

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2559)

บทความวิจัย

- การแก้ปัญหการวางแผนและจัดตารางการผลิตขั้นสูง ที่พิจารณาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบมีกรอบเวลา โดยตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม
ธัญพร อุดม ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และ ขวัญนิธิ คำเมือง 1
- การออกแบบแผนผังโรงงานกล่องกระดาษลูกฟูก สำหรับปัญหาความต้องการที่ไม่แน่นอน
วาทัญญู แสงโสภา และ ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์ 16
- ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาคู่ขนานโดยการพัฒนาขอบเขตบน
สุภาลิน ศรีณย์วงศ์ สิทธิพงษ์ ด้านตระกูล และ จุลิน ลิละลิริ 26
- การวัดประสิทธิภาพและการปรับปรุงประสิทธิภาพโรงงานอุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอด้วยวิธีโอบล้อมข้อมูล
วลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์ และ กนกกรรณ ลีโรจนาประภา 38

สนับสนุนโดย



คณะสถิติประยุกต์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์



เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
Operations Research Network of Thailand

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน (Thai Journal of Operations Research)

ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2559)

เจ้าของ	คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
ผู้รับผิดชอบดำเนินการ	เครือข่ายการวิจัยดำเนินงาน
ที่ปรึกษา	1. ศาสตราจารย์กิตติคุณ ดร.นราศรี ไวนิชกุล 2. คณบดีคณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
บรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจน์ภา อมรัชกุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์)
กองบรรณาธิการ	1. ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ประชุม สุวดี (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์) 2. ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสิตยวัฒนา (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 3. ศาสตราจารย์ ดร.วรพัทธ์ ขจิตวิยานุกุล (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย) 4. รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิต หล่อจิระชุมภ์กุล (สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์) 5. รองศาสตราจารย์ ดร.พิรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) 6. รองศาสตราจารย์ ดร.วลัยลักษณ์ อัครีวงศ์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) 7. รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ (มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 8. รองศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ (มหาวิทยาลัยขอนแก่น)
ผู้ประสานงาน	นายวงศธร ทุมทอง
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 4 ฉบับที่ 1 (เล่มที่ 7) ของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน ผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดบทความและวารสารฉบับเต็มได้ที่เว็บไซต์ <http://www.orjournal.org> คณะผู้จัดทำและกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้วิจัย ผู้สนใจ และผู้เกี่ยวข้องในแวดวงวิชาการต่อไป

หากคุณค่าทางความรู้ที่ผู้อ่านได้รับจากการรวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านการวิจัยดำเนินงานในวารสารเล่มนี้ บรรณาธิการขอขอบคุณที่ดีดังกล่าวดแต่บรรณาธิการคนแรก คือ รศ.ดร. พชรภรณ์ เนียมมณี ผู้ร่วมก่อตั้งเครือข่ายการวิจัยดำเนินงานและวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน

วารสารไทยการวิจัยดำเนินงานได้รับการจัดกลุ่มวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของศูนย์ดัชนีอ้างอิงวารสารไทย(Thai-Journal Citation Index Centre) อยู่ในวารสารกลุ่มที่ 2 ซึ่งจะมีผลตั้งแต่วันที่ 4 พฤษภาคม 2559 ไปจนถึง 31 ธันวาคม 2562

กาญจน์ภา อมรัชกุล
บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

บรรณาธิการแถลง

บทความวิจัย

การแก้ปัญหาการวางแผนและจัดตารางการผลิตขั้นสูง ที่พิจารณาการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน แบบมีกรอบเวลา โดยตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม ธัญพร อุดม ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และ ขวัญนิธิ คำเมือง	1
การออกแบบแผนผังโรงงานกล่องกระดาษลูกฟูก สำหรับปัญหาความต้องการที่ไม่แน่นอน วทีญญู แสนโกชน์ และ ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์	16
ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาพีเซนเตอร์โดยการพัฒนาขอบเขตบน สุภาสินี ศรีณย์วงศ์ สิทธิพงษ์ ด่านตระกูล และ จุลิน ลีคะสิริ	26
การวัดประสิทธิภาพและการปรับปรุงประสิทธิภาพโรงงานอุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอ ด้วยวิธีโอบล้อมข้อมูล วลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์ และ กนกกรรณ สี่โรจนาประภา	38

คำแนะนำการส่งต้นฉบับบทความ

การแก้ปัญหการวางแผนและจัดตารางการผลิตขั้นสูง ที่พิจารณาการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน แบบมีกรอบเวลา โดยตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม

อัมพร อุดม¹ ภูพงษ์ พงษ์เจริญ² และ ขวัญนิธิ คำเมือง^{*3}

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนเรศวร 99 หมู่ 9 ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาและปรับปรุงตัวแบบของปัญหกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming: MIP) สำหรับปัญหาการวางแผนและการจัดตารางการผลิตขั้นสูง (Advanced Planning and Scheduling: APS) ซึ่งเป็นเทคนิคในการวางแผนและจัดตารางการผลิต ที่สามารถพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ได้แก่ กำลังการผลิตของเครื่องจักร การจัดลำดับงาน และเวลาส่งมอบ กับปัญหาที่มีหลายเครื่องจักร หลายคำสั่งซื้อและแต่ละผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์หลายระดับและหลายชิ้นส่วน ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตได้กับเครื่องจักรในกลุ่มที่กำหนดไว้ พร้อมกับขยายตัวแบบให้มีการเพิ่มการพิจารณาข้อจำกัดในเรื่องของกรอบเวลาของการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน โดยจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้ ก็คือ เพื่อให้ค่าปรับรวมในการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วยค่าปรับเนื่องจากเกิดการว่างงานของเครื่องจักร ค่าปรับเนื่องจากทำงานเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด และค่าปรับเนื่องจากงานเสร็จล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนด ให้มีค่าต่ำที่สุด และสามารถจัดตารางการผลิตได้อย่างเหมาะสม โดยได้นำเสนอตัวอย่างการหาค่าตอบกับตัวแบบในสี่รูปแบบ

คำสำคัญ: การวางแผนและการจัดตารางการผลิตขั้นสูง, การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม

* Corresponding author. E-mail: kpopk@yahoo.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

³ อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Solving an Advanced Planning and Scheduling Problem with Preventive Maintenance Time Window Constraints by Mixed Integer Programming Models

Thanyapon Udom¹ Pupong Pongcharoen² and Kwanniti Khammuang^{*3}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Naresuan University, 99 Moo 9, Tha Pho, Mueang Phitsanulok, Phitsanulok 65000

Abstract

This research studies and develops a mixed integer programming model for an Advanced Planning and Scheduling (APS) problem which is a technique for planning and scheduling for production systems that incorporates various constraints into planning such as machine capacity constraints, operation sequences and due dates in a multi-machine, multi-order environment in which each order has a multiple step product structure and requires multiple items where each item can be processed on any one of a given set of eligible machines and we extend the model to include preventive maintenance time window constraints. The objective is to find the production and preventive maintenance schedule that minimizes total penalty cost which consists of production idle time, tardiness and earliness penalty costs. A numerical example for four different versions of the model is also presented.

Keywords: Advanced Planning and Scheduling, Preventive maintenance, Mixed integer programming

* Corresponding author. E-mail: E-mail: kpopk@yahoo.com

² Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

³ Lecturer, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

1. บทนำ

การวางแผนและการจัดตารางการผลิตขั้นสูงหรือ APS เป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยผู้ผลิตในการพัฒนาตารางการผลิตที่เป็นไปได้ และสอดคล้องกับเงื่อนไขภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากร เช่น กำหนดส่งมอบ กำลังการผลิตของเครื่องจักร เครื่องมือ และแรงงาน เป็นต้น เพื่อพัฒนาแผนปฏิบัติการที่เป็นจริงในการขับเคลื่อนไปข้างหน้าไปยังขั้นตอนต่างๆ ของโรงงาน ซึ่งประโยชน์ที่ผู้ใช้จะได้รับก็คือ ตารางการผลิตที่สามารถนำไปปฏิบัติงานได้จริง เนื่องจากได้นำข้อจำกัดด้านการผลิตของโรงงานมาพิจารณาและสร้างตัวแบบตารางการผลิต ทำให้กระบวนการกำหนดตารางการผลิตขั้นสูงหรือ APS สามารถปรับปรุงและสร้างตารางการผลิตที่เป็นไปได้จริงได้อย่างเหมาะสมที่สุดและมีต้นทุนต่ำที่สุด [1]

2. การทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาปัญหา APS ในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าในช่วงแรก ลักษณะของปัญหาจะอยู่บนพื้นฐานของการวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning: MRP) ระบบตารางการผลิตหลัก (Master Production Schedule: MPS) หรือการวางแผนความต้องการกำลังการผลิต (Capacity Requirement Planning: CRP) จากนั้นจึงค่อยๆ พัฒนามาเป็น APS สำหรับวิธีการแก้ปัญหาของปัญหา APS นั้น มีงานวิจัยไม่มากนัก ที่นำตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์มาใช้ แต่มักจะนำวิธีหาคำตอบโดยใช้หลักการประมาณค่าคำตอบหรือวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) เข้ามาช่วยหาคำตอบ เนื่องจากสามารถช่วยหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนสูงรวดเร็วกว่าวิธีทางคณิตศาสตร์ แต่คำตอบที่ได้อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบด้วยตัวแบบกำหนดการคณิตศาสตร์ ซึ่งวิธีการประมาณค่าคำตอบที่นักวิจัยวิจัยส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้กับปัญหา APS ก็คือ การพัฒนาวิธีการหาคำตอบโดยทฤษฎีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) หรือ GA [2-7]

อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหาด้วยตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์ ก็ยังคงเป็นวิธีที่รับรองได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้น งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในการศึกษาวิธีการสร้างตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์ สำหรับลักษณะของปัญหาจากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นหลัก แต่ในการทบทวนวรรณกรรม จะกล่าวถึงการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) และเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ด้วย เพื่อให้เห็นถึงภาพรวมของลักษณะปัญหา APS และการ

เลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันออกไป จากการทบทวนวรรณกรรมในงานวิจัยนี้ จะแบ่งปัญหา APS ตามจำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานหรือชิ้นส่วนต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในที่นี้คือเครื่องจักร ออกเป็น 3 แบบ คือ 1) แต่ละชิ้นส่วนสามารถผลิตได้เพียงเครื่องจักรเดียวเท่านั้น 2) แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตกับเครื่องจักรในกลุ่มที่กำหนดไว้ให้ (Alternative machines) และ 3) คล้ายคลึงกับแบบที่ 2 แต่มีการสั่งผลิตจากภายนอกโรงงาน

สำหรับกรณีแรก นั่นคือ แต่ละชิ้นส่วนสามารถผลิตได้เพียงเครื่องจักรเดียวเท่านั้น ได้ถูกนำมาแก้ปัญหา APS ที่พิจารณาข้อจำกัดในการผลิต ของปัญหาที่มีหลายคำสั่งซื้อหลายเครื่องจักร ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์หลายระดับโดยจุดประสงค์ของงานวิจัยดังกล่าว เป็นการลดต้นทุนในการผลิต รวมไปถึงเพื่อให้เวลาที่งานทุกงานเสร็จสมบูรณ์ (Makespan) ต่ำที่สุด ด้วยนำเสนอการสร้างตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์โดยใช้หลักการกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming: MIP) [8] การใช้วิธี GA [2] และการนำวิธีการกำหนดการข้อจำกัด (Constraint Programming: CP) มาใช้ร่วมกับวิธีขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound Algorithm: B&B) [9] จากงานวิจัยที่กล่าวมานี้ อาจจะยังไม่มีความสมจริงเพียงพอ และการผลิตไม่มีความยืดหยุ่น เพื่อให้ปัญหามีความสมจริงมากขึ้น จึงมีการปรับปรุงเงื่อนไขของการผลิตขึ้นใหม่ โดยกำหนดให้แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตกับเครื่องจักรในกลุ่มที่กำหนดไว้ให้ (Alternative machines) เช่น ชิ้นส่วน A สามารถเลือกผลิตได้กับเครื่องจักรที่ 1 เครื่องจักรที่ 2 หรือเครื่องจักรที่ 3 ก็ได้ อย่างใดอย่างหนึ่ง เป็นต้น สำหรับกรณีที่ 2 นี้ ถูกนำไปพิจารณาปัญหา APS ที่ต่อยอดจากงานวิจัย [8] ในการสร้างตัวแบบ MIP มาช่วยในการหาคำตอบ โดยมีกำหนดให้ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นสามารถเลือกทำงานบนเครื่องจักรที่กำหนดไว้ได้ [10] รวมถึงมีการพิจารณาเวลาในการติดตั้งชิ้นส่วน (Setup time) และเวลาในการขนย้ายชิ้นส่วน (Transfer time) ด้วย [11] นอกจากนี้ ปัญหา APS ยังมีการนำเสนอวิธีแก้ปัญหาอื่นๆ ได้แก่ การหาคำตอบด้วยวิธี MIP เปรียบเทียบกับ GA ของปัญหา APS ในการพัฒนาระบบสารสนเทศในโรงงาน [5] และศึกษาปัญหา APS แบบพลวัต ซึ่งจะมีคำสั่งซื้อเข้ามาอย่างต่อเนื่อง โดยนำนโยบายช่วงเวลาแช่แข็ง (Frozen interval) มาใช้ [3] การปรับปรุงวิธี GA เพื่อช่วยในการหาคำตอบในสำหรับปัญหา APS ของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System: FMS) [7] การนำเอาวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search: LS) มาใช้ร่วมกับ GA ในการพิจารณาการจัดตารางการผลิตและการขนส่ง ของปัญหา

APS ที่มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์ของหลายผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน [6] และการใช้ MIP และ Heuristic Factory Planning Algorithm (HFPA) ในการแก้ปัญหาการวางแผนในโรงงาน (Factory Planning problem: FP) [12]

อย่างไรก็ตาม ในบางผลิตภัณฑ์ อาจจะมีบางชิ้นส่วนที่ไม่สามารถผลิตในโรงงานได้ จะต้องสั่งผลิตชิ้นส่วนนั้น จากบริษัทหรือองค์การภายนอก (Outsource) เพื่อให้สามารถนำชิ้นส่วนนั้นมาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ส่งมอบให้ลูกค้าได้ทันเวลาส่งมอบ ดังนั้น เพื่อความสมจริงมากขึ้น จึงมีนักวิจัยพิจารณากรณีที่ 3 นั่นคือ แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตกับเครื่องจักรในกลุ่มที่กำหนดไว้ให้ พร้อมทั้งมีการสั่งผลิตจากภายนอกโรงงาน โดยมีการนำวิธี MIP การค้นหาคำตอบแบบทาบ (Tabu Search: TS) และ GA ในการพิจารณาการวางแผน การจัดลำดับงานและจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรทั้งจากในโรงงาน และจากแหล่งผลิตภายนอก [4] การนำเอา LS มาใช้ร่วมกับ GA [13] ในการหาคำตอบและเปรียบเทียบเวลาทำงานทุกงานเสร็จสมบูรณ์ (Makespan) กับงานวิจัย [4] พบว่า เวลาทำงานทุกงานเสร็จสมบูรณ์จากวิธีที่นำ LS มาใช้ร่วมกับ GA มีค่าน้อยกว่าเวลาทำงานทุกงานเสร็จสมบูรณ์ จากงานวิจัย [4] ซึ่งใช้วิธี MIP TS และ GA

ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถดำเนินการผลิตได้อย่างราบรื่น กิจกรรมที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของระบบการผลิต ก็คือ การบำรุงรักษาเครื่องจักร ดังนั้น จึงมีงานวิจัยอยู่หลากหลายที่พิจารณาการวางแผนและจัดตารางการผลิตรวมกับการพิจารณาการบำรุงรักษาเครื่องจักรไปด้วย ในส่วนของการบำรุงรักษาเครื่องจักร สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) และการบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance: CM) ในส่วนนี้ ผู้วิจัยจะมุ่งเน้นในเรื่องของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หรือ PM ในลักษณะของการบำรุงรักษาตามคาบเวลา (Time-Based Maintenance หรือ Periodic-based maintenance) ซึ่งช่วงเวลาหรือ Time window ในการทำ PM นั้น จะถูกกำหนดโดยค่าสถิติหรือประสบการณ์ในการซ่อมบำรุงที่ผ่านมา ซึ่งการกำหนดการ PM นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องจักรและสภาพแวดล้อมการผลิตด้วย จุดประสงค์หลักของการทำ PM นั้น ก็คือ เพื่อป้องกันและลดอัตราการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร หลีกเลี่ยงการขัดข้องของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างทันที ในส่วนของงานวิจัยที่ผ่านมา ก็มีทั้งการนำหลักการทางคณิตศาสตร์และวิธีการประมาณค่าคำตอบมาใช้ในการช่วยหาคำตอบ เช่น การนำเสนอตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มทวิภาคแบบผสม

(Mixed Binary Integer Programming: BIP) พร้อมกับการใช้วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) กับปัญหาของการจัดตารางการผลิตแบบเครื่องจักรเดียว (Single machine) และการบำรุงรักษาเครื่องจักรตามคาบเวลาที่มีความยืดหยุ่นได้ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ (Time window) [14] การใช้วิธีกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming: LP) B&B LS และ GA [15] และการใช้ MIP ศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตของปัญหาการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตแบบประหยัด (Lot-sizing problem) สำหรับการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow shop) ที่มีหลายผลิตภัณฑ์และมีการวางแผนหลายช่วงเวลา พร้อมกับพิจารณาตัวแบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีความยืดหยุ่นได้ เช่นเดียวกับการ PM ในงานวิจัย [14] แต่มีการเพิ่มการพิจารณากำหนดขอบเขตล่าง (Lower bounds) และวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) ในปัญหานี้ เพื่อช่วยแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้นได้ [16] เป็นต้น

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยอีกจำนวนหนึ่งที่ศึกษาการวางแผนและจัดตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยอาศัยหลักการประมาณค่าคำตอบต่างๆ โดยวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) และเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด เช่น พิจารณาปัญหาการจัดตารางการผลิตและการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ด้วยวิธีการใช้วิธี GA [17] หรือการใช้วิธีฮาร์โมนี เสิร์ช (Harmony Search Algorithm: HS) [18] ในการช่วยประมาณค่าคำตอบ ได้พิจารณาปัญหาการวางแผนและการจัดตารางการผลิตรวมถึงการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของเครื่องจักรเดียว และการลดอุณหภูมิของวิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing: SA) และ GA [19] ในการหาประมาณค่าคำตอบของปัญหา การผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow shop) เป็นต้น

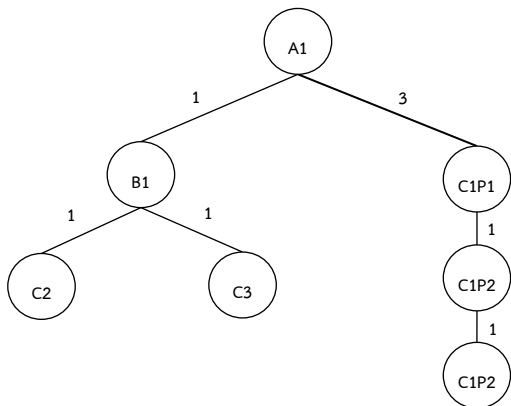
จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามียังไม่มีการนำปัญหา APS กับ การ PM นั้น มาพิจารณาร่วมกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาและปรับปรุงตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ของ Öztürk and Ormek [11] ซึ่งได้นำเสนอตัวแบบ MIP กับปัญหา APS ภายใต้การพิจารณาข้อจำกัดในด้านการผลิต เครื่องจักร การจัดลำดับงาน เวลาการทำงานของเครื่องจักร และเวลาส่งมอบ กับปัญหาที่มีหลายเครื่องจักร หลายคำสั่งซื้อและแต่ละผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์หลายระดับและหลายชิ้นส่วน ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกทำงานได้กับเครื่องจักรในกลุ่มที่กำหนดไว้ โดยมีการเพิ่มเติมการพิจารณาข้อจำกัดในเรื่องของการบำรุงเครื่องจักรเชิงป้องกันด้วย มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ค่าปรับรวมในการผลิต ซึ่งประกอบด้วย ค่าปรับเนื่องจากการว่างงานของเครื่องจักร

(Idle time) ค่าปรับเนื่องจากการผลิตเสร็จเร็วกว่า หรือช้ากว่ากำหนดการส่งมอบ (Earliness or tardiness) ของแต่ละคำสั่งซื้อให้ต่ำที่สุด

3. คำอธิบายปัญหาและการพัฒนาตัวแบบ

สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นศึกษาปัญหา APS พร้อมทั้งมีการพิจารณาโครงสร้างผลิตภัณฑ์และชิ้นส่วนย่อยในโครงสร้างผลิตภัณฑ์หลายระดับด้วย ซึ่งตัวอย่างอย่างง่ายของโครงสร้างผลิตภัณฑ์แสดงได้ดังรูปที่ 1

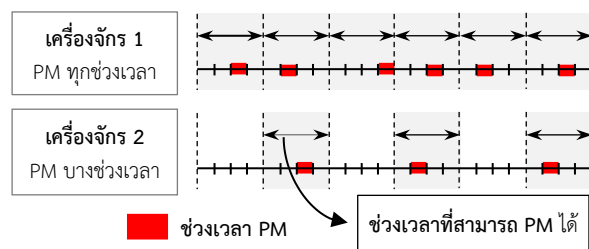
จากรูปที่ 1 มี A1 เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่ง A1 มีส่วนประกอบย่อยคือ B1 และ C1 ส่วนประกอบย่อย B1 ถูกสร้างขึ้นมาจากส่วนประกอบ C2 และ C3 ส่วน C1 นั้นจะต้องมีการดำเนินการย่อยอีก 3 รายการนั่นคือ P1-P3 ดังนั้น C1 จึงมีชิ้นส่วนลูก (Child items) อยู่อีก 3 ชิ้นส่วน ได้แก่ C1P1 C1P2 และ C1P3 นอกจากนี้ แต่ละชิ้นส่วนยังมีข้อจำกัด คือ ชิ้นส่วนในระดับที่ต่ำกว่า (Child items) จะต้องผลิตหรือทำงานแล้วเสร็จก่อนที่จะทำหรือผลิตชิ้นส่วนในระดับที่สูงกว่า (Parent items)



รูปที่ 1 ตัวอย่างของโครงสร้างผลิตภัณฑ์อย่างง่าย

สำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ มีการพัฒนาและปรับปรุงตัวแบบมาจากงานวิจัยของ Öztürk and Ornek [11] โดยนำตัวแบบ MIP มาใช้ในการแก้ปัญหา APS มีเป้าหมายคือ เพื่อทำให้ค่าปรับรวม ได้แก่ ค่าปรับเนื่องจากการว่างงานของเครื่องจักร (Idle time) ค่าปรับเนื่องจากการผลิตเสร็จเร็วกว่า หรือช้ากว่ากำหนดการส่งมอบ (Earliness or tardiness) ของแต่ละคำสั่งซื้อให้ต่ำที่สุด โดยพิจารณาข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตของเครื่องจักร การจัดลำดับงานเวลานำ (Lead time) และวันกำหนดการส่งมอบสินค้า (Due date) ในปัญหาที่มีหลายคำสั่งซื้อ หลายเครื่องจักร

ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์หลายระดับ ซึ่งบางชิ้นส่วนของแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถใช้ร่วมกันได้ และแต่ละชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์สามารถเลือกผลิตกับเครื่องจักรใดๆ ในกลุ่มของเครื่องจักรกำหนดไว้ พร้อมทั้งมีการนำเรื่องของ การบำรุงรักษาเครื่องจักรมาพิจารณา โดยจะมีการเพิ่มข้อจำกัดของช่วงเวลากการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) เข้าไป ซึ่งจะแบ่งให้เครื่องจักรทุกเครื่องทำ PM เป็นช่วงเวลา (Time window) (ช่วงเวลาที่เป็นแถบสีเทา) ที่สามารถยืดหยุ่นเวลาการทำ PM ได้ และแต่ละเครื่องจักรอาจจะมีการทำการ PM แตกต่างกันไป ตัวอย่างการ PM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งกำหนดให้แกน x เป็นเวลาในการผลิต



รูปที่ 2 ตัวอย่างการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ข้อสมมติ สำหรับปัญหา APS ที่มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์หลายระดับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ณ เวลาใดๆ แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตในกลุ่มของเครื่องจักรที่กำหนดไว้ (Alternative machines) ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกใช้เครื่องจักรในการผลิตได้เพียงเครื่องเดียวเท่านั้น
- 2) ณ เวลาใดๆ แต่ละเครื่องจักรสามารถผลิตได้เพียงชิ้นส่วนเดียวเท่านั้น
- 3) เมื่อชิ้นส่วนถูกเลือกผลิตในเครื่องจักรใดๆ แล้วจะต้องผลิตอย่างต่อเนื่อง ไม่สามารถหยุดผลิตหรือนำชิ้นส่วนนั้นลงจากเครื่องจักรได้จนกว่าจะทำงานแล้วเสร็จ
- 4) กำหนดให้เวลาในการ PM ถูกกำหนดไว้แล้ว ด้วยช่วงเวลาที่แน่นอน (แสดงตัวอย่างการกำหนดการ PM ดังรูปที่ 2)
- 5) ในขณะที่ทำ PM นั้น เครื่องจักรจะต้องว่างอยู่ ไม่ผลิตชิ้นส่วนใดๆ
- 6) กำหนดให้เวลาที่แล้วเสร็จของการ PM ในแต่ละช่วงเวลาต้องอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนดเท่านั้น โดยที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องถูกกำหนดเวลาทำงานไว้แล้ว
- 7) กำหนดให้ ใน 1 วัน มีชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมง

4. ตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์ของปัญหา APS

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์ของปัญหา APS โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ตัวแบบพื้นฐานของปัญหา APS ที่แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกดำเนินการได้หลายเครื่องจักร (Alternative machines) และตัวแบบของปัญหา APS ที่กำหนดให้มีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ตัวแบบพื้นฐานของปัญหา APS ที่แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตได้หลายเครื่องจักร (Alternative machines)

ตัวแบบทางกำหนดการทางคณิตศาสตร์ของปัญหา APS ของงานวิจัยนี้ ถูกพัฒนามาจากงานวิจัยของ Öztürk and Ornek [11] ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดัชนี (Indices)

i, j คือ หมายเลขของคำสั่งซื้อ โดยที่ $i, j = 1, \dots, n$
 p, q คือ หมายเลขของชิ้นส่วน โดยที่ $p, q = 1, \dots, b$
 k คือ หมายเลขของเครื่องจักร โดยที่ $k = 1, \dots, m$

พารามิเตอร์ (Parameters)

n คือ จำนวนคำสั่งซื้อ
 b คือ จำนวนชิ้นส่วน
 m คือ จำนวนเครื่องจักร
 R คือ เซตของคู่ชิ้นส่วนที่ต้องทำก่อนและหลัง ของ (p, q) เช่น ชิ้นส่วน p ต้องถูกดำเนินการก่อนชิ้นส่วน q เป็นต้น
 t_{pk} คือ เวลาที่ชิ้นส่วน p ต้องใช้ดำเนินการบนเครื่องจักร k
 r_k คือ เวลาที่เครื่องจักร k พร้อมใช้งาน
 d_i คือ กำหนดวันส่งมอบสินค้าของคำสั่งซื้อ i
 I คือ ค่าปรับจากการว่างงานของเครื่องจักร
 TC_i คือ ค่าปรับจากการที่แต่ละคำสั่งซื้อ i เสร็จล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนด
 EC_i คือ ค่าปรับจากการที่แต่ละคำสั่งซื้อ i เสร็จก่อนเวลาที่กำหนด
 M คือ จำนวนเต็มบวกที่มีค่ามาก
 F_p คือ เซตของเครื่องจักรที่ชิ้นส่วน p สามารถใช้งานได้
 P_i คือ ชิ้นส่วนสุดท้ายของคำสั่งซื้อที่ i

ตัวแปรตัดสินใจ (Variables)

$C_{\max}$ คือ เวลาที่งานทุกงานเสร็จสมบูรณ์ (Makespan)
 S_p คือ เวลาเริ่มการผลิตของชิ้นส่วน p

C_i คือ เวลาการผลิตที่แล้วเสร็จของคำสั่งซื้อ i
 L_i คือ จำนวนวันที่งานล่าช้ากว่ากำหนดวันส่งมอบ (จำนวนจริง) ของคำสั่งซื้อ i
 E_i คือ จำนวนวันที่งานเสร็จก่อนกำหนดวันส่งมอบ (จำนวนจริง) ของคำสั่งซื้อ i
 L'_i คือ จำนวนวันที่งานล่าช้ากว่ากำหนดวันส่งมอบ (จำนวนเต็ม) ของคำสั่งซื้อ i
 E'_i คือ จำนวนวันที่งานเสร็จก่อนกำหนดวันส่งมอบ (จำนวนเต็ม) ของคำสั่งซื้อ i
 Y_{pqk} คือ ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าชิ้นส่วน p ทำก่อนชิ้นส่วน q บนเครื่องจักร k และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ
 Z_{pk} คือ ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าชิ้นส่วน p ถูกเลือกให้ดำเนินการบนเครื่องจักร k และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

โดยมีรูปแบบของตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\text{Min} \left\{ I \left(m \times C_{\max} - \sum_{p=1}^b \sum_{k \in F_p} t_{pk} \times Z_{pk} - \sum_{k=1}^m r_k \right) + \sum_{i=1}^n (TC_i \times L'_i + EC_i \times E'_i) \right\} \quad (1)$$

Subject to:

$$C_i \leq C_{\max} \quad \forall i, \quad (2)$$

$$S_p \geq \sum_{k \in F_p} r_k \times Z_{pk} \quad \forall p, \quad (3)$$

$$S_q \geq S_p + \sum_{k \in F_p} t_{pk} \times Z_{pk} \quad (p, q) \in R, \quad (4)$$

$$S_{P_i} + \sum_{k \in F_{P_i}} t_{P_i k} \times Z_{P_i k} = C_i \quad \forall i, \quad (5)$$

$$S_q \geq S_p + t_{pk} \times Z_{pk} - M \times (1 - Y_{pqk}) \quad \forall p, q, k | k \in F_q \cap F_p, p < q, \quad (6)$$

$$S_p \geq S_q + t_{qk} \times Z_{qk} - M \times (1 - Y_{qpk}) \quad \forall p, q, k | k \in F_q \cap F_p, p < q, \quad (7)$$

$$Z_{pk} + Z_{qk} \geq 2 \times (Y_{pqk} + Y_{qpk}) \quad \forall p, q, k | k \in F_q \cap F_p, p < q, \quad (8)$$

$$Z_{pk} + Z_{qk} \leq Y_{pqk} + Y_{qpk} + 1$$

$$\forall p, q, k | k \in F_q \cap F_p, p < q, \quad (9)$$

$$\sum_{k \in F_p} Z_{pk} = 1 \quad \forall p, \quad (10)$$

$$\frac{C_i}{8} - d_i \leq L_i \quad \forall i, \quad (11)$$

$$d_i - \frac{C_i}{8} \leq E_i \quad \forall i, \quad (12)$$

$$L_i' \geq L_i \quad \forall i, \quad (13)$$

$$E_i' \geq E_i - 0.99 \quad \forall i, \quad (14)$$

$$\sum_{k \notin F_p} Z_{pk} \leq 0 \quad \forall p, \quad (15)$$

$$C_{\max} \geq 0 \quad (16)$$

$$S_p \geq 0 \quad \forall p, \quad (17)$$

$$C_i, E_i, L_i \geq 0 \quad \forall i, \quad (18)$$

$$E_i', L_i' \geq 0, \text{ integer} \quad \forall i, \quad (19)$$

$$Y_{pqk}, Z_{pk} \in \{0,1\} \quad \forall p, q, k \quad (20)$$

สมการที่ (1) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การทำให้ค่าปรับเนื่องจากการว่างงานของเครื่องจักร ค่าปรับเนื่องจากการเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด และค่าปรับเนื่องจากการเสร็จล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนดนั้นต่ำที่สุด สมการที่ (2) แสดงให้เห็นว่า เวลาในการผลิตของแต่ละคำสั่งซื้อจะต้องไม่เกินเวลาที่งานทุกงานในการผลิตเสร็จสมบูรณ์ สมการที่ (3) เวลาเริ่มการผลิตชิ้นส่วน p จะต้องไม่น้อยกว่าเวลาพร้อมใช้งานของเครื่องจักรที่ถูกเลือกให้ผลิตชิ้นส่วน p สมการที่ (4) เวลาเริ่มต้นของชิ้นส่วนที่ต้องทำที่หลัง จะต้องไม่น้อยกว่าเวลาเสร็จสิ้นของชิ้นส่วนที่ต้องทำก่อนเสมอ สมการที่ (5) แสดงเวลาแล้วเสร็จของแต่ละคำสั่งซื้อ i สมการที่ (6) แสดงให้เห็นว่า ที่เวลาใดๆ หากชิ้นส่วน p ถูกกำหนดให้ทำก่อนชิ้นส่วน q บนเครื่องจักร k เวลาการเริ่มต้นของชิ้นส่วน q จะต้องไม่น้อยกว่าเวลาแล้วเสร็จของชิ้นส่วน p สมการที่ (7) แสดงให้เห็นว่า ที่เวลาใดๆ หากชิ้นส่วน q ถูกกำหนดให้ทำก่อนชิ้นส่วน p บนเครื่องจักร k เวลาการเริ่มต้นของชิ้นส่วน p จะต้องไม่น้อยกว่าเวลาแล้วเสร็จของชิ้นส่วน q สมการที่ (8) และ สมการที่ (9) กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร Z_{pk}, Z_{qk}, Y_{pqk} และ Y_{qpk} สมการที่ (10) แต่ละชิ้นส่วนจะต้องถูกกำหนดให้ดำเนินการบนเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งเท่านั้น ในเซตของเครื่องจักรที่กำหนดไว้ สมการที่ (11) และ (12) แสดงเวลาที่งานเสร็จ

ก่อนเวลาที่กำหนดและเวลาที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของแต่ละคำสั่งซื้อ (C_i ซึ่งมีหน่วยเป็นชั่วโมง ถูกหารด้วย 8 ตามเวลาการทำงานใน 1 วัน ซึ่งเท่ากับ 8 ชั่วโมง เพื่อให้หน่วยเป็นไปตามหน่วยของค่าปรับซึ่งมีหน่วยเป็นวัน) สมการที่ (13) และ (14) แสดงเวลาที่เสร็จก่อนเวลาที่กำหนดและเวลาที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดของแต่ละคำสั่งซื้อที่เป็นจำนวนเต็ม และสมการที่ (15) ป้องกันการกำหนดชิ้นส่วนใดๆ ไปดำเนินการบนเครื่องจักรที่ไม่ได้กำหนดไว้ และข้อจำกัดที่ (16) - (20) เป็นการกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรตัดสินใจ

4.2 ตัวแบบของปัญหา APS ที่กำหนดให้มีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM)

สำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันหรือ PM ในตัวแบบนี้ จะแบ่งให้เครื่องจักรทุกเครื่องทำ PM เป็นช่วงเวลา (Time window) และแต่ละช่วงเวลาสามารถยืดหยุ่นได้ในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งในส่วนนี้ของตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาเป็นข้อจำกัดเพิ่มเติมเรื่องของ PM นั้น ได้ปรับปรุงมาจากงานวิจัย [16] โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

กำหนดดัชนีเพิ่มเติม

l คือ หมายเลขของงาน PM โดยที่ $l = 1, \dots, s$

กำหนดเซตเพิ่มเติม

PMT_k คือ เซตของงาน PM ของเครื่องจักร k

กำหนดพารามิเตอร์เพิ่มเติม

s คือ จำนวนการ PM ทั้งหมด

TM_{kl} คือ เวลาที่ใช้ในการ PM ครั้งที่ l ของเครื่องจักร k

EM_{kl} คือ เวลาที่ทำ PM ครั้งที่ l เสร็จเร็วที่สุดของเครื่องจักร k

LM_{kl} คือ เวลาที่ทำ PM ครั้งที่ l เสร็จล่าช้าที่สุดของเครื่องจักร k

กำหนดตัวแปรตัดสินใจเพิ่มเติม

FM_{kl} คือ เวลาที่งาน PM ครั้งที่ l แล้วเสร็จของเครื่องจักร k

PM_{pkl} คือ ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 ถ้าชิ้นส่วน p ทำก่อนงาน PM ครั้งที่ l บนเครื่องจักร k และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

และมีรูปแบบของตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติม ดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์: สมการที่ (1) (จากหัวข้อ 4.1)

Subject to: สมการและสมการที่ (2) ถึง (20) (จากหัวข้อ 4.1) และ

$$S_p - FM_{kl} + M \times PM_{pkl} \geq 0$$

$$\forall p, k \in F_p, l \in PT_k \quad (21)$$

$$FM_{kl} - TM_{kl} - (S_p + t_{pk} \times Z_{pk}) + M \times (1 - PM_{pkl}) \geq 0$$

$$\forall p, k \in F_p, l \in PT_k \quad (22)$$

$$EM_{kl} \leq FM_{kl} \leq LM_{kl} \quad \forall k \in F_p, l \in PT_k \quad (23)$$

$$PM_{pkl} \in \{0,1\} \quad (24)$$

$$FM_{kl} \geq 0 \quad \forall k, l \in PT_k \quad (25)$$

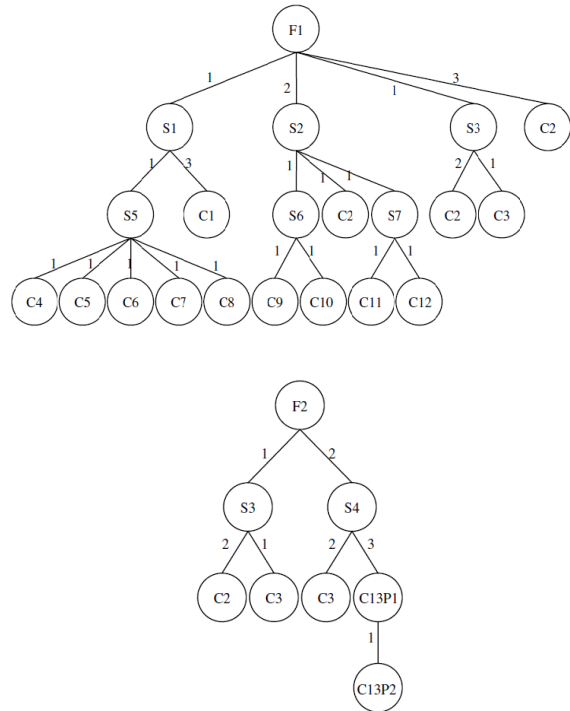
จากสมการที่ (21) แสดงให้เห็นว่า ณ เครื่องจักร k ใดๆ ถ้ามีชิ้นส่วน p ถูกดำเนินการหลังจากงาน PM ที่ l บนเครื่องจักร k แล้ว เวลาเริ่มต้นในการผลิตชิ้นส่วน p ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่งาน PM ที่ l บนเครื่องจักร k เสร็จสิ้น สมการที่ (22) แสดงให้เห็นว่า ณ เครื่องจักร k ใดๆ ถ้ามีชิ้นส่วน p ถูกดำเนินการก่อนที่งาน PM ที่ l บนเครื่องจักร k แล้ว เวลาเสร็จสิ้นของการผลิตชิ้นส่วน p ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาเริ่มต้นของงาน PM ที่ l บนเครื่องจักร k และสมการที่ (23) แสดงให้เห็นว่า เวลาในการทำงาน PM แล้วเสร็จจะต้องอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนด และข้อจำกัดที่ (24) และ (25) เป็นการกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรตัดสินใจ

5. ตัวอย่างการหาคำตอบและอภิปรายผล

ในหัวข้อนี้แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถูกพัฒนาและปรับปรุงในหัวข้อก่อนหน้านี้ โดยข้อมูลตัวอย่างจะใช้ข้อมูลเดียวกับงานวิจัยของ Chen and Ji [8] และ Öztürk and. Ornek [11] ซึ่งพิจารณาผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์ 4 ระดับ ดังรูปที่ 3

โดยจะมีการหาคำตอบและเปรียบเทียบผลการหาคำตอบจากลักษณะของตัวแบบที่แตกต่างกันเป็น 4 แบบ คือ 1) ตัวแบบ APS1 แต่ละชิ้นส่วนสามารถผลิตได้เพียงเครื่องจักรเดียวเท่านั้น (APS without alternative machines) 2) ตัวแบบ APS1PM คล้ายคลึงกับแบบที่ 1 แต่พิจารณาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้วย (APS without alternative machines and PM) 3) ตัวแบบ APS2 แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตกับเครื่องจักรในกลุ่มที่กำหนดไว้ให้ (APS with alternative machines) และ 4) ตัวแบบ APS2PM คล้ายคลึงกับแบบที่ 3 แต่พิจารณาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้วย (APS with alternative machines and PM) ซึ่งการหาคำตอบจากทั้ง 4 แบบดังที่กล่าวมานั้น ใช้ตัวแบบ APS เดียวกันทั้งหมด (แสดงดังข้อ 4.1) ยกเว้นตัวแบบ APS1PM และตัวแบบ APS2PM ที่มีการนำสมการข้อจำกัด

ของการ PM มาพิจารณาด้วย (แสดงดังข้อ 4.2) และตัวแบบ APS1 และตัวแบบ APS1PM นั้น จะกำหนดให้ F_p มีเพียงเครื่องจักรเดียว สำหรับทุกๆ p



รูปที่ 3 โครงสร้างผลิตภัณฑ์ 4 ระดับของข้อมูลตัวอย่าง

5.1 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับอธิบายปัญหา

5.1.1 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับทุกตัวแบบ

มีเครื่องจักร 5 เครื่อง โดยเครื่องจักรแต่ละเครื่องทำงานได้ 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งกำหนดเวลาที่เครื่องจักรพร้อมใช้งาน (Ready time) เวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละชิ้นส่วนของแต่ละเครื่องจักร และเซตของเครื่องจักรที่แต่ละชิ้นส่วนสามารถทำงานได้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาที่เครื่องจักรพร้อมใช้งาน และเวลาในการดำเนินการของแต่ละชิ้นส่วน

ชิ้นส่วน	เครื่องจักร (ชั่วโมง)				
	1	2	3	4	5
F1				0.4	0.7*
F2				0.3	0.6*
S1				0.7*	0.5
S2				0.3	0.5*
S3				0.6*	0.4
S4				0.5*	0.6
S5				0.3	0.4*
S6				0.4*	0.2

ชิ้นส่วน	เครื่องจักร (ชั่วโมง)				
	1	2	3	4	5
S7				0.3*	0.4
C1	0.1	0.2	0.2*		
C2	0.1	0.2	0.3*		
C3				0.4	0.3*
C4	0.1*	0.3			
C5	0.2*	0.4			
C6	0.3*	0.2			
C7	0.1	0.3*			
C8	0.3	0.4*			
C9	0.4*	0.6			
C10	0.5	0.2*			
C11	0.1*		0.3		
C12	0.2*	0.3			
C13P1	0.4	0.2	0.3*		
C13P2	0.2	0.3*			
เวลาที่เครื่องจักรพร้อมใช้งาน (r_i)					
	1	2	3	2	1

หมายเหตุ * หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้และเวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละชิ้นส่วนของตัวแบบ APS1 และตัวแบบ APS1PM

มีคำสั่งซื้อ 5 คำสั่งซื้อ ได้แก่ 1) F1 จำนวน 10 ชิ้น เวลาส่งมอบ 12 วัน 2) F2 จำนวน 5 ชิ้น เวลาส่งมอบ 14 วัน 3) S1 จำนวน 10 ชิ้น เวลาส่งมอบ 11 วัน 4) C2 จำนวน

ตารางที่ 2 การแบ่งช่วงเวลาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของแต่ละเครื่องจักร

เครื่องจักร	เวลาที่ใช้ในการ PM (ชั่วโมง/ครั้ง) (TM_{kl})	จำนวนครั้ง ในการ PM (ครั้ง) (CP_k)	ครั้งที่	เวลาในการ PM แล้วเสร็จเร็วที่สุด (ชั่วโมงที่) (EM_{kl})	เวลาในการ PM แล้วเสร็จช้าที่สุด (ชั่วโมงที่) (FM_{kl})
1	1	4	1	15	16
			2	30	31
			3	45	46
			4	60	61
2	2	2	1	20	22
			2	40	42
3	3	1	1	50	53
4	3	1	1	50	53
5	2	2	1	20	22
			2	40	42

หมายเหตุ: PM หมายถึง การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

30 ชิ้น เวลาส่งมอบ 2 วัน และ 5) C3 จำนวน 15 ชิ้น เวลาส่งมอบ 10 วัน

และค่าปรับต่างๆ ได้แก่ ค่าปรับเนื่องจากเครื่องจักรว่างงาน 50 ดอลลาร์สหรัฐต่อชั่วโมง ค่าปรับจากงานเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด 50 ดอลลาร์สหรัฐต่อชั่วโมง และค่าปรับจากงานเสร็จล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนด 250 ดอลลาร์สหรัฐต่อชั่วโมง (กำหนดให้ ค่าปรับต่างๆ เท่ากันในทุกงาน คือ $EC_i = 50 \quad \forall i, TC_i = 250 \quad \forall i$)

5.1.2 พารามิเตอร์สำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบช่วงเวลา

กำหนดให้มีการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 8 ช่วง ช่วงละ 8 ชั่วโมง (สมมติช่วงเวลา PM โดยพิจารณาจาก makespan ของงานวิจัย [11]) เครื่องจักรแต่ละเครื่องจะต้องใช้เวลาในการ PM (TM_{kl}) แตกต่างกัน โดยเวลาที่ทำการ PM แล้วเสร็จ จะต้องอยู่ในช่วงเวลาการ PM แล้วเสร็จเร็วที่สุด (EM_{kl}) และช้าที่สุด (LM_{kl}) และกำหนดให้ผลต่างของระยะเวลาระหว่าง PM แล้วเสร็จช้าที่สุด และเร็วที่สุด ($LM_{kl} - EM_{kl}$) เท่ากับเวลาที่ใช้ในการ PM ของเครื่องจักรนั้นๆ เช่น หากเวลาที่ใช้ในการ PM ของเครื่องจักรที่ 1 เท่ากับ 1 ชั่วโมงต่อครั้ง เวลาในการ PM แล้วเสร็จเร็วที่สุด และช้าที่สุด ในชั่วโมงที่ 13 และชั่วโมงที่ 14 ตามลำดับ เป็นต้น ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวและจำนวนครั้งของการ PM ของแต่ละเครื่องจักร แสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของแต่ละตัวแบบ

ปัญหา	จำนวนสมการ ข้อจำกัด	จำนวนตัวแปร ทั้งหมด	จำนวนตัวแปร ที่เป็นจำนวนจริง	เวลาที่งานทุกงาน เสร็จสมบูรณ์ (C_{max}) (ชั่วโมง)	เวลาที่ใช้ ในการหาคำตอบ (วินาที)
1. ตัวแบบ APS1	1152	337	10	57	5.277
2. ตัวแบบ APS1PM	1311	425	10	60	12.588
3. ตัวแบบ APS2	6209	1671	10	50.5	7023.98
4. ตัวแบบ APS2PM	6595	1874	10	47	6170.03

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพของแต่ละตัวแบบ วัดผลจากเวลาการส่งมอบ (Due date)

ปัญหา	จำนวน			ค่าใช้จ่าย (ดอลลาร์สหรัฐฯ)			ค่าใช้จ่ายรวม
	งานเสร็จก่อน (วัน)	งานเสร็จล่าช้า (วัน)	เครื่องจักร ว่างงาน/PM (ชั่วโมง)	งานเสร็จก่อน	งานเสร็จล่าช้า	เครื่องจักร ว่างงาน/PM	
1. ตัวแบบ APS1	17	6	84	850	1500	4200	6550
2. ตัวแบบ APS1PM	16	6	99*	800	1500	4950*	7250
3. ตัวแบบ APS2	21	0	38.5	1050	0	1925	2975
4. ตัวแบบ APS2PM	27	0	42.5*	1350	0	2125*	3475

หมายเหตุ: * หมายถึง จำนวนเวลาและค่าใช้จ่าย กรณีเครื่องจักรว่างงานรวมเวลาการ PM ด้วย

5.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบ

การทดสอบตัวแบบฯ นี้ ถูกดำเนินการด้วยคอมพิวเตอร์พกพาที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel(R) Core(TM) i5-3210M CPU@ 2.50 GHz หน่วยความจำหลัก (Ram) 4.00 GB และระบบปฏิบัติการ (OS) Microsoft Window 7 Ultimate 64 bit Operating System และใช้ซอฟต์แวร์ Gurobi Solver 5.6.2 ในการช่วยหาคำตอบของตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม ซึ่งผลการหาคำตอบของตัวแบบทั้ง 4 แบบ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

5.2.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบ APS1

จากรูปที่ 3 จะอธิบายความหมายของสัญลักษณ์บนแผนภูมิแกนต์ ซึ่งแกน x แสดงเวลาในการผลิต หน่วยเป็นชั่วโมง และชิ้นส่วนที่ถูกใช้ร่วมกันกับหลายโครงสร้างผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น O1F1C2 คือ ชิ้นส่วน C2 เป็นชิ้นส่วนในระดับที่ต่ำกว่า (Child item) ของ F1 (Parent item) ของคำสั่งซื้อที่ 1 แต่ในกรณีที่ O4C2 นั้น ชิ้นส่วน C2 เป็นคำสั่งซื้อที่ 4 ไม่มีชิ้นส่วนในระดับที่สูงกว่า (No parent item) เป็นต้น แผนภูมิแกนต์นี้แสดงตารางการผลิต

ที่มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด และจากตารางที่ 4 พบว่าค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดของปัญหานี้ เท่ากับ 6,550 ดอลลาร์สหรัฐฯ ซึ่งแบ่งเป็นค่าใช้จ่ายเนื่องจากเครื่องจักรว่างงาน 84 ชั่วโมง คิดเป็น 4,200 ดอลลาร์สหรัฐฯ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากงานเสร็จก่อนวันส่งมอบ 17 ชั่วโมงคิดเป็น 850 ดอลลาร์สหรัฐฯ และค่าใช้จ่ายเนื่องจากงานเสร็จหลังวันส่งมอบ 6 ชั่วโมงคิดเป็น 1,500 ดอลลาร์สหรัฐฯ และจากตารางที่ 3 พบว่า เวลาที่งานทุกงานเสร็จสมบูรณ์ (Makespan) เท่ากับ 57 ชั่วโมง

5.2.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบ APS1PM

ผลจากการเพิ่มการพิจารณาข้อจำกัดเรื่องการ PM ในตัวแบบ APS1 นั้น จากตารางที่ 3 พบว่า ทำให้มีจำนวนสมการข้อจำกัด จำนวนตัวแปร เวลาที่งานทุกงานเสร็จสมบูรณ์และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการเพิ่ม PM เข้าไปในนั้น จะเป็นการไปเพิ่มข้อจำกัดให้การหาคำตอบมีความซับซ้อนขึ้น เพราะจะต้องคำนึงถึงการ PM ซึ่งถูกกำหนดไว้แล้วด้วยช่วงเวลาต่างๆ กัน ดังนั้น นอกจากจะต้องจัดตารางการผลิตชิ้นส่วนใช้เครื่องจักรในเวลาที่เหมาะสมแล้ว ยังจะต้องตัดสินใจทำ PM ภายในช่วงเวลาที่กำหนดให้ ให้ชิ้นส่วนนั้นสามารถผลิตกับเครื่องจักรได้โดยไม่ทำให้ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นต้องเสียเวลารอ

มากเกินไป เนื่องจากข้อสมมติที่ว่า เมื่อชิ้นส่วนถูกเลือกให้ผลิตในเครื่องจักรใดๆ แล้วจะต้องผลิตอย่างต่อเนื่อง ไม่สามารถหยุดผลิตหรือนำชิ้นส่วนนั้นลงจากเครื่องจักรได้ จนกว่าจะทำจนแล้วเสร็จ ก็อาจทำให้เกิดช่องว่างของเวลา ก่อนที่จะทำ PM ซึ่งส่งผลทำให้เครื่องจักรว่างงานโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ เพราะไม่สามารถป้อนชิ้นส่วนนั้นให้เครื่องจักรได้นั่นเอง ซึ่งผลจากตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายรวมที่เพิ่มขึ้นจากผลของตัวแบบ APS1 ซึ่งไม่พิจารณา PM จะเห็น

ได้ว่า ค่าใช้จ่ายในส่วนที่งานเสร็จก่อนวันส่งมอบลดลง 1 ชั่วโมง แต่สิ่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมสูงขึ้น ก็คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากเครื่องจักรว่างงาน ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 99 ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 4,950 ดอลลาร์สหรัฐฯ จากเดิม 84 ชั่วโมง ซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 15 ชั่วโมง ซึ่งเกิดจากเหตุผลที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้ นั่นเอง นอกจากนี้ การทำ PM ยังส่งผลต่อเวลาที่งานทุกงานเสร็จสมบูรณ์ด้วย ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 60 ชั่วโมง จากตัวแบบ APS1 ซึ่งเท่ากับ 57 ชั่วโมง (ดังแผนภูมิแกนต์ในรูปที่ 4)

M1				O1C9				O1C6		O1C12		O1C5	O1C11		O1C4					O3C4	O3C6
M2				O1C10				O1C7					O1C8					O2C13P2			O3C7
M3								O1C1				O1F1C2			O2C2			O1S2C2			O1S3C2
M4												O1S6						O1S7			O1S1
M5			O2S3C3		O1C3							O2S4C3						O1S5			O1S2

M1								O3C5													
M2								O3C8													
M3								O2C13P1				O3C1					O4C2				
M4								O1S3			O2S3			O2S4			O3S1				
M5										O3S5			O1F1			O5C3		O2F2			

รูปที่ 3 แผนภูมิแกนต์ของตัวแบบ APS1

M1				O1C9				O1C12		O1C11	PM	O1C4	O3C4	O1C5	O1C6			O3C5	PM	
M2				O1C7				O2C13P2			O1C10		PM	O1C8						
M3								O1C1			O1F1C2			O2C2			O1S2C2			O2C13P1
M4												O1S7					O1S6			O2S3
M5			O1C3		O2S3C3						O2S4C3			PM			O1S5			O1S2

M1							O3C7				PM								PM	
M2							O3C8				PM									
M3								O1S3C2			O3C1		PM			O4C2				
M4								O1S1			O2S4		O1S3		PM		O3S1			
M5										PM	O3S5		O5C3			O1F1		O2F2		

รูปที่ 4 แผนภูมิแกนต์ของตัวแบบ APS1PM

5.2.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบ APS2

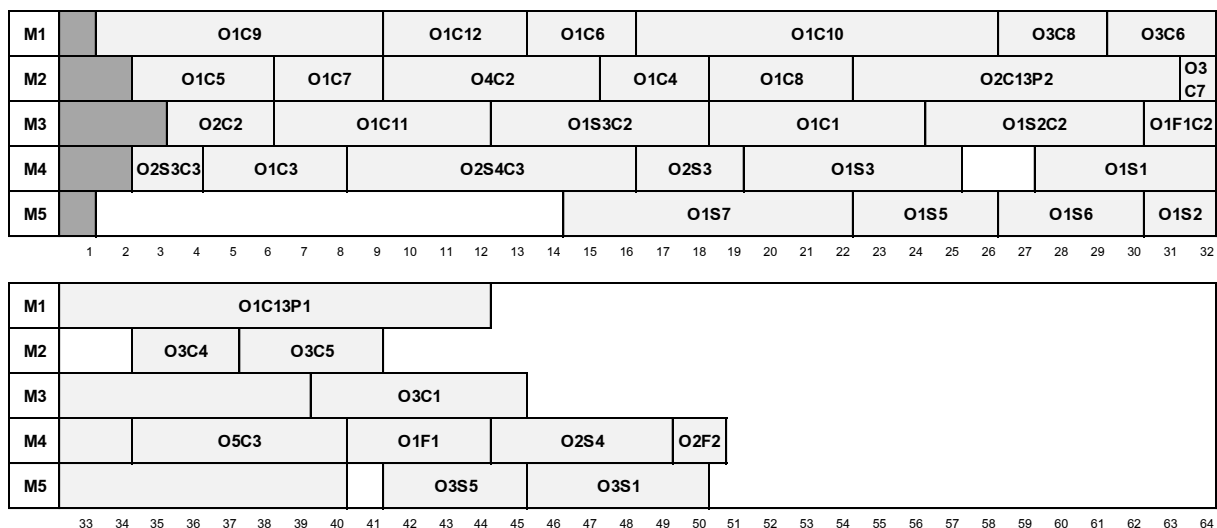
ผลจากการกำหนดให้แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตกับเครื่องจักรในกลุ่มที่กำหนดไว้ให้ จากตารางที่ 3

พบว่า จำนวนสมการข้อจำกัด จำนวนตัวแปร และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบนั้นเพิ่มขึ้นมากกว่าผลจากตัวแบบ APS1 แต่เวลาที่งานทุกงานเสร็จสมบูรณ์มีค่าลดลง ซึ่งเท่ากับ 50.5 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับผลของตัวแบบ APS1 (แต่ละชิ้นส่วน

สามารถผลิตได้เพียงเครื่องจักรเดียวเท่านั้น) ซึ่งเท่ากับ 57 ชั่วโมง และผลที่เห็นได้ชัดเจนนที่สุดคือ การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวม (จากตารางที่ 4) ของการผลิตของแบบนี้ เท่ากับ 2,970 ดอลลาร์สหรัฐฯ ลดลงไปมากหากเทียบกับผลของตัวแบบ APS1 ซึ่งเท่ากับ 6,550 ดอลลาร์สหรัฐฯ เนื่องจากการเพิ่มตัวเลือกของเครื่องจักรให้แต่ละชิ้นส่วนนั้น เป็นการลดเวลาในการรอการผลิตจากเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตกับเครื่องจักรอื่นในกลุ่มที่กำหนดไว้ได้ หากมีเครื่องจักรว่างและพร้อมทำงานอยู่ ดังนั้นสิ่งที่ลดไปมาก ก็คือ เวลาที่เครื่องจักรว่างงาน ซึ่งลดไปได้ถึง 45.5 ชั่วโมง (เวลาที่เครื่องจักรว่างงาน จากตัวแบบ APS2 เท่ากับ 38.5 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับผลจากตัวแบบ APS1 ซึ่งเท่ากับ 84 ชั่วโมง) และเวลาที่งานแล้วเสร็จล่าช้ากว่าเวลาส่งมอบ โดยผลจากตัวแบบนี้ ไม่มีงานเสร็จล่าช้ากว่าเวลาส่งมอบเลย ซึ่งในส่วนนี้ก็ช่วยลดค่าใช้จ่ายรวมลงไปมาก แต่การวางแผนและจัดตารางการผลิตของตัวแบบ APS2 นี้ กลับทำให้เวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดเพิ่มขึ้น เท่ากับ 21 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับตัวแบบ APS1 เท่ากับ 17 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าเวลาที่งานเสร็จก่อนเวลาส่งมอบจะเพิ่มขึ้น แต่ผลของค่าใช้จ่ายรวมนั้นลดลงไปมาก ดังนั้น การเพิ่มทางเลือกของเครื่องให้กับระบบการผลิตนั้น จึงถือว่ามีผลอย่างมากต่อค่าใช้จ่ายรวมในการผลิต (ดังแผนภูมิแกนต์ในรูปที่ 5)

5.2.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบ APS2PM

ผลจากการเพิ่มการพิจารณาข้อจำกัดเรื่องการ PM ในตัวแบบนั้น จากตารางที่ 3 พบว่า การเพิ่มข้อจำกัดของการ PM เข้าไปในตัวแบบ APS2 ทำให้มีจำนวนสมการข้อจำกัด จำนวนตัวแปร และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่กลับทำให้เวลาที่งานทุกงานเสร็จสมบูรณ์นั้นมีค่าน้อยลง และจากตารางที่ 4 พบว่า ผลจากตัวแบบนี้มีค่าใช้จ่ายรวม เท่ากับ 3,475 ดอลลาร์สหรัฐฯ มากกว่าผลของตัวแบบ APS2 แต่มีค่าน้อยกว่าผลของตัวแบบ APS1PM เนื่องจากการเพิ่มตัวเลือกของเครื่องจักรให้แต่ละชิ้นส่วนนั้น ทำให้แต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตกับเครื่องจักรอื่นในกลุ่มที่กำหนดไว้ได้ หากมีเครื่องจักรว่างและพร้อมทำงานอยู่ ซึ่งส่งผลให้เวลาการว่างงานของเครื่องจักรลดลง ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงไปด้วย นอกจากนี้ ผลของตัวแบบ APS2PM ยังทำให้ไม่มีงานใดเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดวันส่งมอบ แต่ทำให้งานเสร็จก่อนกำหนดวันส่งมอบมากขึ้นกว่าผลของตัวแบบ APS1PM และ APS2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าผลจากการเพิ่มข้อจำกัดของเครื่องจักรและการ PM ในตัวแบบนี้ จะทำให้มีจำนวนสมการข้อจำกัดและจำนวนตัวแปรมากกว่าผลจากตัวแบบทุกแบบ และทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้น แต่ตัวแบบนี้ก็มีความสมจริงมากกว่าตัวแบบอื่นๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่ระบบการผลิตทั่วไปต้องพิจารณา (ดังแผนภูมิแกนต์ในรูปที่ 6)



รูปที่ 5 แผนภูมิแกนต์ของตัวแบบ APS2

คณิตศาสตร์ด้วย เพื่อให้สามารถหาคำตอบได้เมื่อขนาดของปัญหามีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ ทั้งนี้ เพื่อให้ตัวแบบนั้นมีความสมจริงและครอบคลุมกับข้อจำกัดต่างๆ ของระบบการผลิตมากขึ้นนั่นเอง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิภพ สถิตาภรณ์. การกำหนดตารางการผลิตและการควบคุม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.
- [2] K. Chen, P. Ji and Q. Wang, "A case study for advanced planning and scheduling (APS)," *Journal of Systems Science and Systems Engineering.*, Vol. 20, pp. 460-474, 2011.
- [3] K. J. Chen and P. Ji, "A genetic algorithm for dynamic advanced planning and scheduling (DAPS) with a frozen interval," *Expert Systems with Applications.*, Vol. 33, pp. 1004-1010, 2007.
- [4] Y. H. Lee, C. S. Jeong and C. Moon, "Advanced planning and scheduling with outsourcing in manufacturing supply chain," *Computers & Industrial Engineering.*, Vol. 43, pp. 351-374, 2002.
- [5] C. Moon, J. S. Kim and M. Gen, "Advanced planning and scheduling based on precedence and resource constraints for e-plant chains," *International Journal of Production Research.*, Vol. 42, pp. 2941-2955, 2004.
- [6] A. Okamoto, M. Gen and M. Sugawara, "Integrated data structure and scheduling approach for manufacturing and transportation using hybrid genetic algorithm," *Journal of Intelligent Manufacturing.*, Vol. 17, pp. 411-421, 2006.
- [7] H. Zhang and M. Gen, "Effective genetic approach for optimizing advanced planning and scheduling in flexible manufacturing system" presented at the Proceedings of the 8th annual conference on Genetic and evolutionary computation. 8 July. USA: pp. 1841-1848, 2006.
- [8] K. Chen and P. Ji, "A mixed integer programming model for advanced planning and scheduling (APS)," *European Journal of Operational Research.*, Vol. 181, pp. 515-522, 2007.
- [9] Y. Peng, D. Lu and Y. Chen, "A Constraint Programming Method for Advanced Planning and Scheduling System with Multilevel Structured Products," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2014.
- [10] A. Örnek, S. Özpeynirci and C. Öztürk, "A note on "A mixed integer programming model for advanced planning and scheduling (APS)," *European Journal of Operational Research.*, Vol. 203, pp. 784-785, 2010.
- [11] Ö. Cemalettin and O. A. M., "Operational extended model formulations for Advanced Planning and Scheduling systems," *Applied Mathematical Modelling.*, Vol. 38, pp. 181-195, 2014.
- [12] L.-C. Kung and C.-C. Chern, "Heuristic factory planning algorithm for advanced planning and scheduling," *Computers & Operations Research.*, Vol. 36, pp. 2513-2530, 2009.
- [13] Y. Pu, L. Dayou, Y. Donghui and Y. Ji, "Genetic Algorithm with Local Search for Advanced Planning and Scheduling," in *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)*. 24-27 Aug. Haikou: pp. 781-785, 2007.
- [14] J.-S. Chen, "Scheduling of nonresumable jobs and flexible maintenance activities on a single machine to minimize makespan," *European Journal of Operational Research.*, Vol. 190, pp. 90-102, 2008.
- [15] M. Rebai, I. Kacem and K. Adjallah, "Earliness-tardiness minimization on a single machine to schedule preventive maintenance tasks: metaheuristic and exact methods," *Journal of Intelligent Manufacturing.*, Vol. 23, pp. 1207-1224, 2012.
- [16] R. Ramezani, M. Saidi-Mehrabad and P. Fattahi, "MIP formulation and heuristics for multi-stage capacitated lot-sizing and scheduling problem with availability

- constraints," *Journal of Manufacturing Systems.*, vol. 32, pp. 392-401, 4// 2013.
- [17] N. Sortrakul, H. L. Nachtmann and C. R. Cassady, "Genetic algorithms for integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine," *Computers in Industry.*, Vol. 56, pp. 161-168, 2005.
- [18] F. Zammori, M. Braglia and D. Castellano, "Harmony search algorithm for single-machine scheduling problem with planned maintenance," *Computers & Industrial Engineering.*, Vol. 76, pp. 333-346, 2014.
- [19] A. Khamseh, F. Jolai, and M. Babaei, "Integrating sequence-dependent group scheduling problem and preventive maintenance in flexible flow shops," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.*, Vol. 77, pp. 173-185, 2015.

การออกแบบแผนผังโรงงานกล่องกระดาษลูกฟูก สำหรับปัญหาความต้องการที่ไม่แน่นอน

วศัญญ์ แสนโกชน์ ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์^{*1}

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถั่วฝักยาว . อ.เมือง. จ.เชียงใหม่. 50200

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการออกแบบแผนผังโรงงานเพื่อลดระยะทางการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ระหว่างแผนกโดยรวม ภายใต้สภาวะที่ความต้องการของสินค้ามีความไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกเป็นโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตค่อนข้างยืดหยุ่นตามความต้องการของลูกค้า อีกทั้งความต้องการสินค้ามีลักษณะที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนผังโรงงานอยู่หลายครั้งในหนึ่งปี โดยงานวิจัยนี้ได้นำเอาวิธีการคำนวณแบบ ซิมูเลตเตด อะแนลลิง (Simulated Annealing) ร่วมกับหลักการออกแบบแผนผังโรงงานแบบโรบัสต์ (Robust Layout) มาทำการหาแผนผังโรงงานที่เหมาะสมเพียงผังเดียว เพื่อรองรับความต้องการของสินค้าที่มีความไม่แน่นอน โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้อง และจัดทำข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของแผนภูมิจาก-ไปในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นทำการหาคำตอบโดยโปรแกรมออกแบบผังโรงงานที่ใช้หลักการซิมูเลตเตด อะแนลลิงในการคำนวณ และทำการประเมินความเหมาะสมของผังโรงงานหลังปรับปรุงโดยหลักการออกแบบผังโรงงานแบบโรบัสต์ ซึ่งผังโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ปรับปรุงจากงานวิจัยนี้ ให้ค่าต้นทุนความสูญเสียโดยรวม (Total Penalty Cost, TPC) อยู่ที่ร้อยละ 0.76 แสดงว่ามีความเหมาะสมในการนำผังโรงงานนี้ไปปรับใช้จริง และสามารถลดระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยรวมของโรงงานกรณีศึกษา จาก 5,343,338 เมตร เหลือ 4,089,541 เมตร ซึ่งทำให้ระยะทางรวมลดลง 1,253,798 เมตรต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 23.46

คำสำคัญ: การออกแบบแผนผังโรงงาน, ซิมูเลตเตด อะแนลลิง, ออกแบบแผนผังโรงงานแบบโรบัสต์, ปัญหาความต้องการที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา

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

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Corrugated Package Plant Layout Design for the Problem of Uncertain Demand

Watunyou Sanpote Chompoonoot Kasemset^{*1}

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai 50200

Abstract

This research aimed to design a plant layout for reducing the total transportation distance of material handling under an uncertain demand environment. A corrugated package factory was selected as a case study. Corrugated packaging requires a flexible production process since the product demand is uncertain during a year. Currently, the factory needs to re-layout the plant many times during a year to handle the uncertain demand. The Simulated Annealing (SA) algorithm and robust layout design concept were applied to find a single plant layout without re-locations during a year. Beginning with data collection, related data were used to develop a From-To Chart for each time period. Then, SA was applied to find a practical plant layout and this layout was evaluated again based on the robust plant design concept. The improved plant layout gave a total penalty cost (TPC) of 0.76% confirming that this layout was practical for the implementation. Finally, the results showed that the total transportation distance can be reduced from 5,343,338 meters per year to 4,089,541 meters per year which is a 1,253,798 meter per year reduction or a 23.46% improvement.

Keywords: Plant Layout Design, Simulated Annealing, Robust Layout Concept, Uncertain Demand Problem

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

¹ Assistant Professor in Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

1. บทนำ

การวางแผนโรงงานเป็นกิจกรรมที่สำคัญ หากโรงงานมีการจัดวางผังโรงงานอย่างเหมาะสม จะช่วยลดต้นทุนได้ถึงร้อยละ 20–50 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด โรงงานกรณีศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้เป็นโรงงานที่ทำการผลิตบรรจุภัณฑ์จากกระดาษลูกฟูก ซึ่งผลิตภัณฑ์ของโรงงานมีหลากหลายรูปแบบ และมีลักษณะการผลิตตามรายการสั่งซื้อของลูกค้า (Make to Order) การวางแผนโรงงานมีการจัดวางตำแหน่งเครื่องจักรตามกระบวนการผลิต (Process Layout) ปัจจุบันคำสั่งซื้อของลูกค้ามีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ทำให้โรงงานต้องปรับเปลี่ยนผังโรงงานในแต่ละช่วงเวลาที่มีรายการคำสั่งซื้อของลูกค้าที่ต่างกันไป ตัวอย่างปริมาณคำสั่งซื้อสินค้าหลักแต่ละไตรมาสแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์หลักตัวอย่างรายไตรมาสของโรงงานกรณีศึกษา (หน่วย: ล้านชิ้น)

ประเภทสินค้า	ไตรมาส 1	ไตรมาส 2	ไตรมาส 3	ไตรมาส 4
กล่องทั่วไป	3.05	3.03	5.27	4.05
กล่องไดคัท	2.81	2.69	1.54	1.42
แผ่นลูกฟูก	0.47	0.33	0.29	0.22

จากตารางที่ 1 จะพบว่า หากพิจารณาผลิตภัณฑ์หลักที่ยกตัวอย่างมา สัดส่วนการผลิตในแต่ละไตรมาสจะมีความแตกต่างกัน โดยไตรมาสที่ 1 และ 2 สัดส่วนการผลิตจะไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างจากไตรมาสที่ 3 และ 4 ซึ่งปริมาณกล่องทั่วไปจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับไตรมาสที่ 1 และ 2

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการออกแบบผังโรงงานที่เหมาะสมสำหรับโรงงานกรณีศึกษา โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิมูเลตเตด อะแนลลิง (Simulated Annealing, SA) ร่วมกับหลักการออกแบบแผนผังโรงงานแบบโรบัส (Robust Plant Layout) ซึ่งเป็นหลักการหนึ่งในการหาผังโรงงานแบบพลวัต (Dynamic Layout Problem) เพื่อให้ได้แผนผังที่เหมาะสมเพียงผังเดียว สำหรับรองรับความต้องการของสินค้าที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา และลดระยะทางการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์โดยรวม

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบวางผังโรงงานถือเป็นปัญหาหนึ่งที่มีผู้วิจัยให้ความสนใจค่อนข้างมาก การออกแบบผังโรงงานที่เหมาะสมนั้นจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้โดยเทคนิคการแก้ไขปัญหการออกแบบผังโรงงานสามารถจำแนกได้ 2 วิธี ตามลักษณะข้อมูลที่นำมาใช้ในการพิจารณา วิธีแรกคือ การวางแผนโดยใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดย [5] ได้อธิบายวิธีการออกแบบโดยใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ ตามหลักการวางแผนอย่างเป็นระบบ (Systematic Layout Planning, SLP) แต่ข้อมูลเชิงคุณภาพนั้นมิใช่ข้อเสียคือ เป็นข้อมูลที่เกิดจากการประเมินของผู้ออกแบบผังโรงงาน จึงอาจเกิดการคลาดเคลื่อนได้ การวางแผนอีกวิธี ได้แก่ การวางแผนโดยใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ คือการวางแผนโรงงานโดยใช้ข้อมูลปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ระหว่างแผนก เช่น ปริมาณการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ ต้นทุนการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ปัญหาดังกล่าวจัดเป็นปัญหาประเภท NP-Hard มีความยากในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงได้มีการวิจัยต่างๆพยายามทำการคิดค้นรูปแบบการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดอยู่หลายวิธี การจำลองการอบอุ่นหรือวิธีซิมูเลตเตด อะแนลลิง เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ โดย [4] ได้อธิบายถึงหลักการของวิธีซิมูเลตเตด อะแนลลิง ว่าเป็นการแก้ไขปัญหโดยจำลองมาจากกระบวนการให้ความร้อนแกโลหะเพื่อให้อ่อนตัว และทำการลดอุณหภูมิของสารนั้นอย่างช้าๆจนถึงจุดเยือกแข็ง การค้นหาคำตอบแบบซิมูเลตเตด อะแนลลิง เป็นวิธีค้นหาคำตอบได้ดีในปัญหาที่ซับซ้อน โดย [4] ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวางแผนโรงงานซึ่งสามารถค้นหาคำตอบได้สองแบบคือ คราฟท์ (Craft) และซิมูเลตเตด อะแนลลิง และจากการนำไปทดลองแก้ปัญหาพบว่า วิธีซิมูเลตเตด อะแนลลิง ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าคราฟท์

งานวิจัยโดยส่วนใหญ่ จะพิจารณาการออกแบบผังโรงงานที่มีลักษณะความต้องการผลิตภัณฑ์ที่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา หรือเป็นการออกแบบวางผังโรงงานแบบสถิต (Static Layout Problem) แต่ในความเป็นจริงแล้ว โรงงานส่วนใหญ่มีความต้องการในการผลิตที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งเกิดจากปริมาณการสั่งซื้อจากลูกค้าที่มีความไม่แน่นอน หรือวัตถุดิบที่ใช้เป็นสินค้าที่มีตามฤดูกาล เป็นต้น ซึ่ง [1] การออกแบบวางผังโรงงานแบบพลวัต (Dynamic Layout Problem) เป็นหลักการออกแบบวางผังโรงงานที่เหมาะสมในแต่ละช่วงระยะเวลา เมื่อลักษณะความต้องการ

ไม่คงที่และเปลี่ยนแปลงตามแต่ช่วงเวลา (Uncertain Demand)

ปัจจุบันมีการทำวิจัยหลายฉบับ เพื่อหาเทคนิคการวางแผนโรงงานให้สามารถรองรับปัญหาการวางแผนโรงงานแบบพลวัต โดย [2] ได้แยกประเภทของการวางแผนแบบพลวัตไว้ 2 แบบ อย่างแรกคือการวางแผนโรงงานแบบยืดหยุ่น (Flexible Layout) ซึ่งการวางแผนโรงงานแบบนี้เหมาะสมกับโรงงานที่มีความต้องการที่เปลี่ยนแปลงตามแต่ละช่วงเวลา สามารถเปลี่ยนแปลงผังโรงงานได้ง่าย และมีต้นทุนการเปลี่ยนแปลงผังโรงงานที่ต่ำ อีกประเภทคือ การวางแผนโรงงานแบบโรบัสต์คือการวางแผนที่เหมาะสมที่สุดผังเดียวภายใต้ความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละช่วงเวลา ซึ่งการวางแผนโรงงานแบบนี้เหมาะสมกับโรงงานที่มีความต้องการที่เปลี่ยนแปลงตามแต่ละช่วงเวลา แต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงผังโรงงานในแต่ละช่วงเวลาได้ รวมถึงมีต้นทุนการเปลี่ยนแปลงผังโรงงานที่สูงงานวิจัย [3] ได้อธิบายวิธีพิจารณาความเหมาะสมของผังโรงงานที่เหมาะสมภายใต้ความต้องการที่ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลาขึ้น โดยทำการวางแผนโรงงานด้วยวิธี ซิมูเลตเตด อะเนลลิง และพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งานภายใต้ความต้องการที่ไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ร้อยละความแตกต่างของต้นทุนการเคลื่อนที่ของวัสดุของผังโรงงานแบบโรบัสต์ กับผังโรงงานที่เหมาะสมสำหรับแต่ละช่วงเวลา หรือ TPC (Total Penalty Cost) โดยผังที่เหมาะสมต้องมีค่า TPC ไม่เกินร้อยละ 15 นอกจากนี้ [6] ยังได้ประยุกต์ค่า TPC มาใช้ในการวางแผนโรงงานแบบโรบัสต์โดยใช้ข้อมูลความต้องการของผลิตภัณฑ์ผ่านการคาดคะเน 2 แบบ คือ จากการพยากรณ์ และจากการกระจายตัวของข้อมูล โดยทำการออกแบบผังโรงงานจากข้อมูลทั้ง 2 แบบด้วยโปรแกรม VIPPLANOPT 2006 โดยทำการเปรียบเทียบผลผ่านกรณีศึกษาที่มีช่วงเวลา จำนวนแผนก และรูปแบบความต้องการที่ต่างกัน

จากการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำมาเปรียบเทียบกับลักษณะของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย มีลักษณะการผลิตที่ยืดหยุ่น ลักษณะความต้องการไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลา อีกทั้งเครื่องจักรของโรงงานส่วนใหญ่นั้นมีขนาดใหญ่ เคลื่อนย้ายได้ยาก ดังนั้นวิธีการออกแบบวางแผนโรงงานที่เหมาะสมที่สุดแผนผังเดียวภายใต้ความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละช่วงเวลา หรือการวางแผนโรงงานแบบโรบัสต์ ร่วมกับการออกแบบตำแหน่งของแผนกโดยโปรแกรมที่คำนวณตามวิธี ซิมูเลตเตด อะเนลลิง ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่ผลิตภัณฑ์ที่น้อยที่สุด เป็นวิธีวิจัยที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางงานวิจัยนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 ศึกษาปัญหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1.1 ศึกษา และเก็บข้อมูลในด้านลักษณะพื้นที่ของโรงงานกรณีศึกษา ทั้งขนาดพื้นที่แต่ละแผนก ระยะทางระหว่างแผนก โดยการวัดระยะจริงและแสดงในรูปแบบของแผนผังโรงงาน

3.1.2 ศึกษา และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ของโรงงาน จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลความถี่การเคลื่อนที่ระหว่างแผนกของผลิตภัณฑ์แต่ละรูปแบบในแต่ละช่วงเวลาให้อยู่ในรูปแบบของแผนภูมิจาก-ไป (From-To Chart)

3.2 สร้างโปรแกรมสำหรับการออกแบบวางแผนผังโรงงานโดยใช้หลักการ ซิมูเลตเตด อะเนลลิง

สร้างโปรแกรมสำหรับการออกแบบแผนผังโรงงานโดยประยุกต์ใช้หลักการจาก [4] ซึ่งเป็นการใช้วิธีซิมูเลตเตด อะเนลลิง ในการหาคำตอบ โดยมีขั้นตอนการหาคำตอบดังรูปที่ 1 โดยแต่ละรอบของการค้นหานั้น โปรแกรมจะทำการสุ่มสลับแผนก 2 แผนกในผังโรงงาน โดยโปรแกรมจะเลือกแผนกที่ติดกัน หรือมีพื้นที่เท่ากันในการสลับ จากนั้นนำระยะทางการเคลื่อนที่โดยรวมของผังที่ทำการสลับในรอบนั้นๆ (คำนวณได้ดังสมการที่(1)) มาประเมินตามขั้นตอนดังรูปที่ 1 โดยโปรแกรมจะทำการสุ่มสลับแผนกไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าอุณหภูมิ (T_i) จะมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิสุดท้าย (T) จึงจะหยุดการทำงาน และนำคำตอบที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบ

$$\text{Distance} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n L_{ij} S_{ij} \quad (1)$$

โดยที่ Distance = ระยะทางในการขนย้ายวัสดุโดยรวม

L_{ij} = จำนวนการเคลื่อนที่ระหว่างแผนก i กับ j

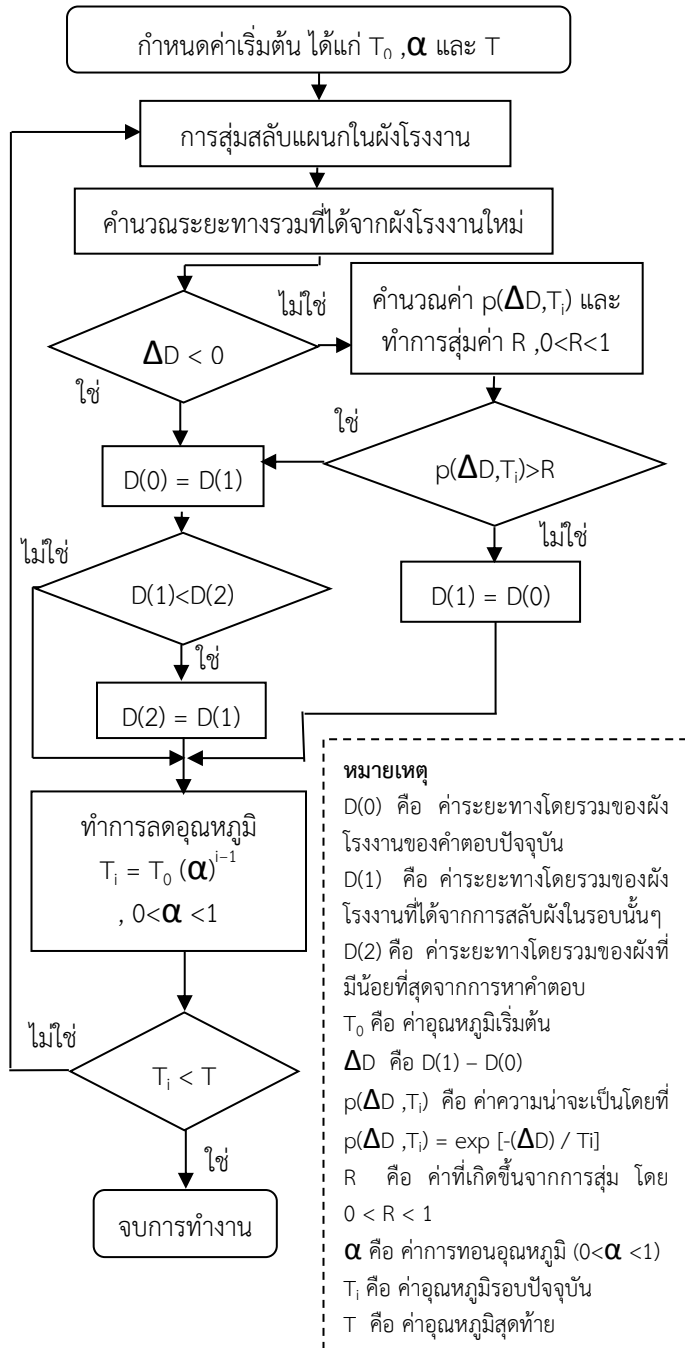
S_{ij} = ระยะทางแบบมุมฉากระหว่างแผนก i กับ j

N = จำนวนแผนกทั้งหมด

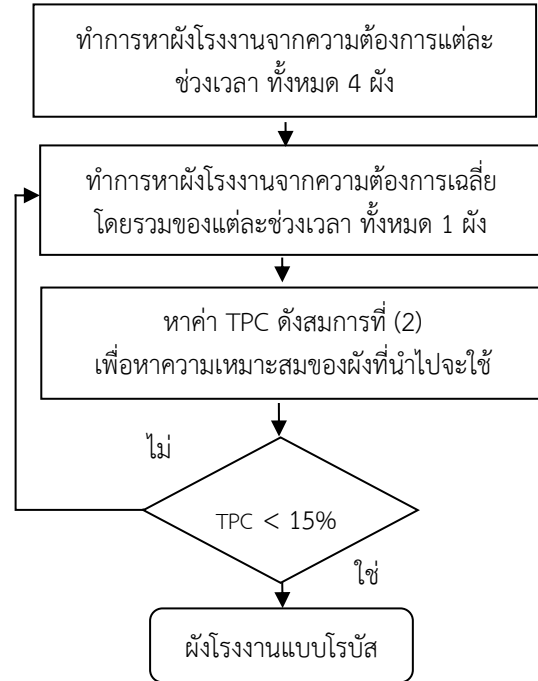
3.3 ออกแบบแผนผังโรงงานเบื้องต้นจากโปรแกรม และทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของผังตามหลักการประเมินแผนผังแบบโรบัสต์

ทำการออกแบบพัฒนาผังโรงงานกรณีศึกษา จากโปรแกรมที่สร้างในขั้นตอน 3.2 โดยผังโรงงานที่ทำการออกแบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ แผนผังโรงงานที่เหมาะสมของแต่ละไตรมาส จำนวนทั้งหมด 4 ผัง (Optimal Layout) โดยนำข้อมูลแผนภูมิจาก-ไปของแต่ละไตรมาสมาคำนวณโดยโปรแกรมที่สร้างในขั้นตอน 3.2 และส่วนที่ 2 คือ ผังโรงงานจะนำมาใช้เป็นผังโรงงานจริง

(Robust Layout) จำนวน 1 ผังโรงงาน โดยนำข้อมูลแผนภูมิจาก-ไปเฉลี่ยของแต่ละไตรมาสมาคำนวณโดยโปรแกรม จากนั้นนำผังทั้ง 2 ส่วนมาทำการประเมินความเหมาะสมตามหลักการออกแบบแผนผังโรงงานแบบโรบัสต์ โดยแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ขั้นตอนแก้ปัญหาทางผังโรงงาน โดยวิธีซิมูเลตเตดอะแนลลิง



รูปที่ 2 ขั้นตอนประเมินความเหมาะสมของผังด้วยวิธีโรบัสต์

$$TPC = \frac{\sum_{t=1}^m D_t^{Robust} - \sum_{t=1}^m D_t^{Optimal}}{\sum_{t=1}^m D_t^{Robust}} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ TPC = Total Penalty Cost
 D_t^{Robust} = ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยรวม ผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ย ณ ช่วงเวลา t
 $D_t^{Optimal}$ = ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยรวม ผังโรงงานที่เหมาะสมแต่ละช่วงเวลา t
 m = ช่วงเวลาทั้งหมด

โดยหากค่า TPC ที่ได้ ดังสมการที่ 2 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 15 แสดงว่าผังโรงงานที่ได้จากช่วงเวลาเฉลี่ยนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในสภาวะที่ความต้องการของแต่ละช่วงเวลามีความไม่แน่นอน

3.4 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการจัดวางจริงของแผนผังโรงงานที่ทำการออกแบบได้

นำแผนผังโรงงานที่เหมาะสมจากช่วงเวลาเฉลี่ยที่ออกแบบได้จากขั้นตอนที่ 3.3 มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการจัดวางจริง โดยทำการศึกษาจากพื้นที่จริง และการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญในโรงงานว่าแผนผังโรงงานที่ออกแบบมานั้นสามารถจัดวางตามตำแหน่งนั้นๆได้จริง

หรือไม่ ถ้าไม่ต้องการปรับปรุงตำแหน่งอย่างไร และทำการแสดงผลพล็อตในรูปแบบแผนผังโรงงานโดยละเอียด

3.5 ประเมินประสิทธิภาพของผังโรงงานออกแบบเปรียบเทียบกับผังโรงงานเดิม

ทำการประเมินเปรียบเทียบ ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยรวมระหว่างผังโรงงานเดิมกับผังที่ทำการปรับปรุง

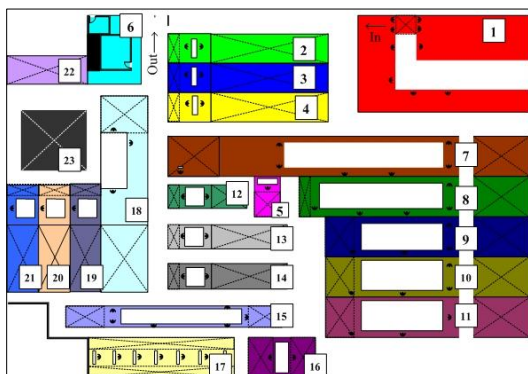
4. ผลการดำเนินการ

4.1 เก็บข้อมูล และศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับสภาพผังโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบัน

จากการศึกษาสภาพผังก่อนปรับปรุงของโรงงานกรณีศึกษา สามารถแสดงผลการเก็บข้อมูลได้ ดังนี้

4.1.1 รูปแบบผังโรงงานกรณีศึกษา ก่อนปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูล และวัดพื้นที่จริงในโรงงานพบว่า รูปแบบผังโรงงานกรณีศึกษา ก่อนปรับปรุงนั้นมีการจัดผังตามกระบวนการผลิต ประกอบด้วย 23 แผนก แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังโรงงานกรณีศึกษา ก่อนปรับปรุง

โดยรายละเอียดของแต่ละแผนกตามหมายเลขมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- ส่วนรับงานกระดาศลูกฟูก (หมายเลขที่ 1) ทำหน้าที่รับงานจากเครื่องขึ้นรูปกระดาศลูกฟูก
- แผนกตัด และทบรอยกระดาศ (หมายเลขที่ 2-4) ทำหน้าที่ตัดกระดาศ และทบรอยตามขนาดที่ต้องการโดยมี 3 เครื่องที่มีคุณลักษณะต่างกัน
- แผนกพิมพ์ลาย (หมายเลขที่ 7-11) ทำหน้าที่พิมพ์ลวดลายของบรรจุภัณฑ์ตามคำสั่งของลูกค้า มีทั้งหมด 5 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องมีคุณสมบัติ และจำนวนสีที่พิมพ์ได้แตกต่างกัน

- แผนกสับร่องกระดาศ (หมายเลขที่ 5) ทำหน้าที่ตัดเพื่อทำร่องสำหรับฝาพับ

- แผนกเจาะรู (หมายเลขที่ 16) ทำหน้าที่เจาะรูสำหรับมือจับ หรือระบายอากาศ

- แผนกประกบกกล่อง (หมายเลขที่ 12, 13, 14, 15, 17, 22) ทำหน้าที่ประกบกกล่องให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการโดยสามารถทำการประกบได้ 2 ประเภท คือ ทากาว และเย็บลวด โดยมีทั้งแบบ อัตโนมัติ กึ่งอัตโนมัติ และประกบด้วยแรงงานคน

- แผนกปั๊มไดคัท (หมายเลขที่ 18-21) ทำหน้าที่ปั๊มขึ้นงานไดคัท ประกอบไปด้วยเครื่องจักร 4 เครื่องทั้งแบบ กึ่งอัตโนมัติ และแบบอัตโนมัติ

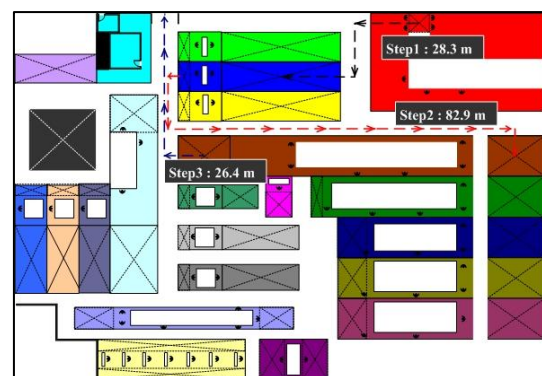
- แผนกงานทำมือ (หมายเลขที่ 23) เป็นส่วนงานที่ใช้ฝีมือคนในการทำกิจกรรม เช่น ท่อกระดาศ ขึ้นรูป เป็นต้น

- ส่วนสำนักงานฝ่ายผลิต (หมายเลข 6) เป็นห้องสำนักงาน ไม่สามารถย้ายตำแหน่งได้

จากรายละเอียดของผังโรงงานก่อนปรับปรุงเมื่อพิจารณา พบว่า แผนกที่ 1 และ 6 เป็นส่วนของเครื่องจักรขนาดใหญ่ และเป็นส่วนของสำนักงานการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะไม่พิจารณาเคลื่อนย้ายสองแผนกนี้

4.1.2 ศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์กระดาศลูกฟูก

ในขั้นตอนดังกล่าว จะทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนครั้งการเคลื่อนที่ระหว่างแผนก และระยะทางการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ระหว่างแผนก เริ่มตั้งแต่การศึกษาเส้นทางการไหลระหว่างแผนกจริงโดยแสดงได้ดังตัวอย่าง ในรูปที่ 4 แสดงการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกของกล่องฝาพับขนแบบทากาวพิมพ์ลาย 3 สี ซึ่งจะทำให้การวัดระยะทางจากพื้นที่วางงานที่ผลิตเสร็จของแผนกหนึ่ง ไปยังพื้นที่รับงานรอผลิตของแผนกถัดไป จนกระทั่งผลิตภัณฑ์ออกจากสายการผลิตโดยหน่วยการเคลื่อนที่คือ 1 พาเลทต่อครั้ง



รูปที่ 4 แผนภาพขั้นตอน และเส้นทางการเคลื่อนที่ของกระบวนการผลิตกล่องฝาพับขนแบบทากาว มีพิมพ์ 3 สี

จากตัวอย่างดังรูปที่ 4 ทำการศึกษาการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกระหว่างแผนกในโรงงานและสรุประยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกให้อยู่ในรูปแบบของแผนภูมิจาก-ไป โดยแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 1 ไตรมาส และจัดทำแผนภูมิจาก-ไปของปริมาณการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกโดยเฉลี่ยของทุกช่วงเวลาที่ทำการศึกษาอีก 1 แผนภูมิ ซึ่งจากข้อมูลแผนภูมิจาก-ไปในแต่ละไตรมาสพบว่าโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบันมีระยะ

ทางการเคลื่อนที่โดยรวมในแต่ละไตรมาสอยู่ที่ 1,330,168 เมตร 1,422,344 เมตร 1,476,652 เมตร และ 1,114,175 เมตร ตามลำดับ มีระยะทางรวมตลอดทั้งปีคือ 5,343,338 เมตร และพบว่าระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ยตลอดช่วงเวลาของโรงงานกรณีศึกษาอยู่ที่ 1,335,835 เมตร โดยสามารถแสดงตัวอย่างแผนภูมิจาก-ไปของปริมาณเฉลี่ยของทุกช่วงเวลาได้ดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แผนภูมิจาก-ไป แสดงระยะทางรวมของการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกของผังโรงงานเฉลี่ยทุกช่วงเวลา (เมตร)

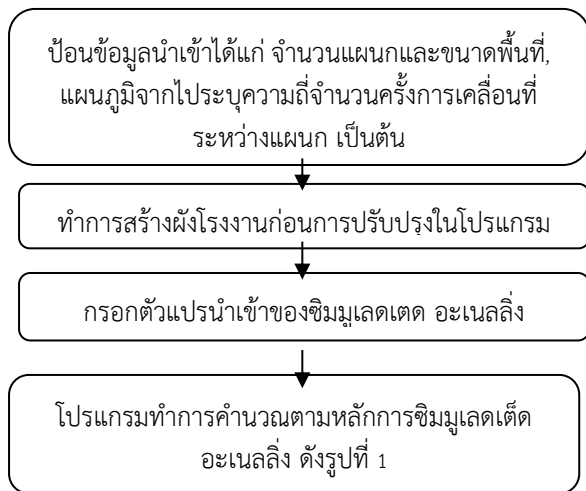
จาก-ไป	1	2	3	4	9	10	8	7	5	12	22	15	13	14	17	16	20	21	18	19	23	Out	รวม	
แผนกที่ 1	-	88,632	47,225	54,030	19,479	18,365	6,089	8,256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,476	893	267,454	
แผนกที่ 2	-	-	149	-	56,871	66,212	98,155	56,549	23	-	-	-	-	-	-	-	1,381	1,517	116	11	-	770	281,553	
แผนกที่ 3	-	-	-	19	56,500	21,724	10,126	24,660	124	-	16	-	-	-	-	-	1,140	1,275	95	-	7	1,348	117,031	
แผนกที่ 4	-	-	-	-	64,427	6,464	4,373	62	-	-	-	-	-	-	-	-	4,191	4,690	11,798	1,011	-	1,227	98,263	
แผนกที่ 9	-	-	-	-	-	-	-	-	632	6,564	617	9,272	7	10	12,925	8,260	2,891	3,194	11,275	26,862	3,337	3,651	89,497	
แผนกที่ 10	-	-	-	-	-	-	-	-	140	3,256	-	1,714	-	-	9,370	3,496	294	338	12,529	906	-	19,564	51,606	
แผนกที่ 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	380	-	4,224	3,225	4,578	17,598	10,845	182	205	3,042	108	-	-	44,404	
แผนกที่ 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107	-	326	-	-	343	531	-	-	-	-	-	34,936	36,243	
แผนกที่ 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	-	-	-	-	283	-	-	-	-	-	28	1,496	1,862	
แผนกที่ 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80	-	-	690	-	-	-	-	-	4,285	16,535	21,589	
แผนกที่ 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,008	-	-	-	-	-	596	10,004	11,608	
แผนกที่ 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,429	43,429	
แผนกที่ 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,113	8,113	
แผนกที่ 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,469	9,469	
แผนกที่ 17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	119,463	119,463	
แผนกที่ 16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,077	-	126	-	-	11,518	-	-	-	-	-	-	1,621	-	19,342
แผนกที่ 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1,661	143	1,856
แผนกที่ 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	2,713	183	2,900
แผนกที่ 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,875	3,681	17,556	
แผนกที่ 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,245	610	8,855	
แผนกที่ 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,022	5,712	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,828	83,662	
Out	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
รวม	-	88,632	47,373	54,049	197,077	112,784	118,753	89,526	919	14,450	4,755	21,453	3,231	4,587	53,733	23,132	10,089	11,218	38,854	28,912	58,864	349,443	1,335,835	

4.2 สร้างโปรแกรมออกแบบปรับปรุงผังโรงงานแบบ ซิมูเลตเตด อะเนลลิ่ง และวิเคราะห์ความถูกต้องของโปรแกรม

ทำการสร้างโปรแกรมวางผังโรงงานโดยทำการพัฒนาโปรแกรมที่นำเสนอในงานวิจัย [7] ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบผังโรงงานโดยใช้วิธีการคำนวณด้วยฮิวริสติกแบบคราฟท์ โดยใช้หลักการของวิธีซิมูเลตเตด อะเนลลิ่ง มาพัฒนาการหาคำตอบ โดยทำการพัฒนาโปรแกรมคำนวณด้วยภาษา Visual Basic for Application (VBA) ซึ่งโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้นนั้น มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่

5

จากนั้นจึงทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ [4] ซึ่งเปรียบเทียบ 3 กรณีศึกษาด้วยกัน และใช้ตัวแปรนำเข้าเท่ากับกรณีศึกษา จากผลพบว่าคำตอบมีค่าเท่ากับ [4] ในกรณีที่ 1 และ 2 และมีค่าที่ดีกว่าในกรณีที่ 3 จึงสรุปได้ว่าโปรแกรมที่ทางผู้วิจัยสร้างมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ออกแบบผังโรงงานในขั้นตอนต่อไปได้ ซึ่งเหตุที่ได้คำตอบไม่เท่ากับ [4] ในกรณีที่ 3 เนื่องจากภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม รวมถึงโปรแกรมที่นำมาพัฒนานั้นแตกต่างกัน คำตอบที่ได้จึงไม่เท่ากัน



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมออกแบบผังโรงงาน

4.3 ทำการปรับปรุงแผนผังโรงงานของโรงงานกรณีศึกษา โดยโปรแกรมออกแบบแผนผังโรงงาน

นำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาทำการออกแบบผังโรงงานให้กับโรงงานกรณีศึกษา และพิจารณาความเหมาะสมของผังโรงงานที่ออกแบบตามหลักการประเมินแผนผังแบบโรบัสต์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.3.1 ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมโดยอ้างอิงจากคำแนะนำของงานวิจัยที่ได้ศึกษาและได้นำมาทดลองใช้กับผังโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกผังของช่วงเวลาเฉลี่ยมาใช้ในการทดลองหาค่า ผลการทดลองการหาค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า เมื่อค่าอุณหภูมิเริ่มต้นมีค่าน้อย ค่าตอบที่ได้มีแนวโน้มที่จะลดลง จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลที่ได้จากการตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นต่างๆ โดยให้ค่าการลดอุณหภูมิ และ ค่าอุณหภูมิสุดท้ายมีค่าคงที่ เท่ากับ 0.99 และ 0.1 ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับ $Z_0 \times 0.00039$ ดังนั้นจากการศึกษาพบว่าค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาโรงงานกรณีศึกษานี้ คือ อุณหภูมิเริ่มต้น เท่ากับ $Z_0 \times 0.00039$, ค่าการลดอุณหภูมิ เท่ากับ 0.99 และค่าอุณหภูมิสุดท้าย เท่ากับ 0.1 ซึ่งค่าดังกล่าว ผู้วิจัยจะนำไปใช้ในการค้นหาคำตอบปรับปรุงแผนผังโรงงานในแต่ละช่วงเวลาไตรมาสที่ 1-4 และผังโรงงานเฉลี่ยแต่ละช่วงเวลาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 ระยะทางการเคลื่อนที่ (ล้านเมตร) ที่ได้ จากการตั้งค่าตัวแปรนำเข้า α และ T_0 ที่ต่างกัน โดย T คงที่ที่ 0.1

$\alpha \backslash T_0$	$Z_0 \times 0.025$	$Z_0 \times 0.05$	$Z_0 \times 0.1$	$Z_0 \times 1$
0.80	1.08	1.07	1.08	1.08
0.90	1.04	1.03	1.03	1.04
0.99	0.96	0.97	0.99	1.00

4.3.2 ทำการออกแบบตำแหน่งที่ตั้งของแผนกต่างๆ ในแผนผังโรงงานจากโปรแกรมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 4.2 โดยผู้วิจัยต้องทำการป้อนข้อมูลเบื้องต้นของผังโรงงานดังที่ศึกษาในขั้นตอนที่ 4.1 และทำการป้อนรูปแบบผังโรงงานก่อนปรับปรุงในโปรแกรมก่อนโดยสามารถแสดงผังก่อนปรับปรุงที่ทำการป้อนเข้าไปในโปรแกรมได้ดังรูปที่ 6 จากรูปดังกล่าว คอลัมน์ และแถวในตาราง แทนความกว้างและยาวของผังโรงงานตามลำดับ ตัวเลขแต่ละตัวในตารางแทนแผนกแต่ละแผนก โดยอ้างอิงตำแหน่งจากผังโรงงานรูปที่ 3 (โดยเพิ่มเติมหมายเลขที่ 23, 25, 26 แทนพื้นที่ว่างในโรงงาน)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	24	24	6	6	2	2	2	2	1	1	1	1	1
2	22	22	6	6	3	3	3	3	1	1	1	1	1
3				18	4	4	4	4	1	1	1	1	1
4				18	7	7	7	7	7	7	7	7	7
5	21	20	19	18	12	12	5	8	8	8	8	8	8
6	21	20	19	18	13	13	13	9	9	9	9	9	9
7	21	20	19	18	14	14	14	10	10	10	10	10	10
8	25	15	15	15	15	15	15	11	11	11	11	11	11
9	25	25	17	17	17	17	16	16	26	26	26	26	26

รูปที่ 6 ผังโรงงานก่อนปรับปรุงที่ทำการกรอกในโปรแกรมออกแบบผังโรงงาน

หลังจากการป้อนข้อมูลผังโรงงานในโปรแกรมแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแผนผังโรงงาน โดยกำหนดค่าตัวแปรนำเข้าในการหาคำตอบด้วยวิธีซิมูเลเตด อะเนลิ่ง ดังผลที่ได้ในข้อ 4.3.1 จากนั้นจึงทำออกแบบผังโรงงานด้วยโปรแกรม โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบผังโรงงานอยู่ 2 ส่วนด้วยกัน คือ ผังโรงงานที่เหมาะสมของข้อมูลแต่ละไตรมาส และผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ย โดยแผนผังที่จะนำไปใช้พัฒนาในการใช้งานจริงคือ ผังที่ได้จากข้อมูลเฉลี่ย และผังโรงงานที่ได้จากข้อมูลแต่ละไตรมาสจะนำไปใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมของการใช้งานของผังโรงงานดังสมการที่ (2)

ซึ่งจากผลการออกแบบผังโรงงานด้วยโปรแกรม สามารถแสดงตัวอย่างของผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ยได้ดังรูปที่ 7 และสามารถเปรียบเทียบระยะทางระหว่างผังก่อนปรับปรุง ผังที่เหมาะสมของแต่ละช่วงเวลา และผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ยที่โปรแกรมคำนวณได้ดังตารางที่ 4 โดยระยะทางที่แสดงในตารางนั้นเป็นระยะการวัดระยะทางแบบมุมฉากที่ทำการวัดโดยโปรแกรมออกแบบผังโรงงาน ซึ่งผลดังกล่าวจะนำไปใช้ในการหาความเหมาะสมตามหลักการประเมินความเหมาะสมแบบโรบัสต์ดังข้อที่ 3.3 ต่อไป



รูปที่ 7 รูปแบบผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ยที่ได้จากโปรแกรมออกแบบแผนผังโรงงานโดยวิธีซิมูเลตเตด อะเนลลิง

ตารางที่ 4 ระยะทางแบบมุมฉากของผังก่อนปรับปรุง ผังปรับปรุงจากข้อมูลเฉลี่ย และผังปรับปรุงของแต่ละช่วงเวลา

แผนผัง ไตรมาส	ระยะทางแบบมุมฉากผังก่อนปรับปรุง (เมตร)	ระยะทางแบบมุมฉากจากผังหลังปรับปรุง (เมตร)	
		ผังโรงงานจากข้อมูลเฉลี่ย (D_t^{Robust})	ผังโรงงานที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา (D_t^{Optimal})
1	1,177,706	921,715	917,006
2	1,265,441	991,431	960,642
3	1,321,006	1,050,215	1,070,341
4	997,076	774,382	761,240
ผลรวม	4,761,231	3,737,744	3,709,231

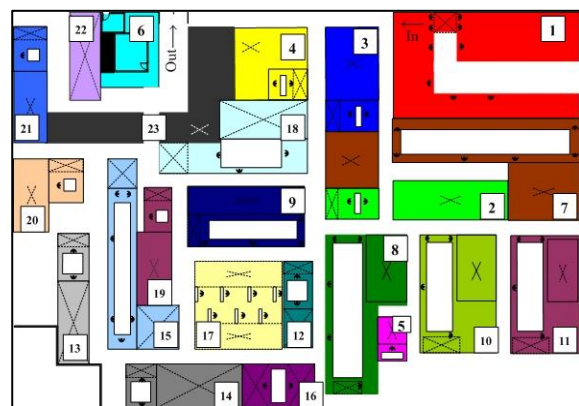
4.3.3 ทำการประเมินความเหมาะสมของผังโรงงานที่จะนำไปใช้จริงตามหลักการออกแบบผังแบบโรบัสต์โดยนำค่าจากตารางที่ 4 มาใช้คำนวณหาค่า TPC ตาม

สมการที่ 2 เพื่อประเมินความเหมาะสมของผังโรงงานสำหรับความต้องการที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลาได้ ดังนี้

$$TPC = [(3,737,744 - 3,709,231) / 3,737,744] \times 100 = 0.76 \%$$

พบว่าค่า TPC ที่ได้มีค่าเพียงร้อยละ 0.76 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 15 ตามหลักการที่ได้นำเสนอข้างต้น ดังนั้น ผังโรงงานที่ได้จึงมีความเหมาะสมสำหรับความต้องการที่ไม่แน่นอนในแต่ละช่วงเวลา ของโรงงานกรณีศึกษา

4.3.4 นำผังโรงงานที่ได้จากโปรแกรมดังรูปที่ 7 มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการจัดวางจริง โดยการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ และการสำรวจสถานที่จริง เพราะบางพื้นที่ไม่สามารถที่จะจัดวางแผนกนั้นๆ ลงไปได้ตามการคำนวณจากโปรแกรม เช่น มีสิ่งกีดขวางที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ (มีเสาอาคารตั้งอยู่ เป็นพื้นที่ลาดเอียง) หรืออาจมีความอันตรายไม่เหมาะสมสำหรับการทำงาน (อยู่ใกล้เครื่องจักรที่มีความร้อน เป็นทางเดินสายไฟ) เป็นต้น โดยจากการสอบถาม ผู้วิจัยต้องทำการปรับปรุงแนวการวางของแผนกที่ 14 และ 15 เนื่องจากรูปแบบการวางที่ได้จากโปรแกรมของทั้ง 2 แผนกนั้น ไม่เหมาะสมในการทำงานจริง จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวางผังโรงงานโดยละเอียด โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบแผนผังโดยใช้โปรแกรม MS Visio 2003 ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบผังหลังปรับปรุงโดยละเอียดได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปแบบผังโรงงานที่ออกแบบปรับปรุงโดยละเอียด

4.4 เปรียบเทียบแผนผังโรงงานกรณีศึกษา ก่อนและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 8 ทำการวัดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างแผนกโดยโปรแกรม MS Visio 2003 และทำการหา ระยะทางการเคลื่อนที่โดยรวมจริงจากโปรแกรมดังกล่าว พบว่าในไตรมาสที่ 1-4 แผนผังโรงงานหลังปรับปรุงมีระยะทางการเคลื่อนที่โดยรวมเท่ากับ 1,008,390 เมตร 1,091,688 เมตร 1,144,325 เมตร และ 845,137 เมตร ตามลำดับ และมีระยะทางโดยรวมตลอดทั้งปีอยู่ที่ 4,089,541 เมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผังโรงงานก่อนปรับปรุงพบว่าระยะทางเคลื่อนที่ตลอดทั้งปีลดลงจาก 5,343,338 เมตร เป็น 4,089,541 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 23.46 และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบผังโรงงานที่ออกแบบปรับปรุงกับผังโรงงานก่อนปรับปรุง (ดังรูปที่3) พบว่าต้องทำการย้ายตำแหน่งทุกแผนก ยกเว้นแผนกที่ 1 และ 6 ที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรขนาดใหญ่ และเป็นส่วนของสำนักงานการผลิต ตามลำดับ

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษา วิเคราะห์ และปรับปรุงผังโรงงานกรณีศึกษา ภายใต้สภาวะความต้องการผลิตภัณฑ์ไม่แน่นอน โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงผังโรงงานด้วยการคำนวณตามวิธี ซิมูเลตเตด อะเนลิ่ง ร่วมกับการวิเคราะห์ความเหมาะสมของผังโรงงานด้วยวิธีการวิเคราะห์ผังโรงงานแบบโรบัสต์นั้น สามารถออกแบบแผนผังโรงงานที่สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งปีโดย ลดการเปลี่ยนแปลงผังโรงงานระหว่างปี และสามารถรองรับกับความต้องการสินค้าที่ผันแปรในแต่ละช่วงเวลาได้ และทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ระหว่างแผนกโดยรวมลดลงได้ถึงร้อยละ 23.46

เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เป็นเพียงการหาคำตอบที่เหมาะสม ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้น หากมีการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรนำเข้า หรือพิจารณาวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีอื่นๆ อาจจะสามารถพัฒนาคำตอบที่ได้ให้เข้าใกล้กับคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้มากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปณิธาน พิธีพัฒนา. "เจเนติกส์อัลกอริทึมกับปัญหาการวางผังโรงงาน," *วารสาร วิศวกรรมสาร มช.*, ปีที่ 33 ฉบับที่ 4, หน้า 313- 324, 2549.
- [2] G. Moslemipour and T. S. Lee, "Intelligent design of a dynamic machine layout in uncertain environment of flexible manufacturing

systems," *Journal of Intelligent Manufacturing.*, Vol.23 (5), pp.1849-1860, 2011.

- [3] V. Madhusudanan Pillai, I. B. Hunagund and K. K. Krishnan, "Design of robust layout for dynamic plant layout problems," *Computers & Industrial Engineering.*, Vol.61 (3), pp.813-823, 2011.
- [4] สกพจน์ วิมลเกษม. *การพัฒนาโปรแกรมวางผังโรงงาน.* ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- [5] สมศักดิ์ ตรีสัตย์. *การออกแบบและวางผังโรงงาน.* พิมพ์ครั้งที่ 20. กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2551.
- [6] Jamal Oheba, *A new framework considering uncertainty for facility layout problem.* Doctor of philosophy. Faculty of Engineering and Physical Sciences. University of Manchester, 2012.
- [7] Jensen P. A.. (20 January 2015). *Computation (OM/IE Add-in Instructions)* [Online] Website: <http://www.me.utexas.edu>

ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาพีเซนเตอร์โดยการพัฒนาขอบเขตบน

สุภาลิน ศรณย์วงศ์¹ สิทธิพงษ์ ด้านตระกูล¹ และ จุลิน ลิคะสิริ^{2*}

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมแบบไม่มีข้อจำกัดด้านความสามารถในผลิตรายการผ่านปัญหาพีเซนเตอร์ในงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางระหว่างโรงงานที่เลือกเปิด p แห่งกับลูกค้าคนที่อยู่ไกลที่สุดของแต่ละโรงงานมีค่าน้อยที่สุด ในบทความนี้ได้นำเสนอข้อเสนอเพื่อลดขนาดของบริเวณคำตอบที่เป็นไปได้และช่วยปรับปรุงค่าขอบเขตบนของปัญหาให้มีค่าลดลงจากเดิม วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ในงานวิจัยนี้ได้สร้างขึ้นโดยอาศัยข้อเสนอที่ได้กล่าวมาข้างต้นเพื่อช่วยในการปรับปรุงค่าขอบเขตบนของปัญหาให้มีค่าดีขึ้น อีกทั้งยังมีการนำเสนอตัวอย่างและจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์สำหรับปัญหาพีเซนเตอร์เพื่อแสดงวิธีการทำงานของขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งผลจากการจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์สำหรับปัญหาพีเซนเตอร์แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแก้ปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าและสถานที่ให้บริการได้มากที่สุดถึง 5000×1000 โดยใช้เวลาในการคำนวณไม่เกิน 22 นาที ในขณะที่ผลเฉลยที่ดีที่สุดสามารถหาค่าได้เมื่อปัญหามีจำนวนลูกค้าและสถานที่ให้บริการมากที่สุดเพียง 300×30 เท่านั้น นอกจากนี้ผลจากการจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ยังแสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้กับผลเฉลยที่ดีที่สุดมีค่าไม่เกิน 1% สำหรับปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าและสถานที่ให้บริการน้อยกว่า 200×20 และไม่เกิน 17% สำหรับปัญหาที่มีขนาด 300×30

คำสำคัญ: ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง, ปัญหาพีเซนเตอร์, การหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์

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

¹ นักศึกษาปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Algorithm for Solving the P-center Problem via Upper Bound Development

Supalin Saranwong¹ Sittipong Dantrakul¹ and Chulin Likasiri^{2*}

Department of Mathematics, Faculty of Science, Chiang Mai University,
Mueang, Chiang Mai 50200

Abstract

The uncapacitated location problem in this work was studied via the p -center problem where the distances between p chosen facilities and their farthest customer were minimized. Propositions were proposed to reduce the feasible region and hence the upper bound of the solution was decreased. A heuristic was constructed around the propositions in order to obtain a better upper bound of the problem. An example is given regarding the increase of the processes of the proposed algorithm. Computer simulations were conducted on problem sizes up to 5000×1000 (customers $\times$ facilities) using the proposed algorithm where the best solution was found to be less than 22 minutes. The optimal solution was found only with problem sizes up to 300×30 . The results showed that the differences between the optimal solutions and the solutions obtained using the proposed algorithm were at most 1% in all cases smaller than 200×20 and at 17% for 300×30 instances.

Keywords: Location problem, P-center problem, Heuristic algorithm

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

¹ Doctor of Philosophy Student in Department of Mathematics, Faculty of Science, Chiang Mai University

² Associate Professor in Department of Mathematics, Faculty of Science, Chiang Mai University

1. บทนำ

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานให้บริการต่างๆ เป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับองค์กร เนื่องจากการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งมีผลโดยตรงต่อการดำเนินงานต่างๆ ในองค์กร เช่น การจัดสรรลูกค้าไปยังสถานที่ให้บริการ การวางแผนการผลิตและกลยุทธ์การตลาด ซึ่งส่งผลกระทบต่อความอยู่รอดขององค์กร ดังนั้นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานให้บริการจึงเป็นปัญหาได้รับความสนใจและมีการศึกษาหาวิธีหาคำตอบอย่างแพร่หลาย ปัญหาพีเซนเตอร์ (p -center problem) เป็นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งสถานให้บริการจำนวน p แห่ง โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ระยะทางระหว่างสถานให้บริการกับลูกค้าคนที่ไกลที่สุดมีค่าน้อยที่สุด ปัญหาดังกล่าวจัดเป็นปัญหาการจับกลุ่ม (clustering problem) ในรูปแบบหนึ่ง เนื่องจากลักษณะปัญหาเปรียบเสมือนการแบ่งกลุ่มลูกค้าออกเป็น p กลุ่มเพื่อให้สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวอย่างของปัญหาในลักษณะนี้ ได้แก่ การเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานดับเพลิง สถานีตำรวจ โรงพยาบาล ศูนย์บริการข้อมูล เป็นต้น

ปัญหาพีเซนเตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ปัญหาแบบไม่มีข้อจำกัดและปัญหาแบบมีข้อจำกัด โดยปัญหาแบบไม่มีข้อจำกัดนั้นจะไม่พิจารณาขีดความสามารถในการให้บริการของผู้ให้บริการและความต้องการของลูกค้า ในขณะที่ปัญหาแบบมีข้อจำกัดนั้นจะนำขีดความสามารถในการให้บริการของผู้ให้บริการและความต้องการของลูกค้ามาพิจารณาในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานให้บริการด้วย ปัญหาแบบมีข้อจำกัดบางปัญหาสามารถนำมาพิจารณาเป็นแบบไม่มีข้อจำกัดได้ โดยการกำหนดว่าลูกค้าแต่ละคนนั้นไม่ต้องการเข้ารับบริการพร้อมกัน เช่น ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานีดับเพลิง สถานีตำรวจนั้นเป็นปัญหาแบบมีข้อจำกัดขีดความสามารถในการให้บริการของสถานที่เหล่านี้ แต่ในความเป็นจริงแล้วสถานที่เหล่านี้สามารถให้บริการแก่ผู้ที่ต้องการรับบริการได้อย่างทั่วถึง

เนื่องจากปัญหาพีเซนเตอร์เป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) ซึ่งยากต่อการหาคำตอบ [1,2] ดังนั้นการพัฒนาวิธีการหาคำตอบของปัญหานี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบวิธีแน่นอนตรง (exact algorithms) และการพัฒนาวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ (heuristic algorithms) โดยวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์จะใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด แต่คำตอบที่ได้นั้นไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด เป็นเพียงคำตอบที่ยอมรับได้หรือมีค่าความคาดเคลื่อนของคำตอบไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ งานวิจัยทางด้านการหา

คำตอบที่ดีที่สุดแบบวิธีแน่นอนตรงที่มีการพัฒนาอย่างโดดเด่นในปัญหาพีเซนเตอร์คือ วิธีการหาคำตอบโดยการใช้เครื่องมือที่มีอยู่แล้วในการแก้ปัญหาเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับปัญหาคอคลุม (covering problem) จากนั้นทำซ้ำเพื่อหารัศมีที่น้อยที่สุดที่สามารถให้บริการแก่ลูกค้าทุกคนได้ [3] ต่อมาในปีค.ศ. 2010 ขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบใน [4] ได้นำเสนอการผ่อนปรนปัญหาคอคลุมแบบลากรางจ์ (Lagrangian relaxation) แทนการใช้เครื่องมือที่มีอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การพัฒนาวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์เนื่องจากใช้เวลาน้อยและได้คำตอบที่สามารถยอมรับได้ ในขณะที่การพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นมีความยากและความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์มากกว่า ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยมากมายได้คิดค้นและพัฒนาวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาพีเซนเตอร์ เช่น วิธีการค้นหาคำตอบในบริเวณใกล้เคียง (local search) [5] วิธีการค้นหาแบบทาบู่ (tabu search) [6] วิธีการค้นหาคำตอบแบบประสาน (harmony search) [7] วิธีการเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm) [8] และวิธีอาณานิคมผึ้ง (bee colony algorithm) [9] เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาพีเซนเตอร์แบบไม่มีข้อจำกัด อีกทั้งยังได้นำเสนอข้อเสนอเพื่อช่วยในการลดขนาดบริเวณคำตอบที่เป็นไปได้ (feasible region) ที่จะนำมาพิจารณาเพื่อพัฒนาคำตอบ นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังมีการแสดงตัวอย่างขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบอย่างละเอียด และเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอกับผลเฉลยที่ดีที่สุดอีกด้วย

2. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ปัญหาพีเซนเตอร์เป็นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสำหรับการเปิดสถานให้บริการจำนวน p แห่ง เพื่อให้ระยะทางระหว่างสถานให้บริการกับลูกค้าคนที่ไกลที่สุดมีค่าน้อยที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัญหาพีเซนเตอร์แบบไม่มีข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการผลิตหรือขีดความสามารถด้านความจุของสถานให้บริการ กำหนดให้ n แทนจำนวนลูกค้าทั้งหมดและ m แทนจำนวนตำแหน่งที่สามารถสร้างสถานให้บริการได้ ปัญหาดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$(P) \min z$$

$$\text{s.t. } z \geq \sum_{j \in J} d_{ij} x_{ij}, \quad \forall i \in I \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} y_j = p \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$x_{ij} - y_j \leq 0, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (4)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J$$

โดย $I = \{1, 2, \dots, n\}$ คือ เซตของลูกค้า

$J = \{1, 2, \dots, m\}$ คือ เซตของตำแหน่งที่เหมาะสมในการสร้างสถานให้บริการ

d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างลูกค้าคนที่ i และสถานบริการ j

x_{ij} คือ ตัวแปรตัดสินใจ โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อลูกค้าคนที่ i ตัดสินใจรับบริการจากสถานบริการ j และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อตัดสินใจไม่รับบริการ

y_j คือ ตัวแปรตัดสินใจ โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีการตัดสินใจเลือกสร้างสถานให้บริการที่ตำแหน่ง j และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อตัดสินใจไม่สร้างสถานให้บริการที่ตำแหน่ง j

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวแบบนี้เป็นการทำให้ระยะทางระหว่างลูกค้าคนที่ไกลที่สุดกับสถานให้บริการทุกแห่งมีค่าน้อยที่สุดดังแสดงในเงื่อนไขบังคับที่ (1) เงื่อนไขบังคับ (2) แสดงข้อจำกัดของจำนวนตำแหน่งที่ตั้งสถานให้บริการ โดยตำแหน่งที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการจัดตั้งสถานให้บริการต้องมีเท่ากับ p แห่งเท่านั้น เงื่อนไขบังคับ (3) แสดงให้เห็นว่าลูกค้าทุกคนจะต้องได้รับบริการจากสถานให้บริการแห่งใดแห่งหนึ่ง เงื่อนไขบังคับ (4) เป็นข้อจำกัดที่ว่าลูกค้าจะได้รับบริการจากสถานบริการที่มีการเปิดให้บริการเท่านั้น

3. ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ โดยเริ่มจากการหาคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้และกำหนดให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่สอดคล้องกับคำตอบนั้นเป็นค่าขอบเขตบนของปัญหา จากนั้นทำการพัฒนาคำตอบเพื่อให้ค่าขอบเขตบนที่สอดคล้องกับคำตอบดังกล่าวมีค่าดีขึ้นจนไม่สามารถพัฒนาค่าขอบเขตบนให้มีค่าดีขึ้นได้แล้ว คำตอบที่สอดคล้องกับค่าขอบเขตบนดังกล่าวจะเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาพีเซนเตอร์

ข้อเสนอที่ 1 ถ้าระยะทางระหว่างลูกค้าคนที่ i และสถานให้บริการ j มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าขอบเขตบน ($d_{ij} \geq u$) แล้วลูกค้าคนที่ i จะตัดสินใจไม่รับบริการจากสถานที่ให้บริการ j ($x_{ij} = 0$)

พิสูจน์ ให้ $\tilde{x}_{ij}$ เป็นคำตอบของปัญหา (P) และ u แทนขอบเขตบนที่สอดคล้องกับคำตอบ $\tilde{x}_{ij}$ นั่นคือ

$$u = z_1 = \min \max d_{ij} \tilde{x}_{ij}$$

$$\text{ถ้า } d_{i'j'} \geq u \text{ และ } x_{i'j'} = 1 \text{ แล้ว } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} x_{ij}$$

$$+ d_{i'j'} x_{i'j'} \geq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_{ij} x_{ij} + u \geq u \text{ จะเห็นได้ค่าของ}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาพีเซนเตอร์มีค่ามากขึ้นหรือเท่าเดิม ดังนั้นหากต้องการปรับปรุงค่าขอบเขตบนของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้ดีขึ้น เมื่อ $d_{ij} \geq u$ แล้วกำหนดให้

$$x_{ij} = 0 \quad \square$$

ข้อเสนอที่ 2 ถ้าระยะทางจากสถานที่ให้บริการ j ไปยังลูกค้าทุกคนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าขอบเขตบน ($d_{ij} \geq u, \forall i \in I$) แล้วจะไม่ตัดสินใจเลือกเปิดสถานให้บริการที่ตำแหน่ง j ($y_j = 0$)

พิสูจน์ เห็นได้ชัดว่า สำหรับแต่ละพื้นที่พิจารณา j เมื่อ $d_{ij} \geq u, \forall i \in I$ ถ้าสร้างสถานให้บริการบนพื้นที่ j แล้วจะไม่สามารถปรับปรุงค่าขอบเขตบนให้มีค่าดีขึ้นได้ $\square$

ข้อเสนอที่ 3 สำหรับลูกค้าที่มีระยะทางไปยังสถานให้บริการที่มีค่าไม่เกินค่าขอบเขตบนจำนวนน้อยที่สุด (เรียกว่า ลูกค้าคนที่ i) จำนวนคำตอบในการเลือกเปิดสถานให้บริการที่ทำให้สามารถปรับปรุงค่าขอบเขตบนให้ดีขึ้นจะมีค่าเท่ากับ

$$\binom{k}{1} \binom{n-1}{p-1} \text{ เมื่อ } k \text{ คือจำนวนพื้นที่พิจารณาเพื่อเปิด}$$

สถานให้บริการที่มีระยะทางไปยังลูกค้าคนที่ i น้อยกว่าขอบเขตบน

พิสูจน์ พิจารณาลูกค้าคนที่ i ที่มีจำนวนระยะทาง $d_{ij} < u$ การเลือกเปิดสถานให้บริการบนพื้นที่พิจารณา j อย่างน้อย 1 แห่งจะสามารถปรับปรุงค่าของขอบเขตบนให้ดีขึ้นได้ ดังนั้นวิธีการเลือกเปิดสถานให้บริการ 1 แห่ง คือ

$$\binom{k}{1} \text{ เมื่อ } k \text{ จำนวนพื้นที่พิจารณาเพื่อเปิดสถานให้บริการ}$$

ที่มีระยะทางไปยังลูกค้าคนที่ i น้อยกว่าขอบเขตบน วิธีการเลือกเปิดสถานให้บริการที่เหลือ $p-1$ แห่ง คือ $\binom{n-1}{p-1}$

ดังนั้นจำนวนรูปแบบคำตอบในการเลือกเปิดสถานให้บริการทั้งหมด p แห่งที่ทำให้ค่าขอบเขตบนดีขึ้นเท่ากับ

$$\binom{k}{1} \binom{n-1}{p-1} \quad \square$$

ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1. ขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้นของปัญหา 2. ขั้นตอนการพัฒนาคำตอบ

ขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้น

ขั้นที่ 1 กำหนดให้ $N=1$ เลือกเปิดสถานให้บริการ 1 แห่ง ณ ตำแหน่งที่มีระยะทางระหว่างสถานให้บริการไปยังลูกค้าที่อยู่ทางไกลที่สุดน้อยที่สุด ($\min_{j \in J} \{ \max_{i \in I} d_{ij} \}$) เรียกสถานให้บริการนี้ว่า สถานให้บริการ j_N จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าสู่สถานให้บริการดังกล่าว

ขั้นที่ 2 พิจารณาลูกค้าคนที่อยู่ไกลจากสถานให้บริการ j_N ที่สุด เลือกเปิดสถานให้บริการที่อยู่ใกล้กับลูกค้าคนดังกล่าวมากที่สุด เรียกสถานให้บริการนี้ว่า สถานให้บริการ j_{N+1} จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการใหม่อีกครั้ง โดยจัดสรรลูกค้าแต่ละคนไปยังสถานให้บริการที่ใกล้ที่สุด และให้ $N = N + 1$

ขั้นที่ 3 ถ้าสถานให้บริการที่เลือกเปิดมีจำนวนน้อยกว่า p ($N < p$) แล้วกลับไปขั้นที่ 2 กรณีอื่นๆ ไปยังขั้นตอนวิธีการพัฒนาคำตอบ

ขั้นตอนการพัฒนาคำตอบ

ขั้นที่ 1 กำหนดให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่สอดคล้องกับคำตอบเริ่มต้นจากขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้นข้างต้นเป็นค่าขอบเขตบนของปัญหา

ขั้นที่ 2 กำหนดให้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งยังไม่มีสถานให้บริการที่จุดใดเลยและ $N = 0$ พิจารณาระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการ ถ้าระยะทางใดมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าขอบเขตบน ($d_{ij} \geq u$) แล้วกำหนดให้ระยะทางระหว่างลูกค้าคนที่ i กับสถานให้บริการ j มีค่ามากกว่าขอบเขตบนมากๆ (เรียกเมทริกซ์นี้ว่า $\mathbf{A}$)

ดังนั้น $\mathbf{A} = [a_{ij}] = \begin{cases} d_{ij}, & d_{ij} < u \\ M, & d_{ij} \geq u \end{cases}$ โดยที่ $M \gg u$

ขั้นที่ 3 ถ้าแถวใดแถวหนึ่งในเมทริกซ์ $\mathbf{A}$ มีสมาชิกทุกตัวเป็นค่าคงที่ M จบการทำงาน กรณีอื่นๆ ไปยังขั้นที่ 4

ขั้นที่ 4 ให้ $N = N + 1$ พิจารณาลูกค้าที่มีจำนวนสถานให้บริการที่มีระยะทางระหว่างลูกค้าคนนั้นกับสถานให้บริการน้อยกว่าค่าขอบเขตบนน้อยที่สุด (เรียกว่าลูกค้าคนที่ i_N) พิจารณาสถานให้บริการ j ที่ $a_{i_N j} \neq M$ เลือกเปิดสถานให้บริการที่สามารถให้บริการแก่ลูกค้าได้มาก

ที่สุด (เรียกว่า สถานให้บริการที่ j_N) ในกรณีที่ลูกค้ามีจำนวนสถานให้บริการที่ $a_{ij} \neq M$ น้อยที่สุดมากกว่า 1 คน พิจารณาสถานให้บริการ j ที่ $a_{ij} \neq M$ สำหรับลูกค้ากลุ่มดังกล่าว เลือกเปิดสถานให้บริการที่สามารถให้บริการแก่ลูกค้าได้มากที่สุด ในกรณีที่มิสถานให้บริการสามารถให้บริการแก่ลูกค้าจำนวนมากที่สุดมากกว่า 1 แห่ง ให้เลือกเปิดสถานให้บริการที่ระยะทางไปยังลูกค้าคนที่ไกลสุดมีค่าน้อยที่สุดก่อน เพื่อให้สอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาพีเซนเตอร์ จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าแก่สถานให้บริการที่เปิด โดยให้ลูกค้ารับบริการจากสถานให้บริการที่ใกล้ที่สุด

ขั้นที่ 5 ให้ $N = N + 1$ สำหรับสถานให้บริการที่เหลืออยู่ เลือกเปิดสถานให้บริการ 1 แห่งที่มีจำนวนลูกค้าที่ต้องให้บริการมากที่สุด (เรียกว่า สถานให้บริการที่ j_N) จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการใหม่อีกครั้ง โดยจัดสรรลูกค้าแต่ละคนไปยังสถานให้บริการที่ใกล้ที่สุด

ขั้นที่ 6 ถ้าสถานให้บริการที่เปิดจำนวนน้อยกว่า p แห่ง ($N < p$) และยังสามารถปรับปรุงให้ค่าขอบเขตบนมีค่าดีขึ้นได้ (ไม่มีแถวใดมีสมาชิกทุกตัวเป็นค่าคงที่ M) แล้วไปยังขั้นที่ 4 ถ้าสถานให้บริการที่เปิดมีจำนวนเท่ากับจำนวนที่ต้องการ ($N = p$) และลูกค้าทุกคนได้รับการให้บริการแล้วกำหนดให้ค่าขอบเขตบนใหม่มีค่าเท่ากับระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการที่เปิดที่มีค่ามากที่สุด จากนั้นไปยังขั้นตอนที่ 2 ในกรณีอื่นๆ จบการทำงาน

ข้อเสนอ 4 ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบของปัญหาพีเซนเตอร์ที่ได้นำเสนอไปข้างต้นมีประสิทธิภาพเป็น $O(n^2 m^3)$ เมื่อ n คือจำนวนลูกค้า และ m คือจำนวนสถานที่ให้บริการ

พิสูจน์ ขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้นนั้นจะประกอบไปด้วยขั้นตอนการเลือกเปิดสถานให้บริการครั้งละ 1 แห่งเป็นจำนวน p ครั้งและทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการในแต่ละครั้งที่มีการเปิดสถานให้บริการเพิ่มขึ้นจากเดิม ในการพิจารณาเลือกเปิดสถานให้บริการ 1 แห่งจากทั้งหมด m แห่ง สามารถจำกัดขอบเขตการปฏิบัติการได้ด้วย $O(m)$ และการพิจารณาจัดสรรลูกค้า n คนไปยังสถานให้บริการสามารถจำกัดขอบเขตการปฏิบัติการได้ด้วย $O(n)$ ดังนั้นขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้นมีความซับซ้อนทางขั้นตอนวิธีเท่ากับ $O(pnm)$

ขั้นตอนวิธีการพัฒนาคำตอบนั้นจะเป็นการเลือกเปิดสถานให้บริการครั้งละ 1 แห่งและทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการที่มีการเปิดให้บริการ เป็นจำนวนทั้งหมด

p ครั้ง และทำการปรับปรุงค่าขอบเขตบน โดยจะทำการปรับปรุงเมทริกซ์ระยะทางและทำซ้ำขั้นตอนข้างต้นไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่สามารถพัฒนาค่าขอบเขตบนให้มีค่าดีขึ้นกว่าเดิมได้ ซึ่งในขั้นตอนการเปิดสถานให้บริการ p แห่ง และการจัดสรรลูกค้าคนไปยังสถานให้บริการนั้นสามารถจำกัดขอบเขตการปฏิบัติการได้ด้วย $O(pnm)$ ในการปรับปรุงเมทริกซ์ระยะทางนั้นสามารถจำกัดขอบเขตการปฏิบัติงานได้ด้วย $O(nm)$ ซึ่งการพัฒนาค่าขอบเขตบนสามารถทำได้อย่างมากที่สุด nm ครั้ง ดังนั้นขั้นตอนการพัฒนาคำตอบมีความซับซ้อนทางขั้นตอนวิธีเท่ากับ $O(n^2m^2 + pn^2m^2) \leq O(n^2m^3)$ เนื่องจาก $p \leq m$ □

4. ตัวอย่างขั้นตอนวิธีการหาคำตอบของปัญหาพีเซนเตอร์

กำหนดให้ลูกค้ามีจำนวน 10 คน และตำแหน่งพื้นที่ที่สามารถเปิดสถานให้บริการได้มีจำนวนทั้งหมด 5 แห่ง นั่นคือ $I = \{1, 2, \dots, 10\}$ และ $J = \{1, 2, \dots, 5\}$ ระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการแสดงด้วยเมทริกซ์ต่อไปนี้

$$D = \begin{bmatrix} 16 & 82 & 20 & 6 & 40 \\ 40 & 28 & 94 & 87 & 37 \\ 7 & 31 & 19 & 64 & 44 \\ 94 & 7 & 35 & 79 & 23 \\ 56 & 16 & 82 & 47 & 70 \\ 44 & 12 & 6 & 9 & 76 \\ 4 & 89 & 28 & 92 & 52 \\ 36 & 43 & 35 & 40 & 87 \\ 50 & 56 & 34 & 69 & 32 \\ 57 & 36 & 99 & 21 & 23 \end{bmatrix}$$

เนื่องจากตัวแปรตัดสินใจ x_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อลูกค้าคนที่ i ตัดสินใจรับบริการจากสถานบริการ j และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อตัดสินใจไม่รับบริการ และตัวแปรตัดสินใจ y_j มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีการตัดสินใจเลือกสร้างสถานให้บริการที่ตำแหน่ง j และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ดังนั้นตัวแปรตัดสินใจ $\mathbf{x} \in \mathbb{B}^{10 \times 5}$ และ $\mathbf{y} \in \mathbb{B}^5$

หากต้องการตำแหน่งพื้นที่สำหรับการจัดตั้งสถานให้บริการจำนวน 2 แห่ง ขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบและปรับปรุงค่าขอบเขตบนสำหรับปัญหานี้สามารถทำได้ดังนี้

ขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้น

ขั้นที่ 1 กำหนดให้ $N=1$ พิจารณาระยะทางระหว่างสถานให้บริการไปยังลูกค้าคนที่ไกลที่สุดแต่ละสถาน

ให้บริการ นั่นคือ $d_{41}=94, d_{72}=89, d_{103}=99, d_{74}=92$ และ $d_{85}=87$ เลือกเปิดสถานให้บริการที่มีระยะทางไปยังลูกค้าคนที่ไกลที่สุดมีค่าน้อยที่สุด 1 แห่ง จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าสถานให้บริการที่ 5 มีระยะทางจากสถานให้บริการไปยังลูกค้าคนที่ไกลที่สุดมีค่าน้อยที่สุด คือ 87 ดังนั้นจึงเลือกเปิดสถานให้บริการที่ตำแหน่ง $j_1=5$ (เรียกว่า สถานให้บริการที่จุด 5) จากนั้นจัดสรรลูกค้าทุกคนไปยังสถานให้บริการดังกล่าว

ตารางที่ 1 ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ถูกจัดสรรให้แก่สถานให้บริการ 1 แห่ง แสดงโดยการขีดเส้นใต้

ลูกค้า/สถานให้บริการ	1	2	3	4	5
1	16	82	20	6	<u>40</u>
2	40	28	94	87	<u>37</u>
3	7	31	19	64	<u>44</u>
4	94	7	35	79	<u>23</u>
5	56	16	82	47	<u>70</u>
6	44	12	6	9	<u>76</u>
7	4	89	28	92	<u>52</u>
8	36	43	35	40	<u>87</u>
9	50	56	34	69	<u>32</u>
10	57	36	99	21	<u>23</u>

จากตารางที่ 1 จะได้ว่าตัวแปรตัดสินใจในการเลือกเปิดสถานให้บริการมีค่าดังนี้ $\mathbf{y} = (0, 0, 0, 0, 1)$ และตัวแปรตัดสินใจในการเลือกรับบริการจากสถานให้บริการของลูกค้าแต่ละคนสามารถแสดงได้ด้วยเมทริกซ์ต่อไปนี้

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ขั้นที่ 2 ลูกค้าคนที่อยู่ไกลจากสถานให้บริการที่จุด 5 มากที่สุดคือ ลูกค้าคนที่ 8 เนื่องจากลูกค้าคนที่ 8 ทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหานี้มีค่ามาก ดังนั้นเราจึงต้องการที่จะเปิดสถานให้บริการอื่นเพื่อตอบสนองความ

ต้องการของลูกค้าคนที่ 8 นั่นคือเลือกสถานให้บริการที่ตำแหน่ง $j_2=3$ ที่อยู่ใกล้กับลูกค้าคนที่ 8 มากที่สุด (เรียกว่า *สถานให้บริการที่จุด 3*) จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการที่จุด 3 หรือ 5 ภายใต้เงื่อนไขว่าลูกค้าจะได้รับการบริการจากสถานให้บริการที่อยู่ใกล้ตนเองมากที่สุด ดังแสดงโดยการขีดเส้นใต้ในตารางที่ 2 และ $N=2$

ตารางที่ 2 ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ถูกจัดสรรให้แก่สถานให้บริการที่เปิด 2 แห่ง

ลูกค้า/สถานให้บริการ	1	2	3	4	5
1	16	82	<u>20</u>	6	40
2	40	28	94	87	<u>37</u>
3	7	31	<u>19</u>	64	44
4	94	7	35	79	<u>23</u>
5	56	16	82	47	<u>70</u>
6	44	12	<u>6</u>	9	76
7	4	89	<u>28</u>	92	52
8	36	43	<u>35</u>	40	87
9	50	56	34	69	<u>32</u>
10	57	36	99	21	<u>23</u>

ขั้นที่ 3 เนื่องจากจำนวนสถานให้บริการที่เปิดมีค่าเท่ากับจำนวนที่ต้องการแล้ว ($N=p=2$) ดังนั้นไปยังขั้นตอนการพัฒนาคำตอบ

ขั้นตอนการพัฒนาคำตอบ

รอบที่ 1

ขั้นที่ 1 กำหนดให้ค่าขอบเขตบนคือระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการที่เปิดที่มีค่ามากที่สุดจากคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากกระบวนการข้างต้น นั่นคือ $u=d_{55}=70$

ขั้นที่ 2 กำหนดให้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งยังไม่มี การเปิดสถานให้บริการที่จุดใดเลยและ $N=0$ ทำการปรับปรุงเมทริกซ์ระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการ ซึ่งแสดงโดยเมทริกซ์ต่อไปนี้

$$A = \begin{bmatrix} 16 & M & 20 & 6 & 40 \\ 40 & 28 & M & M & 37 \\ 7 & 31 & 19 & 64 & 44 \\ M & 7 & 35 & M & 23 \\ 56 & 16 & M & 47 & M \\ 44 & 12 & 6 & 9 & M \\ 4 & M & 28 & M & 52 \\ 36 & 43 & 35 & 40 & M \\ 50 & 56 & 34 & 69 & 32 \\ 57 & 36 & M & 21 & 23 \end{bmatrix}; M \gg 70$$

ขั้นที่ 3 เนื่องจากไม่มีแถวใดในเมทริกซ์ A ที่มีสมาชิกทุกตัวเป็นค่าคงที่ M ไปยังขั้นที่ 4

ขั้นที่ 4 ให้ $N=N+1=1$ จากเมทริกซ์ A จะเห็นได้ว่าลูกค้าคนที่ 2, 4, 5 และ 7 มีจำนวนสถานให้บริการที่มีระยะทางน้อยกว่าค่าขอบเขตบน ($a_{ij} < u$) เท่ากัน คือ 3 แห่ง กำหนดให้ B_1 แทนเซตของสถานให้บริการที่ $a_{ij} \neq M$ นั่นคือ $B_2 = \{1, 2, 5\}$, $B_4 = \{2, 3, 5\}$, $B_5 = \{1, 2, 4\}$ และ $B_7 = \{1, 3, 5\}$ เนื่องจากสถานให้บริการที่จุด 1, 2, 3, 4 และ 5 สามารถให้บริการแก่ลูกค้าจำนวน 9, 8, 7, 7 และ 7 ตามลำดับ ดังนั้นเลือกเปิดสถานให้บริการที่ตำแหน่ง $j_1=1$ (เรียกว่า *สถานให้บริการที่จุด 1*) จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการที่เปิด ดังแสดงโดยการขีดเส้นใต้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ถูกจัดสรรให้แก่สถานให้บริการที่เปิด 1 แห่ง (สถานให้บริการที่จุด 1)

ลูกค้า/สถานให้บริการ	1	2	3	4	5
1	<u>16</u>	M	20	6	40
2	<u>40</u>	28	M	M	37
3	<u>7</u>	31	19	64	44
4	M	7	35	M	23
5	<u>56</u>	16	M	47	M
6	<u>44</u>	12	6	9	M
7	<u>4</u>	M	28	M	52
8	<u>36</u>	43	35	40	M
9	<u>50</u>	56	34	69	32
10	<u>57</u>	36	M	21	23

ขั้นที่ 5 ให้ $N = N + 1 = 2$ พิจารณาสถานให้บริการที่จุด 2, 3, 4 และ 5 พบว่าจำนวนลูกค้าที่อยู่ห่างจากสถานให้บริการไม่เกินค่าขอบเขตบนมีค่าเท่ากับ 8, 7, 7 และ 7 ตามลำดับ ดังนั้นเลือกเปิดสถานให้บริการที่ตำแหน่ง $j_2 = 2$ (เรียกว่า สถานให้บริการที่จุด 2) จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการที่จุด 1 หรือ 2 ภายใต้เงื่อนไขว่าลูกค้าจะรับการบริการจากสถานให้บริการที่อยู่ใกล้ตนเองมากที่สุดดังแสดงโดยการขีดเส้นใต้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ถูกจัดสรรให้แก่สถานให้บริการที่เปิด 2 แห่ง (สถานให้บริการที่จุด 1 และ 2)

ลูกค้า/สถานให้บริการ	1	2	3	4	5
1	16	M	20	6	40
2	40	28	M	M	37
3	7	31	19	64	44
4	M	7	35	M	23
5	56	16	M	47	M
6	44	12	6	9	M
7	4	M	28	M	52
8	36	43	35	40	M
9	50	56	34	69	32
10	57	36	M	21	23

ขั้นที่ 6 เนื่องจากสถานให้บริการที่เปิดมีจำนวนเท่ากับจำนวนสถานให้บริการที่ต้องการ p ($N = p = 2$) และลูกค้าทุกคนได้รับการให้บริการ ดังนั้นกำหนดให้ค่าขอบเขตบนใหม่มีค่าเท่ากับระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการที่เปิดที่มีค่ามากที่สุด นั่นคือ $u = d_{91} = 50$ และไปยังขั้นตอนที่ 2

รอบที่ 2

ขั้นที่ 2 กำหนดให้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งยังไม่มีมีการเปิดสถานให้บริการที่จุดใดเลยและ $N = 0$ ทำการปรับปรุงเมทริกซ์ระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการซึ่งแสดงโดยเมทริกซ์ต่อไปนี้

$$A = \begin{bmatrix} 16 & M & 20 & 6 & 40 \\ 40 & 28 & M & M & 37 \\ 7 & 31 & 19 & M & 44 \\ M & 7 & 35 & M & 23 \\ M & 16 & M & 47 & M \\ 44 & 12 & 6 & 9 & M \\ 4 & M & 28 & M & M \\ 36 & 43 & 35 & 40 & M \\ M & M & 34 & M & 32 \\ M & 36 & M & 21 & 23 \end{bmatrix}; M \gg 50$$

ขั้นที่ 3 เนื่องจากไม่มีแถวใดในเมทริกซ์ A มีสมาชิกทุกตัวเป็นค่าคงที่ M ไปยังขั้นที่ 4

ขั้นที่ 4 ให้ $N = N + 1 = 1$ จากเมทริกซ์ A จะเห็นว่าลูกค้าคนที่ 5, 7 และ 9 มีจำนวนสถานให้บริการที่มีระยะทางน้อยกว่าค่าขอบเขตบน ($a_{ij} < u$) เท่ากัน คือ 2 แห่ง และ $B_5 = \{2, 4\}$, $B_7 = \{1, 3\}$ และ $B_9 = \{3, 5\}$ เนื่องจากสถานให้บริการที่จุด 1, 2, 3, 4 และ 5 สามารถให้บริการแก่ลูกค้าที่เหลือได้จำนวน 6, 7, 7, 5 และ 6 ตามลำดับ ดังนั้นเลือกเปิดสถานให้บริการที่ $j_1 = 2$ (เรียกว่า สถานให้บริการที่จุด 2) (เนื่องจาก $a_{52} = 16 < a_{73} = 28$) จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการที่เปิด ดังแสดงโดยการขีดเส้นใต้ในตารางที่ 5

ขั้นที่ 5 ให้ $N = N + 1 = 2$ พิจารณาสถานให้บริการที่จุด 1, 3, 4 และ 5 พบว่าจำนวนลูกค้าที่อยู่ห่างจากสถานให้บริการไม่เกินค่าขอบเขตบนมีค่าเท่ากับ 6, 7, 5 และ 6 ตามลำดับ ดังนั้นเลือกเปิดสถานให้บริการที่ตำแหน่ง $j_2 = 3$ (เรียกว่า สถานให้บริการที่จุด 3) จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการที่จุด 2 หรือ 3 ภายใต้เงื่อนไขว่าลูกค้าจะรับการบริการจากสถานให้บริการที่อยู่ใกล้ที่สุดดังแสดงโดยการขีดเส้นใต้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ถูกจัดสรรให้แก่สถานให้บริการที่เปิด 1 แห่ง (สถานให้บริการที่จุด 2)

ลูกค้า/สถานให้บริการ	1	2	3	4	5
1	16	M	20	6	40
2	40	28	M	M	37
3	7	31	19	M	44
4	M	7	35	M	23

5	M	<u>16</u>	M	47	M
6	44	<u>12</u>	6	9	M
7	4	M	28	M	M
8	36	<u>43</u>	35	40	M
9	M	M	34	M	32
10	M	<u>36</u>	M	21	23

ตารางที่ 6 ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ถูกจัดสรรให้แก่สถานให้บริการที่เปิด 2 แห่ง (สถานให้บริการที่จุด 2 และ 3)

ลูกค้า/สถานให้บริการ	1	2	3	4	5
1	16	M	<u>20</u>	6	40
2	40	<u>28</u>	M	M	37
3	7	31	<u>19</u>	M	44
4	M	<u>7</u>	35	M	23
5	M	<u>16</u>	M	47	M
6	44	12	<u>6</u>	9	M
7	4	M	<u>28</u>	M	M
8	36	43	<u>35</u>	40	M
9	M	M	<u>34</u>	M	32
10	M	<u>36</u>	M	21	23

ขั้นที่ 6 เนื่องจากสถานให้บริการที่เปิดมีจำนวนเท่ากับจำนวนสถานให้บริการที่ต้องการ p ($N = p = 2$) และลูกค้าทุกคนได้รับการให้บริการ ดังนั้นกำหนดให้ค่าขอบเขตบนใหม่มีค่าเท่ากับระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการที่เปิดที่มีค่ามากที่สุด นั่นคือ $u = d_{102} = 36$ และไปยังขั้นตอนที่ 2

รอบที่ 3

ขั้นที่ 2 กำหนดให้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งยังไม่มีสถานให้บริการที่จุดใดเลยและ $N = 0$ ทำการปรับปรุงเมทริกซ์ระยะทางระหว่างลูกค้ากับสถานให้บริการซึ่งแสดงโดยเมทริกซ์ต่อไปนี้

$$A = \begin{bmatrix} 16 & M & 20 & 6 & M \\ M & 28 & M & M & M \\ 7 & 31 & 19 & M & M \\ M & 7 & 35 & M & 23 \\ M & 16 & M & M & M \\ M & 12 & 6 & 9 & M \\ 4 & M & 28 & M & M \\ M & M & 35 & M & M \\ M & M & 34 & M & 32 \\ M & M & M & 21 & 23 \end{bmatrix}; M \gg 36$$

ขั้นที่ 3 เนื่องจากไม่มีแถวใดในเมทริกซ์ A ที่มีสมาชิกทุกตัวเป็นค่าคงที่ M ไปยังขั้นที่ 4

ขั้นที่ 4 ให้ $N = N + 1 = 1$ จากเมทริกซ์ A จะเห็นว่าลูกค้าคนที่ 2, 5 และ 8 มีจำนวนสถานให้บริการที่มีระยะทางน้อยกว่าค่าขอบเขตบน ($a_{ij} < u$) เท่ากัน คือ 1 สถานให้บริการ และ $B_2 = \{2\}$, $B_5 = \{2\}$ และ $B_8 = \{3\}$ เนื่องจากสถานให้บริการที่จุด 2 และ 3 สามารถให้บริการแก่ลูกค้าได้จำนวน 5 และ 7 ตามลำดับ ดังนั้นเลือกเปิดสถานให้บริการที่ $j_1 = 3$ (เรียกว่า สถานให้บริการที่จุด 3) จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการที่เปิด ดังแสดงโดยการขีดเส้นใต้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ถูกจัดสรรให้แก่สถานให้บริการที่เปิด 1 แห่ง (สถานให้บริการที่จุด 3)

ลูกค้า/สถานให้บริการ	1	2	3	4	5
1	16	M	<u>20</u>	6	M
2	M	28	M	M	M
3	7	31	<u>19</u>	M	M
4	M	7	<u>35</u>	M	23
5	M	16	M	M	M
6	M	12	<u>6</u>	9	M
7	4	M	<u>28</u>	M	M
8	M	M	<u>35</u>	M	M
9	M	M	<u>34</u>	M	32
10	M	M	M	21	23

ขั้นที่ 5 ให้ $N = N + 1 = 2$ พิจารณาสถานให้บริการที่จุด 1, 2, 4 และ 5 พบว่าจำนวนลูกค้าที่อยู่ห่างจากสถานให้บริการไม่เกินค่าขอบเขตบนมีค่าเท่ากับ 3, 5, 3

และ 3 ตามลำดับ ดังนั้นเลือกเปิดสถานให้บริการที่ตำแหน่ง $j_2 = 2$ (เรียกว่า *สถานให้บริการที่จุด 2*) จากนั้นทำการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานให้บริการที่จุด 2 หรือ 3 ภายใต้เงื่อนไขว่าลูกค้าจะรับการบริการจากสถานให้บริการที่อยู่ใกล้ตนเองมากที่สุดดังแสดงโดยการขีดเส้นใต้ในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ถูกจัดสรรให้แก่สถานให้บริการที่เปิด 2 แห่ง (*สถานให้บริการที่จุด 2 และ 3*)

ลูกค้า/สถานให้บริการ	1	2	3	4	5
1	16	<i>M</i>	<u>20</u>	6	<i>M</i>
2	<i>M</i>	<u>28</u>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
3	7	31	<u>19</u>	<i>M</i>	<i>M</i>
4	<i>M</i>	<u>7</u>	35	<i>M</i>	23
5	<i>M</i>	<u>16</u>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
6	<i>M</i>	12	<u>6</u>	9	<i>M</i>
7	4	<i>M</i>	<u>28</u>	<i>M</i>	<i>M</i>
8	<i>M</i>	<i>M</i>	<u>35</u>	<i>M</i>	<i>M</i>
9	<i>M</i>	<i>M</i>	<u>34</u>	<i>M</i>	32
10	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	21	23

ขั้นที่ 6 เนื่องจากจำนวนสถานให้บริการที่เปิดมีค่าเท่ากับจำนวนที่ต้องการ ($N = p = 2$) และมีลูกค้าบางคนไม่ได้รับการบริการ จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าลูกค้าคนที่ 10 ไม่ได้รับการจัดสรรให้แก่สถานให้บริการใดเลย ดังนั้นจบการทำงาน เพราะไม่สามารถปรับปรุงค่าขอบเขตบนให้มีค่าดีกว่า $u = 36$ ได้แล้ว คำตอบของปัญหาในตัวอย่างนี้ คือ $y = (0, 1, 1, 0, 0)$ ค่าของตัวแปรตัดสินใจ x ที่สอดคล้องกับตารางที่ 6 แสดงโดยเมทริกซ์ต่อไปนี้

$$x = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

จากการแก้ปัญหาในตัวอย่างนี้ด้วยโปรแกรม excel พบว่าค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหานี้คือ $z = 36$ นั่นคือ คำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาในตัวอย่างนี้ด้วย ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาพีเซนเตอร์ได้เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากขั้นตอนการหาคำตอบในแต่ละขั้นตอนเข้าใจได้ง่ายและไม่มีความซับซ้อน ในขณะที่การแก้ปัญหาพีเซนเตอร์โดยใช้โปรแกรม excel สามารถหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก นอกจากนี้ขั้นตอนการหาคำตอบที่นำเสนอยังสามารถทำงานได้ดีและเร็วในปัญหาที่มีการกระจายตัวของตำแหน่งลูกค้าและสถานให้บริการมาก (ระยะทางระหว่างลูกค้าและสถานให้บริการมีค่าแตกต่างกันมากๆ) เนื่องจากในขั้นตอนการปรับปรุงเมทริกซ์ระยะทาง (**A**) จะเปลี่ยนระยะทางที่มีค่าไม่น้อยกว่าขอบเขตบนให้มีค่ามากกว่าขอบเขตบนมากๆ (*M*) กล่าวคือไม่พิจารณาคำตอบที่สอดคล้องกับระยะทาง *M* ทำให้บริเวณของคำตอบที่เป็นไปได้ลดลงมาก

5. ผลการจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์

หัวข้อนี้เป็นการนำเสนอประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในบทความนี้ โดยแสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้กับผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากการแก้ปัญหาพีเซนเตอร์โดยใช้โปรแกรม AIMMS สำหรับปัญหาพีเซนเตอร์ที่มีจำนวนลูกค้า และสถานให้บริการ ($n \times m$) แตกต่างกันทั้งหมด 6 กรณี ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองปัญหาพีเซนเตอร์ประกอบด้วยจำนวนสถานให้บริการที่ต้องการเปิด และระยะทางระหว่างลูกค้าและสถานให้บริการ ซึ่งระยะทางระหว่างลูกค้าและสถานให้บริการนั้นเกิดจากการสุ่มตัวเลขจากช่วงของตัวเลขที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ค่าพารามิเตอร์และช่วงของการสุ่มพารามิเตอร์สำหรับปัญหาพีเซนเตอร์

จำนวนลูกค้า $\times$ สถานให้บริการ ($n \times m$)	จำนวนสถานให้บริการที่ต้องการเปิด (p)	ระยะทางระหว่างลูกค้าและสถานให้บริการ
10×6	3	[1 , 100]
30×10	5	[1 , 100]
50×10	5	[1 , 100]
100×10	5	[10 , 250]
200×20	10	[10 , 250]
300×30	10	[10 , 250]

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่ได้ นำเสนอไปในหัวข้อที่ 3 แสดงในรูปของค่าเฉลี่ยของค่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เปรียบเทียบของระยะห่างจากผลเฉลยที่ดี

ที่สุด (Optimality gap) และค่าเฉลี่ยของเวลาในการหาคำตอบสำหรับการจำลองปัญหาขนาดต่างๆที่กำหนดข้างต้น จำนวน 10 ตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ผลการทดสอบขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้โดยการเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากโปรแกรม AIMMS

ขนาดของปัญหาพีเซนเตอร์ ($n \times m \times p$)	ค่าเฉลี่ยของผลเฉลยที่ดีที่สุด	ค่าเฉลี่ยของผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ	ระยะห่างจากผลเฉลยที่ดีที่สุด (%)	เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (วินาที)	เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบโดยขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ (วินาที)
$10 \times 6 \times 3$	44.2	44.4	0.5128	30.888	4.3992
$30 \times 10 \times 5$	40.4	40.4	0.0000	45.7707	1.3104
$50 \times 10 \times 5$	46.1	46.3	0.3902	36.5042	5.2416
$100 \times 10 \times 5$	74.0	74.2	0.2740	36.3170	7.5816
$200 \times 20 \times 10$	47.7	48.1	0.8788	26.5826	13.1977
$300 \times 30 \times 10$	71.2	82.7	16.1898	62.1070	7.7688

ระยะห่างจากผลเฉลยที่ดีที่สุดคำนวณจากสมการ
$$\text{Gap} = \frac{\bar{z} - z^*}{z^*}$$
 โดยที่ $\bar{z}$ คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ และ z^* คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่สอดคล้องกับผลเฉลยที่ดีที่สุด ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงค่าขอบเขตบนของปัญหาพีเซนเตอร์ขนาดเล็ก (ปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าและสถานให้บริการไม่เกิน 300×30) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างจากค่าที่ดีที่สุดไม่เกิน 17% นอกจากขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า 14 วินาที ในขณะที่การหาผลเฉลยที่ดีที่สุดใช้เวลามากที่สุด 63 วินาที

เมื่อปัญหาพีเซนเตอร์มีจำนวนลูกค้าและสถานให้บริการเท่ากับ 500×50 โปรแกรม AIMMS ไม่สามารถหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ (เมื่อกำหนดให้โปรแกรมหยุดทำงานเมื่อใช้เวลาเกิน 24 ชั่วโมง) ดังนั้นในการจำลองปัญหาพีเซนเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 500×50 (เรียกว่าปัญหาขนาดใหญ่) นั้นผลการทดสอบขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอจะแสดงในรูปของค่าเฉลี่ยของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบโดยใช้ขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 แสดงค่าพารามิเตอร์และผลการทดสอบขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอสำหรับปัญหาพีเซนเตอร์ขนาดใหญ่ จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถหาคำตอบของปัญหาพีเซนเตอร์ได้ภายในเวลาประมาณ 22 นาที หรือ 1,290 วินาที ในขณะที่ผลเฉลยที่ดีที่สุดไม่สามารถหาค่าได้ภายใต้กำหนดเวลาในการรันโปรแกรม 24 ชั่วโมง หรือ 86,400 วินาที

ตารางที่ 3. ค่าพารามิเตอร์และช่วงของการสุ่มพารามิเตอร์สำหรับปัญหาพีเซนเตอร์

จำนวนลูกค้า $\times$ สถานให้บริการ ($n \times m$)	จำนวนสถานให้บริการที่ต้องการเปิด (p)	ระยะทางระหว่างลูกค้าและสถานให้บริการ
500×50	20	[10 , 500]
$1,500 \times 100$	50	[10 , 1500]
$3,000 \times 1,000$	100	[10 , 3000]

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาขนาดใหญ่

ขนาดของปัญหาพีเซนเตอร์ ($n \times m \times p$)	ค่าเฉลี่ยของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์	เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (วินาที)
$500 \times 50 \times 20$	91.4	1.6864
$1,500 \times 100 \times 50$	126.6	17.3270
$3,000 \times 1,000 \times 100$	123.4	1289.6135

6. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานให้บริการแบบปัญหาพีเซนเตอร์คือต้องการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการจัดตั้งสถานให้บริการจำนวน p แห่งเพื่อให้ระยะทางระหว่างสถานให้บริการกับลูกค้าคนที่อยู่ใกล้ที่สุดมีค่าน้อยที่สุด โดยพิจารณาปัญหาแบบไม่มีข้อจำกัดทางด้านความสามารถในการผลิตหรือความจุ ใน

บทความนี้ได้นำเสนอข้อเสนอเพื่อช่วยลดขนาดบริเวณของคำตอบที่เป็นไปและขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาพีเซนเตอร์แบบไม่มีข้อจำกัด ผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นคำตอบที่เป็นไปได้เสมอ โดยผลเฉลยดังกล่าวอาจเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือไม่ก็ได้ ขั้นตอนวิธีการปรับปรุงค่าขอบเขตบนสำหรับปัญหาพีเซนเตอร์ที่ได้นำเสนอในบทความนี้เป็นการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์โดยมีแนวคิดคล้ายกับวิธีการตัดระนาบ (Cutting plane) และวิธีการหาคำตอบแบบละโมภ (Greedy algorithm) เนื่องจากมีขั้นตอนของการลดบริเวณของคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละขั้นตอนการวนซ้ำ และในการเลือกเปิดสถานที่ให้บริการหรือการจัดสรรลูกค้าไปยังสถานที่ให้บริการนั้นมีเงื่อนไขในการเลือกเพื่อผลจากการเลือกนั้นมีค่าดีที่สุดในแต่ละครั้งด้วย ในขณะที่ขั้นตอนวิธีที่เป็นที่นิยมใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาพีเซนเตอร์ในปัจจุบันจะเป็นขั้นตอนวิธีที่ได้แนวคิดมาจากธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาคำตอบแบบประสาน วิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีอาณานิคมผึ้ง เป็นต้น โดยขั้นตอนวิธีดังกล่าวไม่ได้พิจารณาลักษณะโครงสร้างของปัญหานั้น

นอกจากนี้ได้มีการแสดงตัวอย่างขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบของปัญหาอย่างละเอียดในหัวข้อที่ 4 และแสดงผลการทดสอบขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอโดยการจำลองปัญหาพีเซนเตอร์ที่มีขนาดของปัญหาต่างๆกันในหัวข้อที่ 5 ซึ่งจากผลการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยโดยการเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากการใช้โปรแกรม AIMMS แสดงให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถให้ค่าขอบเขตบนสำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ห่างจากค่าที่ดีที่สุดไม่เกิน 1% สำหรับปัญหาที่มีจำนวนลูกค้าและสถานที่ให้บริการน้อยกว่า 200×20 และไม่เกิน 17% สำหรับปัญหาที่มีขนาด 300×30 อีกทั้งยังใช้เวลาในการหาผลเฉลยน้อยกว่าเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดอีกด้วย สำหรับปัญหาพีเซนเตอร์ขนาดใหญ่ที่ผลเฉลยที่ดีที่สุดไม่สามารถหาค่าได้ภายใต้การกำหนดเวลาที่มากที่สุดในการใช้รันโปรแกรม ในขณะที่ขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอในบทความนี้สามารถหาค่าผลเฉลยได้โดยใช้เวลาประมาณ 22 นาที

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] O. Kariv and S. L. Hakimi, "An algorithmic approach to network location problems part I: the p-centers," *SIAM Journal of Applied Mathematics.*, Vol. 37 (3), pp. 513-538, 1979.
- [2] M. R. Garey and D. S. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-*

Completeness, United States of America: W. H. Freeman Co., 1978.

- [3] F. A. Ozsoy and M. C. Panar, "An exact algorithm for the capacitated vertex p-center problem," *Computer Operational Research.*, Vol. 33 (5), pp. 1420-1436, 2006.
- [4] M. Albareda-Sambola and J. A. Diaz, "Lagrangean duals and exact solution to the capacitated p-center problem," *European Journal of Operational Research.*, Vol. 201 (1), pp. 71-81, 2010.
- [5] M. P. Scaparra, S. Pallottino and M. G. Scutella, "Large scale local search heuristics for the capacitated vertex p-center problem," *Networks.*, Vol. 43 (4), pp. 241-255, 2004.
- [6] P. Hansen, J. Brimberg, D. Urošević and N. Mladenović, "Solving large p-median clustering problems by primal-dual variable neighborhood search," *Data Mining and Knowledge Discovery.*, Vol. 19 (3), pp. 351-375, 2009.
- [7] A. Kaveh and H. Nasr, "Solving the conditional and unconditional p-center problem with modified harmony search: A real case study," *Scientia Iranica*, Vol. 18 (4), pp. 867-877, 2011.
- [8] W. Pullan, "A memetic genetic algorithm for the vertex p-center problem," *Evolutionary Computation.*, Vol. 16 (3), pp. 417-436, 2008.
- [9] T. Davidovic, D. Ramljak, M. Selmic and D. Teodorovic, "Bee colony optimization for the p-center problem," *Computers & Operations Research.*, Vol. 38, pp. 1367-1376, 2011.

การวัดประสิทธิภาพและการปรับปรุงประสิทธิภาพโรงงานอุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอ ด้วยวิธีโอบล้อมข้อมูล

วลัยลักษณ์ อัครีวงศ์¹ กนกกรณ์ สี่โรจนาประภา*²

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโรงงานอุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอ (ISIC CODE 13111) ในประเทศไทยโดยใช้วิธีโอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) และเพื่อนำเสนอแนวทางสำหรับผู้ประกอบการในการปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน เก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นโรงงานที่มีการจดทะเบียนและได้รับอนุญาตเปิดดำเนินการในปี 2558 โดยแบ่งโรงงานอุตสาหกรรมในการศึกษานี้ออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเครื่องจักรไม่เกิน 50 แรงม้าซึ่งไม่มีการฟอกย้อมสีจำนวน 9 โรงงาน และกลุ่มเครื่องจักรเกิน 50 แรงม้าหรือโรงงานทุกขนาดซึ่งมีการฟอกย้อมสีจำนวน 307 โรงงาน ซึ่งปัจจัยนำเข้าในแบบจำลองนี้มี 7 ปัจจัย ประกอบด้วยเงินลงทุนค่าที่ดิน เงินลงทุนด้านอาคาร เงินลงทุนค่าเครื่องจักร เงินทุนหมุนเวียน พื้นที่อาคาร พื้นที่โรงงานและจำนวนแรงงาน และปัจจัยผลผลิตได้แก่ แรงม้ายาเส้นใย การผลการศึกษาพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มที่ 1 มีคะแนนประสิทธิภาพเฉลี่ย 0.769 ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มที่ 2 มีคะแนนประสิทธิภาพเฉลี่ย 0.482 โดยโรงงานในกลุ่มที่ 1 มีโรงงานที่มีประสิทธิภาพทั้งสิ้น 6 โรงงาน คิดเป็น 67% ในขณะที่โรงงานในกลุ่มที่ 2 มีโรงงานที่มีประสิทธิภาพทั้งสิ้น 14 โรงงาน คิดเป็น 4.6% เมื่อเปรียบเทียบรายปัจจัยนำเข้าภายใต้ข้อสมมติผลตอบแทนต่อขนาดผันแปร (Variable Returns to Scale: VRS) พบว่าปัจจัยด้านพื้นที่อาคารและเงินลงทุนด้านอาคารเป็นปัจจัยที่มีเปอร์เซ็นต์ควรปรับปรุงโดยเฉลี่ยสูงสุดในทั้ง 2 กลุ่มโรงงาน

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบ, วิธีโอบล้อมข้อมูล, อุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอ

* Corresponding author: E-mail: nhok_del@yahoo.com

¹รองศาสตราจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²อาจารย์ ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Performance Measurement and Efficiency Improvement for the Preparation of Textile Fiber Manufacturers Using Data Envelopment Analysis (DEA)

Walailak Atthirawong¹ Kanogkan Leerojanaprapa*²

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL),

1 Chalongkrung Rd. Ladkrabang, Bangkok, 10520 Thailand

Abstract

This study aims to compare the level of the relative efficiency of the preparation of textile fiber manufacturing companies (ISIC CODE 13111) in Thailand using Data Envelopment Analysis (DEA), and to provide a guideline for manufacturing companies to improve their efficiency. Secondary data were acquired from the Department of Industrial Works, where all manufacturing companies were registered and had obtained an approval permit for doing business in 2015. These manufacturing companies can be divided into two groups using the size of their manufacturing establishments as a criterion, i.e. less than or equal to 50 horsepower, comprising 9 manufacturing companies and more than 50 horsepower or any size of their manufacturing establishments that have dyeing processes, comprising 307 manufacturing companies. Seven input variables included the following: land investment, building investment, assess, building areas, factory areas, and the size of the labour force, whereas output was the electric horsepower operated. The results of the study revealed that all of the manufacturing companies in the first group had average relative efficiency score equal to 0.769, while all of the manufacturing companies in the second group had an average relative efficiency score equal to 0.482. There were 6 manufacturing companies in the first group, accounting for 67%, which exhibited efficiency; on the other hand, 14 manufacturing companies from the second group accounted for 4.6%. Under the assumption of variable returns to scale (VRS), the average percentage of improvement of the building areas and building investment was the highest in both groups in comparison with all of the input variables.

Keywords: Relative efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA), Preparation of textile fiber manufacturers

* Corresponding author. E-mail: nhok_del@yahoo.com

¹ Associate Professor in Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

² Lecturer in Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1. บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเป็นอุตสาหกรรมที่มีในประเทศไทยมาเป็นเวลานานทำให้มีความเข้มแข็งเนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีทั้งต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ อีกทั้งยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีเจ้าของเป็นคนไทย หากอุตสาหกรรมดังกล่าวมีการเจริญเติบโต ผลตอบแทนที่ได้รับก็ยังคงอยู่ภายในประเทศ สร้างงาน สร้างรายได้ให้กับประเทศไทย ดังนั้นอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มจึงถูกคัดเลือกให้เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมายที่ได้รับการส่งเสริมจากรัฐบาลในรูปแบบคลัสเตอร์ผ่านสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (Board of Investment: BOI)[1]

ถึงแม้อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มจะได้รับการสนับสนุนภายใต้เงื่อนไขที่รัฐบาลกำหนดแต่อุตสาหกรรมนี้ยังต้องเผชิญกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพทางการแข่งขันทางตลาด เช่น เงื่อนไขสิทธิประโยชน์ทางภาษีที่เคยได้รับการยกเว้นจากประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป (Generalised Scheme of Preferences: GSP) ถูกยกเลิกโดยมีผลใช้บังคับตั้งแต่ 1 มกราคม 2558 เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ถูกจัดอันดับโดยธนาคารโลกให้อยู่ในกลุ่มที่มี GNI per capita ตั้งแต่ระดับปานกลางค่อนข้างสูง (Upper Middle Income) มูลค่า 3,945-12,195 เหรียญสหรัฐฯ ขึ้นไปเป็นเวลา 3 ปีติดต่อกัน [2] นอกจากนี้ยังมีความตกลงหุ้นส่วนยุทธศาสตร์เศรษฐกิจเอเชีย-แปซิฟิก (Trans-Pacific Strategic Economic Partnership Agreement: TPP) ที่มีสมาชิก 9 ประเทศ และมีประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นหนึ่งในแกนนำ TPP เป็นความตกลงการค้าเสรีรอบพหุภาคีที่จะเอื้อประโยชน์ด้านสิทธิประโยชน์ในกลุ่มประเทศสมาชิกเพื่อสร้างความสอดคล้องในกฎระเบียบทางเศรษฐกิจให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน แต่เนื่องจาก TPP เป็นความตกลงทางการค้ารูปแบบใหม่ที่มีมาตรฐานสูงซึ่งประเทศไทยอาจยังไม่มีความพร้อมที่จะปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ และการลงทุนที่ไทยจะเสียเปรียบประเทศสมาชิก TPP เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย และสิงคโปร์ เป็นต้น [3] จากปัญหาที่ประเทศไทยไม่สามารถเข้าร่วมเป็นสมาชิก TPP ส่งผลโดยตรงต่ออุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทยต่อการส่งออกโดยตรงไปสู่ประเทศในกลุ่มสมาชิก TPP โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศสมาชิกอื่น เช่น เวียดนาม ที่เคยสั่งซื้อทอจากประเทศไทยเพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่มเพื่อการส่งออกไปยังประเทศกลุ่มดังกล่าวด้วย

จากปัจจัยข้อกีดกันทางการค้าในรูปแบบการลดสิทธิประโยชน์ทางภาษีที่อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มไทยเคยได้รับซึ่งนำมาสู่การลดความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาดกับประเทศคู่แข่งอื่น ๆ ที่ยังคงได้รับสิทธิประโยชน์ทางภาษีในการส่งออกไปยังตลาดคู่ค้าที่สำคัญ เช่น ในสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกา ผู้ประกอบการ อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของประเทศไทยที่ส่วนใหญ่มีรูปแบบรับจ้างผลิตจากบริษัทต่างประเทศ (OEM) ซึ่งเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกเป็นหลักอาจได้รับผลกระทบโดยตรงจากนโยบายทางการค้าที่เกิดขึ้นแล้วและกำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้นผู้ประกอบการไทยต้องมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งจากประเทศที่ได้สิทธิประโยชน์ทางการค้าโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของตนเพื่อให้มีต้นทุนที่ต่ำกว่าแต่ยังคงรักษามาตรฐานคุณภาพของสินค้าที่เป็นยอมรับในตลาดโลกเป็นสิ่งสำคัญต่อการปรับตัวเพื่อการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวัดประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบ

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม (สศอ.) ได้กำหนดดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการผลิต คือ ดัชนีวัดผลผลิตภาพรวม (Total Factor Productivity: TFP) เป็นดัชนีที่มีค่าฐานเท่ากับ 100 หากมีค่าต่ำกว่า 100 แสดงว่าการผลิตมีประสิทธิภาพต่ำ หากมีค่าสูงกว่า 100 แสดงว่าการผลิตมีประสิทธิภาพ ความหมายคือหากการผลิตมีผลผลิตเพิ่มขึ้นโดยที่ไม่ได้เพิ่มทุนหรือเพิ่มแรงงาน นั่นหมายความว่าผลผลิตที่เพิ่มขึ้นนี้มาจากปัจจัยเชิงคุณภาพ เช่น การใช้เทคโนโลยีหรือนวัตกรรมใหม่ในการผลิต การใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีขึ้น การจัดการสายการผลิต เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นต้น ดัชนีดังกล่าวได้มีการสำรวจข้อมูลและจัดทำตัวชี้วัดผลผลิตดัชนีวัดผลผลิตภาพรวม (TFP) เป็นประจำทุกปีโดยมีการนำเสนอในรูปรายงาน โดยสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม

ในกระบวนการวัดประสิทธิภาพการผลิตสามารถทำได้หลายวิธีแต่งานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการวัดประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบในระดับหน่วยผลิต โดยกำหนดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากค่ามาตรฐานที่ได้จากหน่วยการผลิตที่ดีที่สุด (Best Practice) จากหน่วยผลิตที่นำมาศึกษาทั้งหมด ซึ่งจะเรียกหน่วยที่มีการผลิตที่ดีที่สุดว่าเป็นหน่วยผลิตที่อยู่ในแนวหน้า (Frontier) ส่วนหน่วยผลิตอื่นจะเรียกว่าหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า (Inefficiency) [4]

ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{output}}{\text{input}} \quad (1)$$

$$\text{Relative efficiency} = \frac{\text{weighted sum of outputs}}{\text{weighted sum of input}} \quad (2)$$

2.2 วิธีโอบล้อมข้อมูล

วิธีโอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis หรือ DEA) เป็นวิธีการประมาณค่าที่ไม่อิงพารามิเตอร์(Nonparametric Method) ในการวัดประสิทธิภาพของหน่วยผลิตโดยไม่กำหนดรูปแบบของฟังก์ชันที่แน่นอนสำหรับขอบเขตประสิทธิภาพ (Efficient Frontier) แต่ขอบเขตประสิทธิภาพจะถูกคำนวณขึ้นโดยใช้ระเบียบวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) จากนั้นจะทำการคำนวณหาค่าคะแนนประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบกับขอบเขตประสิทธิภาพที่สร้างขึ้นดังกล่าวในขณะที่วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ (Parametric Method) จะเริ่มจากการคำนวณหาฟังก์ชันขอบเขตประสิทธิภาพที่กำหนดไว้

แนวคิดการวัดประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการวิเคราะห์ด้านปัจจัยนำเข้าหรือปัจจัยการผลิต (Input Orientation) คือการควบคุมต้นทุนให้น้อยที่สุดโดยการลดปัจจัยการผลิตโดยที่จำนวนผลผลิตยังคงที่และการวิเคราะห์ด้านผลผลิต (Output Orientation) เพื่อเพิ่มผลผลิตภายใต้ปัจจัยการผลิตที่มีอยู่ซึ่งทั้งสองส่วนเป็นส่วนที่ใช้วัดประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Efficiency) [4]

ข้อสมมติในการกำหนดผลตอบแทน 2 แบบคือ อัตราผลตอบแทนคงที่ (Constant Return to Scale: CRS) โดยใช้วัดกรณีที่มีผลตอบแทนต่อขนาดคงที่หรือเมื่อหน่วยผลิตทุกหน่วยมีการดำเนินการผลิต ณ ระดับที่เหมาะสม อีกรูปแบบหนึ่งคืออัตราผลตอบแทนแปรผัน (Variable Return to Scale: VRS) โดยใช้วัดกรณีที่มีการแข่งขันไม่สมบูรณ์จึงทำให้หน่วยธุรกิจหนึ่งไม่ได้ดำเนินการผลิตอยู่ในระดับที่เหมาะสม [5]

จากแนวคิดการวัดประสิทธิภาพและข้อสมมติในการกำหนดผลตอบแทนดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถสรุปรูปแบบการจำลองภายใต้ข้อสมมติต่าง ๆ ทั้ง 4 แบบได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบจำลองด้วยวิธีโอบล้อมข้อมูลภายใต้ข้อสมมติที่ต่างกัน

CRS & Input orientation	CRS & Output orientation
โดยที่ $\begin{aligned} -y_{rk} + \sum_{j=1}^J y_{rj} \lambda_{jk} &\geq 0 \\ \theta x_{ik} - \sum_{j=1}^J x_{ij} \lambda_{jk} &\geq 0 \\ \lambda_{jk} &\geq 0 \end{aligned}$	โดยที่ $\begin{aligned} -\varphi y_{rk} + \sum_{j=1}^J y_{rj} \lambda_{jk} &\geq 0 \\ x_{ik} - \sum_{j=1}^J x_{ij} \lambda_{jk} &\geq 0 \\ \lambda_{jk} &\geq 0 \end{aligned}$
VRS & Input orientation	VRS & Output orientation
โดยที่ $\begin{aligned} -y_{rk} + \sum_{j=1}^J y_{rj} \lambda_{jk} &\geq 0 \\ \theta x_{ik} - \sum_{j=1}^J x_{ij} \lambda_{jk} &\geq 0 \\ \sum_{j=1}^J \lambda_{jk} &= 1 \\ \lambda_{jk} &\geq 0 \end{aligned}$	โดยที่ $\begin{aligned} -\varphi y_{rk} + \sum_{j=1}^J y_{rj} \lambda_{jk} &\geq 0 \\ x_{ik} - \sum_{j=1}^J x_{ij} \lambda_{jk} &\geq 0 \\ \sum_{j=1}^J \lambda_{jk} &= 1 \\ \lambda_{jk} &\geq 0 \end{aligned}$
เมื่อ i คือ ปัจจัยการผลิตที่ i r คือ ปัจจัยผลผลิตที่ r j คือ หน่วยผลิต (โรงงาน) ที่ j k คือ หน่วยผลิตที่กำลังพิจารณา x_{ij} คือ จำนวนของปัจจัยการผลิตที่ i ของหน่วยผลิตที่ j y_{rk} คือ จำนวนของปัจจัยผลผลิตที่ r ของหน่วยผลิตที่ j θ, φ คือ คะแนนประสิทธิภาพของหน่วยผลิต λ คือ น้ำหนักของปัจจัย	

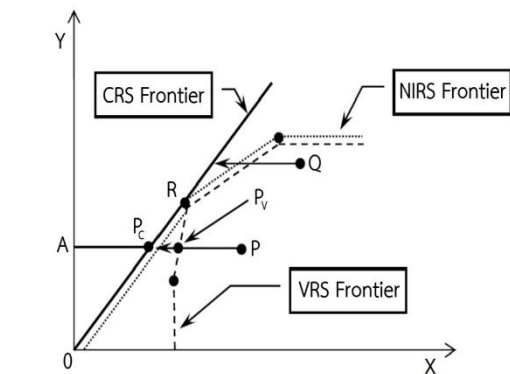
ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DEA จะนำสู่การสรุปผลต่อแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของโรงงานซึ่งแบ่งได้เป็น 3 แนวทาง [6] คือ

- 1) ผลตอบแทนคงที่ (Constant Returns to Scale: crs) เมื่อขนาดของหน่วยงานนั้น ๆ เหมาะสมดีแล้วหรือเป็นหน่วยงานที่อยู่บนแนวหน้า
- 2) ผลตอบแทนต่อขนาดเพิ่มขึ้น (Increasing Returns to Scale: irs) เมื่อขนาดของหน่วยงานมีขนาดเล็กเกินไปเมื่อเทียบกับหน่วยงานที่อยู่บนแนวหน้า ดังนั้นหน่วยงานสามารถเพิ่มหรือขยายกิจการได้ โดยอัตราผลตอบแทนหลังขยายหน่วยงานยังมีอัตราที่เพิ่มขึ้น

- 3) ผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (Decrease Returns to Scale: drs) เมื่อขนาดของหน่วยงานมีขนาดใหญ่เกินไปเมื่อเทียบกับหน่วยงานที่อยู่บนแนวหน้า ดังนั้นหน่วยงานไม่ควรขยายกิจการเพราะจะทำให้อัตราผลตอบแทนภายหลังการขยายหน่วยงานมีค่าลดลง

2.3 แบบจำลองแบบผลตอบแทนต่อขนาดผันแปร (Variable Returns to Scale: VRS)

การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิคภายใต้ข้อสมมติแบบ VRS นั้นเป็นการวัดประสิทธิภาพในกรณีที่มีการแข่งขันที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้หน่วยธุรกิจหนึ่งไม่ได้ดำเนินการผลิตอยู่ในระดับที่เหมาะสมในขณะที่การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิคภายใต้ข้อสมมติแบบ CRS นั้นจะต้องมีข้อจำกัดที่ว่าหน่วยผลิตทุกหน่วยจะต้องมีการดำเนินการผลิตในระดับที่เหมาะสม (Optimal Scale) ดังนั้นประสิทธิภาพทางเทคนิคภายใต้ข้อสมมติ Constant Return to Scale (TE_{CRS}) ประกอบไปด้วย Scale Efficiency (SE) และ Pure Technical Efficiency (TE_{VRS}) ซึ่งถ้าหากหน่วยผลิตบางหน่วยไม่ได้ดำเนินการผลิต ณ ระดับที่เหมาะสมค่า TE_{CRS} และ TE_{VRS} จะมีค่าไม่เท่ากันและ TE_{CRS}/TE_{VRS} จะได้ Scale Efficiency (SE) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 1 เมื่อสมมติให้หน่วยผลิตมีการใช้ปัจจัยการผลิต 1 ชนิดให้ได้ผลผลิต 1 ชนิด



รูปที่ 1 เส้นประสิทธิภาพ (Efficiency Frontier) ของตัวแบบต่าง ๆ

ที่มา: Coelli, Rao and Battese [7]

ดังนั้น

$$TE_{CRS} = AP_C/AP \quad (3)$$

$$TE_{VRS} = AP_V/AP \quad (4)$$

$$SE = AP_C/AP_V \text{ ซึ่งก็คือ } TE_{CRS}/TE_{VRS} \quad (5)$$

โดยที่

CRSTE คือ คะแนนประสิทธิภาพทางเทคนิคเมื่อใช้ข้อสมมติผลตอบแทนคงที่หรือ TE_{CRS}

VRSTE คือ คะแนนประสิทธิภาพทางเทคนิคเมื่อใช้ข้อสมมติผลตอบแทนผันแปรหรือ TE_{VRS}

Scale คือ คะแนนประสิทธิภาพด้านขนาด (Scale Efficiency: SE) คำนวณได้จาก $CRSTE/VRSTE$

โดยค่าของ TE_{CRS} , TE_{VRS} และ SE มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 จากสมการที่ (3) - (5) แสดงว่า $TE_{CRS} = TE_{VRS} \times SE$ ดังนั้นประสิทธิภาพทางเทคนิคภายใต้ข้อสมมติ Constant Return to Scale (TE_{CRS}) จะประกอบด้วย Pure Technical Efficiency (TE_{VRS}) และ Scale Efficiency (SE) นอกจากนี้ในแบบจำลอง VRS ที่นำเสนอข้างต้นเป็นแบบจำลองที่สามารถบอกได้ว่าหน่วยผลิตนั้นมีผลได้ต่อขนาดเพิ่มขึ้น (Increasing Returns Scale : irs) หรือมีผลได้ต่อขนาดลดลง (Decreasing Returns Scale : drs) เนื่องจากในแบบจำลองดังกล่าวได้ใช้ข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^J \lambda_{jk} = 1$$

ดังนั้นจึงสามารถหาค่าประสิทธิภาพได้ในช่วง Non - Increasing Returns to Scale (NIRS) ได้ดังนี้

ถ้า $TE_{NIRS} = TE_{VRS}$ หรือ $TE_{NIRS} \neq TE_{CRS}$ แสดงว่ามีผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (drs)

$TE_{NIRS} \neq TE_{VRS}$ หรือ $TE_{NIRS} = TE_{CRS}$ แสดงว่ามีผลตอบแทนต่อขนาดเพิ่มขึ้น (irs)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพร เมียงชม [8] เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านเทคนิคของกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมใน 4 กลุ่มอุตสาหกรรมประกอบด้วย การผลิตยางนอกและยาง การผลิตยางอื่นๆ การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกและการผลิตแก้วและผลิตภัณฑ์แก้ว โดยใช้ปัจจัยนำเข้าได้แก่ สินทรัพย์ถาวรสุทธิ และค่าแรงงานรวม โดยมียอดขายเป็นตัวแปรผลผลิต ในช่วงปี พพบว่าโรงงานขนาดกลาง 2549-2547 .ศ. และขนาดย่อมมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยค่อนข้างต่ำทั้ง 4 อุตสาหกรรมโดยพบปัญหาเรื่องการใช้ทรัพยากรไม่เหมาะสม

วิโรจน์ ตันติภัทร [9] นำเทคนิคการโอบล้อมข้อมูล (DEA) มาช่วยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ของบริษัทอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง โดยใช้โดยใช้ปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ปัจจัยด้านราคา (ราคาต่อหน่วย: บาทต่อหน่วย) คุณภาพ (อัตราของเสีย: %) และความน่าเชื่อถือในการส่งมอบ (อัตราการส่งมอบผิดจำนวน: %) โดยผลจากการประเมินประสิทธิภาพของซัพพลายเออร์ทั้ง 7 รายพบว่ามีประสิทธิภาพ 3 ราย และอีก 4 รายไม่มีประสิทธิภาพ ผลจากการวิเคราะห์นำไปสู่การสร้างกลยุทธ์เพื่อการต่อรองกับซัพพลายเออร์

กันตินันท์ ทวีกิจชนะวันชัย และคณะ [10] นำเทคนิคการโอบล้อมข้อมูลมาใช้วัดประสิทธิภาพศูนย์กระจายสินค้าของบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทยทั้ง 4 แห่ง โดยใช้วิธีการจำลองแบบผลตอบแทนต่อขนาดแปรผัน (Variable Returns to Scale: VRS) โดยแบ่งการวัดประสิทธิภาพด้านปัจจัยการผลิต (Input Orientation) มีปัจจัยนำเข้าประกอบด้วย พื้นที่ จำนวนพนักงาน ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ ค่าจ้างแรงงาน ค่าเสื่อมสภาพ ค่าบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ โดยมีรายได้เป็นตัวแปรผลผลิต ผลจากการวิเคราะห์พบว่ามีศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียวที่ไม่มีประสิทธิภาพ

Zhao และ คณะ [11] เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดำเนินการของบริษัทเหมืองถ่านหินในประเทศจีน จากข้อมูลปี ค.ศ. 2001-2010 จากฐานข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพแบบพลวัต (Dynamic Efficiency) โดยทำการเปรียบเทียบ 12 บริษัท ผู้วิจัยกำหนดปัจจัยนำเข้าประกอบด้วย สินทรัพย์โดยรวม ต้นทุนการจัดการ ค่าใช้จ่ายการบริหาร จำนวนคนงาน และกำหนดให้รายได้เป็นตัวแปรผลผลิต ผลจากการวิจัยในเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างบริษัทในแต่ละปีพบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพของบริษัทแต่ละปีไม่คงที่ นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบเป็นรายกลุ่มจากการนำข้อมูลทั้ง 12 บริษัทมาจัดกลุ่มตามรูปแบบการจัดการตามตำแหน่งที่ตั้งโดยแบ่งเป็น 4 กลุ่ม โดยพบว่าการจัดกลุ่มส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจัดการน้อยมาก

ปิติพัฒน์ นิตยกุลพันธ์ และนงนิตย์ จันทร์จรัส [12] นำเทคนิคการโอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) มาใช้ในการวัดประสิทธิภาพทางเทคนิคและประสิทธิภาพทางด้านขนาดของอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมกลุ่มธุรกิจสิ่งทอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 47 โรงงาน จำแนกเป็นอุตสาหกรรมการทอ 2 โรงงาน อุตสาหกรรมการผลิตสิ่งทอสำเร็จรูป ยกเว้นเครื่องแต่งกาย 2 โรงงานและอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องแต่งกาย

43 โรงงาน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากกรมพัฒนาธุรกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ โดยใช้งบการเงินรายปีระหว่างปี พ.ศ. 2552-2554 และทำการวิเคราะห์ถึงปัจจัยมีผลต่อประสิทธิภาพทางเทคนิคของ SMEs กลุ่มธุรกิจสิ่งทอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยแบบจำลองทอเบิต (Tobit Model) ผลการศึกษาพบว่าอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมกลุ่มธุรกิจสิ่งทอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังขาดประสิทธิภาพทางเทคนิคในภาพรวม โดยพบว่าโรงงานมากกว่าร้อยละ 50 มีประสิทธิภาพในการดำเนินงานแต่ยังขาดการปรับปรุงหรือการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาใช้ในการผลิต จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพอยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพทางเทคนิคของอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมกลุ่มธุรกิจสิ่งทอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ อัตราส่วนสินทรัพย์หมุนเวียนต่อหนี้สินหมุนเวียน อัตราส่วนหนี้สินรวมต่อส่วนของผู้ถือหุ้น อัตราส่วนหนี้สินรวมต่อสินทรัพย์รวม อัตราส่วนกำไรสุทธิต่อสินทรัพย์รวม และที่ตั้งของกิจการ ผลการศึกษาได้ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ประกอบการในการตัดสินใจในการปรับปรุงการดำเนินงานของกิจการว่าควรให้ความสำคัญกับหนี้สินของกิจการ เนื่องจากกิจการส่วนใหญ่มีสัดส่วนของหนี้สินต่อสินทรัพย์รวมร้อยละ 80 และเป็นหนี้สินระยะยาว ซึ่งจะทำให้กิจการมีกำไรลดลงเพราะจะต้องจ่ายดอกเบี้ยเป็นจำนวนมากในแต่ละปีอีกทั้งทำให้กิจการมีความเสี่ยงที่จะขาดทุน

อัศรพงศ์ อ้นทอง และ มิ่งสรรพ ขาวสะอาด [13] ได้ทำการวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพการดำเนินงานของธุรกิจสปา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพการดำเนินงานของธุรกิจสปาโดยใช้ตัวชี้วัดประเมินผลการดำเนินงานและใช้วิธี DEA ที่เป็น Slacks-Based Measure (SBM) of Super-Efficiency ประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงานของธุรกิจสปาจำนวน 21 แห่ง จำแนกเป็นเคียวสปา 7 แห่งและไฮเต็ลแอนด์รีสอร์ทสปา 14 แห่ง ผลการศึกษาพบว่าธุรกิจสปาที่มีผลการดำเนินงานดีที่สุดสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและกระตุ้นให้นักบำบัดมีผลิตภาพในการให้บริการที่ดีที่สุด ทั้งนี้ เคียวสปาและไฮเต็ลแอนด์รีสอร์ทสปาที่มีประสิทธิภาพการดำเนินงานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การลดต้นทุนค่าผลิตภัณฑสปาเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ทำให้ธุรกิจสปาที่มีประสิทธิภาพการดำเนินงานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าธุรกิจสปาที่มีผลการดำเนินงานดีมีประสิทธิภาพการดำเนินงานที่ดีด้วยข้อเสนอแนะของงานวิจัยคือควรส่งเสริมการพัฒนาทักษะ

การให้บริการของนักบำบัดและกระตุ้นให้ผู้ประกอบการใช้แนวทางการประหยัดจากขนาดในการลดต้นทุนค่าผลิตภัณฑ์สปา รวมทั้งส่งเสริมให้มีการจัดการความรู้ในอุตสาหกรรมสปาไทยเพื่อกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้จากผู้ที่มีแนวทางการปฏิบัติที่เป็นเลิศในอุตสาหกรรมซึ่งจะนำมาสู่การยกระดับความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมสปาไทยในอนาคต

3. ขั้นตอนการศึกษา

3.1 ขอบเขตการศึกษาและที่มาของข้อมูล

หน่วยผลิตในการศึกษานี้คือโรงงานอุตสาหกรรม การเตรียมเส้นใยสิ่งทอ (ISIC CODE 13111) ที่เปิดดำเนินการในปี 2558 ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องนั้นเป็นข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ที่มีลักษณะเป็นข้อมูลตัดขวาง (Cross-sectional Data) โรงงานต่าง ๆ เหล่านี้ได้ลงทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม โดยได้นำข้อมูลแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามขนาดของโรงงานอุตสาหกรรม คือ

1. เครื่องจักรไม่เกิน 50 แรงม้า ซึ่งไม่มีการฟอกย้อมสี
2. เครื่องจักรเกิน 50 แรงม้า หรือโรงงานทุกขนาดซึ่งมีการฟอกย้อมสี

จากการตรวจสอบข้อมูลทุติยภูมิเบื้องต้นพบว่า โรงงานที่มีการจดทะเบียนรวมทั้งสิ้น 741 โรงงาน แต่มีเพียง 316 โรงงานเท่านั้นที่มีการบันทึกข้อมูลครบถ้วนโดยไม่มีค่าข้อมูลสูญหาย (Missing data) จำแนกเป็นโรงงานกลุ่มที่ 1 จำนวน 9 โรงงาน และเป็นโรงงานกลุ่มที่ 2 มีจำนวน 307 โรงงาน ซึ่งจะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.2 การกำหนดปัจจัยนำเข้า (INPUT) และปัจจัยผลผลิต (OUTPUT)

ในการวัดประสิทธิภาพขององค์กรนั้นจะคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าโดยไม่ให้เกิดความสูญเสีย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปัจจัยในการผลิต (Input) จะประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น จำนวนแรงงาน เครื่องจักร เงินทุนหมุนเวียน สัดส่วนด้านโครงสร้างต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่ลงทุน เป็นต้น [14] โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดปัจจัยนำเข้าในแบบจำลองนี้ ปัจจัย 7 สำหรับปัจจัยผลผลิตในแบบจำลองนี้มีปัจจัย 1 อเนกประสงค์การดำเนินงานซึ่งมีหน่วยเป็นแรงม้า(HP) (1 HP = 746 W หรือ 0.746 W) สำหรับการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้แรงม้าดำเนินการเป็นปัจจัยผลผลิตเนื่องจากเป็นหน่วยบอกขนาดกำลังของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตภายใต้ข้อสมมติที่ว่าในโรงงานที่ผลิตสินค้าประเภทเดียวกันหาก

มีแรงม้าดำเนินการมากก็จะแสดงว่ามีการใช้เครื่องจักรในการผลิตมาก และนำไปสู่การได้ผลผลิตที่มากด้วยเช่นกัน ซึ่งปัจจัยแรงม้า(HP)นี้เป็นปัจจัยเดียวที่เกี่ยวข้องกับการวัดประสิทธิภาพองค์กรที่มีการบันทึกไว้ในฐานข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น โดยตารางที่ 2 แสดงปัจจัยผลผลิตและปัจจัยนำเข้า

ตารางที่ 2 ปัจจัยผลผลิตและปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยผลผลิต	ตัวแปร	ปัจจัยนำเข้า	ตัวแปร
แรงม้าดำเนินการ (HP)	Y ₁	1. เงินลงทุนค่าที่ดิน (บาท)	X ₁
		2. เงินลงทุนด้านอาคาร (บาท)	X ₂
		3. เงินลงทุนค่าเครื่องจักร (บาท)	X ₃
		4. เงินทุนหมุนเวียน (บาท)	X ₄
		5. พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร)	X ₅
		6. พื้นที่โรงงาน (ตารางเมตร)	X ₆
		7. จำนวนแรงงาน (คน)	X ₇

3.3 การกำหนดตัวแบบการวิเคราะห์

สำหรับการศึกษานี้จะใช้เป้าหมายด้านปัจจัยนำเข้าหรือปัจจัยการผลิตเพื่อพิจารณาว่าควรผลิตอย่างไรให้ใช้ปัจจัยการผลิตน้อยที่สุดถ้าได้ผลผลิตเท่ากับโรงงานอื่น (Input Orientation) โดยข้อมูลมีอัตราผลตอบแทนแปรผัน (Variable Return to Scale: VRS) มาใช้ในการศึกษา และเลือกใช้โปรแกรม DEAP 2.1 ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยวิธีการโอบล้อมข้อมูล (DEA)

4. ผลการศึกษา

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการโอบล้อมข้อมูล (DEA) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโรงงานอุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอในประเทศไทยโดยผลการวิเคราะห์จะแสดงค่าคะแนนประสิทธิภาพ (Scale Efficiency: SE) โดยโรงงานที่มีประสิทธิภาพที่สุดจะมีคะแนนประสิทธิภาพ (Scale Efficiency: SE) เท่ากับ ส่วน 1 โรงงานที่ไม่มีประสิทธิภาพจะมีคะแนนประสิทธิภาพ (Scale Efficiency: SE) น้อยกว่า ซึ่งแสดงคะแนนในเชิง 1 เปรียบเทียบกล่าวคือจะต้องนำโรงงานต่าง ๆ มาเทียบเคียงกับโรงงานที่ดำเนินงานได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังจะนำเสนอผลการวิเคราะห์เป็นรายตัวแปรเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพที่ควรปรับปรุงเมื่อเทียบกับค่าที่ดี

ที่สุด ซึ่งในการศึกษาค้างนี้จะเปรียบเทียบตามกลุ่มโรงงาน โดยนำเสนอผลการศึกษาดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1 โรงงานกลุ่มที่ 1

โรงงานกลุ่มนี้ประกอบด้วยโรงงานที่มีเครื่องจักรไม่เกิน 50 แรงม้าซึ่งไม่มีการฟอกย้อมสีจำนวน โรงงาน จาก 9 การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโรงงานดังกล่าวพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอในประเทศไทยในกลุ่มนี้มีคะแนนประสิทธิภาพด้านขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.769 ซึ่งประเมินได้ว่ามีค่าเฉลี่ยระดับประสิทธิภาพค่อนข้างสูง โดยเป็นโรงงานที่มีประสิทธิภาพทั้งสิ้น 6 โรงงาน (โรงงานที่ 1 2 4 5 6 และ 7) คิดเป็น 67% และมีโรงงาน 3 แห่งที่ไม่มีประสิทธิภาพ (โรงงานที่ 3 8 และ 9) เนื่องจากมีคะแนนประสิทธิภาพ (Scale Efficiency: SE เท่ากับ TE_{CRS}/TE_{VRS}) น้อยกว่า 1 โดยความไม่มีประสิทธิภาพดังกล่าวเกิดจากการใช้ปัจจัยการผลิต (Input) มากเกินไปนอกจากนี้ทั้ง 3 โรงงานมีการดำเนินงาน ณ จุดที่ไม่เหมาะสม เนื่องจาก TE_{CRS} และ TE_{VRS} มีค่าต่างกัน โดยที่ TE_{CRS} น้อยกว่า TE_{VRS} โดยมีลักษณะผลตอบแทนต่อขนาดเพิ่มขึ้น (Increase Return to Scale: irs) หมายถึง โรงงานทั้ง 3 แห่งมีขนาดการผลิตมีขนาดการผลิตน้อยกว่าจุดที่เหมาะสม ดังนั้นจึงยังสามารถสร้างรายได้เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่มากกว่าการเพิ่มปัจจัยการผลิต โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คะแนนประสิทธิภาพรายโรงงาน (กลุ่ม 1)

โรงงาน	TE_{CRS}	TE_{VRS}	ค่าคะแนนประสิทธิภาพ (SE)	แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ
1	1	1	1	-
2	1	1	1	-
3	0.493	0.824	0.599	irs
4	1	1	1	-
5	1	1	1	-
6	1	1	1	-
7	1	1	1	-
8	0.130	1	0.130	irs
9	0.195	1	0.195	irs
ค่าเฉลี่ย	0.758	0.980	0.769	-

เมื่อใช้ข้อสมมติค่าตอบแทนต่อขนาดแปรผัน (VRS) จากตารางที่ 3 พบว่าโรงงานที่ 3 เป็นโรงงานเดียวที่มีคะแนนประสิทธิภาพทางเทคนิคเมื่อใช้ข้อสมมติผลตอบแทนผันแปรต่ำกว่า 1 ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ในรายปัจจัยหรือรายตัวแปร โดยนำเสนอ “% ที่ควรปรับปรุง” จากการหาอัตราส่วนผลต่างระหว่างค่าปัจจุบันและค่าที่ดีที่สุด (ซึ่งค่าปัจจุบันจะมี

ค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าที่ดีที่สุด) โดยเทียบกับค่าปัจจุบัน แสดงได้ดังตารางที่ 4 พบว่าโรงงานที่ 3 มีการพื้นที่อาคารและเงินลงทุนด้านอาคารสูงกว่าค่าที่ดีที่สุดคิดเป็น 93.95% และ 80.24 % ตามลำดับ นั้นหมายถึงโรงงานที่ 3 สามารถลดการใช้พื้นที่อาคารและเงินลงทุนด้านอาคารลงได้โดยยังมีกำลังการผลิตซึ่งวัดด้วยแรงม้าดำเนินการเท่าเดิมหรือไม่ลดลงจากปัจจุบัน

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าปัจจุบันและค่าที่ดีที่สุดและร้อยละปัจจัยนำเข้าที่ควรปรับปรุงโดยเฉลี่ยในแต่ละตัวแปรของโรงงานที่ 3 (กลุ่ม 1)

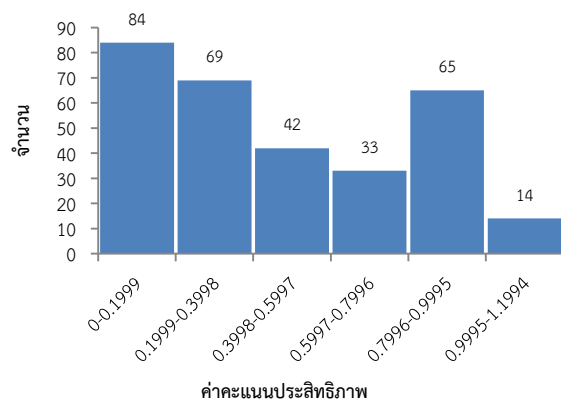
ตัวแปร		ค่าปัจจุบัน	ค่าที่ดีที่สุด	% ที่ควรปรับปรุง
แรงม้าดำเนินการ (HP)	Y ₁	16.38	16.38	0.00
เงินลงทุนค่าที่ดิน (บาท)	X ₁	5,000,000	2,666,988.13	46.66
เงินลงทุนด้านอาคาร (บาท)	X ₂	3,00,000	592,951.18	80.24
เงินลงทุนค่าเครื่องจักร (บาท)	X ₃	800,000	494,710.97	38.16
เงินทุนหมุนเวียน (บาท)	X ₄	200,000	164,744.77	17.63
พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร)	X ₅	23,600	1,429.03	93.95
พื้นที่โรงงาน (ตารางเมตร)	X ₆	288	237.23	17.63
จำนวนแรงงาน (คน)	X ₇	30	24.71	17.63

4.2 โรงงานกลุ่มที่ 2

สำหรับโรงงานกลุ่มที่ 2 เป็นโรงงานที่มีเครื่องจักรเกิน 50 แรงม้าหรือโรงงานทุกขนาดซึ่งมีการฟอกย้อมสี มีจำนวนโรงงานที่นำมาศึกษารวมทั้งสิ้น 307 โรงงาน จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโรงงานดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าการกระจายคะแนนประสิทธิภาพของโรงงานต่าง ๆ มีลักษณะเบ้ขวา หรือกล่าวได้ว่าคะแนนประสิทธิภาพของโรงงานส่วนใหญ่มีค่าคะแนนน้อย

จากตารางที่ 5 พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอในประเทศไทยในกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 48.2 ซึ่งประเมินได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยระดับประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นโรงงานที่เป็นโรงงานที่มีประสิทธิภาพทั้งสิ้น 17 โรงงาน คิดเป็น 5.5% และในจำนวนนี้ในจำนวนนี้มี 14 โรงงานที่อยู่ในระดับแนวหน้า (คะแนนประสิทธิภาพเป็น = 1) คิดเป็น 4.6% และ

นอกจากนี้ มีโรงงาน 290 โรงงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ โดยความไม่มีประสิทธิภาพดังกล่าวเกิดจากการใช้ปัจจัยการผลิต (Input) มากเกินไป นอกจากนี้ยังพบว่า 254 โรงงานมีการดำเนินงาน ณ จุดที่ไม่เหมาะสมโดยมีลักษณะผลตอบแทนต่อขนาดเพิ่มขึ้น (Increase Return to Scale: irs) หมายถึง โรงงานทั้ง 254 แห่งมีขนาดการผลิตที่น้อยกว่าจุดที่เหมาะสม ซึ่งยังสามารถสร้างรายได้เพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่มากกว่าการเพิ่มปัจจัยการผลิต ขณะที่อีก 36 โรงงานมีการดำเนินงาน ณ จุดที่ไม่เหมาะสมโดยมีลักษณะผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (Decrease Return to Scale: drs) หมายถึง โรงงานดังกล่าวไม่ควรขยายกิจการ



รูปที่ 2 จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมจำแนกตามระดับคะแนนประสิทธิภาพ

ตารางที่ 5 ผลการจำแนกกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม (กลุ่ม 2) ตามระดับคะแนนประสิทธิภาพ

ค่าคะแนน ประสิทธิภาพ (SE)	แนวทางการเพิ่ม ประสิทธิภาพของโรงงาน			จำนวนรวม ทั้งหมด
	-	drs	irs	
0 - 0.1999	0	0	84	84
0.1999 - 0.3998	0	0	69	69
0.3998 - 0.5997	0	7	35	42
0.5997 - 0.7996	0	11	22	33
0.7996 - 0.9995	3	18	44	65
0.9995 - 1.1994*	14	0	0	14
ผลรวมทั้งหมด	17	36	254	307
ค่าเฉลี่ย $TE_{CRS} = 0.196$, $TE_{VRS} = 0.385$ และ $SE = 0.482$				

* ทั้ง 14 โรงงาน มีคะแนนประสิทธิภาพ = 1

เมื่อใช้ข้อสมมติค่าตอบแทนต่อขนาดแปรผันพบว่า แต่ละโรงงานในกลุ่ม 2 มีคะแนนประสิทธิภาพทางเทคนิคทั้ง

ที่เท่ากับ 1 และต่ำกว่า 1 ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบค่าปัจจุบันและค่าที่ดีที่สุดในการปัจจัยหรือรายตัวแปรซึ่งจะมีค่าเท่ากันเมื่อมีคะแนนประสิทธิภาพทางเทคนิคเท่ากับ 1 และเป็นค่าที่แตกต่างกันเมื่อมีคะแนนประสิทธิภาพทางเทคนิคต่ำกว่า 1 แต่เนื่องจากมีจำนวนโรงงานในกลุ่มนี้ถึง 307 โรงงาน จึงนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปค่าเฉลี่ยรายตัวแปรแสดงดังตารางที่ 6 และพบว่าควรปรับปรุงการใช้ปัจจัยนำเข้าในแต่ละปัจจัยให้ลดลงจากปัจจุบันที่ใช้อยู่โดยเฉลี่ยประมาณ 60-80%

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าปัจจุบันและค่าเฉลี่ยค่าที่ดีที่สุดและค่าเฉลี่ยร้อยละของปัจจัยนำเข้าที่ควรปรับปรุงในแต่ละตัวแปรของโรงงาน (กลุ่มที่ 2)

ตัวแปร		ค่าเฉลี่ย		
		ค่าปัจจุบัน	ค่าที่ดีที่สุด	% ที่ควรปรับปรุง
แรงม้าดำเนินการ (HP)	Y_1	1,850.36	1,850.36	0.00
เงินลงทุนค่าที่ดิน (บาท)	X_1	8,429,688.69	1,516,343.30	69.40
เงินลงทุนด้านอาคาร (บาท)	X_2	12,010,675.53	2,476,341.29	75.64
เงินลงทุนค่าเครื่องจักร (บาท)	X_3	47,114,305.09	13,180,320.66	71.54
เงินลงทุนหมุนเวียน (บาท)	X_4	21,268,659.74	4,805,192.55	70.71
พื้นที่อาคาร (ตารางเมตร)	X_5	19,380.10	4,828.37	73.11
พื้นที่โรงงาน (ตารางเมตร)	X_6	4,866.37	1,732.20	71.80
จำนวนแรงงาน (คน)	X_7	96.44	32.37	63.06

เมื่อกำหนดให้มีกำลังการผลิตเท่าเดิมการเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรนำเข้าทั้ง 7 ตัวแปรพบว่าการใช้ปัจจัยนำเข้าสูงกว่าค่าที่ดีที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของร้อยละที่ควรปรับปรุงเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ ปัจจัยด้านพื้นที่อาคาร (75.64%) เงินลงทุนด้านอาคาร (73.11%) พื้นที่โรงงาน (71.80%) เงินลงทุนค่าเครื่องจักร (71.54%) เงินลงทุนหมุนเวียน (70.71%) เงินลงทุนค่าที่ดิน (69.40%) และจำนวนแรงงาน (63.06%) ตามลำดับ นั่นหมายถึง โรงงานอุตสาหกรรมการเตรียมเส้นใยสิ่งทอในกลุ่มที่ 2 ทั้ง 254 โรงงานมีการดำเนินงาน ณ จุดที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงควรลดปัจจัยการผลิตทั้ง 7 ปัจจัยดังกล่าวลงได้ซึ่งจะยังคงมีกำลังการผลิตซึ่งวัดด้วยแรงม้าดำเนินการเท่าเดิมหรือไม่ลดลงจากปัจจุบัน

5. สรุป

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลทฤษฎีภูมิตั้งนัการคัดเลือกตัวแปรผลผลิตและปัจจัยการผลิตจึงมีข้อจำกัดภายใต้เฉพาะข้อมูลที่มีการเก็บรวบรวมไว้แล้วเท่านั้น คณะผู้วิจัยได้ทำการเลือกตัวแปรที่มีเพื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีโอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) ผลการศึกษาพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มที่ 1 (เครื่องจักรไม่เกิน 50 แรงม้า) มีประสิทธิภาพสูงกว่าโรงงานที่มีขนาดใหญ่กว่าที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 โดยโรงงานในกลุ่มที่ 1 มีค่าคะแนนประสิทธิภาพเฉลี่ย 0.769 สูงกว่าคะแนนประสิทธิภาพเฉลี่ยของโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มที่ 2 ที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพเฉลี่ย 0.482 เนื่องจากร้อยละของโรงงานที่มีประสิทธิภาพในแนวหน้าในโรงงานในกลุ่มที่ 1 (67%) มีสูงกว่ากลุ่มที่ 2 (5.5%) อีกทั้งโรงงานกลุ่มที่ 1 ถูกกำหนดด้วยข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตและทรัพยากรที่ใช้สำหรับโรงงานขนาดเล็ก ในขณะที่โรงงานกลุ่มที่ 2 สามารถใช้ทรัพยากรมากกว่าและหลากหลายเนื่องจากเป็นโรงงานขนาดใหญ่ ทั้งนี้พบว่าโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มที่ 2 ร้อยละ 11.7 มีประสิทธิภาพด้านขนาดน้อยกว่า 1 ภายใต้ข้อสมมติแบบผลตอบแทนต่อขนาดลดลง (drs) หรือกล่าวได้ว่ามีขนาดการผลิตเกินจุดที่เหมาะสม ดังนั้นโรงงานเหล่านั้นจึงควรลดขนาดการผลิตลงและโรงงานในกลุ่มนี้อีกร้อยละ 82.7 มีประสิทธิภาพด้านขนาดน้อยกว่า 1 ภายใต้ข้อสมมติแบบผลตอบแทนต่อขนาดเพิ่มขึ้น (irs) ซึ่งหมายถึงว่าโรงงานเหล่านั้นมีขนาดการผลิตต่ำกว่าจุดที่เหมาะสมจึงควรเพิ่มขนาดการผลิตเพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงงานให้ดีขึ้น

จากการเปรียบเทียบในรายปัจจัยนำเข้าภายใต้การกำหนดให้มีกำลังการผลิตเท่าเดิม (ซึ่งวัดด้วยแรงม้าดำเนินการ) ของโรงงานที่ 3 ในกลุ่มที่ 1 (ดังตารางที่ 4) หรือค่าเฉลี่ยร้อยละปัจจัยนำเข้าที่ควรปรับปรุงของโรงงานในกลุ่มที่ 2 (ดังตารางที่ 6) พบว่าผู้ประกอบการสามารถลดความสำคัญด้านพื้นที่อาคารและเงินลงทุนด้านอาคารลงได้เนื่องจากปัจจัยทั้ง 2 เป็นปัจจัยที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ดีที่สุดและค่าปัจจุบันเทียบกับค่าปัจจุบันสูงกว่าปัจจัยนำเข้าอื่น ๆ โดยการลดขนาดของพื้นที่อาคารลงก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอาคารลงได้ด้วย

อย่างไรก็ตามภายใต้สภาวะการแข่งขันที่รุนแรงของธุรกิจสิ่งทอในปัจจุบัน แนวทางในการเพิ่มขนาดการผลิตให้เหมาะสมกับทรัพยากรที่ใช้ไปนั้นผู้ประกอบการจะต้องมีคำสั่งซื้อจากลูกค้าที่เข้ามาอย่างต่อเนื่อง โดยการที่ผลิตสินค้าที่มีคุณภาพและมาตรฐานหรือสร้างความแตกต่าง

ของสินค้าจากคู่แข่ง เช่น ประเทศจีน เป็นต้น ดังนั้นจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการจะต้องมีการพัฒนาสินค้าอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งได้การสนับสนุนด้านการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการหาแนวทางที่จะปรับลดต้นทุนในองค์กรให้ลดลงโดยนำแนวคิดเกี่ยวกับการลดความสูญเปล่ามาประยุกต์ใช้ ซึ่งความสามารถในการแข่งขันด้านคุณภาพ ความแตกต่างในตัวผลิตภัณฑ์รวมทั้งต้นทุนที่สามารถแข่งขันได้ จะทำให้ผู้ประกอบการต่าง ๆ เหล่านั้นสามารถผลิตสินค้าได้เต็มประสิทธิภาพและสามารถแข่งขันได้อย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการแนะนำในมุมมองของผู้มีประสบการณ์ในอุตสาหกรรมและการผลิตจากคุณวรวิทย์ อัครธีรวงศ์ และขอขอบคุณกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน. (.ค.ม 30 .(2559) *ขนาดตัวใกล้เคียงคลัสเตอร์*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.boi.go.th/upload/content/BOI-brochure-cluster%20area-TH-20151116_65469.pdf.
- [2] กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ .(.ค.ม 30 .(2559) *การตัดสินใจ GSP สหภาพยุโรป*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.dft.go.th/Default.aspx?tabid=161&ctl=DetailContent&mid=683&contentID=6259>
- [3] กรมอเมริกาและแปซิฟิก กระทรวงต่างประเทศ. (30 .(2559 .ค.ม *ความตกลงหุ้นส่วนยุทธศาสตร์เศรษฐกิจเอเชีย แปซิฟิก-Trans-Pacific Strategic Economic Partnership Agreement-TPP*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://aspa.mfa.go.th/aspa/th/editor_picks/detail.php?ID=685
- [4] อรรถพล สืบวงศ์กร .“ระเบียบวิธีของ Data Envelopment Analysis (DEA) และการวัดประสิทธิภาพเชิงเทคนิค,” *วารสารเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, ปีที่) 16ฉบับที่ (1, หน้า 44-82, 2555.
- [5] อัครพล อันทอง. ((2559 .ค.ม 30. *คู่มือการใช้โปรแกรม DEAP2.1 สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วย*

- วิธีการ Data Envelopment Analysis, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://piboonrungrroj.files.wordpress.com/2011/08/akarapong_handbook_dea.pdf.
- [6] วิชิต หล่อจิระขุนทดกุล, จิราวัลย์ จิตรถเวช และวีณา ฉายศิลป์รุ่งเรือง. “ประสิทธิภาพด้านเทคนิคและการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของบริษัทประกันวินาศภัยในประเทศไทย,” *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์*, ปีที่ 48 ฉบับที่ 3, หน้า 141-189, 2551.
- [7] T. R. Coelli, D. S. Rao and G. E. Battese. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [8] ณัฐพร เมียงชม .*การวัดประสิทธิภาพโดยใช้ DEA ในกลุ่มอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม*. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ. มหาวิทยาลัยศิลปากร, .2550
- [9] วิโรจน์ ตันติภักโร .“การคัดเลือกซัพพลายเออร์ด้วยเทคนิควิเคราะห์เส้นกรอบล้อมข้อมูล,” *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, ปีที่) 2ฉบับที่ (4, หน้า16-1 ,2 553.
- [10] กันตนิพนธ์ ทวีกิจนะวันชัย เกียรติศักดิ์ มงคลแพทย์ ภัทรเพชรรุ่ง และณัฐศิษฐ์ ลัดหลวง .*การวัดประสิทธิภาพศูนย์กระจายสินค้าโดยวิธีโอบล้อมข้อมูล กรณีศึกษา: ศูนย์กระจายสินค้าของบริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย*. ปัญหาพิเศษ สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,.2556
- [11] Xi Zhao, Liang Li and Xi-shuan Zhang . “Analysis of Operating Efficiency of Chinese Coal Mining Industry”. *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2011)*. 3-5 September. pp. 889-893, 2011.
- [12] ปิติพัฒน์ นิตยกุลพันธ์ และณรงค์นิตย์ จันทร์จรัส. “ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางเทคนิคอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมกลุ่มธุรกิจสิ่งทอในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย,” *วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ*, ปีที่ 1 (ฉบับที่ 2), หน้า 63-75, 2557.
- [13] อัครพงศ์ อ้นทอง และ มิ่งสรรพ ขาวสอาด. “การเปรียบเทียบสมรรถนะและประสิทธิภาพการดำเนินงานของธุรกิจสปา,” *วารสารเศรษฐศาสตร์ประยุกต์*, ปีที่ 21 (ฉบับที่ 1), หน้า 1-19, 2557.
- [14] โกศล ดีศีลธรรม. (21 ก.พ(2559 .. ปัจจัยการวัดประสิทธิภาพการดำเนินงาน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://thailandindustry.com/guru/view.php?id=15744§ion=9>.

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 8 กลุ่มคือ

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

หลักเกณฑ์ในการลงตีพิมพ์ต้นฉบับของวารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
3. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเองไม่ได้ลอกเลียน หรือดัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
4. ผู้เขียนต้องเขียนต้นฉบับตามรูปแบบที่กำหนดเท่านั้น
5. ผู้เขียนต้องแก้ไขบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ตามข้อเสนอแนะของคณะผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) จนกว่าผู้ทรงคุณวุฒิหรือบรรณาธิการจะยอมรับบทความของท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิมีสิทธิ์ปฏิเสธบทความได้หากบทความไม่มีคุณภาพเพียงพอ
6. หลังจากผู้เขียนได้แก้ไขบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่งก่อนการตีพิมพ์

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 <http://www.tci-thaijo.org/index.php/index/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 <http://www.orjournal.org/> เข้าเมนู ดาวน์โหลด ► ไฟล์ Template paper TJOR

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ผู้ประสานงานวารสารฯ

นายวงศ์ธร ทุมทอง โทรศัพท์: 0-2727-3078 โทรสาร 02-3744061

E-mail: orjournal.th@gmail.com

คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เลขที่ 118 ถ.เสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม.10240



OR-NET