



# วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน Thai Journal of Operation Research

ISSN: 2287-0210

Vol.10 No.2 (July - December 2022)



# วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research)

ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2565)

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

## บรรณาธิการแถลง

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research, TJOR) เกิดขึ้นจากความร่วมมือของคณาจารย์ และนักวิจัยในเครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research Network of Thailand, OR-NET) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีคุณภาพในระดับชาติ วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานเป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ซึ่งมีกรอบเวลาในการออกเล่มปีละ 2 ฉบับ ฉบับแรกระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายนของปี และฉบับที่ 2 ระหว่าง เดือนกรกฎาคม-เดือนธันวาคมของปี ซึ่งวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 10 ฉบับที่ 2 (เล่มที่ 20) ของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดบทความและวารสารฉบับเต็มได้ที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> คณะผู้จัดทำและกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้วิจัย ผู้สนใจ และผู้เกี่ยวข้องในแวดวงวิชาการต่อไป

หากคุณค่าทางความรู้ที่ผู้อ่านได้รับจากการรวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านการวิจัยดำเนินงานในวารสารเล่มนี้ บรรณาธิการขออุทิศความดีดังกล่าวแต่บรรณาธิการคนแรก คือ รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ เนียมมณี ผู้ร่วมก่อตั้งเครือข่ายการวิจัยดำเนินงานและวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน นอกจากนี้ทางเครือข่ายการวิจัยดำเนินงานขอร่วมไว้อาลัยกับการจากไปของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริง ปรีชานนท์ ซึ่งเป็นหนึ่งในสมาชิกเริ่มต้นและเป็นกำลังสำคัญของเครือข่ายตลอดมา

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

กาญจันภา อมรัชกุล

บรรณาธิการ

# สารบัญ

หน้า

บรรณาธิการแถลง

บทความวิจัย

Creating Decision Support System for Road Freight Transportation Route Selection with Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Approach <i>Nitidetch Koothongsumrit and Wasana Chankham</i>	1
Comparison between the dynamic heuristic scheduling rules in the fuel distribution process of the fuel depot <i>Supanut Sitha, Angsumalin Senjuntichai and Worachok Chaiwong</i>	24
Application of Integer Programming for Aggregate Production Planning in the Production and Purchase of Vaccines <i>Nantawan Chaimongkol, Sansanee Supapa and Patcharaporn Yanpirat</i>	35
Locating Distribution Centers and Planning Effective Routes for Vaccine Distribution for Low Transportation Costs <i>Thirawat Genroj, Khasemsak Boonrueng and Kanate Puntusavase</i>	44
A Prediction of Travel Time by Machine Learning Approaches with Mobile Probe Data in Bangkok <i>Pawaris Wachwanakijkul and Pisit Jarumaneeroj</i>	54
Analysis of Automated People Mover Operations at Suvarnabhumi Airport <i>Taksaporn Thongboonpian and Waressara Weerawat</i>	63

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

## การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน ด้วยวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แบบคลุมเครือ

นิติเดช คุหาทองสัมฤทธิ์<sup>\*1</sup> และ วาสนา จันทรักษา<sup>2</sup>

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง 2086 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

Received: 24 May 2022; Revised: 19 October 2022; Accepted: 21 October 2022

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ต้องการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสมด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์แบบคลุมเครือ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ฐานข้อมูล ซึ่งรวบรวมข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางด้วยการใช้รูปแบบการคำนวณต้นทุนการขนส่งสินค้าของเบเรสปอร์ดและเกณฑ์มาตรฐานการประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนแบบคลุมเครือ ส่วนที่ 2 การคำนวณน้ำหนักความสำคัญ ซึ่งถูกออกแบบเพื่อคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ และส่วนที่ 3 การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน ซึ่งถูกใช้ในการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสมด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ กลไกหลักของส่วนการคัดเลือกพิจารณาต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ระยะเวลาการขนส่งสินค้า ระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือลักษณะทางกายภาพในแต่ละด้าน และน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ โดยส่วนการคัดเลือกสามารถจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนด้วยการเรียงลำดับค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติที่มีค่ามากที่สุดไปยังน้อยที่สุด การศึกษานี้ได้ประยุกต์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอใช้กับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนจากคลังสินค้าไปยังด่านศุลกากรมุกดาหาร ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอสามารถแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนได้เป็นอย่างดี โดยประนีประนอมองค์ประกอบการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ทั้งหมดเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมและให้ผลลัพธ์การตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพสูง

**คำสำคัญ:** การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์, การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า, ตรรกศาสตร์คลุมเครือ, ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

\* Corresponding author. E-mail: Nitidetch.k@ru.ac.th

<sup>1</sup> ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

<sup>2</sup> ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

## Creating Decision Support System for Road Freight Transportation Route Selection with Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making Approach

Nitidetch Koohathongsumrit<sup>\*1</sup> and Wasana Chankham<sup>2</sup>  
Faculty of Science, Ramkhamhaeng University  
2086, Hua Mak, Bangkok, Bangkok 10240, Thailand

Received: 24 May 2022; Revised: 19 October 2022; Accepted: 21 October 2022

### Abstract

The objective of this study is to create a decision support system in order to select an appropriate road freight transportation route by applying fuzzy multiple criteria decision-making approaches. The decision support system comprises three parts. The first part is a database, which collects data of road freight transportation routes between origins and destinations by using the Beresford's cost model and standard criteria for fuzzy risk assessment of road freight physical characteristics. The second part is a weight calculation, which is designed to calculate weights of decision criteria by fuzzy analytic hierarchy process. The third part is route selection part, which is used to select the most appropriate road freight transportation route by using fuzzy technique for order preference by similarity to ideal solution. The main mechanism of the route selection part considers transportation cost, transit time, fuzzy risk levels of each aspect, and weights of each decision criterion. The route selection part can prioritize road freight transportation route by ordering the closeness coefficients in descending order. This research study applied the proposed decision support system with the road freight transportation route selection from a warehouse to Mukdahan customs. The results demonstrated that the proposed decision support system can well solve the problem of road freight transportation route selection. It compromises all decision-making elements to find the most appropriate alternative, and yields high effective decision results.

**Keywords:** multiple criteria decision-making, freight transportation route selection, fuzzy logic, decision support system

---

\* Corresponding author. E-mail: Nitidetch.k@ru.ac.th

<sup>1</sup> Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

<sup>2</sup> Faculty of Science, Ramkhamhaeng University

## 1. บทนำ

การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเป็นปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making: MCDM) เนื่องจากเกี่ยวข้องกับเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกจำนวนมาก [1] โดยเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกเหล่านี้มีความขัดแย้งกัน อีกทั้งเส้นทางการขนส่งสินค้ามีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่บรรลุวัตถุประสงค์แต่ละเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดในการตัดสินใจครั้งเดียวเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ยาก นอกจากนี้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้ายังมีความคลุมเครือที่เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น ความคลุมเครือจากเกณฑ์การตัดสินใจ เนื่องจากขาดข้อมูล หรือความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจในเส้นทางการขนส่งสินค้า ความต้องการขององค์กรที่ต่างกัน การจัดสรรทรัพยากรเพื่อการขนส่ง รวมถึงความคลุมเครือจากผู้ตัดสินใจเนื่องจากพื้นฐานความรู้ หรือประสบการณ์ ความสับสน ความไม่มั่นใจในระดับการประเมิน เป็นต้น ดังนั้นหากผู้ประกอบการ หรือผู้ตัดสินใจมีเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์และการสร้างความพึงพอใจให้กับผู้บริโภค หรือลูกค้าได้อย่างต่อเนื่อง

มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ประยุกต์วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์กับปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า เช่น กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) วิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSSIS) ฯลฯ [2], [3] อย่างไรก็ตาม นอกจากต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาการขนส่งสินค้าแล้ว ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้ายังเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงซึ่งเป็นเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพอย่างหนึ่ง ดังนั้นการใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพียงวิธีเดียวเพื่อแก้ปัญหาอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากแต่ละวิธีมีจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกัน จึงได้มีงานวิจัยจำนวนมากนำวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์มากกว่าหนึ่งวิธีและการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment: RA) มาใช้เพื่อแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า เช่น งานวิจัยของ Kengpol, et al. [4] ที่พัฒนาโปรแกรมตัดสินใจเลือก

เส้นทางการขนส่งสินค้าโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และการโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง (Zero-One Goal Programming: ZOGP) งานวิจัยของ Kengpol and Tuammee [5] ที่เสนอวิธีการจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และการวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) งานวิจัยของ Kaewfak, et al. [6] ที่เสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงเพื่อระบุเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความเสี่ยงต่ำสุด โดยวิธีที่เสนอได้รวมกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP) และการวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูลไว้ด้วยกัน งานวิจัยของ Guo, et al. [7] ที่ได้ศึกษาการประเมินความเสี่ยงเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) แต่ไม่ได้นำผลลัพธ์ที่ได้มาพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสม งานวิจัยของ Gul, et al. [8] ที่ออกแบบวิธีการประเมินความเสี่ยงกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งน้ำมัน งานวิจัยของ Koothongsumrit and Meethom [9] ที่เสนอวิธีเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยตัวแบบการประเมินความเสี่ยงแบบคลุมเครือภายใต้การวิเคราะห์เชิงโอบล้อมข้อมูล และการโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง งานวิจัยของ Koothongsumrit and Meethom [10] ที่ออกแบบวิธีการตัดสินใจแบบสามขั้นตอนสำหรับการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เหมาะสม งานวิจัยของ Koothongsumrit and Chankham [11] ที่พัฒนาวิธีการประเมินความเสี่ยงด้วยการวิเคราะห์จุดศูนย์กลางภายในและวิธีไวโกรี (Vlse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje: VIKOR) เพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์กับวิธีการอื่น ๆ ในรูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS) เพื่อแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า แต่งานวิจัยเหล่านี้ไม่ได้นำระดับความเสี่ยงมาเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจได้แก่ งานวิจัยของ Meethom and Koothongsumrit [12] ที่ออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนซึ่งรวม

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและการโปรแกรมเป้าหมายศูนย์หนึ่งหลายชั้น (Multilayer Zero-One Goal Programming: MZOGP) งานวิจัยของ Meethom and Koothongsumrit [13] ที่พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติ งานวิจัยของ Sarraf and McGuire [14] ที่เปรียบเทียบวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าผ่านระบบสนับสนุนการตัดสินใจ งานวิจัยของ Gohari et al. [15] ที่นำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าด้วยวิธีของไดจ์สตรา (Dijkstra's algorithm) แต่ไม่ได้้นำวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์มาใช้ในการแก้ปัญหา

จากการทบทวนวรรณกรรมในข้างต้น พบว่ามีงานวิจัยที่นำการประเมินความเสี่ยงและวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์มาใช้แก้ปัญหาการเลือกเส้นทางขนส่งสินค้า แต่ยังไม่มียานวิจัยที่สร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สามารถเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนนด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ (Fuzzy Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution: FTOPSIS) ซึ่งนำระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทางขนส่งสินค้ามาเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อประกอบการตัดสินใจ ดังนั้นการศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ต้องการนำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนนที่เหมาะสม พิจารณาจากต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่ง และระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทางขนส่งสินค้า โดยความจำเป็นของการนำวิธีการตัดสินใจทั้งสองที่กล่าวในข้างต้นดำเนินการให้อยู่ในลักษณะของระบบสนับสนุนการตัดสินใจนั้น เนื่องจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีจุดเด่นหลายประการ ได้แก่ สามารถรวบรวมข้อมูลประกอบการตัดสินใจไว้ในฐานข้อมูล อำนวยความสะดวกในการใช้งานด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด สะท้อนความต้องการของผู้ตัดสินใจผ่านการกำหนดน้ำหนักความสำคัญ การหาคำตอบอย่างตรงไปตรงมา และการพัฒนากระบวนการตัดสินใจในอนาคต [16] ทั้งนี้ระบบ

สนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอสามารถกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจผ่านกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและสามารถสังเคราะห์ข้อมูลประกอบการตัดสินใจทั้งหมดด้วยวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือสุดท้ายประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอกับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางขนส่งสินค้าจากที่ตั้งของคลังสินค้าไปยังด่านศุลกากรมุกดาหาร เพื่อเป็นการยืนยันว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์แก่ผู้ประกอบการ

## 2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือเป็นเทคนิคที่เกิดจากการประยุกต์รวมตรรกศาสตร์คลุมเครือกับกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบดั้งเดิมของ Saaty [17] เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในเรื่องของความคิดเห็นและความคลุมเครือที่เกิดขึ้นจากกระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ โดยมีข้อสมมติฐานว่าองค์ประกอบในการตัดสินใจมีความสัมพันธ์แบบลำดับชั้น โดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือที่นำเสนอโดย Chang [18] ได้ถูกใช้เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดเนื่องจากวิธีการนี้สามารถเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ วิเคราะห์ได้ทั้งหมดทั้งการตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ภายใต้หลักเหตุผลที่คล้ายการเปลี่ยนแบบวิธีความคิดของมนุษย์ และสามารถใ้ควบคู่กับวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์อื่นได้ดี [19] อย่างไรก็ตามกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือไม่สามารถพิจารณาทางเลือกซึ่งมีระยะห่างจากแนวคิดอุดมคติเชิงบวกและลบได้ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือร่วมกับวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ

### 2.2 การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ

การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ เป็นวิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบ



หลายหลักเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมาจากวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบดั้งเดิมซึ่งคิดค้นโดย Hwang and Yoon [20] เพื่อลดความคลุมเครือที่เกิดขึ้นในการประเมินทางเลือกภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจจากชุดตัวเลขแบบคลุมเครือและตัวแปรภาษาที่ครอบคลุมความคิดเห็น อีกทั้งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเพื่อใช้ในการจัดลำดับทางเลือกได้เป็นอย่างดีและมีความแม่นยำสูง แม้ว่าเกณฑ์การตัดสินใจ หรือทางเลือกมีจำนวนมาก [21] โดยวิธีการนี้สามารถกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจได้ในวิธีใดก็ได้ตามที่ผู้ตัดสินใจคิดว่าเหมาะสม ดังนั้นการศึกษานี้จึงประยุกต์การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือร่วมกับวิธีการกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจที่สามารถเปรียบเทียบความสำคัญเป็นรายคู่ ดังนั้นกลไกของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอจะใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือเพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจและใช้การตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นได้กล่าวรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 1 โดยพบว่าม้งานวิจัยจำนวนมากที่เสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า สามารถแบ่งเป็นกลุ่ม ได้แก่ 1. กลุ่มงานวิจัยที่ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์วิธีเดียว 2. กลุ่มงานวิจัยที่ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์กับการประเมินความเสี่ยง และ 3. กลุ่มงานวิจัยที่ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์กับปัญหาเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า แต่งานวิจัยกลุ่มนี้ไม่ได้ใช้การประเมินความเสี่ยงในการตัดสินใจ พร้อมทั้งระบุรูปแบบของวิธีการในแต่ละงานวิจัย สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงดังตารางที่ 1 โดยพบว่าม้งานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนอวิธีการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกัน แต่มีงานวิจัยจำนวนไม่มากนักที่นำเสนอวิธีการตัดสินใจในรูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ นอกจากนี้ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับ

ความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือซึ่งสามารถพิจารณาระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้า ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการเพิ่มเติมช่องว่างของงานวิจัยด้วยการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่สามารถประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพของเส้นทาง รวมถึงการกำหนดน้ำหนักความสำคัญและหาคำตอบด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้แต่ง	เครื่องมือที่ใช้	กลุ่ม	รูปแบบ
Arunyanart [2]	AHP	1	วิธีการ
Moon, et al. [3]	TOPSIS	1	วิธีการ
Kengpol, et al [4]	RA + AHP + ZOGP	2	DSS
Kengpol and Tuamtee [5]	RA + AHP + AHP	2	วิธีการ
Kaewfak, et al. [6]	FAHP + RA + DEA	2	วิธีการ
Guo, et al. [7]	RA + QFD	2	วิธีการ
Gul, et al. [8]	RA + FAHP	2	วิธีการ
Koohathongsumrit and Meethom [9]	RA + DEA + FAHP + ZOGP	2	วิธีการ
Koohathongsumrit and Meethom [10]	AHP + RA + DEA + TOPSIS	2	วิธีการ
Koohathongsumrit and Chankham [11]	RA + FAHP + VIKOR	2	วิธีการ
Meethom and Koohathongsumrit [12]	FAHP + MZOGP	3	DSS
Meethom and Koohathongsumrit [13]	FAHP + TOPSIS	3	DSS
Sarraf and McGuire [14]	AHP, FAHP, TOPSIS	3	DSS
Gohari et al. [15]	Dijkstra's algorithm	3	DSS

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจ

เกณฑ์การตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนสามารถแบ่งได้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณ ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ( $C_1$ ) และระยะเวลาการขนส่งสินค้า ( $C_2$ ) ทั้งนี้ไม่นำระยะทางมารวมวิเคราะห์ในการตัดสินใจด้วย เนื่องจากระยะทางกับระยะเวลาการขนส่งสินค้ามีความสัมพันธ์กัน หากเส้นทางการขนส่งสินค้ามีระยะทางไกลเส้นทางการดังกล่าวก็จะใช้ระยะเวลาในการขนส่งมากขึ้น แต่ในกรณีที่เส้นทางการขนส่งสินค้ามีระยะทางใกล้ เส้นทางการจะใช้ระยะเวลาในการขนส่งลดลง ดังนั้นการพิจารณาระยะเวลาและระยะทางอาจเป็นการตัดสินใจซ้ำซ้อน ทำให้ผู้ตัดสินใจสับสนได้ และไม่สอดคล้องกับระบบการตัดสินใจของมนุษย์ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาการขนส่งสินค้ามาศึกษา เพราะสื่อความหมายให้ผู้ตัดสินใจทำความเข้าใจการใช้ทรัพยากรในการขนส่งได้ดีกว่า สำหรับเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพคือความเสี่ยงจากเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มที่มีเกณฑ์การตัดสินใจรอง ได้แก่ กลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านองค์ประกอบของเส้นทาง ( $C_3$ ) ประกอบไปด้วย จำนวนช่องจราจรต่อทิศทาง ( $C_{31}$ ) ความกว้างของช่องจราจร ( $C_{32}$ ) วัสดุพื้นผิวการจราจร ( $C_{33}$ ) ความกว้างของไหล่ทาง ( $C_{34}$ ) ชนิดของเกาะกลางถนน ( $C_{35}$ ) และความกว้างของเกาะกลางถนน ( $C_{36}$ ) กลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านจุดอันตรายของเส้นทาง ( $C_4$ ) ประกอบไปด้วย อัตราส่วนจำนวนสะพาน ( $C_{41}$ ) อัตราส่วนจำนวนทางโค้ง ( $C_{42}$ ) และอัตราส่วนจำนวนจุดทางเชื่อม ( $C_{43}$ ) กลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านการอำนวยความสะดวกในการขนส่งของเส้นทาง ( $C_5$ ) ประกอบไปด้วย อัตราส่วนเส้นแบ่งช่องจราจรและเส้นแบ่งทิศทางจราจร ( $C_{51}$ ) อัตราส่วนเส้นทางที่มีเกาะกลางถนน ( $C_{52}$ ) อัตราส่วนทางขนาน ( $C_{53}$ ) อัตราส่วนราวกันข้างทาง ( $C_{54}$ ) อัตราส่วนจุดเชื่อมทางที่มีช่องปรับความเร็ว ( $C_{55}$ ) และอัตราส่วนจำนวนสะพานที่มีช่องทางการไต่ ( $C_{56}$ ) กลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านความสามารถของเส้นทาง ( $C_6$ ) ประกอบไปด้วย อัตราการเสื่อมสภาพพื้นผิวจราจร ( $C_{61}$ ) ความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน ( $C_{62}$ ) ระยะลอดแนวตั้งของช่อง

ลอดถนน หรืออุโมงค์ ( $C_{63}$ ) อัตราการเสื่อมสภาพพื้นผิวไหล่ทาง ( $C_{64}$ ) และความลาดชันของเส้นทาง ( $C_{65}$ ) เมื่อ  $C_1$  และ  $C_2$  มีหน่วยเป็นบาทและนาที ส่วนเกณฑ์การตัดสินใจอื่นมีหน่วยเป็นระดับทั้งหมด

การรวบรวมข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณดำเนินการด้วยรูปแบบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งของเบเรสฟอร์ด [22] ทั้งนี้การประยุกต์รูปแบบการคำนวณต้นทุนดังกล่าวมาใช้ประมาณต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งทางถนนสามารถกระทำได้ โดยกำหนดให้จุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าจากรถบรรทุกไปยังรถบรรทุกอีกคันหนึ่งของการขนส่งทางถนนเปรียบเสมือนกับจุดเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งของการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจเชิงคุณภาพรวบรวมได้ด้วยเกณฑ์การประเมินความเสี่ยงแบบคลุมเครือซึ่งได้จากการตัดแปลงเกณฑ์การประเมินศักยภาพลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้าจากการศึกษาของ Meethom and Koothongsumrit [13] ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการศึกษาการสร้างเกณฑ์มาตรฐานการประเมินลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าอย่างเป็นระบบและมีการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในการสร้างเกณฑ์ฯ ดังกล่าว และสินค้าที่ขนส่งในงานวิจัยข้างต้นเป็นสินค้าที่ถูกบรรจุในตู้บรรทุกสินค้าเกณฑ์ประเมินลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าแสดงดังตารางที่ ก ในภาคผนวก (ส่วนท้ายของบทความ) กำหนดให้  $\tilde{1} = (1, 1, 2)$  คือมีความเสี่ยงน้อยที่สุด หรือไม่มีความเสี่ยงเลย  $\tilde{2} = (1, 2, 3)$  คือมีความเสี่ยงน้อย  $\tilde{3} = (2, 3, 4)$  คือมีความเสี่ยงปานกลาง  $\tilde{4} = (3, 4, 5)$  คือมีความเสี่ยงมาก และ  $\tilde{5} = (4, 5, 5)$  คือมีความเสี่ยงสูงมาก เมื่อค่ากลางของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือแต่ละชุดนั้นมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 ซึ่งแสดงถึงความสมบูรณ์ของระดับการประเมินนั้น ในขณะที่ค่าบนและค่าล่างของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0 ซึ่งแสดงถึงขอบเขตความเป็นสมาชิกที่ต่ำของระดับการประเมิน ดังนั้นค่าระหว่างค่าบนหรือค่าล่างกับค่ากลางจะมีค่าระดับความเป็นสมาชิกของระดับการประเมินระหว่าง 0 ถึง 1 เมื่อระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือเกณฑ์การตัดสินใจรองแต่ละเกณฑ์จะถูกรวมกันเป็นระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือของกลุ่มและนำไปพิจารณาเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมต่อไป

### 3.2 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ

การคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดดำเนินการด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือภายใต้การวิเคราะห์ขอบเขตตามแนวทางของ Chang [18] มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1 สร้างเมทริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่

ผู้ตัดสินใจแต่ละรายสร้างเมทริกซ์เพื่อเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่ด้วยตัวแปรภาษาและระดับการประเมินความสำคัญแบบคลุมเครือ 9 ระดับ [23] ทั้งนี้หากมีผู้ตัดสินใจมากกว่า 1 ราย หรือดำเนินการด้วยกลุ่มผู้ตัดสินใจต้องนำระดับการประเมินความสำคัญมาคำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตเพื่อกำหนดระดับการประเมินความสำคัญรวมและสร้างเมทริกซ์การเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่รวมโดยการเลือกใช้วิธีค่าเฉลี่ยเลขคณิตเนื่องจากข้อมูลระดับการประเมินความสำคัญจากผู้ตัดสินใจไม่มีค่าใดค่าหนึ่งสูงหรือต่ำผิดปกติ [24]

#### 3.2.2 คำนวณค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือ

ค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Synthetic Value) คำนวณได้จากผลคูณระหว่างระดับการประเมินความสำคัญรวมกับเวกเตอร์ส่วนกลับของระดับการประเมินความสำคัญรวมดังกล่าว การคำนวณค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือ แสดงดังสมการ (1) เมื่อ  $S_j$  คือค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือของเกณฑ์การตัดสินใจที่  $j$   $M_{pj}$  คือระดับการประเมินความสำคัญรวมของเกณฑ์การตัดสินใจที่  $p$  และ  $j$ ;  $p$  และ  $j = 1, \dots, m$ ;  $p = m$ ;  $m$  คือจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจ

$$S_j = \sum_{p=1}^m M_{pj} e \left[ \sum_{p=1}^m \sum_{j=1}^m M_{pj} \right]^{-1} \quad (1)$$

#### 3.2.2 คำนวณระดับความเป็นไปได้

การคำนวณระดับความเป็นไปได้ (Degree of Possibility) ของระดับการประเมินคำนวณมีเงื่อนไขคือถ้า  $V(M_j \geq M_p) = 1$  เมื่อ  $m_j \geq m_p$  และ  $V(M_p \geq M_j) = \text{hgt}(M_j \cap M_p) = l_j - u_p / ((m_p - u_p) - (m_j - l_j))$  เมื่อ  $m_p \geq m_j$  โดยที่  $M_j = (S_j) = (l_j, m_j, u_j)$  และ  $M_p = (S_p) = (l_p, m_p, u_p)$ ;  $l, m$  และ  $u$  คือค่าล่าง ค่ากลาง และค่าบนของระดับการประเมินความสำคัญ ทั้งนี้หากทำการคำนวณค่าระดับความเป็นไปได้แล้วพบว่าค่า  $l_j - u_p$  แล้วมีค่ามากกว่า 0 ต้องทำการปรับ

บรรทัดฐานสำหรับชุดตัวเลขการประเมินความสำคัญก่อนคำนวณค่าสังเคราะห์ทางคลุมเครือ [25]

#### 3.2.3 คำนวณระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคอนเว็กซ์คลุมเครือ

การคำนวณระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคอนเว็กซ์คลุมเครือ (Degree of Possibility for Convex Fuzzy Number) พิจารณาจากค่าต่ำสุดของระดับความเป็นไปได้ของเกณฑ์การตัดสินใจเมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเป็นไปได้ของเกณฑ์การตัดสินใจอื่น แสดงดังสมการที่ (2) เมื่อ  $d'(a_j)$  คือระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคอนเว็กซ์คลุมเครือของเกณฑ์การตัดสินใจที่  $j$  เมื่อ  $k = 1, \dots, m$ ;  $j \neq k$

$$d'(a_j) = \min V(S_j \geq S_k) \quad (2)$$

#### 3.2.4 คำนวณน้ำหนักความสำคัญ

น้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจคำนวณได้ด้วยการปรับบรรทัดฐานระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคอนเว็กซ์คลุมเครือ แสดงดังสมการที่ (3) [26] เมื่อ  $w_j$  คือน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจที่  $j$  ทั้งนี้ผลรวมของ  $w_j$  ต้องมีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น

$$w_j = d'(a_j) / \sum_{j=1}^m d'(a_j) \quad (3)$$

#### 3.2.5 ตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล

น้ำหนักความสำคัญและค่ากลางของระดับการประเมินความสำคัญรวมถูกนำมาคำนวณค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) ขั้นตอนการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผลศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากงานวิจัยของ Saaty [27] ทั้งนี้อัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลที่คำนวณได้ต้องมีค่าไม่เกินค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลที่ยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของเมทริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่ [28] หากอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลที่คำนวณได้ไม่เป็นไปตามที่กำหนด ผู้ตัดสินใจต้องทำการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ และตรวจสอบค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลอีกครั้ง จนกว่าค่าอัตราส่วนความสอดคล้องกันของเหตุผลจะมีค่าที่ยอมรับได้

ทั้งนี้ให้ดำเนินการในขั้นตอนที่ 3.2 กับเกณฑ์การตัดสินใจหลักและเกณฑ์การตัดสินใจรองแต่ละกลุ่ม จากนั้นนำน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักและน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจรองที่อยู่ในกลุ่มเกณฑ์การตัดสินใจหลักนั้นมาคูณกันเพื่อกำหนดเป็นน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจในขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งนำไปใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอต่อไป [29]

$$\begin{matrix} & A_1 & \cdots & A_n \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{1m} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix} & & \end{matrix}$$

รูปที่ 1 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ

### 3.3 เลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า

ภายหลังจากที่ทราบต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ระยะเวลาการขนส่งสินค้า และระดับความเสี่ยงคลุมเครือแล้ว ข้อมูลทั้งหมดถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือเพื่อจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่มีลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย มีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.1 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ

ผู้ตัดสินใจแต่ละรายสร้างเมทริกซ์เพื่อการตัดสินใจแบบคลุมเครือจากจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจและเส้นทางการขนส่งสินค้าทั้งหมด อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้นทุนค่าขนส่งสินค้าและระยะเวลาการขนส่งสินค้านั้นเป็นข้อมูลที่ไม่ได้อยู่ในรูปของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือจึงต้องทำการปรับให้ข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือ ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์จริงที่ต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาการขนส่งอาจคลาดเคลื่อนจากที่คาดการณ์ไว้จากหลายสาเหตุ เช่น ปัญหาจราจร การชำรุดของลักษณะทางกายภาพของเส้นทาง พฤติกรรมส่วนตัวของพนักงานขนส่ง ฯลฯ โดยการปรับต้นทุนค่าขนส่งและระยะเวลาการขนส่งให้อยู่ในรูปของชุดตัวเลขแบบคลุมเครือกระทำโดยกำหนดให้ค่ากลาง (m) คือต้นทุน หรือระยะเวลาที่ประมาณได้ ส่วนค่าด้านล่าง (l) และด้านบน (u) มีความคลาดเคลื่อนจากค่ากลาง  $\pm 15\%$  ซึ่งดัดแปลงจากอัตราต้นทุนค่าขนส่งที่คิดเป็นร้อยละ 10 ถึง 15 ของราคาค่าผลิตภัณฑ์ [30] เมื่อ  $X_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  คือข้อมูลประกอบการตัดสินใจแบบคลุมเครือของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ i ภายใต้อัตลักษณ์การตัดสินใจที่ j; n คือจำนวนเส้นทางการขนส่งสินค้าทางเลือก;  $i = 1, \dots, n$ ;  $j = 1, \dots, m$  ตัวอย่างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือแสดงดังรูปที่ 1

#### 3.3.2 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือ

เมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือ ( $R = [r_{ij}]_{n \times m}$ ) สามารถสร้างได้ด้วยการปรับบรรทัดฐานให้กับค่า  $X_{ij}$  ตามคุณลักษณะเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงดังสมการที่ (4) [31] เมื่อ  $r_{ij}$  คือค่าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ i ภายใต้อัตลักษณ์การตัดสินใจที่ j

$$r_{ij} = \begin{cases} \left( \frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right); & \text{if } j \text{ is beneficial} \\ \left( \frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right); & \text{if } j \text{ is cost} \end{cases} \quad (4)$$

#### 3.3.3 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ

การสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ ( $V = [v_{ij}]_{n \times m}$ ) สามารถกระทำได้โดยคูณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจกับค่าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือ แสดงดังสมการที่ (5) เมื่อ  $v_{ij}$  คือค่าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ

$$v_{ij} = r_{ij} \otimes w_j \quad (5)$$

#### 3.3.4 คำนวณค่าอุดมคติเชิงบวกและค่าอุดมคติเชิงลบแบบคลุมเครือ

โดยค่าอุดมคติเชิงบวกและลบแบบคลุมเครือคำนวณได้จากค่าตัวแทนข้อมูลนำเข้าสูงสุดและต่ำสุดที่ผ่านการปรับบรรทัดฐานและกำหนดความสำคัญในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงดังสมการที่ (6) และ (7) ตามลำดับ [32] เมื่อ  $A^+$  และ  $A^-$  คือเซตของค่าอุดมคติเชิงบวกและลบ  $v_j^+$  และ  $v_j^-$  คือค่าอุดมคติเชิงบวกและลบของเกณฑ์การตัดสินใจที่ j

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+) \quad (6)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-) \quad (7)$$

### 3.3.5 คำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบคลุมเครือ

ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบพิจารณาจากระยะห่างยูคลิดเนียนระหว่างค่าการตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญกับค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ แสดงดังสมการที่ (8) และ (9) ตามลำดับ [33] เมื่อ  $d_i^+$  และ  $d_i^-$  คือระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่  $i$

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^m d(v_{ij}, v_j^+) \quad (8)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^m d(v_{ij}, v_j^-) \quad (9)$$

### 3.3.6 คำนวณสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ

สัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเป็นค่าสถิติที่วัดระยะห่างจากจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบ สามารถใช้ในการจัดลำดับทางเลือก โดยทางเลือกที่ดีที่สุดจะมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกแบบคลุมเครือที่ต่ำสุดและมีระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบคลุมเครือที่สูงที่สุด หรือกล่าวได้ว่า

ทางเลือกที่มีความเหมาะสมมากที่สุดจะมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติที่สูงที่สุด การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ แสดงดังสมการที่ 10 [34] เมื่อ  $CC_i$  คือค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่  $i$

$$CC_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \quad (10)$$

### 3.4 สร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำวิธีการประมาณต้นทุนและระยะเวลา การประเมินระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือ การคำนวณน้ำหนักความสำคัญ และการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า กำหนดในรูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนฐานข้อมูล ส่วนการคำนวณน้ำหนักความสำคัญ และส่วนการเลือกเส้นทางโครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ แสดงดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.3.1 ส่วนที่ 1 ฐานข้อมูล

เป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้าเพื่อประกอบการตัดสินใจ โดยข้อมูลที่จัดเก็บในฐานข้อมูล ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่ง ระยะเวลาการขนส่ง และระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือของลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน



รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ

### 3.3.2 ส่วนที่ 2 การคำนวณน้ำหนักความสำคัญ

เป็นส่วนที่ผู้ตัดสินใจต้องเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดเป็นรายคู่ จากนั้นระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ พร้อมทั้งตรวจสอบค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล อย่างไรก็ตามหากในกรณีที่ค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลไม่เป็นไปตามที่กำหนด ระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะแสดงให้ผู้ตัดสินใจทราบว่า “การเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจไม่มีความสอดคล้องกัน โปรดตรวจสอบ”

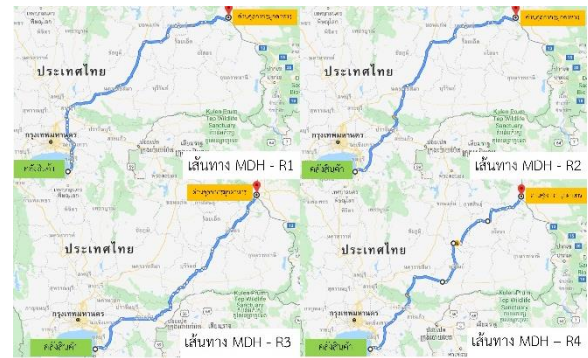
### 3.3.3 ส่วนที่ 3 การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า

เป็นส่วนที่สำคัญมากที่สุดของระบบสนับสนุนการตัดสินใจซึ่งใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยสังเคราะห์ข้อมูลของเส้นทางการขนส่งสินค้าจากฐานข้อมูลและน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ ส่วนนี้ใช้แนวทางการแก้ไขปัญหาตามแนวคิดของวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ พร้อมทั้งทางเลือกที่เหมาะสมมากที่สุดและลำดับของเส้นทางการขนส่งสินค้าทั้งหมด

## 4. ผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอกับกรณีศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนจากคลังสินค้า ณ ท่าเรือแหลมฉบังไปให้ตัวแทนของผู้ส่งสินค้า ณ ด้านบุคลากรมุกดาหาร ด้วยรถกึ่งพวง 6 เพลา 22 ล้อ บรรทุกตู้สินค้าขนาด 20 ฟุต โดยสินค้าที่ขนส่งเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ซึ่งเป็นสินค้าต่างชนิดกับสินค้าที่ได้ศึกษาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แต่ชนิดสินค้าไม่มีผลต่อการตัดสินใจ เนื่องจากสินค้าถูกบรรจุในตู้บรรทุกสินค้าเช่นเดียวกัน สำหรับเส้นทางจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางดังกล่าวประกอบด้วยเส้นทางที่เป็นไปได้จำนวนมากเนื่องจากถนนสามารถเชื่อมต่อถึงกันได้หมดขึ้นอยู่กับการตัดสินใจว่าจะใช้เส้นทางใดเชื่อมต่อกัน แต่จากการสัมภาษณ์พนักงานขนส่งพบว่าจากประสบการณ์ในอดีตมีทางเลือกจำนวน 4 เส้นทาง โดยทั้งหมดเป็นเส้นทางหลักที่ผู้ประกอบการใช้ขนส่งสินค้าโดยทั่วไปและรถบรรทุก

สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ ได้แก่ เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R1 ( $A_1$ ) เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R2 ( $A_2$ ) เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R3 ( $A_3$ ) และเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R4 ( $A_4$ ) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้

รูปแบบการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งของเบเรสฟอร์ดถูกใช้เพื่อคำนวณข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณของเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยการสัมภาษณ์ผู้บริหารของบริษัทกรณีศึกษาและพนักงานที่เคยมีประสบการณ์การขนส่งสินค้าไปยังปลายทางดังกล่าวอย่างน้อย 3 ครั้ง พร้อมลงพื้นที่สำรวจข้อมูลภาคสนามในแต่ละเส้นทางการขนส่งสินค้าและประยุกต์เกณฑ์ประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพเพื่อคำนวณระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือของกลุ่มลักษณะทางกายภาพด้านต่าง ๆ ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแบบคลุมเครือและการเปรียบเทียบร้อยละ [13] เงื่อนไขในการตัดสินใจเลือกใช้วิธีคำนวณระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือสรุปได้ดังตารางที่ 2 และข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้า เมื่อสำรวจเส้นทางในเดือนมิถุนายน 2564 ซึ่งมีราคาน้ำมันในช่วง 29 ถึง 30 บาท แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เงื่อนไขในการตัดสินใจ

เกณฑ์การตัดสินใจ	วิธีการ
$C_1, C_2$	การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ [13]
$C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}, C_{35}, C_{36}, C_{65}$	วิธีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแบบคลุมเครือ [13]
$C_{41}, C_{42}, C_{43}, C_{51}, C_{52}, C_{53}, C_{54}, C_{55}, C_{56}, C_{61}, C_{62}, C_{63}, C_{64}$	วิธีการเปรียบเทียบร้อยละ [13]

ตารางที่ 2 (ต่อ)

เกณฑ์การตัดสินใจ	วิธีการ
$C_3, C_4, C_5, C_6$	ผลรวมของระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือเกณฑ์การตัดสินใจรองที่เกี่ยวข้อง [13]

ตารางที่ 3 ข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้า

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$C_1$ (บาท)	9024	8580	8220	8976
$C_2$ (นาทีก)	631	637	629	663
$C_3$ (ระดับ)	(11.968, 17.339, 22.911)	(11.508, 16.820, 22.459)	(11.536, 16.657, 22.247)	(11.679, 16.885, 22.322)
$C_4$ (ระดับ)	(9, 12, 14)	(10, 13, 14)	(10, 13, 14)	(10, 13, 14)
$C_5$ (ระดับ)	(17, 23, 28)	(18, 24, 28)	(16, 22, 27)	(16, 22, 27)
$C_6$ (ระดับ)	(7.612, 12.211, 17.117)	(7.576, 11.115, 16.053)	(6.001, 8.574, 13.467)	(9.731, 13.376, 18.330)

ต่อมาทำการคำนวณน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือที่มีการเก็บข้อมูลตามหลักการของวิธีเดลฟายจำนวน 3 รอบ จากผู้ตัดสินใจที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับการบริหารการขนส่งสินค้าอย่างน้อย 10 ปี จำนวน 17 ราย ได้แก่ รอบที่ 1 การรวบรวมข้อมูลความเห็นแบบปลายเปิดโดยให้ผู้ตัดสินใจเปรียบเทียบความสำคัญผ่านตัวแปรภาษาและระดับการประเมินความสำคัญแบบคลุมเครือ รอบที่ 2 เป็นการให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินระดับความเหมาะสมของระดับการประเมินความสำคัญที่ตนเองประเมินไว้ และรอบที่ 3 มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกันของความเห็นที่รวบรวมได้จากผู้เชี่ยวชาญแต่ละราย โดยนำระดับการประเมินความเหมาะสมที่รวบรวมได้ในรอบที่ 2 มาทำการคำนวณค่าสถิติทดสอบ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าพิสัยควอไทล์ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามลำดับ ทั้งนี้หากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมีความสอดคล้องกัน ค่าสถิติทดสอบต้องเป็นไปตามเงื่อนไข ได้แก่ ค่าเฉลี่ยต้องมากกว่า 3.50 ค่าพิสัยควอไทล์ต้องน้อยกว่า หรือเท่ากับ 1.00 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต้องมีค่าน้อยกว่า 1.50

จากนั้นนำความคิดเห็นทั้งหมดมาสร้างเมทริกซ์การเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่รวม แสดงดังตารางที่ 4 ต่อมาทำการคำนวณค่าสังเคราะห์แบบคลุมเครือ ดังนี้  $S_1 = (0.112, 0.201, 0.351)$   $S_2 = (0.097, 0.176, 0.315)$   $S_3 = (0.102, 0.175, 0.297)$   $S_4 = (0.094, 0.168, 0.293)$   $S_5 = (0.090, 0.159, 0.283)$  และ  $S_6 = (0.075, 0.122, 0.216)$

ถัดมาคำนวณระดับความเป็นไปได้ของเกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์และกำหนดค่าระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคลุมเครือคอนเว็กซ์ ดังนี้  $d'(a_1) = \min(1, 1, 1, 1, 1) = 1$   $d'(a_2) = \min(0.892, 1, 1, 1, 1) = 0.892$   $d'(a_3) = \min(0.875, 0.990, 1, 1, 1) = 0.875$   $d'(a_4) = \min(0.846, 0.958, 0.967, 1, 1) = 0.846$   $d'(a_5) = \min(0.806, 0.915, 0.921, 0.954, 1) = 0.806$  และ  $d'(a_6) = \min(0.568, 0.683, 0.682, 0.725, 0.772) = 0.568$

การคำนวณน้ำหนักความสำคัญสามารถดำเนินการได้จากการปรับบรรทัดฐานค่าระดับความเป็นไปได้สำหรับค่าคลุมเครือคอนเว็กซ์ น้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจแสดงดังนี้  $w_1 = 0.201$ ,  $w_2 = 0.179$ ,  $w_3 = 0.175$ ,  $w_4 = 0.169$ ,  $w_5 = 0.162$  และ  $w_6 = 0.114$  เมื่อนำน้ำหนักความสำคัญและค่ากลางของระดับการประเมินความสำคัญรวมมาคำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผลได้เท่ากับ 0.029 จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าน้ำหนักความสำคัญที่มีความน่าเชื่อถือสูงสามารถนำไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไปได้ [35], [36]

ข้อมูลทั้งหมดถูกกำหนดให้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับวิธีการตัดสินใจและสร้างเป็นเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ แสดงดังตารางที่ 5 ต่อมาเมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือถูกทำการปรับบรรทัดฐาน เนื่องจากเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดเป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ไม่เป็นประโยชน์ ค่าปรับบรรทัดฐานจึงได้จากค่าล่างที่น้อยสุดหารด้วยส่วนกลับของข้อมูลนำเข้าในแต่ละทางเลือก พร้อมทั้งคูณกับน้ำหนักความสำคัญเพื่อสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ แสดงดังตารางที่ 6 โดยสามารถกำหนดเซตของค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบคลุมเครือมีค่าเท่ากับ  $A^+ = \{(0.148, 0.170, 0.201), (0.132, 0.152, 0.179), (0.091, 0.121, 0.176), (0.109, 0.127, 0.170), (0.096, 0.118, 0.162), (0.051, 0.080, 0.114)\}$  และ  $A^- = \{(0.135, 0.155, 0.183), (0.125,$

0.144, 0.1697), (0.088, 0.117, 0.169), (0.102, 0.117, 0.153), (0.092, 0.108, 0.144), (0.037, 0.051, 0.070)}

ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบคลุมเครือได้ถูกประมาณบนพื้นฐานของแนวคิดระยะห่างยูคลิดี้นระหว่างข้อมูลนำเข้าปรับบรรทัดฐานแบบ

คลุมเครือกับค่าอุดมคติเชิงบวก ส่วนระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบคลุมเครือพิจารณาจากข้อมูลนำเข้าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกับค่าอุดมคติเชิงลบ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของแต่ละเส้นทาง พร้อมทั้งจัดลำดับทางเลือก แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 4 เมทริกซ์การเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่รวม

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
C <sub>1</sub>	(1, 1, 1)	(1.359, 1.976, 2.637)	(0.838, 1.157, 1.50)	(0.917, 1.343, 1.912)	(1.010, 1.392, 1.794)	(1.472, 2.235, 3.000)
C <sub>2</sub>	(0.742, 1.034, 1.402)	(1, 1, 1)	(1.152, 1.667, 2.265)	(0.928, 1.299, 1.814)	(0.924, 1.495, 2.137)	(1.020, 1.500, 2)
C <sub>3</sub>	(1.093, 1.431, 1.853)	(0.721, 1.071, 1.515)	(1, 1, 1)	(1.058, 1.373, 1.716)	(1.054, 1.490, 1.972)	(1.129, 1.544, 1.961)
C <sub>4</sub>	(0.775, 1.186, 1.588)	(0.927, 1.382, 1.794)	(1.078, 1.343, 1.647)	(1, 1, 1)	(0.956, 1.373, 1.912)	(0.804, 1.324, 1.941)
C <sub>5</sub>	(0.9284, 1.1520, 1.5196)	(0.8676, 1.2941, 1.8529)	(0.7696, 1, 1.3235)	(0.8059, 1.2598, 1.7843)	(1, 1, 1)	(0.9706, 1.4804, 2.0588)
C <sub>6</sub>	(0.4578, 0.5559, 0.8284)	(0.6814, 0.8137, 1.0882)	(0.8284, 0.9412, 1.1471)	(0.6863, 1.0588, 1.5882)	(0.7892, 1.1471, 1.6176)	(1, 1, 1)

ตารางที่ 5 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือ

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	(7670.4, 9024, 10377.6)	(536.35, 631, 725.65)	(11.968, 17.339, 22.911)	(19, 12, 14)	(17, 23, 28)	(7.612, 12.211, 17.117)
A <sub>2</sub>	(7293, 8580, 9867)	(541.45, 637, 732.55)	(11.508, 16.819, 22.459)	(10, 13, 14)	(18, 24, 28)	(7.576, 11.115, 16.053)
A <sub>3</sub>	(6987, 8220, 9453)	(534.65, 629, 723.35)	(11.536, 16.657, 22.247)	(10, 13, 15)	(16, 22, 27)	(6.002, 8.574, 13.467)
A <sub>4</sub>	(7629.6, 8976, 10322.4)	(563.55, 663, 762.45)	(11.679, 16.885, 22.322)	(10, 13, 15)	(16, 22, 27)	(9.731, 13.376, 18.330)

ตารางที่ 6 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบคลุมเครือกำหนดความสำคัญ

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>
A <sub>1</sub>	(0.135, 0.155, 0.183)	(0.132, 0.152, 0.178)	(0.088, 0.117, 0.169)	(0.109, 0.127, 0.170)	(0.092, 0.113, 0.152)	(0.040, 0.056, 0.090)
A <sub>2</sub>	(0.142, 0.163, 0.192)	(0.131, 0.150, 0.177)	(0.089, 0.120, 0.176)	(0.109, 0.117, 0.153)	(0.092, 0.108, 0.144)	(0.043, 0.061, 0.090)
A <sub>3</sub>	(0.148, 0.170, 0.201)	(0.132, 0.152, 0.179)	(0.091, 0.121, 0.175)	(0.102, 0.117, 0.153)	(0.096, 0.118, 0.162)	(0.051, 0.080, 0.114)
A <sub>4</sub>	(0.136, 0.156, 0.184)	(0.125, 0.144, 0.170)	(0.091, 0.120, 0.173)	(0.102, 0.117, 0.153)	(0.096, 0.118, 0.162)	(0.037, 0.051, 0.070)



ระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงบวกและเชิงลบแบบคลุมเครือได้ถูกประมาณบนพื้นฐานของแนวคิดระยะห่างยูคลิเดียนระหว่างข้อมูลนำเข้าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกับค่าอุดมคติเชิงบวก ส่วนระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงลบแบบคลุมเครือพิจารณาจากข้อมูลนำเข้าปรับบรรทัดฐานแบบคลุมเครือกับค่าอุดมคติเชิงลบ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติของแต่ละเส้นทาง พร้อมทั้งจัดลำดับทางเลือก แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติ

	$d_i^+$	$d_i^-$	$CC_i$	อันดับ
$A_1$	0.048	0.037	0.436	2
$A_2$	0.052	0.036	0.413	3
$A_3$	0.012	0.072	0.854	1
$A_4$	0.068	0.017	0.197	4

จากตารางที่ 7 พบว่าเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R3 หรือทางเลือก  $A_3$  มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเท่ากับ 0.854 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ดังนั้นเส้นทางนี้จึงเป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมมากที่สุด หรือเป็นทางเลือกลำดับแรก เส้นทางขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R1 หรือทางเลือก  $A_1$  มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดม

คติเท่ากับ 0.436 จึงมีความเหมาะสมเป็นลำดับที่สอง เส้นทางขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R2 หรือทางเลือก  $A_2$  มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเท่ากับ 0.413 จึงมีความเหมาะสมเป็นลำดับที่สาม และเส้นทางขนส่งสินค้าทางถนน MDH - R4 หรือทางเลือก  $A_4$  มีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติเท่ากับ 0.197 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นเส้นทางนี้จึงเป็นทางเลือกลำดับสุดท้าย

ผลการวิจัยในข้างต้น เป็นการอธิบายให้เห็นกลไกการแก้ปัญหาของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ ผู้ตัดสินใจไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้วยตนเอง แต่ต้องกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการประกอบการตัดสินใจ ได้แก่ จุดต้นทางและปลายทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของเส้นทางขนส่งสินค้าและการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ จากนั้นระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอจะทำการแก้ปัญหา พร้อมทั้งคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจัดลำดับเส้นทางขนส่งสินค้า ตัวอย่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ แสดงดังรูปที่ 4

Decision Support System for Road Freight Transportation with Fuzzy Decision-Making Approach																			
Main Screen: Closeness Coefficient																			
		Fuzzy Decision Matrix			Fuzzy Weighted Normalized Decision Matrix					Closeness Coefficient									
		Cost			Time		Risk of Road Elements			Risk of Blackspots			Risk of Infrastructure		Risk of Route Abilities				
		A+	A-																
		0.148	0.170	0.201	0.132	0.152	0.179	0.091	0.121	0.176	0.109	0.127	0.170	0.096	0.118	0.162	0.051	0.080	0.114
		0.135	0.155	0.183	0.125	0.144	0.170	0.088	0.116	0.169	0.102	0.117	0.153	0.089	0.108	0.144	0.037	0.051	0.070
No.	Route	Distance					$d_i^+$	Distance					$d_i^-$	CC	Rank				
1	A1: Warehouse at Laem Chabang Port -- Chachoengsao -- Bangkok - Pathum Thani -- Saraburi -- Nakhon Ratchasima -- Khon Kaen -- Maha Sarakham -- Kalasin -- Mukdahan Custom	0.016	0.000	0.005	0.000	0.007	0.020	0.048	0.000	0.007	0.000	0.012	0.006	0.012	0.037	0.436	2		
2	A2: Warehouse at Laem Chabang Port -- Chonburi -- Chachoengsao -- Prachinburi -- Nakhon Ratchasima -- Khon Kaen -- Maha Sarakham -- Kalasin -- Mukdahan Custom	0.007	0.002	0.001	0.011	0.012	0.018	0.052	0.008	0.006	0.005	0.004	0.000	0.013	0.036	0.413	3		
3	A3: Warehouse at Laem Chabang Port -- Chonburi -- Chachoengsao -- Prachinburi -- Sa Kaeo -- Buriram -- Surin -- Roi Et -- Yasothon -- Mukdahan Custom	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.012	0.016	0.008	0.005	0.000	0.012	0.031	0.072	0.854	1		
4	A4: Warehouse at Laem Chabang Port -- Chonburi -- Chachoengsao -- Prachinburi -- Nakhon Ratchasima -- Buriram -- Surin -- Roi Et -- Mukdahan Custom	0.015	0.008	0.002	0.012	0.000	0.031	0.068	0.001	0.000	0.003	0.000	0.012	0.000	0.017	0.197	4		

This program is designed for supporting research of Asst. Prof. Dr Nitidetch Koohathongsumrit and Ms. Wasana Chankham  
Department of Statistics, Ramkhamhaeng University, Thailand

รูปที่ 4 ตัวอย่างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ สามารถช่วยผู้ตัดสินใจให้เลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าและสามารถจัดลำดับทางเลือกได้อย่างสมเหตุผล โดยจากข้อมูลเส้นทางการขนส่งสินค้า หากพิจารณาเฉพาะต้นทุนและระยะเวลาการขนส่ง อาจสามารถตัดสินใจได้ทันทีว่าทางเลือก  $A_3$  เป็นทางเลือกที่เหมาะสม เนื่องจากมีต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่น แต่อย่างไรก็ตามการพิจารณาเฉพาะต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากทางเลือกดังกล่าวอาจมีโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ หรือความเสี่ยง จนไม่สามารถขนส่งสินค้าในเส้นทางได้ ซึ่งเหตุการณ์ไม่คาดคิดเหล่านี้หากเกิดขึ้นอาจส่งผลให้ต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งเพิ่มขึ้นสูงมาก รวมถึงความสำเร็จของการขนส่ง ดังนั้นการพิจารณาระดับความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้า ร่วมกับต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งนั้น เป็นผลให้การตัดสินใจอย่างเป็นระบบ ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง และเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมโลจิสติกส์มากขึ้น

## 5. สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเป็นปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ที่มีความซับซ้อน และมีองค์ประกอบในการตัดสินใจจำนวนมาก ผู้ตัดสินใจจำเป็นต้องมีวิธีการ หรือเครื่องมือเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้ต้องการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยกระบวนการลำดับชั้นวิเคราะห์แบบคลุมเครือและการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือได้ถูกกำหนดให้เป็นกระบวนการแก้ไขปัญหาของระบบสนับสนุนการตัดสินใจพิจารณาจากต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ระยะเวลาการขนส่งสินค้า ความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพด้านต่าง ๆ และน้ำหนักความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจ พร้อมทั้งประยุกต์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอกับกรณีศึกษา

จากการทดสอบระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอกับปัญหาจริง พบว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ สามารถแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ โดยประเมินประนีประนอมองค์ประกอบในการตัดสินใจทั้งหมดเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด สามารถจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความเหมาะสมจากมากไปหาน้อย และเติมเต็มช่องว่างของงานวิจัยได้อย่างสมบูรณ์ โดยที่ระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนฐานข้อมูล ส่วนการคำนวณน้ำหนักความสำคัญ และส่วนการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยส่วนฐานข้อมูลเป็นส่วนที่ใช้รวบรวมข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ระยะเวลาการขนส่งสินค้า และความเสี่ยงแบบคลุมเครือลักษณะทางกายภาพด้านต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ช่วยให้การตัดสินใจมีความสมเหตุผลใกล้เคียงกับข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นมากกว่าการประเมินความเสี่ยงแบบดั้งเดิม ในขณะที่ส่วนการคำนวณน้ำหนักความสำคัญอาศัยหลักการของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ ซึ่งช่วยให้การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ผู้ตัดสินใจต้องเผชิญ และทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด สุดท้ายข้อมูลองค์ประกอบในการตัดสินใจได้รับการสังเคราะห์ด้วยการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ เพื่อกำหนดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติสูงสุด

วิธีการใช้งานของระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอ ผู้ตัดสินใจต้องกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง พร้อมเตรียมข้อมูลเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมดของแต่ละทางเลือกในส่วนฐานข้อมูล จากนั้นทำการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจหลักและเกณฑ์การตัดสินใจรองเป็นรายคู่เพื่อกำหนดน้ำหนักความสำคัญให้กับเกณฑ์การตัดสินใจ โดยระบบสนับสนุนการตัดสินใจฯ จะทำการประมวลผลและจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้า ทั้งนี้ ผู้ตัดสินใจไม่จำเป็นต้องปรับปรุงฐานข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ เนื่องจากลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนนแทบจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเลย อย่างไรก็ตาม สำหรับการเปรียบเทียบความสำคัญเกณฑ์การตัดสินใจอาจต้องกระทำทุกครั้งที่มีการตัดสินใจ หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรที่ใช้ในการขนส่งสินค้าและนโยบายขององค์กร นอกจากนี้ยังพบข้อจำกัดบางประการจากการใช้งาน ได้แก่ 1) หากข้อมูลประกอบการตัดสินใจอย่างใดอย่างหนึ่งหายไป อาจทำให้เกิดความเอนเอียงในการตัดสินใจ หรือระบบสนับสนุนการตัดสินใจไม่สามารถหา

ลำดับของทางเลือกได้ 2) ผู้ตัดสินใจต้องทำความเข้าใจระดับการประเมินความสำคัญและระดับการประเมินความเสี่ยงแบบคลุมเครือก่อนการตัดสินใจ 3) หากสินค้าที่ต้องทำการขนส่งสินค้าที่มีเงื่อนไข หรือเกณฑ์การตัดสินใจแบบเฉพาะเจาะจงอาจไม่สามารถกระทำได้ เช่น อายุของสินค้า หรือการควบคุมอุณหภูมิระหว่างการขนส่ง และ 4) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจใช้ได้กับการขนส่งสินค้าทางถนนเท่านั้น ไม่สามารถใช้ได้กับการขนส่งรูปแบบอื่น

ผลจากการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่เกี่ยวกับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้า เช่น งานวิจัยของ Moon et al. [3] Meethom and Koothongsumrit [13] และ Koothongsumrit and Meethom [10] เนื่องจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอสามารถกำหนดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมและจัดลำดับทางเลือกทั้งหมดจากค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้แนวคิดอุดมคติโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย แต่การศึกษานี้แตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้า เนื่องจากมีการพิจารณาระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือของลักษณะทางกายภาพเส้นทางการขนส่งสินค้าและใช้วิธีการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์แบบคลุมเครือทั้งหมด โดยยอมให้เกิดความยืดหยุ่นในกระบวนการตัดสินใจเพื่อให้ได้คำตอบซึ่งเป็นทางเลือกที่สามารถประนีประนอมองค์ประกอบการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การศึกษานี้ยังเป็นงานวิจัยแรกที่เสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าผ่านระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่นำแนวคิดการประเมินระดับความเสี่ยงแบบคลุมเครือลักษณะทางกายภาพของเส้นทางการขนส่งสินค้าทางถนน กระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือและวิธีการตัดสินใจแบบเรียงลำดับความสำคัญเทียบเคียงอุดมคติแบบคลุมเครือ

จากผลการวิจัยในข้างต้นทั้งหมด จึงสรุปได้ว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอเป็นนวัตกรรมแบบใหม่ที่ช่วยแก้ปัญหาทางด้านโลจิสติกส์ได้อย่างเป็นระบบระบบ อำนวยความสะดวกให้ผู้ตัดสินใจสามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ลดความคลุมเครือที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดสินใจโดยพยายามเลือกทางเลือกที่เหมาะสมซึ่งยอมให้เกิดการได้อย่างเสียอย่าง

(Trade-off) ระหว่างองค์ประกอบในการตัดสินใจทั้งหมดอย่างพอเพียง อีกทั้งระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่เสนอมีขั้นตอนการใช้งานง่าย ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลต่ำ และรองรับผู้ใช้งาน หรือกลุ่มผู้ตัดสินใจที่หลากหลาย สำหรับการวิจัยในอนาคต ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ อาจได้รับการพัฒนาโดยเพิ่มเกณฑ์การตัดสินใจด้านสิ่งแวดล้อมและนำวิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์อื่นมาใช้แก้ปัญหา เช่น วิธีดี-แย้สุด (Best-Worst Method: BWM) กระบวนการโครงข่ายเชิงวิเคราะห์ (Analytic Network Process: ANP) วิธีไวโกรี (Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje: VIKOR) ฯลฯ

## 6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยรามคำแหง ประจำปีงบประมาณ 2564

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.-H. Woo, S.-N. Kim, D.-W. Kwak, S. Pettit and A. Beresford, "Multimodal route choice in maritime transportation: the case of Korean auto-parts exporters," *Maritime Policy & Management.*, vol. 45, no. 1, pp. 19-33, 2018.
- [2] S. Arunyanart, S. Ohmori and K. Yoshimoto, "Selection of export route option in GMS region recommendation for current situation," *Journal of Japan Industrial Management Association.*, vol. 67, no. 2E, pp. 193-201, 2016.
- [3] D. S. Moon, D.-J. Kim and E.-K. Lee, "A study on competitiveness of sea transport by comparing international transport routes between Korea and EU," *The Asian Journal of Shipping and Logistics.*, vol. 31, no. 1, pp. 1-20, 2015.
- [4] A. Kengpol, W. Meethom and M. Tuominen, "The development of a decision support system in multimodal transportation routing

- within Greater Mekong sub-region countries,” *International Journal of Production Economics.*, vol. 140, no. 2, pp. 691-701, 2012.
- [5] A. Kengpol and S. Tuamsee, “The development of a decision support framework for a quantitative risk assessment in multimodal green logistics: an empirical study,” *International Journal of Production Research.*, vol. 54, no. 4, pp. 1020-1038, 2016.
- [6] K. Kaewfak, V-N. Huynh, V. Ammarapala and N. Ratisoontorn, “A risk analysis based on a two-stage model of fuzzy AHP–DEA for multimodal freight transportation systems,” *IEEE Access.*, vol. 8, pp. 153756-153773, 2020.
- [7] J. Guo, J. Xu, Q. Du and Z. He, “Risk assessment on multimodal transport network based on quality function deployment,” *International Journal of Intelligent Systems.*, vol. 36, no. 3, pp. 1408-1440, 2020.
- [8] M. Gul, A. F. Guneri and S. M. Nasirli, “A fuzzy-based model for risk assessment of routes in oil transportation,” *International Journal of Environmental Science and Technology.*, vol. 16, no. 8, pp. 4671-4686, 2019.
- [9] N. Koohathongsumrit and W. Meethom, “An integrated approach of fuzzy risk assessment model and data envelopment analysis for route selection in multimodal transportation networks,” *Expert Systems with Applications.*, vol. 171, pp. 114342, 2021.
- [10] N. Koohathongsumrit and W. Meethom, “Route selection in multimodal transportation networks: a hybrid multiple criteria decision-making approach,” *Journal of Industrial and Production Engineering.*, vol. 38, no. 3, pp. 171-185, 2021.
- [11] N. Koohathongsumrit and W. Chankham, “A hybrid approach of fuzzy risk assessment-based incenter of centroid and MCDM methods for multimodal transportation route selection,” *Cogent Engineering.*, vol. 9, no. 1, pp. 2091672, 2022.
- [12] W. Meethom and N. Koohathongsumrit, “Design of decision support system for road freight transportation routing using multilayer zero one goal programming,” *Engineering Journal.*, vol. 22, no. 6, pp. 185-205, 2018.
- [13] W. Meethom and N. Koohathongsumrit, “An integrated potential assessment criteria and TOPSIS based decision support system for road freight transportation routing,” *Applied Science and Engineering Progress.*, vol. 13, no. 4, pp. 312-326, 2020.
- [14] R. Sarraf and M. P. McGuire, “Integration and comparison of multi-criteria decision making methods in safe route planner,” *Expert Systems with Applications.*, vol. 154, pp. 113399, 2020.
- [15] A. Gohari, A. Nasir Matori, K. W. Yusof, I. Toloue, K. C. Myint and A. T. Sholagberu, “Route/Modal choice analysis and tradeoffs evaluation of the intermodal transport network of Peninsular Malaysia,” *Cogent Engineering.*, vol. 5, no. 1, pp. 1436948, 2018.
- [16] R. Accorsi, R. Manzini and F. Maranesi, “A decision-support system for the design and management of warehousing systems,” *Computers in Industry.*, vol. 65, no. 1, pp. 175-186, 2014.
- [17] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill, 1980.
- [18] D-Y. Chang, “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP,” *European Journal of Operational Research.*, vol. 95, no. 3, pp. 649-655, 1996.

- [19] S. S. Thapar and H. Sarangal, "Quantifying reusability of software components using hybrid fuzzy analytical hierarchy process (FAHP)-Metrics approach," *Applied Soft Computing.*, vol. 88, pp. 105997, 2020.
- [20] C-L. Hwang and K. Yoon, *Multiple attribute decision making: methods and applications*, Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- [21] A. Mohammed, I. Harris and K. Govindan, "A hybrid MCDM-FMOO approach for sustainable supplier selection and order allocation," *International Journal of Production Economics.*, vol. 217, pp. 171-184, 2019.
- [22] R. Banomyong and A. K. C. Beresford, "Multimodal transport: the case of Laotian garment exporters," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.*, vol. 31, no. 9, pp. 663-685, 2001.
- [23] A. Khashei-Siuki, A. Keshavarz and H. Sharifan, "Comparison of AHP and FAHP methods in determining suitable areas for drinking water harvesting in Birjand aquifer. Iran," *Groundwater for Sustainable Development.*, vol. 13, pp. 100328, 2021.
- [24] สุมณา อรุณอุดมชัย และ อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์, "การประยุกต์ใช้ตัวแบบการคัดเลือกแบบหลายเงื่อนไข สำหรับปัญหาการคัดเลือกผู้ให้บริการแพ็คสินค้า กรณีศึกษา บริษัทผู้จัดจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภคแห่งหนึ่ง," *วารสารช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย.*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, น. 42-54, 2021.
- [25] E. Zarei, B. Ramavandi, A. H. Darabi and M. Omidvar, "A framework for resilience assessment in process systems using a fuzzy hybrid MCDM model," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.*, vol. 69, pp. 104375, 2021.
- [26] A. M. Torkabadi, E. Pourjavad and R. V. Mayorga, "An integrated fuzzy MCDM approach to improve sustainable consumption and production trends in supply chain," *Sustainable Production and Consumption.*, vol. 16, pp. 99-109, 2018.
- [27] T. L. Saaty, "How to make a decision: the analytic hierarchy process," *European Journal of Operational Research.*, vol. 48, no. 1, pp. 9-26, 1990.
- [28] Z. Halili, "Identifying and ranking appropriate strategies for effective technology transfer in the automotive industry: evidence from Iran," *Technology in Society.*, vol. 62, pp. 101264, 2020.
- [29] S. Khan, M. I. Khan, A. Haleem and A. Jami, "Prioritising the risks in Halal food supply chain: an MCDM approach," *Journal of Islamic Marketing*, vol. 13, no. 1, pp. 45-65, 2022.
- [30] J. Gajdoš, L. Socha and B. Mihalčová, "The use of penalty functions in logistics," *Nase More*, vol. 61, no. 1-2, pp. 7-10, 2014.
- [31] Y. A. Solangi, Q. Tan, N. H. Mirjat and S. Ali, "Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach," *Journal of Cleaner Production.*, vol. 236, pp. 117655, 2019.
- [32] O. Ur Rehman and Y. Ali, "Optimality study of China's crude oil imports through China Pakistan economic corridor using fuzzy TOPSIS and Cost-Benefit analysis," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.*, vol. 148, pp. 102246, 2021.
- [33] บราลี เหมราสวัสดิ์, ศันสนีย์ สุภาภา และ พัชรารณณ์ ญาณภีร์ดี. "การวิเคราะห์แบบหลายหลักเกณฑ์สำหรับการคัดเลือกวิธีการในการปิดพื้นที่ป่าเหมืองถ่านหินเก่าในพื้นที่กาลิมันตันตะวันออก ประเทศอินโดนีเซีย," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน.*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, น. 55-66, 2564.

- [34] S. K. Saraswat and A. K. Digalwar, "Evaluation of energy sources based on sustainability factors using integrated fuzzy MCDM approach," *International Journal of Energy Sector Management.*, vol. 15, no. 1, pp. 246-266, 2021.
- [35] M. Hamidah, I. Mohd Hasmadi, L. S. L. Chua, W. S. Y. Yong, K. H. Lau, I. Faridah-Hanum and H. Z. Pakhriazad, "Development of a protocol for Malaysian Important Plant Areas criterion weights using Multi-criteria Decision Making - Analytical Hierarchy Process (MCDM-AHP)," *Global Ecology and Conservation.*, vol. 34, pp. e02033, 2022.
- [36] P. H. Nyimbili and T. Erden, "GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey," *Socio-Economic Planning Sciences.*, vol. 71, pp. 100860, 2020.

ตารางที่ ก เกณฑ์ประเมินความเสี่ยงลักษณะทางกายภาพ

เกณฑ์การตัดสินใจ	ระดับความเสี่ยง	รายละเอียด	
จำนวนช่องจราจรต่อทิศทาง ( $C_{31}$ )	1	- มากกว่า 6 ช่องจราจรต่อทิศทาง	
	2	- มากกว่า 4 แต่ไม่เกิน 6 ช่องจราจรต่อทิศทาง	
	3	- 4 ช่องจราจรต่อทิศทาง	
	4	- 3 ช่องจราจรต่อทิศทาง	
	5	- ไม่เกิน 2 ช่องจราจรต่อทิศทาง	
ความกว้างของจราจร ( $C_{32}$ )	1	- มากกว่า 4.00 เมตร	
	2	- มากกว่า 3.60 เมตรแต่ไม่เกิน 4.00 เมตร	
	3	- มากกว่า 3.50 เมตรแต่ไม่เกิน 3.60 เมตร	
	4	- มากกว่า 3.30 เมตรแต่ไม่เกิน 3.50 เมตร	
	5	- ไม่เกิน 3.30 เมตร	
วัสดุพื้นผิวการจราจร ( $C_{33}$ )	1	- เกรียงตัวที่มีระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตมากกว่า 10 เมตร หรือ - พื้นผิวคุณภาพสูงกว่าแบบเกรียงตัว	
	2	- เกรียงตัวที่มีระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตมากกว่า 8 เมตรแต่ไม่เกิน 10 เมตร	
	3	- หยุ่นตัว หรือ - เกรียงตัวที่มีระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นคอนกรีตไม่เกิน 8 เมตร	
	4	- ลูกรัง	
	5	- พื้นผิวที่ไม่ถูกรอกแบบมาเพื่อการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ หรือ - พื้นผิวคุณภาพต่ำกว่าลูกรัง	
ความกว้างของไหล่ทาง ( $C_{34}$ )	1	- มากกว่า 3.00 เมตร	
	2	- มากกว่า 2.50 เมตรแต่ 3.00 เมตร	
	3	- มากกว่า 2.00 เมตรแต่ 2.50 เมตร	
	4	- มากกว่า 1.50 เมตรแต่ 2.00 เมตร	
	5	- ไม่เกิน 1.50 เมตร	
ชนิดของเกาะกลางถนน ( $C_{35}$ )	1	- แบบกดเป็นร่องที่มีการติดตั้งราว หรือกำแพงกัน	
	2	- แบบยกที่มีการติดตั้งราว หรือกำแพงกัน หรือ - แบบเป็นราว หรือกำแพงกัน หรือ - แบบกดเป็นร่อง	
	3	- แบบยกที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแสงไฟหน้ารถ	
	4	- แบบยก	
	5	- ไม่มีเกาะกลางถนน หรือ - แบบเคลื่อนย้ายได้ หรือแบบสี่	
ชนิดเกาะกลางถนน ( $C_{36}$ )	เกาะสี่	1	- มากกว่า 2.55 เมตร
		2	- มากกว่า 2.00 เมตรแต่ไม่เกิน 2.55 เมตร
		3	- มากกว่า 1.50 เมตรแต่ไม่เกิน 2.00 เมตร
		4	- มากกว่า 1.00 เมตรแต่ไม่เกิน 1.50 เมตร
		5	- ไม่มีเกาะกลางถนน หรือ - ไม่เกิน 1.00 เมตร

ตารางที่ ก (ต่อ)

เกณฑ์การตัดสินใจ	ระดับความเสี่ยง	รายละเอียด
ชนิดเกาะกลางถนน (C <sub>36</sub> ) (ต่อ)	แบบยก	1 - มากกว่า 10.00 เมตร
		2 - มากกว่า 6.00 เมตรแต่ไม่เกิน 10.00 เมตร
		3 - มากกว่า 4.20 เมตรแต่ไม่เกิน 6.00 เมตร
		4 - มากกว่า 1.60 เมตรแต่ไม่เกิน 4.20 เมตร
		5 - ไม่มีเกาะกลางถนน หรือ - ไม่เกิน 1.60 เมตร
	แบบกดเป็นร่อง	1 - มากกว่า 20.70 เมตรและมีความลึกของร่องอย่างน้อย 1.00 เมตร
		2 - มากกว่า 20.70 เมตร
		3 - มากกว่า 17.85 เมตรแต่ไม่เกิน 20.70 เมตร
		4 - มากกว่า 15.00 เมตรแต่ไม่เกิน 17.85 เมตร
		5 - ไม่เกิน 15.00 เมตร
	แบบลาดเคเบิ้ล	1 - มากกว่า 5.00 เมตร
		2 - มากกว่า 4.90 เมตรแต่ไม่เกิน 5.00 เมตร
		3 - มากกว่า 4.80 เมตรแต่ไม่เกิน 4.90 เมตร
		4 - มากกว่า 4.70 เมตรแต่ไม่เกิน 4.80 เมตร
		5 - ไม่เกิน 4.70 เมตร
	แบบแผ่นเหล็กอ่อน	1 - มากกว่า 3.90 เมตร
		2 - มากกว่า 3.81 เมตรแต่ไม่เกิน 3.90 เมตร
		3 - มากกว่า 3.70 เมตรแต่ไม่เกิน 3.81 เมตร
		4 - มากกว่า 3.60 เมตรแต่ไม่เกิน 3.70 เมตร
		5 - ไม่เกิน 3.60 เมตร
	แบบแผ่นเหล็กแข็ง	1 - มากกว่า 2.00 เมตร
		2 - มากกว่า 1.91 เมตรแต่ไม่เกิน 2.00 เมตร
		3 - มากกว่า 1.80 เมตรแต่ไม่เกิน 1.91 เมตร
		4 - มากกว่า 1.70 เมตรแต่ไม่เกิน 1.80 เมตร
		5 - ไม่เกิน 1.70 เมตร
	แบบราวเหล็ก	1 - มากกว่า 2.00 เมตร
		2 - มากกว่า 1.91 เมตรแต่ไม่เกิน 2.00 เมตร
		3 - มากกว่า 1.80 เมตรแต่ไม่เกิน 1.91 เมตร
		4 - มากกว่า 1.70 เมตรแต่ไม่เกิน 1.80 เมตร
		5 - ไม่เกิน 1.70 เมตร
	กำแพงคอนกรีต	1 - มากกว่า 10.00 เมตร
		2 - มากกว่า 6.00 เมตรแต่ไม่เกิน 10.00 เมตร
		3 - มากกว่า 4.20 เมตรแต่ไม่เกิน 6.00 เมตร
		4 - มากกว่า 1.60 เมตรแต่ไม่เกิน 4.20 เมตร
		5 - ไม่มีเกาะกลางถนน หรือ - ไม่เกิน 1.60 เมตร



ตารางที่ ก (ต่อ)

เกณฑ์การตัดสินใจ	ระดับความเสี่ยง	รายละเอียด
อัตราส่วนจำนวนสะพาน ( $C_{41}$ )	1	- ไม่มีสะพานทั้งหมด
	2	- ไม่เกินร้อยละ 3 ต่อระยะทางทั้งหมด
	3	- มากกว่าร้อยละ 3 แต่ไม่เกินร้อยละ 8 ต่อระยะทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 8 แต่ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อระยะทางทั้งหมด
	5	- มากกว่าร้อยละ 10 ต่อระยะทางทั้งหมด
อัตราส่วนจำนวนทางโค้ง ( $C_{42}$ )	1	- ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อระยะทางทั้งหมด
	2	- มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ต่อระยะทาง
	3	- มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 25 ต่อระยะทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 25 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด
	5	- มากกว่าร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด
อัตราส่วนจำนวนจุดทางเชื่อม ( $C_{43}$ )	1	- ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อระยะทางทั้งหมด
	2	- มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 ต่อระยะทาง
	3	- มากกว่าร้อยละ 15 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ต่อระยะทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด
	5	- มากกว่าร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด
อัตราส่วนเส้นแบ่งช่องฯ ( $C_{51}$ )	1	- มีเส้นแบ่งช่องจราจร เส้นแบ่งทิศทางจราจรตลอดระยะทางทั้งหมด
	2	- มากกว่าร้อยละ 90 ของระยะทางทั้งหมด
	3	- มากกว่าร้อยละ 80 แต่ไม่เกินร้อยละ 90 ต่อระยะทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 70 แต่ไม่เกินร้อยละ 80 ต่อระยะทางทั้งหมด
	5	- ไม่เกินร้อยละ 70 ของระยะทางทั้งหมด
อัตราส่วนเส้นทางที่มีเกาะกลางฯ ( $C_{52}$ )	1	- มีเกาะกลางถนนตลอดระยะทางทั้งหมด
	2	- มากกว่าร้อยละ 95 ของระยะทางทั้งหมด
	3	- มากกว่าร้อยละ 85 แต่ไม่เกินร้อยละ 95 ต่อระยะทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 70 แต่ไม่เกินร้อยละ 85 ต่อระยะทางทั้งหมด
	5	- ไม่เกินร้อยละ 70 ของระยะทางทั้งหมด
อัตราส่วนทางขนาน ( $C_{53}$ )	1	- มีทางขนานตลอดระยะทางทั้งหมด
	2	- มากกว่าร้อยละ 80 ของระยะทางทั้งหมด
	3	- มากกว่าร้อยละ 30 แต่ไม่เกินร้อยละ 80 ต่อระยะทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 ต่อระยะทางทั้งหมด
	5	- ไม่เกินร้อยละ 10 ของระยะทางทั้งหมด
อัตราส่วนราวกันข้ามทาง ( $C_{54}$ )	1	- มากกว่าร้อยละ 80 ของระยะทางทั้งหมด
	2	- มากกว่าร้อยละ 60 แต่ไม่เกินร้อยละ 80 ต่อระยะทางทั้งหมด
	3	- มากกว่าร้อยละ 40 แต่ไม่เกินร้อยละ 60 ต่อระยะทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 40 ต่อระยะทางทั้งหมด
	5	- ไม่เกินร้อยละ 20 ของระยะทางทั้งหมด

ตารางที่ ก (ต่อ)

เกณฑ์การตัดสินใจ	ระดับความเสี่ยง	รายละเอียด
อัตราส่วนจุดเชื่อมต่อทางที่มีข้อฯ (C <sub>55</sub> )	1	- มากกว่าร้อยละ 40 ต่อจำนวนจุดเชื่อมต่อทางทั้งหมด
	2	- มากกว่าร้อยละ 27 แต่ไม่เกินร้อยละ 40 ต่อจำนวนจุดเชื่อมต่อทางทั้งหมด
	3	- มากกว่าร้อยละ 18 แต่ไม่เกินร้อยละ 27 ต่อจำนวนจุดเชื่อมต่อทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 18 ต่อจำนวนจุดเชื่อมต่อทางทั้งหมด
	5	- ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อจำนวนจุดเชื่อมต่อทางทั้งหมด
อัตราส่วนจำนวนสะพานที่มีข้อฯ (C <sub>56</sub> )	1	- ไม่มีสะพาน หรือ - มีจำนวนช่องทางสำหรับการไต่ในทุกสะพาน
	2	- มากกว่าร้อยละ 60 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด
	3	- มากกว่าร้อยละ 40 แต่ไม่เกินร้อยละ 60 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 40 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด
	5	- ไม่เกินร้อยละ 20 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด
อัตราการเสื่อมสภาพพื้นผิว (C <sub>61</sub> )	1	- ไม่มีการเสื่อมสภาพตลอดระยะทาง
	2	- ไม่เกินร้อยละ 5 ของระยะทาง
	3	- มากกว่าร้อยละ 5 แต่ไม่เกินร้อยละ 10 ต่อจำนวนสะพานทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ของระยะทางทั้งหมด
	5	- มากกว่าร้อยละ 20 ของระยะทางทั้งหมด
ความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน (C <sub>62</sub> )	1	- ไม่มีสะพาน หรือ - เฉลี่ยมากกว่า 60.00 ตัน
	2	- เฉลี่ยมากกว่า 55.00 ตันแต่ไม่เกิน 60.00 ตัน
	3	- เฉลี่ยมากกว่า 45.00 ตันแต่ไม่เกิน 55.00 ตัน
	4	- เฉลี่ยมากกว่า 30.00 ตันแต่ไม่เกิน 45.00 ตัน
	5	- เฉลี่ยไม่เกิน 30.00 ตัน
ระยะลอดแนวตั้งของช่องลอดฯ (C <sub>63</sub> )	1	- ไม่มีช่องลอดถนน หรืออุโมงค์ หรือ - ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยมากกว่า 6.00 เมตร
	2	- ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยมากกว่า 5 เมตร แต่ไม่เกิน 6.00 เมตร
	3	- ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยมากกว่า 4.50 เมตร แต่ไม่เกิน 5.00 เมตร
	4	- ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยมากกว่า 3.50 เมตร แต่ไม่เกิน 4.50 เมตร
	5	- ความสูงของช่องลอดถนน หรืออุโมงค์เฉลี่ยไม่เกิน 3.50 เมตร
อัตราการเสื่อมสภาพพื้นผิวไหล่ทาง (C <sub>64</sub> )	1	- ไม่มีการเสื่อมสภาพตลอดระยะทางที่มีไหล่ทางทั้งหมด
	2	- ไม่เกินร้อยละ 10 ของระยะทางไหล่ทางทั้งหมด
	3	- มากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ของระยะทางที่มีไหล่ทางทั้งหมด
	4	- มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 ของระยะทางที่มีไหล่ทางทั้งหมด
	5	- มากกว่าร้อยละ 30 ของระยะทางที่มีไหล่ทางทั้งหมด หรือ - ไม่มีไหล่ทาง

ตารางที่ ก (ต่อ)

เกณฑ์การ ตัดสินใจ	ระดับ ความเสี่ยง	รายละเอียด
ความลาดชันของเส้นทาง (C <sub>65</sub> )	1	- ไม่มีความลาดชัน
	2	- ไม่เกินร้อยละ 2 (ทางราบ) - ไม่เกินร้อยละ 3 (ทางเนิน) - ไม่เกินร้อยละ 4 (ทางเขา)
	3	- มากกว่าร้อยละ 2 แต่ไม่เกินร้อยละ 4 (ทางราบ) - มากกว่าร้อยละ 3 แต่ไม่เกินร้อยละ 6 (ทางเนิน) - มากกว่าร้อยละ 4 แต่ไม่เกินร้อยละ 6 (ทางเขา)
	4	- มากกว่าร้อยละ 4 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 (ทางราบ) - มากกว่าร้อยละ 6 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 (ทางเนิน) - มากกว่าร้อยละ 6 แต่ไม่เกินร้อยละ 15 (ทางเขา)
	5	- มากกว่าร้อยละ 15

## การเปรียบเทียบกฎการจัดตารางแบบฮิวริสติกพลวัตในการจ่ายน้ำมันของคลังน้ำมัน

ศุภณัฐ สีทา<sup>1</sup>, อังศุมาลิน เสนจันทรธิไชย<sup>\*2</sup> และ วรโชค ไชยวงศ์<sup>3</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

Received: 1 May 2022; Revised: 17 October 2022; Accepted: 25 October 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพพลังงานในการจัดตารางการเติมน้ำมันแบบฮิวริสติกพลวัตให้กับรถบรรทุกน้ำมันโดยกฎการจ่ายงานต่าง ๆ ซึ่งการจัดตารางการเติมน้ำมันแบบฮิวริสติกพลวัตนี้จะคำนึงถึงความสำคัญของการใช้งานปั๊มจ่ายน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากปั๊มแต่ละตัวของคลังน้ำมันกรณีศึกษาสามารถจ่ายน้ำมันให้กับรถบรรทุกน้ำมัน 2-5 คันพร้อม ๆ กัน และคำสั่งซื้อที่ถูกจัดตารางเป็นคำสั่งซื้อที่สามารถรับน้ำมันได้หลายชนิดในเวลาเดียวกัน จึงมีผลให้กระบวนการจัดตารางจะเป็นแบบฮิวริสติกพลวัต (Dynamic Heuristic) โดยการเปรียบเทียบระหว่างกฎการจัดลำดับแบบจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่น้อยที่สุด (Least Operation Remaining, LOPNR) กับกฎการจัดลำดับแบบจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่มากที่สุด (Most Operation Remaining, MOPNR) และกฎการจัดลำดับแบบเวลาปฏิบัติงานรวมมากที่สุด (Largest Total Processing Time, LTPT) กับกฎการจัดลำดับแบบเวลาปฏิบัติงานมากที่สุด (Largest Processing Time, LPT) รวม 4 วิธีในการจัดลำดับความสำคัญของใบคำสั่งซื้อ โดยการจัดตารางเวลาจะคำนึงถึงจำนวนหัวจ่ายที่ถูกใช้งาน งานที่เหลืออยู่ในระบบ และการใช้พลังงานของปั๊มที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จากการจัดตารางด้วยฮิวริสติกพลวัตทั้งหมด 4 วิธี พบว่าการจัดตารางด้วยกฎจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่น้อยที่สุด (LOPNR) ร่วมกับกฎการจัดลำดับแบบเวลาปฏิบัติงานมากที่สุด (LPT) มีการใช้พลังงานต่อการเติมน้ำมัน 1 ลิตรน้อยที่สุด ลดลงร้อยละ 42 จากการใช้พลังงานเดิมเฉลี่ย 0.42 วัตต์ชั่วโมงต่อลิตร เหลือเพียง 0.24 วัตต์ชั่วโมงต่อลิตร มีผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเฉลี่ยของปั๊มเป็นจำนวนเงิน 200,215.25 บาทต่อเดือน ทั้งนี้การจัดตารางดังกล่าวดำเนินการภายใต้กระบวนการจัดตารางที่รู้จำนวนงานล่วงหน้า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนงานระหว่างการจัดตาราง และออกแบบโดยการคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของคลังน้ำมันเป็นหลัก

**คำสำคัญ:** การจัดตารางการผลิตโดยวิธีฮิวริสติกแบบพลวัต, กฎการจัดลำดับแบบจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่น้อยที่สุด, กฎการจัดลำดับแบบจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่มากที่สุด, กฎการจัดลำดับแบบเวลาปฏิบัติงานรวมมากที่สุด, กฎการจัดลำดับแบบเวลาปฏิบัติงานมากที่สุด

\* Corresponding author. E-mail: angsumalin.s@chula.ac.th

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Comparison between the dynamic heuristic scheduling rules in the fuel distribution process of the fuel depot

Supanut Sitha<sup>1</sup>, Angsumalin Senjuntichai\*<sup>2</sup> and Worachok Chaiwong<sup>3</sup>

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

Received: 1 May 2022; Revised: 17 October 2022; Accepted: 25 October 2022

### Abstract

This research demonstrates the comparison of the energy efficiency improvement by the dynamic heuristics scheduling of the truck. Filling-fuel scheduling is considered based on the pump's usage, which is changing all the time. Since the pump can handle 2-5 nozzles at the same time and the orders consist of more than one fuel type with different fuel volumes. The Dynamic Heuristic Scheduling is proposed by comparing the Least Operation Remaining with Most Operation Remaining rules and the Largest Total Processing Time with the Largest Processing Time to prioritize fuel orders by considering the number of used-fuel nozzles and work remaining in the system, which are changing all the time. With four dynamic heuristic methods, the dynamic heuristic scheduling by Least Operation Remaining combined with the Largest Processing Time yields the least energy usage. The energy for one-liter fuel was reduced by 42%, from 0.42 watts-hour per liter to 0.24 watts-hour per liter. This also affected the pump energy cost reduction of 200,215.25 Baht per month on average. The scheduling technique is based on a stable ordering process in which volumes and orders do not change during the scheduling process and is also limited by the physical characteristics of the depot.

**Keywords:** dynamic heuristic scheduling, least operation remaining, most operation remaining, largest total processing time, largest processing time

---

\* Corresponding author. E-mail: angsumalin.s@chula.ac.th

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

<sup>3</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

## 1. บทนำ

ในการดำเนินธุรกิจ การตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเป็นสิ่งสำคัญที่มาพร้อมด้วยคุณภาพ ต้นทุน และเวลา สำหรับธุรกิจการจำหน่ายน้ำมัน นอกจากการเก็บรักษาน้ำมันให้มีคุณภาพที่ดีแล้ว คลังน้ำมันมีหน้าที่ในการบริหารต้นทุนและเวลาในการจ่ายน้ำมันให้กับลูกค้า โดยคลังน้ำมันกรณีศึกษาเป็นคลังน้ำมันที่มีปริมาณการจำหน่ายน้ำมันสูงที่สุดในประเทศไทย มีรถบรรทุกเข้ามาใช้บริการจำนวนมาก เปิดดำเนินการทุกวัน ตลอด 24 ชั่วโมง โดยพนักงานขับรถสามารถกำหนดเวลาที่จะเข้ามาใช้บริการด้วยตนเอง ทำให้มีรถบรรทุกเข้ามาใช้บริการพร้อม ๆ กัน และมีจำนวนมากกว่าความสามารถที่คลังน้ำมันให้บริการได้ ทำให้เกิดแถวคอย ประกอบกับข้อมูลการดำเนินงานในเดือนมีนาคม 2564 คลังน้ำมันจะมีเวลาปฏิบัติงาน (Makespan) เฉลี่ยมากกว่า 24 ชั่วโมง ทั้ง ๆ ที่คลังน้ำมันมีความสามารถในการเติมน้ำมันตามปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้าให้เสร็จได้เฉลี่ย 10 ชั่วโมง 32 นาทีต่อวัน ด้วยการดำเนินการปัจจุบันยังส่งผลให้การใช้พลังงานของอุปกรณ์หลักซึ่งนำเสนอในรายงานการใช้พลังงานประจำปี ได้แก่ ปั๊มที่ใช้ในการเติมน้ำมันใช้งานไม่เต็มกำลังที่สามารถจ่ายได้ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน

การจัดตารางการทำงานเป็นกิจกรรมในการจัดลำดับการผลิตหรือบริการที่มีความสำคัญมากกิจกรรมหนึ่งในขั้นตอนการวางแผนการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินงานให้สูงสุดและลดต้นทุนการผลิต โดยการจัดตารางการทำงานมีหลายวิธี [1, 2] และสามารถแบ่งกฎการจัดตารางตามความซับซ้อนของวิธีการเป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ดังนี้ 1. กฎลำดับความสำคัญอย่างง่าย เช่น First Come First Serve (FCFS), Earliest Due Date (EDD), Shortest Processing Time (SPT), Longest Processing Time (LPT), Minimum Slack Time (MST) 2. กฎการจัดตารางเวลาฮิวริสติก (Heuristic) ซึ่งเป็นการประยุกต์กฎอย่างง่ายโดยพิจารณาจากข้อมูลหรือทางเลือกที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น Look Ahead หรือ Alternate Operation 3. กฎอื่น ๆ ที่ถูกออกแบบมาเพื่องานนั้น ๆ โดยเฉพาะ เช่น กฎที่ออกแบบมาเพื่อเวลาล่าช้าของงาน

(Least Job Slack Ratio) หรือ Processing Time Factor สำหรับสายการผลิตที่เครื่องจักรทำงานแบบขนาน

โดยกฎการจ่ายงานดังกล่าวสามารถปรับให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์สำหรับการจัดลำดับความสำคัญให้กับงานบนเครื่องจักรได้อีกหลากหลายเป็นจำนวนมากกว่า 100 กฎ [1] นอกเหนือจากนั้นกฎการจ่ายงานยังสามารถแบ่งตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา [2, 3] ได้ 2 ประเภทระหว่าง กฎแบบสถิต (Static Rule) และแบบพลวัต (Dynamic Rule) ที่ลำดับความสำคัญของแต่ละงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ตามลำดับ

เนื่องจากลักษณะงานแต่ละแห่งมีความแตกต่างกันตามโครงสร้างของโรงงาน เครื่องจักร อุปกรณ์ และการดำเนินงาน รวมถึงวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการทำงาน มีผลให้การจัดตารางการทำงานมีความหลากหลายและมีผลให้กฎในการให้ความสำคัญกับลำดับงานแบบผสมหรือฮิวริสติกได้รับความนิยมมากขึ้น ดังจะเห็นได้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง [4] ที่มีการพัฒนาการจัดตารางการผลิตวิธีใหม่ โดยการนำกฎการจ่ายงาน 2 วิธีมาผสมผสานกันสำหรับการให้ความสำคัญกับใบสั่งซื้อ ได้แก่ SPT และ Slack1 โดยงานวิจัยนี้พบว่าการจัดตารางการผลิตโดยวิธีฮิวริสติกแบบผสมผสานเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสามารถลดจำนวนงานล่าช้าได้ดีที่สุด รวมถึงสามารถลดปริมาณสินค้าคงคลังซึ่งส่งผลให้ต้นทุนรวมลดลง นอกจากนี้วิธีฮิวริสติกอื่น เช่น Least Operation Remaining (LOPNR) [5] ยังเป็นกฎที่ใช้งานได้ดีที่สุดในการทดลองจัดลำดับความสำคัญของงานในการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job Shop) อีกด้วย

การใช้วิธีฮิวริสติกยังสามารถประยุกต์ใช้กับวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบตามสั่ง ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้กฎอย่างง่ายและกฎฮิวริสติกในอุตสาหกรรมสิ่งทอ [6] เช่น First Comes First Serve (FCFS), EDD, SPT, LPT, MST, EDD+LPT, EDD+MST พบว่าวิธีฮิวริสติกแบบ EDD+LPT มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีผลให้จำนวนงานล่าช้าลดลงมากที่สุด ซึ่งข้อสรุปนี้สอดคล้องกับข้อสรุปของสุเทพ บุตรดีและคณะ [7] ที่เปรียบเทียบกฎอย่างง่าย กฎฮิวริสติก และกฎฮิวริสติกแบบผสมผสาน (Hybrid Heuristic) ในการแก้ไขปัญหาวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบตามสั่ง พบว่าการจัด

ตารางการผลิตโดยวิธีฮิวริสติกแบบผสมผสานเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเหมาะกับงานที่มีลักษณะเฉพาะตัว

โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการเติมน้ำมันของรถบรรทุกให้กับคลังน้ำมันกรณีศึกษาโดยวิธีฮิวริสติกพลวัต เพื่อให้เกิดการใช้งานปั๊มจ่ายน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เวลาการเข้ามารับบริการ จำนวนแถวคอยและการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จากข้อมูลในเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2564 พบว่ามีลูกค้าเข้ามาใช้บริการเฉลี่ย 358 รายต่อวัน โดยลูกค้าแต่ละรายมียอดการสั่งซื้อน้ำมัน 1- 6 ชนิด เฉลี่ย 4 ชนิดต่อใบสั่งซื้อ ปริมาณสั่งซื้อเฉลี่ย 9,996,274 ลิตรต่อวัน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของปั๊มในการจ่ายน้ำมัน 4,204 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน หรือ 12 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกค้า หรือ 0.42 วัตต์ต่อลิตร

เนื่องด้วยการดำเนินการจ่ายน้ำมันมีลักษณะที่เฉพาะตัว คือ ช่องจ่ายน้ำมัน (สถานีงาน) สามารถจ่ายน้ำมันได้พร้อมกันสูงสุด 4 ชนิด และโรงจ่ายประกอบด้วยช่องจ่ายจำนวน 14 ช่องจ่ายที่สามารถจ่ายน้ำมัน 1-4 ชนิดที่แตกต่างกันจำนวน 5 รูปแบบเปรียบเสมือนสถานีงานมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน โดยลูกค้าแต่ละรายสามารถสั่งน้ำมันได้ตามต้องการทั้งชนิดและปริมาณ มีผลให้ใบสั่งซื้อหรือใบงานมีความแตกต่างกัน ทำให้การจัดตารางการจ่ายน้ำมันมีความซับซ้อนและแตกต่างจากการจัดตารางการผลิตอื่น ๆ ประกอบกับวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการจ่ายน้ำมันเน้นที่การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของปั๊มจ่ายน้ำมันที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อลดการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ปั๊ม และคาดหวังว่าการจัดตารางการจ่ายน้ำมันที่น่าเสนอจะสามารถลดการรอของลูกค้าที่มาพร้อมกัน และลดเวลาการทำงานในแต่ละวัน ส่งผลให้มีความสามารถในการจ่ายน้ำมันในแต่ละวันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการจัดตารางการผลิตอื่น ๆ ที่เน้นการผลิตที่สามารถส่งมอบสินค้าได้ตามกำหนดเวลา สามารถลดจำนวนงานล่าช้าหรือลดปริมาณสินค้าคงคลัง จากลักษณะดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการจัดตารางการจ่ายน้ำมันสำหรับคลังน้ำมันกรณีศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เฉพาะที่แตกต่างจากการจัดตารางการผลิตอื่น รวมถึงข้อกำหนดที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่น

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 กฎการจ่ายงาน

การจ่ายงาน (Dispatching Rule) ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีเซตของงานตั้งแต่ 2 งานขึ้นไปคอยรับบริการจากเครื่องจักร (ทรัพยากร) เครื่องเดียวกัน โดยงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลการจัดตารางการจ่ายน้ำมันด้วยการเปรียบเทียบค่าพลังงานของปั๊มซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในการเติมน้ำมัน ที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของคลังน้ำมัน ซึ่งกฎการจ่ายงานที่จะใช้ในการจัดตารางการจ่ายน้ำมันประกอบไปด้วยการเปรียบเทียบกฎ 2 คู่ ได้แก่ กฎ Most Operation Remaining (MOPNR) และ Least Operation Remaining (LOPNR) ที่ลำดับความสำคัญสูงสุดให้กับงานที่มีจำนวนขั้นตอนการทำงานมากที่สุดและน้อยสุด ตามลำดับ และอีกคู่คือ กฎ Largest Total Processing Time (LTPT) และ Largest Processing Time (LPT) ที่ลำดับความสำคัญสูงสุดให้กับงานที่มีระยะเวลาการทำงานรวมมากที่สุดและระยะเวลาการทำงานมากที่สุด ตามลำดับ จากกฎทั้ง 4 กฎ นำมาทดลองจัดตารางการจ่ายน้ำมันโดยจะมีการเปรียบเทียบการใช้กฎการจ่ายงานทั้ง 4 มาผสมผสานกันเป็น 4 กลุ่มคือ MOPNR+LTPT, MOPNR+LPT, LOPNR+LTPT และ LOPNR+LPT

### 2.2 เงื่อนไขในการจัดตารางการจ่ายน้ำมัน

คลังน้ำมันกรณีศึกษาเป็นคลังน้ำมันที่มีการผสมน้ำมันแบบตามสั่งโดยจะผสมที่โรงจ่ายก่อนจะจ่ายให้กับรถบรรทุกน้ำมัน ซึ่งการจ่ายน้ำมันให้ลูกค้าจะมีการผสมน้ำมันพื้นฐานกับน้ำมันทางเลือกเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมัน 6 ชนิดที่พร้อมจำหน่ายได้แก่ 1. น้ำมันเบนซินธรรมดาไร้สารตะกั่ว (Unleaded Gasoline, ULG) 2. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ อี 11 ออกเทน 91 (GSH91) 3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ อี 11 ออกเทน 95 (GSH95) 4. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ อี 85 (E85) 5. น้ำมันแก๊สโซฮอล์ อี 20 (E20) 6. น้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา (HSD B7, B10 และ B20) โดยน้ำมันจะถูกจ่ายให้กับ

รถบรรทุกน้ำมัน ภายในโรงจ่ายน้ำมันที่มีช่องให้บริการทั้งหมด 14 ช่อง มีจำนวนหัวจ่ายรวม 47 หัวจ่าย ประกอบด้วยหัวจ่ายน้ำมัน ULG, GSH91, GSH95, E85, E20 และ HSD จำนวน 4, 9, 6, 3, 5 และ 20 หัวจ่ายตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยที่ช่องจ่ายที่ 1-7, 9 และ 11 สามารถจ่ายน้ำมันพร้อมกันได้ 4 ชนิด และช่องจ่ายที่ 8, 10 และ 12-14 สามารถจ่ายน้ำมันดีเซลได้เพียงชนิดเดียว

การจ่ายน้ำมันที่โรงจ่ายจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ปั๊มเพื่อสูบน้ำมันพื้นฐานออกจากถังเก็บเพื่อจ่ายให้กับรถบรรทุกน้ำมัน โดยปั๊มที่ใช้ในการจ่ายน้ำมันพื้นฐานแต่ละชนิดจะมีขนาด จำนวน ปริมาณการใช้ไฟฟ้า รวมถึงจำนวนหัวจ่ายของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2 โดยจะมีกำลังการจ่ายน้ำมันสูงสุดรวม 18.5 ล้านลิตรต่อวัน แบ่งเป็นกำลังการจ่ายน้ำมันสูงสุดสำหรับ HSD, GSH91, G-Base 2 (GSH95 และ E20), ULG และ E85 จำนวน 8.16, 3.43, 2.29+2.08, 1.42 และ 1.3 ล้านลิตรต่อวัน ตามลำดับ

### 2.3 การจัดตารางการจ่ายน้ำมัน

ในการจัดตารางการจ่ายน้ำมันจะมีขั้นตอนเบื้องต้นในการแบ่งกลุ่มใบคำสั่งซื้อตามจำนวนชนิดน้ำมัน เช่น ใบคำสั่งซื้อที่มี 6, 5, 4, ... , 1 ชนิดน้ำมัน และการประยุกต์ใช้วิธีวิธีวิสติกในการกำหนดลำดับความสำคัญของงานให้หัวข้อ 2.3.1 ระหว่าง กฎที่ให้ความสำคัญกับงานที่มีขั้นตอนการทำงานน้อยที่สุดกับมากที่สุดก่อน (LOPNR กับ MOPNR) และในหัวข้อ 2.3.2 สำหรับการจัดตารางโดยเปรียบเทียบกฎที่ให้ความสำคัญกับงานที่มีเวลาในการทำงานรวมกับเวลาในการทำงานสูงที่สุดก่อน (LTPT กับ LPT) ผลสมกับการตัดสินใจแบบพลวัตสำหรับจัดลำดับความสำคัญให้กับปั๊มซึ่งมีการใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีรายละเอียดในแต่ละหัวข้อดังนี้

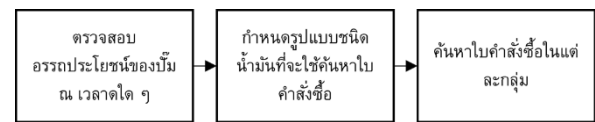
#### 2.3.1 จัดกลุ่มใบคำสั่งซื้อ

จัดกลุ่มใบคำสั่งซื้อตามจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่โดยอาศัยกฎ MOPNR และ LOPNR เปรียบเทียบกัน ซึ่งจำนวนการดำเนินการที่เหลืออยู่หมายถึงจำนวนรอบของการเติมน้ำมันให้กับใบคำสั่งซื้อ ซึ่งหากพิจารณาลักษณะของช่องจ่ายน้ำมันในตารางที่ 1 จะสามารถจำแนกกลุ่มของ

ใบคำสั่งซื้อเป็น 2 แบบคือใบคำสั่งซื้อที่มีน้ำมันไม่เกิน 4 ชนิดสามารถเติมน้ำมันพร้อมกันได้ในรอบเดียวและใบคำสั่งซื้อที่มีน้ำมัน 5-6 ชนิดที่มีความจำเป็นในการเติมน้ำมันสองรอบ เช่นหากใช้กฎ MOPNR จะทำให้กลุ่มใบคำสั่งซื้อที่มีชนิดน้ำมัน 6 และ 5 ชนิด (ตามลำดับ) มีลำดับความสำคัญสูงกว่าและเข้ารับบริการก่อนกลุ่มใบคำสั่งซื้อที่มีชนิดน้ำมัน 4, 3, 2 และ 1 ชนิด (ตามลำดับ) เป็นต้น ในขณะที่กฎ LOPNR จะให้ความสำคัญกับกลุ่มใบคำสั่งซื้อที่มีชนิดน้ำมัน 4, 3, 2 และ 1 ชนิด ที่สามารถเติมน้ำมันได้ภายในรอบเดียวเข้ารับบริการก่อนกลุ่มใบคำสั่งซื้อที่มีชนิดน้ำมัน 6 และ 5 ชนิด

#### 2.3.2 จัดตารางใบคำสั่งซื้อ

การจัดตารางใบคำสั่งซื้อน้ำมันจะดำเนินการตามลำดับความสำคัญที่ถูกจัดไว้ในขั้นตอนที่ 2.3.1 โดยจะอาศัยหลักการใช้อรรถประโยชน์ของปั๊มแต่ละชนิดน้ำมัน ณ เวลาใด ๆ ต่ำสุดเพื่อเพิ่มการใช้งานปั๊มของน้ำมันชนิดนั้น เช่น ณ เวลาหนึ่งมีการใช้หัวจ่ายของน้ำมันดีเซล 11 หัวจ่ายแสดงให้เห็นว่าปั๊มของน้ำมันดีเซลมีการใช้อรรถประโยชน์ต่ำเนื่องจากปั๊มของน้ำมันดีเซลหนึ่งตัวสามารถใช้กับหัวจ่ายจำนวน 5 หัวจ่าย ดังนั้นมีการใช้งานปั๊มของน้ำมันดีเซลเติมกำลัง 2 ตัวและ 20% จำนวน 1 ตัว เพื่อเพิ่มอรรถประโยชน์ของปั๊มน้ำมันดีเซลจะต้องสำรวจว่ามีช่องจ่ายใดที่มีหัวจ่ายน้ำมันดีเซลว่างอยู่บ้าง โดยช่องจ่ายนั้น ๆ จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของชนิดน้ำมันทั้ง 4 ชนิดที่จะได้ลำดับความสำคัญแรกในกลุ่มใบสั่งน้ำมัน 4 ชนิด โดยการจัดลำดับรูปแบบของชนิดน้ำมันสำหรับใบสั่งซื้อที่มี 4, 3, 2 และ 1 ชนิดน้ำมันมีรายละเอียด แสดงด้วยแผนผังขั้นตอนดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการจัดลำดับรูปแบบใบคำสั่งซื้อ

เมื่อได้รูปแบบของชนิดน้ำมันที่มีลำดับความสำคัญสูงสุดเช่น รูปแบบน้ำมันที่ประกอบด้วย GSH91, E85, GSH95 และ HSD แล้ว จะมีการจัดลำดับความสำคัญของใบคำสั่งในแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะใช้กฎ LTPT เปรียบเทียบกับกฎ LPT หากใช้กฎ LTPT กลุ่มใบคำสั่งซื้อทุกกลุ่ม (ที่มีชนิด



น้ำมันตั้งแต่ 1-6 ชนิด) ที่ใบคำสั่งซื้อมีระยะเวลาในการจ่ายน้ำมันรวมสูงสุดจะได้ลำดับความสำคัญก่อน เช่น ใบคำสั่งซื้อที่มี 4 ชนิดน้ำมัน ประกอบด้วยน้ำมัน GSH95, E20, GSH91 และ HSD โดยใบคำสั่งซื้อที่ 1 ใช้เวลาการเติมของแต่ละชนิดน้ำมัน 3, 5, 4, 7 นาที ตามลำดับ และใบคำสั่งซื้อที่ 2 ใช้เวลาการเติมของแต่ละชนิดน้ำมัน 3, 3, 2, 8 นาที ตามลำดับ ใบคำสั่งซื้อที่ 1 ที่มีเวลารวม 19 นาทีจะมีลำดับความสำคัญก่อนใบคำสั่งซื้อที่ 2 ที่มีเวลารวม 16 นาที เพราะระยะเวลาการเติมน้ำมันรวมสูงกว่าเป็นต้น ในขณะที่กฎ LPT จะให้ความสำคัญกับใบคำสั่งซื้อที่มีระยะเวลาการจ่ายน้ำมันสูงสุดเข้ารับบริการก่อน ดังนั้นด้วยกฎ LPT ใบคำสั่งซื้อที่ 2 ที่มีเวลาการจ่ายน้ำมันสูงสุด 8 นาทีจะมีลำดับความสำคัญก่อนใบคำสั่งซื้อที่ 1 ที่มีเวลาการจ่ายน้ำมันสูงสุด 7 นาที เป็นต้น โดยการจัดลำดับดังกล่าวจะใช้กับใบคำสั่งซื้อทุกกลุ่ม จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการกำหนดช่องจ่ายให้กับใบคำสั่งซื้อแต่ละกลุ่มโดยแบ่งวิธีการกำหนดช่องจ่ายเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะการจ่ายน้ำมันคือ กลุ่มที่สามารถจ่ายน้ำมันเสร็จภายในรอบเดียว และกลุ่มที่จำเป็นต้องมีการวนรอบไปอีกช่องจ่ายเพื่อจ่ายให้ครบ โดยขั้นตอนดังกล่าวต้องพิจารณาการใช้งานของปั๊มที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา มีผลให้การจัดตารางการจ่ายน้ำมันมีรูปแบบพลวัต (Dynamic) ซึ่งการกำหนดช่องจ่ายให้ใบคำสั่งซื้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เลือกช่องจ่ายที่สามารถจ่ายน้ำมันได้เร็วที่สุดจากทุกช่องจ่ายในรูปแบบชนิดน้ำมันที่ถูกกำหนดให้มีลำดับความสำคัญเป็นลำดับแรก เช่น ใบคำสั่งซื้อที่มี 4 ชนิดน้ำมัน ได้แก่ น้ำมัน GSH91, E85, GSH95 และ HSD มีความสำคัญลำดับแรกสามารถเติมน้ำมันได้ที่ช่องจ่ายหมายเลข 2, 4 และ 6 (ดังแสดงในตารางที่ 1) ถ้าช่องจ่ายที่ 6 ว่างก่อนให้เลือกช่องจ่ายที่ 6 ในการเติมน้ำมันคำสั่งซื้อนี้

2. กำหนดเวลาเติมน้ำมัน โดยพิจารณาจำนวนหัวจ่ายที่ใช้ ณ เวลาล่าสุดของน้ำมันดังกล่าวถ้าหากจำนวนหัวจ่ายใช้งานไม่เต็มจำนวนสูงสุดที่ปั๊มชนิดนั้นสามารถจ่ายได้ให้กำหนดเวลาในการเติมน้ำมันสำหรับใบสั่งซื้อนั้น ๆ เป็นเวลาที่ว่างเร็วที่สุด เช่น ช่องจ่ายที่ 6 ว่างเวลา 08.05 น. และปั๊มของน้ำมัน GSH91, E85, GSH95 และ HSD ณ เวลา 08.05 น. มีการใช้งาน 3, 2, 7 และ 12 หัวจ่ายตามลำดับ แสดงว่าปั๊มยังใช้งานไม่เต็มจำนวนสูงสุด (แสดงในตารางที่ 2) ดังนั้นสามารถกำหนดเวลาเติมน้ำมันของคำสั่งซื้อนี้ที่ช่องจ่ายหมายเลข 6 เริ่มเวลา 08.05 น. โดยเวลาสิ้นสุดการเติมน้ำมันกำหนดโดยเวลาเริ่มบวกด้วยเวลาที่ใช้ในการเติมน้ำมันมากที่สุดของใบสั่งซื้อนี้ซึ่งจะเป็นเวลาที่ช่องจ่ายที่ 6 ว่างสำหรับใบสั่งซื้อถัดไป แต่ถ้าจำนวนหัวจ่ายถูกใช้งานเต็ม

ตารางที่ 1 ประเภทช่องจ่ายและชนิดน้ำมันที่รองรับและอัตราการจ่ายของน้ำมันแต่ละชนิด

ประเภทช่องจ่าย ชนิดน้ำมัน	ประเภทช่องจ่าย					อัตราการจ่าย (ลิตร/นาที)
	A	B	C	D	E	
HSD	✓	✓	✓	✓	✓	769.24
GSH91	✓	✓	✓	✓		1454.55
ULG	✓			✓		946.35
E20	✓		✓			1006.29
GSH95		✓	✓	✓		1250
E85		✓				731.27
หมายเลขช่องจ่าย	1, 5, 11	2, 4, 6	3, 7	9	8, 10, 12-14	

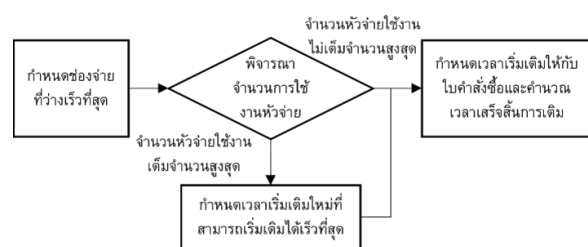
ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและจำนวนการใช้งานหัวจ่ายของปั๊มที่ใช้กับน้ำมันแต่ละชนิด

น้ำมัน	ขนาด (kW)	จำนวน (ตัว)	จำนวนหัวจ่ายที่ใช้ได้พร้อมกันสูงสุด	กำลังไฟฟ้าที่ใช้เมื่อมีการใช้หัวจ่ายเป็นจำนวน (kW)				
				1 หัวจ่าย	2 หัวจ่าย	3 หัวจ่าย	4 หัวจ่าย	5 หัวจ่าย
HSD	315	4	20 (4 ตัว*5 หัวจ่าย)	89.84	92.09	96.58	99.39	101.07
GSH91	52	3	9 (3 ตัว*3 หัวจ่าย)	21	23	24.5		
G-Base2 (GSH95 และ E20)	55	3	9 (3 ตัว*3 หัวจ่าย)	22.11	24.21	26.32		
ULG	52	3	4 (จำนวนสูงสุดที่มีในช่องจ่าย)	21	23	25		
E85	52	2	3 (จำนวนสูงสุดที่มีในช่องจ่าย)	21	22.5			

จำนวนแล้ว ให้พิจารณาเวลาถัดไปที่จำนวนหัวจ่ายของปั๊มแต่ละชนิดใช้งานไม่เต็มจำนวน ซึ่งเวลาดังกล่าวจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมน้ำมันในช่องจ่ายอื่นเสร็จสิ้นและส่งผลให้จำนวนหัวจ่ายที่ถูกใช้งานลดลง และทำการกำหนดเวลาเติมน้ำมันของใบคำสั่งซื้อนั้น ๆ จากนั้นคำนวณเวลาเสร็จของแต่ละรายการในแต่ละใบรายการสั่งซื้อ

3. กำหนดช่องจ่ายและเวลาการเติมน้ำมันสำหรับใบสั่งซื้อในลำดับถัดไปตามขั้นตอนก่อนหน้า จนครบทุกใบสั่งซื้อที่มีรายการน้ำมันสั่งซื้อ 4, 3, 2 และ 1 ชนิด ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2 จนครบทุกใบคำสั่งซื้อในวันนั้น ๆ (ทุกใบรายการสั่งซื้อถูกกำหนดช่องจ่ายและเวลาครบแล้ว) จะได้ตารางเวลาการเติมน้ำมันของทุกใบรายการสั่งซื้อประเภทนี้ โดยคำสั่งซื้อทั้งกลุ่มที่เติมน้ำมันภายใน 1 รอบ และกลุ่มใบคำสั่งซื้อที่เติมน้ำมัน 2 รอบจะดำเนินการตามขั้นตอนดังกล่าวทั้งหมด ซึ่งกลุ่มใบคำสั่งซื้อที่เติมน้ำมัน 2 รอบมีรายละเอียดเพิ่มเติมในส่วนของการเติมน้ำมัน 2 รอบโดยการเติมน้ำมันรอบแรกให้ได้จำนวนชนิดน้ำมันมากที่สุดคือ 4 ชนิดน้ำมัน ดังนั้นใบสั่งซื้อที่มี 6 และ 5 ชนิดนั้น จะมีการเติม

น้ำมันรอบแรก จำนวน 4 ชนิดและรอบสองจำนวน 2 และ 1 ชนิดน้ำมันตามลำดับ และเนื่องจากใบคำสั่งซื้อชนิดดังกล่าวมีการเติมน้ำมัน 2 รอบเพราะข้อจำกัดในด้านลักษณะทางกายภาพของโรงจ่ายน้ำมัน การกำหนดช่องจ่ายให้กับใบคำสั่งซื้อที่จำเป็นต้องวนรอบ (ใบคำสั่งซื้อน้ำมัน 6 และ 5 ชนิด) จึงแบ่งวิธีการจัดตารางการจ่ายน้ำมันออกเป็น 2 รอบ โดยที่การจ่ายรอบแรกและรอบที่สองควรจะต้องเนื่องกัน เพื่อลูกค้าหรือพนักงานขับรถไม่ต้องเสียเวลารอระหว่างการจ่ายแต่ละรอบ ดังนั้นการจัดตารางสำหรับใบสั่งซื้อกลุ่มนี้จะพิจารณาช่องจ่าย 2 ช่องที่ว่างต่อเนื่องกันพอดี โดยมีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ขั้นตอนการจัดตารางใบคำสั่งซื้อน้ำมัน 1-4 ชนิด

### 3. ผลการวิจัย

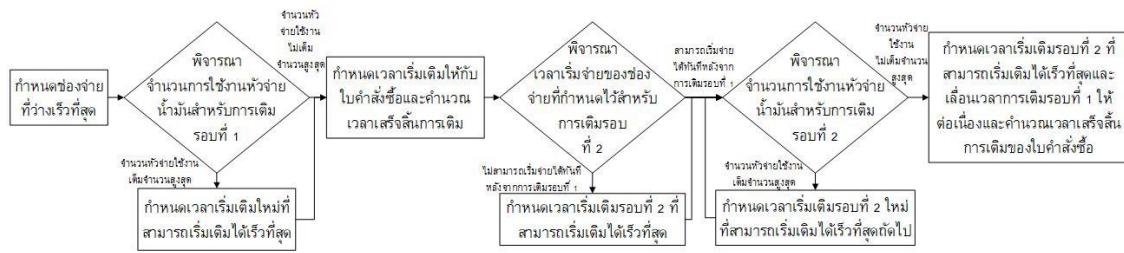
การจัดตารางการจ่ายน้ำมันให้กับใบคำสั่งซื้อด้วยวิธีวิธิตกแบบพลวัตที่มีรายละเอียดจากที่กล่าวมาข้างต้น จะได้ผลการจัดตารางที่มีการกำหนดช่องจ่ายและเวลาจ่ายน้ำมันให้กับใบคำสั่งซื้อในแต่ละวันทำให้มีการใช้งานหัวจ่ายพร้อมกัน และการใช้งานของปั๊มเต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการจ่ายน้ำมันมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วย จากการทดลองจัดตารางการเติมน้ำมันให้กับใบคำสั่งซื้อที่เกิดขึ้นในเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2564 ด้วยกฎการจ่ายงานแบบผสม พบว่าการใช้ปั๊มมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากการใช้งานหัวจ่ายพร้อม ๆ กันตามจำนวนหัวจ่ายที่ใช้ได้มากที่สุดของปั๊มในแต่ละชนิดน้ำมัน ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในแต่ละวันของเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2564 ลดลงแสดงดังรูปที่ 4 และตารางที่ 3 โดยปริมาณพลังงานของปั๊มที่ใช้้น้อยที่สุดสำหรับการเติมน้ำมันในแต่ละวันซึ่งเป็นค่าเป้าหมาย (Target Energy) คำนวณจากปริมาณของน้ำมันแต่ละชนิดรวมกันจากใบคำสั่งซื้อทั้งหมดในแต่ละวันหารด้วยอัตราการเติมน้ำมันชนิดนั้น ๆ แล้วนำเวลาที่ได้ออกด้วยกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับจำนวนหัวจ่ายสูงสุดของปั๊มน้ำมันชนิดนั้น ๆ

### 4. สรุปผลการวิจัย

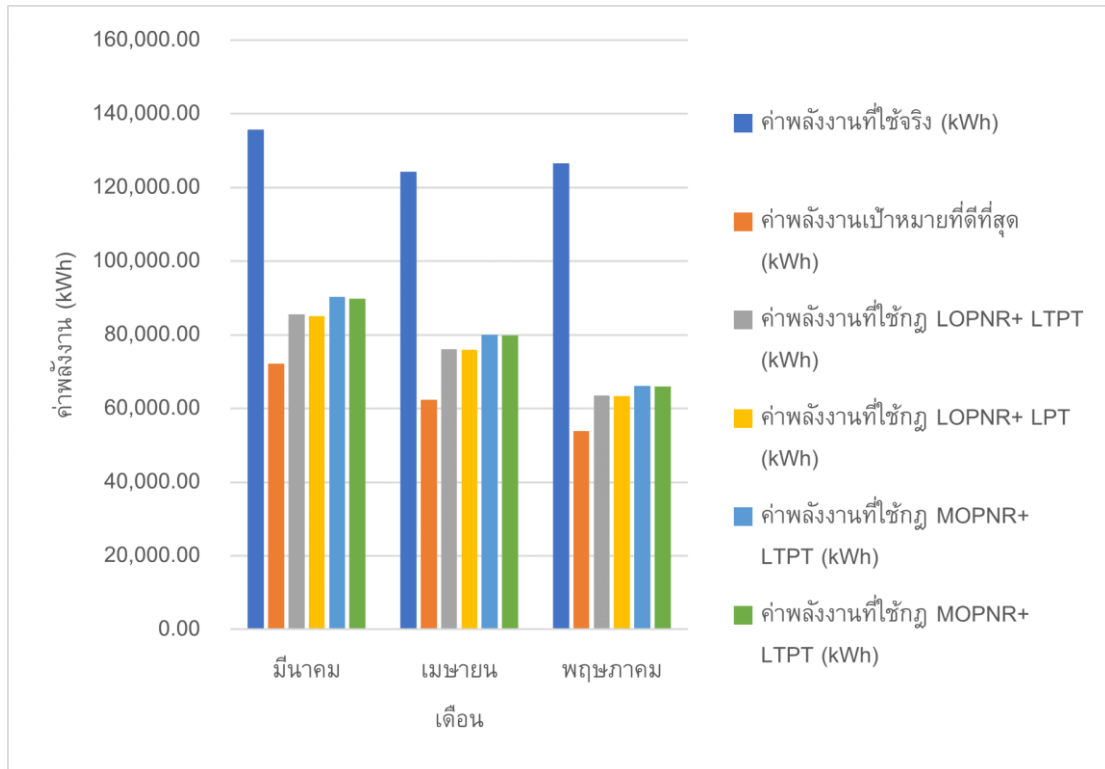
จากปริมาณพลังงานของปั๊มที่ได้จากผลการจัดตารางการเติมน้ำมันให้กับลูกค้าโดยกำหนดเวลาและช่องจ่ายน้ำมัน ด้วยวิธีวิธิตกแบบพลวัตโดยอาศัยกฎการจ่ายงานแบบผสมให้กับข้อมูลใบคำสั่งซื้อย้อนหลังของแต่ละเดือนในหัวข้อที่ 2 เปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ใช้จริงในแต่ละเดือนจากการดำเนินการปกติของคลังน้ำมัน (ข้อมูลจากฝ่ายบำรุงรักษาของคลังน้ำมัน) และค่าพลังงานเป้าหมายที่ดีที่สุดดังรูปที่ 4 และตารางที่ 3 พบว่าการใช้กฎ LOPNR ที่ให้ความสำคัญกับใบรายการสั่งซื้อที่สามารถเติมเสร็จในรอบเดียว ได้แก่ ใบสั่งซื้อที่มีจำนวนชนิดน้ำมัน 4, 3, 2 และ 1 ก่อนใบรายการสั่งซื้อที่มีจำนวนชนิดน้ำมัน 6 และ 5 ชนิดตามลำดับ ร่วมกับกฎ LPT ที่ให้ความสำคัญกับใบรายการ

สั่งซื้อที่มีเวลาของการเติมน้ำมันในใบรายการสั่งซื้อสั้นจากมากไปน้อย และการกำหนดเวลาเติมให้กับใบสั่งซื้อที่เรียงความสำคัญตามกฎดังกล่าวทั้งสองกฎจะอาศัยหลักการใช้อัตราประโยชน์สูงสุดของปั๊มที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อจะพยายามให้มีการใช้หัวจ่ายให้มากที่สุดตามกำลังของปั๊ม ทำให้ปั๊มมีการใช้พลังงานเต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้ค่าพลังงานที่เป็นผลของการจัดตารางการจ่ายน้ำมันต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กฎการจ่ายงานแบบผสมอีก 3 แบบที่เหลือ และยังมีค่าพลังงานต่ำกว่าค่าพลังงานที่เกิดจากการปฏิบัติงานปกติโดยไม่มีการจัดตารางและมีค่าเข้าใกล้มากที่สุดในส่วน of ค่าพลังงานเป้าหมายที่ดีที่สุด โดยกฎการจ่ายงานแต่ละกฎมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันสรุปได้ดังตารางที่ 4 แต่มีการดำเนินงานที่เหมือนกันในทางปฏิบัติ คือการใช้งานผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ต้องการความเชี่ยวชาญของพนักงานเพื่อเตรียมข้อมูลก่อนการจัดตาราง และการประสานงานร่วมของฝ่ายจัดคิวกับลูกค้า เพื่อให้ลูกค้ามาถึงคลังน้ำมันตามตารางการเติมน้ำมันที่กำหนดจากโปรแกรมการจัดตาราง โดยเผื่อเวลาสำหรับลูกค้าในส่วนของการตรวจสอบอุปกรณ์และความปลอดภัยก่อนเข้าโรงจ่าย ณ บ่อรักษาความปลอดภัย และในส่วนของการรับบริการที่ฝ่ายการเงิน และบริการอื่น ๆ ที่จำเป็น

จากการจัดตารางด้วยวิธีดังกล่าวสำหรับใบสั่งซื้อทั้งหมดในเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2564 พบว่าปั๊มมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยลดลงจาก 4,203.73 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันหรือ 12 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกค้า เหลือ 2,437.7 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวันหรือ 6.96 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกค้า ทำให้ปริมาณพลังงานลดลงเฉลี่ย 2,176.25 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้ค่าไฟลดลง 200,215.25 บาทโดยเฉลี่ยต่อเดือนหรือ 2,402,583 บาทต่อปี ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 5 นอกเหนือจากนั้นการจัดตารางดังกล่าวช่วยให้เวลารอของลูกค้าลดลง ส่งผลให้ลูกค้ามีความพอใจในการบริการของคลังน้ำมันมากขึ้น รวมถึงการบริหารเวลาสำหรับคลังน้ำมันที่ดีขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 3 ขั้นตอนการจัดตารางใบคำสั่งซื้อน้ำมัน 5 และ 6 ชนิด



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าพลังงานจากการจัดตารางด้วยกฎต่าง ๆ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าพลังงานจากการจัดตารางด้วยกฎต่าง ๆ

เดือน	ค่าพลังงานที่ใช้จริง (kWh)	ค่าพลังงานเป้าหมายที่ดีที่สุด (kWh)	ค่าพลังงานเมื่อใช้กฎ LOPNR ร่วมกับกฎอื่น ๆ (kWh)		ค่าพลังงานเมื่อใช้กฎ MOPNR ร่วมกับกฎอื่น ๆ (kWh)	
			LTPT	LPT	LTPT	LPT
มีนาคม	135,778.56	72,202.08	85,629.55	85,049.88	90,374.25	89,803.61
เมษายน	124,323.84	62,405.40	76,164.84	75,923.72	80,058.38	79,909.61
พฤษภาคม	126,640.32	53,883.39	63,450.79	63,294.89	66,127.24	65,996.63
เฉลี่ย	128,914.24	62,830.29	75,081.73	74,756.16	78,853.29	78,569.95

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกฎการจ่ายงาน

กฎการจ่ายงาน	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อเสนอแนะ/ข้อควรระวัง
LOPNR	เวลาโดยเฉลี่ยของงานในระบบจะต่ำที่สุด ทำให้เกิดสินค้าคงเหลือในระหว่างการผลิตน้อยและสามารถประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ	งานที่มีขั้นตอนในการผลิตเยอะ ๆ มักถูกผลักไปอยู่ในอันดับท้าย ทำให้มีเวลารอคอย	หากน้ำมันของแต่ละชนิดในคำสั่งซื้อเดียวกันมีปริมาณต่างกัน จะทำให้การจ่ายน้ำมันไม่ต่อเนื่อง เกิดเวลาเปลืองงานในตารางการจ่ายน้ำมัน
MOPNR	กรณีที่มีงานใหม่เข้ามาแทรกอยู่เสมอ ๆ และเป็นงานที่มีขั้นตอนน้อยกว่า หากใช้ MOPNR ในการจัดลำดับงานงานที่ได้รับการจัดอันดับให้ทำก่อนจะไม่ถูกงานใหม่แทรก	เวลาโดยเฉลี่ยของงานในระบบสูง ทำให้เวลารอสูงขึ้น	เนื่องจากให้ความสำคัญกับกลุ่มใบคำสั่งซื้อที่เติมน้ำมัน 2 รอบก่อน จะส่งผลให้ใบคำสั่งซื้อที่เติมน้ำมัน 1 รอบถูกผลักไปอยู่ท้ายตาราง ส่งผลให้เวลาปิดงาน (Makespan) สูงขึ้น
LTPT	สามารถสร้างขวัญกำลังใจในการทำงานให้แก่พนักงานได้เนื่องจากเมื่องานยาก ๆ ที่ใช้เวลานานผ่านไปแล้วก็จะเหลือแต่งานง่าย ๆ ที่ใช้เวลาไม่นาน ทำให้กำลังใจในการทำงานดีขึ้น	มักทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตงานทั้งหมดนานและยังทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานทรัพยากรด้านการผลิตต่ำอีกด้วย	เมื่อลักษณะคำสั่งซื้อที่มีปริมาณน้ำมันแต่ละชนิดใกล้เคียงกัน จะทำให้มีการใช้งานหัวจ่ายที่ต่อเนื่อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ต่อเนื่องและเต็มประสิทธิภาพ
LPT			เมื่อลักษณะคำสั่งซื้อที่มีปริมาณน้ำมันแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน จะทำให้การใช้งานหัวจ่ายทุกชนิดเริ่มและหยุดจ่ายไม่พร้อมกัน ทำให้การใช้งานปั๊มไม่ต่อเนื่องกัน

ตารางที่ 5 ค่าไฟจากการจัดตาราง

เดือน	ค่าไฟที่จ่ายจริง (บาท)	ค่าไฟเมื่อใช้กฎ LOPNR ร่วมกับกฎ LPT (kWh)	ร้อยละความเปลี่ยนแปลงของค่าไฟ (%)	ค่าเฉลี่ยค่าไฟที่เปลี่ยนแปลง (บาท)
มีนาคม	511,399.76	320,333.98	37.36	200,215.25
เมษายน	443,937.36	271,109.50	38.93	
พฤษภาคม	473,315.33	236,563.23	50.02	
เฉลี่ย	476,217.48	276,002.23	42.10	

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. S. Panwalkar and W. Iskander, "A survey of scheduling rules," *Operations Research.*, vol. 25, no. 1, pp. 45-61, 1977.
- [2] ปารเมศ ชูติมา, เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน, พิมพ์ครั้งที่ 2., กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- [3] C. C. New, "Job shop scheduling: Is application of dispatching rules feasible?," *Journal of the Operational Research Society.*, vol. 26, no. 1, pp. 35-43, 1975.
- [4] ปวีร์ธิดา พัฒน์อภิพงษ์, ปุณณมี สัจจกมล และ ไอลดา ตริรัตน์ตระกูล, "การจัดตารางการผลิตโดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบผสม กรณีศึกษา: โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, น. 226-233, 2561.
- [5] T. C. Papadopoulou, "Application of Lean Scheduling and Production Control in Non-repetitive Manufacturing System using Intelligent Agent Decision Support," Ph.D Philosophy, Brunel University, London, UK, 2013.
- [6] ยอดดวงใจ นาคปฐม, "การจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ," *วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2555.*
- [7] สุเทพ บุตรดี, ชัยวัฒน์ นุ่มทอง และ ปัญจพร แพใหญ่, "วิธีการจัดตารางการผลิตแบบฮิวริสติกแบบผสมเพื่อประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด" ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2550, ภูเก็ต, ประเทศไทย, 2550.*

## การประยุกต์การโปรแกรมเลขจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิตรวม เพื่อการตัดสินใจผลิตและซื้อวัคซีนจากภายนอก

นันทวรรณ ไชยมงคล<sup>1</sup>, ศันสนีย์ สุภาภา<sup>2</sup> และ พัชราภรณ์ ญาณภีร์<sup>3</sup>

สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Received: 1 May 2022; Revised: 10 October 2022; Accepted: 25 October 2022

### บทคัดย่อ

การติดเชื้อจากไวรัสยังคงมีการรายงานอย่างต่อเนื่องทั่วโลก ทั้งโรคที่มีการระบาดเป็นประจำทุกปี เช่น ไข้หวัดใหญ่ ไข้หวัด และโรคอุบัติใหม่อย่าง โควิด-19 วัคซีนเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมการระบาดของโรคในกลุ่มประชากร โดยป้องกันการติดเชื้อ ลดความรุนแรงจากอาการป่วย และลดการเสียชีวิตอันเกิดจากอาการแทรกซ้อน องค์การเภสัชกรรม (อภ.) เป็นหน่วยงานภายใต้กระทรวงสาธารณสุข มีพันธกิจหลักในการจัดหาและเวชภัณฑ์ รวมถึงวัคซีนที่จำเป็น และมีนโยบายในการผลิตวัคซีนเพื่อทดแทนการนำเข้าวัคซีนจากต่างประเทศเพื่อสร้างความมั่นคงทางด้านวัคซีนให้กับประเทศไทย โรงงานผลิตวัคซีนของอภ. ใช้เทคโนโลยีใช้ไฟฟ้าสำหรับการผลิตวัคซีน ซึ่งในปัจจุบันสามารถผลิตวัคซีนได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 3 สายพันธุ์ วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 แต่ยังไม่สามารถผลิตวัคซีนได้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการส่งผลให้ต้องมีการซื้อวัคซีนจากต่างประเทศ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การโปรแกรมเลขจำนวนเต็มในการวางแผนการผลิตรวมสำหรับวัคซีนทั้ง 3 ชนิด ภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากรของโรงงานผู้ผลิตวัคซีน และการนำเข้าวัคซีนจากต่างประเทศเพื่อรองรับความต้องการในแต่ละไตรมาส โดยมีต้นทุนรวมในการจัดหาวัคซีนต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาสามารถช่วยในการวางแผนการผลิตรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ข้อจำกัดของกำลังการผลิต และต้นทุนการผลิตวัคซีนเป็นปัจจัยที่มีความไวต่อแผนการผลิตและการนำเข้าวัคซีนแต่ละประเภท

**คำสำคัญ:** การวางแผนการผลิตรวม, การโปรแกรมเลขจำนวนเต็ม, กระบวนการผลิตวัคซีน, โควิด-19

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

1 สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2, 3 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## Application of Integer Programming for Aggregate Production Planning in the Production and Purchase of Vaccines

Nantawan Chaimongkol<sup>1</sup>, Sansanee Supapa<sup>2</sup> and Patcharaporn Yanpirat<sup>\*3</sup>

Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering, Kasetsart University

50 Ngamwongwan Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

Received: 1 May 2022; Revised: 10 October 2022; Accepted: 25 October 2022

### Abstract

Infectious diseases caused by viruses have been reported across the world. These include seasonal diseases like influenza and emerging diseases such as COVID-19. The vaccine is one of the effective tools to control a virus pandemic among the population by preventing virus infection, reducing the severity of illness, and reducing the mortality rate. The Government Pharmaceutical Organization (GPO) is a state enterprise operated under the Ministry of Public Health, with a mission to supply medicines, medical devices, and vaccines. GPO has a policy of vaccine production to reduce the importing of vaccines and to establish vaccine security in Thailand. As part of the GPO, the biological product (Vaccine) production plant has employed an egg-based platform for the manufacture of vaccines, which presently includes trivalent seasonal influenza vaccine, quadrivalent seasonal influenza vaccine, and COVID-19 vaccine. However, the production capacity is limited. To fulfill the domestic demand for vaccines, imported vaccines have been widely used. This paper aims to propose a mathematical model by employing integer programming to generate a quarterly aggregate production plan for three vaccines. The objective of the proposed model is to minimize the total production cost and import cost under capacity and inventory constraints. The results show the effectiveness of the proposed model and that the manufacturing costs of those vaccines are sensitive to the amount of vaccine production and imported vaccines during the planning period.

**Keywords:** aggregate production planning, integer programming, vaccine manufacturing process, Covid-19

---

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

1 Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

2, 3 Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University



## 1. บทนำ

การระบาดของโรคติดเชื้อที่เกิดจากไวรัสยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง และพบว่าอาการจากการติดเชื้อในบางโรคมียุ่ ความรุนแรงขึ้น วัคซีนเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ในการป้องกันการติดเชื้อจากไวรัส ช่วยลดความรุนแรงจาก การป่วยและการเสียชีวิตอันเนื่องจากภาวะแทรกซ้อน รวมทั้งลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล และการ แพทย์กระจายเชื้อระหว่างบุคลากรทางการแพทย์และผู้ป่วยใน โรงพยาบาล ซึ่งเป็นประโยชน์ในเชิงสาธารณสุขและในเชิง เศรษฐกิจ ข้อมูลจาก World Health Organization (2022) แสดงให้เห็นว่าความต้องการของวัคซีนทั่วโลกมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2564 ประเทศไทยมีอุบัติการณ์การ ระบาดใหญ่ของโรคโควิด-19 ส่งผลให้หน่วยงานภาครัฐต้อง เร่งดำเนินการในการนำเข้าวัคซีน อย่างไรก็ตามการแพร่ ระบาดดังกล่าวส่งผลให้ทั่วโลกต้องการวัคซีนจำนวนมาก จึงพบปัญหาความล่าช้าในการส่งมอบวัคซีนจากบริษัทผู้ผลิต และการส่งมอบในปริมาณที่ต่ำกว่าความต้องการ นอกจากนี้ ยังมีไวรัสที่มีการระบาดตามฤดูกาล ทำให้ต้องฉีดวัคซีน กระตุ้นภูมิเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดทุกปี อย่างวัคซีน ป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ ซึ่งตามแนวทางการควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ได้ส่งเสริมให้ประชากรกลุ่มเสี่ยง เช่น หญิงตั้งครรภ์ ผู้สูงอายุ เด็กเล็ก ผู้มีโรคเรื้อรัง รวมทั้งบุคลากร ทางทางการแพทย์ ได้รับวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ เป็น ประจำทุกปี

องค์การเภสัชกรรม (อภ.) มีนโยบายผลิตวัคซีนเพื่อ ความมั่นคงของประเทศ ทดแทนการนำเข้าวัคซีนจาก ต่างประเทศ แก้ปัญหาขาดแคลนวัคซีนในสถานการณ์การ ระบาดใหญ่ โดยกระบวนการผลิตวัคซีนจะถูกควบคุมตาม มาตรฐาน Good Manufacturing Practice (GMP) ซึ่งเป็น หลักการหนึ่งในมาตรฐานสากลของ Pharmaceutical Inspection Co-operation Scheme (PIC/S) เพื่อให้เกิด ความเชื่อมั่นในด้านความปลอดภัย คุณภาพ และประสิทธิผล ของผลิตภัณฑ์ ในปัจจุบัน อภ. มีสายการผลิตวัคซีนจากไวรัส ด้วยเทคโนโลยีไขไก่ฟัก เพียง 1 สายการผลิต และสามารถ ผลิตวัคซีนได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ วัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และชนิด 3 สายพันธุ์ ซึ่งกระบวนการผลิตจะเกิดขึ้นในลักษณะต่อเนื่อง

แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การผลิตแอนติเจนเข้มข้น ซึ่งเป็น ตัวยาสำคัญในวัคซีน และ 2) การผสมและบรรจุผลิตภัณฑ์ วัคซีนสำเร็จรูป โดยการผสมแอนติเจนเข้มข้นกับวัตถุดิบอื่น ๆ เช่น ตัวทำละลาย สารเพิ่มความคงสภาพ แล้วบรรจุลงใน บรรจุภัณฑ์

เนื่องด้วยกำลังการผลิตในปัจจุบันที่มีอยู่เพียง 1 สายการผลิต และถูกควบคุมภายใต้มาตรฐาน GMP เกิดเป็น ข้อจำกัดทางด้านกำลังการผลิต ทำให้ไม่สามารถผลิตวัคซีน ได้ตามจำนวนคำสั่งซื้อของลูกค้า และต้องนำเข้าวัคซีน เพิ่มเติมเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เพียงพอ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลอง โปรแกรมเลขจำนวนเต็ม เพื่อวางแผนการผลิต และแผนการ จัดซื้อวัคซีนทดแทนเพื่อให้เพียงพอกับปริมาณวัคซีนตามคำ สั่งซื้อ ให้มีต้นทุนรวมในการดำเนินการจัดหาวัคซีนที่ต่ำที่สุด ภายใต้กำลังการผลิตในปัจจุบัน

## 2. แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ จะพบปัญหา เรื่องปริมาณสินค้าที่ต้องการมากกว่ากำลังการผลิต การเลือก ชนิดและจำนวนสินค้าที่จะผลิตจึงขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของ ทรัพยากร ซึ่งผลกระทบจากปัญหาดังกล่าวจะมีทั้งที่อยู่ในรูป ของการเงินและไม่ใช้การเงิน วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ Heuristic Algorithm หรือ Meta-heuristic Algorithm ซึ่งมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ 3 หลักเกณฑ์ คือ ปริมาณงาน ค่าใช้จ่ายในการผลิต และปริมาณสินค้าคงคลัง [1] โดยมีการ นำข้อมูลจากสูตรการผลิตของผลิตภัณฑ์ (Bill of Material) มาบริหารคลังสินค้าและควบคุมการผลิต [2] พบว่าในอดีตได้ มีการประยุกต์ใช้วิธี Heuristics Algorithm เข้ากับ กระบวนการผลิตภายใต้มาตรฐานการผลิตยา ในการ จำลองสถานการณ์ หลังจากนั้นใช้ Algorithm จัดเรียง แผนงานการผลิตให้เป็นไปตามคำสั่งซื้อและตามกำหนดการ อีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการจัดเรียงแผนงานคือ วัตถุประสงค์การสั่งผลิต แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ ผลิตตาม ปริมาณคำสั่งซื้อ และผลิตตามปริมาณที่กำหนดไว้เพื่อรอ จำหน่าย โดยการผลิตตามปริมาณคำสั่งซื้อจะถูกจัดลำดับลง ในแผนการผลิตก่อน [3] นอกจากนั้นมีการใช้วิธี Linear Programming Model (LP) หรือ Integer-programming

Model (ILP) เพื่อให้วางแผนการผลิตให้ได้ปริมาณตามวัตถุประสงค์ภายใต้กำลังการผลิตที่มีอยู่ และให้สอดคล้องกับต้นทุนของการผลิตที่ตั้งเป้าไว้ [2, 4] สำหรับการวางแผนการผลิตที่ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวนรุ่นผลิต สามารถนำแบบจำลองโปรแกรมเลขจำนวนเต็มมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตได้ [5]

อุตสาหกรรมการผลิตยา จะพบข้อจำกัดจากเรื่องมาตรฐานการผลิตที่ต้องเป็นไปตามกฎหมาย GMP/PICs ทำให้ผลิตได้น้อยกว่ากำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องจักร โดยหลักการทางคณิตศาสตร์สามารถประยุกต์ใช้ใน Aggregate Production Planning สำหรับการวางแผนรายการการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์หลากหลาย จะสามารถกำหนดปริมาณการผลิตที่เหมาะสมที่สุดได้ตามวัตถุประสงค์ [6] โดยข้อจำกัดที่เป็นคอขวดวิเคราะห์จากปริมาณทรัพยากรทั้งหมดที่ต้องใช้ในการผลิตกระบวนการนั้น มีมากกว่าทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อการผลิต [1] อย่างไรก็ตาม หลักการทางคณิตศาสตร์ยังมีข้อจำกัดในกรณีที่ไม่ได้คำนึงถึงภาระงานที่หนักของพนักงาน เพื่อให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด การวางแผนด้วยวิธีการดังกล่าวก็จะไม่สัมฤทธิ์ผล [7, 8]

องค์กรโดยทั่วไปจะเลือกที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นเองภายในบริษัทด้วยเหตุผลด้านการแข่งขันทางการตลาดและลดปัญหาความไม่แน่นอนที่ผู้จัดจำหน่ายส่งมอบไม่ได้ตามความต้องการ กรณีไม่สามารถผลิตได้เพียงพอกับความต้องการ จะซื้อผลิตภัณฑ์เข้ามาทดแทน โดยต้องมีหลักเกณฑ์ในการเลือกผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์เพื่อให้มั่นใจว่าสินค้าที่เลือกซื้อเพื่อมาทดแทนนั้นไม่ด้อยคุณภาพไปกว่าสินค้าที่ผลิต การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยให้ข้อมูลต้นทุนรวมและปริมาณที่ต้องผลิตและซื้อทดแทนในการตัดสินใจ [9]

การคิดต้นทุนภายใต้สภาวะการดำเนินการผลิตจริง จะวัดต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงตามรอบของระยะเวลาบัญชีสามารถรวบรวมข้อมูลต้นทุนที่เกี่ยวข้องได้อย่างรวดเร็ว เพื่อใช้ในการวางแผนการผลิต ซึ่งค่าต้นทุนที่ได้อาจมีความไม่แน่นอน จึงต้องระวังในการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ [10] สำหรับกระบวนการผลิตที่มีวิธีการผลิตคล้ายกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ แต่มีในส่วนของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน จะใช้วิธีการสะสมต้นทุนผสมผสานระหว่างการผลิตดำเนินการในส่วนของการผลิต และต้นทุนงานสำหรับวัตถุดิบทางตรง ต้นทุนดังกล่าวจะถูก

จัดสรรลงไปที่แต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ 1 ชนิดต่อหน่วย และนำไปบริหารจัดการแผนงานการผลิต [11] สำหรับวิธีการคิดต้นทุนการดำเนินการดังกล่าวเป็นวิธีการคิดต้นทุนแบบดั้งเดิม ไม่สามารถให้การวิเคราะห์ในเชิงลดต้นทุนของสินค้าได้เหมือนกับวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนจากกิจกรรม [12]

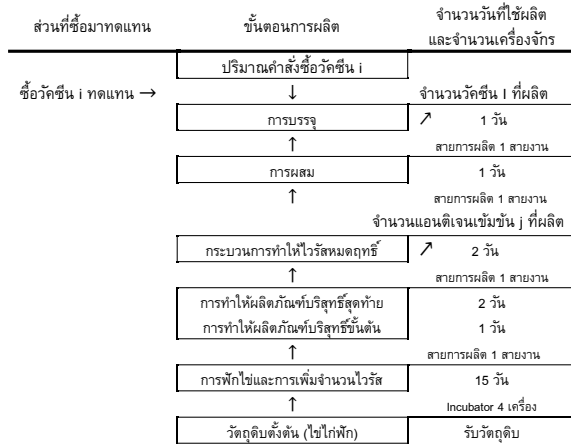
### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 การวิเคราะห์ข้อจำกัดการผลิต

กระบวนการผลิตวัคซีนจากไวรัสด้วยเทคโนโลยีไขไก่ฟักของโรงงานจะแบ่งการผลิตออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การผลิตแอนติเจนเข้มข้น โดยเริ่มตั้งแต่รับวัตถุดิบหลักในการผลิตคือ ไขไก่ฟัก เพื่อการเพิ่มจำนวนไวรัส หลังจากนั้นจะเก็บเกี่ยวน้ำไขในส่วนที่มีไวรัสจำนวนมาก แล้วมาทำให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์ขั้นต้นโดยการปั่นเหวี่ยง การกรองหยาบ แล้วทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นและเข้มข้นด้วยเทคนิค Ultrafiltration และ Ultracentrifugation หลังจากนั้นจะกรองด้วยแผ่นกรองรูพรุนขนาด 0.2 ไมครอน จึงจะได้แอนติเจนเข้มข้น 1 รุ่นการผลิต 2) การผลิตวัคซีนสำเร็จรูป โดยการนำแอนติเจนเข้มข้นมาผสม แล้วกรองปราศจากเชื้อและบรรจุลงขวด โดยวัคซีนแต่ละชนิดต้องการจำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้นที่แตกต่างกัน ขึ้นกับสูตรการผลิตที่กำหนด ดังนั้นกระบวนการทั้งหมดใช้ระยะเวลาอยู่ที่ 36, 37 และ 32 วัน สำหรับวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19, วัคซีนป้องกันโรคไขหวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และ 3 สายพันธุ์ตามลำดับ จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีสายการผลิตเพียง 1 สายเท่านั้น โดยในขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์สุดท้ายของการผลิตแอนติเจนเข้มข้น จำเป็นต้องใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบสูง (Zonal Ultracentrifuge) ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องจักร 2 รอบต่อรุ่นการผลิต แต่เนื่องจากมีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ทำให้เกิดเป็นคอขวดการทำงาน

กรณีที่มีการผลิตแอนติเจนเข้มข้นมากกว่า 1 รุ่นการผลิตต่อสัปดาห์ จะทำให้ในบางวันมีกระบวนการผลิตที่ซ้อนทับกันมากกว่า 1 กระบวนการ ซึ่งตามมาตรฐานการผลิตยา จะไม่สามารถใช้พื้นที่การผลิตรวมถึงเครื่องจักรเพื่อผลิตมากกว่า 1 รุ่นการผลิตในวันเดียวกันได้ เนื่องจากต้องมีการทำความสะอาดสายการผลิตทุกครั้งหลังการผลิต (Line

Clearance) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างผลิตภัณฑ์หรือระหว่างรุ่นการผลิต รวมทั้งเมื่อพิจารณาจำนวนคนที่ต้องใช้ในการทำงานทุกกระบวนการพบว่า สามารถทำการผลิตได้มากที่สุดที่ 2 รุ่นการผลิตต่อสัปดาห์



รูปที่ 1 กระบวนการจัดหาวัคซีนเพื่อส่งมอบวัคซีนตามคำสั่งซื้อ

นอกจากนี้ตามมาตรฐานการผลิตยา ระบุให้มีกระบวนการทำความสะอาดสายการผลิตและพื้นที่ผลิตเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในสายการผลิตเดียวกัน (Campaign Production) ซึ่งทางโรงงานใช้วิธีการอบฆ่าเชื้อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อกำจัดเชื้อไวรัสที่หลงเหลืออยู่ ซึ่งกระบวนการอบฆ่าเชื้อดังกล่าวเกิดขึ้นในแต่ละครั้งใช้เวลา 1 สัปดาห์ มีผลให้จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้นลดลงไป 2 รุ่นการผลิต

จากข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตที่ได้กล่าวมา ทำให้ไม่สามารถผลิตวัคซีนได้เพียงพอกับปริมาณคำสั่งซื้อ จึงต้องซื้อวัคซีนเพื่อมาทดแทน ซึ่งผลิตภัณฑ์ทางยาและวัคซีนนั้นจำเป็นต้องได้รับอนุญาตทะเบียนจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ก่อนการจำหน่าย เพื่อคุ้มครองความปลอดภัยของผู้บริโภค ดังนั้น วัคซีนที่ผลิตและซื้อมาเพื่อทดแทนนั้นจะต้องมีคุณภาพและมาตรฐานโดยผ่านการประเมินจาก อย.

### 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ข้อสมมติฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ

1) ทุกวัตถุดิบและวัคซีนที่นำเข้ามาไม่มีปัญหาในการสั่งซื้อ โดยผู้ผลิตวัตถุดิบนั้น ๆ สามารถส่งมอบวัตถุดิบให้กับทางโรงงานได้ทันที กล่าวคือ วัตถุดิบหลักในการผลิตคือ ไข่ไก่ฟอก มีการทำสัญญาในการสั่งซื้อล่วงหน้าเป็นรายปี เป็นไปตามแผนงานการผลิต

2) ปริมาณความต้องการวัคซีนเป็นคำสั่งซื้อรายปี โดยมีกำหนดส่งมอบเป็นรายไตรมาส

3) กระบวนการผลิตเกิดขึ้นในลักษณะต่อเนื่องจนจบกระบวนการใน 1 รุ่นการผลิต โดยที่ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ไม่เกิดกระบวนการผลิตร่วมกัน

4) ค่าพารามิเตอร์กำหนดให้คงที่ตลอดระยะเวลาการวางแผน

5) ไม่มีข้อจำกัดด้านระบบการจัดเก็บวัคซีนที่ผลิตและคลังสำหรับจัดเก็บวัคซีนที่นำเข้ามา โดยวัคซีนที่นำเข้ามาเมื่อตรวจรับวัคซีนแล้วเสร็จ วัคซีนดังกล่าวจะถูกส่งให้กับลูกค้าตามระยะเวลาที่กำหนด

6) กำลังการผลิตของโรงงานในปัจจุบันมีข้อจำกัด จึงไม่สามารถผลิตได้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า และต้องมีการซื้อวัคซีนเข้ามาทดแทน ดังนั้นปริมาณวัคซีนที่จัดหาได้ทั้งหมดจะถูกส่งมอบให้กับลูกค้า ตามระยะเวลาที่กำหนด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนการผลิตวัคซีน ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของตัวแปร ข้อจำกัด และสมการเป้าหมาย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 ดัชนี (Indices and Sets)

$j$  ชนิดของแอนติเจนเข้มข้นที่ผลิต เมื่อ  $j = 1,2,3$  แทนแอนติเจนเข้มข้นที่เป็นส่วนประกอบในการผลิตวัคซีน ป้องกันโรคโควิด-19, วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และ 3 สายพันธุ์ ตามลำดับ

$i$  ชนิดของวัคซีนที่ผ่านกระบวนการผลิต เมื่อ  $i = 1,2,3$  แทนวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19, วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ และชนิด 3 สายพันธุ์ ตามลำดับ

$J_{(i)}$  กลุ่มชนิดของแอนติเจนเข้มข้นที่ใช้ผลิตวัคซีน  $t$  ไตรมาสการจัดหาวัคซีน เมื่อ  $t = 1,2,3,4$  แทนไตรมาสที่ 1,2,3 และ 4 ตามลำดับ

$S_t$  กลุ่มของชนิดวัคซีนที่ต้องการผลิตในไตรมาสที่  $t$

### 3.2.2 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$W_{jt}$  จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้นชนิดที่  $j$  ที่ต้องผลิตในไตรมาสที่  $t$

$X_{it}$  จำนวนรุ่นการผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  ที่ต้องผลิตในไตรมาสที่  $t$

$Y_{it}$  จำนวนรุ่นวัคซีนชนิดที่  $i$  ที่ซื้อทดแทนในไตรมาสที่  $t$

$U_{it}$  จำนวนชนิดของวัคซีนชนิดที่  $i$  ที่ต้องผลิตในไตรมาสที่  $t$

### 3.2.3 ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

$MC_{it}$  ต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  สำหรับไตรมาสที่  $t$  (หน่วย: บาทต่อรุ่นผลิต)

$OC_{it}$  ต้นทุนช่วงการผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  สำหรับไตรมาสที่  $t$  (หน่วย: บาทต่อรุ่นผลิต)

$HC_{it}$  ต้นทุนการดูแลวัคซีนที่  $i$  คงคลัง สำหรับไตรมาสที่  $t$  (หน่วย: บาทต่อรุ่นผลิต)

$SC_{it}$  ค่าใช้จ่ายการทำความสะอาดก่อนเริ่มผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  สำหรับไตรมาสที่  $t$  (หน่วย: บาทต่อครั้ง)

$PC_{it}$  ต้นทุนเฉลี่ยของการซื้อวัคซีนชนิดที่  $i$  สำหรับไตรมาสที่  $t$  (หน่วย: บาทต่อรุ่นผลิต)

$Inv_{it}$  จำนวนวัคซีนคงคลังชนิดที่  $i$  สำหรับไตรมาสที่  $t$  (หน่วย: รุ่นผลิต)

$Dem_{it}$  จำนวนที่ต้องส่งมอบวัคซีนชนิดที่  $i$  สำหรับไตรมาสที่  $t$  (หน่วย: รุ่นผลิต)

$DS_{it}$  จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้น สำหรับผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  จำนวน 1 รุ่นการผลิต (หน่วย: รุ่นผลิต)

### 3.2.4 สมการเป้าหมาย

จากนโยบายขององค์กร เพื่อจัดหาวัคซีนให้ได้ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ภายใต้กำลังการผลิต ณ ปัจจุบัน โดยมีต้นทุนรวมในการผลิตและซื้อวัคซีนที่ต่ำที่สุด จึงมีสมการเป้าหมายคือ ต้นทุนรวมในการจัดหาวัคซีนที่ต่ำที่สุด (Minimized Total Cost) ดังสมการที่ (1)

$$Z = C^{Pd} + C^{Hc} + C^{Pc} \quad (1)$$

ซึ่งประกอบไปด้วย

1) ต้นทุนรวมของต้นทุนดำเนินการผลิต และค่าใช้จ่ายการทำความสะอาด ( $C^{Pd}$ ) ในระยะเวลา 1 ปี ซึ่ง  $i \in S_t$  คือ ชนิดวัคซีนที่  $i$  ที่ผลิต อยู่ในกลุ่มของชนิดวัคซีนที่ต้องการผลิตในไตรมาสที่  $t$  ดังสมการที่ (2)

$$C^{Pd} = \sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T MC_{it} X_{it} + \sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T OC_{it} X_{it} + \sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{i \in S_t} SC_{it} U_{it} \quad (2)$$

โดยที่  $U_{it} = \begin{cases} 1 & ; \text{วัคซีนชนิดที่ } i \text{ ผลิตในไตรมาสที่ } t \\ 0 & ; \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$

ในการปฏิบัติงานปกติจะมีกระบวนการทำความสะอาดหลังจากกระบวนการผลิตทุกครั้ง ซึ่งต้นทุนการดำเนินงานส่วนนี้จะรวมอยู่ในต้นทุนช่วงการผลิต ( $OC_{it}$ ) สำหรับสายการผลิตของแอนติเจนเข้มข้นซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้ผลิตเชื้อไวรัสที่ยังมีชีวิต กรณีที่มีการผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  ในไตรมาสที่  $t$  จะนับจำนวนครั้งของการอบฆ่าเชื้อไวรัสในสายการผลิตและพื้นที่ผลิต จากจำนวนชนิดของวัคซีนที่ต้องผลิตในไตรมาสที่  $t$  ดังนั้นผลรวมจำนวนวัคซีนชนิดที่  $i$  ที่ต้องผลิตในไตรมาสที่  $t$  เป็น 1

2) ต้นทุนรวมของการดูแลสินค้าคงคลัง ( $C^{Hc}$ ) ในระยะเวลา 1 ปี เกิดจาก ค่าเฉลี่ยของจำนวนสินค้าคงคลังต้นงวดและปลายงวดคูณกับต้นทุนการดูแลวัคซีนชนิดที่  $i$  คงคลัง โดยค่าจัดเก็บ ( $HC_{it}$ ) คิดเป็น 20% ของราคารุ่นการผลิตวัคซีนต่อปี ดังสมการที่ (3)

$$C^{Hc} = \sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T HC_{it} (Inv_{i(t-1)} + Inv_{it}) / 2 \quad (3)$$

3) ต้นทุนรวมของการซื้อวัคซีนทดแทน ( $C^{Pc}$ ) ในระยะเวลา 1 ปี เกิดจากผลคูณของจำนวนวัคซีนที่ซื้อทดแทนกับต้นทุนเฉลี่ยของการซื้อวัคซีนแต่ละชนิด ( $PC_{it}$ ) ดังสมการที่ (4)

$$C^{Pc} = \sum_{i=1}^M \sum_{t=1}^T PC_{it} Y_{it} \quad (4)$$

3.2.5 ข้อจำกัด (Constraints)

การส่งมอบสินค้าได้ครบตามคำสั่งซื้อ และตรงตามเวลา กล่าวคือจำนวนวัคซีนที่ผลิตรวมกับจำนวนวัคซีนที่นำเข้า ต้องเท่ากับจำนวนวัคซีนตามคำสั่งซื้อ ดังสมการที่ (6) ซึ่งวัคซีนแต่ละชนิดมีจำนวนโดสต่อรุ่นการผลิตที่แตกต่างกัน โดยวัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 ผลิตได้ 200,000 โดสต่อรุ่นการผลิต และวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ทั้ง 2 ผลิตได้ 25,000 โดสต่อรุ่นการผลิต ดังนั้นจำนวนรุ่นการผลิตที่จะซื้อวัคซีนแต่ละชนิดมาทดแทน จะคิดจากโดสต่อรุ่นผลิตในจำนวนที่เท่ากับกำลังการผลิตของโรงงานในกรณีศึกษา

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^4 X_{it} + \sum_{i=1}^3 \sum_{t=1}^4 Y_{it} = Dem_{it}; \forall i, \forall t \quad (5)$$

เพื่อให้มีการผลิตต่ออายุใบอนุญาตการผลิต กำหนดให้แผนผลิตใน 1 ปี ต้องมีการผลิตวัคซีนทุกชนิดอย่างน้อย 1 รุ่นการผลิต ดังสมการที่ (6) ถึง (8)

$$\sum_{t=1}^4 X_{1t} \geq I \quad (6)$$

$$\sum_{t=1}^4 X_{2t} \geq I \quad (7)$$

$$\sum_{t=1}^4 X_{3t} \geq I \quad (8)$$

การผลิตวัคซีน 1 รุ่นการผลิต จะต้องวางแผนการผลิตให้มีจำนวนแอนติเจนเข้มข้นที่เหมาะสมเพื่อเป็นส่วนประกอบในการผลิตวัคซีนแต่ละชนิด โดยแอนติเจนเข้มข้นชนิดที่  $j$  ที่ผลิต จะต้องเป็นชนิดเดียวกันกับแอนติเจนเข้มข้นที่เป็นองค์ประกอบในกระบวนการผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  และวัคซีนชนิดที่  $i$  เป็นวัคซีนที่กำหนดให้ผลิตในไตรมาสที่  $t$  ดังสมการที่ (9)

$$\sum_{j \in J(i)} W_{jt} = X_{it} D_{sit}; i \in S_t \quad (9)$$

โดยที่  $D_{sit} = \begin{cases} 2; i = 1 \\ 4; i = 2 \\ 3; i = 3 \end{cases}$

จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้นที่มากที่สุด ได้จากการคำนวณจากข้อจำกัดด้านทรัพยากร เป็น 2 รุ่นการผลิตต่อสัปดาห์ ดังนั้น ใน 1 ไตรมาส สามารถผลิตได้ไม่เกิน 20 รุ่นการผลิต

มาตรฐานการผลิตวัคซีน กำหนดให้ทำความสะอาดทุกครั้งหลังจบกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน แต่ในกรณีที่มีการเปลี่ยนชนิดของวัคซีนที่จะผลิตจำเป็นต้องมีการอบฆ่าเชื้อสายการผลิตและพื้นที่ผลิตก่อนเริ่มผลิตวัคซีนชนิดใหม่ในแต่ละไตรมาส ซึ่งการทำความสะอาดแต่ละครั้งใช้เวลา 1 สัปดาห์ ทำให้การผลิตแอนติเจนเข้มข้นลดลง 2 รุ่นการผลิต ดังสมการที่ (10)

$$\sum_{j \in J(i)} W_{jt} \leq 20 - 2U_{it}; i \in S_t, \forall t \quad (10)$$

แต่เมื่อไม่มีการผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  หรือไม่มีการเปลี่ยนชนิดของวัคซีนที่จะผลิตภายในไตรมาสที่  $t$  ก็จะไม่เกิดงานในการอบฆ่าเชื้อก่อนผลิตวัคซีนชนิดที่  $i$  ในไตรมาสนั้น ดังสมการที่ (11)

$$X_{it} \leq mU_{it} \quad (11)$$

โดยที่  $m$  คือค่าคงที่มีค่ามาก ๆ

หลังจากที่มีการบรรจุวัคซีนลงขวดแล้ว ผลิตภัณฑ์จะถูกนำไปเก็บที่คลังสินค้า เพื่อรอส่งมอบให้กับลูกค้าตามรอบไตรมาสต่อไป จึงมีจำนวนที่เหลืออยู่ในคลังสินค้าดังสมการ ดังสมการที่ (12)

$$Inv_{it} = Inv_{i(t-1)} + X_{it} + Y_{it} - Dem_{it} \quad (12)$$

จำนวนรุ่นการผลิตวัคซีนที่ผลิตรวม จำนวนรุ่นการผลิตแอนติเจนเข้มข้น และจำนวนรุ่นวัคซีนที่ซื้อทดแทนรวมทั้งจำนวนชนิดของวัคซีนที่ต้องผลิตเป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ (13)

$$X_{it}, Y_{it}, W_{jt} \geq 0 \text{ และ Integer} \quad (13)$$

4. ผลการวิจัย

การหาผลลัพธ์สำหรับปัญหานี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก CPU Intel Core i5 สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยโปรแกรม Solver Add-in ชนิด Excel Add-in จากการประมวลผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น ได้ผลลัพธ์จากการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลคำสั่งซื้อวัคซีน และผลลัพธ์การคำนวณ

กิจกรรม	จำนวนวัคซีน (รุ่นการผลิต)			จำนวน ชนิดวัคซีน ที่ผลิต ในแต่ละ ไตรมาส ( $U_{it}$ )
	โควิด- 19	4 สาย พันธุ์	3 สาย พันธุ์	
คำสั่งซื้อต่อปี	100	16	280	-
จำนวนที่ต้องส่งมอบ: คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ต้องส่งมอบ ( $Dem_{it}$ )				
ไตรมาสที่ 1	25	50	50	-
ไตรมาสที่ 2	25	50	25	-
ไตรมาสที่ 3	25	0	25	-
ไตรมาสที่ 4	25	0	0	-
จำนวนที่ผลิตแอนติเจนเข้มข้นแต่ละชนิด* ( $W_{ij}$ )				
ไตรมาสที่ 1	12	4	0	2
ไตรมาสที่ 2	12	0	3	1
ไตรมาสที่ 3	18	0	0	2
ไตรมาสที่ 4	18	0	0	1
ค่าใช้จ่ายรวมของการอบฆ่าเชื้อ (บาท)				486,000
จำนวนที่ผลิตวัคซีนสำเร็จรูปแต่ละชนิด ( $X_{ij}$ )				
ไตรมาสที่ 1	6	1	0	-
ไตรมาสที่ 2	6	0	1	-
ไตรมาสที่ 3	9	0	0	-
ไตรมาสที่ 4	9	0	0	-
แผนจัดซื้อต่อปี	30	1	1	-
ต้นทุนการผลิตรวม (พันล้านบาท)				0.30
จำนวนที่ซื้อทดแทนวัคซีนแต่ละชนิด ( $Y_{ij}$ )				
ไตรมาสที่ 1	19	7	140	-
ไตรมาสที่ 2	19	8	69	-
ไตรมาสที่ 3	16	0	70	-
ไตรมาสที่ 4	16	0	0	-
แผนจัดซื้อต่อปี	70	15	279	-
ต้นทุนการซื้อทดแทนรวม (พันล้านบาท)				5.05

หมายเหตุ \* จำนวนแอนติเจนเข้มข้นที่เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตวัคซีนสำเร็จรูปใน 1 รุ่นการผลิต เมื่อ  $DS_{1t} = 2$   $DS_{2t} = 4$  และ  $DS_{3t} = 3$

จากผลลัพธ์ของโปรแกรมเลขจำนวนเต็มเพื่อให้ได้แผนการผลิตรวมและจำนวนที่ต้องซื้อวัคซีนทดแทนสำหรับแต่ละไตรมาส โดยมีต้นทุนรวมในการจัดหาวัคซีนที่ต่ำที่สุดเป็นเงิน 5.36 พันล้านบาทต่อปี ประกอบด้วยต้นทุนการผลิตเป็นเงิน 0.3 พันล้านบาท ค่าใช้จ่ายการอบฆ่าเชื้อเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดวัคซีนที่ผลิตในแต่ละไตรมาสเป็นเงิน 486,000 บาท ค่าใช้จ่ายการซื้อวัคซีนจากภายนอกเป็นเงิน 5.05 พันล้านบาท และไม่เกิดต้นทุนการดูแลวัคซีนคงคลัง สำหรับจัดหาจำนวนวัคซีนให้เป็นไปตามคำสั่งซื้อ คือ วัคซีนป้องกันโรคโควิด-19 จำนวน 100 รุ่นผลิตต่อปี วัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ จำนวน 16 รุ่นผลิตต่อปี และวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 3 สายพันธุ์ จำนวน 280 รุ่นผลิตต่อปี โดยมีแผนการผลิตจำนวนวัคซีนที่เหมาะสม คือ 30, 1 และ 1 รุ่นผลิตต่อปี ตามลำดับ และต้องซื้อวัคซีนจากภายนอกจำนวน 70, 15 และ 279 รุ่นต่อปี ตามลำดับ

แบบจำลองดังกล่าวเป็นจริงภายใต้ต้นทุนการผลิตและราคาซื้อวัคซีนทดแทนที่คงที่ โดยพบว่าเมื่อต้นทุนการผลิตของวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์ลดลงจาก 11,556,878 บาท ไปเป็น 7,265,578 บาท หรือ 4,291,300 บาท (62.87%) จะทำให้แผนการผลิตและจำนวนที่ต้องซื้อวัคซีนทดแทนได้ผลลัพธ์ที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ต้นทุนการผลิตของวัคซีนดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการใช้แบบจำลองนี้

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์การโปรแกรมเลขจำนวนเต็มในการแก้ปัญหาการจัดหาวัคซีน เพื่อให้มีต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากรด้านการผลิต พบว่า แบบจำลองสามารถช่วยในการตัดสินใจการวางแผนการผลิตรวม ได้สอดคล้องกับการวางแผนการผลิต ทำให้สามารถส่งมอบจำนวนวัคซีนได้ตามคำสั่งซื้อรายไตรมาส อย่างไรก็ตาม พบว่า ปัจจัยที่มีความไวต่อแผนการผลิตและการนำเข้าวัคซีนแต่ละประเภท คือ ต้นทุนการผลิตของวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ชนิด 4 สายพันธุ์

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการวางแผนการผลิตที่กำลังการผลิตปัจจุบัน ซึ่งยังมีข้อจำกัดทางด้านกำลังการผลิตในอนาคตจะวิเคราะห์ในจุดที่เป็นคอขวดเพื่อขยายกำลังการผลิต และประสิทธิภาพการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าวัคซีน

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Rezaie, S. Nazari-Shirkouhi and R. Ghodsi, "Theory of constraints and particle swarm optimization approaches for product mix problem decision," *Australian Journal of Basic and Applied Science.*, vol. 4, no. 12, pp. 6483-6491, 2010.
- [2] S. C. K. Chu, "A mathematical programming approach towards optimized master production scheduling," *International Journal of Production Economics.*, vol. 38, no. 2, pp. 269-279, 1995.
- [3] S. Wattitham, T. Somboonwiwat and S. Prombanpong, "Master production scheduling for the production planning in the pharmaceutical industry," *Industrial Engineering, Management Science and Applications.*, vol. 349, pp. 267-276, 2015.
- [4] R. Venkataraman and J. Nathan, "Master production scheduling for a process industry environment," *International Journal of Operations & Production Management.*, vol. 14, no. 10, pp. 44-53, 1994.
- [5] R. T. McIvor and P. K. Humphreys, "A case-based reasoning approach to the make or buy decision," *Integrated Manufacturing Systems.*, vol. 11, no. 5, pp. 295-310, 2000.
- [6] S. Chaoleam, T. Somboonwiwat and S. Prombanpong, "The Production Planning of Pharmaceutical Production Under Multi Variables," in *International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Thailand, 2013.
- [7] B. P. Das, J. G. Rickard, N. Shah and S. Macchietto, "An investigation on integration of aggregate production planning, master production scheduling and short-term production scheduling of batch process operations through a common data model," *Computers & Chemical Engineering.*, vol. 24, pp. 1625-1631, 2000.
- [8] M. Trost, T. Claus and F. Herrmann, "Employment of Temporary Workers and Use of Overtime to Achieve Volume Flexibility using Master Production Scheduling: Monetary and Social Implications," in *the 35<sup>th</sup> International ECMS Conference on Modelling and Simulation*, Kuwait, 2021.
- [9] E. T. Valencia, S. Moussavi, S. Lamouri, R. Pellerin, and A. Moeuf, "An Optimization Approach for MPS in a MTO Multiproduct Assembly Line System," in *the 8<sup>th</sup> International Conference on Industrial Engineering and Systems Management*, China, 2019.
- [10] E. J. Blocher, D. E. Stout, P. E. Juras and S. Smith, *Cost Management: A Strategic Emphasis*, 8<sup>th</sup> ed., New York: McGraw-Hill Education, 2019.
- [11] J. S. Zuk, "Techniques for Effective Product Costing in an IC Manufacturing Facility," in *IEEE/SEMI International Symposium on Semiconductor Manufacturing Science*, United State of America, 1990.
- [12] X. Li, G. Hengfa and C. Siyuan, "Extension intelligence for process manufacturing," *Journal of Physics.*, vol. 1605, no. 1, pp. 12046, 2020.

## การหาที่ตั้งศูนย์กระจายและการวางแผนจัดเส้นทางในการกระจายวัคซีนให้มีประสิทธิภาพ เพื่อต้นทุนการขนส่งที่ต่ำ

ถิรวัดน์ เกนโรจน์<sup>1</sup>, เขมศักดิ์ บุญเรือง<sup>2</sup> และ คณศ พันธุ์สวาสดี<sup>3</sup>

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

Received: 2 May 2022; Revised: 13 November 2022; Accepted: 14 November 2022

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการระหว่าง วิธี Center of gravity และ วิธี K-means clustering ซึ่งมีโจทย์ที่ใช้ทดสอบเป็นการ หาศูนย์กระจายและการจัดเส้นทางการขนส่งวัคซีนป้องกันเชื้อไวรัส Covid-19 ให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำ โดยเริ่มจากการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการหาศูนย์กระจายวัคซีน 2 รูปแบบ ระหว่าง วิธี Center of gravity และ วิธี K-means clustering หลังจากนั้นการจัดเส้นทางการขนส่ง ด้วยวิธี Genetic algorithm มีวัตถุประสงค์เพื่อกระจายวัคซีนให้ มีต้นทุนต่ำ โดยมีสมมติฐานเบื้องต้นว่า เมื่อระยะทางขนส่งยิ่งสั้นก็จะใช้ต้นทุนในการกระจายวัคซีนน้อย ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ของวิธี Center of gravity ดังนี้ โดยหลังจากผ่านกระบวนการในการ Clustering กระบวนการหาศูนย์กระจายด้วยวิธี Center of gravity และกระบวนการในการแบ่งจำนวนเส้นทางรวมถึงการจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธี Genetic algorithm ผลที่ได้คือ มีจำนวนศูนย์กระจายวัคซีน 6 ศูนย์ จำนวนเส้นทางในการเดินทางสำหรับขนส่งวัคซีน 25 เส้นทาง และมีระยะทางรวม 8,250 กิโลเมตร ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี K-means clustering ซึ่งผ่านกระบวนการลักษณะเดียวกันกับ การวิเคราะห์ของวิธี Center of gravity คือ ผ่านกระบวนการในการ Clustering และหาศูนย์กระจายด้วยวิธี K-means clustering และผ่านกระบวนการในการแบ่งจำนวนเส้นทางรวมถึงการจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธี Genetic algorithm ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า มีจำนวนศูนย์กระจายวัคซีน 6 ศูนย์ จำนวนเส้นทางในการเดินทางสำหรับขนส่งวัคซีน 26 เส้นทาง มีระยะทางรวม 7,501.5 กิโลเมตร จะเห็นได้ว่ามีระยะทางรวมที่น้อยกว่า วิธี Center of gravity ถึง 740 กิโลเมตร เนื่องจากวิธี K-means clustering จะมีการ Clustering โดยจะคำนึงถึงเรื่องระยะทางระหว่างกลุ่มด้วย จึงทำให้มีระยะทางที่น้อยกว่า ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกผลของ K-means Clustering เป็นแนวทางในการขนส่งวัคซีน เนื่องจากมีระยะทางรวมในการขนส่งวัคซีนที่สั้นกว่าวิธี Center of gravity จึงคาดว่าจะมีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่าเช่นกัน

**คำสำคัญ:** การหาศูนย์กระจาย, การจัดเส้นทางขนส่ง, การจับกลุ่ม K-mean, ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม, จุดศูนย์กลางความถ่วง

\* Corresponding author. E-mail: genroj\_t@silprakorn.edu, boonrueng\_k @silprakorn.edu, ploydanai\_k @su.ac.th

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>3</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร



## Locating Distribution Centers and Planning Effective Routes for Vaccine Distribution for Low Transportation Costs

Thirawat Genroj<sup>1</sup>, Khasemsak Boonrueng<sup>\*2</sup> and Kanate Puntusavase<sup>\*3</sup>

Faculty of engineering and industrial technology, Silpakorn University, Muang,  
Nakhon Pathom 73000

Received: 2 May 2022; Revised: 13 November 2022; Accepted: 14 November 2022

### Abstract

This paper is a comparative study of the process between the Center of gravity method and the K-means clustering method. Finding distribution centers and routing of Covid-19 vaccines to have low transportation costs, starting from the study of finding vaccine distribution centers into 2 models. Methods of data analysis using the Center of Gravity and data analysis using K-means Clustering. After that, the transportation route will use a genetic algorithm. The genetic algorithm aims to distribute vaccines cost-effectively with the idea that when transport distances are short, transportation costs are reduced. It will be analyzed and compared to finding a distribution center to be able to find shorter distances in transport, which results from the analysis. Compare both methods. The method of data analysis uses the center of gravity. There are 6 vaccine distribution centers and 25 routes for transporting vaccines with a total distance of 8,250 kilometers. The data was analyzed using the K-means clustering method. There were 6 vaccine distribution centers with 26 routes for transporting vaccines with a total distance of 7,501.5 kilometers. The researcher, therefore, chose the effect of K-means Clustering as a guideline for vaccine transport because it can provide a transport route with a shorter total distance for vaccine delivery than the Center of gravity method.

**Keywords:** location for distribution, routing, K-means clustering, center of gravity, genetic algorithm

---

\* Corresponding author. E-mail: genroj\_t@silprakorn.edu, boonrueng\_k@silprakorn.edu, ploydanai\_k@su.ac.th

1 Faculty of Engineering and Management, Silpakorn University

2 Faculty of Engineering and Management, Silpakorn University

3 Faculty of Engineering and Management, Silpakorn University

## 1. บทนำ

ผู้วิจัยเริ่มจัดทำในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 ซึ่งเป็นช่วงที่ประเทศไทยกำลังประสบปัญหาการระบาดของเชื้อไวรัส Covid-19 โดยเกิดการระบาดตั้งแต่ปี 2562 จึงสร้างความกังวลให้กับประชากรภายในประเทศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพ รวมถึงระบบเศรษฐกิจภายในประเทศไทย แ่ลงโดยธนาคารโลกคาดการณ์ว่าแนวโน้มผลิตภัณฑ์มวลรวมประชาชาติ (GDP) ของประเทศไทย หดตัวร้อยละ 5 [1] เนื่องจากหลายธุรกิจต้องปิดตัวลง เพราะต้องหยุดชะงักอย่างกะทันหันเนื่องจากบุคลากรในองค์กรมีการติดเชื้อของ Covid-19 เพื่อป้องกันการติดเชื้อของ Covid-19 ทางรัฐบาลจึงมีการจัดซื้อวัคซีนเพื่อป้องกัน Covid-19 โดยกระจายไปทั่วทุกจังหวัดของประเทศไทย

สำหรับการการรับวัคซีนต้องรับอย่างต่ำ 2 โดสเป็นอย่างต่ำ ซึ่งประชากรประเทศไทยมีทั้งหมด 69.8 ล้านคน เท่ากับว่าต้องการวัคซีนอยู่ที่ 139.6 ล้านโดส แต่มีการเข้ารับวัคซีนโดสที่ครบสองเข็มเพียง 19.8 ล้านคน คิดเป็น 28.37 เปอร์เซ็นต์ ณ วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2564



รูปที่ 1 จำนวนผู้ได้รับวัคซีน [2]

จากข้างต้นพบว่ายังมีประชากรขาดวัคซีนอีกเป็นจำนวนมากทำให้ยังต้องกระจายวัคซีนอีกเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ครอบคลุมทั่วประเทศไทย ซึ่งจะตามมาด้วยต้นทุนต่าง ๆ หนึ่งในนั้นคือต้นทุนการกระจายวัคซีนซึ่งจะต้องทำการกระจายในรูปแบบ Cold Chain ประกอบด้วย 2 ต้นทุนหลัก ต้นทุนด้านการเก็บรักษาในการจัดเก็บ และต้นทุนด้านการขนส่ง

ดังนั้นผู้วิจัยสนใจที่ศึกษาการวางแผนการขนส่งในการกระจายวัคซีน โดยจะทำการศึกษารูปแบบของการกระจายวัคซีน 2 รูปแบบ เพื่อทำการพิสูจน์ว่ารูปแบบใดมีประสิทธิภาพมากกว่ากัน ในการลดต้นทุนที่เกิดจากระยะทางในการขนส่ง ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบ จะพิจารณาประเภทรถที่ใช้ขนส่ง และกล่องที่ใช้บรรจุวัคซีนที่เหมือนกัน โดยวิธีการเริ่มจากการจัดกลุ่มของจังหวัดในประเทศไทย แล้วหาตำแหน่งของที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าในแต่ละกลุ่มของประเทศไทย และจัดเส้นทางการเดินทางเพื่อหาระยะทางรวมในการขนส่งที่เหมาะสม โดยระยะทางรวมในการขนส่งที่เหมาะสม คือ เส้นทางในการขนส่งที่มีระยะทางรวมในการขนส่งที่สั้น และมีการเลือกใช้รถที่เหมาะสมกับการขนส่งวัคซีนรวมทั้งมีปริมาณบรรทุกที่ไม่น้อยหรือไม่มากจนเกินไปกับขนาดรถที่ใช้ เพื่อกระจายวัคซีนโดยมีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำ

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย คือ รูปแบบการขนส่ง โดยใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบใช้รถมัลติครัน คือ เป็นการใช้อัตราบรรทุกวิ่งไปรับวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบหลายราย เพื่อนำมาขนถ่ายแล้วกลับไปคืน และรับวัตถุดิบกลับมา ซึ่งการรับวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบแต่ละรายอาจเป็นการบรรทุกแบบไม่เต็มคัน เมื่อรวมกับปริมาณของวัตถุดิบจากผู้จัดส่งวัตถุดิบรายอื่นที่มีปริมาณการจัดส่งวัตถุดิบที่ต่างกกัน ก็จะทำให้เต็มรถพอดี

### 2.1 การแบ่งกลุ่มข้อมูล Clustering และเลือกที่ตั้งศูนย์กระจาย

#### 2.1.1 วิธีวิเคราะห์ Center of gravity [3]

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การหาจุดศูนย์กลาง (Center of gravity) เป็นวิธีในการหาตำแหน่งที่ให้ต้นทุนต่ำที่สุดในกรณีที่ต้องขนส่งไปยังจุดปลายทางหลายแห่ง โดยวิธีวิเคราะห์จุดศูนย์กลางจะทำการวิเคราะห์ต้นทุนในการกระจายสินค้าเป็นระยะทาง และปริมาณสินค้าที่ทำการจัดส่งให้กับจุดปลายทาง โดยมีสูตรในการคำนวณ

$$\bar{x} = \frac{\sum Qi \times xi}{\sum Qi} \quad (1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum Q_i \times y_i}{\sum Q_i} \quad (2)$$

โดยที่  $Q_i$  คือ ความต้องการที่จัดส่งไปยังจุดปลายทาง  $i$   
 $x_i, y_i$  คือ ตำแหน่งแกน X, Y ของจุดปลายทาง  $i$   
 $\bar{x}, \bar{y}$  คือ จุดศูนย์กลางของตำแหน่งแกน X, Y

### 2.1.2 วิธีวิเคราะห์ K-means clustering [4]

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธี K-means clustering เป็นวิธีจัดกลุ่มตามคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน จะกำหนดจุดกึ่งกลางแต่ละกลุ่มข้อมูลจุดกึ่งกลาง คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด และพิทักเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิต

การจัดกลุ่มแบบนี้มีเงื่อนไข คือ ต้องกำหนดจำนวนกลุ่มไว้ก่อน จากนั้นโปรแกรมจะเลือกข้อมูลเข้าแต่ละกลุ่ม โดยสุดท้ายแล้วกลุ่มที่ได้ จะเป็นกลุ่มแยกจากกัน ไม่ซ้อนทับกัน โดยการจัดกลุ่มจะทำการคำนวณระยะห่างยุคลิดเป็นระยะห่างแบบยุคลิดระหว่างจุดสองจุด  $p$  และ  $q$  คือ ความยาวของส่วนของเส้นตรง  $p, q$  ดังสมการที่ 3

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} \quad (3)$$

โดยที่  $p$  คือ ตำแหน่งของจุดที่หนึ่ง  
 $q$  คือ ตำแหน่งของจุดที่สอง  
 $n$  คือ จำนวนคุณลักษณะของข้อมูลแต่ละชุด

โดยจะกำหนดจุดกึ่งกลางด้วยการสุ่มในรอบแรก และทำการวัดระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลาง โดยจัดสมาชิกที่มีค่าห่างจากจุดกึ่งกลางน้อยไว้กลุ่มเดียวกัน ดังสมการที่ 4

$$s_i^{(l)} = \{x_p : \|x_p - m_i^{(l)}\|^2 \leq \|x_p - m_j^{(l)}\|^2 \forall j, 1 \leq j \leq k\} \quad (4)$$

ซึ่งจุดกึ่งกลางจะปรับค่าใหม่ในทุก ๆ รอบโดยจุดกึ่งกลางในรอบถัดไป คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลสมาชิกเดิมทั้งหมด ดังสมการที่ 5

$$m_i^{(t+1)} = \frac{1}{|s_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in s_i^{(t)}} x_j \quad (5)$$

### 2.2 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) [5]

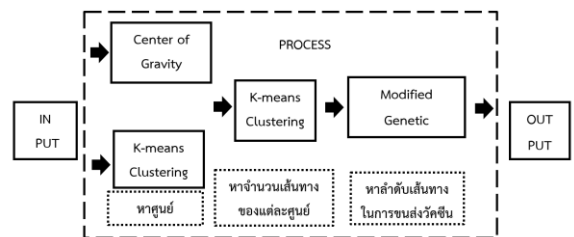
ส่วนปัญหาในการหาระยะทางในการเดินทางในการขนส่ง ผู้วิจัยได้ใช้วิธี Genetic algorithm เป็นวิธีหา

คำตอบที่เหมาะสม โดยมีแนวคิดที่ว่า ยีนของสิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงจะมีโอกาสในการสร้างทายาทจากรุ่นสู่รุ่นมากกว่า ยีนของสิ่งมีชีวิตที่ไม่แข็งแรง โดยการพิจารณาในการหาคำตอบของประชาชนรุ่นถัดมา ซึ่งจะถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากบรรพบุรุษไปสู่รุ่นลูกหลานโดยใช้ค่า Fitness function ที่ สอดคล้องกับ Objective function ในการพิจารณาหาคำตอบโดยมีการพิจารณาว่า โครโมโซมใดควรที่จะนำมาสืบพันธุ์ หรือไม่ควรนำมาสืบพันธุ์ จะทำให้สามารถหาคำตอบที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดที่สมบูรณ์ได้โดยการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจะมีกระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า วิวัฒนาการ นั่นคือ กระบวนการ Selection, Crossover, Mutation โดยคำนวณหาค่าความเหมาะสม Fitness Function ในการหาคำตอบทุกบริเวณของปัญหา องค์ประกอบวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) องค์ประกอบที่สำคัญ 6 ส่วนด้วยกัน

1. ประชากรต้นกำเนิด (Initial population)
2. รูปแบบโครโมโซม (Chromosome encoding)
3. ค่าความเหมาะสม (Fitness function)
4. การคัดเลือก (Selection)
5. การสลับสายพันธุ์ (Cross over)
6. การกลายพันธุ์ (Mutation)

### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้วางแผนการดำเนินงานเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามระบบผู้วิจัยจะทำการ Clustering และทำการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายวัคซีน โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบเมื่อทำการจัดกลุ่มและหาที่ตั้งศูนย์กระจายแล้ว จะทำการหาเส้นทางการเดินทางในแต่ละรูปแบบให้มีระยะทางรวมที่สั้น และนำระยะทางทั้ง 2 รูปแบบมาเปรียบเทียบกัน สรุปได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 ศึกษาข้อมูลวัคซีนและพาหนะที่ใช้ขนส่ง

จากการศึกษาผู้วิจัยทำการวางแผนปรับปรุงแก้ไข ปัญหาการกระจายวัคซีนป้องกันการติดเชื้อของ Covid-19 ไปยังทุก ๆ จังหวัดภายในประเทศไทยประกอบด้วย 77 จังหวัดจากนั้นทำการศึกษาข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น เช่น ขนาดของรถทำความเย็นที่ใช้ในการขนส่ง และ ปริมาณของวัคซีนต่อขวด และ 1 ขวดสามารถฉีดได้ทั้งหมดกี่โดส แล้วจึงทำการคำนวณหาว่าแต่ละจังหวัดต้องการวัคซีนกี่ขวด ซึ่งการศึกษาพบว่าวัคซีน Astra Zeneca 1 ขวด มีสารละลายยาปริมาตร 5 มิลลิเมตร สามารถฉีดได้ทั้งหมด 10 โดส [8] และจะขนส่งเป็นกล่องเพื่อรักษาอุณหภูมิโดยกล่องที่ผู้วิจัยใช้พิจารณาจะมีขนาด 0.013 ลูกบาศก์เมตร โดยที่ 1 กล่อง บรรจุวัคซีน 240 ขวด และต้องรักษาอุณหภูมิระหว่าง 4-8 องศาเซลเซียส [7] พาหนะที่ใช้ขนส่งมี 3 ขนาด โดยความจุของรถ สรุปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลขนาดรถและปริมาณวัคซีน

ขนาดรถ	ขนาดของรถ (ลูกบาศก์เมตร)	จำนวนบรรจุทุก (กล่อง)
รถบรรจุทุก 10 ล้อ	38.46	2,958
รถบรรจุทุก 6 ล้อ	34.80	1,907
รถกระบะ 4 ล้อ	8.33	640

### 3.2 การแบ่งกลุ่มข้อมูล Clustering แต่ละจังหวัด และเลือกที่ตั้งในการกระจายวัคซีน

เนื่องจากถ้าไม่ทำการ Clustering และทำการหาลำดับการขนส่ง ทั้ง 77 จังหวัด จะทำให้ระยะทางสูงเกินไปทำให้ไม่เหมาะสมในการปฏิบัติจริง จึงต้องมีการ Clustering จังหวัดในประเทศไทยก่อน

#### 3.2.1 การดำเนินงานด้วย Center of gravity

โดยวิธี Center of gravity จะสามารถหาจุดกึ่งกลางซึ่งที่เป็นศูนย์กระจายได้เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถทำการ Clustering ได้ ทำให้ผู้วิจัยต้องทำการ Clustering ตามจำนวนภูมิภาคของประเทศไทยนั้น คือ 6 ภาค จากนั้นจึงจะทำการหาที่ตั้งศูนย์กระจายทั้ง 6 ภาค โดยจะใช้ความต้องการในแต่ละจุดคูณด้วยพิกัดของตำแหน่งสถานที่นั้น

หารด้วยความต้องการทั้งหมดตั้งสมการ (1) และ (2) โดยข้อมูลที่ใช้พิจารณาในขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วย ละติจูด, ลองจิจูดและความต้องการวัคซีนของแต่ละจังหวัด ตัวอย่างดังตารางที่ 2

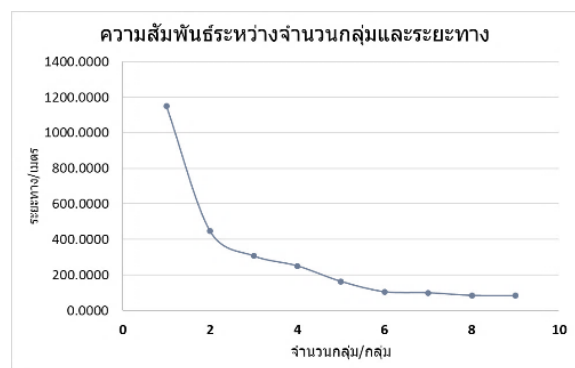
ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลที่ต้องใช้พิจารณา Center of gravity

จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด	ความต้องการวัคซีน
1.เชียงราย	19.933	99.815	1,076 กล่อง
2.เชียงใหม่	18.786	98.991	1,300 กล่อง
.	.	.	.
.	.	.	.
77.ยะลา	6.534	101.267	440 กล่อง

ซึ่งผลที่ได้จะเป็นในลักษณะของละติจูด , ลองจิจูด เมื่อนำไปค้นหาใน Google map อาจเป็นพื้นที่ที่รกร้างผู้วิจัยจึงอิงตามโรงพยาบาลประจำจังหวัด เช่น พิกัดตกในพื้นที่รกร้างของจังหวัดน่านก็ยึดตามโรงพยาบาลน่านที่เป็นโรงพยาบาลประจำจังหวัด

#### 3.2.2 การดำเนินงานด้วย K-means clustering

เนื่องจากการดำเนินงานด้วย K-means clustering จะให้ผลทั้งการ Clustering และหาจุดกึ่งกลางที่เป็นศูนย์กระจาย ซึ่งจำนวนกลุ่มย่อยผู้วิจัยต้องกำหนดเอง โดยผู้วิจัยจะเลือกจำนวนศูนย์กระจายที่ส่งผลให้ระยะทางรวมน้อยและจำนวนศูนย์กระจายจะต้องสมเหตุสมผลกับระยะทางพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกลุ่ม และระยะทาง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกลุ่มและระยะทาง

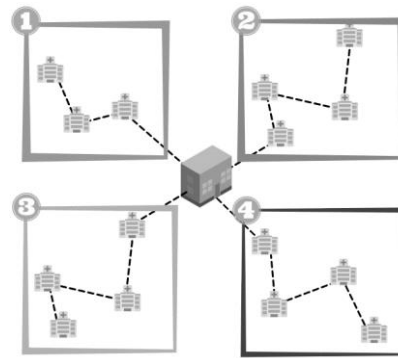
จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนศูนย์กระจาย จะส่งผลให้ระยะทางค่อย ๆ ลดลง แต่เมื่อเพิ่มจำนวนศูนย์กระจายจนถึงจุด ๆ หนึ่ง จำนวนศูนย์กระจาย จะเริ่มส่งผลต่อระยะทางที่น้อยลง โดยผู้วิจัยจะเลือกจำนวนศูนย์กระจายที่ส่งผลให้ระยะทางรวมน้อย ซึ่งจำนวนศูนย์กระจายที่เหมาะสมจากกราฟ คือ 6 ศูนย์ เนื่องจากเพิ่มศูนย์กระจายมากกว่า 6 ศูนย์ก็จะส่งผลให้ระยะทางลดลงได้ไม่มากเท่าที่ควร และยังมีข้อมูลอื่นที่ต้องทราบในกระบวนการ

K-means clustering เบื้องต้นจะใช้ข้อมูลแบบเดียวกับตารางที่ 2

ซึ่งผลที่ได้จะได้ตำแหน่งของศูนย์กระจายเป็นในลักษณะของละติจูด (x) ,ลองจิจูด (y) ทางผู้วิจัยจะอิงตามโรงพยาบาลประจำจังหวัดเช่นเดียวกับการดำเนินงานด้วย Center of gravity

### 3.3 การหาจำนวนเส้นทางที่เหมาะสม

เนื่องจากความจุของรถมีขนาดจำกัด หากขนส่งที่เดียวจะเกินความจุรถ ทำให้จำเป็นต้องมีการแบ่งสายรถเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการขนส่งในแต่ละครั้ง โดยทางผู้วิจัยจะใช้วิธี K-means Clustering เป็นตัวช่วยในการพิจารณาอีกครั้งโดยจะใช้คล้ายกับ K-means Clustering ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม และหาศูนย์กระจายต่างกันใน Input โดยจะเป็นพิกัดของสมาชิกแต่ละศูนย์ เพื่อดูว่าสมาชิกใดบ้างที่ควรจัดให้อยู่เส้นทางเดียวกัน ซึ่งจำนวนเส้นทางจะพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเส้นทาง และระยะทางในลักษณะเดียวกับรูปที่ 3 แต่ใช้เป็นเพียงแนวทางในการปฏิบัติเท่านั้นอาจมีการเพิ่มขึ้นจำนวนเส้นทางได้ ตัวอย่างดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างการใช้ K-means clustering หาจำนวนเส้นทาง

จะเห็นได้ว่าสมาชิกที่อยู่ใกล้กันจะถูกจัดให้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน

### 3.4 การหาลำดับขนส่งของแต่ละเส้นทางด้วยวิธี Modified Genetic Algorithm (MGA)

เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการจำแนกกลุ่มและหาศูนย์กระจายของทั้ง 2 วิธี ทำให้ทราบจำนวนกลุ่มของประเทศไทย และที่ตั้งศูนย์กระจายรวมถึงจำนวนเส้นทางแต่ละกลุ่ม ของทั้ง 2 วิธี จากนั้นทำการหาลำดับเส้นทางของแต่ละเส้น โดยทำทุกเส้นของทุกกลุ่มทั้ง 2 วิธี

1. กำหนดจำนวนประชากร (Initial population) โดยผู้วิจัยจะมีการกำหนดให้สอดคล้องกับขนาดของปัญหา ถ้าต้องขนส่งหลายที่จำนวนประชากรจะเยอะตาม
2. การกำหนดรูปแบบโครโมโซม (Chromosome Encoding) โดยความยาวของโครโมโซมจะยาวเท่ากับจำนวนจังหวัดที่ต้องขนส่งจากโจทย์ และ แต่ละจังหวัดจะมีเลขโครโมโซมของตัวเอง ซึ่งมาจากการสุ่มเลข 0-1000 ยกเว้นตำแหน่งแรกเนื่องจากการขนส่งมีเงื่อนไขต้องออกจากศูนย์กระจายเสมอ จากนั้นทำการเรียงลำดับการขนส่ง โดยให้จังหวัดที่มีเลขยีนเยอะเริ่มก่อน ต่อมาทำการคำนวณหาระยะทางของแต่ละโครโมโซม

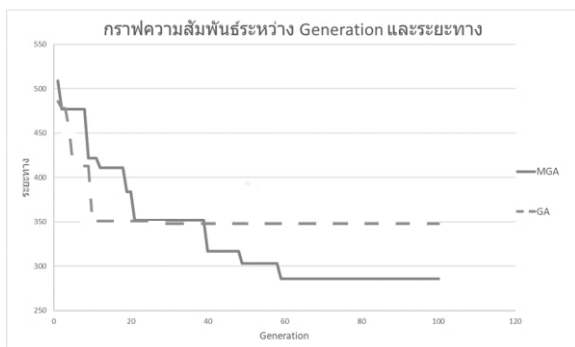
3. ค่าความแข็งแรง (Fitness Function) โดยจะกำหนดให้โครโมโซมที่มีระยะทางมากมีค่าความแข็งแรงน้อย โดยการกำหนดเลข 10,000 และนำมาหารด้วยระยะทางของโครโมโซมแต่ละตัว และแจกความน่าจะเป็น ที่จะถูกเลือกให้กับโครโมโซมแต่ละตัว

4. การคัดเลือก (Selection) เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมทั้งหมด 3 ตัวซึ่งต่างจาก Genetic Algorithm ดั้งเดิมที่จะทำการคัดเลือกโครโมโซมแค่ 2 ตัวเท่านั้น โดยพิจารณาจากความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือก เพื่อนำมาเป็นโครโมโซมพ่อแม่

5. การสลับสายพันธุ (Crossover) โดยผู้วิจัยจะทำการ Crossover โครโมโซม ทั้งหมด 3 ตัว และตำแหน่งที่จะทำการ Crossover จะมาจากการสุ่มว่าลูกที่ออกมาจะมียีนของพ่อที่ตำแหน่งและมียีนของแม่ตัวที่ 1 และ 2 ที่ตำแหน่ง

6. การกลายพันธุ์ (Mutation) โดยผู้วิจัยจะกำหนดเปอร์เซ็นต์การ Mutation ซึ่งแต่ละรอบจะมีเปอร์เซ็นต์ไม่เท่ากัน เช่น รอบแรกอาจจะ Mutation โครโมโซมตัวที่ความน่าจะเป็นไม่ถึง 10 % รอบถัดอาจจะ Mutation โครโมโซมตัวที่ความน่าจะเป็นไม่ถึง 25 % ก็ได้

จากการทดสอบระหว่างวิธี Genetic Algorithm และ Modified Genetic Algorithm ผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบ Genetic algorithm

โดยมี ข้อมูลที่ ต้องใช้ในขั้นตอน Modified Genetic algorithm คือระยะทางระหว่างจังหวัดหนึ่งถึงอีกจังหวัดหนึ่ง ของสมาชิกแต่ละเส้นทาง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอน Modified genetic algorithm

กลุ่ม1	กาฬสินธุ์	ขอนแก่น	ชัยภูมิ
กาฬสินธุ์	0	81.6	205
ขอนแก่น	81.6	0	126
ชัยภูมิ	205	126	0

ผลที่ได้จะเป็นลำดับการผ่านจังหวัดทางแต่ละเส้นทาง โดยเมื่อได้ผลมาแล้วทำการหารระยะทางรวมของทั้ง 2 วิธี เพื่อเปรียบเทียบว่าวิธีใดเหมาะสม

#### 4.ผลการดำเนินงาน

จากการ Clustering ด้วยวิธี Center of gravity โดยวิธีนี้จำนวนกลุ่มจะจัดตามภาคที่มีอยู่ในประเทศไทย จึงทำให้ผลที่ได้มีจำนวนศูนย์กระจายวัดขึ้น 6 ศูนย์ มีเส้นทางในการขนส่งวัดขึ้น 25 เส้นทาง จำนวนรถ 26 คัน มีระยะทางรวม 8,250.3 กิโลเมตร โดยมีรายละเอียดที่ตั้งศูนย์กระจายแสดง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลจากการดำเนินงานด้วยวิธี Center of Gravity

ภาค	จังหวัด	สถานที่ศูนย์กระจาย
กลาง	อ่างทอง	รพ.วิเศษชัยชาญ
เหนือ	ลำปาง	รพ.ลำปาง
ตะวันออก	จังหวัดชลบุรี	รพ.ชลบุรี
อีสาน	มหาสารคาม	รพ.มหาสารคาม
ตะวันตก	กาญจนบุรี	รพ.พหลพลพยุหเสนา
ใต้	นครศรีธรรมราช	รพ.นครศรีธรรมราช

รายละเอียดจำนวนรถและจำนวนเส้นทางรวมถึงระยะทาง ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลจากการดำเนินงานด้วยวิธี Center of gravity

ภาค	วัดขึ้นที่ส่ง (กล่อง)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ขนาดรถที่ใช้ 4- 6-10 ล้อ
เหนือ	5,189	926	0 - 0 - 2 คัน
อีสาน	16,186	2,608	1 - 0 - 6 คัน
ตะวันออก	3,360	650.3	0 - 3 - 0 คัน
กลาง	16,032	1,867	1 - 3 - 4 คัน
ใต้	6,456	1,403	1 - 2 - 1 คัน
ตะวันตก	2,017	796	1 - 1 - 0 คัน

จากการ Clustering ด้วยวิธี K-means clustering มีจำนวนศูนย์กระจายวัดขึ้น 6 ศูนย์ มีเส้นทางในการขนส่งวัดขึ้น 26 เส้นทาง จำนวนรถ 27 คัน และมีระยะทางรวม 7,501.5 กิโลเมตร ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการดำเนินงานด้วยวิธี K-means clustering

กลุ่มที่	จังหวัด	สถานที่ศูนย์กระจาย
1	พัทลุง	รพ.พัทลุง
2	แพร่	รพ.แพร่
3	กาฬสินธุ์	รพ.กาฬสินธุ์
4	ชุมพร	รพ.ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
5	ลพบุรี	รพ.ลพบุรี
6	สมุทรปราการ	รพ.สมุทรปราการ

รายละเอียดจำนวนรถและจำนวนเส้นทางรวมถึงระยะทาง ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนรถและจำนวนเส้นทางรวมถึงระยะทาง

กลุ่มที่	วัดขึ้นที่ส่ง (กล่อง)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ขนาดรถที่ใช้ 4- 6-10 ล้อ
1	2,783	1,066.6	0 - 2 - 1 คัน
2	1,953	1,952.7	0 - 4 - 1 คัน
3	13,560	1,743.4	0 - 4 - 3 คัน
4	1,464	514	0 - 1 - 1 คัน
5	8,154	1,010	0 - 2 - 2 คัน
6	13,740	1,214	0 - 2 - 4 คัน

เมื่อได้ผลลัพธ์ทั้ง 2 รูปแบบแล้ว จะนำมาเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลเปรียบเทียบระยะทางระหว่างวิธี Center of Gravity กับวิธี K-means clustering

วิธีการเลือกที่ตั้ง	จำนวนเส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
Center of gravity	25 เส้นทาง	8,127
K-means clustering	26 เส้นทาง	7,501

จากผลที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทาง การเดินทางทั้งสองรูปแบบ จะมีจำนวนของศูนย์กระจายวัดขึ้นกับเส้นทางในการขนส่งวัดขึ้นมีจำนวนที่ใกล้เคียงกัน แต่ในเรื่องของระยะทางรวมในการขนส่งนั้นรูปแบบที่ 2 ซึ่งเป็นการ Clustering และเลือกศูนย์กระจายด้วยวิธี K-means clustering จะมีระยะทางรวมน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ที่เป็นการ Clustering และเลือกศูนย์กระจายด้วยวิธี Center of gravity และมีการใช้ที่มีขนาดแตกต่างกันแสดงดัง ตารางที่ 9

ตารางที่ 9 จำนวนรถที่ใช้ทั้งหมด

วิธีการเลือกที่ตั้ง	รถ 4 ล้อ	รถ 6 ล้อ	รถ 10 ล้อ
Center of gravity	4 คัน	9 คัน	13 คัน
K-means clustering	1 คัน	15 คัน	11 คัน

จากตารางจะแสดงให้เห็นถึง ประเภทของรถที่ใช้ของแต่ละรูปแบบ

## 5. สรุปผล

ผลจากการดำเนินงานวิจัยพบว่าการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Center of gravity มีจำนวนศูนย์กระจายวัคซีน 6 ศูนย์ มีจำนวนเส้นทางในการเดินทางสำหรับขนส่งวัคซีน 25 เส้นทาง ใช้รถ 26 คันในการขนส่ง ประกอบด้วยรถ 4 ล้อ 4 คัน รถ 6 ล้อ 9 คัน รถ 10 ล้อ 13 คัน มีระยะทางรวม 8,250 กิโลเมตร และการวิเคราะห์โดยวิธี K-means clustering มีจำนวนศูนย์กระจายวัคซีน 6 ศูนย์ มีเส้นทางในการเดินทางสำหรับขนส่งวัคซีน 26 เส้นทาง ใช้รถ 27 คันในการขนส่ง ประกอบด้วยรถ 4 ล้อ 1 คัน รถ 6 ล้อ 15 คัน รถ 10 ล้อ 11 คัน มีระยะทางรวม 7,501 กิโลเมตร โดยผู้วิจัยคาดว่าที่ผลเป็นเช่นนี้ เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี Center of gravity ไม่สามารถทำการ Clustering ได้ ทำให้เพียงการหาที่ตั้งศูนย์กระจาย ผู้วิจัยจึง Clustering ตามภูมิภาคที่มีอยู่เดิมซึ่งจะเป็นการแบ่งตามภูมิศาสตร์ไม่คำนึงถึงเรื่องระยะทาง แต่ในส่วนของวิธี K-means clustering สามารถทำได้ทั้งการ Clustering และการหาที่ตั้งศูนย์กระจาย โดยจะคำนึงถึงเรื่องระยะทางระหว่างกลุ่มทำให้มีระยะทางที่น้อยกว่า วิธีวิเคราะห์แบบ Center of gravity ซึ่งคาดว่าระยะทางที่น้อยจะสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งในการกระจายวัคซีนได้ และทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของวิธีการในการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายของ 2 รูปแบบที่นำมาเปรียบเทียบระหว่าง Center of gravity และ K-means clustering

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณศ พันธุ์สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศิลปากร บริษัท กรณีศึกษา และสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์วิจัย และนวัตกรรมแห่งชาติที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ตัวอย่างการอ้างอิงจากวารสาร

## 7. เอกสารอ้างอิง

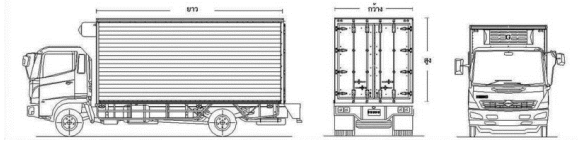
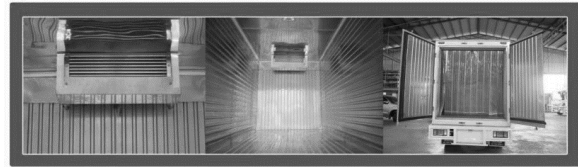
- [1] กิริยา กุลกลการ, อนันต์ ภาวสุทธิพิศิฐ และ ศุภธาดา นพวิญญูวงศ์, “ผลกระทบของ COVID-19 ต่อการส่งเสริมการมีงานทำ,” สำนักงานศูนย์วิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553.
- [2] กรมควบคุมโรค, “สถานการณ์ผู้ติดเชื้อ COVID-19 ภายในประเทศ,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/>. [วันที่เข้าถึง 26 เมษายน 2565].
- [3] พัชรธิดา ศิริเลี้ยง และ ปารวี จารุพันธ์, “การเลือกทำเลที่ตั้งเพื่อจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า กรณีศึกษา : บริษัทจัดส่งสินค้าอุปโภคบริโภค,” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2562.
- [4] สุชาติ ปลั่งศรี, “การจัดกลุ่มขนาดผลิตภัณฑ์ โดยการ ใช้ K-means clustering เพื่อลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์,” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2562.
- [5] ไพจิตร อุปลัมภ์, “การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ : กรณี ศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา อำเภอมัญจาคีรีจังหวัดขอนแก่น,” ปรินญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2556.



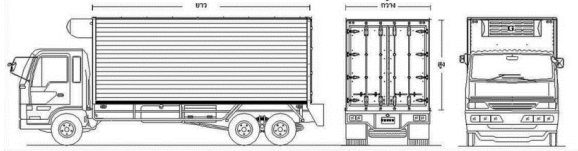
[6] กรมควบคุมโรค, “แนวทางการให้วัคซีนโควิด 19 ในสถานการณ์การระบาด ปี 2564 ของประเทศไทย ฉบับปรับปรุง ครั้งที่ 1,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://ddc.moph.go.th/vaccine-covid19/getFiles/11/1628849610213.pdf>. [วันที่เข้าถึง 26 เมษายน 2565].

[7] อุไรวรรณ คำภูแสน และ รัฐพล สังคะสุข, “การจัดการเส้นทางการกระจายวัคซีนไปยังโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล กรณีศึกษาอำเภอวังโป่ง จังหวัดเพชรบูรณ์,” ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร, 2560.

[8] บริษัท แอสตรา เซนเนกา (ประเทศไทย) จำกัด, “วัคซีนโควิด-19 แอสตราเซนเนกา (covid-19 vaccine astrazeneca),” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.azcovid-19.com/content/dam/azcovid/pdf/thailand/th-hcp-injection-manual-azd1222.pdf>. [วันที่เข้าถึง 11 สิงหาคม 2564].



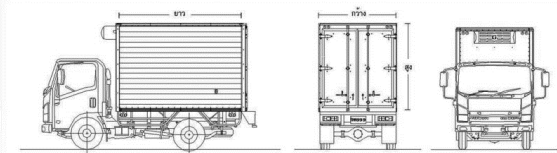
รูปที่ ผ2 รายละเอียดรถขนาด 6 ล้อ



รูปที่ ผ3 รายละเอียดรถขนาด 10 ล้อ

## 8. ภาคผนวก

โดยรถทำความเย็นที่ใช้พิจารณาในการขนส่งมีทั้งหมด 3 ขนาด ดังรูป



รูปที่ ผ1 รายละเอียดรถขนาด 4 ล้อ

## การพยากรณ์ระยะเวลาการเดินทางด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้ข้อมูลจากพาทนะ และโทรศัพท์มือถือในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

ปวาริส เวชวรรณกิจกุล<sup>\*1</sup> และ พิศิษฐ์ จารุมนีโรจน์<sup>2</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

Received: 2 May 2022; Revised: 4 October 2022; Accepted: 25 October 2022

### บทคัดย่อ

การขนส่งไปยังลูกค้าปลายทาง (Last mile delivery) ถือเป็นหนึ่งในกระบวนการขนส่งสินค้าที่สำคัญ ที่ครอบคลุมต้นทุนกว่าร้อยละ 75 ของห่วงโซ่อุปทาน อย่างไรก็ตาม การขนส่งในกระบวนการดังกล่าวกลับมีประสิทธิภาพที่ค่อนข้างต่ำ อันเป็นผลเนื่องจากความไม่แน่นอนของระยะเวลาการเดินทางที่แปรเปลี่ยนไประหว่างวัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาต้นแบบการพยากรณ์ระยะเวลาการเดินทางระหว่างจุดด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง โดยอาศัยข้อมูลตำแหน่งพาทนะ และโทรศัพท์มือถือของรถแท็กซี่ ที่เก็บโดยมูลนิธิศูนย์ข้อมูลจราจรอัจฉริยะไทย (ITIC) เป็นกรณีศึกษา ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการจำกัดขอบเขตของการศึกษา โดยคัดเลือกเฉพาะข้อมูลของรถแท็กซี่ที่กำลังรับส่งผู้โดยสาร ที่มีพิกัดอยู่ภายในบริเวณกรุงเทพมหานครจำนวน (4.8 ล้าน) ข้อมูล ไปสร้างต้นแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องผ่านอัลกอริทึมแบบต่าง ๆ โดยใช้วิธี k-fold cross validation ในการแบ่งข้อมูลเพื่อลดปัญหา overfitting ผู้วิจัยพบว่าต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจากอัลกอริทึม XGBoost ซึ่งมีค่า RMSE อยู่ที่ 163.3069 และใช้เวลาในการสร้างต้นแบบเพียง 14.51 วินาที อย่างไรก็ตาม ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นด้วยอัลกอริทึม LightGBM และ CatBoost ก็มีแนวโน้มที่ดีในการนำไปพัฒนาต่อ เนื่องจากให้ค่า RMSE และใช้เวลาในการสร้างต้นแบบที่ค่อนข้างค่อนข้างต่ำ

**คำสำคัญ:** การพยากรณ์, ระยะเวลาการเดินทาง, วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง, ข้อมูลจากพาทนะ และโทรศัพท์มือถือ

\* Corresponding author. E-mail: pawaris.wach@gmail.com

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## A Prediction of Travel Time by Machine Learning Approaches with Mobile Probe Data in Bangkok

Pawaris Wachwanakijkul<sup>\*1</sup> and Pisit Jarumaneeroj<sup>2</sup>

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

Received: 2 May 2022; Revised: 4 October 2022; Accepted: 25 October 2022

### Abstract

Last mile delivery is one of main transportation processes that accounts for more than 75% of total supply chain cost; however, the efficiency of such a process is relatively low, due largely to uncertainty in travel times across the day. In order to improve this process, various machine-learning based approaches are herein investigated for the development of more accurate travel time prediction models, using mobile probe data, collected by ITic, as a case study. For ease of implementation, we have preselected the information of taxis that currently provide services within the area of Bangkok (about 4.8 million records) for the construction of travel time prediction models. K-fold cross validation is also adopted to help reduce overfitting issues. Our results indicate that XGBoost is the most effective algorithm that provides the least RMSE (166.3069), while spending only 14.51 seconds in the model construction phase. Nonetheless, LightGBM and CatBoost seem to have good potentials for further studies as they provide relatively low RMSEs and computational times, when compared to other machine-learning approaches.

**Keywords:** prediction, travel time, machine learning, mobile probe data

---

\* Corresponding author. E-mail: pawaris.wach@gmail.com

1 Department of Industrial Engineering, Faculty of engineering, Chulalongkorn University

2 Department of Industrial Engineering, Faculty of engineering, Chulalongkorn University

## 1. บทนำ

ประเทศไทยมีผู้ให้บริการธุรกิจขนส่งทางถนนมากมาย ไม่ว่าจะเป็นสินค้าประเภท คน พัสดุ หรือ อาหาร และ ในการขนส่งสินค้าเหล่านี้ จะมีกระบวนการหนึ่งเหมือนกัน คือ การขนส่งไปยังลูกค้าปลายทาง (Last mile delivery) ซึ่งเป็นการรับสินค้าจากสถานที่หนึ่งไปส่งยังอีกสถานที่หนึ่ง กระบวนการดังกล่าว เป็นหนึ่งในส่วนสำคัญของธุรกิจขนส่งทางถนน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักมีประสิทธิภาพต่ำ และมีต้นทุนสูง [1] ทั้งนี้ในส่วนของต้นทุนการขนส่งไปยังลูกค้าปลายทางมีค่าระหว่างร้อยละ 13 ถึงร้อยละ 75 ของโซ่อุปทาน (Supply Chain) ทั้งหมด [2] ส่วนประสิทธิภาพของการขนส่งไปยังลูกค้าปลายทางนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความหนาแน่นของผู้บริโภคและกรอบเวลา [3] ความชำนาญเส้นทางของพนักงานขนส่ง [4] และ การนำจ่ายพัสดุไม่สำเร็จ [2] เป็นต้น

มูลค่าตลาดขนส่งพัสดุในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ.2563 เติบโตขึ้นทุกปี [5] การวางแผนเส้นทางเดินรถเพื่อขนส่งสินค้าจึงมีส่วนสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งไปยังลูกค้าปลายทาง แรกเริ่มในงานวิจัยส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาวิถีสั้นสุด (Shortest path) จากข้อมูลชุดเดิมเพียงชุดเดียว [6] ต่อมาจึงเริ่มมีการพัฒนาปัญหาการจัดเส้นทางในรูปแบบเดิม ให้มีความเสมือนจริงมากขึ้นเพื่อรับมือกับเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปอยู่ตลอดเวลา เช่น ความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละช่วงเวลาและสถานที่ ที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการเดินทาง [7]

กรุงเทพมหานคร เป็นเมืองหลวงของประเทศไทย ซึ่งมีอันดับระดับความแออัดของสภาพการจราจรอยู่ในอันดับที่ 10 จาก 416 เมือง 57 ประเทศ จากการจัดอันดับดังกล่าว สามารถกล่าวได้ว่า กรุงเทพมหานครนั้นเป็นเมืองที่มีสภาพการจราจรแออัดมาก [8] ความแปรปรวนของความแออัดของสภาพการจราจรในกรุงเทพมหานครมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวันในสัปดาห์ ส่งผลทำให้ระยะเวลาในการเดินทางจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง อาจแตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลา

จากการค้นคว้างานวิจัยการจัดเส้นทางที่นำความไม่แน่นอนของเวลาเดินทางเข้ามาประกอบด้วย (Online or

real-time problem) พบว่า มีหลายเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในส่วนของการหาระยะเวลาเดินทางที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา เช่น การใช้แบบจำลองแบบสุ่ม (Stochastic Model) [9] การเรียกข้อมูลจากแอปพลิเคชัน Google Map (Google distance Matrix API) [10] การวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้จากสื่อโซเชียล [11] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเหล่านี้ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของข้อมูลที่นำมาใช้ หรือความแม่นยำของระยะเวลาเดินทางมากนัก ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบผลคำตอบกับงานวิจัยประเภทเดียวกันได้ นอกจากนี้แม้ว่าจะสามารถเรียกข้อมูลเมตริกระยะเวลาเดินทาง จากแอปพลิเคชันผู้ให้บริการแผนที่ต่าง ๆ เช่น Google Map, TomTom, Apple Map, Longdo Traffic, Nostra Map การเรียกข้อมูลในปริมาณที่มากกว่าข้อจำกัด จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่าย หรือหากเรียกข้อมูลจากแอปพลิเคชัน MapQuest ซึ่งเป็นผู้ให้บริการแผนที่แบบไม่มีค่าใช้จ่าย และไม่มีข้อจำกัดในด้านปริมาณการเรียกข้อมูล MapQuest กลับมีข้อจำกัดในด้านขนาดของเมตริก ทำให้ไม่สามารถเรียกข้อมูลครั้งละมาก ๆ ได้

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการสร้างต้นแบบการคาดการณ์ระยะเวลาเดินทางระหว่างพิกัดสองจุดด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) ในเขตพื้นที่ของจังหวัดกรุงเทพมหานครจากชุดข้อมูลที่เข้าถึงได้โดยสาธารณะ เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว

## 2. การทบทวนวรรณกรรม

การคาดการณ์เวลาเดินทาง เป็นหนึ่งในส่วนสำคัญของระบบ ITS (Intelligent transportation system) ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา นักวิจัยด้านการขนส่ง และนักวิทยาศาสตร์ข้อมูลได้พัฒนาหลากหลายเทคนิคเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือแก่วิธีการคาดการณ์เวลาเดินทางในอนาคต [18] โดยทั่วไปแล้วเทคนิคเหล่านั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ Naive methods, traffic theory-based method และ data-driven methods โดยเทคนิค data-driven นั้นจะใช้ชุดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเดินทาง และข้อมูลวิถีทางสถิติในการคาดการณ์เวลาเดินทาง ทำให้มีผู้ที่สามารถวิจัยหัวข้อนี้ได้เยอะขึ้น เพราะไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญในด้านทฤษฎีการจราจรโดยเฉพาะ [19] เทคนิคนี้

จำเป็นต้องใช้ข้อมูลปริมาณมากซึ่งอาจจะไม่ได้มีอยู่ในทุกที่ ต้นแบบที่สร้างจากเทคนิคนี้จะมีความแม่นยำมากขึ้นจากความพร้อมของข้อมูล [20]

ถึงแม้ว่าจะมีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ระยะเวลาเดินทางบนท้องถนน แต่มีไม่มากนักที่นำวิธีการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ร่วมกัน ซึ่งมีข้อดีในการหา รูปแบบที่ซับซ้อนของข้อมูลด้วยอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีแบบดั้งเดิมทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถใช้กับชุดข้อมูลขนาดใหญ่ได้อีกด้วย และงานวิจัยประเภทนี้ยังมีการใช้ชุดข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่น ข้อมูลสาธารณะของแท็กซี่ในนิวยอร์ก (NYC Yellow Cab trip record) [12] เว็บไซต์วางแผนการเดินทาง Uber Movement [13] ซึ่งเป็นข้อมูลที่บันทึกจากแต่ละประเทศ ซึ่งมีความแตกต่างในการวิเคราะห์โครงข่ายถนน พฤติกรรมการขับขี่ ความหนาแน่นของการจราจร พื้นที่ภูมิประเทศ ส่งผลทำให้การคาดการณ์ระยะเวลาเดินทางบนท้องถนนหนึ่ง ๆ ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการคาดการณ์ระยะเวลาอื่น ๆ ได้อย่างมีความแม่นยำ งานวิจัยประเภทเดียวกันจึงมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในด้านของชุดข้อมูล และ วิธีการที่ใช้คาดการณ์ ซึ่งงานวิจัยที่ใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องส่วนใหญ่จะหยิบยกอัลกอริทึมบางอย่างสำหรับวิเคราะห์การถดถอยมาใช้ เช่น Linear Regression (LR), K-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest (RF) [12-14] โดยการคัดเลือกอัลกอริทึมเหล่านี้มาใช้คาดการณ์ก็เป็นอีกหนึ่งความแตกต่างของงานวิจัยในกลุ่มประเภทนี้

### 3. ระเบียบวิธี

#### 3.1 วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง

วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง มีความหมายโดยกว้างว่าเป็นวิธีการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์โดยการใช้ประสบการณ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพ หรือทำให้การคาดการณ์แม่นยำขึ้นโดยประสบการณ์ในที่นี้หมายถึง ข้อมูลสารสนเทศที่ผ่านมาในอดีต ซึ่งโดยปกติจะถูกจัดเก็บอยู่ในรูปแบบข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกดัดแปลงให้อยู่ในรูปแบบของตัวเลขเชิงปริมาณ แล้วทำการจัดแบ่งประเภทของข้อมูลโดยมนุษย์เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง

ได้ ทั้งนี้คุณภาพ และขนาดของข้อมูลมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการคาดการณ์ที่ถูกสร้างโดยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง [15]

วิธีการเรียนรู้ของเครื่องนั้นถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับงานหลากหลายรูปแบบ ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องกับปัญหาการถดถอย (Regression) ซึ่งเป็นปัญหาการคาดการณ์ค่าที่แท้จริงของสิ่งของแต่ละอย่าง ตัวอย่างเช่น การคาดการณ์มูลค่าของหุ้นหรือความผันแปรของตัวแปรทางเศรษฐกิจ โดยความผิดพลาดของการถดถอยนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความแตกต่างระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงและค่าที่เกิดจากการคาดการณ์

ประเภทของวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจะถูกแบ่งโดยข้อมูลที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) กล่าวคือ ผู้เรียนรู้จะได้รับข้อมูลที่มีคำตอบอยู่แล้ว และทำการคาดการณ์เพื่อเปรียบเทียบกับคำตอบนั้น

#### 3.2 การคัดเลือกและการประเมินผลของต้นแบบ

ในการสร้างต้นแบบการคาดการณ์ระยะเวลาเดินทางบนท้องถนนระหว่างพิกัดสองจุดด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง จำเป็นต้องมีการคัดเลือกต้นแบบที่ดีที่สุดไม่ว่าจะเป็นในการสร้างต้นแบบเดียวกัน หรือระหว่างต้นแบบอื่น ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เมตริก RMSE (Root Mean Square Error) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของต้นแบบ โดยสามารถคำนวณได้จากค่าความผิดพลาดระหว่างค่าการคาดการณ์ และ ค่าของข้อมูลที่ใส่เข้าไปให้กับผู้เรียนรู้ซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง  $\infty$  ดังแสดงในสมการที่ 1 หากค่า RMSE มีค่าต่ำจะหมายความว่า ต้นแบบนั้น ๆ มีประสิทธิภาพที่สูง

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (1)$$

โดยที่  $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_n$  คือ ค่าที่คาดการณ์ได้จากต้นแบบ

$y_1, y_2, \dots, y_n$  คือ ค่าที่ใส่ให้กับผู้เรียนรู้

$n$  คือ จำนวนของค่าที่ใส่เข้าไปให้กับผู้เรียนรู้

#### 3.3 การลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการสร้างต้นแบบ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการสร้างต้นแบบเป็นปัญหาที่เกิดจากโครงสร้างของวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งหากสร้าง

ต้นแบบจากข้อมูลชุดหนึ่งโดยตั้งจุดประสงค์ในการทำให้ค่าผิดพลาดมีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อนำต้นแบบนี้ไปใช้กับข้อมูลชุดอีกชุดหนึ่งที่ไม่เคยเห็นมาก่อนอาจมีความเสี่ยงที่ค่าผิดพลาดจะมากขึ้น เพราะตัวต้นแบบเกิดการจำลักษณะเฉพาะของข้อมูลชุดแรกมากเกินไป ซึ่ง โดยทั่วไปเรียกปัญหานี้ว่า overfitting [16]

งานวิจัยนี้ได้แก้ไขปัญหการเกิด overfitting กับต้นแบบโดยใช้วิธี K-fold cross validation หลักการของวิธีนี้ คือ การแบ่งข้อมูลเป็น K ส่วนแบบสุ่ม เพื่อให้ข้อมูลมีการกระจายตัว แล้วทำการวัดประสิทธิภาพของต้นแบบโดยใช้ข้อมูล 1 ส่วน (test set) สำหรับส่วนที่เหลือจะนำมาใช้ในการสร้างต้นแบบ (train set) ดำเนินการซ้ำ โดยสลับ test set จนครบ K ส่วน และหาต้นแบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด วิธีนี้จะทำให้เกิดการสร้าง และทดสอบต้นแบบหลายครั้ง ส่งผลทำให้ปัญหการเกิด overfitting ลดลง [17]

### 3.4 PyCaret

PyCaret คือ ไลบรารีที่รวบรวมไลบรารีอัลกอริทึมต่าง ๆ ของวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง ใช้ในการเปรียบเทียบต้นแบบที่เกิดจากอัลกอริทึมเหล่านั้น โดยไลบรารี PyCaret สามารถเปรียบเทียบอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องแบบถดถอยได้ถึง 20 อัลกอริทึมดังนี้ Bayesian Ridge, Lasso Regression, Orthogonal Matching Pursuit, Decision Tree Regressor, AdaBoost Regressor, Elastic Net, K Neighbors Regressor, Lasso Least Angle Regression, Dummy Regressor, Passive Aggressive Regressor, Huber Regressor, Extreme Gradient Boosting, Random Forest Regressor, Extra Trees Regressor, Light Gradient Boosting Machine, CatBoost Regressor, Gradient Boosting Regressor, Linear Regression, Ridge Regression, Least Angle Regression

### 3.5 ชุดข้อมูล

ข้อมูลที่น่านำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ข้อมูลจากพาหนะและโทรศัพท์มือถือ (Vehicles and Mobile Probe Data) ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงเวลา 1 มกราคม 2563 ถึง 31 ธันวาคม 2563 ขนาดไฟล์ 90.7 GB จาก iTIC foundation เป็นข้อมูลการใช้งานของพาหนะที่ถูกรวบรวมจากระบบของ

พาหนะเอง และจากแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือ โดยข้อดีของการใช้ข้อมูลนี้เมื่อเทียบกับการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับแบบเก่า (Fixed Sensors) ข้อมูลดังกล่าวจะมีความครอบคลุมพื้นที่มากกว่าและมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า ข้อมูลที่ได้มีความเที่ยงตรงมากกว่าการประมาณเวลาเดินทางจากความเร็วที่จับได้ขณะผ่านเซ็นเซอร์ ทั้งนี้ข้อมูลจากพาหนะ และโทรศัพท์มือถือประกอบไปด้วย 8 ฟีเจอร์ (Feature) ได้แก่

- VehicleID คือ ข้อมูลที่ใช้ระบุพาหนะแต่ละคันโดยพาหนะแต่ละคันใช้ VehicleID เดียวกันเสมอ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- gpsvalid คือ ค่าที่บ่งบอกถึงสถานะของระบบตรวจจับข้อมูลพาหนะว่ามีสัญญาณหรือไม่ในขณะที่เก็บข้อมูล
- lat และ lon คือ ค่าละติจูดและลองจิจูดของพาหนะ
- timestamp คือ เวลาในขณะที่เก็บข้อมูล
- speed คือ ความเร็วของพาหนะในขณะที่เก็บข้อมูล
- for\_hire\_light คือ ค่าสำหรับพาหนะประเภทแท็กซี่ที่ใช้ในการบ่งบอกถึงสถานะไฟรับผู้โดยสารโดยจะมีค่าเป็น 0 และ 1 หมายถึงปิดไฟและเปิดไฟตามลำดับ
- engine\_acc คือ ค่าที่บ่งบอกถึงสถานะเครื่องยนต์ของพาหนะโดยจะมีค่าเป็น 0 และ 1 หมายถึงเครื่องยนต์ไม่ทำงานและทำงานตามลำดับ

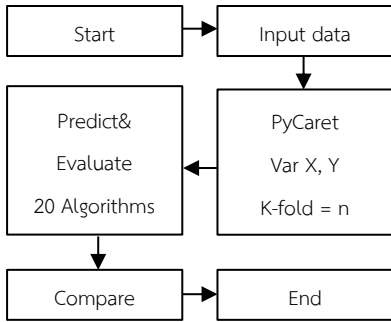
ตัวอย่างของข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงในรูปแบบที่ 1

	VehicleID	gpsvalid	lat	lon	timestamp	speed	heading	for_hire_light	engine_acc
0	RsiQyWE3MJC3jAgmVHLgS5L0	1	13.74835	100.65628	2019-12-31 23:59:25	0	10	0	1
1	UXWwXvC5jFygmX7AadpEn08	1	13.81607	100.64795	2019-12-31 23:58:46	0	33	0	0
2	RdZ-uLut7HgkstbAmBwICD3il	1	13.82811	100.63003	2020-01-01 00:00:12	30	188	1	1
3	aOm4w40QOjAUJub0gRvQWu7s	1	13.83277	100.57139	2019-12-31 23:59:58	47	30	1	1
4	ZEH01TbGRkR8WuppPK00Xng	1	13.74802	100.54831	2020-01-01 00:00:09	0	12	1	1

รูปที่ 1 ข้อมูลจากพาหนะ และโทรศัพท์มือถือ

### 3.6 ขั้นตอนการสร้างต้นแบบ และ เปรียบเทียบ

ชุดข้อมูลหลังจากผ่านการจัดการแล้วจะอยู่ในรูปแบบไฟล์ csv เพื่อทำการ input ข้อมูลลงในโปรแกรม จากนั้นจึง ประกาศฟิเจอร์ที่ต้องการคาดการณ์ (Y) และ ฟิเจอร์ที่ใช้สร้างต้นแบบ (X) แล้วใช้ PyCaret ในการแบ่งข้อมูลเพื่อทำ K-fold cross validation สร้างต้นแบบจากอัลกอริทึม และ ประเมินผล ทำซ้ำจนครบอัลกอริทึมทั้งหมด แผนผังขั้นตอนการสร้างต้นแบบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังขั้นตอนการสร้างต้นแบบ

## 4. ผลการดำเนินงาน

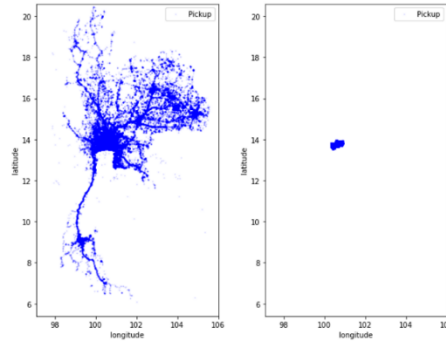
### 4.1 การจัดการชุดข้อมูล

ทำการแปลงชุดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของ Origin-Destination pairs โดยเลือกเฉพาะรถแท็กซี่ที่ขณะกำลังปิดไฟรับผู้โดยสาร คำนวณระยะเวลาเดินทาง การกระจัดระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด แกะไขข้อมูลวันที่ออกมาเป็นตาราง เนื่องจากโปรแกรมไม่สามารถใช้วันที่ในรูปแบบนี้ได้ หลังจากแปลงชุดข้อมูลแล้วจะได้ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3

Pickuplat	Pickuplon	Dropofflat	Dropofflon	AverageSpeed	TripDuration	PickupSecOfDay	DayofWeek	DayofMonth	DropoffSecOfDay	Month	Displacement
0	13.76747	100.49770	13.63370	100.36327	54.733333	1139	06370	2	1	1109	15.619978
1	13.77979	100.49927	13.67465	100.40960	52.333333	719	32491	3	2	33210	11.239957
2	13.77469	100.41561	13.67527	100.40964	44.250000	900	20717	3	2	31617	11.990413
3	13.76175	100.41658	13.67468	100.40964	37.857143	1020	30228	6	4	31248	9.969596
4	13.77525	100.42672	13.66921	100.40921	46.933333	1140	42446	0	13	43588	11.989916

รูปที่ 3 ข้อมูล Origin-Destination pairs

งานวิจัยนี้จะเลือกใช้ข้อมูลทริปที่อยู่ในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากจำนวนของตัวอย่างในจังหวัดอื่น ๆ ทั้งหมดรวมกันแล้วมีเพียง 30.43% จากทริปทั้งหมด นอกนั้นจะเป็นของกรุงเทพมหานครจังหวัดเดียว รูปที่ 4 แสดงกราฟที่พล็อตจุดเริ่มต้น ก่อน และ หลังลบทริปจังหวัดอื่น ๆ ออกจากชุดข้อมูล



รูปที่ 4 กราฟจุดเริ่มต้น ก่อน และ หลังลบทริปจังหวัดอื่น

### 4.2 ผลการทดลอง

เมื่อทำการ input ข้อมูลในโปรแกรมแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการปรับพารามิเตอร์ PyCaret ของ K-fold ที่ 5 (ค่าเริ่มต้นในการแบ่งข้อมูล train และ test อยู่ที่ 70 และ 30) จากนั้นจึงเปิดการใช้การ์ดจอในการสร้างโมเดล (สำหรับบางอัลกอริทึมมีการใช้การ์ดจอเพื่อช่วยในการสร้างต้นแบบ)

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Jupyter Notebook ในการรันการทดลองบนคอมพิวเตอร์

- CPU : AMD Ryzen 7 3700X 8-Core Processor
- Memory : 32 GB
- GPU : NVIDIA GeForce RTX 3060 Ti

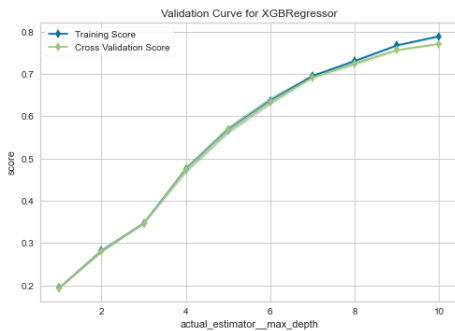
ซึ่งได้ผลสรุป อัลกอริทึม 5 อันดับ ที่ต้นแบบมีค่า RMSE น้อยที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลอง

Model	RMSE	Training time (Sec)
Extreme Gradient Boosting	163.3069	14.5100
Random Forest Regressor	169.4961	944.1080
Extra Trees Regressor	194.6996	702.2720
Light Gradient Boosting Machine	198.2688	5.1040
CatBoost Regressor	214.0307	13.4420

### 4.3 อภิปรายผลการทดลอง

จากตารางผลการทดลองจะพบว่าอัลกอริทึม XGBoost (Extreme Gradient Boosting) มีค่า RMSE น้อยที่สุด และใช้เวลาในการสร้างต้นแบบที่น้อยมากอีกด้วย เมื่อทำการวิเคราะห์ที่ต้นแบบนี้เพิ่มเติมจะพบว่า Training Score (คะแนนความแม่นยำในการคาดการณ์ของต้นแบบเทียบกับข้อมูลชุด train) กับ Cross Validation Score (คะแนนความแม่นยำในการคาดการณ์ของต้นแบบเทียบกับข้อมูลชุด test) มีค่าที่สูง และใกล้เคียงกัน หมายความว่าต้นแบบนี้ไม่ประสบปัญหา overfitting ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 Validation Curve ของ XGBoost

จากผลข้างต้น อาจสรุปได้ว่า XGBoost เป็นอัลกอริทึมที่สามารถนำไปใช้งานได้ ด้วยประสิทธิภาพต้นแบบที่ดี และเวลาสร้างที่ค่อนข้างน้อย

อย่างไรก็ตามต้นแบบจากอัลกอริทึมทั้ง 5 อันตั้บนี้ยังสามารถพัฒนาประสิทธิภาพได้อีก ด้วยวิธีปรับจูนพารามิเตอร์ และสร้างต้นแบบใหม่ซ้ำ ๆ จนได้ต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้อัลกอริทึมที่ใช้เวลาในการสร้างต้นแบบน้อยมีความได้เปรียบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจากผลการทดลองมีอัลกอริทึม 3 ตัวที่มีศักยภาพในการพัฒนาต่อได้แก่ XGBoost LightGBM และ CatBoost ส่วนของ Random Forest Regressor และ Extra Trees Regressor นั้นใช้เวลาในการสร้างต้นแบบมาก แม้จะมี RMSE ที่น้อยกว่า LightGBM และ CatBoost ก็ตาม แต่จะเสียเปรียบในการนำไปพัฒนาปรับปรุงพารามิเตอร์

### 5. สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการสร้างต้นแบบในการคาดการณ์เวลาเดินทางบนท้องถนนของกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลพาหนะและโทรศัพท์มือถือจาก iTIC foundation ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทุกคนสามารถเข้าถึงได้แบบไม่มีค่าใช้จ่าย โดยใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องในการสร้างต้นแบบ จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของต้นแบบที่สร้างโดยอัลกอริทึมทั้งหมด 20 อัลกอริทึม จะมีอัลกอริทึมที่สามารถสร้างต้นแบบที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมในการนำไปใช้งาน หรือพัฒนาต่อ 3 ตัว ได้แก่ XGBoost LightGBM และ CatBoost

ข้อจำกัดในด้านข้อมูล อาจส่งผลกับงานวิจัยนี้เนื่องจาก iTIC มีการเก็บข้อมูลจากรถแท็กซี่เพียง 4,634 คันเท่านั้น และจากการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา ส่งผลให้การจราจรอยู่ในสภาพไม่ปกติ จากการ Lock Down, Work from Home, Curfew สิ่งเหล่านี้ อาจส่งผลกระทบต่อข้อมูลปกติ และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพต้นแบบ

ในอนาคตอาจมีการนำชุดข้อมูลที่ส่งผลกับการจราจรเข้ามาใช้เพิ่มเติมในการสร้างต้นแบบ เพื่อให้ต้นแบบมีประสิทธิภาพในการคาดการณ์มากขึ้น เช่น ข้อมูลสภาพอากาศ ไฟจราจร ระยะทางจริง จากโครงข่ายถนน ความหนาแน่นของการจราจรในแต่ละเขต หรือการใช้ข้อมูล Origin-Destination pair จากแหล่งข้อมูลอื่นมาพัฒนา ร่วมกันต่อไป

### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] F. Li, Z-P. Fan, B-B. Cao and X. Li, "Logistics service mode selection for last mile delivery: an analysis method considering customer utility and delivery service cost," *Sustainability.*, vol. 13, no. 1, p. 284, 2021.

[2] R. Gevaers, E. Van de Voorde and T. Vanelslender, "Characteristics of innovations in last-mile logistics-using best practices, case studies and making the link with green and



- sustainable logistics,” *Association for European Transport and contributors.*, pp. 1-21, 2009.
- [3] K. K. Boyer, A. M. Prud'homme and W. Chung, “The last mile challenge: evaluating the effects of customer density and delivery window patterns,” *Journal of business logistics.*, vol. 30, no. 1, pp. 185-201, 2009.
- [4] J. D. Cortes and Y. Suzuki, “Last-mile delivery efficiency: en route transloading in the parcel delivery industry,” *International Journal of Production Research.*, pp. 1-18, 2021.
- [5] MARKETINGOOPS!, “3 กลยุทธ์ ‘ธุรกิจขนส่งพัสดุ’รับมือสงครามราคา ปริมาณส่ง 4 ล้านชิ้นต่อวัน มูลค่า 6.6 หมื่นล้าน,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.marketingoops.com/reports/industry-insight/transport-and-logistics-strategy-2020/>. [วันที่เข้าถึง 11 พฤษภาคม 2564].
- [6] Y. Geng, E. Liu, R. Wang and Y. Liu, “Deep Reinforcement Learning Based Dynamic Route Planning for Minimizing Travel Time,” in *2021 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*, 2021.
- [7] N. Frohner, M. Horn and G. R. Raidl, “Route duration prediction in a stochastic and dynamic vehicle routing problem with short delivery deadlines,” *Procedia Computer Science.*, vol. 180, pp. 366-370, 2021.
- [8] TomTom, “TomTom Traffic Index ranking 2020,” [Online]. Available: [https://www.tomtom.com/en\\_gb/traffic-index/ranking/](https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/). [Accessed 11 May 2021].
- [9] G. Yu and Y. Yang, “Dynamic routing with real-time traffic information,” *Operational Research.*, vol. 19, no. 4, pp. 1033-1058, 2019.
- [10] S. Parinya, “Developing applications for vehicle routing problems with real time data acquisition,” *International Journal of Simulation - Systems, Science & Technology.*, vol. 20, no. 2, pp. 1-6, 2019.
- [11] Hadiyanto, W. Budi, Maryono, E. Subowo, E. Sediyo and Farikhin, “Ant Colony Algorithm for Determining Dynamic Travel Routes Based on Traffic Information from Twitter,” in *The 4th International Conference on Energy, Environment, Epidemiology and Information System (ICENIS 2019)*, 2019.
- [12] L. Huang and L. Xu, “Research on Taxi Travel Time Prediction Based on GBDT Machine Learning Method,” in *2018 Eighth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC)*, 2018.
- [13] B. Deb, S. R. Khan, K. T. Hasan, A. H. Khan and M. A. Alam, “Travel Time Prediction using Machine Learning and Weather Impact on Traffic Conditions,” in *2019 IEEE 5th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, 2019.
- [14] D. Lin, W. Tsao, C. Yu, H. Liu and Y. Chang, “The Travel Time Prediction by Machine Learning Methods with Traffic Data in Chiayi City, Taiwan,” in *4th International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation (ICECTT)*, 2019.
- [15] M. Mohri, A. Rostamizadeh and A. Talwalkar, *Foundations of machine learning*, MIT press, 2018.
- [16] T. Dietterich, “Overfitting and undercomputing in machine learning,” *ACM computing surveys (CSUR).*, vol. 27, no. 3, pp. 326-327, 1995.
- [17] J. D. Rodriguez, A. Perez and J. A. Lozano, “Sensitivity analysis of k-fold cross validation in prediction error estimation,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence.*, vol. 32, no. 3, pp. 569-575, 2009.

- [18] S. Oh, Y.-J. Byon, K. Jang and H. Yeo, "Short-term travel-time prediction on highway: a review of the data-driven approach," *Transport Reviews.*, vol. 35, no. 1, pp. 4-32, 2015.
- [19] B. Qiu and W. Fan, "Travel time forecasting on a freeway corridor: a dynamic information fusion model based on the random forests approach," *Smart and Resilient Transportation.*, vol. 3, no. 2, pp. 131-148, 2021.
- [20] J. W. C. Lint, "Reliable real-time framework for short-term freeway travel time prediction," *Journal of Transportation Engineering.*, vol. 132, 2006.

## การวิเคราะห์การเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิ

ทักษพร ทองบุญเพียร<sup>1</sup> และ วเรศรา วีระวัฒน์<sup>2</sup>

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 999 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา

อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

Received: 2 May 2022; Revised: 10 October 2022; Accepted: 25 October 2022

### บทคัดย่อ

ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีการขนส่งที่นิยมนำมาใช้ภายในสนามบิน มีลักษณะการดำเนินงานคล้ายกับระบบขนส่งมวลชนทางรางคือเป็นการควบคุมการเดินรถจากศูนย์ควบคุมกลาง ทั้งนี้ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติมีลักษณะเฉพาะคือเป็นล้อรางและมี rail-guided นำทางอยู่ตรงกลางโดยเคลื่อนที่ไปบนทางคอนกรีต ซึ่งทำให้มีระยะเบรกที่สั้นเมื่อเทียบกับรถไฟที่เคลื่อนที่บนราง สำหรับโครงการขยายสนามบินสุวรรณภูมิได้มีการนำระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติมาใช้เพื่อขนส่งผู้โดยสารระหว่างอาคารผู้โดยสารเหนือและอาคารเทียบเครื่องบิน 1 ภายในเขตการบิน ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการให้บริการเดินรถจึงต้องมีการวางแผนตารางเดินรถให้สอดคล้องกับปริมาณผู้โดยสารที่มาใช้บริการในแต่ละช่วงเวลา งานวิจัยนี้เป็นการนำแบบจำลองสถานการณ์มาใช้ในการจำลองการเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติที่มีรูปแบบการเดินรถแบบ Communications-Based Train Control (CBTC) เพื่อวิเคราะห์และประเมินความสามารถในการให้บริการภายในสนามบินสุวรรณภูมิ รวมถึงวางแผนการเดินรถให้สอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสารตามที่ได้มีการคาดการณ์ไว้ในแต่ละช่วงเวลาภายใต้โครงสร้างพื้นฐานทางรางที่กำหนด ประกอบด้วยเส้นทางการให้บริการสองลูบ ผลจากแบบจำลองสถานการณ์ พบว่า ความถี่ในการเดินรถต่ำสุดที่เป็นไปได้จะถูกจำกัดด้วยช่วงที่เป็นคอขวดตรงบริเวณทางเข้า-ออกของแต่ละสถานี โดยในช่วง Off-Peak สามารถเดินรถได้ที่ความถี่ตั้งแต่ 400-450 วินาที และมีเวลาจอดที่สถานี 70-95 วินาที ใช้รถจำนวน 1 ขบวนก็เพียงพอในการให้บริการ ส่วนในช่วง Peak สามารถเดินรถได้ที่ความถี่ 200-212 วินาที มีเวลาจอดที่สถานี 70-90 วินาที ในช่วงนี้ต้องใช้รถ 2 ขบวนให้การให้บริการ ซึ่งทั้งสองช่วงเวลาสามารถเดินรถบนลูบเดียวก็เพียงพอ อย่างไรก็ตามในช่วง Surged Peak ที่มีผู้โดยสารจำนวนมาก การเดินรถบนลูบเดียวไม่สามารถรองรับผู้โดยสารได้เพียงพอ จึงกำหนดให้เดินรถที่ความถี่ 250 วินาที ทั้งสองลูบโดยให้ปล่อยรถสลับกันในแต่ละลูบ และมีเวลาจอดที่สถานี 84-125 วินาที ซึ่งใช้รถจำนวน 4 ขบวนในการให้บริการ การใช้แบบจำลองสถานการณ์ช่วยให้สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเดินรถได้อย่างสะดวกและรวดเร็วภายใต้ข้อจำกัดของโครงสร้างพื้นฐานทางราง รวมถึงช่วยให้เห็นถึงสิ่งที่อาจเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเดินรถได้

**คำสำคัญ:** ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ, ตารางเดินรถ, แบบจำลองสถานการณ์, การขนส่งในสนามบิน, ผู้โดยสาร

\* Corresponding author. E-mail: waressara@gmail.com

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

## Analysis of Automated People Mover Operations at Suvarnabhumi Airport

Taksaporn Thongboonpian<sup>1</sup> and Waessara Weerawat<sup>\*2</sup>

Faculty of Engineering, Mahidol University, 999 Phuttamonthon 4 Road, Salaya,  
Nakhon Pathom 73170, Thailand

Received: 2 May 2022; Revised: 10 October 2022; Accepted: 25 October 2022

### Abstract

The Automated People Mover (APM) is popular transportation technology used within airports. It operates in a similar way to a metro system, with operations managed by the Operation Control Center (OCC). However, APM has specific characteristics as it has rubber wheels with a central guided rail running on a concrete surface. This allows for shorter braking distances compared with a typical rail track. In the Suvarnabhumi airport expansion project, APM is used to transport passengers between the North Main Terminal Building (NMTB) and satellite concourse 1 (SAT-1) on the airside. APM operations must be planned in accordance with the predicted number of passengers in each period under the rail infrastructure to achieve maximum efficiency. This research applies simulation modelling to the APM operations with Communications-Based Train Control (CBTC) to analyze and evaluate the service capability within Suvarnabhumi airport. The system consists of two loops. The results of the simulation show that the minimum possible headway on each loop is often limited by the bottleneck at the entry-exit of each station. During off-peak times, trains can operate at a headway of 400-450 seconds with a dwell time of 70-95 seconds and 1 train is enough. During peak times, trains can operate at a headway of 200-212 seconds with a dwell time of 70-90 seconds. At these times, 2 trains are required for services. Both periods can be operated on a single loop. However, during surged peak times there are more passengers. APM operations on a single loop cannot handle the increased passenger numbers. Therefore, the determination of headway is 250 seconds on both loops by allowing trains to be released alternately with a dwell time of 84-125 seconds. In this period, 4 trains are required for services. Simulation modelling can modify parameters quickly to show the different effects in the system with the limited rail infrastructure. It can show potential operating problems.

**Keywords:** automated people mover, timetable, simulation, airport transit, passengers

---

\* Corresponding author. E-mail: waessara@gmail.com

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

2 Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

## 1. บทนำ

ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติถูกนำมาใช้ในการขนส่งผู้โดยสารระหว่างอาคารภายในสนามบินสุวรรณภูมิ เนื่องจากเป็นระบบขนส่งที่มีขนาดเหมาะสมกับพื้นที่ของสนามบิน และมีความจุค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับรถบัสที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน โดยสามารถขนส่งผู้โดยสารได้ปริมาณมากในระยะเวลาสั้นๆ ทั้งนี้ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัตินั้นมีลักษณะเฉพาะที่ต่างจากระบบขนส่งมวลชนทางรางทั่วไป คือ เป็นระบบอัตโนมัติไร้คนขับและเป็นล้อราง [1] อีกทั้งขบวนรถแต่ละขบวนมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารพิเศษเพื่อให้อุปกรณ์สามารถสื่อสารได้อย่างปลอดภัยด้วยระบบป้องกันรถไฟอัตโนมัติ (Automatic Train Protection : ATP) คล้ายกับระบบขนส่งทางรางสมัยใหม่ สำหรับการเดินรถจะถูกควบคุมจากศูนย์ควบคุมการเดินรถ (Operation Control Center : OCC) ด้วยระบบ Communications-Based Train Control (CBTC) ที่มีการควบคุมระยะห่างระหว่างขบวนรถเป็นแบบ Moving Block ช่วยให้ขบวนรถสามารถเดินรถได้ถี่กันมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการเดินรถแบบ Fixed Block จะเห็นว่าการดำเนินงานของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติที่คล้ายกับระบบขนส่งมวลชนทางรางที่มีความซับซ้อน ซึ่งถือเป็นครั้งแรกในประเทศไทยที่มีการนำระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติมาใช้ภายในสนามบิน อย่างไรก็ตามระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติภายในสนามบินสุวรรณภูมินั้นมีข้อจำกัดของโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นทางเดี่ยวตรงบริเวณช่วงเข้า-ออกของแต่ละสถานี ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนการดำเนินงานอย่างละเอียดและรอบคอบ เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือในการให้บริการ ซึ่งปัจจุบันมีแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถจำลองการเดินรถได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง ช่วยแสดงให้เห็นถึงสภาพการเดินรถได้ งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม OpenTrack ในการศึกษาและประเมินความเป็นไปได้ในการเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติภายใต้ข้อจำกัดของโครงสร้างพื้นฐาน รวมถึงวางแผนตารางเดินรถให้สอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสารตามการคาดการณ์

## 2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แบบจำลองการจําลองการเดินรถระดับจุลภาค

การดำเนินงานของรถไฟเป็นผลมาจากการทำงานร่วมกันที่ซับซ้อนของโครงสร้างพื้นฐาน (infrastructure) ล้อเลื่อนรถไฟ (rolling stock) และตารางการเดินรถ (timetable) ซึ่งในปัจจุบันแบบจำลองสถานการณ์ระดับจุลภาค (microscopic simulation) เป็นเทคนิคที่แม่นยำที่สุดในการสร้างแบบจำลองและแสดงให้เห็นถึงลักษณะการดำเนินงานที่ซับซ้อนของรถไฟ [2] การจำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลภายใต้สถานการณ์ที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลา ทั้งความเร็วของขบวนรถที่เปลี่ยนแปลง และรูปแบบการเคลื่อนที่ (fixed block หรือ moving block) เป็นต้น [3] โดยแบบจำลองสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์และปรับเปลี่ยนอย่างเป็นระบบ ช่วยให้เข้าใจถึงจุดที่เป็นปัญหา (bottle neck) และเงื่อนไขหลักที่สำคัญสำหรับการเดินรถ เช่น ความถี่ในการเดินรถ (headway) และเวลาจอดที่สถานี (dwell time) รวมถึงสามารถนำผลการจำลองสถานการณ์ไปใช้ในการจัดการตารางการเดินรถได้ เช่น ระยะเวลาเดินทางของขบวนรถ ระยะเวลาสูงสุดที่ใช้ในการกลับรถ และจำนวนรถที่ต้องใช้ในการให้บริการ [3]

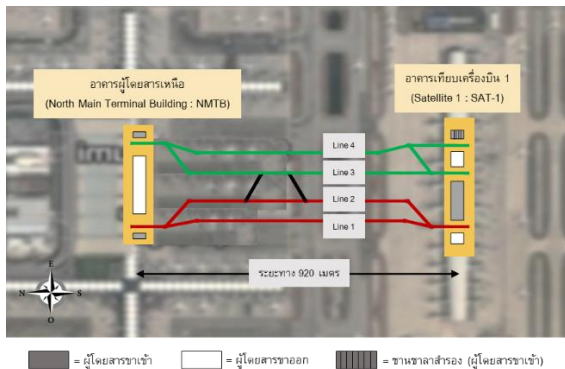
### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์กับระบบขนส่งทางราง โดยส่วนมากจะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์การเดินรถทั้งในปัจจุบันและในอนาคต กล่าวคือ ใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์สภาพการเดินรถในปัจจุบันเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการเดินรถ รวมไปถึงมีการวางแผนการเดินรถเพื่อให้อัดคล่องกับสถานการณ์ในอนาคต จากการศึกษาค้นคว้าพบว่า มีการนำแบบจำลองไปใช้ในการวางแผนการเดินรถและปรับปรุงประสิทธิภาพของการขนส่งสินค้าทางราง [4-5] รวมถึงการวางแผนตารางเดินรถสำหรับรถไฟขนส่งผู้โดยสาร [6-9] นอกจากนี้ยังใช้ในการวางแผนการเดินแบบผสมผสาน [10-11] ซึ่งในปัจจุบันมีโปรแกรมแบบจำลองสถานการณ์หลาย

โปรแกรมที่นิยมนำมาใช้ในระบบขนส่งทางราง โปรแกรม OpenTrack ถือเป็นหนึ่งในโปรแกรมแบบจำลองทางรถไฟระดับจุลภาคที่สามารถจำลองลักษณะขององค์ประกอบทางรถไฟได้ทั้งหมด (โครงสร้างพื้นฐาน ล้อเลื่อนรถไฟ และตารางเดินรถ) ตลอดจนการดำเนินงานของรถไฟที่มีความซับซ้อน โดยสามารถวิเคราะห์และแสดงข้อมูลผลลัพธ์ในรูปแบบของ Train Diagram และ Statistics เป็นต้น [12]

### 3. ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิ

ภายใต้โครงการขยายสนามบินสุวรรณภูมิได้มีการสร้างอาคารเทียบเครื่องบิน 1 (SAT-1) ขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับจำนวนเที่ยวบินที่เพิ่มขึ้นได้อย่างเพียงพอ โดยมีระยะทางอยู่ห่างจากอาคารผู้โดยสารหลังปัจจุบันหรือที่เรียกว่าอาคารผู้โดยสารเหนือ (NMTB) ประมาณ 920 เมตร พร้อมด้วยการนำระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติใต้ดินมาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสารในการเดินทางเชื่อมต่อระหว่างอาคารภายในเขตการบิน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิ

ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติถูกนำมาใช้ในการเชื่อมระหว่างอาคารผู้โดยสารเหนือและอาคารเทียบเครื่องบิน 1 ประกอบด้วย 4 ราง (Line 1, 2, 3 และ 4) โดยสามารถแบ่งการให้บริการออกเป็นสองลูป เรียกว่า ลูปสีแดง (Red loop : RL) และลูปสีเขียว (Green loop : GL) สำหรับอาคารผู้โดยสารเหนือมี 3 ขานขาลา เป็นขานขาลาสำหรับผู้โดยสารขาเข้า 2 ขานขาลาอยู่ทางด้านข้าง และ 1 ขานขาลาสำหรับผู้โดยสารขาออกอยู่ตรงกลาง ในส่วนของอาคาร

เทียบเครื่องบิน 1 มี 3 ขานขาลาที่เปิดใช้งานปกติ แบ่งเป็น 2 ขานขาลาสำหรับผู้โดยสารขาออกและ 1 ขานขาลาสำหรับผู้โดยสารขาเข้า นอกจากนี้ยังมีอีก 1 ขานขาลาสำรองไว้สำหรับผู้โดยสารขาเข้า

### 4. แบบจำลองสถานการณ์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม OpenTrack version 1.10.3 ในการศึกษาและประเมินความเป็นไปได้ในการเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิ

#### 4.1 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 3 ส่วนหลักที่สำคัญ ได้แก่

##### 4.1.1 โครงสร้างพื้นฐาน

สำหรับข้อมูลในส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับทางวิ่งของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ โดยต้องมีการระบุลักษณะสำคัญของเส้นทาง เช่น ตำแหน่งของสถานี ความโค้งและความชันของเส้นทาง ตำแหน่งประแจ และช่วงการจำกัดความเร็วของเส้นทาง งานวิจัยนี้กำหนดให้เมื่อผ่านเส้นทางที่มีความโค้งหรือความชันจะเดินรถที่ความเร็วไม่เกิน 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อผ่านทางที่มีประแจจะเดินรถที่ความเร็วไม่เกิน 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเมื่อผ่านทางที่มีทั้งประแจและความโค้งจะเดินรถความเร็วไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยระยะในการจำกัดความเร็วมาจากการประมาณเท่านั้น

##### 4.1.2 ล้อเลื่อนรถไฟ

สำหรับข้อมูลในส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับการระบุสเปคของเครื่องยนต์ขับเคลื่อนและลักษณะของขบวนรถ ประกอบด้วย น้ำหนักและความยาวของขบวนรถ อัตราเร่ง อัตราเบรก ความเร็วสูงสุด รวมไปถึงจำนวนมอเตอร์ งานวิจัยนี้ใช้รถโมเดล Siemens-Airval ที่มี 2 ตู้ต่อขบวนหรือที่เรียกว่า Married-Pair (MP) สามารถรองรับผู้โดยสารได้ 210 คนต่อขบวน ตัวรถเป็นล้อรางที่สามารถลดการเสียดสีเวลาเคลื่อนที่ได้ โดยวิ่งบนรางที่เป็นคอนกรีตและมี guideway นำทางอยู่ตรงกลาง

#### 4.1.3 เส้นทางเดินรถ

ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นการระบุรายละเอียดของเส้นทางให้บริการของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ เช่น สถานีต้นทางและปลายทาง รูปแบบและเวลาการหยุดจอด ตลอดจนความถี่ในการเดินรถ โดยเส้นทางให้บริการของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติเป็นการเดินรถระหว่างอาคารผู้โดยสารเหนือและอาคารเทียบเครื่องบิน 1

#### 4.2 การปรับเทียบแบบจำลองสถานการณ์

แบบจำลองในงานวิจัยนี้ได้รับการปรับเทียบโดยใช้ข้อมูลเวลาการเดินรถระหว่างอาคารผู้โดยสารเหนือและอาคารเทียบเครื่องบิน 1 จำลองการเดินรถแบบรถขบวนเดียว (single train) เดินรถบน 4 ราง ดังแสดงในรูปที่ 1 ผลลัพธ์จากแบบจำลองสามารถสรุปได้ว่า งานวิจัยนี้ควรกำหนดให้ใช้ขบวนรถที่ประสิทธิภาพเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีเวลาการเดินรถใกล้เคียงกับผู้ประกอบการมากที่สุด

#### 4.3 การกำหนดแนวทางในการจำลอง

แนวทางในการจำลองสถานการณ์อ้างอิงจากจำนวนผู้โดยสารที่คาดการณ์ไว้ในแต่ละช่วงเวลา เบื้องต้นได้มีการคำนวณความถี่ในการเดินรถให้สอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสาร โดยเริ่มจากการหาจำนวนทริปที่ต้องเดินรถใน 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงคำนวณหาความถี่ในการเดินรถ ตัวอย่างเช่น ในช่วง Off-Peak มีการคาดการณ์จำนวนผู้โดยสารเท่ากับ 1795 คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง ดังนั้นจึงทราบว่าต้องเดินรถอย่างน้อย 8.55 (1795/210) ทริปต่อชั่วโมง หรือประมาณ 8-9 ทริปต่อชั่วโมง โดยหากคิดที่ 9 ทริป จะต้องเดินรถที่ความถี่ 400 วินาที (รูปที่ 2 ก) และในชั่วโมงถัดไปรถขบวนแรกสามารถออกจากสถานีได้ทันทีที่ศูนย์ แต่หากคิดที่ 8.55 ทริป จะต้องเดินรถที่ความถี่ 420 วินาที (รูปที่ 2 ข) ซึ่งในชั่วโมงถัดไปรถขบวนแรกจะออกจากสถานีทันทีที่สาม และหากคิดที่ 8 ทริป จะต้องการเดินรถที่ความถี่ 450 วินาที (รูปที่ 2 ค) ดังนั้นในช่วง Off-Peak จึงสามารถเดินรถได้ที่ความถี่ตั้งแต่ 400-450 วินาที

Train A	Train A	Train A
0	0	0
400	420	450
800	840	900
1200	1260	1350
1600	1680	1800
2000	2100	2250
2400	2520	2700
2800	2940	3150
3200	3360	3600
ก	ข	ค

รูปที่ 2 แนวทางการกำหนดความถี่ในการเดินรถ

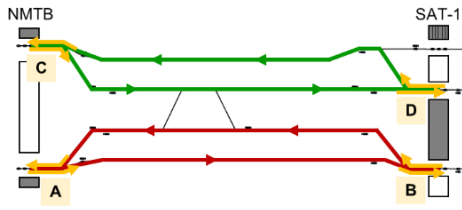
สำหรับในช่วงเวลา Peak และ Surged Peak มีแนวทางการคำนวณหาความถี่ในการเดินรถเช่นเดียวกัน โดยสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 1 และในส่วนของเวลาจอดที่สถานีได้มีการกำหนดขั้นต่ำในช่วง Off-Peak และ Peak เท่ากับ 70 วินาที ส่วนช่วง Surged Peak เท่ากับ 84 วินาที

ตารางที่ 1 แนวทางการจำลองสถานการณ์

ช่วงเวลา	จำนวนผู้โดยสาร (คนต่อชั่วโมงต่อทิศทาง)	ความถี่ในการเดินรถ (วินาที)	เวลาจอดที่สถานี (วินาที)
Off-Peak	1795	400	70
		420	
		450	
Peak	3590	200	70
		210	
		212	
Surged Peak	5960	124	84
		126	

### 5. ผลลัพธ์จากแบบจำลองและการวิเคราะห์ผล

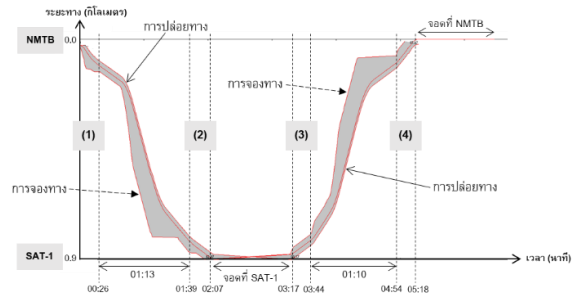
แบบจำลองสถานการณ์สามารถแสดงให้เห็นถึงสภาพการเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ โดยระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติภายในสนามบินสุวรรณภูมิมีเส้นทางที่เป็นการเดินรถช่องทางเดียวหรือจุดที่เป็นคอขวดของระบบ คือ บริเวณช่วงเข้า-ออกของแต่ละสถานี ดังรูปที่ 3 สำหรับลูปีสีแดงจะมีคอขวดที่บริเวณ A และ B ส่วนลูปีสีเขียวจะมีคอขวดที่บริเวณ C และ D



รูปที่ 3 บริเวณที่เป็นคอขวดของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ

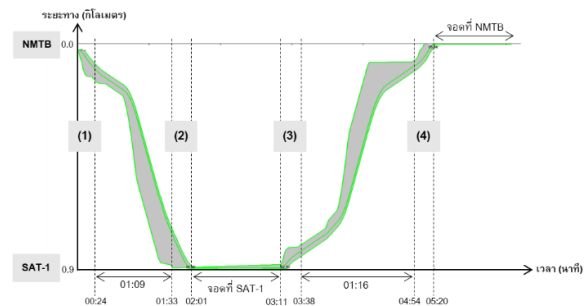
ผลลัพธ์จากแบบจำลอง พบว่า ในช่วงเวลา Off-Peak และ Peak ตรงบริเวณที่เป็นคอขวดของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติจะถูกจองเป็นเวลายาวน้อย 120-125 วินาที ส่วนในช่วง Surged Peak จะถูกจองเป็นเวลายาวน้อย 134-139 วินาที แสดงดังรูปที่ 4 และ 5 เป็นการแสดงผลจากโปรแกรม OpenTrack ในรูปแบบของ Train diagram หรือเรียกว่า blocking time stairway โดยที่แกน X คือ เวลา และแกน Y คือ ระยะทาง (ตำแหน่งสถานี) จากรูปที่ 4 สามารถอธิบายได้ว่า ส่วนที่เป็นสีเทาและมีเส้นสีแดงสามเส้น คือ ลักษณะการเคลื่อนที่ของขบวนรถ ประกอบด้วย การจองและปล่อยเส้นทาง เส้นสีแดงตรงกลางคือตำแหน่งของขบวนรถ ส่วนสองเส้นที่ขนานข้างคือการจองและปล่อยเส้นทาง การที่ขบวนรถจะเคลื่อนไปข้างหน้า (แกน Y) ต้องมีการจองเส้นทางก่อน เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดขบวนอื่นเดินทางเข้ามาในบริเวณนั้นๆ และเมื่อขบวนรถเคลื่อนที่ผ่านไปแล้วก็ปล่อยทางเพื่อให้ขบวนอื่นสามารถเดินทางเข้ามาได้ โดยลักษณะการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์กันระหว่างระยะทางและเวลา รวมถึงความเร็วของขบวนรถ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของเส้นทาง ได้มีการกำหนดช่วงการจำกัดความเร็วไว้ในหัวข้อ 4.1.1 จากรูปที่ 4 เป็นการเดินทางออกจากอาคารผู้โดยสารเหนือไปยังอาคารเทียบเครื่องบิน 1 และวนกลับมาที่อาคารผู้โดยสารเหนือ จะเห็นว่าขบวนรถสามารถจองทางได้ค่อนข้างไกล เนื่องจากทางข้างหน้าว่าง โดยสังเกตได้จากเส้นที่เป็นการจองทาง (ลูกศรเส้นประ) จะอยู่ห่างจากขบวนรถ กล่าวคือ เมื่อขบวนรถอยู่ที่ตำแหน่ง ก ทางข้างหน้าอาจถูกจองออกไปเป็นระยะ 150 เมตร ซึ่งห่างจากขบวนรถ เช่นเดียวกับการปล่อยทาง (ลูกศรเส้นทึบ) แต่จะเห็นว่าเส้นที่เป็นการปล่อยทางจะอยู่ใกล้กับขบวนรถ เนื่องจากเมื่อขบวนรถเคลื่อนผ่าน

ตำแหน่ง ก ทั้งขบวน เส้นทางทางจะถูกลบออกทันที ทั้งนี้ระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติมีรูปแบบการเดินทางแบบ Moving Block ดังนั้นจะเห็นว่าลักษณะการจองและปล่อยเส้นทางจะมีความโค้งงอ ต่างจากการเดินทางแบบ Fixed Block ที่มีลักษณะการจองและปล่อยเส้นทางเป็นตอนคล้ายขั้นบันได



รูปที่ 4 ลักษณะการจองเส้นทางบนลูบสีแดง

จากรูปที่ 4 เป็นการเดินทางบนลูบสีแดง สามารถอธิบายได้ว่า บริเวณ A (รูปที่ 3) ประกอบด้วยเวลาการจองเส้นทางสามส่วน คือ การจองเส้นทางก่อนเข้าสถานี (4) เป็นเวลา 24 วินาที เวลาจอดที่สถานีอาคารผู้โดยสารเหนือ 70 วินาที และการจองเส้นทางก่อนออกจากสถานี (1) เป็นเวลา 26 วินาที สำหรับบริเวณ B (รูปที่ 3) ก็เช่นเดียวกัน ประกอบด้วย การจองเส้นทางก่อนเข้าสถานี (2) เป็นเวลา 28 วินาที เวลาจอดที่สถานีอาคารเทียบเครื่องบิน 1 เป็นเวลา 70 วินาที และการจองเส้นทางก่อนออกจากสถานี (3) เป็นเวลา 27 วินาที

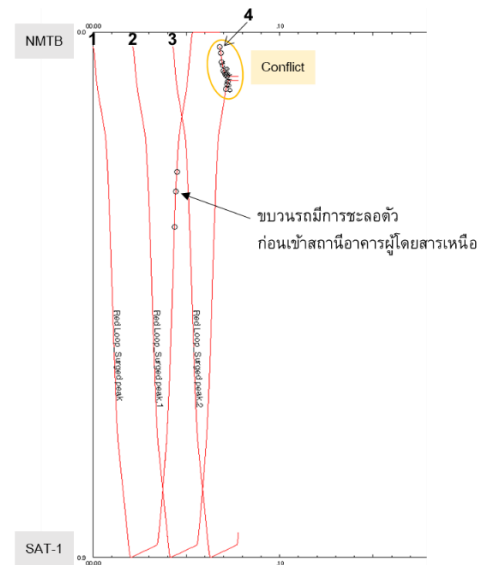


รูปที่ 5 ลักษณะการจองเส้นทางบนลูบสีเขียว



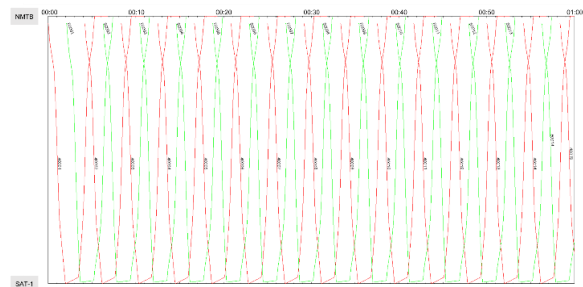
จากรูปที่ 5 สามารถอธิบายได้ว่า บริเวณ C (รูปที่ 3) ประกอบด้วยเวลาการจองเส้นทางสามส่วน คือ การจองเส้นทางก่อนเข้าสถานี (4) เป็นเวลา 26 วินาที เวลาจอดที่สถานีอาคารผู้โดยสารเหนือ 70 วินาที และการจองเส้นทางก่อนออกจากสถานี (1) เป็นเวลา 24 วินาที สำหรับบริเวณ D (รูปที่ 3) ก็เช่นเดียวกัน ประกอบด้วย การจองเส้นทางก่อนเข้าสถานี (2) เป็นเวลา 28 วินาที เวลาจอดที่สถานีอาคารเทียบเครื่องบิน 1 เป็นเวลา 70 วินาที และการจองเส้นทางก่อนออกจากสถานี (3) เป็นเวลา 27 วินาที

ดังนั้นความถี่ในการเดินรถของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติจึงถูกจำกัดด้วยช่วงเวลาการจองเส้นทางตรงบริเวณที่เป็นคอขวด (A, B, C และ D) โดยในช่วง Off-Peak และ Peak สามารถเดินรถได้ที่ความถี่ต่ำสุดเท่ากับ 125 วินาทีบนแต่ละลูบ ส่วนช่วง Surged Peak สามารถเดินรถได้ที่ความถี่ต่ำสุดเท่ากับ 139 วินาทีบนแต่ละลูบ ซึ่งในการจำลองการเดินรถตามแนวทางที่ได้กำหนดไว้ (ตารางที่ 1) พบว่า ในช่วงเวลา Off-Peak และ Peak สามารถเดินรถได้ แต่ในช่วง Surged Peak จะเห็นว่าตรงบริเวณที่เป็นคอขวด เส้นทางจะถูกจองเป็นเวลาประมาณ 134-139 วินาที จึงไม่สามารถเดินรถที่ความถี่ต่ำกว่า 139 วินาทีได้ ซึ่งการจำลองการเดินรถตามแนวคิดที่กำหนดที่ความถี่ 124-126 วินาที ทำให้เกิดการขัดแย้งกัน (conflict) ตรงบริเวณทางเข้า-ออกสถานีอาคารผู้โดยสารเหนือ ดังรูปที่ 6 จะเห็นว่า รถขบวนที่ 1 วนกลับมาและต้องจอดที่สถานีอาคารผู้โดยสารเหนือเป็นเวลา 84 วินาที ทำให้รถขบวนที่ 4 ออกจากสถานีอาคารผู้โดยสารเหนือล่าช้า และไปเจอกับรถขบวนที่ 2 ที่วนกลับมาพอดี นอกจากนี้จะเห็นว่ารถขบวนที่ 1 มีการชะลอตัวเล็กน้อยก่อนเข้าสถานีอาคารผู้โดยสารเหนือ เพื่อให้รถขบวนที่ 3 ออกจากสถานีก่อน



รูปที่ 6 การจำลองการเดินรถในช่วง Surged Peak

อย่างไรก็ตามในช่วง Surged Peak จึงได้มีการกำหนดให้เดินรถบนลูบสีแดงและลูบสีเขียวที่ความถี่บนแต่ละลูบเท่ากับ 250 วินาที และให้มีการปล่อยรถสลับกัน ดังรูปที่ 7 ดังนั้นจะทำให้มีความถี่ที่แต่ละสถานีเท่ากับ 125 วินาที ใกล้เคียงกับแนวทางการจำลองสถานการณ์ (ตารางที่ 1) ซึ่งวิธีนี้ขบวนรถสามารถจอดรับ-ส่งผู้โดยสารที่สถานีได้ประมาณ 84-125 วินาที



รูปที่ 7 การแสดงผลในรูปแบบ Train diagram ในช่วง Surged Peak

## 6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

แบบจำลองสถานการณ์ถูกนำมาใช้ในการศึกษาและประเมินการเดินทางของระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิ รวมถึงวางแผนการเดินทางให้สอดคล้องกับจำนวนผู้โดยสารตามการคาดการณ์ โดยผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์ของงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2 ทั้งนี้เมื่อต้องเดินรถบนลูบไต่ลูบหนึ่งจะกำหนดให้เดินรถบนลูบสีแดงเป็นหลัก เนื่องจากใช้เวลาในการเดินรถน้อยกว่าลูบสีเขียว

ตารางที่ 2 สรุปผลลัพธ์จากแบบจำลองสถานการณ์

ช่วงเวลา	ความถี่การเดินรถ (วินาที)	เวลาจอดที่สถานี (วินาที)	จำนวนทริปต่อชั่วโมง	จำนวนรถที่ใช้ในการให้บริการ
Off-Peak	400 (RL)	70-80	9a/9b	1
	420 (RL)	70-87	9a/8b	
	450 (RL)	70-95	8a/8b	
Peak	200 (RL)	70-80	18a/18b	2
	210 (RL)	70-84	18a/17b	
	212 (RL)	70-90	17a/17b	
Surged Peak	250 (RL)	84-125	15a/14b	4
	250 (GL)		14a/14b	

หมายเหตุ RL ย่อมาจาก Red loop และ GL ย่อมาจาก Green loop  
a ย่อมาจาก การเดินรถจาก NMTB ไป SAT-1  
b ย่อมาจาก การเดินรถจาก SAT-1 ไป NMTB

การใช้แบบจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเดินทาง การจองและปล่อยเส้นทาง รวมไปถึงแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเดินรถ เช่น ความถี่ในการเดินรถ เวลาจอดที่สถานี และโครงสร้างพื้นฐาน โดยการปรับลดความถี่ในการเดินรถสามารถทำได้ภายใต้ข้อจำกัดของโครงสร้างพื้นฐาน เนื่องจากระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติในสนามบินสุวรรณภูมิมีเส้นทางที่เป็นการเดินทางทางเดียว นอกจากนี้การปรับความถี่ในการเดินรถมีผลต่อระยะเวลาจอดที่สถานีเช่นกัน หากเดินรถที่ความถี่สูงจะทำให้ระยะเวลาจอดที่สถานีน้อยลง ในทางตรงกันข้ามหากเดินรถที่ความถี่ต่ำก็สามารถเพิ่มระยะเวลาจอดที่สถานีได้ สำหรับในช่วง Off-Peak และ Peak สามารถเดินรถได้ตามแนวทางการจำลองที่วางแผนไว้

แต่ในช่วง Surged Peak ที่มีความถี่ต่ำมากๆ จะถูกจำกัดด้วยช่วงที่เป็นคอขวด ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดให้เดินรถบนลูบสีแดงและลูบสีเขียวเพื่อให้สามารถรองรับผู้โดยสารได้ตามที่คาดการณ์ไว้

สำหรับงานวิจัยในอนาคตอาจต้องมีการกำหนดระยะเวลาของรางหรือการตัดรางตามลักษณะการเดินทางจริง เนื่องจากในตอนนี้จะมีความเกี่ยวข้องกับช่วงจำกัดความเร็วของการเดินรถ กล่าวคือ ขบวนรถต้องลดความเร็วลงเมื่อถึงระยะทางเท่าใดก่อนเข้าสู่สถานี

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท เรืองณรงค์ จำกัด ที่สนับสนุนข้อมูลในการทำวิจัย ตลอดจนการสนับสนุนทุนการศึกษา ระดับปริญญาโทร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ภายใต้ทุนโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พอ.

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Airport Cooperative Research Program, Guidebook for Planning and Implementing Automated People Mover Systems at Airports Report 37, United States: Transportation Research Board, 2012.
- [2] F. S. De, G. Medeossi and G. Montanaro, "Improving the Microscopic Simulation of Railway Networks," in *16th International Conference on Railway Engineering Design & Operation*, Portugal, 2018.
- [3] วเรศรา วีระวัฒน์ และ ฐานันดร บุญไชย, "การใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์รูปแบบการให้บริการเดินรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมือง," *Thai Journal of Science and Technology*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 3, น. 293-306, 2561.
- [4] H. Hrvoje, I. Talan and B. Michaljevic, "Improvement of suburban railway services by infrastructure and timetable modifications based on

- simulation modelling,” *Transport Problems.*, vol. 13, no. 3, pp. 15-27, 2018.
- [5] P. Hamed and P. Lautala, “Hybrid simulation approach for improving railway capacity and train schedules,” *Journal of Rail Transport Planning & Management.*, vol. 5, no. 4, pp. 211-224, 2015.
- [6] A. Nash, U. Weidmann, S. Bollinger, M. Luethi, and S. Buchmueller, “Increasing schedule reliability on the S-Bahn in Zurich,” *Transportation Research Record.*, vol. 1955, no. 1, pp. 17-25, 2006.
- [7] S. Hans, “Evaluation of Single Track Timetables using Simulation,” in *ASME/IEEE Joint Rail Conference*, New York, 2014.
- [8] H. N. Koutsopoulos and Z. Wang, “Simulation of urban rail operations: application framework,” *Transportation research record.*, vol. 2006, no. 1, pp. 84-91, 2007.
- [9] C. Zhen and B. M. Han, “Simulation study based on opentrack on carrying capacity in district of Beijing-Shanghai high-speed railway,” *Applied Mechanics and Materials.*, vol. 505, pp. 567-570, 2014.
- [10] W. Weerawat, L. Samitiwantikul and R. Torpanya, “Operational challenges of the Bangkok Airport Rail Link,” *Urban Rail Transit.*, vol. 6, no. 1, pp. 42-55, 2020.
- [11] I. Ljubaja, M. Mikulčića and T. J. Mlinarića, “Possibility of increasing the railway capacity of the R106 regional line by using a simulation tool,” *Transportation Research Procedia.*, vol. 4, pp. 137-144, 2020.
- [12] A. Jelena and A. Schöbel, “OpenTrack—a tool for simulation of railway networks,” *Mechanics Transport Communications.*, vol. 15, no. 3, pp. 32-40, 2017.

# 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 หรือเพิ่มเติมนองค์ความรู้เดิม

## 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 สามารถดาวโหลดคู่มือการส่งบทความผ่านระบบ Thai Journals Online ที่ <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> โดยให้ส่งบทความต้นฉบับเป็นไฟล์นามสกุล .doc และ .pdf
5. กองบรรณาธิการวารสารรับต้นฉบับบทความ ผ่านทางระบบการส่งต้นฉบับในเว็บไซต์ หรือผ่านทางอีเมล [orjournal.th@gmail.com](mailto:orjournal.th@gmail.com)
6. กองบรรณาธิการวารสารพิจารณาบทความขั้นต้น แล้วแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้นิพนธ์ หากบทความนั้น ผ่านการพิจารณาขั้นต้น กองบรรณาธิการจะส่งบทความนั้น ให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องพิจารณาบทความ และกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้นิพนธ์ภายใน 30 วัน หากมีการ

แก้ไขให้ผู้พิมพ์แก้ไขบทความตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน และนำผลงานที่แก้ไขปรับปรุงแล้วส่งให้แก่บรรณาธิการ/ผู้ประสานงานวารสาร ภายในระยะเวลาที่กำหนดหลังได้รับแจ้งผลการพิจารณา

7. สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิโดยไม่มีการแก้ไข นำส่งกองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่ในวารสารตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้กองบรรณาธิการจะทำหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ของท่านเป็นลายลักษณ์อักษร

**\*\*หมายเหตุ** ต้นฉบับบทความที่ไม่สมบูรณ์ หรือรูปแบบไม่ถูกต้อง จะถูกส่งคืนผู้เขียนบทความเพื่อแก้ไข ก่อนส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาต่อไป

### รูปแบบและการจัดพิมพ์

1. บทความต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ละภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว และความยาวไม่เกิน 25 บรรทัด หรือไม่เกิน 1 หน้ากระดาษขนาด A4 (8.27 นิ้ว \* 11.69 นิ้ว)
2. บทความทั้งหมดควรมีความยาวไม่เกิน 10 หน้ากระดาษ (รวมบทความย่อภาษาไทย บทความย่อภาษาอังกฤษและบรรณานุกรม)
3. พิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Windows รูปแบบตัวอักษร TH Sarabun PSK ขนาดตัวอักษร ขนาด 14 แบบธรรมดา โดยจัดหน้าเป็นแบบ 2 คอลัมน์
4. รายละเอียดรูปแบบการจัดพิมพ์และการตั้งค่าต่างๆ นั้นสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> เข้าเมนู Submission ► Click >>>> Article Template

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ผู้ประสานงานวารสารฯ

นายบุญชนะ เมฆโต โทรศัพท์: 02-727-3038 โทรสาร 02-3744061

E-mail: [orjournal.th@gmail.com](mailto:orjournal.th@gmail.com)

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เลขที่ 148 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม.10240



**OR-NET**