KKU Engineering Journal

http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/

การประยุกต์ใช้วิธีฝูงผึ้งสำหรับการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิต-บรรจุ

Applying bee colony optimization heuristic for production scheduling in make-pack manufacturing

วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์ และ รัฐพล สังคะสุข*

Wuthichai Wongthatsanekorn, Busaba Phruksaphanrat and Rataphol Sangkahsuk*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

Department of Industrial Engineering, Facolty of Engineering, Thammasat University, Pathumthani, Thailand, 12120

Received July 2012

Accepted November 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้วิธีฝูงผึ้ง สำหรับการจัดตารางการผลิตของการแก้ปัญหาการผลิตแบบผลิต-บรรจุ โดยมีเป้าหมายการผลิต คือ การใช้เวลาในการผลิตให้น้อยที่สุด ซึ่งทำให้เวลาในการเปลี่ยนชนิดสินค้าและเวลารอคอยจะน้อยที่สุดตามไปด้วย ในการผลิตประกอบด้วย 4 ข้อจำกัดหลัก คือ ข้อจำกัดในเรื่องจำนวนและความสามารถของทรัพยากรการผลิต การใช้ทรัพยากรการผลิตและเวลาในการผลิตที่ไม่เหมือนกันในแต่ละชนิดสินค้า การสับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ และการขนส่งผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิตในแต่ละกระบวนการผลิต ในงานวิจัยนี้วิธีฝูงผึ้งถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาผลิต-บรรจุ ที่มีทรัพยากรการผลิต ได้แก่ ถังเตรียมผสม ถังผสม ถังรอบรรจุ และเครื่องบรรจุ และประยุกต์กับ 2 กรณีศึกษา คือ ปัญหาขนาดเล็กที่มีสูตรสินค้า 2 สูตร โดยแบ่งแยกสินค้าตามขนาดได้ 10 ชนิด และปัญหาขนาดจริง ผลลัพธ์จากปัญหาขนาดเล็กพบว่าเวลาในการผลิตรวมที่ดีที่สุดเท่ากับ 1,447.56 นาที โดยใช้เวลาในการหาคำตอบโดยเฉลี่ย 5.91 วินาที ส่วนปัญหาขนาดจริงที่มีสูตรสินค้า 59 สูตร และแบ่งแยกสินค้าตามขนาดได้ 203 ชนิด พบว่าเวลาในการผลิตรวมที่ดีที่สุดเท่ากับ 7,283 นาที ซึ่งสามารถผลิตสินค้าได้เสร็จก่อนเวลาที่ลูกค้าต้องการใน 1 สัปดาห์ หรือ 10,080 นาที โดยใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ย 1,078.1 วินาที และคำตอบที่ได้จากการทดลองซ้ำมีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนจากค่าที่ดีที่สุดน้อยมากเพียงร้อยละ 0.5 เท่านั้น

คำสำคัญ : ปัญหาผลิต-บรรจุ วิธีฝูงผึ้ง การจัดตารางการผลิต ฮิวริสติก

Abstract

This paper presents the application of Bee Colony Optimization (BCO) for solving make-pack problem. The objective is to reduce the makespan while satisfying the restrictions on the number and capacity of production resources, resource usage and production time for each production, product change over and the production transfer. BCO is applied to solve make-pack problem with four productions resources; premix tank, mix tank, storage tank and packing line. Small and realistic-sized case studies are conducted with BCO. Small case study contains two bulk formulas and 10 final products. The results show that BCO can find the same minimum makespan (1,447.56 minutes) in every trial. The average run time is 5.91 seconds. For the realistic-sized case study with 59 bulk formulas and 203 final products, the results show that the minimum makespan in every trial is slightly different. The mean deviation from the minimum solution (7,283 minutes) is only 0.5% with average run time of 1078.1seconds.

Keywords : Make-pack problem, Bee colony Optimization, Scheduling, Heuristics

*Corresponding author. Tel.: +66 (0) 2564-3002-9; Fax.: +66 (0) 2564-3017

Email address: srataphol@gmail.com

1. บทนำ

ในการผลิตสินค้าอุปโภคบริโภคบางประเภท เช่น สบู่ ยาสระผม และนม เป็นต้น กระบวนการเริ่มจากการผสม (Making) หลังจากนั้นส่วนผสมที่ผลิตได้ถูกส่งไปรอบรรจุ (Storage) และเคลื่อนย้ายไปบรรจุหีบห่อ (Packing) ให้กับลูกค้าต่อไป การผลิตลักษณะนี้เรียกว่า การผลิต-บรรจุ (Make-Pack Production) [1] ซึ่งนักวางแผน (Planner) ประสบปัญหาการกำหนดงานในระยะสั้น ในกรณีที่ต้องการวางแผนการผลิตสินค้าจำนวนน้อยจะพบปัญหาที่มีความซับซ้อนไม่มาก แต่ถ้ามีสินค้าและมีข้อจำกัดจำนวนมากจะทำให้การวางแผนการผลิตมีความยุ่งยากและซับซ้อนขึ้น ส่งผลให้เวลาในการวางแผนการผลิตมากขึ้นตามไปด้วย [2] ได้นำเสนอเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางผลิตระยะสั้นสำหรับโรงงานที่มีลักษณะการผลิตแบบกลุ่ม (Batch Production) ซึ่งการจัดตารางการผลิตนั้นต้องคำนึงถึงความพึงพอใจในความต้องการสินค้าที่มีความแตกต่างกัน เป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ พัฒนาวิธีฝูงผึ้งในการหาคำตอบการผลิต-บรรจุเพื่อหาเวลาการผลิตรวมที่ต่ำที่สุด โดยประยุกต์ใช้กับปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวนสินค้า 10 ชนิด และปัญหาขนาดใหญ่ที่มีจำนวนสินค้า 203 ชนิด [3]ได้นำเสนอวิธีกฎการกำหนดงาน (Schedule Rule) ในการแก้ปัญหาผลิต-บรรจุ โดยใช้ข้อมูลจาก [1]และได้ค่าเวลาในการผลิตรวมที่ดีที่สุดในสัปดาห์แรกที่ประมาณ 8,200 นาที ต่อมา [4] ได้นำเสนอวิธีการตัวเลขเต็มผสมแบบเชิงเส้น (Mixed Integer Linear Programming, MILP) เพื่อแก้ปัญหาโดยลดขนาดปัญหาผลิต-บรรจุให้เล็กลง โดยสมมุติความต้องการสินค้า 5 ชนิด จาก 4 สูตรสินค้า เพื่อหาจำนวนของตัวแปรและเวลาที่ใช้หาคำตอบเมื่อมีความต้องการสินค้าที่แตกต่างกัน [5] ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีฮิวริสติกเชิงเส้นตรง มาใช้แก้ปัญหาโดยลดขนาดปัญหาให้เล็กลง โดยสมมุติความต้องการสินค้า 5 ชนิด จาก 4 สูตรสินค้า เพื่อหาความแตกต่างของค่าที่ดีที่สุดของคำตอบจริงกับค่าที่ดีที่สุดของวิธีฮิวริสติกเชิงเส้นตรงเมื่อมีความต้องการสินค้าที่แตกต่างกัน แต่วิธีดังกล่าวอาจใช้เวลานานในการแก้ปัญหาขนาดจริง สำหรับวิธีฝูงผึ้งนั้นถูกพัฒนาขึ้นโดย [6] ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องของเวลาในการหาคำตอบที่น้อยกว่าวิธีการอื่น และยังคงให้คำตอบที่มีคุณภาพ[7] ได้นำวิธีฝูงผึ้งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับงานในเหมืองแร่ จากงานวิจัยข้างต้น แสดงให้เห็นว่าวิธีฝูงผึ้งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงทั้งในเรื่องคุณภาพและเวลาในการค้นหาคำตอบ จึงเหมาะสมในการแก้ปัญหาที่มีข้อมูลปริมาณมากและมีความซับซ้อนมาก ซึ่งตรงกับคุณสมบัติของปัญหาผลิต-บรรจุ

2. ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัย

ปัญหาที่ใช้ในการงานวิจัยนี้อ้างอิงข้อมูลการผลิตของงานวิจัย [1] โดยในงานวิจัยดังกล่าวเป็นข้อมูลปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมผลิต-บรรจุยาสระผม ทั้งในเรื่องของข้อมูลความต้องการสินค้าและข้อมูลในการผลิตสินค้าที่เกิดขึ้นจริงในปัญหาการผลิต-บรรจุ โดยลักษะปัญหาที่ใช้งานวิจัยมีดังต่อไปนี้

2.1 ความหลากหลายของสินค้า

การผลิตสูตรสินค้ามีทั้งหมด 59 สูตรสินค้า ซึ่งสินค้าแต่ละสูตรสามารถแยกเป็นชนิดสินค้าตามขนาดของบรรจุภัณฑ์ได้ทั้งหมด 203 ชนิด [1]

2.2 ความต้องการสินค้า

ปริมาณความต้องการสินค้าถูกกำหนดเป็นปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละสัปดาห์ ดังนั้นกำหนดวันส่งมอบสินค้า (Due Date) ของทุกสินค้าเท่ากับ 10,080 นาที โดยมีหน่วยปริมาณความต้องการสินค้าเป็นชุดหรือ Batch แต่ในการเริ่มต้นผลิตต้องทราบปริมาณความต้องการของสูตรสินค้าแต่ละสูตรก่อน เนื่องจากข้อมูลความต้องการสินค้า [1]เป็นปริมาณความต้องการสินค้าตามชนิด จึงต้องแปลงความต้องการสินค้าตามชนิดมาเป็นความต้องการตามสูตรสินค้า59 สูตร โดยรวมปริมาณสินค้าที่อยู่สูตรสินค้าเดียวกันเข้าด้วยกัน

2.3 ทรัพยากรการผลิต

ข้อจำกัดของทรัพยากรการผลิตประกอบด้วย ชนิดของทรัพยากรการผลิต จำนวนทรัพยากรการผลิตและประสิทธิภาพของทรัพยากรการผลิต ข้อมูลดังกล่าวมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลของทรัพยากรการผลิต

สัญลักษณ์	ชื่อทรัพยากร	จำนวน	ความจุของถัง (Batch)	ลักษณะการผลิต
PM	ถังเตรียมผสม	3	1	ไม่ต่อเนื่อง
MM	ถังผสม	6	1	ไม่ต่อเนื่อง
ST	ถังรอบรรจุ	6	1	ไม่ต่อเนื่อง
ST	ถังรอบรรจุ	74	0.5	ไม่ต่อเนื่อง
PL	เครื่องบรรจุ	7	0.5	ต่อเนื่อง

2.4 การสับเปลี่ยนชนิดสินค้า

ในการผลิตสินค้าที่มีความหลากหลาย เมื่อมีการผลิตครบตามปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละชนิดแล้ว หากต้องการผลิตสินค้าชนิดใหม่ต้องพิจารณาว่าจำเป็นต้องเพิ่มกระบวนการสับเปลี่ยนชนิดของสินค้าหรือไม่ โดยในการเปลี่ยนกลุ่มสินค้าจะมีการกำหนดกลุ่มการล้างของสูตรสินค้าเป็น 7 กลุ่ม ตามสูตรสินค้าและเมื่อมีการเพิ่มกระบวนการผลิตจะส่งผลต่อเวลาการผลิตและการใช้ทรัพยากรการผลิตที่เพิ่มขึ้น การสับเปลี่ยนชนิดของสินค้ามีการเปลี่ยน 3 ลักษณะ คือ

(1) การล้างถัง (Wash out) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในถังเตรียมผสม ถังผสม และเครื่องบรรจุ โดยล้างเมื่อมีการสับเปลี่ยนของสูตรสินค้าตามตารางที่ 2 หรือมีการล้างถังหลังจากการเปลี่ยนสูตรสินค้าในส่วนถังรอบรรจุ

ตารางที่ 2 ความต้องการล้างถังในการสับเปลี่ยนสินค้า

จาก \ ไป	WF 1	WF 2	WF 3	WF 4	WF 5	WF 6	WF 7
WF 1	X	/	/	/	/	/	/
WF 2	X	X	/	/	/	/	/
WF 3	/	/	X	/	/	/	/
WF 4	X	X	/	X	/	/	/
WF 5	X	X	/	/	X	/	/
WF 6	/	/	/	/	/	X	/
WF 7	/	/	/	/	/	/	X

WF หมายถึง กลุ่มการล้างของกลุ่มสินค้า (Washout Family)
/ หมายถึง จำเป็นต้องมีการล้างถัง
X หมายถึง ไม่จำเป็นต้องมีการล้างถัง

(2) การเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ (Package Change overs) เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดบรรจุภัณฑ์ซึ่งเกิดขึ้นที่สถานีงานเครื่องบรรจุเท่านั้น ในการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์นั้นไม่มีการล้างเครื่องบรรจุในระหว่างการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์

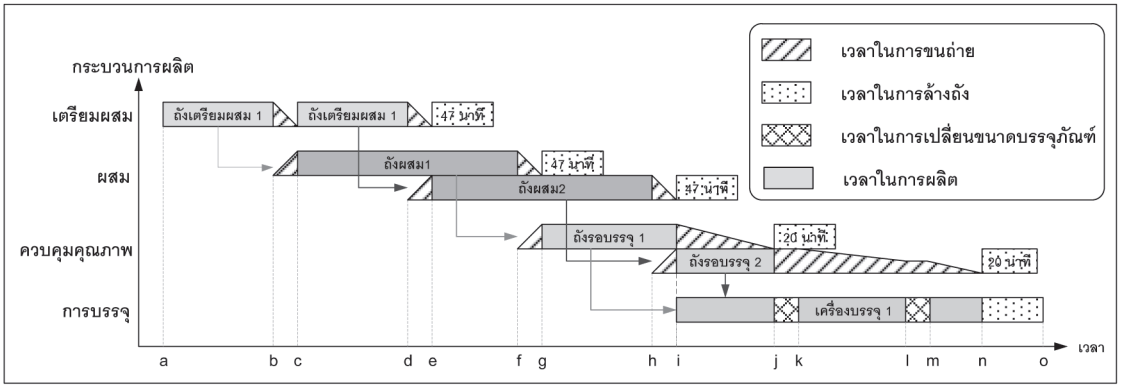
(3) การเปลี่ยนทั้งการล้างถังและการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์ (Combined Wash out & Package Change overs) เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดบรรจุภัณฑ์ และเปลี่ยนแปลงกลุ่มของสูตรสินค้า เกิดกับสถานีงานเครื่องบรรจุเท่านั้น

2.5 กระบวนการผลิต

จากเส้นทางการไหลของงานที่กล่าวในหัวข้อข้างต้น ในการผลิตสินค้าต้องผลิตตามสูตรของสินค้าก่อนแล้วจึงแบ่งตามขนาดบรรจุภัณฑ์ แต่การประเมินความต้องการสินค้าถูกกำหนดตามชนิดของสินค้า ดังนั้น ในการผลิตสินค้าต้องทราบปริมาณการผลิตรวมโดยทำการรวมปริมาณความต้องการของสินค้าแต่ละชนิดที่อยู่ในสูตรสินค้าเดียวกันเข้าด้วยกันเมื่อได้ความต้องการในการผลิตรวมแต่ละสูตรจึงดำเนินการผลิตผ่านสถานีงานต่าง ๆ ตามรูปที่ 1 เป็นการยกตัวอย่างขั้นตอนการวางแผนการผลิตของสินค้าในแต่ละสูตร ดังต่อไปนี้

(1) กระบวนการเตรียมผสม ถังเตรียมผสมสามารถผลิตได้เพียงครั้งละ 1 Batch ถ้ามีปริมาณความต้องการเกินกว่าความสามารถในการผลิตของถังเตรียมผสมจะเกิดการรอคอยเกิดขึ้น โดยการเตรียมผสมใช้เวลาการผลิต a-b และใช้เวลา b-c ในการขนถ่ายไปสถานีงานผสมต่อไป และกลับมาผลิตในส่วนของปริมาณความต้องการที่ยังค้างอยู่โดยใช้เวลาในการผลิต c-d และใช้เวลา d-e ในการขนถ่ายไปสถานีงานผสมต่อไป เมื่อผลิตครบตามความต้องการสูตรสินค้าแล้วต้องพิจารณาว่าสูตรสินค้าที่ทำการผสมตัวถัดไปจำเป็นต้องมีการล้างถังบรรจุหรือไม่ ตามหัวข้อ 2.4 ซึ่งการเปลี่ยนการผลิตสินค้า ในกรณีที่มีการล้างถังต้องใช้เวลาเพิ่มอีกเฉลี่ย 47 นาที

(2) กระบวนการผสม เริ่มการจากการขนถ่ายงานจากถังเตรียมผสมใน Batch แรกที่เตรียมไว้เป็นเวลา c-d มายังถังผสม 1 แล้วทำการผสมเป็นเวลา c-f และถูกส่งต่อไปยังถังรอบรรจุ 1 โดยใช้เวลา f-g ในกระบวนการผสมสูตรสินค้าลำดับถัดไปหากมีการสับเปลี่ยนสูตรการผลิตสินค้าจำเป็นต้องมีการล้าง ตามหัวข้อ 2.4 ซึ่ง ในการล้างถังต้องใช้เวลาเพิ่มอีกเฉลี่ย 47 นาที และเริ่มการผสมอีกครั้งใน Batch ที่ค้างอยู่ เป็นเวลา d-e มายังถังผสม 2 แล้วทำการผสมเป็นเวลา e-h และถูกส่งต่อไปยังถังรอบรรจุ 2 โดยใช้เวลา h-i และพิจารณาว่าสูตรสินค้าที่ทำการผสมลำดับถัดไปจำเป็นต้องมีการล้างถังบรรจุหรือไม่ ตามหัวข้อ 2.4 กรณีที่มีการล้างถังต้องใช้เวลาเพิ่มอีกเฉลี่ย 47 นาที



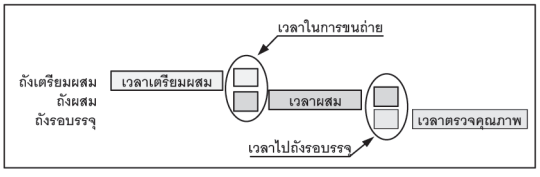
รูปที่ 1 วิธีการผลิตของสินค้า 1 ชนิด

(3) กระบวนการควบคุมคุณภาพ ถังรอบรรจุสามารถผลิตได้ครั้งละ 0.5 หรือ 1 Batch แต่ในตัวอย่างนี้สมมุติว่าถังรอบรรจุมีขนาด 1 Batch เริ่มการผลิตโดยการขนถ่ายเข้าถังรอบรรจุใช้เวลา f-g และใช้เวลา g-h สำหรับควบคุมคุณภาพในถังรอบรรจุ 1 จากนั้นใช้เวลา i-k ในการขนถ่ายไปสถานีงานผสมต่อไป และใช้เวลาในล้างถังอีก 20 นาที พิจารณาสูตรสินค้าที่ผสมเสร็จแล้วใน Batch ต่อมา โดยขนถ่ายไปยังถังรอบรรจุ 2 ด้วยเวลา h-i ในขั้นตอนการขนถ่ายเข้าถังรอบรรจุและต้องมีทิ้งไว้เพื่อควบคุมคุณภาพในถังรอบรรจุ 2 เป็นเวลา g-h จากนั้นใช้เวลา i-k ในการขนถ่ายไปสถานีงานบรรจุต่อไป และใช้เวลาในล้างถังอีก 20 นาที

(4) กระบวนการบรรจุ เครื่องบรรจุมีความสามารถในการบรรจุ 0.5 Batch ซึ่งเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยมีข้อจำกัดสำหรับสินค้าในแต่ละชนิดและเวลาในการผลิตที่ต่ำที่สุด ซึ่งในการขนถ่ายระหว่างกระบวนการรอบรรจุกับบรรจุนั้นไม่คิดเวลาในการขนถ่ายเนื่องจากเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง เริ่มจากการผลิต Batch แรก จากถังรอบรรจุ 1 ใช้เวลาตั้งแต่ i-j และมีการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์โดยใช้เวลา j-k แล้วเริ่มการบรรจุ Batch ต่อมา จากถังรอบรรจุ 2 โดยทำการบรรจุเป็นเวลา k-n ซึ่งมีกระบวนการเปลี่ยนขนาดบรรจุภัณฑ์เวลา l-m และเมื่อผลิตครบตามความต้องการสูตรสินค้าต้องพิจารณาว่ามีการเปลี่ยนการผลิตสินค้าที่บรรจุในลำดับถัดไปหรือไม่ ตามหัวข้อ 2.4 หากมีการเปลี่ยนการผลิตสินค้าต้องมีการล้างถังโดยเวลา n-o

2.6 เวลาในการผลิต

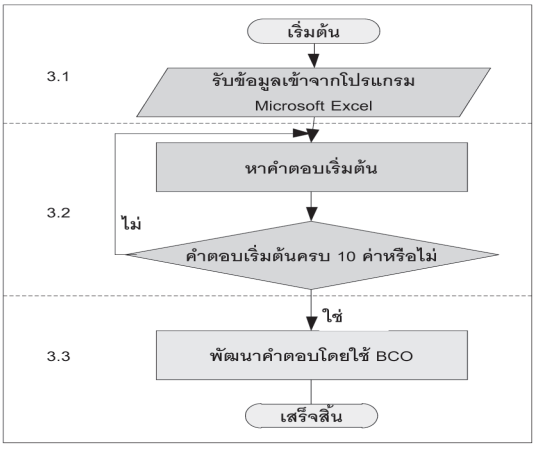
เวลาการผลิตจะประกอบด้วย เวลาการเตรียมผสม การขนถ่าย การผสม การส่งต่อไปยังถังรอบรรจุ การตรวจคุณภาพ และการบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เวลาที่ใช้ในการผลิต

3. การประยุกต์ใช้กับวิธีฝูงผึ้ง

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีฝูงผึ้ง (Bee Colony Optimization: BCO) เพื่อแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมผลิต-บรรจุ โดยมีเป้าหมายที่สามารถตอบสนองความต้องการสินค้าให้ทันกำหนดเวลา โดยลดเวลาในการผลิตให้น้อยที่สุด [8, 9] หรือลดเวลาที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิต คือ เวลาในการสับเปลี่ยนสินค้าและเวลาที่เกิดจากการรอคอยระหว่างมีกระบวนการผลิตให้ต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดดังที่กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งในการประยุกต์พัฒนาโปรแกรมสำหรับพัฒนาคำตอบตามแผนผังในรูปที่ 3 และสามารถอธิบายขั้นตอนหลักในการพัฒนาโปรแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3 แผนภูมิขั้นตอนในการพัฒนาโปรแกรม

3.1 การรับข้อมูลจากฐานข้อมูล

เป็นการรับข้อมูลจากฐานข้อมูล ซึ่งถูกบันทึกในโปรแกรม Microsoft Excel 2003 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ความสามารถของทรัพยากรการผลิตแต่ละชนิดในฐานข้อมูลชื่อ Equipment sheet

(2) ความสัมพันธ์ของถังเตรียมผสมกับถังผสมในฐานข้อมูลชื่อ Making Systems sheet

(3) เวลาการผลิตและกลุ่มการล้างของสินค้าแต่ละสูตรในฐานข้อมูลชื่อBulk Intermediates sheet

(4) ความสัมพันธ์ของถังผสมกับสินค้าในแต่ละสูตรในฐานข้อมูลชื่อ Bulk Production sheet

(5) ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนกลุ่มการล้างของกลุ่มสินค้าหนึ่ง ไปยังอีกกลุ่มการล้างของกลุ่มสินค้าหนึ่งในฐานข้อมูลชื่อ Bulk Wash Outs sheet

(6) ความต้องการสินค้าในแต่ละสัปดาห์ในฐานข้อมูลชื่อ Demands sheet

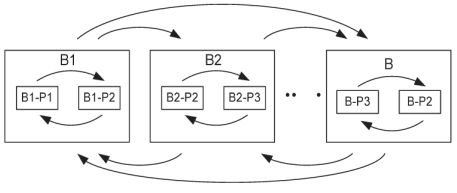
(7) ความสัมพันธ์ของเวลาการบรรจุกับสินค้าชนิดต่าง ๆ ในฐานข้อมูลชื่อ Pack Times sheet

(8) ความสัมพันธ์ของเวลาในการเปลี่ยนชนิดสินค้าของแต่ละชนิดสินค้าในฐานข้อมูลชื่อ Packing WO & CO sheet

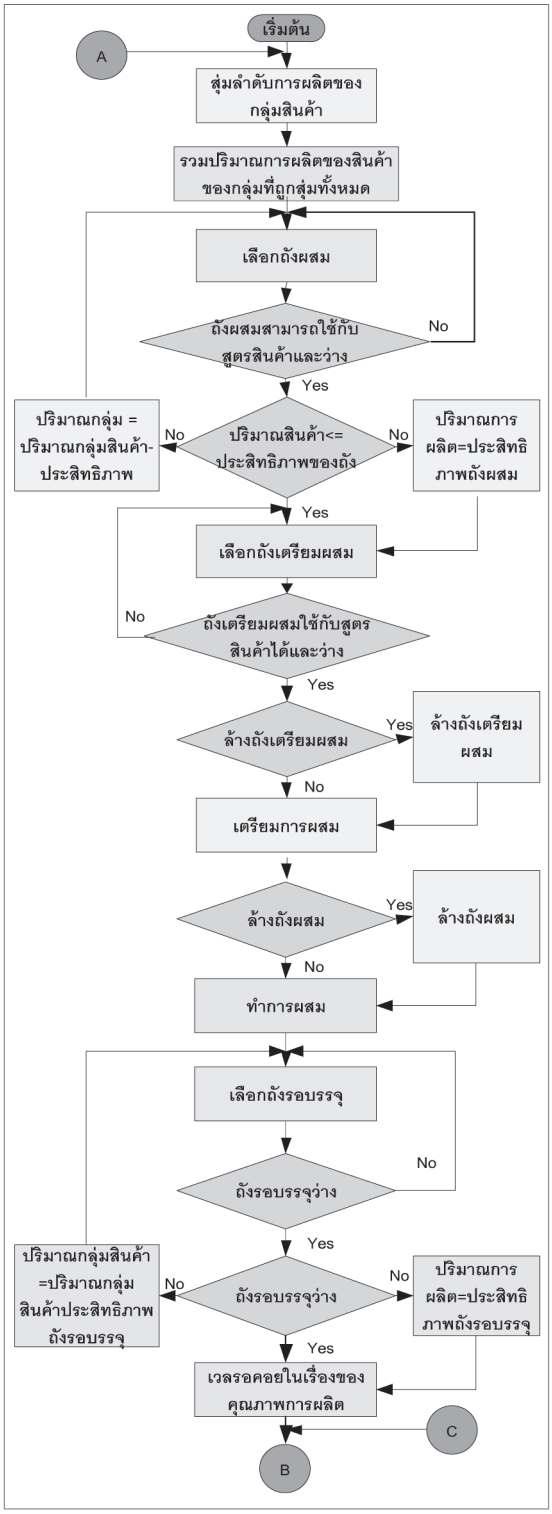
ในการสร้างฐานข้อมูลใน Microsoft Excel ช่วยให้การจัดการข้อมูล ทั้งด้านการเพิ่มข้อมูล การแก้ไข การใช้ข้อมูลที่มีจำนวนมากได้ ตลอดจนบุคลากรไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญด้านโปรแกรมก็สามารถสร้างฐานข้อมูลได้ ทำให้การสร้างฐานข้อมูลทำได้ง่ายและไม่ซับซ้อนแม้มีข้อมูลจำนวนมาก

3.2 การหาคำตอบเริ่มต้น

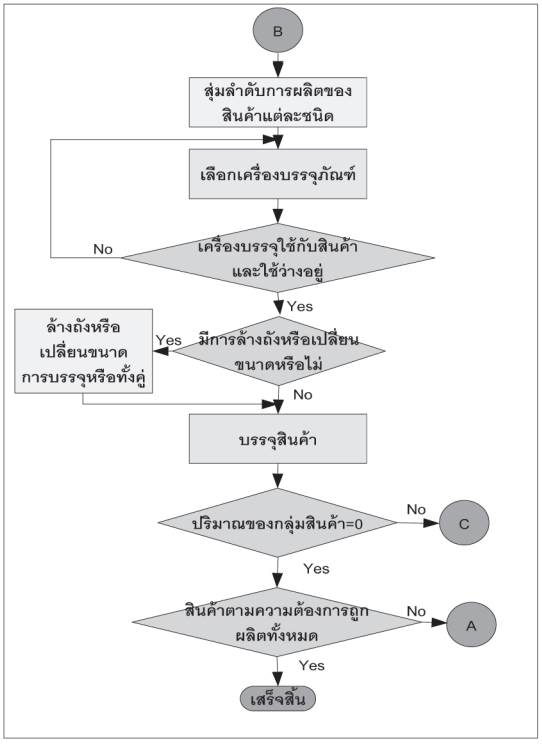
สินค้าที่มีสูตรเดียวกันจะถูกรวมและผสมให้เสร็จภายในครั้งเดียว เพื่อลดเวลาในการสับเปลี่ยนสูตรสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงลำดับการผลิตโดยเริ่มจากการสุ่มลำดับในการผสมสูตรสินค้า (B) ทั้งหมดในครั้งเดียว และสุ่มขนาดบรรจุภัณฑ์ (P) ที่ใช้บรรจุภายในสูตรสินค้า B ที่ผสมเรียบร้อยแล้วเพื่อหาคำตอบเริ่มต้น 10 ค่า ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนในการหาคำตอบเริ่มต้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ตัวอย่างวิธีการสุ่มลำดับการผลิต



รูปที่ 5 แผนภูมิการหาคำตอบเริ่มต้น



รูปที่ 5 แผนภูมิการหาคำตอบเริ่มต้น (ต่อ)

3.3 การพัฒนาคำตอบโดยวิธีฝูงผึ้ง

วิธีฝูงผึ้งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาน้ำหวานของผึ้ง โดยดำเนินการผ่านตัวดำเนินการ คือ ผึ้ง โดยแบ่งชนิดของผึ้ง ออกเป็น 2 ชนิด คือ ผึ้งสอดแนม (Scout Bee) และผึ้งงาน (Employee Bee) เพื่อค้นหาคำตอบ โดยสมมุติว่าคำตอบเป็นแหล่งน้ำหวาน หน้าที่ของผึ้งสอดแนม คือ ค้นหาแหล่งน้ำหวานแบบสุ่มในขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Search Space) เมื่อผึ้งสอดแนมค้นหาคำตอบได้ ก็บินกลับมาที่รังผึ้ง เพื่อสื่อสารกับผึ้งตัวอื่น ๆ ภายในรังผึ้ง การสื่อสารของผึ้งใช้วิธีการเต้นลักษณะต่าง ๆ เพื่อบอกปริมาณน้ำหวาน ทิศทางของแหล่งน้ำหวาน จากนั้นผึ้งงานจะขนน้ำหวานจากแหล่งน้ำหวานกลับมาที่รังผึ้ง โดยจำนวนผึ้งงานที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหวานและระยะทาง [10] โดยมีขั้นตอนในการพัฒนาคำตอบ [7] ดังนี้

(1) สร้างผึ้งสอดแนมจำนวน n=10 ตัว เพื่อค้นหาคำตอบเริ่มต้น หรือค่าที่ได้จากหัวข้อ 3.2 และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ NC=0

(2) ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งสอดแนม พร้อมทั้งจัดลำดับจากมากไปหาน้อย

(3) เลือกคำตอบที่มีค่าสูงสุด m=5 คำตอบแรก

(4) คัดแยกคำตอบ m = 5ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกมีคำตอบที่ดีที่สุด e =2 คำตอบ และกลุ่มที่ 2 มีคำตอบที่ดีรองลงมา m-e =3 คำตอบ

(5) กำหนดขอบเขตในการค้นหาคำตอบข้างเคียงโดยสุ่มลำดับการบรรจุบรรจุภัณฑ์ใหม่แต่ยังคงใช้ลำดับการผลิตสูตรสินค้าในการผลิตเดิม โดยค่าที่ดีที่สุด e=2 ค่าแรกหาค่าข้างเคียง 5 ค่า และค่าที่ดีที่สุด m-e =3 ค่า ต่อมาหาคำตอบข้างเคียง 3 ค่า

(6) ให้ผึ้งงานค้นหาคำตอบข้างเคียงจากคำตอบที่ดีที่สุด m=5 คำตอบ

(7) ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการค้นหาของผึ้งงานในแต่ละแหล่ง และเลือกคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละแหล่ง

(8) ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าครบเงื่อนไขของจำนวนรอบของการวนซ้ำ (NC) ให้หยุดการค้นหา ถ้าไม่ตรงตามเงื่อนไขให้เพิ่มจำนวนรอบของการทำซ้ำ NC=NC+1

(9) กำหนดให้ผึ้งสอดแนมจำนวน n-m =5 ตัว ค้นหาคำตอบใหม่ แล้วไปดำเนินในขั้นตอนที่ 2 ทำซ้ำไปเรื่อยจนได้คำตอบที่สูงที่สุด

4. กรณีศึกษา

ในการแก้ปัญหาเขียนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในภาษา C# ในโปรแกรม Visual Studio 2008 โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลของ Intel core i5 ความเร็วหน่วยประมวลผล 2.3 GHz Ram 4 GB โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพของวิธีฝูงผึ้ง คือ เวลารวมในการผลิตและเวลาในการหาคำตอบ ในที่นี้แบ่งการศึกษาวิจัยเป็น 2 กรณี ดังต่อไปนี้

4.1 กรณีศึกษาขนาดเล็ก (สินค้า 10 ชนิด)

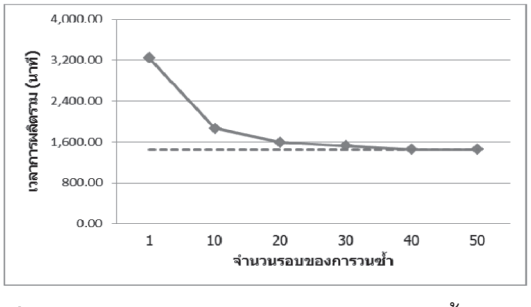
ในการทดลองนี้ประยุกต์ BCO สำหรับปัญหาขนาดเล็กซึ่งมีจำนวนสินค้า 10 ชนิด จากสูตรสินค้า 2 สูตร โดยใช้วิธีการ BCO ที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังนี้

- ผึ้งสอดแนม 10 ตัว (n=10)
- จำนวนแหล่งน้ำหวานที่มีปริมาณน้ำหวานมาก (m=5)
- จำนวนการหาคำตอบใกล้เคียงของค่าที่สุด 2 แรก 5 ค่า
- จำนวนการหาคำตอบใกล้เคียงของค่าที่ดีที่สุด 3 ค่าต่อมา คือ 3 ค่า

- จำนวนรอบของการวนซ้ำ คือ 50 รอบ (NC=50)

ซึ่งในตารางที่ 3 แสดงผลลัพธ์ของการทดลองซ้ำ 10 ค่า เพื่อประเมินภาพรวมของคำตอบด้วยวิธีฝูงผึ้งซึ่งประกอบด้วยเวลารวมของการผลิตในหน่วยนาที เวลาในการหาคำตอบในหน่วยวินาที เวลาที่ต่ำที่สุดของเวลาการผลิตด้วยวิธีฝูงผึ้ง ค่าเฉลี่ยเวลาการผลิตทั้งหมด ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ต่ำที่สุดเวลาที่ต่ำที่สุดของเวลาในการหาคำตอบ ค่าเฉลี่ยของเวลาในการหาคำตอบ และค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ต่ำที่สุด

จากตารางที่ 3 แสดงค่าที่สุดของเวลาการผลิตทั้งหมดและค่าเฉลี่ยของเวลาการผลิตทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบของการวนซ้ำที่ 50 รอบ มีความเหมาะสมในการหาคำตอบ โดยทุก ๆ การทดลองทั้ง 10 ครั้ง ได้ค่าเวลาการผลิตทั้งหมดเท่ากันคือ 1,447.56 นาที และเวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบ คือ 5.91วินาที และนำคำตอบที่ได้มาเปรียบเทียบความถูกต้องกับการหาเวลาการผลิตด้วยมือ ซึ่งคำตอบดังกล่าวตรงกับคำตอบที่ได้จากการแจกแจงคำตอบที่เป็นได้ทั้งหมด (Enumeration) 10! หรือ 3,628,800 คำตอบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีฝูงผึ้งในการแก้ปัญหาขนาดเล็กได้อย่างถูกต้องและสามารถหาคำตอบที่ต่ำที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและสามารถแสดงการลู่เข้าหาค่าที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง ดังตารางที่ 4และรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟแสดงการลู่เข้าสู่คำตอบด้วยวิธีฝูงผึ้ง

จากตารางที่ 4 และรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้งอย่างรวดเร็วใน 20 รอบแรกของการวนซ้ำ หลังจากนั้น การพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้นทำได้ยากขึ้นและเมื่อถึงรอบที่ 40แทบไม่สามารถพัฒนาคำตอบได้อีก ทำให้งานวิจัยนี้เลือกจำนวนรอบของการวนซ้ำที่ 50 รอบ

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของสินค้า 10 ชนิด

การทดลองครั้งที่	เวลาผลิตรวมที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง(นาที)	เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)
1	1,447.56	4.46
2	1,447.56	6.83
3	1,447.56	5.79
4	1,447.56	6.48
5	1,447.56	4.10
6	1,447.56	4.42
7	1,447.56	7.64
8	1,447.56	6.32
9	1,447.56	7.82
10	1,447.56	5.25
ค่าเฉลี่ย	1,447.56	5.91
คำตอบที่ต่ำที่สุด	1,447.56	4.10
ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากค่าต่ำที่สุด	0	1.811

ตารางที่ 4 การพัฒนาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง

รอบของการวนซ้ำ	เวลารวมการผลิต (นาที)
1	3,238.51
10	1,863.76
20	1,587.95
30	1,524.37
40	1,447.56
50	1,447.56

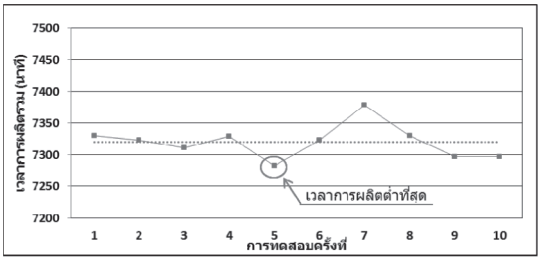
4.2 กรณีศึกษาขนาดใหญ่

ข้อมูลที่ใช้มาจากปัญหาจริง เพื่อวางแผนการผลิตสินค้า 203 ชนิด ซึ่งมาจากสูตรสินค้า 59 สูตร โดยพารามิเตอร์ที่ใช้จะเหมือนกับกรณีศึกษาขนาดเล็ก ยกเว้นจำนวนรอบของการวนซ้ำเปลี่ยนจาก 50 รอบ เป็น 300 รอบ (NC=300)

ในกรณีศึกษานี้ได้ทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง เพื่อประเมินภาพรวมของคำตอบ ดังตารางที่ 4 และใช้แผนภูมิในรูปที่ 6 ในการหาค่าคำตอบที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์ของสินค้า 203 ชนิด

การทดลองครั้งที่	เวลาผลิตรวมที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง (นาที)	เวลาในการหาคำตอบ (วินาที)
1	7,330.29	1,095.04
2	7,323.28	1,098.17
3	7,310.47	1,074.07
4	7,329.11	1,057.94
5	7,283.00	1,066.69
6	7,323.28	1,098.17
7	7,378.10	1,062.59
8	7,330.32	1,059.33
9	7,296.88	1,069.63
10	7,296.46	1,099.36
ค่าเฉลี่ย	7,320.12	1,078.10
คำตอบที่ต่ำที่สุด	7,283.00	1,057.94
ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ต่ำที่สุด	37.12	20.16

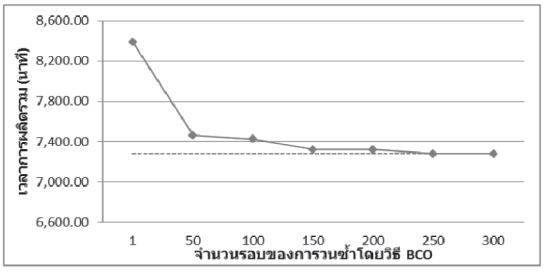


รูปที่ 7 แผนภูมิแสดงเวลาการผลิตรวม

ตารางที่ 5 และรูปที่ 7 แสดงผลลัพธ์ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่โดยใช้วิธีฝูงผึ้ง ซึ่งจากการทดลอง 10 ครั้งพบว่าเวลาการผลิตรวมต่ำที่สุด คือ 7,283.00 นาที โดยมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากค่าดีที่สุด 37.12 นาที หรือร้อยละ 0.5 ซึ่งค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นมีค่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถหาคำตอบของเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุดได้ดีกว่าวิธีกฎการกำหนดงานที่ได้เวลาการผลิตรวมที่ต่ำที่สุด ประมาณ 8,200 นาที แสดงให้เห็นว่าวิธีฝูงผึ้ง ให้คุณภาพของคำตอบดีกว่าวิธีกฎการกำหนดงาน[3] ร้อยละ 11.83 และสามารถแสดงการลู่เข้าหาค่าที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง ดังตารางที่ 6 และรูปที่ 8

ตารางที่ 6 การพัฒนาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้ง

รอบของการวนซ้ำ	เวลารวมการผลิต (นาที)
1	8,389.51
50	7,463.76
100	7,427.95
150	7,320.37
200	7,320.37
250	7,280.00
300	7,280.00



รูปที่ 8 กราฟแสดงการลู่เข้าสู่คำตอบด้วยวิธีฝูงผึ้ง

จากตารางที่ 6 และรูปที่ 8 แสดงให้เห็นถึงการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้งอย่างรวดเร็วใน 50 รอบแรกของการการวนซ้ำ หลังจากนั้น การพัฒนาคำตอบที่ดีขึ้นทำได้ยากขึ้น และเมื่อถึงรอบที่ 250 แทบไม่สามารถพัฒนาคำตอบได้อีก ทำให้งานวิจัยนี้เลือกจำนวนรอบของการวนซ้ำที่ 300 รอบ อย่างไรก็ตาม เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบเพิ่มขึ้นจากปัญหาขนาดเล็กเป็นอย่างมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,078.10 วินาที หรือประมาณ 18 นาที แสดงให้เห็นว่ายิ่งปัญหามีขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น โดยในปัญหาขนาดเล็กที่มีสูตรสินค้า 2 สูตร 10 ชนิด ใช้เวลาเพียง 5.91วินาที แต่ในปัญหาขนาดใหญ่ที่มีสูตรสินค้า 59 สูตร 203 ชนิด ใช้เวลาถึง 1,078 วินาที ซึ่งมากกว่าปัญหาขนาดเล็กถึง 180 เท่า แต่ยังสามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกแบบวิธีฝูงผึ้งในการแก้ปัญหาผลิต-บรรจุ เพื่อวางแผนลำดับการผลิตและลำดับการใช้ทรัพยากรการผลิตให้สามารถผลิตเสร็จภายในช่วงเวลาความต้องการที่กำหนด โดยมีเวลาการผลิตรวมที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีฝูงผึ้ง ภายใต้เงื่อนไขหลักคือ จำนวนและประสิทธิภาพของทรัพยากรการผลิต การใช้ทรัพยากรการผลิตและเวลาในการผลิตที่ไม่เหมือนกันในแต่ละชนิดสินค้า การสับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์และการขนส่งในการใช้ทรัพยากรในแต่ละกระบวนการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดที่ได้จากการทดลองกับปัญหาขนาดเล็กเหมือนกันทุกการทดลอง คือ 1,447.56 นาที และใช้เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบเพียงแค่ 5.91 วินาที ซึ่งแสดงว่าวิธีฝูงผึ้งมีประสิทธิภาพสูงสำหรับปัญหาขนาดเล็ก สำหรับปัญหาจริงขนาดใหญ่ ที่มีสินค้า 203 ชนิด พบว่าเวลาการผลิตรวมที่ต่ำที่สุด คือ 7,283.00 นาที และในแต่ละครั้งของทดสอบมีค่าที่ต่ำที่สุดไม่เท่ากันโดยมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากค่าดีที่สุด คือ 37.12 นาที หรือร้อยละ 0.5 โดยวิธีกฎการกำหนดงานได้เวลาการผลิตรวมที่ต่ำที่สุด ประมาณ 8,200 นาที ดังนั้นวิธีฝูงผึ้งสามารถพัฒนาคุณภาพในด้านเวลาการผลิตรวมที่ต่ำกว่าวิธีกฎการกำหนดงาน เท่ากับร้อยละ 11.83และสามารถผลิตสินค้าได้เสร็จก่อนเวลาที่ลูกค้าต้องการในแต่ละสัปดาห์ หรือก่อนกำหนดวันส่งมอบสินค้า (Due Date) ของทุกสินค้าที่เท่ากับ 10,080 นาทีซึ่งเห็นได้ว่าเวลาการผลิตรวมต่ำที่สุดของวิธีฝูงผึ้ง คือ 7,283.00 นาที เร็วกว่าเวลาความต้องการสินค้า เท่ากับร้อยละ 32.56 โดยใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ย 1,078.10 วินาที ซึ่งทำให้สามารถหาลำดับการผลิตในเวลาที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นวิธีฝูงผึ้งมีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ความเห็นในรายงานผลการวิจัยนี้เป็นของผู้วิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

7. เอกสารอ้างอิง

[1] S. J. Honkomp, S. Lombardo, O. Rosen, and J. F. Pekny, “The curse of reality - Why process scheduling optimization problems are difficult in practice,” *Computers and Chemical Engineering,* vol. 24, pp. 323-328, 2000.

[2] J. M. Pinto and I. E. Grossmann, “A continuous time mixed integer linear programming model for short term scheduling of multistage batch plants,” *Industrial and Engineering Chemistry Research,* vol. 34, pp. 3037-3051, 1995.

[3] C. U. Ƒndeling and N. Trautmann, “Scheduling of make and pack plants: a case study,” vol. 21, ed, 2006, pp. 1551-1556.

[4] P. Baumann and N. Trautmann, “A continuous-time MILP to compute schedules with minimum changeover times for a make-and-pack production,” vol. 29, ed, 2011, pp. 1060-1064.

[5] P. Baumann and N. Trautmann, “Heuristic decomposition and LP-based scheduling in make-and-pack production,” in *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM*2011, Singapore, 2011, pp. 362-366.

[6] D. T. Pham, A. Ghanbarzadeh, E. Koç, S. Otri, S. Rahim, and M. Zaidi, “- The Bees Algorithm — A Novel Tool for Complex Optimisation Problems,” in *Intelligent Production Machines and Systems*, D. T. Pham, E. E. Eldukhri, E. E. E. A.J. SorokaA2 - D.T. Pham, and A. J. Soroka, Eds., ed Oxford: Elsevier Science Ltd, 2006, pp. 454-459.

[7] L. P. Wong, C. Y. Puan, M. Y. H. Low, and C. S. Chong, "Bee colony optimization algorithm with big valley landscape exploitation for job shop scheduling problems," 2008.

[8] L. Tang and X. Wang, "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,* 2009.

[9] S. Zhixiong and L. Tieke, "Genetic algorithm for minimizing the makespan in hybrid flow shop scheduling problem," Wuhan, 2009.

[10] S. Camazine and J. Sneyd, "A model of collective nectar source selection by honey bees: Self-organization through simple rules," *Journal of Theoretical Biology,* vol. 149, pp. 547-571, 1991.