

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันเพื่อการแก้ปัญหา
การจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง
APPLYING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR SOLVING A JOB SHOP
SCHEDULING PROBLEM

พัชรวดี พูลสำราญ¹ และจิรัชติ อภิรังสิมันต์²
Patcharawadee Poolsamran¹, and Jirachote Aphirangsimun²
¹อาจารย์ ประจำสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ ²นักศึกษาปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้ว
patcharp@buu.ac.th, and jirachot23@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งโดยมีเป้าหมายเพื่อค้นหาตารางการผลิตที่มีค่าแมคสแปนที่น้อยที่สุด หลักการทำงานของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันประกอบด้วย 1) การแทนค่าปัญหาโดยการนำโอเปอร์เรชันของงานทั้งหมดมาทำการเข้ารหัสเป็นพาร์ทิเคิลโดยยังคงรักษาลำดับการดำเนินการของโอเปอร์เรชันของแต่ละงาน 2) การหาค่าความเหมาะสมของพาร์ทิเคิลซึ่งคำนวณได้จากการถอดรหัสจากพาร์ทิเคิลเป็นตารางการผลิต โดยกำหนดให้ค่าความเหมาะสมมีค่าเท่ากับค่าแมคสแปนของตารางการผลิต และ 3) การค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ตามขั้นตอนวิธีของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันในครั้งนี้ คือ ชุดข้อมูลของฐานข้อมูลการวิจัยการดำเนินการ (OR-library) จำนวน 48 ชุดข้อมูลที่มีขนาดของปัญหาแตกต่างกัน ผลการศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม พบว่า 1) อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันสามารถประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งได้ โดยเฉลี่ยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 0.0284 ถึง 0.4183 และ 2) อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันมีประสิทธิภาพสูงในการจัดตารางการผลิตกับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ต่ำ และยังใช้เวลาในการประมวลผลน้อย ถึงแม้ว่าจะประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง พาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง
การจัดตารางการผลิต ปัญหาออฟติไมเซชัน

Abstract

The purpose of this research is to present a particle swarm optimization (PSO) to solve a single-objective job-shop scheduling problem with the objective of minimizing a makespan. The process of particle swarm optimization consists of 1) problem representation of a particle that is encoded with a permutation of all operations on jobs. The operations are ordered by precedence constraints. 2) Evaluating a quality of each particle by the fitness function. The fitness value is represented by a makespan of scheduling. And 3) Finding suitable scheduling by the process of particle swarm optimization. The performance of proposed methodology is tested on 48 well-known benchmark problems from OR-library. The computational results demonstrate that 1) the proposed methodology could be applied to solve a job shop scheduling problem and performs well on the 48 benchmark problems with relative error between 0.0284 and 0.4183. 2) a particle swarm optimization is highly effective in a job shop scheduling problem with small size and also take less processing time although run on a personal computer.

Keywords: Job shop scheduling; Particle swarm optimization; Job shop scheduling problem; Scheduling; Optimization problem

1. บทนำ

การพัฒนางานวิจัยด้านปัญญาประดิษฐ์และการสร้างนวัตกรรมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในหลากหลายสาขา [1][2] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตผู้ประกอบการได้พยายามปรับกลไกการควบคุมการผลิต ระบบการผลิตและการสร้างกลยุทธ์อื่น ๆ ที่ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าและพันธมิตรทางการค้าได้ทันทั่วทั้งที่ภายใต้หลักการการบริหารทรัพยากรการผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่องค์กรไม่ว่าจะเป็นทรัพยากรมนุษย์ เครื่องจักรกล อุปกรณ์หรือวัตถุดิบต่าง ๆ [3] การจัดตารางการผลิต (Scheduling) ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการวางแผนการผลิตที่เป็นปัญหาที่สำคัญยิ่ง โดยการจัดตารางการผลิตเป็นกระบวนการของการจัดตารางเวลาการทำงานและลำดับงานบนเครื่องจักรกล เพื่อให้ทราบว่าเครื่องจักรกลหนึ่ง ๆ ควรจะดำเนินการโอเปอร์เรชันใดและเวลาใด สำหรับโรงงานที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดย่อมมีลำดับการผลิตที่แตกต่างกันและดำเนินการบนเครื่องจักรกลที่ต่างกันภายใต้ระยะเวลาการดำเนินการไม่เท่ากันอีกด้วย ดังนั้น การจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมจึงเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญในภาคอุตสาหกรรมที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยมาโดยตลอด

ปัญหาการจัดตารางการผลิต (Scheduling problem) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มตามระบบการผลิตคือ ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง (Job shop scheduling problem: JSP) [1] และปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามการไหล (Flow shop scheduling problem: FSP) การวิจัยในครั้งนี้ เน้นการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง ซึ่งเป็นการผลิตที่ให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์เป็นหลัก โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีลำดับการดำเนินการของโอเปอร์เรชันบนเครื่องจักรกลที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปรูปแบบของปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งประกอบด้วยงาน (Job) ที่แตกต่างกันจำนวน N งาน โดยแต่ละงานประกอบด้วยลำดับของโอเปอร์เรชันที่ดำเนินการบนเครื่องจักรกลที่แตกต่างกันจำนวน M เครื่อง ดังนั้น ความพยายามในการคำนวณหาตารางการผลิตแบบตามสั่งที่เป็นไปได้ คือ การค้นหาทางเลือกที่เป็นไปได้ในการจัดลำดับการทำงานของโอเปอร์เรชันของงานทั้งหมดบนเครื่องจักรกลที่มีภายใต้เงื่อนไขของการจัดตารางการผลิต ดังนี้ 1) ทุกงานมีระดับความสำคัญเท่ากัน 2) ทุกงานต้องรักษาลำดับการดำเนินการของโอเปอร์เรชันบนเครื่องจักรกลเสมอ 3) ทุกเครื่องจักรกลสามารถดำเนินการโอเปอร์เรชันได้เพียงหนึ่งโอเปอร์เรชัน ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น และ 4) โอเปอร์เรชันใด ๆ ไม่สามารถแบ่งแยกการดำเนินการได้

ปัญหาการจัดตารางการผลิตถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพีฮาร์ดที่ใช้เวลาในการประมวลผลแบบโพลิโนเมียล [4] ด้วยข้อจำกัดของมนุษย์ในการประมวลผลแล้วปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งจึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996 มีผลงานวิจัยนำเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตไว้หลากหลายวิธี ในช่วงต้นของการศึกษานักวิจัยได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งด้วยเทคนิคที่หาค่าตอบที่ดีที่สุด (Exact optimization technique) ตัวอย่างวิธีที่เป็นที่รู้จักโดยทั่วกัน เช่น อัลกอริทึมบริจและบาวด์ (Branch and bound) [5] โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer programming) [6] เป็นต้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการหาค่าตอบที่ดีที่สุดได้เป็นอย่างดี แต่หากนำมาใช้ในแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลสูงมาก ดังนั้น ในช่วงเวลา 20 ปีที่ผ่านมา นักวิจัยส่วนใหญ่ได้หันมาให้ความสนใจกับกลุ่มอัลกอริทึมที่มีการค้นหาค่าตอบแบบการประมาณค่า (Approximation algorithm) หรือวิธีการแบบฮิวริสติก (Heuristic approach) ที่ไม่ได้รับประกันค่าตอบที่ดีที่สุด แต่สามารถหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดภายในเวลาที่ยอมรับได้ ตัวอย่างอัลกอริทึมในกลุ่มนี้ที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง เช่น การค้นหาแบบตาบู่ [7] จีเนติกอัลกอริทึม [1][8] อัลกอริทึมอาณานิคมมด [9] อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน [10] เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันในการแก้ปัญหาตารางการผลิตแบบตามสั่ง
2. เพื่อวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันในการสร้างตารางการผลิตแบบตามสั่ง

3. กรอบแนวคิดของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพที่ทำการศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งที่มีงานจำนวน N งานและมีเครื่องจักรกลจำนวน M เครื่อง ซึ่งสามารถคำนวณหาทางเลือกของการจัดตารางการผลิตที่เป็นไปได้เท่ากับ N^M วิธี แสดงว่า เมื่อจำนวนงานและ/หรือเครื่องจักรกลมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ทางเลือกในการจัดตารางการผลิตจะยิ่งมากขึ้นด้วยเช่นกัน และส่งผลทำให้เวลาในการประมวลผลเพื่อหาค่าตอบที่ดีที่สุดใช้เวลามากยิ่งขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ ผู้ที่ทำหน้าที่จัดตารางการผลิตของ

เครื่องจักรกลจะต้องเป็นผู้ที่มีความเชี่ยวชาญสูงที่สามารถจัดตารางการผลิตที่มีค่าเมคสแปน (Makespan) หรือเวลาสิ้นสุดงานสุดท้ายของแผนการผลิตที่น้อยที่สุด แต่ทั้งนี้ด้วยข้อจำกัดของมนุษย์ในการประมวลผล ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับสร้างตารางการผลิตแบบตามสั่ง เพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้วางแผนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยการนำอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาออฟติไมเซชันมาทดสอบการค้นหารายการการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการพัฒนาโปรแกรมและการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้ 1) เป็นการเข้ารหัส (Encoding) 2) คือ การคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness value) และ 3) เป็นการคำนวณหารายการการผลิตที่เป็นไปได้ด้วยอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน

การเข้ารหัส

ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งประกอบด้วยเซตของงานจำนวน N งาน แทนด้วย $J = \{J_1, J_2, \dots, J_N\}$ และเซตของเครื่องจักรกลจำนวน M เครื่อง แทนด้วย $M = \{M_1, M_2, \dots, M_M\}$ โดยแต่ละงานจะประกอบด้วยลำดับของโอเปอร์เรชันจำนวน P โอเปอร์เรชันที่ดำเนินการบนเครื่องจักรกลด้วยเวลาการดำเนินการที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 1 เป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งขนาด 3×3 โดยมีงานจำนวน 3 งานและแต่ละงานประกอบด้วย 3 โอเปอร์เรชัน เช่น โอเปอร์เรชันที่หนึ่งของงานที่หนึ่งดำเนินการบนเครื่องจักรกลที่ 2 โดยใช้เวลาดำเนินการ 3 หน่วยเวลา เป็นต้น

	1	2	3
J_1	$O_{11} (M_2, 3)$	$O_{12} (M_1, 2)$	$O_{13} (M_3, 1)$
J_2	$O_{21} (M_1, 2)$	$O_{22} (M_3, 1)$	$O_{23} (M_2, 2)$
J_3	$O_{31} (M_2, 1)$	$O_{32} (M_3, 3)$	$O_{33} (M_1, 1)$

รูปที่ 1 ตัวอย่างปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งขนาด 3×3

จากตัวอย่างปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งข้างต้นสามารถนำมาเข้ารหัสเพื่อแทนค่าตำแหน่งพาร์ทิเคิลในอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

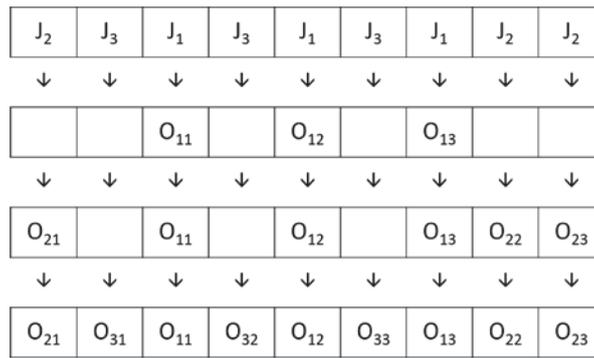
1) สุ่มค่าตำแหน่งของพาร์ทิเคิลเริ่มต้นให้อยู่ในช่วง $[0, 1]$ โดยพาร์ทิเคิลแต่ละตัวจะมีขนาดเท่ากับจำนวนโอเปอร์เรชันทั้งหมดของทุกงานในแผนงานการผลิต จากตัวอย่างแผนงานการผลิตรูปที่ 1 พาร์ทิเคิลแต่ละตัวจะมีขนาดความยาวเท่ากับ 9

0.5	0.8	0.1	0.7	0.3	0.9	0.2	0.4	0.3
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

รูปที่ 2 การสุ่มค่าตำแหน่งของพาร์ทิเคิล

2) แทนตัวเลขสุ่มจากขั้นตอนที่ 1 ด้วยงานและโอเปอร์เรชันของงาน โดยให้แทนค่าเรียงตามลำดับค่าที่สุ่มได้จากน้อยไปมาก ภายใต้เงื่อนไขการรักษาลำดับการทำงานของโอเปอร์เรชันของแต่ละงาน ดังรูปที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดการเข้ารหัสพาร์ทิเคิล ดังนี้

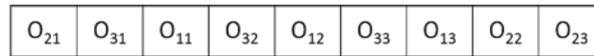
- ตัวเลขสุ่ม 0.1, 0.3 และ 0.2 ในช่องที่ 3, 5 และ 7 ตามลำดับให้แทนด้วยโอเปอร์เรชัน O_{11} , O_{12} และ O_{13} ของงานที่ 1
- ตัวเลขสุ่ม 0.5, 0.4 และ 0.3 ในช่องที่ 1, 8 และ 9 ตามลำดับให้แทนด้วยโอเปอร์เรชัน O_{21} , O_{22} และ O_{23} ของงานที่ 2
- ตัวเลขสุ่ม 0.8, 0.7 และ 0.9 ในช่องที่ 2, 4 และ 6 ตามลำดับให้แทนด้วยโอเปอร์เรชัน O_{31} , O_{32} และ O_{33} ของงานที่ 3



รูปที่ 3 วิธีการเข้ารหัสพาร์ทิเคิล

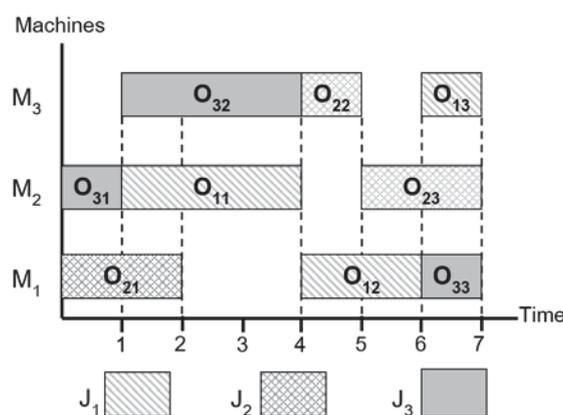
การคำนวณค่าความเหมาะสม

ค่าความเหมาะสมเป็นค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของคำตอบของปัญหา สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้กำหนดให้ค่าความเหมาะสมของพาร์ทิเคิลมีค่าเท่ากับค่าแมคสแปน ซึ่งเป็นเวลาแล้วเสร็จของงานทั้งหมด ดังนั้น ถ้าพาร์ทิเคิลใดมีค่าความเหมาะสมน้อยที่สุดจะถูกเลือกให้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง



รูปที่ 4 ตัวอย่างพาร์ทิเคิลสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตขนาด 3x3

การคำนวณหาค่าความเหมาะสมของพาร์ทิเคิลเริ่มต้นโดยการนำค่าตำแหน่งพาร์ทิเคิลจากรูปที่ 4 มาทำการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรกลทั้ง 3 เครื่องตามลำดับ โดยใช้เวลาการดำเนินการตามรูปที่ 1 เช่น ตำแหน่งที่ 1 ของพาร์ทิเคิลคือ โอเปอร์เรชัน O₂₁ ให้ทำการวางโอเปอร์เรชัน O₂₁ บนเครื่องจักรกล M₁ ณ เวลาที่ 0 ถึง 2 ถัดไปให้ทำการวางโอเปอร์เรชัน O₃₁ และโอเปอร์เรชัน O₁₁ บนเครื่องจักรกล M₂ ณ เวลาที่ 0 ถึง 1 และเวลาที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ หลังจากนั้นตำแหน่งที่ 4 ของพาร์ทิเคิลคือ โอเปอร์เรชัน O₃₂ ให้ทำการวางโอเปอร์เรชันบนเครื่องจักรกล M₃ ณ เวลาที่ 1 ถึง 4 เนื่องจากโอเปอร์เรชัน O₃₂ จะเริ่มต้นดำเนินการบนเครื่องจักรกลได้ก็ต่อเมื่อโอเปอร์เรชัน O₃₁ ดำเนินการบนเครื่องจักรกล M₂ เสร็จเรียบร้อยแล้ว หลักการการจัดวางโอเปอร์เรชันจะกระทำเช่นนี้จนกระทั่งครบทุกโอเปอร์เรชัน ตารางการผลิตแบบตามสั่งที่ทำการถอดรหัสจะมีผลลัพธ์ดังรูปที่ 5 ซึ่งจะได้ค่าแมคสแปนเท่ากับ 7 หน่วยเวลา ดังนั้น ค่าความเหมาะสมของพาร์ทิเคิลตัวอย่างนี้จะมีค่าเท่ากับ 7



รูปที่ 5 การหาค่าแมคสแปนจากค่าตำแหน่งของพาร์ทิเคิล

อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน

อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันเป็นอัลกอริทึมที่เลียนแบบพฤติกรรมกรรมการหาอาหารของฝูงนกหรือฝูงปลาและการสื่อสารภายในฝูง [11] โดยในอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันได้แทนนกหรือปลาแต่ละตัวด้วย “พาร์ทิเคิล” ซึ่งพาร์ทิเคิลแต่ละตัวจะมีข้อมูลของตนเอง 2 ค่าคือ ค่าตำแหน่ง (Position) และค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ (Velocity)

การทำงานของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน มีขั้นตอนในการประมวลผล ดังนี้

- 1) กำหนดประชากรพาร์ทิเคิลเริ่มต้น โดยการสุ่มค่าตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลแต่ละตัวตามจำนวนพาร์ทิเคิลที่กำหนดไว้ จากนั้นให้ทำการเข้ารหัสค่าตำแหน่งตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อ 4.1
- 2) คำนวณค่าความเหมาะสมของพาร์ทิเคิลทั้งหมด ตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นในหัวข้อ 4.2
- 3) กำหนดค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของพาร์ทิเคิลแต่ละตัว โดยค่าตำแหน่งที่ดีที่สุด คือ ค่าตำแหน่งที่พาร์ทิเคิลนั้น ๆ มีความเหมาะสมน้อยที่สุด
- 4) กำหนดค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง โดยการพิจารณาคัดเลือกจากค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของพาร์ทิเคิลทั้งหมดที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3
- 5) ปรับปรุงค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลทั้งหมด

$$v_i^{new} = w * v_i^{old} + q_i + g_i$$

โดยที่

$$q_i = c_1 * rand * (p_i - x_i)$$

$$g_i = c_2 * rand * (p_g - x_i)$$

เมื่อ

c_1 และ c_2 ค่าคงที่ค่าบวกค่าหนึ่ง

$rand$ ค่าคงที่ได้จากสุ่มในช่วง [0, 1]

w ค่าถ่วงน้ำหนักของค่าความเร็วเดิม คำนวณได้จาก $w = 0.5 + rand / 2.0$

x_i ค่าตำแหน่งปัจจุบันของพาร์ทิเคิลตัวที่ i

v_i ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลตัวที่ i

- 6) ปรับปรุงค่าตำแหน่งของพาร์ทิเคิลทั้งหมด

$$x_{id}^{new} = x_{id}^{old} + v_{id}^{new}$$

- 7) วนซ้ำขั้นตอนที่ 2-5 จนกระทั่งครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้

การกำหนดค่าพารามิเตอร์

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน ประกอบด้วยจำนวนพาร์ทิเคิล โดยการศึกษาในครั้งนี้นี้กำหนดเป็นค่าคงที่ซึ่งการกำหนดค่านี้ที่เหมาะสมจะนำไปศึกษาแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตจากสถานการณ์จริงได้ (Real World Problem) สำหรับการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าความเร็ว ค่าคงที่ c_1 และ c_2 ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามที่นักวิจัยที่นำเสนออัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน [11] ได้กำหนดไว้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- | | |
|--------------------|---------|
| 1) จำนวนพาร์ทิเคิล | 40 |
| 2) ค่าถ่วงน้ำหนัก | [0, 1] |
| 3) ค่าความเร็ว | [-2, 2] |
| 4) ค่าคงที่ c_1 | 2 |
| 5) ค่าคงที่ c_2 | 2 |

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวัดผลประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งด้วยอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันมีการกำหนดจำนวนรอบในการประมวลผลเท่ากับ 10000 รอบ โดยจะทำการรันซ้ำ 10 ครั้งที่มีการสุ่มค่าอิสระต่อกัน ซึ่งจำนวนครั้งในการทำซ้ำได้กำหนดตามงานวิจัยที่มีการนำอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันไปประยุกต์ใช้ในแก้ปัญหาต่าง ๆ [12][13] การทดลองในครั้งนี้ได้ทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 48 ชุดข้อมูลจากฐานข้อมูลการวิจัยการดำเนินการ [14] แต่ละชุดข้อมูลรันซ้ำ 10 ครั้ง [12][13] โดยทำการเลือกตารางการผลิตที่มีค่าเมคสแปนน้อยที่สุด

ข้อมูลที่จัดเก็บเพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพมี 3 ค่า ดังนี้

- 1) ค่าเมคสแปน เป็นค่าที่คำนวณได้จากเวลาแล้วเสร็จของตารางการผลิตแบบตามสั่ง เพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชัน

2) เวลาในการประมวลผล ในแต่ละรอบการรันผลจะมีการจับเวลาตั้งแต่เริ่มต้นโหลดข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมจนกระทั่งแสดงตารางการผลิตที่ได้จากโปรแกรม จึงถือว่าสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรมในแต่ละครั้ง ซึ่งเวลาในการประมวลผลจัดเก็บหน่วยเป็นนาฬิกา

3) ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (RE) เป็นค่าที่คำนวณได้จากค่าผลต่างระหว่างค่าเมคสแปนที่ดีที่สุดที่คำนวณได้จากการรันผล (*best_run*) กับค่าเมคสแปนที่แท้จริง (BESTSOL) แล้วหารด้วยค่าเมคสแปนที่แท้จริง

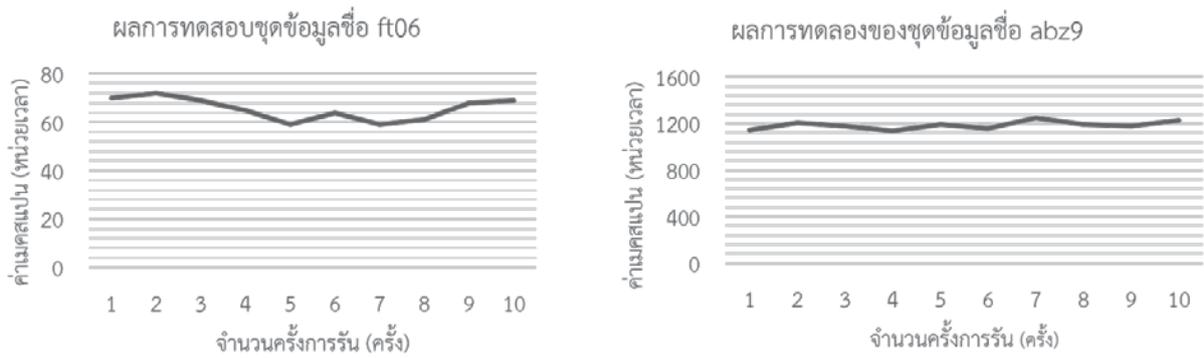
$$RE = \frac{|best_run - BESTSOL|}{BESTSOL}$$

5. ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการรันผลการทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยภาษาจาวา และได้ทำการทดสอบกับชุดข้อมูลทดสอบจำนวน 48 ชุดข้อมูลจากฐานข้อมูลการวิจัยการดำเนินการ [14] โดยได้รับผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel® Core™2 Duo CPU E7500 2.93 GHz. มีหน่วยความจำหลัก 3 GB และติดตั้งระบบปฏิบัติการ Window 7 Professional

ตารางที่ 1 ค่าเมคสแปนที่ดีที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (RE) และเวลาในการประมวลผลของการทดสอบประสิทธิภาพ

ชุดข้อมูล	ขนาดปัญหา		จำนวน 10000 รอบ			ชุดข้อมูล	ขนาดปัญหา		จำนวน 10000 รอบ		
	จำนวนงาน	จำนวนเครื่องจักรกล	ค่าเมคสแปนที่ดีที่สุด	RE	เวลา (นาฬิกา)		จำนวนงาน	จำนวนเครื่องจักรกล	ค่าเมคสแปนที่ดีที่สุด	RE	เวลา (นาฬิกา)
abz5	10	10	1640	0.2476	9:17	la17	10	10	979	0.1992	9:32
abz6	10	10	1260	0.2516	9:11	la18	10	10	1158	0.2677	9:23
abz7	15	20	1109	0.4085	43:22	la19	10	10	1174	0.2828	9:34
abz8	15	20	1150	0.4183	46:55	la20	10	10	1227	0.2649	9:36
abz9	15	20	1138	0.3787	56:09	la21	15	10	1584	0.3396	16:21
ft06	6	6	59	0.0678	3:26	la22	15	10	1475	0.3715	16:38
ft10	10	10	1348	0.3101	10:24	la23	15	10	1517	0.3197	16:36
ft20	20	5	1656	0.2965	11:26	la24	15	10	1409	0.3364	16:25
la01	10	5	794	0.1612	4:26	la25	15	10	1547	0.3685	16:40
la02	10	5	805	0.1863	4:11	la26	20	10	1875	0.3504	24:49
la03	10	5	777	0.2317	4:32	la27	20	10	1977	0.3753	25:18
la04	10	5	760	0.2237	4:17	la28	20	10	1881	0.3535	25:50
la05	10	5	622	0.0466	4:29	la29	20	10	1831	0.3681	25:36
la06	15	5	1000	0.0740	7:42	la30	20	10	1885	0.2812	25:23
la07	15	5	1088	0.1820	7:39	la31	30	10	2530	0.2949	46:29
la08	15	5	1090	0.2083	7:46	la32	30	10	2659	0.3042	49:57
la09	15	5	1151	0.1738	7:24	la33	30	10	2448	0.2978	50:07
la10	15	5	986	0.0284	7:41	la34	30	10	2529	0.3195	48:10
la11	20	5	1364	0.1041	11:55	la35	30	10	2800	0.3257	49:26
la12	20	5	1230	0.1553	12:00	la36	15	15	1926	0.3416	27:29
la13	20	5	1338	0.1405	11:48	la37	15	15	2027	0.3108	27:27
la14	20	5	1365	0.0535	11:07	la38	15	15	1970	0.3990	27:27
la15	20	5	1495	0.1926	11:06	la39	15	15	1949	0.3674	26:46
la16	10	10	1238	0.2367	9:23	la40	15	15	1952	0.3740	27:56



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบชุดข้อมูลชื่อ ft06 และชุดข้อมูลชื่อ abz9 จำนวนการรัน 10 ครั้ง

ผลการทดลองตามตารางที่ 1 แสดงข้อมูลของชุดข้อมูลทดสอบและผลการทดสอบโปรแกรมแบ่งเป็น 6 คอลัมน์ มีรายละเอียด ดังนี้ คอลัมน์ที่ 1 แสดงชื่อของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ คอลัมน์ที่ 2 และ 3 แสดงจำนวนงาน (Job) และจำนวนเครื่องจักรกลที่ใช้ในแผนการผลิตของชุดข้อมูลที่ทดสอบ คอลัมน์ที่ 4 แสดงค่าเมคสแปนที่ดีที่สุดที่เลือกจากการรันซ้ำจำนวน 10 ครั้ง คอลัมน์ที่ 5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (RE) ซึ่งคำนวณเทียบกับค่าเมคสแปนที่แท้จริงดังที่กล่าวไว้ข้างต้น และคอลัมน์ที่ 6 แสดงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างตารางการผลิตแบบตามสั่ง ตัวอย่างผลการทดลอง เช่น ชุดข้อมูลที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์น้อยที่สุดคือ la10 ประกอบด้วยงานจำนวน 15 งานและใช้เครื่องจักรกลจำนวน 5 เครื่อง ซึ่งมีตารางการผลิตที่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้จำนวน 15^5 เท่ากับ 759,375 ตาราง จากผลการทดสอบโปรแกรม พบว่า โปรแกรมสามารถสร้างตารางการผลิตที่มีค่าเมคสแปนที่ดีที่สุด คือ 986 หน่วยเวลา โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 0.0284 และใช้เวลาในการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเท่ากับ 7 นาที 41 วินาที

6. อภิปรายและสรุปผล

การวิจัยนี้ได้นำอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง โดยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานกับข้อมูลทดสอบจำนวน 48 ชุดข้อมูลจากฐานข้อมูลการวิจัยการดำเนินการ [14] และวัดประสิทธิภาพของตารางการผลิตที่ได้จากการทดลองด้วยค่าเมคสแปนที่ดีที่สุด เวลาในการประมวลผลและค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ จากผลการทดลองตารางที่ 1 สำหรับชุดข้อมูลที่มีขนาดเล็กที่สุดที่ใช้ทดสอบคือ ชุดข้อมูล ft06 มีขนาดข้อมูล 6×6 ประกอบด้วยงานจำนวน 6 งานและใช้เครื่องจักรกลจำนวน 6 เครื่อง ซึ่งมีตารางการผลิตที่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้จำนวน 6^6 เท่ากับ 46,656 ตาราง โปรแกรมการจัดตารางการผลิตด้วยอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันสามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยใช้เวลาในการประมวลผล 206 วินาทีหรือ 3 นาที 26 วินาทีและมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 0.0678 สำหรับชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการทดสอบคือ abz7, abz8 และ abz9 มีขนาดข้อมูล 15×20 ประกอบด้วยงานจำนวน 15 งานและใช้เครื่องจักรกลจำนวน 20 เครื่อง ซึ่งมีตารางการผลิตที่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้จำนวน 15^{20} เท่ากับ $3.32525673 \times 10^{23}$ ทางเลือก โปรแกรมการจัดตารางการผลิตด้วยอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันสามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยใช้เวลาในการประมวลผล 2602, 2815 และ 3369 วินาที ตามลำดับ หรือ 43 นาที 22 วินาที, 46 นาที 55 วินาที และ 56 นาที 9 วินาที ตามลำดับ และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์เท่ากับ 0.408, 0.4183 และ 0.3787 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดสอบตามตารางที่ 1 สามารถสรุปได้ว่า 1) อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันสามารถจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งได้ โดยเฉลี่ยมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 0.0284 ถึง 0.4183 และ 2) อัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันมีประสิทธิภาพสูงในการจัดตารางการผลิตกับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ และยังใช้เวลาในการประมวลผลน้อย ถึงแม้ว่าจะประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งที่มีขนาดเล็ก สถานประกอบอุตสาหกรรมต่าง ๆ สามารถคำนวณหาตารางการผลิตที่มีคุณภาพได้โดยการคำนวณของมนุษย์ แต่ถ้าปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งที่มีขนาดใหญ่อาจเกินขีดความสามารถของมนุษย์ที่ไม่สามารถคำนวณได้ และยังใช้เวลานานในการจัดตารางผลิต นอกจากนี้อาจเกิดความผิดพลาดจากการประมวลผลของมนุษย์ (Human error) อีกด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นงานวิจัยหนึ่งที่พัฒนาโปรแกรมสนับสนุนข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกตารางการผลิตที่เหมาะสม ลดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานให้กับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อให้ธุรกิจ

ได้เปรียบในการแข่งขันและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ทันที่ อย่างไรก็ตาม การนำอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันมาใช้ต้องมีกำหนดค่าพารามิเตอร์หลายค่า เช่น จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบในการทำงาน ค่าถ่วงน้ำหนัก เป็นต้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพและเวลาในการประมวลผล ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลจริงของภาคอุตสาหกรรมต่อไป

แนวทางในการพัฒนาการวิจัยในครั้งต่อไป

จากผลการวัดประสิทธิภาพของการวิจัยในครั้งนี้ ผู้เขียนมีแนวคิดและข้อเสนอแนะเพื่อจะนำไปพัฒนาต่อไปในอนาคต ดังนี้

1. การศึกษาอิทธิพลของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันต่อประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดตารางผลิตแบบตามสั่ง
2. การนำขั้นตอนวิธีการจัดตารางผลิตแบบตามสั่งด้วยอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันไปทดสอบกับปัญหาการจัดตารางการผลิตจริงของภาคอุตสาหกรรม เพื่อเป็นกรณีศึกษาการวัดประสิทธิภาพกับปัญหาการจัดตารางการผลิตจากสถานการณ์จริงได้ (Real World Problem)
3. การปรับขั้นตอนวิธีในการจัดตารางผลิตแบบตามสั่งด้วยอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออฟติไมเซชันไปประยุกต์กับปัญหาการจัดตารางในลักษณะอื่น ๆ เช่น การจัดตารางเรียน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตสระแก้วและได้รับความอนุเคราะห์เครื่องคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Arit Thammano and Ajchara Phu-ang. 2556. Flexible Job Shop Scheduling with Parallel Processing Machine in Industrial Production. *KMITL Information Technology Journal*, 2(1), p. 27-38.
- [2] Songwut Egwutvongsa. 2557. A Study and Development of Vehicle Versatile Support Mission Forest Fire for Prevention Suppress and Control Forest Fires Office, Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation. *Journal of Industrial Education*, 1(6), p. 55-62.
- [3] Khwanruthai Rongtham, Walailak Atthirawong, and Nuttawut Rojniruttikul. 2556. Delivery efficiency of just-in-time production system for automotive part suppliers case study : Siam Hi-Tech Steel Center Co., Ltd. *Journal of Industrial Education*, 3(16), p. 124-132.
- [4] Özgüven, C., Özbakır, L. and Yavuz, Y. 2010. Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. *Applied Mathematical Modelling*, 34(6), p. 1539-1548.
- [5] Brucker, P., Jurisch, B. and Sievers, B. 1994. A branch and bound algorithm for the job-shop scheduling problem. *Discrete Applied Mathematics*, 49, p. 107-127.
- [6] PAN, C.H. 1997. A study of integer programming formulations for scheduling problems. *International Journal of Systems Science*, 28(1), p. 33-41.
- [7] Ponnambalam, S. G., Aravindan, P. and Rajesh, S.V. 2000. A Tabu Search Algorithm for Job Shop Scheduling. *Advanced Manufacturing Technology*, 16(10), p. 765-771.
- [8] Qing-dao-er-jia, R. and Wang, Y. 2012. A new hybrid genetic algorithm for job shop scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 39(10), p. 2291–2299.
- [9] Turguner, C. and Sahingoz, O.K. 2014. Solving Job Shop Scheduling Problem with Ant Colony Optimization. In *Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics*. 19-21 November, p. 385-389.

- [10] Lui, Z. 2007. Investigation of Particle Swarm Optimization for Job Shop Scheduling Algorithm. In **Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Natural Computation (ICNC2007)**. 24-27 August, p. 799- 803.
- [11] Bratton, D. and Kennedy, J. 2007. Defining a Standard for Particle Swarm Optimization. in **Proceeding of the 2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium (SIS2007)**. 1-5 April, p. 120-127.
- [12] Zhou, Y. and Tan, Y. 2009. GPU-based Parallel Particle Swarm Optimization. **2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2009**. p. 1493 - 1500.
- [13] Chowdhury, S., Tong, W. Messac, A. and Zhang, J. 2013. A mixed-discrete Particle Swarm Optimization algorithm with explicit diversity-preservation. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, 47(3), p. 367–388.
- [14] Beasley, J.E. 1990. OR-Library: Distributing Test Problems by Electronic Mail. **Journal of the Operations Research Society**, 41(11), p. 1069-1072.