

ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2563)

บทความวิจัย

- การวิเคราะห์การไหลของจราจรที่สี่แยกไฟจราจรด้วยเทคนิคแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 1
กสิณ รังสิกรรพม
- การศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ราคามะพร้าวแห้งด้วยวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะ และวิธีการพยากรณ์ลำดับชั้น 15
ศศิประภา ดีประดิษฐ์, พรธิภา องค์กรณรงค์ และรุ่งรัตน์ ภิรักษ์เพ็ญ
- การพยากรณ์ความต้องการและการหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดของโครงข่ายบรรเทาทุกข์ 27
ศศิภาส ลีดาว และเจริญชัย โขมพัตรภรณ์
- Stochastic Modeling for SET50 Index in Thailand Using the Black-Scholes Model with A Time-Dependent Drift Parameter and Its Application to SET50 Futures Pricing 42
Parawee Hongjai, Montri Maleewong, Udomsak Rakwongwan, Chayaphon Boonchot and Sanae Rujivan

สนับสนุนโดย



คณะสถิติประยุกต์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์



เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
Operations Research Network of Thailand

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research)

ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2563)

เจ้าของ	คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
ผู้รับผิดชอบดำเนินการ	เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
ที่ปรึกษา	1. ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.นราศรี ไวนิชกุล 2. คณบดีคณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
บรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจน์ภา อมรัชกุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์)
กองบรรณาธิการ	1. ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ประชุม สุวดี (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์) 2. ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 3. ศาสตราจารย์ ดร.วรพัทธ์ ขจิตวิยานุกุล (มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์) 4. รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิต หล่อจิระขุนท์กุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์) 5. รองศาสตราจารย์ ดร.พิรุทธิ์ ชาญเศรษฐิกุล (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) 6. รองศาสตราจารย์ ดร.วลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) 7. ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 8. ศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ผู้ประสานงาน	นายบุญชนะ เมฆโต
สำนักงาน	คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ เลขที่ 118 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม. 10240 โทร.02-7273078 Fax. 02-7274061 e-mail : orjournal.th@gmail.com website : http://www.orjournal.org
กำหนดออก	ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม - ธันวาคม)
การเผยแพร่	เป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ เผยแพร่ผ่านทางเว็บไซต์โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย
การอุดหนุน	ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายจ่ายเงินทุนคณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

บรรณาธิการแถลง

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research, TJOR) เกิดขึ้นจากความร่วมมือของคณาจารย์ และนักวิจัยในเครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research Network of Thailand, OR-NET) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีคุณภาพในระดับชาติ วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานเป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ซึ่งมีกรอบเวลาในการออกเล่มปีละ 2 ฉบับ ฉบับแรกระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายนของปี และฉบับที่ 2 ระหว่าง เดือนกรกฎาคม-เดือนธันวาคมของปี ซึ่งวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (เล่มที่ 16) ของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดบทความและวารสารฉบับเต็มได้ที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> คณะผู้จัดทำและกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้วิจัย ผู้สนใจ และผู้เกี่ยวข้องในแวดวงวิชาการต่อไป

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

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานได้รับการจัดกลุ่มวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ดัชนีอ้างอิงวารสารไทย(Thai-Journal Citation Index Centre) อยู่ในวารสารกลุ่มที่ 2 ซึ่งจะมีผลจนถึงปี 2567

กาญจน์ภา อมรัชกุล

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

บรรณาธิการแถลง

บทความวิจัย

การวิเคราะห์การไหลของจราจรที่สี่แยกไฟจราจรด้วยเทคนิคแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ กสิณ รังสิกรรพุม	1
--	---

การศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ราคามะพร้าวแห้งด้วยวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะ และวิธีการพยากรณ์ลำดับชั้น ศิริประภา ดีประดิษฐ์, พรธิภา องค์กรรักษ์ และรุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ	15
---	----

การพยากรณ์ความต้องการและการหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดของโครงข่ายบรรเทาทุกข์ ศศิภาส สีดาว และเจริญชัย โขมพัตรารักษ์	27
--	----

Stochastic Modeling for SET50 Index in Thailand Using the Black-Scholes Model with A Time-Dependent Drift Parameter and Its Application to SET50 Futures Pricing <i>Parawee Hongsai, Montri Maleewong, Udomsak Rakwongwan, Chayaphon Boonchot and Sanae Rujivan</i>	42
---	----

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

การวิเคราะห์การไหลของจราจรที่สี่แยกไฟจราจรด้วยเทคนิค แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

กสิณ รังสิกรพุม¹

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 85 เมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ อุบลราชธานี 34190

Received: 18 November 2019; Revised: 2 March 2020; Accepted: 10 March 2020

บทคัดย่อ

การใช้นยานพาหนะของประเทศไทยและทั่วโลกในปัจจุบันมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการจราจรบริเวณสี่แยกไฟแดงในชุมชนเมืองและบริเวณสถาบันการศึกษาที่มีผู้สัญจรอย่างคับคั่ง ทำให้การระบายรถยนต์ทำได้ยาก โดยการจัดการเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมส่งผลต่อการจัดการการระบายการไหลของยานพาหนะ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาการจราจรโดยใช้โปรแกรม AnyLogic ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์แบบตัวแทนและใช้กรณีศึกษาที่แยกไฟแดงหน้าประตูทางออกของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลการเดินทางเฉลี่ยในช่วงเช้า (8:00-10:00) กลางวัน (11:00-13:00) และเย็น (16:00-18:00) และทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาการจราจรโดยวิเคราะห์ระยะเวลาการสัญจรในระบบความเร็วในการเดินทาง และ จำนวนการหยุดของรถ ซึ่งแบ่งเป็นสองรูปแบบการทดลองคือ 1) การจำลองระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรในแต่ละเส้นทางเพื่อหาระยะเวลาของสัญญาณไฟที่เหมาะสมที่สุด และ 2) การจำลองการลดจำนวนช่องทางการจราจรจากเส้นทางการจราจรหลัก เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการปิดถนนที่มีต่อเวลาสัญจรที่เพิ่มขึ้น โดยผลจากการวิเคราะห์พบว่า การตั้งระยะเวลาสัญญาณไฟด้วยเงื่อนไขที่ดีที่สุดทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาในระบบอยู่ที่ 189.53 วินาที/คัน ความเร็วอยู่ที่ 11.48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และจำนวนการหยุดของรถอยู่ที่ 2.48 ครั้งต่อคัน นอกจากนี้พบว่า การลดจำนวนช่องทางในเส้นทางหลักส่งผลให้ระยะเวลาในระบบเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ประมาณ 65% โดยผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปขยายผลเพื่อการจัดการจราจรอย่างเป็นระบบได้ในสถานการณ์อื่นๆ ต่อไป

คำสำคัญ: การวิเคราะห์การไหล, การจัดการจราจร, สี่แยกไฟแดง, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

* Corresponding author. E-mail: kasinphd@gmail.com

¹ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Analysis of Traffic Flow at a Red Light Intersection using Computer Simulation technique

Kasin Ransikarbum¹

Ubonratchathani University, 85 Mueang Si Khai, Warin
Chamrap District, Ubon Ratchathani, 34190

Received: 18 November 2019; Revised: 2 March 2020; Accepted: 10 March 2020

Abstract

Due to an increasing use of vehicles in major cities in Thailand and around the world, traffic congestion problems are increasing. In particular, traffic at the intersection nearby the urban community and educational institutions is congested by a number of commuters and passengers during the peak time, which causes the problem with flow management. Proper management and analysis of red lights at the intersection also affects the flow of vehicles. In this research, we aim to evaluate traffic problems at the intersection using the agent-based simulation software called AnyLogic. The case study is conducted at the main entrance in front of Ubonratchathani University. Initially, average data are collected during the peak hour in the morning (8:00-10:00), the afternoon (11:00-13:00), and the evening (16:00-18:00). Then, the designed experiments are conducted to test various hypothesized scenarios that affect traffic congestion in terms of the average time spent in the system, the average speed of the vehicles, and the average number of car stops. In particular, two designed experiments are conducted as follows: 1) the experiment to assess the best condition of the traffic light setting, in which the timing of traffic light in each direction is varied for each traffic direction; and 2) the experiment to test how reduced traffic lanes affect the travel time for commuters in the system. The analyzed results show that the best condition for the traffic light yields the average time of 189.53 seconds/car, the average speed of 11.48 kilometers per hour, and the average number of stops at 2.48 times/car. In addition, reduced traffic lanes in the main roads can affect the time spent in the system up to around 65%. It is expected that results from this study can be further applied and extended to other situations for effective traffic management.

Keywords: Flow analysis, Traffic management, Traffic-light intersection, Ubonratchathani University

* Corresponding author. E-mail: kasinphd@gmail.com

¹ Department of Industrial Engineering, Engineering faculty, Ubonratchathani University

1. บทนำ

ในปัจจุบัน พบว่ามีอัตราการใช้น้ำมันของประชาชนในประเทศไทยและทั่วโลกจำนวนมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาการจราจรติดขัดในหลายๆ แห่ง โดยปัญหาการจราจรเกิดจากจำนวนประชากรที่หนาแน่น มีการเดินทางเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ต่างๆ ซึ่งส่งผลเสียทำให้ผู้เดินทางต้องใช้เวลาอยู่บนท้องถนนมากขึ้น ประกอบกับชุมชนเมืองส่วนใหญ่มีลักษณะการเป็นศูนย์กลางทางด้านต่างๆ ทำให้มีการจราจรหนาแน่นบริเวณศูนย์กลางเมืองเนื่องจากเป็นที่รวมกิจกรรมต่างๆ ที่สำคัญ โดยการจัดการจราจรบริเวณสี่แยกไฟแดงถือเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญ โดยเฉพาะบริเวณชุมชนและหน้าสถาบันการศึกษา ซึ่งในช่วงเวลาที่ต้องไปทำงานหรือช่วงเวลาเลิกงาน ทำให้มีปริมาณผู้ใช้น้ำมันมากเป็นพิเศษ ดังนั้นการจัดการจราจรและการระบายรถจึงทำได้ยาก เกิดเป็นปัญหาการจราจร [1]-[2]

ทั้งนี้ได้มีการประมาณค่าใช้จ่ายและความสูญเสียทางเศรษฐกิจที่เกิดจากการจราจรติดขัดในเมืองต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ความสูญเสียทางเศรษฐกิจจากการจราจรติดขัดที่สูงที่สุดคือที่สหรัฐอเมริกาคิดเป็นมูลค่า 305 พันล้านดอลลาร์ในปี 2017 ซึ่งคำนวณจากค่าใช้จ่ายทางตรงของผู้ใช้น้ำมัน เช่น ค่าน้ำมันและเวลาที่สูญเสีย รวมถึงค่าใช้จ่ายทางอ้อม เช่น ค่าใช้จ่ายจากการสูญเสียโอกาสในการทำธุรกิจ เป็นต้น โดยแม้จะมีการพยายามศึกษาและแก้ปัญหาการจราจรอย่างต่อเนื่อง แต่ด้วยลักษณะของปัญหาการจราจรที่มีความซับซ้อนและมีรายละเอียดเงื่อนไขมากมายตามแต่ละพื้นที่ ทำให้เป็นปัญหาที่แก้ไขได้ยาก โดยการจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงเพื่อที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์และแก้ปัญหาการจราจรที่เกิดขึ้นที่เหมาะสมกับสถานการณ์ในแต่ละชุมชนที่มีการจราจรอย่างหนาแน่นเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการจราจรอย่างมีประสิทธิภาพและตรงจุดต่อไป [3]-[8]

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

การศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโมเดลแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) โดยโปรแกรมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาการจราจรในงานวิจัยนี้คือ AnyLogic [9] ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการจำลองสถานการณ์ปัญหาการจราจร โดยข้อดีของโปรแกรม AnyLogic คือการเป็นโปรแกรมที่สามารถทำการจำลองสถานการณ์ได้แบบหลากหลายวิธีพร้อมกัน (Multi-Method Simulation) ในรูปแบบของการโมเดลแบบตัวแทน (Agent-Based Simulation - ABS) การโมเดลแบบเหตุการณ์จำกัด (Discrete Event Simulation - DES) และการโมเดลแบบระบบเคลื่อนไหว (System Dynamics - SD) [10-12] โดยข้อดีของการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์คือการวิเคราะห์ปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีความไม่แน่นอนมาเกี่ยวข้องได้ดี รวมถึงการใช้ภาพเคลื่อนไหว (Animation) เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ ในขณะที่ข้อเสียเกี่ยวข้องกัเวลาในการพัฒนาแบบจำลองที่ใช้เวลานานเมื่อเทียบกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [20-23]

ในส่วนของโปรแกรม AnyLogic เอง ได้มีการถูกนำมาใช้วิเคราะห์แบบจำลองในงานวิจัยที่หลากหลาย ทั้งในด้านการขนส่ง [13-14] การจัดการภัยพิบัติ [15-16] รวมถึงการวางแผนและการบริหารจัดการในระดับหน่วยงานต่างๆ [17-18] เช่น Ransikarbum และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาระบบการออกแบบถนนทางหลวงโดยวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนขับรถ (agent) และสิ่งแวดล้อม (highway) โดยใช้โปรแกรม AnyLogic แบบ ABS นอกจากนี้ Joo และคณะ [15] ได้ทำการวิเคราะห์การจัดการเพลิงไหม้ในโกดังโดยศึกษารูปแบบการกระจายของไฟและการอพยพของผู้ใช้อาคาร (Agent) ในงานวิจัย ต่อมา Kim และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาการวางแผนการเปลี่ยนแปลงของประชากรในประเทศเกาหลีใต้ โดยใช้โปรแกรม AnyLogic ในการวิเคราะห์ปัญหาผู้สูงอายุที่มากขึ้นและภาวะการเกิดของเด็กที่น้อยลงอย่างเป็นระบบ เป็นต้น

2.2 ทฤษฎีทางด้านการควบคุมสัญญาณไฟจราจร

ในส่วนของการจัดการและควบคุมสัญญาณไฟจราจรบริเวณแยกจราจรต่างๆ เอง ได้มีการแบ่งรูปแบบการควบคุมสัญญาณไฟจราจรเป็นสองส่วนหลักคือแบบการควบคุมคงที่ (Fixed-time) และแบบกระตุ้น (Actuated Control) ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่การใช้งานต่าง ๆ [38-39] โดยหลักการของแบบควบคุมคงที่เป็นการใช้ข้อมูลในอดีตเพื่อควบคุมสัญญาณไฟ โดยเลือกรูปแบบของสัญญาณไฟจราจรจากการที่ได้ออกแบบไว้ล่วงหน้า ซึ่งอาจมีการควบคุมที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน เช่นช่วงเร่งด่วนตอนเช้าหรือตอนเย็น ในขณะที่หลักการควบคุมแบบกระตุ้น เป็นการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องตรวจจับการจราจรกับจังหวะของสัญญาณไฟจราจร ทำให้การควบคุมจังหวะของสัญญาณไฟเป็นไปตามปริมาณจราจรที่มากหรือน้อย ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นอีกสามส่วนย่อย คือแบบกึ่งกระตุ้น (Semi-actuated control) แบบกระตุ้นเต็มที่ (Fully-actuated control) และแบบพิจารณาปริมาณและความหนาแน่น (Volume-density control) ซึ่งแตกต่างตามรูปแบบเส้นทางหลักเส้นทางรอง

ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้เป็นการพิจารณากรณีศึกษาในลักษณะการควบคุมคงที่ จากการใช้ข้อมูลจราจรในการกำหนดระยะเวลาของสัญญาณไฟที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในลักษณะของแบบกระตุ้นได้เช่นกัน

2.3 แบบจำลองคอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาจราจร

ได้มีทฤษฎีและงานวิจัยที่หลากหลายที่เป็นการวิเคราะห์และประยุกต์ใช้โปรแกรมต่างๆ ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านการจราจร โดยเป็นการบูรณาการในส่วนของวิศวกรรมระบบ (System Engineering) และวิศวกรรมจราจร (Traffic Engineering) ยกตัวอย่างเช่นทฤษฎีและโมเดลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณช่วงเวลารอบของไฟแดง [34] ทฤษฎีทางด้านการโมเดลการเปลี่ยนแปลงและการรวมเลน [13, 35] รวมถึงเทคโนโลยีต่างๆ ของระบบสัญญาณไฟจราจร ทั้งแบบคงที่ (Fixed time signal control) แบบแปรผันตามการมีรถในระบบจราจร (Vehicle activated signal control) และแบบการเปลี่ยนตามปริมาณจราจรแบบปรับตัว (Adaptive signal control) [36-37] เป็นต้น

นอกจากนี้ในการศึกษาโดยวิเคราะห์หาค่าการปรับเวลาสัญญาณจราจรที่เหมาะสมที่สุดเอง ได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่หลากหลาย ทั้งในรูปแบบของการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ [19, 32, 39-40] การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าที่ดีที่สุด [41] การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [42] และการใช้เครื่องมือทางด้านเมตาฮีริสติกส์ [42-43] นอกจากนี้ได้มีการเสนอรูปแบบการใช้เทคโนโลยีในลักษณะของระบบการจราจรและการขนส่งแบบฉลาด (Intelligent Transportation System : ITS) [44] ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อข้อมูลแบบทันเวลา (real time) ระหว่างรถยนต์กับรถยนต์ (Vehicle-Vehicle) และรถยนต์กับสิ่งก่อสร้าง (Vehicle-Infrastructure) เป็นต้น

ทั้งนี้ ในส่วนของการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับปัญหาทางด้านการจราจรเอง ได้มีการประยุกต์ใช้โปรแกรมต่างๆ ที่หลากหลายในการนำมาสร้างแบบจำลอง เช่นการใช้โปรแกรม ProModel ในการวิเคราะห์คาบเวลาของสัญญาณไฟจราจร โดยการจำลองสถานการณ์จากกรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย [19] การใช้โปรแกรม ProModel ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวสินค้าโดยพิจารณาแบบยานพาหนะที่หลากหลาย [31] การใช้โปรแกรม AnyLogic ในการวิเคราะห์สัญญาณไฟจราจรแบบปรับตัว (Adaptive Traffic Signal) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการจราจรที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณจราจรตลอดเวลา [32] การใช้โปรแกรม VisSim ร่วมกับ Messo ในการวิเคราะห์ปัญหาการจราจรในประเทศสวีเดนแบบระดับภาพรวมของเมือง และแบบละเอียดของสามแยกไฟแดง [33] เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม พบว่างานวิจัยที่เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ปัญหาการจราจรในไทยยังมีจำกัด นอกจากนี้ยังขาดมุมมองในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเพิ่มหรือลดเลน โดยงานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบ ABS ร่วมกับการใช้ฟังก์ชัน Road Traffic Library ในการวิเคราะห์ปัญหา

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

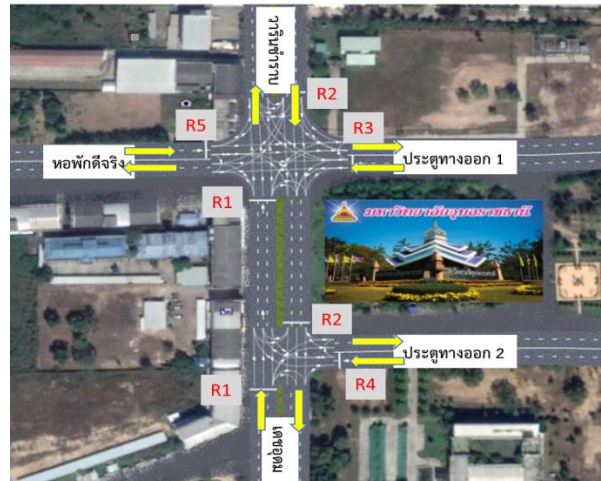
3.1 กรณีศึกษาและการเก็บข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ผู้ทำวิจัยได้ทำแบบสำรวจและทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้กรณีศึกษาบริเวณแยกไฟแดงหน้ามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (รูปที่ 1) เพื่อเป็นการประเมินแนวทางที่เหมาะสมและการวิเคราะห์ถึงปัญหาการจราจรที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1 แสดง (บน) ประตู่ที่ 1 และ (ล่าง) ประตู่ที่ 2

โดยแสดงภาพรวมการจราจรบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย 2 แยกไฟแดงสำหรับประตูทางออกที่ 1 และประตูทางออกที่ 2 และมีลักษณะเป็นห้าเส้นทางการเดินทาง คือ (R1) เส้นทางเดชอุดม-วารินชำราบ; (R2) เส้นทางวารินชำราบ-เดชอุดม; (R3) เส้นทางจากประตูที่ 1; (R4) เส้นทางจากประตูที่ 2; และ (R5) เส้นทางจากหอพักตึกจริง โดยเส้นทางหลักคือ R1 และ R2 เป็นถนนฝั่งละ 3 เลน และมีเส้นทางรองที่เหลือเป็นถนนฝั่งละ 2 เลน



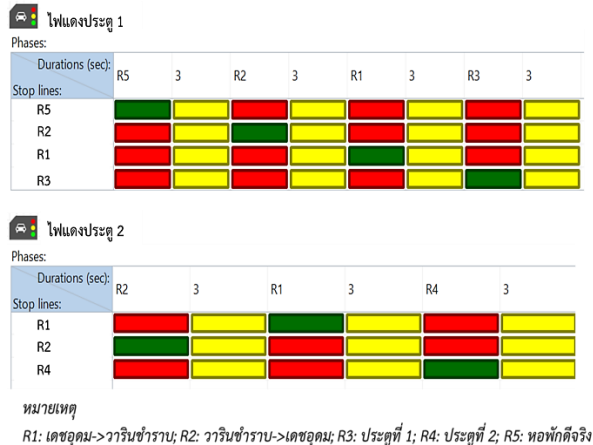
รูปที่ 2 แสดงภาพรวมของการจราจรหน้ามหาวิทยาลัย

โดยผลการเก็บข้อมูลความหนาแน่นรถแสดงในตารางที่ 1 โดยทำการเก็บข้อมูลจากการบันทึกวิดีโอการสัญจรในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2562 โดยทำการเก็บข้อมูลการสัญจรเฉลี่ยในช่วงเช้า (8:00-10:00) กลางวัน (11:00-13:00) และเย็น (16:00-18:00) แล้วทำการวิเคราะห์ผลความหนาแน่นสุทธิของการสัญจรของรถในแต่ละชั่วโมง ซึ่งพบว่าการจราจรในช่วงเวลาเย็นจะมีความหนาแน่นที่สุด

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนความหนาแน่นรถโดยเฉลี่ยต่อชั่วโมง

วัน/เวลา	เช้า	กลางวัน	เย็น	เฉลี่ย
จ	871	801	941	871
อ	919	801	960	893
พ	921	803	927	884
พฤ	899	826	907	877
ศ	889	1037	1085	1003
ส	764	768	796	776
อา	882	1055	1089	1009
เฉลี่ย	878	870	958	902

นอกจากนี้แสดงรูปแบบสัญญาณไฟที่ส่งผลต่อแต่ละช่องทางการเดินทางในรูปที่ 3 โดย R1 – R5 แสดงจุดควบคุมการหยุดของรถ (Stop Line) ตามเส้นทางการเดินทางจากเส้นทางหลักและเส้นทางรองที่ได้กำหนดไว้ก่อนหน้านี้



รูปที่ 3 แสดงการจัดเฟสสัญญาณไฟในแต่ละช่องทาง สำหรับ (บน) สัญญาณไฟประตูที่ 1 และ (ล่าง) สัญญาณไฟประตูที่ 2

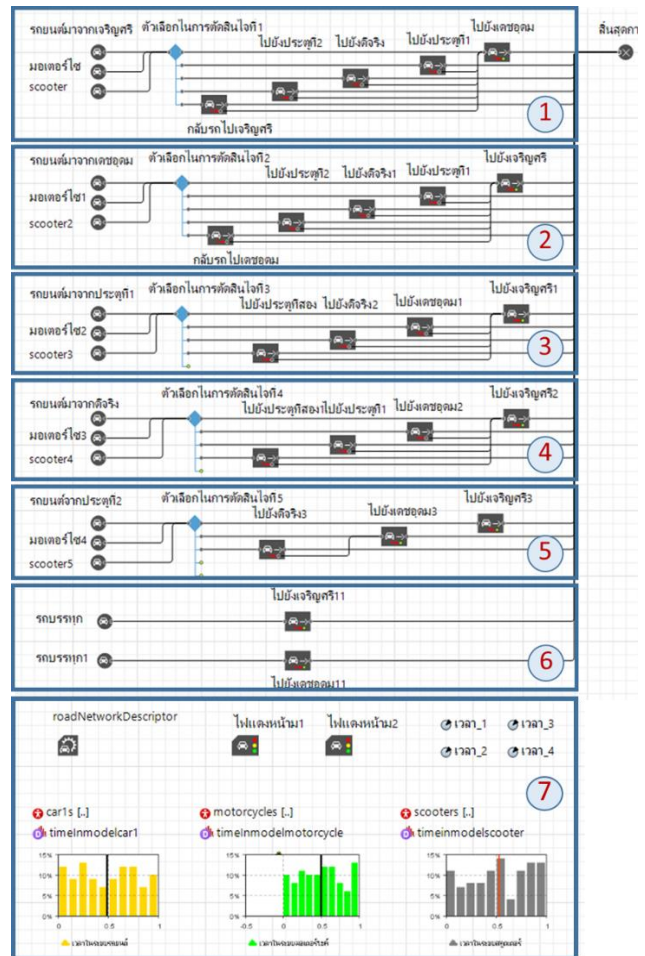
3.2 แบบจำลองการจราจรด้วยโปรแกรม AnyLogic

3.2.1 การพัฒนาแบบจำลอง (As-Is Model)

ขั้นตอนต่อมาเป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับปัญหาการไหลของจราจรที่สี่แยกไฟแดง โดยใช้โปรแกรม AnyLogic ซึ่งแสดงภาพรวมของการโมเดลในรูปที่ 4 โดยแสดงส่วนประกอบของโมเดลตามเส้นทางการมาของการจราจร คือ 1) การไหลของจราจรจากเส้นทางมาจากวารินชำราบหรือทางตลาดเจริญศรี 2) การไหลของจราจรจากเส้นทางมาจากเดชอุดม 3) การไหลของจราจรจากเส้นทางมาจากประตูทางออกที่ 1 ของมหาวิทยาลัย 4) การไหลของจราจรจากเส้นทางมาจากหอพักตึกจริง และ 5) การไหลของจราจรจากประตูทางออกที่ 2 ของมหาวิทยาลัย โดยใช้การประมาณค่าความน่าจะเป็นในการเดินทางจากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

นอกจากนี้ ทำการเพิ่ม 6) การโมเดลสำหรับการมาของรถบรรทุกเป็นครั้งคราว ในเส้นทางหลักระหว่างตลาดเจริญศรีกับเดชอุดม และ 7) การโมเดลสัญญาณไฟจราจรสำหรับสองประตูทางออกของมหาวิทยาลัย และการเก็บ

ข้อมูลทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลเวลาเฉลี่ยในระบบ ความเร็วเฉลี่ยในระบบ และจำนวนรถหยุดโดยเฉลี่ยในระบบ

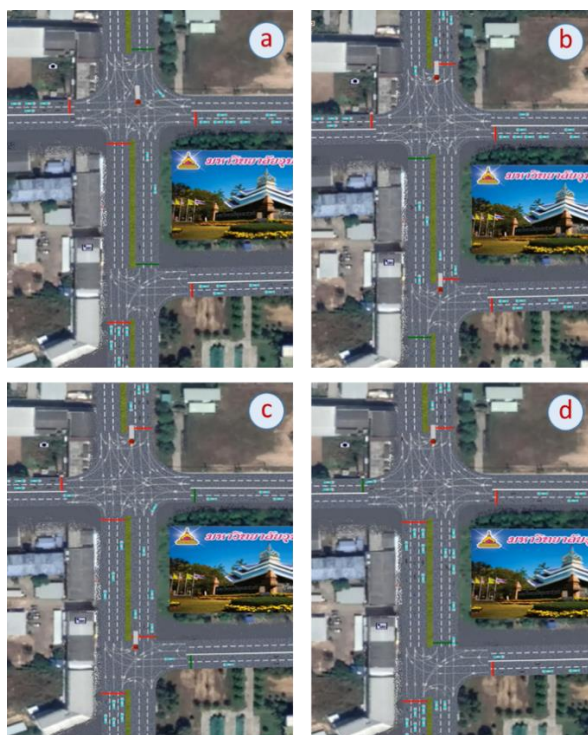


รูปที่ 4 แสดงการโมเดลแบบจำลองด้วยโปรแกรม AnyLogic

3.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ คือการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Verification/Validation) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น [24-28] โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยวิเคราะห์การไหลของวิธีการโมเดล (Logical Flow) นอกจากนี้ Sargent [27] แนะนำว่าขั้นตอน Validation สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคแบบ Subjective เช่นการตรวจสอบพฤติกรรมของโมเดล หรือแบบ Objective เช่นการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมของโมเดลในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้แน่ใจว่ารถที่สัญจรไปมามีการใช้

เส้นทางต่างๆ ตามที่คาดหวัง และการเปิดหรือปิดสัญญาณไฟจราจร ส่งผลต่อรถที่สัญจรในแต่ละเส้นทางอย่างถูกต้องตามสถานการณ์ปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีสองสัญญาณไฟในแต่ละแยกการจราจรที่ทำงานอย่างสัมพันธ์กัน โดยรูปที่ 5 (a) แสดงการเปิดสัญญาณไฟเขียวในเส้นทางจากวารินชำราบไปเดชอุดม รูปที่ 5 (b) แสดงการเปิดสัญญาณไฟเขียวในเส้นทางจากเดชอุดมไปวารินชำราบ รูปที่ 5 (c) แสดงการเปิดสัญญาณไฟเขียวจากประตูทางออกของมหาวิทยาลัย และรูปที่ 5 (d) แสดงการเปิดสัญญาณไฟเขียวจากเส้นทางหอพักตึกจริง ตามลำดับ



รูปที่ 5 แสดงผลการ run แบบจำลองในแต่ละช่วงเวลา

นอกจากนี้ ได้ทำการสร้างแบบจำลองในรูปแบบสามมิติ (Animation) เพื่อความสมจริงและเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งานสำหรับผู้กำหนดนโยบายและผู้ที่ทำการตัดสินใจ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการทำแบบจำลองในรูปแบบสามมิติ (Animation) ของการจราจร

3.3 การออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ต่างๆ (What-If Model) โดยแบ่งเป็นสองรูปแบบการทดลองหลัก โดยการทดลองแรกเป็นการออกแบบการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบผลของการตั้งสัญญาณไฟแบบเท่ากันทุกเส้นทางและแบบที่แตกต่างกันตามเส้นทางหลัก (จากอำเภวารินชำราบและจากอำเภอเดชอุดม) และเส้นทางรอง รอง (ประตูทางออก 1 ทางออก 2 และหอพักตึกจริง) โดยแบ่งออกเป็น 6 สถานการณ์ย่อย (Scenarios) คือ (S1-S6) ที่ตั้งเวลาสัญญาณไฟจราจรเท่ากันในแต่ละเส้นทาง และอีก 6 สถานการณ์ย่อย (S7-S12) ที่ตั้งเวลาของสัญญาณไฟจราจรแตกต่างกันระหว่างเส้นทางหลักและเส้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาแบบการตั้งเวลาสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

ตารางที่ 2 แสดงการทดลองปรับเวลาสัญญาณไฟ (วินาที)

รูปแบบ	R1	R2	R3	R4	R5
S1	10	10	10	10	10
S2	20	20	20	20	20
S3	30	30	30	30	30
S4	40	40	40	40	40
S5	50	50	50	50	50
S6	60	60	60	60	60
S7	60	60	10	10	10

S8	60	60	20	20	20
S9	50	50	10	10	10
S10	50	50	20	20	20
S11	40	40	10	10	10
S12	40	40	20	20	20

นอกจากนี้ การทดลองที่ สอง เป็นการจำลองผลกระทบจากการลดจำนวนช่องทางการจราจรจากเส้นทางการจราจรหลัก ซึ่งอาจเกิดจากการปรับปรุงถนน หรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้น โดยแบ่งเป็น 3 สถานการณ์ย่อย (S13-S15) ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยการทดลองที่ S13 เป็นการปิดถนน 1 ช่องทางสำหรับเส้นทางวารินชำราบไปเดชอุดม การทดลองที่ S14 เป็นการปิดถนน 1 ช่องทางสำหรับเส้นทางเดชอุดมไปวารินชำราบ และการทดลองที่ S15 เป็นการปิดถนนอย่างละ 1 ช่องทางสำหรับทั้งสองเส้นทางหลัก คือทั้งเส้นทางจากวารินชำราบไปเดชอุดม และเส้นทางจากเดชอุดมไปวารินชำราบ

ตารางที่ 3 แสดงการทดลองลดจำนวนช่องทางการจราจร

เส้นทาง	R1	R2	R3	R4	R5
ปัจจุบัน	3 เลน	3 เลน	2 เลน	2 เลน	2 เลน
S13	3 เลน	2 เลน	2 เลน	2 เลน	2 เลน
S14	2 เลน	3 เลน	2 เลน	2 เลน	2 เลน
S15	2 เลน	2 เลน	2 เลน	2 เลน	2 เลน

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์การปรับระยะเวลาสัญญาณไฟจราจร

ผลการเปรียบเทียบการตั้งสัญญาณไฟแบบเท่ากันทุกเส้นทางและแบบแตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ผลระยะเวลาในระบบโดยเฉลี่ย ความเร็วรถโดยเฉลี่ย และจำนวนครั้งที่รถหยุดโดยเฉลี่ย แสดงในตารางที่ 4 โดยแสดงผลการวิเคราะห์ผล 1 ชั่วโมงตามเวลาการสัญญาณในช่วงเช้า และทำการ run 100 รอบ (Iterations) ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการตั้งค่าสัญญาณไฟจราจรที่เท่ากัน

ในทุกเส้นทาง (S1-S6) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการสัญญาณในระบบมีแนวโน้มที่สูงกว่าการตั้งค่าสัญญาณไฟจราจรที่แตกต่างกันในแต่ละเส้นทาง (S7-S17) ซึ่งผลที่ได้เป็นไปตามที่คาดไว้เนื่องจากปริมาณรถที่สัญญาณในเส้นทางหลักมีมากกว่ารถในเส้นทางรอง ดังนั้นการปรับสัญญาณไฟในทุกเส้นทางที่เท่ากันทำให้เกิดการใช้เวลาโดยรวมของรถในระบบที่สูงกว่า ทำให้การทำความเร็วโดยเฉลี่ยต่ำกว่า และจำนวนครั้งที่รถหยุดมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับสัญญาณไฟแตกต่างกัน

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาในระบบจากการปรับระยะเวลาสัญญาณไฟ (วินาที/คัน)

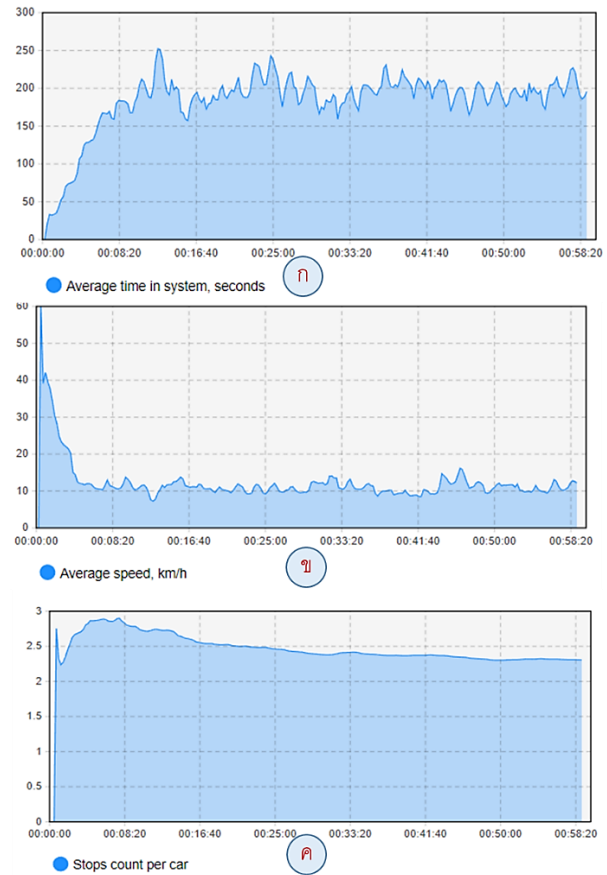
รูปแบบ	เวลาเฉลี่ย (วินาที/คัน)	ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชม)	รถหยุดเฉลี่ย (ครั้ง/คัน)
S1	714.67	5.80	9.09
S2	804.90	5.64	8.84
S3	753.04	6.60	5.33
S4	895.58	5.78	7.55
S5	906.98	6.82	5.98
S6	491.99	8.06	5.05
S7	241.91	10.78	2.83
S8	560.59	8.29	4.05
S9	269.26	9.98	2.51
S10	713.26	7.07	5.00
S11	194.45	9.95	2.53
S12	423.89	7.18	3.95

นอกจากนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance – ANOVA) [29-30] ระหว่างการตั้งค่าสัญญาณไฟจราจรแบบเท่ากันในแต่ละเส้นทาง และการตั้งค่าที่แตกต่างกัน พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในระบบ (P-value = 0.006) ความเร็วเฉลี่ย (P-value = 0.008) และจำนวนครั้งในการหยุดรถโดยเฉลี่ย (P-value = 0.001) โดยใช้ค่าแอลฟาที่ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 5

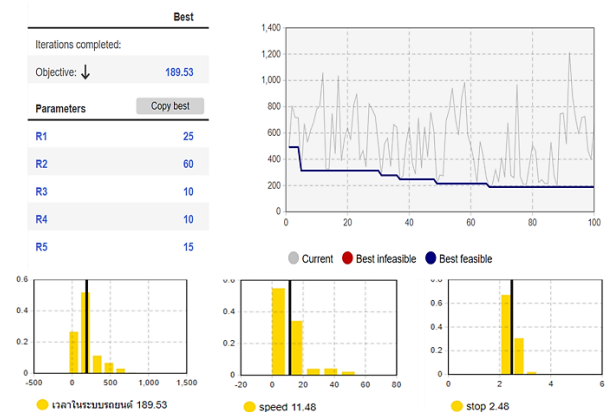
ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Source	SS	DF	MS	P-value
เวลาเฉลี่ยในระบบ				
B/W Grs	390169	1	390169	0.006
W/I Grs	324751	10	32475	
Total	714920	11		
ความเร็วเฉลี่ยในระบบ				
B/W Grs	17.64	1	17.64	0.008
W/I Grs	16.75	10	1.67	
Total	34.39	11		
รถหยุดเฉลี่ยในระบบ				
B/W Grs	39.49	1	39.49	0.001
W/I Grs	22.24	10	2.24	
Total	61.73	11		

ขั้นตอนต่อมา เป็นการวิเคราะห์หาค่าระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจรที่ดีที่สุด (Optimization) โดยพิจารณา ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในระบบ โดยทำการวิเคราะห์ผล 100 รอบ (Iterations) ด้วยโปรแกรม Anylogic ซึ่งพบว่ารูปแบบ ระยะเวลาการตั้งค่าสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมที่สุดคือ (R1) เส้นทางเดชอุดม-วารินชำราบที่ 25 วินาที; (R2) เส้นทางวารินชำราบ-เดชอุดมที่ 60 วินาที; (R3) เส้นทางจาก ประตูที่ 1 ที่ 10 วินาที; (R4) เส้นทางจากประตูที่ 2 ที่ 10 วินาที; และ (R5) เส้นทางจากหอพักตึกจริงที่ 15 วินาที ตามลำดับ โดยแสดงผลการ run โปรแกรมจากการทำ Optimization สำหรับค่าเฉลี่ยของเวลาในระบบ ค่าความเร็วเฉลี่ย และจำนวนครั้งที่รถหยุดเฉลี่ย ในแต่ละช่วงเวลา ในรูปที่ 7 และแสดงผลการวิเคราะห์การทำ Optimization ในรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุดของเวลาในระบบอยู่ที่ 189.53 วินาที/คัน ค่าความเร็วเฉลี่ยอยู่ที่ 11.48 กิโลเมตร/ชั่วโมง และจำนวนครั้งที่รถหยุดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.48 ครั้ง/คัน ตามลำดับ



รูปที่ 7 แสดงผลจาก Optimization ในแต่ละช่วงเวลา ก) ค่าเฉลี่ยของเวลาในระบบ ข) ความเร็วเฉลี่ย และ ค) จำนวนครั้งที่รถหยุดเฉลี่ย



รูปที่ 8 แสดงการวิเคราะห์ Optimization ของเวลาสัญญาณไฟจราจร

4.2 ผลการวิเคราะห์การลดจำนวนช่องทางการจราจร

ในขั้นตอนต่อมา เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบจากการลดจำนวนช่องทางการจราจรตามเงื่อนไขในตารางที่ 3 (S13-S15) ซึ่งส่งผลให้ความจุและการรองรับรถยนต์ได้น้อยลง โดยใช้รูปแบบการตั้งค่าของสัญญาณไฟจราจรด้วยเงื่อนไขที่ดีที่สุดในช่วงที่ข้อมูได้แล้ว และทำการตั้งค่าอื่นๆ สำหรับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในลักษณะเดิม โดยผลการวิเคราะห์ระยะเวลาในระบบโดยเฉลี่ยเมื่อพิจารณาจำนวนรถที่เข้ามาในระบบเท่ากัน แสดงในตารางที่ 6 ซึ่งแสดงรูปแบบการลดเลนและผลความหนาแน่นของรถจากการ run สำหรับ S13 S14 และ S15 ในรูปที่ 9

ตารางที่ 6 แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาในระบบจากการปรับลด

จำนวนเลน (วินาที/คัน)

รูปแบบ	ปัจจุบัน	S13	S14	S15
เวลาเฉลี่ย	189.53	221.74	239.24	313.07
% เวลาที่เพิ่ม	-	16.99%	26.22%	65.18%



รูปที่ 9 แสดงการวิเคราะห์การลดช่องทางสำหรับ ก) S13 แบบลดหนึ่งช่องทาง ข) S14 แบบลดหนึ่งช่องทาง และ ค) S15 แบบลดสองช่องทาง

ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบการปรับลดช่องทางในเส้นทางหลักระหว่างเส้นทางจากวารินชำราบไปเดชอุดม (S13) และเส้นทางจากเดชอุดมไปวารินชำราบ (S14) แล้ว พบว่าหากจำเป็นต้องทำการลดหนึ่งช่องทาง จะพบว่าการลดช่องทางในเส้นทางจากอำเภวารินชำราบไปเดชอุดม (S13) จะส่งผลกระทบต่อที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการลดช่องทางในเส้นทางจากอำเภเดชอุดมไปวารินชำราบ (S14) โดยระยะเวลาการสัญจรโดยเฉลี่ยที่เพิ่มมากขึ้นจาก S13 คิดเป็น 16.99% ส่วน S14 คิดเป็น 26.22% นอกจากนี้พบว่า การลดช่องทางทั้งสองฝั่งการเดินทาง (S15) จะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการเดินทางที่เพิ่มมากขึ้นคิดเป็น 65.18% ตามลำดับ

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับปัญหาการจราจรบริเวณสี่แยกที่มีสัญญาณไฟจราจร โดยใช้กรณีศึกษาบริเวณประตูทางออกหน้ามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทั้งนี้ปัญหาการจราจรในกรณีศึกษานี้มีความซับซ้อนเนื่องจากมีประตูทางออกที่ต่อเนื่องกันสองประตู ซึ่งมีสัญญาณไฟจราจรสองสัญญาณไฟที่ต่อเนื่องกัน สำหรับแต่ละประตูทางออก นอกจากนี้ยังมีความซับซ้อนเนื่องจากมีช่องทางการเดินทางที่มาจากหลายช่องทาง ซึ่งมีจำนวนช่องทางการเดินทางที่ไม่เท่ากันสำหรับเส้นทางหลัก (ระหว่างอำเภวารินชำราบ และอำเภเดชอุดม) และเส้นทางรอง (การเดินทางจากแต่ละประตูทางออกของมหาวิทยาลัย และจากทางหอพักตึกจริง)

โดยผลการทดลองจากการปรับระยะเวลาของสัญญาณไฟจราจร แสดงให้เห็นว่าการตั้งระยะเวลาสัญญาณไฟด้วยเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือเส้นทางเดชอุดม-วารินชำราบที่ 25 วินาที เส้นทางวารินชำราบ-เดชอุดมที่ 60 วินาที เส้นทางจากประตูทางออกที่ 1 ที่ 10 วินาที เส้นทางจากประตูทางออกที่ 2 ที่ 10 วินาที และเส้นทางจากหอพักตึกจริงที่ 15 วินาที ตามลำดับ โดยส่งผลให้ระยะเวลาในการเดินทางในระบบโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด นอกจากนี้ผลการจำลองการลดจำนวนช่องทางการจราจรจากเส้นทางจราจรหลัก เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการปิดถนนที่มีต่อเวลาสัญจรที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการลดช่องทางในเส้นทางจากอำเภ

วารินชำราบไปเดชอุดมจะส่งผลกระทบต่อที่น้อยกว่าการลดช่องทางในเส้นทางจากอำเภเดชอุดมไปวารินชำราบ

เป็นที่ชัดเจนว่าผลการวิจัยที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปขยายผลเพื่อการจัดการจราจรอย่างเป็นระบบได้ในสถานการณ์อื่นๆ ต่อไป ทั้งนี้ทิศทางการงานวิจัยในอนาคตมีได้หลายรูปแบบ เช่นการวิเคราะห์การรอคอยของผู้สัญจรไปมา การเพิ่มการวิเคราะห์ในกรณีที่มีการแข่งหรือเปลี่ยนแปลงไปมาของผู้ที่สัญจร หรือการเชื่อมต่อเส้นทางเดินทางที่ยาวขึ้น เพื่อดูผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อไป หรือการวิเคราะห์โดยพิจารณาแยกตามรูปแบบขาเข้าและขาออกจากมหาวิทยาลัย นอกจากนี้เป็นที่น่าสนใจที่จะทำการสร้างแบบจำลองสัญญาณไฟจราจรและวิเคราะห์ผล โดยพิจารณาในรูปแบบเทคโนโลยีการควบคุมสัญญาณไฟจราจรแบบต่างๆ เช่นการใช้รูปแบบการแปรผันตามการมีรถในระบบจราจร (Vehicle activated signal control) และรูปแบบการเปลี่ยนตามปริมาณจราจรแบบปรับตัว (Adaptive signal control) เป็นต้น โดยอาจทำการวิเคราะห์การจัดการสัญญาณไฟแบบกึ่งตามปริมาณจราจร (Semi Actuated Signal Control) หรือแบบปริมาณจราจรเต็มรูปแบบ (Fully Actuated Signal Control) ในอนาคตได้ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิติ์โพ, “ปัญหาการจราจรในเขตเมืองหลวง,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://nidapoll.nida.ac.th/>. [วันที่เข้าถึง 1 กันยายน 2561].
- [2] ณัฐกริช เปาอินทร์, “ทางออกของปัญหาการจราจรติดขัดในกรุงเทพมหานคร,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.bangkokbiznews.com/>. [วันที่เข้าถึง 25 กุมภาพันธ์ 2562].
- [3] G. Duranton and M. A. Turner, “The fundamental law of road congestion: Evidence from US cities,” *American Economic Review*, vol. 101, no. 2, pp. 2616-2652, 2011.
- [4] L. Zhao, Y. C. Lai, K. Park, and N. Ye, “Onset of traffic congestion in complex networks,” *Physical Review E*, vol. 71, no. 2, pp. 1-8, 2005.

- [5] K. Pyzyk, "Gridlock woes: Traffic congestion by the numbers," [Online]. Available: <https://www.smartcitiesdive.com/news/gridlock-woes-traffic-congestion-by-the-numbers/519959/>. [Accessed 25 February 2019].
- [6] N. Mueller, D. Rojas-Rueda, M. Salmon, D. Martinez, A. Ambros, C. Brand, and T. Götschi, "Health impact assessment of cycling network expansions in European cities," *Preventive Medicine.*, vol. 109, pp. 62-70, 2018.
- [7] A. Poolsawat, K. S. N. Ayutaya, and W. Pattara-Atikom, "Impact of intelligent traffic information system on congestion saving in Bangkok," in *2009 9th International Conference on Intelligent Transport Systems Telecommunications*, Lille, 2009.
- [8] K. Limapornwanitch, C. M. Montalbo Jr, K. Hokao, and A. Fukuda, "The implementation of traffic impact assessment in Southeast Asian cities: case studies of Thailand and the Philippines," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies.*, vol. 6, pp. 4208-4223, 2005.
- [9] AnyLogic, [Online]. Available: <https://www.anylogic.com/>. [Accessed 25 February 2019].
- [10] C. Macal and M. North, "Introductory tutorial: Agent-based modeling and simulation," in *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Savannah, 2014.
- [11] P. Good and P. Perkins, "Simulation Software: Anylogic and Vensim," 2019
- [12] C. D. Pegden, "Advanced tutorial: overview of simulation world views," in *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Baltimore, 2010.
- [13] K. Ransikarbum, N. Kim, S. Ha, R. A. Wysk, and L. Rothrock, "A highway-driving system design viewpoint using an agent-based modeling of an affordance-based finite state automata," *IEEE Access.*, vol. 6, pp. 2193-2205, 2017.
- [14] G. Merkuryeva and V. Bolshakovs, "Vehicle schedule simulation with AnyLogic," in *2010 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, Brisbane, 2010.
- [15] J. Joo, N. Kim, R. A. Wysk, R. A., L. Rothrock, Y. J. Son, Y. G. Oh, and S. Lee, "Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation," *Simulation Modelling Practice and Theory.*, vol. 32, pp. 99-115, 2013.
- [16] X. Wang, S. Chen, Y. Zhou, H. Peng, and Y. Cui, "Simulation on passenger evacuation under fire emergency in Metro station," in *2013 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation Proceedings*, Beijing, 2013.
- [17] J. Kim, K. Ransikarbum, N. Kim, and E. Paik, "Agent-based simulation modeling of low fertility trap hypothesis," in *Proceedings of the 2016 ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation*, Banff, 2016.
- [18] N. Zhao and S. An, "Collaborative management of complex major construction projects: anylogic-based simulation modelling," *Discrete Dynamics in Nature and Society.*, 2016.
- [19] นคร ไชยวงศ์ศักดิ์ตา ประเวช อนันต์เอื้อ นิเวศ จินะบุญ, "การวิเคราะห์ค่าเวลาของสัญญาณไฟจราจร โดยการจำลองสถานการณ์ กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย," *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1, น. 63-74, 2560.

- [20] กลิน รัชสิกรรพม และวัฒนา จันทะโคตร,
“แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์แบบตัวแทนสำหรับ
วิเคราะห์การวางแผนอพยพจากเหตุฉุกเฉินเพลิงไหม้ใน
กรณีศึกษาอาคารเรียน,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, ปีที่ 28, ฉบับที่
10, 2563.
- [21] Y. Carson and A. Maria, “Simulation
optimization: methods and applications,” in
*Proceedings of the 29th Conference on Winter
Simulation*, Atlanta, 1997.
- [22] J. April, F. Glover, J. P. Kelly, and M. Laguna,
“Practical introduction to simulation
optimization,” in *Proceedings of the 35th
Conference on Winter Simulation: Driving
Innovation*, New Orleans, 2003.
- [23] A. T. Crooks and A. J. Heppenstall,
“Introduction to agent-based modelling,”
Agent-based Models of Geographical Systems,
pp. 85-105, 2012.
- [24] K. Ransikarbum, “A procedural validation for
Affordance-based Finite State Automata (FSA)
in Human-involved Complex Systems,” Master
Thesis, Penn State University, 2009.
- [25] K. Ransikarbum, N. Kim, R. A. Wysk, and L.
Rothrock, “Validation of affordance-based
finite state automata modeling,” in *IIE Annual
Conference*, Miami, 2009.
- [26] A. M. Law, “How to build valid and credible
simulation models,” in *Winter Simulation
Conference*, Miami, 2008.
- [27] R. G. Sargent and O. Balci, “History of
verification and validation of simulation
models,” in *Proceedings of the 2017 Winter
Simulation Conference*, Las Vegas, 2017.
- [28] G. S. Fishman, “Discrete-event simulation:
modeling, programming, and analysis,”
Springer Science & Business Media, 2013.
- [29] กลิน รัชสิกรรพม, เอกสารประกอบการสอนวิชา Six
Sigma for Engineering, 2562.
- [30] H. Y. Kim, “Analysis of variance (ANOVA)
comparing means of more than two groups,”
Restorative Dentistry & Endodontics., vol. 39,
no. 1, pp. 74-77, 2014.
- [31] A. Tan, R. Bowden, and Y. Zhang, “Virtual
simulation of statewide intermodal freight
traffic,” *Transportation Research Record.*,
vol. 1873, no. 1, pp. 53-63, 2004.
- [32] X. Li, A. J. Khattak, and A. G. Kohls, “Signal
phase timing impact on traffic delay and
queue length-an intersection case study,” in
2016 Winter Simulation Conference (WSC),
Arlington, 2016.
- [33] W. Burghout and J. Wahlstedt, “Hybrid traffic
simulation with adaptive signal control,”
Transportation Research Record., vol. 1999,
no. 1, pp. 191-197, 2007.
- [34] US Department of Transportation, “Signal
Timing,” [Online]. Available:
<https://ops.fhwa.dot.gov/>. [Accessed 25 February
2019].
- [35] P. Hidas, “Modelling lane changing and
merging in microscopic traffic simulation,”
*Transportation Research Part C: Emerging
Technologies.*, vol. 10, no. 5-6, pp. 351-371,
2002.
- [36] US Department of Transport, Traffic Detection
Handbook, 3rd Edition Volume I, US
Department of Transport, Publication No.
FHWA-HRT-06-108, 2006.
- [37] M. Lodes and R. F. Benekohal, “Safety
benefits of implementing adaptive signal
control technology: Survey result,” Illinois
Center for Transportation, Illinois, 2013.

- [38] รัฐพล ภูบุบผาพันธ์, “การประยุกต์ใช้ระบบสัญญาณไฟจราจรอัจฉริยะบริเวณสามแยกบนทางหลวงสายหลักที่มีปัญหาจราจรไม่สม่ำเสมอ : กรณีศึกษาสามแยกประตู 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,” รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2557.
- [39] R. P. Roess, E. S. Prassas, and W. R. McShane, 3rd ed., *Traffic Engineering*, New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- [40] P. Jing, H. Huang, and L. Chen, “An adaptive traffic signal control in a connected vehicle environment: A systematic review,” *Information.*, vol. 8, no.3, pp. 101, 2017.
- [41] P. Zhou, Z. Fang, H. Dong, J. Liu, and S. Pan, “Data analysis with multi-objective optimization algorithm: A study in smart traffic signal system,” in *2017 IEEE 15th International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA)*, London, 2017.
- [42] J. Jin, X. Ma, and I. Kosonen, “A stochastic optimization framework for road traffic controls based on evolutionary algorithms and traffic simulation,” *Advances in Engineering Software.*, vol. 114, pp. 348-360, 2017.
- [43] A. Jovanović, M. Nikolić, and D. Teodorović, “Area-wide urban traffic control: A Bee Colony Optimization approach,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies.*, vol. 77, pp. 329-350, 2017.
- [44] C. Wang, X. Li, X. Zhou, A. Wang, and N. Nedjah, “Soft computing in big data intelligent transportation systems,” *Applied Soft Computing.*, vol. 38, pp. 1099-1108, 2016.

การศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ราคามะพร้าวแห้งน้ำหอมด้วยวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะ และวิธีการพยากรณ์ลำดับขั้น

ศิริประภา ตีประดิษฐ์¹ พรธิภา องค์กรรักษ์² และรุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ³

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Received: 25 April 2020; Revised: 12 June 2020; Accepted: 17 June 2020

บทคัดย่อ

ในโซ่อุปทานมะพร้าวแห้งน้ำหอม ราคามะพร้าวแห้งน้ำหอมที่สวนเป็นปัจจัยที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อการวางแผนการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรและผู้แปรรูป งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของวิธีการพยากรณ์ราคามะพร้าวแห้งน้ำหอมรายเดือนเบอร์ 1 ถึง 4 โดยการพยากรณ์แบบเฉพาะที่ใช้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีจำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลา และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิเคราะห์การพยากรณ์ลำดับขั้นแบบบนลงล่าง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าวิธีใดมีความเหมาะสมและถูกใช้ในการพยากรณ์ โดยเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ผลการวิจัยพบว่าการพยากรณ์วิธีลำดับขั้นแบบบนลงล่างโดยหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมทำให้ค่าพยากรณ์ของราคามะพร้าวแห้งน้ำหอมรายเดือนเบอร์ 1 ถึง 4 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย อยู่ในช่วง 0.24% ถึง 1.10% และเมื่อนำไปพยากรณ์ราคาในปีถัดไปมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย อยู่ในช่วง 9.25% ถึง 12.38% โดยสรุปคือ การพยากรณ์วิธีลำดับขั้นแบบบนลงล่างเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการพยากรณ์ราคามะพร้าวแห้งน้ำหอมเบอร์ 1 ถึง 4 แต่ค่าสัญญาณติดตามของราคามะพร้าวเบอร์ 2 ถึง 4 ในช่วง 6 เดือนหลัง ออกนอกช่วงควบคุม ดังนั้นจึงปรับค่าการพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น ทำให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย 3.20% ถึง 9.92% ซึ่งค่าพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนสำหรับอุตสาหกรรมและเกษตรกร

คำสำคัญ: มะพร้าวแห้งน้ำหอม การพยากรณ์ วิธีจำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลา วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ วิธีการพยากรณ์ลำดับขั้นแบบบนลงล่าง

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

¹ นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

The Study of Forecasting Techniques for Aromatic Coconut Monthly Prices Using Individual and Hierarchical Forecasting

Siraprapha Deepradit¹ Pornthipa Ongkunaruk^{*2} and Roongrat Pisuchpen³

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

Received: 25 April 2020; Revised: 12 June 2020; Accepted: 17 June 2020

Abstract

In aromatic coconut supply chain, the price factor is important and affects the harvest planning of factories and farmers. This research was to compare the accuracy of forecasting techniques for aromatic coconut monthly prices of No.1 to No.4. There were two methods for individual forecasting: decomposition and Box-Jenkins. The top-down method of hierarchical forecasting is analyzed. The result indicates which method will be used to forecast aromatic coconut prices. The forecasting techniques were compared to a training dataset and a testing dataset with a mean absolute percentage error. The results revealed that the top-down method is the best technique. The mean absolute percentage error was 0.24% to 1.10% for the training dataset and 9.25% to 12.38% for the testing dataset. In summary, the top-down method is the best forecasting for No.1 to No.4 of aromatic coconut price but the tracking signals of No.2 to No.4 are out of control in the last 6 months. The aromatic coconut price was adjusted by the linear regression. The mean absolute percentage error was 3.20% to 9.92% that could increase forecast accuracy for No.1 to No.4 of aromatic coconut price and this research could be applied to assist in supply planning by coconut processors and farmers.

Keywords: Aromatic coconut, Forecasting, Decomposition method, Box-Jenkins, Hierarchical forecasting

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

¹ D.Eng. Student in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

² Associate Professor in Department of Agro-Industrial Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University

³ Associate Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

1. บทนำ

มะพร้าว น้ำหอม เป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีแนวโน้มการส่งออกที่สูงขึ้น เนื่องด้วยรสชาติและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ทำให้เป็นที่นิยมของกลุ่มผู้บริโภคมากขึ้น พื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย มะพร้าว น้ำหอม ปลูกมากในภาคกลาง เช่น นครปฐม สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม ราชบุรี และเขตใกล้เคียง [1] ปริมาณความต้องการบริโภคมะพร้าว น้ำหอมที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อการเก็บเกี่ยว อีกทั้งปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้และราคาของมะพร้าว น้ำหอมไม่คงที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลา ทำให้เกษตรกรและโรงงานอุตสาหกรรมวางแผนการเก็บเกี่ยวและควบคุมต้นทุนการดำเนินการได้ยาก ขาดการวางแผนที่มีประสิทธิภาพในการจัดการให้สมดุลระหว่างความสามารถในการเก็บเกี่ยวหรือจัดหาวัตถุดิบจากแหล่งผลิต และความต้องการของลูกค้าหรือโรงงานอุตสาหกรรม โดยราคามะพร้าว น้ำหอมเป็นไปตามกลไกตลาด เช่น ในช่วงฤดูร้อน ปริมาณมะพร้าวที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มีน้อย ส่งผลให้ราคามะพร้าวแพง นอกจากปัจจัยจากกลไกตลาด ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อความผันผวนของราคามะพร้าว น้ำหอมอีกด้วย เช่น การลงทุนในอุตสาหกรรมมะพร้าวของผู้ลงทุนจากต่างประเทศ เป็นต้น

ในอดีตมีการใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการพยากรณ์ ดังนี้ ทิพวรรณ (2558) ได้พยากรณ์ผลผลิตข้าวเจ้าในปีในจังหวัดอุบลราชธานีโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมวิธีตรรกศาสตร์คลุมเครือและวิธีระบบอนุมานฟัซซี่บนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้ [2] สำหรับ ธิคาภัทร (2558) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแป้งมันสำปะหลังสดโดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยและแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม [3] ต่อมา เฉลิมพลและพัฒนา (2559) ได้พยากรณ์ผลผลิตและปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย ด้วยเทคนิคทางสถิติ 4 วิธี ได้แก่ การพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยโดยใช้ตัวแปรหุ่นฤดูกาลและแนวโน้มเวลา การพยากรณ์ตามแนวคิดของบ็อกซ์-เจนกินส์ ด้วยวิธี SARIMA และวิธีโฮลต์-วินเทอร์ด้วยตัวแบบพยากรณ์เชิงผลบวกและตัวแบบพยากรณ์พหุคูณ [4] พิรารวรรณ และคณะ (2558) พยากรณ์ปริมาณการผลิตน้ำมันดิบในประเทศไทย ด้วยวิธีจำแนก

องค์ประกอบอนุกรมเวลา วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีตัวแบบพยากรณ์เกรย์และเปรียบเทียบความแม่นยำด้วยค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) จากนั้นนำวิธีที่เหมาะสมมาทำการพยากรณ์ล่วงหน้า [5] นอกจากนี้ Pradita et al. (2020) ได้เปรียบเทียบเทคนิคการพยากรณ์ความต้องการของการขนส่งโดยตู้คอนเทนเนอร์ 2 ขนาด [6] และ Pradita and Ongkunaruk (2019) ได้ปรับปรุงโดยปรับค่าการพยากรณ์โดยความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในการปรับปรุงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง [7]

สำหรับการพยากรณ์สินค้าทางการเกษตร นรวิวัฒน์ และนันทชัย (2559) ได้พยากรณ์ผลผลิตการเกษตรของพืช 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง และสับปะรด ในจังหวัดที่มีผลผลิตสูงสุด 3 อันดับแรกของประเทศ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ระบบผสมของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และเปรียบเทียบความแม่นยำด้วย MAPE [8] สำหรับงานวิจัยของเมธาสีทธิ์ (2561) เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ราคามะพร้าวผลแห้งหน้าสวนด้วยวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ โดยวิธีเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์มีความแม่นยำมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับ MAPE [9] และงานวิจัยของวรารัณ (2561) พยากรณ์ราคามะพร้าวแห้งผลใหญ่ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์และเปรียบเทียบกับ MAPE และเกณฑ์รากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) กับวิธีการพยากรณ์อื่น ๆ [10] นอกจากนี้งานวิจัยของศิริประภา และคณะ (2561) ได้พยากรณ์ราคามะพร้าว น้ำหอมด้วยวิธีโฮลต์วินเทอร์และได้นำราคาที่พยากรณ์ได้มาใช้ในการวางแผนการเก็บเกี่ยวและการขนส่งของอุตสาหกรรม [11]

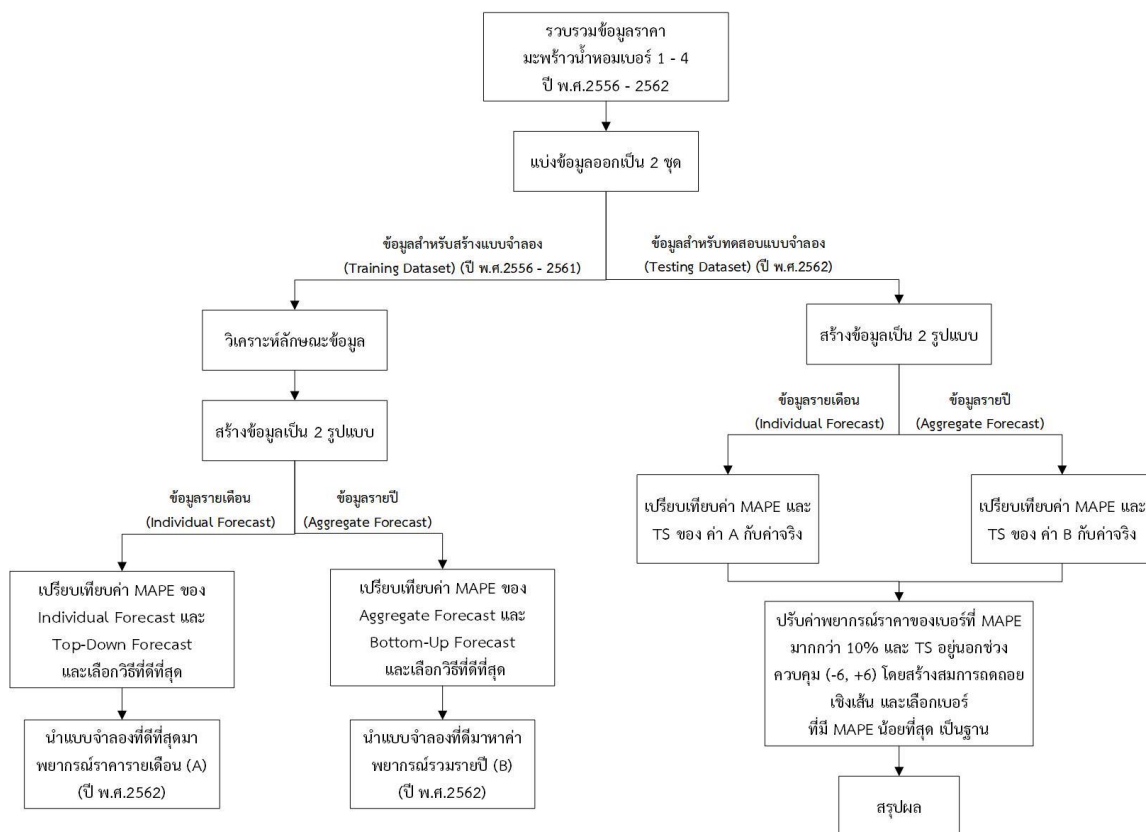
งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การพยากรณ์ราคามะพร้าว น้ำหอมเบอร์ 1 ถึงเบอร์ 4 เรียงจากขนาดใหญ่ไปเล็กซึ่งแบ่งจากขนาดของระยะวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยเบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 13 เซนติเมตร เบอร์ 2 อยู่ในช่วง 12 – 13 เซนติเมตร เบอร์ 3 อยู่ในช่วง 11 – 12 เซนติเมตร และเบอร์ 4 อยู่ในช่วง 10 – 11 เซนติเมตร [12]

โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบเฉพาะประกอบด้วย วิธีจำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลา (Decomposition) ซึ่งทำการแยกส่วนที่มีอิทธิพลต่อการพยากรณ์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins) เปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์ลำดับชั้น (Hierarchical) ด้วยการพิจารณาจากบนลงล่าง (Top-Down) โดยเปรียบเทียบความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วย MAPE ซึ่งการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ช่วยให้ทราบว่าวิธีการพยากรณ์มีความถูกต้องเพียงใด โดยเลือกวิธีการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด จากงานวิจัยของ Montaña et al. (2013) ได้แปลผล MAPE โดยถ้าค่าคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10 แสดงว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำสูง (Highly Accurate Forecasting) ถ้าค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 10 – 20 แสดงว่าเป็นการพยากรณ์ที่ดี (Good Forecasting) ถ้าค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 20 – 50 แสดงว่าเป็นการพยากรณ์ที่สมเหตุสมผล (Reasonable Forecasting) และถ้าค่ามากกว่า 50 แสดงว่าเป็นการพยากรณ์ที่ไม่แม่นยำ (Inaccurate Forecasting) [13]

2. วิธีการวิจัย

การวางแผนการเก็บเกี่ยวมะพร้าวน้ำหอม จำเป็นต้องพิจารณาราคามะพร้าวน้ำหอมที่สวน เนื่องจากราคามีความผันแปรไปตามฤดูกาล กลไกทางตลาด และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และถ้าหากโรงงานหรือเกษตรกรสามารถทราบราคาล่วงหน้าที่มีความแม่นยำ ทำให้สามารถจัดการควบคุมต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนการวิจัย ดังรูปที่ 1

การแบ่งข้อมูลราคามะพร้าวน้ำหอม ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2556 - 2562 เป็น 2 ชุด ประกอบด้วย ข้อมูลชุดที่ 1 คือ ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลอง (Training Dataset) โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2556 - 2561 และข้อมูลชุดที่ 2 คือ ข้อมูลสำหรับทดสอบแบบจำลอง (Testing Dataset) ใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2562 โดยงานวิจัยนี้สร้างข้อมูลราคามะพร้าว น้ำหอม ในรูปแบบข้อมูลรายเดือน (Individual Forecast) และข้อมูลรายปี (Aggregate Forecast) โดยเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ด้วย MAPE และค่าสัญญาณติดตาม (Tracking Signal: TS)



รูปที่ 1 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัยการพยากรณ์ราคา

วิธีการพยากรณ์แบบรายเดือน ใช้การพยากรณ์ด้วยวิธีจำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลาโดยพิจารณาองค์ประกอบแนวโน้มและองค์ประกอบฤดูกาลในรูปผลคูณ การพยากรณ์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง จากนั้นทำการเปรียบเทียบเพื่อเลือกวิธีที่ดีที่สุด และนำแบบจำลองมาพยากรณ์ราคามะพร้าว ในปี พ.ศ. 2562 (A)

วิธีการพยากรณ์แบบรายปี ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์แบบรวมรายปี และการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบล่างขึ้นบน โดยเลือกวิธีที่ดีที่สุด เพื่อนำแบบจำลองมาหาค่าการพยากรณ์รวมรายปี ในปี พ.ศ. 2562 (B)

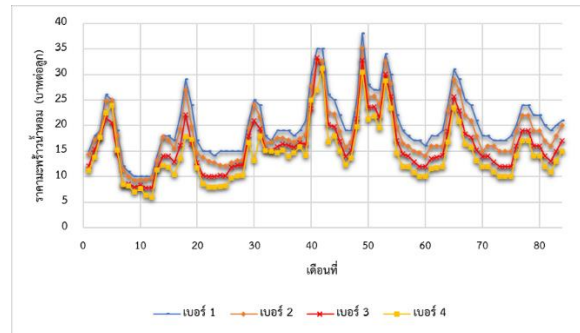
สำหรับการทดสอบแบบจำลอง ได้นำค่าพยากรณ์ราคาในปี พ.ศ. 2562 ของ A และ B มาเปรียบเทียบกับราคาจริงของมะพร้าวน้ำหอมด้วย MAPE และคำนวณ TS จากนั้นพิจารณาค่าพยากรณ์ โดยกำหนดให้ค่าพยากรณ์มี MAPE ไม่เกิน 10% และ TS ไม่ออกนอกช่วงที่กำหนด หากเกินค่าที่กำหนดให้ปรับค่าพยากรณ์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างมะพร้าวน้ำหอมแต่ละเบอร์ โดยเลือกราคามะพร้าวน้ำหอมเบอร์ที่ MAPE น้อยที่สุด และ TS ไม่ออกนอกช่วงที่กำหนด เป็นฐานในการสร้างสมการ

2.1 การวิเคราะห์ราคามะพร้าวน้ำหอม

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากเก็บข้อมูลราคามะพร้าวน้ำหอมรายเดือนเบอร์ 1 – 4 เป็นเวลา 7 ปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2556 – 2562 ทั้งหมด 84 ข้อมูล โดยรูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของเวลากับราคามะพร้าวน้ำหอมรายเดือน (บาทต่อลูก) ของมะพร้าวน้ำหอมแต่ละเบอร์ และเมื่อพิจารณาราคามะพร้าวน้ำหอมรายเดือนของแต่ละปี แสดงให้เห็นว่าราคามะพร้าวเบอร์ที่ 1 – 3 มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามเวลาในรูปแบบที่ใกล้เคียงกันซึ่งมีทั้งรูปแบบแนวโน้มและฤดูกาล แต่เบอร์ 4 แตกต่างจากเบอร์อื่น ๆ เนื่องจากข้อมูลมีเพียงแนวโน้มอย่างเดียว

เมื่อวิเคราะห์รูปแบบราคาของมะพร้าวน้ำหอมรายเดือนพบว่า ราคามะพร้าวน้ำหอมแปรผันกับขนาด เรียงจากเบอร์ 1 – 4 โดยมะพร้าวน้ำหอมเบอร์ 1 ราคาสูงสุด และมะพร้าวน้ำหอมเบอร์ 4 ราคาต่ำสุด ซึ่งราคาแต่ละเบอร์ต่างจากเบอร์ 1 อยู่ในช่วง 2.3 ถึง 5.1 บาทต่อลูก โดยปัจจัยอื่น

ที่มีผลต่อราคามะพร้าวน้ำหอม ได้แก่ ภัยธรรมชาติ การระบาดของแมลงศัตรูมะพร้าว วิกฤติการณ์การเมือง การเข้ามาลงทุนของนักลงทุนต่างชาติ



รูปที่ 2 อนุกรมเวลาของราคามะพร้าวรายเดือนเบอร์ 1 - 4

2.2 การสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ราคามะพร้าวน้ำหอม

งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลราคาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2556 – 2561 จำนวน 72 เดือน เพื่อพยากรณ์ราคามะพร้าวน้ำหอมรายเดือน โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์คือ การพยากรณ์ด้วยวิธีจำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลา การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง และเพื่อหาค่าพยากรณ์รวมรายปี โดยใช้วิธีการพยากรณ์โดยรวม และการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบล่างขึ้นบน

2.2.1 การพยากรณ์ด้วยวิธีจำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลา

การพยากรณ์แบบเฉพาะวิธีแรก คือ วิธีจำแนกองค์ประกอบอนุกรมเวลา ซึ่งส่วนประกอบของอนุกรมเวลาประกอบด้วย อิทธิพลแนวโน้ม อิทธิพลฤดูกาล สำหรับอิทธิพลวัฏจักรและอิทธิพลจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากไม่สามารถทราบได้ว่าอิทธิพลทั้งสองจะเกิดในช่วงเวลาใด [14]

การวิเคราะห์สมการแนวโน้มของราคามะพร้าวน้ำหอมรายเดือน ใช้โปรแกรม Minitab 18.0 ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองแนวโน้มการถดถอยที่มีลักษณะเป็นสมการกำลังสอง (Quadratic Trend Model) เนื่องจากมีความผิดพลาดน้อยกว่าแบบจำลองแนวโน้มอื่น ๆ

ตารางที่ 1 ดัชนีฤดูกาลรายเดือน (%)

เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SN _t เบอร์ 1	98.94	98.93	100.56	117.34	138.59	135.88	106.93	90.65	81.57	77.48	76.32	79.8
SN _t เบอร์ 2	98.42	99.58	100.73	118.4	142.78	140.38	103.52	88.24	80.94	74.64	75.67	79.34
SN _t เบอร์ 3	100.77	102.39	104.79	117.42	147.37	138.79	99.32	88.31	78.57	74.31	74.19	78.60
SN _t เบอร์ 4	101.09	99.19	103.62	122.67	152.96	136.96	102.34	89.65	78.13	72.29	71.52	74.45

เมื่อได้รูปแบบแนวโน้มของราคามะพร้าวน้ำหอม
ทำการวิเคราะห์การพยากรณ์โดยใช้วิธีจำแนกองค์ประกอบ
อนุกรมเวลา ในรูปแบบผลคูณของมะพร้าวน้ำหอมเบอร์
1 - 4 โดยใช้สมการแนวโน้ม ดังสมการที่ (1) - (4) ตามลำดับ

$$\hat{Y}_t = (13.24 + 0.356t - 0.00327t^2)SN_t \quad (1)$$

$$\hat{Y}_t = (12.82 + 0.287t - 0.00263t^2)SN_t \quad (2)$$

$$\hat{Y}_t = (9.97 + 0.338t - 0.00337t^2)SN_t \quad (3)$$

$$\hat{Y}_t = (9.97 + 0.251t - 0.00249t^2)SN_t \quad (4)$$

โดยที่ $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์เดือนที่ t และ SN_t คือ
ดัชนีฤดูกาลรายเดือน ณ เดือนที่ t จากนั้นทำการประมาณ
ค่าพารามิเตอร์ เพื่อคำนวณหาดัชนีฤดูกาลรายเดือน
(Seasonal Index) โดยใช้ Excel Spreadsheet ในการสร้าง
แบบจำลอง ซึ่งแสดงดัชนีฤดูกาลรายเดือนดังตารางที่ 1 และ
แสดง MAPE ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยวิธีจำแนก
องค์ประกอบอนุกรมเวลา

เบอร์	สมการแนวโน้ม	MAPE (%)
เบอร์ 1	$\hat{Y}_t = (13.24 + 0.356t - 0.00327t^2) * SN_t$	15.62
เบอร์ 2	$\hat{Y}_t = (12.82 + 0.287t - 0.00263t^2) * SN_t$	16.43
เบอร์ 3	$\hat{Y}_t = (9.97 + 0.338t - 0.00337t^2) * SN_t$	13.93
เบอร์ 4	$\hat{Y}_t = (9.97 + 0.251t - 0.00249t^2) * SN_t$	23.17

2.2.2 การพยากรณ์โดยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์

การพยากรณ์แบบเฉพาะวิธีที่สอง คือ วิธีบ็อกซ์-เจน
กินส์เป็นการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยการหารูปแบบ
ที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลา [15] เนื่องจากวิธีนี้สามารถ
วิเคราะห์ฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง และฟังก์ชันสหสัมพันธ์
ในตัวเองบางส่วนเพื่อตรวจสอบสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นได้
จากการพล็อตข้อมูล [16]

งานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชัน Predictor ของโปรแกรม
Oracle Crystal Ball ในการเลือกวิธีการในการพยากรณ์
และเลือก Prediction Interval อยู่ในช่วง 2.5% - 97.5%
การพยากรณ์แบบเฉพาะที่เลือกใช้ คือ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์
ซึ่งเป็นวิธีมีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีทั้ง
ส่วนประกอบของแนวโน้มและฤดูกาล รูปแบบทั่วไปของวิธีนี้
คือ SARIMA แต่ถ้าอนุกรมเวลามีเพียงส่วนประกอบของ
แนวโน้มจะถูกลดรูปเหลือ ARIMA [15] ซึ่งแสดงผลดังตาราง
ที่ 3

ตารางที่ 3 ความแม่นยำของการพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจน
กินส์

เบอร์	การวิเคราะห์ รูปแบบ		วิธีที่ดีที่สุด (Best Method)	MAPE (%)
	แนวโน้ม	ฤดูกาล		
เบอร์ 1	✓	✓	SARIMA(1,1,1)(1,0,1)	10.95
เบอร์ 2	✓	✓	SARIMA(1,1,1)(1,0,1)	13.06
เบอร์ 3	✓	✓	SARIMA(2,1,2)(1,0,1)	12.41
เบอร์ 4	✓		ARIMA(1,1,1)	19.61

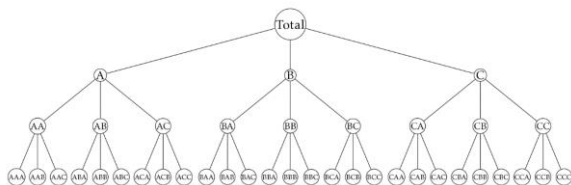
เมื่อเปรียบเทียบผลเทคนิคการพยากรณ์มะพร้าว
น้ำหอมด้วยการพยากรณ์รายเดือนแบบเฉพาะ คือ วิธีจำแนก
องค์ประกอบอนุกรมเวลา แสดงผลดังตารางที่ 2 และ

วิธีการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ด้วยฟังก์ชัน Predictor ของ Oracle Crystal Ball จากตารางที่ 3 โดยที่วิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะที่ดีที่สุดพบว่า ราคามะพร้าวเบอร์ 1 ถึง 3 ใช้การพยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์แบบ SARIMA โดยมี MAPE เท่ากับ 10.95% 13.06% และ 12.41% ซึ่งการวิเคราะห์รูปแบบของราคามีทั้งแนวโน้มและฤดูกาล สำหรับ ราคามะพร้าวน้ำหอมเบอร์ 4 ใช้การพยากรณ์ วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์แบบ ARIMA ค่า MAPE เท่ากับ 19.61% เนื่องจากราคามะพร้าวน้ำหอมเบอร์ 4 มีเพียงรูปแบบแนวโน้ม ไม่มีรูปแบบฤดูกาล

จากนั้นผู้วิจัยได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะที่ดีที่สุดกับการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง เพื่อให้ได้ค่า MAPE ที่น้อยที่สุด และมี TS อยู่ในช่วงที่กำหนด

2.2.3 การพยากรณ์ด้วยวิธีลำดับชั้น

การพยากรณ์ลำดับชั้นมีการพิจารณาแบบวิธีบนลงล่าง (Top-Down Approach) และวิธีล่างขึ้นบน (Bottom-Up Approach) [17] สำหรับอนุกรมเวลาที่เป็นไปตามโครงสร้างแบบลำดับชั้น แสดงดังแผนภูมิรูปที่ 3 ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์ความต้องการหลายหมวดหมู่เมื่อระดับต่ำสุดมีข้อมูลที่ยากหรือไม่สมบูรณ์



รูปที่ 3 แผนภูมิต้นไม้เชิงลำดับชั้นแบบ 3 ระดับ (3-level Hierarchical Tree Diagram) [17]

การพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่างเป็นการพยากรณ์ข้อมูลแบบเฉพาะรายเดือนที่เกิดจากการคำนวณสัดส่วนของข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์กับค่าพยากรณ์โดยรวม ซึ่งข้อมูลเหมาะกับข้อมูลที่มีความแปรปรวนสูง

สำหรับการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบล่างขึ้นบนเป็นการพยากรณ์ข้อมูลโดยรวมรายปีซึ่งเกิดจากการรวมค่าพยากรณ์แบบเฉพาะเข้าด้วยกัน เหมาะกับข้อมูลที่มีความแปรปรวนไม่สูง

การหาค่าพยากรณ์โดยรวม (F_{agg}) งานวิจัยนี้เปรียบเทียบค่าพยากรณ์โดยรวมระหว่างผลรวมค่าพยากรณ์รายปี (Aggregate Forecast) กับการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบล่างขึ้นบนซึ่งรวมค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะที่ดีที่สุดที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเข้าด้วยกันพบว่า ผลรวมของราคารายเดือนจากการพยากรณ์ที่นำมาใช้คือ มะพร้าวน้ำหอมเบอร์ 1 ถึง 3 พยากรณ์ด้วยวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์แบบ SARIMA ส่วนมะพร้าวน้ำหอมเบอร์ 4 ใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์แบบ ARIMA ให้ค่า MAPE น้อยที่สุด จึงนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง

การคำนวณสัดส่วนหรือค่าน้ำหนัก (Weight) ของข้อมูลที่ต้องการ โดยนำข้อมูลราคามะพร้าวน้ำหอมในอดีต (ปี พ.ศ. 2556 – 2561) มาหาค่าน้ำหนักที่เหมาะสมที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขสมการวัตถุประสงค์และข้อจำกัด ดังสมการ (5) – (8) สมการวัตถุประสงค์ต้องการหา MAPE ที่น้อยที่สุด ข้อจำกัดคือค่าพยากรณ์แต่ละเดือนเท่ากับผลคูณของค่าน้ำหนักแต่ละเดือนและค่าพยากรณ์โดยรวมจากวิธีการพยากรณ์แบบเฉพาะที่ดีที่สุด โดยมีตัวแปรตัดสินใจคือค่าน้ำหนักของแต่ละเดือน (W_t)

ตารางที่ 4 ความแม่นยำจากการพยากรณ์วิธีลำดับชั้นแบบบนลงล่าง

เบอร์ของ มะพร้าว น้ำหอม	MAPE (%)					
	ค่าน้ำหนักโดย ข้อมูล 1 ปี (2561)	ค่าน้ำหนักโดย ข้อมูล 2 ปี (2560 - 2561)	ค่าน้ำหนักโดย ข้อมูล 3 ปี (2559 - 2561)	ค่าน้ำหนักโดย ข้อมูล 4 ปี (2558-2561)	ค่าน้ำหนักโดย ข้อมูล 5 ปี (2557-2561)	ค่าน้ำหนักโดย ข้อมูล 6 ปี (2556 - 2561)
เบอร์ 1	0.24	10.90	9.58	10.80	10.60	13.18
เบอร์ 2	0.66	13.82	10.98	12.64	12.31	14.62
เบอร์ 3	0.28	16.19	13.20	14.55	13.93	15.92
เบอร์ 4	1.10	15.68	14.23	16.44	17.08	20.50

สมการวัตถุประสงค์

$$\text{Minimize MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{|\hat{Y}_t - Y_t|}{Y_t}}{N} \times 100 \quad (5)$$

ข้อจำกัด

$$\hat{Y}_t = W_t F_{Agg} \quad (6)$$

$$\sum_{t=1}^N W_t = 1 \quad (7)$$

$$0 \leq W_t \leq 1 \quad (8)$$

กำหนดให้ W_t คือ ค่าน้ำหนักของเดือนที่ t

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์เดือนที่ t

F_{Agg} คือ ค่าพยากรณ์โดยรวม

Y_t คือ ค่าจริงเดือนที่ t

N คือ จำนวนเดือนที่พยากรณ์

ข้อจำกัด (6) คือ ค่าพยากรณ์ในแต่ละเดือนคำนวณจากผลคูณของค่าน้ำหนักแต่ละเดือนกับผลรวมค่าพยากรณ์รายปีที่ได้จากการพยากรณ์แบบเฉพาะเข้าด้วยกัน ข้อจำกัด (7) และ (8) คือ ผลรวมของค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 และค่าน้ำหนักแต่ละเดือนอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยที่ค่าพยากรณ์โดยรวมคือผลรวมของค่าพยากรณ์แบบเฉพาะรายเดือนจากวิธีที่มี MAPE น้อยที่สุด

งานวิจัยนี้หาค่าน้ำหนักที่ดีที่สุดจากการสร้างแบบจำลองโดยใช้ Excel Spreadsheet จากนั้นแก้ปัญหาโดยหาค่าน้ำหนักในแต่ละเดือนที่ดีที่สุดเพื่อให้มี MAPE น้อยที่สุดด้วย Excel Solver จากนั้นวิเคราะห์หาจำนวนปีที่น่ามาใช้หาค่าน้ำหนักที่เหมาะสม

การพยากรณ์ด้วยวิธีลำดับชั้นแบบบนลงล่างจากตารางที่ 4 แสดง MAPE ของการพยากรณ์ราคาเบอร์ 1 – 4 โดยใช้ค่าน้ำหนักจากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละเบอร์ นอกจากนี้ได้คำนวณการหาค่าน้ำหนักโดยใช้จำนวนปีที่แตกต่างกัน พบว่าการหาค่าน้ำหนักโดยข้อมูลปีเก่าจำนวน 1 ปี (ปี พ.ศ. 2561) ทำให้ได้ค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อ MAPE ที่น้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่าราคามะพร้าวอ่อนมีความผันผวนมาก ถ้าตัดข้อมูลราคาปีเก่าออก ทำให้ได้ค่าพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น

2.3 การทดสอบแบบจำลองของการพยากรณ์ราคามะพร้าวอ่อน

ผู้วิจัยได้สรุปวิธีการพยากรณ์ที่เลือกใช้ของมะพร้าวอ่อนเบอร์ 1 - 4 จากการเปรียบเทียบ MAPE ของการพยากรณ์รายเดือนแบบเฉพาะและการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบ MAPE ของการสร้างแบบจำลอง (Training Dataset) และการทดสอบแบบจำลอง (Testing Dataset) ของข้อมูลราคาที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในปี พ.ศ. 2562 จำนวน 12 เดือน

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบความแม่นยำจากการพยากรณ์ราคามะพร้าว

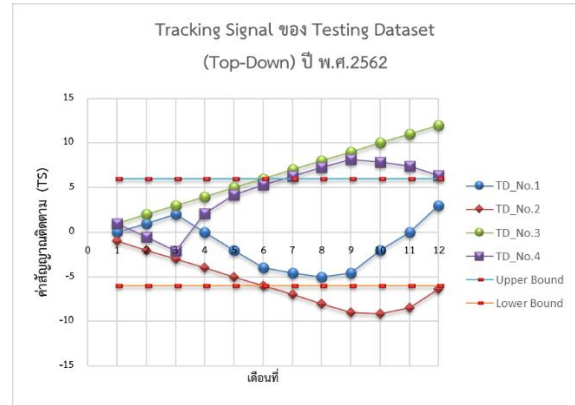
เบอร์	CV	MAPE (%)			
		การพยากรณ์แบบเฉพาะ		การพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง	
		Training dataset	Testing dataset	Training dataset	Testing dataset
เบอร์ 1	0.315	10.95	11.34	0.24	9.25
เบอร์ 2	0.323	13.06	13.59	0.66	11.35
เบอร์ 3	0.353	12.41	13.77	0.28	10.48
เบอร์ 4	0.390	19.61	17.33	1.10	12.38

ค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์ด้วยการพยากรณ์รายเดือน โดยมะพร้าวเบอร์ 1 ถึง 3 ใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์แบบ SARIMA และมะพร้าวเบอร์ 4 ใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์แบบ ARIMA มีค่าความผิดพลาด 10.95% 13.06% 12.41% และ 19.61% ตามลำดับ และวิธีการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง โดยหาค่าน้ำหนักที่ดีที่สุดซึ่งใช้ข้อมูลย้อนหลัง 1 ปี มาถ่วงน้ำหนักทำให้ได้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 0.24% 0.66% 0.28% และ 1.10% จากนั้นนำทั้ง 2 วิธี มาพยากรณ์ในปี 2562 ซึ่งเปรียบเทียบราคาจริงและราคาที่ได้จากการพยากรณ์ สำหรับการทดสอบแบบจำลองโดยใช้การพยากรณ์แบบรายเดือนมีค่าความผิดพลาด เท่ากับ 11.34% 13.59% 13.77% และ 17.33% ตามลำดับ และการพยากรณ์แบบบนลงล่างมีค่าความผิดพลาด เท่ากับ 9.25% 11.35% 10.48% และ 12.38% ตามลำดับ ซึ่งการใช้การพยากรณ์แบบบนลงล่างช่วยเพิ่มความแม่นยำของการพยากรณ์ได้ และเมื่อพิจารณา

สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation: CV) ของข้อมูลราคามะพร้าว น้ำหอมเบอร์ 1 – 4 พบว่าราคาของมะพร้าวเบอร์ 4 มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนที่มากกว่าเบอร์อื่นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่มะพร้าวเบอร์ 4 มีค่าความผิดพลาดที่มากกว่าเบอร์อื่น

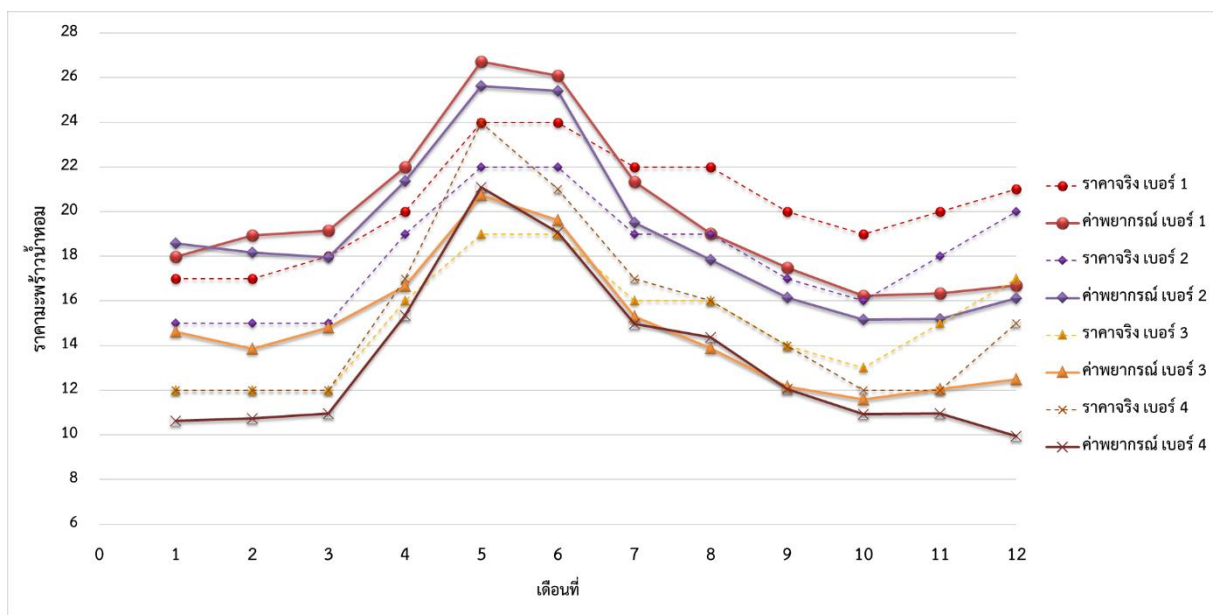
เมื่อเปรียบเทียบราคามะพร้าว น้ำหอมทุกเบอร์จากการพยากรณ์แบบบนลงล่าง ถึงแม้ว่า MAPE ของการสร้างแบบจำลองมีค่าน้อย อยู่ในช่วง 0.24% ถึง 1.10% แต่ MAPE ของการทดสอบแบบจำลองให้ค่าความผิดพลาดที่มากกว่า อยู่ในช่วง 9.25% ถึง 12.38% การที่ค่าความผิดพลาดของการทดสอบแบบจำลองมากกว่าของการสร้างแบบจำลองเนื่องจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นอาศัยข้อมูลจากการสร้างแบบจำลองจึงได้ค่าที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า

การเปรียบเทียบราคามะพร้าว น้ำหอมกับค่าพยากรณ์ที่ได้จากวิธีลำดับชั้นแบบบนลงล่างแสดงให้เห็นว่าการพยากรณ์มีความแม่นยำและสามารถพยากรณ์ล่วงหน้าที่มีความแม่นยำได้ถึง 1 ปี แสดงดังรูปที่ 4 แต่เมื่อพิจารณาค่า MAPE พบว่า ราคามะพร้าวเบอร์ 1 มีค่าน้อยกว่า 10% แต่เบอร์ 2 – 4 MAPE เกิน 10% สำหรับค่า TS ดังรูปที่ 5 พบว่าราคามะพร้าว น้ำหอมเบอร์ 1 อยู่ในช่วงควบคุมทุกจุด ส่วนราคามะพร้าวเบอร์ 2 – 4 ในช่วงเดือนที่ 7 – 12 เกินช่วง TS ที่กำหนด (-6, +6) [18]



รูปที่ 5 ค่าสัญญาณติดตาม Testing Dataset ปี พ.ศ. 2562 ของการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง (ก่อนปรับ)

การปรับค่าการพยากรณ์ให้มีความแม่นยำมากขึ้น โดยอยู่ในค่าที่กำหนด คือ MAPE ไม่เกิน 10% และ TS อยู่ในช่วง (-6, +6) ทุกจุด ผู้วิจัยได้ศึกษาสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างราคามะพร้าว น้ำหอมแต่ละเบอร์ พบว่าราคาแต่ละเบอร์มีความสัมพันธ์กันสูง จึงสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นของราคามะพร้าว น้ำหอมเบอร์ 1 – 4 โดยใช้ค่าพยากรณ์มะพร้าวเบอร์ 1 เป็นฐานเนื่องจากค่า MAPE และ TS อยู่ในค่าที่กำหนด โดยคำนวณหาค่าเฉลี่ยส่วนต่างราคาของเบอร์ 1 กับเบอร์ 2 – 4 ซึ่งส่วนต่างเท่ากับ 2.3 2.8 และ 5.1 ตามลำดับ โดยแสดงสมการและค่า MAPE ก่อนปรับและหลังปรับดังตารางที่ 6



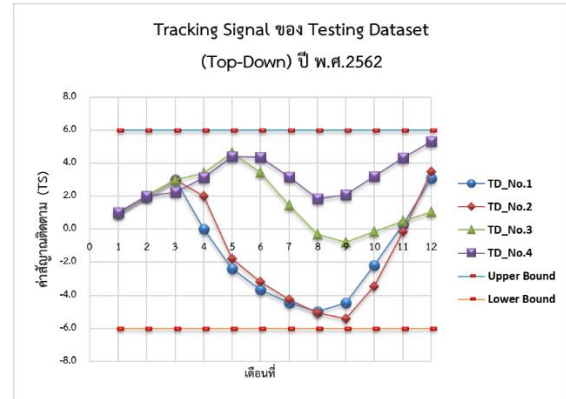
รูปที่ 4 ค่าพยากรณ์ราคามะพร้าวเบอร์ 1 ถึง 4 เทียบกับราคาจริง ปี พ.ศ. 2562

ตารางที่ 6 การปรับค่าการพยากรณ์ ปี พ.ศ. 2562
ด้วยสมการความสัมพันธ์

เบอร์	สมการ ความสัมพันธ์	เดือนที่ออก นอกช่วง ควบคุม	MAPE (%)	
			เดิม	ปรับ ใหม่
2	$\hat{Y}_{2t} = \hat{Y}_{1t} - 2.3$	เดือนที่ 7 - 11	11.35	9.92
3	$\hat{Y}_{3t} = \hat{Y}_{1t} - 2.8$	เดือนที่ 7 - 12	10.48	3.20
4	$\hat{Y}_{4t} = \hat{Y}_{1t} - 5.1$	เดือนที่ 7 - 12	12.38	4.07

การปรับค่าการพยากรณ์ ดังตารางที่ 6 กำหนดให้ $\hat{Y}_{it}$ คือค่าพยากรณ์เดิมของมะพร้าวเบอร์ที่ i เดือน t และ $\hat{Y}_{it}^*$ คือ ค่าพยากรณ์ที่ปรับใหม่ของมะพร้าวเบอร์ที่ i เดือน t ซึ่งแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นของราคามะพร้าวเบอร์ที่ 2 – 4 และ MAPE เดิมของการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่าง และ MAPE ที่ได้หลังจากการปรับค่าพยากรณ์แล้ว ซึ่งการพยากรณ์ที่ปรับค่าใหม่ ปี พ.ศ. 2562

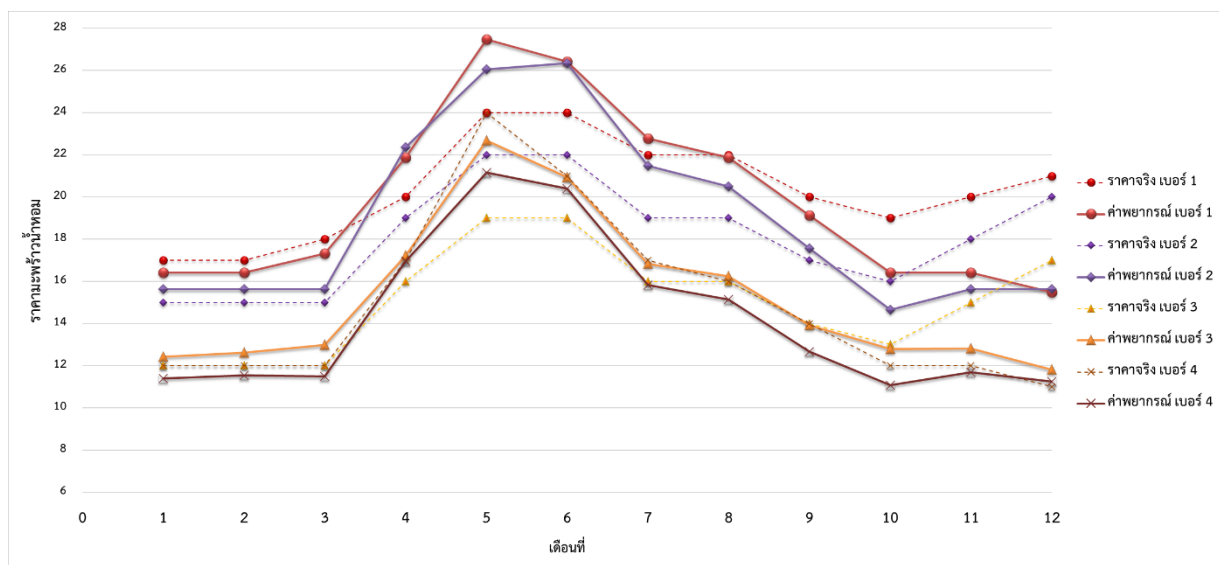
ค่า TS ดังรูปที่ 6 อยู่ในช่วงที่กำหนดทุกจุด และมีความแม่นยำมากกว่าเดิมโดยแสดงการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์ที่ปรับใหม่ และราคาจริงของมะพร้าวน้ำหอมเบอร์ที่ 1 – 4 ดังรูปที่ 7 ซึ่งค่าความผิดพลาดในแต่ละเดือนลดลงจากเดิม



รูปที่ 6 ค่าสัญญาณติดตาม Testing Dataset ปี พ.ศ. 2562
ของการพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่างปรับค่าด้วยสมการ
ถดถอย

3. สรุป

การพยากรณ์ที่มีความแม่นยำเป็นเรื่องที่สำคัญ ซึ่งสินค้าทางการเกษตร ปัจจัยราคาเป็นปัจจัยที่สำคัญในการวางแผนการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรและผู้แปรรูป เนื่องจากราคามีการเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยต่าง ๆ เช่น กลไกราคาของตลาด ปริมาณการส่งออกและนำเข้า ภัยธรรมชาติ หรือปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการพยากรณ์สามารถนำมาใช้ในการวางแผนล่วงหน้า หากค่าการพยากรณ์นั้นมีความถูกต้องทำให้ได้การวางแผนที่มีประสิทธิภาพและส่งผลให้เกิดผลกำไรที่มากขึ้น



รูปที่ 7 การปรับค่าพยากรณ์ราคามะพร้าวเบอร์ 1 ถึง 4 เทียบกับราคาจริง ปี พ.ศ. 2562

วิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาโดยพยากรณ์รายเดือนแบบเฉพาะของราคามะพร้าวเบอร์ 1 ถึง 3 ใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ แบบ SARIMA และราคามะพร้าวเบอร์ 4 ใช้วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์แบบ ARIMA และการปรับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีลำดับชั้นแบบบนลงล่าง และเปรียบเทียบความแม่นยำด้วย MAPE ซึ่งพบว่าวิธีพยากรณ์ลำดับชั้นแบบบนลงล่างที่มีการหาค่าน้ำหนักโดยใช้ข้อมูลย้อนหลังจำนวน 1 ปี มีความแม่นยำมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าข้อมูลราคามะพร้าวน้ำหอมมีความผันผวน หากตัดข้อมูลปีเก่าออกทำให้มีความแม่นยำมากขึ้น จากนั้นทดสอบค่าการพยากรณ์ ซึ่งพบว่าค่าความผิดพลาดของเบอร์ 1 ถึง 4 เท่ากับ 9.25% 11.35% 10.48% และ 12.38% ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณา TS พบว่าราคามะพร้าวน้ำหอมเบอร์ 2 – 4 อยู่นอกช่วงควบคุม จึงได้ปรับค่าการพยากรณ์ใหม่ด้วยสมการความสัมพันธ์ ได้ค่าความผิดพลาดของเบอร์ 2 – 4 เท่ากับ 9.92% 3.20% และ 4.07% ซึ่งทำให้ค่าพยากรณ์ราคามะพร้าวน้ำหอมเบอร์ 2 – 4 มีความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นจากเดิมและค่า MAPE น้อยกว่า 10% แสดงว่าเป็นการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูง

งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพยากรณ์สินค้าทางเกษตรอื่น ๆ และเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เกษตรกรและผู้แปรรูปสามารถนำมาใช้ในการวางแผนอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยในอนาคตอาจวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับราคา เช่น ปริมาณน้ำฝน ปริมาณการใช้ปุ๋ย เป็นต้น และใช้วิธีการพยากรณ์โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ซึ่งเป็นวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ หรือใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเป็นวิธีทางปัญญาประดิษฐ์ที่มีความซับซ้อนในการวิเคราะห์ต้องการข้อมูลจำนวนมาก แต่ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูง นอกจากนี้แนะนำให้ใช้วิธีการร่วมกันระหว่างการพยากรณ์เชิงปริมาณและการพยากรณ์เชิงคุณภาพโดยอาศัยข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ

พระนครศรีอยุธยาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ซอฟต์แวร์ Minitab 18.0 ในการทำวิจัย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุพจน์ ตั้งจิตพร, เอกสารประกอบการเรียนการสอน เรื่อง มะพร้าวน้ำหอม, วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีชลบุรี กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ, 2543.
- [2] ทิพวรรณ ศรีสุขใส, การพยากรณ์ผลผลิตข้าวเจ้านาปีโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีตรรกศาสตร์ คลุมเครือและวิธีระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายที่ปรับตัวได้, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558.
- [3] ธิติภัทร วงศ์ประเสริฐ, การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแบ่งในหัวมันสำปะหลังสดโดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยและแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียม, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2558.
- [4] เฉลิมพล จตุพร และพัฒนา สุขประเสริฐ, “ตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตและปริมาณส่งออกยางพาราของประเทศไทย,” *แก่นเกษตร*, ปีที่ 44, ฉบับที่ 2, น. 221 – 229, 2559.
- [5] พิรवारณ หนูเสน, ประสิทธิ์ พยัคฆพงษ์, และธิดาพร ศุภภากร, “การเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการผลิตน้ำมันดิบในประเทศ,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 3, น. 376 – 384, 2558.
- [6] S. P. Pradita, P. Ongkunaruk, and T. D. Leingpibul, “Utilizing an intervention forecasting approach to improve reefer container demand forecasting accuracy: A case study in Indonesia,” *International Journal of Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 144-154, 2020.
- [7] S. P. Pradita and P. Ongkunaruk, “Business Process Analysis and Improvement for a third party logistics provider in Indonesian cold chain logistics,” in *The International Conference on Materials Research and Innovation*, Thailand, 2019.

- [8] นรวัฒน์ เหลืองทอง และนันทชัย กานตานันทะ, “การเลือกตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสม,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 3, น. 370 – 381, 2559.
- [9] เมธาสิทธิ์ ธีรัตน์ศรีสกุล, “การเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบอนุกรมเวลาระหว่างวิธีปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังแบบวินเทอร์และวิธีบอก-เจนกินส์: กรณีศึกษาการพยากรณ์ราคามะพร้าวหน้าสวน,” *วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, น. 101-113, 2561.
- [10] วรางคณา เรียนสุทธิ์, “การพยากรณ์ราคามะพร้าวด้วยวิธีบอก-เจนกินส์,” *วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, น. 87 – 100, 2561.
- [11] ศิริประภา ดีประดิษฐ์, รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ, และ พรธิภา องค์คุณารักษ์, “การวางแผนการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมของอุตสาหกรรมมะพร้าวน้ำหอมโดยพิจารณาช่วงอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม,” ใน *การประชุมวิชาการสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศระดับชาติ*, กรุงเทพมหานคร, 2561.
- [12] บริษัทดอนเมืองพัฒนาจำกัด, “ราคามะพร้าวหน้าสวน,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.taladsimummuang.com/>. [วันที่เข้าถึง 31 ธันวาคม 2562].
- [13] J. Montaña, A. Palmer, A. Sesé, and B. Cajal, “Using the R-MAPE Index as a resistant measure of forecast accuracy,” *Psicothema*, vol. 25, pp. 500-506, 2013.
- [14] พรหมภรณ์ แสงภัทรเนตร, การพยากรณ์ราคาข้าวในประเทศไทย, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สถิติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- [15] G. Box, G. M. Jenkins and G. Reinsel, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, 3rd ed., New Jersey: Prentice Hall, 1994.
- [16] R. T. O’Connell and A. Koehler, *Forecasting, Time Series, and Regression by Bruce Bowerman*, 4th ed., San Francisco, CA: Thomson Brooks Cole, 2005.
- [17] R. J. Hyndman, R. A. Ahmed, G. Athanasopoulos, and H. L. Shang, “Optimal combination forecasts for hierarchical time series,” *Computational Statistics & Data Analysis*, vol. 55, no. 9, pp. 2579 – 2589, 2011.
- [18] พรธิภา องค์คุณารักษ์, การจัดการโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมเกษตรเบื้องต้น, กรุงเทพฯ: เดอะวันพรินต์ติ้ง, 2562.

การพยากรณ์ความต้องการและการหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดของโครงข่ายบรรเทาทุกข์

ศศิภาส สีดาว¹ และเจริญชัย โขมพัตรภรณ์^{*2}

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Received: 20 November 2019; Revised: 12 June 2020; Accepted: 17 June 2020

บทคัดย่อ

การเสื่อมสภาพของสิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็วส่งผลให้ภัยพิบัติมีความรุนแรงมากขึ้นในปัจจุบัน เมื่อเกิดภัยพิบัติขึ้น กลไกการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จะถูกดำเนินการเพื่อส่งมอบสิ่งของบรรเทาทุกข์แก่ผู้ประสบภัย ในหลายกรณีการขนส่งที่รวดเร็วมีผลต่อการรอดชีวิตของผู้ประสบภัย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมพร้อมสิ่งของบรรเทาทุกข์ให้เพียงพอสำหรับภัยพิบัติที่ไม่แน่นอน งานวิจัยนี้ศึกษาสถานการณ์ขององค์กรให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติ ซึ่งมีสิ่งของบรรเทาทุกข์ 5 ประเภท และมีศูนย์ให้ความช่วยเหลือ 10 แห่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ สิ่งของบรรเทาทุกข์ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมความต้องการแบบ Intermittent และ Lumpy ดังนั้นจึงใช้การพยากรณ์ด้วยวิธี Croston และ Syntetos & Boylan ควบคู่กับดัชนีฤดูกาล เพื่อให้มีความแม่นยำขึ้น จากนั้นได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีจุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งระหว่างศูนย์ให้ความช่วยเหลือและต้นทุนการเก็บรักษาวัสดุคงคลัง โดยเพิ่มแนวทางให้สามารถส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ระหว่างศูนย์ได้สำหรับศูนย์ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน ตัวแบบนี้ได้ถูกทดสอบและเปรียบเทียบกับกรณีการขนส่งที่ใช้ในปัจจุบันที่อนุญาตให้ขนส่งจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางเท่านั้น ผลการศึกษาพบว่าหากใช้การขนส่งที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะสามารถลดต้นทุนรวมได้ถึงร้อยละ 13 ในบางเดือน อันเป็นผลมาจากการขนส่งในระยะทางสั้นๆ ระหว่างศูนย์ใกล้เคียงและยังทำให้สิ่งของบรรเทาทุกข์เข้าถึงผู้ประสบภัยได้รวดเร็วยิ่งขึ้นด้วย

คำสำคัญ: การพยากรณ์ความต้องการ, ต้นทุนการขนส่งและการเก็บรักษาวัสดุคงคลัง, ภัยพิบัติ, ความต้องการแบบ Intermittent และ Lumpy, การเตรียมพร้อมวัสดุคงคลัง

* Corresponding author. E-mail: charoenchai.kho@kmutt.ac.th

¹ นักศึกษามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Demand Forecasting and Total Cost Minimization of Disaster Relief Network

Sasipar Sridao¹ and Charoenchai Khompatraporn^{*2}

Department of Production Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
126 Pracha Uthit Rd., Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140

Received: 20 November 2019; Revised: 12 June 2020; Accepted: 17 June 2020

Abstract

Rapid degradation of the environment contributes to rising severity of disasters in recent years. Once a disaster hits, a disaster relief aid delivery mechanism is triggered to deliver the relief aids to the needed victims. In many cases, timely deliveries of these aids are vital to the survival of the disaster victims. Therefore, it is important to sufficiently stock these relief aids under uncertainty of disaster. This research assimilates the situation of a humanitarian organization. There are five different relief aids and 10 humanitarian aid centers throughout the country. The majority of the demands of the relief aids exhibit intermittent and lumpy behaviors, so they are forecasted using Croston and Syntetos & Boylan methods together with seasonality index to give more accurate results. Then a mathematical optimization model in which its objective is to minimize the total transportation and inventory holding costs between humanitarian aids centers is formulated. The model also allows transportation of relief aids between neighboring centers. The model is tested and compared with the current practice that only the transportation of the relief aids from the central location is permitted. The results show that with the transportation method proposed in this research the total cost can be reduced up to 13% in a certain month due to short transportation of the relief aids among neighboring centers by which the time for the aids to reach the victims is also reduced.

Keywords: Demand forecast, Transportation and inventory holding costs, Disaster, Intermittent and lumpy demands, Prepositioning inventory

* Corresponding author. E-mail: charoenchai.kho@kmutt.ac.th

1 Master's student in Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

2 Associate Professor in Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

1. บทนำ

เหตุการณ์การเกิดภัยพิบัติในประเทศไทยในหลายปีที่ผ่านมา มีระดับความรุนแรงและความถี่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจด้วยมาจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปและอุณหภูมิของโลกที่มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อเหตุการณ์ภัยพิบัติเกิดขึ้นแล้ว สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการช่วยเหลือผู้ประสบภัย ซึ่งในการเกิดภัยพิบัติแต่ละครั้งนั้นไม่สามารถคาดเดาช่วงเวลาการเกิดได้แน่นอน จึงพบว่าปริมาณความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์นั้นมีความไม่แน่นอนด้วย ดังในงานวิจัยของ Pratondo [1] ที่กล่าวว่า หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ปริมาณความต้องการมีความไม่แน่นอนคือ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดภัยพิบัติ ซึ่งความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้การเตรียมปริมาณสิ่งของบรรเทาทุกข์ให้เหมาะสมเพื่อพร้อมรับมือกับเหตุการณ์ภัยพิบัตินั้นจึงทำได้ยาก โดยการเตรียมสิ่งของบรรเทาทุกข์ขององค์กรกรณีศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยนั้นอาศัยการประมาณจำนวนความต้องการจากประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน โดยมักพิจารณาจากข้อมูลความต้องการของปีงบประมาณก่อนหน้าและปริมาณความต้องการของเดือนก่อนหน้าเป็นหลัก

ข้อมูลปริมาณความต้องการจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือย่อยที่กระจายอยู่ตามภูมิภาคทั่วประเทศ จะถูกส่งมาที่ศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางที่กรุงเทพฯ จากนั้นจึงทำการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ตามปริมาณความต้องการที่แจ้งมาและเก็บบางส่วนเป็นวัสดุคงคลังไว้เพื่อเตรียมพร้อมภัยพิบัติที่อาจจะเกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยของ van der Laan และคณะ [2] ได้ทำการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสิ่งของให้ความช่วยเหลือทางการแพทย์ด้วยประสบการณ์เช่นเดียวกัน แต่จะเพิ่มขึ้นตอนการปรับปริมาณการสั่งซื้อด้วยการจัดกลุ่มสินค้า หากสินค้าใดมีความเสี่ยงที่จะหมดอายุก็จะพิจารณาส่งสินค้าจำนวนน้อยลง ซึ่งการพยากรณ์ปริมาณความต้องการด้วยประสบการณ์นั้นอาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ทำให้ไม่สามารถเตรียมพร้อมสิ่งของบรรเทาทุกข์เพื่อรองรับความต้องการของผู้ประสบภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการพยากรณ์ (Forecasting) ปริมาณสิ่งของบรรเทาทุกข์อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นเรื่องที่จำเป็นเพื่อเป็นแนวทางการดำเนินงานให้กับองค์กรที่ให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยสามารถจัดเตรียมสิ่งของบรรเทาทุกข์

ในระยะเตรียมพร้อมก่อนเกิดภัยพิบัติได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ได้พยากรณ์ปริมาณความต้องการของสิ่งของบรรเทาทุกข์ 5 ประเภท ให้กับศูนย์ให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยทั้งหมด 10 ศูนย์ ซึ่งกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ และมีพื้นที่รับผิดชอบที่แตกต่างกันออกไป แต่มีการรวมข้อมูล ประสานงาน และสั่งการจากศูนย์กลางที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพฯ เป็นหลัก ซึ่งการพยากรณ์ปริมาณความต้องการในงานวิจัยนี้เริ่มจากการแบ่งประเภทของความต้องการ (Demand Type) และเลือกใช้วิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมโดยประเมินจากค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ต่ำที่สุด

สำหรับการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ในปัจจุบันจะขนส่งจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางเป็นหลักและยังไม่มีแนวทางการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ระหว่างศูนย์ในภูมิภาคที่อยู่ใกล้เคียงกันอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้จึงสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลเฉลยที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งและต้นทุนการเก็บรักษาส่งของบรรเทาทุกข์ที่ต่ำที่สุด โดยเพิ่มแนวทางการขนส่งระหว่างศูนย์ให้ความช่วยเหลือที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกันตามภูมิภาคต่างๆ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลาง ซึ่งมีระยะทางไกลกว่า และการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ระหว่างศูนย์ในภูมิภาคยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาส่งของ ณ ศูนย์ให้ความช่วยเหลือย่อยเนื่องจากแต่ละศูนย์ไม่จำเป็นต้องถือครองสิ่งของบรรเทาทุกข์ทั้งหมด เพราะสามารถเรียกสิ่งของบรรเทาทุกข์ได้จากศูนย์ใกล้เคียงหากมีความต้องการฉุกเฉิน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจำแนกรูปแบบความต้องการ

ในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการควรเลือกวิธีการพยากรณ์ให้เหมาะสมกับธรรมชาติของข้อมูลย้อนหลังที่ทำการศึกษามากที่สุด เพื่อให้ค่าพยากรณ์มีความแม่นยำและค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดการพิจารณาเลือกวิธีการพยากรณ์นั้นทำได้โดยแบ่งประเภทของรูปแบบความต้องการเสียก่อน โดยความต้องการสามารถแบ่งประเภทได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ [3-5]

1. Smooth Demand เป็นกลุ่มที่มีความต้องการใช้สม่ำเสมอ (พิจารณาที่เวลาเป็นหลัก) ปริมาณความต้องการมีความแปรปรวนต่ำ (พิจารณาที่จำนวนเป็นหลัก)

2. Intermittent Demand เป็นกลุ่มที่มีความต้องการไม่สม่ำเสมอ มีหลายช่วงเวลาที่ไม่มีความต้องการ แต่หากมีความต้องการในช่วงเวลานั้นแล้วปริมาณความต้องการมีความแปรปรวนต่ำ

3. Erratic Demand เป็นกลุ่มที่มีความต้องการสม่ำเสมอ แต่ปริมาณความต้องการมีความแปรปรวนสูง

4. Lumpy Demand เป็นกลุ่มที่มีความต้องการสินค้าไม่สม่ำเสมอ มีหลายช่วงเวลาที่ไม่มีความต้องการ และปริมาณความต้องการมีความแปรปรวนสูง ดังนั้นความต้องการสินค้ากลุ่มนี้จึงมีความไม่แน่นอนสูงกว่ารูปแบบความต้องการประเภทอื่น

ในการแบ่งประเภทของรูปแบบความต้องการทั้ง 4 ประเภทที่ได้กล่าวถึง จะพิจารณาจากค่าทั้งสองของสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient Variability: CV²) และจำนวนค่าคาบเวลาเฉลี่ยที่ไม่มีความต้องการ (Average No-demand Interval: ADI) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 ตามลำดับ [4, 5]

2.1.1 การคำนวณค่ากำลังสองสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient Variability: CV²)

เป็นการหาความแปรปรวนของความต้องการว่ามีมากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งพิจารณาอัตราความต้องการใช้ในแต่ละช่วงเวลา การคำนวณค่ากำลังสองสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (CV²) เป็นดังสมการ 2.1-2.2

$$CV^2 = \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu_i - \mu)^2}{n}}}{\mu} \right)^2 \quad (2.1)$$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n} \quad (2.2)$$

โดยที่

i คือ ดัชนีคาบเวลา

n คือ จำนวนช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาทั้งหมด

μ คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณความต้องการ

μ_i คือ ปริมาณความต้องการแต่ละคาบเวลา i

2.1.2 คำนวณค่าคาบเวลาเฉลี่ยที่ไม่มีความต้องการ (Average No-demand Interval: ADI)

เป็นการหาค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาเพื่อหาว่าปริมาณความต้องการมีความสม่ำเสมอเพียงใด การคำนวณค่าคาบเวลาเฉลี่ยที่ไม่มีความต้องการ เป็นคำนวณโดยอ้อมโดยพิจารณาจากที่มีความต้องการ 2 คาบที่อยู่ใกล้กันที่สุด จากนั้นนับจำนวนคาบเวลาที่อยู่ระหว่าง 2 คาบเวลานั้นแต่เป็นคาบที่ไม่มีความต้องการ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 2.3

$$ADI = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (2.3)$$

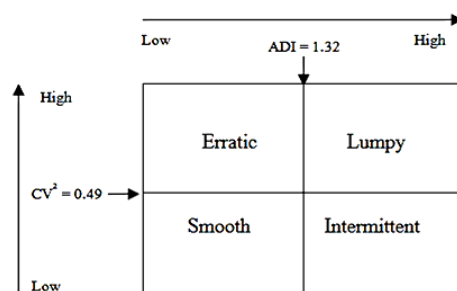
โดยที่

i คือ ดัชนีคาบเวลา

n คือ จำนวนครั้งที่พิจารณา

T_i คือ จำนวนคาบเวลาที่ไม่มีความต้องการ (ซึ่งอยู่ระหว่างคาบที่มีความต้องการ 2 คาบเวลา)

การจำแนกรูปแบบความต้องการ โดยพิจารณาจากพิจารณาค่ากำลังสองสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient Variability: CV²) และค่าคาบเวลาเฉลี่ยที่ไม่มีความต้องการ (Average No-demand Interval: ADI) โดยสามารถแบ่งได้ตามรูปที่ 1 (ปรับปรุงจาก [3-5])



รูปที่ 1 ประเภทรูปแบบความต้องการ

2.2 การพยากรณ์ปริมาณความต้องการ

วิธีการพยากรณ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ดังนี้ [6,7]

2.2.1 การพยากรณ์เชิงคุณภาพ

เป็นวิธีที่อาศัยวิจารณ์ญาณหรือความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (หรือผู้บริหาร) ในการคาดคะเนถึงเหตุการณ์ที่จะ

เกิดขึ้นในอนาคต วิธีการดังกล่าวจะเป็นประโยชน์กับการพยากรณ์ในระยะปานกลางและระยะยาว ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่ชัดแต่ใช้ความรู้ ดุลยพินิจ และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญหรือผู้บริหารเป็นเกณฑ์ อย่างไรก็ตามการพยากรณ์เชิงคุณภาพมีข้อเสียในเชิงการนำมาปฏิบัติ เพราะจะได้เพียงค่าประมาณการ วิธีการพยากรณ์เชิงคุณภาพที่นิยมใช้มีอยู่ 5 วิธี คือ วิธีเดลฟาย (Delphi Method) วิธีการวิจัยตลาด (Marketing Research) วิธีฉันทามติกลุ่ม (Panel Consensus) วิธีการพยากรณ์แบบรากหญ้า (Grass Root Forecasting) และ วิธีการพยากรณ์ที่ยึดอดีตเป็นหลัก (Historical Analogy)

2.2.2 วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ

การพยากรณ์เชิงปริมาณ เป็นวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ข้อมูลในอดีตมาเป็นหลักในการพิจารณาถึงสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยอาศัยหลักสถิติและคณิตศาสตร์ จุดประสงค์ของวิธีการพยากรณ์เหล่านี้คือ ต้องการที่จะชี้ให้เห็นถึงรูปแบบของข้อมูลในอดีต และทำการตีความรูปแบบของข้อมูลถึงทิศทางของข้อมูลที่จะเป็นไปได้ในอนาคต ซึ่งการพยากรณ์เชิงปริมาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

2.2.2.1 การพยากรณ์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ (Casual or Explanatory Methods)

เป็นวิธีที่มีสมมติฐานว่าความต้องการของสินค้ารายการหนึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยอิสระตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัว (เช่น ราคา การโฆษณา การแข่งขันด้านราคา เป็นต้น) วิธีทางคณิตศาสตร์แบ่งออกเป็นหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมและแพร่หลายมากที่สุดวิธีหนึ่งคือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ (Correlation and Regression Analysis)

2.2.2.2 การพยากรณ์โดยวิธีวิเคราะห์หอนุกรมเวลา (Time Series Analysis)

เป็นการพยากรณ์โดยการศึกษาถึงความเคลื่อนไหวของข้อมูลชุดหนึ่งๆ ตามระยะเวลาในอดีตว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ตัวอย่างข้อมูลหอนุกรมเวลา ได้แก่ ข้อมูลการขายสินค้ารายวัน ข้อมูลการผลิตสินค้ารายเดือน เป็นต้น ในการนำเสนอข้อมูลหอนุกรม

เวลามักจะเรียงลำดับเวลาตามปฏิทิน ข้อมูลหอนุกรมเวลาที่รวบรวมไว้สามารถนำเสนอได้ทั้งแบบกราฟหรือตาราง การนำเสนอแบบกราฟสามารถช่วยให้ทราบถึงทิศทางการเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของข้อมูล ซึ่งการพยากรณ์โดยวิธีวิเคราะห์หอนุกรมเวลาที่ใช้ในการวิจัยนี้มีดังนี้

1. วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method: MA)

การพยากรณ์แบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ให้ความสำคัญกับข้อมูลเท่ากันทั้งหมด โดยมีสมการการคำนวณดังนี้ [7]

$$MA_n = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (2.4)$$

โดยที่

i คือ ดัชนีคาบเวลา

D_i คือ ปริมาณความต้องการในคาบที่ i

n คือ จำนวนคาบเวลาในการคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ต้องการเช่น อาจจะเป็น 3, 4, 5 หรืออื่นๆ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูล

2. วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่าย (Simple Exponential Smoothing: SES)

วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่ายนั้นใช้ค่าสัมประสิทธิ์ α ในการปรับเรียบ (Smoothing Constant) เพื่อตอบสนองต่อข้อมูลค่าความต้องการ ค่า α ที่สูงขึ้นจะสัมพันธ์หรือตอบสนองกับการพยากรณ์ต่อค่าความต้องการครั้งล่าสุดมาก แต่ค่า α ที่ต่ำจะแสดงการพยากรณ์ที่ราบเรียบมากขึ้น คือมีการตอบสนองต่อค่าความต้องการครั้งล่าสุดน้อยกว่าแต่แสดงค่า “กลางๆ” ของความต้องการโดยทั่วไป มีสมการคำนวณเป็นดังนี้ [7]

$$F_{i+1} = F_i + \alpha(D_i - F_i) \quad (2.5)$$

โดยที่

i คือ ดัชนีคาบเวลา

D_i คือ ปริมาณความต้องการในคาบที่ i

F_i คือ ค่าพยากรณ์ความต้องการในคาบที่ i

F_{i+1} คือ ค่าพยากรณ์ความต้องการในคาบที่ $i + 1$

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับเรียบมีค่าอยู่ในช่วง 0-1

3. วิธี Croston (Croston's Method: CT)

มักใช้สำหรับการพยากรณ์ความต้องการสินค้าประเภท Intermittent และ Lumpy โดยการแยกพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้า และคาบเวลาที่ต้องการใช้สินค้า โดยเน้นให้ความสำคัญกับสถานการณ์ที่ความต้องการสินค้ามีค่าเป็นศูนย์หลายครั้งติดต่อกัน สมการการคำนวณมีดังนี้ [8]

$$F_{i+1} = \frac{Z_i}{P_i} \quad (2.6)$$

$$Z_i = \alpha D_i + (1 - \alpha)Z_{i-1} \quad (2.7)$$

$$P_i = \alpha G_i + (1 - \alpha)P_{i-1} \quad (2.8)$$

โดยที่

i คือ ดัชนีคาบเวลา

D_i คือ ปริมาณความต้องการในคาบที่ i

F_{i+1} คือ ค่าพยากรณ์ด้วยวิธี Croston ในคาบที่ $i + 1$

G_i คือ ความกว้างของคาบเวลา ระหว่างคาบ i ที่มีความต้องการกับคาบที่มีความต้องการก่อนหน้านั้น (Demand interval between the demand in period i and its previous demand)

P_i คือ จำนวนคาบเวลาที่ได้จากการพยากรณ์หลังจากคาบที่ i (Demand interval forecast after period i)

Z_i คือ ปริมาณความต้องการที่ได้จากการพยากรณ์ของคาบที่ i

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0-1

4. วิธี Syntetos and Boylan (Syntetos and Boylan Method: SB)

เป็นวิธีการพยากรณ์ที่ปรับปรุงจากวิธีของ Croston โดยมีการกำจัดความเอนเอียง (Bias) ออกจากการคำนวณ มีสมการการคำนวณดังต่อไปนี้ [9]

$$F_{i+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{Z_i}{P_i} \quad (2.9)$$

$$Z_i = \alpha D_i + (1 - \alpha)Z_{i-1} \quad (2.10)$$

$$P_i = \alpha G_i + (1 - \alpha)P_{i-1} \quad (2.11)$$

โดยที่ สัญลักษณ์ต่างๆ เป็นเช่นเดียวกับการพยากรณ์โดยวิธี Croston ยกเว้นค่าพยากรณ์ F_{i+1} ในที่นี้เป็นค่าพยากรณ์จากวิธี Syntetos & Boylan ในคาบที่ $i + 1$

5. ดัชนีฤดูกาล (Seasonal Index)

การพยากรณ์ปริมาณความต้องการที่มีธรรมชาติของข้อมูลเป็นการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล สามารถหาดัชนีฤดูกาล (Seasonal Index: SI) มาคูณกับปริมาณความต้องการปกติได้เพื่อหาปริมาณความต้องการที่ใกล้เคียงกับความต้องการจริงมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ อย่างช้าๆ ในช่วงเวลาหนึ่งๆ บางครั้งอาจคงรูปแบบของฤดูกาลที่มีเสถียรภาพอยู่เป็นเวลาหลายปีแต่หลังจากนั้นก็เปลี่ยนแปลงไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง ค่าดัชนีฤดูกาลจะใช้เพื่อปรับปริมาณความต้องการสำหรับข้อมูลที่มีความผันแปรตามฤดูกาล (Season Variation) การคำนวณค่าดัชนีฤดูกาลในข้อมูลรายปีสามารถทำได้ด้วยการหาสัดส่วนระหว่างปริมาณความต้องการจริง (Actual Demand) กับ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ศูนย์กลาง 12 เดือน (12 Month Centered Moving Average) ดังนี้ [10]

$$SI_i = \frac{D_i}{MA_{12}} \quad (2.12)$$

โดยที่

SI_i คือ ค่าดัชนีฤดูกาลของคาบที่ i (หรือบางกรณีอาจหมายถึงช่วงเวลา i ก็ได้)

D_i คือ ปริมาณความต้องการจริงในคาบที่ i

MA_{12} คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ศูนย์กลาง 12 เดือน

ในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มวิธีพยากรณ์ที่ใช้ค่าปรับดัชนีฤดูกาลกับการพยากรณ์ด้วยวิธี Croston และ Syntetos & Boylan ซึ่งวิธี Croston with Seasonal Index (CTSI) และวิธี Syntetos & Boylan with Seasonal Index (SBSI) คำนวณได้จากสมการที่ 2.13 และ 2.14 ตามลำดับ

$$F_{i+1} = \frac{Z_i}{P_i} SI_i \quad (2.13)$$

$$F_{i+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{Z_i}{P_i} SI_i \quad (2.14)$$

2.3 การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

ในการเลือกวิธีที่เหมาะสมในการพยากรณ์เชิงปริมาณ มักพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์ ในงานวิจัยนี้คำนวณความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์โดยวิธี ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation: MAD) [7,11] โดยมีรายละเอียดดังนี้

ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย คำนวณได้จากการนำค่าสัมบูรณ์ของความแตกต่างระหว่างค่าความต้องการจริงและค่าพยากรณ์ที่ได้ในแต่ละคาบมารวมกันทั้งหมด แล้วหารด้วยจำนวนคาบเวลาที่พิจารณา หาก MAD มีค่าน้อยแสดงว่าการพยากรณ์ค่อนข้างใกล้เคียงกับความเป็นจริง โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |D_i - F_i|}{n} \quad (2.15)$$

โดยที่

i คือ ดัชนีคาบเวลา

D_i คือ ปริมาณความต้องการในคาบที่ i

F_i คือ ค่าพยากรณ์ความต้องการในคาบที่ i

n คือ จำนวนคาบเวลาที่พิจารณา

2.4 การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่ต้องการมากที่สุด ตัวอย่างการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเช่น การหาระยะทางการเดินทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางจากเมืองหนึ่งไปยังอีกเมืองหนึ่ง หรือการกำหนดการผลิตสินค้าเพื่อให้เกิดค่าตอบแทนสูงที่สุดภายใต้ทรัพยากรการผลิตที่มีจำกัด เป็นต้น การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด มีองค์ประกอบทั้งหมด 3 ส่วนคือ [12, 13]

1. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อการตัดสินใจ มีค่าเปลี่ยนแปลงได้และผลของการเปลี่ยนแปลงมีผลต่อการได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution)

2. ข้อจำกัด (Constraints) เป็นข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถกำหนดผ่านสมการต่างๆ เพื่อแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรตัดสินใจ

3. วัตถุประสงค์ (Objective) เป็นการวัดเป้าหมายหรือสิ่งที่เราต้องการจากการแก้ปัญหา เช่น ระยะทางที่สั้นที่สุด ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ผลตอบแทนที่สูงที่สุด เป็นต้น โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 รูปแบบคือ

- a. Maximization คือ ต้องการคำตอบที่มีค่าสูงที่สุด
- b. Minimization คือ ต้องการคำตอบที่มีค่าต่ำที่สุด

3. ปัญหาโครงข่ายการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์

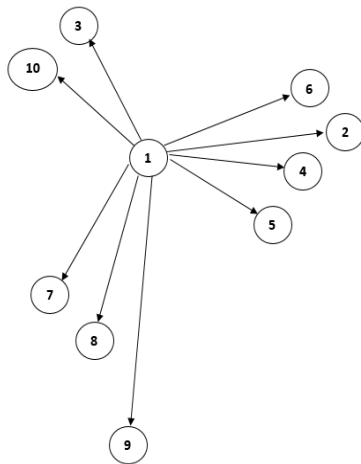
3.1 รายละเอียดของปัญหา

ปัญหาของงานวิจัยนี้คือการพิจารณาแนวทางการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่เหมาะสม โดยใช้ข้อมูลการพยากรณ์ความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่มีอยู่ 5 ประเภทนั้นคือ

1. ถุงช่วยเหลือผู้ประสบภัย (โดยต่อไปจะเรียกอย่างย่อว่า ถุงช่วยเหลือ) เป็นชุดสิ่งของหลักที่แจกจ่ายให้แก่ผู้ประสบภัยในเกือบทุกประเภทของภัยพิบัติ
2. ผ้าห่ม เพื่อแจกจ่ายผู้ประสบภัยหนาวหรือกรณีอื่นที่จำเป็น
3. เสื้อกันหนาว เพื่อแจกจ่ายผู้ประสบภัยหนาว
4. ชุดสุขอนามัย เป็นชุดสิ่งของที่ประกอบไปด้วยยาและชุดปฐมพยาบาลพื้นฐาน
5. ชุดอศศิกภัย เป็นชุดสิ่งของที่มุ่งเน้นช่วยเหลือผู้ประสบภัยด้านอศศิกภัยเป็นหลัก

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลปริมาณความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ทั้ง 5 ชนิด ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2554 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2559 ของศูนย์ให้ความช่วยเหลือทั้ง 10 แห่ง (ดังรูปที่ 2) โดยในรูป เลข 1 คือศูนย์ให้ความช่วยเหลือส่วนกลางที่กรุงเทพฯ เลข 2 คือศูนย์ใน จ.อุบลราชธานี เลข 3 คือศูนย์ใน จ.เชียงใหม่ เลข 4 คือศูนย์ใน จ.สุรินทร์ เลข 5 คือศูนย์ใน จ.สระแก้ว เลข 6 คือศูนย์ใน จ.นครราชสีมา เลข 7 คือศูนย์ใน จ.เพชรบุรี เลข 8 คือศูนย์ใน จ.ประจวบคีรีขันธ์

เลข 9 คือศูนย์ใน จ.นครศรีธรรมราช และเลข 10 คือศูนย์ใน จ.ตาก



รูปที่ 2 โครงข่ายการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์

3.2 การจำแนกรูปแบบความต้องการ

จากข้อมูลปริมาณความต้องการ สามารถมาคำนวณค่า CV^2 และ ADI ตามสมการที่ 2.1 – 2.3 เพื่อจำแนกรูปแบบความต้องการ ตารางที่ 1 แสดงผลการจำแนกรูปแบบความต้องการตามประเภทสิ่งของบรรเทาทุกข์ของศูนย์ให้ความช่วยเหลือต่างๆ

3.3 การพยากรณ์

วิธีการพยากรณ์ในงานวิจัยนี้ ใช้การพยากรณ์การวิเคราะห์หอนุกรมเวลา เนื่องจากลักษณะของภัยพิบัติที่ส่งผลต่อปริมาณความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ ส่วนหนึ่งมาจากอิทธิพลของฤดูกาล

3.3.1 การพยากรณ์รูปแบบความต้องการกลุ่ม Smooth & Erratic

จากข้อมูลรูปแบบความต้องการของสิ่งของบรรเทาทุกข์ทั้ง 5 ชนิดตามตารางที่ 1 พบว่ามีรูปแบบความต้องการประเภท Smooth 2 กรณี และ Erratic 1 กรณี แต่รูปแบบความต้องการประเภท Smooth ที่เกิดขึ้นมาจากกรณีความต้องการที่เป็น 0 ทั้งหมด คือไม่เคยมีปริมาณความต้องการเกิดขึ้นเลย ซึ่งเป็นสิ่งของบรรเทาทุกข์ประเภทเดียวกันหนาวที่ศูนย์ให้ความช่วยเหลือที่ 9 และชุดสุขอนามัยที่ศูนย์ให้ความช่วยเหลือที่ 4 ซึ่งวิธีการพยากรณ์ที่นิยมสำหรับความต้องการกลุ่ม Smooth นี้คือ วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (MA) และวิธีการแบบปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่าย (SES) โดยหากพยากรณ์ด้วยวิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่จะได้ค่าพยากรณ์เป็นศูนย์ และหากใช้วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่ายจะมีค่า $\alpha = 0$ ซึ่งเมื่อประยุกต์ใช้กับข้อมูลแล้วทั้ง 2 วิธี จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เป็นศูนย์ ในที่นี้จึงแสดงผลด้วย SES $\alpha = 0.0$ ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 รูปแบบความต้องการของสิ่งของบรรเทาทุกข์

ศูนย์ ที่	ฉุกเฉินช่วยเหลือ			ผ้าห่ม			เสื้อกันหนาว			ชุดสุขอนามัย			ชุดอภัยภัย		
	CV^2	ADI	รูปแบบ	CV^2	ADI	รูปแบบ	CV^2	ADI	รูปแบบ	CV^2	ADI	รูปแบบ	CV^2	ADI	รูปแบบ
1	2.73	1.04	Erratic	0.65	2.25	Lumpy	0.70	7.20	Lumpy	0.41	3.43	Intermittent	1.53	1.61	Lumpy
2	2.81	4.06	Lumpy	0.97	3.65	Lumpy	0.52	3.88	Lumpy	4.21	3.00	Lumpy	3.91	2.19	Lumpy
3	4.81	2.27	Lumpy	1.24	2.52	Lumpy	1.23	2.65	Lumpy	1.96	4.64	Lumpy	0.00	52.00	Intermittent
4	1.06	8.75	Lumpy	0.90	3.32	Lumpy	1.78	3.93	Lumpy	0.00	0.00	Smooth	0.00	42.00	Intermittent
5	0.95	4.18	Lumpy	3.04	4.50	Lumpy	0.45	7.20	Intermittent	1.49	24.00	Lumpy	0.75	16.75	Lumpy
6	7.28	1.63	Lumpy	0.59	3.41	Lumpy	0.54	4.21	Lumpy	4.45	6.36	Lumpy	11.30	1.56	Lumpy
7	1.82	6.00	Lumpy	1.94	16.67	Lumpy	1.00	17.00	Lumpy	1.09	4.25	Lumpy	2.79	6.00	Lumpy
8	25.99	2.15	Lumpy	0.71	12.00	Lumpy	0.57	10.71	Lumpy	0.00	0.30	Intermittent	0.99	33.00	Lumpy
9	5.38	3.79	Lumpy	0.55	4.00	Lumpy	0.00	0.00	Smooth	0.69	6.50	Lumpy	5.55	6.29	Lumpy
10	3.38	2.73	Lumpy	3.43	3.26	Lumpy	0.68	3.93	Lumpy	0.29	33.50	Intermittent	4.82	3.82	Lumpy

ตารางที่ 2 วิธีพยากรณ์ที่ให้ค่า MAD ที่ต่ำที่สุด

ศูนย์ให้ความช่วยเหลือ	สิ่งของบรรเทาทุกข์				
	ถุงช่วยเหลือ	ผ้าห่ม	เสื้อกันหนาว	ชุดสุขอนามัย	ชุดอศัลยกรรม
ศูนย์ที่ 1	SES $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.3$	SBSI $\alpha = 0.4$
ศูนย์ที่ 2	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$
ศูนย์ที่ 3	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$	CTSI $\alpha = 0.1$
ศูนย์ที่ 4	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$	SES $\alpha = 0.0$	CTSI $\alpha = 0.1$
ศูนย์ที่ 5	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$	CT $\alpha = 0.1$	CTSI $\alpha = 0.1$
ศูนย์ที่ 6	SBSI $\alpha = 0.2$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$
ศูนย์ที่ 7	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.3$	CTSI $\alpha = 0.1$
ศูนย์ที่ 8	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.3$	CT $\alpha = 0.1$	CTSI $\alpha = 0.1$
ศูนย์ที่ 9	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$	SES $\alpha = 0.0$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$
ศูนย์ที่ 10	SBSI $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$	SBSI $\alpha = 0.1$	CT $\alpha = 0.1$	SBSI $\alpha = 0.9$

สำหรับรูปแบบความต้องการประเภท Erratic ซึ่งมีความต้องการสม่ำเสมอและข้อมูลเป็นข้อมูลแบบอนุกรมเวลา จึงเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ที่นิยมกับข้อมูลประเภทนี้ 2 วิธี คือ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ที่ 3, 5, 7 และ 9 เดือน โดยคำนวณจากสมการที่ 2.4 และการหาแบบปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลอย่างง่าย (Simple Exponential Smoothing: SES) โดยทดสอบกับ $\alpha = 0.1$ ถึง 0.9 ในสมการที่ 2.5

3.3.2 การพยากรณ์รูปแบบความต้องการกลุ่ม Intermittent & Lumpy

จากข้อมูลรูปแบบความต้องการของสิ่งของบรรเทาทุกข์ทั้ง 5 ชนิด ตามตารางที่ 1 พบว่ามีรูปแบบความต้องการประเภท Intermittent 6 กรณี และ Lumpy 41 กรณี การพยากรณ์สำหรับความต้องการกลุ่มนี้จะให้ความสำคัญกับช่วงเวลาที่ไม่มีปริมาณความต้องการเกิดขึ้นโดยสังเกตจากค่า ADI จะมีค่าสูง จึงเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ที่นำค่าคาบเวลาที่ไม่มีความต้องการเข้ามาคำนวณด้วย นั่นคือวิธีการพยากรณ์แบบ Croston (CT) และ Syntetos & Boylan ดังสมการที่ 2.6 ถึง 2.11

นอกจากนี้ยังได้เพิ่มวิธีการพยากรณ์อีก 2 วิธีคือ การพยากรณ์แบบ Croston with Seasonal Index (CTSI) และ Syntetos & Boylan with Seasonal Index (SBSI) ซึ่ง ดังสมการที่ 2.13 และ 2.14 ที่ได้ปรับใช้วิธี Croston และ Syntetos & Boylan มาร่วมกับค่าดัชนีฤดูกาล โดยวิธีการ

พยากรณ์ 2 วิธีหลังนี้เป็นวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้การพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนน้อยลง

3.4 การวัดค่าความคลาดเคลื่อน

การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในงานวิจัยนี้ประเมินโดยวิธี MAD ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยแสดงเฉพาะการพยากรณ์ที่ให้ค่า MAD ที่ต่ำที่สุด จากนั้นใช้วิธีเหล่านี้มาพยากรณ์ความต้องการของเดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2560 ตัวอย่างผลการพยากรณ์ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

นำค่าพยากรณ์ที่ได้และค่าสัมประสิทธิ์อื่นๆ มาหาแนวทางการขนส่งที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งรวมที่ต่ำที่สุด ดังแสดงในตัวแทนทางคณิตศาสตร์ ในหัวข้อต่อไป

4. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

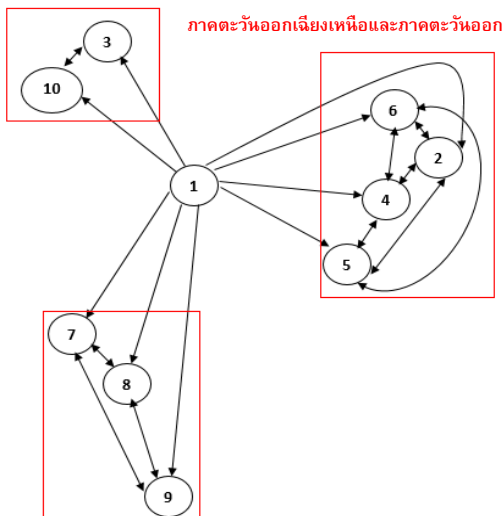
ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้เป็นตัวแบบอธิบายโครงข่ายการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ไปยังศูนย์ให้ความช่วยเหลือ (เรียกโดยย่อว่า “ศูนย์”) ต่างๆ เพื่อหาต้นทุนการขนส่งและการถือครองวัสดุคงคลังที่ต่ำที่สุด ปัจจุบันการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จะขนส่งจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางที่ กรุงเทพฯ ไปยังศูนย์ตามภูมิภาคเท่านั้น โดยไม่มีแนวทางการขนส่งระหว่างศูนย์อื่นๆ ที่อยู่ตามภูมิภาคอย่างชัดเจน

ตารางที่ 3 ค่าพยากรณ์เดือนมกราคม พ.ศ. 2560

ศูนย์ให้ความช่วยเหลือ	สิ่งของบรรเทาทุกข์ (จำนวนชุด)				
	ถุงช่วยเหลือ	ผ้าห่ม	เสื้อกันหนาว	ชุดสุขอนามัย	ชุดอัครัก
ศูนย์ที่ 1	462	2,423	466	0	255
ศูนย์ที่ 2	0	3,083	2,159	1	2
ศูนย์ที่ 3	7	1,003	895	33	0
ศูนย์ที่ 4	0	3,011	1,630	0	0
ศูนย์ที่ 5	0	1,295	100	2	31
ศูนย์ที่ 6	143	2,433	1,371	0	3
ศูนย์ที่ 7	393	0	3	2	3
ศูนย์ที่ 8	742	3	25	47	20
ศูนย์ที่ 9	4,044	0	0	44	3
ศูนย์ที่ 10	7	1,250	635	22	0

ซึ่งในงานวิจัยนี้เสนอแนวคิดให้ศูนย์ในภูมิภาคที่อยู่ใกล้เคียงกันสามารถส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ระหว่างกันได้ โดยขนส่งจากศูนย์ที่มีปริมาณสิ่งของเกินความต้องการไปยังศูนย์ที่มีปริมาณสิ่งของไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังรูปที่ 3

ภาคเหนือและภาคตะวันตก



ภาคกลางตอนล่างและภาคใต้

รูปที่ 3 โครงข่ายการขนส่งแบบเชื่อมโยงศูนย์ให้ความช่วยเหลือในพื้นที่ใกล้เคียง

4.1 ดัชนีและสัญลักษณ์

1. โหนด (Nodes)

i คือ ดัชนีศูนย์ให้ความช่วยเหลือโดย $i = 1, 2, 3, \dots, 10$

h คือ โหนดสมมุติในการรับส่งสิ่งของ

เพื่อให้การขนส่งมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจึงควรทำการขนส่งในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน ในงานวิจัยนี้จึงแบ่งกลุ่มศูนย์ที่สามารถส่งสิ่งของระหว่างกันได้เป็น 3 กลุ่มตามตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์นั้นๆ หากจะทำการขนส่งนอกกลุ่มควรใช้การขนส่งจากส่วนกลางเนื่องจากระยะทางสั้นกว่า กลุ่มศูนย์ทั้ง 3 กลุ่ม หรือ 3 เขตตามภูมิภาค แบ่งดังนี้

- เขต A หมายถึง เขตของศูนย์ที่อยู่ภาคเหนือและภาคตะวันตก มีสมาชิกคือศูนย์ที่ 3 และ 10 ดังนั้นกำหนดให้ $A = \{3, 10\}$
- เขต B หมายถึง เขตของศูนย์ที่อยู่ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีสมาชิกคือศูนย์ที่ 2, 4, 5 และ 6 ดังนั้นกำหนดให้ $B = \{2, 4, 5, 6\}$
- เขต C หมายถึง เขตของศูนย์ที่อยู่ภาคกลางตอนล่างและภาคใต้ มีสมาชิกคือศูนย์ที่ 7, 8 และ 9 ดังนั้นกำหนดให้ $C = \{7, 8, 9\}$

และกำหนดให้เขต $D = A \cup B \cup C$

t คือ ดัชนีคาบเวลา หน่วยเป็นเดือน

2. เส้นเชื่อม (Arcs)

(i, j) คือ เส้นทางในการส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์ i ไปยังศูนย์ j โดย $i = 1, 2, 3, \dots, 10$ และ $j = 1, 2, 3, \dots, 10$

3. สิ่งของบรรเทาทุกข์ (Relief Aids)

k คือ ดัชนีสิ่งของบรรเทาทุกข์ 5 ประเภท คือ 1 แทน ถุงช่วยเหลือ, 2 แทน ผ้าห่ม, 3 แทน เสื้อกันหนาว, 4 แทน ชุดสุขอนามัย และ 5 แทน ชุดอัครัก

4. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

X_{ijk}^t คือ ปริมาณสิ่งของ k ที่ขนส่งจากศูนย์ i ไปศูนย์ j ในคาบเวลา t หน่วยเป็นชิ้น

XA_{ij}^t คือ จำนวนรอบรถในการขนส่งสิ่งของจากศูนย์ i ไปศูนย์ j ในคาบเวลา t หน่วยเป็นรอบ

5. พารามิเตอร์ (Parameters)

C_{ij}^t คือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสิ่งของจากศูนย์ i ไปศูนย์ j ในคาบเวลา t หน่วยเป็นบาท/รอบ

V_k คือ ปริมาตรสิ่งของบรรเทาทุกข์ k หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

Cr_{ik}^t คือ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาของสิ่งของ k ที่ศูนย์ i ในคาบเวลา t หน่วยเป็นบาท/เดือน/ชิ้น

R_{ik}^t คือ ปริมาณคงเหลือของสิ่งของชนิด k ที่ศูนย์ i ในคาบเวลา t หน่วยเป็นชิ้น

V_{truck} คือ ปริมาตรของรถบรรทุกขนาด 4 ล้อ หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

F_{ik}^t คือ ค่าพยากรณ์ของสิ่งของ k ที่ศูนย์ i ในคาบเวลา t หน่วยเป็นชิ้น

D_{ik}^t คือ ปริมาณความต้องการจริงของสิ่งของ k ที่ศูนย์ i ในคาบเวลา t หน่วยเป็นชิ้น

S_{ik}^t คือ ปริมาณการจัดเก็บขั้นต่ำของสิ่งของ k ที่ศูนย์ i ในคาบเวลา t หน่วยเป็นชิ้น

4.2 ตัวแบบคณิตศาสตร์

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ประกอบไปด้วย สมการจุดประสงค์ และสมการข้อจำกัด ดังนี้

1. สมการจุดประสงค์

$$\min \sum_{t=1}^5 \sum_{i \in 1 \cup D} \sum_{j \in D} C_{ij}^t XA_{ij}^t + \sum_{t=1}^5 \sum_{i \in 1 \cup D} \sum_{k=1}^5 Cr_{ik}^t R_{ik}^t \quad (4.1)$$

2. สมการข้อจำกัด

$$\left\lceil \frac{\sum_{k=1}^5 X_{ijk}^t V_k}{V_{truck}} \right\rceil = XA_{ij}^t, \forall i, j, t \quad (4.2)$$

$$R_{ik}^t = R_{ik}^{t-1} + X_{hik}^t - X_{ijk}^t - D_{ik}^t, \quad \forall h \in 1 \cup D, \forall i, j \in D, \forall k, t \quad (4.3)$$

ปริมาณขนส่งสุทธิ (Net Flow) ของเขต A

$$X_{hik}^t + R_{ik}^{t-1} - X_{ijk}^t - F_{ik}^t - S_{ik}^t \geq 0, \quad \forall h \in 1 \cup A, \forall i \in A, \forall k \quad (4.4)$$

ปริมาณขนส่งสุทธิ (Net Flow) ของเขต B

$$X_{hik}^t + R_{ik}^{t-1} - X_{ijk}^t - F_{ik}^t - S_{ik}^t \geq 0, \quad \forall h \in 1 \cup B, \forall i \in B, \forall k \quad (4.5)$$

ปริมาณรับส่งสุทธิ (Net flow) ของเขต C

$$X_{hik}^t + R_{ik}^{t-1} - X_{ijk}^t - F_{ik}^t - S_{ik}^t \geq 0, \quad \forall h \in 1 \cup C, \forall i \in C, \forall k \quad (4.6)$$

และ $X_{ijk}^t \geq 0$ และ XA_{ij}^t เป็นจำนวนเต็มที่ไม่น้อยกว่าศูนย์ $\forall i, j, k, t$ (4.7)

โดยที่

$1 \cup A, 1 \cup B, 1 \cup C$ และ $1 \cup D$ หมายถึงการยูเนียนระหว่างเซตที่มีศูนย์ 1 เท่านั้น กับเซตของศูนย์ A, B, C และ D ตามลำดับ

สมการที่ 4.1 แสดงค่าใช้จ่ายรวมประกอบด้วยผลรวมของต้นทุนในการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา หน่วยเป็นบาทต่อเดือน

สมการที่ 4.2 จำนวนรถบรรทุกในการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์ทั้งหมดจากศูนย์ i ไป j คิดจากปริมาตรที่จะขนส่งหารด้วยปริมาตรของรถบรรทุก หน่วยเป็นรอบ

สมการที่ 4.3 ปริมาณคงเหลือสิ่งของ k ที่ศูนย์ i เท่ากับปริมาณคงเหลือของเดือนก่อนหน้ารวมกับสิ่งของที่ได้รับมาจากศูนย์อื่นแล้วหักปริมาณความต้องการที่เกิดขึ้นจริงที่ศูนย์ i และสิ่งของที่ศูนย์ i ส่งให้ศูนย์อื่นๆ หน่วยเป็นชิ้น

สมการที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงปริมาณการรับส่งสุทธิสิ่งของ k ที่ศูนย์ในเขต A เขต B และ เขต C ตามลำดับ

สมการที่ 4.7 กำหนดให้ปริมาณสิ่งของ k ที่ขนส่งจากศูนย์ i ไป j เป็นจำนวนเต็มบวกและศูนย์ หน่วยเป็นชิ้น

5. ผลการศึกษา

5.1 ข้อมูลเชิงปริมาณ

เนื่องจากศูนย์ต่างๆ มีขนาดของคลังไม่เท่ากัน จึงกำหนดปริมาณการจัดเก็บขั้นต่ำ (Safety Stock) ของสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ศูนย์ต่างๆ ไว้แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4 จะสังเกตได้ว่าสิ่งของบรรเทาทุกข์บางประเภทจะไม่เก็บไว้ที่บางศูนย์ เนื่องจากคลังของศูนย์ในภูมิภาคบางศูนย์มีขนาดเล็กและมักไม่เกิดภัยพิบัติที่ต้องใช้สิ่งของบรรเทาทุกข์ประเภทนั้นๆ แต่ศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางจะต้องเก็บจำนวนขั้นต่ำของสิ่งของบรรเทาทุกข์ทุกประเภท

ตารางที่ 4 ปริมาณสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่จัดเก็บขั้นต่ำ ณ ศูนย์ต่างๆ

ศูนย์ให้ความช่วยเหลือ	สิ่งของบรรเทาทุกข์ (จำนวนชุด)				
	ถุงช่วยเหลือ	ผ้าห่ม	เสื้อกันหนาว	ชุดสุขอนามัย	ชุดอัคริภัย
ศูนย์ที่ 1	1,000	2,000	1,000	100	100
ศูนย์ที่ 2	500	1,000	500	50	50
ศูนย์ที่ 3	200	2,000	1,000	0	90
ศูนย์ที่ 4	500	1,000	500	200	200
ศูนย์ที่ 5	100	100	100	0	30
ศูนย์ที่ 6	100	100	100	0	30
ศูนย์ที่ 7	100	100	100	0	30
ศูนย์ที่ 8	100	100	100	0	30
ศูนย์ที่ 9	2,000	0	1,000	0	100
ศูนย์ที่ 10	500	1,000	1,000	50	0

ตารางที่ 5 ผลการสุ่มจำนวนสิ่งของบรรเทาทุกข์ เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2559 ของศูนย์ให้ความช่วยเหลือต่างๆ

ศูนย์ให้ความช่วยเหลือ	สิ่งของบรรเทาทุกข์ (จำนวนชุด)				
	ถุงช่วยเหลือ	ผ้าห่ม	เสื้อกันหนาว	ชุดสุขอนามัย	ชุดอัคริภัย
ศูนย์ที่ 1	1,070	2,080	1,190	118	120
ศูนย์ที่ 2	515	1,200	470	54	47
ศูนย์ที่ 3	212	2,000	1,140	0	90
ศูนย์ที่ 4	565	1,100	570	226	210
ศูนย์ที่ 5	100	108	80	0	31
ศูนย์ที่ 6	87	101	91	0	26
ศูนย์ที่ 7	86	83	119	0	32
ศูนย์ที่ 8	104	101	113	0	28
ศูนย์ที่ 9	2,400	0	900	0	113
ศูนย์ที่ 10	435	1,060	1,120	53	0

เนื่องจากหน่วยงานกรณีศึกษา ไม่มีข้อมูลแน่นอนถึงจำนวนสิ่งของในคลังของเดือนสุดท้าย (เดือนธันวาคม พ.ศ. 2559) จึงต้องทำการประมาณการปริมาณสิ่งของบรรเทาทุกข์ของเดือนสุดท้ายของทุก ศูนย์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้การสุ่ม โดยกำหนดให้มีปริมาณคงคลังของเดือนสุดท้ายมีประมาณร้อยละ 80-120 ของปริมาณการจัดเก็บขั้นต่ำ ทั้งนี้ เพราะการจัดเก็บขั้นต่ำเป็นนโยบายที่ทุกศูนย์ต้องปฏิบัติตาม แต่ปริมาณที่เก็บจริงอาจคลาดเคลื่อนจากปริมาณจัดเก็บขั้นต่ำไปบ้าง ดังแสดงผลการสุ่มในตารางที่ 5 จำนวนสิ่งของเหล่านี้ใช้เป็นจำนวนสิ่งของเริ่มต้น (คาบเวลาที่ $t - 1$) เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าของตัวแบบคณิตศาสตร์

ปริมาตรโดยประมาณของถุงช่วยเหลือ ผ้าห่ม เสื้อกันหนาว ชุดสุขอนามัย และชุดอัคริภัยแต่ละชุด คือ 0.0046, 0.0093, 0.0024, 0.0041 และ 0.0158 ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ และค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาของสิ่งของบรรเทาทุกข์เหล่านี้มีค่า 4.17, 2.92, 2.92, 1.25 และ 1.25 บาท/เดือน/ชิ้น ตามลำดับ ทั้งนี้ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสิ่งของบรรเทาทุกข์คิดเป็นบาท/เดือน/ชิ้น แทนการคิดเป็นรายชุดเนื่องจากโดยปกติแล้วการจัดเก็บจะจัดเก็บแยกตามรายการสิ่งของในชุดเพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บและสะดวกในการตรวจสอบปริมาณคงคลัง การสั่งซื้อสิ่งของในชุดมาจากหลากหลายผู้ส่งมอบและปริมาณสั่งซื้อของสิ่งของต้องสั่งซื้อตาม SKU ของผู้ส่งมอบแต่ละรายการซึ่งมีความหลากหลายซึ่งอาจไม่ลงตัวเป็นชุด

สำหรับค่าใช้จ่ายในการขนส่งคิดเป็นค่าขนส่งต่อการรอบการเดินรถ โดยคิดจากระยะทางจริงและใช้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน 4.5 กม./ลิตร จากค่าน้ำมัน 25 บาท/ลิตร ปริมาตรของรถบรรทุก 4 ล้อ ที่ไม่มีการบรรทุกเท่ากับ 8.90 ลูกบาศก์เมตร แต่คิดปริมาตรการบรรทุกที่ขนส่งได้จริงที่ร้อยละ 80 ของปริมาตรเปล่า หรือเท่ากับ 7.12 ลูกบาศก์เมตร และค่าพยากรณ์ของสิ่งของบรรเทาทุกข์แต่ละประเภทของแต่ละศูนย์ในเดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม ได้จากการพยากรณ์ในหัวข้อที่ 3

5.2 ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์

จากข้อมูลในหัวข้อ 5.1 นำไปแทนค่าและหาคำตอบตามตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อ 4.2 (แบบใหม่) โดยใช้โปรแกรม Open Solver เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมของโครงข่ายเปรียบเทียบการขนส่งที่ส่งจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางเท่านั้นตามหัวข้อที่ 3.1 (แบบเดิม) ค่าใช้จ่ายของการขนส่งและเก็บรักษาสิ่งของบรรเทาทุกข์ของทั้ง 2 กรณี แสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าใช้จ่ายเดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2560

ค่าใช้จ่าย (บาท)	มกราคม 2560		กุมภาพันธ์ 2560		มีนาคม 2560		เมษายน 2560		พฤษภาคม 2560	
	แบบเดิม	แบบใหม่	แบบเดิม	แบบใหม่	แบบเดิม	แบบใหม่	แบบเดิม	แบบใหม่	แบบเดิม	แบบใหม่
ค่าเก็บรักษา	108,766	108,766	61,721	61,721	80,811	80,811	79,757	73,918	80,138	77,101
ค่าขนส่ง	69,739	69,739	27,439	27,439	38,596	38,596	28,950	20,210	23,532	23,302
ค่าใช้จ่ายรวม	178,505	178,505	89,160	89,160	119,407	119,407	108,707	94,137	103,670	100,403

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบร้อยละระดับการให้บริการ ระหว่างเดือน มกราคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2560 จากการพยากรณ์ แบบเดิมและแบบใหม่

การพยากรณ์	มกราคม 2560	กุมภาพันธ์ 2560	มีนาคม 2560	เมษายน 2560	พฤษภาคม 2560
แบบเดิม	51.63%	67.34%	80.33%	84.00%	100%
แบบใหม่	78.04%	67.57%	82.39%	86.71%	100%

จากตารางพบว่า ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นในเดือน มกราคม ถึง มีนาคม ระหว่างการขนส่งแบบเดิมและแบบใหม่ มีค่าใช้จ่ายเท่ากัน ซึ่งเกิดจากปริมาณสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ ถือครองของแต่ละศูนย์ในภูมิภาคจากเดือนก่อนหน้ามีจำนวน น้อย สิ่งของบรรเทาทุกข์เพื่อตอบสนองความต้องการเป็น การขนส่งจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางไปยังศูนย์ภูมิภาค เท่านั้นไม่มีการขนส่งระหว่างศูนย์ใกล้เคียง ซึ่งยังเป็นลักษณะ การทำงานแบบเดิม ทำให้ยังไม่เห็นความแตกต่างระหว่าง การขนส่งแบบเดิมและแบบใหม่

สำหรับเดือนเมษายนค่าใช้จ่ายรวมแบบเดิมเท่ากับ 108,707 บาท และแบบใหม่เท่ากับ 94,137 บาท ซึ่งลดลง คิดเป็น 13 เปอร์เซ็นต์ และเดือนพฤษภาคมค่าใช้จ่ายรวม แบบเดิมเท่ากับ 103,670 บาท และแบบใหม่เท่ากับ 100,403 บาท ซึ่งลดลงคิดเป็น 3 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจาก เป็นช่วงเปลี่ยนฤดูกาล ซึ่งมักเป็นช่วงที่ภัยพิบัติเปลี่ยน รูปแบบและต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่แตกต่างจาก ฤดูกาลที่ผ่านมา สิ่งของบรรเทาทุกข์บางรายการอาจมีเหลือ จากเดือนที่แล้วบ้างในบางศูนย์ที่อยู่ภูมิภาค จึงเกิดการขนส่ง ระหว่างศูนย์ใกล้เคียงที่ยังมีสิ่งของบางประเภทคงคลังเก็บไว้ จากเดือนที่ผ่านมา ซึ่งการขนส่งระหว่างศูนย์ในพื้นที่ใกล้เคียง จะถูกกว่าการขนส่งจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางเนื่องจาก มีระยะทางสั้นกว่า

ข้อดีอีกประการของการขนส่งระหว่างศูนย์ที่อยู่ใน พื้นที่เดียวกันคือเวลาในการขนส่งที่น้อยกว่า ส่งผลให้เวลาที่

ใช้ในการตอบสนองต่อภัยพิบัติที่เกิดขึ้นน้อยลง หรือ ตอบสนองต่อภัยพิบัติได้รวดเร็วกว่าการขนส่งมาจาก ส่วนกลางซึ่งใช้เวลาในการขนส่งมากกว่า และสำหรับการ ขนส่งระหว่างศูนย์ที่อยู่ใกล้เคียงกันยังส่งผลต่อต้นทุนการ ขนส่งที่น้อยกว่าการขนส่งจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางอีก ด้วย

5.3 ผลกระทบของค่าพยากรณ์ต่อระดับการให้บริการ

ผลกระทบอีกประการหนึ่งของการใช้แนวทางการ พยากรณ์ตามรูปแบบความต้องการของสิ่งของบรรเทาทุกข์ คือ การที่ค่าพยากรณ์มีความใกล้เคียงกับค่าความต้องการ จริงมากกว่าการคาดการณ์ความต้องการด้วยวิธีการเดิม ส่งผล ให้มีสิ่งของบรรเทาทุกข์เพียงพอกับความต้องการจริงมากขึ้น ซึ่งสามารถวัดได้จากระดับการให้บริการ (Service Level) ที่ สูงขึ้นดังตารางที่ 7 โดยค่าในตารางได้จากการพิจารณาความ ต้องการจริงเทียบกับสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่จัดเตรียมและส่ง มอบตามค่าพยากรณ์ แน่นอนว่าค่าพยากรณ์มีความ คลาดเคลื่อนจากความต้องการจริง แต่หากใกล้เคียงก็แสดง ว่าสามารถตอบสนองความต้องการจริงได้ดีกว่า

อย่างไรก็ดี จากข้อมูลในตารางจะพบว่าค่าระดับการ ให้บริการน้อยกว่า 100% ในช่วงแรกของปี เมื่อตรวจสอบ ข้อมูลภัยพิบัติย้อนหลัง พบว่าในช่วงเดือนมกราคมและ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 เกิดอุทกภัยในหลายจังหวัดทาง ภาคใต้ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นช่วงที่เริ่มเข้าสู่ฤดูหนาวแล้ว (มักไม่

เกิดอุทกภัยแต่เป็นมักเกิดภัยหนาวทางภาคเหนือ) ทั้งนี้เป็นผลจากพายุที่พัดเข้าประเทศล่าช้ากว่าปกติ จึงมีความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ของศูนย์ทางภาคใต้เพิ่มเติมจากปกติเป็นจำนวนมาก สำหรับช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนต่อมามีภัยพิบัติเกิดขึ้นบ้างแต่ไม่รุนแรง และในเดือนพฤษภาคมของปีเดียวกัน พบว่ามีการเรียกสิ่งของบรรเทาทุกข์เพิ่มเติมเพียงหนึ่งครั้งและเป็นจำนวนเพียงเล็กน้อย

จากตัวเลขในตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า ในช่วงเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม พ.ศ. 2560 ที่ทำการศึกษา ในเกือบทุกเดือน ผลจากการพยากรณ์ที่ดำเนินการวิจัยมีแนวโน้มที่ให้ผลใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าวิธีเดิม ส่งผลให้แม้จะมีการเรียกสิ่งของบรรเทาทุกข์เพิ่มเติมระหว่างเดือนก็สามารถรองรับได้ดีกว่า

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและจำแนกประเภทของความ ต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ขององค์กรกรณีศึกษาที่มีทั้งหมด 5 ประเภท และมีศูนย์ให้ความช่วยเหลือกระจายอยู่ทั่วประเทศจำนวน 10 แห่ง การพยากรณ์เพื่อเตรียมพร้อมสิ่งของบรรเทาทุกข์มักใช้ความเชี่ยวชาญของผู้ปฏิบัติงานเป็นหลัก และส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์จากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางที่ตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพฯ

เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายขององค์กร งานวิจัยนี้จึงจำแนกประเภทของความ ต้องการตามคุณสมบัติความแปรปรวนของปริมาณและเวลาของสิ่งของบรรเทาทุกข์เป็น 4 ประเภท (Smooth, Erotic, Intermittent and Lumpy Demands) โดยใช้ข้อมูลความต้องการระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2559 ของสิ่งของบรรเทาทุกข์แต่ละประเภทในแต่ละศูนย์ จากนั้นจึงใช้การพยากรณ์ที่เหมาะสมกับประเภทของความ ต้องการนั้นๆ โดยเฉพาะการพยากรณ์สำหรับสิ่งของบรรเทาทุกข์ที่มีความต้องการแบบ Intermittent และ Lumpy ได้นำเสนอการพยากรณ์ด้วยวิธี Croston และ Syntetos & Boylan และยังประยุกต์ใช้ดัชนีฤดูกาลเพิ่มเติมเพื่อให้การพยากรณ์มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังได้นำเสนอแนวทางการขนส่งระหว่างศูนย์ให้ความช่วยเหลือที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน เพื่อลดการ

ขนส่งจากศูนย์ให้ความช่วยเหลือกลางในกรุงเทพฯ ที่มีระยะทางในการขนส่งไกลกว่า มีค่าใช้จ่ายมากกว่า ใช้เวลาในการขนส่งมากกว่า รวมทั้งในบางศูนย์ยังมีการเก็บสิ่งของบรรเทาทุกข์ไว้ปริมาณมากเกินไปจนความจำเป็น โดยสามารถส่งสิ่งของให้ศูนย์ใกล้เคียงที่ต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์นั้นๆ เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสิ่งของบรรเทาทุกข์ของศูนย์ที่มีสิ่งของมากเกินไปจนความจำเป็นอีกด้วย ดังนั้นแนวคิดการขนส่งระหว่างศูนย์ในพื้นที่ใกล้เคียงกันจะได้ประโยชน์ทั้งในด้านการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากส่วนกลางและลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสิ่งของบรรเทาทุกข์ในเวลาเดียวกัน โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับโครงการขนส่งแบบใหม่อีกด้วย

จากตัวแบบคณิตศาสตร์ ได้ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อศึกษาผลกระทบของแนวคิดการขนส่งตามตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ใช้การพยากรณ์จากประเภทของความ ต้องการ (แบบใหม่) เทียบกับการขนส่งที่ใช้ในปัจจุบันและการพยากรณ์ที่ใช้ผู้เชี่ยวชาญ (แบบเดิม) ของเดือน มกราคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2560 พบว่า แนวคิดแบบใหม่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ในบางเดือนโดยเฉพาะช่วงเปลี่ยนฤดูที่ความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์มีการเปลี่ยนประเภท แต่บางเดือนก็มีค่าใช้จ่ายเท่ากับการขนส่งแบบเดิมเนื่องจากการขนส่งสิ่งของบรรเทาทุกข์เพิ่มเติมจากส่วนกลาง แต่ไม่มีเดือนใดเลยที่มีค่าใช้จ่ายรวมของแนวคิดแบบใหม่มากกว่าแบบเดิม

ประโยชน์ของการพยากรณ์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้อีกประการหนึ่งคือ ผลของการพยากรณ์ที่นำเสนอมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง หรือใกล้เคียงกับจำนวนความต้องการจริงมากขึ้น ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการและมีระดับการให้บริการที่ดีขึ้น มีสิ่งของบรรเทาทุกข์เพียงพอต่อเหตุภัยพิบัติหรือความต้องการฉุกเฉินได้ดีขึ้นด้วย

แม้ว่าองค์กรกรณีศึกษาจะมีสิ่งของบรรเทาทุกข์ถึง 5 ประเภท แต่สิ่งของบรรเทาทุกข์ที่ผู้ประสบภัยและชุมชนต้องการในแต่ละช่วงเวลาอาจมีมากกว่าสิ่งของเหล่านี้ ซึ่งโดยปกติแล้วจำเป็นต้องให้ชุมชนที่ประสบภัยพิบัติสามารถฟื้นฟูและกลับเป็นปกติได้รวดเร็วที่สุด ในช่วงการฟื้นฟูแรกๆ อาจต้องการอุปกรณ์และวัสดุก่อสร้าง และเมื่อชุมชนได้รับการฟื้นฟูในระดับหนึ่งแล้วอาจต้องการชุดนักเรียนและอุปกรณ์

การเรียนรู้เพิ่มเติม เป็นต้น ซึ่งความต้องการสิ่งของบรรเทาทุกข์ในช่วงการฟื้นฟูไม่ได้ครอบคลุมในงานวิจัยนี้

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนส่วนหนึ่งจากกองทุน มจร. ในโอกาสครบรอบ 55 ปี ของการก่อตั้งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Pratondo, “Fuzzy rule base for analytical demand forecasting enhancement,” in *Proceeding of the 2nd International Conference in Advances in Computing, Control and Telecommunication Technologies (ACT)*, Jakarta, 2010.
- [2] E. V. D. Laan, J. V. Dalen, M. Rohmoser and R. Simpson, “Demand forecasting and order planning for humanitarian logistics: An empirical assessment,” *Journal of Operations Management*, vol. 45, pp. 114–122, 2016.
- [3] P. Hoang, *Springer Handbook of Engineering Statistic: Statistical Management and Modelling for Demand of Spare Parts*, Germany: Springer, 2006.
- [4] นพพล คณากรยิ่งยง และ เจริญชัย โขมพัตรภรณ์, “การพยากรณ์ความต้องการหลายรูปแบบและการสั่งซื้อแบบตู้คอนเทนเนอร์ที่เหมาะสม กรณีศึกษา อุปกรณ์ออกกำลังกายนำเข้า,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1, น. 1-11, 2560.
- [5] D. Bucher and J. Meissner, “Configuring single-echelon systems using demand categorization,” in *Service Parts Management*, London, Springer-Verlag, 2011.
- [6] ศรีสมรัก อินทจันทร์, *การใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการสินค้าคงคลัง*, โครงการตำราเพื่อธุรกิจขนาดย่อม คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2532.
- [7] พิภพ สถิตาภรณ์, ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต, พิมพ์ครั้งที่ 8., กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2541.
- [8] T. Euud and S. Babangida, “Calculating order-up-to levels for products with intermittent demand,” *International Journal of Production Economics*, vol.118, pp. 82-86, 2008.
- [9] A. Syntetos and J. E. Boyland, “The accuracy of intermittent demand estimates,” *International Journal of Forecasting*, vol.21, no. 2, pp.303-314, 2005.
- [10] Stevenson, J.W., and Chuong, C.S., *Operations Management*, 2nd ed., McGraw-Hill, 2014.
- [11] วราพร งามสุข, การพยากรณ์อนุกรมเวลาโดยการเปรียบเทียบวิธีแบบฉบับและวิธีบอกซ์-เจนกินส์ กรณีศึกษาจำนวนการเกิดอุบัติเหตุในประเทศไทย, *ปริญาวิทยาสาตรบัณฑิต, สาขาวิชาสถิติ*, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2555.
- [12] ทวีพร ชาเจียมเจน และ อรรถกร เก่งพล, “การหาปริมาณการผลิตที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ : กรณีศึกษาการวางแผนการผลิตบริษัทในอุตสาหกรรมกระดาษ,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 17, ฉบับที่ 3, น. 57-65, 2550.
- [13] ธัญชัย ลีภักดีปรีดา, การหาค่าเหมาะสมที่สุดหลักการพื้นฐานและขั้นตอนวิธีการ, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2543.

Stochastic Modeling for SET50 Index in Thailand Using the Black-Scholes Model with A Time-Dependent Drift Parameter and Its Application to SET50 Futures Pricing

Parawee Hongsai¹, Montri Maleewong², and Udomsak Rakwongwan³

Kasetsart University 50, Ngamwongwan Road, Bangkok, Thailand, 10900

Chayaphon Boonchot⁴ and Sanae Rujivan^{5*}

Walailak University 222, Thasala District, Nakhon Si Thammarat, Thailand, 80160

Received: 7 August 2020; Revised: 18 September 2020; Accepted: 23 September 2020

Abstract

In this paper we adopt the Black-Scholes model with a time-dependent drift parameter to describe the SET50 index which is a market-cap weighted index composed of the biggest 50 stocks traded in the Stock Exchange of Thailand (SET). An analytical formula for pricing futures contracts written on the SET50 index is derived by solving a partial differential equation (PDE) formulated for the futures contract pricing. Furthermore, we derive some interesting properties of the futures prices using our formula. We develop a method to estimate the model parameters by using the market data of SET50 and conduct the Monte-Carlo method to demonstrate the accuracy and efficiency of our formula. Finally, we display an evolution of futures prices over the lifetime of the futures contract with several maturity times.

Keywords: SET50 Index, Black-Scholes Model with Time-Dependent Parameters, PDE, Futures Prices.

* Corresponding author: E-mail: rsanae@wu.ac.th

^{1,2,3} Department of Mathematics, Faculty of Science, Kasetsart University.

^{4,5} Division of Mathematics and Statistics, School of Science, Walailak University

1. Introduction

The SET50 index is a stock market index calculated from the first fifty stock prices of companies in the Stock Exchange of Thailand (SET) ranking based on high market capitalization and high liquidity. The index can be used as a tool for financial managers or investors to describe the market movement. The method for calculating SET50 index is the same method that used for the SET index, called Market Capitalization Weighted [1]. The base date is 16 August 1995 with the base value of 1000 points. The list of companies in the SET50 index is modified every six months to take account of any changes that happened in the stock market. Therefore, the Black-Scholes model with time-dependent parameters (BS-T model) is suitable for describing the dynamics of the SET50 index in our investigation.

SET50 futures have been traded on Thailand Futures Exchange (TFEX) since April 28th, 2006. One of the advantages of SET50 futures is that they can be used to manage and reduce the investment risks. Because SET50 futures prices are related to the SET50 index, investors should consider whether those futures prices are reasonable or not. If those prices are not reasonable, there may be an arbitrage opportunity. However, we should not allow the arbitrageurs to get a profit without risk in the futures market.

From theoretical point of view, a no-arbitrage futures price (or a fair futures price) at time t of a futures contract, having maturity at $T \geq t$, of a selected risky asset, denoted by F_t , is the expected value of the spot price of the risky asset at time T conditioned on the information at time t , i.e., $F_t = E_{\mathbb{Q}}[S_T | S_t]$ (see pages 61-62 in [2]), where S_t is the spot price of the risky asset at time

$t \leq T$ in which we assume that S_t is a stochastic process (a collection of random variables indexed by time t) with respect to a risk-neutral probability measure $\mathbb{Q}$ (see pages 244-246 in [2]).

In terms of computing the no-arbitrage futures price F_t , the Monte-Carlo (MC) method [3] is a method of choice that can be adopted to obtain an approximate of F_t based on the law of large number such that the sample mean of spot prices $\bar{S}_T(n)$ converges to F_t as n approaches infinity. However, the major drawback of the MC method is time-consuming. In other words, it requires that n must be a sufficiently large number to ensure the convergence of $\bar{S}_T(n)$ to F_t .

Consequently, most of researchers avoid using the MC method and prefer to derive an analytical formula for futures prices based on the partial differential equation (PDE) method (see pages 242-244 in [2]). Therefore, the main contribution of the paper is to derive an analytical formula based on the PDE method for computing no-arbitrage futures prices for market participants trading SET50 futures contracts in TFEX.

The remaining of this paper is organized as follows. In Section 2, we adopt the BS-T model to describe the SET50 index and present a solution of the stochastic differential equation (SDE) for the SET50 index. In Section 3, by utilizing the Feynman-Kac theorem [4], we analytically solve a PDE formulated for the financial derivative pricing to obtain an analytical formula for pricing futures contracts based on the BS-T model and prove some interesting properties of our solution. We use the historical data of SET50 index from October 2nd, 2017 to March 29th, 2019 as showed in Figure 1, to estimate the model parameters and use the estimated parameters to demonstrate the accuracy

and efficiency of our formula by comparing with the MC method. Furthermore, we display an evolution of futures prices over the lifetime of the futures contract with several maturities. We conclude the paper in Section 4.

2. Mathematical Model

Stochastic models play an important role in pricing derivatives such as futures or options under the no-arbitrage assumption. Due to our preliminary investigation concerning the daily return of SET50 index data from October 2017 to March 2019, we have found that the increasing (or decreasing) rates of SET50 index returns for short period of time exhibit linear trends with respect to time. On the other hand, the volatility of the index returns remains almost the same for short period of time. Therefore, we adopt the Black-Scholes model with a time-dependent drift parameter to describe the dynamics of SET50 index as follows.

Let S_t be the SET50 index value at time t and we assume that

$$dS_t = \mu(t)S_t dt + \sigma S_t dW_t \quad (1)$$

for $t \geq 0$ and $S_0 > 0$ where $\mu(t) := \mu_0 + \mu_1 t$ represents an increasing (or decreasing) rate of the SET50 index at t depending on the parameters $\mu_0, \mu_1 \in \mathbb{R}$ and $\sigma > 0$ is the volatility of the SET50 index under a one-dimension Brownian motion W_t [5].

The next proposition can be used to show that the SET50 index as described by the SDE (1) is always positive that is $S_t > 0$ for all $t > 0$ if $S_0 > 0$ by considering a solution of the SDE (1).

Proposition 2.1

Let $t \in [0, \infty)$ and X_t be the SDE satisfying:

$$dX_t = a(t)X_t dt + b(t)X_t dW_t. \quad (2)$$

Then,

$$X_t = X_0 e^{\left(\int_0^t \left(a(s) - \frac{1}{2} b^2(s) \right) ds + \int_0^t b(s) dW_s \right)}. \quad (3)$$

Proof. See [6]. $\square$

Theorem 2.2

Let $t \in [0, \infty)$ then

$$S_t = S_0 e^{\left(\left(\mu_0 - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \left(\frac{\mu_1}{2} \right) t^2 + \sigma W_t \right)} > 0 \quad (4)$$

providing that $S_0 > 0$.

Proof. By applying Proposition 2.1 with $a(t) = \mu(t)$ and $b(t) = \sigma$, we obtain

$$\begin{aligned} S_t &= S_0 e^{\left(\int_0^t \left(\mu_0 + \mu_1 s - \frac{\sigma^2}{2} \right) ds + \int_0^t \sigma dW_s \right)} \\ &= S_0 e^{\left(\left(\mu_0 - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \left(\frac{\mu_1}{2} \right) t^2 + \sigma (W_t - W_0) \right)}. \end{aligned}$$

Since $W_0 = 0$, we immediately obtain the solution of the SED (1) as in (4). Moreover, because the exponential term is greater than zero and $S_0 > 0$, S_t is positive for all $t \in (0, \infty)$ leading to the inequality (4) as desired. $\square$

In the next section we shall apply the Feynman-Kac theorem [4] to derive an analytical formula for pricing contract.

3. Results and Discussion

3.1 No-arbitrage Futures Prices

Proposition 3.1 (The no-arbitrage assumption)

Under the no-arbitrage assumption in a futures market, the no-arbitrage futures price (fair-price) at time t with maturity date T , denoted by F , must equal to the expected value of its underlying commodity spot price at the maturity date T under the equivalent martingale measure $\mathbb{Q}$, i.e.,

$$F(S, \tau) = E_{\mathbb{Q}}[S_T | S_t = S] \quad (5)$$

for $S > 0$ and $\tau = T - t$ where the conditional expectation is taken under a risk-neutral probability measure $\mathbb{Q}$.

Proof. See [2].

Next, we shall apply the Feynman-Kac theorem [4] to derive an analytical formula for the conditional expectation (5) by solving the following PDE:

$$\frac{\partial F}{\partial \tau} = A^s(F) \quad (6)$$

where $A^s(F)$ is an infinitesimal generator of the SDE (2) as

$$A^s(F) = a(t)x \frac{\partial F}{\partial X} + \frac{1}{2} b^2(t)x^2 \frac{\partial^2 F}{\partial X^2} \quad (7)$$

subject to the initial condition

$$F(S, 0) = S. \quad (8)$$

In the following theorem, we show that the PDE (6) subject to the initial condition (8) has an explicit solution and thus we can obtain an analytical formula for the no-arbitrage futures prices.

Theorem 3.2 (No-arbitrage futures price formula)

For given and fixed maturity date T , the solution to the PDE (6) subject to the initial condition (8) can be written as

$$F(S, \tau) = Se^{A(\tau)} \quad (9)$$

for all $S > 0$ and $\tau \in [0, T]$ where

$$A(\tau) = (\mu_0 + \mu_1 T)\tau - \frac{\mu_1}{2} \tau^2. \quad (10)$$

Proof. Applying the Feynman-Kac theorem [5] to the fair futures price defined in (5), we have

$$\frac{\partial F}{\partial \tau} = A^s(F) \quad (11)$$

where $A^s(F)$ is an infinitesimal generator of the SDE (1) as

$$A^s(F) = (\mu_0 + \mu_1(T - \tau))S \frac{\partial F}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 F}{\partial S^2}. \quad (12)$$

Replacing (12) in (11), we obtain a PDE:

$$\frac{\partial F}{\partial \tau} = (\mu_0 + \mu_1(T - \tau))S \frac{\partial F}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 F}{\partial S^2} \quad (13)$$

with an initial condition

$$F(S, 0) = S. \quad (14)$$

Suppose that the solution of (13) with condition (14) can be written as

$$F(S, \tau) = Se^{A(\tau)} \quad (15)$$

where $A(\tau)$ is a time dependent function that will be determined later. So, we get

$$\frac{\partial F}{\partial \tau} = Se^{A(\tau)} \cdot A'(\tau), \quad (16)$$

$$\frac{\partial F}{\partial S} = e^{A(\tau)}, \quad (17)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial S^2} = 0. \quad (18)$$

Substituting (16)-(18) into the PDE (13), we have that $A(\tau)$ must satisfy the ordinary differential equation:

$$A'(\tau) = \mu_0 + \mu_1(T - \tau) \quad (19)$$

for all $\tau \in (0, T]$. The initial condition (14) implies that

$$A(0) = 0. \quad (20)$$

Solve (19) with (20), we obtain

$$A(\tau) = (\mu_0 + \mu_1 T)\tau - \frac{\mu_1}{2} \tau^2.$$

Finally, we obtain the analytical solution for the no-arbitrage futures prices represented by (9). $\square$

By utilizing our solution (9), we can deduce the following properties of the futures prices.

Corollary 3.3 According to Theorem 3.2, we have the following properties for the futures prices.

(P1) If $\mu_1 = 0$ and $\mu_0 = 0$ then $F(S, \tau) = S$ for all $\tau \geq 0$.

(P2) If $\mu_1 = 0$ and $\mu_0 > 0$ then $F(S, \tau)$ is a strictly increasing function with respect to τ on $[0, \infty)$.

(P3) If $\mu_1 = 0$ and $\mu_0 < 0$ then $F(S, \tau)$ is a strictly decreasing function with respect to τ on $[0, \infty)$.

(P4) If $\mu_1 > 0$ then $F(S, \tau)$ has a maximum value at $\tau = \tau_{\max} := \frac{\mu_0 + \mu_1 T}{\mu_1}$.

(P5) If $\mu_1 < 0$ then $F(S, \tau)$ has a minimum value at $\tau = \tau_{\min} := \frac{\mu_0 + \mu_1 T}{\mu_1}$.

Proof. (P1) - (P3) are obvious from the formulas (9)-(10). To show (P4) - (P5), we shall apply the first and second derivative tests for finding maximum and minimum values of $F(S, \tau)$. From (16) and (19), we have

$$\frac{\partial F}{\partial \tau}(S, \tau) = Se^{A(\tau)} A'(\tau) = Se^{A(\tau)} (\mu_0 + \mu_1(T - \tau))$$

and this implies that $\frac{\partial F}{\partial \tau}(S, \tau) = 0$ if and only if

$$\tau = \tau^* := \frac{\mu_0 + \mu_1 T}{\mu_1}.$$

Next, we compute the second derivative of $F(S, \tau)$ with respect to τ at $\tau = \tau^*$. Then, we obtain

$$\frac{\partial^2 F}{\partial \tau^2}(S, \tau^*) = -\mu_1 Se^{\frac{(\mu_0 + \mu_1 T)^2}{2\mu_1}}.$$

By considering the sign of μ_1 , we immediately obtain (P4) and (P5). $\square$

Corollary 3.4 According to Theorem 3.2, if we fix $S > 0$ and $t \geq 0$, we have the following properties for the futures prices.

(P6) If $\mu_0 = 0$ and $\mu_1 = 0$ then $F(S, T - t) = S$ for all $T \geq t$.

(P7) If $\mu_0 = 0$ and $\mu_1 > 0$ then $F(S, T - t)$ is a strictly increasing function with respect to T on $(0, \infty)$.

(P8) If $\mu_0 = 0$ and $\mu_1 < 0$ then $F(S, T - t)$ is a strictly decreasing function with respect to T on $(0, \infty)$.

(P9) If $\mu_1 = 0$ and $\mu_0 > 0$ then $F(S, T - t)$ is a strictly increasing function with respect to T on $(0, \infty)$.

(P10) If $\mu_1 = 0$ and $\mu_0 < 0$ then $F(S, T - t)$ is a strictly decreasing function with respect to T on $(0, \infty)$.

(P11) If $\mu_1 \neq 0$ and $\mu_0 \neq 0$ then $F(S, T - t)$ is a strictly decreasing with respect to T on $(-\infty, \bar{\mu})$ and strictly increasing function on $(\bar{\mu}, \infty)$ where $\bar{\mu} = -\mu_0 / \mu_1$.

Proof. (P6) is obvious from the formulas (9) - (10). From formulas (9) - (10), we have

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(S, T - t)}{\partial T} &= Se^{A(T-t)} \frac{dA(T-t)}{dT} \\ &= Se^{A(T-t)} (\mu_0 + \mu_1 T). \end{aligned}$$

Since $Se^{A(T-t)} > 0$ for all T , the sign of $\frac{\partial F}{\partial T}$

depends on the sign of $\mu_0 + \mu_1 T$ thus we obtain (P7)-(P10). To show (P11), we consider $\frac{dA(T-t)}{dT}$

when $\mu_0 + \mu_1 T < 0$. We get that $F(S, T - t)$ is a strictly decreasing function with respect to T on $(-\infty, \bar{\mu})$. Similarly, when $\mu_0 + \mu_1 T > 0$, we have that $F(S, T - t)$ is a strictly increasing function with respect to T on $(\bar{\mu}, \infty)$. We now obtain (P11). $\square$

3.2 Parameter Estimation

It should be noted that our solutions (9) and (10) cannot be used to compute the futures prices without providing values of the model parameters μ_0 and μ_1 . By using the historical data of the SET50 index as shown in Figure 1, we provide a method to estimate the model parameters as follows.

Since S_t follows the model (1) and the expectation of $S_t dW_t$ is zero [4]. After we take the expectation to the both sides of (1) then we have that the actual return of the SET50 index on date t can be approximated by

$$r_t := \frac{dS_t}{S_t} \approx (\mu_0 + \mu_1 t) dt. \quad (21)$$

Let S_n be the SET50 index on date t_n , r_n be the return (known) of the SET50 index on date t_n that is $r_n = \frac{S_{n+1} - S_n}{S_n}$ and $\mu_{0,n}, \mu_{1,n}$ be unknown parameters which can be determined from the n^{th} pair daily return from 366 data point over 18 months so we have 365 time steps. The unknown parameters can be estimated using the following procedure. For example, $n=1$, we have

$$r_1 = (\mu_{0,1} + \frac{1}{365} \mu_{1,1}) dt$$

and

$$r_2 = (\mu_{0,1} + \frac{2}{365} \mu_{1,1}) dt.$$

By solving these two linear equations, we obtain the parameters as follow:

$$\mu_{0,1} = \frac{(2r_1 - r_2)}{dt} \text{ and } \mu_{1,1} = \frac{365(r_2 - r_1)}{dt}.$$

Since we have 183 pairs of the daily return of the SET50 index from October 2017 to March 2019. Similarly, we can estimate $\mu_{0,n}$ and $\mu_{1,n}$ for $n=2, 3, \dots, 183$. By using the sample means as follows:

$$\mu_0 \approx \bar{\mu}_0 = \frac{1}{183} \sum_{n=1}^{183} \mu_{0,n} \approx -73.358 \quad (22)$$

$$\mu_1 \approx \bar{\mu}_1 = \frac{1}{183} \sum_{n=1}^{183} \mu_{1,n} \approx 92.182. \quad (23)$$

Substituting $\bar{\mu}_0$ and $\bar{\mu}_1$ into equation (9), we obtain the approximation of future prices ($\bar{F}$) as

$$F(S, \tau) \approx \bar{F}(S, \tau) := Se^{(\bar{\mu}_0 + \bar{\mu}_1 T)\tau - \frac{\bar{\mu}_1}{2} \tau^2} \quad (24)$$

when $S > 0$ and $\tau \in [0, T]$.

3.3 Comparison with the MC method

We set a maturity time $T = 1$ and an initial spot price $S = 1000$. Then, the approximates the futures prices $\bar{F}(S, \tau)$ computed from (24) and $\bar{S}_T(n)$ obtained from the MC method for a number of samples $n = 10,000$ in which we apply the Euler-Maruyama approximation [6] to the SDE (1) to obtain $S_{t_i}(n)$ for all $t_i \in \{0.01, 0.02, \dots, T\}$, are plotted on the time interval $[0, T]$ as shown in Figure 2.

One can clearly observe that the result from our analytical formula (24) perfectly match the result from the MC method. However, in terms of computational time, the MC method consumes 5.68 seconds while our analytical solution just consumes 0.05 seconds for computing one futures price. This is not surprising at all since time-consuming is a major drawback of the MC method.

3.3 Properties of futures prices

From (P4) in Corollary 3.3, one can determine

$$\tau_{\max} \approx \frac{-73.358 + 92.182(1)}{92.182} \approx 0.204 \in [0, 1].$$

Therefore, the maximum value of $F(S, \tau)$ on the time interval $[0, T]$ can be approximated by $\bar{F}(S, \tau_{\max}) = 6834.44$. The approximation of the futures prices $\bar{F}(S, T - t)$ at time t is shown in Figure 3. It shows that the maximum value of futures price occurs when $t = t_{\max} = T - \tau_{\max} \approx 0.796$.

Figure 4 shows the approximations of the futures prices $\bar{F}(S, T - t)$ when $t = 0.49, 0.50, 0.51$ and $S = 1000$. Using (22)-(23) and (P11) in Corollary 3.4, we have that

$$\bar{\mu} = \frac{-\mu_0}{\mu_1} \approx \frac{73.358}{92.182} \approx 0.7958.$$

Therefore, $\bar{F}(S, T-t)$ is a strictly decreasing function with respect to T on $(0, 0.7958)$. On the other hand, $\bar{F}(S, T-t)$ is a strictly increasing function with respect to T on $(0.7958, \infty)$. We further illustrate a surface of $\bar{F}(S, T-t)$ over the lifetime of a futures contract in Figure 5 showing an evolution of futures prices for all $t \in [0, T]$.

4. Conclusions

The paper has adopted the Black-Scholes model with a time-dependent parameter to describe the SET50 index traded in the Stock Exchange of Thailand (SET). An analytical formula for pricing futures contracts written on the SET50 index has been derived by solving the PDE using the Feynman-Kac theorem. We also quantify the dependency of the futures prices on the model parameters. We have proposed a method to estimate the model parameters from the historical data of the SET50 index from 2017 to 2019 and conducted the MC method to demonstrate the accuracy and efficiency of our formula. Finally, we have investigated some interesting properties of futures prices based on the estimated values of parameters with several maturity times.

5. Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support from the Development and Promotion of Science and Technology Talents Project (DPST). The comments and suggestions from the anonymous referees have substantially improved the readability and representation of the paper. All errors are our own responsibility.

6. References

- [1] The Stock Exchange of Thailand, “ดัชนีราคาหุ้น,” Available: https://www.set.or.th/th/products/index/files/SET_Index_Methodology_Sep2019_TH.pdf. [Accessed 15 September 2020].
- [2] C.H. John, 5th ed., Options Futures and Other Derivatives, New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- [3] G. Paul, Monte Carlo Methods in Financial Engineering, New York: Springer, 2003.
- [4] G.H. Choe, Stochastic Analysis for Finance with Simulations, New York: Springer, 2016.
- [5] K. Hui-Hsiung, Introduction to Stochastic Integration, New York: Springer, 2006.
- [6] P.E. Kloeden and E. Platen, 2nd ed., Numerical Solution of Stochastic Differential Equations, New York: Springer, 1995.

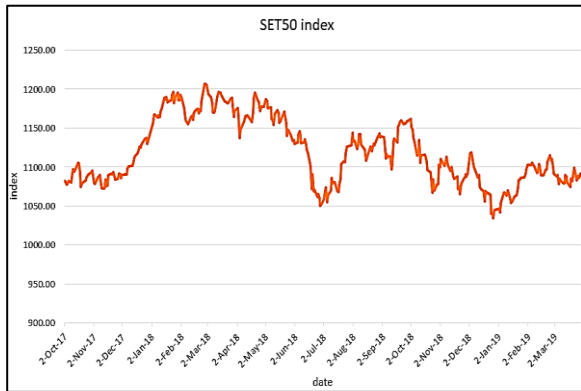


Figure 1 Historical data of SET50 index from October 2nd, 2017 to March 29th, 2019, used to estimate the model parameters

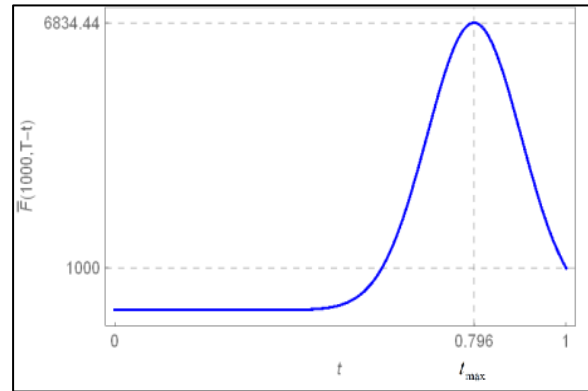


Figure 3 The approximate of the futures price $\bar{F}(S, \tau)$ as a function of t obtained with $S = 1000$ and $T = 1$

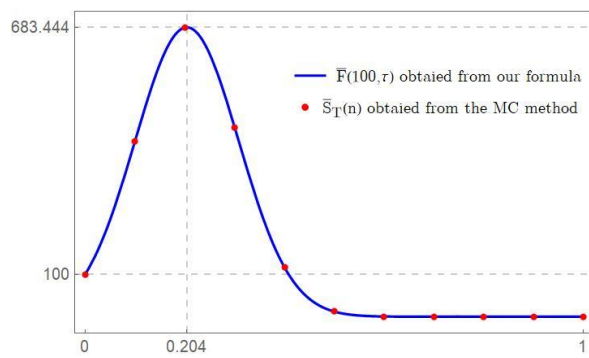


Figure 2 The approximates of the futures prices $\bar{F}(S, \tau)$ computed from (24) and $\bar{S}_T(n)$ obtained from the MC method for a number of samples $n = 10,000$

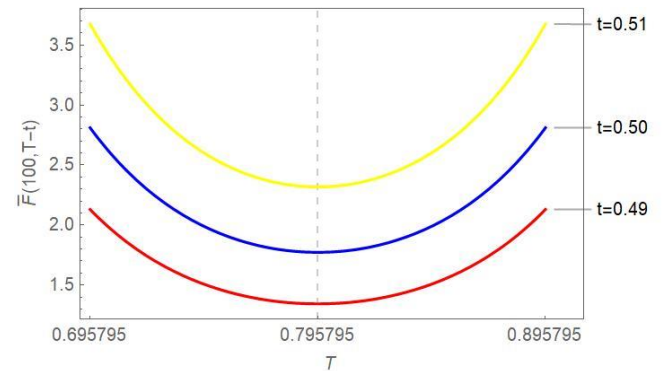


Figure 4 The approximates of the futures prices $\bar{F}(S, T-t)$ as a function of T obtained with $S = 1000$ on the interval $(\bar{\mu} - 0.1, \bar{\mu} + 0.1)$

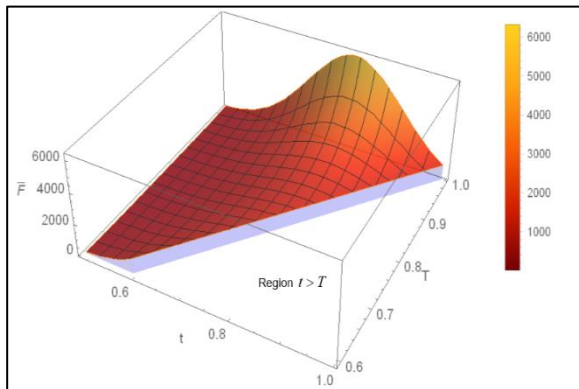


Figure 5 The evolution of the futures price $\bar{F}(S, T-t)$ as a function of t and T obtained with $S = 1000$ for $t \in [0, T]$

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research, TJOR) เป็นวารสารทางวิชาการ มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่งานวิจัยและบทความทางวิชาการทางเว็บไซต์ โดยได้รับการจัดกลุ่มวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ดัชนีอ้างอิงวารสารไทย TCI อยู่ในวารสารกลุ่มที่ 2 โดยวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ประมาณเดือนมิถุนายน และเดือนธันวาคมของทุกปี ซึ่งบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารไทยการวิจัยดำเนินงานมี 3 ลักษณะ

1. บทวิเคราะห์หรือบทวิจารณ์ (Review Paper) เพื่ออธิบายการพัฒนาในหัวข้อการวิจัยดำเนินงานในช่วงที่ผ่านมา
2. บทความที่เน้นการประยุกต์ใช้ความรู้หรือวิธีการด้านการวิจัยดำเนินงาน เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในภาครัฐและเอกชน หรือองค์กรที่ไม่แสวงผลกำไร
3. บทความที่เน้นทฤษฎีหรือวิธีการด้านวิจัยดำเนินงานที่พัฒนาขึ้นจากแนวคิดของผู้วิจัย หรือเพิ่มเติมองค์ความรู้เดิม

ขอบเขตเนื้อหาบทความ

ทฤษฎี (Theory) และระเบียบวิธี (Methodology) ของบทความที่สามารถส่งตีพิมพ์ในวารสารไทยการวิจัยดำเนินงานแบ่งเป็น 9 กลุ่มคือ

- Continuous Optimization
- Discrete Optimization
- Stochastic Processes and Statistics
- Simulation
- Heuristics and Meta-heuristics
- Production, Manufacturing and Logistics
- Decision Support in Manufacturing and Logistics
- Computational Intelligence in Manufacturing
- Data Analytics

หลักเกณฑ์ในการลงตีพิมพ์ต้นฉบับของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเองไม่ได้ลอกเลียน หรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้เขียนต้องเขียนต้นฉบับตามรูปแบบที่กำหนดเท่านั้น
5. ผู้เขียนต้องแก้ไขบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ตามข้อเสนอแนะของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) จนกว่าผู้ทรงคุณวุฒิหรือบรรณาธิการจะยอมรับบทความของท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิมีสิทธิ์ปฏิเสธบทความได้ หากบทความไม่มีคุณภาพเพียงพอ
6. หลังจากผู้เขียนได้แก้ไขบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง ก่อนการตีพิมพ์

ขั้นตอนการส่งต้นฉบับบทความ

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. กรณียังไม่ได้เป็นสมาชิกของระบบ Thai Journals Online (ThaiJO) ให้ลงทะเบียนผ่านเว็บไซต์ <http://www.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> โดยเลือกเมนู register กรอกข้อมูลให้ครบถ้วนแล้วส่งข้อมูล ให้จำชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านไว้ สำหรับเข้าระบบครั้งต่อไป
4. กรณีเป็นสมาชิกของระบบ Thai Journals Online (ThaiJO) แล้ว ให้เข้าสู่เว็บไซต์ <http://www.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> เลือกเมนู Log in เพื่อเข้าสู่ระบบ และเริ่มต้นการส่งบทความโดย สามารถดาวน์โหลดคู่มือการส่งบทความผ่านระบบ Thai Journals Online ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> โดยให้ส่งบทความต้นฉบับเป็นไฟล์นามสกุล .doc และ .pdf
5. กองบรรณาธิการวารสารรับต้นฉบับบทความ ผ่านทางระบบการส่งต้นฉบับในเว็บไซต์ หรือผ่านทางอีเมล orjournal.th@gmail.com
6. กองบรรณาธิการวารสารพิจารณาบทความขั้นต้น แล้วแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้เขียน หากบทความนั้น ผ่านการพิจารณาขั้นต้น กองบรรณาธิการจะส่งบทความนั้น ให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องพิจารณาบทความ และกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้เขียนภายใน 30 วัน หากมีการ

แก้ไขให้ผู้พิมพ์แก้ไขบทความตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน และนำผลงานที่แก้ไขปรับปรุงแล้วส่งให้แก่บรรณาธิการ/ผู้ประสานงานวารสาร ภายในระยะเวลาที่กำหนดหลังได้รับแจ้งผลการพิจารณา

7. สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิโดยไม่มีการแก้ไข นำส่งกองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่ในวารสารตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้กองบรรณาธิการจะทำหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ของท่านเป็นลายลักษณ์อักษร

****หมายเหตุ** ต้นฉบับบทความที่ไม่สมบูรณ์ หรือรูปแบบไม่ถูกต้อง จะถูกส่งคืนผู้เขียนบทความเพื่อแก้ไข ก่อนส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาต่อไป

รูปแบบและการจัดพิมพ์

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

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ผู้ประสานงานวารสารฯ

นายบุญชนะ เมฆโต โทรศัพท์: 02-727-3078 โทรสาร 02-3744061

E-mail: orjournal.th@gmail.com

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เลขที่ 118 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม.10240

ขอเชิญร่วมส่งบทความวิจัย

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานเป็นวารสารอิเล็กทรอนิกส์ (E-Journal) ที่เผยแพร่
ปีละ 2 ฉบับ คือประมาณเดือนมิถุนายน และธันวาคมของทุกปี โดยมุ่งเผยแพร่
ผลงานทางวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีคุณภาพดี และเป็นบทความที่
ต้องมีการพัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัย (Original Paper) โดยมีผู้ทรงคุณวุฒิ
(Peer Review) เป็นผู้ประเมินบทความ



Submission NOW



TCI Tier2

Our Scope

Continuous Optimization
Discrete Optimization
Stochastic Process and Statistics
Simulation
Heuristics and Meta-heuristics
Production, Manufacturing and Logistics
Decision Support in Manufacturing and Logistics
Computational Intelligence in Manufacturing
Data Analytics

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจน์ภา อมรชกุล

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ประชุม สุวงศ์

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร. ประกาศ จงสภิตยวัฒนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ ขจิตวิษัยกุล

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิต หล่อจิระขุนทดกุล

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร. ปรียกุล เขมฤตธนกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร. วลัยลักษณ์ อดิสรองค์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เทสียงไพบูลย์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร. กาญจน เศรษฐนันท์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ส่งบทความได้ที่ คุณบุญชนะ เมฆโต

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

โทร 02-727-3078 โทรสาร 02-374-4061

อีเมล : orjournal.th@gmail.com

Website : <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index>





OR-NET