การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน

APPLICATIONS OF THE ANT COLONY ALGORITHM FOR FLOW SHOP SCHEDULING UNDER UNCERTAIN PROCESSING TIME

จิระศักดิ์ ชาบาง และ สวัสดิ์ ภาระราช
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
99 หมู่ 18 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง
ปทุมธานี 12121

Jirasak Chabang and Sawat Pararach
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University
99 Moo 18 Thammasat University, Rangsit Campus, Khlongnueng, Khoong Luang,
Pathum Thani, 12121

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีอาณามดในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัย ภายใต้เครื่องจักร 3 เครื่องจักร (สถานี) ที่มีจำนวนงานในการทดลองจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน จุดประสงค์ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น (Makespan Range) ที่น้อยที่สุด ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเป็นตัวชี้วัดการกระจายของเวลาเสร็จสิ้น หมายความว่า หากตารางการผลิตใดมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมาก แสดงว่าจะมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของเวลาเสร็จสิ้นของตารางการผลิตมากกว่าตารางการผลิตที่มีพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อย ผลการทดลองพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดสามารถแก้ไขปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตที่เป็นพิสัยได้ โดยสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นได้ 40 ชม. 54 ชม. และ 70 ชม. จากจำนวนงาน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน ตามลำดับ ซึ่งพารามิเตอร์ประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของคำตอบ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการทดลอง คือ ประชากรมด 10 ฟีโรโมน 0.50 อัตราการระเหยของฟีโรโมน 0.05 ถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารฟีโรโมน 1 ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 และฟีโรโมนอัพเดต 0.90

คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิตแบบไหลลื่น, เวลาการผลิตไม่แน่นอน, อาณาจักรมด

ABSTRACT

This paper related to application of the ant colony algorithm for flow shop scheduling under uncertain processing time on three machines (stations). The number of jobs to be considers are 8, 12, and 16 to find a schedule that has minimum of time between the maximum makespan and minimum makespan called “makespan range” The makespan range measures the dispersion of the makespan, it mean that if that production schedule that has more makespan range, it will has more uncertainty than the production schedule that has less makespan range. The result showed that the ant colony algorithm could solve well for the flow shop scheduling under uncertain processing time problems. The makespan ranges for problem instant were 40, 54, and 70 hours for problem of 8, 12, and 16 jobs respectively. The ant population was the main parameter affected the quality of solutions. The optimal parameters are the ant population 10, the deposited pheromone 0.50, the pheromone evaporation 0.05, the visibility weight 1.0, the random reasonably data 0.10, and the update pheromone 0.90.

KEYWORDS: Flow Shop Scheduling, Uncertain Processing Time, Ant Colony Algorithm

1. บทนำ

การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น (Flow Shop Scheduling) เป็นกระบวนการผลิตที่มีลักษณะการทำงานเรียงต่อกันแบบอนุกรม แต่ละงาน i จะมีเวลาการผลิตในแต่ละขั้นตอนการผลิต j เป็นการจัดงาน n งาน ทำขั้นตอน m ขั้นตอน ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นนี้จัดอยู่ในปัญหาเอ็นพีแบบยาก (Non-Polynomial-Hard, NP-Hard) เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น จึงไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้ ซึ่งปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นจะมีความซับซ้อนในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด การแก้ไขปัญหาโดยวิธีดีเทอร์มินิสติกส์ (Deterministic) เป็นการแก้ไขปัญหาที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือจำนวนงานมีมากขึ้น [1] เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบจะมีมากขึ้นเช่นกัน จึงนิยมใช้วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) นำมาแก้ไขปัญหาแทนวิธีดีเทอร์มินิสติกส์ ถึงแม้ว่าวิธีเมตาฮิวริสติกอาจจะไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่คำตอบที่ได้นั้นสามารถยอมรับได้ จึงนำวิธีอาณาจักรมด (Ant Colony Algorithm) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น ซึ่งจะใช้หลักความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการค้นหาคำตอบ โดยวิธีอาณาจักรมดเลียนแบบมาจากพฤติกรรมการหาอาหารของมด ในระหว่างการเดินออกหาอาหาร มดจะปล่อยสารเคมีที่มีชื่อว่าฟีโรโมน (Pheromone) ออกมา เพื่อให้มดตัวอื่นๆ เดินทางตามกลิ่นของสารฟีโรโมนไปยังแหล่งอาหาร เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณสารฟีโรโมนจะระเหย

ไปตามคุณสมบัติทางเคมี [2] ซึ่งวิธีอาณาจักรมดมีจะจุดด้อยทางด้านสมรรถนะของเวลาในการค้นหาคำตอบ เนื่องจากต้องใช้เวลาในการค้นหาคำตอบค่อนข้างนาน ถ้ารูปแบบของปัญหาเปลี่ยนไปค่าพารามิเตอร์ต้องเปลี่ยนไปตามความเหมาะ ซึ่งค่าน้ำหนักของฟีโรโมนและค่าน้ำหนักของฮิวริสติคต้องใช้เวลานานในการหาค่าที่เหมาะสม โดยในรอบหลายปีที่ผ่านมามีการวิจัยและพัฒนาวิธีอาณาจักรมดน้อยมาก เมื่อเทียบกับวิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) และวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) [3] ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน (Flow Shop Scheduling with Uncertain Processing Time, FSUPT) กำหนดให้เวลาการผลิตในแต่ละสถานีงานของแต่ละงานมีค่าแตกต่างกันระหว่างเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุดกับเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด จะเรียกกรณีศึกษานี้ว่า การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น [1] เพื่อให้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นระหว่างเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุดกับเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุดมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด เพื่อวางแผนหาระยะเวลาการผลิตที่เหมาะสมในการดำเนินงาน

2. ทบทวนวรรณกรรม

การจัดลำดับการผลิตเป็นการนำงานมาเรียงลำดับในตารางการผลิตเพื่อหาค่าเวลาเสร็จสิ้นรวม ถ้าวิธีการที่นำมาใช้มีคุณสมบัติของเวลาเป็นพหุนามในการค้นหาคำตอบ เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบจะยังคงเป็นพหุนามเช่นเดียวกัน ซึ่งคุณภาพของคำตอบที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าเท่าเดิมหรือดีขึ้นในทุกครั้งของการจัดลำดับการผลิต [4] การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นมีหลายแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งในปัจจุบันงานที่พบได้ทั่วไปในอุตสาหกรรมต่างๆ [5] สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิธีดีเทอร์มินิสติกหรือวิธีเมตาฮิวริสติกมาใช้ในการแก้ไขปัญหา ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีเป้าหมายในการควบคุมการไหลของงานตามลำดับงานที่เหมาะสม เข้าสู่การดำเนินงานในกลุ่มของเครื่องจักรที่ทำงานต่อเนื่องกันแบบลำดับ เพื่อทำให้เวลาว่างงาน (Idle Time) หรือเวลารอคอย (Waiting Time) มีค่าน้อยที่สุด ในการจัดลำดับการผลิตจะมีความซับซ้อนหากการผลิตนั้นมีหลากหลายขั้นตอนหรือมีหลายสถานีงาน การแก้ปัญหาลักษณะนี้สามารถทำได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่หรือปัญหามีตัวแปรจำนวนมากขึ้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบนานหรือไม่อาจสามารถค้นหาคำตอบได้ จึงไม่เหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่หรือมีหลายตัวแปร จึงนิยมใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristic) หรือวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนหรือปัญหาที่มีขนาดใหญ่ วิธีเมตาฮิวริสติกได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางกับการจัดลำดับการผลิต เนื่องจากเป็นวิธีที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบเป็นขั้นเป็นตอนที่ชัดเจนและได้ผลลัพธ์ที่ดี [6] ซึ่งคำตอบที่ได้ถูกต้องและรวดเร็วกว่าวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่อาจจะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดในการจัดลำดับการผลิต แต่คำตอบที่ได้นั้นสามารถยอมรับได้ ดังนั้น

ควรพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ของวิธีการต่างๆ ที่จะนำมาใช้ ซึ่งมีกฎและวิธีการจัดตารางการผลิตที่หลากหลายวิธีในการจัดลำดับการผลิต [7] ดังนั้นวิธีเมตาฮิวริสติคจึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น โดยปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเครื่องจักรตั้งแต่สามเครื่องจักรขึ้นไปจัดเป็นปัญหา NP-Hard [1] ซึ่งการจัดลำดับการผลิตด้วยวิธีอาณาจักรมดนั้นมีความเหมาะสมกับการจัดตารางการผลิตของงานที่มีเวลาในการผลิตที่แตกต่างกัน นอกจากนี้วิธีอาณาจักรมดสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาการผลิตในระบบการผลิตต่างๆ ได้อีกด้วย [8] ปัญหาการจัดกำหนดการของระบบการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน (Flow Shop Scheduling with Uncertain Processing Time) มีความแตกต่างจากปัญหาการจัดกำหนดการทั่วไปตรงเวลาในการผลิตแต่ละงานในแต่ละเครื่องจักรจะมีค่าหลากหลายแตกต่างกัน โดยการประมาณการจากเวลาน้อยที่สุดและประมาณการจากเวลามากที่สุด จะเรียกวิธีการนี้ว่า การจัดตารางการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น การจัดกำหนดการของระบบการผลิตแบบไหลลื่น กรณีที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอนในกรณีที่กำหนดเวลางานเป็นค่าพิสัยเป็นการหากำหนดการที่มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด [1]

3. การศึกษาดำเนินงานวิจัย

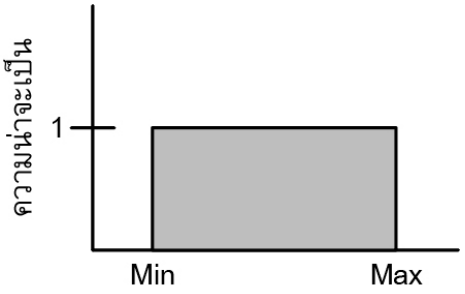
3.1 การศึกษาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น

การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นงานแต่ละงานจะต้องผ่านเครื่องจักรทุกเครื่องที่เรียงลำดับกัน โดยเรียงลำดับงานทีละงาน การรอคอยงานจะเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ กรณีงานที่ดำเนินการผลิตเสร็จบนเครื่องจักรที่ 1 แต่ยังดำเนินการผลิตต่อไม่ได้เพราะเครื่องจักรที่ 2 ยังไม่ว่าง และกรณีเครื่องจักรที่ 2 ว่าง แต่คงรอการผลิตจากเครื่องจักรที่ 1 ยังดำเนินการผลิตไม่เสร็จ หากนำงานทั้งหมดมาผลิตบนเครื่องจักร 2 เครื่องจักรตามลำดับ จะทำให้เกิดเวลาเสร็จสิ้นค่ามาก และเวลาเสร็จสิ้นค่าน้อย ผลต่างของเวลางานเสร็จสิ้นมากที่สุดกับเวลางานเสร็จสิ้นน้อยที่สุด เรียกว่า พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น (Makespan Range) ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจะเป็นตัวชี้วัดการกระจายของเวลาเสร็จสิ้น หมายความว่า หากตารางการผลิตใดมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมาก แสดงว่าจะมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของเวลาเสร็จสิ้นของตารางการผลิตมากกว่าตารางการผลิตที่มีพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อย

3.2 ตารางการผลิต

ตารางเวลาการผลิตสร้างขึ้นจากการประยุกต์ใช้โปรแกรม Input Analyzer จำลองเวลาการผลิตในการทดลอง การสร้างตารางเวลาการผลิตต้องคำนึงถึงเวลาในการผลิตที่เกิดขึ้นจริงของงานหนึ่งในขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งเวลาในการผลิตของแต่ขั้นตอนนั้นมักมีค่าไม่คงที่หรือไม่แน่นอนเสมอ

ดังนั้นตารางเวลาการผลิตมักมีการกระจายตัวของเวลาการผลิตอยู่ในรูปแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ซึ่งเป็นเวลาการผลิตที่เสร็จเร็วที่สุดกับเวลาการผลิตที่เสร็จช้าที่สุด ดังรูปที่ 1 โดยตารางที่ 1 เป็นการแสดงเวลาการผลิตของงานจำนวน 8 บนเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่องที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน



รูปที่ 1 โอกาสความน่าจะเป็นของเวลาการผลิตไม่แน่นอน

ตารางที่ 1 เวลาการผลิตที่ใช้ในการทดลอง

Job	Machine					
	A		B		C	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	18	24	24	30	26	30
2	10	14	18	22	21	25
3	11	17	22	28	25	29
4	10	14	20	24	20	24
5	10	16	26	30	20	26
6	13	19	24	28	26	30
7	19	25	17	23	21	25
8	17	23	18	26	20	24

3.3 การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดในการแก้ไขปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น

วิธีอาณาจักรมดมีพื้นฐานมาจากความร่วมมือและกลไกการแบ่งปันข้อมูลในระหว่างที่มดกำลังออกหาอาหารตามเส้นทางการเดินทาง ซึ่งใช้เส้นทางการเดินทางเป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลระหว่างกัน [9] มดจะเดินทางออกจากรังไปสู่แหล่งอาหารและกลับมาที่รังหลังจากได้อาหารอีกครั้ง

ในระหว่างการเดินทางไปแหล่งอาหารนั้น มดแต่ละตัวจะปล่อยสารเคมีที่ชื่อว่า สารฟีโรโมน (Pheromone) ออกมา เพื่อให้มดตัวอื่นๆ เดินทางตามกลิ่นหรือเดินทางตามร่องรอยของสารฟีโรโมน โดยปริมาณสารฟีโรโมนจะระเหยเมื่อเวลาผ่านไป การระเหยของสารฟีโรโมนจะมีอยู่ตลอดเวลา (Pheromone Decay) ตามคุณสมบัติทางเคมี ซึ่งการนำวิธีอาณาจักรมดมาประยุกต์ใช้กับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นเริ่มต้นจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดลองกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองของวิธีอาณาจักรมดมีตัวแปรจำนวน 6 ตัว ประกอบด้วยพารามิเตอร์ประชากรมด (A) ค่าฟีโรโมน (τ_0) ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารฟีโรโมน (α) ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล (β) และค่าฟีโรโมนอัพเดต (Q) โดยในการออกแบบการทดลองเป็นการทดลองรูปแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

Parameter											
A		τ_0		ρ		α		β		Q	
5	10	0.1	0.5	0.05	0.1	1	2	0.05	0.1	0.5	0.9

การกำหนดเส้นทางการเดินทางของมด เพื่อใช้ในการสุ่มเลือกเส้นทางของมดแต่ละตัว สามารถสร้างตารางระยะทาง ดังสมการ (1)

$$\omega_{(i,\,j)} = \tau_{i,j}^{\alpha} \times \pi_{i,j}^{\beta} \tag{1}$$

เมื่อ $\omega_{(i,\,j)}$ คือ ระยะทางการเดินทางของมด, $\tau_{i,j}^{\alpha}$ คือ ค่าฟีโรโมนของการผลิตระหว่างงานที่ให้ค่าถ่วงน้ำหนักของฟีโรโมน, $\pi_{i,j}^{\beta}$ คือ ค่าฟีโรโมนของการผลิตระหว่างงานที่ให้ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้ในการสุ่มอย่างมีเหตุผล ซึ่งค่า π มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{\tau_{i,j}}$

หากระยะทางการเดินทางของมดที่ยาวจนเกินไปจะทำให้ปริมาณสารฟีโรโมนระเหยหมดไปในระหว่างการเดินทางหรือเส้นทางใดที่มดไม่มีการเลือกเดินบนเส้นทางนั้น ปริมาณของสารฟีโรโมนก็จะน้อยลง จึงมีความเป็นไปได้ที่มดจะเลือกเส้นทางนี้น้อยลงจนในที่สุดปริมาณสารฟีโรโมนบนเส้นทางนี้ก็จะถูกระเหยไปจนหมด [2] ซึ่งการปรับปรุงปริมาณสารฟีโรโมนในแต่ละรอบสามารถทำได้ ดังสมการ (2), (3) และ (4)

ถ้า i, j ไม่ได้อยู่ในเส้นทางที่มดเดินทางผ่าน

$$\tau_{i,j}^{n} = (1-\rho)(\tau_{i,j}^{n}) \tag{2}$$

ถ้า i, j อยู่ในเส้นทางที่มดเดินทางผ่าน

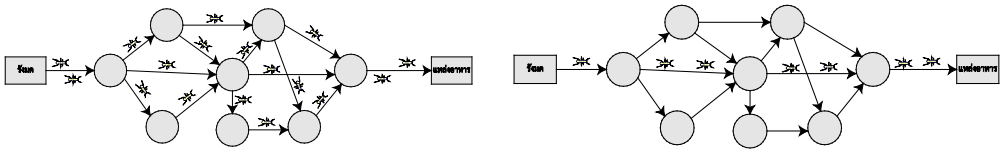
$$\tau_{i,j}^{n} = (1-\rho)(\tau_{i,j}^{n}) + \pi^{l} \tag{3}$$

ถ้า i, j อยู่ในเส้นทางที่มดตัวที่ดีที่สุดเดินทางผ่าน

$$\tau_{i,j}^{n} = (1-\rho)(\tau_{i,j}^{n}) + \nabla\pi^{l} \tag{4}$$

เมื่อ $\tau_{i,j}^{n}$ คือ ผลการระเหยของสารฟีโรโมน, ρ คือ อัตราการระเหยฟีโรโมน, π^{l} คือ อัตราส่วนเพิ่มของผลการระเหยของฟีโรโมน, $\nabla\pi^{l}$ คือ อัตราส่วนเพิ่มของผลการระเหยฟีโรโมนของมดตัวที่ดีที่สุด

การเลือกเส้นทางในการเดินทางหาอาหารของมด มดทุกตัวจำเป็นต้องสุ่มเลือกเส้นทางในการเดินทางหาอาหาร ดังรูปที่ 2 ดังนั้นในแต่ละเส้นทางจึงมีโอกาสเท่าๆ กันที่มดแต่ละตัวในฝูงจะเลือกเส้นทางนั้นเพื่อเดินทางไปยังแหล่งอาหาร วิธีอาณาจักรมดจึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางเวลาในการผลิต ปัญหาการลดเวลาแล้วเสร็จทั้งหมด และปัญหาการลดเวลารวมของค่าเวลาเสร็จสิ้นทั้งหมด [10]



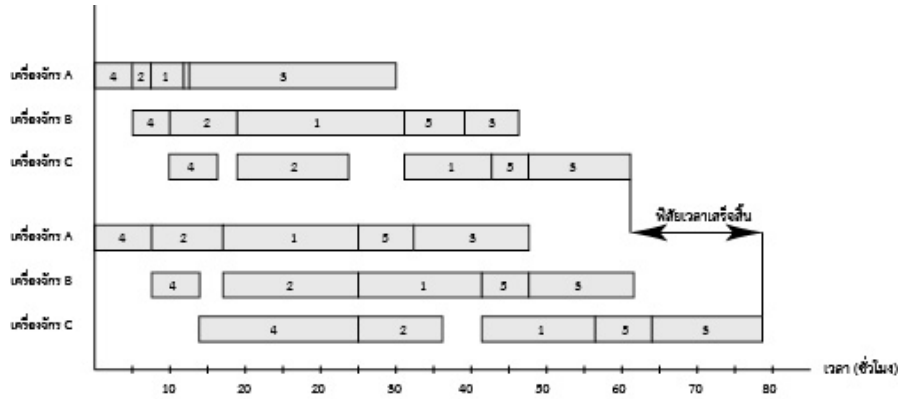
รูปที่ 2 เส้นทางการเดินทางหาอาหารของมด

3.4 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น (Makespan Range)

การหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นในการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น คำนวณจากเวลาเสร็จสิ้นในการผลิตระหว่างเวลาเสร็จสิ้นค่ามากกับเวลาเสร็จสิ้นค่าน้อย [1] ดังสมการ (5) ซึ่งผลการจัดลำดับการผลิตเพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นแสดงดังรูปที่ 3

$$R_{(\sigma)} = \min C^{\max}_{m,\sigma(n)} - \min C^{\min}_{m,\sigma(n)} \quad (5)$$

เมื่อ $R_{(\sigma)}$ คือ ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น, $C^{\max}_{m,\sigma(n)}$ คือ เวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด, $C^{\min}_{m,\sigma(n)}$ คือ เวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด

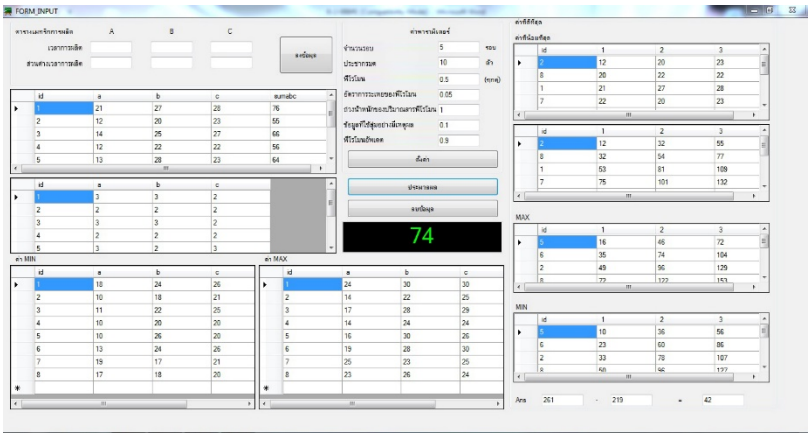


รูปที่ 3 การจัดลำดับการผลิตเพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบโปรแกรม

ผลการทดลองการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น เพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่มีจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งานบนเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง จากการทดลองการจัดลำดับการผลิตด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio ที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 4 เพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นในการผลิต 2^6 = 64 การทดลองต่อ 1 รอบการทดลอง ในการทดลองจะทำการทดสอบซ้ำจำนวน 5 รอบ ซึ่งผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตจะเท่ากับ 64 x 5 = 320 การทดลองต่อการทดลอง 1 ชุด และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab 16 เพื่อใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4 การทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น

$$R_{(\sigma)} = 261 - 219 = 42$$

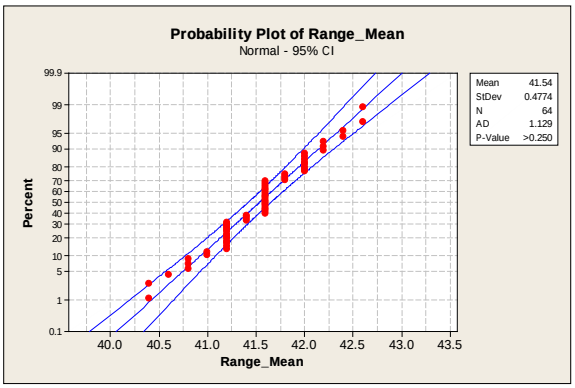
ตารางที่ 3 ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิต

งาน	ผลการทดลอง			
	ค่าพิสัยน้อยที่สุด (ชม.)	ค่าพิสัยมากที่สุด (ชม.)	ค่าพิสัยเฉลี่ย (ชม.)	เวลาประมวลผลเฉลี่ย (วินาที)
8	40	44	41.54	30.97
12	54	62	59.06	77.92
16	70	78	75.23	124.46

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด 40 ชั่วโมง และมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด 44 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.54 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทดลองเฉลี่ย 30.97 วินาที ซึ่งค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 12 งาน มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด 54 ชั่วโมง และมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด 62 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.06 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทดลองเฉลี่ย 77.92 วินาที และค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 16 งาน มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด 70 ชั่วโมง และมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด 78 ชั่วโมง ซึ่งมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.23 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทดลองเฉลี่ย 124.46 วินาที ซึ่งจากการทดลองพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นสามารถค้นหาผลลัพธ์ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นได้อย่างเหมาะสม และพบว่าเมื่อจำนวนงานเพิ่มมากขึ้นเวลาในการค้นหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

4.2 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ จากการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น กำหนดให้ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 95% $(\alpha = 0.05)$ แสดงว่า สมมติฐานหลักมีการแจกแจงของข้อมูลครั้งนี้เป็นแบบปกติ สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ ANOVA ต่อไปได้



รูปที่ 5 แผนภาพความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 4 การทดลองการแจกแจงแบบปกติ

ระดับนัยสำคัญ	จำนวนงาน		
	8	12	16
P-Value	>0.250	>0.250	>0.250

จากตารางที่ 4 ผลการทดลองหาความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ พบว่าค่า P-Value ในช่อง Anderson-Darling Normality Test ของการทดลองจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน มีค่ามากกว่า 0.250 ทั้งหมด ดังรูปที่ 5 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 95% $(\alpha = 0.05)$ แสดงว่าสมมติฐานหลักมีการแจกแจงของข้อมูลเป็นปกติ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ต่อไปได้

4.3 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอย (Regression Coefficients) ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 95% $(\alpha = 0.05)$ กำหนดให้

H_0 : ผลการทดลองหาค่าพิสัย มีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผลการทดลองหาค่าพิสัย มีค่าแตกต่างกัน

ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 หมายความว่า ยอมรับสมมติฐานหลัก
ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก

ตารางที่ 5 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

ระดับนัยสำคัญ	จำนวนงาน		
	8	12	16
P-Value	0.817	0.933	0.566

จากตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% $(\alpha = 0.05)$ พบว่าจากการทดลองจัดลำดับการผลิตที่มีงานจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน มีค่า P-Value คือ 0.817, 0.933 และ 0.566 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 95% $(\alpha = 0.05)$ ทั้งหมด หมายความว่ายอมรับสมมติฐานหลัก แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นทั้งหมดจากการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน

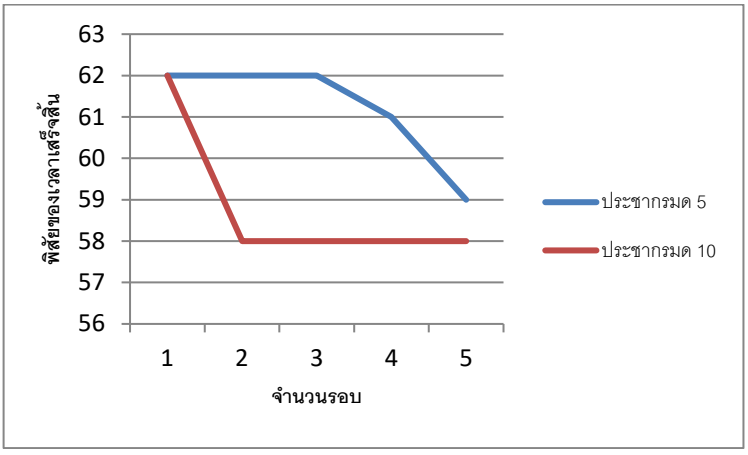
4.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลอง

การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการทดลอง จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบต่อปัจจัยร่วม (Interaction) เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยแบบ 2-Way Interaction และ 3-Way Interaction เท่านั้น จากผลการทดลองผลตอบของงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 95% $(\alpha = 0.05)$ จะสังเกตได้จากค่า P-Value จะมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลองแสดงผลการทดลองดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลอง

งาน	ผลการทดลอง		
	ปัจจัยหลัก	2-Way Interaction	3-Way Interaction
8	ประชากรมด	-	ประชากรมด*ฟีโรโมน*ถ่วงน้ำหนัก
12	ประชากรมด ถ่วงน้ำหนัก	ถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ถ่วงน้ำหนัก*ฟีโรโมนอัพเดต	ประชากรมด*ถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ประชากรมด*ถ่วงน้ำหนัก*ฟีโรโมนอัพเดต ฟีโรโมน*อัตราการระเหย*ฟีโรโมนอัพเดต อัตราการระเหย*ถ่วงน้ำหนัก*ฟีโรโมนอัพเดต ถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ฟีโรโมนอัพเดต
16	ประชากรมด	ประชากรมด*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	ประชากรมด*ฟีโรโมน*อัตราการระเหย ฟีโรโมน*อัตราการระเหย*ฟีโรโมนอัพเดต

จากตารางที่ 6 พบว่าค่าประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และพบว่าค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบร่วมกันกับค่าประชากรมดของงานจำนวน 12 งานที่ทำให้มีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเช่นกัน โดยปัจจัย 2-Way Interaction ค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าฟีโรโมนอัพเดตของงานจำนวน 12 งาน ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของปัจจัย 2-Way Interaction รวมไปถึงปัจจัย 3-Way Interaction ของงานจำนวน 12 งานด้วย ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าอัตราการระเหย และค่าฟีโรโมนอัพเดตเป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้มีผลกระทบต่อพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของทุกจำนวนงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังนั้นจึงนำปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมาทำการวิเคราะห์แบบ Central Composite Design (CCD) ได้แก่ ปัจจัยค่าประชากรมดและปัจจัยค่าถ่วงน้ำหนักมาทำการทดลองซ้ำ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง และจากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าประชากรมดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น เมื่อจำนวนประชากรมดและจำนวนรอบเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นวิ่งเข้าหาคำตอบที่เหมาะสมเร็วมากขึ้น เนื่องจากจำนวนประชากรมดและจำนวนรอบเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประชามดมีโอกาสเลือกเส้นทางและเพิ่มปริมาณสารฟีโรโมนในแต่ละเส้นทางเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 6 ปัจจัยประชากรมดที่มีผลต่อการทดลอง

4.5 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดลองกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองของวิธีอาณาจักรมดมีตัวแปรจำนวน 6 ตัว ในการออกแบบการทดลองเป็นการทดลองรูปแบบเชิง

แฟคทอเรียล 2 ระดับนำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการอาณาจักรมดในการแก้ไขปัญหาเพื่อใช้ในการทดลอง และนำปัจจัยหลักที่มีผลกระผลต่อการทดลองมาวิเคราะห์แบบ Central Composite Design (CCD) ซึ่งจะทำการทดลองโดยกำหนด 5 รอบการทดลองซ้ำ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนการทดลองซ้ำของการวิเคราะห์แบบ Central Composite Design

จำนวนงาน	ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการทดลอง	จำนวนการทดลองซ้ำ (การทดลอง)
8	ประชากรมด	3 x 5 = 15
12	ประชากรมด, ค่าถ่วงน้ำหนัก	9 x 5 = 45
16	ประชากรมด	3 x 5 = 15

ตารางที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

จำนวนงาน	ค่าพารามิเตอร์					
	ประชากรมด	ค่าฟีโรโมน	ค่าอัตราการระเหย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	ฟีโรโมนอัพเดต
8	10	0.50	0.10	1	0.10	0.90
12	10	0.42	0.05	1.65	0.10	0.50
16	10	0.50	0.05	1	0.05	0.90

จากตารางที่ 8 พบว่าประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคำตอบทั้งหมด ซึ่งพบว่าค่าประชากรมด 10 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาคำตอบของทุกๆ งาน ซึ่งมีค่าถ่วงน้ำหนักของงานจำนวน 12 งานเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคำตอบร่วมกับค่าประชากรมด ซึ่งค่าถ่วงน้ำ 1.65 เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาคำตอบของงานจำนวน 12 งาน โดยค่าถ่วงน้ำหนักของงานจำนวน 8 งาน และ 16 งานนั้นไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อการค้นหาคำตอบ เช่นเดียวกันกับปัจจัยหลักของค่าพารามิเตอร์อื่นๆ นั้นไม่มีผลกระทบต่อการค้นหาคำตอบ สามารถเลือกใช้ค่าใดก็ได้ ซึ่งในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นั้น ปัจจัย 2-Way Interaction และปัจจัย 3-Way Interaction ปัจจัยต่างๆ เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมกันในการหาพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าฟีโรโมน ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารฟีโรโมน ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าฟีโรโมนอัพเดตใช้ค่าพารามิเตอร์มากที่สุด เนื่องจากมีความน่าจะเป็นที่มดแต่ละตัวจะเดินทางไปยังโหนดถัดไปมากขึ้น และทำให้เกิดทางเลือกใหม่ๆ มากขึ้นเช่นกัน ใน

ส่วนค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมนนั้นจะใช้ค่าพารามิเตอร์ที่น้อยที่สุด เนื่องจากการใช้ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมนค่ามาก จะทำให้ปริมาณของสารฟีโมนระเหยเร็วและระเหยหมดไปในที่สุด

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

บทความนี้ได้เสนอวิธีการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน เพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่อยู่ในรูปการแจกแจงแบบจำนวนเต็ม (Discrete Probability Distribution) ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด จากส่วนต่างของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุดกับเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด เรียกว่า การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น จากผลการทดลองพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถค้นหาคำตอบในการจัดลำดับการผลิตเพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นได้อย่างเหมาะสม โดยสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จน้อยที่สุดจากปัญหาขนาด 8 งาน 12 งาน และ 16 งานได้ 40 ชั่วโมง 54 ชั่วโมง และ 70 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยพารามิเตอร์ประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นในการหาคำตอบทั้งหมด และเมื่อจำนวนประชากรมดเพิ่มมากขึ้น จึงมีโอกาสมากขึ้นที่มดจะเข้าใกล้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้นตามไปด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ค่าพารามิเตอร์ประชากรมดสามารถเพิ่มจำนวนประชากรมดเข้าไปในระบบได้มากขึ้น เพื่อเพิ่มทางเลือกในการสุ่มหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้มากขึ้น และทำให้มีโอกาสได้ผลตอบที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้นตามไปด้วย

2. จำนวนรอบในการทดลองสามารถเพิ่มเข้าไปในระบบได้มากขึ้น เพื่อให้มดปรับปรุงประสิทธิภาพในการสุ่มเลือกเส้นทางในการเดินทางของแต่ละรอบไปหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และทำให้ผลตอบมีทางเลือกเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมดแต่ละตัวมีการสุ่มเลือกการเดินทางมากขึ้น

3. สามารถนำเอาวิธีการอาณาจักรมด ไปประยุกต์ใช้กับการจัดลำดับการผลิตรูปแบบอื่นๆ ได้ตามความเหมาะสม

4. สามารถนำเอาวิธีการจัดลำดับการผลิตรูปแบบอื่นๆ มาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษา ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ อาจารย์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่คอยแนะนำช่วยเหลือ ให้ความรู้ในการศึกษาดำเนินงานวิจัย และในการศึกษาวิจัยนี้ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในการดำเนินงานวิจัย

References

[1] Sawat Pararach. (2007). **Flowshop scheduling: Uncertain processing time case.** Doctor of Engineering (Industrial Engineering). Industrial Engineering. Industrial Engineering Department. Kasetsart University. (In Thai)

[2] Rapeepan Pitakaso. (2011). **Metaheuristic method for solve production planning and management of logistics.** Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan). (In Thai)

[3] Sanphet Chaisinlapasand and Udom Chanjaratsut. (2011). “A modified ant colony algorithm for job shop scheduling problem”. **IE Network Conference 2011.** Major Industrial Engineering. Department of Industrial Engineering. King Mongkut’s of Technology Ladkrabang. (In Thai)

[4] Kanate Polydanai and Anan Mungwattana. (2012). “Makespan tree heuristic for job shop scheduling problem”. **Kasetsart engineering journal.** Issue 81 year 25 (July – September). (In Thai)

[5] Thanyaporn Nimitbuncha, Anan Mungwattana and Wisut Supitak. (2014). “Flexible flow shop scheduling with sequence dependent setup time”. **Graduate Research Conference 2014.** (In Thai)

[6] Arit Thammano and Archara Phuang. (2013). “Flexible scheduling on parallel machines in the manufacturing industry”. **KMITL Information Technology Journal.** Jul. – Dec. 2013. (In Thai)

[7] Nattaya Sokul. (2012). **Multi-objective production scheduling and sequencing for an electronics parts factory using analytic hierarchy process (AHP).** Master degree of science. Integrated supply chain management. Faculty of engineering. Dhurakij Pundit University. (In Thai)

[8] Betul Yagmahan and Mehmet Mutlu Yenisey. (2010). “A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem”. **Expert Systems with Applications.** Vol.37 (2): 1361–1368

[9] SurendraKumar & C.S.P.Rao. (2009). “Application of ant colony, genetic algorithm and data mining-based techniques for scheduling”. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.** Vol.25: 901–908

[10] B.M.T. Lin, C.Y. Lu, S.J. Shyu, C.Y. Tsai. (2008). “Development of new features of ant colony optimization for flowshop scheduling”. **Int. J. Production Economics**. Vol.112 (2): 742–755

ประวัติผู้เขียนบทความ

จิระศักดิ์ ชาบาง นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12121 โทรศัพท์: 086-975-9042 E-mail: kokai_studio@hotmail.com งานวิจัยที่สนใจ : การวางแผนการผลิต, การปรับปรุงกระบวนการผลิต

สวัสดิ์ ภาระราช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อ.คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12121 โทรศัพท์: 087-937-0522 E-mail: psawat@engr.tu.ac.th งานวิจัยที่สนใจ: Manufacturing Processes, Automation