



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมทางด้านวิชาการเพื่อแก้ปัญหา
การกำหนดงานของการผลิต-บรรจุ

โดย รศ.ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร

พฤษภาคม 2558

สัญญาเลขที่ MRG5480176

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การประยุกต์ใช้อัลกอริธึมทางด้านวิชาการเพื่อแก้ปัญหา
การกำหนดงานของการผลิต-บรรจุ

รศ.ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย

สกว. และ สกอ. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

รูปแบบ Abstract (บทคัดย่อ)

Project Code : MRG5480176

Project Title : การประยุกต์ใช้อัลกอริธึมทางด้านวิวัฒนาการเพื่อแก้ปัญหาค่ากำหนดงานของการผลิต-บรรจุ

Investigator : รศ.ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศน์กร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail Address : wwuthich@engr.tu.ac.th

Project Period : 4 ปี

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมผลิต-บรรจุ โดยมีเป้าหมายในการวิจัย คือ การวางแผนการผลิตให้สามารถผลิตสินค้าได้ตามความต้องการของลูกค้าภายในระยะเวลาและปริมาณของสินค้าที่ต้องการได้ในเวลาที่สั้นที่สุด ปัญหานี้เป็นปัญหาในหมวดเอ็นพี-ฮาร์ด ซึ่งขนาดปัญหามีขนาดใหญ่มาก ดังนั้นจะได้เสนอสามวิธีในการแก้ปัญหา ได้แก่ วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีฝูงผึ้งและวิธีฝูงมด โดยที่นำเสนอคำตอบด้วยการเรียงลำดับของกลุ่มผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะถูกนำไปแก้ถอดรหัสเพื่อหาตารางการจัดการผลิตต่อไปโดยใช้ 2 วิธีเสริม ได้แก่ 1) วิธีการกำหนดทรัพยากรแบบก้าวหน้า และ 2) กฎการคัดเลือกทรัพยากร ซึ่งสองวิธีดังกล่าวได้ช่วยลดขนาดของปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถหาคำตอบที่ดีได้กว่าวิธีในอดีต จากผลการทดลอง ทั้งสามวิธีสามารถนำมาใช้ในการหาคำตอบได้ในเวลาที่กำหนด แต่วิธีฝูงผึ้งสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าโดยเฉลี่ย และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธีอื่น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการฝูงผึ้งสามารถแก้ปัญหาปัญหาผลิต-บรรจุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมและวิธีฝูงมด

คำสำคัญ : ปัญหาผลิต-บรรจุ, การจัดตาราง, วิธีการเชิงพันธุกรรม, วิธีฝูงผึ้ง, วิธีฝูงมด

Abstract

This research considers a scheduling problem in industrial make-and-pack batch production process. The objective is to determine a production plan with minimum makespan to satisfy all constraints. This problem is NP-hard and the problem size is exponentially large. Therefore, we propose three algorithms; genetic algorithm, bee algorithm and ant colony optimization. Solutions to the problems are represented by chromosomes of product family sequences. These sequences are decoded to assign the resource for producing packed products according to forward assignment strategy and resource selection rules. These techniques greatly reduce unnecessary search space and improve search speed. In an experimental analysis, all heuristics shows the capability to solve large instances within reasonable computational time. In all problem instances, bee algorithm averagely outperforms genetic algorithm and ant colony optimization.

Keywords : Make-pack, Scheduling, Genetic Algorithm, Bee Algorithm, Ant Colony Optimization

Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ

Wongthatsanekorn, W. and Phruksaphanrat, B., Genetic Algorithm for Short-term Scheduling of Make-and-Pack Batch Production Process, Chinese Journal of Chemical Engineering, (Accepted for publication, ISI Impact Factor 0.872)

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์
 - เชิงพาณิชย์ (มีการนำไปผลิต/ขาย/ก่อให้เกิดรายได้ หรือมีการนำไปประยุกต์ใช้โดยภาคธุรกิจ/บุคคลทั่วไป)
 - เชิงนโยบาย (มีการกำหนดนโยบายอิงงานวิจัย/เกิดมาตรการใหม่/เปลี่ยนแปลงระเบียบข้อบังคับหรือวิธีทำงาน)
 - เชิงสาธารณะ (มีเครือข่ายความร่วมมือ/สร้างกระแสมหาชนในวงกว้าง)
 - เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)

สร้างนักวิจัยใหม่: นศ. ปริญญาโท 1 คน (นายรัฐพล สังคะสุข) ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)

Wongthatsanekorn, W. and Phruksaphanrat, B., Solving Make-Pack Problem in Process Manufacturing with Genetic Algorithm, The 3rd International Symposium on Engineering, Energy and Environments Pullman King Power Hotel, Bangkok: 17-20 November 2013, Thailand, 311–318.

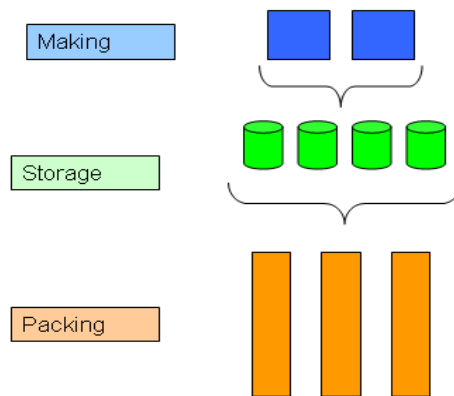
Wongthatsanekorn, W., Phruksaphanrat, B., and Sangkhasuk, R., Applying Bee Colony Optimization Heuristic for Make-Pack Problem in Process Manufacturing, Proceedings of the International MultiConference of Engineerings and Computer Scientists 2012 Vol II, IMECS 2012, March 14-16 2012, Hongkong.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การวางแผนการผลิตถือเป็นสิ่งสำคัญในการผลิต ในการผลิตสมัยเก่าจะเป็นลักษณะการผลิตที่มีจำนวนมากและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ไม่มากส่งผลในการผลิตมีความยืดหยุ่นต่ำและการผลิตไม่มีความซับซ้อนมากนัก แต่ในปัจจุบันเป็นยุคแห่งการแข่งขันไม่เหมือนกับสมัยก่อนที่ผลิตอะไรก็ขายได้ ทำให้การผลิตต้องมีความหลากหลายและผลิตภัณฑ์ต้องตอบสนองความต้องการของลูกค้ามากขึ้นและด้วยการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีที่มากขึ้นส่งผลวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์สั้นลงทำให้ต้องมีการเพิ่มผลิตภัณฑ์ที่ทดแทนของเดิมเพื่อความอยู่รอดของบริษัท และเมื่อคู่แข่งมีมากขึ้นการแข่งขันก็สูงขึ้นทำให้บริษัทต้องมีการปรับตัวด้านราคาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และรูปแบบในการผลิตก็แตกต่างจากสมัยก่อนที่มีความซับซ้อน ทำให้ต้องสร้างการผลิตแบบใหม่ๆขึ้นเพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการสร้างรูปแบบการผลิตสมัยใหม่ คือ การผลิตแบบ Multi-stage multi-product scheduling problem (MMSP) นิยามโดย Pinto and Grossman (1995) โดยเป็นลักษณะการวางแผนโดยใช้วิธีนี้จะสามารถใช้ในการวางแผนงานที่มีความซับซ้อนโดยแบ่งงานทั้งหมดออกเป็นหลายขั้นตอน (Stage) ซึ่งในแต่ละ Stage ก็มีทรัพยากรหลายตัวที่สามารถทำงานย่อยได้ และจะผลิตหลายสินค้า โดยปัญหาที่สนใจถูกกำหนดให้ทั้งหมด 3 stage ตามรูปที่ 1 มีกระบวนการผลิตเพียงขั้นตอนเดียว (Making) หลังจากนั้นส่วนผสมที่ผลิตได้จะถูกส่งถ่ายไปยังถังเก็บ (Storage) และเคลื่อนย้ายไปบรรจุหีบห่อให้กับลูกค้าต่อไป (Packing) ลักษณะการผลิตลักษณะนี้เรียกว่า การผลิต-บรรจุ (Make-Pack) นิยามโดย Honkomp et al. (2000) ซึ่งนักวางแผน หรือ Planner จะประสบปัญหาการกำหนดงานในระยะเวลาและระยะสั้น เพื่อสร้างตารางการผลิตและบรรจุสินค้าให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ถ้าจำนวนของสินค้าที่ต้องการวางแผนมีไม่มาก ปัญหานี้อาจไม่ซับซ้อนมากนัก แต่ในบริษัทขนาดใหญ่ เช่น พรอคเตอร์ แอนด์ แกมเบิล (Proctor and Gamble) หรือ ยูนิลีเวอร์ (Unilever) นั้น ปัญหาการกำหนดงานของกระบวนการผลิตและบรรจุหีบห่อเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมาก เนื่องจากว่า 1) จำนวนของผลิตภัณฑ์มีมากกว่าร้อยชนิด 2) ส่วนผสมที่ได้จากกระบวนการผลิต สามารถบรรจุหีบห่อได้มากกว่า 1 ขนาด 3) จำนวนถังเก็บระหว่างรอบบรรจุมีจำนวนจำกัด

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่จะพบปัญหาลักษณะนี้ เช่น ยาสระผม น้ำยาซักผ้า เครื่องสำอาง และเครื่องดื่ม เป็นต้น เพราะว่าผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีหลายสูตร แต่ละสูตรมีขนาดบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์จำพวกนี้จะเริ่มจากการนำวัตถุดิบหลายชนิดผสมในถังผสม (Mixing Tank) โดยที่ระยะเวลาในการผลิตสินค้าแต่ละชนิดไม่เท่ากัน หลังจากนั้นส่วนผสมที่ได้จะถูกเคลื่อนย้ายไปยังถังเก็บ เพื่อทำการตรวจสอบคุณภาพและพักรอบรรจุ หลังจากทุกอย่างเรียบร้อย ก็จะนำส่วนผสมไปทำการบรรจุลงหีบห่อ และเก็บเข้าคลังสินค้าต่อไป กระบวนการทำงานนี้ถูกแสดงในรูปที่ 1 สำหรับถังผสมนั้น จะถูกล้างทำความสะอาดเพื่อเตรียมผลิตสินค้าชนิดต่อไป เนื่องจากถังผสมมีราคาแพงและมีจำนวนจำกัด การกำหนดงานต้องสอดคล้องกันเพื่อลดเวลาเสียเปล่าที่อาจเกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วระยะเวลาในการล้างถังและ

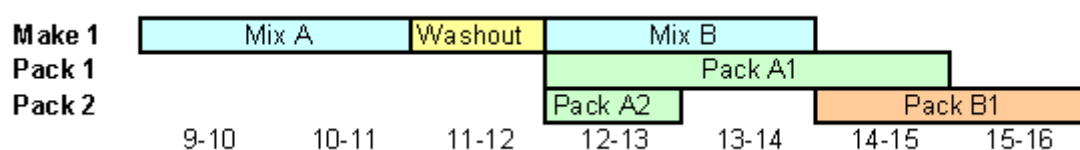
เตรียมผลิตของสินค้าแต่ละชนิดไม่เท่ากัน (Sequence Dependent Changeover Time) ทำให้ลำดับของการผลิตมีผลต่อประสิทธิภาพในการวางแผนด้วย ยกตัวอย่างเช่น อาจใช้เวลา 30 นาทีในการล้างถังผสมหากลำดับการผลิตคือ A แล้ว B แต่ใช้เวลา 90 นาทีในการล้างถังผสมหากลำดับการผลิตคือ B แล้ว A ในกรณีนี้ควรผลิตสินค้า A ก่อน ดังแสดงในรูป 1



รูป 1: ระบบการผลิตแบบ ผลิต-บรรจุ (Make-Pack)

ปัญหาการกำหนดงานของการผลิตและบรรจุมีจุดประสงค์หลักแรก คือ ต้องผลิตให้ตรงกับความต้องการที่วางไว้ ซึ่งต้องกำหนดตารางการทำงานให้กับทั้งแผนกผลิตและแผนกบรรจุให้สอดคล้องกัน ดังเช่นในรูปที่ 2 สมมติว่ามีการวางแผนการผลิตสินค้า 3 ชนิด (A1, A2, B1) ซึ่ง A1 และ A2 ได้มาจากสูตร Mix A และ B1 ได้มาจากสูตร Mix B ในโรงงานมีถังผสม 1 ถัง และหน่วยบรรจุภัณฑ์ สองหน่วย ตัวอย่างตารางการทำงานที่เป็นไปได้ในวันหนึ่ง ๆ คือ ผสมสูตร Mix A เพื่อทำการบรรจุ A1 และ A2 ก่อน ทำการล้างถัง (Washout) เพื่อเปลี่ยนไปผลิตสูตร Mix B ต่อไป จะเป็นว่าหน่วยบรรจุต้องรอจนกว่าส่วนผสม Mix A เสร็จ จึงเริ่มทำงานได้ ดังแสดงในรูป 2 นอกจากนี้ปัญหาการกำหนดงานยังต้องเผชิญกับข้อจำกัดอีกหลายประการ เช่น

- 1) ข้อจำกัดระหว่างถังผสมและสินค้า ถังผสมไม่สามารถรองรับการผลิตสินค้าทุกชนิดได้
- 2) ระยะเวลาในการผลิตสินค้าแต่ละชนิดไม่เท่ากัน
- 3) ขนาดของถังผสมแตกต่างกัน ทำให้ปริมาณการผลิตแต่ละครั้ง (Batch) แตกต่างกันไป
- 4) ระยะเวลาในการเตรียมเครื่องเพื่อใช้ผลิตสินค้าแต่ละตัวแตกต่างกัน (Sequence-dependent Changeover Time)
- 5) ระยะเวลาในการบรรจุสินค้าแต่ละชนิดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดของบรรจุภัณฑ์ด้วย



รูป 2: ตารางการทำงานของระบบ Make-Pack

ปัญหาการกำหนดงานโดยทั่วไปถือเป็นปัญหาเชิงจัดหมู่ (Combinatorial Optimization) และจัดอยู่ในกลุ่ม เอนพี-คอมพลีท (NP-Complete) ซึ่งเป็นปัญหาที่ซับซ้อน ดังนั้นการแก้ปัญหาขนาดจริงที่โรงงานอุตสาหกรรมประสบเป็นสิ่งที่ยากและซับซ้อน โดยข้อมูลที่ใช้ในการแก้ปัญหาจาก Honkomp et al. (2000) ซึ่งเป็นปัญหาการวางแผน 10 อาทิตย์ของคำสั่งผลิต 204 ผลิตภัณฑ์ด้วยกัน แต่หากหาคำตอบที่ดีที่สุดได้จะมีผลประโยชน์หลักใน 3 ด้าน ดังต่อไปนี้

1) การประหยัดจากการขยายการผลิต (Economies of Scale) คือ เมื่อผลิตมากขึ้น ทำให้ต้นทุนเฉลี่ยลดลง เนื่องจากประสิทธิภาพทางเทคนิคและการจัดการดีขึ้น ถึงผสมและหน่วยการบรรจุจะมีเวลาร่างงาน (Idle Time) ลดลง ทำให้ได้เปรียบบริษัทอื่นในเรื่องต้นทุนเฉลี่ยต่ำ การบริหารที่ดีจะส่งผลถึงแผนอื่นๆ ในโรงงานด้วย เช่น คลังสินค้าต้องตรวจสอบวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ว่ามีเพียงพอในการผลิตและบรรจุหรือไม่ หากมีไม่เพียงพอ ฝ่ายจัดซื้อต้องติดต่อไปยังซัพพลายเออร์ (Supplier) เพื่อสั่งซื้อให้ทันเวลา หากกำหนดงานได้ดียิ่งขึ้นเท่าไรแล้ว จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตเนื่องจากผลิตสินค้าได้มากขึ้น และเอื้อการประสานงานระหว่างแผนกให้ดีขึ้นด้วย

2) เพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า (Customer Satisfaction) เพราะสามารถผลิตสินค้าให้ทันกับความต้องการของลูกค้าได้ โดยทั่วไปแล้วความต้องการมีปริมาณที่ไม่แน่นอน โรงงานจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนตารางการทำงานในระยะสั้นเพื่อตอบสนองความต้องการตรงนี้ให้ได้ ซึ่งความสามารถในการปรับเปลี่ยนตารางอย่างมีประสิทธิภาพจะป้องกันการวางแผนที่ผิดพลาด เพิ่มเปอร์เซ็นต์การส่งมอบสินค้าทันเวลา และช่วยเพิ่มความสัมพันธ์อันดีให้กับลูกค้ามากยิ่งขึ้น

3) เพิ่มความสามารถผลิตสินค้าได้หลายประเภท (Product Diversification) ซึ่งในตลาดสินค้าอุปโภคบริโภคนั้น ลูกค้ามีความต้องการที่หลากหลาย ถ้าบริษัทได้มีการจัดการที่ดี สามารถผลิตสินค้าได้หลายประเภทโดยไม่กระทบกับต้นทุนและวันส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า ก็จะได้เปรียบกับคู่แข่งเป็นอย่างมาก

ดังนั้นงานวิจัยที่เสนอจะศึกษาการแก้ปัญหาการกำหนดงานของการผลิตแบบ Make-Pack โดยมุ่งเน้นการศึกษาที่อาศัยพื้นฐานทางทฤษฎีทางด้านการวิจัยการดำเนินการ (Operations Research) เพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการแก้ปัญหาแบบวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithms) ผลงานวิจัยนี้จะเป็นผลงานชิ้นแรกในระดับนานาชาติที่ศึกษาถึงการนำเอาเทคนิคการแก้ปัญหาด้วยวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm หรือ GA) วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization หรือ ACO) วิธีฝูงผึ้ง (Bee Algorithm หรือ BA) มาใช้กับปัญหาการผลิตแบบ Make-Pack ซึ่งเป็นปัญหาที่ซับซ้อน องค์ความรู้ที่ได้รับจากงานวิจัยชิ้นนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงต่ออุตสาหกรรมสินค้าอุปโภคบริโภคซึ่งมีการแข่งขันสูง จึงต้องพยายามหาทางลดต้นทุนอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้อยู่รอดในภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน ผลการศึกษาก่อให้เกิดความเข้าใจถึงองค์ความรู้ในการประยุกต์ใช้วิธีที่ใช้เทคนิคทางด้านวิวัฒนาการ (Evolutionary-Based Methods) ทำให้สามารถแก้ปัญหาการกำหนดงานของกระบวนการผลิต-บรรจุในอุตสาหกรรมจริงได้ โดยจะพัฒนาการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้จะสามารถนำไปใช้และพัฒนาการแก้ปัญหาการกำหนดงานของการผลิต-บรรจุในอุตสาหกรรมอุปโภคต่อไปได้

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาโครงสร้างของปัญหาผลิต-บรรจุในอุตสาหกรรมอุปโภคบริโภค โดยแก้ปัญหาผลิต-บรรจุด้วยวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization) และวิธีฝูงผึ้ง (Bee Algorithm หรือ BA) โดยจะศึกษาการประยุกต์ใช้ 3 เทคนิคกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ โดยจุดประสงค์หลักจะเป็นการหาตารางการทำงานที่เป็นไปได้ให้ตรงกับความต้องการจุดประสงค์รองคือลดเวลาในการ Changeover ให้น้อยที่สุด

3. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเอกสารอ้างอิง

3.1 Batch Scheduling

จากข้อจำกัดในเรื่องของการวางแผนงานในอุตสาหกรรมที่มีลักษณะ Make-pack ซึ่งมีปัญหาทางด้านการใช้ทรัพยากรที่จำกัดของเครื่องจักรทำให้เกิดแนวความคิดในการพัฒนารูปแบบในการวางแผนการผลิต ซึ่งในวิธีการศึกษารูปแบบเก่ามีเพียงในเรื่องของการวางแผนที่มีเพียงแต่การพิจารณาการไหลให้เป็นระบบ และในระบบการผลิตต่อมาที่เรียกว่า MMSP (Pinto and Grossman 1995) เป็นการผลิตแบบที่เรียกว่า Stage เกิดขึ้นและในแต่ละ Stage ก็อาจประกอบด้วยหลายกระบวนการ (Process) ของการผลิต ซึ่งเมื่อศึกษาให้ลึกลงไปอีกก็พบว่าในขั้นตอนแต่ละกระบวนการแต่การผลิตในปัจจุบันมีการที่มีความซับซ้อนสูงขึ้น และพบว่าในขั้นตอนแต่ละกระบวนการ ก็ใช้เครื่องจักรหรือทรัพยากรในการผลิตที่แตกต่างกัน แต่ขณะนี้ยังไม่มีมีการพิจารณาถึงการใช้เครื่องจักรหรือทรัพยากรในการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งถือเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษาเพิ่มขึ้นให้ครอบคลุมในทุกด้านมากกว่าการวางแผนการผลิตในอดีต โดยปัญหา Make-pack จะถือว่าเป็นปัญหาแบบ Multi-stage multi-product multi-resource scheduling problem (MMMSP) โดยข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรจะเข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น โดยในหนึ่งงานอาจต้องใช้ทรัพยากรมากกว่า 1 ซึ่งทำให้ปัญหามีความซับซ้อนมากขึ้น

สำหรับงานวิจัยของปัญหาการกำหนดงานของกระบวนการผลิตจำนวนมากในแต่ละครั้ง หรือ Batch Scheduling ได้รับความสนใจจากนักวิชาการ แต่ปัญหา Batch Scheduling นั้นมีหลายรูปแบบด้วยกัน ปัญหาในข้อเสนองานวิจัยนี้ถูกจัดอยู่ในปัญหา Make-Pack นั่นก็คือการจัดตารางการทำงานให้กับหน่วยผลิตสินค้าและ หน่วยบรรจุภัณฑ์ ปัญหานี้เป็นปัญหาแบบ NP-Complete ซึ่งโดยทั่วไป ปัญหา Make Pack สามารถแปลงเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงเส้นตรงแบบเลขจำนวนเต็มผสม Mixed Integer Linear Programming (MILP Mathematical Model) ได้สองแบบ 1) State-Task Network (STN) 2) Resource-Task network (RTN) ซึ่งสามารถแบ่งปลีกย่อยได้อีกโดยใช้ช่วงเวลาเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) หรือ ต่อเนื่อง

(Continuous) (Carlos et. al. 2006) ทำการทดสอบการจำลองแบบต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน และสรุปวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น แบบฮิวริสติก แบบ Decomposition และ Aggregation และ การแก้ปัญหาด้วยวิธีการปรับปรุง (Improvement optimization-based technique)

อย่างไรก็ดี ยังไม่มีนักวิจัยคนไหนการนำเอา GA ACO หรือ BA มาประยุกต์ใช้กับปัญหา Make-Pack นี้ มีเพียง Fundelinga และ Trautmann (2006) ที่นำเอาหลักการเรียงความสำคัญของงานแบบต่างๆ (Schedule Rule) มาใช้ในการปัญหาของ Honkomp (2000) ในส่วนของปัญหา MMSP นั้นงานวิจัยในอดีตได้ถูกสรุปไว้ในตาราง 1 ซึ่งได้มีนักวิจัยได้เริ่มนำเอา GA มาใช้ในการแก้ปัญหาบ้างแล้ว

ตาราง 1: งานวิจัยสำหรับปัญหา MMSP

ปี	ผู้แต่ง	ชื่อเรื่อง	สรุปงานวิจัย
2005	Michael C. Georgiadis, Aaron A. Levis, Panagiotis Tsiakis, Ioannis Sanidiotis, Constantinos C. Pantelides, Lazaros G. Papageorgiou	Optimisation-based scheduling: A discrete manufacturing case study	ศึกษาวิวัฒนาการของการแก้ไข ปัญหาแบบ Multi-product batch plant
2006	Yaohua He, Chi-Wai Hui	Genetic algorithm for large-size multi-stage batch plant scheduling	เป็นต้นแบบในการพัฒนาแบบ Multi-product batch Multi Stage plant
2008	Yaohua He, Chi-Wai Hui	A rule-based genetic algorithm for the scheduling of single-stage multi-product batch plants with parallel units	เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการ MILP แทนวิธีการ SMSP ซึ่งจะสามารทเพิ่ม Process ในแต่ละ Stage ได้หลากหลายขึ้น
2009	Hua Li Sun & Yao Feng Xue	An MILP formulation for optimal scheduling of multi-product batch plant with a heuristic approach	ศึกษาวิวัฒนาการของการแก้ไข ปัญหาแบบ Multi-product batch plant
2009	Ching-Jong Liao , Cian-CiShyu , Chao-TangTseng	A least flexibility first heuristic to coordinate setups in a two- or three-stage supply chain	ใช้ฮิวริสติกในการวางแผนการ ออกแบบในโซ่อุปทานในการลด Set up time ที่มีลักษณะ 2-3 stage
2010	Luigi Martino and Rafael Pastor	Heuristic procedures for solving the general assembly line balancing problem with setups	ศึกษาวิวัฒนาการของการแก้ไข ปัญหาแบบ multi-product batch plant

ในประเทศไทยเองก็มีผลงานในด้านการแก้ปัญหาดัดตารางเวลา เช่น [วฤณท์ 2549] ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดตารางเวลาของหลายผลิตภัณฑ์ โดยได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหขนาดเล็ก และได้ประยุกต์ใช้วิธี Simulate Annealing และ Divide and Conquer มาแก้ปัญหขนาดใหญ่ แต่ไม่มีผลงานในด้านการแก้ปัญห Make-Pack

3.2 Evolutionary Algorithms

อัลกอริธึมวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithms) มีขั้นตอนในการทำงานหลักคือการสร้างกลุ่มของตัวค้นหาผลลัพธ์ (Population of Solution) แล้วใช้หลักเกณฑ์ที่ต่างกันในการค้นหาแบบสโตแคสติก (Stochastic Search) ที่ทำการลอกเลียนแบบการพัฒนาตัวเองตามธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น เจเนติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithms) วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization) วิธีพาร์ติเคิลสวอร์มออปติไมเซชัน (Particle swarm Optimization) วิธีชัฟเฟิลฟรอกลีปิง (Shuffled Frog Leaping) เป็นต้น วิธีการทำงานในแต่ละขั้นตอนประกอบไปด้วยการสร้างกลุ่มของตัวค้นหาผลเฉลย โดยตั้งหลักเกณฑ์ของการค้นหาด้วยการนำเอา การค้นหาแบบสโตแคสติก (Stochastic Search) และการลอกเลียนแบบความฉลาดตามธรรมชาติ (Artificial Intelligence) มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน ซึ่งการค้นหาในขั้นตอนนี้จะถูกทำซ้ำไปซ้ำมา (Iterative Process) จนกระทั่งหยุดการทำงานเมื่อได้ตามเงื่อนไขของการ ซึ่งการประยุกต์ใช้ Evolutionary Algorithms ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมได้อย่างประสบความสำเร็จนั้น เนื่องจากมีความรวดเร็วในการประมวลผลเพื่อแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมาก

ในหมู่นักวิจัยได้เริ่มนำเอา Evolutionary Algorithms มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางเวลา ยกตัวอย่างเช่น Wang and Liu (2008) ได้ประยุกต์ใช้มีติดอัลกอริธึมแก้ปัญหา Flow Shop Scheduling ซึ่งได้นำขั้นตอนวิธีพาร์ติเคิลสวอร์มออปติไมเซชัน มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ Emad et. al. (2005) ได้ทำการเปรียบเทียบ 5 วิธีที่ใช้เทคนิคทางด้านวิวัฒนาการ (evolution) (Genetic algorithm, Memetic algorithm, Particle swarm optimization, Ant-colony systems, Shuffled frog leaping)

3.3 วิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

Holland (1975) ได้นำเสนอแนวคิดของวิธีพันธุกรรม (Genetic algorithm) ภายใต้สมมติฐานที่ว่าสิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งคุณลักษณะที่ดีและไม่ดี ซึ่งคุณลักษณะที่ดีก็ย่อมมีโอกาสอยู่รอดและจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังรุ่นลูกหลานได้มากกว่า เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่มีคุณลักษณะที่ดีขึ้น สำหรับวิธีพันธุกรรม เมื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด (Optimization problem) ก็อาศัยหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรม เพื่อให้ได้คำตอบในรุ่น (Generation) ต่อไป มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่ดีขึ้น ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับแล้วว่า วิธีพันธุกรรม เป็นวิธีที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งได้ประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาในสาขาต่างๆ มากมาย

ขั้นตอนการทำงานของ GA เริ่มด้วยการสร้างประชากรของคำตอบหรือโครโมโซมขึ้นมา แล้วคำนวณหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ของประชากรแต่ละตัว ซึ่งเป็นขั้นตอนการถอดรหัสโครโมโซมเพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) หลังจากนั้นจะเลียนแบบพฤติกรรมทางพันธุกรรมในธรรมชาติดังนี้ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูง จะแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันเพื่อสร้างโครโมโซมใหม่ที่พัฒนาตัวเองผ่านกระบวนการสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation)

โครโมโซมลูกหลาน (Offspring Chromosome) จะถูกตรวจสอบว่าให้คำตอบที่ดีกว่าโครโมโซมตัวที่แย่ที่สุดในประชากรหรือไม่ ถ้าดีกว่ามันจะแทนที่โครโมโซมตัวที่แย่ที่สุด ขั้นตอนการค้นหาดังกล่าวจะถูกทำซ้ำไปซ้ำมา (Iterative Process) จนกระทั่งตรงกับเงื่อนไขการหยุดการทำงานเพื่อให้ได้โครโมโซมตัวที่ให้ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด หรือผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด (Optimum solution)

สำหรับปัญหา Batch Scheduling ได้มีนักวิจัยมากมายที่ประยุกต์ใช้ GA ในการแก้ปัญหา เช่น Azzaro-Pantel et. al. (1998) Jung et. al. (1998) Wang et. al. (2000) Kim and Kim (2002) Balasubranian et. al. (2004) Chou et. al. (2006) และ He and Hui (2006) และผลที่ได้ทำให้สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนขึ้น และมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ได้ โดยพัฒนาจากการวางแผนสำหรับ Single-stage Multi-Product (SMSP) ไปยัง Multi-stage Multi-Product Scheduling Problem (MMSP)

3.4 วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization)

Dorigo และ Gambardella (1997) ได้สรุปแนวคิดและขั้นตอนของการค้นหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้วิธีฝูงมด เพื่อใช้แก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ซึ่งวิธีการค้นหาแบบนี้ อาศัยพื้นฐานการเลียนแบบพฤติกรรมกรรมการหาอาหารของมดจริง (Real ants) โดยที่มดจริงสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังมด (Nest) กับแหล่งอาหาร (Food source) ทั้งๆ ที่มดมองไม่เห็นเส้นทาง แต่มดจะอาศัยข้อมูลจากสารเคมีชีวภาพ ที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) ในขณะที่มดเดินทางไปหาอาหาร มดจะปล่อยสารฟีโรโมนไว้บนพื้น เพื่อใช้ในการจดจำเส้นทางอีกทั้งเป็นร่องรอยเพื่อที่จะสื่อสารทางอ้อมให้กับมดตัวอื่น ๆ ด้วย วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization; ACO) ซึ่งมีคุณลักษณะ ดังต่อไปนี้

- เป็นอัลกอริทึมที่เอนกประสงค์ (Versatile) นั่นคือ สามารถประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาเดียวกันได้หลากหลายลักษณะ เช่น ใช้แก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย
- เป็นอัลกอริทึมที่มีความคงทน (Robust) นั่นคือ สามารถประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ไปจนถึงปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมแบบผสมผสาน อย่างเช่น ปัญหาการกำหนดแบบกำลังสอง (Quadratic assignment problem: QAP) และปัญหา กำหนดเวลาการซื้อขาย (Job-shop scheduling problem: JSP)
- เป็นอัลกอริทึมที่มีอาศัยพื้นฐานประชากร (Population based) เพราะว่าอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ของการป้อนกลับที่เป็นประโยชน์ (Positive feedback) เป็นกลไกในการค้นหาคำตอบ ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป เป็นผลทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นที่จะดำเนินการค้นหาแบบขนาน (Parallel implementations)

ซึ่งวิธีการฝูงมดได้นำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาลักษณะรูปแบบ ตัวอย่างเช่น ปัญหาการมอบหมายงาน (Quadratic Assignment Problem: QAP) (Maniezzo and Colorni 1999) และปัญหาการวางแผนการขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) (Bell and McMullen 2004) เป็นต้น สำหรับการประยุกต์ใช้กับปัญหาทางด้านวิศวกรรม เช่น การวางแผน

ขยายระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Gomez et. al. 2004, Ippolito 2005) การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Tippachon and Rerkpreedapong 2009) เป็นต้น

Mouloud et al. (2007) ได้นำเสนอการใช้วิธีฝูงมดเทียมกับการแก้ปัญหาการจัดตารางการทำงานและการแบ่งส่วนงานในงานออกแบบร่วมกัน (Co-design) การจัดตารางการทำงานและแบ่งส่วนงานเป็น 2 ปัญหาหลักในการออกแบบ ซึ่งสามารถหาคุณลักษณะของระบบภายใต้การออกแบบได้ แม้มีเงื่อนไขจำนวนมากตามสิ่งแวดล้อมและเป้าหมายที่ต้องการของสถาปัตยกรรมของระบบที่ผสมผสานกัน (ประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์) ทำให้ 2 ปัญหานี้ยากต่อการแก้ไข งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการจำลองการจัดตารางการทำงานและการแบ่งงานอย่างเป็นระบบ โดยสร้างสรรค์วิธีการจากการเลียนแบบพฤติกรรมของแมลงที่อยู่เป็นกลุ่มอย่างฝูงผึ้ง เพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ในส่วนการแบ่งงาน และการจัดตารางการทำงาน เพื่อให้ได้เวลาการทำงานของระบบที่สั้นที่สุดภายใต้การกฎการออกแบบ

นอกจากนี้วิธีการฝูงมดได้ถูกนำมาปรับปรุงเพื่อใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น และพัฒนาให้อัลกอริทึมสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งความรวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น

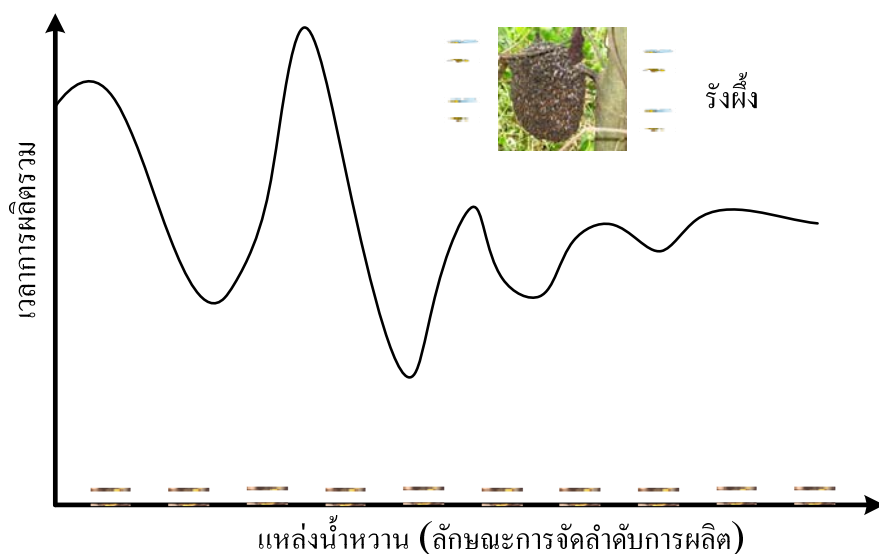
HO et. al. (2005) ได้นำเสนอการปรับปรุงอัลกอริทึมของวิธีฝูงมด (Improve Ant Colony Optimization: IACO) จากพื้นฐานความสำเร็จในการออกแบบของขั้นตอนการค้นหามหาสมุทร (Global Search) แบบใหม่ จากการพัฒนาหลักการปรับปรุงฟีโรโมนและนำเสนอกลยุทธ์ Elitist มาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีฝูงมด เพื่อให้ขั้นตอนในการค้นหาทำได้สะดวกยิ่งขึ้น ทั้งยังสามารถหาค่าจากการค้นหาคำตอบแบบเฉพาะถิ่น (Local Search) ได้ง่ายขึ้นอีกด้วย อัลกอริทึมนี้ได้ถูกทดสอบด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และปัญหาย้อนกลับ (Inverse Problem) และความสามารถของกระบวนการค้นหาของวิธีฝูงมดปรับปรุง ได้ถูกเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบวิธีการอื่นๆ นอกไปจากนี้ Yagmahan และ Yenisey (2008) Rong-Hwa และ Chang-Lin (2008) ได้นำเสนอการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีฝูงมดโดยมีฟังก์ชันจุดประสงค์หลากหลาย (Multiple Objectives)

สำหรับปัญหา Batch Scheduling มีเพียงนักวิจัยบางกลุ่ม เช่น Jayaraman (2000) Kashan and Karimi (2008) Cheng et al. (2010) ที่ประยุกต์ใช้ ACO ในการแก้ปัญหา

3.5 วิธีฝูงผึ้ง (Bee Algorithm)

เป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาน้ำหวานของผึ้ง ดำเนินการผ่านตัวดำเนินการ คือ ผึ้ง โดยแบ่งชนิดของผึ้งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผึ้งสอดแนม (Scout Bee) และผึ้งงาน (Employee Bee) เพื่อค้นหาคำตอบ โดยสมมุติว่าคำตอบคือ แหล่งน้ำหวานหน้าที่ของผึ้งสอดแนม คือ ค้นหาแหล่งน้ำหวานแบบสุ่มในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Search Space) เมื่อผึ้งสอดแนมค้นหาคำตอบได้ก็บินกลับมาที่รังผึ้ง เพื่อสื่อสารกับผึ้งตัวอื่นๆ ภายในรังผึ้ง การสื่อสารของผึ้งจะใช้วิธีการเดินแถววงลักษณะต่าง ๆ เพื่อบอกปริมาณน้ำหวานและทิศทางของแหล่งน้ำหวาน จากนั้นผึ้งงานก็ไปทำหน้าที่ขนน้ำหวานในแหล่งน้ำหวาน

จำนวนผึ้งงานจะแปรตามปริมาณน้ำหวานและระยะทาง (Camazine and Sneyd, 1991) และ (Wong, Puan, Low and Chong, 2008) เพื่อเป็นการอธิบายถึงการประยุกต์ใช้วิธีฝูงผึ้งสำหรับแก้ปัญหาการผลิต-บรรจุในการหาค่าที่เวลาการผลิตที่ต่ำที่สุด ใช้วิธีการอธิบายพร้อมแสดงตัวอย่างแผนผังความสัมพันธ์ของเวลาในการผลิตทั้งหมดกับลักษณะการจัดลำดับการผลิต ซึ่งถ้าพูดในเชิงของการพฤติกรรมของผึ้ง เวลาในการผลิตทั้งหมดเปรียบเสมือนคุณภาพของแหล่งน้ำหวาน และลักษณะการจัดลำดับการผลิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเปรียบเสมือนแหล่งน้ำหวาน โดยการจัดลำดับการผลิตหรือแหล่งน้ำหวานที่ได้ต้องอยู่ภายในข้อจำกัดของปัญหาที่กล่าวไว้แล้ว ดังแสดงในรูป 3



รูป 3: ตัวอย่างแผนผังความสัมพันธ์ของเวลาในการผลิตทั้งหมดกับลักษณะการจัดลำดับการผลิต

4. ปัญหาการจัดตารางการผลิต (Make-pack Problem)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการผลิต-บรรจุขนาดใหญ่ โดยในการศึกษาจะเน้นปัญหาการผลิต-บรรจุที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรม และได้เลือกปัญหาในการผลิต-บรรจุจากงานวิจัยของ Honkomp *et al.* (2000) เป็นปัญหาต้นแบบที่เลือกมาจากการวิจัยโดยเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมผลิต-บรรจุของบริษัทพีแอนด์จี จำกัด มีลักษณะปัญหาที่ต้องเผชิญอยู่คือ การวางแผนการผลิตระยะกลางและระยะสั้น ในการแก้ปัญหาจะสร้างฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตทั้งหมดในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อให้มีจุดเด่นในด้านการแก้ไขและปรับปรุงข้อมูลได้ง่าย โดยช่วยให้ผู้ที่มีส่วนในการวางแผนแก้ไขและปรับปรุงข้อมูลในการผลิตได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องอบรมวิธีการใช้งาน เนื่องจากเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่พนักงานที่เกี่ยวข้องทั่วไปมีความรู้พื้นฐานอยู่แล้ว ในการศึกษาปัญหาการผลิต-บรรจุสามารถแบ่งข้อมูลได้ดังนี้

ความหลากหลายของสินค้า

ในการแข่งขันทางธุรกิจแต่ละบริษัทจะต้องมีความหลากหลายของสินค้าเพื่อเป็นทางเลือกให้กับลูกค้า ซึ่งส่งผลให้เกิดความยุ่งยากและซับซ้อนในการวางแผนการผลิตมากขึ้น โดยในต้นแบบของปัญหาที่เลือกมีสูตรของการผลิตสินค้าทั้งหมด 59 สูตร ซึ่งแต่ละสูตรสามารถบรรจุขนาดได้มากกว่า 1 ขนาด ทำให้มีสินค้ามากกว่า 200 ชนิด สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดกับสูตรสินค้าดังแสดงในภาคผนวก ก

ในการสร้างฐานข้อมูลการผลิตสินค้าจะกำหนดชื่อของสินค้าเนื่องจากมีสินค้าจำนวนมากจะมีการกำหนดการตั้งชื่อแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของชื่อสูตรและส่วนของขนาดบรรจุภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น B1-V4-P17 โดย B1-V4 เป็นชื่อของสูตรที่ใช้ในการผลิต (สูตรที่ใช้การผลิตจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ B1 เป็นชื่อรุ่นที่ใช้ผลิตและ V4 คือส่วนของเวอร์ชันในการผลิต) และ P17 เป็นส่วนของขนาดบรรจุภัณฑ์

ความต้องการสินค้า

ความต้องการสินค้าจะถูกกำหนดจากการประเมินความต้องการสินค้าในแต่ละช่วงเวลาของฝ่ายการตลาด ในอุตสาหกรรมผลิต-บรรจุจะต้องมีการประเมินล่วงหน้าเพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตเป็นตัวกำหนดปริมาณการผลิตในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้สามารถส่งมอบสินค้าได้ตามเวลาที่ลูกค้าต้องการ และต้องลดต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าให้น้อยที่สุด โดยในการสร้างฐานข้อมูลการผลิตในเรื่องความต้องการสินค้าประกอบด้วย

1. ชนิดของสินค้าที่ต้องการ
2. ปริมาณการผลิตสินค้าแต่ละชนิด มีการกำหนดปริมาณความต้องการในหน่วยของ Batch
3. ความต้องการสินค้าในแต่ละช่วงเวลา จะใช้ระบุความต้องการล่วงหน้าต่อไปในแต่ละอาทิตย์ เป็นเวลา 10 อาทิตย์

ทรัพยากรการผลิต

ทรัพยากรการผลิตเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากส่วนหนึ่งที่จะสนับสนุนการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นแต่ด้วยข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนทรัพยากรหรือทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตได้ ทำให้ต้องมีการวางแผนการใช้เพื่อให้ทรัพยากรมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการใช้งาน ซึ่งจำเป็นต้องทราบข้อมูลต่าง ๆ ประกอบด้วย

1. ชื่อทรัพยากรจะมีกำหนดสัญลักษณ์ในการเรียกทรัพยากรในการผลิตแต่ละชนิดและตามด้วยหมายเลขของทรัพยากร เช่น MT-1 โดย MT หมายถึง ถังผสมและ 1 หมายถึง ถังหมายเลข 1 เป็นต้น ตามตารางที่ 1
2. จำนวนทรัพยากรการผลิต ในปัญหาที่ศึกษาจะมีจำนวนทรัพยากรที่สามารถใช้ได้แต่ละกระบวนการ ตามตารางที่ 3.1

3. ประสิทธิภาพสูงสุดของทรัพยากรผลิต ในปัญหาที่ศึกษาต้องทราบว่าทรัพยากรแต่ละชนิดมีจำนวนมากน้อยเพียงใดความสามารถในการใช้งานได้ปริมาณมากน้อยเพียงใด ตามตารางที่ 1

4. ลักษณะของการใช้ทรัพยากร มี 2 ลักษณะ คือ ทรัพยากรในการผลิตได้แบบต่อเนื่อง คือ ผลิตได้อย่างต่อเนื่องจนครบปริมาณที่ต้องการ และแบบผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง คือ ผลิตได้ครั้งละเท่ากับจำนวนประสิทธิภาพสูงสุดของทรัพยากรจนเสร็จแล้วจึงสามารถเริ่มผลิตได้ใหม่

ดังนั้น ในการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมผลิต-บรรจุต้องใช้ข้อมูลเหล่านี้ ที่ต้องมีความแน่นอนและถูกต้องเพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนที่ต้องการ โดยปัญหาที่ศึกษาจะในเรื่องทรัพยากรในการผลิต คือ ถังเตรียมผสม ถังผสม ถังรอบบรรจุ และเครื่องบรรจุสามารถสรุปดังตาราง 2

ตาราง 2: จำนวนและประสิทธิภาพของทรัพยากรในการผลิต

ชนิดทรัพยากร	สัญลักษณ์	หมายเลขทรัพยากร	จำนวนทรัพยากร	ประสิทธิภาพสูงสุด (Batch)
- ถังเตรียมผสม*	PT	1-3	3 ถัง	1
- ถังผสม*	MT	1-6	6 ถัง	1
- ถังรอบบรรจุ*	ST	1-6	6 ถัง	0.5
		7-80	74 ถัง	1
- เครื่องบรรจุ**	PL	1-7	7 เครื่อง	0.5

* รูปแบบการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง

** รูปแบบการผลิตแบบต่อเนื่อง

ในการผลิตสินค้าแต่ละชนิดจะมีข้อจำกัดการใช้ทรัพยากรที่แตกต่างกันถึงแม้จะเป็นกระบวนการผลิตขั้นตอนเดียวกันก็ตามและยังต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของทรัพยากรในการขนถ่ายงานระหว่างกระบวนการผลิตอีกด้วย

การสับเปลี่ยนชนิดของสินค้า (Change Over)

ในการผลิตสินค้าหลากหลายชนิด เมื่อมีการผลิตครบตามปริมาณความต้องการสินค้าแต่ละชนิดต้องสับเปลี่ยนชนิดของสินค้าหรือสูตรในการผลิตสินค้า ทำให้ก่อนการผลิตสินค้าหรือสูตรของสินค้าชนิดใหม่ต้องมีการเพิ่มกระบวนการในการผลิตการสับเปลี่ยนชนิดของสินค้าโดยในการเปลี่ยนสูตรสินค้าจะมีการกำหนดกลุ่มการล้างของสูตรสินค้าเป็น 7 กลุ่ม ตามภาคผนวก ค และเมื่อมีการเพิ่มในเรื่องของกระบวนการผลิตก็จะส่งผลกระทบในเรื่องเวลาที่เพิ่มขึ้นมากอีกด้วย การสับเปลี่ยนชนิดของสินค้ามีการเปลี่ยน 3 ชนิด คือ

1. การล้างถัง (Wash Out) จะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนกลุ่มสูตรสินค้าจากการกำหนดกลุ่มสูตรสินค้าในภาคผนวก ค ในส่วนถังเตรียมผสม ถังผสมและเครื่องบรรจุ โดย

จะทำการล้างเมื่อมีความต้องการล้างในการเปลี่ยนกลุ่มสูตรสินค้าตามตาราง 3 หรือมีกระบวนการล้างถึงหลังจากการเปลี่ยนสูตรสินค้าในส่วนของถังบรรจุ

ตาราง 3: ความต้องการในการล้างเมื่อมีการเปลี่ยนกลุ่มสูตรสินค้า

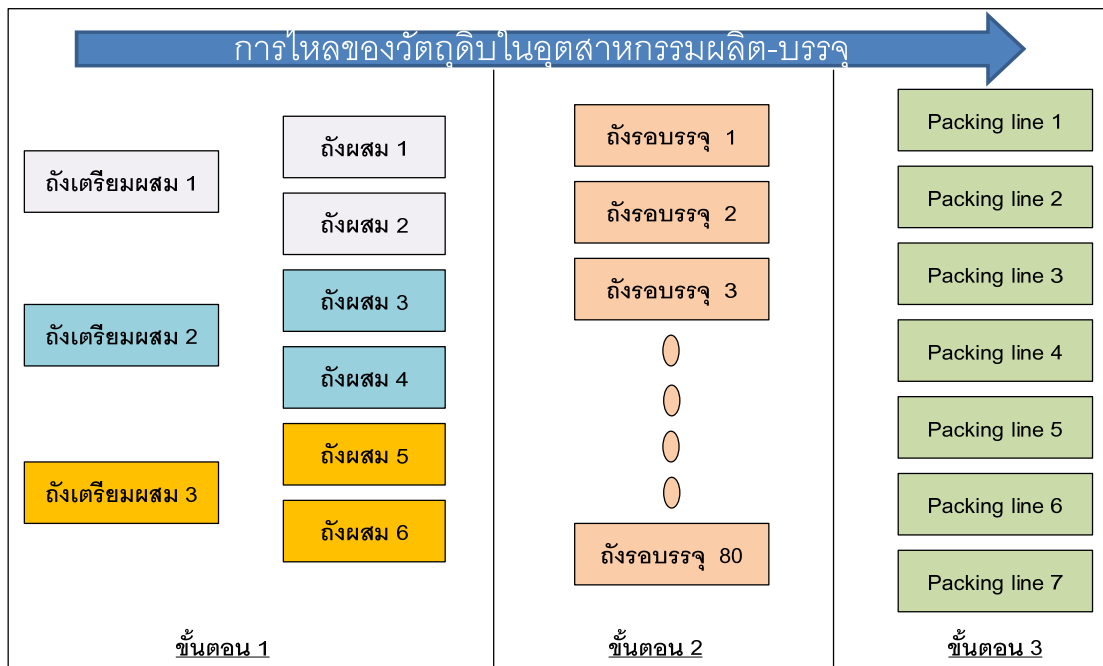
	ไปกลุ่มการล้าง 1	ไปกลุ่มการล้าง 2	ไปกลุ่มการล้าง 3	ไปกลุ่มการล้าง 4	ไปกลุ่มการล้าง 5	ไปกลุ่มการล้าง 6	ไปกลุ่มการล้าง 7
จากกลุ่มการล้าง 1	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
จากกลุ่มการล้าง 2	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
จากกลุ่มการล้าง 3	ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
จากกลุ่มการล้าง 4	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
จากกลุ่มการล้าง 5	ไม่ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
จากกลุ่มการล้าง 6	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ
จากกลุ่มการล้าง 7	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ

2. การเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ (Package Change Overs) จะเกิดขึ้นเมื่อต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะเกิดกับสถานีงานเครื่องบรรจุเท่านั้นโดยในการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ แต่จะไม่มี การล้างเครื่องบรรจุในระหว่างการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์

3. การเปลี่ยนทั้งกลุ่มการล้างถังและขนาดบรรจุภัณฑ์ (Combined Wash Out & Package Change Overs) จะเกิดขึ้นเมื่อต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดบรรจุภัณฑ์ และเปลี่ยนแปลงกลุ่มของสูตรสินค้าซึ่งจะเกิดกับสถานีงานเครื่องบรรจุเท่านั้น โดยในการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ และมีการล้างเครื่องบรรจุในระหว่างการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์

แผนผังการไหลของงาน

ธรรมชาติการผลิตในอุตสาหกรรมผลิต-บรรจุ จะมีลักษณะการไหลของงานเป็นแบบทางทิศเดียวไม่มีการไหลย้อนกลับของงาน โดยไหลผ่านสถานีงานต่างๆ คือ ถังเตรียมผลิต ถังผลิต ถังรอการบรรจุ และเครื่องบรรจุ ตามลำดับ โดยจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการผลิต ขั้นตอนรอการบรรจุ และขั้นตอนการบรรจุ ตามลักษณะความต่อเนื่องของการไหลที่แน่นอน และในปัญหาที่ศึกษาจะมีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนและชนิดของทรัพยากรดังภาพที่ 3 โดยในการขนถ่ายงานระหว่างสถานีงานจะมีข้อจำกัดทรัพยากรที่ถูกใช้ในสินค้าแต่ละชนิดหรือการขนถ่ายระหว่างกระบวนการของทรัพยากรการผลิตประกอบด้วย



รูป 4: การไหลของงานในการผลิตแบบผลิต-บรรจุ

- ข้อจำกัดของถึงผสมที่สามารถใช้ได้กับสูตรสินค้าต่างๆ เป็นข้อมูลที่มีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างถึงผสมและสูตรสินค้า จะมีสัญลักษณ์ คือ 0 กับ 1 โดย 0 แทนถึงผสมที่ไม่สามารถใช้ได้กับสูตรสินค้านั้น ส่วน 1 แทนถึงผสมที่สามารถใช้ได้กับสูตรสินค้านั้น
- ข้อจำกัดของถึงเตรียมผสมที่สามารถใช้ได้กับถึงผสม เป็นข้อมูลที่มีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างถึงผสมและถึงเตรียมผสม จะมีสัญลักษณ์ คือ 0 กับ 1 โดย 0 แทนถึงผสมที่ไม่สามารถใช้ได้กับถึงเตรียมผสมนั้น ส่วน 1 แทนถึงผสมที่สามารถใช้ได้กับถึงเตรียมผสมนั้น ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4: ข้อจำกัดของถึงเตรียมผสมที่สามารถใช้ได้กับถึงผสม

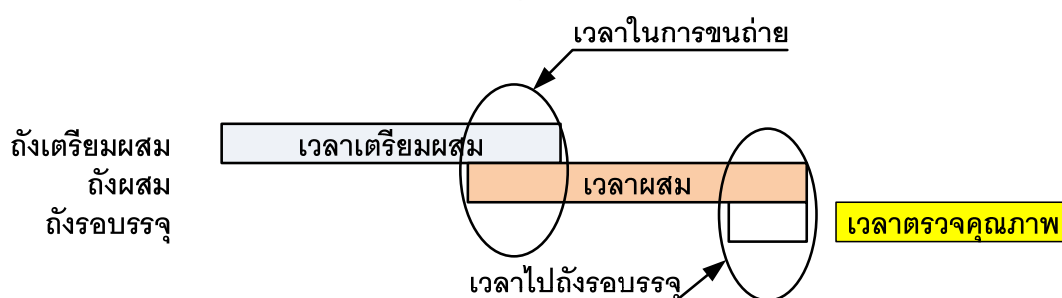
ชนิดถึงเตรียมผสม \ ชนิดถึงผสม	ถึงเตรียมผสม 1	ถึงเตรียมผสม 2	ถึงเตรียมผสม 3
ถึงผสม 1	1	0	0
ถึงผสม 2	1	0	0
ถึงผสม 3	0	1	0
ถึงผสม 4	0	1	0
ถึงผสม 5	0	0	1
ถึงผสม 6	0	0	1

- ข้อจำกัดของเครื่องบรรจุที่สามารถใช้ได้กับสินค้าต่างๆ เป็นข้อมูลที่มีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องบรรจุและชื่อสินค้า โดยเป็นข้อมูลของเวลาในการบรรจุ ถ้าในกรณีเวลาดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0 นั้นแสดงว่าเครื่องบรรจุนั้นไม่สามารถใช้ได้กับการบรรจุสินค้านั้น แต่ถ้ามากกว่า 0 แสดงว่าเครื่องบรรจุสามารถใช้ได้กับสินค้านั้น โดยใช้เวลาการบรรจุเท่ากับตัวเลขดังกล่าว ซึ่งเป็นเวลาการบรรจุของสินค้า 0.5 Batch

เวลาในการผลิต

ในการวางแผนการผลิต เวลาการผลิตถือเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณามากที่สุด เพราะจะเป็นตัวชี้วัดว่าในการวางแผนการผลิตจะมีความสำเร็จโดยมีตัวชี้วัดความสำเร็จจากเวลาที่ตอบสนองความต้องการสินค้าของลูกค้าให้ทันตามความต้องการ เวลาในการเปลี่ยนการผลิต ตลอดจนถึงเวลาในการรอคอยระหว่างกระบวนการ โดยเวลาที่เกี่ยวข้องกับการผลิตประกอบด้วย

1. เวลาในการผลิต จะประกอบด้วยเวลาที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ และเวลาขนถ่ายระหว่างกระบวนการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยเวลาในการผลิตจะถูกกำหนดจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาแต่ละกระบวนการผลิตและสูตรสินค้า และในส่วนของเครื่องบรรจุจะถูกกำหนดจากความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการบรรจุและชนิดของสินค้าตาม



รูป 5: รูปแบบเวลาการผลิตในกระบวนการผลิต

2. เวลาในการเปลี่ยนกลุ่มสินค้า จะเป็นกระบวนการที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนกลุ่มสินค้า ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ไม่เกิดมูลค่าจึงต้องพยายามควบคุมให้ใช้เวลาที่น้อยที่สุด โดยเวลาในการเปลี่ยนกลุ่มในส่วนถึงเตรียมผสมและถึงผสม คือ 47 นาที ในส่วนถึงรอบรรจุ คือ 20 นาที และเวลาในการเปลี่ยนกลุ่มในส่วนถึงรอบรรจุตามตาราง 5

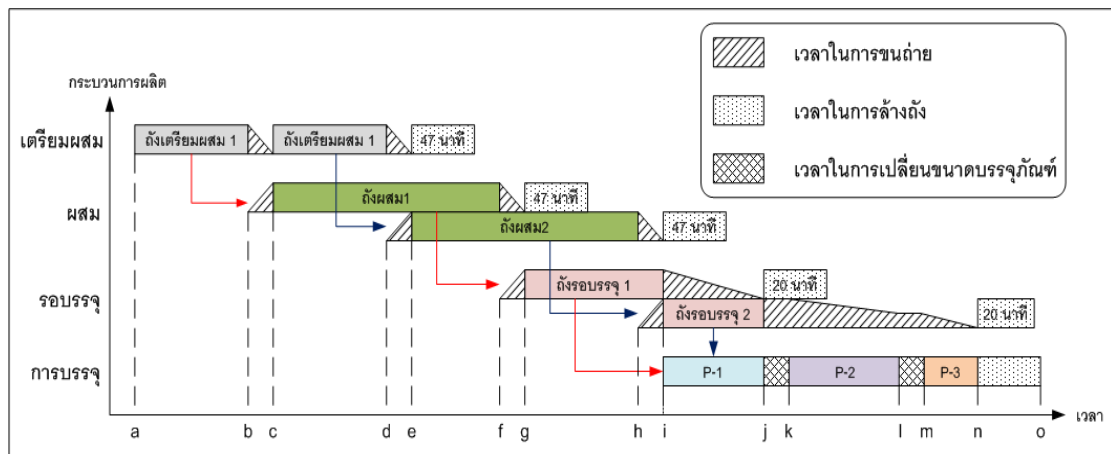
ตาราง 5: ตารางความต้องการในการล้างเมื่อมีการเปลี่ยนกลุ่มสูตรสินค้า

ชนิดการเปลี่ยน	เครื่องบรรจุ	PL-1	PL-2	PL-3	PL-4	PL-5	PL-6	PL-7
เวลาล้างถัง (นาที)		90	87	90	93	85	85	90
เวลาเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ (นาที)		27	35	33	40	30	35	40
เวลาเปลี่ยนทั้งการล้างถังและขนาดบรรจุภัณฑ์ (นาที)		105	97	106	110	95	95	108

กระบวนการผลิต

จากเส้นทางการไหลของงานที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ ในการผลิตสินค้าจะทำการผลิตตามสูตรของสินค้าก่อนแล้วค่อยแบ่งออกเป็นตามขนาดบรรจุภัณฑ์แต่การประเมินความต้องการสินค้าจะถูกกำหนดตามชนิดของสินค้า ดังนั้น การผลิตจะต้องทราบปริมาณการผลิต

โดยการรวมปริมาณความต้องการของสินค้าแต่ละชนิดที่อยู่ในสูตรสินค้าเดียวกันเข้าด้วยกันเมื่อได้ความต้องการในการผลิตแต่ละสูตรก็จะดำเนินการผลิตตามการไหลของงานผ่านสถานีงานต่างๆ ตามแผนผังการไหล ดังรูป 6 โดยการนำเสนอกระบวนการผลิตและเวลาในการผลิตซึ่งอธิบายเป็นตัวอย่างในขั้นตอนการวางแผนการผลิตของสินค้าในแต่ละสูตรตามขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูป 6: การวางแผนกระบวนการผลิตและเวลาในการผลิต

1. กระบวนการเตรียมผสมโดยใช้ทรัพยากรในการผลิต คือ ถังเตรียมผสมกระบวนการเตรียมผสมพิจารณาถึงประสิทธิภาพของทรัพยากรในการผลิตก่อนว่าเพียงพอต่อปริมาณการผลิตหรือไม่ ปัญหานี้ประสิทธิภาพของถังเตรียมผสม คือ 1 Batch ดังนั้นสามารถเตรียมผสมได้เพียงครั้งละ 1 Batch เท่านั้น ถ้ามีปริมาณความต้องการเกินกว่าถังเตรียมผสมส่วนที่เหลือต้องรอจนกว่าถังเตรียมผสมว่าง และมีข้อจำกัดในเรื่องของสูตรที่สามารถใช้ได้กับถังเตรียมผสมที่เหมาะสมเท่านั้น หลังจากนั้นก็เริ่มเตรียมผสมโดยใช้เวลาการผลิต a-b และใช้เวลา b-c ในการขนถ่ายไปสถานีงานผสมต่อไป และกลับมาผลิตในส่วนของปริมาณความต้องการที่ยังค้างอยู่โดยใช้เวลาในการผลิต c-d และใช้เวลา d-e ในการขนถ่ายไปสถานีงานผสมต่อไป เมื่อผลิตครบตามความต้องการสูตรสินค้าก็มาพิจารณาว่าสูตรสินค้าที่ทำการผสมตัวถัดไปจำเป็นต้องมีการล้างถังบรรจุหรือไม่ ตามหัวข้อที่ 3.2.4 ในเรื่องการสับเปลี่ยนการผลิตสินค้า ในกรณีที่มีการล้างถังจะต้องใช้เวลาเพิ่มอีกเฉลี่ย 47 นาที

2. กระบวนการผสมใช้ทรัพยากรในการผลิต คือ ถังผสมมีกระบวนการเริ่มจากการขนถ่ายงานจากถังเตรียมผสมใน Batch แรกที่เตรียมไว้เป็นเวลา c-d มายังถังผสม 1 แล้วทำการผสมเป็นเวลา c-f และจะถูกส่งต่อไปยังถังบรรจุ 1 โดยใช้เวลา f-g และพิจารณาว่าสูตรสินค้าที่ทำการผสมตัวถัดไปจำเป็นต้องมีการล้างถังบรรจุหรือไม่ การสับเปลี่ยนสูตรการผลิตสินค้าในกรณีที่มีการล้างถังจะต้องใช้เวลาเพิ่มอีกเฉลี่ย 47 นาที ต่อมาเกิดกระบวนการผสมในส่วน Batch ต่อมา เป็นเวลา d-e มายังถังผสม 2 แล้วทำการผสมเป็นเวลา e-h และส่งต่อไปยังถังบรรจุ 2 โดยใช้เวลา h-i แล้วพิจารณาว่าสูตรสินค้าที่จะทำการผสมตัวถัดไปจำเป็นต้องมีการล้าง

ถังบรรจุหรือไม่ ตามหัวข้อที่ 3.2.4 การเปลี่ยนสูตรการผลิตสินค้า ในกรณีที่มีการล้างถังจะต้องใช้เวลาเพิ่มอีกเฉลี่ย 47 นาที

3. กระบวนการรอบบรรจุจะใช้ทรัพยากรในการผลิต คือ ถังรอบบรรจุ โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดของทรัพยากรในการผลิตก่อนว่าสามารถผลิตได้ครั้งละ 0.5 หรือ 1 Batch แต่ในตัวอย่างนี้ให้สมมติว่าถังรอบบรรจุมีขนาด 1 Batch เริ่มการผลิตที่เวลา f-g ในการขนถ่ายเข้าถังรอบบรรจุต้องมีเวลาสำหรับใช้ควบคุมคุณภาพในถังรอบบรรจุ 1 เป็นเวลา g-h และใช้เวลา i-k ในการขนถ่ายไปสถานีงานผสมต่อไปซึ่งใช้เวลาในการล้างถังอีก 20 นาที แล้วพิจารณาใน Batch ต่อมาส่งไปยังถังรอบบรรจุ 2 โดยใช้เวลาในการขนถ่ายเข้าถังบรรจุ 2 เป็นเวลา h-i ในการขนถ่ายเข้าถังรอบบรรจุและต้องทิ้งไว้เพื่อใช้ควบคุมคุณภาพในถังรอบบรรจุ 2 เป็นเวลา g-h และใช้เวลา i-k ในการขนถ่ายไปสถานีงานผสมต่อไปโดยใช้เวลาในการล้างถังอีก 20 นาที

4. กระบวนการบรรจุ มีประสิทธิภาพในการบรรจุ 0.5 Batch มีการผลิตแบบต่อเนื่องในการเลือกเครื่องบรรจุพิจารณาจากข้อจำกัดในเรื่องการใช้เครื่องบรรจุของสินค้ากับสินค้าแต่ละชนิดและเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุดในการผลิต การขนถ่ายระหว่างกระบวนการรอบบรรจุกับบรรจุไม่คิดเวลาในการขนถ่ายเนื่องจากการเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง เริ่มจากการผลิตจาก Batch แรกจากถังรอบบรรจุ 1 โดยเวลาบรรจุเริ่มตั้งแต่ i-j และมีการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์โดยใช้เวลา j-k และเริ่มการบรรจุ Batch ต่อมาจากถังรอบบรรจุ 2 โดยทำการบรรจุเป็นเวลา k-n และมีกระบวนการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์เวลา l-m และเมื่อผลิตครบตามความต้องการสูตรสินค้าก็มาพิจารณาว่าสูตรสินค้าที่ทำการบรรจุตัวถัดไปจำเป็นต้องมีการล้างเครื่องบรรจุหรือไม่ ในกรณีที่มีการล้างถังจะต้องใช้เวลา n-o

ในกรณีที่มีทรัพยากรการผลิตในกระบวนการผลิตเดียวกัน สามารถใช้ทรัพยากรได้เหมือนกัน พิจารณาจากลำดับของทรัพยากรการผลิต เช่น สินค้า A สามารถใช้ได้กับถังผสม 1 และถังผสม 2 ในการพิจารณาเลือกถังผสม 1 เพราะอยู่ในลำดับการผลิตที่ดีกว่าถังผสม 2 เป็นต้น

การรับข้อมูลเข้าจากฐานข้อมูล

เป็นการรับข้อมูลเข้าจากฐานข้อมูลที่มา :จาก (Honkomp, Lombardo, Rosen, & Pekny, 2000, PP. 323-328) ซึ่งถูกบันทึกในโปรแกรม Microsoft Excel ที่ชื่อว่า Inputdata ซึ่งฐานข้อมูลประกอบด้วย

1. ประสิทธิภาพของแต่ละทรัพยากรการผลิต อยู่ในแผ่นงาน Equipment Sheet
2. ความสัมพันธ์ของถังเตรียมผสมกับถังผสม อยู่ในแผ่นงาน Making Systems Sheet
3. เวลาการผลิตและกลุ่มการล้างของสินค้าแต่ละสูตร อยู่ในแผ่นงาน Bulk Intermediates Sheet
4. ความสัมพันธ์ของถังผสมกับสินค้าในแต่ละสูตร อยู่ในแผ่นงาน Bulk Production Sheet
5. ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนกลุ่มการล้างของกลุ่มสินค้าหนึ่ง ไปยังอีกกลุ่มการล้างของกลุ่มสินค้าหนึ่ง อยู่ในแผ่นงาน Bulk Wash Outs Sheet

6. ความต้องการสินค้าในแต่ละสัปดาห์ของสินค้าแต่ละชนิด อยู่ในแผ่นงาน Demands Sheet

7. ความสัมพันธ์ของเวลาการบรรจุกับสินค้าชนิดต่างๆ อยู่ในแผ่นงาน Pack Times Sheet

8. ความสัมพันธ์ของเวลาในการเปลี่ยนชนิดสินค้าของแต่ละชนิดสินค้า อยู่ในแผ่นงาน Packing WO & CO Sheet.

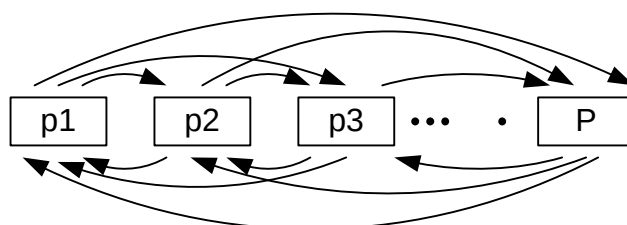
ในการสร้างฐานข้อมูลใน Microsoft Excel จะช่วยให้การจัดการข้อมูล ทั้งในแง่ของการเพิ่ม การแก้ไข การใช้ข้อมูลที่มีจำนวนมากและซับซ้อน ตลอดจนบุคลากรที่ไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญด้านโปรแกรมก็สามารถสร้างฐานข้อมูลได้ ทำให้การสร้างฐานข้อมูลทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อนถึงจะมีข้อมูลจำนวนมาก

5. การแก้ปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติก

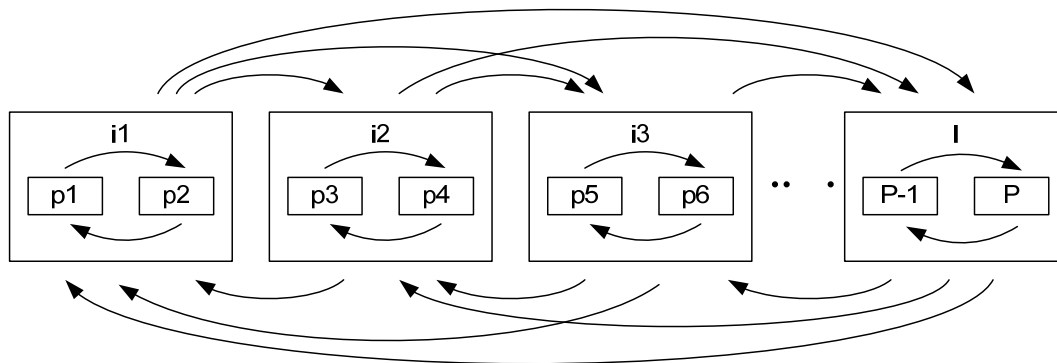
5.1 วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)

1. Solution Representation

ในการหาคำตอบจะเป็นการหาคำตอบในด้านของเวลาที่ดีที่สุดในการผลิต หรือ makespan ในหน่วยที่เป็นนาฬิกา โดยเวลาที่ได้เกิดจากการจัดลำดับการผลิตของของสูตรสินค้า / สูตร และสินค้า P ชนิด ซึ่งในการหาคำตอบในการจัดลำดับการผลิตสินค้าด้วยการสุ่มทั่วไปจะสามารถหาวิธีในการสุ่มได้ $P!$ ดังแสดงในรูป 7 โดยในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาแนวคิดในการหาคำตอบเริ่มต้นโดยทำการสุ่มลำดับการผลิตสูตรสินค้าก่อน แล้วจึงสุ่มลำดับการบรรจุสินค้าภายในสูตร P เท่านั้น ดังแสดงในรูป 8 ซึ่งจะช่วยลดวิธีในการสุ่มให้เหลือน้อยลง โดยใช้สมมติฐานที่ไม่ให้เกิดเวลาสับเปลี่ยนจากการผสมสูตรสินค้าแต่ละสูตรไม่เสร็จในครั้งเดียว เช่น ต้องการผลิตสินค้า 3 ชนิด จากสูตรสินค้า 2 ชนิด ถ้าใช้วิธีการผลิตทั่วไปมีวิธีการจัดลำดับการผลิต คือ 3! หรือ 6 วิธี แต่ถ้าใช้แนวคิดในงานวิจัยนี้จะมีวิธีการจัดเรียงแค่ 4 วิธีเท่านั้น หรือสามารถลดวิธีในการจัดเรียงได้ถึงร้อยละ 33.33



รูป 7: วิธีการจัดลำดับโดยทั่วไปในการผลิตของสินค้า P ชนิด



รูป 8:แนวคิดที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตของสูตรสินค้า I สูตร P ชนิด

2. Encoding Fitness Function

ในกระบวนการนี้ได้จากการสุ่มลำดับในการผลิตของกลุ่มสินค้าและสินค้าแต่ละชนิด และหาค่า Fitness value โดยผ่านกระบวนการผลิตที่เริ่มจากถึงเตรียมผสม ถึงผสม ถึงบรรจุ และเครื่องบรรจุ ซึ่งจากลำดับการผลิตของกลุ่มสินค้า สามารถนำมาสร้าง Schedule เพื่อคำนวณหา Makespan ซึ่งแทนค่า Fitness value ดังนี้

- หาปริมาณความต้องการของสูตรสินค้าที่ได้จากการสุ่ม จากปริมาณความต้องการสินค้าทั้งหมดในสูตรสินค้านั้น เช่น สูตรสินค้า B1-V4 มีปริมาณความต้องการสินค้า คือ B1-V4-P17 จำนวน 0.835 Batch และสินค้า B1-V4-P21 จำนวน 2.630 Batch ดังนั้น ปริมาณความต้องการของสูตรสินค้า B1-V4 คือ 3.465 Batch เป็นต้น

- เลือกถึงเตรียมผสม โดยพิจารณาจากถึงเตรียมผสมสามารถใช้ได้กับสูตรสินค้าได้หรือไม่ ถ้าเป็น 0 หมายถึง ถึงเตรียมผสมไม่สามารถใช้ได้สูตรสินค้านั้นได้ ในตรงกันข้าม ถ้าเป็น 1 หมายถึง ถึงเตรียมผสมดังกล่าวสามารถใช้ในการผลิตสูตรสินค้านั้นได้ และถึงเตรียมผสมต้องไม่ได้ผลิตสูตรสินค้าชนิดอื่นอยู่ แต่ในกรณีถึงเตรียมผสมเลือกได้มากกว่า 1 ถึง จะทำการเลือกถึงเตรียมผสมที่มีหมายเลขถึงเริ่มต้นก่อน และกรณีที่ไม่มีถึงเตรียมผสมใดว่างจะเกิดการรอคอยจนกว่าถึงเตรียมผสมสามารถใช้เตรียมผสมได้ เช่น สูตรสินค้า B1-V4 สามารถใช้ได้กับถึงเตรียมผสม 2 เป็นต้น

- การกำหนดปริมาณการผลิต ในการเตรียมผสมต้องมีปริมาณการเตรียมผสมไม่เกินประสิทธิภาพของถึงเตรียมผสมและถึงผสม ถ้าในกรณีปริมาณความต้องการสูตรสินค้ามากกว่าประสิทธิภาพของถึงเตรียมผสมและถึงผสมต้องหาถึงเตรียมผสมและถึงผสมอื่นมาช่วยในการผลิต หรือในกรณีไม่มีถึงเตรียมผสมหรือถึงผสมที่สามารถใช้ได้จะเกิดการรอคอยเกิดขึ้นจนกว่าทรัพยากรการผลิตที่ต้องการสามารถทำการผลิตได้ เช่น สูตรสินค้า B1-V4 มีความต้องการ 3.465 Batch แต่ถึงเตรียมผสมหมายเลข 2 สามารถทำการผสมได้เพียงครั้งละ 1 Batch ความต้องการสูตรสินค้า B1-V4 ยังเหลืออีก 2.465 Batch จะเกิดการรอคอยจนกว่าถึงเตรียมผสม 2 สามารถเตรียมผสมได้ เป็นต้น

- เลือกถึงผสมโดยพิจารณาจากข้อจำกัดในการขนถ่ายระหว่างถึงผสมและถึงเตรียมผสม ในตารางที่ 3 ถ้าเป็น 0 หมายถึง ถึงเตรียมผสมไม่สามารถใช้กับถึงผสมได้ ในทางตรงกันข้าม ถ้าเป็น 1 หมายถึง ถึงเตรียมผสมดังกล่าวสามารถใช้กับถึงผสมได้ และถึงเตรียมผสมที่เลือก ต้องไม่อยู่ในช่วงที่กำลังผลิตสูตรสินค้าชนิดอื่นอยู่ แต่ในกรณีถึงเตรียมผสมเลือกได้มากกว่า 1 ถึง จะทำการเลือกถึงเตรียมผสมที่มีหมายเลขถึงลำดับแรกก่อน และกรณีที่ไม่มีถึงเตรียมผสม ใดว่างจะเกิดการรอคอยจนกว่าถึงเตรียมผสมสามารถใช้ได้ เช่น สูตรสินค้า B1-V4 ถูกเตรียมผสมโดยใช้ถึงเตรียมผสม 2 แสดงว่าถึงผสมที่สามารถใช้ได้ คือ ถึงผสมหมายเลข 3 และ 4 ในกรณีที่สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ถึงให้เลือกถึงผสมที่มีหมายเลขเริ่มต้นก่อน คือ ถึงผสม หมายเลข 3 เป็นต้น

- ล้างถึงเตรียมผสม เป็นกระบวนการที่ต้องพิจารณาว่าต้องมีหรือไม่ ในระหว่าง การสับเปลี่ยนสินค้าเกิดขึ้น หากถูกพิจารณาว่าต้องมีล้างถึงเตรียมผสมก็ต้องมี การดำเนินการ ดังกล่าวเพิ่มเติม เช่น เมื่อเตรียมผสมสูตรสินค้า B1-V4 ซึ่งอยู่ในกลุ่มการล้างที่ 1 เรียบร้อย แล้ว ต้องการเตรียมผสมสูตรสินค้า B3-V13 ซึ่งอยู่ในกลุ่มการล้างที่ 3 ต่อ ซึ่งจากการ ตรวจสอบในตารางที่ 2 พบว่าต้องเพิ่มกระบวนการล้างถึงเตรียมผสม เป็นต้น

- เตรียมผสมในถึงเตรียมผสมที่เลือก โดยมีกระบวนการ คือ การเตรียมผสม และการขน ถ่ายไปยังถึง เช่น สูตรสินค้า B1-V4 ถูกเตรียมผสมด้วยถึงเตรียมผสม 2 ใช้เวลาในการเตรียม ผสม คือ 57 นาที เป็นต้น

- ล้างถึงผสม เป็นกระบวนการที่ต้องพิจารณาว่าต้องมีหรือไม่ ในระหว่างที่เกิดการ สับเปลี่ยนสินค้า หากถูกพิจารณาว่าต้องมีต้องมีการกระบวนการล้างถึงผสมก็ต้องมี การดำเนินการ ดังกล่าวเพิ่มเติมเพิ่มเติม เช่น เมื่อผสมสูตรสินค้า B1-V4 ซึ่งอยู่ในกลุ่มการล้างที่ 1 เรียบร้อย แล้ว ต้องการผสมสูตรสินค้า B3-V13 ซึ่งอยู่ในกลุ่มการล้างที่ 3 ต่อ ซึ่งจากการตรวจสอบใน ตารางที่ 2 พบว่าต้องเพิ่มกระบวนการล้างถึงผสม เป็นต้น

- การผสมในถึงผสมที่เลือก โดยมีกระบวนการ คือ การขนถ่ายจากถึงเตรียมผสมการ ผสม และการสูบไปยังถึงรอบรรจุ โดยใช้เวลาในการผลิตตามภาคผนวก ค เช่น สูตรสินค้า B1-V4 ถูกผสมด้วยถึงผสม 3 ใช้เวลาในการผสม คือ 118 นาที เป็นต้น

- เลือกถึงรอบรรจุ โดยพิจารณาจากถึงรอบรรจุที่เลือกต้องไม่ได้ผลิตสูตรสินค้าชนิดอื่นอยู่ แต่ในกรณีถึงรอบรรจุเลือกได้มากกว่า 1 ถึง จะทำการเลือกถึงรอบรรจุที่มีลำดับแรกก่อน และ กรณีที่ไม่มีถึงรอบรรจุใดว่างจะเกิดการรอคอยจนกว่าถึงเตรียมผสมจะสามารถใช้ได้ เช่น สูตร สินค้า B1-V4 สามารถเลือกถึงรอบรรจุได้ตั้งแต่ถึงรอบรรจุหมายเลข 1-80 ซึ่งในกรณีที่เลือกถึง รอบรรจุได้มากกว่า 1 ถึงให้เลือกถึงรอบรรจุที่มีหมายเลขลำดับแรก คือ ถึงรอบรรจุหมายเลข 1 เป็นต้น

- ล้างถึงรอบรรจุ เป็นกระบวนการที่ต้องพิจารณาว่าต้องมีหรือไม่ ในระหว่างที่เกิดการ สับเปลี่ยนสินค้า หากถูกพิจารณาว่าต้องมีต้องมีการกระบวนการล้างถึงรอบรรจุก็ต้องมี การดำเนินการดังกล่าวเพิ่มเติมเพิ่มเติม เช่น เมื่อสูตรสินค้า B1-V4 ถูกส่งไปยังเครื่องบรรจุทั้ง หมดแล้ว ซึ่งอยู่ในกลุ่มการล้างที่ 1 และต้องการรอบรรจุสูตรสินค้า B3-V13 ต่อ ซึ่งอยู่ในกลุ่ม

การล้างที่ 3 ซึ่งจากการตรวจสอบในตารางที่ 2 พบว่าต้องเพิ่มกระบวนการล้างถึงรอบบรรจุ เป็นต้น

- การกำหนดปริมาณในกระบวนการบรรจุ ซึ่งในการบรรจุต้องมีปริมาณสูตรสินค้าที่บรรจุไม่เกินประสิทธิภาพของถังบรรจุในตารางที่ 1 ถ้าในกรณีปริมาณสูตรสินค้ามากกว่าประสิทธิภาพของถังบรรจุ ปริมาณความต้องการที่มากกว่าประสิทธิภาพของทรัพยากรการผลิตต้องหาทรัพยากรการผลิตอื่นในกระบวนการเดียวกัน ในกรณีที่ไม่มีทรัพยากรที่ผลิตได้ จะเกิดการรอคอยเกิดขึ้นจนกว่าทรัพยากรการผลิตที่สามารถใช้ได้ว่าง เช่น สูตรสินค้า B1-V4 ถูกผสมจากถังผสมหมายเลข 3 แสดงว่าปริมาณสูตรสินค้าสำหรับบรรจุก็เท่ากับ 1 Batch ซึ่งสามารถใช้ถังบรรจุหมายเลข 1 ได้ เนื่องจากถังบรรจุหมายเลข 1 มีประสิทธิภาพของถังเท่ากับ 1 Batch ซึ่งเป็นปริมาณในกระบวนการบรรจุดังกล่าว เป็นต้น

- การบรรจุ เป็นกระบวนการในถังบรรจุ โดยมีกระบวนการ คือ การสูบล้างถังบรรจุ และการตรวจสอบคุณภาพ เช่น สูตรสินค้า B1-V4 บรรจุโดยใช้เวลาในการตรวจสอบคุณภาพก่อนบรรจุ คือ 45 นาที เป็นต้น

- สุ่มลำดับการผลิตสินค้าหรือสุ่มการบรรจุขนาดบรรจุภัณฑ์ โดยขนาดบรรจุภัณฑ์ที่สุ่มต้องเป็นขนาดบรรจุภัณฑ์ที่มีในสูตรสินค้าที่เลือก และในการสุ่มขนาดบรรจุภัณฑ์เป็นการสุ่มการบรรจุแบบไม่ซ้ำ เช่น สุ่มลำดับการบรรจุของสูตรสินค้า B1-V4 ได้ลำดับการผลิตสินค้า คือ B1-V4-P17 สินค้าชนิดนี้จะไม่สามารถสุ่มซ้ำได้เพราะบรรจุตามความต้องการสินค้าเรียบร้อยแล้ว เป็นต้น

- เลือกเครื่องบรรจุ โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องบรรจุและชนิดสินค้า ถ้าเป็น 0 หมายถึง เครื่องบรรจุไม่สามารถใช้กับสินค้าชนิดนั้นได้ ในตรงกันข้าม ถ้ามากกว่า 1 หมายถึง เครื่องบรรจุดังกล่าวสามารถใช้กับสินค้านั้นได้ และเครื่องบรรจุที่เลือกต้องไม่ได้รับการผลิตสูตรสินค้าชนิดอื่นอยู่ แต่ในกรณีเครื่องบรรจุเลือกได้มากกว่า 1 เครื่อง จะทำการเลือกเครื่องบรรจุที่มีเวลาการบรรจุน้อยสุด และกรณีที่ไม่มีเครื่องบรรจุใดว่างจะเกิดการรอคอยจนกว่าเครื่องบรรจุจะสามารถใช้ได้ เช่น สินค้า B1-V4-P17 ใช้ได้กับเครื่องบรรจุหมายเลข 4 เท่านั้น เป็นต้น

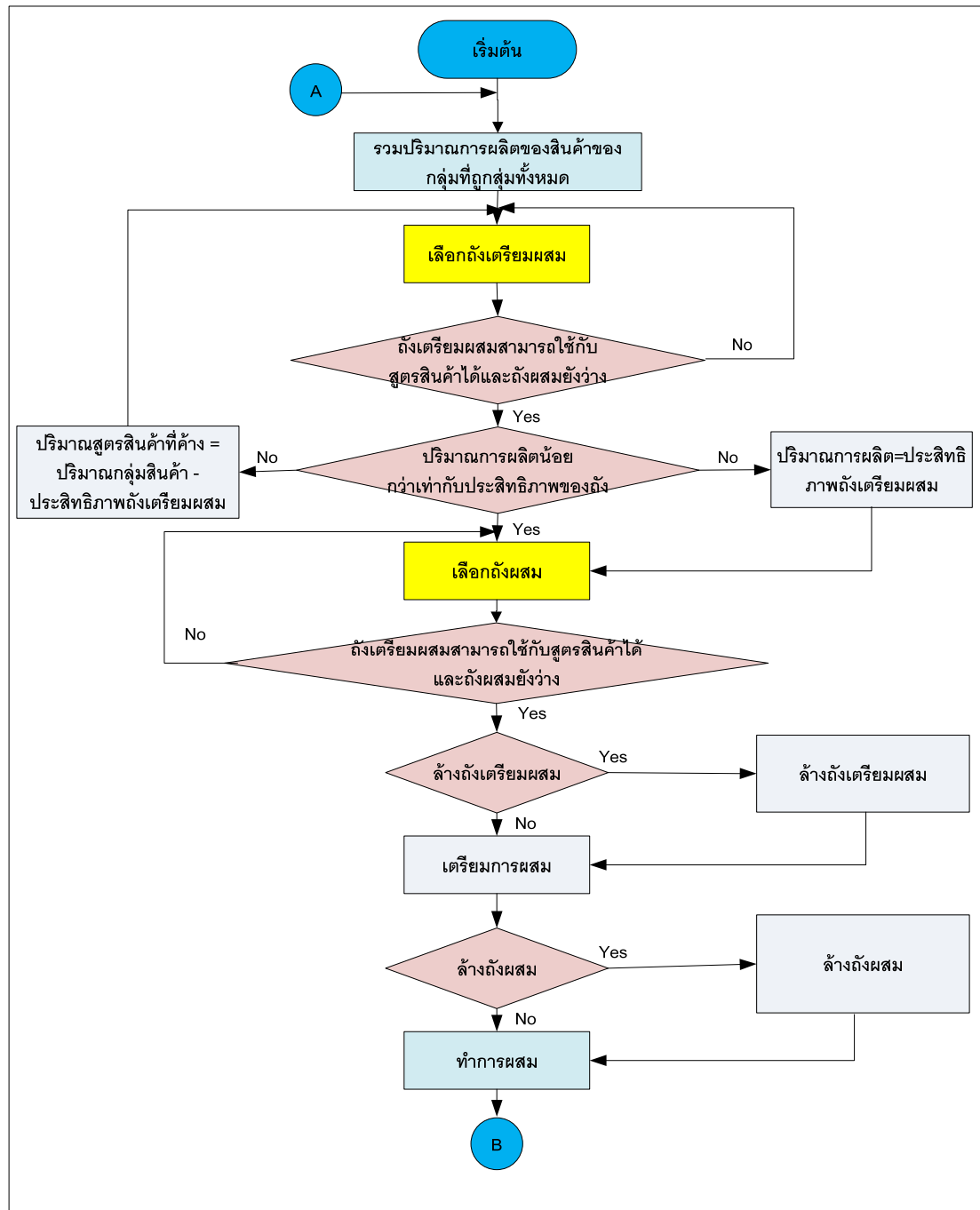
- การสับเปลี่ยนสินค้า เป็นกระบวนการที่ต้องพิจารณาว่าต้องมีหรือไม่ ในระหว่างเกิดการสับเปลี่ยนสินค้า หากถูกพิจารณาว่าต้องมีกระบวนการล้างถังบรรจุก็ต้องมีการดำเนินการดังกล่าวเพิ่มเติมเพิ่มเติม เช่น เมื่อบรรจุสินค้า B1-V4-P17 เสร็จแล้ว แล้วในกรณีที่ไม่สามารถใช้เครื่องบรรจุหมายเลข 4 เท่านั้น ต้องเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนขนาดบรรจุโดยใช้เวลาเพิ่มในการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ โดยใช้เวลาเพิ่มอีก 40 นาที เป็นต้น

- การบรรจุสินค้าในบรรจุภัณฑ์ในเครื่องบรรจุที่เลือก โดยมีกระบวนการ คือ การบรรจุสินค้าในบรรจุภัณฑ์ที่ได้จากการสุ่ม โดยใช้เวลาในการผลิตตามภาคผนวก จ แต่เวลาสำหรับการบรรจุเพียง 0.5 Batch เท่านั้น ในกรณีที่มีการบรรจุที่ไม่เท่ากับ 0.5 Batch จะมีการปรับเวลาการบรรจุตามปริมาณการบรรจุ เช่น บรรจุสินค้า B1-V4-P17 ซึ่งมีปริมาณความต้องการสินค้า 0.835 Batch เช่น เวลาในการบรรจุสินค้าของเครื่องบรรจุหมายเลข 4 ของสินค้า 0.5

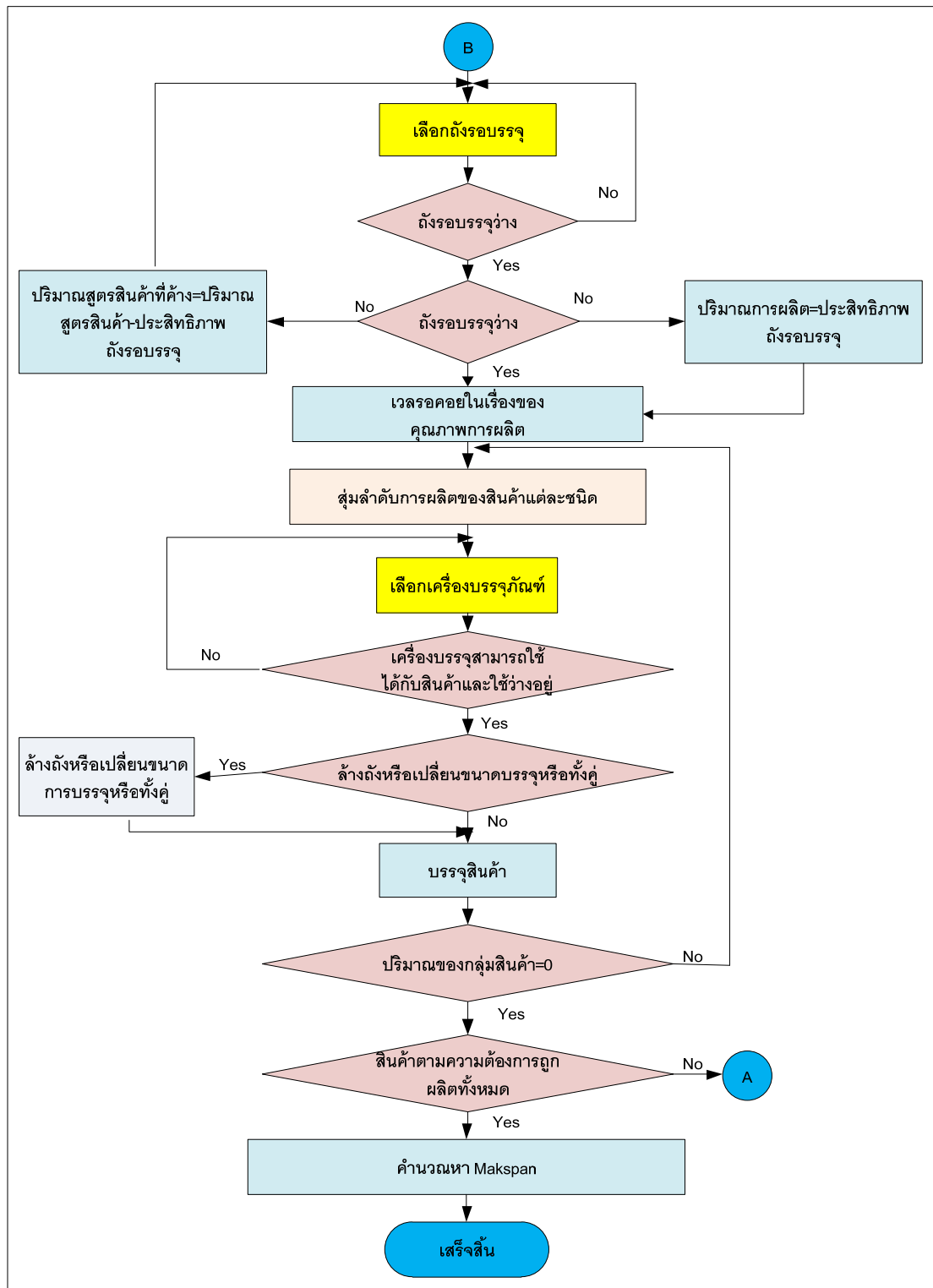
Batch มีค่าเท่ากับ 79.5 นาที ดังนั้นถ้าต้องการบรรจุสินค้า 0.835 Batch ต้องใช้เวลาเท่ากับ 132.765 นาที เป็นต้น

- นำเวลาการผลิตรวม (Makespan) มาใช้เป็นค่าของฟังก์ชันสำรวจ

จากรายละเอียดด้านบนในการหาคำตอบเริ่มต้นสามารถสรุปได้ตามแผนภาพดังรูป 9



รูป 9: แผนผังขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้น



รูป 9: แผนผังขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้น (ต่อ)

3. ขั้นตอนการแก้ปัญหา

ระเบียบวิธีการดำเนินการวิธี GA (Holland, 1975) แสดงไว้ในภาพที่ 9 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากรเริ่มต้นในรูปของโครโมโซม (ชุดคำตอบ หรือ Configuration) โดยการสุ่มเลือกจากประชากรต้นแบบ (ข้อมูลทั้งหมด) ดังนั้น รูปแบบของโครโมโซมจะขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นส่วนประกอบและจำนวนบิต

โดยกำหนดให้คำตอบเริ่มต้นสำหรับปัญหา Make-pack (Population size) และจำนวนรอบในการรัน (Number of iterations) มีสองชุดคือ

1. Population size = 200, Number of Iterations = 100
2. Population size = 100, Number of Iterations = 200

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์หาค่าฟังก์ชันความเหมาะสม ของแต่ละโครโมโซม ในที่นี้คือ ค่า Makespan

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือก (Selection) อ้างอิงจากค่าฟังก์ชันความเหมาะสม โดยพิจารณาว่าโครโมโซมใด (ค่าอัตราผลผลิต) มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่ดี จะถูกกำหนดน้ำหนักความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกแต่ละครั้งสูง ได้ศึกษาสองวิธีการคือ

1. Ranked-based roulette wheel selection (RRWS) Jadann et al. (2008) และ Razali and Geraghty (2011) พบว่าวิธี RRWS ให้ผลที่ดีกว่าวิธี Roulette wheel selection แบบทั่วไป โดยกำหนดอันดับ (Rank) ตามสมการ $Rank = 2 - SP + (2*(SP-1)*(Pos-1)/(n-1))$ โดย SP แทนค่า Selective Pressure ระหว่าง 1.1 – 2 โดยได้กำหนดให้เท่ากับ 1.1 ในงานวิจัยนี้ n แทนจำนวนประชากร และ Pos แทนตำแหน่งของโครโมโซมจากการเรียงตาม Fitness value โดยโครโมโซมที่ดีที่สุดจะมีค่า Pos เท่ากับ n

2. Roulette wheel selection (RWS) เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยสำหรับปัญหา Maximization problem จะกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกแต่ละโครโมโซมจาก $F_i / \sum F_i$ โดยให้ F_i แทนค่า Fitness value ของแต่ละโครโมโซม ดังนั้นโครโมโซมที่มีค่า Fitness value สูงจะมีโอกาสในการเลือกในการ Crossover และ Mutation สูงกว่าโครโมโซมอื่น สำหรับปัญหา Minimization สามารถปรับมาใช้ได้โดยแทนความน่าจะเป็นด้วย $\bar{F}_i / \sum \bar{F}_i$ โดย $\bar{F}_i = \text{Max } F_i - F_i$

ขั้นตอนที่ 4 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) ทำโดยการกำหนดค่าสุ่มให้แก่โครโมโซมที่ถูกเลือกมาทั้งหมด โครโมโซมใดที่มีค่าสุ่มน้อยกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ จะถูกนำไปจับคู่เป็นโครโมโซมพ่อแม่ แล้วมีการแลกเปลี่ยนบางส่วนของโครโมโซมทั้งสองเพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นลูก

ได้ศึกษาสองวิธีการคือ

1. Union crossover โดยอ้างอิงจากผลการวิจัยของ Poon and Carter (1995) ซึ่งแสดงว่าวิธีการ Crossover แบบ ดังกล่าวให้ผลการหาคำตอบที่ดีสำหรับปัญหาที่มีลักษณะการจัดเรียงโดยมีวิธีการดังนี้ หากให้ Parent 1 มีลำดับเป็น 5 1 3 2 6 4 และ Parent 2 มีลำดับเป็น 2 4 1 6 3 5 และเลือกลำดับอย่างสุ่มจาก Parent 1 ได้สามค่า คือ 4 1 6 ซึ่งแทนด้วย S1 และให้ S2

เป็นค่าที่เหลือใน Parent 1 ตามลำดับที่เจอ คือ 5 3 2 หลังจากนั้น Offspring จะเกิดจากการสุ่มลำดับจาก S1 หรือ S2 สมมติให้ สุ่มได้จาก S2 S2 S1 S1 S1 S2 จะได้ Offspring เป็น 5 3 4 1 6 2

2. Order-based crossover โดยอ้างอิงจากผลการวิจัยของ Larranga et al. (1996) ซึ่งแสดงว่าวิธีการ Crossover แบบ ดังกล่าวให้ผลการหาคำตอบที่ดี หากให้ Parent 1 มีลำดับเป็น 1 2 3 4 5 6 7 8 และ Parent 2 มีลำดับเป็น 2 4 6 8 7 5 3 1 และสมมติว่าได้สุ่มเลือกตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 ใน Parent 2 ซึ่งแทนค่า 4 6 5 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในลำดับที่ 4 5 6 ของ Parent 1 สำหรับ Offspring แรกจะมีค่าเท่ากับ Parent 1 ยกเว้นค่าในลำดับที่ 4 5 6 คือ 1 2 3 * * * 7 8 9 และแทน * * * ด้วยค่าที่เกิดขึ้นใน Parent 2 ตามลำดับที่ได้ ดังนั้น Offspring มีค่าเท่ากับ 1 2 3 4 6 5 7 8 หากทำการสลับ Parent 1 และ Parent 2 จะได้ Offspring อีกตัวที่มีค่าเท่ากับ 2 4 3 8 7 5 6 1

ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์ (Mutation) ทำโดยการเปลี่ยนค่าของโครโมโซมบางตำแหน่งเป็นค่าใหม่ในตำแหน่งที่สุ่มได้ ตามอัตราความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ได้ศึกษาสองวิธีคือ

1. Inverse mutation (Fogel, 1990) เกิดจากการเลือกตำแหน่งของลำดับสินค้าอย่างสุ่ม 2 ตำแหน่งแล้วสลับการผลิตสินค้าของสองตำแหน่งที่เลือกมาได้ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้ายที่เลือกมาจากหน้ามาหลังทั้งหมด เช่น หากลำดับในการผลิตสินค้าคือ 1 2 3 4 5 และได้สุ่มเลือกตำแหน่งที่ 1 และ 4 Offspring ที่ได้จะเป็นลำดับ 4 3 2 1 5

2. Exchange mutation (Banzhaf, 1990) เกิดจากการเลือกตำแหน่งของลำดับสินค้าอย่างสุ่ม 2 ตำแหน่งแล้วสลับการผลิตสินค้าของสองตำแหน่งที่เลือกมาได้ เช่น หากลำดับในการผลิตสินค้าคือ 1 2 3 4 5 และได้สุ่มเลือกตำแหน่งที่ 1 และ 3 Offspring ที่ได้จะเป็นลำดับ 3 2 1 4 5

ขั้นตอนที่ 6 แทนที่ประชากร (Replacement) ประชากรรุ่นใหม่ เป็นชุดโครโมโซมลูกที่เกิดจากขั้นตอนวิวัฒนาการต่างๆ ข้างต้น จะถูกนำไปแทนที่ประชากรรุ่นก่อนหน้า และถูกนำไปเข้ากระบวนการวิวัฒนาการใหม่ โดยกระบวนการต่างๆ จะถูกปฏิบัติซ้ำๆ จนกระทั่งถึงรุ่นที่ต้องการสำหรับจำนวน Offspring ที่เกิดจากการ Crossover และ Mutation นั้นขึ้นอยู่กับ

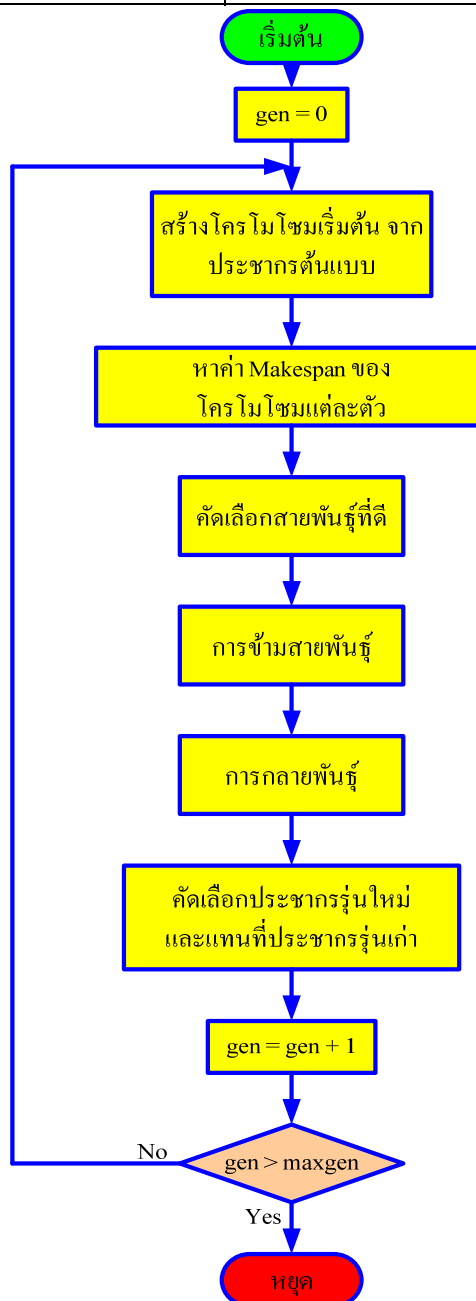
Crossover Probability (P_{Cross}) และ Mutation Probability (P_{Mutation}) โดย #Offspring จาก Crossover เท่ากับ $\text{Population Size} * P_{\text{Cross}}$ และ #Offspring จาก Mutation เท่ากับ $\text{Population Size} * P_{\text{Mutation}}$ โดยงานวิจัยนี้ศึกษาค่าความน่าจะเป็นของการ Crossover และ Mutation 2 ทางเลือกดังนี้

1. $P_{\text{Cross}} = 0.8$, $P_{\text{Mutation}} = 0.2$
2. $P_{\text{Cross}} = 0.9$, $P_{\text{Mutation}} = 0.1$

ดังนั้นจากตาราง 6 จึงศึกษาการประยุกต์ใช้วิธี GA สำหรับปัญหา Makepack โดยการเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ได้ทั้งหมด $2^5 = 32$ วิธี

ตาราง 6: สรุปค่า Parameter Setting ของการแก้ปัญหาด้วยวิธี GA

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับของปัจจัย	จำนวนระดับ
Population size/Number of iteration	100/200, 200/100	2
Selection Type	RRWS/RWS (1,2)	2
Crossover Type	Union/Order (1,2)	2
Mutation Type	Inverse/Exchange	2
Crossover/mutation probability	0.8/0.2, 0.9/0.1	2



รูป 10: ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีจินเนติกอัลกอริทึม

ผลการทดลอง

การทดลองทั้งหมดใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา Lenovo รุ่น G570 ที่มี CPU แบบ 2nd generation Intel Core i5-2430M Processor (2.40GHz 1333MHz 3MB) และหน่วยความจำทั้งหมด 8GB

ปัญหาขนาดเล็ก

1. ข้อมูลความต้องการสินค้าและเวลาในการบรรจุภัณฑ์ของสินค้าแต่ละชนิด ซึ่งมีข้อมูลประกอบด้วย ชื่อสูตรสินค้า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ ปริมาณความต้องการสินค้าในหน่วย Batch และเวลาในการบรรจุของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละเครื่องบรรจุในหน่วยนาที่ ดังตาราง 7

ตาราง 7: ความต้องการสินค้าและเวลาในการบรรจุภัณฑ์ของกรณีศึกษาขนาดเล็ก

ชื่อสูตรสินค้า	ชนิดบรรจุภัณฑ์	กลุ่มสินค้าที่	ความต้องการสินค้า (Batch)	เวลาการบรรจุ (นาที่)	
				เครื่องบรรจุ 1	เครื่องบรรจุ 2
P1	A	1, 2	10	73	63
P2	B	3, 4	10	97.5	84
P3	B	5, 6	10	97.5	95
P3	C	7, 8, 9, 10	20	75	58.5
P4	D	11, 12	10	152.5	-

2. ข้อมูลจำนวนและประสิทธิภาพทรัพยากรการผลิตที่ประกอบด้วย สัญลักษณ์แทนทรัพยากรการผลิต ชื่อทรัพยากรการผลิต จำนวนของทรัพยากรการผลิต ประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละทรัพยากรการผลิตในหน่วย Batch และลักษณะการผลิตว่าเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง (การผลิตที่สามารถผลิตต่อกันระหว่าง Batch โดยไม่ต้องเพิ่มเวลาการขนถ่าย) หรือการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (การผลิตที่ไม่สามารถผลิตต่อกันระหว่าง Batch โดยต้องเพิ่มเวลาการขนถ่าย) ดังตาราง 8

ตาราง 8: จำนวนและประสิทธิภาพสูงสุดของทรัพยากรการผลิตในกรณีศึกษาขนาดเล็ก

สัญลักษณ์	ชื่อทรัพยากร	จำนวน	ประสิทธิภาพสูงสุด (Batch)	ลักษณะการผลิต
PM	ถังเตรียมผสม	1	10	ไม่ต่อเนื่อง
MM	ถังผสม	2	10	ไม่ต่อเนื่อง
ST	ถังรอบรรจุ	1	10	ไม่ต่อเนื่อง
		2	5	ไม่ต่อเนื่อง
PL	เครื่องบรรจุ	2	5	ต่อเนื่อง

3. ข้อมูลการผลิตที่ประกอบด้วย ชื่อสูตรสินค้า กลุ่มการล้างของแต่ละสูตรสินค้า ถึงผลผลิตที่สามารถใช้ได้ เวลาการเตรียมการผสมในหน่วยนาฬิกา เวลาในการขนถ่ายในหน่วยนาฬิกา เวลาผสมในหน่วยนาฬิกา เวลาไปยังถังรอบรรจุในหน่วยนาฬิกา และเวลาในการตรวจสอบคุณภาพสินค้าในหน่วยนาฬิกา ดังตารางที่ 9

ตาราง 9: ข้อมูลการผลิตในกรณีศึกษาขนาดเล็ก

ชื่อสูตรสินค้า	กลุ่มการล้าง	ถึงผลผลิตที่ได้	กลุ่มสูตรสินค้าที่	เวลาเตรียมผสม (นาฬิกา)	เวลาในการขนถ่าย(นาฬิกา)	เวลาผสม (นาฬิกา)	เวลาไปยังถังรอบรรจุ (นาฬิกา)	เวลาตรวจคุณภาพ (นาฬิกา)
P1	WF 1	MM1, MM2	1	57	11	118	18	45
P2	WF 2	MM1, MM2	2	81	17	91	18	45
P3	WF 3	MM1, MM2	3, 4, 5	117	13	184	28	45
P4	WF 2	MM1, MM2	6	-	-	269	28	45

4. การสับเปลี่ยนสินค้านั้นระหว่างการผลิต มีความแตกต่างกับปัญหาขนาดใหญ่หรือปัญหาจริง คือ เรื่องการล้างถังจะมีเพียงกลุ่มการล้างเพียง 3 กลุ่มเท่านั้น โดยมีความต้องการในการล้างถังในการเปลี่ยนกลุ่มการล้างดังตารางที่ 4 และใช้เวลาในการสับเปลี่ยนสินค้านั้นดังตาราง 10

ตาราง 10: ความต้องการในการล้างในการเปลี่ยนกลุ่มสูตรสินค้าในกรณีศึกษาขนาดเล็ก

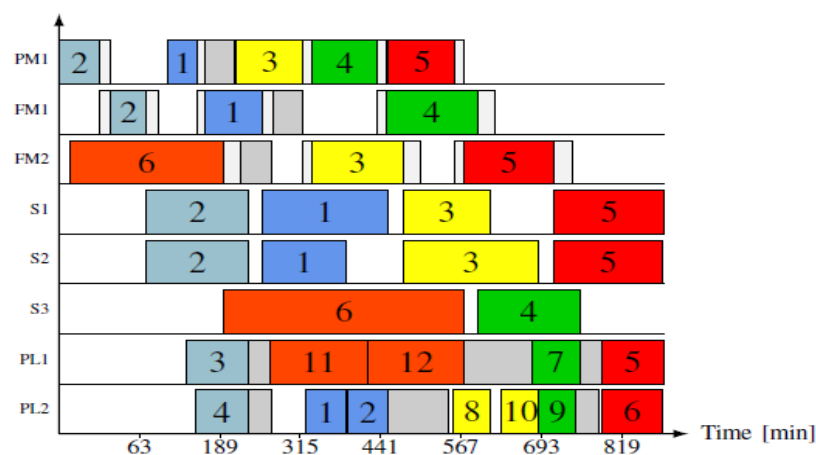
กลุ่มการล้าง	ไป WF 1	ไป WF 2	ไป WF 3
จาก WF 1	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ต้องการ
จาก WF 2	ต้องการ	ไม่ต้องการ	ต้องการ
จาก WF 3	ไม่ต้องการ	ต้องการ	ไม่ต้องการ

ตาราง 11: การสับเปลี่ยนสินค้าในกรณีศึกษาขนาดเล็ก

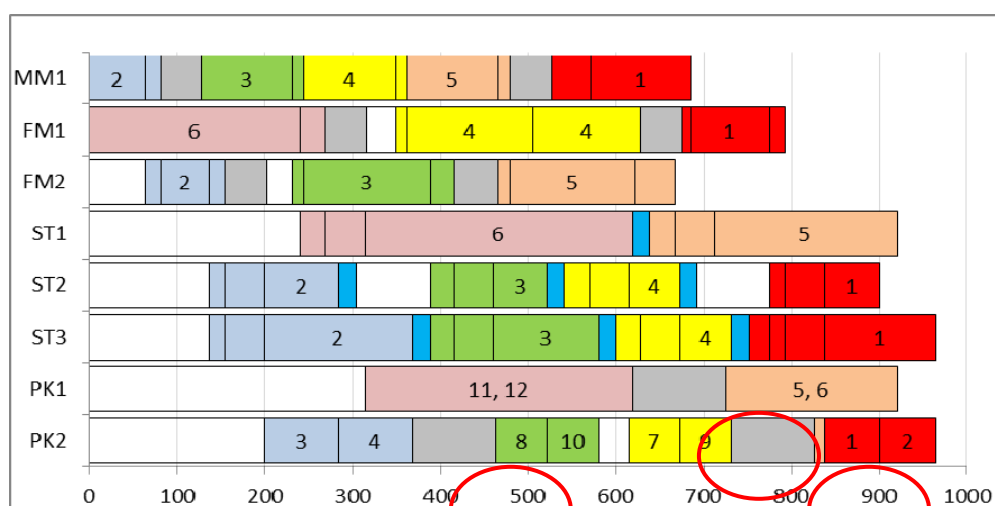
ชนิดการเปลี่ยน	เครื่องบรรจุ	เครื่องบรรจุ 1	เครื่องบรรจุ 2
เวลาล้างถัง (นาฬิกา)		90	85
เวลาเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ (นาฬิกา)		33	35
เวลาเปลี่ยนทั้งการล้างถังและขนาดบรรจุภัณฑ์ (นาฬิกา)		106	95

ข้อมูลของปัญหานั้นขนาดเล็กนำมาจาก Baumann and Trautmann (2010) ซึ่งได้ค่า Makespan เท่ากับ 1026 นาฬิกา โดยใช้เวลาในการหาคำตอบ 18.344 วินาทีบนเครื่องคอมพิวเตอร์ 3 GHz Intel Core 2 Quad PC และ 8 GB Ram ด้วย AMPL และ Gurobi Mixed-Integer Optimization 3.0 ซึ่งถัดมา Baumann and Trautmann (2011) ได้เสนอวิธี

Heuristic Decomposition ร่วมกับ Linear Programming และได้พัฒนาคำตอบเป็น 947 นาที แต่ไม่ได้ระบุเวลาในการหาคำตอบ โดยคำตอบดังกล่าวมีลักษณะคำตอบดังรูป 11 ส่วนคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธี GA ที่นำเสนอมีค่า Makespan 964 นาทีหรือสูงกว่าคำตอบของ Baumann and Trautmann (2011) อยู่ 1.8% แต่ใช้เวลาหาคำตอบเพียง 1.8 วินาที และใช้เวลาในการอ่านข้อมูลจาก Microsoft Excel 13.49 วินาที อย่างไรก็ตามคำตอบของ Baumann and Trautmann (2011) มี Changeover ในการบรรจุทั้งหมด 6 ครั้ง เป็นการเปลี่ยน Pack Size 4 ครั้ง และเปลี่ยน Product Family และ Pack Size 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 304 นาที แต่คำตอบจากวิธี GA มี Changeover ทั้งหมดเพียง 3 ครั้ง เป็นการเปลี่ยน Product Family และ Pack Size 3 ครั้ง รวมทั้งหมด 296 นาที



รูป 11: คำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาดเล็ก
ที่มา: Baumann and Trautmann (2011)



รูป 12: คำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาดเล็กด้วยวิธี GA

ปัญหาขนาดใหญ่

ทดลองวิธี GA กับปัญหาขนาดใหญ่จาก Honkomp et al. (2000) โดยทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ทั้งหมด 32 วิธีการทดลองตามข้อมูลในตาราง 12

ตาราง 12: การทดลอง Parameter Setting ของวิธี GA

	popSize	nIteration	selectType	crossType	mutateType	probCross	probMutate
1	100	200	1	1	1	0.8	0.2
2	100	200	1	1	1	0.9	0.1
3	100	200	1	1	2	0.8	0.2
4	100	200	1	1	2	0.9	0.1
5	100	200	1	2	1	0.8	0.2
6	100	200	1	2	1	0.9	0.1
7	100	200	1	2	2	0.8	0.2
8	100	200	1	2	2	0.9	0.1
9	100	200	2	1	1	0.8	0.2
10	100	200	2	1	1	0.9	0.1
11	100	200	2	1	2	0.8	0.2
12	100	200	2	1	2	0.9	0.1
13	100	200	2	2	1	0.8	0.2
14	100	200	2	2	1	0.9	0.1
15	100	200	2	2	2	0.8	0.2
16	100	200	2	2	2	0.9	0.1
17	200	100	1	1	1	0.8	0.2
18	200	100	1	1	1	0.9	0.1
19	200	100	1	1	2	0.8	0.2
20	200	100	1	1	2	0.9	0.1
21	200	100	1	2	1	0.8	0.2
22	200	100	1	2	1	0.9	0.1
23	200	100	1	2	2	0.8	0.2
24	200	100	1	2	2	0.9	0.1
25	200	100	2	1	1	0.8	0.2
26	200	100	2	1	1	0.9	0.1
27	200	100	2	1	2	0.8	0.2
28	200	100	2	1	2	0.9	0.1
29	200	100	2	2	1	0.8	0.2
30	200	100	2	2	1	0.9	0.1
31	200	100	2	2	2	0.8	0.2
32	200	100	2	2	2	0.9	0.1

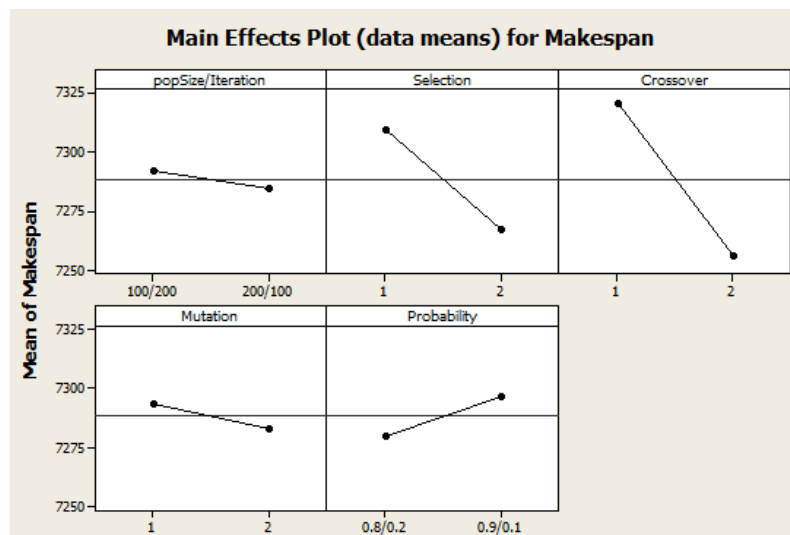
จากการทดลองทั้งหมด $32 \times 5 = 160$ ครั้ง ผลลัพธ์ที่ได้ถูกวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab และได้ผลดังนี้

Factorial Fit: Makespan versus popSize/Iteration, Selection, ...

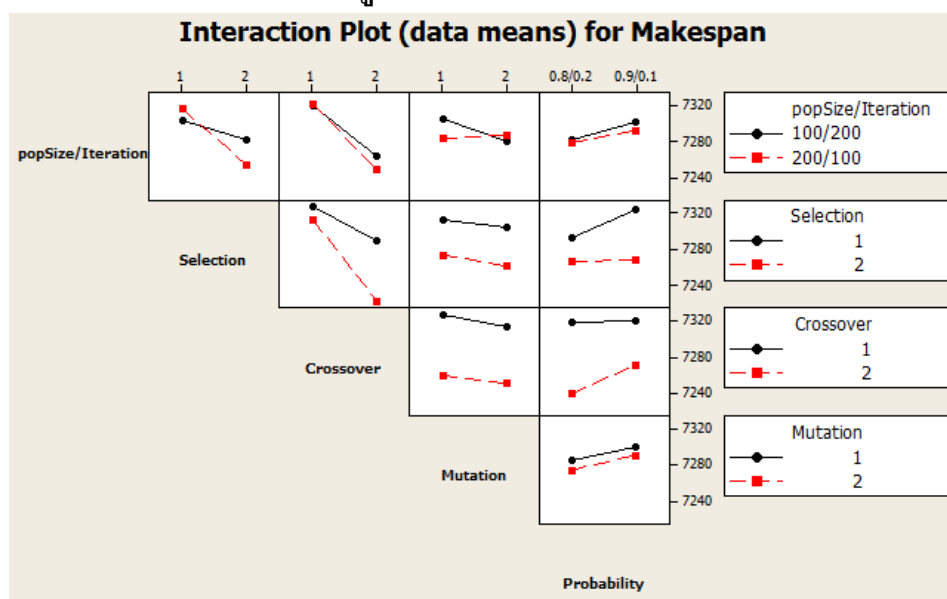
Estimated Effects and Coefficients for Makespan (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		7288.21	2.063	3533.20	0.000
popSize/Iteration	-7.00	-3.50	2.063	-1.70	0.092
Selection	-41.58	-20.79	2.063	-10.08	0.000
Crossover	-64.54	-32.27	2.063	-15.64	0.000
Mutation	-10.58	-5.29	2.063	-2.56	0.011
Probability	16.39	8.19	2.063	3.97	0.000
popSize/Iteration*Selection	-20.56	-10.28	2.063	-4.98	0.000
popSize/Iteration*Crossover	-8.30	-4.15	2.063	-2.01	0.046
popSize/Iteration*Mutation	14.41	7.20	2.063	3.49	0.001
popSize/Iteration*Probability	-3.39	-1.70	2.063	-0.82	0.412
Selection*Crossover	-26.99	-13.49	2.063	-6.54	0.000
Selection*Mutation	-1.97	-0.98	2.063	-0.48	0.634
Selection*Probability	-14.27	-7.14	2.063	-3.46	0.001
Crossover*Mutation	2.08	1.04	2.063	0.50	0.615
Crossover*Probability	15.52	7.76	2.063	3.76	0.000

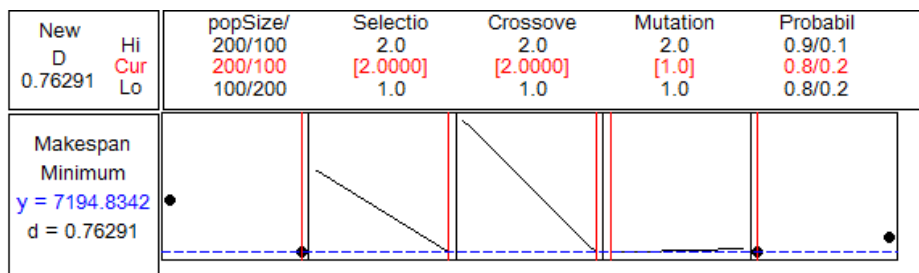
รูป 13: ค่า p-value ของ Main effect และ Interaction effect



รูป 14: Main Effect Plot



รูป 15: Interaction Effect Plot

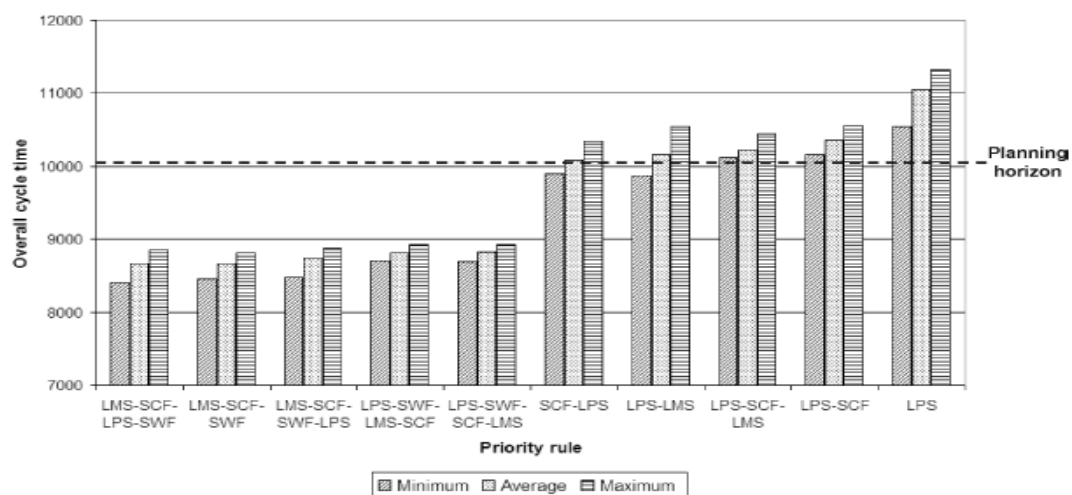


รูป 16: Response Optimizer Result

ดังนั้นค่าที่ดีที่สุดคือ Population Size = 200, Number of Iteration = 100, Selection Type = 2 หรือ RWS, Crossover Type = 2 หรือแบบ Order-based crossover, Mutation Type = 1 หรือ Inverse Mutation และเลือก Crossover probability $r = 0.8$ และ Mutation probability = 0.2 โดยจากการรันซ้ำ 30 ครั้ง ได้ผลดังนี้

ตาราง 13: การทดลองของวิธี GA

	Makespan (minute)
Minimum	7,290.63
Maximum	7,464.27
Average	7,382.1
Standard Deviation	47.99



รูป 17: คำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาดใหญ่โดยใช้ข้อมูลความต้องการในอาทิตย์ที่ 1

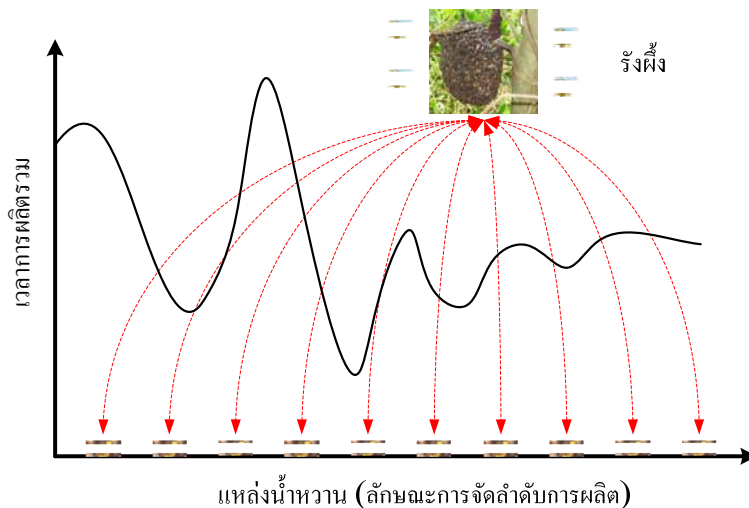
ที่มา: Fundeling and Trautmann (2006)

ซึ่งเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จาก Funderling and Trautmann (2006) ซึ่งคำตอบที่น้อยที่สุดอย่างน้อย 8,000 นาที พบว่าผลลัพธ์จากวิธี GA ให้ Makespan ที่ดีกว่าอย่างน้อย 10% โดยใช้เวลาหาคำตอบโดยเฉลี่ย 7.85 วินาที

5.2 การพัฒนาคำตอบโดยวิธีฝูงผึ้ง

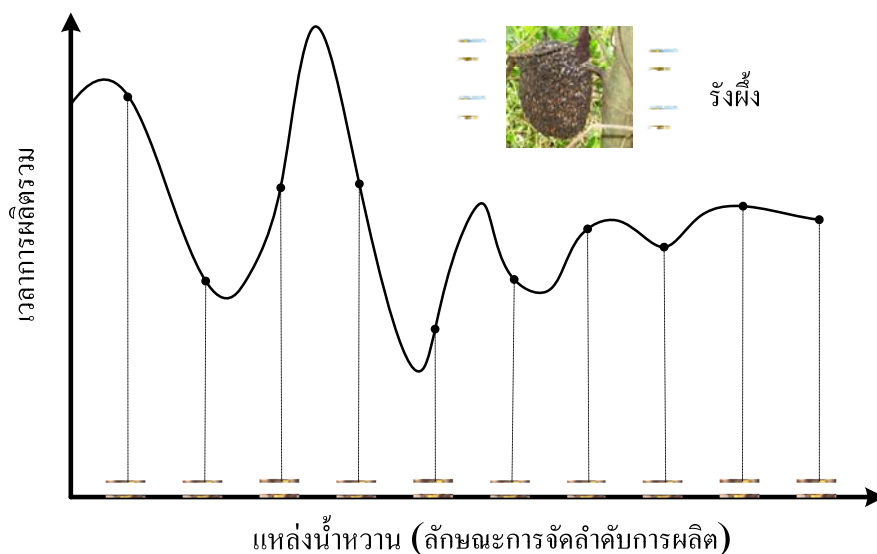
ขั้นตอนในการพัฒนาคำตอบด้วยวิธีฝูงผึ้งมีดังต่อไปนี้

1. ให้ผึ้งสอดแนมจำนวน $n=10$ ตัว ค้นหาคำตอบเริ่มต้น ซึ่งคำตอบเหล่านี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ ต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้จะสร้างฝูงสอดแนมโดยสุ่มลำดับการผลิตจากลำดับของกลุ่มสินค้าและลำดับชนิดของสินค้าหรือลำดับของบรรจุภัณฑ์ ดังรูป 18 และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ $NC=0$



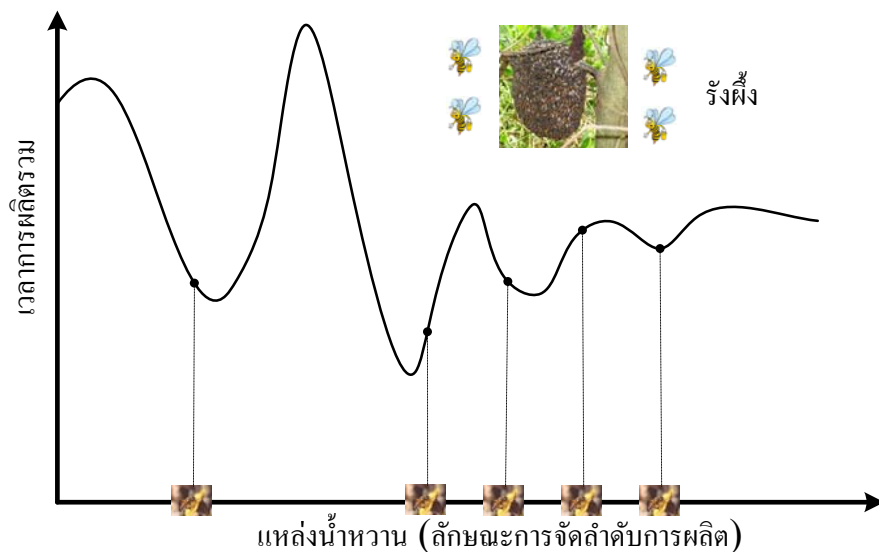
รูป 18: ตัวอย่างแผนผังความสัมพันธ์ของเวลาในการผลิตทั้งหมดกับสอดแนม 10 ตัว

2. ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งสอดแนม โดยจัดลำดับจากมากไปหาน้อย ซึ่งทำให้สามารถเลือกคำตอบที่มีผลการประเมินที่ดีได้ง่าย ดังรูป 19



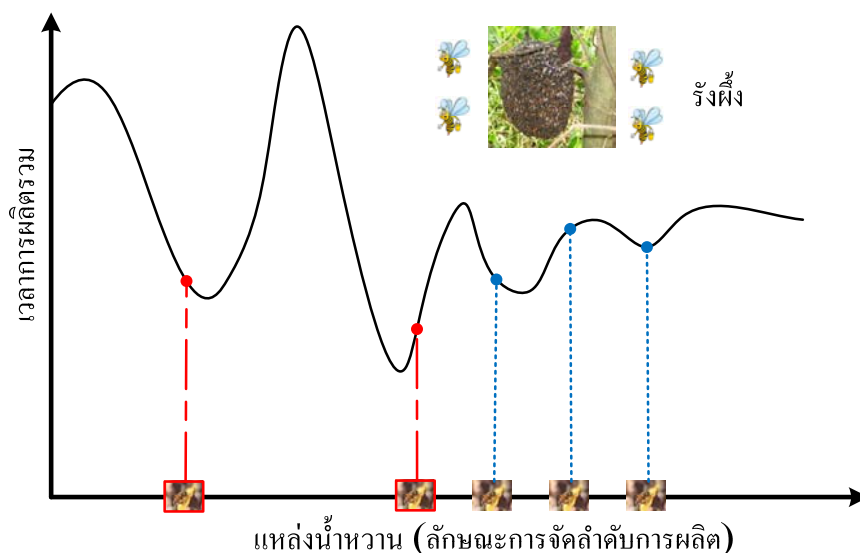
รูป 19: ตัวอย่างแผนผังการประเมินคำตอบของผึ้งสอดแนม

3. เลือกผึ้งสอดแนมที่หาค่าเวลาการผลิตต่ำที่สุด $m=5$ ตัว ดังรูป 20



รูป 20: ตัวอย่างแผนผังการเลือกผึ้งสอดแนมที่หาค่าเวลาการผลิตต่ำที่สุด $m=5$ ตัว

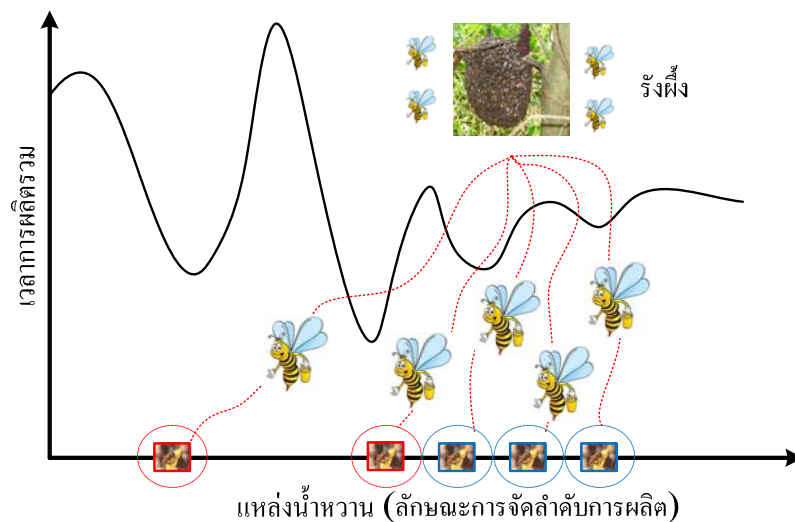
4. คัดแยกผึ้งสำรวจหรือคำตอบที่ดีที่สุด $m=5$ คำตอบนี้ ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกมีคำตอบที่ดีที่สุด $e=2$ คำตอบ และกลุ่มที่ 2 มีคำตอบที่ด้อยลงมา $m-e=3$ คำตอบ ดังรูป 21



รูป 21: ตัวอย่างแผนผังการคัดแยกคำตอบที่ดีที่สุด $m=5$ คำตอบนี้ ออกเป็น 2 กลุ่ม

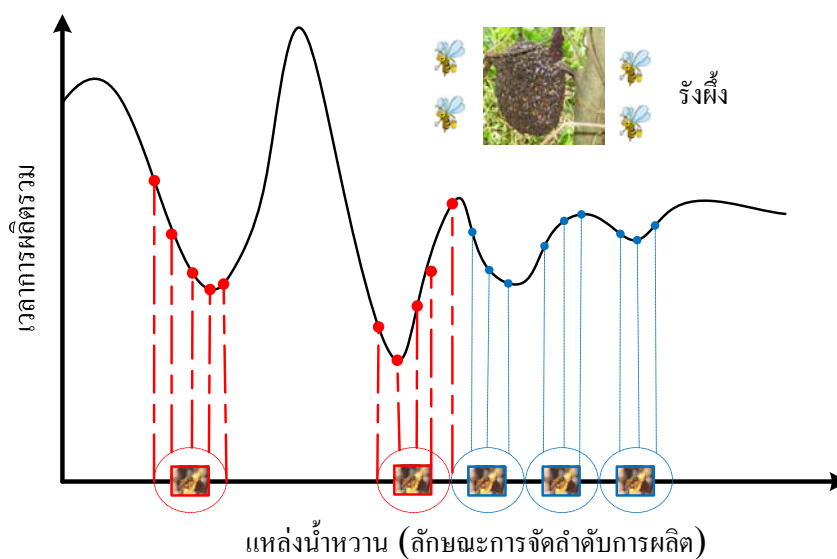
5. กำหนดขอบเขตในการค้นหาคำตอบข้างเคียงของบริเวณที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด $m=5$ คำตอบ หรือการกำหนดจำนวนผึ้งงานไปยังแหล่งน้ำหวาน โดยในงานวิจัยนี้ใช้การหาคำตอบ

ข้างเคียงโดยการเปลี่ยนลำดับการบรรจุสินค้าของแต่ละกลุ่มสินค้าด้วยการสลับลำดับการบรรจุบรรจุภัณฑ์ใหม่แต่ยังคงใช้ลำดับการผลิตสูตรสินค้าเดิมตามลำดับของผังสำรวจที่ใช้หาคำตอบข้างเคียง ซึ่งในการกำหนดขอบเขตค่าข้างเคียงจะกำหนดคือ ค่าที่ดีที่สุด 2 ค่าแรก กำหนดขอบเขตค่าข้างเคียงเท่ากับ 5 ค่า และกำหนดขอบเขตค่าที่ดีที่สุด 3 ค่า ต่อมาหาคำตอบข้างเคียง 3 ค่า ดังรูป 22



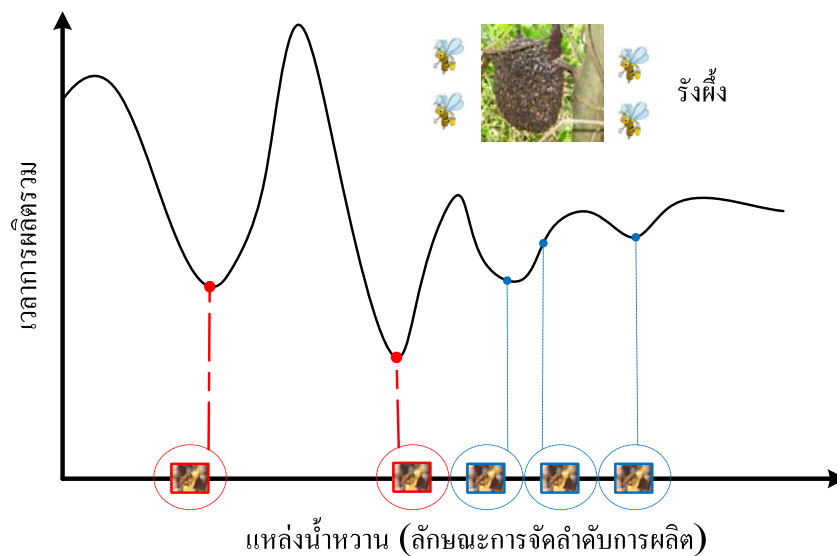
รูป 22: ตัวอย่างแผนผังการกำหนดการหาคำตอบข้างเคียงด้วยวิธีฝูงผึ้ง

6. ให้ผึ้งงานไปหาน้ำหวานหรือค้นหาคำตอบข้างเคียงที่เลือกจากแหล่งน้ำหวาน $m=5$ คำตอบ ดังรูป 23



รูป 23: ตัวอย่างแผนผังการหาคำตอบข้างเคียงด้วยวิธีฝูงผึ้ง

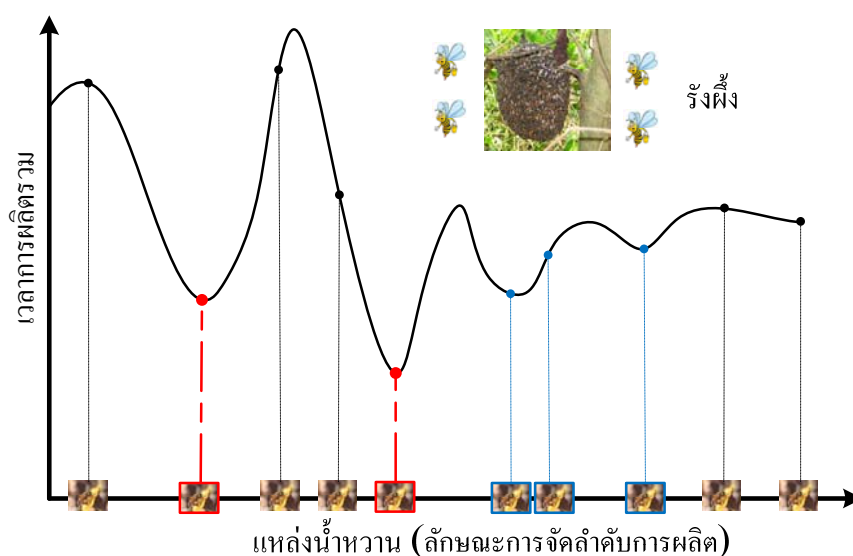
7. ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งงานในแต่ละแหล่ง และเลือกคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละแหล่ง ดังรูป 24



รูป 24: ตัวอย่างแผนผังการประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งงานในแต่ละแหล่ง

8. ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไขให้หยุดการค้นหา ถ้าไม่ตรงตามเงื่อนไขให้เพิ่มจำนวนรอบของการทำซ้ำ $NC=NC+1$

9. กำหนดให้ผึ้งสอดแนมจำนวน $n-m=5$ ตัว ค้นหาคำตอบใหม่ แล้วไปดำเนินในขั้นตอนที่ 2 ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนได้คำตอบที่สูงที่สุด ดังรูป 25



รูป 25: ตัวอย่างแผนผังการกำหนดให้ผึ้งสอดแนมจำนวน $n-m=5$ ตัว ค้นหาคำตอบใหม่ ซึ่งสามารถเขียน Pseudo Code ได้ดังรูป 26

Begin;*Parameter initialization;**Assign nep number of bees recruited to best e employed bees;**Assign nsp number of bees recruited to remaining m-e employed bees;**Initialize scout bees from generate initialize in 7.2;**Evaluate scout bees' fitness function (for minimization);***Sort** solutions and determine best m solutions as employed bees;**While** (stopping criterion not met)*Select best e employed bees;**Select sites for neighborhood search;**Recruit bees around the selected sites and evaluate fitness;**Select the fittest bee from each site;**Update best solution;**Assign remaining bees to search randomly and evaluate their fitness;***End While;****End procedure;****รูป 26: Pseudo Code ของการพัฒนาคำตอบด้วยวิธีผึ้ง****การออกแบบการทดลอง**

ในการออกแบบการทดลองแบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาปัญหาขนาดเล็ก และกรณีศึกษาปัญหาขนาดใหญ่หรือปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งได้แบ่งการทดลองเป็น 8 การทดลองย่อยที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

กรณีศึกษาขนาดเล็ก

กรณีศึกษานี้เป็นการลดขนาดของปัญหาให้เล็กลง ซึ่งมีความแตกต่างกับปัญหาจริงในเรื่องความต้องการสินค้าทั้งชนิดและปริมาณความต้องการโดยเป็นเพียงการสมมุติเพื่อใช้ในการหาคำตอบเท่านั้น ตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบ และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับงานวิจัยจาก (Baumann & Trautmann, 2010) เท่านั้น โดยใช้ข้อมูลความต้องการสินค้าและข้อมูลในการผลิตของงานวิจัยดังกล่าวที่ประกอบด้วย

ในการประยุกต์ใช้วิธีผึ้งผึ้งในกรณีศึกษาขนาดเล็กได้กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีผึ้งผึ้ง เพื่อใช้ในการทดลองประกอบด้วย

- ผึ้งสอดแนม 10 ตัว ($n=10$)
- จำนวนแหล่งน้ำหวานที่มีปริมาณน้ำหวานมาก ($m=5$)
- จำนวนการหาคำตอบใกล้เคียงของค่าที่สุ่ม 2 ค่า แรก คือ 3 ค่า

- จำนวนการหาคำตอบใกล้เคียงของค่าที่ดีที่สุด 3 ค่า ต่อมา คือ 2 ค่า
- จำนวนรอบของการวนซ้ำ คือ 50 รอบ ($NC=50$)

โดยในการหาผลลัพธ์จะทำการทดลองซ้ำ 5 ค่าในการประเมินภาพรวมของคำตอบ ซึ่งผลลัพธ์ประกอบด้วย เวลารวมของการผลิตในหน่วยนาฬิกา เวลาในการหาคำตอบในหน่วยวินาที เวลาที่ดีที่สุดของเวลาการผลิตทั้งหมด ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิตทั้งหมด ค่าเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยกับเวลาการผลิตรวม เวลาที่ดีที่สุดของเวลาในการหาคำตอบ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการหาคำตอบ ค่าเบี่ยงเบนของค่าเฉลี่ยค่าที่ดีที่สุดกับของเวลาในการหาคำตอบ

ผลลัพธ์ของการทดลองในกรณีศึกษาขนาดเล็กที่ต้องการ ประกอบด้วย ลำดับการผลิต สินค้าแต่ละชนิดที่ดีที่สุดและเวลาการผลิตสินค้าในแต่ละกระบวนการ เวลาการผลิตรวมที่ดีที่สุด เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ และการเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งเรื่องกับจากงานวิจัย (Baumann & Trautmann, 2011, P. 366) ที่ใช้วิธีฮิวริสติกกับการจัดตารางเชิงเส้น (MILP-Based Heuristic) ในการหาคำตอบซึ่งใช้ผลการทดลองในส่วนเวลาการผลิตรวมที่ดีที่สุดและเวลาในการหาคำตอบเป็นตัวเปรียบเทียบ แต่วิธีฮิวริสติกกับการจัดตารางเชิงเส้น (MILP-Based Heuristic) สามารถใช้ได้กับปัญหขนาดเล็กเท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดของวิธีการที่สามารถที่แก้ปัญหขนาดเล็กเท่านั้น และต้องใช้เวลาในการหาคำตอบเป็นเวลานาน

กรณีศึกษาขนาดใหญ่

ข้อมูลที่ใช้มาจากปัญหาที่เกิดขึ้นจริง เพื่อวางแผนการผลิตของสูตรสินค้า 59 สูตร ซึ่งแบ่งแยกเป็นสินค้า 203 สูตร ให้สามารถผลิตสินค้าได้ทันตามความต้องการสินค้าของลูกค้า โดยในกรณีศึกษานี้มีความต้องการสินค้าในแต่ละสัปดาห์หรือทุก ๆ 10,080 นาฬิกา ซึ่งเริ่มจากสัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 10 ปัญหาที่ใช้ในการหาคำตอบจะใช้ลักษณะของปัญหาในหัวข้อ 5 โดยในการทดลองใช้รูปแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลในการศึกษาพารามิเตอร์ปัจจัยของวิธี ผู่งผึ้ง 3 ปัจจัย คือ จำนวนผึ้งสำรวจ ค่าข้างเคียงค่าที่ดีที่สุด และจำนวนรอบของการวนซ้ำ ซึ่งจำนวนระดับของแต่ละปัจจัย คือ 2 ระดับ ซึ่งสามารถกำหนดเป็นการทดลองได้เป็น 8 การทดลอง โดยในแต่ละการทดลองทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของทดลองซ้ำ 10 ค่าดังตาราง 14

ตาราง 14: ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
	ต่ำ (-1)	สูง (+1)	
จำนวนผึ้งสำรวจ	8	10	ตัว
คำตอบข้างเคียงของคำตอบที่ดีที่สุด	3	5	ค่า
จำนวนรอบการวนซ้ำ	50	100	รอบ

ในการศึกษาจะหาค่าพารามิเตอร์เพื่อหาวิธีการพัฒนาคำตอบด้วยวิธี ผู่งผึ้งให้ได้ค่าเวลาการผลิตรวมให้ดีที่สุด และระยะเวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยการพัฒนาโปรแกรม

คอมพิวเตอร์และใช้แนวคิดของวิธีฝูงผึ้งในการพัฒนาคำตอบ และนำคำตอบเวลาการผลิตที่ดีที่สุดของความต้องการสินค้าในสัปดาห์ที่ 1 โดยใช้พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของฝูงผึ้งที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีการจัดลำดับความสำคัญ (The priority rule method) ตามในงานวิจัยของ (Fündeling & Trautmann, 2006)

ผลการวิจัย

ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของกรณีศึกษาปัญหาขนาดเล็กที่มีสูตรสินค้า 4 สูตร ซึ่งสามารถแบ่งเป็นสินค้า 5 ชนิด ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของวิธีฝูงผึ้งกับวิธีฮิวริสติกพร้อมกับการจัดตารางเชิงเส้น และส่วนของกรณีศึกษาปัญหาขนาดใหญ่ที่มีสูตรสินค้าสินค้า 59 ชนิด สามารถแบ่งแยกเป็นสินค้า 203 ชนิด ซึ่งใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมผลิต-บรรจุจริง

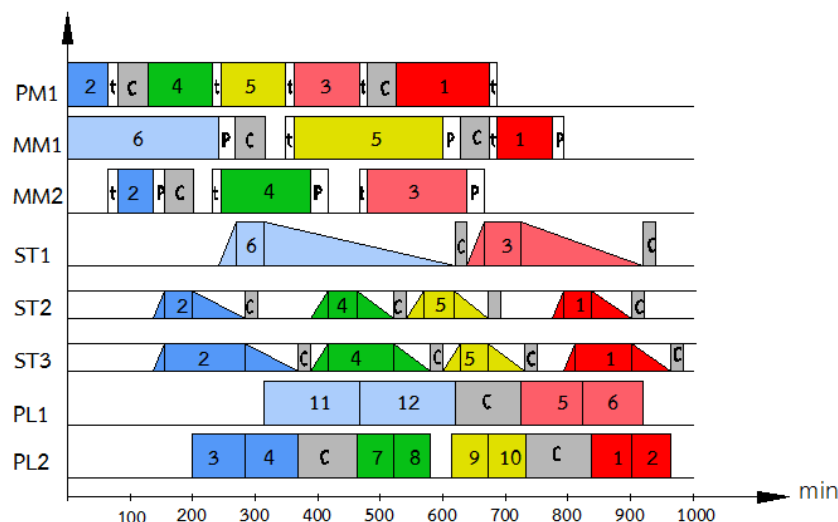
กรณีศึกษาขนาดเล็ก

ในกรณีศึกษานี้สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลลัพธ์ของวิธีฝูงผึ้งและวิธีฮิวริสติกพร้อมกับการจัดตารางเชิงเส้น ว่ามีประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ใช้กับปัญหาผลิต-บรรจุ โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์จากงานวิจัย (Baumann & Trautmann, 2011, P. 366) โดยผลลัพธ์ประกอบด้วย เวลาในการผลิตในแต่ละการทดลองในหน่วยนาฬิกา โดยการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งพร้อมทั้งค่าเฉลี่ยด้วยวิธีฝูงผึ้ง ผลลัพธ์ค่าที่ดีที่สุดของวิธีฝูงผึ้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ต้องการข้างต้นเกิดจากลำดับการผลิตสินค้า โดยในการจัดลำดับการผลิตสินค้ามีรูปแบบการจัดลำดับการผลิตแบบสลับลำดับการผลิตได้ถึง 5! หรือ 120 แบบ และนำรูปแบบลำดับการผลิตที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดจากงานวิจัยที่อ้างอิงโดยใช้วิธีแก้ปัญหาผลิต-บรรจุด้วยวิธีฮิวริสติกพร้อมกับการจัดตารางเชิงเส้น และผลรวมของเวลาการผลิตในทุกการทดลองของค่าที่ดีที่สุดและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองวิธี ดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15: ผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบค่าที่ดีที่สุดของวิธีฝูงผึ้งและวิธีฮิวริสติกพร้อมกับการจัดตารางเชิงเส้น

ผลการทดลองวิธีฝูงผึ้ง					วิธีวิธีฮิวริสติกพร้อมกับการจัดตารางเชิงเส้น	ร้อยละของ ความแตกต่าง
การทดลอง ซ้ำครั้งที่	เวลาที่ ดีที่สุด (นาท)	เวลาเฉลี่ย (นาท)	เวลาที่ ดีที่สุด (นาท)	เวลาที่ ดีที่สุด เบี่ยงเบน จากค่าเฉลี่ย (นาท)	เวลาที่ ดีที่สุด (นาท)	
1	964	964	964	0	947	2
2	964					
3	964					
4	964					
5	964					

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีฝูงผึ้งสามารถหาเวลาที่ดีที่สุดคือ 964 นาที โดยทำการทดลองซ้ำทั้ง 5 คำตอบ และคำตอบที่ดีที่สุดจากงานวิจัยอ้างอิงที่ใช้วิธีวิวิธวิธีสติก่วมกับการจัดตารางเชิงเส้นมีเวลาที่ดีที่สุดคือ 947 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีฝูงผึ้งมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบของปัญหาที่ใกล้เคียงกับวิธีวิวิธวิธีสติก่วมกับการจัดตารางเชิงเส้น โดยความแตกต่างของเวลาผลิตรวมเท่ากับ 17 นาที เพียงร้อยละ 2 เท่านั้น จากตาราง 14 สามารถสร้างแผนภูมิการผลิตที่แสดงการผลิตในแต่ละขั้นตอนตามทรัพยากรการผลิตที่ประกอบด้วย ถังเตียมผสม (PM) ถังผสม (MM) ถังรอบบรรจุ (ST) และเครื่องบรรจุ (PL) ซึ่งในภาพที่ 11 แสดงเวลาการผลิตและลำดับการผลิตสินค้าในแต่ละชนิดด้วยวิธีฝูงผึ้ง ส่วนในภาพที่ 12 แสดงเวลาการผลิตและลำดับการผลิตสินค้าในแต่ละชนิดด้วยวิธีวิวิธวิธีสติก่วมกับการจัดตารางเชิงเส้น ซึ่งในแผนภูมิแสดงเวลาการใช้ทรัพยากรการผลิตต่าง ๆ ของสินค้าแต่ละชนิด โดยแสดงเวลาที่ต้องเพิ่มเติมจากการผลิตในแต่ละขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการส่งสูตรสินค้าไปยังถังผสม (Transfer, t) กระบวนการสูบสูตรสินค้าไปยังถังบรรจุ (Pumpout, p) และกระบวนการสับเปลี่ยนสินค้า (Chageover, c)



รูป 27: การจัดการการผลิตที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง

จากกรณีศึกษาขนาดเล็ก พบว่าการแก้ปัญหาด้วยวิธีฝูงผึ้งสามารถแก้ปัญหาลิตร-บรรจุมีเวลารวมในการผลิตในทุกการทดลอง คือ 964 นาที หรือเวลาที่ดีที่สุดในการทดลอง คือ 964 นาที โดยมีลำดับการผลิตเริ่มจากการผลิตสินค้า คือ P4-D P2-B P3-C P3-B และ P1-A ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีวิวิธวิธีสติก่วมกับการจัดตารางเชิงเส้น ที่มีเวลาดีที่สุดในการทดลอง คือ 947 นาที โดยมีลำดับการผลิตเริ่มจากการผลิตสินค้า คือ P2-B P4-D P1-A P3-B และ P3-C ตามลำดับหรือมีประสิทธิภาพในด้านเวลาการผลิตแตกต่างกันร้อยละ 2 โดยเวลาในการหาคำตอบด้วยวิธีฝูงผึ้ง คือ 9.11 วินาที เท่านั้น

กรณีศึกษาขนาดใหญ่

เป็นการทดลองจากปัญหาจริงที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรม ภายใต้ข้อจำกัดในการผลิตต่าง ๆ ตามหัวข้อ 5 ซึ่งสามารถกำหนดเป็นข้อกำหนดหลักได้ 4 ข้อดังต่อไปนี้

1. ข้อจำกัดหลักในเรื่องจำนวนและประสิทธิภาพของทรัพยากรการผลิต
2. ข้อจำกัดในเรื่องการใช้ทรัพยากรการผลิตและเวลาในการผลิตที่ไม่เหมือนกันในแต่ละชนิดสินค้า

3. ข้อจำกัดในเรื่องของการสับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์
4. ข้อจำกัดของการขนส่งในการใช้ทรัพยากรในแต่ละกระบวนการผลิต

ผลการทดลองประกอบด้วย เวลาในการผลิตที่ดีที่สุดในแต่ละการทดลองในหน่วยนาฬิกา โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งพร้อมทั้งค่าเฉลี่ยของเวลาการผลิตที่ดีที่สุด ผลลัพธ์ค่าดีที่สุดของวิธีผูกผืน เวลาในการหาตอบในแต่ละการทดลองซ้ำ เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบ และเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดในการทดลองซ้ำในหน่วยนาฬิกา ซึ่งผลลัพธ์ของเวลาการผลิตตามความต้องการในแต่ละสัปดาห์ เวลาการผลิตสินค้าต้องเสร็จภายในแต่ละสัปดาห์หรือเวลาการผลิตสินค้าในแต่ละสัปดาห์ต้องเสร็จภายใน 10,080 นาที ถ้าเวลาการผลิตเกินเวลาที่กำหนด การทดลองที่กำหนดพารามิเตอร์ดังกล่าวจะถูกจัดให้เป็นการทดลองที่มีความเหมาะสมต่ำที่สุดโดยทันที การทดลองประกอบด้วย 8 การทดลองที่กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีผูกผืน ดังตาราง 16

ตาราง 16: ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองของกรณีศึกษาขนาดใหญ่

ค่าของพารามิเตอร์	การทดลองที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
n	10	10	10	10	8	8	8	8
e	5	5	3	3	5	5	3	3
m - e	3	3	5	5	3	3	5	5
NC	50	100	50	100	50	100	50	100

ซึ่งสามารถแสดงผลการทดลองในการทดลองต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ของวิธีผูกผืนดังนี้

1. จำนวนผืนสำรวจหรือการหาคำตอบเริ่มต้น 10 ค่า
2. ผืนงานหรือการหาคำตอบข้างเคียงสำหรับค่าที่ดีที่สุดสองอันดับแรก คือ 5 ค่า
3. ผืนงานหรือการหาคำตอบข้างเคียงสำหรับค่าที่ดีที่สุดสามอันดับต่อมา คือ 3 ค่า
4. จำนวนรอบของการวนซ้ำ คือ 50 รอบ

การทดลองที่ 2 ประกอบด้วยพารามิเตอร์ของวิธีผูกผืนดังนี้

1. จำนวนผืนสำรวจหรือการหาคำตอบเริ่มต้น 10 ค่า
2. ผืนงานหรือการหาคำตอบข้างเคียงสำหรับค่าที่ดีที่สุดสองอันดับแรก คือ 5 ค่า
3. ผืนงานหรือการหาคำตอบข้างเคียงสำหรับค่าที่ดีที่สุดสามอันดับต่อมา คือ 3 ค่า
4. จำนวนรอบของการวนซ้ำ คือ 100 รอบ

ตาราง 17: ผลลัพธ์เวลาการผลิตที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูง

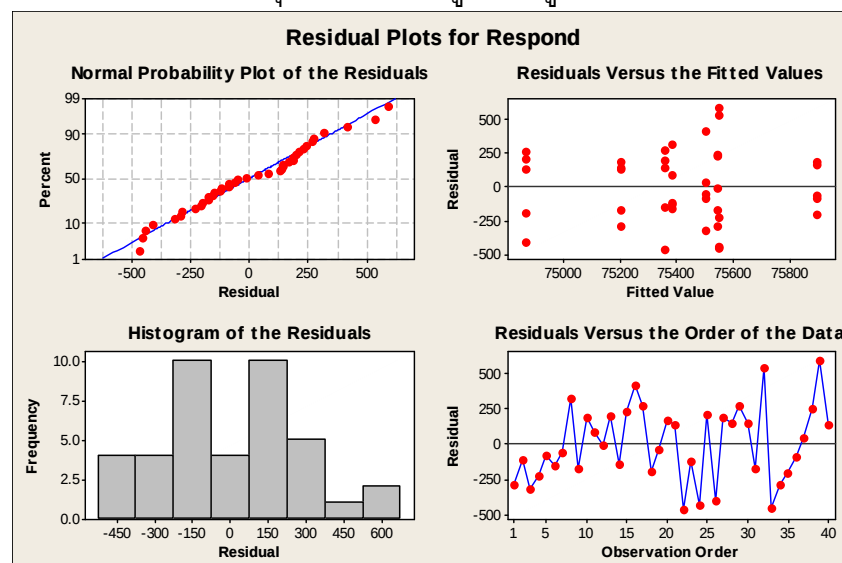
	Makespan (minute)
Minimum	7,290.63
Maximum	7,439.73
Average	7,236.69
Standard Deviation	44.87

เวลารวมของการผลิตต่ำที่สุดในทุกการทดลอง โดยได้การทดลองที่มีเวลาผลิตรวมที่ต่ำที่สุด คือ การทดลองที่ 4 ซึ่งมีเวลาการผลิตรวมที่ดีที่สุด คือ 7,290.63 นาที เวลาเฉลี่ยของเวลาการผลิตรวม คือ 7,236.69 นาที โดยค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนจากค่าที่ดีที่สุด คือ 44.87 หรือคิดเป็นร้อยละ 0.62 เท่านั้น และเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุด คือ 4.25 วินาที

เมื่อดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ก็จะได้ค่าของเวลาการผลิตรวมที่ดีที่สุดในแต่ละการทดลองเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงดำเนินการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม MINITAB ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่มีเวลาการผลิตรวมที่ดีที่สุด ก่อนการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต้องตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ข้อมูลที่ได้การทดลองต้องนำตัวข้อมูลมาวิเคราะห์ก่อนว่าสามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้หรือไม่ โดยมีข้อตกลงเบื้องต้นดังนี้

1. ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะต้องอยู่ในมาตรวัดอันตรภาค (Interval)
2. กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มจากประชากรและเป็นอิสระจากกัน (Independent)
3. ข้อมูลของประชากรแต่ละชุดมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)
4. ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน(Homogeneity of Variance) หรือความแปรปรวนของประชากรแต่ละชุดเท่ากัน

ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์ของคุณภาพของข้อมูลได้ดังรูป 28



รูป 28: การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลจากการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยในเรื่องของความแตกต่างของการทดลองแต่ละการทดลองที่มีพารามิเตอร์ของวิธีปลูกที่แตกต่างกัน เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาผลิต-บรรจุ โดยพิจารณาจากค่า P-Value โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นหรือค่านัยสำคัญมีค่าเท่ากับ 0.05 ค่าต่าง ๆ ในตาราง ANOVA สามารถแสดงในรูป 29

Factorial Fit: Respond versus Scout Bee, Employee Bee, NC

Estimated Effects and Coefficients for Respond (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		75413.4	46.81	1611.18	0.000
Scout Bee	-154.3	-77.2	46.81	-1.65	0.109
Employee Bee	-6.1	-3.0	46.81	-0.06	0.949
NC	-338.9	-169.4	46.81	-3.62	0.001
Scout Bee*Employee Bee	269.2	134.6	46.81	2.88	0.007
Scout Bee*NC	81.6	40.8	46.81	0.87	0.390
Employee Bee*NC	268.6	134.3	46.81	2.87	0.007
Scout Bee*Employee Bee*NC	152.4	76.2	46.81	1.63	0.113

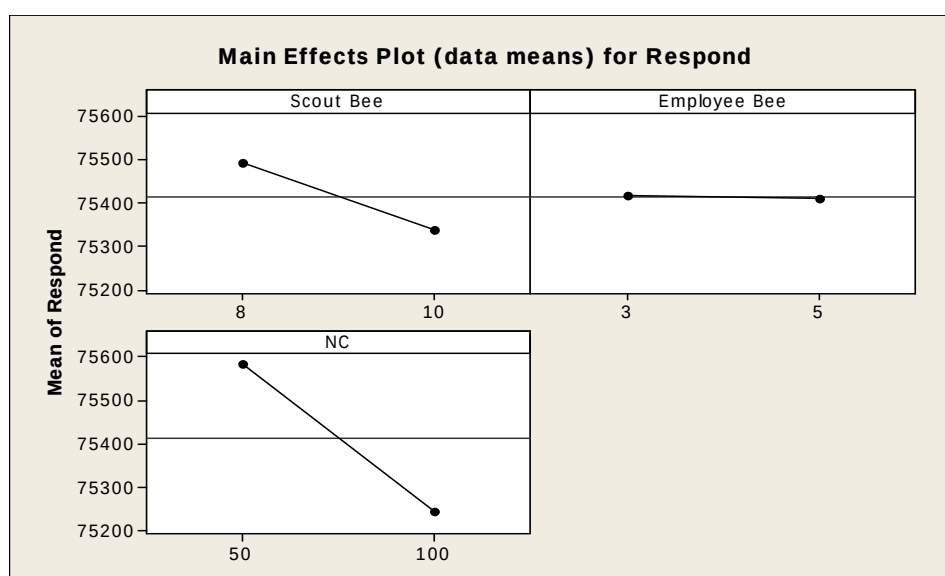
S = 296.029 R-Sq = 52.76% R-Sq(adj) = 42.42%

รูป 29: ข้อมูลในตาราง ANOVA

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในรูป 29 เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อบัพว่าปัจจัยที่ทำให้ค่า P-Value ที่มีนัยสำคัญน้อยกว่า 0.05 มี 3 ปัจจัย คือ

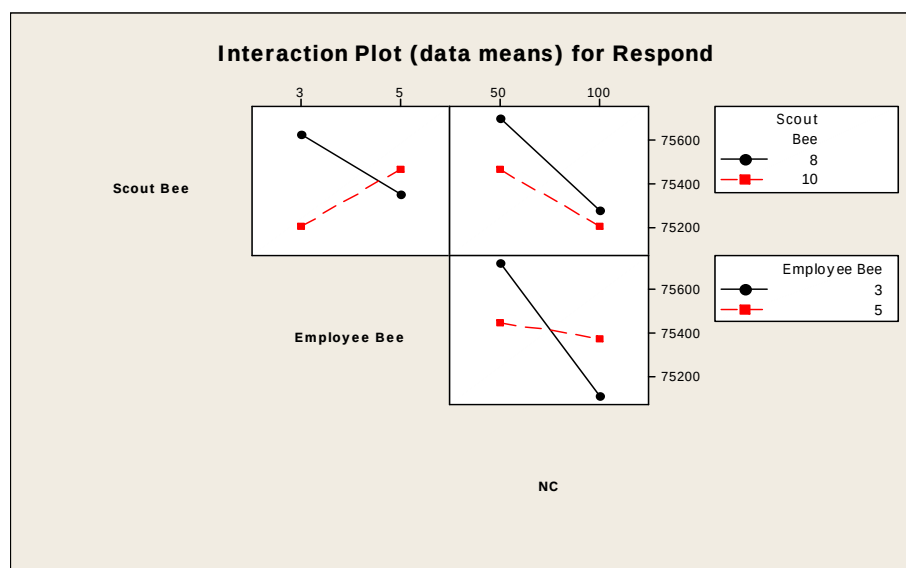
1. ปัจจัยจำนวนรอบของการวนซ้ำ (NC) โดยมีค่า P-Value คือ 0.001
2. ปัจจัยจำนวนของผึ้งสอดแนม (Scout Bee) และจำนวนของผึ้งงาน (Employee Bee) โดยมีค่า P-Value คือ 0.007
3. ปัจจัยจำนวนของผึ้งสอดแนม (Scout Bee) และจำนวนรอบของการวนซ้ำ (NC) โดยมีค่า P-Value คือ 0.007

ซึ่งสามารถเรียงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อบัพได้ตามลำดับ จึงกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการทดลอง



รูป 30: ผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

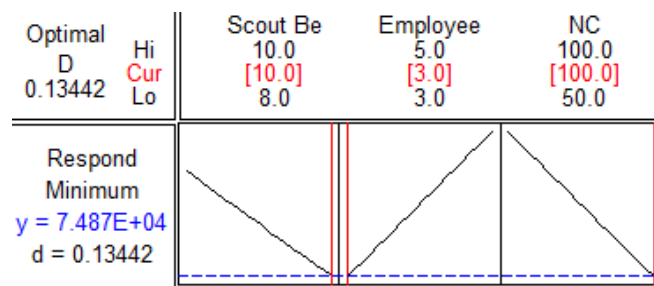
จากรูป 30 เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบในแต่ละปัจจัย ประกอบด้วย ปัจจัยจำนวนรอบของการวนซ้ำ (NC) ซึ่งถ้าเปลี่ยนแปลงค่าจำนวนรอบของการวนซ้ำ จาก 50 รอบเป็น 100 รอบ ทำให้มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงเวลาการผลิตรวมมากที่สุด เนื่องจากได้กราฟที่มีความชันมากที่สุด ปัจจัยจำนวนผึ้งสอดแนม (Scout Bee) ซึ่งถ้าเปลี่ยนจำนวนผึ้งสอดแนมจาก 8 ตัว เป็น 10 ตัว มีผลกระทบรองลงมา และปัจจัยจำนวนผึ้งงาน (Employee Bee) หรือการหาค่าข้างเคียง (Neighborhoods Search) จากหาค่าข้างเคียงของกลุ่มที่ดีที่สุดจาก 3 ค่า เป็น 5 ค่า มีผลน้อยที่สุดหรือแทบจะไม่มีผลกับการทดลองในปัจจัยนี้



รูป 31: กราฟผลกระทบของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย

จากการพิจารณารูป 31 การตรวจสอบอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งสามารถแยกเป็นการเปรียบเทียบอันตรกิริยาเป็นคู่ตามปัจจัยค่าพารามิเตอร์ของวิธีฝูงผึ้งที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้

1. อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยจำนวนผึ้งสอดแนมและค่าข้างเคียงของกลุ่มที่ดีที่สุด มีผลอย่างมีนัยสำคัญ สามารถสรุปได้ว่าการกำหนดจำนวนผึ้งสอดแนม เท่ากับ 10 ตัว และค่าข้างเคียงของกลุ่มที่ดีที่สุด เท่ากับ 3 ค่า ทำให้เวลาการผลิตรวมน้อยที่สุด
2. อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยจำนวนผึ้งสอดแนมและจำนวนรอบวนซ้ำ ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ สามารถสรุปได้ว่าการกำหนดจำนวนผึ้งสอดแนม เท่ากับ 10 ตัว และจำนวนรอบของการวนซ้ำ เท่ากับ 100 รอบ ส่งผลให้เวลาการผลิตรวมน้อยที่สุด โดยไม่มีความแตกต่างผลการทดลองเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนผึ้งงานจาก 3 ตัว เป็น 5 ตัว
3. อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยค่าข้างเคียงของกลุ่มที่ดีที่สุดและจำนวนรอบวนซ้ำ มีผลอย่างมีนัยสำคัญ สามารถสรุปได้ว่าการกำหนดค่าข้างเคียงของกลุ่มที่ดีที่สุด เท่ากับ 3 ค่าและจำนวนรอบของการวนซ้ำ เท่ากับ 100 รอบ ทำให้เวลาการผลิตรวมน้อยที่สุด



รูป 32: ผลการหาค่าที่ดีที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์ของวิธีฝูงผึ้ง

จากรูป 32 แสดงผลการหาค่าที่ดีที่สุดในแต่ละพารามิเตอร์ของวิธีฝูงผึ้ง ผลปรากฏว่าได้ค่าจำนวนผึ้งสอดแนม เท่ากับ 10 ตัว จำนวนผึ้งงานในการหาค่าของกลุ่มที่ดีที่สุด 2 ค่าแรก เท่ากับ 5 ตัว และจำนวนรอบของการวนซ้ำ เท่ากับ 100 รอบ ซึ่งตรงกับการออกแบบการทดลองในการทดลองที่ 4 โดยได้ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

การพัฒนาคำตอบโดยวิธีฝูงมด

ในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยวิธีการฝูงมดมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา อัลกอริทึมที่ใช้ถูกเขียนขึ้นด้วยโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ระเบียบขั้นตอนของวิธีพฤติกรรมฝูงมด แสดงในรูป 34 โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นกำหนดให้มดฝูงแรกในการค้นหา $NC = 0$ และจำนวนมด (m) ในหนึ่งฝูง พร้อมทั้งกำหนดให้ฟีโรโมนเริ่มต้น $\tau(0) = \tau_0$ และ อัตราการเพิ่มของฟีโรโมน $\Delta\tau = 0$

ขั้นตอนที่ 2 ให้มดทุกตัวของฝูงแรก หาคำตอบที่เป็นได้โดยใช้วิธีการสุ่ม แทนด้วย

$$S(0) = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_{m-1} \ s_m]$$

พร้อมทั้งคำนวณค่าฟังก์ชันอัตราผลผลิตของแต่ละคำตอบ แทนด้วย

$$F(0) = [f(s_1) \ f(s_2) \ \dots \ f(s_{m-1}) \ f(s_m)]$$

และเลือกคำตอบที่มีค่าฟังก์ชันอัตราผลผลิตเหมาะสมที่สุด เป็นคำตอบที่ดีที่สุด

$$s_{best}(0) = s_{k_best}$$

ขั้นตอนที่ 3 หาอัตราการเพิ่มของฟีโรโมน $\Delta\tau$ ของแต่ละเส้นทาง พร้อมทั้งปรับปรุงค่าฟีโรโมน τ ของแต่ละเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดให้มดฝูงต่อมาในการค้นหา $NC = NC + 1$ และอัตราการเพิ่มของฟีโรโมน $\Delta\tau = 0$ การปรับปรุงความหนาแน่นของฟีโรโมน หาได้จาก

$$\tau(t) = (1 - \rho) \cdot \tau(t-1) + \Delta\tau$$

เมื่อ ρ คือ สัมประสิทธิ์ของฟีโรโมน โดยที่การระเหยของฟีโรโมน มีค่าเท่ากับ $(1 - \rho)$ และ $\Delta\tau$ หาได้จาก $\Delta\tau = \Delta\tau^k$

ขั้นตอนที่ 5 หาความน่าจะเป็นในการเลือกของแต่ละเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 6 ให้หมดทุกตัวของฝูงค้นหาหาคำตอบที่เป็นได้โดยใช้ความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทาง

$$p^k(t) = \frac{[\tau(t)]^\alpha [\eta(t)]^\beta}{\sum_{k=1}^m [\tau_k(t)]^\alpha [\eta_k(t)]^\beta} \quad (2.1)$$

เมื่อ $p^k(t)$ คือ ความน่าจะเป็นของคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของมดตัวที่ k ที่ iteration (t) ใน
 τ คือ ความหนาแน่นของฟีโรโมน
 η คือ ข้อมูลฮิวริสติก
 m คือ จำนวนมดทั้งหมดที่ใช้ในสุมการค้นหาคำตอบ
 α และ β คือ ค่าคงที่

พร้อมทั้งคำนวณค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของแต่ละคำตอบ และเลือกคำตอบที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมดีที่สุด เป็นคำตอบที่ดีที่สุด $s_{k_best}(NC)$

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบว่า ถ้า $f(s_{k_best}(NC)) < f(s_{k_best}(NC-1))$ กำหนดให้ $s_{best}(NC) = s_{k_best}(NC)$

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าไม่ถึงเงื่อนไขการหยุดให้ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในระเบียบวิธีฝูงมด ซึ่งได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ α, β และค่าการระเหยของฟีโรโมน (ρ) โดยหลังจากการทดลองพบว่าควรตั้งค่าจำนวนมดเท่ากับ 50 และ $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.8$ และ $\rho = 0.02$. และคำตอบที่ได้แสดงในตารางที่ 18

ตาราง 18: ผลลัพธ์เวลาการผลิตที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงมด

	Makespan (minute)
Minimum	7,290.63
Maximum	7,487.65
Average	7,402.54
Standard Deviation	49.02

ทดสอบและเปรียบเทียบผลของแต่ละอัลกอริทึม

ได้ทำการแก้ไขปัญหามหาศาล 10 สัปดาห์โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของแต่ละวิธี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 18 ดังนี้

ตาราง 19: การเปรียบเทียบผลการทดลอง 10 สัปดาห์

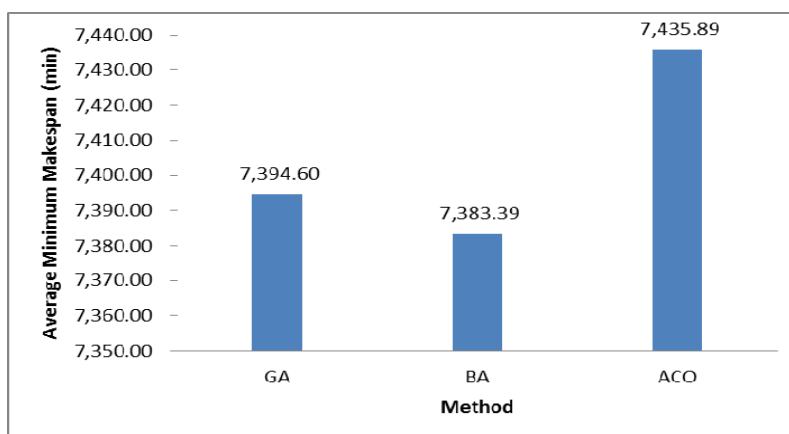
Week	Method	Min	Max	Mean (min)	SD (min)	CV (%)	Absolute mean deviation from best (min)	Percentage of mean deviation from best (%)	Average CPU time (s)
			(min)		(min)	(%)			
1	GA	7290.63	7464.27	7382.10	47.99	0.65	91.47	1.25	7.85
	BA	7290.63	7381.37	7260.09	43.99	0.61	95.54	1.21	4.25
	ACO	7290.63	7487.65	7402.54	49.02	0.66	95.54	1.31	4.87
2	GA	7560.12	7856.03	7679.55	94.67	1.23	119.43	1.58	8.34
	BA	7531.34	7779.28	7661.43	89.88	1.17	130.21	1.64	5.12
	ACO	7653.56	7948.08	7808.47	99.04	1.27	130.21	1.70	5.87
3	GA	7498.50	7666.15	7571.94	55.02	0.73	73.44	0.98	7.98
	BA	7486.93	7596.37	7536.35	52.93	0.70	89.54	0.93	4.21
	ACO	7532.22	7688.55	7626.21	59.00	0.77	89.54	1.19	4.87
4	GA	7562.49	7847.06	7730.48	85.66	1.11	167.99	2.22	7.89
	BA	7550.68	7814.66	7678.42	83.54	1.09	164.25	2.03	5.16
	ACO	7663.36	7955.40	7821.22	86.24	1.10	164.25	2.14	5.67
5	GA	7541.89	7990.53	7684.72	142.25	1.85	142.83	1.89	7.86
	BA	7532.83	7941.73	7641.73	138.36	1.81	148.02	1.78	4.86
	ACO	7609.03	8003.51	7706.53	144.25	1.87	148.02	1.95	5.14
6	GA	7259.17	7465.59	7389.40	60.86	0.82	130.23	1.79	7.96
	BA	7253.86	7420.14	7306.67	58.21	0.80	135.24	1.64	3.93
	ACO	7342.54	7553.70	7480.33	63.77	0.85	135.24	1.84	4.54
7	GA	7830.83	8088.12	7936.08	79.94	1.01	105.25	1.34	8.35
	BA	7830.83	8034.06	7905.74	77.62	0.98	107.24	1.25	3.78
	ACO	7830.83	8104.23	7957.42	80.83	1.02	107.24	1.37	4.16
8	GA	7393.30	7556.81	7488.88	50.51	0.67	95.58	1.29	7.66
	BA	7372.62	7521.42	7416.02	50.43	0.68	100.24	1.30	3.97
	ACO	7424.78	7565.56	7518.04	55.47	0.74	100.24	1.35	4.25
9	GA	6534.00	6672.75	6610.57	42.11	0.64	76.57	1.17	7.54
	BA	6512.69	6638.00	6509.40	41.42	0.64	78.24	1.14	5.64
	ACO	6531.73	6696.97	6674.54	44.87	0.67	78.24	1.19	6.01
10	GA	7475.10	7884.22	7650.34	109.46	1.43	175.24	2.34	8.41
	BA	7471.47	7800.66	7523.60	108.49	1.44	176.25	2.25	4.22
	ACO	7480.25	7915.56	7675.50	110.16	1.44	176.25	2.36	4.57
AVG	GA	7394.60	7649.15	7512.41	76.85	1.01	117.80	1.59	7.98
	BA	7383.39	7592.77	7443.95	74.49	1.00	122.48	1.52	4.51
	ACO	7435.89	7691.92	7567.08	79.26	1.04	122.48	1.64	5.00

6. สรุปผลการทดลอง

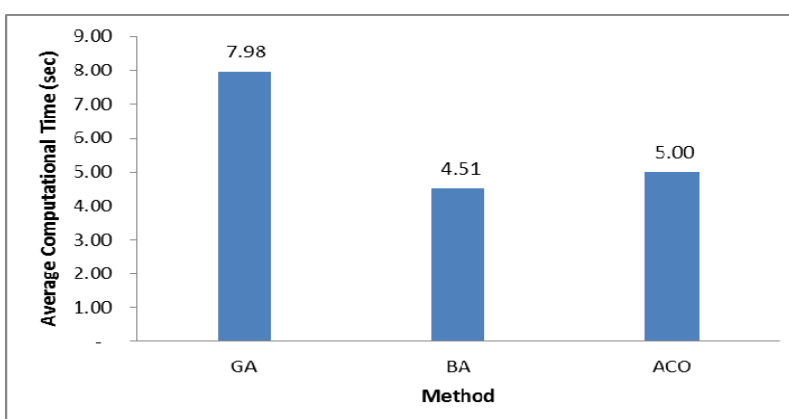
ผลการทดลองแสดงถึงประสิทธิภาพในการหาคำตอบของทั้งสามวิธี เช่น ในอาทิตย์ที่ 1 ทั้งสามวิธีสามารถหาคำตอบที่น้อยที่สุดได้ตรงกัน คือ 7,290.63 นาที ซึ่งน้อยกว่าที่ Fündeling and Trautmann (2006) ร้อยละ 8.13 ในทุก ๆ สัปดาห์วิธี BA สามารถหาคำตอบได้ดีกว่าหรือเท่ากับวิธี GA และวิธี ACO

โดยค่า Mean deviation from best อยู่ที่ 0.93 – 2.36% ค่า Coefficient of variation อยู่ไม่เกิน 2% เท่านั้น และเวลาในการหาคำตอบของทั้งสามวิธีถือว่าใช้เวลาน้อยเพียง 3.78 – 8.41 วินาทีเท่านั้น ดังนั้นทั้งสามวิธีสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 33 จะเห็นว่า โดยเฉลี่ยแล้ววิธี BA สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด Minimum Makespan ได้ดีที่สุด และยังใช้เวลาน้อยที่สุดอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 34 โดยวิธี GA ใช้เวลาในการหาคำตอบมากที่สุด ซึ่งก็เป็นเพราะว่า



รูป 33: ผลการหาค่าที่ดีที่สุดโดยเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธี



รูป 34: เวลาหาค่าที่ดีที่สุดโดยเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธี

ดังนั้นในหากต้องนำไปใช้แก้ปัญหาจริงควรประยุกต์ใช้วิธี BA ในการแก้ปัญหาต่อไป

7. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

สำหรับงานวิจัยในอนาคต สามารถเพิ่มการประเมินผลการจัดตารางด้วยวัตถุประสงค์อื่นเพิ่มเข้าไป เพราะในงานวิจัยนี้สนใจแค่ Makespan เพียงอย่างเดียว แต่ในความเป็นจริง นักวางแผนจำเป็นต้องดูจำนวน Change-over และเวลาที่ใช้ในการ Change-over ด้วย เพื่อให้แผนการผลิตนั้นไม่มีการเปลี่ยนการผลิตมากเกินไป

นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มวิธีการปรับปรุงแบบต่าง ๆ ให้ BA, GA และ ACO มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย เช่น การเพิ่ม Local Search การเพิ่มวิธีการ Crossover หรือ Mutation แบบต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการค้นหาคำตอบดีมากยิ่งขึ้นได้ แต่อาจจะทำให้เวลาในการหาคำตอบเพิ่มมากขึ้นไปด้วย

บรรณานุกรม

วฤนท์ รัชเฝ้า การจัดการเวลาในโรงงานเคมีแบบกะที่มีโครงสร้างแบบอนุกรมทั่วไปโดยใช้เวลาในการผลิตที่สั้นที่สุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2549

Azzaro-Pantel, C., Bernal-Haro, L., Baudet, P., Domenech, S., Pibouleau, L. (1998) A two-stage methodology for short-term batch plant scheduling: discrete-event simulation and genetic algorithm. *Computers and Chemical Engineering* 22 (10), pp. 1461-1481.

Balasubramanian, H., Moench, L., Fowler, J., Pfund, M. (2004) Genetic algorithm based scheduling of parallel batch machines with incompatible job families to minimize total weighted tardiness. *International Journal of Production Research* 42 (8), pp. 1621-1638.

Banzhaf, W. (1990) The molecular traveling salesman. *Biol. Cybern.*, Vol 64, pp. 7 – 14.

Baumann, P., & Trautmann, N. (2010). An MILP approach to short-term scheduling of an industrial make-and-pack production facility with batch splitting and quality release times. Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM2010, Macao.

Baumann, P., & Trautmann, N. (2011) A continuous-time MILP to compute schedules with minimum changeover times for a make-and-pack production. *Computer Aided Chemical Engineering*, Vol. 29 (pp. 1060-1064).

Baumann, P., & Trautmann, N. (2011). Heuristic decomposition and LP-based scheduling in make-and-pack production. Paper presented at the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM2011, Singapore.

- Bell, J. E. and McMullen, P. R. (2004). Ant Colony Optimization Techniques for the Vehicle Routing Problem. *Adv. Eng. Information*. vol. 18, pp. 41-48.
- Baumann, P. and Trautmann, N. (2010) An MILP Approach to Short-term Scheduling of an Industrial Make-and-Pack Production Facility with Batch Splitting and Quality Release Times. *Proceedings IEEE International Conference on Industrial Engineering Management*, Z. Lian, Z. Wu, M. Xie, and R. Jiaos, Eds., Macao, China, pp. 1230-1234.
- Baumann, P. and Trautmann, N. (2011) Heuristic Decomposition and LP-Based Scheduling in Make-and-Pack Production, *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Singapore, pp. 362-366.
- Camazine, S., & Sneyd, J. (1991). A model of collective nectar source selection by honey bees: Self-organization through simple rules. *Journal of Theoretical Biology*, 149(4), 547-571.
- Carlos A.M., Jaime C., Ignacio E.G. (2006) State-of-the-Art Review of Optimization Methods for Short-Term Scheduling of Batch Process. *Computers & Chemical Engineering* (30), 913-946.
- Castro, P. M., Harjunkski, I., & Grossmann, I. E. (2009). Optimal short-term scheduling of large-scale multistage batch plants. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48(24), 11002-11016.
- Cerdá, J., Henning, G. P., & Grossmann, I. E. (1997). A Mixed-Integer Linear Programming Model for Short-Term Scheduling of Single-Stage Multiproduct Batch Plants with Parallel Lines. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 36(5), 1695-1707.
- Chen, Q. W., Ma, X. Q., & Liu, A. (2009). Prediction and operation optimization for NO_x emission property of large-scale mixed coal-fired utility boiler. *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering*, 29(23), 20-26.
- Cheng, B., Li, K., Chen, B. (2010) Sceduling a single batch-processing machine with non-identical job sizes in fuzzy environment using an improved ant colony optimization, Article in Press.
- Chou, F.-D., Chang, P.-C., Wang, H.-M. (2006) A hybrid genetic algorithm to minimize makespan for the single batch machine dynamic scheduling problem, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 31 (3-4), pp. 350-359.

- Dorigo, M. and Gambardella, L.M. (1997) Ant colonies for the traveling salesman problem. *Biosystems*, vol. 43, pp. 73-81.
- Dorigo, M. and Gambardella, L.M. (1997) Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Trans. Evolut. Comput.* vol. 1, no. 1, pp. 53-66.
- Elbeltagi, E., Hegazy, T., & Grierson, D. (2005). Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. *Advanced Engineering Informatics*, 19(1), 43-53.
- Emad E., Tarek H., Donald G. (2005) Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms" *Advanced Engineering Informatics* 19, 43-53.
- Forgel, D. B. (1990) A parallel processing approach to a multiple traveling salesman problem using evolutionary programming, Proceeding of 4th Annual parallel Processing Symposium, Fullerton, CA, pp. 318 – 326.
- Fündeling, C. U., & Trautmann, N. (2006) Scheduling of make and pack plants: a case study. *Computer Aided Chemical Engineering* 21 (C) , pp. 1551-1556
- Glover, F., & Laguna, M. (1997) General Purpose Heuristics for Integer Programming - Part II. *Journal of Heuristics*, 3(2), 161-179.
- Gomez, J. F., et al. (2004). Ant Colony System Algorithm for the Planning of Primary Distribution Circuits. *IEEE Trans. Power Syst.* vol. 19, pp. 996-1004.
- He, Y., & Hui, C. W. (2007). Automatic rule combination approach for single-stage process scheduling problems. *AIChE Journal*, 53(8), 2026-2047.
- He, Y., & Hui, C. W. (2007). Genetic algorithm for large-size multi-stage batch plant scheduling. *Chemical Engineering Science*, 62(5), 1504-1523.
- He, Y., & Hui, C. W. (2008). A rule-based genetic algorithm for the scheduling of single-stage multi-product batch plants with parallel units. *Computers and Chemical Engineering*, 32(12), 3067-3083.
- He, Y., & Hui, C. W. (2010). A binary coding genetic algorithm for multi-purpose process scheduling: A case study. *Chemical Engineering Science*, 65(16), 4816-4828.
- HO, S.L., et al. (2005) An Improved Ant Colony Optimization Algorithm and Its Application to Electromagnetic Devices Designs. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol 41, No.5.
- Holland, J. H. (1975) *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

- Honkomp, S. J., Lombardo, S., Rosen, O., & Pekny, J. F. (2000). The curse of reality - Why process scheduling optimization problems are difficult in practice. *Computers and Chemical Engineering*, 24(2-7), 323-328.
- Hua Li Sun & Yao Feng Xue (2009) An MILP formulation for optimal scheduling of multi-product batch plant with a heuristic approach, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 43 (7-8), pp. 779-784.
- Ippolito, M. G., et al. (2005) Ant Colony Search Algorithm for Optimal Strategical Planning of Electrical Distribution Systems Expansion. *Applied Intelligence*. vol. 23, pp. 139-152.
- Jadann, O. A., Rajamani, L. Rao, C. R. (2008) Improved Selection Operator for GA. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 4, No. 4, pp. 269-277.
- Jayaraman, V.K., Kulkarni, B.D., Karale, S., Shelokar, P. (2000) Ant colony framework for optimal design and scheduling of batch plants. *Computers and Chemical Engineering* 24 (8), pp. 1901-1912.
- Jung, J.K., Lee, C.H., Lee, I.B. (1998) A genetic algorithm for scheduling of multi-product batch processes, *Computers and Chemical Engineering* 22 (11), pp. 1725-1730.
- Karimi, I. A., & McDonald, C. M. (1997). Planning and Scheduling of Parallel Semicontinuous Processes. 2. Short-Term Scheduling. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 36(7), 2701-2714.
- Kashan, A.H., Karimi, B., Scheduling a single batch-processing machine with arbitrary job sizes and incompatible job families: An ant colony framework, *Journal of the Operational Research Society* 59 (9), pp. 1269-1280, 2008
- Kennedy J. and Eberhart R. (1995). Particle Swarm Optimization. Proceedings of IEE international conference on neural networks, p1942-1948.
- Kim, B., Kim, S. (2002) Application of genetic algorithms for scheduling batch-discrete production system. *Production Planning and Control* 13 (2), pp. 155-165.
- Liao, C.J., Cian-CiShyu, Tseng, C.T. (2009). A least flexibility first heuristic to coordinate setups in a two- or three-stage supply chain. *International Journal of Production Economics* 117 (1), pp. 127-135.

- Liu, B., Wang, L., Liu, Y., Qian, B., Jin, Y.-H. (2010) An effective hybrid particle swarm optimization for batch scheduling of polypropylene processes. *Computers and Chemical Engineering* 34 (4), pp. 518-528.
- Larranga, P., Kuijpers, C. M. H, Murga, R. H. and Yurramendi, Y. (1996) Learning Bayesian Network Structures by Searching for the Best Ordering with Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics – Part A: Systems and Humans*, Vol. 26, No. 4, pp. 487 – 493.
- Liao, C. J., Shyu, C. C., & Tseng, C. T. (2009). A least flexibility first heuristic to coordinate setups in a two- or three-stage supply chain. *International Journal of Production Economics*, 117(1), 127-135.
- Lin, K. H., He, Y. J., & Chen, D. Z. (2010). Multi-product clonal selection algorithm and its application to batch plants scheduling. *Zhejiang Daxue Xuebao(Gongxue Ban)/Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 44(2), 338-343.
- Liu, B., Wang, L., Liu, Y., Qian, B., & Jin, Y. H. (2010). An effective hybrid particle swarm optimization for batch scheduling of polypropylene processes. *Computers and Chemical Engineering*, 34(4), 518-528.
- Maniezzo, V. and Colorni, A. (1999) The Ant System Applied to the Quadratic Assignment Problem. *IEEE Trans. Knowledge. Data Eng.* vol. 11, pp. 769-778.
- Marinakis, Y., Marinaki, M., & Matsatsinis, N. (2009). A Hybrid discrete artificial bee colony-GRASP algorithm for clustering.
- Martino, L. and Pastor, R. (2010) Heuristic procedures for solving the general assembly line balancing problem with setups. *International Journal of Production Research* 48 (6), pp. 1787-1804.
- Méndez, C. A., Cerdá, J., Grossmann, I. E., Harjunkski, I., & Fahl, M. (2006). State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. *Computers and Chemical Engineering*, 30(6-7), 913-946.
- Michael C. Georgiadis, Aaron A. Levis, Panagiotis Tsiakis, Ioannis Sanidiotis, Constantinos C. Pantelides, Lazaros G. Papageorgiou, Optimisation-based scheduling: A discrete manufacturing case study, *Computers and Industrial Engineering* 49 (1), pp. 118-145, 2005
- Mouloud, K., et al. (2007) Using Artificial Bee to Solve Partitioning and Scheduling Problem in Codesign. *Applied Mathematics and Computation* 186, 1710-1722.

- Pinto, J. M., & Grossmann, I. E. (1995). A continuous time mixed integer linear programming model for short term scheduling of multistage batch plants. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 34(9), 3037-3051.
- Poon, P. W. and Carter J. N. (1995) Genetic Algorithm Crossover Operators for Ordering Applications, *Computers Operations Research*, Vol. 22, No. 1, pp. 135-147.
- Razali, N. M. and Geraghty, J. (2011) Genetic Algorithm Performance with Different Selection Strategies in Solving TSP, Proceeding of the World Congress on Engineering 2011 Vol II, WCE 2011, July 6 – 8 2011, London, UK.
- Rong-Hwa H., and Chang-Lin Y. (2008) Overlapping Production Scheduling Planning with Multiple Objectives. *Int.J.Production Economics*. 115, 163-170.
- Tang, L., & Wang, X. (2009). An Improved Particle Swarm Optimization Algorithm for the Hybrid Flowshop Scheduling to Minimize Total Weighted Completion Time in Process Industry. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*.
- Tang, L., & Yan, P. (2008). Particle swarm optimization algorithm for a campaign planning problem in process industries. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 47(22), 8775-8784.
- Tippachon, W. and Rerkpreedapong, D. (2009) "Multi-objective Optimal Placement of Switches and Protective Devices in Electric Power Distribution Systems Using Ant Colony Optimization. *Electric Power System Research*. vol. 79, pp. 1171-1178.
- Yaohua He and Chi-Wai Hui. (2007) Genetic algorithm for large-size multi-stage batch plant scheduling, *Chemical Engineering Science* 62 pp. 1504 – 1523.
- Wang L. and Liu B. (2008) Particle swarm optimization and scheduling algorithms. Beijing: Tsinghua University & Springer Press.
- Wang, K., Lo hl, T., Stobbe, M., Engell, S. (2000), A genetic algorithm for online-scheduling of a multiproduct polymer batch plant, *Computers and Chemical Engineering* 24 (2-7), pp. 393-400.
- Yagmahan, B. and Yenisey, M. M. (2008) "Ant Colony for MultiObjective Flow Shop Scheduling Problem." *Computers & Industrial Engineering*. 54, 411-420.
- Zhang, L., Application of particle swarm optimization on batch process scheduling, *Proceedings of the Annual Southeast Conference* 1, pp. 1155-1156, 2005
- Zhixiong, S., & Tieke, L. (2009). Genetic algorithm for minimizing the makespan in hybrid flow shop scheduling problem, Wuhan.

Zhu, J., Gu, X. (2006) A new particle swarm optimization algorithm for short-term scheduling of single-stage batch plants with parallel lines, *Proceedings - ISDA 2006: Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications 2*, art. no. 4021744, pp. 673-678.

Zou, L., Li, C., & He, X. (2009). Application of distributed parallel algorithm for long term crude oil scheduling. *Huagong Xuebao/CIESC Journal*, 60(8), 2003-2009.