

การจัดเซลล์การผลิตแบบเซลล์ลูลาร์โดยการกำหนดพนักงาน
ในการทำงานด้วยวิธีเมตาฮีริสติกส์
**SOLVING CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM PROBLEM
WITH OPERATOR ASSIGNMENT VIA METAHEURISTICS**

อลงกรณ์ เมืองไหว* และขวัญนิธิ คำเมือง
Alongkorn Muangwai*, and Kwanniti Kkammuang

Faculty of Industrial Engineering, Naresuan University
*corresponding author e-mail: alongkorm25@gmail.com

บทคัดย่อ

การจัดเซลล์การผลิตแบบเซลล์ลูลาร์พัฒนามาจากเทคโนโลยีในการจัดกลุ่ม คือ นำชิ้นส่วนและเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายกันมารวมกันเพื่อความสะดวกในการดำเนินงาน ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเมตาฮีริสติกส์ ได้แก่ วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) มาแก้ปัญหา 3 ปัญหาคือ ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ หาค่าต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุดของต้นทุนการเคลื่อนที่ภายในเซลล์การผลิต ต้นทุนการเคลื่อนที่ภายนอกเซลล์การผลิต ต้นทุนการดำเนินงาน ต้นทุนการซื้อเครื่องจักร และต้นทุนการจ้างพนักงานในการทำงาน ซึ่งผลการทดลองจะแสดงการแก้ปัญหาและคำตอบที่ได้จากทั้ง 3 ปัญหาในงานวิจัย

คำสำคัญ: ระบบการผลิตแบบเซลล์ลูลาร์ การกำหนดพนักงาน เมตาฮีริสติกส์

Abstract

Cellular manufacturing system (CMS) is an efficient approach for implementing the principles of Group Technology in a manufacturing environment. In this paper, we suggest met heuristic solution approach that Genetic Algorithm (GA) to solve this problem (small, medium and large problems). The objectives of the research are to minimize total inter-cell movement cost, intra-cell movement cost movement cost, operating cost, purchasing machinery and, salary cost. Computational results are presented by solving three problems.

Keywords: cellular manufacturing system, operator assignment, met heuristics

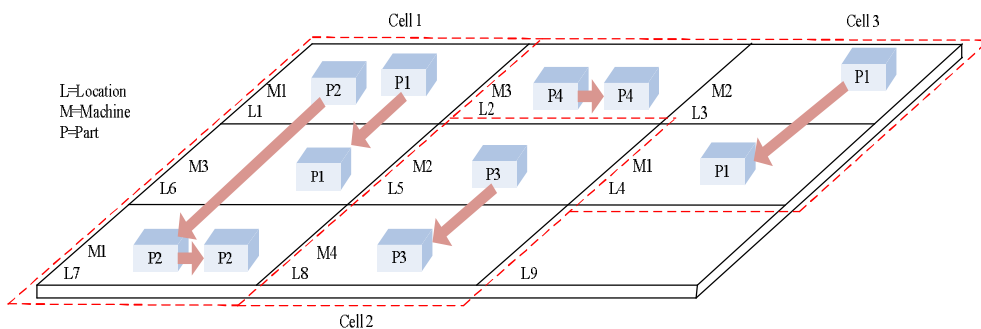
บทนำ

แนวโน้มของระบบการผลิตของอุตสาหกรรมในปัจจุบันจะปรับเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมของโลกที่เปลี่ยนแปลงหรือตามเทคโนโลยีที่ทันสมัยจึงส่งผลให้อุตสาหกรรมต้องมีการปรับเปลี่ยนระบบการผลิตเพื่อผลิตสินค้าให้ทันกับความต้องการของลูกค้าที่มีมากขึ้นและยังต้องคำนึงถึงต้นทุนในการ

ดำเนินงานที่สูงขึ้นในปัจจุบัน เช่น ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนสินค้าคงคลัง ต้นทุนขนส่ง ต้นทุนด้านทรัพยากร เป็นต้น ดังนั้นจึงทำให้อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต้องหาเทคนิคหรือวิธีการเข้ามาช่วยลดต้นทุนเหล่านี้

การจัดเซลล์การผลิตแบบเซลล์ลูลาร์ (cellular manufacturing system; CMS) ถือได้ว่าเป็นอีกวิธีการหนึ่งของการวางแผนการผลิตที่จะช่วยให้ระบบการผลิตเกิดความยืดหยุ่นมากขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนสายการผลิตเพื่อรองรับกับการผลิตสินค้า ตัวอย่างประโยชน์ของ CMS เช่น ลดเวลาในการติดตั้ง (set-up time) ลดงานที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการลง work-in-process (WIP) ลดต้นทุนของสินค้าคงคลัง (inventory cost) ลดเวลาในการผลิต (processing time) (Muangwattana, 2000) ลดต้นทุนในการขนย้ายวัสดุ (material handling cost) เพิ่มระบบการผลิตแบบทันเวลา (just-in-time; JIT) และการจัดวางเครื่องจักรทำได้ง่ายขึ้น (machine utilization) (Kia et al., 2012; Kia et al., 2014; Muangwattana, 2000)

CMS มาจากการรวมกันของการผลิตแบบตามสั่ง (job shop) และ การผลิตแบบตามสายการประกอบ (flow production line) ซึ่งทั้ง 2 แบบชนิดนี้ถูกคัดแปลงมาจากเทคโนโลยีการจัดกลุ่ม (group technology; GT) (Kia et al., 2012) GT ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Mitrofanov (Mitrofanov, 1966) หมายถึงการรวมกลุ่มของชิ้นส่วนที่มีความเหมือนกันหรือคล้ายคลึงมาไว้ด้วยกันเพื่อความสะดวกในการใช้งาน (Javaid et al., 2014) ซึ่ง CMS นั้นได้พัฒนามาใช้กับการจัดเซลล์การผลิตในอุตสาหกรรม โดยการรวมกลุ่มของเครื่องจักรหรือชิ้นงานที่มีความเหมือนกันไว้ด้วยกันเพื่อความสะดวกในการผลิต และประหยัดต้นทุนให้มากที่สุด (Ahkioon et al., 2009) ดังภาพที่ 1 ซึ่งปัญหา CMS โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ 1) ปัญหาการจัดเซลล์การผลิต (cell formation problem: CFP) เป็นการแก้ปัญหาของการจัดกลุ่มชิ้นส่วนและเครื่องจักรที่มีความเหมือนกันไว้ด้วยกันเพื่อลดต้นทุนในการดำเนินงานลง (Kia et al., 2014) 2) ปัญหาการจัดกลุ่มผังการผลิต (group layout) เพื่อหาต้นทุนในการเคลื่อนที่ภายใน (intra-cell movement) และภายนอก (inter-cell movement) (Bagheri & Bashiri, 2014) 3) ปัญหาการจัดตารางการผลิต (scheduling problem) เป็นการจัดตารางในการทำงานของชิ้นส่วน เครื่องจักร หรือพนักงานในการทำงาน เป็นต้น 4) ปัญหาการจัดสรรทรัพยากร (resource allocation) เช่น เครื่องมืออุปกรณ์ วัตถุดิบ พนักงาน และอุปกรณ์ในการขนย้ายวัสดุ เป็นต้น



ภาพที่ 1 การจัดเซลล์การผลิตแบบเซลล์ลูลาร์

สำหรับในงานวิจัยนี้จะทำการแก้ไขปัญหา CMS โดยพิจารณาปัญหา 3 แบบข้างต้น ได้แก่ ปัญหาการจัดเซลล์การผลิต ปัญหาการจัดกลุ่มผังการผลิตและปัญหาการจัดสรรทรัพยากร โดยลักษณะเด่นของโจทย์ปัญหานี้จะอยู่ที่การจัดสรรทรัพยากร ซึ่งได้แก่ การกำหนดพนักงานในการ

ทำงาน (operator assignment) โดยที่พนักงานแต่ละคนจะมีทักษะในการทำงานทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ ระดับ ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง สูงและสูงมาก ตามลำดับ และทักษะเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อเวลาในการผลิตชิ้นส่วน โดยพนักงานที่มีทักษะสูงจะใช้เวลาในการผลิตที่น้อยกว่าพนักงานที่มีทักษะต่ำ เป็นต้น วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือการหาค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุด (minimize Z) จำนวน 5 วัตถุประสงค์ ได้แก่ ต้นทุนการเคลื่อนที่ภายในเซลล์ ต้นทุนการเคลื่อนที่ภายนอกเซลล์ ต้นทุนในการดำเนินงาน (operating cost) ต้นทุนในการซื้อเครื่องจักร (purchase machine cost) และต้นทุนในการจ้างพนักงาน (salary cost)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. อธิบายโจทย์ปัญหาในงานวิจัย

ในหัวข้อนี้จะบอกลักษณะปัญหาในงานวิจัย โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการหาต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุดดังนี้

1.1 ต้นทุนด้านเครื่องจักร

1.1.1 ต้นทุนการซื้อเครื่องจักรใหม่ เกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตชิ้นส่วน โดยที่เครื่องจักรแต่ละชนิดที่ซื้อเข้ามาจะมีราคาที่ไม่เท่ากัน

1.1.2 ต้นทุนแปรผัน เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนเมื่อเคลื่อนที่เข้ามาทำการผลิตบนเครื่องจักรชนิดใดแล้วจะต้องเกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเกิดขึ้น ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะมีค่าที่ไม่เท่ากันแล้วแต่เครื่องจักรแต่ละชนิด

1.2 ต้นทุนด้านการเคลื่อนที่

1.2.1 การเคลื่อนที่ภายในเซลล์การผลิต เกิดขึ้นเมื่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนเคลื่อนที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่อยู่เซลล์การผลิตเดียวกัน

1.2.2 การเคลื่อนที่ภายนอกเซลล์การผลิต เกิดขึ้นเมื่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนเคลื่อนที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่อยู่คนละเซลล์การผลิต

1.3 ต้นทุนด้านพนักงาน

1.3.1 ต้นทุนในการจ้างพนักงาน เกิดขึ้นเมื่อพนักงานที่มีอยู่ในเซลล์การผลิตมีไม่เพียงพอต่อความต้องการในการทำงานแล้วจึงเกิดการจ้างพนักงานขึ้น โดยที่พนักงานที่ถูกจ้างจะให้มีทักษะในการทำงานเท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากว่าพนักงานยังไม่มีประสบการณ์ในการทำงานมาก่อน

สมมติฐานในงานวิจัยสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนต้องมีการดำเนินงานตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้ และต้องทราบปริมาณของชิ้นส่วนที่จะทำการผลิตในแต่ละช่วงเวลา เช่น สัปดาห์ เดือน ไตรมาส หรือปี

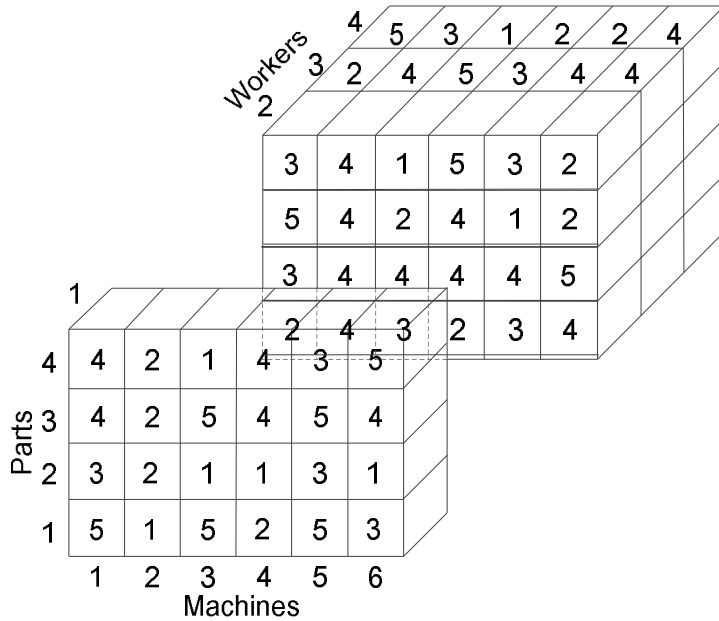
2) ชิ้นส่วนที่เข้ามาในเซลล์การผลิตจะเป็นการผลิตแบบชิ้นต่อชิ้น โดยไม่มีการแยกส่วนประกอบออกจากกัน

3) ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนสามารถทำงานบนเครื่องจักรต่างชนิดกันได้และต้องทราบการไหลของชิ้นส่วนตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้

4) ทราบเวลาที่ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นใช้ในการผลิตบนเครื่องจักรที่ทำงานอยู่ โดยคิดเป็นนาที

5) พนักงานหนึ่งคนสามารถทำงานบนเครื่องจักรได้หลายชนิดและพนักงานทุกคนสามารถทำงานบนเครื่องจักรได้อย่างน้อยหนึ่งเครื่อง

6) ในการคิดทักษะ (skills) ของพนักงานในงานวิจัยนี้จะแสดงออกมาเป็นสามมิติ ดังภาพที่ 2 โดยที่ทักษะของพนักงานแต่ละคนจะมีค่า 1-5 (ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง สูง สูงมาก)



ภาพที่ 2 ระดับทักษะของพนักงานคนที่ 2

7) เครื่องจักรแต่ละเครื่องจะมีการทำงานภายใต้แผนงานหรือเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรถูกวางไว้ในตำแหน่ง (location) ที่อยู่ในเซลล์การผลิตและมีการทำงานกับชิ้นส่วนที่เข้ามาทำการผลิต โดยมีพนักงานปฏิบัติงานอยู่ในเซลล์การผลิตนั้น

8) เมื่อเครื่องจักรมีการดำเนินงานจะเกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเกิดขึ้น (operating cost) เช่น ค่าบริการทั่วไป ค่าขนย้าย เป็นต้น โดยค่าใช้จ่ายนี้จะทราบค่าตามชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วน

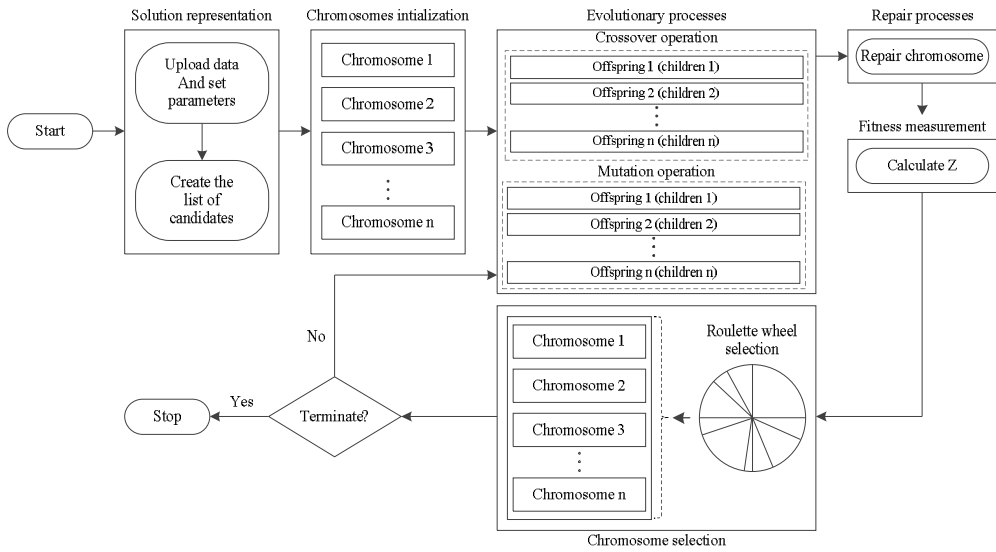
2. วิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหา

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกส์ (metaheuristics) เข้ามาช่วยในการหาคำตอบของปัญหา เพราะปัญหาการจัดเซลล์การผลิตเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและใช้เวลาในการหาคำตอบที่นาน ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับปัญหาที่ต้องใช้ความเร็วในการหาคำตอบ โดยผู้วิจัยได้เลือกวิธีการเชิงพันธุกรรม (genetics algorithm; GA) สำหรับ GA ถูกพัฒนาโดย (Holland, 1975) โดยมีวิธีการดังภาพที่ 3 จากภาพจะมีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

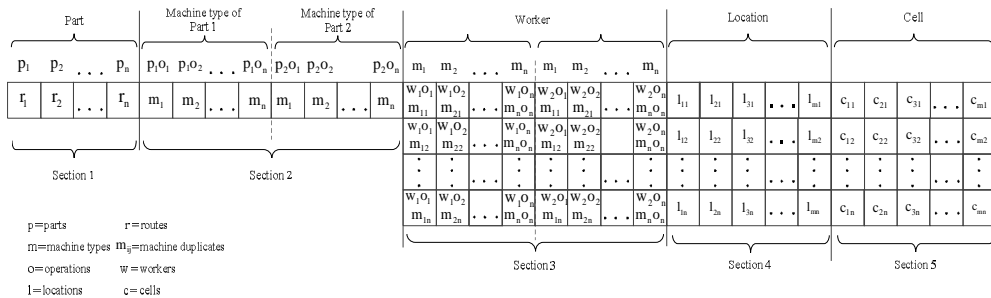
2.1 การสร้างโครโมโซมต้นแบบ

การกำหนดโครโมโซมต้นแบบเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดเพราะยีนแต่ละตัวที่อยู่ในโครโมโซมจะเป็นตัวแทนของคำตอบของปัญหาในงานวิจัย โครโมโซมต้นแบบจะแบ่ง 5 ส่วน ได้แก่

ส่วนของชิ้นส่วน (part) ชนิดเครื่องจักร (machine type) พนักงาน (worker) ตำแหน่ง (location) และเซลล์ (cell) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ขั้นตอนของกระบวนการ GA



ภาพที่ 4 โครโมโซมต้นแบบ

2.2 การสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์

ในกระบวนการของ GA จะต้องมีกระบวนการนี้เพราะจะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลายเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดมากขึ้น โดยการสลับสายพันธุ์จะมี 2 แบบ คือ แบบหนึ่งจุด (one point) และแบบสองจุด (two point) ดังภาพที่ 5 ตัวอย่างจะเป็นการตัดแบบ 2 จุด ส่วนการกลายพันธุ์ก็มี 2 แบบเช่นเดียวกัน คือ แบบหนึ่งจุด (one shift) และแบบสองจุด (two shift) ดังภาพที่ 6 ตัวอย่างจะเป็นการสุมจุดกลายพันธุ์จำนวน 2 จุด

	Route	Machine type	Worker	Location	Cell
Parent 1	2 2 1	3 4 2 2 2	1 4 2 2 3	8 17 16 1 15	1 3 2 1 3
			3 3 1 1 4	14 6 13 4 5	2 2 1 1 3
			4 2 3	2 11 12 9	10 3 3 1 3 3
			2 4	1 7	3 2 1 2 2 2 3
Parent 2	1 1 1	3 4 2 4 3	2 1 4 1 1	15 2 17 3 8	3 2 3 3 1
			1 4 1 2 4	5 6 2 13 14	2 2 1 1 1
			3 3 2	2 9 7 11	10 1 1 3 2 1
			4 3	3 12	1 4 3 2 3 2 2
Offspring 1	2 2 1	3 4 2 4 3	2 1 4 1 1	15 17 16 1 15	1 3 2 1 3
			1 4 1 2 4	5 6 13 4 5	2 2 1 1 3
			3 3 2	2 9 12 9	10 3 3 1 3 3
			4 3	3 12	3 2 1 2 2 2 3
Offspring 2	1 1 1	3 4 2 2 2	1 4 2 2 3	8 2 17 3 8	2 2 1 3 1
			3 3 1 1 4	14 6 2 13 14	2 2 1 1 1
			4 2 3	2 11 7 11	10 1 1 3 2 1
			2 4	1 7	1 4 3 2 3 2 2

ภาพที่ 5 การสลับสายพันธุ์

	Route	Machine type	Worker	Location	Cell
Parent 1	2 2 1	3 4 2 2 2	1 4 2 2 3	8 17 16 1 15	1 3 2 1 3
			3 3 1 1 4	14 6 13 4 5	2 2 1 1 3
			4 2 3	2 11 12 9	10 3 3 1 3 3
			2 4	1 7	3 2 1 2 2 2 3
Offspring 1	2 2 1	3 4 2 2 2	1 4 2 2 3	11 17 16 1 15	1 2 2 1 3
			3 3 1 1 4	7 6 13 4 5	2 1 1 1 3
			4 2 3	2 8 12 9	10 3 1 1 3 3
			2 4	1 14	3 2 1 3 2 2 3

ภาพที่ 6 การกลายพันธุ์

2.3 การประเมินหาค่าคำตอบที่เหมาะสม

เป็นขั้นตอนการประเมินหาค่าคำตอบที่เหมาะสม (Z) จากโครโมโซมแต่ละตัว โดยมีการคิดดังนี้ คือ 1/Z เพราะเป็นการหาค่าน้อยที่สุด

2.4 การสุ่มเลือกโดยใช้วงล้อสุ่ม

นำคำตอบในหัวข้อที่ 2.3 มาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการสุ่ม เมื่อได้ค่าแล้วให้ใส่ค่านั้นลงในวงล้อสุ่มเพื่อทำการเลือกโครโมโซมไปสู่รุ่นถัดไป ซึ่งวงล้อจะมีค่าตั้งแต่ 0-1 และโครโมโซมที่มีค่าตอบที่ดีที่สุดจะมีโอกาสถูกสุ่มเลือกไปสู่รุ่นถัดไปที่สูงกว่า

ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการแก้ไขปัญหาโจทย์จำนวน 3 โจทย์ ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ โดยได้ให้นิยามของโจทย์ปัญหาทั้ง 3 โจทย์ปัญหาดังนี้ คือ ปัญหาขนาดเล็ก

ให้หมายถึง จำนวนชิ้นส่วนที่มีจำนวนไม่เกิน 3 ชิ้นส่วน จำนวนทางเลือกในการผลิตมีไม่เกิน 6 ทางเลือก จำนวนเส้นทางการดำเนินงานมีไม่เกิน 12 เส้นทาง จำนวนชนิดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีจำนวนไม่เกิน 2 ชนิด จำนวนเครื่องจักรแต่ละชนิดมีไม่เกิน 4 เครื่อง จำนวนคนงานมีไม่เกิน 2 คน จำนวนตำแหน่งไม่เกิน 14 ตำแหน่ง และจำนวนเซลล์ในการผลิตมีไม่เกิน 2 เซลล์การผลิต (กรณีที่อุตสาหกรรมมีการส่งผลิตสินค้าจำนวนน้อย) ส่วนปัญหาขนาดกลางให้มีนิยามคือ จำนวนชิ้นส่วนที่มีจำนวน ไม่เกิน 5 ชิ้นส่วน จำนวนทางเลือกในการผลิตมีไม่เกิน 11 ทางเลือก จำนวนเส้นทางการดำเนินงานมีไม่เกิน 25 เส้นทาง จำนวนชนิดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีจำนวนไม่เกิน 4 ชนิด จำนวนเครื่องจักรแต่ละชนิดมีไม่เกิน 12 เครื่อง จำนวนคนงานมีไม่เกิน 4 คน จำนวนตำแหน่งไม่เกิน 39 ตำแหน่ง และจำนวนเซลล์ในการผลิตมีไม่เกิน 3 เซลล์การผลิต (กรณีที่อุตสาหกรรมมีการส่งผลิตสินค้าจำนวนปานกลาง) และสุดท้ายปัญหาขนาดใหญ่ให้มีนิยามคือ จำนวนชิ้นส่วนที่มีจำนวน ไม่เกิน 8 ชิ้นส่วน จำนวนทางเลือกในการผลิตมีไม่เกิน 16 ทางเลือก จำนวนเส้นทางการดำเนินงานมีไม่เกิน 35 เส้นทาง จำนวนชนิดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีจำนวนไม่เกิน 6 ชนิด จำนวนเครื่องจักรแต่ละชนิดมีไม่เกิน 17 เครื่อง จำนวนคนงานมีไม่เกิน 8 คน จำนวนตำแหน่งไม่เกิน 72 ตำแหน่ง และจำนวนเซลล์ในการผลิตมีไม่เกิน 5 เซลล์การผลิต (กรณีที่อุตสาหกรรมมีการส่งผลิตสินค้าจำนวนมาก) ดังตารางที่ 1 โดยมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณซึ่งเขียนด้วยภาษา **visual basic for applications (VBA)** และประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่มี **Intel Core i7 CPU 3.6 GHz and 4 GB of RAM** และข้อมูลของโจทย์ปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นตัวอย่างของปัญหาขนาดเล็ก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ขนาดโจทย์ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัย

Problem sizes	Number of part	Number of route	Number of operations	Number of machine types	Number of duplicate	Number of workers	Number of locations	Number of cells
small	3	6	12	2	4	2	14	2
medium	5	11	25	4	12	4	39	3
large	8	16	35	6	17	8	72	5

ตารางที่ 2 ตัวอย่างของโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

Machine information				P1		P2				P3							
				R1		R2		R1		R2		R1		R2			
Machine type		θ_m	α_m	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2		
T _{m1}	M ₁₁	M ₁₂	6	1,200	41	37	53	40	48	15	20	12	33	43	30		
	500	500															
T _{m2}	M ₂₁	M ₂₂	3	1,400		38	38	20	50	35		54	50	16	15	35	
	500	500															
D _p					100				50				50				
I _{A_p}					5				10				12				
I _{E_p}					4				15				18				
New machine capacity=700																	
L=14, C=2, Min cell size 6, Max cell size 10																	
Workers information				P1		P2				P3							
				R1		R2		R1		R2		R1		R2			
				O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2	O1	O2		
New worker capacity=500					W1	1	3	1	2	5	4	3	3	5	2	5	5
Salary cost=200				T _{w1}	500	4	3	2	4	5	4	1	3	3	4	3	4
					W2	5	4	3	3	3	3	2	1	4	5	3	1
				T _{w2}	500	5	4	1	3	3	2	4	1	2	3	2	5

ในการหาค่าพารามิเตอร์ของ GA ในงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบ full factorial (Arkat et al., 2012; Paydar & Saidi-Mehrabad, 2013) เพื่อหาปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อค่าตอบที่ได้และการกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลองของ GA แสดงดังตารางที่ 3 PG=จำนวนประชากร (population) จำนวนรอบ (generation), Pc=อัตราการสลับสายพันธุ์ (crossover rate), Pm=อัตราการกลายพันธุ์ (mutation rate), COP=ชนิดของการสลับสายพันธุ์, MOP=ชนิดของการกลายพันธุ์ ส่วนตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของพารามิเตอร์ GA จากตารางสรุปได้ว่าปัญหาขนาดกลางและปัญหาขนาดเล็กไม่มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเลยเพราะไม่มีค่า p-value ที่ต่ำกว่า 0.05 แต่ปัญหาขนาดใหญ่พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาคือ PG เพราะมีค่า p-value ต่ำกว่า 0.05

ตารางที่ 3 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

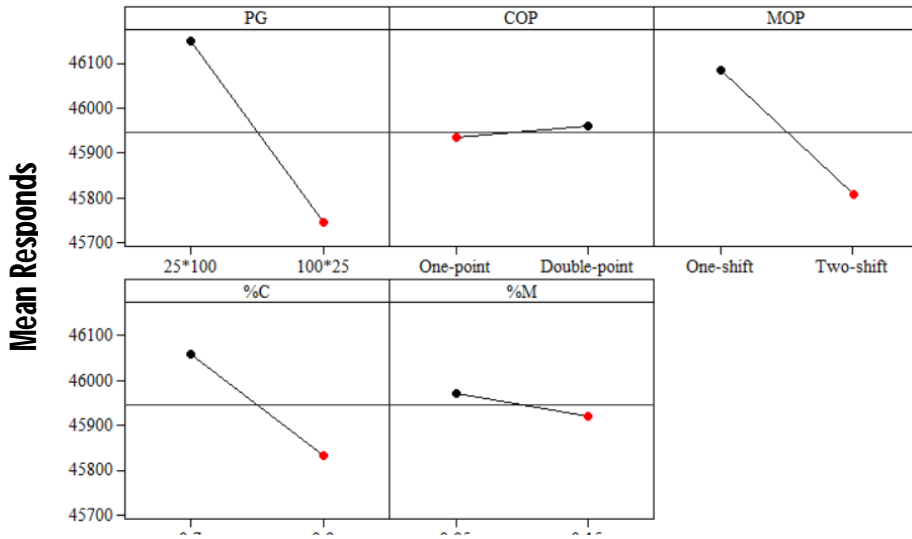
Factors	Levels	Factor values	
		Low (-1)	High (+1)
PG	2	25*100	100*25
%C	2	0.70	0.90
%M	2	0.05	0.15
COP	2	single-point	double-point
MOP	2	one-shift change	two-shift change

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ ANOVA ของค่าพารามิเตอร์ GA

Source	DF	Small problem		Medium problem		Large problem	
		F-value	p-value	F-value	p-value	F-value	p-value
PG	1	3.37	0.069	2.62	0.107	19.92	0.000
%C	1	1.07	0.302	0.30	0.586	0.58	0.449
%M	1	0.05	0.819	0.20	0.658	0.11	0.745
COP	1	0.01	0.906	0.00	0.996	1.17	0.281
MOP	1	1.58	0.212	1.05	0.306	1.83	0.178
PG*%C	1	0.26	0.614	0.04	0.835	0.62	0.432
PG*%M	1	1.04	0.310	0.04	0.844	0.39	0.531
PG*COP	1	0.01	0.903	0.02	0.899	0.85	0.359
PG*MOP	1	1.44	0.231	0.33	0.568	0.13	0.720
%C*Pm	1	2.02	0.158	0.03	0.854	0.00	0.951
%C*COP	1	0.75	0.388	0.01	0.903	3.54	0.062
%M*MOP	1	1.79	0.182	2.50	0.116	2.94	0.088
%M*COP	1	0.04	0.839	0.13	0.720	3.65	0.058
%M*MOP	1	1.01	0.316	0.01	0.927	0.73	0.394
COP*MOP	1	0.80	0.372	2.62	0.107	1.06	0.306
Error	144						
รวม	159						

ผลการทดลองของผลกระทบหลัก (main effect plot) ของปัญหาขนาดเล็กจากการใช้โปรแกรม Minitab 14 ซึ่งค่าพารามิเตอร์จะหาได้จากจุดต่ำสุดของกราฟเพราะในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุด ดังภาพที่ 7

Main Effects Plot (data means) for Responds



ภาพที่ 7 Main effect plot ของปัญหาขนาดเล็ก

จากผลการทดลองสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของ GA ที่เหมาะสมของปัญหาทั้ง 3 ปัญหาได้ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของโจทย์ปัญหา

Source	Small problem	Medium problem	Large problem
PG	100*25	100*25	100*25
COP	One-point	One-point	Double-point
MOP	Two-shift	Two-shift	One-shift
%C	0.90	0.90	0.90
%M	0.15	0.15	0.15

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหาแล้วก็นำมาทำการทดลองกับโจทย์ปัญหาทั้ง 3 โจทย์ และสามารถหาค่าต้นทุนโดยรวมของแต่ละปัญหา ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าต้นทุนโดยรวมของโจทย์ปัญหาในงานวิจัย

Problem sizes	Total costs (Minimize)	Intra-cell movement	Inter-cell movement	Operating costs	Salary costs	Machine purchase
small	44,279	2,230	2,500	2,949	8,600	28,000
medium	185,971	13,749	17,732	9,490	31,000	113,400
large	425,416	47,178	30,043	20,095	89,400	238,700

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการจัดเซลล์การผลิตโดยมีจุดเด่นของงานวิจัยอยู่ที่การกำหนดพนักงานที่มีทักษะความสามารถในการทำงานที่ไม่เท่ากันจากผลการทดลองของโจทย์ปัญหาทั้ง 3 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ชั้นแรกทำการหาค่าพารามิเตอร์ของ GA ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา ซึ่งได้ผลออกมาดังนี้ พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหาขนาดเล็ก ได้แก่ $PG=100*25$, $COP=One-point$, $MOP=Two-shift$, $\%C=0.90$ และ $\%M=0.15$ ปัญหาขนาดกลาง ได้แก่ $PG=100*25$, $COP=One-point$, $MOP=Two-shift$, $\%C=0.90$ และ $\%M=0.15$ และปัญหาขนาดใหญ่ ได้แก่ $PG=100*25$, $COP=Double-point$, $MOP=One-shift$, $\%C=0.90$ และ $\%M=0.15$

จากผลการทดลองที่ออกมาสามารถอภิปรายผลได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของ GA จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในส่วนที่เป็นผลกระทบปัจจัยหลักที่จะส่งผลต่อคำตอบในงานวิจัยนี้ ได้แก่ PG เนื่องจากว่ามีค่า $p-value \leq 0.05$ แสดงว่าเมื่อมีการกำหนดจำนวนประชากร (population) หรือจำนวนรุ่น (generation) ที่มากขึ้นหรือน้อยลงจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการหาคำตอบของ GA ตามไปด้วย และส่วนที่เป็นผลกระทบปัจจัยร่วม ได้แก่ $\%C * COP$ และ $\%M * COP$ เนื่องจากว่ามีค่า P-value เข้าใกล้ 0.05 แสดงว่า 2 พารามิเตอร์นี้จะส่งผลกระทบร่วมต่อคำตอบที่ออกมาเช่นเดียวกัน และในส่วนของผลการทดลองหาค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุดของแต่ละปัญหาได้แก่ ปัญหาขนาดเล็กมีต้นทุนโดยรวมเท่ากับ 44,279 ปัญหาขนาดกลางมีต้นทุนโดยรวมเท่ากับ 185,971 และปัญหาขนาดใหญ่มีต้นทุนโดยรวมเท่ากับ 425,416 จากผลการทดลองสามารถอภิปรายผลของคำตอบที่ได้คือ สังเกตได้ว่าคำตอบของปัญหาขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ จะมีช่องว่างของคำตอบที่ห่างกัน เพราะโจทย์ปัญหาในงานวิจัยนี้ผู้ใช้สามารถกำหนดข้อมูลเบื้องต้นได้เองโดยสามารถกำหนดลงในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาด้วยภาษา VBA ที่ได้กล่าวมาข้างต้น เช่น เมื่อผู้ใช้ต้องการให้มีคำตอบที่ใกล้เคียงกันของแต่ละคำตอบผู้ใช้สามารถกำหนดจำนวนชิ้นส่วน จำนวนเครื่องจักร จำนวนพนักงาน จำนวนเส้นทางการดำเนินงาน จำนวนตำแหน่ง ให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกันได้ โดยไม่ห่างกันมากจนเกินไป ดังตารางที่ 1 ตัวอย่างเช่น จำนวนชิ้นส่วนของปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลางสามารถกำหนดให้มีช่วงที่ใกล้กันมากขึ้น เช่นเป็น 4 ชิ้นส่วน หรือปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่เป็น 6 หรือ 7 ชิ้นส่วนได้ ก็จะทำให้คำตอบที่ได้ของปัญหาทั้งหมดเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ทั้งนั้นขึ้นอยู่กับผู้ใช้เป็นคนกำหนดเอง และเหตุที่งานวิจัยนี้กำหนดโจทย์ในลักษณะนี้ก็เพื่อจะทำให้เกิดความแตกต่างกันของคำตอบที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นของปัญหาแต่ละปัญหาที่ได้ทำการทดลองของกระบวนการ GA

คำตอบของผลการทดลองของปัญหาแต่ละปัญหาในงานวิจัยนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบดังเช่น ส่วนของ GA จะเป็นค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ตัว และส่วนของปัญหาจะเป็นขนาดของปัญหาที่ถูกกำหนดไว้ เช่น จำนวนของชิ้นส่วน เครื่องจักรและพนักงาน แต่ทั้งนี้คำตอบที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดหรือใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการ GA เท่านั้น ส่วนนักวิจัยท่านใดสนใจต่อยอดงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะอยู่ 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เพิ่มโจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลองให้มากขึ้น กรณีที่ 2 ควรใช้วิธีการเมตาฮีริสติกส์ชนิดอื่น ซึ่งปัจจุบันมีนักวิจัยได้คิดค้นและนำเสนออยู่จำนวนมากมาทำการเปรียบเทียบกับ GA ของงานวิจัยนี้เพื่อดูคุณภาพของคำตอบ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ช่วยสนับสนุนห้องคอมพิวเตอร์สำหรับรันผลการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Ahkioon, S., Bulgak, A.A. & Bektas, T. (2009). Cellular manufacturing systems design with routing flexibility, machine procurement, production planning and dynamic system reconfiguration. **International Journal of Production Research**, 47(6), 1573-1600.
- Arkat, J., Farahani, M.H. & Ahmadizar, F. (2012). Multi-objective genetic algorithm for cell formation problem considering cellular layout and operations scheduling. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, 25(7), 625-635.
- Bagheri, M. & Bashiri, M. (2014). A new mathematical model towards the integration of cell formation with operator assignment and inter-cell layout problems in a dynamic environment. **Applied Mathematical Modelling**, 38(4), 1237-1254.
- Holland, J.H. (1975). **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Javaid, W., Tariq, A. & Hussain, I. (2014). A comparison of a standard genetic algorithm with a hybrid genetic algorithm applied to cell formation problem. **Advances in Mechanical Engineering**, 64(6), 397-404.
- Kia, R., Baboli, A., Javadian, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Kazemi, M. & Khorrami, J. (2012). Solving a group layout design model of a dynamic cellular manufacturing system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simulated annealing. **Computers & Operations Research**, 39(11), 2642-2658.
- Kia, R., Khaksar-Haghani, F., Javadian, N. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). Solving a multi-floor layout design model of a dynamic cellular manufacturing system by an efficient genetic algorithm. **Journal of Manufacturing Systems**, 33(1), 218-232.
- Mitrofanov, S. (1966). **The Scientific Principles of Group Technology**. New York: Boston.
- Muangwattana, A. (2000). **Design of Cellular Manufacturing Systems for Dynamic and Uncertain Production Requirements with Presence of Routing Flexibility**. Blackburg: Doctor of Philosophy, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Paydar, M.M. & Saidi-Mehrabad, M. (2013). A hybrid genetic-variable neighborhood search algorithm for the cell formation problem based on grouping efficacy. **Computers & Operations Research**, 40(4), 980-990.