

การประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมแบบผสมเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตาราง การผลิตชนิดสายการประกอบแบบไหลเลื่อน Application of Hybrid Genetic Algorithms for Assembly Flow Shop Scheduling Problem

สีบพงศ์ แสงอุดร¹ และ ธีรเดช วุฒิพรพันธ์^{2*}
Suebpong Sangudon¹ and Teeradej Wuttiornpun^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตแบบผสมเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ตัวอย่างซึ่งมีระบบการผลิตเป็นสายการประกอบแบบไหลเลื่อน (Assembly Flow Shop) และทำการผลิตสินค้า 16 ชนิด แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในด้านรายการวัสดุ เครื่องจักร และขั้นตอนที่ใช้ในการผลิต บางขั้นตอนต้องทำงานบนสถานีงานหลักเท่านั้น แต่บางขั้นตอนสามารถเลือกที่จะทำบนสถานีหลักหรือสถานีงานรองได้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรมแบบผสม (Hybrid Genetic Algorithm) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการเนบอร์ฮูดเสิร์ช (Genetic Algorithm and Neighborhood Search: GANS) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดของผลรวมระหว่างค่าใช้จ่ายเนื่องจากความล่าช้าของงาน (Tardiness Cost) และค่าใช้จ่ายเมื่อมีงานค้างอยู่ในระบบ (Flow-time Cost) หลังจากการทดลองนำวิธีการ GANS ไปใช้ในการจัดตารางการผลิตให้กับใบสั่งผลิตจำนวน 80 ใบ หรือ 521 คำสั่งผลิต พบว่าวิธีการ GANS จะให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี GA และวิธี

การที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (Earliest Due Date: EDD) และวิธีการที่นำเสนอนี้ยังสามารถลดเวลาในการจัดตารางการผลิตลงจากเดิมซึ่งใช้เวลาโดยประมาณ 5-7 วันเหลือเพียง 5 นาทีเท่านั้น

คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิต ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

Abstract

This research proposes a hybrid genetic algorithm for an assembly flow shop scheduling problem. There are 16 finished products and each of them has different properties such as product structure, required work centers, and required operations of each work order. There are two work center priorities. Some operations must be produced only on the first priority work center, whereas some operations can be produced on both the first and second priority work centers (alternatively). The authors apply a hybrid genetic algorithm which is a combination of a genetic

¹ นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* Corresponding Author, Tel. 0-2913-2500 Ext 8141, E-mail: teeradejw@kmutnb.ac.th

algorithm (GA) and neighborhood search (GANS). An objective function is to minimize sum of tardiness cost and flow-time cost. The proposed algorithm is then applied to 80 customer orders or 521 operations. The results shows that the GANS obtains better total cost than the GA or the existing method (Earliest Due Date:EDD) The proposed algorithm can greatly reduce the time required in scheduling tasks from 5-7 days to only 5 minutes.

Keywords: Production Scheduling, Assembly Flow Shop, Genetic Algorithms

1. บทนำ

ปัญหาการจัดตารางการผลิต เป็นลักษณะปัญหาที่มีความเป็นไปได้ของคำตอบมากมาย ปัญหาหลักของปัญหานี้คือเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่จะส่งผลให้มีคำตอบที่เป็นไปได้เพิ่มมากขึ้นเป็นแบบทวีคูณ ใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนาน และทำให้การหาคำตอบที่ดีที่สุดเป็นไปได้ยากจากแนวคิดในงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการประยุกต์ใช้วิธีการต่างๆ ในการแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิต และสามารถแบ่งวิธีการเหล่านี้ออกเป็น 3 วิธี วิธีแรกเป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการนี้จะได้คำตอบที่ดีที่สุดแต่ใช้เวลาหาคำตอบนานเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน วิธีการเหล่านี้ได้แก่ วิธีแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound: BB) วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Programming: IP) วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) [1], [2] เป็นต้น วิธีการที่สองเป็นวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกส์ วิธีการนี้จะไม่การันตีคำตอบที่ดีที่สุดแต่สามารถหาคำตอบได้เร็วโดยคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมตามเวลาหรือจำนวนรอบในการหาคำตอบที่กำหนด วิธีการเหล่านี้ได้แก่ วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GA) [3]-[5] วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) วิธีการค้นหาแบบทาบู่ (Tabu Search: TS) [6] เป็นต้น วิธีการที่สามเป็นวิธีการแบบผสม วิธีการนี้จะ

นำวิธีการจาก 2 วิธีแรก เข้ามาผสมผสาน (Hybrid) เป็นวิธีการใหม่ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบดีขึ้น เช่น การใช้วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) ผสมกับวิธีการ GA [7] เป็นต้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าวิธีการ GA ถูกใช้อย่างกว้างขวาง แต่เนื่องจากวิธีการนี้เป็นการค้นหาคำตอบในวงกว้างเท่านั้นและไม่เจาะจงค้นหาเฉพาะที่ [8] ทำให้คำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสมเสมอไป งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้วิธีการ GA ร่วมกับวิธีการเนเบอร์ฮูดเสิร์ช (Genetic Algorithms and Neighborhood Search: GANS) เพื่อเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบที่ดีกว่าการใช้วิธีการ GA แบบเดิม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดของผลรวมระหว่างค่าใช้จ่ายเนื่องจากความล่าช้า (Tardiness Cost) และค่าใช้จ่ายเมื่อมีงานค้างอยู่ในระบบ (Flow-time Cost) งานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้ ส่วนที่ 2 นำเสนอลักษณะปัญหาการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง ส่วนที่ 3 นำเสนอขั้นตอนและตัวอย่างของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GANS ส่วนที่ 4 เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของแต่ละวิธี ส่วนที่ 5 เป็นผลการทดลองและการวิเคราะห์ ส่วนที่ 6 เป็นบทสรุป และข้อเสนอแนะของงานวิจัยนี้

2. ลักษณะปัญหาการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ตัวอย่างมีระบบการผลิตเป็นสายการประกอบแบบไหลเลื่อน (Assembly Flow Shop) และทำการผลิตสินค้าที่แตกต่างกัน 16 ชนิด สินค้าแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันในด้านรายการวัสดุที่ใช้ ขั้นตอนการผลิต สถานที่งานที่ใช้ในการผลิต และเงื่อนไขในการเรียงลำดับก่อนหลัง บางขั้นตอนการผลิตสามารถเลือกทำงานบนสถานงานได้ทั้งสถานงานหลักและสถานงานรอง ในขณะที่บางขั้นตอนการผลิตต้องทำงานบนสถานงานหลักเท่านั้น ตารางที่ 1 แสดงการจำลองตัวอย่างที่มีลักษณะสอดคล้องกับสภาพปัญหาจริงที่เกิดขึ้น ข้อมูลในตารางจะประกอบด้วย ใบบังผลิต A,

B, C และ D ซึ่งในแต่ละใบสั่งผลิตจะประกอบด้วยคำสั่งผลิตต่างๆ ที่ต้องดำเนินการ เช่น ใบสั่งผลิต C ประกอบไปด้วยคำสั่งผลิต C1, C2 และ C3 รวมถึงข้อมูลสถานียานหลักและสถานีงานรองของแต่ละคำสั่งผลิต เป็นต้น

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการผลิต

ใบสั่งผลิต	คำสั่งผลิต	สถานีงานหลัก	สถานีงานรอง
A	A1	สถานีงานที่ 1	สถานีงานที่ 2
	A2	สถานีงานที่ 2	-
	A3	สถานีงานที่ 3	สถานีงานที่ 4
	A4	สถานีงานที่ 4	-
B	B1	สถานีงานที่ 1	สถานีงานที่ 2
	B2	สถานีงานที่ 2	-
	B3	สถานีงานที่ 3	สถานีงานที่ 4
	B4	สถานีงานที่ 4	-
	B5	สถานีงานที่ 5	สถานีงานที่ 6
C	C1	สถานีงานที่ 1	สถานีงานที่ 2
	C2	สถานีงานที่ 3	สถานีงานที่ 4
	C3	สถานีงานที่ 5	สถานีงานที่ 6
D	D1	สถานีงานที่ 1	สถานีงานที่ 2
	D2	สถานีงานที่ 2	-
	D3	สถานีงานที่ 3	สถานีงานที่ 4
	D4	สถานีงานที่ 5	สถานีงานที่ 6

รูปที่ 1 ก ถึง ง แสดงโครงสร้างของสินค้าแต่ละชนิด ซึ่งจะประกอบไปด้วย เวลาในการเริ่มทำการผลิต เวลาทำการผลิตเสร็จสิ้นของแต่ละคำสั่งผลิต และขั้นตอนก่อน-หลัง ในการผลิต (Precedence) ซึ่งได้จากการคำนวณด้วยวิธีการวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning: MRP) จากรูปจะเห็นได้ว่าใบสั่งสินค้า C มีโครงสร้างเป็นแบบไหลเลื่อนในขณะที่ใบสั่งสินค้า A, B และ D มีโครงสร้างเป็นแบบไหลเลื่อนผสมกับขั้นตอนการประกอบ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าคำสั่งผลิต B5, C3 และ D4 มีเวลาซ้อนทับกันบนสถานีงานเดียวกัน ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการคำนวณแผนการผลิตด้วยระบบ MRP เพราะวาระบบนี้ใช้หลักการคิดแบบเวลานำคงที่ (Fixed Lead-time) [9]

การจัดตารางการผลิตในปัจจุบันอาศัยผู้เชี่ยวชาญ

เป็นผู้วางแผนจัดตารางการผลิต ส่งผลให้ใช้เวลาในการจัดตารางการผลิตนานโดยประมาณ 5-7 วัน และยังได้แผนการผลิตที่ไม่เหมาะสมทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้ ส่งผลให้มีการส่งมอบสินค้าล่าช้า ทำให้เสียค่าปรับอันเนื่องมาจากการส่งมอบงานที่ล่าช้าโดยไม่จำเป็น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

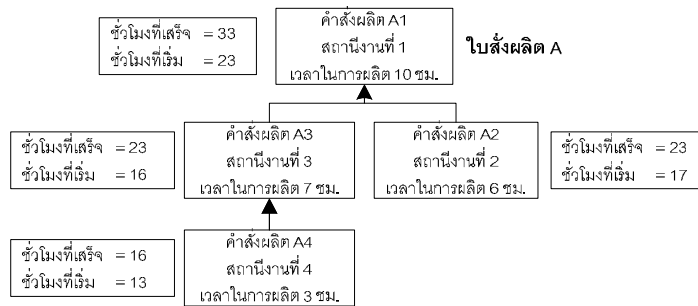
3. ขั้นตอนการทำงานของวิธีการแบบ GANS

การแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้วิธีการ GANS วิธีการนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของวิธี GA โดยใช้ข้อดีของวิธีการเนเบอร์ฮูทส์เพื่อให้มีการค้นหาคำตอบครอบคลุมทั้งแบบวงกว้างและแบบเฉพาะที่ ทำให้มีโอกาสในการพบคำตอบที่ดีมากขึ้น

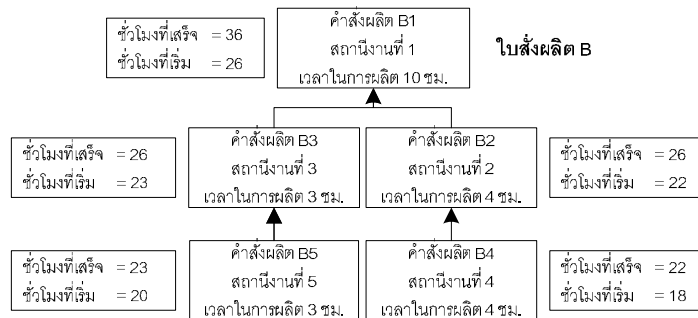
วิธีการ GANS จะเป็นการปรับปรุงวิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม โดยใช้วิธีการเนเบอร์ฮูทส์ในขั้นตอนการจัดเก็บโครโมโซมลูกของวิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ขั้นตอนของวิธีการ GANS แสดงได้ดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างประชากรเริ่มต้น

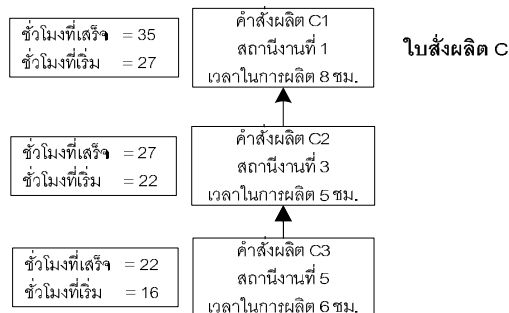
ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น โดยประชากรจะมีการเข้ารหัสแบบจำนวนเต็ม ใช้ใบสั่งผลิตแต่ละใบเป็นรหัส ซึ่งความยาวของประชากรแต่ละตัวจะมีความยาวตามจำนวนใบสั่งผลิตทั้งหมดที่มี ในงานวิจัยนี้กำหนดประชากรเริ่มต้น 5 โครโมโซม โดยใช้ประชากรเริ่มต้นเป็นแบบสุ่ม 2 โครโมโซม ผสมกับอีก 3 โครโมโซม ซึ่งเป็นคำตอบที่ได้จากวิธีการทางฮิวริสติกส์ 3 วิธี ได้แก่ วิธี Earliest Due Date (EDD) วิธี Shortest Processing Time (SPT) และวิธี Minimum Slack Time (MST) ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างของประชากรเริ่มต้นทั้ง 5 โครโมโซม โดยโครโมโซมที่ 1 เป็นคำตอบที่ได้จากวิธี EDD โครโมโซมที่ 2 เป็นคำตอบที่ได้จากวิธี SPT โครโมโซมที่ 3 เป็นคำตอบที่ได้จากวิธี MST และโครโมโซมที่ 4 และ 5 ได้จากวิธีการสุ่ม



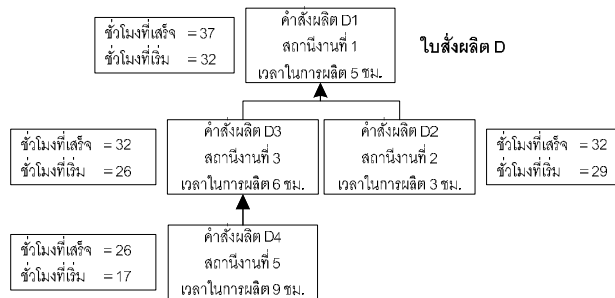
(ก)



(ข)

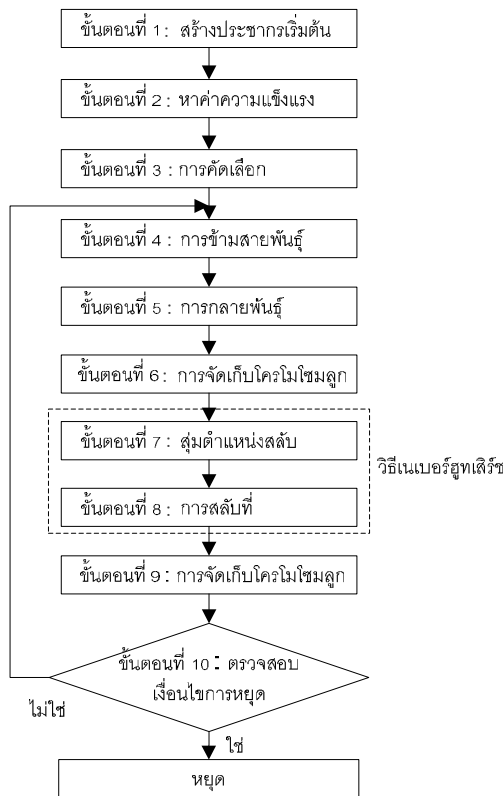


(ค)



(ง)

รูปที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2 อัลกอริทึมของวิธีการ GANS

ตารางที่ 2 แสดงโครโมโซมและค่าความแข็งแรง

โครโมโซม	วิธีการสร้างประชากรเริ่มต้น	ประชากรเริ่มต้น			
1	EDD	A	C	B	D
2	SPT	B	D	C	A
3	MST	A	C	D	B
4	แบบสุ่ม	A	B	C	D
5	แบบสุ่ม	B	C	A	D

ขั้นตอนที่ 2 การหาค่าความแข็งแรง

ขั้นตอนนี้เป็นการนำประชากรเริ่มต้นไปหาค่าความแข็งแรงตามสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งต้องการให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งงานล่าช้าและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีชิ้นงานค้างอยู่ในระบบน้อยที่สุด โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$\text{Minimize TotalCost} = \sum_{j=1}^n CT_j Q_j t_j + \sum_{j=1}^n CF_j Q_j f_j \quad (1)$$

กำหนดให้

CT_j คือ ค่าปรับเมื่อมีการส่งมอบใบสั่งผลิต j ล่าช้า (บาท/ชิ้น/ชั่วโมง)

CF_j คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อใบสั่งผลิต j ค้างอยู่ในระบบ (บาท/ชิ้น/ชั่วโมง)

Q_j คือ ปริมาณการผลิตของใบสั่งผลิต j (ชิ้น)

t_j คือ เวลาล่าช้าของใบสั่งผลิต j (ชั่วโมง)

f_j คือ เวลาที่ใบสั่งผลิต j อยู่ในระบบ (ชั่วโมง)

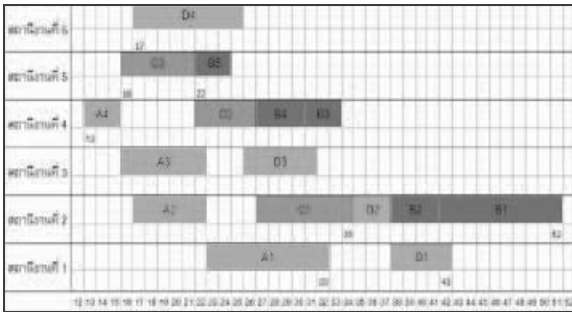
n คือ จำนวนใบสั่งผลิตทั้งหมด

โดยที่ f_j สามารถคำนวณได้จากเวลาที่ใบสั่งผลิต j แล้วเสร็จ ลบด้วยเวลาที่ใบสั่งผลิต j เริ่มดำเนินการ ในขณะที่ t_j สามารถคำนวณได้จากเวลาแล้วเสร็จของใบสั่งผลิต j ลบด้วยเวลาที่ต้องการให้ใบสั่งผลิต j แล้วเสร็จ (สำหรับกรณีที่เวลาเสร็จงานมากกว่าเวลาที่ต้องการให้การผลิตแล้วเสร็จเท่านั้น) ตัวอย่างค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลของค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

ใบสั่งผลิต j	จำนวน (ชิ้น) Q_j	ค่าปรับเมื่องานล่าช้า (บาท/ชิ้น/ชั่วโมง) CT_j	ค่าใช้จ่ายเมื่องานค้างในระบบ (บาท/ชิ้น/ชั่วโมง) CF_j
A	1	2	0.5
B	1	2	0.5
C	1	7	0.5
D	1	5	0.5

ในส่วนของเงื่อนไขในการทำงานบนสถานีนงานของแต่ละคำสั่งผลิตนั้น กำหนดให้ถ้าทำงานที่ชั่วโมงเริ่มการทำงานได้จะทำงานนั้นที่สถานีนงานหลัก หากทำที่สถานีนงานหลักไม่ได้จะย้ายไปทำที่สถานีนงานรอง หากทั้ง 2 สถานีนงานไม่สามารถทำงานในชั่วโมงเริ่มการทำงานได้ จะเลือกทำงานนั้นบนสถานีนงานที่ก่อให้เกิดความล่าช้าน้อยที่สุด รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการวางแผนคำสั่งผลิตบนสถานีนงานของโครโมโซมที่ 3 คือ ACDB ตามลำดับ



รูปที่ 3 การวางแผนการผลิตบนสถานีงาน

จากรูปที่ 3 คำสั่งผลิต A เริ่มทำงานชั่วโมงที่ 13 แล้วเสร็จในชั่วโมงที่ 33 คำสั่งผลิต B เริ่มทำงานชั่วโมงที่ 22 แล้วเสร็จในชั่วโมงที่ 52 คำสั่งผลิต C เริ่มทำงานชั่วโมงที่ 16 แล้วเสร็จในชั่วโมงที่ 35 และคำสั่งผลิต D เริ่มทำงานชั่วโมงที่ 17 แล้วเสร็จชั่วโมงที่ 43 จากข้อมูลดังกล่าวสามารถคำนวณค่าความล่าช้า t_j และค่าเวลาที่ขึ้นงานอยู่ในระบบ f_j ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าใช้จ่ายรวมของโครโมโซมที่ 3

ใบสั่งผลิต (j)	t_j ชั่วโมง	f_j (ชั่วโมง)	ค่าใช้จ่ายความล่าช้า (บาท)	ค่าใช้จ่ายเมื่อมีงานค้างในระบบ (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
A	0	20	0	10	10
B	16	30	32	15	47
C	0	19	0	9.5	9.5
D	6	26	30	13	43
รวม					109.5

ตารางที่ 4 แสดงค่าใช้จ่ายรวม (ค่าความแข็งแรง) ของโครโมโซมที่ 3 ซึ่งคำนวณได้จากผลรวมของค่าใช้จ่ายความล่าช้ากับค่าใช้จ่ายเมื่อมีงานค้างในระบบของทุกใบสั่งผลิต ค่าใช้จ่ายรวมของการจัดตารางการผลิตแบบโครโมโซมที่ 3 มีเท่ากับ 109.5 บาท จากข้อมูลค่าใช้จ่ายที่แสดงในตารางที่ 3 ประกอบกับข้อมูลในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สามารถคำนวณค่าความแข็งแรงของทุกโครโมโซมได้ดังตารางที่ 5 ในคอลัมน์ที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 การคัดเลือก

ในงานวิจัยนี้ใช้การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ตต์ (Roulette Wheel) เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถทำให้หลุดจาก

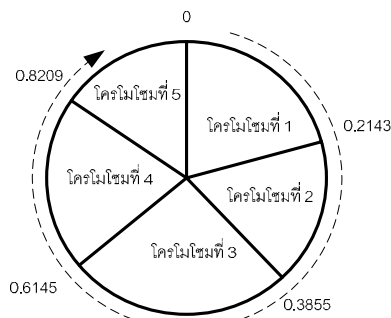
คำตอบเฉพาะที่ได้ (Local Optimum) ตารางที่ 5 แสดงความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกของแต่ละโครโมโซมเนื่องจากเป็นปัญหาการหาค่าต่ำสุด ดังนั้นโครโมโซมที่มีค่าความแข็งแรงน้อยกว่าจะเป็นโครโมโซมที่มีความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกมากกว่าเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการข้ามสายพันธุ์

ตารางที่ 5 ความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก

โครโมโซม	ค่าความแข็งแรง	สัดส่วน	ความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก	ความน่าจะเป็นเป็นสะสม
1	117	5.4238	0.2143	0.2143
2	146.5	4.3311	0.1712	0.3855
3	109.5	5.7945	0.229	0.6145
4	121.5	5.2222	0.2064	0.8209
5	140	4.531	0.1791	1
รวม	634.5	25.303	1	

จากตารางที่ 5 ค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกของโครโมโซม 1 สามารถคำนวณได้จากการนำผลรวมค่าความแข็งแรงของทุกโครโมโซมหารค่าความแข็งแรงของโครโมโซม 1 จะได้ 5.4238 (634.5/117) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหารกับผลรวมของสัดส่วนจะได้ความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกของโครโมโซม 1 คือ 0.2143 (5.4238/25.303)

หลังจากได้ค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกของแต่ละโครโมโซมแล้วจะนำมาสร้างวงล้อรูเล็ตต์ การสร้างวงล้อรูเล็ตต์นั้นจะใช้ค่าความน่าจะเป็นสะสมในคอลัมน์สุดท้ายของตารางที่ 5 เป็นตัวกำหนดดังแสดงในรูปที่ 4 หลังจากสร้างวงล้อแล้วจะทำการสุ่มเลข 0-1 ถ้าเลขสุ่มตกอยู่ในช่วงใดของวงล้อก็จะคัดเลือกโครโมโซมที่อยู่ในช่วงนั้นไปทำการข้ามสายพันธุ์ ตัวอย่างนี้กำหนดให้มีการคัดเลือกโครโมโซมพ่อและแม่ 1 คู่ สำหรับขั้นตอนการข้ามสายพันธุ์ สมมติว่าเลขสุ่มที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.72 ดังนั้นจึงนำโครโมโซมที่ 5 และ 4 ไปเป็นโครโมโซมพ่อและแม่ในกระบวนการข้ามสายพันธุ์



รูปที่ 4 วงล้อรูเล็ต

ขั้นตอนที่ 4 การข้ามสายพันธุ์

การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) เป็นการนำโครโมโซมสองโครโมโซมทำการแลกเปลี่ยนยีนซึ่งกันและกัน จะทำให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมาเป็นโครโมโซมลูกต่อไป ก่อนเข้าสู่กระบวนการข้ามสายพันธุ์จะมีการสุ่มค่าเทียบกับค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ (P_c) ถ้าค่าสุ่มน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ จะยอมรับให้เกิดการข้ามสายพันธุ์ ถ้าค่าสุ่มมีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์จะข้ามขั้นตอนการข้ามสายพันธุ์ไปสู่ขั้นตอนถัดไป งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการข้ามสายพันธุ์แบบ Two point order เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Nearchou [4] เนื่องจากงานวิจัยดังกล่าวได้ข้อสรุปว่า การใช้วิธีการแบบ Two point order ในกระบวนการข้ามสายพันธุ์ เป็นวิธีการหนึ่งที่ให้ผลที่ดีในกรณีใช้แก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีข้อมูลจำนวนมาก รูปที่ 5 แสดงการข้ามสายพันธุ์แบบ Two Point Order วิธีการนี้จะมีการทำงาน 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 จะทำการสุ่มตำแหน่งในการข้ามสายพันธุ์ของโครโมโซมพ่อและแม่ ยกตัวอย่างเช่น ได้ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 3 แสดงดังรูปที่ 5 หลังจากนั้นจะนำยีนที่อยู่นอกช่วง (Out) ของโครโมโซมที่ 5 (พ่อ) ซึ่งได้แก่ B และ D ส่งต่อให้โครโมโซมลูกที่ 1 ที่ตำแหน่งเดียวกัน และนำยีนที่อยู่นอกช่วง (Out) ของโครโมโซมที่ 4 (แม่) ซึ่งได้แก่ A และ D ส่งต่อให้โครโมโซมลูกที่ 2 ที่ตำแหน่งเดียวกัน ส่วนขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการเติมยีนในโครโมโซมลูกให้ครบโดยการรับยีนที่ไม่ซ้ำกับในขั้นตอนแรก ยกตัวอย่างเช่น โครโมโซมลูกที่ 1 รับยีน B และ D จากโครโมโซมที่ 5

	ขั้นตอนที่ 1				ขั้นตอนที่ 2			
ตำแหน่งยีน	1	2	3	4	1	2	3	4
ช่วงการสุ่ม	OUT	IN	IN	OUT	OUT	IN	IN	OUT
โครโมโซมพ่อ	B	C	A	D	B	C	A	D
โครโมโซมลูก 1 (ข้ามสายพันธุ์)	A	B		D	B	A	C	D
โครโมโซมลูก 2 (ข้ามสายพันธุ์)	A			D	A	B	C	D
โครโมโซมแม่	A	B	C	D	A	B	C	D

รูปที่ 5 การข้ามสายพันธุ์แบบ Two Point Order

(พ่อ) ดังนั้นโครโมโซมลูกที่ 1 จะรับยีน A และ C จากโครโมโซมที่ 4 (แม่) โดยเรียงยีนที่ได้จากซ้ายไปขวา ในทำนองเดียวกัน เมื่อโครโมโซมลูกที่ 2 รับยีน A และ D จากโครโมโซมที่ 4 (แม่) ก็จะรับยีน B และ C จากโครโมโซมที่ 5 (พ่อ) แทน โดยเรียงยีนที่ได้จากซ้ายไปขวาเช่นกัน

ขั้นตอนที่ 5 การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นกระบวนการที่จะช่วยให้คำตอบที่ติดอยู่กับคำตอบเฉพาะที่นั้นสามารถหลุดจากคำตอบบริเวณนั้นได้ ก่อนเข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์จะมีการสุ่มตัวเลขเทียบกับค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ถ้าค่าสุ่มน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์จะยอมรับให้เกิดการกลายพันธุ์ ถ้าค่าสุ่มมีค่ามากกว่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์จะข้ามขั้นตอนการกลายพันธุ์ไปสู่ขั้นตอนถัดไป งานวิจัยนี้ใช้การกลายพันธุ์แบบ Shift Change เนื่องจากเป็นหนึ่งในวิธีการที่เหมาะสมกับการจัดตารางการผลิต [4] รูปที่ 6 แสดงการกลายพันธุ์แบบ Shift Change วิธีการนี้จะกำหนดให้สุ่มตำแหน่งของยีนขึ้นมา 2 ตำแหน่ง เช่น สุ่มครั้งที่ 1 ได้ตำแหน่ง A สุ่มครั้งที่ 2 ได้ตำแหน่ง D จากนั้นจะนำตำแหน่งที่สุ่มได้ครั้งที่ 2 ไปแทรกข้างหน้าตำแหน่งที่สุ่มครั้งที่ 1 ส่วนตำแหน่งอื่นๆ ให้เลื่อนไปทางขวาโดยจะทำวิธีแบบเดียวกันนี้กับโครโมโซมลูกทั้ง 2 ตัว



โครโมโซมลูก 1 (ข้ามสายพันธุ์)	B	A	C	D
โครโมโซมลูก 1 (กลายพันธุ์)	B	D	A	C
โครโมโซมลูก 2 (ข้ามสายพันธุ์)	A	B	C	D
โครโมโซมลูก 2 (กลายพันธุ์)	A	B	D	C

คือตำแหน่งที่ 1
 คือตำแหน่งที่ 2

รูปที่ 6 การกลายพันธุ์แบบ Shift Change

เนื่องจากวิธีการข้ามสายพันธุ์และกลายพันธุ์จะทำให้เกิดโครโมโซมชิ้นใหม่ เพื่อการเก็บโครโมโซมที่ดีไว้ในรอบต่อไป งานวิจัยนี้จึงกำหนดให้โครโมโซมลูกที่เกิดจากการข้ามสายพันธุ์เมื่อนำไปผ่านกระบวนการกลายพันธุ์แล้วโครโมโซมลูกที่เกิดจากการข้ามสายพันธุ์จะถูกนำมาตรวจสอบค่าความแข็งแรงด้วย [10] กล่าวคือ หลังจากผ่านขั้นตอนทั้ง 2 แล้ว โครโมโซมลูกที่เกิดขึ้นใหม่ทั้งหมดซึ่งประกอบไปด้วย โครโมโซมลูก 1 (ข้ามสายพันธุ์) โครโมโซมลูก 2 (ข้ามสายพันธุ์) โครโมโซมลูก 1 (กลายพันธุ์) และโครโมโซมลูก 2 (กลายพันธุ์) จะถูกนำมาคัดเลือกในขั้นตอนการจัดเก็บโครโมโซมลูกต่อไปในขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 การจัดเก็บโครโมโซมลูก

ขั้นตอนนี้เป็นการคัดโครโมโซมที่มีความแข็งแรงไม่ดีทิ้งไป การจัดเก็บโครโมโซมลูกในงานวิจัยนี้ใช้การแทนที่โครโมโซมที่มีค่าความแข็งแรงไม่ดี [11] โดยหลังจากก่อกำเนิดโครโมโซมลูกที่เกิดจากการข้ามสายพันธุ์และกลายพันธุ์แล้ว จะนำโครโมโซมลูกที่เกิดจากการข้ามสายพันธุ์และกลายพันธุ์ไปแทนที่โครโมโซมที่มีค่าความแข็งแรงไม่ดี แต่ถ้าความแข็งแรงของโครโมโซมลูกที่เกิดขึ้นไม่ได้ดีไปกว่าประชากรเริ่มต้นก็จะถูกคัดทิ้งไป ตารางที่ 6 แสดงการจัดเก็บโครโมโซมลูกโดยมีโครโมโซมที่ถูกคัดทิ้งคือโครโมโซม 5 โครโมโซม 2 โครโมโซมลูก 1 (ข้ามสายพันธุ์) โครโมโซมลูก 1 (กลายพันธุ์) จึงเหลือโครโมโซมที่ดีเพียง 5 โครโมโซม (5 ตัวแรกในตารางที่ 6 และที่ขั้นตอนนี้จะอนุญาตให้เกิดโครโมโซมซ้ำกันได้ แต่จะถูกตัดออกในขั้นตอนที่ 9)

หลังจากขั้นตอนที่ 6 จะเป็นการทำการกระบวนการของเนบอร์ฮูทลิช (Neighborhood Search: NS) โดยจะทำการ

สุมตำแหน่งเพื่อทำการสลับที่ซึ่งจะแสดงในขั้นตอนที่ 7 และ 8 ต่อไป

ตารางที่ 6 การจัดเก็บโครโมโซมลูก

โครโมโซม	ลักษณะ				ค่าความแข็งแรง (บาท)
3	A	C	D	B	109.5
1	A	C	B	D	117
4	A	B	C	D	121.5
ลูก 2 (ข้ามสายพันธุ์)	A	B	C	D	121.5
ลูก 2 (กลายพันธุ์)	A	B	D	C	132
5	B	C	A	D	140
2	B	D	C	A	146.5
ลูก 1 (ข้ามสายพันธุ์)	B	A	C	D	182
ลูก 1 (กลายพันธุ์)	B	D	A	C	200.5

ขั้นตอนที่ 7 สุมตำแหน่งเพื่อทำการสลับที่

ขั้นตอนนี้จะนำโครโมโซมทุกโครโมโซมที่ผ่านขั้นตอนที่ 6 มาทำการสุมตำแหน่งที่ต้องการสลับที่

ยกตัวอย่างเช่นการนำโครโมโซมที่ 1 มาสุมหาตำแหน่งเพื่อนำมาทำการสลับที่ ตำแหน่งที่สุมได้คือ ยีน C แสดงดังรูปที่ 7

ขั้นตอนที่ 8 การสลับที่

ขั้นตอนนี้เป็นการสลับตำแหน่งที่ได้จากการสุมจากขั้นตอนที่ 7 โดยทำการสลับกับยีนทางด้านซ้ายและทางด้านขวาตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น การสลับไปทางซ้ายจะได้โครโมโซมใหม่เป็น CABD สลับด้านขวาได้จะได้โครโมโซมใหม่เป็น ABCD แสดงดังรูปที่ 7

โครโมโซมลูก 1	A	C	B	D
โครโมโซมลูก (NS) ซ้าย	C	A	B	C
โครโมโซมลูก (NS) ขวา	A	B	C	D

รูปที่ 7 การสลับของวิธีการแบบ NS

ขั้นตอนที่ 9 การจัดเก็บโครโมโซมลูก

หลังจากขั้นตอนที่ 7 และ 8 จะเกิดโครโมโซมชิ้นใหม่รวมกับโครโมโซมเริ่มต้นทั้งหมดมากที่สุดเท่ากับ 15 โครโมโซม (ถ้าเกิดการซ้ำขึ้นจะได้น้อยกว่า 15 โครโมโซม) ขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณค่าความแข็งแรงอีกครั้ง และทำการคัดเลือกโครโมโซม

ที่ดีที่สุดไม่เกิน 5 โครโมโซม ที่ไม่ซ้ำกัน (ถ้ามีโครโมโซมที่ซ้ำกันมาก อาจจะคัดเลือกได้น้อยกว่า 5 โครโมโซม) เพื่อนำไปเป็นประชากรเริ่มต้นในรอบต่อไป ผลลัพธ์จากขั้นตอนนี้แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การจัดเก็บโครโมโซมลูก

โครโมโซม	ลักษณะ				ค่าความแข็งแรง (บาท)
1 (NS)	C	A	D	B	96
3 (NS)	C	A	B	D	106.5
3	A	C	D	B	109.5
2 (NS)	A	D	C	B	116
1	A	C	B	D	117
6 (NS)	A	C	B	D	117
8 (NS)	A	C	B	D	117
4	A	B	C	D	121.5
ลูก 2 (ข้ามสายพันธุ์)	A	B	C	D	121.5
4 (NS)	A	B	C	D	121.5
ลูก 2 (กลายพันธุ์)	A	B	D	C	132
10 (NS)	A	D	B	C	177.5
7 (NS)	B	A	C	D	182
5 (NS)	B	A	C	D	182
9 (NS)	B	A	D	C	259.5

ขั้นตอนที่ 10 ตรวจสอบเงื่อนไข

ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบว่าจะหยุดการทำงาน หรือจะทำต่อในรอบต่อไป ซึ่งเมื่อทำรอบต่อไปจะวนกลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 ในงานวิจัยนี้ใช้การทำซ้ำจำนวน 500 รอบเป็นเงื่อนไขในการหยุดคำนวณ

4. การออกแบบการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้จะเป็นการทดสอบคำตอบที่ได้จากวิธีการ GANS, GA และ EDD ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยจะทำการทดสอบกับข้อมูลไปสังผลิตจำนวน 80 ใบ จำนวน 3 ชุดข้อมูล และวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแบบทีละคู่ (Multiple Comparison Tests) พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาคำตอบของวิธีการ GA และ GANS แสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนรอบ	500
ประชากรเริ่มต้น	5
ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์	0.8
ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์	0.05
วิธีการข้ามสายพันธุ์	Two Point
วิธีการกลายพันธุ์	Shift Change Tests

5. ผลการทดลอง

อัลกอริทึมในงานวิจัยเขียนโดยใช้ภาษา Visual Basic ร่วมกับโปรแกรม MATLAB และประมวลผลบนซีพียูแบบ Duo Core 2.2 GHz โดยใช้หน่วยความจำขนาด 2 GB ผลการทดลองจากวิธีการต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 9 จากตารางที่ 9 พบว่าวิธีการ GA, GANS และวิธีการ EDD จะให้คำตอบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตัวเลขในวงเล็บจะแสดงถึงลำดับที่ได้จากการตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD (Least Significant Difference) ซึ่งตัวเลขน้อยจะดีกว่าตัวเลขมาก และยิ่งพบว่าวิธีการ GANS จะให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี GA และวิธี EDD ทั้งด้านค่าใช้จ่ายเมื่อมีงานค้างในระบบ ค่าปรับเมื่อส่งงานล่าช้า และค่าใช้จ่ายรวม เนื่องจากวิธีการ GANS มีการค้นหาคำตอบครอบคลุมบริเวณพื้นที่ของคำตอบ ทั้งในแนวกว้างและในบริเวณเฉพาะพื้นที่ที่พบคำตอบที่ดี จึงทำให้มีโอกาสที่จะพบคำตอบที่ดีขึ้นในบริเวณใกล้เคียง

ตารางที่ 9 คำตอบของวิธีการที่นำเสนอ

วิธีการ	ค่าใช้จ่ายมีงานค้างในระบบ (บาท)	ค่าปรับส่งงานล่าช้า (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	เวลา (นาที)
GA	6,254.2 (2)	91,345 (2)	97,599 (2)	4.83 (1)
GANS	6,084.3 (1)	82,830 (1)	88,914 (1)	5.66 (1)
ปัจจุบัน	7,601.82 (3)	171,570.07 (3)	179,171.89 (3)	2,400 (2)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงลำดับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ลำดับที่เท่ากันแสดงว่าไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาทางด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบพบว่าวิธี GANS และวิธี GA จะใช้เวลาในการหาคำตอบไม่เกิน 5 นาที ในขณะที่วิธี EDD จะใช้เวลานานที่สุดถึง 2,400 นาที หรือ 5 วันโดยประมาณ

6. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตชนิดสายการประกอบแบบไหลเลื่อน (Assembly Flow Shop) โดยนำเสนอวิธีการ GANS ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของวิธีการ GA และวิธีการ NS เข้าด้วยกัน ผลที่ได้พบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ GANS นั้นดีกว่าวิธีการ GA และวิธี EDD ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งในด้านคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ดังนั้นวิธีการที่นำเสนอจึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับโรงงานตัวอย่างในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์จากการจัดตารางการผลิตให้ดีขึ้นและยังสามารถลดเวลาในการจัดตารางการผลิตลงได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยควรจะถูกนำไปทำเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานจริง และยังสามารถสร้างรายงานที่จำเป็นในการควบคุมการผลิตได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ ในลักษณะเฉพาะเจาะจง โดยการไขว้ลู่ผลิตในการคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์แบบ Two Point Order และการกลายพันธุ์แบบ Shift Change ซึ่งในความเป็นจริงยังมีวิธีการอื่นๆ ที่น่าจะทดลองใช้ ซึ่งอาจจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีที่ใช้อยู่ก็เป็นไปได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณฝ่ายวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่างที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลที่จำเป็น และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Pararach, P. Chansetikul, and P. Sukcharoenpong,

“Improvement of Branch and Bound Method for Flow Shop Scheduling Problem with Uncertainty Lead-time,” *Journal of KMUTLB*, pp. 33-37, 2006 (in Thai).

[2] S. Tepchalee, K. Sesthanan, and D. Seschotisak, “Master Production Schedule for Minimizing Total Cost,” *Journal of Thai Logistics and Supplychain Management*, pp. 71-85, 2009 (in Thai).

[3] T. Murata and H. Ishibuchi, “Performance Evaluation of Genetic Algorithms for Flow Shop Scheduling Problems,” *Proc. IEEE*, vol. 2, pp. 812-817, 1994.

[4] A. C. Nearchou, “The Effect of Various Operators on the Genetic Search for Large Scheduling Problems,” *International Journal of Production Economics*, vol. 88, pp. 191-203, 2004.

[5] P. Pongcharoen, D. J. Stewardson, C. Hicks, and P. M. Braiden, “Applying Designed Experiments to Optimize the Performance of Genetic Algorithms used for Scheduling Complex Products in the Capital Goods Industry,” *Journal of Applied Statistics*, vol. 28, pp. 441-455, 2001.

[6] Z. N. Azimi, “Hybrid Heuristics for Examination Timetabling Problem,” *Journal of Applied Mathematics and Computation*, vol. 163, pp. 705-733, 2005.

[7] A. Udomsakdigool and V. Kachitvichyanukul, Evolving, “Ant Colony with Genetic Algorithm in Solving the Job Shop Scheduling Problem,” *Conference on Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems*, vol. 7, pp. 1662-1669, 2006.

[8] M. Gen and R. Cheng, *Genetic Algorithms and Engineering Design*, New York: John Wiley and Sons, 1997.

[9] T. Wuttipornpun, P. Yenradee, P. Buellens, and D. L. Oudheusden, “Finite Capacity Material



- Requirement Planning System for a Multi-stage Automotive-Part Assembly Factory,” *Science Asia*, vol. 32, pp. 303-313, 2006.
- [10] W. P. Syam and I. M. Al-Harkan, “Comparison of Three Meta Heuristics to Optimize Hybrid Flow Shop Scheduling Problem with Parallel Machines,” *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 62, pp. 271-278, 2010.
- [11] A. Rogers and A. Prugel-Bennett, “Modelling the Dynamics of a Steady State Genetic Algorithms,” *Foundations of Genetic Algorithm*, vol. 5, pp. 57- 68, 1999.