

บทความวิจัย

การจัดระบบเซลล์การผลิตแบบพลวัตด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติกส์
SOLVING DYNAMIC CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM
WITH METAHEURISTICS METHOD

อลงกรณ์ เมืองไหว* ยอดเพชร ทองขาว ธนิดา ไชนงนุช
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก 65000

Alongkorn Muangwai*, Yodpeth Tongkhao, Thanida Khanongnuch
Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000
*E-mail: alongkornm25@gmail.com

บทคัดย่อ

การจัดระบบเซลล์การผลิตแบบพลวัตพัฒนามาจากการจัดระบบเซลล์การผลิตแบบเซลล์ คือ เป็นการระบบจัดเซลล์การผลิตที่มีหลายช่วงเวลาในการทำงาน ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเชิงพันธุกรรมมาแก้ไขปัญหาคือ ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ หาค่าต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุดของ ต้นทุนการเคลื่อนที่ภายในเซลล์การผลิต ต้นทุนการเคลื่อนที่ภายนอกเซลล์การผลิต ต้นทุนการดำเนินงาน ต้นทุนการซื้อเครื่องจักร และต้นทุนการจ้างพนักงานในการทำงาน ซึ่งผลการทดลองจะแสดงการแก้ปัญหาและคำตอบที่ได้จากทั้ง 3 ปัญหา ในงานวิจัย และจากผลการทดลองพบว่าต้นทุนของปัญหาขนาดเล็กเท่ากับ 131,032 ขนาดกลางเท่ากับ 374,609 และขนาดใหญ่เท่ากับ 1,443,380ตามลำดับ

คำสำคัญ: การจัดระบบเซลล์การผลิตแบบพลวัต วิธีการเชิงพันธุกรรม

ABSTRACT

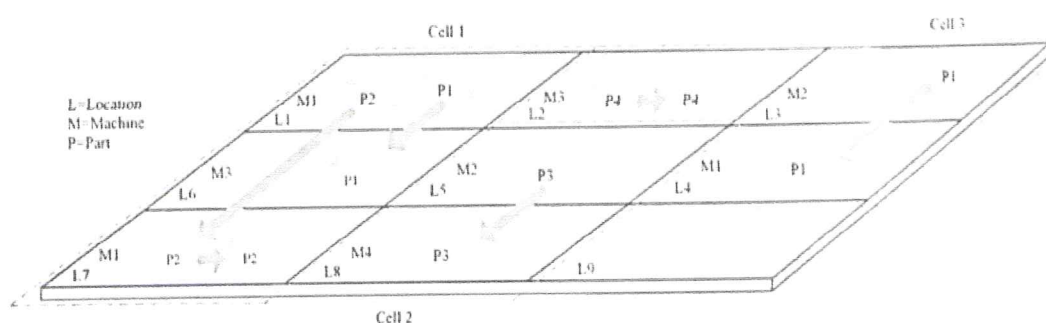
Dynamic cellular manufacturing system (DCMS) is an efficient approach for implementing the principles of cellular manufacturing system (CMS) in a manufacturing environment. In this paper, we suggest met heuristics solution approaches that Genetic Algorithm (GA) for solve this problem (small medium and large problem). The objectives of the study are to minimize total cost of inter-cell movement cost, intra-cell movement cost, operating cost, purchase machine cost and part time cost. Computational results are presented by solving three problems. This result show that three problem are 131,032 374,609 and 1,443,380 respectively.

Keywords: dynamic cellular manufacturing system, genetic algorithm

บทนำ

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)

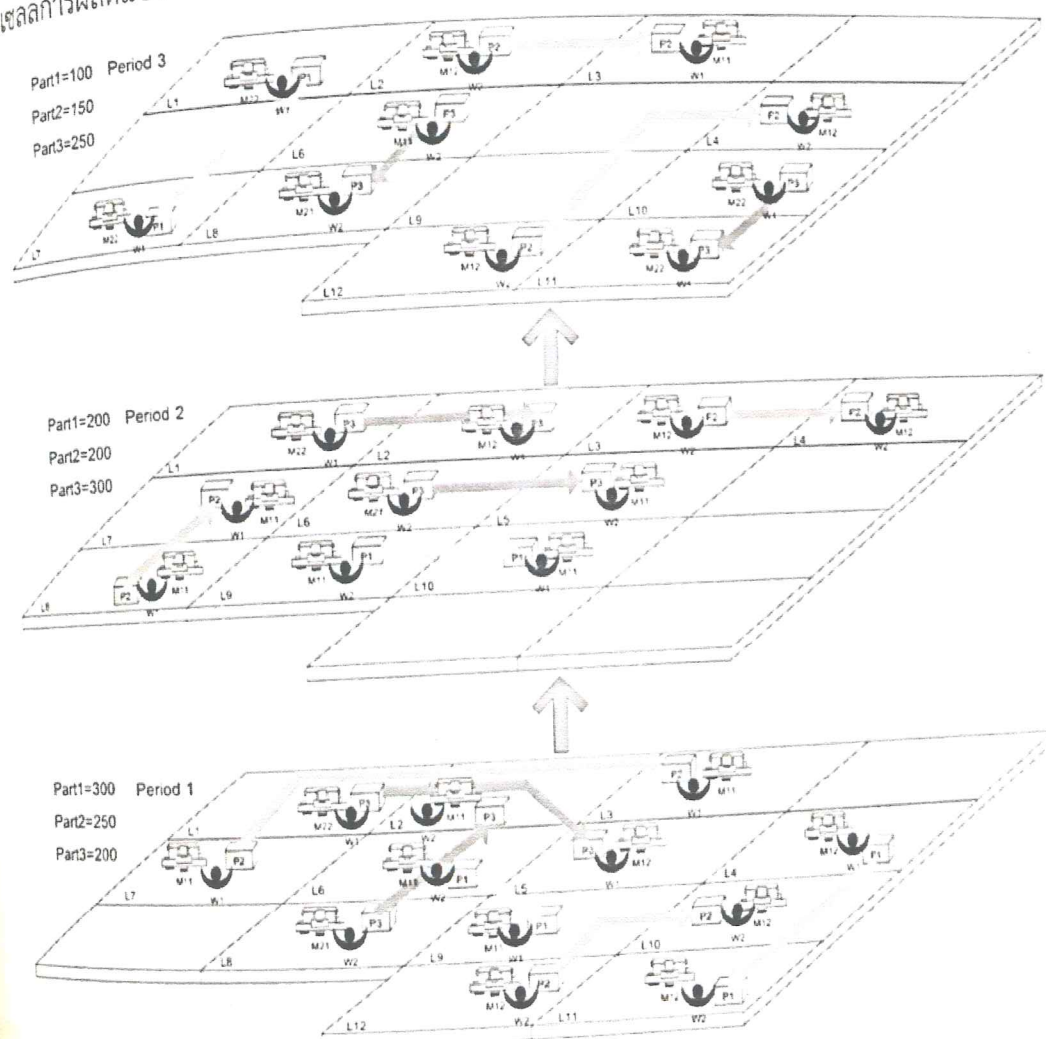
CMS มาจากการรวมกันของการผลิตแบบตามสั่ง (job shop) และ การผลิตแบบตามสายการประกอบ (flow production line) ซึ่งทั้ง 2 แบบชนิดนี้ถูกดัดแปลงมาจากเทคโนโลยีการจัดกลุ่ม (group technology: GT) (Kia et al., 2012) GT ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Mitrofanov (Mitrofanov, 1966) หมายถึงการรวมกลุ่มของชิ้นส่วนที่มีความเหมือนกันหรือคล้ายคลึงมาไว้ด้วยกันเพื่อความสะดวกในการใช้งาน (Javaid et al., 2014) ซึ่ง CMS นั้นได้พัฒนามาใช้กับการจัดเซลล์การผลิตในอุตสาหกรรม โดยการรวมกลุ่มของเครื่องจักรหรือชิ้นงานที่มีความเหมือนกันไว้ด้วยกันเพื่อความสะดวกในการผลิตและประหยัดต้นทุนให้มากที่สุด (Ahkioon et al., 2009) ดังรูปที่ 1 มีตำแหน่ง (L) ที่ใช้ในการผลิตจำนวน 9 ตำแหน่ง มีเซลล์การผลิต (Cell) อยู่ 3 เซลล์ มีชิ้นส่วน (P) จำนวน 4 ชิ้นส่วน และมีเครื่องจักร (M) จำนวน 4 ชนิด ตัวอย่างเช่น ในเซลล์การผลิตที่ 1 มีชิ้นส่วนที่เข้ามาผลิตจำนวน 2 ชิ้นคือ P1 และ P2 ใช้ตำแหน่งที่ L1, L6 และ L7 ในการจัดวางเครื่องจักร และใช้เครื่องจักรชนิดที่ 1 และ 3 ในการผลิตชิ้นส่วน โดยเริ่มต้นชิ้นส่วนชนิดที่ 1 จะเข้ามาทำการผลิตที่ L1 ใช้ M1 ในการผลิตจากนั้นจึงเคลื่อนไปผลิตต่อยัง L6 ใช้ M3 ในการผลิตจึงจะเสร็จ 1 ชิ้น เป็นต้น ในชิ้นส่วนที่ 2 ก็เช่นเดียวกัน โดยเริ่มต้นจะเข้ามาผลิตที่ L1 ใช้ M1 จากนั้นเคลื่อนมา L7 ใช้ M1 ในการผลิตจึงเสร็จเป็นสินค้าอีกหนึ่งชิ้น เป็นต้น



รูปที่ 1 การจัดเซลล์การผลิตแบบเซลล์ลูลาร์

ถึงแม้ว่า CMS จะมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่ แต่ในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้การเปลี่ยนแปลงและสิ่งแวดล้อมของการแข่งขันที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้การผลิตสินค้านั้นมีความ

หลายและมีลักษณะเฉพาะของตัวเองผลิตกันเอง ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตมากขึ้นตามความต้องการของลูกค้าและตลาด ตัวอย่างเช่น ใน 1 ปี มีการผลิตสินค้าหลายครั้งตามเวลา (Period) ได้แก่ เป็นเดือน หรือเป็นไตรมาส เป็นต้น CMS จึงไม่สามารถรองรับกับการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ตามต้องการหรือต้องใช้ต้นทุนที่สูงมากขึ้น เช่น ต้นทุนในการปรับเปลี่ยนสายการผลิต ต้นทุนในการโยกย้ายเครื่องจักร ต้นทุนในการจ้างพนักงานเข้ามาทำงาน เพื่อให้ทันต่อการผลิตที่เกิดขึ้น เป็นต้น ในงานวิจัยจึงได้นำเสนอ การจัดระบบเซลล์การผลิตแบบพลวัต (Dynamic cellular manufacturing system: DCMS) ซึ่งมีพื้นฐานหรือพัฒนามาจาก CMS หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นการจัดเซลล์การผลิตแบบคลูลาร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในด้านปัจจัยการผลิตตามช่วงเวลา (เดือน ไตรมาส หรือ ปี) เช่น มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณในการผลิตในแต่ละช่วงเวลา มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเครื่องจักร มีการเปลี่ยนแปลงพนักงาน มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเครื่องจักรและพนักงาน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การระบบเซลล์การผลิตจากเดิมที่มีความซับซ้อนอยู่แล้วกลับเพิ่มความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นไปอีก ซึ่งการจัดระบบเซลล์การผลิตแบบพลวัตนี้แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การจัดระบบเซลล์การผลิตแบบพลวัต

ดังรูปที่ 2 มีช่วงเวลาในการผลิตอยู่ 3 ช่วงเวลา ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาจะมีชิ้นส่วนที่เข้ามาทำการผลิตที่ไม่เท่ากันและมีชนิดของชิ้นส่วนอยู่ 3 ชนิด และในระหว่างที่มีการเปลี่ยนช่วงเวลาการผลิตนั้นจะมีการจ้างพนักงานเข้ามาทำงาน และตำแหน่งของเครื่องจักรและพนักงานที่ประจำเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะเปลี่ยนตำแหน่งเกิดขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการผลิต เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งของทั้งพนักงานและเครื่องจักรแล้วนั้น จึงเกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านต่างๆ เกิดขึ้น เช่น ต้นทุนการเคลื่อนที่ ต้นทุนการติดตั้ง ต้นทุนการจ้างพนักงาน เป็นต้น

วิธีการ

1. อธิบายโจทย์ปัญหาในงานวิจัย

ในหัวข้อนี้จะบอกลักษณะปัญหาในงานวิจัย โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการหาต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุดดังนี้

ต้นทุนด้านเครื่องจักร

- 1) ต้นทุนการซื้อเครื่องจักรใหม่ เกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการในการผลิตชิ้นส่วน โดยที่เครื่องจักรแต่ละชนิดที่ซื้อเข้ามาจะมีราคาที่ไม่เท่ากัน
- 2) ต้นทุนแปรรูป เกิดขึ้นจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนเมื่อเคลื่อนที่เข้ามาทำการผลิตบนเครื่องจักรชนิดใดแล้วจะต้องเกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเกิดขึ้น ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะมีค่าที่ไม่เท่ากันแล้วแต่เครื่องจักรแต่ละชนิด

ต้นทุนด้านการเคลื่อนที่

- 1) การเคลื่อนที่ภายในเซลล์การผลิต เกิดขึ้นเมื่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนเคลื่อนที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่อยู่เซลล์การผลิตเดียวกัน
- 2) การเคลื่อนที่ภายนอกเซลล์การผลิต เกิดขึ้นเมื่อชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนเคลื่อนที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่อยู่คนละเซลล์การผลิต

ต้นทุนด้านพนักงาน

- 1) ต้นทุนในการจ้างพนักงาน เกิดขึ้นเมื่อพนักงานที่มีอยู่ในเซลล์การผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการในการทำงานแล้ว จึงเกิดการจ้างพนักงานขึ้น โดยที่พนักงานที่ถูกจ้างจะมีทักษะในการทำงานเท่ากับ 1 เสมอ เนื่องจากว่าพนักงานยังไม่มีประสบการณ์ในการทำงานมาก่อน

สมมติฐานในงานวิจัยสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- 1) ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนต้องมีการดำเนินงานตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้และต้องทราบปริมาณของชิ้นส่วนที่จะทำการผลิตในแต่ละช่วงเวลา เช่น สัปดาห์ เดือน ไตรมาส หรือปี
- 2) ชิ้นส่วนที่เข้ามาในเซลล์การผลิตจะเป็นการผลิตแบบชิ้นต่อชิ้น โดยไม่มีการแยกส่วนประกอบออกจากกัน

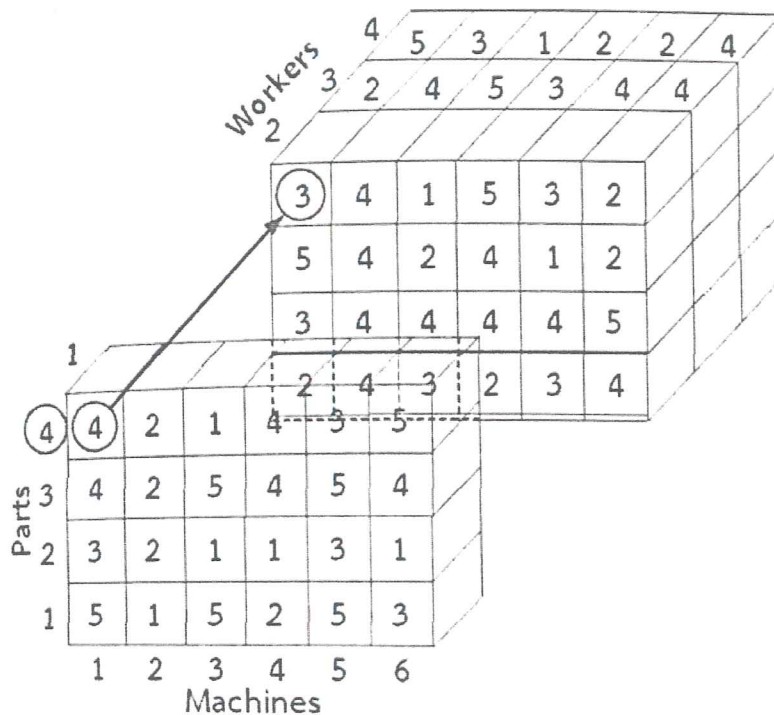
3) ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนสามารถทำงานบนเครื่องจักรต่างชนิดกันได้และต้องทราบ
การไหลของชิ้นส่วนตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้

4) ทราบเวลาที่ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นใช้ในการผลิตบนเครื่องจักรที่ทำงานอยู่ โดยคิดเป็น

นาที่

5) พนักงานหนึ่งคนสามารถทำงานบนเครื่องจักรได้หลายชนิดและพนักงานทุกคน
สามารถทำงานบนเครื่องจักรได้อย่างน้อยหนึ่งเครื่อง

6) ในการคิดทักษะ (Skills) ของพนักงานในงานวิจัยนี้จะแสดงออกมาเป็นสามมิติดัง
รูปที่ 3 โดยที่ทักษะของพนักงานแต่ละคนจะมีค่า 1-5 (ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง สูง สูงมาก) ตัวอย่างเช่น ใน
ชิ้นส่วนที่ 4 จะเลือกใช้เครื่องจักรชนิดที่ 4 ในการผลิตและเลือกใช้พนักงานที่ 2 ที่มีทักษะความสามารถ
ในการทำงานอยู่ในระดับที่ 4 ในการทำงาน เป็นต้น



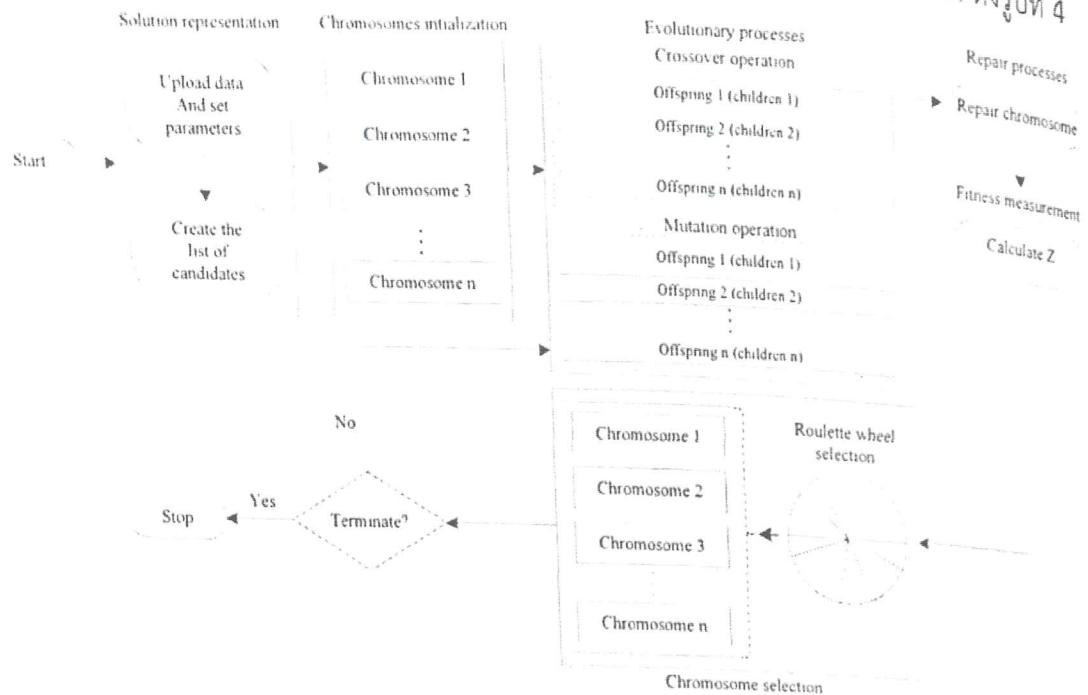
รูปที่ 3 ระดับทักษะของพนักงาน

7) เครื่องจักรแต่ละเครื่องจะมีการทำงานภายใต้แผนงานหรือเงื่อนไขที่กำหนดไว้
ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรถูกวางไว้ในตำแหน่ง (Location) ที่อยู่ในเซลล์การผลิตและมีการทำงานกับชิ้นส่วน
ที่เข้ามาทำการผลิต โดยมีพนักงานปฏิบัติงานอยู่ในเซลล์การผลิตนั้น

8) เมื่อเครื่องจักรมีการดำเนินงานจะเกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเกิดขึ้น
(Operating cost) เช่น ค่าบริการทั่วไป ค่าขนย้าย เป็นต้น โดยค่าใช้จ่ายนี้จะทราบค่าตามชิ้นส่วนแต่ละ
ชิ้นส่วน

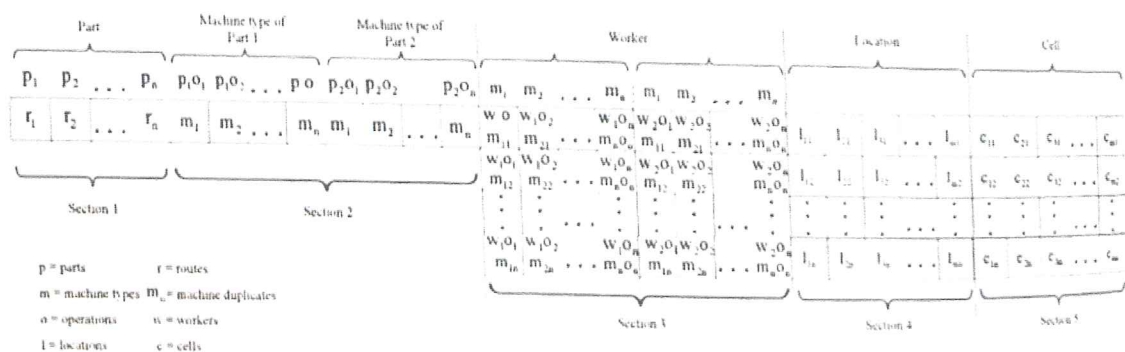
2. วิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหา

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (genetics algorithm: GA) สำหรับ GA ถูกพัฒนาโดย จอห์น ฮอลแลนด์ (Holland, 1975) โดยมีวิธีการขั้นแรกคือการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่ใช้เป็นคนกำหนด ขั้นที่ 2 กำหนดประชากรเริ่มต้นในการหาคำตอบ ขั้นที่ 3 ดำเนินการกระบวนการของ GA ได้แก่ การสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ ขั้นที่ 4 การซ่อมแซมโครโมโซม ขั้นที่ 5 การหาคำตอบ ขั้นที่ 6 การคัดเลือกโดยใช้ รูเล็ตเพื่อนำคำตอบที่ได้กลับไปเป็นประชากรเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนของกระบวนการ GA

การกำหนดโครโมโซมต้นแบบเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดเพราะยีนแต่ละตัวที่อยู่ในโครโมโซมจะเป็นตัวแทนของคำตอบของปัญหาในงานวิจัย โครโมโซมต้นแบบจะแบ่ง 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนของชิ้นส่วน (part) ชนิดเครื่องจักร (machine type) พนักงาน (worker) ตำแหน่ง (location) และเซลล์ (cell) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครโมโซมต้นแบบในงานวิจัย

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในงานวิจัยนี้จะทำการแก้ไขปัญหาลำดับจำนวน 3 ลำดับ ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น ปัญหาขนาดเล็กในงานวิจัยนี้ให้หมายถึง จำนวนชิ้นส่วนที่มีจำนวนน้อยชิ้นส่วน จำนวนทางเลือกในการผลิตมีน้อยทางเลือก จำนวนเส้นทางการดำเนินงานมีจำนวนน้อย จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีจำนวนน้อยเครื่อง จำนวนคนงานที่มีน้อย จำนวนตำแหน่งและขนาดของเซลล์ที่มีไม่มากนัก ส่วนปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ให้มีจำนวนมากขึ้นตามลำดับ ดังตารางที่ 1 โดยมีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณซึ่งเขียนด้วยภาษา Python และประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่มี Intel Core i7 CPU 3.6 GHz and 4 GB of RAM ซึ่งโจทย์ปัญหาทั้ง 3 โจทย์ปัญหาแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดโจทย์ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัย

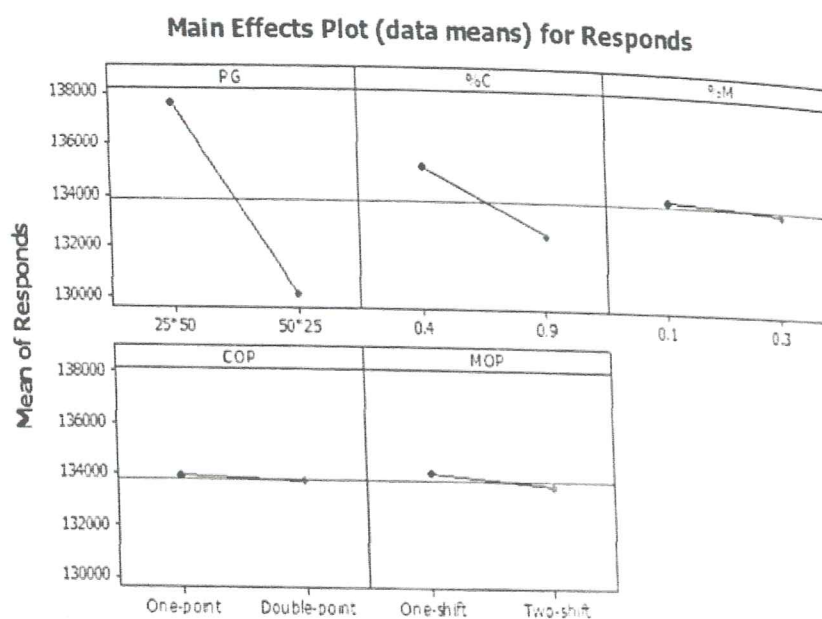
Problem sizes	Number of part	Number of route	Number of operations	Number of machine types	Number of duplicate	Number of workers	Number of locations	Number of cells
small	4	8	16	3	7	2	9	2
medium	7	17	37	4	16	5	16	3
large	10	23	49	7	26	7	28	4

ในการหาค่าพารามิเตอร์ของ GA ในงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบ full factorial (Arkat et al., 2012; Paydar and Saidi-Mehrabad, 2013) เพื่อหาปัจจัยที่เป็นผลกระทบต่อคำตอบที่ได้และการกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลองของ GA แสดงดังตารางที่ 2 PG=จำนวนประชากร (population) จำนวนรอบ (generation), Pc=อัตราการสลับสายพันธุ์ (crossover rate), Pm=อัตราการกลายพันธุ์ (mutation rate), COP=ชนิดของการสลับสายพันธุ์, MOP=ชนิดของการกลายพันธุ์ ส่วนตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหาขนาดเล็กของพารามิเตอร์ GA จากตารางสรุปได้ว่าผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main effect) ได้แก่ PG และ %C มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นั่นแสดงว่าเมื่อมีการเพิ่มหรือลดจำนวนประชากรกับจำนวนรุ่นแล้วจะส่งผลกระทบต่อคำตอบที่ได้ หรือ %C ก็เช่นเดียวกันเมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการสลับสายพันธุ์ให้มากขึ้นหรือน้อยลงก็จะส่งผลกระทบต่อคำตอบที่ออกมา

ตารางที่ 2 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

Factors	Levels	Factor values	
		Low (-1)	High (+1)
PG	2	25*50	50*25
%C	2	0.4	0.9
%M	2	0.1	0.3
COP	2	single-point	double-point
MOP	2	one-shift change	two-shift change

ในรูปที่ 6 เป็นผลการทดลองของผลกระทบหลัก (Main effect plot) ของปัญหาขนาดเล็กจากการใช้โปรแกรม Minitab 14 ซึ่งค่าพารามิเตอร์จะหาได้จากจุดต่ำสุดของกราฟเพราะในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าต้นทุนที่ต่ำที่สุด และรูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของคำตอบขนาดเล็ก

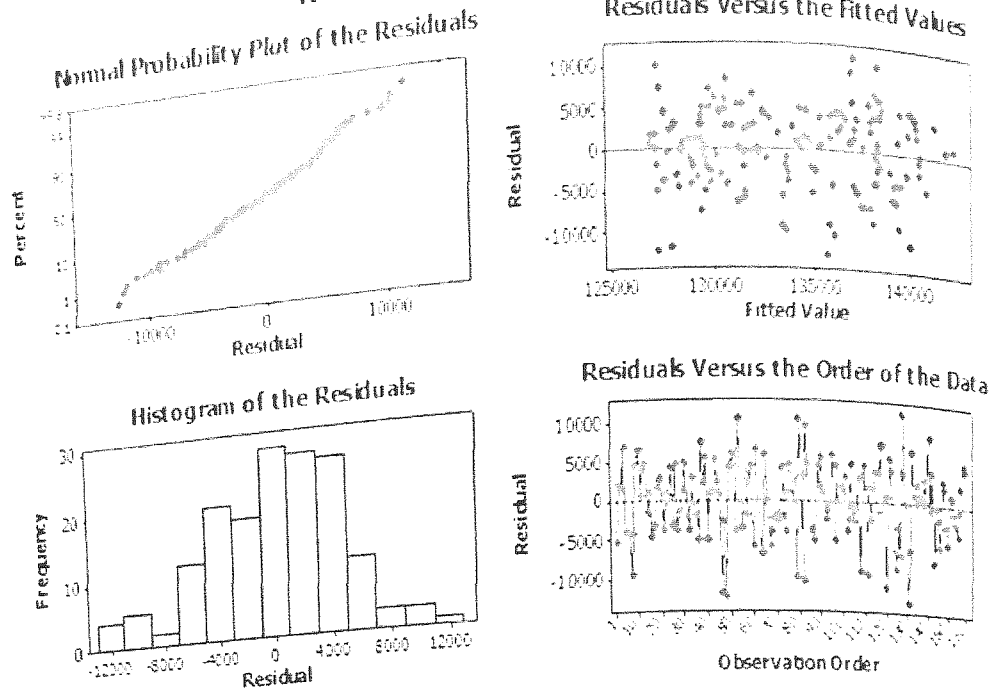


รูปที่ 6 Main effect plot ของปัญหาขนาดเล็ก

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก

Source	DF	Medium problem				
		Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-value	P-value
	1	2299749503	2299749503	2299749503	89.20	0.00*
PG	1	287507759	287507759	287507759	11.15	0.00*
%C	1	4719347	4719347	4719347	0.18	0.67
%M	1	956510	956510	956510	0.04	0.85
COP	1	9701758	9701758	9701758	0.38	0.54
MOP	4	135076455	135076455	33769114	1.31	0.27
Seeds	1	426	426	426	0.00	1.00
PG*%C	1	37130400	37130400	37130400	1.44	0.23
PG*%M	1	30867855	30867855	30867855	1.20	0.28
PG*COP	1	64458863	64458863	64458863	2.50	0.12
PG*MOP	1	2306161	2306161	2306161	0.09	0.77
%C*%M	1	22638964	22638964	22638964	0.88	0.35
%C*COP	1	381714	381714	381714	0.01	0.90
%C*MOP	1	610955	610955	610955	0.02	0.88
%M*COP	1	86994028	86994028	86994028	3.37	0.07
%M*MOP	1	4032568	4032568	4032568	0.16	0.69
Error	140	3609623870	3609623870	25783028		
Total	159	6596757131				

Residual Plots for Responds



รูปที่ 7 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าตอบขนาดเล็ก

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหาแล้วก็นำมาทำการทดลองกับโจทย์ปัญหาทั้ง 3 โจทย์ และสามารถหาค่าต้นทุนโดยรวมของแต่ละปัญหา ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าต้นทุนโดยรวมของโจทย์ปัญหาในงานวิจัย

Problem sizes	Total costs (Minimize)	Intra-cell movement	Inter-cell movement	Operating costs	Part time costs	Machine purchase
small	131,032	1,820	3,762	15,200	26,250	79,800
medium	374,609	12,181	55,348	38,570	59,750	166,200
large	1,443,380	51,415	395,565	162,300	163,500	651,200

สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการจัดเซลล์การผลิตแบบพลวัตโดยมีจุดเด่นของงานวิจัยอยู่ที่การกำหนดพนักงานที่มีทักษะความสามารถในการทำงานที่ไม่เท่ากันจากผลการทดลองของโจทย์ปัญหาทั้ง 3 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ขั้นแรกทำการหาค่าพารามิเตอร์ของ GA ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา ซึ่งได้ผลออกมาดังนี้ พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหขนาดเล็กได้แก่ $PG=50 \times 25$, $COP=$ Double-point, $MOP=$ Two-shift, $\%C=0.9$ และ $\%M=0.3$ ปัญหาขนาดกลางได้แก่ $PG=50 \times 25$, $COP=$

-point, MOP=Two-shift, %C=0.9 และ %M=0.3 และปัญหาขนาดใหญ่ได้แก่ PG=50*25, double-point, MOP=Two-shift, %C=0.9 และ %M=0.3 และได้คำตอบที่เป็นต้นทุนโดยรวมของแต่ละปัญหาดังนี้ปัญหามีสันทุนโดยรวมเท่ากับ 131,032 ปัญหาขนาดกลางมีสันทุนเท่ากับ 374,609 และปัญหาขนาดใหญ่มีสันทุน โดยรวม เท่ากับ 1,443,380

คำตอบของผลการทดลองของปัญหาแต่ละปัญหาในงานวิจัยนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายสิ่งหลายอย่างตามที่ผู้กำหนด ดังเช่น ส่วนของ GA จะเป็นค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 ตัว และส่วนที่จะเป็นขนาดของปัญหาที่ถูกกำหนดไว้ เช่น จำนวนของชิ้นส่วน เครื่องจักรและพนักงาน แต่คำตอบที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็คำตอบที่เหมาะสมที่สุดหรือใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการนั้น

กรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม คณะที่ห้องปฏิบัติการทางคอมพิวเตอร์ในการทดลอง และขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านมา ณ ที่นี้

สารอ้างอิง

- Coon, S., Bulgak, A.A., and 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.
- Kar, J., Farahani, M.H., and 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.
- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor, University of Michigan Press.
- David, W., Tariq, A., and Hussain, I. (2014). A Comparison of a Standard Genetic Algorithm with a Hybrid Genetic Algorithm Applied to Cell Formation Problem. *Advances in Mechanical Engineering*.

- Kia, R., Baboli, A., Javadian, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Kazemi, M., and 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., and 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*. Boston spa: Yorks.
- Muangwattana, A. (2000). *Design of Cellular Manufacturing Systems for Dynamic and Uncertain Production Requirements with Presence of Routing Flexibility*. (Doctor of Philosophy). Verginia Polytechnic Institute and State University, Blackburg, Verginia.
- Paydar, M.M., and 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.