

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2563)

บทความวิจัย

- | | |
|---|----|
| ■ นโยบายการโยกย้ายสินค้าที่ช่วยลดการเสียโอกาสในการขาย ในธุรกิจขายปลีกที่มีร้านหลายสาขา | 1 |
| ธีร์ ศุภศิริรัตน์ , สรวิษฐ์ เขียวสุวรรณไชย และ อภินิษฐ์ สมิตะพินทุ | |
| ■ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคและวิธีแบบสำหรับตัวแบบสินค้าคงคลัง 3 ระดับชั้น | 11 |
| ศิริรัตน์ กะการดี และ ศิริประภา มโนมัยย์ | |
| ■ A Mathematical Model for Pollution Travelling Salesman Problem | 20 |
| Supakrit Nanasilp and Warisa Wisittipanich | |
| ■ การประยุกต์ใช้ข้อมูลหลายปัจจัยเชิงพื้นที่และเวลา ร่วมกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ | 26 |
| ด้วยวิธีการแสดงผลข้อมูล สำหรับการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน | |
| ภาคนิย์ ชัยเจริญวุฒิ, สุริยพงษ์ นิลสังข์, พรศักดิ์ อรรธวานิช และ ชุมพล ยวงใย | |
| ■ การแก้ปัญหการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ ด้วยวิธีการสร้างสมรรถ | 37 |
| รัฐพล สังคะสุข, ฐิติรัตน์ วิวิธเกียรรวงศ์, เบญจพร พวงจำปี, ครินทิพย์ อนุรักษ์, | |
| สหชาติ เลิศศิริเกสัช และ พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล | |

สนับสนุนโดย



คณะสถิติประยุกต์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์



เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
Operations Research Network of Thailand

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research)

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 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 สุวัठी (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์) 2. ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 3. ศาสตราจารย์ ดร.วรพัทธ์ ขจิตวิยานุกุล (มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์) 4. รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิต หล่อจิระขุนท์กุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์) 5. รองศาสตราจารย์ ดร.พิรุทธิ์ ขาวชูเศรษฐกุล (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 1 (เล่มที่ 15) ของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดบทความและวารสารฉบับเต็มได้ที่เว็บไซต์ <https://tci-thaijo.org/index.php/TJOR/index> คณะผู้จัดทำและกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้วิจัย ผู้สนใจ และผู้เกี่ยวข้องในแวดวงวิชาการต่อไป

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

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

กาญจน์ภา อมรัชกุล

บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

บรรณาธิการแถลง

บทความวิจัย

นโยบายการโยกย้ายสินค้าที่ช่วยลดการเสียโอกาสในการขาย ในธุรกิจขายปลีกที่มี ร้านหลายสาขา ธีร์ ศุภศิริรัตน์, สรวิษฎ์ เยาวสุวรรณไชย และ อกนิษฐ์ สมิตะพินทุ	1
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีหาค่าเหมาะสมสุดแบบกลุ่มอนุภาคและวิธีแบบ สำหรับตัวแบบสินค้าคงคลัง 3 ระดับชั้น ศิริรัตน์ กะการดี และ ศิริประภา มโนมัยย์	11
A Mathematical Model for Pollution Travelling Salesman Problem <i>Supakrit Nanasilp and Warisa Wisittipanich</i>	20
การประยุกต์ใช้ข้อมูลหลายปัจจัยเชิงพื้นที่และเวลา ร่วมกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ ด้วยวิธีการแสดงผลข้อมูล สำหรับการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน ภาคนัย ชัยเจริญวุฒิ, สุริยพงษ์ นิลสังข์, พรศักดิ์ อรรถวานิช และ ชุมพล ยวงใย	26
การแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ ด้วยวิธีการสร้างสมรรถ รัฐพล สังคะสุข, ฐิติรัตน์ วิวิธเกียรรวงศ์, เบญจพร พวงจำปี, ครินทิพย์ อนุรักษ, สหชาติ เลิศศิริเกสัช และ พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล	37

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

นโยบายการโยกย้ายสินค้าที่ช่วยลดการเสียโอกาสในการขาย ในธุรกิจขายปลีกที่มี ร้านหลายสาขา

ธีร์ ศุภศิริรัตน์^{1*}, สรวิษฐ์ เยาวสุวรรณไชย² และ อภินิษฐ์ สมิตะพินทุ³

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

Received: 30 January 2020; Revised: 27 February 2020; Accepted: 2 March 2020

บทคัดย่อ

เป็นปกติที่ธุรกิจร้านค้าปลีกจะมีหลายสาขาเพื่อเพิ่มพื้นที่ให้บริการให้กับลูกค้า เมื่อสาขาใดสาขาหนึ่งขาดแคลนสินค้า เจ้าของธุรกิจอาจมีนโยบายให้โยกย้ายสินค้าจากสาขาอื่นมายังสาขาที่ขาดแคลน เพราะการสั่งซื้อสินค้าใหม่จากซัพพลายเออร์ อาจใช้เวลานานมากกว่าการโยกสินค้ามาจากสาขาอื่น หากไม่มีการโยกย้ายสินค้า ธุรกิจจะสูญเสียโอกาสในการขายให้กับลูกค้าที่ไม่สามารถรอได้นาน ที่ผ่านมามีงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel ที่ศึกษาถึงนโยบายการโยกย้ายที่เหมาะสมระหว่างสาขาของธุรกิจขายปลีกด้วยเทคนิคการจำลองสถานการณ์ ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาต่อยอดจากงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel โดยได้เพิ่มเติมการพิจารณาถึงพื้นที่จัดเก็บสินค้าในแต่ละสาขาที่มีอยู่จำกัด และศึกษาหานโยบายการโยกย้ายที่สามารถช่วยลดการเสียโอกาสในการขายภายใต้สถานการณ์ที่มีระยะเวลาการรอคอยสินค้าที่สั่งซื้อจากซัพพลายเออร์เปลี่ยนแปลงไป ผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena พบว่า นโยบายที่ยอมให้มีการโยกย้ายสินค้าจากทุกสาขาไปยังทุกสาขาจะช่วยลดการเสียโอกาสในการขายได้มาก ในสถานการณ์ที่ระยะเวลาการรอคอยสินค้านั้นมีค่าน้อย (short lead time) นโยบายที่ยอมให้มีการโยกย้ายสินค้าจากทุกสาขาไปยังทุกสาขาจะมีประสิทธิภาพในการลดการเสียโอกาสในการขายมากกว่าในสถานการณ์ที่ระยะเวลาการรอคอยสินค้านั้นมีค่ามาก (long lead time)

คำสำคัญ: การโยกย้ายสินค้า, แบบจำลองสถานการณ์

* Corresponding author: E-mail: masquerade_black@hotmail.com

^{1,2,3} สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Lateral Transshipment Policy for Reducing Lost Sale for Multiple Retail Stores

Tee Supasirirat^{1*}, Sorawit Yaovasuwanchai² and Akanit Smitabindu³

King Mongkut's University of Technology Thonburi 126 Pracha Uthit Rd, Bang Mot,
Thung Khru, Bangkok 10140

Received: 30 January 2020; Revised: 27 February 2020; Accepted: 2 March 2020

Abstract

In general, a retailer will have many stores in order to increase service areas for customers. When a retail store lacks of a product, the retailer owner might have a policy to transfer the product available from other stores to the lacking store. This transfer is known as the lateral transshipment. Since it is more time consuming to reorder the product from suppliers than to transfer from other stores. Without lateral transshipments, the retailer could face with lost sales because some customers might not be able to wait for long time. Recently, Hochmuth and Kochel studied the appropriate policy for the lateral transshipment for retail businesses using simulation technique. In this research, we aims to extend the study of Hochmuth and Kochel by also considering the limited storage space of stores, and to study the lateral transshipment policy that can reduce lost sale when lead time from suppliers changes. The result of our simulation model using Arena indicated the policy that allows all possible lateral transshipments among all stores can significantly reduce lost sale. When lead time is shorter, the policy with all possible transshipment has the higher reduction of lost sale. When lead time is longer, this policy has the lower reduction of lost sale.

Keywords: Lateral Transshipment, Simulation Modeling

* Corresponding author: E-mail: masquerade_black@hotmail.com

^{1,2,3} Logistics and Supply Chain Management King Mongkut's University of Technology Thonburi

1. คำนำ

ปัจจุบันธุรกิจขายปลีกจำนวนมากแม้ตอนเริ่มต้นจะมีเพียงสาขาเดียว แต่เพื่อขยายตลาดและเพิ่มความสามารถในการให้บริการจึงขยายจำนวนสาขาเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามธุรกิจขายปลีกที่มีหลายสาขามักประสบปัญหาในการบริหารปริมาณสินค้าให้มีเพียงพอกับความต้องการในแต่ละสาขา แม้จะมีการวางแผนที่ดีแต่เนื่องจากความต้องการซื้อสินค้าของลูกค้าในแต่ละสาขามีค่าไม่เท่ากันและผันแปรตลอดเวลา ทำให้ธุรกิจอาจต้องมีการโยกย้ายสินค้าที่ขาดแคลนไปมาระหว่างสาขา เพราะถ้าจะรอสั่งซื้อสินค้าใหม่จากซัพพลายเออร์อาจใช้เวลาาน สินค้าที่สั่งไว้อาจจะมาช้าทำให้ลูกค้าไม่รอและทำให้เสียโอกาสในการขายได้หรือที่เรียกว่าทำให้เกิด Lost Sale

งานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel [1] ได้เรียกการโยกย้ายสินค้าระหว่างสาขาเป็นภาษาอังกฤษว่า Lateral Transshipment ซึ่งในงานวิจัยได้ระบุว่า การโยกย้ายสินค้าจะช่วยเพิ่มความสามารถในการตอบสนองความต้องการของลูกค้า เพิ่มระดับความพึงพอใจให้กับลูกค้า โดยในงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel [1] ได้ทำการศึกษานโยบายที่เหมาะสมในการโยกย้ายสินค้าในธุรกิจที่มีหลายสาขาในสถานการณ์จำลองที่แตกต่างกันหลายสถานการณ์

ก็ดีในงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel [1] ยังไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดด้านพื้นที่จัดเก็บสินค้าของแต่ละสาขาเป็นความจริงที่ว่าเพื่อเพิ่มยอดขายของธุรกิจ แต่ละสาขาอาจจะต้องตั้งในทำเลที่ดีมีลูกค้าผ่านเป็นปริมาณมาก ทำเลที่ดีเหล่านี้จะมีค่าที่ดินหรือค่าเช่าที่สูงมาก ทำให้แต่ละสาขามีพื้นที่จัดเก็บสินค้าที่จำกัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาย่อยจากงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel [1] โดยพิจารณาเพิ่มเติมถึงพื้นที่สำหรับการจัดเก็บสินค้าที่มีจำกัด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การโยกย้ายสินค้าให้ทั้งหมดตามเท่าที่มี (Transshipment Based on Availability, TBA) [2]

วิธีการโยกย้ายสินค้าแบบ Transshipment Based on Availability (TBA) เป็นวิธีการโยกย้ายสินค้าจากสาขาผู้ให้ไปยังสาขาผู้รับที่สาขาผู้ให้จะยอมให้สินค้าทั้งหมดเท่าที่ตัวเองมีให้กับสาขาผู้รับ แม้จะทำให้สาขาผู้ให้ไม่เหลือสินค้าอยู่เลยก็ตาม [2] โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการโยกย้ายแบบนี้ในการจำลองสถานการณ์ แม้ในความเป็นจริงในบางธุรกิจผู้จัดการสาขาผู้ให้อาจจะไม่ยอมโยกสินค้าทั้งหมดให้สาขา

อื่น เนื่องจากต้องการเก็บสำรองสินค้าไว้กับสาขาตัวเองบ้างเป็น Safety Stock เป็นต้น

2.2 การกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point, s)

การกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่คือการกำหนดปริมาณสินค้าหรือเวลาที่จะต้องสั่งซื้อสินค้าเพื่อที่ว่าให้มีปริมาณจำนวนสินค้าคงเหลือเพียงพอระหว่างที่รอปริมาณจำนวนสินค้าที่สั่งไว้ใหม่มาถึง โดยที่คำนวณไว้แล้วว่าจะไม่เกิดโอกาสสินค้าขาดมีระหว่างรอสินค้า [3]

2.3 วิธีการสั่งซื้อแบบ (s , S) หรือ Continuous Review System

วิธีการสั่งซื้อแบบ (s , S) คือวิธีการสั่งซื้อสินค้าที่มีการตรวจนับจำนวนสินค้าอย่างต่อเนื่อง โดยมีจำนวนสินค้าสูงสุดเท่ากับ S หน่วย และมีจุดสั่งซื้อสินค้าเมื่อจำนวนสินค้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ s หน่วย

2.4 ระยะเวลารอคอยสินค้า (Lead Time)

ระยะเวลารอคอยสินค้าเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยให้ความสนใจเนื่องจากแต่ละสาขาต่างมีรูปแบบการแจกแจงความต้องการของลูกค้าเท่ากัน แต่ไม่ได้หมายความว่าความต้องการสินค้าของลูกค้าในแต่ละสาขาจะเท่ากับ เช่น ในวันที่ 1 สาขา X มีความต้องการของลูกค้า 5 ชิ้น แต่สาขา Y มีความต้องการของลูกค้า 10 ชิ้น เป็นต้น ดังนั้นหากระยะเวลารอคอยสินค้าเปลี่ยนแปลงไปทำให้ต้องคอยสินค้านานขึ้นจะมีผลกระทบในด้านของจำนวนการเสียโอกาสขายสินค้ากับแต่ละสาขาที่มินนโยบายในการโยกย้ายสินค้าจะมีผลลัพธ์อย่างไร

2.5 จำนวนสินค้าที่เสียโอกาสในการขาย (Lost Sales)

จำนวนสินค้าที่เสียโอกาสในการขายเกิดขึ้นจากการขาดแคลนสินค้าในคลังสินค้า เช่น การเสียโอกาสในการทำกำไรจากสินค้า [4] โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะปัจจัย Lost Sales ในการประเมินนโยบายในการโยกย้ายที่เหมาะสม จะยังไม่ใช่ปัจจัยอื่นๆ เช่น ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการจัดเก็บ และต้นทุนขนส่ง ในการประเมิน เพราะผู้วิจัยต้องการให้เห็นผลกระทบที่ชัดเจนของแต่ละนโยบายในการโยกย้ายที่มีผลต่อ Lost Sales เมื่อระยะเวลารอคอยสินค้าจากซัพพลายเออร์เปลี่ยนแปลงไป

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษานโยบายในการโยกย้ายสินค้าระหว่างสาขาของธุรกิจขายปลีกที่มีหลายสาขา ที่ช่วยลดการเสียโอกาสในการขาย เมื่อระยะเวลาการรอคอยสินค้าจากซัพพลายเออร์เปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่านึงถึงพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าที่มีจำกัดในแต่ละสาขา ความแตกต่างระหว่างงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel [1] และ ผู้วิจัยสามารถดูได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความแตกต่างระหว่างงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel [1] และ ผู้วิจัย

หลักเกณฑ์	Hochmuth และ Kochel (2012)	ผู้วิจัย
1.รูปแบบความต้องการของลูกค้า	-การแจกแจงเอกรูปต่อเนื่อง (Continuous Uniform Distribution) -การแจกแจงเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Distribution)	-การแจกแจงเอกรูปต่อเนื่อง (Continuous Uniform Distribution)
2.นโยบายการสั่งซื้อ	(s, S)	(s, Max Stock) Max Stock คือ จำนวนสินค้าที่จัดเก็บได้มากที่สุดในพื้นที่
3.วิธีโยกย้ายจำนวนสินค้า	Heuristics's Hochmuth and Kochel (2012)	Transshipment Based on Availability (TBA) อ้างอิงจาก Liu (2016)
4.พื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า	มีพื้นที่ไม่จำกัด และ ไม่มีการพิจารณา	มีพื้นที่จำกัด และ มีการพิจารณา
5.ทรัพยากรการขนโยกย้ายสินค้า	ไม่จำกัด	ไม่จำกัด
6.เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	ไม่ได้ระบุ	Arena Simulation v.15

4. วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อศึกษาการโยกย้ายสินค้าในสถานการณ์ที่ต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ (Simulation Modeling) ในการทดสอบนโยบายต่างๆ ในแต่ละสถานการณ์ โดยแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) ของงานวิจัยนี้มีลักษณะดังต่อไปนี้

4.1 มีสินค้ารายการเดียว

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้แต่ละสาขามีสินค้าจำหน่ายเพียงรายการเดียว (Single Product/Commodity) เหมือนกันหมดทุกสาขา ซึ่งสมมติฐานนี้เป็นสมมติฐานเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel [1]

4.2 รูปการแจกแจงความต้องการของลูกค้าในแต่ละสาขา

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทุกสาขามีรูปแบบการแจกแจงความต้องการของลูกค้าเป็นการแจกแจงแบบ Continuous Uniform Distribution เนื่องจากการแจกแจงแบบ Exponential Distribution ไม่สามารถมีโอกาสเกิดความต้องการในแต่ละช่วงที่มีความเท่าเทียมกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกการแจกแจงแบบ Continuous Uniform Distribution ที่มีโอกาสเกิดความต้องการในแต่ละช่วงที่เท่ากัน และใช้ความต้องการของลูกค้าแบบ Continuous Uniform Distribution เหมือนกันทุกสาขา สาเหตุที่ผู้วิจัยใช้รูปแบบการแจกแจงแบบเดียวเพราะจะช่วยให้วิเคราะห์ผลการจำลองสถานการณ์ได้ง่าย หากในการจำลองสถานการณ์มีใช้รูปแบบหลายรูปแบบอาจทำให้ตีผลวิเคราะห์ผลการจำลองได้ยาก

4.3 ความจุของพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า (Capacity, Max Stock)

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ทุกสาขามีพื้นที่จัดเก็บสินค้าเท่ากันในทุกสาขา โดยความจุ (Capacity) ของพื้นที่จะไม่ได้วัดเป็นหน่วยตารางเมตรหรือปริมาตร แต่จะวัดเป็นจำนวนชั้นของสินค้าที่สามารถวางได้ เช่น กำหนดให้แต่ละสาขาสามารถเก็บสินค้าได้ไม่เกิน 50 ชั้น เป็นต้น (นั่นคือ Max Stock = 50 ชั้น = Capacity)

4.4 ทรัพยากรการขนส่งมีอยู่ไม่จำกัด

เป็นทรัพยากรการขนส่งที่เกี่ยวข้อง เช่น ยานพาหนะที่ใช้ในการโยกย้ายสินค้าระหว่างสาขา หรือ อุปกรณ์ในการใช้เพื่อโยกย้ายสินค้า เป็นต้น ซึ่งทรัพยากรการขนส่งนั้นไม่มีจำกัดนั้นหมายความว่าทรัพยากรการขนส่งสามารถเรียกใช้ได้ทุกเมื่อตลอดเวลาและจำนวนเท่าที่ต้องการเรียกใช้

4.5 การเสียโอกาสขายสินค้า (Lost Sales)

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้การเสียโอกาสการขาย มีหน่วยเป็นจำนวนชิ้น โดยสินค้าที่โยกย้ายจากสาขาอื่นกรณีนี้เกิดจากลูกค้ายอมรับสินค้าที่โยกย้ายมาจากสาขาอื่นได้ แต่จำนวนสินค้าที่โยกย้ายมานั้นไม่เพียงพอจึงเกิดจำนวนการเสียโอกาสขายสินค้า เช่น ลูกค้า ณ สาขาที่ 1 ต้องการสินค้าเป็นจำนวน 10 ชิ้น แต่จำนวนสินค้ามีเพียง 6 ชิ้น แล้วลูกค้ายอมรับสินค้าที่โยกย้ายมาจากสาขาอื่น แต่เมื่อขอสินค้าโยกย้ายจากสาขาอื่นทั้งหมดพบว่าได้สินค้าจากการโยกย้ายมาเพียง 3 ชิ้น ดังนั้นจำนวนการเสียโอกาสขายสินค้าจึงเท่ากับ 1 ชิ้น = $10 - (6+3)$

4.6 ความน่าจะเป็นที่ลูกค้าจะยอมรับสินค้าที่โยกมาจากสาขาอื่น

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ความน่าจะเป็นที่ลูกค้าจะยอมรับสินค้าที่โยกมาจากสาขาอื่นเท่ากับ 100% ซึ่งในทางปฏิบัติอาจจะไม่เป็นเช่นนี้เพราะลูกค้าบางรายอาจไม่ยอมรับสินค้า แต่เพื่อให้สามารถเห็นความสามารถของ lost sale ของการโยกย้ายได้ชัดเจนถึงสมมติให้ลูกค้าทุกรายยอมรับสินค้าที่โยกมาจากสาขาอื่น

และในงานวิจัยนี้ถือว่าสินค้าที่โยกมาจากสาขาอื่นจะใช้เวลาไม่นานและมาถึงสาขาที่มีลูกค้ารออยู่ภายในวันนั้น

4.7 วิธีการสั่งซื้อสินค้าจากซัพพลายเออร์

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ร้านค้าปลีกแต่ละสาขามีนโยบายการสั่งซื้อเหมือนกันทุกสาขา แต่ละสาขาสามารถสั่งซื้อได้เองโดยไม่ต้องรอส่งพร้อมกับสาขาอื่น และมีซัพพลายเออร์เพียงรายเดียว โดยในทุกสาขาจะมีระยะเวลารอสินค้าจากซัพพลายเออร์เท่ากัน (มีหน่วยเป็นวัน) และทุกสาขาจะมีวิธีการสั่งซื้อคือแบบ (s, Max Stock) เมื่อ s คือจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point) และ Max Stock คือ จำนวนชิ้นสินค้าที่จัดเก็บได้มากที่สุดในพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าที่มีอยู่อย่างจำกัด

4.8 นโยบายในการโยกย้ายสินค้าระหว่างสาขา

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการโยกย้ายแบบ Transshipment Based on Availability (TBA) [2] ตามที่อธิบายในหัวข้อ 2.1 นั่นคือ สาขาผู้ให้ยอมโยกสินค้าทั้งหมดของสาขาตัวเองให้สาขาอื่น

ในงานวิจัยของ Hochmuth และ Kochel [1] ได้ศึกษานโยบายในการโยกย้าย 3 นโยบายคือ 1. ทุกสาขา

สามารถโยกย้ายสินค้าไปมากันได้หมด (Full Lateral Transshipment), 2. บางสาขาโยกย้ายสินค้าได้ บางสาขาโยกย้ายไม่ได้ (Partial Lateral Transshipment), และ 3. ทุกสาขาไม่สามารถโยกย้ายสินค้าไปมาได้ (No Lateral Transshipment)

โดยในงานวิจัยนี้ได้ขยายนโยบายการโยกย้ายเพิ่มเติมให้ละเอียดและชัดเจนขึ้นมากกว่าที่กำหนดใน Hochmuth และ Kochel [1] โดยงานวิจัยนี้ ขอกำหนดระดับความสามารถในการโยกย้ายเป็นตัวแปร d มาจากคำว่า ดีกรีของการโยกย้ายสินค้า (Degree of Lateral Transshipment) ซึ่งสามารถระบุค่าได้ตามสูตร d(Giver, Recipient) ขึ้นอยู่กับบทบาทของแต่ละสาขาว่าเป็นผู้ให้หรือผู้รับสินค้า

เมื่อสาขานั้นเป็นผู้ให้ ค่า Giver คือ จำนวนสาขาอื่นๆ ที่สาขานั้นสามารถโยกย้ายสินค้าให้ได้ โดยสามารถโยกย้ายสินค้าให้ไปให้สาขาอื่นๆ ได้ไม่เกิน n-1 สาขา หรือค่า Giver เป็นได้ตั้งแต่ 0 ถึง n-1 เมื่อ n คือจำนวนสาขาทั้งหมดที่มีในธุรกิจที่พิจารณา และการโยกจะโยกไปให้สาขาอื่นๆ ที่ใกล้เคียงก่อนเท่านั้น

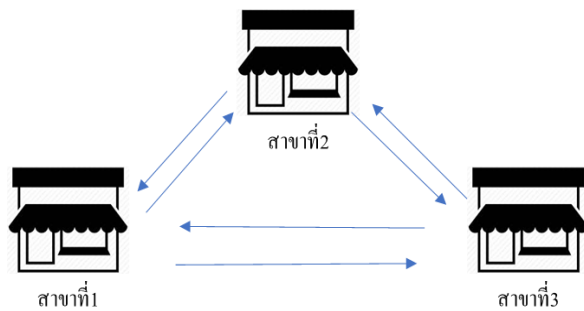
และเมื่อสาขานั้นเป็นผู้รับ ค่า Recipient คือ จำนวนสาขาอื่นๆ ที่สาขานั้นสามารถรับสินค้าที่โยกมาจากสาขาอื่นๆ ได้ โดยค่า Recipient เป็นได้ตั้งแต่ 0 ถึง n-1 และจะรับสินค้าจากสาขาที่ใกล้เคียงที่สุดก่อนเสมอ

ตัวอย่างเช่น สาขา X มีดีกรีของการโยกย้ายสินค้าเป็น d(1,0) หมายความว่า สาขา X สามารถเป็นผู้ให้สินค้าหรือโยกย้ายสินค้าให้กับสาขาอื่นได้เพียง 1 สาขาที่ใกล้เคียงที่สุดเท่านั้น และสาขา X จะไม่สามารถเป็นผู้รับสินค้าที่โยกย้ายมาจากสาขาอื่นเลย

ในรูปที่ 1 และ 2 แสดงความแตกต่างระหว่างนโยบาย d(0, 0) และ d(2, 2) เมื่อมีร้านค้าปลีกทั้งหมด 3 สาขา (n = 3) และทุกสาขามีนโยบายเหมือนกัน



รูปที่ 1 เมื่อทุกสาขาไม่สามารถโยกย้ายสินค้าให้กันได้ หรือทุกสาขามีนโยบายเป็น d(0, 0)



รูปที่ 2 เมื่อทุกสาขาสามารถโยกย้ายสินค้าให้กันได้หมด
หรือทุกสาขามีนโยบายเป็น d (2, 2)

4.9 ขั้นตอนการโยกย้ายและสั่งซื้อของสาขาใดๆ ในเวลาหนึ่งวัน

(1) เริ่มต้นมีลูกค้าเข้าร้านจะมีความต้องการสินค้าแบบที่เกิดขึ้นตามรูปแบบการแจกแจงของความต้องการของลูกค้า จำนวนสินค้านั้นเป็นจำนวนทั้งหมดต่อหนึ่งวัน

(2) เมื่อมีความต้องการของลูกค้าตลอดทั้งวันหากพบว่ามีความต้องการของลูกค้าในเวลาใกล้ปิดการทำการพบว่าเมื่อตรวจสอบจำนวนสินค้า มี 3 กรณี

กรณีที่ 2.1 : หากจำนวนสินค้าเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าจนถึงเวลาปิดทำการของแต่ละสาขา แต่ละสาขาต้องทำการตรวจสอบจำนวนสินค้า หากพบว่าถึงจุดที่ต้องทำการสั่งซื้อสินค้า จะทำการสั่งซื้อสินค้า หากทำการตรวจสอบจำนวนสินค้ายังไม่ถึงจุดที่ต้องทำการสั่งซื้อสินค้า แต่ละสาขาสามารถทำการปิดทำการแต่ละสาขาได้เลย

กรณีที่ 2.2 : หากจำนวนสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าจนถึงเวลาปิดทำการของแต่ละสาขา แต่ละสาขาจำเป็นต้องสั่งซื้อสินค้าทั้งหมดเท่าที่มีให้แก่ลูกค้า และกรณีที่ลูกค้ายอมรับสินค้าที่โยกย้ายมาจากสาขาอื่นก็ให้ทำการโยกย้ายสินค้าจากสาขาอื่นทำการขอโยกย้ายสินค้าจากสาขาอื่นเป็นจำนวนที่ต้องการ แล้วต้องทำการสั่งซื้อสินค้าทันที

กรณีที่ 2.3 : หากจำนวนสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าจนถึงเวลาปิดทำการของแต่ละสาขา แต่ละสาขาจำเป็นต้องสั่งซื้อสินค้าทั้งหมดเท่าที่มีให้แก่ลูกค้า และกรณีที่ลูกค้าต้องการไม่ยินยอมให้โยกย้ายสินค้าจากสาขาอื่นทำการบันทึกจำนวนที่เสียโอกาสขายสินค้า แล้วต้องทำการสั่งซื้อสินค้าทันที

(3) เมื่อการสั่งซื้อสินค้าโดยสามารถคำนวณจำนวนในการสั่งซื้อสินค้าดังนี้

จำนวนที่สั่งซื้อ = Max Stock - จำนวนสินค้าคงเหลือ

แล้วเมื่อสินค้ามาถึงก็ต้องทำการอัปเดตจำนวนสินค้าทันทีโดยการสั่งซื้อครั้งถัดไปนั้นสามารถสั่งซื้อได้ก็ต่อเมื่อสินค้าที่เคยส่งไปนั้นได้รับสินค้าจากซัพพลายเออร์แล้ว

(4) การโยกย้ายสินค้าจากสาขาอื่นนั้นจะเลือกตามลำดับความใกล้เคียงของสาขาเป็นหลัก สามารถแบ่งได้ทั้งหมด 2 กรณี

กรณีที่ 1 : จำนวนสินค้าที่ต้องการโยกย้ายจากสาขาที่ใกล้ที่สุดหากตรวจสอบของสาขานั้นมีจำนวนเพียงพอ จะทำการโยกย้ายสินค้าแล้วในสาขาที่ทำการโยกย้ายสินค้าให้ก็ต้องตรวจสอบเช็คสินค้าทันทีหากพบว่าถึงจุดที่ต้องทำการสั่งซื้อสินค้า จะทำการสั่งซื้อสินค้า หรือ ยังไม่ถึงจุดที่ต้องทำการสั่งซื้อสินค้า

กรณีที่ 2 : จำนวนสินค้าที่ต้องการโยกย้ายจากสาขาที่ใกล้ที่สุดหากตรวจสอบของสาขานั้นมีจำนวนไม่เพียงพอ จะโยกย้ายสินค้าทั้งหมดจากสาขาที่ใกล้ที่สุดจากจำนวนสินค้าที่มีอยู่ในขณะนั้นแล้วสาขาที่ต้องโยกย้ายสินค้าต้องทำการสั่งซื้อสินค้าทันที ในส่วนของจำนวนสินค้าที่เหลือเพิ่มเติมความต้องการของลูกค้าจะทำการโยกย้ายสินค้าในสาขาถัดไปที่ใกล้ที่สุด หากจำนวนสินค้าที่โยกย้ายสินค้ามาจากสาขาอื่นทั้งหมดไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ก็จะขายสินค้าให้ลูกค้าในจำนวนเท่าที่มีในสาขานั้นทั้งหมดรวมกับจำนวนสินค้าที่ทำการโยกย้ายมาจากสาขาอื่น แล้วทำการบันทึกจำนวนที่เสียโอกาสขายสินค้า

4.10 ค่า Demand During Lead Time per Capacity (DLC)

งานวิจัยนี้ศึกษา นโยบายการโยกย้ายที่เหมาะสมในสถานการณ์ที่เวลารอคอยสินค้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเวลารอคอยเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความต้องการของลูกค้าและความจุของพื้นที่ ดังนั้นผู้วิจัยขอกำหนดค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้า ($\bar{D}$) เวลารอคอยสินค้าจากซัพพลายเออร์ ($\overline{LT}$) และปริมาณความจุของพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า (Capacity) โดยตั้งชื่อค่าความสัมพันธ์ว่า “เปอร์เซ็นต์อัตราส่วนของความต้องการของลูกค้า ณ ช่วงเวลารอคอยสินค้าต่อจำนวนสินค้าที่สามารถเก็บได้สูงสุดของพื้นที่จัดเก็บสินค้า (Demand During Lead Time per Capacity (DLC)) ” ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$DLC = \frac{\bar{D} \times \overline{LT}}{\text{Capacity}} \times 100 \quad (1)$$

โดย

$\bar{D}$ คือ ความต้องการสินค้าเฉลี่ยของลูกค้า (หน่วย: ชิ้น/วัน)

$\overline{LT}$ คือ เวลาการรอสินค้าเฉลี่ยจากซัพพลายเออร์ (หน่วย: วัน)

Capacity คือปริมาณความจุของพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า (หน่วย: ชิ้น) เมื่อ $Capacity = Max\ Stock$

ค่า DLC เป็นค่าที่ผู้วิจัยคิดขึ้นมาหลังจากที่ได้สอบถามพนักงานบริษัทที่มีหน้าที่ดูแลคลังสินค้าบริษัทแห่งหนึ่งและพบว่าพนักงานไม่สามารถตอบคำถามได้อย่างชัดเจนว่าสาขาของตนเองมีจำนวนสินค้าในคลังเพียงพอที่จะโยกย้ายให้สาขาอื่นหรือไม่หากสาขาส่งสินค้าสามารถโยกย้ายสินค้าให้กับสาขาอื่นได้ พนักงานต่างก็ให้คำตอบว่า “ไม่แน่ใจเนื่องจากไม่แน่ใจว่าหากโยกย้ายสินค้าให้สาขาอื่นแล้ว จะมีสินค้าขายในสาขาตนเองพอไหม”

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่าของตัวเลขของความ ต้องการของลูกค้า ณ ช่วงเวลารอคอยสินค้าต่อจำนวนสินค้าที่สามารถเก็บได้สูงสุดของพื้นที่จัดเก็บสินค้า เพื่อต้องการแบ่งแยกสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปให้มีความชัดเจนเป็นแบบแผนมากยิ่งขึ้น

5. โจทย์การจำลองสถานการณ์

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษานโยบายที่เหมาะสมในการโยกย้ายโดยใช้โจทย์ที่มีลักษณะดังในตารางที่ 2

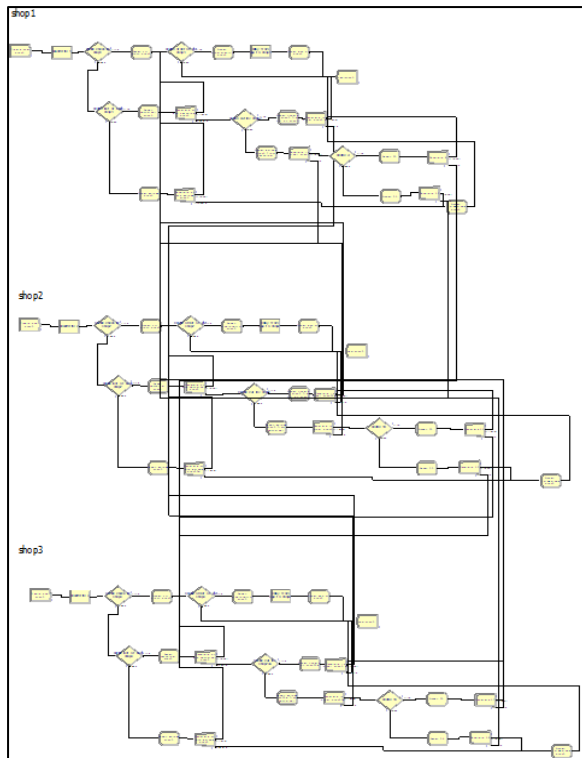
ตารางที่ 2 ลักษณะของโจทย์การจำลองสถานการณ์

จำนวนสาขาทั้งหมด (n)	3 สาขา
ความต้องการเฉลี่ยของลูกค้า ($\bar{D}$) (หน่วย : ชิ้น/วัน)	ทั้ง 3 สาขามีรูปแบบแจกแจงของความต้องการเหมือนกัน เป็นรูปแบบการแจกแจงแบบต่อเนื่อง Uniform (0-20)
ระยะเวลารอสินค้าเฉลี่ยจากซัพพลายเออร์ ($\overline{LT}$) (หน่วย: วัน)	มีทั้งหมด 2 สถานการณ์ คือ 1. $\overline{LT} = 2$ วัน 2. $\overline{LT} = 8$ วัน
นโยบายการโยกย้ายสินค้า	มี 3 นโยบายคือ $d(0, 0)$, $d(1, 1)$ และ $d(2, 2)$

วิธีการสั่งซื้อ	ทั้ง 3 สาขาซื้อวิธีการสั่งซื้อเหมือนกันแบบวิธี (s, Max Stock)
พื้นที่จัดเก็บสินค้าหรือค่า Max Stock (หน่วย: ชิ้น)	ทั้ง 3 สาขาเก็บสินค้าได้ไม่เกิน 100 ชิ้นเท่ากัน
ระยะห่างระหว่างสาขา	สาขาที่ 1 อยู่ใกล้กับสาขาที่ 2 ที่สุด สาขาที่ 2 อยู่กึ่งกลางระหว่างสาขาที่ 1 และ 3 สาขาที่ 3 อยู่ใกล้กับสาขาที่ 2 ที่สุด สาขาที่ 2 เมื่อทำการโยกย้ายจะเลือกโยกย้ายจากสาขาที่อยู่ระหว่างที่มีระดับคลังสินค้ามากที่สุดก่อนเสมอ
จำนวนสินค้าที่มีอยู่ในแต่ละร้านเมื่อตอนเปิดร้านในวันแรก	ทุกสาขามีสินค้าเต็มร้านเท่ากับ Max Stock ในวันแรกตอนเปิดร้าน

5.1 ขั้นตอนการจำลองของโจทย์การจำลองสถานการณ์ด้วยนโยบายการโยกย้ายใน Arena Simulation

ในแบบจำลองโจทย์การจำลองสถานการณ์ Arena Simulation ทุกนโยบายการโยกย้ายใช้ Input คือ ความต้องการของลูกค้าเป็นการแจกแจงแบบ Continuous Uniform และ Output คือ จำนวนสินค้าที่เสียโอกาสในการขาย (Lost Sales) ตัวอย่างดังรูปที่ 3 นโยบายการโยกย้าย $d(2, 2)$



รูปที่ 3 แบบจำลองโครงข่ายการจำลองสถานการณ์ของนโยบายการโยกย้าย $d(2, 2)$

6. ผลการจำลองสถานการณ์

ในการจำลองสถานการณ์จะเสมือนว่าธุรกิจที่มี 3 สาขาเปิดร้านติดต่อกันเป็นระยะเวลา 1 ปีหรือ 365 วัน ติดต่อกันไม่มีวันหยุดและสังเกตดูว่าแต่ละสาขามี Lost Sale รวมทั้งปีเป็นทั้งหมดกี่ชิ้น

จากข้อมูลของโครงข่ายการจำลองสถานการณ์นั้น สามารถตีเป็นความหมายได้ว่า

1. รูปแบบการแจกแจงของความต้องการของลูกค้าแบบต่อเนื่อง Uniform (0-20) มีค่าความต้องการเฉลี่ยของลูกค้า ($\bar{D}$) ที่ 10 ชิ้น/วัน
2. พื้นที่จัดเก็บสินค้า หรือ ค่า Capacity = Max Stock ของแต่ละสาขามีจำนวนสินค้าที่เก็บได้สูงสุด 100 ชิ้น

เมื่อมีเวลารอสินค้า 2 วัน ($\bar{LT} = 2$) ทำให้แต่ละสาขามีค่า $DLC = 20\%$ เกิดจากสมการที่ (1)

$$DLC = \frac{10 \times 2}{100} \times 100 = 20\%$$

เมื่อมีเวลารอสินค้า 8 วัน ($\bar{LT} = 8$) ทำให้แต่ละสาขามีค่า

$DLC = 20\%$ เกิดจากสมการที่ (1)

$$DLC = \frac{10 \times 8}{100} \times 100 = 80\%$$

โครงข่ายการจำลองสถานการณ์สามารถทำให้ทราบผลของประสิทธิภาพของนโยบายในการโยกย้ายสินค้าได้อย่างชัดเจนดังนี้ เมื่อค่า DLC ของแต่ละสาขามีค่าเท่ากับ 20% ($\bar{LT} = 2$) นโยบาย $d(2, 2)$ จะสามารถลด Lost Sale ได้มากกว่านโยบาย $d(0, 0)$ ถึง 97% (ลดจาก 978 ชิ้นเหลือเพียง 29 ชิ้น) แต่เมื่อค่า DLC ของแต่ละสาขามีค่าเท่ากับ 80% ($\bar{LT} = 8$) นโยบาย $d(2, 2)$ จะสามารถลด Lost Sale ได้มากกว่านโยบาย $d(0, 0)$ เพียง 10.34% (ลดจาก 4,681 ชิ้นเหลือ 4,197 ชิ้น) ดังปรากฏในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 ตารางที่ 3 ผลการจำลองสถานการณ์ เมื่อมีเวลารอสินค้า 2 วัน ($\bar{LT} = 2$) และจำลองเป็นระยะเวลา 1 ปีหรือ 365 วัน

สาขา	DLC	นโยบายการโยกย้าย	Lost Sale หรือ จำนวนสินค้าที่เสียโอกาสในการขาย (หน่วย: ชิ้น/ปี)
1	20%	$d(0, 0)$	384
2	20%	$d(0, 0)$	237
3	20%	$d(0, 0)$	357
รวม			978
1	20%	$d(1, 1)$	28
2	20%	$d(1, 1)$	0
3	20%	$d(1, 1)$	15
รวม			43

ตารางที่ 3 ผลการจำลองสถานการณ์ เมื่อมีเวลารอสินค้า 2 วัน ($\bar{LT} = 2$) และจำลองเป็นระยะเวลา 1 ปีหรือ 365 วัน

สาขา	DLC	นโยบายการโยกย้าย	Lost Sale หรือ จำนวนสินค้าที่เสียโอกาสในการขาย (หน่วย: ชิ้น/ปี)
1	20%	$d(2, 2)$	0
2	20%	$d(2, 2)$	11
3	20%	$d(2, 2)$	18
รวม			29

ตารางที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์เมื่อมีเวลารอสินค้า 8 วัน ($\overline{LT} = 8$) และจำลองเป็นระยะเวลา 1 ปีหรือ 365 วัน

สาขา	DLC	นโยบายการโยกย้าย	Lost Sale หรือจำนวนสินค้าที่เสียโอกาสในการขาย (หน่วย: ชิ้น/ปี)
1	80%	d(0, 0)	1,557
2	80%	d(0, 0)	1,424
3	80%	d(0, 0)	1,700
รวม			4,681
1	80%	d(1, 1)	1,408
2	80%	d(1, 1)	1,290
3	80%	d(1, 1)	1,529
รวม			4,227
1	80%	d(2, 2)	1,334
2	80%	d(2, 2)	1,356
3	80%	d(2, 2)	1,507
รวม			4,197

7. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาค้นคว้าและวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหา นโยบายการโยกย้ายสินค้า (Lateral Transshipment) ระหว่างสาขาที่ทำให้เกิดการเสียโอกาสในการขายสินค้า (Lost Sales) น้อยที่สุด โดยศึกษาจากความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้า ($\overline{D}$) เวลารอสินค้าเฉลี่ยจากซัพพลายเออร์ ($\overline{LT}$) และปริมาณความจุของพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้า (Capacity) ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในสถานการณ์ที่มีค่า DLC ต่ำจะส่งผลให้นโยบายการโยกย้ายสินค้าจากทุกสาขาไปทุกสาขาได้หรือแบบ d(2,2) จะสามารถช่วยลดการเสียโอกาสการขาย (Lost Sales) ได้มากเมื่อเทียบกับนโยบายที่ไม่มีการโยกย้ายสินค้าหรือ d(0,0)

ในทางตรงข้าม ในสถานการณ์ที่มีค่า DLC สูงจะพบว่า นโยบายการโยกย้ายสินค้าจากทุกสาขาไปทุกสาขาได้หรือแบบ d(2,2) จะสามารถช่วยลดการเสียโอกาสการขาย (Lost Sales) ได้เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับนโยบายที่ไม่มีการโยกย้ายสินค้าหรือ d(0,0)

หรืออาจสรุปได้ว่า เมื่อค่าดีกรีของนโยบายในการโยกย้ายสินค้า (Degree of Lateral Transshipment) มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งค่า Giver และ Recipient หรือยอมให้แต่ละสาขาสามารถโยกย้ายสินค้าให้ซึ่งกันและกันได้ยิ่งมากขึ้นเท่าไร จะยิ่งช่วยให้การเสียโอกาสในการขาย (Lost Sales) ลดน้อยลงได้มากเท่านั้นไม่ว่าจะระยะเวลา รอคอยสินค้าจากซัพพลายเออร์เปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

ในอนาคตผู้วิจัยมีวางแผนจะศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อนโยบายในการโยกย้ายสินค้าเพิ่มเติม ดังเช่น

1. การกำหนดระยะเวลา รอคอยสินค้าจากซัพพลายเออร์ให้มีความล่าช้ากว่าค่าเฉลี่ยตลอดนโยบายในการโยกย้ายสินค้าจะช่วยลดจำนวนสินค้าที่เสียโอกาสการขาย (Lost Sales) ได้หรือไม่ การกำหนดระยะเวลา รอคอยสินค้าจากซัพพลายเออร์ให้มีความล่าช้ากว่าค่าเฉลี่ยตลอดดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระยะเวลา รอคอยสินค้าจากซัพพลายเออร์ให้มีความล่าช้ากว่าค่าเฉลี่ยตลอด

2. กำหนดให้ความน่าจะเป็นที่ลูกค้าจะยอมรับสินค้าที่โยกมาจากสาขาอื่น มีค่าต่ำกว่า 100% ทำให้มีลูกค้าบางรายไม่ยอมรับสินค้าที่โยกมาจากสาขาอื่น

3. กำหนดให้ความต้องการของลูกค้ามีความไม่แน่นอนและแปรปรวนมากยิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. A. Hochmuth and P. Kochel, “How to order and transship in multi-location inventory systems: The simulation optimization approach,” *International Journal of Production Economics.*, vol. 140, pp. 646-654, 2012.
- [2] H. Liu, “Simulation of lateral transshipment in order to delivery under e-commerce environment,” *International Journal of Simulation and Process Modelling.*, vol. 11, no. 1, pp. 51-65, 2016.
- [3] วิทยา สุหฤทธดำรง, ลอจิสติกส์และการจัดการโซ่อุปทาน อธิบายได้ ง่ายนิดเดียว, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2546.
- [4] แก้วปั่น อมตเวทย์, “การพัฒนาวิธีการส่งร่วมกรณีอุปสงค์ไม่คงที่และมีข้อจำกัดด้านงบประมาณและทรัพยากร,” *วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 2548.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคและวิธีแบท สำหรับตัวแบบสินค้าคงคลัง 3 ระดับชั้น

ศิริรัตน์ กะการดี¹ และ ศิริประภา มโนมัย²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

Received: 31 January 2020; Revised: 2 March 2020; Accepted: 3 March 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีเมตาฮิวริสติกส์ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization ; PSO) และวิธีแบท (Bat Algorithm ; BA) ที่ใช้แก้ปัญหาการจัดการสินค้าคงคลัง 3 ระดับชั้น ที่มีความต้องการสินค้าคงคลัง เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการบริหารสินค้าคงคลังที่ต่ำที่สุด วิธีการศึกษาทำโดยการสร้างตัวแบบและจำลองข้อมูลสินค้าคงคลัง 3 ระดับ และทำซ้ำ 1,000 รอบต่อสถานการณ์ กำหนดพารามิเตอร์ที่ศึกษาประกอบด้วยรอบการค้นหาคำตอบแบ่งเป็น 7 ระดับ จำนวนอนุภาค (สำหรับวิธี PSO) จำนวนค้างคาว (สำหรับวิธี BA) แบ่งเป็น 3 ระดับเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพได้แก่ ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดโดยเฉลี่ย และเวลาในการประมวลผลของแต่ละวิธี ผลการทดลองพบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยกลุ่มอนุภาคมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีแบทคิดเป็น 0.46% แต่ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าถึง 49.64%

คำสำคัญ: เมตาฮิวริสติก, ปัญญาเชิงกลุ่ม, ตัวแบบสินค้าคงคลัง 3 ระดับ

* Corresponding author: E-mail: Sirirat.knd@gmail.com

^{1,2} ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

A Comparative study on Particle Swarm Optimization and Bat Algorithm for Three Echelon Inventory Model

Sirirat Kakarndee ¹ and Siraprapa Manomat ²

King Mongkut's University of Technology North Bangkok 1518 Pracharat 1 Road,
Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

Received: 31 January 2020; Revised: 2 March 2020; Accepted: 3 March 2020

Abstract

The objective of this research is to compare the efficiency of two metaheuristic algorithms, consist of Particle Swarm Optimization (PSO) and Bat Algorithms (BA) which are used to solve a three-echelon inventory problem under deterministic demand. Minimum inventory management costs are investigated in various parameters such as iteration (7 levels), number of particles and number of bats (3 levels). Average minimum costs and processing time are considered as efficacy of each method. The results show that the Particle Swarm Algorithm is better than the Bat Algorithm in terms of accurate solutions by 0.46%. However, PSO processing time is longer than the Bat algorithm by 49.64%.

Keywords: Metaheuristic, Swarm Intelligence, Three Echelon Inventory Model

* Corresponding author: E-mail: Sirirat.knd@gmail.com

^{1,2} Department of Applied Statistics, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

1. บทนำ

การจัดการสินค้าคงคลังเป็นหนึ่งใน 13 กิจกรรมโลจิสติกส์ [1] ที่ทำหน้าที่ดำเนินการควบคุมการไหลและการจัดเก็บวัตถุดิบพร้อมกับข้อมูลตั้งแต่จุดผลิตถึงผู้บริโภคให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเพื่อให้การบริหารจัดการโซ่อุปทานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพซึ่งส่งผลต่อความสำเร็จในการแข่งขันทางธุรกิจขององค์กรที่พิจารณาจากตัวชี้วัดต่าง ๆ เช่น ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า ระยะเวลาผลิตที่ต่ำกว่า ระยะเวลาส่ง (lead time) ที่ต่ำกว่า เวลาในการส่งสินค้าที่น่าเชื่อถือ การบริการลูกค้าที่ดีกว่า ประสิทธิภาพในการประสานงานระหว่างความต้องการของลูกค้า อุปทานและการผลิต และการเก็บสินค้าที่น้อยกว่า ดังนั้นการจัดการสินค้าคงคลังจึงเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จขององค์กรที่สำคัญส่วนหนึ่ง ปัจจุบันภายในโซ่อุปทานส่วนใหญ่มีหลาย ๆ บริษัทที่ทำข้อตกลงซื้อขายเป็นพันธมิตรกันทำให้ถูกพิจารณาเป็นหน่วยงานเดียวกันในการวางแผนดำเนินการจัดการวัสดุคงคลังร่วมกันเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุดหรือเพื่อให้ได้ผลตอบแทนสูงสุดตลอดโซ่อุปทานภายใต้ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขต่าง ๆ ซึ่งเป็นปัญหาการจัดการสินค้าคงคลังหลายระดับขั้นและถูกจัดให้เป็นปัญหามาตรฐานใหญ่ ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ด้วยการหาค่าที่ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมโดยใช้วิธีเมตาฮิวริสติก

วิธีการเมตาฮิวริสติกมักจะพัฒนามาจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของสัตว์สังคมในการแก้ไขปัญหาและการดำเนินชีวิต ซึ่งเป็นแรงจูงใจในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้สำหรับแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่เรียกว่า ปัญญาเชิงกลุ่ม (Swarm Intelligence) [2] เมตาฮิวริสติกถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีความซับซ้อนซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและให้ประสิทธิภาพที่ดีเมตาฮิวริสติกที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ วิธีซิมูเลทเทดแอนนีลลิ่ง (Simulated Annealing ; SA), วิธีทาบูลาร์เซิร์ช (Tabu Search) วิธีนิวรัลเน็ตเวิร์ค (Neural Network), วิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm ; GA), วิธีหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization ; PSO), และวิธีแบท (Bat Algorithm : BA)

วิธีเมตาฮิวริสติกที่ใช้เทคนิคปัญญาเชิงกลุ่มส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณเชิงวิศวกรรมศาสตร์และโลจิสติกส์เพื่อแก้ปัญหาการหาเส้นทาง ปัญหาการจัดลำดับการผลิต ปัญหาการหาขนาดผลิตที่เหมาะสม เช่น ในปี 2012 Gupta และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี GA และวิธี PSO ในการกำหนดนโยบายสินค้าคงคลัง 3 ระดับ ในขณะเดียวกัน ภาสุระ อังกุลานนท์ [4] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตรวมด้วยวิธี BA และวิธี PSO ต่อมาในปี 2018 Kumar และคณะ ได้ทำการศึกษาการหาค่าเหมาะสมที่สุดของโซ่อุปทานหลายระดับขั้นที่มีสองฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยวิธี PSO [5] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้วิธีแบทในการหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมโดย เอกพงษ์ และ อนงค์ฤทธิ์ [6] จึงเป็นที่น่าสนใจที่จะนำวิธี BA มาใช้ในการแก้ปัญหาสินค้าคงคลัง 3 ระดับ งานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค และวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีแบทในการจัดการสินค้าคงคลัง 3 ระดับขั้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization ; PSO)

การหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคถูกคิดค้นขึ้นโดย Wilson ในปี 1975 นักวิจัยชาวอังกฤษได้กล่าวถึงการหาอาหารร่วมกันของฝูงนกที่ก่อให้เกิดประสบการณ์ในการหาอาหารของนกแต่ละตัวในฝูงทำให้นกตัวอื่นสามารถเข้าถึงแหล่งอาหารได้ และทำให้ไม่เกิดการแย่งชิงอาหารระหว่างนกแต่ละตัวภายในฝูง [7] ต่อมาในปี 1987 Reynolds [8] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมในการหาอาหารของฝูงนกพบว่านกแต่ละตัวจะรักษากฎ 3 ประการ คือ กฎการแยกกันเมื่อเข้าใกล้กันมากเกินไป กฎการจัดแนวเพื่อให้นกแต่ละตัวมุ่งไปในทิศทางเดียวกันกับตัวข้างๆ และกฎการประสานงานกันของนกแต่ละตัวเพื่อให้เดินทางไปในตำแหน่งที่มีระยะห่างเดียวกันโดยเฉลี่ยกับเพื่อนที่อยู่ข้างๆ และในปี 1995 Kennedy และ Eberhart [9] ได้พัฒนาการศึกษาของ Reynolds โดยการจำลองกระบวนการหาอาหารของนกคือการหาระยะห่างระหว่างอาหารกับตนเอง

ของนกแต่ละตัวพร้อมทั้งทำการสื่อสารกับนกในฝูง จากนั้นนกทั้งฝูงจะเลือกบินตามนกตัวที่อยู่ใกล้อาหารมากที่สุด และทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนบินถึงแหล่งอาหาร ทำให้เกิดวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบอนุภาค (PSO) ขึ้น

การหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) จะแทนคำตอบที่เป็นไปได้ด้วยตำแหน่งของอนุภาค (นกแต่ละตัว) อนุภาคทุกตัวจะมีค่าฟิตเนสที่หาได้จากฟังก์ชันฟิตเนส (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์) ที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ค่าความเร็วในการเดินทางที่จะเป็นตัวกำกับระยะการเดินทางของอนุภาคโดยอนุภาคทุกตัวจะเดินตามอนุภาคที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด (gbest) ซึ่งในการเคลื่อนที่แต่ละครั้งอนุภาคจะจดจำตำแหน่งที่ดีที่สุดของตนที่พบมา (pbest) และจะทำการปรับความเร็วด้วยค่าองค์ประกอบความเร่ง จากนั้นนำความเร็วที่ปรับแล้วไปหาตำแหน่งที่ดีกว่าที่พบมา

2.1.1 พารามิเตอร์ของวิธี PSO

$x(t)$ คือ ตำแหน่งของอนุภาคหรือคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งมีมิติเท่ากับ k เมื่อ k เป็นจำนวนพารามิเตอร์ที่ต้องการหาค่าเหมาะสม รอบที่ t โดย

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

n คือ จำนวนประชากรหรือจำนวนอนุภาค

$v(t)$ คือ ความเร็วของกลุ่มอนุภาค ซึ่งความเร็วของอนุภาคตัวที่ i มิติ k ของรอบการค้นหาค่าที่ t สามารถเขียนได้เป็น $v_{i,k}(t)$

p_{best} คือ ค่าที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาคจะมีการปรับค่าอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการทำคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

g_{best} คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคที่คัดมาจากค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคทุกตัวเท่าที่ผ่านมาของการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

t_{max} คือ จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบด้วยวิธี PSO

$[x_{min}, x_{max}]$ คือ ช่วงของอนุภาค (Particle Range)

c_1, c_2 คือ องค์ประกอบความเร่ง

w คือ ค่าการถ่วงน้ำหนัก

2.1.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธี PSO

ขั้นที่ 1 : กำหนดค่าเริ่มต้นโดยทำการสุ่มค่าพารามิเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค ($x_{i,k}(t)$) ที่อยู่ในช่วง $[x_{min}, x_{max}]$ ความเร็วของอนุภาค ($v_{i,k}(t)$) และ

หาค่าฟิตเนส $f(x(t))$ ให้กับอนุภาคแต่ละตัว

จากนั้นคำนวณหา p_{best} และ g_{best}

ขั้นที่ 2 : เพิ่มค่า $t = t+1$

ขั้นที่ 3 : ปรับค่าความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวจากค่า $v_{i,k}(t)$, $p_{best}(t)$ และ $g_{best}(t)$ ที่ได้จากขั้นตอนข้างต้น ตามสมการที่ (1)

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

ขั้นที่ 4 : นำค่าความเร็วที่ได้มาปรับค่าตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัวดังสมการที่ (2)

$$x_{i,k}(t+1) = x_{i,k}(t) + v_{i,k}(t+1) \quad (2)$$

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

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

2.2 การหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีแบท (Bat Algorithm ; BA)

การหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีแบทมีแนวคิดจากพฤติกรรมการในการหาอาหารของค้างคาวซึ่งเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่เล็กที่สุดในโดยเกิดจากการปล่อยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงของค้างคาว (Sonar) ไปกระทบเหยื่อแล้วเกิดการสะท้อนกลับมายังหูของค้างคาวทำให้สามารถรู้ถึงตำแหน่งและระยะห่างของสิ่งกีดขวางเพื่อนำทางไปหาเหยื่อหรืออาหาร และหลีกเลี่ยงอุปสรรคต่าง ๆ วิธีแบทถูกนำเสนอโดย Yang, X.S. [10] ในปี 2010 ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

1. ค้างคาวค้นหาค่าตำแหน่งของเหยื่อหรือวัตถุโดยใช้เสียงสะท้อนกลับเพื่อรับรู้ถึงระยะทางและความแตกต่างระหว่างอาหาร เหยื่อ และสิ่งกีดขวาง
2. ค้างคาวบินอย่างไร้แบบแผน (Randomly) ด้วยความเร็วที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความถี่พัลส์และความดังของเสียง ซึ่งการปล่อยพัลส์จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อค้างคาวเข้าใกล้เหยื่อเพิ่มมากขึ้น
3. ความดังของเสียงค้างคาว (Loudness, A) สามารถเปลี่ยนแปลงได้หลายรูปแบบซึ่งความดังจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อค้างคาวเข้าใกล้เหยื่อเพิ่มมากขึ้น

2.2.1 พารามิเตอร์ของวิธี BA

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

v_i^t คือ ความเร็วของค้างคาวตัวที่ i ในรอบการค้นหาคำตอบ
เท่ากับ t

f_i คือ ความถี่พัลส์ของค้างคาวตัวที่ i

A_i คือ ความดังของเสียงค้างคาวตัวที่ i

r_i คือ อัตราการปล่อยพัลส์ของค้างคาวตัวที่ i

n คือ จำนวนค้างคาวทั้งหมด

t คือ จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบ

ซึ่งพารามิเตอร์ข้างต้นสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (3)$$

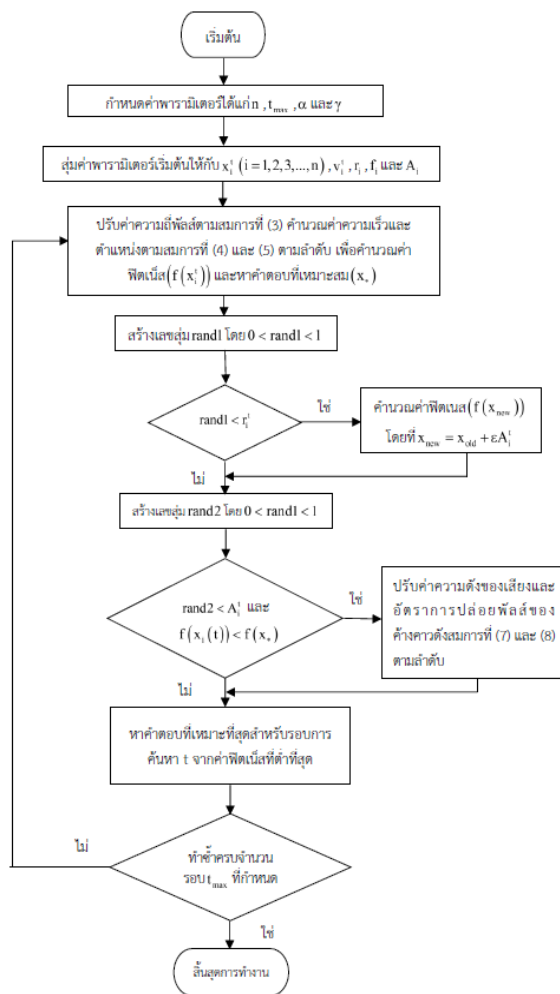
$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_*)f_i \quad (4)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (5)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)]; r \in [0,1] \quad (6)$$

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (7)$$

2.2.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธี BA แสดงในแผนภาพต่อไปนี้



รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของวิธี BA

3. แบบจำลองสินค้าคงคลัง 3 ระดับ

แบบจำลองสินค้าคงคลัง 3 ระดับที่ทำการศึกษาประกอบด้วยระดับชั้นที่ 1 คือ โรงงานผลิตรายหนึ่งที่ทำการผลิตสินค้าเพื่อส่งมอบสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้าซึ่งอยู่ในระดับชั้นที่ 2 และสินค้านั้นถูกส่งซื้อจากศูนย์การค้าปลีกที่เป็นขั้นสุดท้ายของสินค้าคงคลัง 3 ระดับชั้นซึ่งจะต้องทราบความต้องการของสินค้าของลูกค้าเพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อของศูนย์การค้าปลีกให้มีความคุ้มค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ในขณะที่ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าและโรงงานจะต้อง ถูกคำนวณให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าและทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเช่นกัน ด้วยเหตุนี้การจัดการสินค้าคงคลัง 3 ระดับชั้น จึงต้องคำนึงถึงปริมาณการสั่งซื้อในระดับชั้นต่าง ๆ เพื่อให้เกิด การบริหารจัดการสินค้าคงคลังที่มีประสิทธิภาพ โดยกำหนดข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) สำหรับการศึกษาดังนี้

1. ความต้องการสินค้าทราบล่วงหน้า และความต้องการคงที่
2. ปริมาณที่สั่งเติมสินค้าคงคลังไปจะได้รับพร้อมกันทั้งหมด
3. ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าของศูนย์กระจายสินค้าเป็นสัดส่วนกับปริมาณการสั่งซื้อของศูนย์การค้าปลีก
4. ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าของโรงงานเป็นสัดส่วนกับปริมาณการสั่งซื้อของศูนย์การค้าปลีก
5. ไม่อนุญาตให้มีการขาดมือ



3.1 การกำหนดสัญลักษณ์

TCs = ค่าใช้จ่ายรวมของการจัดการสินค้าคงคลัง 3 ระดับ (บาท)

S_R = ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าของศูนย์การค้าปลีก (บาท)

S_{DC} = ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าของศูนย์กระจายสินค้า (บาท)

- S_M = ค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องจักรใหม่ (บาท)
 q_R = ปริมาณการสั่งซื้อของผู้ค้าปลีก
 q_{DC} = ปริมาณการสั่งซื้อของศูนย์กระจายสินค้า
 q_M = ปริมาณการสั่งซื้อของโรงงาน
 δ = อัตราส่วนในการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อของศูนย์กระจายสินค้า
 γ = อัตราส่วนในการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อของโรงงาน
 C_R = ราคาสินค้าคงคลังของผู้ค้าปลีก (บาทต่อหน่วย)
 C_{DC} = ราคาสินค้าคงคลังของศูนย์กระจายสินค้า (บาทต่อหน่วย)
 C_M = ราคาสินค้าคงคลังของโรงงาน (บาทต่อหน่วย)
 D = อุปสงค์ของสินค้า (หน่วย)
 k = อัตราค่าจัดเก็บสินค้า (เปอร์เซ็นต์ต่อปี)

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$TC_s = \left(S_R + \frac{S_{DC}}{\delta} + \frac{S_M}{\delta} \right) \frac{D}{q_R} + (C_R + (\delta - 1)C_{DC} + \delta(\gamma - 1)C_M) \frac{q_R k}{2} \quad (8)$$

ภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$q_M = \gamma q_{DC} \quad (9)$$

$$q_{DC} = \delta q_R \quad (10)$$

$$q_R + q_{DC} + q_M \leq D \quad (11)$$

4. การจำลองสถานการณ์

ในการศึกษาได้จำลองสถานการณ์สินค้าคงคลัง 3 ระดับ ประกอบด้วย โรงงานผลิต (Manufacturer ; M), ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution center ; DC) และ ศูนย์การค้าปลีก (Retailer ; R)

4.1 กำหนดให้พารามิเตอร์ของตัวแบบมีค่าดังต่อไปนี้

1. อุปสงค์ของสินค้าเท่ากับ 15,000 หน่วย
2. ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าของผู้ค้าปลีก (S_R) เท่ากับ 600 บาท
3. ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสินค้าของศูนย์กระจายสินค้า (S_{DC}) เท่ากับ 2,200 บาท
4. ค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องจักรใหม่ (S_M) เท่ากับ 1,000 บาท

5. อัตราค่าจัดเก็บสินค้า (k) เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์
6. ราคาสินค้าคงคลังของผู้ค้าปลีก (C_R) เท่ากับ 60 บาทต่อหน่วย
7. ราคาสินค้าคงคลังของศูนย์กระจายสินค้า (C_{DC}) เท่ากับ 40 บาทต่อหน่วย
8. ราคาสินค้าคงคลังของโรงงาน (C_M) เท่ากับ 20 บาทต่อหน่วย

4.2 ทำการแบ่งสถานการณ์ที่ศึกษาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบที่ค้นหาคำตอบ (t) ของทั้ง 2 วิธี โดยทำการทดลองที่ 7 ระดับการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์จำนวนรอบที่ค้นหาคำตอบได้แก่ $t = 10, 30, 50, 100, 300, 500$ และ 1,000

กรณีที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแปลงจำนวนอนุภาค (สำหรับวิธี PSO) จำนวนค่าคงตัว (สำหรับวิธี BA) ของวิธีค้นหาคำตอบทั้ง 2 วิธี โดยทำการทดลองที่ $n = 300, 500$ และ 1,000

5. ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม R ในการประมวลผลภายใต้เครื่องคอมพิวเตอร์มีหน่วยประมวลผลกลาง intel Corei7™ 2.50 GHz หน่วยความจำหลัก (RAM) 4 GB ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 7 โดยทำการทดลองทั้งหมด 1,000 ครั้ง เพื่อทำการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุด (q_R) ในแต่ละวิธี ตามพารามิเตอร์ (Parameters) ที่ใช้สำหรับวิธีหาค่าเหมาะสมสุดแบบกลุ่มอนุภาค ประกอบด้วย องค์ประกอบการเร่ง c_1 และ c_2 มีค่าเท่ากับ 1.3 และ 1.8 ตามลำดับ ค่าถ่วงน้ำหนัก (w) เท่ากับ 1 พารามิเตอร์ของวิธีแบบประกอบด้วย ค่าคงที่ $\alpha = 0.9$ และ $\gamma = 1.0$ เนื่องจากเป็นค่าที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีทั้งสองสำหรับปัญหาสินค้าคงคลัง 3 ระดับขึ้น

5.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแปลงจำนวนรอบที่ค้นหาคำตอบ (t) ของวิธี PSO และวิธี BA

จากการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุดพร้อมทั้งเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของทั้ง 2 วิธี และทำการ

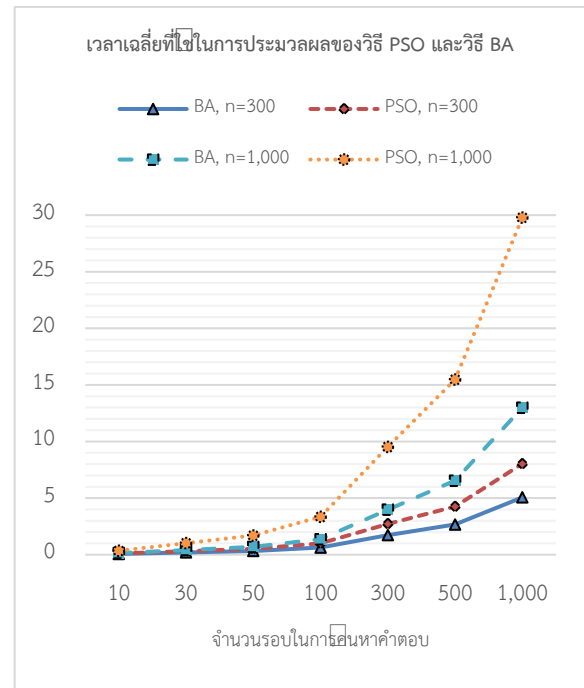
คำนวณค่าใช้จ่ายรวมโดยเฉลี่ยซึ่งแสดงผลในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ตามลำดับ พบว่าการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี PSO ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีแบบเฉลี่ย 0.46 เปอร์เซ็นต์ในทุกระดับของพารามิเตอร์ t โดยที่การค้นหา ค่าตอบด้วยวิธี PSO จะเริ่มรู้เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมเมื่อ พารามิเตอร์ t มีค่าตั้งแต่ 30 เป็นต้นไป นอกจากนี้ยังพบว่าการ เพิ่มขึ้นของจำนวนรอบที่ค้นหาคำตอบ (t) ส่งผลให้ค่าใช้จ่าย รวมโดยเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณทั้งสอง 2 วิธี ลดลงแต่เวลาที่ ใช้ในการประมวลผลเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้พบว่าการค้นหาคำตอบ ด้วยวิธี PSO ใช้เวลาสูงกว่าวิธี BA เฉลี่ย 36.54% เมื่อ $n = 300$ แต่เมื่อ $n = 500$ และ 1,000 พบว่าใช้เวลาในการ ประมวลผลมากกว่าถึง 2 เท่า โดยเฉลี่ยแล้วใช้เวลาสูงกว่า 49.64% ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4

ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการประมวลผลหาปริมาณสั่งซื้อ ที่เหมาะสมด้วยวิธี PSO และวิธี BA

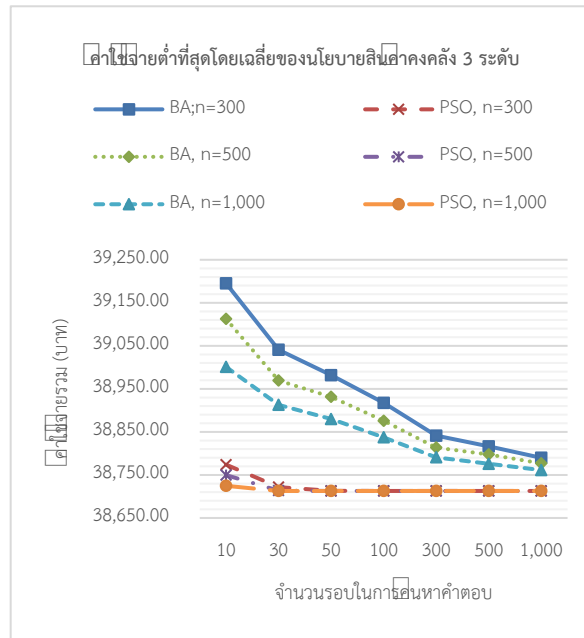
t	จำนวนอนุภาค/จำนวนค่าคงค่า (n)					
	300		500		1,000	
	BA	PSO	BA	PSO	BA	PSO
10	39,195.31	38,773.93	39,112.74	38,749.61	39,000.97	38,724.77
30	39,040.69	38,721.66	38,969.42	38,713.60	38,912.93	38,712.81
50	38,981.85	38,713.02	38,931.44	38,712.81	38,879.86	38,712.81
100	38,917.53	38,712.81	38,875.91	38,712.81	38,837.42	38,712.81
300	38,841.36	38,712.81	38,813.66	38,712.81	38,790.88	38,712.81
500	38,816.31	38,712.81	38,797.57	38,712.81	38,775.85	38,712.81
1,000	38,789.76	38,712.81	38,776.87	38,712.81	38,761.25	38,712.81

ตารางที่ 2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อค้นหาคำตอบ ของวิธี PSO และวิธี BA (วินาที)

t	จำนวนอนุภาค/จำนวนค่าคงค่า (n)					
	300		500		1,000	
	BA	PSO	BA	PSO	BA	PSO
10	0.069	0.107	0.075	0.17	0.142	0.349
30	0.203	0.314	0.223	0.495	0.417	1.022
50	0.326	0.519	0.369	0.822	0.691	1.691
100	0.63	1.001	0.734	1.619	1.371	3.35
300	1.727	2.721	2.077	4.454	3.979	9.527
500	2.669	4.251	3.377	7.082	6.543	15.467
1,000	5.062	8.028	6.627	13.611	12.99	29.785



รูปที่ 3 ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดโดยเฉลี่ยของนโยบายสินค้าคงคลัง 3 ระดับ



รูปที่ 4 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธี PSO และวิธี BA

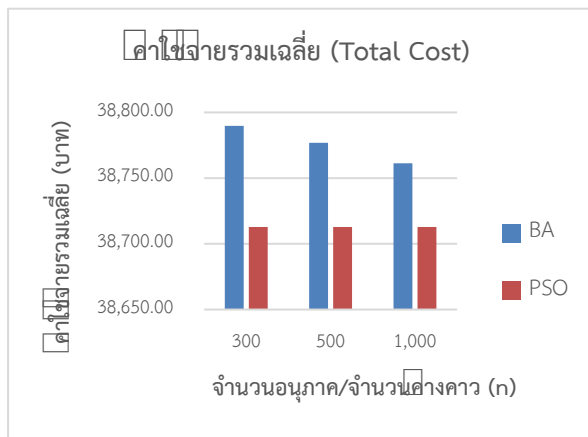
5.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการเปลี่ยนแปลงจำนวน อนุภาค (สำหรับวิธี PSO) จำนวนค่าคงค่า (สำหรับวิธี BA) ของวิธีค้นหาคำตอบทั้ง 2 วิธี

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยที่เกิดจากการหา ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธี BA และ PSO ตาม พารามิเตอร์ n ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าการหาค่าเหมาะสม

สุดท้ายวิธีอนุภาคมีค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีแบบในทุก ระดับของพารามิเตอร์ n และพบว่าการเปลี่ยนแปลง พารามิเตอร์ n มีผลต่อประสิทธิภาพในการหาคำตอบด้วยวิธี BA แต่ไม่มีผลสำหรับวิธี PSO

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายต่ำสุดกรณีจำนวนรอบในการค้นหา คำตอบเท่ากับ 1,000 ของวิธี PSO และวิธี BA

จำนวน อนุภาค/ ค้างคา (n)	BA		PSO	
	Total Cost	Time	Total Cost	Time
300	38,789.76	5.062	38,712.81	8.028
500	38,776.87	6.627	38,712.81	13.611
1,000	38,761.25	12.990	38,712.81	29.786



รูปที่ 5 ค่าใช้จ่ายต่ำสุดกรณีจำนวนรอบในการค้นหา คำตอบเท่ากับ 1,000

6. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ วิธีหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) และวิธีแบบ (BA) ที่ใช้ในการหาปริมาณสั่งซื้อที่เหมาะสมสำหรับตัวแบบสินค้าคง คลัง 3 ระดับขึ้นเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด จากผลการ ทดลองสรุปได้ว่าการหาคำตอบด้วยวิธี PSO มีประสิทธิภาพ มากกว่าวิธี BA ในทุกจำนวนรอบการค้นหาที่แตกต่างกันโดย คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเท่ากับ 0.46 แต่ใช้เวลาในการประมวล สูงกว่าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเท่ากับ 49.64 นอกจากนี้ยัง

พบว่าจำนวนรอบในการค้นหาคำตอบมีผลต่อประสิทธิภาพใน การหาคำตอบด้วยวิธี BA ในขณะที่ไม่ค่อยส่งผลต่อวิธี PSO

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. R. Stock and D. M. Lambert, Strategic Logistics Management, 4th ed., New York: McGraw-Hill, 2001.
- [2] บุญเจริญ ศิริเนาวกุล, ปัญญาประดิษฐ์: ปัญญาเชิง กลุ่ม (Artificial Intelligence: Swarm), กรุงเทพมหานคร: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2555.
- [3] A. Gupta, V. Narayan, A. Raj, Harsh and D. Nagaraj, "Comparative study of three echelon inventory optimization using genetic algorithm and particle swarm optimization," *International Journal of Trade, Economics and Finance*, vol. 3, pp. 205-208, 2012.
- [4] ภาสุระ อังกุลานนท์, "การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการ แก้ไขปัญหาด้วยวิธีแบบและวิธีกลุ่มอนุภาค กรณีศึกษาการวางแผนการผลิต," ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555*, กรุงเทพมหานคร, 2555.
- [5] V. R. Kumar, S. P. Anbu and K. Rameshkumar, "Optimization bi-objective, multi-echelon supply chain model using particle swarm intelligence algorithm," in *International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Applications*, United Kingdom, 2018.
- [6] เอกพงษ์ มานิล และ อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง, "การ ประยุกต์ใช้การค้นหาด้วยวิธีแบบ ค้นหาโค้งควบคุมที่ เหมาะสม," ใน *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัย มหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 14*, มหาสารคาม, 2561.

- [7] E. O. Wilson, *Sociobiology : The New Synthesis*, Cambridge: Belknap Press, 1975.
- [8] C. W. Reynolds, “Flocks, herds and schools : a distributed behavioral model,” *Computer Graphics*, vol. 21, no. 4, pp. 25-34, 1987.
- [9] J. Kennedy and R. Eberhart, “Particle swarm optimization,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia*, 1995.
- [10] X. S. Yang, “A new metaheuristic bat – inspired algorithm,” *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization Studies in Computational Intelligence.*, vol. 284, pp. 65-74, 2010.

A Mathematical Model for Pollution Travelling Salesman Problem

Supakrit Nanasilp^{1*} and Warisa Wisittipanich²

Chiang Mai University 239, Huay Kaew Road, Muang District, Chiang Mai Thailand, 50200

Received: 3 February 2020; Revised: 2 March 2020; Accepted: 3 March 2020

Abstract

This paper studies Pollution Travelling Salesman Problem (PTSP). PTSP is a generalization of the well-known Travelling Salesman Problem (TSP) which aims to find a suitable tour that minimizes fuel consumption in liters. This paper presents a mixed integer linear programming (MILP) for Pollution Travelling Salesman Problem which its objective function considers fuel consumption in term of vehicle engine efficiency, transmission, vehicle load, vehicle speed, road angle, distance and driver wages. The decision variables of the problem include routing of a vehicle, vehicle load and speed level. In this study, the PTSP is solved by the exact algorithm with optimization solver. The experiment uses 15 generated instances with the number of cities varying from 5 to 20 cities. The numerical results obtained by LINGO show that, in small-size instances, optimal solutions are easily found within fast computing time. When the number of cities increases to 15 cities, the model takes 3 to 8 hours to find optimal solutions. Finally, when the number of cities increases to 20 cities, the model cannot find optimal solution within acceptable computing time of 10 hours.

Keywords: Pollution Travelling Salesman Problem, Mathematical Model, Travelling Salesman Problem, Minimization of Fuel Consumption

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

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

1. Introduction

Nowadays, the pollution released from vehicles, industrial factories, incinerators, etc. has increased from the past which causing many factories to obey rules and has good standards for environmental management. The overlooked is the air pollution from the transportation of motorized vehicles because it is the source of most polluted air problems that produces carbon monoxide, hydrocarbon oxides of nitrogen and sulfur. Statistically, 55% of the hydrocarbons come out of the exhaust pipe, 25% come out of the crankshaft and another 20% are caused by evaporation in the carburetor. Nitrogen oxides (nitric oxide, NO), nitrogen dioxide (NO₂) and almost all nitrous oxide (N₂O) are also come out of the exhaust pipe which directly causes toxic to humans. Besides, lead in gasoline also increases the amount of lead in the air too. In [1], Pollution Travelling Salesman Problem (PTSP) is proposed as a modified combination of Travelling Salesman Problem (TSP) and Pollution Routing Problem (PRP). The purpose of PTSP is to reduce the amount of pollution that released from vehicles. Since there are several related factors causing air pollution such as vehicle load, vehicle speed, road conditions and distance, it is more efficient to design the route considering those factors rather than those in general TSP. There are very few research on PTSP, thus, this study aims to introduce PTSP to find optimal route in order to minimize the pollution problem released from vehicle. This helps to reduce a direct impact on daily life which can cause human health problems.

2. Literature Review

Traveling salesman problem (TSP), known as TSP, originated in the 1880s by Irish mathematician Sir William Rowan Hamilton and British mathematician Thomas Penyngton Kirkman shown in [2]. TSP is a fundamental problem that focuses on finding the best value (optimization), such as the results of the shortest total distance,

the lowest cost and use the least amount of time traveling. Based on 34 literature reviews, it was found that many types of research use their algorithms to solve most TSP problems. Most researchers used the exact algorithm to obtain the best solution. For example, [3] used an exact algorithm with adaptive parallelizing to solve TSP which can solve small size of problem. In [4], an exact algorithm was used to solve Equitable TSP for a small and medium size instances. However, the disadvantage of the exact algorithm is it can only solve small problems. For medium to-large size problem, the exact method is not be able to find the global optimal within suitable time. Therefore, another research approach applies the approximation algorithm to find near-best solutions such as a research in [5] which applied a Differential Evolution (DE) to solve TSP and outperforms other algorithms. Some of researches are using Hybrid algorithm to solve TSP such as a research in [6] that using Hybrid Differential Evolution Algorithm for TSP and compete with other algorithms which can outperforms a single algorithm and some hybrid algorithm. There are only one research on PTSP which was proposed by Cacchiani et al. [7] in early 2018. In their study, new parameters were introduced to the classical TSP. Then, they used an Iterated Local Search to solve the problem. The experimental results showed that the proposed algorithm can solve the problem up to 50 nodes.

3. Mathematical Model

This research used a mathematical model of PTSP proposed by Cacchiani et al [7]. The PTSP is defined on a complete directed graph $G = (N, A)$ where $N = \{0, \dots, n\}$ is the set of nodes, 0 is a depot and A is the set of arcs. The distance from node i to node j is denoted by d_{ij} . The set $N_0 = N \setminus \{0\}$ is the customer set. Each customer $i \in N_0$ has a non-negative demand q_i , and a service time t_i . According to Cacchiani et al. [7], the recommended value for all parameters in the PTSP model is showed in Table 1.

Table 1 Parameters used in the PTSP model [7]

Notation	Description	Typical value	Unit
W	Curb-weight	6350	Kg
ε	Air-fuel ratio	1	AFR
k	Engine friction factor	0.2	KJ/rev/L
N	Engine speed	33	Rev/s
V	Engine displacement	5	L
g	Gravitational constant	9.81	m/s ²
C_d	Coefficient of aerodynamic drag	0.7	-
ρ	Air density	1.2041	Kg/m ³
A	Frontal surface area	3.912	m ²
C_r	Coefficient of rolling resistance	0.01	-
η_{tf}	Vehicle drive train efficiency	0.4	-
η	Efficiency parameter for diesel engines	0.9	-
f_d	Driver wages per	0.011	Baht/s
κ	Heating value of a typical diesel fuel	44	KJ/g
ϕ	Conversion factor	737	g/s to L/s

Notation	Description	Typical value	Unit
V^l	Lower speed limit	5.5 (or 20 km/h)	m/s
V^u	Upper speed limit (m/s)	25 (or 90 km/h)	m/s

Where $\lambda = \varepsilon / \kappa \phi$ and $\gamma = 1 / 1000 \eta_{tf} \eta_{tf}$ are constants, $\beta = 0.5 C_d \rho A$ is a vehicle specific constant. $Distance_{ij}$ is the distance from location i to location j , T_i is the service time it takes at the destination i , q_i is customer demand at the destination i , D is the summation of demand in all destination which is $D = \sum_{i \in N_0} q_i$ and $\alpha_{ij} = \tau + g \sin \theta_{ij} + g C_r \cos \theta_{ij}$ is an arc specific constant depending on the road angle θ_{ij} .

The main purpose of the PTSP is to determine the minimum polluted route that departs from the depot, visits each customer exactly once by serving its demand, and return to the depot, where the pollution is calculated by the sum of the fuel consumption in liter and driver wage.

The following decision variables for PTSP is shown as follows: [7]

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{when travel from destination } i \text{ to } j \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_{ij} = R \text{ load on vehicle (kg) when travel from destination } i \text{ to } j$$

$$z_{ij}^r = \begin{cases} 1 & \text{when travel from destination } i \text{ to } j \text{ with speed level } r \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

The MILP model for PTSP is shown as follows: [7]

Objective function:

Minimize

$$\begin{aligned} & \left(\sum_{(i,j) \in A} \lambda_{KNV} d_{ij} \sum_{r \in R} \frac{z_{ij}^r}{v_r} \right) \\ & + \sum_{(i,j) \in A} \lambda_{\beta\gamma} d_{ij} \sum_{r \in R} z_{ij}^r (v_r)^2 \\ & + \sum_{(i,j) \in A} \lambda_{\gamma\alpha} d_{ij} f_{ij} + \sum_{(i,j) \in A} \lambda_{W\gamma} \alpha_{ij} d_{ij} x_{ij} \\ & + f_d \left(\sum_{(i,j) \in A} \sum_{r \in R} \left(\frac{d_{ij}}{v_r} \right) z_{ij}^r + \sum_{i \in N_0} t_i \right) \quad (1) \end{aligned}$$

Constraints:

$$\sum_{j \in N_0} f_{0j} = D \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N_0} f_{0j} = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1, \forall i \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1, \forall j \in N \quad (5)$$

$$\sum_{j \in N} f_{ji} - \sum_{j \in N} f_{ij} = q_i, \forall i \in N_0 \quad (6)$$

$$q_j x_{ij} \leq f_{ij} \leq (D - q_i) x_{ij}, \forall (i,j) \in A \quad (7)$$

$$\sum_{r \in R} z_{ij}^r = x_{ij}, \forall (i,j) \in A \quad (8)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A \quad (9)$$

$$f_{ij} \geq 0, \forall (i,j) \in A \quad (10)$$

$$z_{ij}^r \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A, \forall r \in R \quad (11)$$

The objective function in equation (1) consists of four main components to be minimized. The first component is the summation of fuel consumption (L) from the engine efficiency when traveling from location i to j with the selected speed level r , where the selected speed is an average speed between two cities without considering traffic condition. Second component is the summation of fuel consumption (L) calculated from the transmission efficiency and frontal surface area resistance from the wind when traveling from location i to j at the speed level r . Third component is the summation of fuel consumption (L) according to vehicle weight, vehicle load, road angle, transmission efficiency when traveling from location i to j . The last

component is the amount of fuel consumption (L) calculated from the driver's wage when traveling at the speed level r . The model converges the driver's wage into fuel consumption so that the number of working hours of drivers is minimized. Constraints (2) and (3) ensure that the vehicle leaves full and returns empty at the depot. Constraints (4) and (5) guarantee that each node is visited exactly once. Constraints (6) and (7) define the load of the vehicle on each visited arc. Constraint (8) link x and z variables by imposing that exactly one speed level is chosen for each arc $(i,j) \in A$. Constraints (9) to (11) define the variable domains.

4. Experimental Results

From the mathematical model of PTSP that have been developed by [3]. This study generates 15 instances with different conditions (e.g. number of cities, vehicle load, speed level, distance between cities, road angle between cities, and services time). The mathematical model is solved by the exact method with LINGO optimization program version 18.0 on PC core i5 4560, 16gb of ram with G-force GTX1060Ti. The experimental results are shown in Table 2.

Table 2 Results from LINGO program

Instance	Number of cities	#Global Obj. (L)	Computational time (hh:mm:ss)
1	5	401.615	0:00:00
2	5	405.870	0:00:00
3	5	351.414	0:00:00
4	5	421.424	0:00:00
5	5	383.000	0:00:00
6	5	303.688	0:00:00

Table 2 Results from LINGO program (continued)

Instance	Number of cities	#Global Obj. (L)	Computational time (hh:mm:ss)
7	5	438.275	0:00:00
8	5	407.128	0:00:00
9	5	403.150	0:00:00
10	5	232.553	0:00:00
11	10	533.652	0:00:18
12	15	438.849	03:28:38
13	15	711.151	08:15:42
14	20	N/A	>10:00:00
15	20	N/A	>10:00:00

According to numerical results from Table 2, the LINGO program can find optimal routing for the problems up to 10 cities. When problem size increases to 15 cities, LINGO takes approximately 3 to 8 hours to obtain the global optimal solution. Then, when the number of cities increases to 20, LINGO cannot find the global optimal solution within an acceptable time of 10 hours. It is noted that although Cacchiani et al. [7] can solve the PTSP up to 50 nodes, the solutions are not optimal. This paper aims to find global optimal solution; however, when the problem is more complex, the optimal solution cannot be found within an unacceptable time. Therefore, the exact algorithm has limitation of solving only small size problems. Figure 1 show a relationship between the number of cities and computing time. It can be seen that the computational time increases in exponential form.

The example of optimal routing obtained from instance 1 can be illustrated in Figure 2. Table 3 shows the data of distance between cities and

depot, road angle between cities (α), service time (T_i), and speed level (r).

Table 3 distance between 5 cities and depot

city/city	Depot	2	3	4	5	6
Depot	M	34	52	41	65	98
2	34	M	39	29	77	65
3	52	39	M	37	45	43
4	41	29	37	M	85	77
5	65	77	45	85	M	89
6	98	65	43	77	89	M

$q = -20000 \ 4000 \ 4000 \ 4000 \ 4000 \ 4000$

$D = 20000$

$t = 0 \ 3600 \ 3600 \ 3600 \ 3600 \ 3600$

$\alpha = 1$

$V = 5.5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 22 \ 25$

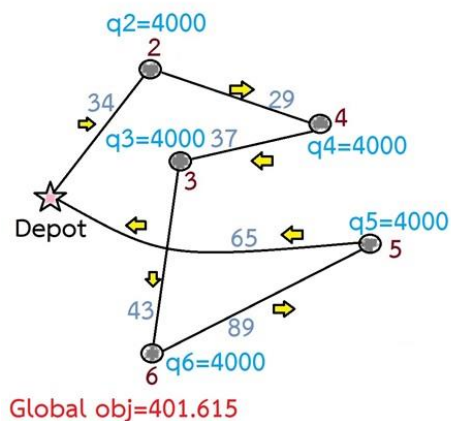


Figure 2 Optimal route for Instance 1

In this model, the main factors affecting the route choices are loads on the vehicle, road angle, and distance between cities. For example, a vehicle will try to deliver to the city with largest demand first, then it will deliver to other remaining cities.

Next, a vehicle tends to avoid the route with positive incline and choose the negative incline or zero incline condition first. Finally, the distance

between cities is another factor that alternates the decision on vehicle routing.

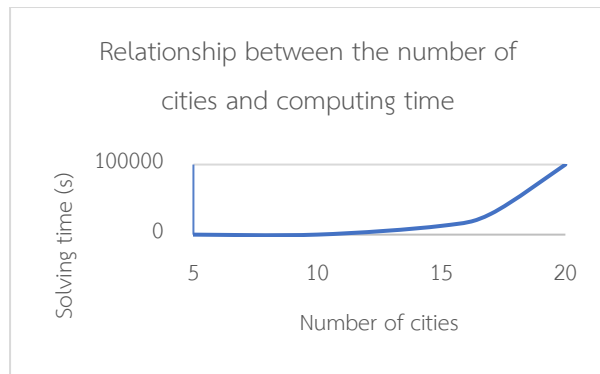


Figure 1 Relationship between the number of cities and computing time

5. Conclusion

This paper presents a mathematical model for Pollution Travelling Salesman Problem (PTSP), a generalization of the TSP, in which fuel consumption is the objective to be minimized. The Mixed Integer Linear Programming (MILP) model is solved by the exact algorithm with LINGO optimization program version 18.0 on PC core i5 4560, 16gb of ram with G-force GTX1060Ti. The experimental results of 15 generated instances shows that LINGO can find optimal solutions for the problems up to 10 cities in fast computing time. When the number of cities increases to 15, LINGO consumes 3 to 8 hours to find the optimal solution, and when the number of cities reaches 20 cities, LINGO cannot find the optimal solution within acceptable computing time of 10 hours.

Since the exact method has limitation of solving large-size problem, the future study is to apply a metaheuristic approach to deal with PTSP for medium and large problems.

Reference

- [1] ปริมณฑา จงจิตกลาง, ปวีตรา สายจริงวงศ์, สวรรส จันทุนทด, ลักษณะ วรศติกุล, ธวัช ชำวัน, “สาเหตุและผลกระทบของมลพิษทางอากาศ,” [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.rmuti.ac.th/user/thanyaphak/Web%20EMR/Web%20IS%20Environmen%20gr.4/Mola2.html>. [วันที่เข้าถึง 11 เมษายน 2562].
- [2] W. Cook, “History of the TSP,” [Online]. Available: www.math.uwaterloo.ca/tsp/history/index.html. [Accessed 11 April 2019].
- [3] V. V. Burkhovetskiy and B. Y. Steinberg, “Parallelizing an exact algorithm for the traveling salesman problem,” *Procedia Computer Science.*, vol. 119, pp. 97-102, 2017.
- [4] J. Kinable, B. Smeulders, E. Delcour, and F. C. R. Spijksma, “Exact algorithms for the equitable traveling salesman problem,” *European Journal of Operational Research.*, vol. 261, pp. 475-485, 2017.
- [5] F. J. Ahlers, W. D. Carlo, C. Fleiner, L. Godwin, M. Keenan, R. D. Nath, et al., “Differential Evolution (DE),” [Online]. Available: <https://www1.icsi.berkeley.edu/~stom/code.html#matl>. [Accessed 11 April 2019]
- [6] X. Wang and G. Xu, “Hybrid differential evolution algorithm for traveling salesman problem,” *Procedia Engineering.*, vol. 15, pp. 2716-2720, 2011.
- [7] V. Cacchiani, C. C. Bolton, J. Escobar, L. M. E. Falcón, R. Linfati, and P. Toth, “An iterated local search algorithm for the pollution traveling salesman problem,” *AIRO Springer Series.*, vol. 1, pp. 83-91, 2018.

**การประยุกต์ใช้ข้อมูลหลายปัจจัยเชิงพื้นที่และเวลา ร่วมกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์
ด้วยวิธีการแสดงผลข้อมูล สำหรับการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉิน**

ภาคินัย ชัยเจริญวุฒิ¹, สุริยพงษ์ นิลสังข์², พรศักดิ์ อรรถวานิช³ และ ชุมพล ยวงใย^{4*}

^{1,2,4*} สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

³ วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก วิทยาเขตบางนา 298 ถ.สรรพาวุธ แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

Received: 5 February 2020; Revised: 3 March 2020; Accepted: 4 March 2020

บทคัดย่อ

การให้บริการการแพทย์ฉุกเฉินมีความสำคัญอย่างมากในการช่วยเหลือผู้ได้รับบาดเจ็บหรือผู้ประสบเหตุจากสถานที่เกิดเหตุ ไม่ว่าจะเป็นภัยจากมนุษย์หรือภัยจากธรรมชาติ ดังนั้นการเข้าถึงผู้ที่ได้รับบาดเจ็บได้อย่างรวดเร็วจึงมีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งการเข้าถึงพื้นที่เกิดเหตุจะมีระยะเวลาในการตอบสนองที่ยอมรับได้นั้นคือไม่เกิน 8 นาที เพื่อเพิ่มโอกาสรอดชีวิตหรือลดการพิการของผู้ได้รับบาดเจ็บ เพราะฉะนั้นการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลเพื่อให้เข้าถึงพื้นที่เกิดเหตุได้อย่างรวดเร็วจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งในปัจจุบันการบริการการแพทย์ฉุกเฉินจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินตามโรงพยาบาล โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญหรือข้อมูลในอดีตในการตัดสินใจ ในการศึกษานี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์และข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาในการแสดงถึงความหนาแน่นของแต่ละพื้นที่ในการรับบริการการแพทย์ฉุกเฉินด้วยแผนที่ความร้อน (Heatmap Visualization) ด้วยวิธีการประเมินความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนล และนำผลลัพธ์ซึ่งมีความหนาแน่นสูงมาก สูง และปานกลาง ในการบังคับเลือกพื้นที่ดังกล่าวในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือเรียกว่าแบบจำลองครอบคลุม (Covering model) ในการตัดสินใจการจัดสรรจุดจอตรบนพื้นที่กรุงเทพมหานครซึ่งเป็นกรณีศึกษาในครั้งนี้ สำหรับผลที่ได้รับจากกรณีศึกษานี้คือวิธีการที่นำเสนอจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินที่มีเกินความจำเป็น ร้อยละ 20 เพิ่มความครอบคลุมพื้นที่ ร้อยละ 2.72 และเพิ่มความครอบคลุมการเรียกใช้บริการเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1

คำสำคัญ: การบริการการแพทย์ฉุกเฉิน, แบบจำลองครอบคลุม, การประเมินความหนาแน่นแบบเคอร์เนล, ข้อมูลสื่อสังคมออนไลน์, ข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลา

* Corresponding author: E-mail: Chumpol.yu@kmitl.ac.th

^{1,2,4*} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

³ สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

Multiple Spatial-Temporal factors with Social Network information using Data Visualization for Emergency Ambulance Base Locations

Pakinai Chaicharoenwut¹, Suriyaphong Nilsang², Pornsak Attavanich³ and Chumpol Yuangyai^{4*}

^{1,2,4*} King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thanon Chalong Krung Lat Krabang, Bangkok, 10520

³ Southeast Bangkok College, 298 Sunphawut Road, Bangna District Bangkok, 10260

Received: 5 February 2020; Revised: 3 March 2020; Accepted: 4 March 2020

Abstract

The Emergency Medical Service (EMS) are very important for helping wounded people or victims from the situation either from people or the natural disasters. Hence, the quickly access to those who have been a wounded people is very significant. To access into the scene of the accident have time to acceptable the response time is 8 minutes to increase more opportunities or reduce disability of wounded people. Therefore, allocating an emergency ambulance base for quick access to the accident area is very important. Currently, the emergency medical service allocates emergency ambulance base at hospitals. By using experts or past information to make decisions In this study, the application of data from social media and spatial data and time showing the thickness of each area for receiving emergency medical services using heatmap Visualization by the kernel density estimation method And use the highest-density high-density and medium-density results to force the selection in the mathematical model, also known as the covering model, in deciding the emergency ambulance base allocation in Bangkok, which is a case study in This time As for the results from this case study, the method proposed is to reduce emergency parking spaces that are more than necessary by 20%, increase coverage area of 2.72%, and increase service coverage by 1%.

Keywords: Emergency Medical Service, Covering Model, Kernel Density Estimation, Social Network Data, Spatial-Temporal Data

* Corresponding author: E-mail: Chumpol.yu@kmitl.ac.th

^{1,2,4*} Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

³ Industrial Management Technology Faculty of Science and Technology, Southeast Bangkok College

1. คำนำ

ปัจจุบันข้อมูลที่มีประโยชน์ถูกสื่อสารกันอย่างรวดเร็วทางอินเทอร์เน็ตผ่านสื่อสังคมออนไลน์มีทิศทางเพิ่มขึ้นอย่างมาก ส่งผลให้ข้อมูลนั้นมีจำนวนขนาดใหญ่ซึ่งเป็นข้อมูลแฝงที่อยู่ในรูปของความคิดเห็น การแจ้งเตือนต่าง ๆ เช่น แจ้งเตือนอุบัติเหตุ ความรุนแรงของอุบัติเหตุ แจ้งเตือนภัยพิบัติ ฯลฯ ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพและมีความรวดเร็วในการสื่อสาร มีปริมาณมาก และข้อมูลแทบจะเป็นข้อมูลตามเวลาที่เกิดจริง [1] โดยข้อมูลประเภทนี้สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์หาความสัมพันธ์ หรือการคาดการณ์ล่วงหน้าโดยใช้การแปลงจากข้อมูลจากคุณภาพมาเป็นเชิงปริมาณซึ่งข้อมูลจากความคิดเห็น ที่แฝงไปด้วยปัจจัยต่าง ๆ [2] สอดคล้องกับงานวิจัยของ [3] พบว่าสื่อสังคมออนไลน์จากทวิตเตอร์ (Twitter) เป็นแหล่งข้อมูลมีความรวดเร็วและสามารถใช้ในการบริหารจัดการเหตุการณ์หรือใช้ในการสร้างการตัดสินใจในสถานการณ์ฉุกเฉินได้อย่างดี ในการศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ และข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems, GIS) โดยเลือกกรณีศึกษาจากการให้บริการการแพทย์ฉุกเฉิน ซึ่งให้บริการทางด้านการแพทย์ให้กับผู้ป่วย ผู้ประสบอุบัติเหตุ หรือผู้ประสบอุบัติเหตุต่าง ๆ เป็นต้น

การให้บริการการแพทย์ฉุกเฉิน (Emergency Medical Service, EMS) จะให้ความสำคัญกับระยะเวลาในการเข้าถึงที่เกิดเหตุ (Response Time) หลังจากการรับแจ้งเหตุฉุกเฉินโดยมีระยะเวลาที่ไม่ควรเกิน 8 นาที [4] มีจุดประสงค์หลักคือการช่วยชีวิตผู้ประสบเหตุในพื้นที่เกิดเหตุโดยการดูแลรักษาเบื้องต้นแก่ผู้ประสบเหตุและการเคลื่อนย้ายผู้ที่ประสบเหตุไปยังโรงพยาบาลให้เร็วที่สุด จากการศึกษาพบว่าปัญหาสำคัญของระบบการแพทย์ฉุกเฉิน คือ การเข้าถึงที่เกิดเหตุ ซึ่งการเข้าถึงที่เกิดเหตุอย่างล่าช้า นั้นจะส่งผลต่อโอกาสการเสียชีวิตและพิการของผู้ประสบเหตุ เพราะฉะนั้นการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินให้มีความเหมาะสมและใกล้เคียงกับพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่จะต้องการการบริการการแพทย์ฉุกเฉินเพื่อลดเวลาการเดินทางจึงมี

ความสำคัญอย่างมากเพื่อเพิ่มโอกาสรอดชีวิตหรือพิการของผู้ประสบเหตุ

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษางานวิจัยพบว่า การบริการการแพทย์ฉุกเฉินในปัจจุบันจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน จากความต้องการการรับบริการของผู้ป่วย [5] และจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในการกำหนดพื้นที่ในการระบุตำแหน่งจุดจอด แต่เนื่องจากมีปัจจัยหลายส่วนที่ส่งผลต่อการดำเนินการของระบบการบริการแพทย์ฉุกเฉินที่ไม่ถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจซึ่งอาจทำให้ไม่ครอบคลุมกับความต้องการ สำหรับระบบการบริการแพทย์ฉุกเฉินของกรุงเทพมหานครประเทศไทย พบว่าระยะเวลาการตอบสนอง ตั้งแต่ปี 2557-2559 ร้อยละ 99 ของระยะเวลาตอบสนองมีค่ามากกว่า 10 นาที ซึ่งเกินกว่าเวลามาตรฐานและอาจส่งผลต่อโอกาสรอดชีวิตของผู้ป่วยได้ ปัญหาเกิดจากการที่การจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินที่ไม่ได้คำนึงข้อมูลด้านความเสี่ยงเชิงพื้นที่ ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลจำนวนชุมชนในพื้นที่ จำนวนตลาด เป็นต้น หรือข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์

สำหรับการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ร่วมกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์เพื่อใช้ในการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน กรณีศึกษาพื้นที่กรุงเทพมหานคร ในการศึกษาครั้งนี้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นระบบข้อมูลข่าวสารทางภูมิศาสตร์หรือข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลา (spatial-temporal data) บนคอมพิวเตอร์ซึ่งแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะของข้อมูลที่แตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่มาแสดงในรูปแบบของแผนที่เพื่อแสดงผลลัพท์บนพื้นที่ที่ทำการศึกษา งานวิจัยส่วนมากนิยมประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้านการวางแผนเมือง การหาความเสี่ยงการเกิดภัยพิบัติ การเกิดอาชญากรรม และการกำหนดพื้นที่บริการสาธารณะ เป็นต้น [6] สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้นำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์โดยใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ในการคำนวณหาความหนาแน่นของข้อมูลเสี่ยงเชิงพื้นที่ ด้วยวิธีการประเมินความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนล เนื่องจากการศึกษาของ [7] นำเสนอการประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนลเพื่อใช้ในการสร้างแผนที่ความร้อนเพื่อวางแผนการตั้งจุด

พื้นที่บริการเพลิงไหม้ และตอบสนองความเสี่ยงของการเกิดเพลิงไหม้จากข้อมูลเหตุการณ์ฉุกเฉิน

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ได้นำการประเมินความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนลเพื่อใช้ในการสร้างแผนที่ความเสี่ยงต่อการรับบริการทางการแพทย์ฉุกเฉิน ร่วมกับการนำข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้จากสื่อสังคมออนไลน์ดังที่กล่าวในตอนต้นว่าในปัจจุบันการสื่อสารรวดเร็วมีข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการช่วยตัดสินใจ หรือ ใช้ในการวางแผนในด้านต่าง ๆ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกการนำข้อมูลจากทวีตเตอร์มาเป็นแหล่งข้อมูลในการศึกษา การศึกษาของ [8] ได้นำเสนอการใช้ข้อมูลจากทวีตเตอร์ร่วมกับการประเมินความหนาแน่นแบบเคอร์เนลในการสร้างแผนที่เพื่อนำเสนอข้อมูลที่เป็นเหตุการณ์ภัยพิบัติ ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ได้นำข้อมูลสื่อสังคมออนไลน์ หรือข้อมูลจากทวีตเตอร์มาใช้ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินในกรณีศึกษา

สรุปขอบเขตของกรณีศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนล ร่วมกับการใช้ข้อมูลจากทวีตเตอร์ ในการสร้างแผนที่ความเสี่ยงเพื่อใช้ในการตัดสินใจ และจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์

เนื่องจากในปัจจุบันสื่อสังคมออนไลน์ถูกใช้อย่างแพร่หลายในทุกชนชั้นทางสังคม โดยส่วนใหญ่จะใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลหรือเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ผิดปกติ ยกตัวอย่างเช่น การเกิดอุบัติเหตุ การเกิดภัยพิบัติไม่ว่าจากมนุษย์หรือจากธรรมชาติ เป็นต้น จากการศึกษาพบว่ามีการนำข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ซึ่งมีลักษณะข้อมูลแบบทันทีทันใด (Real-time data) มาประยุกต์ใช้กับการวางแผนในด้านต่าง ๆ งานวิจัยของ [3] กล่าวว่าทวีตเตอร์ถูกนำไปใช้ในการจัดการและวิเคราะห์ปัญหาในสถานการณ์ฉุกเฉิน และได้แบ่งเป็นหัวข้อหลัก 5 หัวข้อได้แก่ การตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติ การประเมินความเสี่ยงการเกิดภัยพิบัติ การวางแผนการตอบสนองต่อเหตุการณ์ฉุกเฉินและ

เป็นข้อมูลทั่วไปในการพิจารณาแต่ละเหตุการณ์ จะเห็นได้ว่ามีการนำสื่อสังคมออนไลน์มาใช้ในการจัดการเหตุการณ์ฉุกเฉินและประเมินความเสี่ยงเป็นจำนวนมาก จึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ โดยจะนำเสนอการนำปัจจัยเสี่ยงเชิงพื้นที่และเวลามาหาค่าความหนาแน่นเพื่อนำประยุกต์ใช้ในรูปแบบจำลองครอบคลุมเพื่อช่วยในการตัดสินใจการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินของระบบการแพทย์ฉุกเฉิน

2.2. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉิน

ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงถึงปัจจัยส่งผลต่อการเรียกใช้บริการบริการการแพทย์ฉุกเฉิน [9][10] ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้แบ่งปัจจัยตามลักษณะของข้อมูลเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัจจัยที่ได้มาจากสื่อสังคมออนไลน์และปัจจัยเชิงพื้นที่และเวลา จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่สกัดมาจากสื่อสังคมออนไลน์นิยมใช้ในการแจ้งเหตุการณ์ต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น การใช้สื่อสังคมออนไลน์เกี่ยวกับการเกิดพายุฮากิบิสที่ประเทศญี่ปุ่น เพื่อใช้ในการกระจายข่าวสารและแจ้งเหตุ โดยนำข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ใช้ในการบริหารจัดการกับเหตุการณ์ฉุกเฉิน

2.3 การประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนล (Kernel Density Estimation, KDE)

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการประมาณค่าความหนาแน่นในเชิงพื้นที่ของระหว่างจุด 2 จุด โดยเป็นหลักการของการวิเคราะห์เชิงปริมาณทางภูมิศาสตร์ [11] ซึ่งเป็นการนำข้อมูลของแต่ละพื้นที่ซึ่งมีลักษณะเป็นจุดมาใช้ในการวิเคราะห์หาความหนาแน่นในพื้นที่โดยรูปที่ 1 แสดงแผนภาพการประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนลบนพื้นที่ที่ศึกษา [12][13] ได้นำวิธี KDE มาใช้ในการประเมินความเสี่ยงของการเกิดอาชญากรรมในพื้นที่ที่สนใจ โดยใช้ข้อมูลของการเกิดอาชญากรรมในแต่ละพื้นที่ในการสร้างแผนที่ความร้อน (hotspot) ซึ่งจะแบ่งพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการเกิดอาชญากรรมสูงและต่ำ ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของ [10] ที่ได้กำหนดค่าสีจากพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการรับบริการรพพยาบาลฉุกเฉินตามอุณหภูมิของสีแดงต่าง

กัน [14] ได้นำเสนอขั้นตอนของการประมาณค่าความหนาแน่นออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1.1. กำหนดตารางกริด (Raster) หรือพื้นที่ที่ต้องการศึกษาและการกระจายตัวของจุด

1.2. คำนวณระยะห่างของแต่ละจุด โดยคำนวณหาระยะห่างของแต่ละจุด (Radius) จากนั้นจะเชื่อมจุดอื่นด้วยระยะห่างของช่วงความถี่ (Bandwidth) ซึ่งการประมาณค่าความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนลจะให้ความลำดับสำคัญกับเหตุการณ์ที่อยู่ใกล้จุดศูนย์กลางมากหรือจุดอ้างอิงมากที่สุด โดยมีสูตรที่ใช้ในการประมาณค่าดังต่อไปนี้

$$\hat{\lambda}(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{s-s_i}{\tau}\right) \quad (1)$$

โดยที่ $\hat{\lambda}(s)$ คือ ค่าประมาณความหนาแน่นของจุดบนพื้นที่ s

s_i คือ ค่าสังเกตบนพื้นที่ i

k คือ ฟังก์ชันค่าถ่วงน้ำหนักแบบเคอร์เนล

τ คือ ระยะห่างของความถี่ (Bandwidth)

1.3 ค่าของแต่ละตารางกริดจะถูกคำนวณโดยการรวมค่าของตารางกริดที่อยู่ใกล้กันในแต่ละพื้นที่

จากการศึกษาพบว่าวิธี KDE นิยมใช้ในการประเมินความเสี่ยงเชิงพื้นที่ไม่ว่าจะเป็นเรื่องพื้นที่เสี่ยงต่อการก่ออาชญากรรม การเกิดเพลิงไหม้ การสาธารณสุขสุข แต่อย่างไรก็ตามพบว่าวิธีการ KDE มาใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดเหตุฉุกเฉินด้านสุขภาพยังไม่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้นำวิธี KDE มาใช้ในการสร้างแผนที่ความเสี่ยงเชิงพื้นที่และการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในการกำหนดพื้นที่บริการทางการแพทย์ฉุกเฉิน

2.4 การบริการทางการแพทย์ฉุกเฉิน

การบริการทางการแพทย์ฉุกเฉิน เป็นหน่วยงานที่ให้บริการทางการแพทย์ก่อนนำส่งโรงพยาบาล (pre-hospital) มีหน้าที่ในการนำส่งผู้ป่วยและรักษาพยาบาลผู้ป่วยเบื้องต้นอย่างเหมาะสมในพื้นที่ที่ได้รับแจ้งเหตุและเตรียมพร้อมต่อเหตุการณ์ [9] และการที่โรงพยาบาลฉุกเฉินสามารถเข้าถึงพื้นที่เกิดเหตุได้อย่างรวดเร็วนั้นจะเป็นช่วยให้เพิ่มโอกาสจากการเสียชีวิตหรือพิการ จากการศึกษพบว่า

งานวิจัยที่เกี่ยวกับปัญหาการตอบสนองในเหตุการณ์ฉุกเฉินมีเพิ่มมากขึ้น นักวิจัยต่างศึกษาและพัฒนาการวางแผนการทำงานของรถพยาบาลอย่างหลากหลาย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าแบบจำลองครอบคลุมซึ่งนำเสนอโดย [15] หลังจากนั้นได้มีการศึกษาเพิ่มจากแบบจำลองครอบคลุมพื้นฐาน โดย [16] ได้นำเสนอการจัดสรรจุดจอดรถฉุกเฉินร่วมกับสื่อสังคมออนไลน์ ได้บังคับเลือกพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์ผิดปกติจากแผนภูมิควบคุมในการบังคับให้มีจุดจอดรถพยาบาลมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขบังคับดังสมการต่อไปนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Maximize} \quad \sum_{i=1} D_i y_i \quad (2)$$

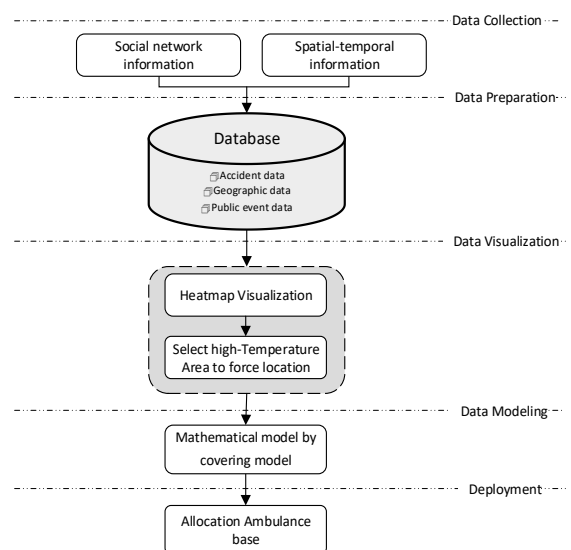
เงื่อนไขบังคับ

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq y_i, \quad i \in V \quad (3)$$

$$\sum_{j \in W_i} x_j \leq P \quad (4)$$

$$\beta_j \leq x_j \quad ; j \in W \quad (5)$$

ซึ่งในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้นำเสนอการปรับปรุงแบบจำลองครอบคลุมของ [9] ร่วมกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์และข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาในการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน



รูปที่ 1 กรอบแนวความคิดที่นำเสนอ

3. กรอบแนวความคิดที่นำเสนอ

สำหรับกรอบแนวความคิดในครั้งนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 ส่วนได้แก่ 1. การเก็บรวบรวมข้อมูล 2. การเตรียมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ 3. การนำเสนอข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจ 4. การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูล และ 5. การนำไปใช้ประโยชน์ ในส่วนถัดไปจะอธิบายถึงกรอบแนวความคิดตามลำดับที่กล่าวมาข้างต้น

3.1. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษานี้ได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 แหล่งข้อมูลได้แก่ ข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์และข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลา สำหรับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ในครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมจาก ทวิตเตอร์ จากผู้ใช้ต่าง ๆ ที่แจ้งเหตุการณ์ผิดปกติต่าง ๆ เช่น การเกิดอุบัติเหตุ การจัดกิจกรรมสาธารณะ เป็นต้น ซึ่งใช้การดึงข้อมูลจากทวิตเตอร์ API ซึ่งจะมีการแจ้งเหตุการณ์ต่าง สำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาได้จากเว็บไซต์ต่าง ๆ ทั้งภาครัฐเอกชน โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 แหล่งเพื่อใช้ในขั้นตอนต่อไป

3.2. การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

เนื่องจากในขั้นตอนที่ 3.1 ข้อมูลที่ได้มานั้นยังไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ทันทีขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมข้อมูลเพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแบ่งข้อมูลที่ได้จากสื่อสังคมออนไลน์และข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้อมูลจำนวนการเกิดอุบัติเหตุ ข้อมูลเชิงภูมิศาสตร์ และข้อมูลการจัดกิจกรรมสาธารณะ สำหรับข้อมูลที่ได้จากสื่อสังคมออนไลน์นั้นข้อมูลที่ได้รับจะมีรูปแบบข้อความ (Text) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้นำการใช้ การวิเคราะห์ข้อความ (Text Analysis) เพื่อระบุว่าเหตุการณ์ที่เกิดการแจ้งเตือนขึ้น จำนวนครั้งที่เกิด และเกิดขึ้นบนพื้นที่ใด โดยใช้การระบุพื้นที่เกิดเหตุจากถนนที่เกิดเหตุ จากนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านการเตรียมความพร้อมข้อมูลไปใช้ในการประเมินความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนล และใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป

3.3. การนำเสนอข้อมูล (Data Visualization)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำการประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนลมาด้วยโปรแกรมสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ โดยนำข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ และข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลา ซึ่งข้อมูลจะมีลักษณะเป็นจุดในแต่ละพื้นที่ เช่น โรงพยาบาล สถานที่จัดงานสาธารณะ จุดที่จัดชุมชน เป็นต้น การประเมินความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนลจะคำนวณความหนาแน่นของจุดในพื้นที่พื้นที่หนึ่ง จากนั้นจะคำนวณความหนาแน่นของข้อมูลเชิงพื้นที่ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะได้ค่าความหนาแน่นหรือค่าความเสี่ยงในการรับบริการจากการบริการการแพทย์ฉุกเฉิน ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบของแผนที่ ความร้อน (Heatmap Visualization) พื้นที่สีแดงแสดงพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงมาก พื้นที่สีส้มแสดงพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูง พื้นที่สีเหลืองแสดงพื้นที่ที่มีความหนาแน่นปานกลาง พื้นที่สีแสดงพื้นที่ที่มีความหนาแน่นต่ำ และพื้นที่สีเขียวจะแสดงถึงพื้นที่ความหนาแน่นต่ำมาก โดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงมาก ความเสี่ยงสูง และ ความเสี่ยงปานกลาง จะถูกเลือกเป็นพื้นที่จัดสรรจุดจอตรพยาบาลการแพทย์ฉุกเฉินร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในขั้นตอนต่อไป

3.4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Data Modeling)

จากขั้นตอนที่ 3.3 จะได้รับพื้นที่ที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินจากการวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงพื้นที่แล้วโดยจะถูกกำหนดพื้นที่นั้นลงในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือที่เรียกว่าแบบจำลองครอบคลุม ในการศึกษานี้ได้ปรับปรุงแบบจำลองครอบคลุมที่จะบังคับเลือกพื้นที่ในการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลในแบบจำลอง นำเสนอโดย [9] โดยปรับปรุงเงื่อนไขบังคับจากการบังคับเลือกพื้นที่จากแผนภูมิความคมเป็นการบังคับเลือกพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงมาก สูงและปานกลางตามลำดับ โดยแบบจำลองที่ปรับปรุงโดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขบังคับดังสมการต่อไปนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Maximize } \sum_{i=1} D_i y_i \quad (6)$$

เงื่อนไขบังคับ

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq y_i, \quad i \in V \quad (7)$$

$$\sum_{j \in W_i} x_j \leq P \quad (8)$$

$$\gamma_j - (R-1) \leq R x_j \quad ; j \in W \quad (9)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad ; j \in W \quad (10)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad ; i \in V \quad (11)$$

คำอธิบายเซตและดัชนี:

V	= เซตของพื้นที่
W	= เซตของตำแหน่งจุดจอดที่เป็นไปได้
i	= ดัชนีบนพื้นที่; $i \in V$
j	= ดัชนีตำแหน่งจุดจอดที่เป็นไปได้; $j \in W$
D_i	= ค่าความต้องการบนพื้นที่ i
P	= จำนวนตำแหน่งจุดจอดที่เป็นไปได้
γ_j	= ระดับของค่าความหนาแน่นบนพื้นที่ j
R	= ระดับค่าความหนาแน่นบนพื้นที่ที่ยอมรับได้
x_j	= binary decision variable (0,1)
y_i	= binary decision variable (0,1)

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับในแบบจำลองครอบคลุมโดย (6) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อครอบคลุมค่าความต้องการบนพื้นที่มากที่สุด สำหรับเงื่อนไขบังคับที่ (7) จะรับประกันว่าพื้นที่จะถูกครอบคลุมเฉพาะในกรณีที่จุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินอย่างน้อย 1 ฐานตั้งอยู่ภายในระยะทางมาตรฐาน เงื่อนไขที่ (8) กำหนดจำนวนจุดจอดรถที่ถูกระบุจะมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนจุดจอดรถพยาบาลที่เป็นไปได้ เงื่อนไขที่ (9) พื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงจะถูกบังคับให้มีจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน เงื่อนไขที่ (10) เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารีที่แสดงถึงพื้นที่ที่ถูกจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินซึ่งมีค่าเป็น 1 เมื่อ

ถูกจัดสรรและเป็น 0 เมื่อไม่ถูกจัดสรร และ (11) เป็นตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารีที่ถูกระบุด้วยจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินซึ่งมีค่าเป็น 1 เมื่อถูกพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมและเป็น 0 เมื่อไม่ถูกครอบคลุม

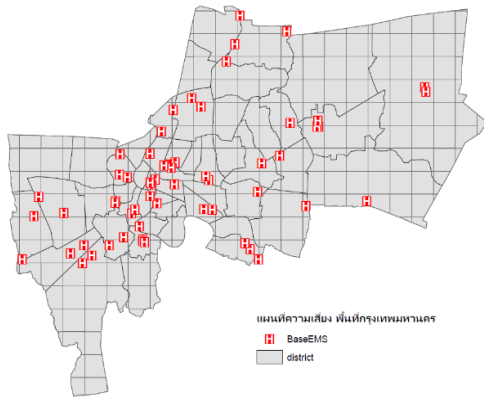
3.5. การนำไปใช้ประโยชน์ (Deployment)

หลังจากการประมวลผลจากแบบจำลองครอบคลุมจะได้ตำแหน่งที่ต้องจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน โดยใช้ข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์และข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาให้การจัดสรรจุดจอดรถฉุกเฉินเพื่อช่วยในการตัดสินใจในวางแผนของหน่วยงานบริการการแพทย์ฉุกเฉินซึ่งแสดงขั้นตอนการศึกษาดังรูปที่ 1

4. กรณีศึกษา

4.1 พื้นที่ศึกษา

ในกรณีศึกษาครั้งนี้เลือกพื้นที่กรุงเทพมหานครเนื่องจากเมืองหลวงของประเทศไทย มีจำนวนพื้นที่ทั้งหมด 1,583.26 ตารางกิโลเมตร ซึ่งพบว่าเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรมากที่สุดในประเทศ [17] และจากผลสำรวจของ [18] พบว่าพื้นที่กรุงเทพมหานครมีปัญหาการจราจรหนาแน่นอันดับต้น ๆ ของโลก จากข้อมูลเบื้องต้นจึงเลือกพื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่กรณีศึกษา สำหรับกรณีศึกษาในครั้งนี้จะทำการเปรียบเทียบผลระหว่างการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินที่ใช้ในปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอ ซึ่งจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินบนพื้นที่กรุงเทพมหานครจากการรายงานระบบสารสนเทศสถาบันการแพทย์ฉุกเฉิน [19] พบว่ามีทั้งหมดจำนวน 60 จุดบริการ โดยรูปที่ 2 แสดงจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินบนพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นที่ตั้งของโรงพยาบาลทั้งของภาครัฐ และเอกชน จากการรายงานการเรียกใช้บริการการแพทย์ฉุกเฉินเฉลี่ยแต่ละพื้นที่ในเดือนพฤษภาคม มีการดำเนินงาน 183 ครั้ง โดยข้อมูลจะถูกการเรียกใช้บริการการแพทย์ฉุกเฉินนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินด้วยวิธีการที่นำเสนอ กับจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินที่มีอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2 จุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินบนพื้นที่กรุงเทพมหานคร

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

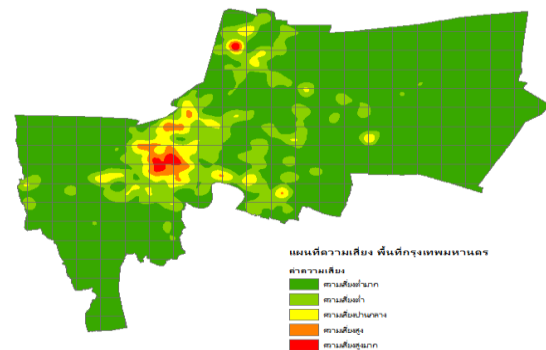
ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจาก 2 แหล่งข้อมูลได้แก่ ข้อมูลสื่อสังคมออนไลน์ และข้อมูลจากหน่วยงานราชการ ซึ่งเป็นข้อมูลปัจจัยเสี่ยงที่จะรับบริการทางการแพทย์ฉุกเฉินในพื้นที่กรุงเทพมหานครจากหน่วยงานราชการและปัจจัยที่ได้จากสื่อสังคมออนไลน์เพื่อใช้ในการสร้างแผนที่ความเสี่ยง และใช้ในแบบจำลองครอบคลุมเพื่อจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัยเสี่ยง

ประเภท	ปัจจัย	จำนวน
ข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลา	1. จุดแยกทางมีความเสี่ยง	81 แยก
	2. ที่ตั้งชุมชนจำนวน	2,011 ชุมชน
	3. สถานีรถไฟ	30 สถานี
	4. สถานีรถไฟใต้ดิน	18 สถานี
	5. ที่ตั้งตลาด	148 แห่ง
	6. จุดเสี่ยงน้ำท่วม	323 จุด
	7. ที่ตั้งห้างสรรพสินค้า	127 แห่ง
ประเภท	ปัจจัย	จำนวน
สื่อออนไลน์	1. จำนวนอุบัติเหตุทางถนน	ระยะเวลา 1 เดือน
	2. จำนวนเหตุเพลิงไหม้	ระยะเวลา 1 เดือน
	3. จำนวนน้ำท่วม	ระยะเวลา 1 เดือน

4.3 การสร้างแผนที่ความเสี่ยงด้วยวิธีการประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนล

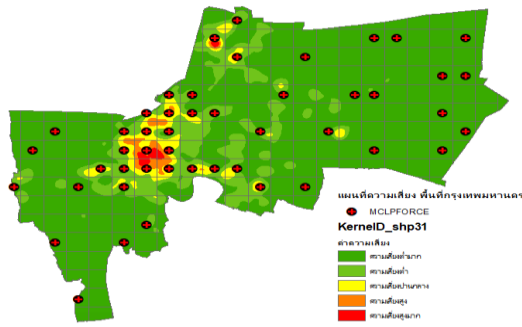
สำหรับการศึกษานี้ได้นำวิธีการประมาณความหนาแน่นเชิงพื้นที่แบบเคอร์เนลมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแผนที่ความเสี่ยง ด้วยโปรแกรมทางด้านภูมิสารสนเทศ (ArcMap) โดยกำหนดพื้นที่ทำการศึกษากทม. โดยแบ่งพื้นที่เป็นตารางกริดจำนวน 187 กริด กำหนดชั้นข้อมูลหลักคือโดยปัจจัยเสี่ยงเชิงพื้นที่ที่เก็บรวบรวมสร้างจุดบนพื้นที่แต่ละกริด จากนั้นใช้คำสั่ง Kernel Density ในการประมาณค่าความหนาแน่นในแต่ละพื้นที่ โดยกำหนด รัศมีของจุดเท่ากับ 150 เมตร และระยะห่างของความถี่ เท่ากับ 1,500 เมตร ผลลัพธ์ที่ได้คือแผนที่ความเสี่ยงและการกระจายตัวของปัจจัยเสี่ยงที่จะรับบริการจอตรพยาบาลฉุกเฉิน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนที่ความเสี่ยงบนพื้นที่กรุงเทพมหานคร

4.4 การจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินจากแบบจำลองครอบคลุมร่วมกับแผนที่ความเสี่ยง

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินด้วยแบบจำลองครอบคลุม MCLP-Force โดยกำหนดพื้นที่บังคับเลือกได้แก่พื้นที่ที่มีความเสี่ยงของการรับบริการทางการแพทย์ฉุกเฉินปานกลาง สูงและสูงมากจำนวน 29 พื้นที่ หลังจากการวิเคราะห์ผลด้วยแบบจำลองครอบคลุมเรียบร้อยแล้วจึงนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ได้รับซึ่งเป็นค่าที่แสดงการตัดสินใจว่าพื้นที่ใดสมควรที่จะได้รับการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินแสดงผลแผนที่ความเสี่ยงเพื่อใช้ในการตัดสินใจต่อไปโดยรูปที่ 4 แสดงผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองครอบคลุมโดยมีจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินบนพื้นที่กรุงเทพมหานครทั้งสิ้น 48 จุด



รูปที่ 4 จุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินด้วยวิธีการที่นำเสนอ

4.5 ผลลัพธ์

ในส่วนนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกำหนดจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉิน (MCLP-Force) กับการกำหนดจุดจอตรพยาบาลที่ใช้ในปัจจุบัน (EMS-Base) โดยศึกษาในพื้นที่กรุงเทพมหานครซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

หัวข้อ	จำนวนจุดจอตร	จำนวนความต้องการที่ถูกครอบคลุม	พื้นที่ที่ถูกครอบคลุม (ตร.กม.)
ปัจจุบัน	60	182	1537.71
วิธีการที่นำเสนอ	48	183	1580.88
%การปรับปรุง	ลดลง 20%	เพิ่มขึ้น 1%	เพิ่มขึ้น 2.72%

จากตารางที่ 2 พบว่าจำนวนจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินที่ถูกจัดสรรด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอมีจำนวนลดลงจากการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินในปัจจุบันคิดเป็น ร้อยละ 20 จำนวนความต้องการการรับบริการที่ถูกครอบคลุมโดยในการศึกษานี้ได้กำหนดพื้นที่ให้บริการจากจุดจอตรระยะทาง 6 กิโลเมตรพบว่าวิธีการที่นำเสนอ มีค่าครอบคลุมความต้องการเพิ่มขึ้น 1 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์พบว่าวิธีการที่เสนอนั้นครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯ เพิ่มขึ้นคิดเป็น ร้อยละ 2.72 โดยมีระยะครอบคลุมพื้นที่รัศมี 6 กิโลเมตรเช่นกัน

5. อภิปรายและสรุปผล

5.1. อภิปรายผล

จากปัจจุบันการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินของหน่วยงานที่ให้บริการการแพทย์ฉุกเฉินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ของโรงพยาบาล [19] โดยมีลักษณะของการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินจากผู้เชี่ยวชาญ หรือ จากข้อมูลในอดีต ซึ่งมีข้อดีคือ มีกำลังพลที่พร้อมให้การให้บริการในการเข้าถึงพื้นที่ที่เกิดเหตุ มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่พร้อมในการให้บริการ ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการให้บริการซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเนื่องจากโรงพยาบาลเป็นสถานที่ตั้งที่แน่นอนทำให้อาจไม่สอดคล้องกับการเจริญเติบโตของเมือง หรือการจัดกิจกรรมสาธารณะ ที่มีความต้องการในการรับบริการจากรถพยาบาลฉุกเฉิน ในบางครั้งทำให้การเข้าถึงพื้นที่ที่เกิดเหตุได้ช้า สำหรับวิธีการที่นำเสนอได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาเป็นปัจจัยที่ใช้ในการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉิน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการตัดสินใจ ข้อดีของวิธีการที่นำคือ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจในการจัดสรรจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินเพื่อให้สอดคล้องกับการขยายตัวของเมืองหรือเหตุการณ์ผิดปกติต่าง ๆ จากผลที่ได้รับจากการศึกษานี้ ได้แสดงให้เห็นว่าการนำวิธีการที่นำเสนอมาประยุกต์ใช้ทำให้ลดจำนวนจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินที่มีในปัจจุบันได้ และสามารถครอบคลุมพื้นที่ศึกษาได้ดีกว่าการกำหนดจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินที่มีในปัจจุบันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [9][10][16]

สำหรับข้อจำกัดของการศึกษาที่นำเสนอได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นคือในบางครั้งอาจทำให้ลดจำนวนจุดจอตรพยาบาลฉุกเฉินมากเกินไป และอาจลดความมั่นใจของผู้รับบริการลงด้วย สำหรับในสถานการณ์จริงในแต่ละจุดจอตรพยาบาลจะมีรถที่ให้บริการมากกว่า 1 คัน แต่ในงานวิจัยนี้แบบจำลองที่นำเสนอพิจารณาในด้านกลยุทธ์การให้ตัดสินใจทำให้แต่ละจุดจอตรมีรถพยาบาลฉุกเฉิน

เพียง 1 คัน แต่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้เทียบเท่าจุดบริการที่มีรถพยาบาลฉุกเฉินในปัจจุบัน สำหรับงานวิจัยในอนาคต ปรับปรุงกระบวนการในการระบุพื้นที่เกิดเหตุจากทวีตเตอร์ให้มีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น

5.2 สรุปผล

การศึกษาในครั้งนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ร่วมกับข้อมูลเชิงพื้นที่และเวลาในการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน โดยวิธีการที่นำเสนอแสดงข้อมูลความหนาแน่นของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการรับบริการการแพทย์ฉุกเฉินในรูปแบบของแผนที่ความร้อน ซึ่งจะแสดงความหนาแน่นของปัจจัยในแต่ละพื้นที่หลังจากนั้นได้เลือกพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงมาก สูง และปานกลางเป็นพื้นที่บังคับให้มีการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉินด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (MCLP-Force) เพื่อให้ครอบคลุมกับความต้องการในการเรียกใช้บริการ วิธีการที่นำเสนอจะสามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจของหน่วยงานที่ให้บริการการแพทย์ฉุกเฉินให้ตัดสินใจในการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลได้ง่ายยิ่งขึ้นโดยอาศัยข้อมูลต่าง ๆ และช่วยทำให้การเข้าถึงพื้นที่เกิดเหตุได้อย่างรวดเร็วและเพิ่มโอกาสในการรอดชีวิตหรือพิการมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักยุทธศาสตร์, สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์, (องค์การมหาชน), และ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, "รายงานผลการสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ปี 2560," [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://www.etda.or.th/publishing-detail/thailand-internet-user-profile-2017.html>. [วันที่เข้าถึง 10 พฤษภาคม 2019].
- [2] สุกิจ คูชัยสิทธิ์, "การเข้าสู่โลกยุคใหม่ของข้อมูล 'บิ๊กดาต้า'," *วารสารนักบริหาร*, ปีที่ 33, เล่มที่ 11, น. 22–28, 2556.
- [3] M. Martínez-Rojas, M. C. Pardo-Ferreira and J. C. Rubio-Romero, "Twitter as a tool for the management and analysis of emergency situations: A systematic literature review," *International Journal of Information Management*, vol. 43, pp. 196–208, 2018.
- [4] C. S. Lim, R. Mamat and T. Braunl, "Impact of ambulance dispatch policies on performance of emergency medical services," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 2, pp. 624–632, 2011.
- [5] X. Li, Z. Zhao, X. Zhu and T. Wyatt, "Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: A review," *Mathematical Methods of Operations Research*, vol. 74, no. 3, pp. 281–310, 2011.
- [6] P. Tran, R. Shaw, G. Chantry and J. Norton, "GIS and local knowledge in disaster management: A case study of flood risk mapping in Viet Nam," *Disasters*, vol. 33, no. 1, pp. 152–169, 2009.
- [7] J. M. Krisp and O. Špatenková, "Kernel density estimations for visual analysis of emergency response data," in *Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management*, Berlin, Springer, 2010, pp. 395–408.
- [8] Y. Lu, X. Hu, F. Wang, S. Kumar, H. Liu and R. Maciejewski, "Visualizing social media sentiment in disaster scenarios," in *Proceedings*

- of the 24th International Conference on World Wide Web*, Florence Italy, 2015.
- [9] S. Nilsang, C. Yuangyai, C. Y. Cheng and U. Janjarassuk, "Locating an ambulance base by using social media: a case study in Bangkok," *Annals of Operations Research.*, vol. 283, pp. 1-20, 2018.
- [10] P. Chaicharoenwut, J. Koiwanit, P. Changpetch, S. Buatongkue and C. Yuangyai, "Integrating spatial-temporal risk factors for an ambulance allocation strategy: a case study in Bangkok," in *MATEC Web of Conferences*, 2018.
- [11] B. W. Silverman, *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, New York: Chapman and Hall, 1986.
- [12] M. Yiampisan and M. Srivanit, "Using the kernel density estimation surface for criminal pattern: a case study in Phranakhon district, Bangkok," *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, vol. 7, pp. 87-102, 2010.
- [13] T. Srithamarong, "Crime risk area assessment based geo-spatial statisitcs," Master of Science Program in Environmental Science, Silpakorn University, 2016.
- [14] G. Borruso, "Network density estimation: A GIS approach for analysing point patterns in a network space," *Transactions in GIS.*, vol. 12, no. 3, pp. 377-402, 2008.
- [15] C. Toregas, R. Swain, C. ReVelle and L. Bergman, "The location of emergency service facilities," *Operations Research.*, vol. 19, no. 6, 1971.
- [16] S. Nilsang, "Allocation strategy for an ambulance base under traffic congestion," in *MATEC Web of Conferences*, 2018.
- [17] สำนักยุทธศาสตร์และประเมินผล, "สถิติ 2559 กรุงเทพมหานคร," กรุงเทพมหานคร, 2559.
- [18] INRIX, "Inrix_Trafficcorecard_Global_En_Lr-2017," [Online]. Available: https://inrix.com/wp-content/uploads/2018/01/inrix_trafficcorecard_global_en_lr-2017.pdf. [Accessed 10 May 2019].
- [19] กรมการแพทย์ฉุกเฉิน, "ข้อมูลทรัพยากรพื้นฐาน ที่ขึ้นทะเบียนในระบบสารสนเทศการแพทย์ฉุกเฉิน," [ออนไลน์]. แหล่งข้อมูล: http://report.niems.go.th/niemsdwh/portal_link.html. [วันที่เข้าถึง 12 ตุลาคม 2562].

การแก้ปัญหการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ ด้วยวิธีการสร้างสดมภ์

รัฐพล สังคะสุข¹, ฐิติรัตน์ วิวิธเกียรรวงศ์^{2*}, เบญจพร พวงจำปี³, ศรินทิพย์ อนุรักษ⁴,
สหชาติ เลิศศิริเมธ⁵ และ พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล⁶

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร¹

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น²

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์^{3,6}

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์⁴

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์⁵

Received: 21 February 2020; Revised: 3 March 2020; Accepted: 9 March 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ให้ได้ผลประโยชน์มากที่สุด โดยใช้วิธีการสร้างสดมภ์ (Column Generation) ด้วยการเปรียบเทียบวิธีการวิจัย 3 รูปแบบ คือ วิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูป (Full model of linear programming) วิธีการสร้างแถว (Row Generation) และวิธีการสร้างสดมภ์ (Column Generation) โดยทำการแก้ปัญหามาเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบกับจำนวนโครงการ โดยจะเปรียบเทียบในเรื่องคุณภาพของคำตอบ และระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ ซึ่งพบว่าปัญหามีขนาดเล็กการหาคำตอบด้วยวิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูป และวิธีการสร้างแถวสามารถหาคำตอบที่เท่ากับวิธีการสร้างสดมภ์ แต่วิธีการสร้างสดมภ์สามารถรองรับการแก้ปัญหามีขนาดใหญ่กว่าวิธีการแก้ปัญหาคำตอบด้วยกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปและวิธีการสร้างแถว เนื่องจากวิธีการสร้างสดมภ์ เป็นวิธีการที่ใช้การเพิ่มตัวแปรในการตัดสินใจแต่ละคอลัมน์ แต่วิธีการแก้ปัญหาคำตอบด้วยกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปจะพิจารณาทุกความเป็นไปได้ และวิธีการสร้างแถวจะใช้การเพิ่มข้อจำกัดเข้าไปทำให้ในการประมวลผลโปรแกรมที่ใช้วิธีการสร้างแถวจะใช้ทรัพยากรในการประมวลผลมากกว่า และส่งผลให้เวลาในการประมวลผลของวิธีการสร้างสดมภ์น้อยกว่า

คำสำคัญ: ปัญหการจัดสรรเงินลงทุน, การจัดหมู่, การสร้างสดมภ์, การหาค่าที่ดีที่สุด

* Corresponding author: E-mail: titirat.vi@ku.th

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

^{3,6} คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

⁴ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

⁵ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Capital Budgeting Problem with Combinatorial Allocation Constraints by Column Generation Method

Rataphol Sangkhasuk¹, Titirat Vivithkeyoonvong², Benchaporn Phuangchampee³, Sarintip Anurak⁴,
Sahachat Leartsiriphesaj⁵ and Peerayuth Charnsetthikul⁶

Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University¹

Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology²

Faculty of Engineering, Kasetsart University^{3, 6}

Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus⁴

Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University⁵

Received: 21 February 2020; Revised: 3 March 2020; Accepted: 9 March 2020

Abstract

This research studied the method to solve the problem of capital allocation in order to reach the optimal profit by Column Generation technique with 3 methodologies; Full model of Linear programming, Row Generation and Column Generation. The study compare between performance and number of projects to do operate in qualities and time. The result showed that the small size of problem solution by Column Generation gave the same answer to the solution by full model of linear programming and Row Generation. The method of Column Generation is supported the solutions that are larger than by Full model of linear programming Row Generation. Due as Column Generation is a method that using variable increment in each column decision. In the other hand, the solution by Full model of linear programming considers to solve every possibility and Row Generation is a method that using constraints increment. Therefore, the processing program which creating Row Generation use more processing resources and resulting in a shorter processing time in the method of Column Generation.

Keywords: Capital Budgeting Problem, Combinatorial Allocation, Column-generation, Optimization

* Corresponding author: E-mail: titirat.vi@ku.th

¹ Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University

² Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology

^{3,6} Faculty of Engineering, Kasetsart University

⁴ Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Surat Thani Campus

⁵ Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University

1. คำนำ

การจัดสรรเงินลงทุนถือเป็นปัญหาที่มีบทบาทต่อการพัฒนาของประเทศ โดยเฉพาะประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการขับเคลื่อนการลงทุนที่มีประสิทธิภาพ ลดโอกาสความเสี่ยงในการขาดทุน และเพิ่มโอกาสในการสร้างกำไรที่มากที่สุด ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนมีบทบาททั้งในส่วนภาครัฐ เช่น การวางแผนการจัดสรรงบประมาณให้กับหน่วยงานภาครัฐต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นหน่วยงานของส่วนกลาง หรือหน่วยงานส่วนท้องถิ่น โดยมองในเรื่องของผลประโยชน์ที่เกิดกับประชาชน หรือชุมชนในท้องถิ่น ในส่วนของภาคเอกชนจะช่วย

ทำให้เกิดการลงทุนที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ หรือลดโอกาสในการทำกำไรในการลงทุนที่คัดเลือกไว้ ในการลงทุนโครงการขนาดใหญ่จะเป็นปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงหมู่ ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ทั้งในเงื่อนไขข้อจำกัดผลรวมเงินลงทุนของกลุ่มโครงการ(Combinatorial allocation constraints) สูงสุด และข้อจำกัดผลรวมเงินลงทุนของกลุ่มโครงการ(Combinatorial allocation constraints) ต่ำสุด และเป็นปัญหาที่เป็นปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรเงินลงทุนอย่างกว้างขวาง ในปี 2017 Tim J.Boonen, AndreasTsanakas and Mario V.Wüthrich ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรเงินลงทุนภายใต้สมมติฐานที่ว่าพอร์ตการลงทุนนั้นเป็นชุดค่าผสมเชิงเส้นของการขาดทุนและกำไรแบบสุ่มโดยบริษัทสามารถเลือกน้ำหนักของพอร์ตได้ ในพอร์ตการลงทุนที่มีการรวบรวมความเสี่ยงที่ไม่ใช่เชิงเส้น [1] ในปี 2017 DóraBalog, Tamás László Bátyi, Péter Csóka and Miklós Pintér ได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติและการเปรียบเทียบวิธีการจัดสรรเงินลงทุนที่มีความเสี่ยงในหน่วยการเงิน เช่น ธนาคาร บริษัทประกันภัย พบว่าความเสี่ยงของหน่วยหลักควรถูกจัดสรรให้กับหน่วยย่อย โดยใช้วิธีการเลือกใช้วิธีการจัดสรรทุนที่มีความเสี่ยงอย่างยุติธรรม โดยใช้ seven methods (Activity based, Beta, Incremental, Cost gap, Marginal Risk Contribution, Shapley, and Nucleolus) [2] ปี 2018 JimingWang and AiqunWang ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับประสิทธิภาพการจัดสรรเงินลงทุนวิจัยโดยวิธีไฮบริดฟัชชีวิเคราะห์สถานการณ์อินพุต - เอาท์พุตของ บริษัท จด

ทะเบียน 15 แห่งในอุตสาหกรรมอีคอมเมิร์ซซึ่งจดทะเบียนในจีน [3] และในปี 2019 Wolfgang Droetz Malte Janzen and Ignacio Requejo ได้ศึกษาเกี่ยวกับ Sensitivity ของการเปลี่ยนแปลงโอกาสในการจัดสรรเงินทุน โดยทำการเลือกลงทุนในบริษัทเดินเรือที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ 126 แห่งซึ่งมีปัจจัยสำคัญคืออัตราค่าระวางเรือเป็นต้น [4] ในปี 2561 อภิศักดิ์ วิทยาประภากร และคณะ ได้ดำเนินงานภายใต้วัตถุประสงค์การดำเนินงานแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ให้ได้ผลประโยชน์มากที่สุด โดยใช้วิธีการสร้างแถว (Row Generation) โดยในงานวิจัยนี้สามารถแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงหมู่ได้ถึง 50 โครงการ แต่ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการกำหนดเงื่อนไขการลงทุนเชิงหมู่ที่ประกอบด้วยข้อจำกัดผลรวมเงินลงทุนของกลุ่มโครงการ (Combinatorial allocation constraints) สูงสุดเท่านั้น [5]

วิธีการสร้างสดมภ์ (Column Generation) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาเชิงอุตสาหกรรมจำนวนมาก ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยลดเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดให้สั้นลง โดยใช้หลักการสร้างตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variable) เพิ่มขึ้นมาเพื่อช่วยในการหาคำตอบ ทำให้ลดความซับซ้อนในการประมวลผล ส่งผลให้เวลาในการประมวลผลน้อยลงไปด้วย ซึ่งสามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และใช้เวลาในการหาคำตอบที่น้อย ในปี 1961 Gilmore and Gomory ได้ศึกษาการแก้ปัญหาเกี่ยวกับ Cutting Stock เพื่อแก้ปัญหาในการบริหารจัดการทรัพยากรวัตถุดิบ ในงานที่ต้องวิเคราะห์ปริมาณการผลิตการใช้ทรัพยากร และการจัดการ Stock จากงานวิจัยพบว่า แนวโน้มของการใช้วิธีการการแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุน มีความซับซ้อน การแก้ปัญหาสามารถพิจารณาวิธีการการสร้างสดมภ์ (Column Generation) มาใช้ [6] ในปี 2002 Goberna and Lopez ได้ศึกษาแนวทางการหาผลลัพธ์ของปัญหาเชิงเส้นที่มีขนาดใหญ่ เกี่ยวกับ Linear Semi-Infinite Programming Theory: An Updated Survey พบว่า มีตัวแปรตัดสินใจและข้อจำกัดที่มีความซับซ้อน จำนวนมาก โดยอาศัยวิธีการ Column Generation [7] ในปี 1965 Charnes et al. ได้ศึกษาเรื่อง On Representation of Semi-Infinite Programs Which Have No Duality Gaps

พบว่าการจัดการกับปัญหาการจัดสรรเงินลงทุน จะต้องดำเนินการหาคำตอบในรูปแบบของ Duality เพื่อจำกัดปริมาณการวิเคราะห์ตัวแปรตัดสินใจ โดยสามารถลดระยะเวลาการดำเนินการแก้ปัญหาได้ [8] และในปี 2010 พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล ได้ศึกษา column generations approach for the products mix based semi-Infinite linear programming model ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการสร้างสมรรถ [9]

คณะผู้วิจัย จึงมีแนวคิดในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบของวิธีการในการหาคำตอบปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ ที่เหมาะสมที่สุดในการหาคำตอบในกรณีปัญหาขนาดใหญ่ โดยการเปรียบเทียบ 2 วิธี คือ วิธีการแก้ปัญหาด้วยกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูป และการสร้างสมรรถ ยังเพิ่มเงื่อนไขในการตัดสินใจจากเดิมที่มีเพียง เป็นปัญหาที่ประกอบด้วยข้อจำกัดผลรวมเงินลงทุนของ กลุ่มโครงการ (Combinatorial allocation constraints) สูงสุดเท่านั้น มาเป็นเงื่อนไขการลงทุนเชิงจัดหมู่ที่ให้อุดคล้องกับการลงทุนเชิงจัดหมู่จริง คือ มีเงื่อนไขของปัญหาที่ประกอบด้วยข้อจำกัดผลรวมเงินลงทุนของกลุ่มโครงการ (Combinatorial allocation constraints) สูงสุดและต่ำสุด เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของการลงทุนเชิงจัดหมู่ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยมีเป้าหมายเพื่อช่วยให้เกิดการตัดสินใจที่มีความถูกต้องและสามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ รวมถึงเวลาในการหาคำตอบที่สั้นที่สุด

2. แนวทางการแก้ปัญหา (Solution Methodology)

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ด้วยวิธีการสร้างสมรรถ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีดังกล่าว กับวิธีการแก้ปัญหาด้วยกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูป (Full model of linear programming) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ โดยปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นปัญหาที่ประกอบด้วยข้อจำกัดผลรวมเงินลงทุนของกลุ่มโครงการ (Combinatorial allocation constraints) สูงสุดและผลรวมเงินลงทุนของกลุ่มโครงการงานขั้นต่ำ ซึ่ง

ลักษณะปัญหาที่มีข้อจำกัดทั้งสองฝั่ง จะทำให้จำนวนตัวแปรตัดสินใจเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัวเมื่อพิจารณาในรูปปัญหา

ปัญหาการจัดสรรงบประมาณให้โครงการ N โครงการ เป็นปัญหาที่มีจำนวนข้อจำกัดและจำนวนตัวแปรตัดสินใจแน่นอน แต่เมื่อจำนวนโครงการเพิ่มขึ้น จำนวนข้อจำกัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อพิจารณาเป็นปัญหาดั้งเดิม (Primal problem) หรือจำนวนตัวแปรตัดสินใจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อพิจารณาเป็นปัญหาคู่ (Duality problem) ตามความสัมพันธ์ 2^N-1

กรณีตัวอย่างเช่น เมื่อจำนวนโครงการมี 5 โครงการ จำนวนข้อจำกัดเป็น 31 ข้อจำกัด (2^5-1) และเมื่อจำนวนโครงการเพิ่มขึ้นเป็น 10 โครงการ จำนวนข้อจำกัดเพิ่มเป็น 1,023 ข้อจำกัด ($2^{10}-1$) เมื่อจำนวนโครงการเพิ่มขึ้นเป็น 20 โครงการ จำนวนข้อจำกัดเพิ่มเป็น 1,048,576 ข้อจำกัด ($2^{20}-1$) ซึ่งมากเกินไปกว่าที่วิธี Simplex method ไม่สามารถแก้ปัญหาโดยตรงได้

2.1 คำอธิบายสัญลักษณ์ย่อ

Z	กำไรรวมจากการลงทุนทั้งหมด
C_j	กำไรจากการลงทุนโครงการที่ j
r	กลุ่มโครงการที่เกิดจากการจัดหมู่
n_r	จำนวนโครงการในกลุ่มที่ r
N	จำนวนโครงการทั้งหมด
a_{ij}	ตัวแปรกำหนดการลงทุนของโครงการที่ j ภายใต้อุปสรรคการลงทุนที่ i โดยที่ $a_{ij} \in \{0,1\}$
x_j	สัดส่วนการลงทุนของโครงการ j
j	โครงการที่ j เมื่อ $j=1, 2, \dots, N$
i	รูปแบบการลงทุนที่ i เมื่อ $i=1, 2, \dots, 2^N-1$
m_i	ค่าสูงสุดของผลรวมสัดส่วนการลงทุนรูปแบบที่ i
l_i	ค่าต่ำสุดของผลรวมสัดส่วนการลงทุนรูปแบบที่ i
W	ค่าเป้าหมายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาคู่
y_i^l	ตัวแปรตัดสินใจสำหรับปัญหาคู่ที่สอดคล้องกับข้อจำกัดผลรวมสัดส่วนขั้นต่ำของการลงทุนรูปแบบที่ i

y_i^m	ตัวแปรตัดสินใจสำหรับปัญหาคู่ที่สอดคล้องกับข้อจำกัดผลรวมสัดส่วนสูงสุดของการลงทุนรูปแบบที่ i
RC_l	ค่าเป้าหมายของปัญหาย่อย (Reduced cost coefficient) สำหรับการสร้างสมมติให้ชุดตัวแปร y_i^l
RC_m	ค่าเป้าหมายของปัญหาย่อย (Reduced cost coefficient) สำหรับการสร้างสมมติให้ชุดตัวแปร y_i^m
p_j	ค่าราคาเงา (Shadow price) สำหรับข้อจำกัดที่ j เมื่อ $j=1, 2, \dots, N$
k	ผลรวมจำนวนโครงการ
L_k	ผลรวมค่าสัดส่วนการลงทุนขั้นต่ำสำหรับรูปแบบที่มีจำนวนโครงการรวมเท่ากับ k
M_k	ผลรวมค่าสัดส่วนการลงทุนสูงสุดสำหรับรูปแบบที่มีจำนวนโครงการรวมเท่ากับ k
v_j	ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาย่อยสำหรับการสร้างสมมติเพื่อเพิ่มตัวแปรตัดสินใจในชุดตัวแปร y_i^l
u_j	ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาย่อยสำหรับการสร้างสมมติเพื่อเพิ่มตัวแปรตัดสินใจในชุดตัวแปร y_i^m

2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ (Capital Budgeting Problem with Combinatorial Allocation Constraints) สามารถเขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของปัญหาดั้งเดิม (Primal problem) ได้ดังสมการที่ (1) – (4)

$$\max. Z = \sum_{j=1}^N c_j x_j \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \leq m_i, \quad \forall i \quad (2)$$

$$-\sum_{j=1}^N a_{ij} x_j \leq -l_i, \quad \forall i \quad (3)$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall j \quad (4)$$

สมการที่ (1) แสดงสมการวัตถุประสงค์ (Objective function) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ทำให้เกิดกำไรรวมสูงสุดจากการจัดสรรเงินลงทุน สมการที่ (2) – (4) แสดงข้อจำกัด (Constraint) ของแบบจำลอง โดยสมการที่ (2) หมายถึงภายใต้รูปแบบการจัดสรรเงินลงทุนแบบที่ i สามารถได้รับเงินลงทุนรวมไม่เกินค่าสัดส่วน m_i ในทำนองเดียวกันสำหรับสมการที่ (3) ภายใต้รูปแบบการจัดสรรเงินลงทุนแบบที่ i สามารถได้รับเงินลงทุนรวมไม่น้อยกว่าค่าสัดส่วน l_i และสมการที่ (4) เพื่อกำหนดค่าสัดส่วนการลงทุนสำหรับแต่ละโครงการจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

เมื่อพิจารณาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของปัญหาดั้งเดิม (Primal problem) ด้วยทฤษฎีปัญหาคู่ (Duality theory) จะสามารถเขียนปัญหาดั้งเดิมในรูปของปัญหาคู่ (Dual problem) ได้ดังสมการที่ (5) – (8)

$$\min. W = \sum_{i=1}^{2^N-1} m_i y_i^m - \sum_{i=1}^{2^N-1} l_i y_i^l \quad (5)$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{2^N-1} (a_{ij} y_i^l - a_{ij} y_i^m) \leq -c_j, \quad \forall j \quad (6)$$

$$y_i^l \geq 0, \quad \forall i \quad (7)$$

$$y_i^m \geq 0, \quad \forall i \quad (8)$$

สมการที่ (5) แสดงสมการเป้าหมายของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาคู่ ซึ่งสัมพันธ์ของสมการเป้าหมายคือค่าทางด้านขวา (Right Hand Side, RHS) ของสมการข้อจำกัดในแบบจำลองของปัญหาดั้งเดิม และตัวแปรตัดสินใจสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหาคู่จะประกอบไปด้วย 2 ชุดตัวแปร คือ y_i^m และ y_i^l ซึ่งจะสอดคล้องกับจำนวนข้อจำกัดของปัญหาดั้งเดิม (สมการที่ (2) และ (3))

สมการที่ (6) แสดงอสมการข้อจำกัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาคู่ โดยค่าทางด้านขวา (RHS) รวมถึงเครื่องหมายของอสมการจะสอดคล้องกับสมการเป้าหมายของปัญหาหลัก (สมการที่ (1) และอสมการที่ (7) และ (8) เพื่อกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจของปัญหาคู่ให้มีความมากกว่าหรือเท่ากับ 0)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาคู่พบว่าจำนวนตัวแปรตัดสินใจมีจำนวนมาก และจะเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนโครงการในการจัดสรรเงินลงทุนเพิ่มจำนวนขึ้นดังแสดงในสมการที่ (9) การเพิ่มจำนวนโครงการส่งผลให้วิธีการแก้ปัญหาด้วยกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปแบบไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ หรือไม่สามารรถแก้ปัญหาได้ภายในเวลาการประมวลผลที่เหมาะสม

$$\text{no. of variable} = 2(2^N - 1) \quad (9)$$

ซึ่งวิธีการสร้างสดมภ์ (Column Generation Method) สามารถใช้แก้ปัญหาข้างต้นและให้คำตอบที่ดีที่สุดได้

2.3 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างสดมภ์

หลักการของวิธีการสร้างสดมภ์จะเริ่มจากการประมาณปัญหาที่มีขนาดเป็นอนันต์ หรือมีขนาดใหญ่ เป็นปัญหาที่มีขนาดจำกัดที่สามารถใช้วิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปแบบแก้ปัญหาได้ เรียกปัญหาเริ่มต้นว่า ปัญหาหลัก (Original problem) และใช้ทฤษฎีปัญหาคู่ (Duality theorem) สร้างแบบจำลองสำหรับปัญหาย่อย (Sub problem) ที่ทำหน้าที่สร้างสดมภ์ (Column) เพื่อเพิ่มตัวแปรในปัญหาหลัก โดยวัตถุประสงค์ของปัญหาย่อยคือการเลือกตัวแปรตัดสินใจที่จำเป็น และมีผลต่อค่าเป้าหมาย (Objective value) ของปัญหาหลักเท่านั้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาย่อยแสดงดังสมการที่ (10) – (17) เมื่อ k คือผลรวมจำนวนโครงการในรูปแบบการจัดสรรเงินลงทุน ดังนั้น $k=1, 2, \dots, N$

$$\min. RC_k = \sum_{j=1}^N p_j v_j - L_k \quad (10)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^N p_j v_j \leq M_k \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^N v_j = k \quad (12)$$

$$v_j = \{0,1\}, \forall j \quad (13)$$

$$\min. RC_m = M_k - \sum_{j=1}^N p_j u_j \quad (14)$$

s.t.

$$-\sum_{j=1}^N p_j u_j \leq -L_k \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^N u_j = k \quad (16)$$

$$u_j = \{0,1\}, \forall j \quad (17)$$

สมการที่ (10) – (13) แสดงปัญหาย่อยสำหรับการสร้างสดมภ์เพื่อเลือกตัวแปรตัดสินใจในชุดตัวแปร y_i^l และสมการที่ (14) – (17) แสดงปัญหาย่อยสำหรับการสร้างสดมภ์เพื่อเลือกตัวแปรตัดสินใจในชุดตัวแปร y_i^m โดยสมการที่ (10) และ (14) แสดงสมการวัตถุประสงค์ของปัญหาย่อยเพื่อหาคำตอบ (Decision variable) ที่ทำให้ค่า Reduced cost coefficient มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งหมายถึงคำตอบของปัญหาย่อยดังกล่าว เป็นสดมภ์ที่เพิ่มเข้าไปในปัญหาหลักแล้วทำให้ปัญหาหลักเข้าใกล้ปัญหาเต็มรูปแบบ (Full model) มากขึ้น ค่าเป้าหมายของปัญหาหลักเปลี่ยนแปลง และค่าราคาเงา (Shadow price, p_j) เปลี่ยนแปลง

สมการที่ (11) แสดงข้อจำกัดที่ควบคุมให้สดมภ์ที่สร้างขึ้นสำหรับชุดตัวแปร y_i^l ยังคงเป็นจริงสำหรับข้อจำกัดผลรวมสัดส่วนที่มากที่สุด (สมการที่ 2) และสมการที่ (15) แสดงข้อจำกัดที่ควบคุมให้สดมภ์ที่สร้างขึ้นสำหรับชุดตัวแปร y_i^m ยังคงเป็นจริงสำหรับข้อจำกัดผลรวมสัดส่วนขั้นต่ำ (สมการที่ 3)

สมการที่ (13) และ (17) คือข้อจำกัดที่กำหนดค่าของสมาชิกในสแตมที่ถูกรูปร่างขึ้นให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 โดยผลรวมของสมาชิกในแต่ละสแตมจะมีค่าเท่ากับผลรวมจำนวนโครงการตามสมการข้อจำกัดที่ (12) และ (16) ทำให้สแตมที่ถูกรูปร่างขึ้น มีลักษณะเหมือนกับเวกเตอร์ a_{ji} สำหรับ $j=1, 2, \dots, N$

ในงานวิจัยนี้ ปัญหาย่อยในวิธีการสร้างสแตมสำหรับค่า k ใดๆ ประกอบไปด้วย 2 ปัญหา (สมการที่ (10) – (13) และ (14) – (17)) ดังนั้นจำนวนปัญหาย่อยสำหรับทุกค่า k มีจำนวนทั้งสิ้น $2k$ เพื่อให้วิธีสร้างสแตมสามารถสร้างแทนปัญหาเต็มรูปแบบได้ ปัญหาย่อยทั้งหมด $2k$ ปัญหาต้องถูกแก้ และแต่ละปัญหาต้องถูกแก้วนซ้ำจนกว่าค่า Reduced cost coefficient แต่ละกรณีจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 ซึ่งหมายถึงคำตอบของปัญหาย่อยที่เติมลงในปัญหาหลัก ไม่ทำให้ค่าเป้าหมายของปัญหาหลักเปลี่ยนแปลง

2.4 ขั้นตอนวิธีของการแก้ปัญหาด้วยวิธีการสร้างสแตม

กระบวนการเฉพาะสำหรับวิธีสร้างสแตมในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดดังนี้
ขั้นตอนที่ 1 สร้างแบบจำลองสำหรับปัญหาดั้งเดิมที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจจำกัดเป็น $2N+2$ ตัวแปร ซึ่งทำให้มีจำนวนสแตมดั้งเดิม เป็น $2N+2$ สแตม ดังนี้

$$\sum_{j=1}^N a_{ji} = 1 \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^N a_{ji} = N \quad (19)$$

สมการที่ (18) สำหรับ y_i^l จำนวน N สแตม และสำหรับ y_i^m จำนวน N สแตม

สมการที่ (19) สำหรับ y_i^l จำนวน 1 สแตม และสำหรับ y_i^m จำนวน 1 สแตม

- ขั้นตอนที่ 2 หาคำตอบและค่า Shadow price สำหรับปัญหาดั้งเดิม

ขั้นตอนที่ 3 สร้างแบบจำลองสำหรับปัญหาย่อย 2 ปัญหาตามสมการที่ (10) – (13) และ (14) – (17) ด้วยค่า Shadow price จากขั้นตอนที่ 2 และ $k=N-1$

- ขั้นตอนที่ 4 หาคำตอบของปัญหาในขั้นตอนที่ 3 และเติมคำตอบที่ได้เป็นสแตมของปัญหาหลักเมื่อค่าสมการเป้าหมาย (Reduced cost coefficient) น้อยกว่า 0 และทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 จนกว่าจะได้ค่าสมการเป้าหมายมากกว่าหรือเท่ากับ 0

- ขั้นตอนที่ 5 สร้างปัญหาใหม่สำหรับผลรวมจำนวนโครงการที่ลดลงเท่ากับ 1 และทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 จนกว่าค่า k จะครบทุกกรณี ขั้นตอนวิธีแสดงเป็นแผนผังในรูปที่ 1

2.5 การออกแบบการทดลอง

ทำการทดลองวัดประสิทธิภาพของวิธีการสร้างสแตมที่มีขั้นตอนวิธีเฉพาะสำหรับงานวิจัยนี้ โดยใช้โปรแกรม Matlab 2016a และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล Core i5-7200 2.5GHz หน่วยความจำในการประมวลผล (RAM) 8 GB มีทำการทดลอง 3 การทดลองดังนี้

- ทำการทดลองเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่างวิธีการสร้างสแตมกับวิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปแบบ กับปัญหามิติเล็ก โดยมีจำนวนโครงการ 11-20 โครงการ

- ทำการทดลองวัดความสามารถในการแก้ปัญหาของวิธีสร้างสแตมสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ โดยมีเวลาในการประมวลผลเป็นตัวชี้วัด ทำการทดลองกับขนาดปัญหา คือ 20 25 30 35 และ 40 โครงการ ตามลำดับ

- ทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาของวิธีการสร้างสแตมกับวิธีการสร้างแถว [5] โดยทำการทดลองบนปัญหาที่มีขนาดใหญ่ คือ 10 30 50 70 90 110 และ 130 โครงการ ตามลำดับ (**หมายเหตุ: การทดลองนี้ ใช้โปรแกรม Matlab 2016a และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล Intel Core i5-9300H 2.4GHz. หน่วยความจำในการประมวลผล (RAM) 8 GB) ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังนี้

1. ผลรวมสัดส่วนการลงทุนขั้นต่ำ (l_i) สำหรับจำนวนโครงการตั้งแต่ 1 ถึง N โครงการ ซึ่งมีค่าสู่ตามการแจกแจงแบบเอกรูปที่มีค่าต่อเนื่อง ตั้งแต่ 0 ถึง 0.25 โดย $l_i < m_j$ และ $l_i < l_j$ เมื่อ $i < j$

2. ผลรวมสัดส่วนการลงทุนสูงสุด (m_i) สำหรับจำนวนโครงการตั้งแต่ 1 ถึง N โครงการ ซึ่งมีค่าสู่ตามการแจกแจงแบบเอกรูปที่มีค่าต่อเนื่อง ตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดย $m_i > l_j$ และ $m_i < m_j$ เมื่อ $i < j$

3. กำไรที่ได้จากการลงทุนต่อหน่วยของแต่ละโครงการ ซึ่งมีค่าสู่ตามการแจกแจงแบบเอกรูปที่มีค่าต่อเนื่อง ตั้งแต่ 20 ถึง 45

3. ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง คือ

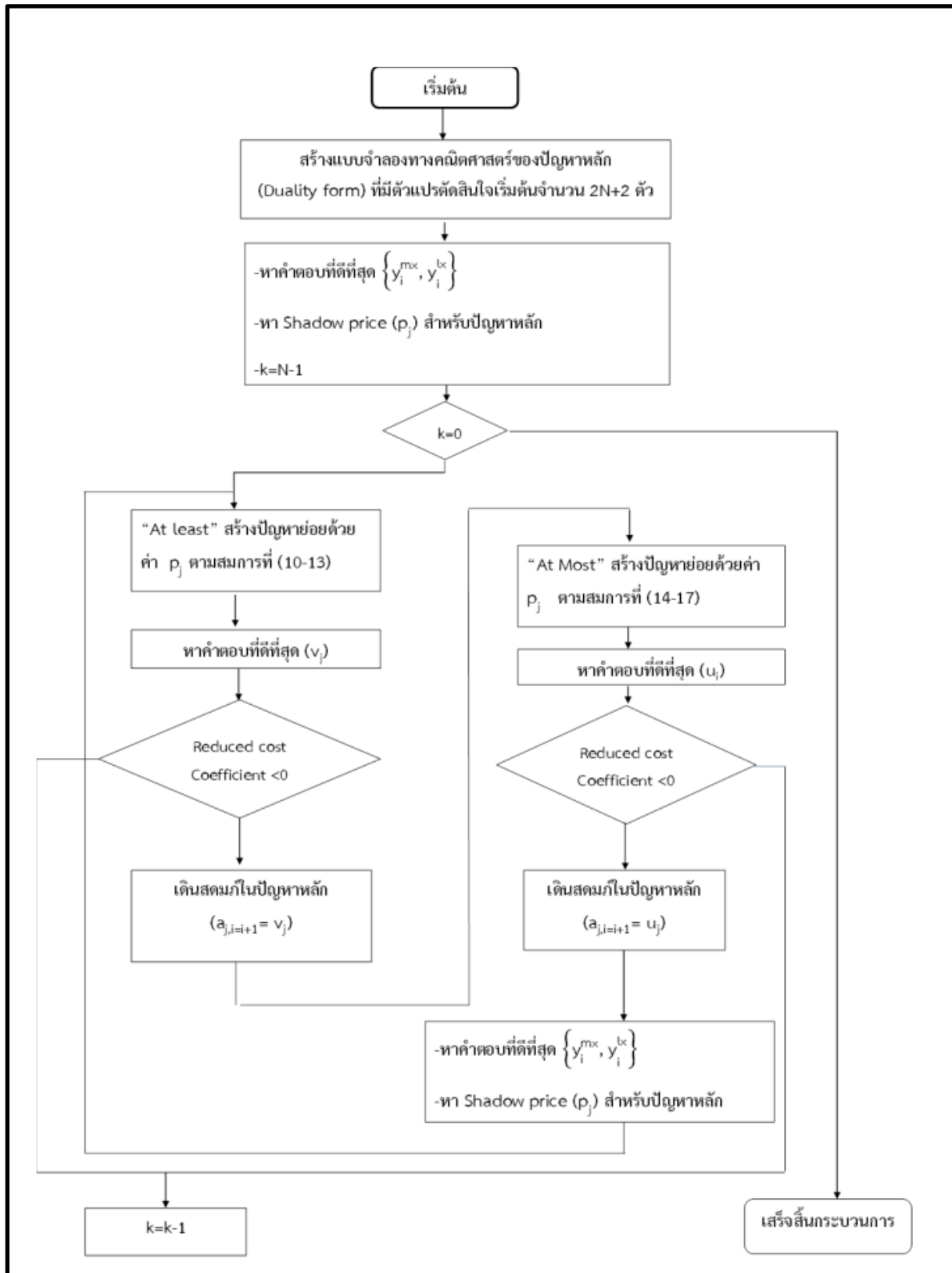
3.1 ปัญหาขนาดเล็ก

ผลการทดลองในกรณีที่ขนาดของปัญหามีขนาดเล็ก คือ ขนาดโครงการมีจำนวน 11-20โครงการ จะเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างวิธีวิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูป และวิธีสร้างสมรรถในเรื่องของเวลาและคุณภาพของคำตอบคือ กำไรในการลงทุน โดยสามารถแสดงผลการทดลอง ในตารางที่ 1

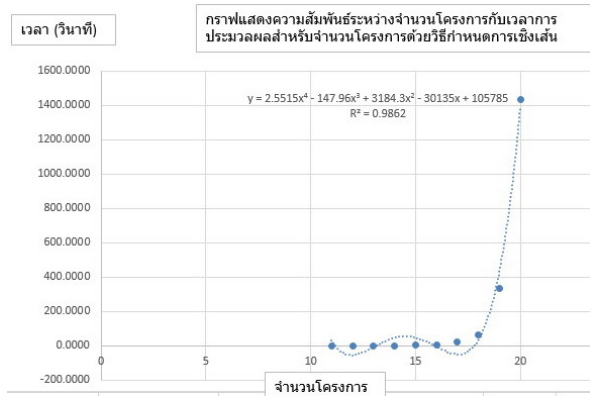
ตารางที่ 1 ผลการทดลองปัญหาขนาดเล็ก

จำนวนโครงการ	ขนาดปัญหา	เวลาประมวลผล (วินาที)		ผลกำไร (ล้านบาท)		ผลต่างกำไร (%)
	เงื่อนไขตัวแปร	จำนวนเต็มเชิงเส้น	สร้างสมรรถ	จำนวนเต็มเชิงเส้น	สร้างสมรรถ	
11	2,047*11	0.3936	1.0965	42.0311	42.0311	0.0000
12	4,095*12	0.0514	1.3112	36.5553	36.5601	0.0131
13	8,191*13	0.1370	1.5310	40.0527	40.0640	0.0282
14	16,383*14	0.3590	1.7593	36.9078	36.9078	0.0000
15	32,767*15	0.7475	2.0815	38.0650	38.0650	0.0000
16	65,535*16	4.6021	1.6555	34.8657	34.8657	0.0000
17	131,071*17	18.8454	1.1740	36.0604	36.0727	0.0341
18	262,143*18	63.2433	3.6952	38.1627	38.3525	0.4973
19	524,287*19	335.5638	10.6583	36.2722	36.4177	0.4011
20	1,048,575*20	1,434.0793	11.7577	37.9738	38.0892	0.3039

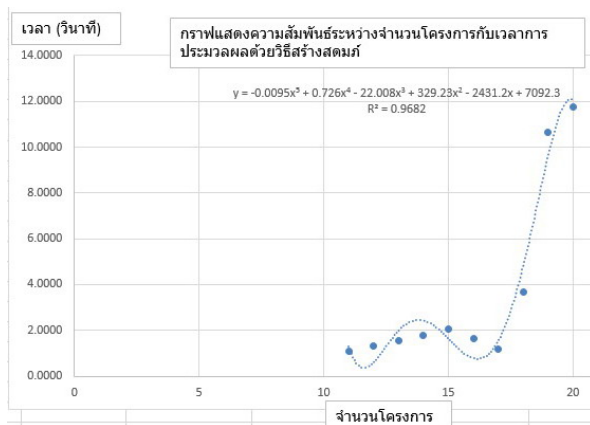
ผลจากตารางที่ 1 เวลาในการประมวลผลโดยวิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูป จะใช้เวลาต่ำกว่าวิธีสร้างสมรรถเมื่อจำนวนโครงการน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 โครงการ จากนั้นเมื่อจำนวนโครงการมากกว่า 15 โครงการ พบว่าเวลาในการประมวลผลโดยใช้วิธีสร้างสมรรถจะใช้เวลาที่น้อยกว่า และเมื่อจำนวนโครงการเพิ่มไปถึง 20 โครงการ พบว่าเวลาประมวลผลโดยวิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปใช้เวลาประมวลผล คือ 1,434.0793 วินาที หรือมากกว่า 14 ชั่วโมงแต่วิธีสร้างสมรรถใช้เวลาประมวลผล คือ 11.7577 วินาที ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโครงการกับเวลาการประมวลผลดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 1 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีเฉพาะของวิธีการสร้างสแตมป์ในงานวิจัย



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโครงการกับเวลาประมวลผลด้วยวิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูป



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโครงการกับเวลาประมวลผลด้วยวิธีสร้างสมการ

จากรูปที่ 2 และ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโครงการกับเวลาประมวลผลที่ได้ พบว่าวิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูป และวิธีสร้างสมการ มีความเหมาะสมสำหรับแก้ปัญหาที่กล่าวได้ไม่แตกต่างกัน พิจารณาคุณภาพของคำตอบ (ข้อมูลผลกำไร) ในตารางที่ 1 พบว่าคุณภาพคำตอบของวิธีสร้างสมการน้อยกว่าวิธีกำหนดการเชิงเส้น ซึ่งผลต่างสูงสุดจากการทดลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.4973 ซึ่งทางทฤษฎี คุณภาพคำตอบไม่ควรมีความแตกต่างกัน แต่ในทางปฏิบัติอาจเกิดผลต่างได้เนื่องจากค่าความละเอียดของ reduced cost coefficient ซึ่งค่าความละเอียดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าเป็น 1×10^{-15}

3.2 ปัญหาขนาดใหญ่

เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มากขึ้น การประมวลผลด้วยวิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็ม

รูปแบบ ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาที่มีจำนวนโครงการเท่ากับ 20 โครงการ ในการทดลองที่ 1 ใช้เวลาในการประมวลผลอย่างน้อย 14 ชั่วโมง ซึ่งการหาคำตอบด้วยวิธีการสร้างสมการสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่ามาก เนื่องจากวิธีการสร้างสมการเลือกเฉพาะเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองเท่านั้น โดยพิจารณาจากค่า reduced cost coefficient ดังหลักการที่กล่าวมาแล้ว ทำให้สามารถลดขนาดของปัญหาและเวลาประมวลผลลงได้มาก เช่น ปัญหาที่มีจำนวนโครงการเท่ากับ 20 โครงการ ใช้เวลาแก้ปัญหาเพียง 2.54 วินาที ผลการทดลองแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่มีจำนวนโครงการ 20-40 โครงการ ด้วยวิธีการสร้างสมการได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาประมวลผลตั้งแต่ 20 โครงการขึ้นไปด้วยวิธีสร้างสมการ

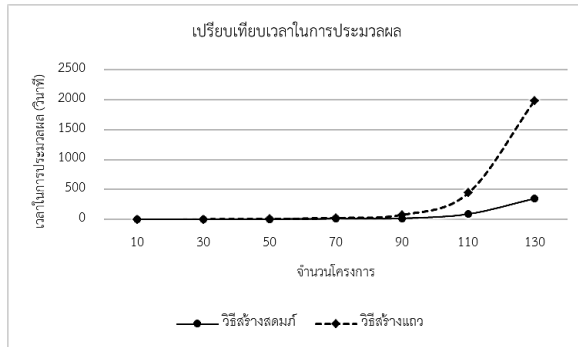
จำนวนโครงการ	ขนาดปัญหา เงื่อนไข*ตัวแปร	เวลาประมวลผล (วินาที)
20	1,048,575*20	2.5421
25	33,554,431*25	3.9459
30	1,073,741,823*30	4.1514
35	34,359,738,367*35	7.3739
40	1,099,511,627,775*40	21.7659

จากตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 พบว่า การแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปเหมาะสมกับจำนวนโครงการไม่เกิน 20 โครงการ ถ้าจำนวนโครงการเกินกว่านี้จะใช้เวลานานมากในการประมวลผลเพื่อลดเวลาในการประมวลผลจึงใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีสร้างสมการเพื่อลดจำนวนข้อจำกัดที่ไม่จำเป็น และสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

3.3 เปรียบเทียบกับวิธีการสร้างแถว [5] สำหรับปัญหาขนาดใหญ่

วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเฉลี่ยด้วยการทดสอบ Paired sample t-test พบว่าเวลาในการประมวลผลของวิธีการสร้างสมการน้อยกว่า

วิธีการสร้างแถวที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 และเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มากขึ้น ผลต่างของเวลาในการประมวลผลมีแนวโน้มที่จะแตกต่างกันมากขึ้น เช่น ปัญหาที่มี 130 โครงการ วิธีการสร้างสตมกใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการสร้างแถวถึง ร้อยละ 82.45 ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เปรียบเทียบเวลาประมวลผลของวิธีสร้างสตมกกับวิธีสร้างแถว [5]

4. สรุปและวิจารณ์ผล

ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ เป็นปัญหาที่มีจำนวนข้อจำกัดแปรตามจำนวนของโครงการ โดยเฉพาะเมื่อมีการพิจารณาข้อจำกัดทั้งค่าผลรวมสัดส่วนขั้นต่ำ และผลรวมสัดส่วนสูงสุดร่วมกัน ทำให้วิธีกำหนดการเชิงเส้นที่พิจารณาข้อจำกัดทุกกรณีไม่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ภายในเวลาที่เหมาะสม งานวิจัยนี้เสนอวิธีการสร้างสตมก เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ที่มีจำนวนโครงการมาก ซึ่งวิธีการสร้างสตมกใช้หลักการสร้างเงื่อนไขเพิ่ม โดยสตมกที่เพิ่มขึ้น คือสตมกที่ทำให้ค่า Reduced cost coefficient ของปัญหาลดลง ซึ่งหมายถึงสตมกดังกล่าวทำให้ค่าสมการเป้าหมายเปลี่ยนแปลง หรือหมายถึงสตมกดังกล่าวเป็นข้อจำกัดที่มีความจำเป็นเช่นกัน วิธีการสร้างสตมกจะทำการสร้างสตมกไปจนกว่าค่า Reduced cost coefficient มีค่าน้อยกว่า 0 ซึ่งหมายถึงไม่มีข้อจำกัดที่จำเป็นที่ทำให้ค่าสมการเป้าหมายเปลี่ยนแปลงค่าอีก และข้อจำกัดที่มีอยู่สามารถแทนข้อจำกัดทั้งหมดได้ ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสมกับปัญหาที่มีเงื่อนไขจำนวนมหาศาล จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อจำนวนโครงการต่ำกว่า 15 โครงการ การแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปแบบสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ด้วยเวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่า แต่เมื่อจำนวนปัญหาเพิ่มขึ้น พบว่าเวลาในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำหนดการเชิง

เส้นแบบเต็มรูปแบบใช้เวลาในการประมวลผลมาก ในขณะที่วิธีการสร้างสตมกสามารถแก้ปัญหาได้ในเวลาที่เหมาะสม และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการสร้างสตมกกับวิธีการสร้างแถว [5] พบว่าเมื่อจำนวนข้อจำกัดเพิ่มขึ้น เวลาในการประมวลผลวิธีการสร้างแถวเพิ่มขึ้นอย่างมากและรวดเร็ว ในขณะที่วิธีการสร้างสตมกยังสามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ภายในเวลาที่เหมาะสม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการสร้างสตมกสามารถแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมู่ได้ โดยคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด และในแง่ของเวลาในการประมวลผล วิธีการสร้างสตมกมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบเต็มรูปแบบ และวิธีการสร้างแถว [5] เมื่อปัญหาข้อจำกัดมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนข้อจำกัดมากขึ้น (จำนวนโครงการ) เวลาในการประมวลผลของวิธีการสร้างสตมกเพิ่มมากขึ้นด้วยความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น และเริ่มใช้เวลาเพิ่มขึ้นมากเมื่อจำนวนโครงการมากกว่า 90 โครงการ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ และบุคลากรของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องสถานที่ทำวิจัย รวมถึงคุณเอราวิธ ธาร อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. J. Boonen, A. Tsanakas and M. V. Wüthrich, "Capital allocation for portfolios with non-linear risk aggregation," *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 72, pp. 95-106, 2017.
- [2] D. Balog, T. L. Bátyi, P. Csóka and M. Pintér, "Properties and comparison of risk capital allocation methods," *European Journal of Operational Research*, vol. 259, pp. 614-625, 2017.
- [3] J. Wang and A. Wang, "Data envelope analysis on capital allocation efficiency using hybrid

- fuzzy method,” *Computers & Electrical Engineering*, vol. 71, pp. 206-211, 2018.
- [4] W. D. M. Janzen and I. Requejo, “Capital allocation and ownership concentration in the shipping industry,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 122, pp. 78-99, 2019.
- [5] อภิศักดิ์ วิทยาประภากร, เอราริล ถาวร, เรืองทิวา ทิพย์ศักดิ์ และ พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล, “การแก้ปัญหาการจัดสรรเงินลงทุนเชิงจัดหมัด้วยเทคนิคการสร้างแถว,” *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2, น. 10-21, 2561.
- [6] P. C. Gilmore and R. Gomory “A linear programming approach to the cutting stock problem—Part II,” *Operations Research*, 1961.
- [7] M. A. Goberna and M. A. Lopez, “Linear semi-infinite programming theory: an updated survey,” *European Journal of Operational Research*, vol. 143, pp. 390-405, 2002.
- [8] A. Charnes, W. W. Copper and K. Kortanek “On representation of semi-infinite programs which have no duality gaps,” *Management Science*, vol. 12, pp. 113-121, 1965.
- [9] P. Charnsethikul, “A column generations approach for the products mix,” *Management Science and Engineering Management*, vol. 6, pp. 105-108, 2002.
- [10] G. Dantzing and W. Orchard-Hays, "The product form the inverse in the simplex method," *Mathematical Tables and Other Aids to Computation*, vol. 8, no. 35, pp. 64-67, 1954.

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 แล้วแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้นิพนธ์ หากบทความนั้น ผ่านการพิจารณาขั้นต้น กองบรรณาธิการจะส่งบทความนั้น ให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องพิจารณาบทความ และกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาแก่ผู้นิพนธ์ภายใน 30 วัน หากมีการ

แก้ไขให้ผู้พิมพ์แก้ไขบทความตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน และนำผลงานที่แก้ไขปรับปรุงแล้วส่งให้แก่บรรณาธิการ/ผู้ประสานงานวารสาร ภายในระยะเวลาที่กำหนดหลังได้รับแจ้งผลการพิจารณา

7. สำหรับบทความที่ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิโดยไม่มีการแก้ไข นำส่งกองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่ในวารสารตามช่วงเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้กองบรรณาธิการจะทำหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ของท่านเป็นลายลักษณ์อักษร

****หมายเหตุ** ต้นฉบับบทความที่ไม่สมบูรณ์ หรือรูปแบบไม่ถูกต้อง จะถูกส่งคืนผู้เขียนบทความเพื่อแก้ไข ก่อนส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาต่อไป

รูปแบบและการจัดพิมพ์

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

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ผู้ประสานงานวารสารฯ

นายบุญชนะ เมฆโต โทรศัพท์: 02-727-3078 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. ประภาส จงสภักย์วัฒนา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ ขจิตวิษัยกุล

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิต กล้วยะจันทร์กุล

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร. ปรียกุล เขมฤตกุล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร. วลัยลักษณ์ อดิสรองค์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ชนัน เทสียงไพบูลย์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร. กาญจน ครอบขุนันท์

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