบ โดยเลียนแบบจากสมองของมนุษย์ เป็นการเรียนรู้ผ่านตัวอย่างโดยการป้อนข้อมูลนำเข้า และข้อมูลออก โดยความแม่นยำของค่าประมาณที่ออกมาจะขึ้นอยู่กับจำนวนโหนด (Node) ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลย่อยจำนวนชั้นของโครงข่าย (Layer) ค่าน้ำหนักของเส้นประสาท (Weight) รวมถึงข้อมูลนำเข้าทำให้ตัวแบบจำลองมีความแตกต่างได้อย่างไม่จำกัด มีรูปแบบสมการดังสมการที่ 10 – 11

$$a_i^k = g(\sum_i^n \sum_j^m \theta_{ij}^{k-1} x_j) \quad (10)$$

$$h_\theta(x) = a_i^n = g(\sum_i^n \sum_j^m \theta_{ij}^{n-1} x_j) \quad (11)$$

เมื่อ θ_{ij} คือ ค่าน้ำหนักที่ถูกส่งผ่านจากโหนด j ในชั้นก่อนหน้าไปโหนด i ในชั้นปัจจุบัน

X คือ ค่าเวกเตอร์ของข้อมูลนำเข้า

a คือ ค่าเวกเตอร์ของข้อมูลเอาต์พุต

n คือ ลำดับชั้นปัจจุบัน

$h_\theta(x)$ คือ ค่าพยากรณ์ที่เลือกจากข้อมูลเอาต์พุต

2.6 การเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ด้วยค่า RMSE (Root Mean Square Error)

ในการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์จะพิจารณาจากเกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ ตัวแบบใด

ที่มีค่า RMSE ที่ต่ำที่สุดจะเป็นตัวแบบพยากรณ์ที่ดีที่สุด มีสมการดังสมการที่ 12

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (12)$$

เมื่อ RMSE คือ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

P_i คือ ค่าประมาณการของอนุกรมเวลาตัวที่ i

O_i คือ ค่าสังเกตของอนุกรมเวลาตัวที่ i

n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการคาดการณ์

2.7 ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางสภาพอากาศกับการเกิดไฟฟ้าในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยเดียวที่สร้างสมการถดถอยได้ [6] การพยากรณ์อนุกรมเวลานั้น ปัจจัยอื่น ๆ ที่คาดว่าจะมีอิทธิพลกับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์จะทำให้ความแม่นยำของการพยากรณ์มากกว่าตัวแปรพยากรณ์ตัวแปรเดียว [7] ซึ่ง A.E. Hessel ได้ทำการวิเคราะห์แล้วพบว่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม เป็นปัจจัยทางสภาพอากาศที่มีผลต่อการเกิดไฟฟ้า [8] ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยมีลักษณะภูมิอากาศที่มีความชื้นสูง เนื่องจากอยู่ในเขตร้อนชื้นอีกทั้งพื้นที่การเกิดไฟฟ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากการเผา ซึ่งเป็นปัจจัยที่เกิดขึ้นโดยมนุษย์ และข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์เป็นถูกรวมเป็นข้อมูลรายเดือนและรายปี จึงทำให้ผลการวิเคราะห์แตกต่างกัน [6] การพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นนั้นอาจไม่เหมาะสมกับอนุกรมเวลารูปแบบฤดูกาล เนื่องจากไม่สามารถจับความเคลื่อนไหวจากส่วนประกอบแนวโน้ม และส่วนประกอบของฤดูกาลได้ [9] การใช้ตัวแปรหุ่นฤดูกาลไปจะช่วยให้ประสิทธิภาพให้กับสมการถดถอยในการจับการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบฤดูกาล [10] ปัจจุบันมีการใช้แบบจำลองพยากรณ์มากมายที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์อนุกรมรูปแบบฤดูกาลมาเปรียบเทียบกัน เช่น ตัวแบบจำลอง SARIMA, SARIMAX, Holt-Winters แบบผลคูณ และแบบผลบวก รวมถึงศาสตร์ด้านปัญญาประดิษฐ์อย่างวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในส่วน

ของการวิเคราะห์ด้วยอนุกรมฟูเรียร์ส่วนมากจะใช้
คาดการณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้า และทางด้าน
วิศวกรรมทางแผ่นดินไหว ไม่ค่อยนิยมใช้ในการพยากรณ์
ยอดขายในรูปแบบฤดูกาล [11] การพยากรณ์นั้นการใช้
ปัจจัยภายนอกที่มีความสัมพันธ์กับอนุกรมเวลาให้ผลลัพธ์
ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับการพยากรณ์โดยไม่มีปัจจัยภายนอก
มาเกี่ยวข้อง [12]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

โดยข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ จำนวน
พื้นที่การเกิดไฟฟ้า และสภาพภูมิอากาศซึ่งนำมาใช้เป็น
ปัจจัยที่อาจส่งผลต่อจำนวนพื้นที่ไฟฟ้า ซึ่งได้เก็บรวบรวม
จากข้อมูลสถิติการเกิดไฟฟ้าของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์
ป่า และพืชพันธุ์ ส่วนควบคุมไฟฟ้า และข้อมูลสถิติสภาพ
ภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี
พ.ศ. 2552 ถึงเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2562 รวมทั้งสิ้น
3925 ข้อมูล ซึ่งข้อมูลปัจจัยภายนอกอย่างสภาพอากาศที่
นำมาใช้ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Temperature) มีหน่วย
เป็นองศาฟาเรนไฮต์ (°F), อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew
Point) มีหน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์ (°F), ค่าความชื้น
(Humidity) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%), ความเร็วลม
(Wind Speed) มีหน่วยเป็นเมตรต่อชั่วโมง (mph) และ
ค่าความกดอากาศ (Pressure) มีหน่วยเป็นปรอท (Hg)
โดยข้อมูลแต่ละตัวจะแบ่งออกเป็น 3 ค่า คือ ค่าสูงสุด
(Max) ค่าเฉลี่ย (Average) และค่าต่ำสุด (Min) เพื่อ
นำมาใช้ในการพยากรณ์จำนวนพื้นที่ที่ถูกไฟฟ้า ซึ่งมีหน่วย
เป็นจำนวนไร่ ซึ่งข้อมูลสภาพอากาศแสดงตัวอย่างดัง
ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลสภาพอากาศรายวัน

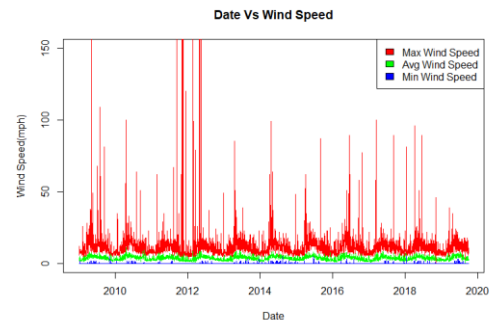
Date	Max Temp (F)	Avg Temp (F)	Min Temp (F)	Max Dew Point(F)	Avg Dew Point(F)	Min Dew Point(F)
1/1/2009	82	72.1	63	63	59.8	55
2/1/2009	77	71	66	63	61	57
3/1/2009	82	72.1	66	63	60.2	55
4/1/2009	82	71	61	73	59.2	54
5/1/2009	82	70.8	59	61	57.4	50
6/1/2009	82	70.5	61	61	57.7	50
7/1/2009	84	70.2	63	59	56.4	48
8/1/2009	82	69.4	59	59	55.5	50

3.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleansing)

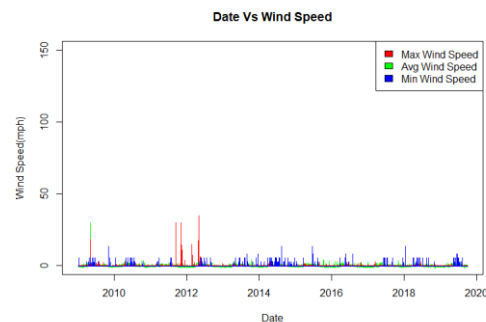
เนื่องจากข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมาไม่ครบถ้วน
และข้อมูลบางอย่างที่ผิดพลาด เช่น การมีข้อมูลบางค่าที่
สูญหาย (Missing Value) หรือข้อมูลบางตัวที่อยู่นอกกลุ่ม
(Outlier) จึงได้นำทฤษฎีการทำความสะอาดข้อมูลซึ่งเป็น
กระบวนการในการแก้ไขข้อมูลผิดพลาด เช่นการใส่
ค่าเฉลี่ย (Mean) ลงในค่าของข้อมูลที่สูญหาย การทำ
ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน (Standardizing) ซึ่งเป็น
การแก้ไขข้อมูลที่มีความกว้างที่ไม่เท่ากันให้มาอยู่ในรูป
ของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน คำนวณได้จาก
สมการที่ 13 และตัวอย่างกราฟข้อมูลก่อนและหลังทำ
Standardized แสดงดังรูปที่ 1-2

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (13)$$

เมื่อ X คือ ข้อมูลที่ต้องการทำ Standardized
 μ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล
 σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



รูปที่ 1 ตัวอย่างกราฟข้อมูลของความเร็วลมก่อนทำ
Standardized



รูปที่ 2 ตัวอย่างกราฟข้อมูลของความเร็วลมหลังทำ
Standardized

รูปที่ 5 ตัวอย่างการคำนวณพารามิเตอร์สำหรับอนุกรมฟูเรียร์แบบตัดทอน

ตารางที่ 3 ค่า RMSE ของอนุกรมฟูเรียร์แบบตัดทอน

Variable	RMSE
RMSE 3 เดือน	186.3560544
RMSE 6 เดือน	140.9722406
RMSE 1 ปี	99.27195697
RMSE 1 ปี 9 เดือน	147.2478356

3.5.3 การพยากรณ์ด้วยการถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรจัดประเภท

การสร้างตัวแบบจำลองพยากรณ์ด้วยการถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรจัดประเภทจากโปรแกรม R studio โดยใช้ตัวแปรจัดประเภทในรูปแบบของเดือน จะแบ่งการสร้างสมการออกเป็น 4 แบบคือ การสร้างการถดถอยแบบเต็มรูป (Full Model) แสดงดังตารางที่ 4, การสร้างการถดถอยแบบลดรูป (Reduced Model), การสร้างการถดถอยแบบลดรูปแบบมี K-Fold Cross Validation และการสร้างการถดถอยแบบลดรูปแบบมี Repeated K-Fold Cross Validation

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการถดถอยแบบเต็มรูประหว่างปัจจัยสภาพอากาศกับพื้นที่ไฟป่า

Coefficients:	Estimate	Pr(> t)
(Intercept)	2.57E+01	8.41E-08
Max.Temperature....F.	-7.73E+00	0.000128
Avg.Temperature....F.	1.84E+02	< 2.00E-16
Min.Temperature....F.	-2.46E+01	4.89E-09
Max.Dew.Point....F.	5.60E+00	0.051747
Avg.Dew.Point....F.	-2.61E+02	< 2.00E-16
Min.Dew.Point....F.	2.93E+01	2.42E-07
Max.Humidity....	-2.70E+01	< 2.00E-16
Avg.Humidity....	2.16E+02	< 2.00E-16
Min.Humidity....	-7.69E+00	0.046249
Max.Wind.Speed...mph.	-2.41E-01	0.844327
Avg.Wind.Speed...mph.	2.37E-01	0.870545
Min.Wind.Speed...mph.	-9.93E-03	0.992593
Max.Pressure...Hg.	-3.48E-01	0.712637
Avg.Pressure...Hg.	-1.93E+00	0.350948
Min.Pressure...Hg.	1.68E+00	0.254858
Month02	2.28E+01	7.39E-06
Month03	1.03E+02	< 2.00E-16
Month04	-7.22E+00	0.284141
Month05	-2.64E+01	0.000165
Month06	-7.49E+00	0.299014
Month07	-3.46E+00	0.628467
Month08	-2.95E+00	0.674405
Month09	-1.51E+00	0.827491
Month10	4.36E+00	0.483658
Month11	4.19E+00	0.443781
Month12	5.95E+00	0.21058

จากตารางที่ 4 เนื่องจากมีปัจจัยทางสภาพอากาศ และตัวแปรจัดประเภทบางตัวมีค่า p-value ที่มากกว่า 0.05 จึงทำการลดรูปด้วยวิธี Stepwise เพื่อคัดเลือกและตัดตัวแปรโดยการตรวจสอบระดับนัยสำคัญ และยังคงตัวแปรจัดประเภทไว้เหมือนเดิมสำหรับการถดถอยแบบลดรูป และทำการลดรูปด้วยวิธี Stepwise ของตัวแปรจัดประเภทสำหรับการถดถอยแบบลดรูปโดยมีการตรวจสอบไขว้ แสดงดังตารางที่ 5 และสรุปค่า RMSE ที่ได้จากการพยากรณ์ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการถดถอยแบบลดรูปโดยมีการตรวจสอบไขว้ระหว่างปัจจัยสภาพอากาศกับพื้นที่ไฟฟ้า

Coefficients:	Estimate	Pr(> t)
(Intercept)	2.26E+01	<2.00E-16
Max.Temperature....F.	-7.88E+00	9.09E-05
Avg.Temperature....F.	1.85E+02	<2.00E-16
Min.Temperature....F.	-2.46E+01	2.57E-09
Max.Dew.Point....F.	5.46E+00	5.68E-02
Avg.Dew.Point....F.	-2.63E+02	<2.00E-16
Min.Dew.Point....F.	2.99E+01	8.09E-08
Max.Humidity....	-2.68E+01	<2.00E-16
Avg.Humidity....	2.18E+02	<2.00E-16
Min.Humidity....	-8.14E+00	3.15E-02
Month02	2.54E+01	9.68E-09
Month03	1.07E+02	<2.00E-16
Month05	-2.17E+01	4.32E-09
Month10	6.32E+00	8.15E-02
Month11	5.61E+00	1.31E-01
Month12	6.79E+00	9.40E-02

ตารางที่ 6 ค่า RMSE ของการถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรจัดประเภท

Method	RMSE			
	3 เดือน	6 เดือน	1 ปี	1 ปี 9 เดือน
Full model	91.98635	76.80512	55.18481	144.1421
Reduced model	92.113	76.89221	55.25577	144.0143
Reduced model K5	92.24924	76.77547	55.16708	143.8217
Reduced model RcvK10	92.24924	76.77547	55.16708	143.8217

3.5.4 การพยากรณ์ด้วยการถดถอยแบบโพลิโนเมียลแบบหลายตัวแปร

การสร้างตัวแบบจำลองพยากรณ์ด้วยการถดถอยแบบโพลิโนเมียลแบบหลายตัวแปรจะแบ่งการสร้างสมการออกเป็น 4 แบบจากการถดถอยแบบพหุคูณ ที่มีตัวแปรจัดประเภทโดยมีการเพิ่มสมการกำลังสอง (Quadratic) และส่วนที่เป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ 2 ตัว (interaction) สรุปค่า RMSE ที่ได้จากการพยากรณ์ได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่า RMSE ของการถดถอยแบบโพลิโนเมียลแบบหลายตัวแปร

Method	RMSE			
	3 เดือน	6 เดือน	1 ปี	1 ปี 9 เดือน
Full model	93.33195	78.93754	55.88681	145.9292
Reduced model	93.99207	79.06667	56.09014	145.0891
Reduced model with K5	93.59851	78.94547	56.09811	144.828
Reduced model with RcvK10	93.59851	78.94547	56.09811	144.828

3.5.5 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบจำลอง SARIMAX

การพยากรณ์ด้วยวิธี SARIMAX เป็นเทคนิคทางอนุกรมเวลาที่ต้องทดสอบความนิ่งของอนุกรม (Stationary test) ก่อนนำมาสร้างแบบจำลอง การศึกษาครั้งนี้ทำการทดสอบความนิ่ง ด้วยวิธี ADF unit root ของ Dickey and Fuller [14] โดยกำหนดสมมติฐานหลักในการทดสอบ (Null Hypothesis: H0) คือ อนุกรมเวลาไม่มีความนิ่ง ผลการทดสอบดังรูปที่ 6 พบว่าค่า P-value สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้

Augmented Dickey-Fuller Test
data: Area
Dickey-Fuller = -6.577, Lag order = 14, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary

รูปที่ 6 ผลการทดสอบความนิ่งของอนุกรมด้วยวิธี ADF unit root

จากนั้นทำมาสร้างแบบจำลอง SARIMAX โดยใช้ปัจจัยภายนอกจากสมการถดถอยแบบลดรูปด้วยโปรแกรม R studio โดยมีวิธีคัดเลือกตัวแบบจำลองจากค่า Akaike

information criterion (AIC) ที่น้อยที่สุด โดยคัดเลือกมาทั้งหมด 6 ตัวแบบ สรุปค่า RMSE ที่ได้จากการพยากรณ์ได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่า RMSE ของการแบบจำลอง SARIMAX

Method	RMSE			
	3 เดือน	6 เดือน	1 ปี	1 ปี 9 เดือน
SARIMAX(3,0,1)(0,1,0)	181.6291	135.3868	95.39092	141.4235
SARIMAX(3,0,2)(0,1,0)	181.6845	135.4304	95.42068	141.4462
SARIMAX(4,0,1)(0,1,0)	181.6222	135.3809	95.38683	141.4179
SARIMAX(5,0,1)(0,1,0)	181.6247	135.3828	95.38794	141.418
SARIMAX(4,0,2)(0,1,0)	181.6175	135.3775	95.38458	141.4177
SARIMAX(5,0,5)(0,1,0)	181.5213	135.2967	95.33204	141.3259

3.5.6 การพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้โปรแกรม R studio โดยมีข้อมูลนำเข้าเป็นปัจจัยสภาพอากาศจากสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบและแบบลดรูป เพื่อมาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองคือ จำนวนโหนดเท่ากับ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 และอัตราเรียนรู้ (Learning Rate) เท่ากับ 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 และ 1 โดยแบบจำลองจะถูกเลือกจากค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่า RMSE ต่ำสุดมาใช้ สรุปค่าพารามิเตอร์ และ RMSE ที่ได้จากการพยากรณ์ได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่า RMSE ของวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

Neural Network Method (size,decay)	RMSE			
	3 เดือน	6 เดือน	1 ปี	1 ปี 9 เดือน
Full Model (30,0.05)	106.3965	87.55564	62.2416	147.4387
Full Model K5 (30,0.4)	97.2116	86.10667	64.74964	150.9985
Full Model RcvK10 (35,1)	100.4768	84.23596	60.65833	150.1992
Reduced Model (30,0.4)	102.2462	84.34666	60.16941	145.2222
Reduced Model K5 (25,0.8)	97.52495	81.41748	58.18625	143.1615
Reduced Model RcvK10 (35,1)	98.30117	84.77458	59.98173	145.9034

3.5.7 การพัฒนาแบบจำลอง

หลังจากสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการพยากรณ์ผลลัพธ์บางค่าที่ได้ออกมาจะมีค่าน้อยกว่า 0 ซึ่งจากข้อมูลพื้นที่ไฟป่าจะเห็นว่าไม่มีค่าใดที่มีค่าน้อยกว่า 0 จึงต้องทำการพัฒนาแบบจำลอง โดยวิธีที่ใช้คือการใช้ฟังก์ชันที่เรียกว่า Rectified Linear Unit (ReLU) โดยมีรูปแบบสมการดังสมการที่ 14

$$f(x) = \max(0, x) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } x \leq 0 \\ x & \text{เมื่อ } x > 0 \end{cases} \quad (14)$$

เมื่อ x คือ ค่าพยากรณ์

4. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ของอนุกรมเวลารูปแบบฤดูกาลที่มีเลขศูนย์จำนวนมากโดยใช้ข้อมูลจำนวนพื้นที่การเกิดไฟป่า และข้อมูลสภาพอากาศ ด้วยการสร้างแบบจำลองทั้ง 6 แบบ ได้แก่ วิธีอนุกรมฟูเรียร์แบบตัดทอน, วิธี Holt-Winters แบบผลบวก, วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณที่มีตัวแปรจัดประเภท, วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบโพลีโนเมียลแบบหลายตัวแปร, วิธีการใช้แบบจำลอง SARIMAX และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

จากทดลองพบว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบให้ค่า RMSE ที่ต่ำสุดในการพยากรณ์ช่วง 3 เดือน เท่ากับ 91.98635 สมการถดถอยแบบลดรูปโดยใช้การตรวจสอบไขว้ ให้ค่า RMSE ต่ำสุดในการพยากรณ์ช่วง 6 เดือน เท่ากับ 76.77547 และ 1 ปี เท่ากับ 55.16708 และพบว่ารูปแบบวิธีของการตรวจสอบไขว้ที่แตกต่างกันให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันในการสร้างสมการถดถอยแบบเต็มรูปแบบและแบบลดรูป ในส่วนของการพยากรณ์ในช่วง 1 ปี 9 เดือนนั้น แบบจำลอง SARIMAX (5,0,5)(0,1,0) ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุดเท่ากับ 141.3259 จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลกระทบต่ออนุกรมเวลาให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีพยากรณ์โดยไม่ใช้ปัจจัยภายนอกมาเกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพยากรณ์จำนวนพื้นที่ไฟป่าในแต่ละจังหวัดเนื่องจากมีรูปแบบอนุกรมที่คล้ายคลึงกัน ทั้งนี้ผลลัพธ์ของวิธีการ

พยากรณ์อาจได้ผลที่แตกต่างกันเนื่องจากปัจจัยด้านสภาพอากาศของแต่ละจังหวัดนั้นมีความแตกต่างกัน อีกทั้งข้อมูลปัจจัยทางสภาพอากาศบางค่ามีการสูญหายซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ในการพยากรณ์เนื่องจากการวัดความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์นั้นเป็นการใช้ข้อมูลทดสอบในการวัดซึ่งเป็นการทราบค่าของปัจจัยทางสภาพอากาศที่นำมาใช้ล่วงหน้า หากนำมาใช้จริงต้องทำการพยากรณ์ปัจจัยทางสภาพอากาศก่อน ซึ่งในการพยากรณ์ปัจจัยทางสภาพอากาศในระยะยาวนั้น อาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่อการพยากรณ์จำนวนพื้นที่ไฟป่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมิทธิ ธรรมสโรช, “เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อศึกษาภัยพิบัติทางธรรมชาติในประเทศไทย,” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, ปีที่ 19, ฉบับที่ 2, น. 182, 2557.
- [2] สำนักป้องกัน ปรามปราม และควบคุมไฟป่า, “การพยากรณ์สถานการณ์ไฟป่า,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.dnp.go.th/forestfire/firepredict/Fab%2052/9-16Fab52.htm>. [วันที่ เข้าถึง 2 กุมภาพันธ์ 2564].
- [3] C. C. Holt, "Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages," *International Journal of Forecasting*, vol. 20, no.1, pp. 5-10, 2004.
- [4] P. R. Winters, "Forecasting sales by exponentially weighted moving averages," *Management Science*, vol.6, no. 3, pp. 324-342, 1960.
- [5] G. E. P. Box, G. M. Jenkins and G. C. Reinsel, "Time Series Analysis; Forecasting and Control. 3rd Edition", Prentice Hall, Englewood Cliff, New Jersey, 1994.
- [6] P. Thanadolmethaphorn, et al., “การวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อศักยภาพการเกิดไฟป่าในจังหวัดเชียงใหม่โดยใช้แบบจำลองการถดถอย,” *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 28, no. 4, 2018.
- [7] นิฉา แก้วหาญ, “การพยากรณ์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยโดยใช้ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบการถดถอยที่มีความคลาดเคลื่อนเป็นตัวแบบ ARMA,” *Thai Journal of Science and Technology*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, น. 34, 2558
- [8] A. E. Hesel, “Pathway for climate change effects on fire: models, data, and uncertainties,” *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, vol. 35, no. 3, pp. 393-407, 2011.
- [9] รณชัย ชื่นธวัช, "การวิเคราะห์อนุกรมเวลาของข้อมูลหน่วยจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อค้นหาตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมด้วยภาษาอาร์," *วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 3, 2559.
- [10] C. Jatuporn and P. Sukprasert, “Forecasting models for rubber production and export quantity of Thailand,” *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol. 44, no. 2, pp. 219-228, 2016
- [11] A. Fumi et al., "Fourier analysis for demand forecasting in a fashion company," *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 5, 2013
- [12] P. Kritharas, "Developing a SARIMAX model for monthly wind speed forecasting in the UK," Ph.D. thesis, Dept Eng. ,Loughborough Univ. , Loughborough, England, 2013.
- [13] สถาพร โอภาสานนท์, “การพยากรณ์อุปสงค์โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์มากกว่าหนึ่งวิธี,” *วารสารบริหารธุรกิจ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 127, 2553.
- [14] D. Dickey and W. A. Fuller., “Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root,” *Econometrica*, vol. 49, pp. 1057-1072, 1981.

การพัฒนาการวิเคราะห์กระบวนการตรวจสอบภายใน โดยใช้เทคนิคเหมืองกระบวนการและการเรียนรู้ของเครื่อง

กฤษณพงศ์ วิมลสุข¹ วรพล พงษ์เพชร²

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ 148 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

Received: 11 June 2021; Revised: 28 October 2021; Accepted: 8 November 2021

บทคัดย่อ

การติดตามการดำเนินงานและพัฒนากระบวนการทำงานของงานตรวจสอบภายใน (Internal Audit Process) ให้มีความรวดเร็ว ทันต่อสถานการณ์ และสะท้อนการดำเนินงานอย่างแท้จริง เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารจัดการหน่วยงานที่ดี แต่การติดตามและพัฒนาการดำเนินงานบนโต๊ะประชุมแบบเดิมอาจทำได้ยากและไม่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งมักใช้ประสบการณ์และความรู้สึกของผู้บริหารแก้ปัญหา หรือใช้ข้อมูลที่คาดการณ์ขึ้นเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะสะท้อนการทำงานที่แท้จริง และไม่สามารถแก้ไขจุดบกพร่องต่าง ๆ ได้ตรงจุด งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการใช้เทคนิคเหมืองกระบวนการ (Process Mining) ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ Event Log ซึ่งเป็นกรณีศึกษาเดียวจากระบบสารสนเทศของระบบบริหารจัดการตรวจสอบภายใน เพื่อหาแนวทางพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบภายในให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยจะใช้เทคนิค K-Mean Clustering ในการจัดกลุ่ม Event Log ที่มีลักษณะคล้ายกันก่อนแล้วจึงนำไปทำ Process Discovery เพื่อสร้าง Process Model ที่ต้องการ ซึ่งการวัดประสิทธิภาพของ Process Model ที่ได้ จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความสอดคล้องของกระบวนการ (Process Conformance) หรือ Fitness Score และจึงสามารถนำไปวิเคราะห์แนวทางปรับปรุงกระบวนการทำงาน ลดการทำงานซ้ำซ้อน ปรับปรุงการแจกจ่ายงาน และแนวทางพัฒนาระบบงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เหมืองกระบวนการ การเรียนรู้ของเครื่อง การพัฒนากระบวนการ เทคนิคเหมืองข้อมูลแบบอุปนัย

* Corresponding author. E-mail: worapol@as.nida.ac.th

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาการวิเคราะห์ธุรกิจและวิทยาการข้อมูล คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาการวิเคราะห์ธุรกิจและวิทยาการข้อมูล คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

The Development of Internal Audit Process Analysis using Process Mining and Machine Learning Techniques

Krisanapong Wimonasuk¹ Worapol Pongpech^{*2}

National Institute of Development Administration (NIDA),

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

Received: 11 June 2021; Revised: 28 October 2021; Accepted: 8 November 2021

Abstract

Follow-up and develop the internal audit process to be faster, keep up with the situation and reflect the actual operations, it is part of good organization management. But monitoring and improving operations on traditional conference table can be difficult and inefficient, including often using experiences and feelings of executives to solve problems or using the forecasted information alone may not be sufficient to reflect actual performance and unable to fix various bugs at the point. This research is using of Process Mining and Machine Learning techniques to help analyze event logs, which is a single case study from the internal audit management system to find out guidelines for developing and improving the internal audit process to be more efficient and suitable by using K-Mean Clustering technique to group event logs with similar characteristics and then use it to discover process to create the desired process model. Measure the efficiency of the process model that is obtained using the process conformance analysis technique or Fitness Score. And finally, it can be used to analyze ways to improve work processes, reduce redundant work, improve resource allocation and system development guidelines to be more efficient.

Keywords: process mining, machine learning, process improvement, inductive mining

* Corresponding author. E-mail: worapol@as.nida.ac.th

¹ Master's student in Business Analytics and Data Science, Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

² Assistant Professor in Business Analytics and Data Science, Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

1. บทนำ

การประกอบธุรกิจตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีจุดมุ่งหมายเพื่อสร้างผลประโยชน์ เสริมสร้างการเจริญเติบโตให้กับธุรกิจและส่งเสริมให้ก่อเกิดรายได้ที่เพิ่มมากขึ้น ผลลัพธ์ทั้งหมดนี้ต้องอาศัยกิจกรรมทางธุรกิจ (Business Activities) หลาย ๆ กิจกรรม หลาย ๆ ขั้นตอนเชื่อมโยงกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ บางกิจกรรมอาจเป็นกิจกรรมเฉพาะของส่วนงานนั้น ๆ ในองค์กร แต่บางกิจกรรมอาจเชื่อมโยงข้ามฝ่ายงานที่ทำให้กิจกรรมทางธุรกิจมีความซับซ้อนและมีผู้เกี่ยวข้องมากยิ่งขึ้น การเชื่อมโยงกิจกรรมทางธุรกิจหลาย ๆ อันมารวมกัน เราเรียกรูปแบบของการดำเนินงานเหล่านี้ว่า กระบวนการทางธุรกิจ (Business Process)

ในโลกยุคปัจจุบันโดยเฉพาะองค์กรขนาดใหญ่ กระบวนการทางธุรกิจจะมีความซับซ้อนเกี่ยวข้องกับหลายฝ่ายงานมากยิ่งขึ้น ทำให้องค์กรต้องพยายามพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อมารองรับระบบงานต่าง ๆ มากมาย ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีความเป็นอัตโนมัติ ลดระยะเวลาการทำงาน ลดกำลังคน และช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากมนุษย์ แต่ในความเป็นจริงการใช้ระบบสารสนเทศเข้ามาช่วยยังเกิดปัญหาขึ้นอย่างต่อเนื่องและผู้คนก็ยังมองไม่เห็นทางแก้ไขที่แท้จริงและตรงจุด อันเนื่องมาจากการไม่สามารถวิเคราะห์การไหล (Flow) ของงานได้อย่างชัดเจน เนื่องจากอยู่บนระบบสารสนเทศ อาทิ การเกิดคอขวดของงานหนึ่งในระบบ ทำให้ทั้งระบบงานมีความล่าช้าไปด้วย หรือมีช่องโหว่เกิดขึ้นในระบบทำให้การดำเนินงานไม่เป็นไปตาม Flow ที่ตั้งไว้ (Override) ซึ่งยากต่อการตรวจจับ เป็นต้น

ดังนั้นจึงสามารถสรุปปัญหาทางงานวิจัยได้เป็น 3 ข้อ คือ 1) เนื่องจากกระบวนการถูก Embedded ลงไปในระบบสารสนเทศจึงทำให้ผู้ดูแลยากต่อการติดตาม (Difficult to monitor) 2) การทำงานบนระบบสารสนเทศเก็บและติดตามกิจกรรมการทำงานไว้ใน Log File ซึ่งยากต่อการนำไปวิเคราะห์ (Difficult to analyze realistic data) 3) เมื่อผู้ดูแลระบบพบปัญหาตามข้อ 1) และ 2) แล้ว จึงทำให้การปรับปรุงกระบวนการที่ผ่านมาไม่ตรงจุด (Process improvement is not on point) ที่ผ่านมามีการพยายาม

แก้ไขปัญหาดังกล่าว อาทิ การใช้คนติดตามการทำงาน การใช้ Classical workflow management พวก ERP หรือการบริหารจัดการกระบวนการผ่านการประชุมหรือเอกสารต่าง ๆ แต่ก็ยังไม่ค่อยได้ผลเท่าที่ควร เนื่องจากปัญหาหลักคือไม่มีข้อมูลที่สะท้อนการปฏิบัติงานตามกระบวนการที่เกิดขึ้นจริงเพื่อนำมาวิเคราะห์ หรือ ถึงแม้จะมีข้อมูลจำพวก Event Log แต่ก็ยังไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร

เหมืองกระบวนการ (Process Mining) จึงเป็นเทคนิคที่สามารถสกัดและวิเคราะห์โครงสร้างของกระบวนการ สะท้อนจากการดำเนินงานจริงในระบบ [1] และสามารถเปรียบเทียบกระบวนการที่ได้จาก Model และวางแผนทางพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่ในปัจจุบันให้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถนำเอาเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาช่วยเสริมการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการได้อีกด้วย

ER et al. [2] ได้ใช้ Process Mining เพื่อสร้าง Model ของกระบวนการวางแผนการผลิตโดยใช้ Event log จาก ERP Database และเลือกใช้ Heuristic Miner Algorithm ในการ Discover Model ออกมา Zerbino et al. [3] พบว่า วิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีข้อจำกัดและถูกตั้งคำถามในเรื่องการตรวจจับความเบี่ยงเบน (Deviations) การทุจริต (Frauds) การละเมิด (Abuses) ซึ่งเทคนิค Process mining มีส่วนช่วยในการวินิจฉัยและพัฒนาจุดอ่อนดังกล่าว Tamburis และ Esposito [4] พบว่า Process Mining สามารถทำการจำลอง Discrete Event Simulation (DES) Model ใน Healthcare Process ได้เป็นอย่างดี สามารถนำเสนอระบบจริง (Real System) ที่มีมุมมองแตกต่างออกไปและสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมและลักษณะของระบบได้ Theis et al. [5] ได้นำ Process Mining มาใช้กับข้อมูลประวัติการรักษาที่ผ่านมาของผู้ป่วยเบาหวานโดยแปลงเป็น Event Log เพื่อใช้สร้าง Process Model อธิบายการรักษาในอดีตพิจารณาพร้อมกับอาการปัจจุบันของผู้ป่วย เพื่อให้คะแนนอาการผู้ป่วย (Severity Scores) ในห้องไอซียู (Intensive Care Unit) และคาดการณ์การเสียชีวิตของผู้ป่วย

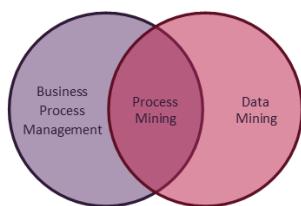
จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ยังไม่พบการนำ Process Mining ไปวิเคราะห์ Event Log เพื่อปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบภายใน (Internal Audit Process)

จึงเป็นที่น่าสนใจว่าจะสามารถนำ Process Mining ไปวิเคราะห์กระบวนการดังกล่าวเพื่อหาข้อมูลเชิงลึก บ่งชี้จุดอ่อน และปรับปรุงกระบวนการให้ดียิ่งขึ้นได้อย่างไร

ในงานวิจัยชิ้นนี้ เราใช้เทคนิคเหมืองกระบวนการ (Process Mining) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ในการค้นหา (Process Discovery) กระบวนการทางธุรกิจโดยการวิเคราะห์จาก Event Log และสร้างตัวแบบของกระบวนการที่เหมาะสม พร้อมทั้งใช้วิเคราะห์ความสอดคล้องของกระบวนการ (Process Conformance) และหาแนวทางในการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น (Process Enhancement) ของกระบวนการตรวจสอบภายใน (Internal Audit Process) จาก Event Log ทั้งหมดของระบบ Internal Audit Management System ขององค์กรกรณีศึกษา ตั้งแต่เริ่มใช้งานจนถึงปัจจุบัน

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

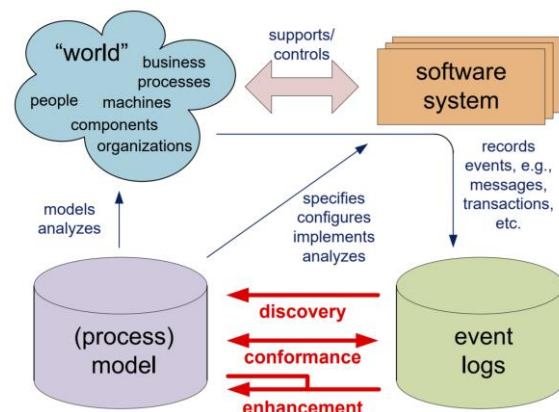
จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อจะนำมาต่อยอดพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบภายใน ขององค์กรกรณีศึกษา โดยจะนำเทคนิคของการจัดทำเหมืองกระบวนการ (Process Mining) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าสามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 1 แนวคิดของ Process Mining [1]

การจัดทำเหมืองกระบวนการ (Process Mining) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้วิเคราะห์กระบวนการในกิจกรรมต่าง ๆ ของธุรกิจ โดยแนวคิดจะซ้อนทับอยู่ระหว่างแนวคิดด้านการบริหารจัดการกระบวนการ (Business Process Management) และแนวคิดด้านเหมืองข้อมูล (Data Mining) ตามรูปที่ 1 มีจุดมุ่งหมายหลักอยู่ 3 ประการ คือ

- 1) การค้นหา (Process Discovery) กระบวนการทางธุรกิจ
- 2) วิเคราะห์ความสอดคล้องของกระบวนการ (Process Conformance) และ 3) หาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น (Process Enhancement) [1] ตามรูปที่ 2 โดยการวิเคราะห์ระบบจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในระบบสารสนเทศในรูป Event Log โดยมีข้อมูลการดำเนินงานของบุคคลต่าง ๆ ในองค์กรวันเวลาในการดำเนินงาน และหน้าที่รับผิดชอบของผู้ดำเนินงาน เพื่อนำมาสร้างเป็นตัวแบบ (Model) ที่แสดงให้เห็นการทำงานของทั้งกระบวนการ รวมถึงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของบุคลากรและกระบวนการ อาทิ ความล่าช้าและความผิดพลาดของงาน คอขวดที่เกิดขึ้นในระบบ ผู้ที่ทำงานเกินอำนาจหน้าที่ที่มีอยู่ ทั้งหมดเหล่านี้สามารถนำมาวิเคราะห์หาทางแก้ปัญหา ปรับปรุงจุดอ่อนและช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เพื่อก่อให้เกิดการพัฒนากระบวนการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2 การจัดทำเหมืองกระบวนการ [1]

ที่ผ่านมาได้มีการนำเหมืองกระบวนการไปใช้ประโยชน์ อาทิ การหาข้อมูลเชิงลึก (Insight) โดยการทำตัวแบบเพื่อวิเคราะห์กระบวนการในมุมมองต่าง ๆ การจัดทำกระบวนการให้อยู่ในรูปเอกสาร (Document) เพื่อแนะนำทีมงาน หรือใช้ขอใบรับรองต่าง ๆ การตรวจสอบ (Verification) เพื่อหาข้อผิดพลาด (Error) ในระบบหรือกระบวนการ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (Performance Analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้จำลอง (Simulation) เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ Response Times Service Level

เป็นต้น การทำภาพเคลื่อนไหว (Animation) โดยตัวแบบช่วยให้สามารถจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกันออกไป และให้ข้อเสนอแนะแก่ผู้ออกแบบ และตัวแบบยังช่วยในการตั้งค่าของระบบ (System Configuration) อีกด้วย [1]

นอกจากนี้องค์กรธุรกิจยังสามารถนำการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาผสานรวมกับการทำเหมืองกระบวนการ (Process Mining) เพื่อเสริมมุมมองเชิงลึกและส่งผลดียิ่งขึ้นต่อการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการ อาทิ 1) การแบ่งกลุ่มและการจัดหมวดหมู่ (Clustering and Segmentation) โดยใช้ Machine Learning Clustering Algorithms เช่น K-mean Nearest Neighbor เพื่อจัดกลุ่มลูกค้า งานหรือกรณีอื่น ๆ ที่สามารถจัดกลุ่มได้ 2) การพยากรณ์หรือคาดการณ์ (Predictive Analysis) เช่น การพยากรณ์จุดคอขวด (Bottleneck Prediction) เพื่อที่จะได้สามารถป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นในกระบวนการ การพยากรณ์งานถัดไป (Next Task Prediction) โดยใช้ Random Forest Algorithms หรือ LSTM Deep Learning Networks ซึ่งอาจจะใช้ในการหาความเป็นไปได้ที่ลูกค้าจะไปยังหน้าสุดท้าย (Final Checkout Page) เพื่อสั่งซื้อสินค้าในระบบ E-commerce การกำหนดสถานะสุดท้ายของกระบวนการ (Processes Final State Determination) โดยใช้ Classification Algorithms เพื่อหาความเป็นไปได้ที่งานจะสิ้นสุดลงหรือกระบวนการจะสำเร็จ การจัดสรรทรัพยากร (Resource Allocation) โดยใช้ Regression Analysis วิเคราะห์การใช้ทรัพยากรที่กระบวนการต้องการ การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ (Process Variable Dependency Explanation) เพื่อป้องกันปัจจัยในกระบวนการที่มีผลกระทบมากต่อผลลัพธ์สุดท้าย ซึ่งช่วยธุรกิจในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้น 3) การวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Prescriptive Analysis) เช่น การแนะนำงานที่ดีที่สุดที่จะทำต่อไปเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของกระบวนการมากที่สุด หรือ การแนะนำการเพิ่มทรัพยากรในงานหรือลดทรัพยากรที่ไม่มีประสิทธิภาพลงเพื่อลดค่าใช้จ่ายโดยรวม 4) การแนะนำกระบวนการ (Process Recommendation) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ (Efficiency) และความแม่นยำ (Accuracy) ของกระบวนการ

ในด้านธุรกิจถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ โดเมน อาทิ ใช้ในการตรวจสอบด้านการเงิน (Financial Audit) [6]

ใช้ในการตรวจสอบด้านระบบสารสนเทศ (Information Systems Audit) [3] ใช้ในการตรวจสอบและลดการทุจริต (Fraud Detection) [7] ใช้ในวงการแพทย์ [4] ใช้ในการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศในวงการไอที [8] ใช้วิเคราะห์การวางแผนการผลิตในวงการอุตสาหกรรม [2] ใช้วิเคราะห์กระบวนการบรรลุลความคาดหวังของลูกค้า (Customer Fulfilment Business Process) ในวงการโทรคมนาคม [9] ใช้ในการวิเคราะห์ทางเดินของลูกค้าในห้างสรรพสินค้า [10] และใช้พยากรณ์ประสิทธิภาพของการศึกษา [11]

ขั้นเริ่มต้นในการทำเหมืองกระบวนการ ER. et al. [9] กล่าวว่าสิ่งแรกที่ต้องทำคือการเตรียมและดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล ซึ่งก็คือ Event Log เพื่อนำมาบ่งชี้กิจกรรม (Activity) ตาราง (Table) และตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Process ผลที่ได้จากขั้นตอนนี้จะนำมาดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล โดยทั่วไป Event log จะประกอบด้วย 3 ตัวแปรหลักที่บ่งชี้กิจกรรม คือ 1) Identifier หรือ ID 2) ชื่อกิจกรรม (Activities) 3) วันเวลาที่บันทึกการ (Timestamps)

ขั้นที่สอง คือ การจัดทำเหมืองกระบวนการมี Algorithm หลากหลาย อันแรกสุด คือ Alpha Algorithm [12] ต่อมา Medeiros et al. [13] ได้พัฒนา Genetic Process Mining หรือ Genetic Algorithm และยังมี Algorithm อื่น ๆ อาทิ Inductive Miner Fuzzy Miner [14] และ Heuristic miner เป็นหนึ่งใน Algorithm ที่ใช้งานแพร่หลาย [15] และมีความต้านทานต่อสัญญาณรบกวน (Noise) ได้ดี [16] ซึ่งความเหมาะสมของการใช้งานเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การใช้งาน Process Mining Algorithm [17]

Algorithm	When to use
Alpha miner	Not recommended for real-life data.
Heuristic miner	For real-life data with not too many different events.
Fuzzy miner	For complex and unstructured log data or for simplification of the model.
Inductive visual miner	For discovering process delays, deviations, and animation of the model.

ขั้นที่สาม คือ การวิเคราะห์ความสอดคล้องของกระบวนการโดยการเปรียบเทียบ Process Model ที่ค้นพบกับ Event Log ในระบบเพื่อหาเหตุผลของความไม่สอดคล้อง เพื่อนำไปสู่แนวทางแก้ปัญหา และ ขั้นสุดท้าย คือ

การหาแนวทางเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยของงานวิจัยนี้ จะเริ่มจากการเก็บ Event Log จากระบบสารสนเทศของกระบวนการตรวจสอบภายใน นำมาเตรียมข้อมูล (Data Preparation & Cleansing) ทำการสร้าง Process Model จาก Event Log การวิเคราะห์ความสอดคล้อง การปรับปรุงกระบวนการ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และสรุปผลที่ได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 แหล่งที่มาของข้อมูล (Data Source)

ดึงข้อมูล Event Log ระบบบริหารจัดการตรวจสอบภายใน (Audit Management System) จากระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัยศึกษา โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เริ่มใช้งานระบบจนถึงปัจจุบัน จำนวน 49,051 แถว โดยประกอบด้วยงานตรวจสอบทั้งหมด 43 งานตรวจ

3.2 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation & Cleansing)

เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมายังไม่เป็นตามรูปแบบที่ต้องการ อาทิ ไม่มี Case ID มี Activities หลาย ๆ อันที่ค่อนข้างกำกวม Format ในการเก็บข้อมูลลง Event Log มีหลากหลายรูปแบบตามแต่ละผู้พัฒนาระบบโดยไม่เป็นแบบเดียวกัน เป็นต้น และมีข้อมูลขยะหรือที่ไม่ต้องการจำนวนมาก รวมทั้งข้อมูลเกือบครึ่งเป็นกระบวนการที่ยังดำเนินงานไม่สิ้นสุดทำให้ต้องตัดข้อมูลส่วนนั้นทิ้งไป ประกอบกับบางส่วนเป็นข้อมูลที่มีการอ้างถึงบุคคล จึงต้องใช้เวลาในการจัดการข้อมูลค่อนข้างมาก ทำให้ Process Model ก่อนทำ Data Cleansing มีความซับซ้อนและไม่สามารถแปลความได้ ซึ่งหลังจากเตรียมข้อมูลแล้วได้จัดข้อมูลออกมาในรูปแบบข้อมูล 4 คอลัมน์ คือ Case ID Activity Timestamp และ Resource เหลืองานตรวจจำนวน 22 งาน และข้อมูลจำนวน 23,084 แถว

หลังจากนั้นนำข้อมูลไปทำ EDA (Exploring Data Analysis) ในรูปแบบ Dotted Chart เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของ Event Log ในภาพรวม จะเห็นได้ว่า Event Log ที่ได้รับมาจะอยู่ในช่วงปี 2019 ถึง ต้นปี 2021 ซึ่งในปี 2019 มีงานที่ถูกบันทึกลง 1 งาน และ ปี 2020 - 2021 อีก 21 งาน

สาเหตุที่ปี 2019 มีการใช้งานน้อย เนื่องจากเป็นช่วงเริ่มต้นใช้งานระบบใหม่ ๆ และอยู่ระหว่างการอบรมผู้ใช้งาน

4. การสร้างต้นแบบกระบวนการ (Discover Process)

ช่วงก่อนที่จะมีการพัฒนาระบบบริหารจัดการตรวจสอบขององค์กรกรณีศึกษาลงไปสู่ระบบสารสนเทศ ได้มีการออกแบบกระบวนการทำงานไว้ในเอกสาร ดัง รูปที่ 1 ในภาคผนวก ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานในช่วงเวลาที่ผ่านมา ทำให้ในช่วงนั้นผู้บริหารไม่สามารถที่จะติดตามการดำเนินงานได้ครบถ้วนสมบูรณ์ บางงานอาจมีการข้ามขั้นตอนบางอย่างไป หรือเบี่ยงเบนไปจากที่ควรจะเป็น และขาดข้อมูลที่มีความเที่ยงตรง เพื่อนำไปวิเคราะห์ปรับปรุงการทำงานได้

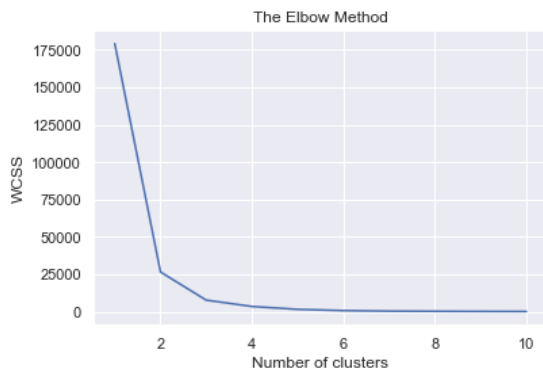
เนื่องจากทีมงานตรวจสอบมีหลายทีม และลักษณะการทำงานมีความต่างกันตามบุคลากรในทีม หรือตามงานตรวจที่ได้รับมอบหมาย ทำให้พฤติกรรมหรือรูปแบบการทำงานแตกต่างกัน ซึ่งทำให้การสร้าง Process Model โดยใช้ Event Log ทั้งหมดอาจจะไม่ครอบคลุมกับพฤติกรรมต่าง ๆ โดย Song et al. [18] ได้ให้คำแนะนำกรณีที่เกิดปัญหาดังกล่าว โดยการใช้ Trace Clustering Approach เพื่อแบ่ง Case ID ออกเป็นกลุ่ม ๆ ในงานวิจัยนี้คือ การแบ่งกลุ่มงานตรวจสอบที่มีพฤติกรรม (Behavior) คล้ายกันออกมา ก่อน โดยต้องทำการสร้าง Profile ขึ้นมาใหม่ดังตัวอย่างในตารางที่ 2 ซึ่งแต่ละ Row จะเป็น Profile Vector ของ 1 Trace ใน Log และใช้ Clustering Algorithm คือ K-mean ในการจัดกลุ่ม

ตารางที่ 2 ตัวอย่าง Activity และ Originator Profile ของ Event Log

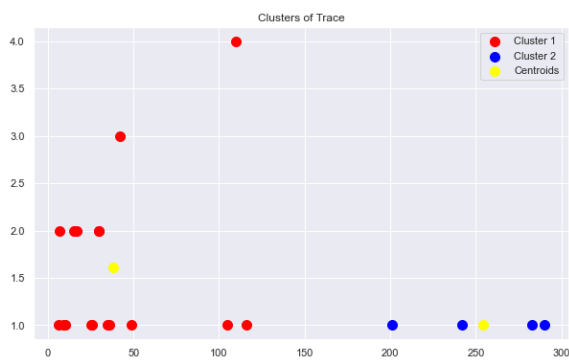
Case_ID	ข้อมูลกิจกรรม (Activity Profile)					ข้อมูลผู้ปฏิบัติงาน (Originator Profile)				
	1	2	3	4	...	A1	A2	A3	A4	...
1	42	1	46	1	12	0	0	0	0	0
2	116	2	101	2	1	0	0	0	0	0
3	30	2	58	2	11	0	0	0	0	0
4	17	2	30	2	9	0	0	0	0	0
5	7	1	9	1	6	0	0	0	0	0

หลังจากทดลองใช้ Profile ดังกล่าวแบ่งกลุ่มโดยใช้ K-Mean Algorithm และใช้ Elbow Method เพื่อหาค่า k ที่เหมาะสม จะได้ k เท่ากับ 2 ดัง รูปที่ 3 และได้ผลลัพธ์

การแบ่งกลุ่มดัง รูปที่ 4 ประกอบด้วย Cluster 1 จำนวน 18 งาน และ Cluster 2 จำนวน 4 งาน



รูปที่ 3 ใช้ Elbow Method ในการหาค่า K ที่เหมาะสม



รูปที่ 4 การแบ่งกลุ่มโดยใช้ K-Mean Clustering

งานวิจัยนี้จะใช้ PM4Py เป็น Library ที่ใช้ทำเหมืองกระบวนการใน Python โดยที่ PM4Py จะทำงานร่วมกับไฟล์ในรูปแบบ CSV, Standard Pandas Dataframe และ XES format ซึ่งจะ Export ข้อมูลออกจาก Database ในรูป CSV File และใช้ Log Converter Object ในการอ่านไฟล์และแปลงให้อยู่ในรูปแบบ Pandas Dataframe และทำการกำหนด Column ที่จะใช้ให้ถูกต้อง (ID, Activity, Timestamp) ก่อนจะแปลงอีกครั้งให้อยู่ในรูปแบบ Log Format ที่ PM4Py เข้าใจ

เมื่อเตรียมข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนของการทำเหมืองกระบวนการเพื่อที่จะค้นหา Process Model โดยใช้ PM4Py Library [20] ซึ่งงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ Inductive Miner Algorithm ซึ่งมีข้อได้เปรียบตามตารางที่ 3 คือสามารถ Handle Invisible Tasks ได้ Model เป็น Sound และ ถูกใช้งานแพร่หลายที่สุด

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของ Algorithms [19]

Alpha	Alpha+	Heuristic	Inductive
Cannot handle loops of length one and length two	Can handle loops of length one and length two	Takes frequency into account	Can handle invisible tasks
Invisible and duplicated tasks cannot be discovered	Invisible and duplicated tasks cannot be discovered	Detects short loops	Model is sound
Discovered model might not be sound	Discovered model might not be sound	Does not guarantee a sound model	Most used process mining algorithm
Weak against noise	Weak against noise		

ผลที่ได้จากการสร้าง Process Model โดยใช้ Inductive Miner Algorithm จะได้ Cluster 1 และ Cluster 2 ดังรูปที่ 2 และ 3 ในภาคผนวก

4.1 วิเคราะห์ความสอดคล้องของกระบวนการ (Process Conformance)

การวิเคราะห์ความสอดคล้องของกระบวนการเป็นเทคนิคในการเปรียบเทียบระหว่าง Process Model ที่สร้างขึ้นมาจากเหมืองกระบวนการกับ Event Log จากกระบวนการสารถสหายในกระบวนการเดียวกัน มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบว่า Event Log มีความสอดคล้องกับ Model หรือไม่ หรือมีการเบี่ยงเบนจาก Model มากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถหาค่าความสอดคล้องได้จากค่า Fitness ที่ Log Level ตามสมการที่ 1 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิค Token-Bases Replay [21]

$$fitness(L, N) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\sum_{\sigma \in L} L(\sigma) \times m_{N, \sigma}}{\sum_{\sigma \in L} L(\sigma) \times c_{N, \sigma}} \right) + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\sum_{\sigma \in L} L(\sigma) \times r_{N, \sigma}}{\sum_{\sigma \in L} L(\sigma) \times p_{N, \sigma}} \right) \quad (1)$$

โดยที่ p = Produced Tokens

c = Consumed Tokens

m = Missing Tokens

r = Remaining Tokens

เมื่อนำ Process Model ที่ได้จากทั้ง 2 Cluster มาเปรียบเทียบกับ Event Log ของแต่ละ Cluster เพื่อหาความสอดคล้องจะพบว่า ค่า Fitness Score ของ Cluster 1 และ Cluster 2 เท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่า Event Log ของงานตรวจทั้ง 22 งานมีความสอดคล้องกับ Process Model ที่สร้างขึ้นจาก Inductive Miner ได้ ตามรูปที่ 5 และสามารถนำ Process Model ที่ได้ดังกล่าวไปวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงกระบวนการต่อไปได้

```
Cluster 1 :
Out[28]: [{'trace_is_fit': True,
          'trace_fitness': 1.0,
          'activated_transitions': [tau_1,
                                   tauSplit_5,
                                   01_Risk Assessment,
                                   skip_14,
                                   skip_15,
                                   01_Risk Assessment,
                                   skip_14,
                                   skip_15]}]

Cluster2 :
Out[18]: [{'trace_is_fit': True,
          'trace_fitness': 1.0,
          'activated_transitions': [tau_1,
                                   skip_6,
                                   01_Risk Assessment,
                                   skip_6,
                                   01_Risk Assessment,
                                   skip_6,
                                   01_Risk Assessment,
                                   skip_6]}]
```

รูปที่ 5 วิเคราะห์ความสอดคล้องของกระบวนการ

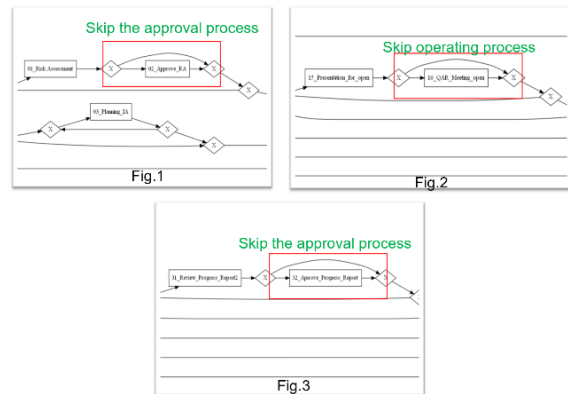
4.2 การหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement)

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลัก คือ การหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการบริหารจัดการตรวจสอบภายในให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งจาก Process Model ที่ได้สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงในเรื่องดังต่อไปนี้

4.2.1 การเบี่ยงเบนจาก Process ต้นแบบ ตาม

รูปที่ 6 ได้ตัดภาพ Flow ของ Process Model ออกมาบางส่วนเพื่อแสดงให้เห็นชัดเจน พบว่า ตาม Fig.1 มี Event Log ที่แสดงว่ามีการข้ามขั้นตอนการอนุมัติการประเมินความเสี่ยงของงานตรวจสอบ Fig.2 มีการข้ามขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Operation Process) ไป 1 ขั้นตอน Fig.3 มีการข้ามขั้นตอนการอนุมัติการรายงานความคืบหน้าการปฏิบัติตามข้อเสนอแนะของงานตรวจสอบ ซึ่งทั้ง 3 ตัวอย่างเป็นการเบี่ยงเบนจาก Process ต้นแบบ ซึ่งมีทั้งการข้ามขั้นตอนการอนุมัติ และการข้ามขั้นตอนการปฏิบัติงาน โดยระบบไม่ได้ถูกตั้งให้ล็อกไว้เมื่อการปฏิบัติงานก่อนหน้ายังไม่แล้วเสร็จ ถึงแม้จะพบเพียงเล็กน้อย แต่ก็ควรมีการปรับปรุง ซึ่งสามารถพิจารณาปรับปรุงได้ใน 2 กรณี คือ 1) ถ้าพิจารณาแล้วเห็นว่ากระบวนการเดิมยังดีอยู่ ก็ควรจะเสนอปรับปรุงระบบงานให้สามารถกำหนดการเรียงลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานได้ เพื่อไม่ให้เกิดการทำงานข้ามขั้นตอน และลด

ความเสี่ยงการปฏิบัติงานในกรณีที่ผู้บังคับบัญชายังไม่ได้อนุมัติ 2) ถ้าพิจารณาแล้วเห็นว่ากระบวนการที่กำหนดไม่มีความยืดหยุ่นเพียงพอกับความคล่องตัวในการปฏิบัติงานก็ควรจะดำเนินงานแก้ไขกระบวนการต้นแบบให้สอดคล้องกับการปฏิบัติงานด้วย



รูปที่ 6 Flow ที่มีการเบี่ยงเบนจาก Process ต้นแบบ

4.2.2 การทำงานซ้ำซ้อน เมื่อพิจารณา Activity

ทั้งหมดในแต่ละ Case แล้ว ตามตารางที่ 4 พบว่า มี Activity ที่มีการทำงานวนซ้ำ ๆ อยู่หลายครั้ง อาทิ การจัดทำกระดาษทำการ (Working Paper) การจัดทำเอกสารวิเคราะห์กระบวนการของงานที่ตรวจ (Process Analysis Document : PAD) การจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ (Audit Report) เป็นต้น ทำให้เกิดคอขวดขึ้นในกระบวนการหรืองานล่าช้า ซึ่งถ้าต้องการวิเคราะห์ว่าทำไม Activities เหล่านั้นจึงทำงานซ้ำ ๆ ต้องลงไปตรวจสอบเชิงลึกถึงการปฏิบัติงานของผู้ตรวจสอบอีกครั้ง เนื่องจากข้อมูลที่ให้มาไม่เพียงพอ

ตารางที่ 4 Activities ที่เกิดซ้ำบ่อยครั้ง

Activity	n	Frequency	Relative Frequency
16. Interviewing	5147	22.27 %	
05. PAD	3,631	14.92 %	
21. Audit Report	1,810	6.22 %	
17. Create Audit Program	1,802	7.51 %	
01. Risk Assessment	1,786	7.38 %	
11. Create Risk Control	1,406	5.21 %	
02. Interviewing	1,386	5.16 %	
15. Interviewing	1,163	4.54 %	
13. Audit Risk Control	970	3.77 %	
20. Review Program Report	871	3.37 %	
26. Review Assessment	822	3.16 %	
09. Sign Confirmation	150	0.58 %	
31. Review Program Report	128	0.50 %	
05. Assign Team	128	0.50 %	

4.2.3 การแจกจ่ายงาน(Resource Allocation)

ที่ไม่ทั่วถึง ก็เป็นอีกประเด็นหนึ่งที่พบ ตามตารางที่ 5 พบว่า มีพนักงานที่ทำงานมากกว่าพนักงานคนอื่น ๆ อยู่มาก จะเห็นได้ว่า จากพนักงานระดับปฏิบัติการทั้งหมด 37 คน มีผู้ที่ทำงานน้อยกว่า 50% ของพนักงานที่ทำงานมากที่สุด 5

อันดับแรก อยู่จำนวน 16 คน และ ยังพบว่าพนักงานที่ทำงานมาก ส่วนใหญ่จะอยู่กลุ่มงานตรวจสอบ IT ซึ่งมีความชำนาญในการใช้ระบบงานมากกว่า สาเหตุหนึ่งที่อาจเป็นไปได้เนื่องจากระบบงานเพิ่งเริ่มใช้งาน ผู้ตรวจสอบด้านอื่น ๆ จึงยังไม่ได้ใช้งานระบบก็เป็นได้ ซึ่งต้องไปตรวจสอบเพิ่มเติม

ตารางที่ 5 Resource allocation

Resource	Frequency	A. Relative frequency
B1	1,307	0.88 %
C1	1,180	0.76 %
A1	1,120	0.72 %
C3	1,120	0.72 %
A2	891	0.57 %
A3	823	0.53 %
A4	823	0.53 %
A5	823	0.53 %
A6	823	0.53 %
A7	823	0.53 %
A8	823	0.53 %
A9	823	0.53 %
A10	823	0.53 %
A11	823	0.53 %
A12	823	0.53 %
A13	823	0.53 %
A14	823	0.53 %
A15	823	0.53 %
A16	823	0.53 %
A17	823	0.53 %
A18	823	0.53 %
A19	823	0.53 %
A20	823	0.53 %
A21	823	0.53 %
A22	823	0.53 %
A23	823	0.53 %
A24	823	0.53 %
A25	823	0.53 %
A26	823	0.53 %
A27	823	0.53 %
A28	823	0.53 %
A29	823	0.53 %
A30	823	0.53 %
A31	823	0.53 %
A32	823	0.53 %
A33	823	0.53 %
A34	823	0.53 %
A35	823	0.53 %
A36	823	0.53 %
A37	823	0.53 %
A38	823	0.53 %
A39	823	0.53 %
A40	823	0.53 %
A41	823	0.53 %
A42	823	0.53 %
A43	823	0.53 %
A44	823	0.53 %
A45	823	0.53 %
A46	823	0.53 %
A47	823	0.53 %
A48	823	0.53 %
A49	823	0.53 %
A50	823	0.53 %
A51	823	0.53 %
A52	823	0.53 %
A53	823	0.53 %
A54	823	0.53 %
A55	823	0.53 %
A56	823	0.53 %
A57	823	0.53 %
A58	823	0.53 %
A59	823	0.53 %
A60	823	0.53 %
A61	823	0.53 %
A62	823	0.53 %
A63	823	0.53 %
A64	823	0.53 %
A65	823	0.53 %
A66	823	0.53 %
A67	823	0.53 %
A68	823	0.53 %
A69	823	0.53 %
A70	823	0.53 %
A71	823	0.53 %
A72	823	0.53 %
A73	823	0.53 %
A74	823	0.53 %
A75	823	0.53 %
A76	823	0.53 %
A77	823	0.53 %
A78	823	0.53 %
A79	823	0.53 %
A80	823	0.53 %
A81	823	0.53 %
A82	823	0.53 %
A83	823	0.53 %
A84	823	0.53 %
A85	823	0.53 %
A86	823	0.53 %
A87	823	0.53 %
A88	823	0.53 %
A89	823	0.53 %
A90	823	0.53 %
A91	823	0.53 %
A92	823	0.53 %
A93	823	0.53 %
A94	823	0.53 %
A95	823	0.53 %
A96	823	0.53 %
A97	823	0.53 %
A98	823	0.53 %
A99	823	0.53 %
A100	823	0.53 %

4.2.4 การพัฒนาระบบงาน งานวิจัยนี้ยังพบปัญหาอย่างมากในเรื่องของ Event Log ที่ได้มาไม่มีความสมบูรณ์ และมีปัญหามากซึ่งได้กล่าวปัญหาไปแล้วในหัวข้อการเตรียมข้อมูล โดยพบว่าเกิดจากการพัฒนาระบบงานทางด้านสารสนเทศที่ยังไม่ได้มาตรฐาน จึงทำให้ไม่ตรงใจผู้ใช้งาน และใช้งานจริงลำบาก รวมทั้งการสร้าง Event Log ของระบบไม่มีมาตรฐาน ขึ้นอยู่กับผู้พัฒนาแต่ละคน จึงทำให้ Log ที่ได้ ใช้ประโยชน์ไม่ได้เต็มที่เท่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงควรปรับปรุงแนวทางการพัฒนาระบบงานสารสนเทศให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นรวมไปทั้งการศึกษาความต้องการของผู้ใช้ให้ถี่ถ้วน และที่สำคัญอีกประการคือการทดสอบระบบให้ครอบคลุมกับความต้องการที่เสนอไป

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้สร้าง Process Model จาก Event Log ของระบบบริหารจัดการตรวจสอบภายในขององค์กรกรณีศึกษา ซึ่งพบว่า กิจกรรมใน Event Log มีส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากกระบวนการหลักเล็กน้อย อาทิ การข้ามขั้นตอนการอนุมัติ การข้ามขั้นตอนการปฏิบัติงาน ซึ่งควรนำไปแก้ไขต่อไป และยังพบว่ากิจกรรมบางกิจกรรมที่มีการวนซ้ำ ๆ กัน ทำให้เกิดคอขวดและความล่าช้าในการปฏิบัติงาน อาทิ การจัดทำกระดาษทำการ การจัดทำเอกสารวิเคราะห์กระบวนการทำงานของผู้รับตรวจ และการจัดทำผลการตรวจสอบ รวมถึงการแจกจ่ายงานที่กระจายงานกันไม่ทั่วถึง งานถูกไหลในผู้รับผิดชอบบางคน สุดท้ายเป็นเรื่องการพัฒนาระบบที่อาจไม่เป็นมาตรฐานและไม่ได้รับการ

ทดสอบระบบที่ดี ทั้งหมดนี้ได้นำเป็นข้อเสนอแนะทางการปรับปรุงระบบบริหารจัดการตรวจสอบภายในให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้ผู้วิจัยคิดว่าสามารถต่อยอดเพิ่มเติมได้โดยการใช้ข้อมูลอื่น ๆ มาประกอบในการวิเคราะห์เพิ่มเติม อาทิ ข้อมูลกำลังคน ข้อมูลแผนการตรวจสอบ ตารางเวลาการปฏิบัติงาน ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เป็นต้น จะสามารถวิเคราะห์ได้ในหลาย ๆ มุมมองมากยิ่งขึ้น และใช้การวิจัยเชิงลึกเจาะลงไปเป็นรายการจาก Event Log ที่มีการเบี่ยงเบนและมีความผิดปกติ ซึ่งคาดว่าจะน่าจะมีส่วนช่วยบ่งชี้ข้อบกพร่องอื่นและหาแนวทางแก้ไขได้ตรงจุดมากยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. v. d. Aalst, "Using process mining to bridge the gap between BI and BPM," *Computer (Long Beach, Calif.)*, vol. 44, no. 12, pp. 77-80, 2011.
- [2] M. ER, S. O. Zayin and F. J. Pamungkas, "ERP post implementation review with process mining: a case of procurement process," *Procedia Computer Science*, vol. 124, pp. 216-223, 2017.
- [3] P. Zerbinio, D. Aloini, R. Dulmin and V. Mininno, "Process-mining-enabled audit of information systems: methodology and an application," *Expert Systems with Applications*, vol. 110, pp. 80-92, 2018.
- [4] O. Tamburis and C. Esposito, "Process mining as support to simulation modeling: a hospital-based case study," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 104, p. 102149, 2020.
- [5] J. Theis, W. Galanter, A. Boyd and H. Darabi, "Improving the In-hospital mortality

- prediction of diabetes ICU patients using a process mining/deep learning architecture," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, p. 1, 2021.
- [6] M. Werner and N. Gehrke, "Multilevel process mining for financial audits," *IEEE Transactions on Services Computing*, vol. 8, no. 6, pp. 820-832, 2015.
- [7] M. Jans, J. M. van der Werf, N. Lybaert and K. Vanhoof, "A business process mining application for internal transaction fraud mitigation," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 10, pp. 13351-13359, 2011.
- [8] S. S. Anreevich and R. V. Aleksandrovich, "System runs analysis with process mining," *Modelirovanie i Analiz Informacionnyh Sistem*, vol. 22, no. 6, p. 818-833, 2016.
- [9] M. ER, H. M. Astuti and A. Nastiti, "Analysis of customer fulfilment with process mining: a case study in a telecommunication company," *Procedia Computer Science*, vol. 72, pp. 588-596, 2015.
- [10] I. Hwang and Y. J. Jang, "Process mining to discover shoppers' pathways at a fashion retail store using a wifi-base indoor positioning system," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 14, no. 4, pp. 1786-1792, 2017.
- [11] R. Umer, T. Susnjak, A. Mathrani and S. Suriadi, "On predicting academic performance with process mining in learning analytics," *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, vol. 10, no. 2, pp. 160-176, 2017.
- [12] W. V. D. Aalst, *Process mining : data science in action*, New York: Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [13] A. K. A. D. Medeiros, A. J. M. M. Weijters and W. M. P. van der Aalst, "Genetic process mining: an experimental evaluation," *Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 14, no. 2, pp. 245-304, 2007.
- [14] M. Bozkaya, J. Gabriels and J. M. v. d. Werf, "Process Diagnostics: A Method Based on Process Mining," in *2009 International Conference on Information, Process, and Knowledge Management*, Mexico, 2019.
- [15] E. Rojas, J. Munoz-Gama, M. Sepúlveda and D. Capurro, "Process mining in healthcare: a literature review," *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 61, pp. 224-236, 2016.
- [16] A. Weijters, W. van der Aalst and A. A. D. Medeiros, "Process mining with the heuristics miner algorithm," *Technische Universiteit Eindhoven, Tech. Rep.*, vol. 166, pp. 1-34, 2006.
- [17] P. Kröckel and F. Bodendorf, "Process mining of football event data: a novel approach for tactical insights into the game," *Frontiers in Artificial Intelligence*, vol. 3, p. 47, 2020.
- [18] M. Song, C. W. Günther and W. M. P. van der Aalst, "Trace Clustering in Process Mining," in

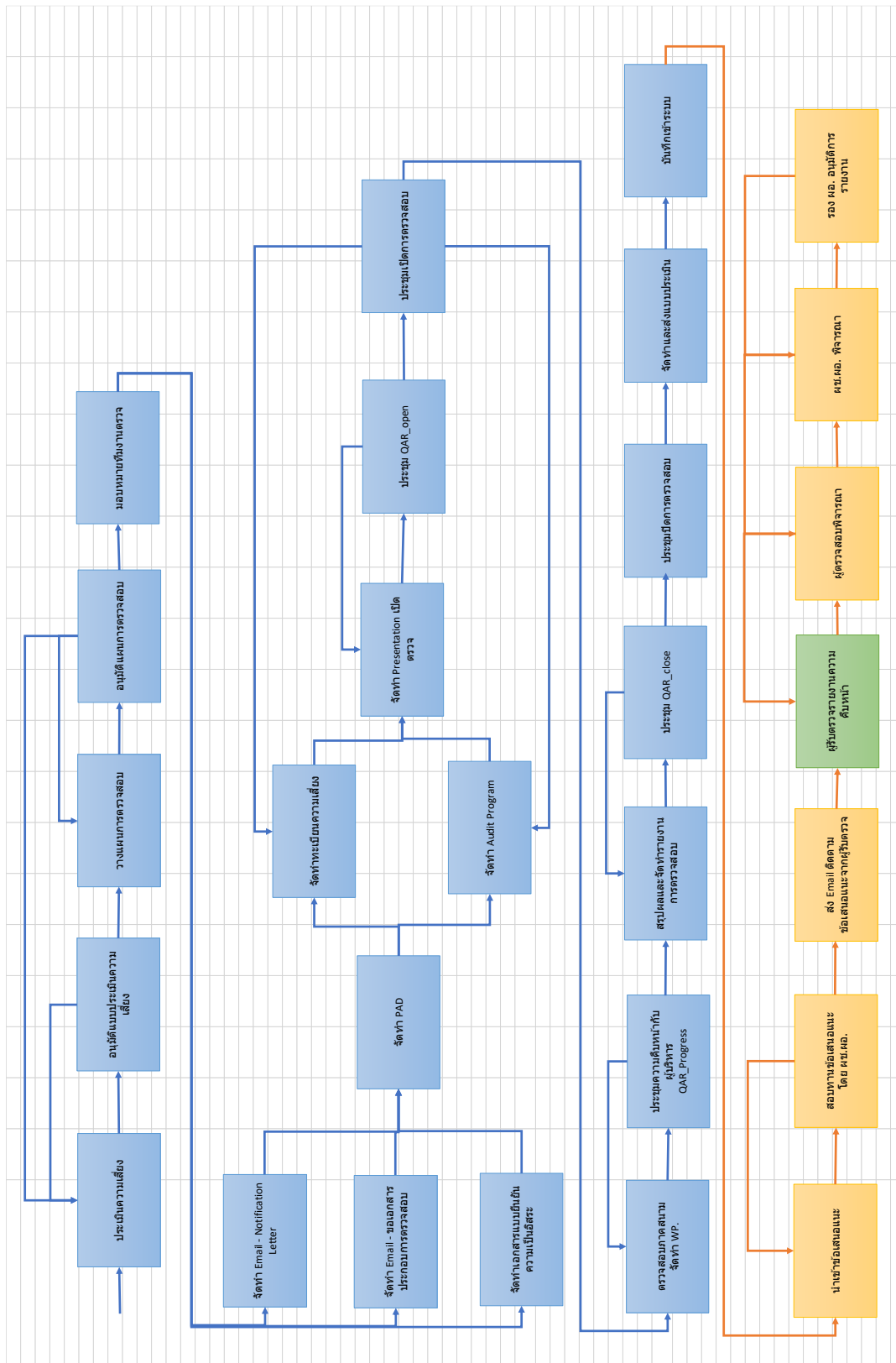
International conference on business process management. Springer, Berlin, 2008.

- [19] A. Berti, S. J. v. Zelst and W. v. d. Aalst,
"Process mining for python (PM4Py): bridging
the gap between process and data science,"
arXiv preprint arXiv:1905.06169, 2019.

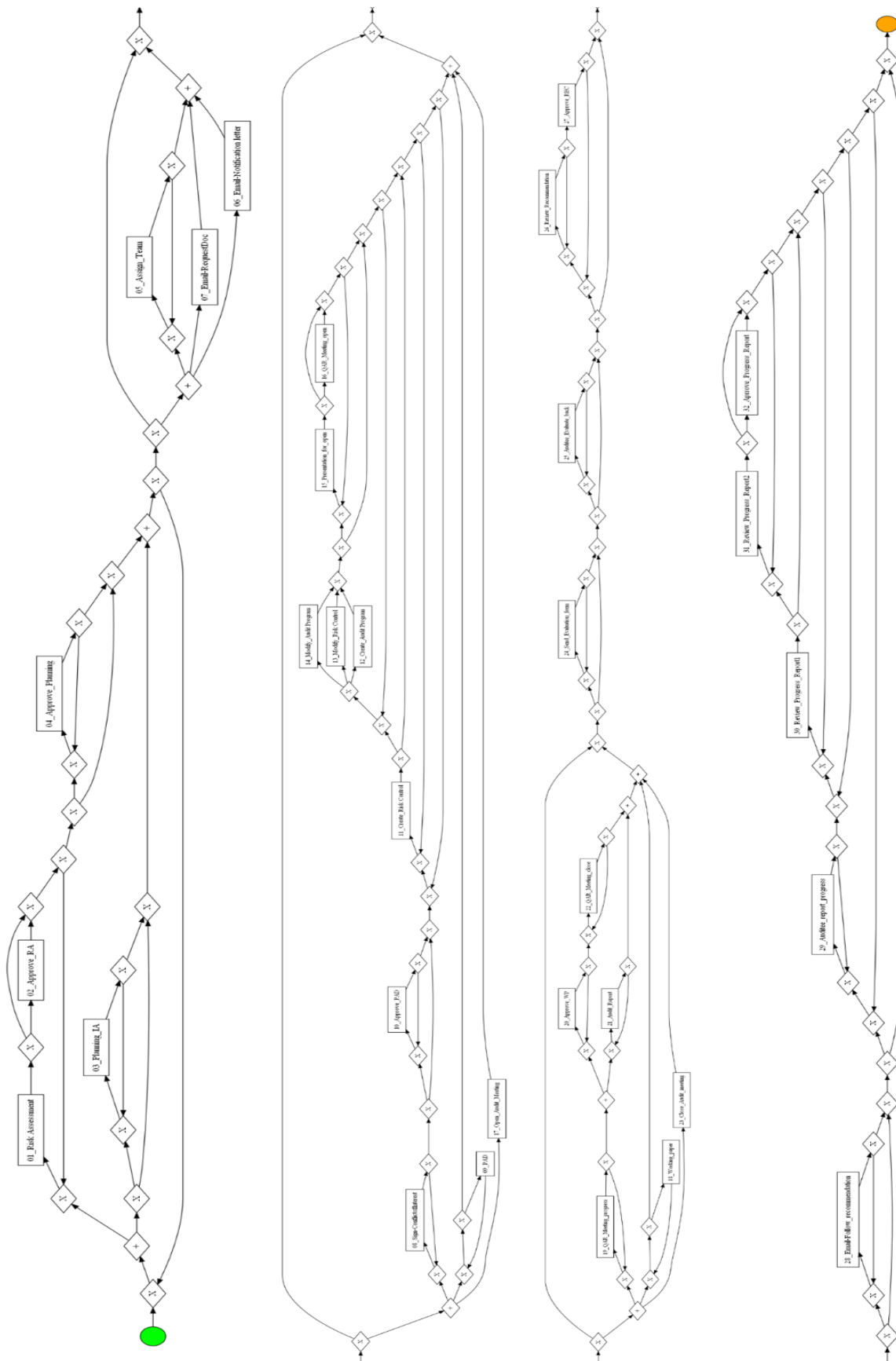
- [20] Fraunhofer Institute for Applied Information
Technology, "PM4Py," [Online]. Available:
<https://pm4py.fit.fraunhofer.de/>. [Accessed
25 January 2021].

- [21] A. Berti and W. v. d. Aalst, "A novel token-
based replay technique to speed up
conformance checking and process
enhancement," *Trans. Petri Nets Other
Model. Concurr.*, vol. 15, pp. 1-26, 2021.

7. เอกสารอ้างอิงภาคผนวก



รูปที่ 1 Internal audit process ขององค์กรกรณีศึกษา



รูปที่ 2 Process model ของ Cluster 1

**การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดลำดับงาน:
กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์**

ปัญจรัชต์ แพทย์โท¹ และ เสาวนิตย์ เลขวัต^{*2}
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

Received: 8 July 2021; Revised: 20 September 2021; Accepted: 6 October 2021

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดลำดับงานของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง เพื่อลดระยะเวลาการปฏิบัติงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดความล่าช้าต่อการจัดส่งผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า โดยงานวิจัยนี้ใช้ Solver ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Add-in ในโปรแกรม Microsoft excel เป็นเครื่องมือสำหรับผู้ตัดสินใจในการตัดสินใจ และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการจัดลำดับการผลิตในปัจจุบันด้วยวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า สามารถลดเวลาในการผลิตทั้งหมดในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 ได้ 73.99 ชั่วโมงหรือประมาณ 3 วันหรือคิดเป็นร้อยละ 11.32 และสามารถลดเวลาในการผลิตทั้งหมดในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ได้ 21.72 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วันหรือคิดเป็นร้อยละ 2.83

คำสำคัญ: การจัดลำดับการผลิต, ฮิวริสติกส์, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

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

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

² อาจารย์ ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Applying Mathematical Modelling for Job Shop Scheduling Problem: A Case Study of Automotive Part Factory

Panjarat Phaettho¹ and Saowanit Lekhavat^{*2}

Burapha University, Amphoe Mueang, Chonburi 20131, Thailand

Received: 8 July 2021; Revised: 20 September 2021; Accepted: 6 October 2021

Abstract

The aim of this study is to apply mathematical modelling for job shop scheduling problem to one of the automotive part factories in order to reduce inefficient processing time. This may lead to delay in transporting the products to the customers. This research applies Solver which is an Add-in tool in Microsoft Excel in helping a decision maker in making a decision. Then, the comparison has been made with the heuristic current method. The results show that the mathematical modelling can decrease total working time (makespan) 73.99 hours or about 3 days which can be considered 11.32% in May 2021 and the total working time can be decreased 21.72 hours or approximately 1 day (2.83%) in July 2021.

Keywords: job shop scheduling, heuristics, mathematical model

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

1 Master student in Faculty of Logistics, Burapha University

2 Lecturer in Faculty of Logistics, Burapha University

1. บทนำ

สถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด 19 ได้ส่งผลกระทบต่ออย่างรวดเร็วและรุนแรงต่อเศรษฐกิจทั่วโลก โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิต เนื่องจากมีข้อจำกัดในการนำเข้าวัตถุดิบและส่งออกสินค้าซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่มีผลกระทบต่อผลผลิต จึงทำให้บางบริษัทขึ้นนาระดับโลกที่มีเครือข่ายบริษัทตามภูมิภาคต่าง ๆ ได้ทำการกระจายความต้องการของลูกค้าไปยังบริษัทลูกเพื่อให้ทำการผลิตสินค้าชนิดเดียวกันเพื่อส่งให้กับลูกค้าให้ได้ตามความต้องการความท้าทายในการบริหารจัดการในการรองรับปริมาณการผลิตที่มากขึ้น ทางบริษัทจะต้องเริ่มพิจารณาจากปริมาณการผลิตและความสามารถหรือกำลังในการผลิตสินค้า เพื่อจะได้ทำการจัดเตรียมในด้านของทรัพยากรที่ต้องการ ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำเอากรณีตัวอย่างของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งมาทำการศึกษากับกระบวนการการจัดตารางการผลิต เนื่องจากในปัจจุบันการจัดตารางการผลิตเป็นกระบวนการที่ทำโดยใช้ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเท่านั้น จึงทำให้การจัดตารางการผลิตอาจยังไม่เหมาะสมซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาที่มากเกินไป และไม่มีการจัดสมดุลของเครื่องจักรจึงอาจทำให้เครื่องจักรบางเครื่องถูกใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ มีการหยุดรอ เนื่องจากการจัดลำดับงานไม่เหมาะสม งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในการจัดการตารางการผลิต โดยจะใช้เทคนิควิธีคิดแบบการจัดลำดับงาน (Job shop scheduling) มาปรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อวิเคราะห์หาคำตอบและผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยเทียบกับวิธีการทำงานแบบฮิวริสติกในปัจจุบัน

2. แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการวางแผนและควบคุมการผลิต

ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนและควบคุมการผลิต ผู้บริหารจะต้องค้นหาคำตอบจากคำถามที่เป็นต้นเหตุพื้นฐานของความมีประสิทธิภาพหรือไม่มีประสิทธิภาพ 2 ประการ ได้แก่ เราควรทำอะไรต่อไปและเรามีขีดความสามารถที่จะทำมันได้หรือไม่ การวางแผนการผลิตจะต้องมาก่อนการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งก็คือการ

วางแผนลำดับความสำคัญของการทำงานและตามด้วยการวางแผนกำลังการผลิต หลังจากนั้นเป็นการควบคุมกิจกรรมการผลิตชิ้นส่วน และผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เสร็จตามเป้าหมายและเวลาที่วางไว้ตามแผน[13]

2.2 การผลิตแบบตามงาน (Job shop)

การผลิตแบบตามงาน (Job shop) ระบบนี้ประกอบด้วย m เครื่องจักร แต่ละงานจะมีเส้นทางการไหลของงานเฉพาะของตนเองตามที่ผู้วางแผนกระบวนการกำหนดให้เท่านั้น โดยมากเส้นทางการไหลของงานจะไม่ซ้ำแบบกัน และเครื่องจักรเริ่มต้นและเครื่องจักรสุดท้ายของแต่ละงานต้องใช้ทำงานก็ไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน แบบจำลองที่ง่ายที่สุดของระบบผลิตแบบตามงานคือ การที่แต่ละงานสามารถที่จะทำการดำเนินงานบนเครื่องจักรใดๆ ก็ตามที่อยู่บนเส้นทางงานของตนได้เพียงแค่หนึ่งครั้งเท่านั้น สำหรับแบบจำลองที่ซับซ้อนขึ้นก็อาจจะเพิ่มเงื่อนไขว่า งานสามารถที่จะกลับมาทำซ้ำที่เครื่องจักรเดิมได้อีกหลายครั้งบนเส้นทางที่กำหนดให้ และเรียกการทำงานแบบนี้ว่า “การเวียนซ้ำ (Recirculation)” [12]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัยมงคล ลิ่มเพียรชอบ และ ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ [1] ได้มีการประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลองกำหนดการแข่งขันผสมจำนวนเต็ม ซึ่งสามารถลดต้นทุนในส่วนของการใช้จ่ายในการดำเนินการได้ร้อยละ 14.81

ธีรวัฒน์ คำพรมมี, สุทธิพงษ์ คุรุพาหะ, ณัฐพร ตั้งเจริญชัย, สุกฤษณ์ เพชรสวัสดิ์ และ ธัชชัย เทพภรณ์ [2] ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการแข่งขันคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต โดยสามารถลดการใช้งานเครื่องจักรโดยไม่จำเป็นได้ถึงร้อยละ 29 และสามารถลดเวลาปิดงานรวมจากตารางการผลิตแบบเดิมได้ร้อยละ 36.48

ณิมา ศรีผล [3] ได้พัฒนาเครื่องมือเพื่อช่วย ในการจัดลำดับงานโดยใช้หลักการการจัดตามกำหนดการส่งมอบ (EDD) และใช้หลักการดำเนินการมากเข้าดำเนินการก่อน (LPT) จัดลำดับงานของทั้งเครื่องจักรเดียวและเครื่องจักรแบบขนาน โดยสามารถลดการเกิดความล่าช้าลงได้ร้อยละ 22 และเวลาการผลิตรวมลดลง 8.79 วัน สามารถลด

ระยะเวลาล่าช้าสูงสุดได้ 3 วัน และอรรถประโยชน์ของการใช้เครื่องจักรเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 11.5

เพชรราชูท ขะหลี่ และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์ [4] ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนแรงงานสำหรับการผลิต ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายรายเดือนลงได้ 273,090 บาท หรือร้อยละ 8.08

สุริยะ เปียอยู่ และ สิริวิชญ์ สว่างนพ [5] ได้ประยุกต์ใช้การจัดตารางแบบถอยหลัง (Backward scheduling) และกฎการจ่ายงานแบบ (EDD) ในการจัดตารางการผลิตและใช้ VBA ซึ่งเป็นฟังก์ชันหนึ่งในโปรแกรม Microsoft excel สำหรับการสร้างระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต ซึ่งผลลัพธ์สามารถลดเวลาได้ถึงร้อยละ 90

Bülbül and Kaminsky [6] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการทั่วไปเพื่อแก้ปัญหการจัดตารางงาน ซึ่งสามารถแสดงได้เป็นโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อแก้ปัญหที่ที่เหมาะสมที่สุด

Fattahi, Jolai and Arkat [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหการจัดตารางงานด้วยวิธีการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพสำหรับปัญหการจัดตารางงานที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีการทำงานซ้ำซ้อนกันในเวลาอันสั้น

Frihat, Hadj-Alouane and Sadfi [8] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหการจัดตารางการผลิต โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นแบบผสม (MILP) และการเขียนโปรแกรมข้อจำกัด (CP) การทดลองเชิงตัวเลขจะดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบการจัดหาคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้สำหรับโมเดล MILP โดยใช้แบบจำลอง CP ซึ่งผลลัพธ์มีแนวโน้มในการลดเวลาคำนวณ

Meng, Zhang, Ren, Zhang, and Lv [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหการจัดตารางงานแบบยืดหยุ่นด้วยการใช้เวลาเสร็จสิ้นสูงสุดให้น้อยที่สุด ด้วยการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (MILP) 4 รูปแบบ เพื่อทำการเปรียบเทียบ จากผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการเขียน

โปรแกรมข้อจำกัด (CP) มีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมอื่น ๆ ที่มีอยู่ทั้งหมด

Kuo-Ching Yinga, Shih-Wei Lin [10] ได้เสนออัลกอริทึมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางงาน โดยคำนึงถึง makespan โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์กับอัลกอริทึม meta-heuristic ที่ดีที่สุดในปัจจุบัน ผลการทดลองระบุว่ามีประสิทธิภาพเหนือกว่า HABC อย่างมีนัยสำคัญ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดลำดับงาน

การศึกษาการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาช่วยในการจัดลำดับงาน โดยนำแบบจำลองของ Kuo-Ching Yinga, Shih-Wei Lin [10] มาประยุกต์ใช้ โดยสามารถทำได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1.1 กำหนดตัวแปรรับเข้า (Input data หรือ Parameter) และดัชนี (Index) ได้ดังนี้

p_{jk} คือเวลาปฏิบัติงานของผลิตภัณฑ์ j (ชั่วโมง) บนเครื่องจักร k

$\{O_{j1}, O_{j2}, \dots, O_{jn_j}\}$ คือแต่ละผลิตภัณฑ์ j มีกระบวนการผลิตเป็นของตนเอง โดยที่

j คือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต ($j \in J$)

j' คือ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตหลังจากผลิตภัณฑ์ j ที่เครื่องจักร k ($j' \in J$)

k คือ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ($k \in K$)

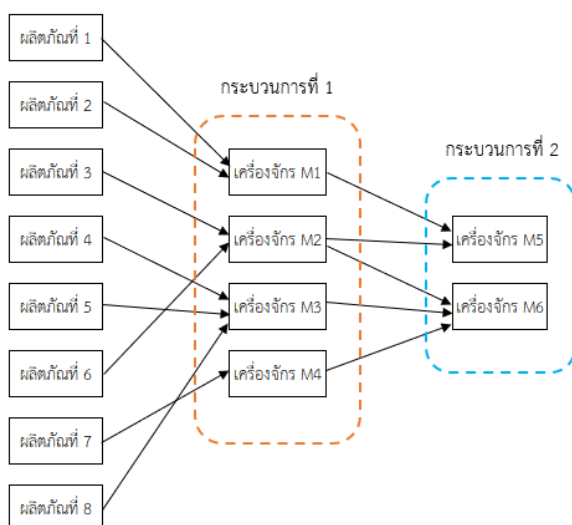
n_j คือ จำนวนกระบวนการผลิตทั้งหมดสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ j ซึ่งในกรณีศึกษา $n_j = 2$ สำหรับทุกผลิตภัณฑ์ j
 M เป็นค่าคงที่ ที่มีค่ามากและเป็นจำนวนจริงบวกในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดค่า $M = 100,000$

กำหนดเวลาในการปฏิบัติงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ต่อเครื่องจักร (p_{jk}) และกำหนดลำดับงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยจะมีทั้งหมด 2 กระบวนการ (Process) ต่อ 1 ผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการของแต่ละเครื่องจักร

ผลิตภัณฑ์	กระบวนการ	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เครื่องจักร
1	1	231.48	M1
	2	231.48	M5
2	1	115.74	M1
	2	115.74	M5
3	1	216.05	M2
	2	108.02	M5
4	1	94.04	M3
	2	94.04	M6
5	1	44.37	M3
	2	44.37	M6
6	1	97.92	M2
	2	97.92	M6
7	1	324.07	M4
	2	162.04	M6
8	1	129.24	M3
	2	51.7	M6

กระบวนการไหลของผลิตภัณฑ์จะเริ่มจากการป้อนผลิตภัณฑ์ผ่านไปยังกระบวนการที่ 1 คือกระบวนการชุบผิวผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะใช้เครื่องจักร M1-M4 หลังจากเสร็จจากกระบวนการที่ 1 ผลิตภัณฑ์จะถูกป้อนไปยังกระบวนการที่ 2 คือกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิสูงซึ่งจะใช้เครื่องจักร M5-M6 ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการไหลของผลิตภัณฑ์

3.1.2 กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ดังนี้

x_{jk} คือ เวลาเริ่มต้นทำงานผลิตภัณฑ์ j ที่เครื่องจักร k

$y_{jj'k}$ คือการเลือกลำดับงานของผลิตภัณฑ์ j หรือ j' ที่ทำงานที่เครื่องจักร k

โดยที่

$$y_{jj'k} = 1 \text{ ถ้างาน } j \text{ นำหน้างาน } j' \text{ บนเครื่องจักร } k \\ = 0 \text{ ถ้างาน } j' \text{ นำหน้างาน } j \text{ บนเครื่องจักร } k$$

3.1.3 กำหนดสมการเป้าหมาย (Objective Function) โดยต้องการเวลาในการสิ้นสุดการทำงานให้มีค่าน้อยที่สุด จึงเขียนสมการเป้าหมายดังสมการที่ (1) [10]

$$\text{Min max}_{j \in J} \{x_{jn_j} + p_{jn_j}\} \quad (1)$$

3.1.4 ข้อจำกัด (Constraints) ในด้านของเวลาเริ่มงานของแต่ละ Job ในแต่ละเครื่องจักร k ดังสมการที่ (2)

$$x_{jk} + p_{jk} \leq x_{j'k+1} \\ ; \forall k = 1, 2, \dots, n_j - 1, j \in J \quad (2)$$

3.1.5 กำหนดข้อจำกัด (Constraints) ในด้านการลำดับงาน โดยกำหนดให้ ดังสมการที่ (3) และ (4) และสมการที่ (5) และ (6) เป็นการกำหนดค่าความเป็นไปได้ของทุกค่าเริ่มต้นทำงานของผลิตภัณฑ์ และค่า y ตามลำดับ

$$x_{jk} + p_{jk} \leq x_{j'k} + M(1 - y_{jj'k}) \\ ; \forall j, j' \in J, k \in K \quad (3)$$

$$x_{j'k} + p_{j'k} \leq x_{jk} + M y_{jj'k} \\ ; \forall j, j' \in J, k \in K \quad (4)$$

$$x_{jk} \geq 0, k = 1, 2, \dots, n_j, j \in J \quad (5)$$

$$y_{jj'k} \in \{0,1\} ; \forall j, j' \in J, k \in K \quad (6)$$

3.2 วิธีการทาง Heuristics สำหรับการจัดลำดับงาน

ผู้วิจัยได้นำเอาข้อมูลการวางแผนการผลิตในเดือน

พฤษภาคม พ.ศ. 2564 มาใช้ในการศึกษา โดยการศึกษาจะเป็นการศึกษากระบวนการผลิต 2 กระบวนการคือ การซบเคลื่อนผิวผลิตภัณฑ์และการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูง โดยเจ้าหน้าที่วางแผนการผลิตจะนำเอาข้อมูลความต้องการของลูกค้า (Demand forecast) มาทำการจัดลำดับงาน ด้วยวิธีฮิวริสติกซึ่งข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการจัดลำดับงานจะมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564

ผลิตภัณฑ์	แผนการผลิต (จำนวนการซบ)	กระบวนการที่ 1			กระบวนการที่ 2		
		เวลาการผลิต/จำนวนการซบ (วัน)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เครื่องจักร	เวลาการผลิต/จำนวนการซบ (วัน)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เครื่องจักร
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	40,000	15	231.48	M1	15	231.48	M5
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	50,000	6	115.74	M1	6	115.74	M5
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	28,000	20	216.05	M2	10	108.02	M5
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	9,750	25	94.04	M3	25	94.04	M6
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	5,000	23	44.37	M3	23	44.37	M6
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	14,100	18	97.92	M2	18	97.92	M6
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	42,000	20	324.07	M4	10	162.04	M6
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	13,400	25	129.24	M3	10	51.7	M6

จากตารางที่ 2 เราจะได้ข้อมูลปริมาณที่ต้องการในการผลิต, เวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์และเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละเครื่องจักร ซึ่งในการคำนวณเวลาในการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะต้องคิดจากเวลาในการผลิต (Cycle time) ต่อการซบ 1 ครั้ง หน่วยเป็นวินาที และคิดจากประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness : OEE) ที่ร้อยละ 72 โดย process time จะสามารถคิดได้จาก (cycle time x production plan)/ OEE ผู้วางแผนการผลิตจะนำเอาข้อมูลต่างๆ มาจัดตารางการผลิต สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีฮิวริสติก (heuristics) 4 รูปแบบดังนี้

3.2.1 จัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 โดยเริ่มพิจารณาจากเครื่องจักร M1 ที่ถูกกำหนดให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 1 และผลิตภัณฑ์ที่ 2 โดยผลิตภัณฑ์ที่ 2 จะใช้เวลาในการดำเนินงาน 115.74 ชั่วโมงซึ่งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ 1 ที่ใช้เวลาในการดำเนินงาน 231.48 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นผลิตภัณฑ์ที่ 2 จะถูกเลือกให้ทำการผลิตก่อนที่เครื่องจักร

M1 ทำการจัดลำดับงานในลักษณะนี้กับเครื่องจักร M2-M4 หลังจากนั้นให้พิจารณาเครื่องจักร M5 ซึ่งจะถูกกำหนดให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่ 1, 2, 3 ซึ่งการจัดลำดับงานจะพิจารณาจากผลิตภัณฑ์ที่เสร็จจากกระบวนการที่ 1 ก่อน จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ 2 เสร็จจากกระบวนการที่ 1 เร็วที่สุดคือชั่วโมงที่ 115.74 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ที่ 3 ซึ่งเสร็จจากกระบวนการที่ 1 ในชั่วโมงที่ 313.97 และสุดท้ายคือผลิตภัณฑ์ที่ 1 ซึ่งเสร็จจากกระบวนการที่ 1 ในชั่วโมงที่ 347.22 ดังนั้นการจัดลำดับงานของเครื่องจักร M5 จะเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ 2, 3, 1 ตามลำดับ และทำการจัดลำดับงานแบบนี้ที่เครื่องจักร M6 จะได้ผลการจัดลำดับงานของเครื่องจักร M1-M6 ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4

ผลิตภัณฑ์	เครื่องจักร	เวลาเริ่มงาน (ชั่วโมงที่)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เวลาที่เสร็จงาน (ชั่วโมงที่)
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M1	0.00	115.74	115.74
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M1	115.74	231.48	347.22
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M2	0.00	97.92	97.92
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M2	97.92	216.05	313.97
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M3	0.00	44.37	44.37
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M3	44.37	94.04	138.41
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M3	138.41	129.24	267.65
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M4	0.00	324.07	324.07
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M5	115.74	115.74	231.48
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M5	313.97	108.02	421.99
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M5	421.99	231.48	653.47
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M6	44.37	44.37	88.73
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M6	97.92	97.92	195.83
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M6	195.83	94.04	289.87
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M6	289.87	51.70	341.57
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M6	341.57	162.04	503.61

3.2.2 จัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 โดยเริ่มจากกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตในแต่ละเครื่องจักรของ M1 – M4 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการดำเนินงานที่มากที่สุดก่อน จากนั้นทำการจัดลำดับงานของ

เครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อนในกระบวนการที่ 1 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี เวลาในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4

ผลิตภัณฑ์	เครื่องจักร	เวลาเริ่มงาน (ชั่วโมงที่)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เวลาที่เสร็จงาน (ชั่วโมงที่)
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M1	0.00	231.48	231.48
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M1	231.48	115.74	347.22
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M2	0.00	216.05	216.05
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M2	216.05	97.92	313.97
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M3	0.00	129.24	129.24
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M3	129.24	94.04	223.28
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M3	223.28	44.37	267.65
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M4	0.00	324.07	324.07
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M5	216.05	108.02	324.07
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M5	324.07	231.48	555.56
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M5	555.56	115.74	671.30
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M6	129.24	51.70	180.94
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M6	223.28	94.04	317.32
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M6	317.32	44.37	361.69
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M6	361.69	97.92	459.61
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M6	459.61	162.04	621.64

3.2.3 จัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี เวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตที่เครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการดำเนินงานที่น้อยที่สุดก่อน จากนั้นทำการจัดลำดับงานของเครื่องจักร M1 – M4 ตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ที่เครื่องจักร M5 และ M6 ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี เวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5-M6

ผลิตภัณฑ์	เครื่องจักร	เวลาเริ่มงาน (ชั่วโมงที่)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เวลาที่เสร็จงาน (ชั่วโมงที่)
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M1	0.00	115.74	115.74
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M1	115.74	231.48	347.22

ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M2	0.00	216.05	216.05
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M2	216.05	97.92	313.97
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M3	0.00	44.37	44.37

ตารางที่ 5 การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี เวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5-M6 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	เครื่องจักร	เวลาเริ่มงาน (ชั่วโมงที่)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เวลาที่เสร็จงาน (ชั่วโมงที่)
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M3	44.37	129.24	173.61
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M3	173.61	94.04	267.65
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M4	0.00	324.07	324.07
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M5	216.05	108.02	324.07
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M5	324.07	115.74	439.81
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M5	439.81	231.48	671.30
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M6	44.37	44.37	88.73
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M6	173.61	51.70	225.31
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M6	267.65	94.04	361.69
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M6	361.69	97.92	459.61
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M6	459.61	162.04	621.64

3.2.4 จัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี เวลาในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตที่เครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการดำเนินงานที่มากที่สุดก่อน จากนั้นทำการจัดลำดับงานของเครื่องจักร M1 – M4 ตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ที่เครื่องจักร M5 และ M6 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี เวลาในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6

ผลิตภัณฑ์	เครื่องจักร	เวลาเริ่มงาน (ชั่วโมงที่)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เวลาที่เสร็จงาน (ชั่วโมงที่)
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M1	0.00	231.48	231.48
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M1	231.48	115.74	347.22
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M2	0.00	216.05	216.05
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M2	216.05	97.92	313.97
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M3	0.00	94.04	94.04
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M3	94.04	129.24	223.28

ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M3	223.28	44.37	267.65
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M4	0.00	324.07	324.07
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M5	231.48	231.48	462.96
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M5	462.96	115.74	578.70

ตารางที่ 6 การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี เวลาในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5-M6 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	เครื่องจักร	เวลาเริ่มงาน (ชั่วโมง)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เวลาที่เสร็จงาน (ชั่วโมง)
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M5	578.70	108.02	686.73
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M6	324.07	162.04	486.11
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M6	486.11	97.92	584.03
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M6	584.03	94.04	678.07
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M6	678.07	51.70	729.76
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M6	729.76	44.37	774.13

4. ผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของกระบวนการจัดลำดับงานแบบฮิวริสติก เทียบกับผลลัพธ์จากการจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

เครื่องจักร	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5
M1	347.22	347.22	347.22	347.22	347.48
M2	313.97	313.97	313.97	313.97	313.92
M3	267.65	267.65	267.65	267.65	267.24
M4	324.07	324.07	324.07	324.07	324.07
M5	653.47	671.30	671.30	686.73	579.48
M6	503.61	621.64	621.64	774.13	579.04
เวลาในการดำเนินงานทั้งหมด (ชั่วโมง)	653.47	671.30	671.30	774.13	579.48

จากตารางที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานของเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2564 โดยการนำผลลัพธ์ในการจัดลำดับงานโดยใช้วิธีฮิวริสติก 4 รูปแบบ และการจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

รูปแบบที่ 1 : การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 653.47 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน

รูปแบบที่ 2 : การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 671.30 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน

รูปแบบที่ 3 : การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 671.30 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน

รูปแบบที่ 4 : การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 774.13 ชั่วโมงหรือประมาณ 33 วัน

รูปแบบที่ 5 : การจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 579.48 ชั่วโมงหรือประมาณ 25 วัน ซึ่งเป็นการจัดลำดับงานที่ใช้เวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดหลังจากที่ได้ผลลัพธ์ในการจัดตารางการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 แล้ว ทางผู้วิจัยจึงนำข้อมูลแผนการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 ดังตารางที่ 8 มาจัดลำดับการผลิตโดยใช้วิธีฮิวริสติก 4 รูปแบบและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564

ผลิตภัณฑ์	กระบวนการที่ 1				กระบวนการที่ 2		
	แผนการผลิต (จำนวนการซัพ)	เวลาการผลิต/จำนวนการซัพ (วินาที)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เครื่องจักร	เวลาการผลิต/จำนวนการซัพ (วินาที)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เครื่องจักร
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	30,000	15	173.61	M1	15	173.61	M5
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	25,390	6	58.77	M1	6	58.77	M5
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	18,000	20	138.89	M2	10	69.44	M5
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	27,444	25	264.7	M3	25	264.7	M6
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	5,923	23	52.55	M3	23	52.55	M6
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	16,467	18	114.35	M2	18	114.35	M6
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	35,100	20	270.83	M4	10	135.42	M6
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	19,140	25	184.61	M3	10	73.84	M6

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564

เครื่องจักร	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	รูปแบบที่ 4	รูปแบบที่ 5
M1	232.38	232.38	232.38	232.38	263.77
M2	253.24	253.24	253.24	253.24	343.89
M3	501.86	501.86	501.86	501.86	501.61
M4	270.83	270.83	270.83	270.83	270.83
M5	475.44	440.72	496.30	475.44	711.44
M6	766.56	894.11	825.47	905.56	744.84
เวลาในการดำเนินงานที่มากที่สุด (ชั่วโมง)	766.56	894.11	825.47	905.56	744.84

จากตารางที่ 10 เป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานของเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 โดยการนำผลลัพธ์ในการจัดลำดับงานโดยใช้วิธีฮิวริสติก 4 รูปแบบ และการจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

รูปแบบที่ 1 : การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 766.56 ชั่วโมงหรือประมาณ 32 วัน

รูปแบบที่ 2 : การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 894.11 ชั่วโมงหรือประมาณ 38 วัน

รูปแบบที่ 3 : การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานน้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 825.47 ชั่วโมงหรือประมาณ 35 วัน

รูปแบบที่ 4 : การจัดลำดับงานโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มีเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานมากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 905.56 ชั่วโมงหรือประมาณ 38 วัน

รูปแบบที่ 5 : การจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 744.84 ชั่วโมงหรือประมาณ 31 วัน ซึ่งเป็นการจัดลำดับงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

เนื่องจากผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธีฮิวริสติกทั้ง 4 วิธี และวิธีจากการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจัดลำดับงาน พบว่าแบบจำลองการทางคณิตศาสตร์ใช้ผลดีที่สุด เพราะฉะนั้น ตารางการจัดลำดับงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละเครื่องจักรได้ถูกนำเสนอเพื่อนำไปใช้งานสำหรับกรณีศึกษาที่ 10 ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564

ผลิตภัณฑ์	เครื่องจักร	เวลาเริ่มงาน (ชั่วโมง)	เวลาในการดำเนินงาน (ชั่วโมง)	เวลาที่เสร็จงาน (ชั่วโมง)
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M1	0.00	115.74	115.74
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M1	116.00	231.48	347.48
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M2	0.00	216.05	216.05
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M2	216.00	97.92	313.92
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M3	0.00	94.04	94.04
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M3	94.00	44.37	138.37
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M3	138.00	129.24	267.24
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M4	0.00	324.07	324.07
ผลิตภัณฑ์ที่ 2	M5	124.00	115.74	239.74
ผลิตภัณฑ์ที่ 3	M5	239.00	108.02	347.02
ผลิตภัณฑ์ที่ 1	M5	348.00	231.48	579.48
ผลิตภัณฑ์ที่ 4	M6	123.00	94.04	217.04
ผลิตภัณฑ์ที่ 5	M6	223.00	44.37	267.37
ผลิตภัณฑ์ที่ 8	M6	268.00	51.70	319.70
ผลิตภัณฑ์ที่ 6	M6	320.00	97.92	417.92
ผลิตภัณฑ์ที่ 7	M6	417.00	162.04	579.04

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิธีการจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถลดเวลาในการดำเนินงานเมื่อเทียบกับวิธีการจัดลำดับงานในปัจจุบันได้ 73.99 ชั่วโมงหรือประมาณ 3 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 11.32 ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 และวิธีการจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถลดเวลาในการดำเนินงานเมื่อเทียบกับวิธีการจัดลำดับงานในปัจจุบันได้ 21.72 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วันหรือคิดเป็นร้อยละ 2.83 ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 นอกจากนั้นเรายังสามารถนำข้อมูลแผนการผลิตไปวางแผน

แผนการดำเนินงานในอนาคตได้อีกด้วยเพราะจะเห็นได้ว่า ปริมาณการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 มีมากกว่า กำลังการผลิต ดังนั้นทางบริษัทกรณีศึกษาจึงสามารถนำ ข้อมูลนี้ไปจัดเตรียมทรัพยากร เช่น การเพิ่มพนักงาน การ เพิ่มเครื่องจักร เพื่อมาทำการรองรับปริมาณการผลิตที่มากขึ้น เป็นต้น

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการนำแบบจำลองการจัดลำดับงานที่มีอยู่แล้วไปใช้งาน ซึ่งมีข้อสมมติต่างๆ ในแบบจำลอง ในอนาคตถ้างานมีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น อาจพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น มีการกำหนด due date ในการจัดส่งสินค้าที่แน่นอน และมีการนำเอาเวลา setup time เข้ามาเกี่ยวข้องในกรณีที่เครื่องจักรต้องผลิตสินค้าที่มีความหลากหลาย เงื่อนไขในการทำงานล่วงเวลาและเงื่อนไขการหยุดของเครื่องจักร ควรนำเอาปัจจัยในเรื่องของ ค่าใช้จ่ายมาพิจารณาเพื่อแสดงให้เห็นถึงการสะท้อนปัญหาของบริษัท อีกทั้งเพื่อเพิ่มความสมจริงของโมเดล ในกรณีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีตัวแปรตัดสินใจหลายตัว และถ้ามีการนำข้อมูลจำนวนมากมาใช้ อาจพัฒนาวิธีฮิวริสติก ที่มีความสามารถในการหาคำตอบได้ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยมงคล ลิ่มเพียรชอบ และ ประเทือง อุษาบริสุทธิ์, “การวางแผนการผลิตที่เหมาะสมของโรงงานเครื่องจักรกล การเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสม จำนวนเต็ม,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 26, ฉบับที่ 2, น. 209-221, 2559

[2] ธีรวัฒน์ คำพรมมี, สุทธิพงษ์ ครุฑพาหะ, ณัฐพร ตั้งเจริญชัย, สุกฤษฎี เพชรสวัสดิ์ และ ธัชชัย เทพกรณ์, “การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีแบบจำลอง กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาสถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนรถบรรทุกในจังหวัดพิษณุโลก,” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, ปีที่ 1, ฉบับที่ 3, น. 47-66, 2562

[3] นมิตา ศรีผล, “การจัดตารางการผลิตเพื่อปรับปรุง ปริมาณงานล่าช้า: กรณีศึกษา,” นิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี, 2560

[4] เพชรายุทธ แซ่หลี่ และ อภิชัย ฤทธิวิรุฬห์, “แบบจำลอง กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผน แรงงานในการผลิตเชิงคง,” วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัย นครสวรรค์, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2, 2557

[5] สุริยะ เปียอยู่ และ สิริวิชัย สว่างนพ, “การออกแบบ ระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตโดยเกิร์ต,” วารสาร วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 25, ฉบับที่ 3, น. 1-11, 2561

[6] Bülbül, K. and Kaminsky, “A linear programming-based method for job shop scheduling,” Journal of Scheduling., vol. 16, no. 2, pp. 161-183, 2012

[7] Fattahi, Jolai and Arkat, “Flexible job shop scheduling with overlapping in operations,” Applied Mathematical Modelling., vol. 33, no. 7, pp. 3076-3087, 2009

[8] Frihat, Hadj-Alouane and Sadfi, “Optimization of the Integrated Problem of Employee Timetabling and Job Shop Scheduling,” Computers & Operations Research., pp. 105332-105364, 2021

[9] Meng, Zhang, Ren, Zhang, and Lv, “Mixed-integer linear programming and constraint programming formulations for solving distributed flexible job shop scheduling problem,” Computers & Industrial Engineering., vol.142, pp.106347-106360, 2020

[10] Kuo-Ching Yinga and Shih-Wei Lin, “Solving no-wait job-shop scheduling problems using a multi-start simulated annealing with bi-directional shift timetabling algorithm,” Computers & Industrial Engineering., vol.146, 2020

[11] ณกร อินทร์พยุ่ง, การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมขนส่งและโลจิสติกส์, กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2548.

[12] ปารเมศ ชูติมา, เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

- [13] พิภพ ลลิตาภรณ์, การวางแผนและควบคุมการผลิต, กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2556.
- [14] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์, กำหนดการเชิงเส้น Linear Programming, กรุงเทพมหานคร: แดเน็กซ์อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น, 2560.
- [15] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, วิธีการเมตาฮิวริสติก เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์, กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน), 2554.

การปรับปรุงด้วยการตัดปลายการแจกแจงสำหรับแบบจำลอง การวางแผนการจัดหาของสินค้าทางการเกษตร

ศิริประภา ดีประดิษฐ์^{*1}

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เลขที่ 96 ต.ประตูชัย อ.พระนครศรีอยุธยา จ.พระนครศรีอยุธยา 13000

และ รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ²

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Received: 19 July 2021; Revised: 13 September 2021; Accepted: 17 September 2021

บทคัดย่อ

การวางแผนการจัดหาสินค้าทางการเกษตรเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากสินค้าทางการเกษตรมีปัจจัยที่ไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้ยากต่อการวางแผน ซึ่งงานวิจัยนี้พิจารณาปัจจัยที่ไม่แน่นอน คือ ปริมาณความต้องการของโรงงาน ปริมาณมะพร้าวที่จัดหาได้จากสวนเครือข่าย ปริมาณมะพร้าวที่จัดหาได้จากพ่อค้าคนกลาง ราคามะพร้าวที่รับซื้อจากพ่อค้าคนกลาง และราคาขาย โดยมีรูปแบบการแจกแจงที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา และนำมาสร้างตัวแบบการโปรแกรมจำนวนเต็มผสมที่ไม่เป็นเส้นตรงที่มีผลลัพธ์เฉลี่ยจากการประมวลผล 500 สถานการณ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ผลกำไรเฉลี่ยรายปีที่มากที่สุด จากนั้นได้พัฒนาคำตอบของแบบจำลองการจัดหาโดยพิจารณาการตัดปลายของการแจกแจงพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสุ่มเพื่อหาว่าแต่ละพารามิเตอร์ควรกำหนดค่าต่ำสุด และกำหนดค่าสูงสุดอย่างไร นอกจากนี้การพิจารณาการตัดช่วงการแจกแจงมี 3 กรณี คือ กรณีตัดปลายทางด้านน้อย กรณีตัดปลายทางด้านมาก และกรณีตัดปลายทั้งสองข้าง โดยสร้างนโยบายตัดช่วงข้อมูลระหว่าง 5 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิจัย พบว่า การตัดปลายการแจกแจงกรณีตัดปลายทางด้านน้อย 15% มีผลกำไรรายปีมากที่สุด เมื่อเทียบกับนโยบายเดิมที่ไม่มีการตัดปลาย ผลกำไรเพิ่มขึ้น 3.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดการพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีโอกาสในการเกิดน้อยออกไป ส่งผลให้การวางแผนการจัดหาได้ผลกำไรที่เพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: สินค้าทางการเกษตร การวางแผนการจัดหา การโปรแกรมจำนวนเต็มผสมที่ไม่เป็นเส้นตรง การตัดปลายของการแจกแจง

* Corresponding author. E-mail: d_siraprapha@aru.ac.th

¹ อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

An Improved Truncated Distribution for Modelling the Procurement Planning of Agricultural Product

Siraprapha Deepradit^{1*}

Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, 96 Pratuchai, Phranakhon Si Ayutthaya, 13000

and Roongrat Pisuchpen²

Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan Rd, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900

Received: 19 July 2021; Revised: 13 September 2021; Accepted: 17 September 2021

Abstract

A procurement plan of agricultural products is important because agricultural products had uncertain factors involved make it difficult to plan. This research considered uncertainties that are factory demand, the number of supply coconuts purchased from contracted farms, the number of supply coconuts purchased from collectors, the coconut price purchased from collectors, the selling price which had different distributions each time. The mixed-integer non-linear programming was formulated and run for 500 trials. The objective was to maximize the annual total profit. The truncated distribution of the procurement plan was analyzed. The solution indicates how to define lower and upper truncated distributions. In addition, truncating the distribution interval in three cases: lower truncate case, upper truncate case, and doubly truncate case. By reducing the data interval by 5 to 20% when cutting the destination on the side or both ends. When comparing the non-truncated scenario to the lower truncated case, the result showed that the lower truncated case exhibited a profit increase of 3.60 percent. As a result, the importance of factors that are less likely to occur was reduced. Procurement planning becomes more profitable as a result.

Keywords: Agricultural Product Procurement Planning Mixed-Integer Non-Linear Programming Truncated Distribution

* Corresponding author. E-mail: d_siraprapha@aru.ac.th

1 Lecturer in Department of Engineering Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

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

1. บทนำ

การวางแผนการจัดหาของสินค้าทางการเกษตรเป็นเรื่องค่อนข้างยาก เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และเป็นปัจจัยที่มีความไม่แน่นอน เช่น ราคาซื้อ ราคาขาย และปริมาณผลผลิตของสินค้าทางการเกษตรแต่ละชนิด เป็นต้น และเนื่องด้วยสินค้าทางการเกษตรขาดการวางแผนที่มีประสิทธิภาพในการจัดการให้สมดุลระหว่างความสามารถในการเก็บเกี่ยวหรือจัดหาวัตถุดิบจากแหล่งผลิต และความต้องการของลูกค้าหรือโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสินค้าทางการเกษตรแต่ละชนิดมีอายุการเก็บเกี่ยวและมีปริมาณผลผลิตที่ไม่คงที่ ส่วนใหญ่ปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับฤดูกาล และการวางแผนการจัดหาเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการดำเนินงานที่สำคัญ [1] ซึ่งผู้วางแผนหรือผู้ตัดสินใจต้องพิจารณาว่าควรจัดหาวัตถุดิบจากแหล่งผลิตใดบ้าง [2] และจากงานวิจัยของ Willy and Njeru (2014) และ Du et al. (2009) ได้ศึกษาผลกระทบของการวางแผนจัดหาของสินค้าทางการเกษตร โดยใช้การตัดสินใจว่าจะซื้อหรือผลิตเองร่วมด้วย การตัดสินใจนี้เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาเนื่องจากการจัดการที่ส่งผลต่อต้นทุนที่ลดลง [1], [3] ดังนั้นการวางแผนหรือการปรับปรุงประสิทธิภาพของโซ่อุปทานที่มีประสิทธิภาพควรมีความสอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากที่สุด ในหลายงานวิจัยได้ใช้การจำลองสถานการณ์ในการประมวลผลเพื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ [4] - [8]

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนในโซ่อุปทานของสินค้าทางการเกษตรส่วนใหญ่เป็นปัจจัยที่มีความไม่แน่นอนซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนของปริมาณผลผลิต และความต้องการในแต่ละช่วงเวลาซึ่งเป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาลสำหรับความไม่แน่นอนของราคาซื้อและราคาขายเป็นปัจจัยที่ขึ้นอยู่กับกลไกทางตลาด ถ้าผู้วางแผนหรือผู้ที่มีอำนาจตัดสินใจจัดการปัจจัยเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจะส่งผลให้สามารถควบคุมต้นทุนการดำเนินการได้ ซึ่งการประยุกต์ใช้การตัดปลายของแจกแจงนำมาใช้ในสถานการณ์ที่ข้อมูลอยู่ในช่วงของตัวแปรสุ่ม เนื่องจากมีข้อจำกัดของปัจจัยต่าง ๆ และค่าใช้จ่าย ตัวแปรสุ่มถูกกำหนดขอบเขตจากค่าต่ำสุดหรือสูงสุด [9] โดยมีหลายงานวิจัยที่ได้ศึกษาการตัดปลายของการแจกแจงต่าง ๆ เช่น Tokmachev (2018) ได้จำลองการแจกแจงที่มีการตัดปลายของการแจกแจงแบบปกติ [10] Chen

and Gui (2020) ศึกษาประมาณพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าของการตัดปลายการแจกแจงแบบปกติ [11] สำหรับ Zeng and Gui (2021) ได้ศึกษาการตัดปลายของการแจกแจงปกติ [12] และ Gul et al. (2021) ปรับปรุงการตัดปลายของการแจกแจงแบบไวบูลและแกมมา [13]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาคำตอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโซ่อุปทานในส่วนของการตัดสินใจเข้าโดยพิจารณาการจัดหาวัตถุดิบสำหรับสินค้าทางการเกษตร โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการวางแผนการจัดหารายปี โดยผู้วิจัยวิเคราะห์นโยบายการตัดปลายของการแจกแจงเพื่อตัดเหตุการณ์ที่มีโอกาสการเกิดน้อยออก คือ กรณีตัดปลายทางด้านน้อย (Lower Truncated case) กรณีตัดปลายทางด้านมาก (Upper Truncated Case) และกรณีตัดปลายทั้งสองข้าง (Doubly Truncated case) โดยพิจารณาการตัดปลายข้อมูลในช่วง 5 ถึง 20% เพื่อหานโยบายที่ส่งผลให้ผลกำไรรายปีสูงที่สุด

2. วิธีการวิจัย

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองการวางแผนการจัดหาใช้ข้อมูลจริงจากโรงงานกรณีศึกษาที่เป็นอุตสาหกรรมมะพร้าว น้ำหอม และได้พัฒนาการหาคำตอบจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากงานวิจัยของ Deepradit et al. (2020) [14] ที่ประสบปัญหาด้านการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบทางการเกษตร โดยปัญหาและอุปสรรคเกิดจากความไม่แน่นอนของปริมาณมะพร้าว ความต้องการในแต่ละช่วงเวลา ราคาซื้อ มะพร้าว น้ำหอม และราคาขาย ทำให้ยากต่อการจัดการในการวางแผน โดยงานวิจัยได้หาผลกำไรรายเดือน จำนวน 12 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงธันวาคม ซึ่งถ้าสามารถวางแผนโดยใช้ระยะเวลาวางแผนที่มากขึ้น จะทำให้สามารถจัดการควบคุมต้นทุนการดำเนินงานได้ดียิ่งขึ้น และเนื่องจากพิจารณาปัจจัยที่เป็นตัวแปรสุ่ม ทำให้ระยะเวลาในการประมวลผลนาน งานวิจัยนี้จึงได้สร้างนโยบายการตัดช่วงการแจกแจงของพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสุ่ม เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด

งานวิจัยนี้ได้ขยายผลการศึกษาต่อจากงานวิจัยของ Deepradit et al. (2020) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 นโยบายที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ผู้มีอำนาจตัดสินใจทราบช่วงของผลลัพธ์ของนโยบายที่เป็นไปได้ กรณีที่แย่ที่สุด (Worst-case) เกิดขึ้นภายใต้ปริมาณความต้องการที่สูงมาก แต่ปริมาณมะพร้าวที่หาได้น้อย และ กำไรต่อหน่วย (Margin) ต่ำ ขณะที่กรณีที่ดีที่สุด (Best-case) เกิดภายใต้ปริมาณมะพร้าวที่จัดหาได้ปริมาณที่ลูกค้าต้องการ และกำไรต่อหน่วยสูง ผลกำไรทั้งหมดของอีก 2 นโยบายอยู่ระหว่างกรณีที่แย่ที่สุด และกรณีที่ดีที่สุด ซึ่งงานวิจัยเป็นการหาผลกำไรรายปี ที่ได้จากการรันผลรายเดือน เนื่องจากมีตัวแปรสุ่มหลายตัว และมีจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกันเพื่อให้ครอบคลุมผลลัพธ์จำนวน 500 สถานการณ์ จึงทำให้การวางแผนการหาคำตอบของแบบจำลองการวางแผนการจัดหารายปีด้วย OptQuest [14] ไม่สามารถประมวลผลได้ เนื่องจากจำนวนของตัวแปรตัดสินใจ ข้อจำกัดในการรันผล และจำนวนของการสร้างนโยบายแต่ละนโยบาย ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาการหาคำตอบโดยใช้การตัดปลายของการแจกแจงตัวแปรสุ่ม

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของการวางแผนการจัดหาของอุตสาหกรรมมะพร้าวน้ำหอมใช้ตัวแบบการโปรแกรมจำนวนเต็มผสมที่ไม่เป็นเส้นตรง (Mixed-Integer Non-Linear Programming; MINLP) ภายใต้การจำลองความไม่แน่นอนแสดงสมการวัตถุประสงค์และข้อจำกัด ดังสมการที่ (1) – (14) และหาค่าเฉลี่ยผลลัพธ์รายปีจากการจำลอง 500 สถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยตัวแปรสุ่มที่ใช้ในแบบจำลองถูกจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลด้วยความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่แตกต่างกันในกระบวนการที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้เนื่องจากตัวแปรสุ่มที่เกิดขึ้นไม่แน่นอน

ข้อสมมติฐานของแบบจำลอง คือ พิจารณาแหล่งจัดหา 2 แหล่ง คือ สวนเครือข่ายของโรงงาน และพ่อค้าคนกลาง โดยที่สวนของเครือข่ายและสวนของพ่อค้าคนกลางเป็นอิสระต่อกัน พาหนะในการขนส่งของโรงงานมีจำนวน 6 คัน โดยมี 2 ประเภท ซึ่งมีความสามารถในการบรรทุกที่แตกต่างกัน คือ รถบรรทุก 4 ล้อ (บรรทุกได้ 1,500 ลูกต่อครั้ง) และรถบรรทุก 6 ล้อ (บรรทุกได้ 5,000 ลูกต่อครั้ง) มะพร้าวน้ำหอมที่เก็บเกี่ยวมีคุณภาพดี 100% งานวิจัยจึงไม่คิดของเสีย

พาหนะที่ใช้ในการขนส่งของโรงงานและพ่อค้าคนกลางมีตลอดช่วงเวลาการวางแผน ราคาซื้อมะพร้าว น้ำหอมจากสวนเครือข่ายและจากพ่อค้าคนกลางคงที่ในเดือนเดียวกัน ปริมาณมะพร้าวที่หาได้และปริมาณความต้องการมีการแจกแจงเดียวกันในช่วงฤดูเดียวกัน และแต่ละตัวแบบคือการวางแผนรายเดือนและพารามิเตอร์กำหนดเป็นตัวแปรสุ่มรายวัน

2.1.1 ดัชนีและเซต

k = ดัชนีพาหนะ

t = ดัชนีเวลา (วัน)

K = เซตของพาหนะ = $\{1, \dots, N\}$

H = เซตของช่วงเวลา = $\{1, \dots, T\}$

2.1.2 พารามิเตอร์คงที่

N = จำนวนของพาหนะ

T = จำนวนของช่วงเวลาในการวางแผน (วัน)

C_k = ความสามารถในการบรรทุกของพาหนะ k (จำนวนลูกต่อคัน)

C_F = จำนวนของมะพร้าวที่สามารถเก็บได้ต่อวัน

G = จำนวนครั้งสูงสุดของการขนส่งต่อวันต่อคัน

F_k = ค่าใช้จ่ายคงที่ในการขนส่งของพาหนะ k (บาทต่อรอบ)

A_{kt} = ค่าใช้จ่ายแรงงานของพาหนะ k ณ เวลา t (บาทต่อรอบ)

P_t = ราคามะพร้าวต่อลูกจากสวนเครือข่ายของโรงงาน ณ เวลา t (บาท)

C_t = ค่าใช้จ่ายในการขาดของส่งให้ลูกค้า ณ เวลา t (บาทต่อลูก)

R_t = ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา ณ เวลา t (บาทต่อลูก)

I_t = จำนวนมะพร้าวที่เหลือคงคลัง ณ สิ้นสุดเวลา t (ถ้ามะพร้าวมีมากกว่าความต้องการของลูกค้า)

L_t = จำนวนมะพร้าวที่ขาดส่งให้ลูกค้า ณ เวลา t (ถ้ามะพร้าวที่มีน้อยกว่าที่ลูกค้าต้องการ)

J_t = จำนวนมะพร้าวที่ขายแบบราคาถูก ณ เวลา t (ถ้าปริมาณมะพร้าวที่เหลือมากกว่าความสามารถในการเก็บรักษาในโกดัง)

O_t = มูลค่าที่เกิดจากการขายมะพร้าวในราคาถูก ณ เวลา t (บาทต่อลูก)

2.1.3 ตัวแปรสุ่ม

D_t = ปริมาณความต้องการของโรงงาน ณ เวลา t (ลูกต่อวัน)

S_t = ปริมาณมะพร้าวที่จัดหาได้จากสวนเครือข่าย ณ เวลา t

M_t = ปริมาณมะพร้าวที่จัดหาได้จากพ่อค้าคนกลาง ณ เวลา t

Q_t = ราคามะพร้าวที่รับซื้อจากพ่อค้าคนกลาง ณ เวลา t (บาทต่อลูก)

B_t = ราคาขาย ณ เวลา t (บาทต่อลูก)

2.1.4 ตัวแปรตัดสินใจ

X_t = ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่เก็บเกี่ยวได้จากสวนเครือข่าย ณ เวลา t

W_t = ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่รับซื้อจากพ่อค้าคนกลาง ณ เวลา t

Z_{kt} = จำนวนครั้งของการขนส่ง ณ เวลา t ของพาหนะ k

$Y_{kt} = \begin{cases} 1 \\ 0, \text{ ถ้าพาหนะ } k \text{ ไม่ถูกใช้ขนส่ง ณ เวลา } t \end{cases}$

2.1.5 สมการวัตถุประสงค์และข้อจำกัด

วัตถุประสงค์เพื่อหาค่ากำไรมากที่สุดซึ่งกำไรคือ รายได้ทั้งหมดลบกับค่าใช้จ่ายทั้งหมด แสดงดังสมการ (1) ซึ่งรายได้เกิดจากการขายมะพร้าวให้ลูกค้า ส่วนค่าใช้จ่าย คือ ค่าใช้จ่ายในการรับซื้อมะพร้าวน้ำหอมจากสวนเครือข่ายและพ่อค้าคนกลาง ค่าใช้จ่ายคงที่ในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงานและค่าเก็บเกี่ยว ค่าใช้จ่ายกรณีขาดของส่งให้ลูกค้า และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } \sum_t B_t \times \text{Sale}_t + \sum_t O_t J_t - \\ & (\sum_t P_t X_t + \sum_t Q_t W_t + \sum_k \sum_t F_k Z_{kt} + \\ & \sum_k \sum_t A_k Y_{kt} + \sum_t C_t L_t + \sum_t R_t I_t) \end{aligned} \quad (1)$$

$$X_t \leq S_t, \forall t \in H \quad (2)$$

$$W_t \leq M_t, \forall t \in H \quad (3)$$

สมการที่ (2) และสมการที่ (3) คือ ข้อจำกัดความสามารถในการขนส่ง สร้างขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าจำนวนมะพร้าวที่ซื้อจากสวนเครือข่ายและพ่อค้าคนกลางต้องน้อยกว่าปริมาณที่หามาได้

$$X_t + W_t - I_{t-1} + L_t \leq D_t + L_{t-1} + I_t + J_t \quad (4)$$

สมการที่ (4) เพื่อสมดุลข้อจำกัดระหว่างมะพร้าวที่จัดหาได้และปริมาณความต้องการ

$$Z_{kt} \leq GY_{kt}, \forall t \in H, \forall k \in K \quad (5)$$

สมการที่ (5) คือ ข้อจำกัด If – then มีเพื่อให้แน่ใจว่าการขนส่งจะเกิดเมื่อพาหนะถูกใช้

$$X_t \leq \sum_k Z_{kt} C_k, \forall t \in H \quad (6)$$

สมการที่ 1, ถ้าพาหนะ k ถูกใช้ขนส่ง ณ เวลา t มะพร้าวน้ำหอมไม่เกินความสามารถในการบรรทุก

$$I_t \leq C_F, \forall t \in H \quad (7)$$

$$\begin{aligned} I_t &= (X_t + W_t + I_{t-1}) - (D_t + L_{t-1}), \\ \forall t \in H, X_t + W_t + I_{t-1} &\geq D_t + L_{t-1} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} L_t &= (D_t + L_{t-1}) - (X_t + W_t + I_{t-1}), \\ \forall t \in H, D_t + L_{t-1} &\geq X_t + W_t + I_{t-1} \end{aligned} \quad (9)$$

$$J_t = C_F - I_t, \forall t \in H, C_F \geq I \quad (10)$$

สมการที่ (7) หมายถึง มะพร้าวที่คงคลังต้องไม่เกินความสามารถของโกดังที่บรรจุได้ สมการที่ (8) สมการที่ (9) และสมการที่ (10) คือ การสมดุลปริมาณคงคลัง ปริมาณของที่ขาด และปริมาณของที่ขายในราคาถูก ถ้าปริมาณความต้องการน้อยกว่าปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่จัดหาได้เกิดปริมาณคงคลัง ในทางกลับกันเกิดของไม่พอส่งให้ลูกค้า ปริมาณของไม่พอส่งให้ลูกค้า และในกรณีที่ปริมาณคงคลัง

เกินความสามารถของโกดัง โรงงานต้องขายมะพร้าวในราคา
ที่ถูกลง

$$Sale_t = \begin{cases} D_t + L_{t-1}, & D_t + L_{t-1} \leq X_t + W_t + I_{t-1} \\ X_t + W_t + I_{t-1}, & D_t + L_{t-1} > X_t + W_t + I_{t-1} \end{cases} \quad (11)$$

สมการที่ (11) หมายถึง ปริมาณมะพร้าวที่ขายได้ซึ่ง
พิจารณาระหว่างปริมาณความต้องการรวมกับปริมาณ
มะพร้าวที่ขาดส่งให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ผ่านมา และปริมาณ
มะพร้าวที่เก็บเกี่ยวได้และที่รับซื้อรวมกับปริมาณสินค้าคง
คลังก่อนหน้านี้

$$X_t, W_t \geq 0, \text{integer}, \forall t \in H \quad (12)$$

$$Y_{kt} = \text{binary}, \forall k \in K, \forall t \in H \quad (13)$$

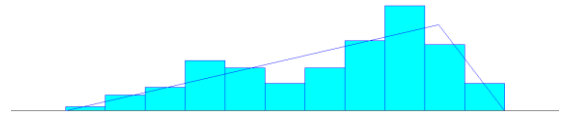
$$Z_{kt} = \text{integer}, \forall k \in K, \forall t \in H, \\ Z_{kt} \in \{0 \dots G\} \quad (14)$$

สมการที่ (12) สมการที่ (13) และสมการที่ (14) คือ
ขอบเขตของตัวแปรตัดสินใจ

2.2 การแจกแจงของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแปรสุ่มของแบบจำลองการจัดการหา
ประกอบด้วย ปริมาณความต้องการของโรงงาน ปริมาณ
มะพร้าวที่จัดหาได้จากสวนเครือข่าย ปริมาณมะพร้าวที่
จัดหาได้จากพ่อค้าคนกลาง ราคามะพร้าวที่รับซื้อจากพ่อค้า
คนกลาง และราคาขาย ซึ่งในการพิจารณาว่าพารามิเตอร์มี
รูปร่างการกระจายแบบใดพิจารณาจากค่า p-value ว่ามีค่า
มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 หรือไม่ จากการ
ตั้งสมมติฐาน คือ สมมติฐานหลัก H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจง
ตามแบบที่ต้องการทดสอบ และสมมติฐานรอง H_1 : ข้อมูลไม่
มีการแจกแจงตามแบบที่ต้องการทดสอบ ซึ่งการวิเคราะห์
ข้อมูลรับเข้าพิจารณาฮิสโตแกรมและฟังก์ชันความหนาแน่น
ของความน่าจะเป็น [15] ซึ่งจากรูปที่ 1 เป็นฮิสโตแกรมและ
ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของปริมาณมะพร้าว

น้ำหอมที่สามารถเก็บเกี่ยวได้จากสวนเครือข่าย เดือนที่
1 – 4



รูปที่ 1 ฮิสโตแกรมและฟังก์ชันความหนาแน่นของความ
น่าจะเป็น

การวิเคราะห์ข้อมูลรับเข้าของข้อมูลพิจารณาจากฮิสโต
แกรมและฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (PDF)
ของพารามิเตอร์ โดยตัวแปรสุ่มแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม

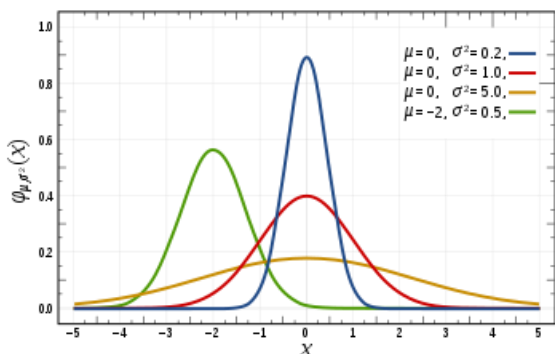
พารามิเตอร์	เดือนที่	การแจกแจง
ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่ สามารถเก็บเกี่ยวได้จาก สวนเครือข่าย	1 – 4	สามเหลี่ยม (Triangular)
	5 – 8	สามเหลี่ยม (Triangular)
	9 – 12	เบต้า (Beta)
ปริมาณมะพร้าวน้ำหอมที่ รับซื้อจากพ่อค้าคนกลาง	1 – 4	ไวบูลล์ (Weibull)
	5 – 8	ปกติ (Normal)
	9 – 12	เบต้า (Beta)
ปริมาณความต้องการ มะพร้าวน้ำหอมที่โรงงาน	1 – 4	ปกติ (Normal)
	5 – 8	
	9 – 12	
ส่วนต่างของราคาซื้อ จากพ่อค้าคนกลางเมื่อ เทียบกับราคาซื้อหน้า สวน	1 – 4	เอกรูป (Uniform)
	5 – 8	
	9 – 12	
ส่วนต่างของราคาขาย เมื่อเทียบกับราคาซื้อ หน้าสวน	1 – 4	เอกรูป (Uniform)
	5 – 8	
	9 – 12	

ผู้วิจัยนำข้อมูลรายวันจากโรงงานกรณีศึกษา จำนวน
365 ข้อมูลมาแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา เนื่องจากปริมาณ
มะพร้าวน้ำหอมที่เก็บเกี่ยวได้เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และ
ราคาเป็นไปตามกลไกตลาด เช่น ในฤดูร้อน ปริมาณมะพร้าว

ที่เก็บเกี่ยวได้มีน้อย ทำให้ราคาสูง ในทางกลับกัน ในฤดูฝน ปริมาณมะพร้าวที่เก็บเกี่ยวได้มีจำนวนมาก ทำให้ราคาถูกลง เป็นต้น และจากการทดสอบการแจกแจงของพารามิเตอร์ด้วย Input Analyzer ของโปรแกรมอารีน่า (Arena) เมื่อวิเคราะห์ฮิสโตแกรมของแต่ละพารามิเตอร์พบว่าแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าข้อมูลในฤดูเดียวกันมีการแจกแจงรูปแบบเดียวกัน แต่ข้อมูลที่ต่างฤดูกาลมีรูปแบบของการแจกแจงหรือค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงที่ต่างกัน โดยพิจารณาเลือกการแจกแจงจากค่า p-value ที่มากกว่า 0.05 ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็นช่วงเดือนที่ 1 – 4 ช่วงเดือนที่ 5 – 8 และช่วงเดือนที่ 9 – 12 ซึ่งในแต่ละช่วงมีลักษณะการแจกแจง ดังตารางที่ 1 ข้อมูลการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่ได้ คือ ข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในส่วนของหัวข้อ 2.1.3 โดยการวางแผนแต่ละพารามิเตอร์กำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงรายวัน

2.2.1 การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

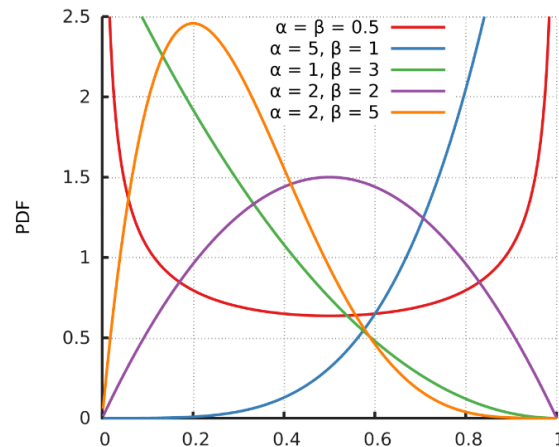
การแจกแจงแบบปกติ เป็นการแจกแจงแบบต่อเนื่อง ซึ่งจำลองกระบวนการที่สามารถมองเป็นผลบวกของกระบวนการย่อย [16] รูปที่ 2 แสดงกราฟ PDF ของการแจกแจงแบบปกติ โดยตัวแปรสุ่มมีสัญลักษณ์ คือ $X \sim \text{Normal}(\mu, \sigma)$ และมีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ $(-\infty, +\infty)$



รูปที่ 2 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบปกติ [17]

2.2.2 การแจกแจงแบบเบต้า (Beta Distribution)

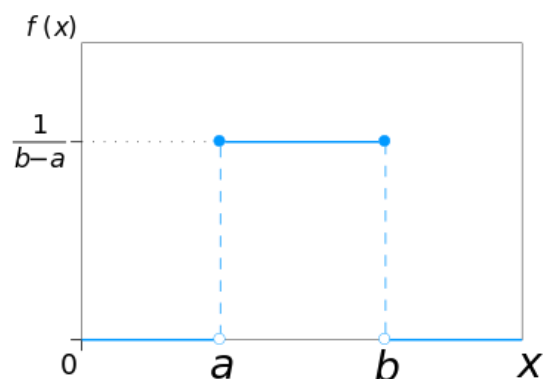
การแจกแจงแบบเบต้า เป็นการแจกแจงแบบต่อเนื่อง รูปที่ 3 แสดงกราฟ PDF ของการแจกแจงแบบเบต้า โดยตัวแปรสุ่มมีสัญลักษณ์ คือ $X \sim \text{Beta}(\alpha, \beta)$ และมีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ $[a, b]$ [16]



รูปที่ 3 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบเบต้า [18]

2.2.3 การแจกแจงแบบเอกรูป (Uniform Distribution)

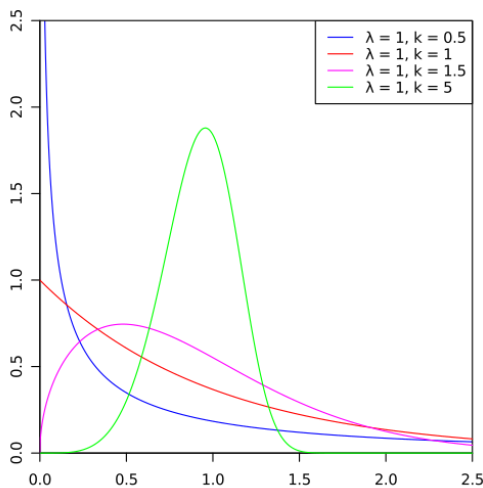
การแจกแจงแบบเอกรูปเป็นการแจกแจงแบบต่อเนื่อง ซึ่งจำลองเหตุการณ์ที่มีโอกาสการเกิดเท่า ๆ กัน รูปที่ 4 แสดงกราฟ PDF ของการแจกแจงแบบเอกรูป โดยตัวแปรสุ่มมีสัญลักษณ์ คือ $X \sim \text{Uniform}(a, b)$ และมีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ $[a, b]$ [16]



รูปที่ 4 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบเอกรูป [19]

2.2.4 การแจกแจงแบบไวบูล (Weibull Distribution)

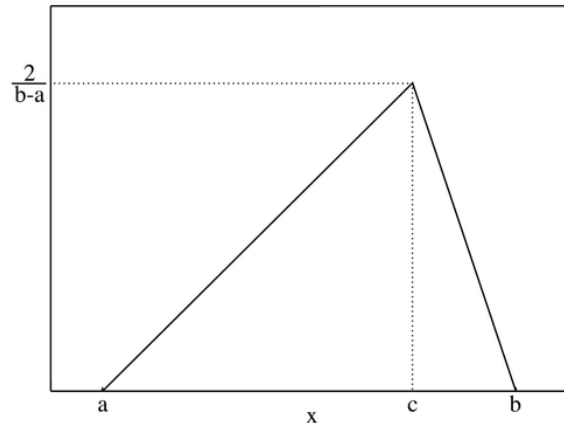
การแจกแจงแบบไวบูล เป็นการแจกแจงแบบต่อเนื่อง ส่วนใหญ่ใช้จำลองอายุการใช้งานที่การเสียหายหลายสาเหตุ และเสียทันทีเมื่อเกิดสาเหตุใดก็ได้ [16] รูปที่ 5 แสดงกราฟ PDF ของการแจกแจงแบบไวบูล โดยตัวแปรสุ่มมีสัญลักษณ์ คือ $X \sim \text{Weibull}(\lambda)$ และมีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ $[0, \infty)$



รูปที่ 5 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบไวบูล [20]

2.2.5 การแจกแจงแบบสามเหลี่ยม (Triangular Distribution)

การแจกแจงแบบสามเหลี่ยม ใช้จำลองกระบวนการที่รู้เพียงขอบเขตล่าง (a) ขอบเขตบน (b) และค่าที่เป็นไปได้มากที่สุด (c) [16] รูปที่ 6 แสดงกราฟ PDF ของการแจกแจงแบบสามเหลี่ยม โดยตัวแปรสุ่มมีสัญลักษณ์ คือ $X \sim \text{Triangular}(a,b,c)$ และมีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ $[a,b]$



รูปที่ 6 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม [21]

2.3 นโยบายการตัดปลายของการแจกแจง

ผู้วิจัยวิเคราะห์นโยบายการตัดปลายของการแจกแจงเพื่อตัดเหตุการณ์ที่มีโอกาสการเกิดน้อยออก 4 กรณี คือ กรณีไม่ตัดปลาย กรณีตัดปลายทางด้านน้อย กรณีตัดปลายทางด้านมาก และกรณีตัดปลายทั้งสองข้าง [22] โดยแต่ละการแจกแจงของตัวแปรสุ่มจากตารางที่ 1 ประกอบด้วย ปริมาณความต้องการของโรงงาน ปริมาณมะพร้าวที่จัดหาได้จากสวนเครือข่าย ปริมาณมะพร้าวที่จัดหาได้จากพ่อค้าคนกลาง ราคามะพร้าวที่รับซื้อจากพ่อค้าคนกลาง และราคาขาย มีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ช่วงของค่าที่เป็นไปได้ของการแจกแจง

การแจกแจง	ช่วงของค่าที่เป็นไปได้	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
สามเหลี่ยม	a	b
เบต้า	a	b
ไวบูลล์	0	$+\infty$
ปกติ	$-\infty$	$+\infty$
เอกรูป	a	b

การตัดช่วงของการแจกแจงแต่ละกรณี สำหรับกรณีที่ 1 นโยบายนี้เป็นผลที่ได้จากการประมวลผลรายปีโดยยังไม่มี การพิจารณาการตัดปลายของการแจกแจง จากนั้นนำมา สร้างนโยบายที่แตกต่างกันอีกจำนวน 12 นโยบาย ซึ่ง พิจารณาการตัดปลายของแต่ละการแจกแจง โดยตัดปลาย 5% 10% 15% และ 20% เพื่อหานโยบายที่ส่งผลให้ผล กำไรรายปีที่มากที่สุด

สำหรับการแจกแจงสามเหลี่ยม การแจกแจงแบบเบต้า และการแจกแจงเอกรูป มีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ เท่ากับ $[a,b]$ การคำนวณการตัดปลาย เช่น ตัดปลายทางด้านน้อยที่ 5% คือ $(1+5\%)(a)$ จะได้ขอบเขตด้านน้อยในการตัด ส่วน การตัดปลายทางด้านมากที่ 5% คือ $(1-5\%)(b)$ จะได้ ขอบเขตด้านมากในการตัด

สำหรับการแจกแจงแบบปกติ และการแจกแจงไวบูลล์ เนื่องจากการแจกแจงนี้มีช่วงของค่าที่เป็นไปได้ เท่ากับ $(-\infty, +\infty)$ และ $(0, +\infty)$ ตามลำดับ ผู้วิจัยได้กำหนดค่า ต่ำสุดและค่าสูงสุดที่เป็นไปได้จากข้อมูลของโรงงาน กรณีศึกษา จากนั้นจึงทำการตัดปลายตามกรณีต่าง ๆ ที่ กำหนดไว้

3. ผลการวิจัย

ผลกำไรทั้งหมดรายปีของแต่ละนโยบาย ดังตารางที่ 3 ได้จากการประมวลผลตัวแบบการโปรแกรมจำนวนเต็มผสมที่ ไม่เป็นเส้นตรง เพื่อหานโยบายที่ส่งผลให้ผลกำไรรายปีที่มากที่สุด โดยประมวลผลหาคำตอบด้วย OptQuest ซึ่งแต่ละ นโยบายได้ผลลัพธ์เฉลี่ยจากการประมวลผลจำนวน 500 สถานการณ์ พบว่า นโยบายที่ 2 นโยบายที่ 4 และนโยบายที่ 5 ซึ่งเป็นการตัดปลายการแจกแจงกรณีตัดปลายทางด้าน น้อย เมื่อเทียบกับนโยบายที่ 1 ที่ไม่มีการตัดปลาย พบว่า ค่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลกำไรที่เพิ่มขึ้น เท่ากับ 2.75% 3.60% และ 1.21% ดังนั้น สรุปได้ว่าการตัดปลาย การแจกแจงแบบกรณีตัดปลายทางด้านน้อย 15% มีผลกำไร

รายปีมากที่สุด เท่ากับ 1,473.11 (10^5) บาท

ตารางที่ 3 ผลกำไรทั้งหมดรายปี (10^5 บาท) ของนโยบาย การตัดปลาย

นโยบาย	กรณี	ค่าเฉลี่ยผลกำไร
1	Nontruncated	1,421.90
2	Lower truncated 5%	1,460.96
3	Lower truncated 10%	1,393.15
4	Lower truncated 15%	1,473.11
5	Lower truncated 20%	1,439.13
6	Upper truncated 5%	-466.64
7	Upper truncated 10%	-488.15
8	Upper truncated 15%	-531.94
9	Upper truncated 20%	-582.88
10	Doubly truncated 5%	-485.59
11	Doubly truncated 10%	-469.07
12	Doubly truncated 15%	-505.72
13	Doubly truncated 20%	-605.14

การนำแบบจำลองการวางแผนการจัดหาไปประยุกต์ใช้ ช่วยให้ผู้วางแผนหรือผู้ตัดสินใจของโรงงานอุตสาหกรรมใน การจัดหาวัตถุดิบตัดสินใจภายใต้สถานการณ์ที่ไม่แน่นอน และสามารถวางแผนได้เหมาะสม เนื่องจากทำให้รู้ว่าในช่วง ใดที่มีความเสี่ยงในการเกิดค่าใช้จ่ายสูงซึ่งส่งผลต่อกำไรที่ ลดลงหรือขาดทุน การวางแผนในระยะยาวทำให้ผู้วางแผน ทราบถึงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ โรงงานสามารถจัดการในการเพิ่มส่วนเครือข่ายเพื่อ ตอบสนองต่อปริมาณความต้องการของโรงงาน และปริมาณ ที่สามารถจัดหาแพรวน้ำหอมที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อ โรงงานต้องวางแผนการจัดหาภายใต้สถานการณ์ที่ พหุภาวะมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น จึงควรพิจารณาและ กำหนดขอบเขตของช่วงของข้อมูลเพื่อนำมาใช้สร้าง แบบจำลองที่เหมาะสม และสอดคล้องกับสถานการณ์จริง

4. สรุปผลการวิจัย

การวางแผนการจัดหาของสินค้าทางการเกษตรโดยใช้ตัวแบบการโปรแกรมจำนวนเต็มผสมที่ไม่เป็นเส้นตรง ภายใต้ปัจจัยที่มีความไม่แน่นอน เช่น ราคา ปริมาณความต้องการ และปริมาณมะพร้าวที่จัดหาได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณผลผลิตที่จัดหาเพื่อให้มีกำไรสูงสุด ซึ่งสินค้าทางการเกษตรส่วนใหญ่ประสบปัญหาการวางแผนเนื่องจากการขาดแคลนผลผลิตและความไม่สมดุลของปริมาณที่จัดหาและปริมาณความต้องการ จึงต้องมีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ นอกจากการได้วิธีการในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมแล้วผู้วางแผนต้องหาวิธีการจัดการความไม่แน่นอนของปัจจัยต่าง ๆ และช่วงระยะเวลาในการวางแผนต้องครอบคลุมกับการปฏิบัติงานซึ่งโรงงานใช้การตัดสินใจระดับปฏิบัติการในการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบ ซึ่งเป็นการตัดสินใจในระดับรายวันที่ส่งผลกระทบต่อระยะสั้น แต่เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่แน่นอนมีการเปลี่ยนแปลงเป็นฤดูกาล

ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการนำมาตัดสินใจจึงได้พัฒนาคำตอบของแบบจำลองการจัดหาโดยพิจารณาระยะเวลาวางแผนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้สามารถวางแผนจัดการพารามิเตอร์ที่ไม่แน่นอนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่เนื่องจากพารามิเตอร์เป็นตัวแปรสุ่มที่มีรูปแบบการแจกแจงที่แตกต่างกัน ซึ่งบางเหตุการณ์มีโอกาสหรือความน่าจะเป็นของการเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงทดลองตัดปลายของการแจกแจง เพื่อหาว่าแต่ละพารามิเตอร์ควรกำหนดค่าต่ำสุด และกำหนดค่าสูงสุดอย่างไร นอกจากนี้การพิจารณานโยบายโดยใช้การตัดช่วงการแจกแจงสามารถลดการพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีโอกาสในการเกิดน้อยออกไป ส่งผลให้การวางแผนการจัดหาให้มีผลกำไรที่เพิ่มมากขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

[1] K. Willy, and A. Njeru, "Effects of Procurement Planning on Procurement Performance: A Case Study of Agricultural Development Corporation, Nairobi," *International Journal of Business and Commerce*, Vol. 3 (No.12), pp.58-68, 2014.

[2] A. O. Ogwang and L. Waweru, "Influence of Procurement Planning on Performance of Kisumu

Water and Sewerage Company Limited, Kenya," *International Journal of Economics Commerce and Management*, Vol. 5 (No.5), pp.767-789, 2017.

- [3] X. Du, Leung S., Zhang L.J. and K. K. Lai, "Procurement of Agricultural Products Using the CPFR Approach," *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol.14 (No.4), pp.253-258, 2009.
- [4] F. Aziz, M. Panitra and A. K. Rivai, "Synthesis and Monte Carlo Simulation of Improved Concrete Composites for Enhanced X-Ray/Gamma-Ray Radiation Shielding," *International Journal of Technology*, Vol.9 (No.4), pp.695-706, 2018.
- [5] S. Deepradit, R. Pisuchpen and P. Ongkunaruk, "The Harvest Planning of Aromatic Coconut by Using Monte Carlo Simulation," *The 2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*. 21-23 April 2017: pp. 116-120, 2017.
- [6] N. J. Haaning and A. J. Brandstrup, *Monte Carlo Simulation in Crystal Ball 7.3*: AARHUS University, 2008.
- [7] A. Jareonkitpoolpol, P. Ongkunaruk and G. K. Janssens, "Determination of the Optimal Blending Problem of Organic-Chemical Fertilizer under Uncertainty," *Soil Use and Management*, Vol.34 (No.4), pp.449-460, 2018.
- [8] R. Pisuchpen and P. Ongkunaruk, "Simulation for Production Line Balancing of a Large-Sized Frozen Chicken Manufacturer," *Actual Problems of Economics*, Vol.177 (No.3), pp.397-406, 2016.
- [9] T. Zhang and M. Xie, "On the Upper Truncated Weibull Distribution and Its Reliability Implications," *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.96 (No.1), pp.194-200, 2011.

- [10] M. S. Tokmachev, "Modeling of Truncated Probability Distributions," *Materials Science and Engineering.*, Vol.441, pp.1-9, 2018.
- [11] S. Chen and W. Gui, "Estimation of Unknown Parameters of Truncated Normal Distribution under Adaptive Progressive Type II Censoring Scheme," *Mathematics.*, Vol.49, 2021. <https://doi.org/10.3390/math9010049>
- [12] X. Zeng, and W. Gui, "Statistical Inference of Truncated Normal Distribution Based on the Generalized Progressive Hybrid Censoring," *Entropy.*, Vol.23, pp.186-215, 2021.
- [13] A. Gul, M. Mohsin, M. Adil and M. Ali, "A Modified Truncated Distribution for Modeling the Heavy Tail," *Engineering and Environmental Sciences Data.*, Vol.16 (No.4), 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249001>
- [14] S. Deepradit, P. Ongkunaruk and R. Pisuchpen, "Tactical Procurement Planning under Uncertainty in Aromatic Coconut Manufacturing," *International Journal of Technology.*, Vol.11 (No.4), pp. 698-709, 2020.
- [15] J. Banks, J. S. Carson, B. C. Nelson and D. M. Nicol, 4th ed., *Discrete-Event System Simulation*. London: Pearson Education, 2005.
- [16] จุฑา พิชิตลำเค็ญ, พิมพ์ครั้งที่ 1, พื้นฐานการจำลองสถานการณ์เชิงสุ่ม เพื่อการประยุกต์ใช้กับปัญหาจริง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558.
- [17] Wikimedia Foundation, Inc. (17 กรกฎาคม 2564). *Normal Distribution*. [Online] Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution
- [18] Wikimedia Foundation, Inc. (17 กรกฎาคม 2564). *Beta Distribution*. [Online] Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Beta_distribution
- [19] Wikimedia Foundation, Inc. (17 กรกฎาคม 2564). *Uniform Distribution*. [Online] Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Uniform_distribution
- [20] Wikimedia Foundation, Inc. (17 กรกฎาคม 2564). *Weibull Distribution*. [Online] Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Weibull_distribution
- [21] Wikimedia Foundation, Inc. (17 กรกฎาคม 2564). *Triangular Distribution*. [Online] Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Triangular_distribution
- [22] J. Burkardt, "The Truncated Normal Distribution. Department of Scientific Computing Website," Florida State University, pp.1-35. 2014.

การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรสำหรับ กระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์

จักรวาล คุณะดิลก^{*1} อารตา ไชยโคตร¹

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอมือ จังหวัดชลบุรี 20131

Received: 8 August 2021; Revised: 13 November 2021; Accepted: 16 November 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับการขึ้นรูปยางรถยนต์ที่มีเป้าหมายในการลดต้นทุนรวมจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร ระบบการผลิตนี้มีลักษณะเป็นแบบเครื่องจักรแบบขนานจำนวน 32 เครื่อง สำหรับผลิตงานประมาณ 80 รุ่นรวม 7,000 เส้นต่อวัน โดยที่เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า การจัดตารางการผลิตนี้เป็นกิจกรรมที่ทำประจำสัปดาห์ โดยนำปริมาณความต้องการยางรถยนต์แต่ละวันในหนึ่งสัปดาห์ข้างหน้าจากแผนการผลิตหลักมาสร้างเป็นตารางการผลิตรายวัน ปัญหานี้จึงเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming, MILP) ที่สร้างขึ้นจากพื้นฐานของแบบจำลองปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขสำคัญด้านการทำงานล่วงเวลา และจุดตั้งต้นการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่แตกต่างกัน การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง MILP เปรียบเทียบกับตารางการผลิตจริง 30 วันที่สร้างจากประสบการณ์ของผู้วางแผน พบว่าวิธีการที่เสนอสามารถสร้างตารางการผลิตที่เป็นไปได้ที่ทำให้ต้นทุนรวมลดลงเฉลี่ย 328,848 บาทต่อเดือน จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ลดลงเฉลี่ย 3.3 เครื่องต่อวัน เวลาตั้งเครื่องจักรลดลงเฉลี่ย 34.9 นาทีต่อวัน และเวลาการทำงานล่วงเวลาลดลงเฉลี่ย 6.3 ชั่วโมงต่อวัน

คำสำคัญ: เครื่องจักรขนาน เวลาตั้งเครื่องจักรที่ขึ้นอยู่กับลำดับงาน กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

* Corresponding author. E-mail: jakrawarn@eng.buu.ac.th

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Parallel machine scheduling with sequence dependent setup time for tire building process

Jakrawarn Kunadilok^{*1} Arada Chaityacod¹

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
Mueang, Chonburi 20131

Received: 8 August 2021; Revised: 13 November 2021; Accepted: 16 November 2021

Abstract

This research proposed a scheduling method for tire building machines with reducing total cost from labor cost and electrical cost as the goal. The production system in the tire building process consists of 32 parallel machines that responsible for producing 7,200 tires of 80 tire models per day, approximately. Each machine's setup time when changing the models in production depends on the tire model that produced previously. Production scheduling in this process is a weekly planning activity for generating daily production schedules that meet all demands for each day in one week indicated in the master production plan. Thus this scheduling problem is a parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup time as processing restriction and minimizing total cost as the objective. A mixed integer linear programming model (MILP) was developed to solve this problem. A school bus routing problem formulation was used as the prototype model in developing the proposed MILP that included an overtime constraint and possible different initial jobs on each machine. The performance of the proposed MILP was evaluated by comparing with the real production schedules of 30 days generated by experience of the planner. The results revealed that the proposed MILP was able to find all feasible solutions. The total cost was decreased by 328,848 baht per month. The average number of machine used for production was reduced by 3.3 machines per day. The average setup time was reduced by 34.9 minutes per day. The average hour of production in overtime was reduced by 6.3 hours per day.

Keywords: parallel machines, sequence-dependent setup time, mixed integer linear programming

^{*} Corresponding author. E-mail: jakrawarn@eng.buu.ac.th

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

1. บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูง องค์กรต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับความต้องการของลูกค้าที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นอกจากการปรับปรุงที่ตัวผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายแล้ว การปรับปรุงสภาพการดำเนินงานขององค์กรเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้องค์กรมีขีดความสามารถในการแข่งขันกับองค์กรอื่น ๆ การลดต้นทุนการดำเนินงานทุกส่วนในองค์กรเป็นกลยุทธ์สำคัญที่เพิ่มประสิทธิภาพขององค์กร การวางแผนการผลิตที่ทำให้สามารถใช้ทรัพยากรการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ การจัดการการผลิตเป็นกิจกรรมสำคัญของกระบวนการผลิตยางรถยนต์ที่มีผลิตภัณฑ์หลากหลายรุ่น การใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยทำให้กระบวนการผลิตสามารถผลิตงานหลากหลายรุ่นได้บนสายการผลิตเดียวกันโดยการทำการกิจกรรมปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตด้วยเงื่อนไขการปรับตั้งเครื่องจักรนี้ทำให้จัดการการผลิตที่มีประสิทธิภาพได้ยากมากขึ้น

ปัญหาการจัดการการผลิตในภาคอุตสาหกรรมเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน โดยทั่วไปแล้วปัจจัยที่มีผลต่อความยากนี้ประกอบด้วยลักษณะงานที่ทำการผลิต รูปแบบของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป้าหมายด้านประสิทธิภาพของการผลิต และเงื่อนไขการผลิตอื่น ๆ เช่น เวลาปรับตั้งเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงตามรุ่นการผลิตก่อนหน้านี้ในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ที่ใช้การปรับตั้งแม่พิมพ์เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดขอบยาง หรือใช้การเปลี่ยนแม่พิมพ์เมื่อเปลี่ยนรุ่นยางที่ผลิต เป็นต้น การแก้ปัญหามานagementการจัดการผลิตของอุตสาหกรรมในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการอย่างง่าย เช่น กฎการจัดลำดับความสำคัญของงานแบบต่าง ๆ เป็นต้น หรือใช้ประสบการณ์และความชำนาญของผู้วางแผน [1-4] วิธีการเหล่านี้อาจทำให้เกิดความสูญเสียในการผลิตได้ เช่น จัดลำดับการผลิตไม่เหมาะสมส่งผลต่อการใช้เวลาในการตั้งเครื่องจักรมากเกินไป เป็นต้น ทำให้คุณภาพผลลัพธ์ที่เป็นเป้าหมายของการวางแผนการผลิต เช่น เวลาปิดงานของระบบ เป็นต้น ยังสามารถปรับปรุงได้โดยใช้วิธีการจัดการการผลิตด้วยเมตาฮีริสติกหรือวิธีการอื่นที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น [5-7]

งานวิจัยนี้พิจารณาปัญหาการจัดการตารางการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ที่มีรูปแบบการผลิตที่ใช้เครื่องจักรแบบขนานในสำหรับผลิตงานหลายรุ่น รูปแบบการผลิตนี้มักเกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรม [8-10] ที่ทำให้โรงงานมีกำลังการผลิตที่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการของลูกค้า กระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์นี้ต้องจัดการการผลิตรายวันสำหรับปริมาณการผลิตรวมประมาณ 7000 เส้นของรุ่นผลิตภัณฑ์ประมาณ 80 รุ่น บนเครื่องขึ้นรูปยางจำนวน 32 เครื่อง เครื่องจักรทุกเครื่องใช้เวลาการผลิตไม่ต่างกันในการขึ้นรูปยางรุ่นหนึ่ง ๆ แต่มีบางรุ่นที่มีขนาดขอบยางใหญ่สามารถผลิตได้เฉพาะบนเครื่องจักร 3 เครื่อง และเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตต้องมีการปรับตั้งเครื่องจักรโดยเวลาที่ใช้ปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับรุ่นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตก่อนหน้านี้ ปัญหาการจัดการตารางการผลิตนี้จัดเป็นปัญหาการจัดการตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการตั้งเครื่องจักร ซึ่งเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-hard) เมื่อเป้าหมายของการจัดการตารางการผลิตคือการทำให้เวลาปิดงานในระบบต่ำที่สุด [11]

วิธีการจัดการตารางการผลิตที่มีเงื่อนไขการผลิตด้านเวลาการตั้งเครื่องจักรมีการเสนอในงานวิจัยเป็นจำนวนมาก Allahverdi [12] ได้สำรวจว่าในช่วงกลางปี ค.ศ. 2006 ถึงปี ค.ศ. 2014 มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวม 82 งานวิจัยที่เสนอวิธีการจัดการตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่มีเวลาตั้งเครื่องจักรเป็นเงื่อนไขการผลิต งานวิจัยจำนวนมากได้ออกแบบวิธีการเมตาฮีริสติกสำหรับแก้ปัญหามานagementการจัดการผลิตนี้ ขณะที่มิงงานวิจัยมากกว่า 20 งานที่ใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหามาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ปัญหาการจัดการตารางการผลิตเพื่อให้ผลรวมของเวลาปิดงานแบบถ่วงน้ำหนักต่ำที่สุดสามารถใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ร่วมกับขั้นตอนวิธีแบบคอลัมน์ที่สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมการจัดการตารางการผลิต 60 งาน และ 10 เครื่องจักร ได้ในเวลาที่เหมาะสมกับขนาดปัญหา [13] เป็นต้น ผลการสำรวจงานวิจัยนี้สอดคล้องกับ Giard et al. [8] ที่ได้ทำการวิจัยประยุกต์ในการจัดการตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของโรงงานผลิตปุ๋ยแห่งหนึ่ง พบว่างานวิจัยจำนวน 16 เรื่องเป็นปัญหาที่มีเงื่อนไขการผลิตที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรและใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์

เป็นทางเลือกในการแก้ปัญหา Ruiz et al. [14] ใช้ชุดสมการข้อจำกัด MTZ สำหรับกำจัดเส้นทางย่อยจากปัญหาการเดินทางพนักงานขาย (Traveling salesman problem) ในแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กันที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรโดยมีเป้าหมายให้เวลาปิดงานต่ำที่สุด แบบจำลองที่เสนอสามารถจัดตารางการผลิตที่มีจำนวนงาน 200 งานโดยให้ผลลัพธ์เวลาปิดงานแตกต่างจากขอบเขตล่างของปัญหาโดยเฉลี่ย 1.98% เมื่อกำหนดเวลาประมวลผลสูงสุด 3 ชั่วโมง แบบจำลองนี้ถูกขยายผลไปใช้งานร่วมกับอัลกอริทึมในการหาผลลัพธ์ด้วยการจัดกลุ่มงานให้กับเครื่องจักรก่อน แล้วนำผลลัพธ์ไปจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องต่อไปโดยมีเป้าหมายให้ผลรวมเวลาเสร็จงานของทุกเครื่องจักรต่ำที่สุด พบว่าวิธีการนี้ทำให้ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของเวลาปิดงานจากขอบเขตล่างมีค่าต่ำกว่า 0.5% สำหรับปัญหาที่มีจำนวนงาน 400 ถึง 1000 งาน

เป้าหมายการจัดตารางการผลิตที่ใช้เป็นตัวชี้วัดสมรรถนะของตารางการผลิตแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ปริมาณผลผลิต การส่งมอบงาน และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการผลิต [11] ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่รวมการตัดสินใจเกี่ยวกับการทำงานล่วงเวลาเป็นปัญหาที่วัดสมรรถนะของตารางการผลิตด้วยค่าใช้จ่าย เช่น ต้นทุนต่ำที่สุด เป็นต้น Süer and K. Mathu [15] เสนอแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ในการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานร่วมกับการตัดสินใจเกี่ยวกับความต้องการในการทำงานล่วงเวลาที่มีอัตราค่าแรงล่วงเวลาต่างกันในช่วงวันธรรมดาและวันหยุดเพื่อให้กำไรสุทธิสูงสุด ความซับซ้อนของการตัดสินใจเกี่ยวกับลำดับการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องและการทำงานล่วงเวลาเพื่อให้ผลิตงานได้ทันตามกำหนดส่งมอบทำให้ปัญหานี้เป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-hard) แบบจำลองที่เสนอจึงถูกสร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขให้ลำดับงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องเรียงลำดับตามกฎกำหนดส่งมอบก่อนให้ผลิตก่อน (Earliest Due Date, EDD) และยอมให้มีการผลิตไม่ทันกำหนดส่งมอบ แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้สำหรับการตัดสินใจทำงานล่วงเวลาได้ทั้งแบบเต็มเวลาหรือบางส่วนเป็นเวลา และสามารถกำหนดให้เครื่องจักรทุกเครื่องจะต้องทำงานแบบล่วงเวลาในกะทำงานที่ต้องการได้

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยประยุกต์การจัดตารางการผลิตสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ในโรงงานกรณีศึกษาที่มีเงื่อนไขให้ปริมาณการผลิตในแต่ละวันต้องสอดคล้องเป็นไปตามที่กำหนดจากแผนการผลิตหลัก หากผู้วางแผนจัดตารางการผลิตในเวลางานปกติในเบื้องต้นแล้วพบว่าตารางการผลิตที่สร้างขึ้นยังไม่สามารถผลิตงานได้ตามปริมาณคำสั่งผลิต ผู้วางแผนจะพิจารณาเพิ่มจำนวนเครื่องจักรที่ยังไม่ได้กำหนดให้ผลิตงาน หรืออาจกำหนดให้มีการทำงานล่วงเวลาได้ 3 ระดับคือ 1 2 หรือ 3 ชั่วโมง จนสามารถผลิตงานได้ครบตามแผนการผลิตหลัก จำนวนเครื่องจักรที่ใช้และการทำงานล่วงเวลาที่มีอัตราค่าแรงสูงกว่าช่วงเวลางานปกติจะส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของงานที่ผลิตสูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ผลิตและค่าแรงงานของพนักงานคุมเครื่องจักร

2. ข้อมูลของกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์

กระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษามีกำลังการผลิตสูงสุดประมาณ 80,000 ตัน/ปี ขั้นตอนการผลิตนี้เป็นการประกอบส่วนต่าง ๆ ของยางด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยให้เป็นโครงยางดิบ (Green tire) ชิ้นส่วนประกอบต่าง ๆ ของยางจะถูกนำมาประกอบในตำแหน่งที่ออกแบบไว้อย่างเที่ยงตรงเพื่อให้ได้ขนาดและคุณภาพของยางตามข้อกำหนดของรุ่นผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนประมาณ 200 รุ่น ยางแต่ละรุ่นจะมีการระบุขนาดขอบยาง (Rim size) ไว้ 4 ขนาด คือ 19 20 22 และ 24 นิ้ว เครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปยางมีลักษณะเป็นเครื่องจักรแบบขนานรวมจำนวน 32 เครื่อง โดยมีข้อจำกัดสำหรับการผลิตยางรุ่นที่มีขนาดขอบยาง 24 นิ้วสามารถผลิตได้เฉพาะบนเครื่องจักร 3 เครื่องเท่านั้น เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตบนเครื่องจักรหนึ่ง ๆ จะต้องมีการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่ เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตจะขึ้นอยู่กับรุ่นผลิตภัณฑ์และขนาดขอบยางที่ผลิตก่อนหน้า การกระจายตัวของช่วงเวลาปรับตั้งเครื่องจักรของทุกลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การกระจายตัวของเวลาการตั้งเครื่องจักรของทุกลำดับการผลิตที่เป็นไปได้

ช่วงเวลาการตั้งเครื่องจักร (นาที)	ร้อยละ
0 - 40	12
40 - 50	40
300 - 360	25
530 - 560	14
860 - 900	5
1300 - 1400	4

โรงงานกรณีศึกษาแบ่งการทำงานใน 1 วันออกเป็น 3กะการทำงาน มีชั่วโมงการทำงานต่อกะตามเวลาการทำงานปกติ 7 ชั่วโมง และการทำงานล่วงเวลา 1 ชั่วโมง อัตราค่าแรงงานพนักงานควบคุมเครื่องจักรในช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลาคิดเป็น 1.5 เท่าของเวลาการทำงานปกติการทำงานในแต่ละวันหากมีการใช้งานเครื่องจักรใด ๆ จะต้องทำการผลิตครบทั้ง 3 กะการทำงาน โดยคิดค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องจักรเฉพาะช่วงที่ทำการผลิตและปรับตั้งเครื่องจักรจากอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อชั่วโมงคิดเป็น 0.4 เท่าของอัตราค่าแรงในช่วงเวลาการทำงานปกติ

กิจกรรมการจัดตารางการผลิตรายวันเริ่มจากการรับแผนการผลิตหลักที่แสดงปริมาณการผลิตที่ต้องการของยางแต่ละรุ่นล่วงหน้า 7 วัน จากนั้นผู้วางแผนจะทำการตัดสินใจว่างานรุ่นต่าง ๆ จะผลิตบนเครื่องจักรใด และเมื่อพิจารณาจากเวลาการผลิตที่รวมเวลาตั้งเครื่องจักรแล้วต้องมีการทำงานล่วงเวลาหรือไม่ การทำงานล่วงเวลาของแต่ละกะการทำงานของพนักงานควบคุมเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีความเป็นอิสระต่อกัน ผู้วางแผนสามารถเลือกกะการทำงานและเครื่องจักรให้ทำงานล่วงเวลาได้ เพื่อจัดทำแผนสั่งผลิตรายวันใช้งานต่อไป การจัดตารางการผลิตด้วยประสบการณ์นี้อาจเกิดความสูญเสียเปล่าในการตั้งเครื่องจักรที่มีสาเหตุจากลำดับการผลิตงานได้ และอาจเกิดการแบ่งภาระงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่ไม่เหมาะสมทำให้มีเครื่องจักรใช้เวลาผลิตงานไม่เต็มเวลาการทำงานปกติ ขณะที่บางเครื่องใช้เวลาการผลิตมากกว่าเวลาการทำงานปกติได้ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นจากการทำงานล่วงเวลา หรืออาจทำให้ใช้จำนวนเครื่องจักรในการผลิตมากกว่าภาระงานที่ต้อง

ผลิตได้ ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นจากค่าแรงพนักงานควบคุมเครื่องจักร

3. วิธีดำเนินการวิจัย

แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนาน [8, 12, 14] วิธีการนี้สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดหรือผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงได้ในการประยุกต์กับปัญหาจริงที่มีจำนวนงานไม่มากเกินไปและเวลาการประมวลผลเพียงพอ งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองกำหนดเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming, MILP) สำหรับการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมจากค่าเดินเครื่องจักรและค่าแรงงานของพนักงานควบคุมเครื่องจักรให้มีค่าต่ำที่สุด

3.1 แนวคิดการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลอง MILP ที่เสนอถูกสร้างขึ้นจากการใช้พื้นฐานของแบบจำลองที่ใช้สูตรการไหล (Flow based formulation) สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน (School bus routing problem, SBRP) [16-17] ปัญหา SBRP เป็นปัญหาการกำหนดจุดรับส่งนักเรียนของโรงเรียนแต่ละคันให้ครบทุกจุดรับส่ง โดยมีเป้าหมายให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมจากจำนวนรถรับส่งที่ใช้และปริมาณเชื้อเพลิงที่แปรผันตามระยะทางรวมมีค่าต่ำที่สุด การเปรียบเทียบความสอดคล้องและความแตกต่างระหว่างปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัยนี้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียนแสดงได้ดังตารางที่ 2

สูตรสมมูลการไหลเข้าและออกของรถรับส่งนักเรียน ณ จุดรับส่งแต่ละจุด สามารถนำมาเป็นแนวทางในการสร้างสมการข้อจำกัด (Constraint) สำหรับคำนวณจำนวนนักเรียน ระยะทาง และเวลาการเดินทางสะสมตามเส้นทางเดินรถของรถแต่ละคัน การใช้สมมูลการไหลร่วมกับการมอบหมายงานในการสร้างแบบจำลองทำให้สามารถกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี (Binary) ที่เป็นแบบสองมิติได้ (x_{ij}) คือ ลำดับการเดินทางของเส้นทางรับส่งนักเรียนจากจุดรับส่งหนึ่ง (i) ไปสู่อีกจุดหนึ่ง (j) โดยสามารถลดมิติได้

ในด้านรถรับส่งนักเรียนแต่ละคันลงได้ ดังนั้นจำนวนตัวแปรตัดสินใจในปัญหาหนึ่ง ๆ จึงลดลงตามจำนวนเท่าตัวของจำนวนรถรับส่งนักเรียน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถของการประมวลผลแบบจำลองในด้านคุณภาพผลลัพธ์และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลได้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปัญหาของงานวิจัยกับ SBRP

ปัญหาของงานวิจัย	SBRP
ความสอดคล้อง	
จำนวนเครื่องจักร	จำนวนรถรับส่ง
จำนวนงานที่ต้องผลิต	จำนวนจุดที่รับส่งนักเรียน
เวลาการตั้งเครื่องจักรที่ผ่านแปรตามลำดับงานก่อนหน้า	เวลาการเดินทางระหว่างจุดรับส่ง
ค่าแรงพนักงานควบคุมเครื่องจักรในช่วงเวลาปกติ	ค่าใช้จ่ายคงที่เมื่อมีการใช้รถรับส่ง
ค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร	ค่าเชื้อเพลิงของรถรับส่ง
งานสุดท้ายที่เครื่องจักรผลิตในรอบการผลิตก่อนหน้าเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นการทำงานของเครื่องจักร	มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางของรถรับส่งพนักงานอย่างละ 1 จุด
ความแตกต่าง	
มีเวลาในการผลิตงานแต่ละงาน	ไม่มีการกำหนดเวลาจอดรถส่งนักเรียนที่จุดรับส่งต่าง ๆ
พิจารณาเฉพาะเวลาการผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของเครื่องจักรในแต่ละวัน	มีเงื่อนไขด้านความจุรถรับส่งและเวลาการเดินทางสูงสุดของรถรับส่งแต่ละคัน
อนุญาตให้ทำงานล่วงเวลาได้ เครื่องจักรละไม่เกิน 3 ชั่วโมง	เวลาการเดินรถสูงสุดเป็นค่าคงที่
การคำนวณค่าใช้จ่ายเมื่อเครื่องจักรถูกเลือกใช้งานจากค่าแรงพนักงานควบคุมเครื่องจักรซึ่งมีอัตราค่าแรงแบบขั้นบันได คือ ช่วงเวลาการทำงานปกติ 21 ชั่วโมง และเวลาการทำงานล่วงเวลาสามช่วง คือ 1 2 และ 3 ชั่วโมง	การคำนวณค่าเช่ารถแปรผันตามจำนวนรถรับส่งที่ใช้

ปัญหาของงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการจัดการตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่มีขนาดใหญ่โดยมีจำนวนงานที่ต้องจัดการตารางการผลิตประมาณ 80 งาน และจำนวนเครื่องจักรแบบขนาน 32 เครื่อง การสร้างแบบจำลอง MILP

ที่ใช้ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารีสองมิติดัชนี จึงเป็นแนวทางที่สามารถสร้างตารางการผลิตที่มีคุณภาพผลลัพธ์ที่ดีภายในเวลาประมวลผลที่จำกัดได้

3.2 แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

แบบจำลอง MILP ที่เสนอใช้ข้อมูลนำเข้าสำหรับการจัดการตารางการผลิต ได้แก่ กลุ่มงานที่ต้องการจัดการตารางการผลิตจำนวน n งาน จำนวนเครื่องจักรที่เป็นไปได้ในรอบการจัดการตารางการผลิต m เครื่อง เวลาในการผลิตงาน เวลาตั้งเครื่องจักรตามลำดับงานที่เป็นไปได้ทั้งหมด และงานสุดท้ายที่เครื่องจักรผลิตเสร็จในช่วงเวลาก่อนหน้ารายละเอียดของแบบจำลอง MILP ประกอบไปด้วย ดัชนีและเซต พารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ ดังนี้

3.2.1 ดัชนีและเซต

i, j, p , และ k คือ ดัชนีของงาน

t คือ ดัชนีของเวลาการทำงานล่วงเวลา

เซต J คือ เซตของงาน เมื่อ $J = \{1, \dots, n\}$

เซต K คือ เซตของงานเทียม k ที่ใช้แสดงถึงการเริ่มต้นทำงานของเครื่องจักรหมายเลข $k-n-1$; $K = \{n+2, n+3, \dots, n+m, n+m+1\}$

เซต V คือ เซตของชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา; $V = \{1, 2, 3\}$

3.2.2 พารามิเตอร์

S_{ij} คือ เวลาการตั้งเครื่องจักรเมื่อผลิตงาน j ต่อจากงาน i (นาที)

P_i คือ เวลาการผลิตงาน i (นาที)

L คือ ค่าแรงงานพนักงานควบคุมเครื่องจักร 1 เครื่องในช่วงเวลาทำงานปกติ 21 ชั่วโมงต่อวัน (บาท)

L_o คือ อัตราค่าแรงงานการทำงานล่วงเวลา (บาทต่อชั่วโมง)

E คือ อัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากทำงานของเครื่องจักร (บาทต่อนาที)

Eff คือ ประสิทธิภาพของการผลิตที่เป็นค่าเพื่อเวลาสูญเสียของการทำงาน

T คือ เวลาการทำงานสูงสุดที่เครื่องจักรสามารถจัดการตารางการผลิตได้ในหนึ่งวัน (นาที) สำหรับปัญหากรณีศึกษา

กำหนดประสิทธิภาพการผลิตต่ำกว่า 100% ทำให้ T มีค่าต่ำกว่า 24 ชั่วโมง หรือ 1,440 นาที

3.2.3 ตัวแปรตัดสินใจ

x_{ij} คือ ตัวแปรแบบไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่องาน j ผลิตต่อจากงาน i ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

c_{ij} คือ เวลาผลิตเสร็จของงาน j (ผลิตต่อจากงาน i)

$o_{i,t}$ คือ ตัวแปรแบบไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อผลิตงาน i ที่เป็นงานลำดับสุดท้ายบนเครื่องจักร ในระหว่างการทำงานล่วงเวลา t ชั่วโมง ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

3.2.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันจุดประสงค์ แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากค่าแรงงานกับค่าไฟฟ้า ที่มีเป้าหมายให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด รายละเอียดแสดงดังสมการ (1)

$$\begin{aligned} \text{Minimize } Z = & L \sum_{k \in K} x_{0,k} + L_0 \sum_{i \in J} \sum_{t \in V} o_{i,t} \\ & + \sum_{\substack{i \in J \cup K \\ i \neq j}} \sum_{j \in J} (s_{ij} + P_j) x_{ij} \end{aligned} \quad (1)$$

พจน์แรกเป็นค่าแรงงานพนักงานคุมเครื่องจักรในช่วงเวลาผลิตปกติ 21 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อกำหนดของโรงงาน กรณีศึกษาว่าหากเครื่องจักรใด ๆ ถูกเลือกใช้ใช้งานแล้ว ต้องจัดให้มีพนักงานสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องจักรนั้นตลอดการทำงาน 3 กะของวันที่ทำการผลิต พจน์ที่สองแสดงการคำนวณค่าแรงงานเมื่อมีการทำงานล่วงเวลา และพจน์ที่สามแสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าซึ่งคำนวณเฉพาะเวลาที่เครื่องจักรทำการผลิตและเวลาตั้งเครื่องจักร

3.2.5 เงื่อนไขบังคับ

แบบจำลอง MILP นี้กำหนดให้ใช้งานเทียมคือ งานที่ 0 เป็นตัวแทนของจุดเริ่มต้นการจัดตารางการผลิต และงานที่ $n+1$ เป็นตัวแทนของจุดสิ้นสุดการทำงานของเครื่องจักรทุกเครื่อง เงื่อนไขบังคับของตัวแบบ MILP ที่เสนอประกอบด้วยกลุ่มเงื่อนไขบังคับ 5 ด้าน คือ การใช้งานของเครื่องจักรดังชุดสมการ (2)-(4) การมอบหมายงานดังชุดสมการ (5)-(6) การคำนวณเวลาการผลิตดังชุดสมการ (7)-(10) การทำงานล่วงเวลาดังสมการ (11) และตัวแปรตัดสินใจดังชุดสมการ (12)-(14) มีรายละเอียดดังนี้

$$\sum_{k \in K} x_{0,k} \leq m \quad (2)$$

$$x_{0,k} - \sum_{j \in J} x_{k,j} = 0, \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in J} x_{i,n+1} \leq m \quad (4)$$

$$\sum_{i \in J \cup K} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J; i \neq j \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J \cup \{n+1\}} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in J; i \neq j \quad (6)$$

$$c_{ij} \geq (S_{ij} + P_j) x_{ij}, \quad \forall i \in J \cup K; j \in J \cup \{n+1\}; i \neq j \quad (7)$$

$$c_{ij} \leq x_{ij} T, \quad \forall i \in J \cup K; j \in J \cup \{n+1\}; i \neq j \quad (8)$$

$$\sum_{p \in J \cup K} c_{pi} + \sum_{j \in J \cup \{n+1\}} (S_{ij} + P_j) x_{ij} = \sum_{j \in J \cup \{n+1\}} c_{ij}, \quad \forall i \in J \quad (9)$$

$$c_{0,k} + \sum_{j \in J} (S_{kj} + P_j) x_{kj} = \sum_{j \in J} c_{kj}, \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$\frac{C_{i,n+1}}{Eff} - (1200 + 60t) x_{i,n+1} \leq 180 o_{i,t}, \quad \forall i \in J; t \in V \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in K; j \in J \cup \{n+1\}, \text{ and } \quad \forall i \in \{0\}; j \notin K \quad (12)$$

$$c_{ij} \geq 0, \quad \forall i \in K; j \in J \cup \{n+1\}, \text{ and } \quad \forall i \in \{0\}; j \notin K \quad (13)$$

$$o_{i,t} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in J; t \in V \quad (14)$$

เงื่อนไขบังคับสมการ (2) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจำนวนเครื่องจักรที่จะใช้ในการผลิตต้องไม่เกินจำนวนสูงสุดของเครื่องจักรที่มีอยู่ในรอบการจัดตารางการผลิต สมการ (3) ทำให้มั่นใจได้ว่าเครื่องจักรจะถูกกำหนดให้เป็นเครื่องจักรที่มีการใช้งานเมื่อมีงานมอบหมายให้ผลิตบนเครื่องจักรนั้น สมการ (4) ทำให้มั่นใจได้ว่าเครื่องจักรที่เป็นไปได้ในรอบการจัดตารางการผลิตที่ถูกเลือกใช้ใช้งานจะสิ้นสุดการทำงานเมื่อผลิตงานสุดท้ายเสร็จ สมการ (5) และ (6) ทำให้มั่นใจได้ว่างานที่ต้องผลิตทุกงานจะต้องมีงานที่ผลิตก่อนหน้าและตามหลังจำนวน 1 งาน ตามลำดับ ซึ่งรวมถึงงานเทียมของเครื่องจักรในสมการ (5) และงานเทียมที่แสดงจุดสิ้นสุดการทำงานในสมการ (6)

สมการ (7) กำหนดเวลาการผลิตเสร็จขั้นต่ำที่อย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของเวลาการตั้งเครื่องจักรที่ขึ้นอยู่กับงานก่อนหน้ากับเวลาการผลิตของงานนั้น สมการ (8) กำหนดเวลาผลิตของงานต้องไม่เกินเวลาสูงสุดที่เป็นไปได้ และชุดสมการ (7)-(8) ทำให้มั่นใจได้ว่าเมื่องาน j ใด ๆ ไม่ได้ผลิตต่อจากงาน i ค่าตัวแปรตัดสินใจ C_{ij} จะเท่ากับ 0 ค่าเวลาผลิตเสร็จของงาน j ถูกนำไปใช้งานในชุดสมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิตต่อไป

สมการ (9) เป็นสมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิต ณ เวลาผลิตเสร็จของงาน i ใด ๆ สมการนี้ใช้ในการกำหนดเวลาผลิตเสร็จของงานที่ผลิตต่อจากงาน i โดยที่การไหลเข้า (Inflow) ของเวลาเกิดจากผลรวมของเวลาผลิตเสร็จของงาน i กับเวลาที่ใช้ผลิตงานต่อไป และการไหลออก (Outflow) ของเวลาคือเวลาผลิตเสร็จของงานถัดไป โดยพจน์แรกเป็นเวลาผลิตเสร็จของงาน i ที่คำนวณจากผลรวมของเวลาผลิตเสร็จของ i ของทุกงานก่อนหน้าที่เป็นไปได้ ซึ่งมีงานก่อนหน้าจริงเพียงหนึ่งงานเท่านั้นที่กำหนดเวลาผลิตเสร็จของงาน i ส่วนงานก่อนหน้าที่เป็นไปได้อื่นจะให้ผลเวลาผลิตเสร็จของงาน i เป็นศูนย์ตามที่อธิบายในชุดสมการ (7)-(8) พจน์ที่สองของสมการแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตงานต่อไป ส่วนพจน์ด้านขวามือของสมการแสดงเวลาผลิตเสร็จของงานที่ผลิตต่อจากงาน i ซึ่งมีเพียงหนึ่งงานเท่านั้น เวลาผลิตเสร็จของงานนี้จะถูกคำนวณเพื่อให้สมการมีความสมดุล

สมการ (10) เป็นสมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิตเช่นเดียวกันกับสมการ (9) แต่ใช้สำหรับกำหนดสมดุลที่งานเทียมที่แสดงถึงการเริ่มทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง สมการนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าเวลาตั้งเครื่องจักรขณะเริ่มผลิตงานแรกจะถูกคำนวณรวมในการจัดตารางการผลิตด้วย ชุดสมการ (9)-(10) นอกจากใช้กำหนดเวลาการผลิตเสร็จของงานแล้วยังใช้ในการป้องกันการเกิดลำดับย่อยของกลุ่มงานที่เกิดขึ้นได้จากชุดสมการ (7)-(8) เช่น ลำดับย่อยกลุ่มงาน 1-8-5-1 เป็นต้น ชุดสมการ (9)-(10) จะทำให้ลำดับย่อยนี้ไม่เกิดขึ้นเพราะเวลาการผลิตเสร็จของงานในลำดับหลังบนเครื่องจักรหนึ่ง ๆ จะต้องมีความมากขึ้น จากตัวอย่างลำดับงานย่อย 1-8-5-1 เวลาผลิตเสร็จของงาน 1 ที่อยู่ลำดับสุดท้ายไม่สามารถทำให้สมการ (9) เป็นจริงได้

สมการ (11) ทำให้มั่นใจได้ว่ามีการคำนวณค่าล่วงเวลาตามจำนวนชั่วโมงที่ใช้ผลิตหลังช่วงเวลาทำงานปกติ

โดยพิจารณาจากเวลาผลิตเสร็จของงานสุดท้ายบนเครื่องจักร สมการ (12)-(14) แสดงเงื่อนไขตัวแปรตัดสินใจ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง MILP ที่เสนอในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม OpenSolver เวอร์ชัน 2.9.0 [18] และตัวประมวลผล Gurobi เวอร์ชัน 7.5.2 ที่ติดตั้งในโปรแกรมโมโครซอฟท์เอ็กเซล 2016 แบบ 64 บิต บนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ Intel® Core™ i7-3520M CPU @ 2.90 GHz เป็น Processor และ RAM 8.0 GB การนำเสนอผลการทดสอบประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบด้วยปัญหามิติขนาดเล็ก

ปัญหามิติขนาดเล็กจำนวน 15 ปัญหา สร้างจากการจัดกลุ่มรุ่นยางรถยนต์ที่มีขนาดขอบยางเท่ากันและเวลาตั้งเครื่องมีความผันแปรตามลำดับการผลิต มีจำนวนงานระหว่าง 6 ถึง 16 งาน และจำนวนเครื่องจักรอยู่ระหว่าง 2 ถึง 8 เครื่อง ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าแบบจำลอง MILP สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ (Optimal solution) จำนวน 13 ปัญหา สำหรับปัญหาที่ไม่พบผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดคือปัญหามิตินาน 14 งาน 7 เครื่องจักร และ 15 งาน 3 เครื่องจักร แบบจำลอง MILP สามารถสร้างตารางการผลิตที่เป็นไปได้ด้วยค่าใช้จ่ายรวมที่แตกต่างจากขอบเขตล่างโดยเฉลี่ย 0.96% เมื่อกำหนดเวลาประมวลผลสูงสุด 1500 วินาที

4.2 ปัญหาทดสอบของโรงงานกรณีศึกษา

ปัญหาการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาจำนวน 30 วันถูกนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง MILP ปัญหาทดสอบนี้มีปริมาณคำสั่งผลิตอยู่ระหว่าง 71 ถึง 86 รุ่นต่อวัน สามารถเลือกใช้เครื่องจักรได้ 32 เครื่อง จากการวิเคราะห์ข้อมูลคำสั่งผลิตนี้พบว่าในแต่ละวันจะมีการสั่งผลิตงานที่สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยงานที่ต้องใช้เวลาทั้งวันในการผลิตบนเครื่องจักรหนึ่งจำนวน 3-6 งาน กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยงานที่มีขอบยางขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตได้เฉพาะบนเครื่องจักร 3 เครื่องจำนวน 4-7 งาน และมี 1 วันที่สั่งผลิตงานกลุ่มนี้ 14 งาน และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยงานที่สามารถผลิตได้บนทุกเครื่องจักร และสามารถมอบหมายให้

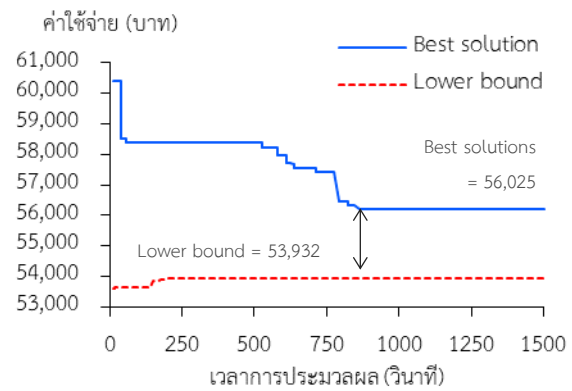
ผลิตร่วมกับงานอื่นบนเครื่องจักรเดียวกันได้ งานในกลุ่มนี้มีจำนวน 61-73 งาน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบปัญหาขนาดเล็ก

ขนาดปัญหา	จำนวนปัญหา	ผลการทดสอบ
6 งาน 2 เครื่องจักร	4	พบผลลัพธ์ที่เหมาะสมทุกปัญหา โดยใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่า 1 วินาที
12-13 งาน 3-8 เครื่องจักร	5	พบผลลัพธ์ที่เหมาะสมทุกปัญหา โดยใช้เวลาประมวลผลระหว่าง 2-10 วินาที
14-16 งาน 3-8 เครื่องจักร	6	พบผลลัพธ์ที่เหมาะสมจำนวน 4 ปัญหา โดยใช้เวลาประมวลผลระหว่าง 3-32 วินาที

4.3 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการประมวลผลแบบจำลอง

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการประมวลผลแบบจำลอง MILP ที่เสนอ เป็นการกำหนดเวลาสูงสุดที่ใช้ในการประมวลผล ค่าพารามิเตอร์นี้ถูกกำหนดจากการทดลองเปรียบเทียบเวลาการประมวลผลกับคุณภาพผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเทียบกับค่าขอบเขตล่างของผลลัพธ์ (Lower bound) ที่ได้จากรายงานผลการหาผลลัพธ์ของตัวประมวลผล Gurobi ผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการหาผลลัพธ์จากปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับทดสอบที่มีจำนวนงานในกลุ่มที่ 3 สูงสุด 73 งาน การประมวลผลในช่วงต้น (0-100 วินาที) Gurobi สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง หลังการประมวลผล 850 วินาทีผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 56,205 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่า Lower bound เท่ากับ 2,273 บาท หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 4.0% หลังจากนั้นให้โปรแกรมประมวลผลไปจนครบ 3600 วินาที ไม่พบการปรับปรุงผลลัพธ์ งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ใช้เวลาประมวลผลสูงสุดเท่ากับ 1500 วินาที ที่คาดว่า การประมวลผลแบบจำลอง MILP จะสามารถสร้างตารางการผลิตที่มีคุณภาพผลลัพธ์ที่ดีแล้ว และยังเป็นเวลาที่ไม่สูงเกินไปสำหรับการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ 1 การปรับปรุงผลลัพธ์ระหว่างประมวลผลของปัญหาดูตัวอย่างขนาด 73 งาน 26 เครื่องจักร

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

การสร้างตารางการผลิตของปัญหาสำหรับทดสอบด้วยแบบจำลอง MILP เริ่มจากการจัดตารางการผลิตของงานกลุ่มที่ 1 และ 2 หลังจากนั้นนำเครื่องจักรที่ยังไม่ถูกเลือกให้ผลิตมาทำการจัดตารางการผลิตงานในกลุ่มที่ 3 แล้วรวมผลลัพธ์ตารางการผลิตทั้งหมดให้เป็นตารางการผลิตรายวัน การแยกการจัดตารางการผลิตของงานกลุ่มที่ 1 ช่วยลดขนาดปัญหาการจัดตารางการผลิตงานกลุ่มที่ 3 ส่วนงานกลุ่มที่ 2 ที่ผลิตได้เฉพาะบนเครื่องจักร 3 เครื่องนั้น มีงานในกลุ่มนี้ผลิตต่อเนื่องทุกวัน การปรับตั้งเครื่องจักรให้สามารถผลิตงานกลุ่มอื่นได้ต้องใช้เวลามากกว่า 1 วัน การรวมงานกลุ่มที่ 2 กับ 3 จึงไม่สามารถปรับปรุงผลลัพธ์ของตารางการผลิตได้

การทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง MILP แยกเป็นสองส่วน ดังต่อไปนี้

4.4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพกับขอบเขตล่าง

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมของตารางการผลิตที่สร้างขึ้นกับขอบเขตล่างของปัญหาการจัดตารางการผลิตของงานในกลุ่มที่ 3 ที่ได้จาก Gurobi แสดงผลดังตารางที่ 4 ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลอง MILP สามารถสร้างตารางการผลิตที่เป็นไปได้ทุกปัญหาที่มีจำนวนงาน 61-73 งาน และจำนวนเครื่องจักรที่เลือกใช้ผลิตได้ 25-27 เครื่อง แต่ไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ ตารางการผลิตที่สร้างขึ้นมีค่าใช้จ่ายรวมแตกต่างจากค่าต่ำที่สุดที่เป็นไปได้โดย

เฉลี่ย 6.3% ซึ่งอธิบายได้ว่าปัญหาการจัดตารางการผลิตนี้ยังมีโอกาสที่จะจัดตารางการผลิตให้มีค่าใช้จ่ายรวมโดยเฉลี่ยต่ำลงได้ไม่เกิน 3,577 บาทต่อวัน เมื่อเปรียบเทียบกับตารางการผลิตด้วยวิธี MILP ที่ประมวลผลภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้

4.4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพกับวิธีการเดิม

การเปรียบเทียบตารางการผลิตรายวันที่สร้างจากการรวมผลลัพธ์จากแบบจำลอง MILP ของทุกกลุ่มงาน กับตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในด้านต้นทุนการผลิต จำนวนเครื่องจักร เวลาตั้งเครื่องจักร และชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา แสดงผลดังตารางที่ 5 ผลการทดสอบพบว่า การจัดตารางการผลิตด้วยแบบจำลอง MILP เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่สามารถลดต้นทุนการผลิตจากค่าแรงงานพนักงานควบคุมเครื่องจักรที่ถูกใช้งาน และค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรระหว่างการตั้งเครื่องจักร และการผลิตได้เฉลี่ยวันละ 10,962 บาท หรือลดลงเท่ากับ 328,848 บาทต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 13.3

การลดลงของต้นทุนการผลิตนี้เกิดจากการกำหนดปริมาณงานและลำดับงานที่ผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องได้อย่างเหมาะสม ทำให้สามารถลดจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ผลิตได้เฉลี่ย 3.3 เครื่องต่อวัน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 10.3 ผลรวมเวลาตั้งเครื่องจักรเฉลี่ยลดลง 34.9 นาทีต่อวัน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 2.3 และจำนวนเวลาการทำงานล่วงเวลาลดลงเฉลี่ย 6.3 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 61

แบบจำลอง MILP สามารถสร้างตารางการผลิตที่ทำให้เวลาการตั้งเครื่องจักรลดลงได้ อย่างไรก็ตามมีปัญหาทดสอบจำนวน 13 ปัญหาใช้เวลาตั้งเครื่องจักรสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากเป้าหมายในจัดตารางการผลิตที่ต้องการให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด โดยโครงสร้างการคำนวณต้นทุนที่สำคัญของโรงงานกรณีศึกษา คือ ค่าแรงงานของพนักงานควบคุมเครื่องจักรที่คิดค่าแรงเต็มเวลาการทำงาน 21 ชั่วโมงเมื่อเครื่องจักรถูกเลือกให้ผลิต การประมวลผลแบบจำลองจึงให้ความสำคัญกับการลดจำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานด้วยการจัดสรรงานให้เครื่องจักรทำการผลิตงานให้เต็มเวลาการทำงานให้มากที่สุด ซึ่งอาจทำให้ต้องจัดสรรกลุ่มงานที่ผลิต

บนเครื่องจักรหนึ่ง ๆ ที่ใช้เวลาตั้งเครื่องจักรสูงขึ้นตามการเปลี่ยนรุ่นการผลิต

ตารางที่ 4 ความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ดีที่สุดกับขอบเขตล่าง

ปัญหา	จำนวนงาน	จำนวนเครื่อง	BFS*	Lower bound	Diff**
1	70	26	59,962	56,334	6.1%
2	73	27	60,033	56,534	5.8%
3	71	26	57,855	54,508	5.8%
4	66	25	56,950	52,994	6.9%
5	66	25	55,887	52,837	5.5%
6	66	25	55,868	53,045	5.1%
7	67	25	57,945	54,629	5.7%
8	66	26	60,435	55,972	7.4%
9	63	26	53,364	50,629	5.1%
10	61	26	54,871	50,927	7.2%
11	61	26	53,591	51,067	4.7%
12	63	26	56,093	52,451	6.5%
13	64	26	57,163	53,683	6.1%
14	63	25	55,176	51,355	6.9%
15	63	25	56,861	53,021	6.8%
16	61	25	54,660	50,655	7.3%
17	62	26	58,465	55,038	5.9%
18	62	26	56,327	53,257	5.5%
19	62	26	59,269	54,634	7.8%
20	63	26	60,045	54,481	9.3%
21	62	26	57,466	52,687	8.3%
22	62	26	55,703	52,203	6.3%
23	65	27	59,143	56,075	5.2%
24	67	27	57,574	54,634	5.1%
25	70	27	57,113	53,824	5.8%
26	72	27	57,297	53,983	5.8%
27	71	27	59,458	55,708	6.3%
28	73	26	56,205	53,932	4.0%
29	72	26	56,964	53,586	5.9%
30	68	27	57,899	53,634	7.4%
เฉลี่ย			57,188	53,611	6.3%

หมายเหตุ *BFS คือ ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุด

** คำนวณจาก $100\% \times (BFS - \text{Lower bound}) / BFS$

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเทียบกับวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษา

ปัญหา	จำนวน งาน	ต้นทุนการผลิต (บาท)			จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ (เครื่อง)			เวลาดังเครื่องจักร (นาที)			การทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)		
		วิธีเดิม	MILP	ลดลง*	วิธี เดิม	MILP	ลดลง*	วิธีเดิม	MILP	ลดลง*	วิธี เดิม	MILP	ลดลง*
1	80	82,549	74,510	8,039	32	29	3	1,545	1,503	42	6	2	4
2	82	83,795	72,358	11,437	32	29	3	1,693	1,574	119	17	2	15
3	81	83,454	72,662	10,792	32	29	3	1,572	1,538	34	13	4	9
4	77	85,422	74,406	11,016	32	30	2	2,579	1,530	1,049	22	2	20
5	77	83,276	73,100	10,176	32	28	4	1,672	1,559	113	10	2	8
6	86	83,251	73,051	10,200	32	29	3	1,623	1,468	155	10	6	4
7	77	83,340	72,732	10,608	32	30	2	1,491	1,640	-149	11	4	7
8	76	83,660	75,162	8,498	32	30	2	1,448	1,897	-449	13	5	8
9	73	81,391	68,158	13,233	32	27	5	1,503	1,395	108	5	6	-1
10	71	80,728	69,665	11,063	32	28	4	1,251	1,298	-47	3	4	-1
11	71	81,620	68,382	13,238	32	26	6	1,333	1,651	-318	7	20	-13
12	73	82,095	70,884	11,211	32	28	4	1,335	1,704	-369	8	8	0
13	74	82,682	71,954	10,728	32	29	3	1,268	1,370	-102	12	2	10
14	74	83,746	72,411	11,335	32	29	3	1,525	1,474	51	17	4	13
15	73	84,279	74,091	10,188	32	30	2	1,505	1,370	135	18	0	18
16	71	83,208	71,881	11,327	32	30	2	1,462	1,003	459	12	1	11
17	71	83,569	73,228	10,341	32	29	3	1,411	1,894	-483	14	6	8
18	71	82,249	71,090	11,159	32	27	5	1,310	1,329	-19	7	9	-2
19	71	83,304	73,898	9,406	32	30	2	1,815	1,221	594	11	1	10
20	72	82,483	74,673	7,810	32	30	2	1,411	1,251	160	7	7	0
21	71	82,031	72,094	9,937	32	29	3	1,473	1,533	-60	7	4	3
22	71	82,016	70,332	11,684	32	28	4	1,361	1,390	-29	8	6	2
23	73	81,909	71,328	10,581	32	29	3	1,439	1,315	124	7	0	7
24	74	82,041	69,759	12,282	32	28	4	1,448	1,369	79	8	2	6
25	78	81,422	69,298	12,124	32	28	4	1,467	1,470	-3	7	1	6
26	80	81,571	69,481	12,090	32	28	4	1,505	1,524	-19	6	1	5
27	78	81,934	69,461	12,473	32	28	4	1,516	1,507	9	6	0	6
28	81	82,834	70,705	12,129	32	28	4	1,518	1,473	45	12	7	5
29	80	82,894	71,407	11,487	32	29	3	1,493	1,411	82	14	0	14
30	75	82,111	69,856	12,255	32	29	3	1,337	1,602	-265	12	5	7
เฉลี่ยต่อวัน		82,695	71,734	10,962	32	28.7	3.3	1,510.3	1,475.4	34.9	10.3	4.0	6.3
ร้อยละการลดลง		13.3			10.3			2.3			61.0		

หมายเหตุ * ลดลง = วิธีเดิม – MILP

ตารางการผลิตที่สร้างจากแบบจำลอง MILP สามารถลดการทำงานล่วงเวลาได้ แต่ยังคงต้องใช้เวลาทำงานล่วงเวลาเฉลี่ย 4 ชั่วโมงต่อวันขณะที่มีเครื่องจักรว่างงาน

เฉลี่ย 3.3 เครื่องต่อวัน ซึ่งเกิดจากเหตุผลเดียวกันกับการใช้เวลาตั้งเครื่องจักรสูงขึ้นของบางปัญหาทดสอบ คือ แบบจำลอง MILP ให้ความสำคัญกับการลดจำนวน

เครื่องจักรที่ใช้งานที่เป็นสัดส่วนหลักในโครงสร้างต้นทุนการผลิตของปัญหากรณีศึกษา เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในปัญหาที่ 9-11 และ 18 ตารางการผลิตที่สร้างจากแบบจำลอง MILP มีจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาสูงกว่าวิธีการเดิม แต่จำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานลดลงอย่างน้อย 4 เครื่อง โดยที่ปัญหาที่ 11 ให้ผลลัพธ์การใช้งานเครื่องจักรลดลงได้สูงสุด 6 เครื่อง และมีจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาเพิ่มขึ้นสูงสุด 13 ชั่วโมง ขณะที่สามารถลดต้นทุนการผลิตได้สูงสุด 13,238 บาทต่อวัน

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบวิธีการสร้างตารางการผลิตรายวันของกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ในโรงงานแห่งหนึ่งที่มีระบบการผลิตเป็นเครื่องจักรแบบขนาน และเงื่อนไขการผลิตที่เวลาตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นงานขึ้นอยู่ กับลำดับงานที่ผลิตก่อนหน้า การจัดการตารางการผลิตรายวัน ต้องผลิตงานให้ครบตามปริมาณคำสั่งผลิตในแผนการผลิตหลัก โดยใช้เวลาผลิตในช่วงการทำงานล่วงเวลาได้ 3 ระดับ คือ 1 2 หรือ 3 ชั่วโมง แบบจำลอง MILP ถูกสร้างมาใช้สำหรับจัดการตารางการผลิตนี้โดยมีเป้าหมายในการลดต้นทุนการผลิตที่เกิดจากค่าแรงงานพนักงานควบคุมเครื่องจักรที่มีอัตราค่าแรงในช่วงเวลาทำงานปกติและล่วงเวลาที่แตกต่างกัน และค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีการใช้งานเครื่องจักร

แบบจำลอง MILP ที่เสนอถูกพัฒนาจากแบบจำลองสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถรับส่งนักเรียน โดยใช้ตัวแปรตัดสินใจหลักเป็นลำดับการผลิตสองงานต่อเนื่องกัน และใช้สมการสมมูลการไหลของเวลาการผลิตของงานลำดับที่ 2 จากลำดับงานสามงานต่อเนื่องกันเป็นสมการข้อจำกัดสำหรับกำจัดเส้นทางย่อย ผลการทดสอบสรุปได้ว่าแบบจำลอง MILP สามารถสร้างตารางการผลิตที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้อย่างรวดเร็วสำหรับขนาดปัญหาไม่เกิน 16 งาน ส่วนขนาดปัญหา 80 งาน และ 32 เครื่องจักรของกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์นี้ แบบจำลอง MILP สามารถสร้างตารางการผลิตที่ลดต้นทุนการผลิตลงได้ 328,848 บาทต่อเดือนเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิม และมีจำนวนการใช้งานของเครื่องจักรลดลงทุกปัญหาที่ทดสอบ ดังนั้นภายใต้ปริมาณคำสั่งผลิตตามแผนการผลิตหลักของโรงงาน

กรณีศึกษา ตารางการผลิตสร้างด้วยแบบจำลอง MILP จะมีเครื่องจักรว่างงาน ซึ่งช่วยให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ และวางแผนการซ่อมบำรุงได้ง่ายขึ้น

แบบจำลอง MILP ที่เสนอสามารถนำไปเป็นแนวทางในสร้างแบบจำลองสำหรับจัดการตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการตั้งเครื่องจักรที่มีวัตถุประสงค์อื่น เช่น เวลาปิดงานต่ำที่สุด เป็นต้น โดยใช้สมการข้อจำกัด (2-10) สำหรับจัดลำดับงานบนเครื่องจักรและคำนวณเวลาการผลิตเสร็จของงาน แล้วเพิ่มฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการข้อจำกัดอื่นตามวัตถุประสงค์การจัดการตารางการผลิตที่ต้องการศึกษา

แบบจำลอง MILP ที่เสนอสามารถหาผลลัพธ์ที่มีความแตกต่างโดยเฉลี่ยจากขอบเขตล่างเท่ากับ 6.3% ซึ่งไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นวิธีการเมตาฮิวริสติกที่สามารถหาผลลัพธ์ที่มีคุณภาพดีในแก้ปัญหา SBSP หรือปัญหาการจัดการตารางการผลิตที่มีโครงสร้างปัญหาและวัตถุประสงค์คล้ายกัน ควรถูกนำมาประยุกต์สำหรับแก้ปัญหานี้เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดการตารางการผลิตที่อาจปรับปรุงคุณภาพผลลัพธ์ให้เข้าใกล้กับขอบเขตล่างมากขึ้น หรืออาจหาผลลัพธ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันโดยใช้เวลาประมวลผลเร็วขึ้นซึ่งทำให้เพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการตารางการผลิตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลนำเข้าได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา สัญญาหมายเลข 55/2552

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทิตยา วาปีเน และ กัญชลลา สุดตาชาติ, “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกฎการจัดลำดับงานสำหรับงานสั่งผลิตเมื่อมีเงื่อนไขเวลาการขนส่ง,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, น. 11-21, 2560.
- [2] ประพัฒน์ รัตนยานนท์, “การจัดการตารางการผลิตโรงพ่นสีรถจักรยานยนต์,” *วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2551.

- [3] กัญชลยา สุดตาชาติ, “อิวริสติกสำหรับการผลิตเครื่องจักรขนาน กรณีมีเวลาติดตั้งเครื่องจักรและมีข้อจำกัดของเครื่องจักร,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, น. 77-88, 2552.
- [4] Wanlapa Kowmanee, “Job-Shop scheduling by using heuristic method for FIFO management system development,” Master of Engineering, Manufacturing Engineering, University of Malaya, 2014.
- [5] ทวีพร ขำดี, “การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรขนานแบบหลายจุดประสงค์,” *วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2554.
- [6] พรไพฑูรย์ ปุષปาคม, “การจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตขวดพลาสติกแบบที่มีการพิมพ์สี,” *วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีมหานคร*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, น. 27-42, 2557.
- [7] วิจิตรา กิจชัยนุกูล และ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์, “อัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมสำหรับแบบจำลองการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งในโรงงานตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, น. 25-40, 2556.
- [8] V. Giard, A. Azzamouri and I. Essaadi, “A DSS Approach for Heterogeneous Parallel Machines Scheduling with Due Windows, Processor-& Sequence Dependent Setup and Availability Constraints,” in *International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain*, France, 2016.
- [9] ณัฐวุฒิ เหลียวอินทร์, “การจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรขนานที่แตกต่างกันของแผนกบรรจุ: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยาแห่งหนึ่ง,” *วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 2560.
- [10] ขาตินันท์ แสงสว่าง และ กาญจนา เศรษฐนันท์, “การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกันภายใต้ข้อจำกัดการผลิตของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของประเทศไทย,” *วารสารวิจัย มช. (บค.)*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, น. 14-21, 2553.
- [11] M. L. Pinedo, *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, 5th ed., New York: Springer, 2016.
- [12] A. Allahverdi, “The third comprehensive survey on scheduling problems with setup times/costs,” *European Journal of Operational Research*, vol. 246, pp. 354-378, 2015.
- [13] B. Fan and G. Tang, “A column generation for a parallel machine scheduling with sequence-dependent setup times,” *Tongji Daxue Xuebao/Journal of Tongji University*, vol. 34, no. 5, pp. 680-683, 2006.
- [14] R. Ruiz, L. Fanjul-Peyró and F. Perea, “Exact Methods for Large Unrelated Parallel Machine Scheduling Problems with Sequence Dependent Setup Times,” in *the 16th International Conference on Project Management and Scheduling*, Italy, 2018.
- [15] G. A. Süer and K. Mathu, “Mathematical models to simultaneously determine overtime requirements and schedule cells,” *Engineering*, vol. 7, pp. 58-72, 2015.
- [16] T. Bektas and S. Elmastaş, “Solving school bus routing problems through integer programming,” *Journal of Operational Research Society*, vol. 58, pp. 1599-1604, 2007.
- [17] E. Demir and I. Kara, “Formulations for School Bus Routing Problems,” in *The 21st Conference of the European Chapter on Combinatorial Optimization*, Croatia, 2008.
- [18] A. J. Mason, “OpenSolver-An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programmes in Excel,” in *International Conference on Operations Research*, Switzerland, 2011.

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://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 แต่ภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว 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: 02-727-3078 โทรสาร 02-3744061

E-mail: orjournal.th@gmail.com

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เลขที่ 148 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม.10240



OR-NET