

การจัดสมดุลสายการประกอบในการผลิตรถกึ่งพ่วงโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม ที่ปรับตัวเองได้

ณรงค์ศักดิ์ บุญประเสริฐ¹ และ เชษฐา ชำนาญหล่อ^{*2}

คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 หมู่ 6 ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

บทคัดย่อ

การจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed-model assembly line balancing) เป็นหนึ่งในงานที่สำคัญที่จะช่วยเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการผลิตรถกึ่งพ่วงได้ โดยรถกึ่งพ่วงพื้นเรียบ (Flat bed & low bed semi-trailer) และรถกึ่งพ่วงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ (Container chassis semi-trailer) เป็น 2 ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน (Product family) ที่ได้รับการประกอบในสายการผลิตเดียวกัน ซึ่งมันจะต้องถูกจัดการให้เป็นแบบผลิตภัณฑ์ผสมเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้คุ้มค่าที่สุด (Resource utilization) โดยมีรอบเวลาทำงานโดยเฉลี่ย (Averaged cycle time) เป็นสมการเป้าหมาย (Objective function) ของการแก้ปัญหาเมื่อมันไม่สามารถแปลงจำนวนสถานีงาน (Number of workstations) ที่ใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งมันจะช่วยให้สามารถตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของทุกวันนี้ อย่างไรก็ตาม ปัญหาวิจัยนี้เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นปัญหาประเภทเอ็นพีฮาร์ด (NP-hard) ที่ยากต่อการแก้ปัญหาด้วยวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models) ดังนั้น เมตะฮิวริสติก เช่น เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm) จึงได้รับการนำเสนอเพื่อจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในกรณีศึกษาครั้งนี้ มากกว่านั้น เจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้ (Adaptive genetic algorithms) อันได้แก่ เจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับพารามิเตอร์อัตโนมัติแบบหยาบ (GA with Rough auto-tuning parameters) และเจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับพารามิเตอร์อัตโนมัติแบบละเอียด (GA with Fine auto-tuning parameters) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาเดียวกัน และเปรียบเทียบกับเจนเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย ผลสรุปที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมสามารถใช้ในการจัดสมดุลได้อย่างเหมาะสม และเจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับพารามิเตอร์อัตโนมัติแบบละเอียดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุด

คำหลัก การจัดสมดุลสายการประกอบ, การผลิตรถกึ่งพ่วง, เจนเนติกอัลกอริทึม, การปรับพารามิเตอร์อัตโนมัติ

*Corresponding author. Email: chettha@eng.src.ku.ac.th

¹นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Assembly Line Balancing in Semi-trailer Production using Adaptive Genetic Algorithm

Narongsak Boonprasert¹ and Chettha Chamnanlor^{*2}

Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

199 Moo 6, Tungsukla, Sukhumvit Rd., Si Racha, Chonburi, 20230

Abstract

In semi-trailer production, the mixed assembly line balancing is one of important work to increase productivity. Flat bed & low bed semi-trailer and container chassis semi-trailer are two products in the same family which is assembled in the same line. Then, the assembly line is mixed models implemented for utilizing resources. At the number of workstations is fixed, the averaged cycle time is the objective function of the problem solving, so it could response the several demands today. However, this research problem is well-known as NP-hard, and it is very hard to solve by mathematical models. Thus, the meta-heuristic such as Genetic algorithm (GA) is introduced to balance the mixed-models line of the case study. Moreover, Adaptive genetic algorithms including GA with Rough auto-tuning parameters (GA-RA) and GA with Fine auto-tuning parameters (GA-FA) are developed to apply the same problem and compare with the simple GA. In summarized, the GAs could be used to balance the mixed-models line, and GA-FA is the best effectiveness.

Keywords: Assembly line balancing, Semi-trailer production, Genetic algorithm, Auto-tuning parameters

*Corresponding author. Email: janjira_k@eng.src.ku.ac.th

¹Graduate Student in Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus

²Assistance Professor in Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Sriracha Campus

1. บทนำ

แนวคิดในการออกแบบการผลิตให้มีความยืดหยุ่นสูงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นจากผู้ผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากเป็นแนวคิดที่สามารถลดต้นทุนการผลิต และสามารถช่วยรองรับกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงความต้องการของตลาดได้ ไม่เว้นแม้แต่ ในกระบวนการผลิตรถพ่วงและรถกึ่งพ่วง (Full trailer and semi-trailer) ที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องตามสภาพเศรษฐกิจที่ให้ความสำคัญต่อการจัดการทางด้านการโลจิสติกส์และการขนส่ง (Logistics and transportation) ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นผู้ผลิตรายหนึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตสำหรับการบรรทุกขนส่งดังกล่าวที่มีการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทรถกึ่งพ่วงพื้นเรียบ (Flat bed & low bed semi-trailer) และรถกึ่งพ่วงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ (Container chassis semi-trailer) โดยมีสายการผลิตแบบเดี่ยว (Single production line) สำหรับการประกอบผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น ซึ่งยังคงมีต้นทุนการผลิตสูงและไม่สามารถตอบสนองความต้องการที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการเพิ่มผลิภาพการผลิต (Productivity) ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่น ด้วยแนวทางการสร้างสายการประกอบแบบผสม (Mixed assembly line) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการหารอบเวลาการทำงานโดยเฉลี่ยที่น้อยที่สุด (Average cycle time minimization) ซึ่งจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางการตลาดที่มีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นในปัจจุบันได้

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบเป็นที่รู้จักกันดีว่าจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาประเภทเอ็นพีฮาร์ด (NP-hard) ที่ยากต่อการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) [1, 2] ด้วยวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เพราะการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและใช้เวลาในการคำนวณมากจนอาจไม่สามารถหาคำตอบได้ ดังนั้น ในงานวิจัยโดยส่วนใหญ่จึงเลือกใช้วิธีการทางเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-heuristics) เช่น วิธีการค้นหาแบบต้องห้าม (Tabu search) วิธีการจำลองอบอ่อน (Simulated annealing) วิธีอาณานิคมมด (Ant colony optimization) หรือวิวิเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm) ในการศึกษาและการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาดังกล่าว

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เจเนติกอัลกอริทึมที่มีการพัฒนาไกลในการค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เช่น การพัฒนากระบวนการปรับพารามิเตอร์ตัวเอง (Auto-tuning parameters) ในระหว่างการค้นหาคำตอบ [3] ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลายอีกด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed model assembly line) ในกระบวนการผลิตรถกึ่งพ่วงของโรงงานกรณีศึกษา โดยมุ่งเน้นการกำหนดรอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุด (Cycle time minimization) ซึ่งวิธีการเจเนติกอัลกอริทึมที่สามารถปรับตัวเองได้ (Adaptive genetic algorithms: AGAs) ทั้งแบบการปรับหยาบ (Fine adjust) และการปรับละเอียด (Rough adjust) จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งหัวข้อถัดไปจะแสดงการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการต่างๆจะอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3 รวมทั้งการแสดงผลวิจัยจะอยู่ในหัวข้อที่ 4 และหัวข้อสุดท้ายคือการสรุปผลและเสนอแนะ

2. การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed model assembly line balancing) มีเป้าหมายในการจัดสรรงานย่อยทั้งหมดของกลุ่มผลิตภัณฑ์ให้กับแต่ละสถานีงานที่ใช้ประโยชน์ได้ (Available workstations) โดยมุ่งเน้นการหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ หรือมุ่งเน้นการกำหนดรอบเวลาการผลิตที่ต่ำที่สุด ซึ่งจะช่วยให้สามารถตอบสนองความต้องการที่หลากหลายได้ เนื่องจากจะมีความยืดหยุ่นต่อการปรับเปลี่ยนการผลิตมากขึ้น ภายในต้นทุนการผลิตที่เหมาะสม

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์ในการแก้ไขปัญหามาได้แก่ Type-F, Type-1, Type-2, Type-E, Type-3, Type-4 และ Type-5 ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimum seeking methods) วิธีการทางฮิวริสติกส์ (Heuristics) วิธีการจำลองสถานการณ์ (Simulation models) และวิธีการอื่นๆ (Other approached) [4, 5]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีหลากหลายงานวิจัยที่ได้นำวิธีการต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ซึ่งผลเฉลยที่ได้ มาจากทั้งการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) เช่น การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีต่างๆ ในการจัดสมดุลสายการผลิตอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติทั้งแบบที่มีข้อจำกัดในการผลิต และแบบทรัพยากรการผลิตร่วมโดยมุ่งเน้นจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด [6] และการค้นหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เป็นไปได้มากที่สุด (Approximated solution) ตัวอย่างงานวิจัยเช่น การจัดสมดุลสายการประกอบอย่างง่ายที่มีการจำกัดประเภทเครื่องจักรโดยการใช้อัลกอริทึมวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ได้รับการพัฒนาเชิงปรับปรุง (Modified differential evolution algorithm) [7] การศึกษาพัฒนาอัลกอริทึมกลุ่มเมตะฮิวริสติกส์สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม [8, 9] การใช้เงินเนติกอัลกอริทึมที่มีวัตถุประสงค์การออกแบบสายการประกอบแบบผสมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยการหาขอบการผลิตที่น้อยที่สุด [10] การประยุกต์วิธีเงินเนติกอัลกอริทึมที่สามารถหาคำตอบในเชิงการหาสมดุลความราบรื่นในขบวนการผลิตเพื่อจัดการปริมาณงานย่อยให้มีความเท่าเทียมกัน [11] นอกจากนี้ ยังมีการแก้ปัญหาการจัดสายสมดุลการทำงานจริงในปัจจุบันด้วยวิธีเงินเนติกอัลกอริทึมเพื่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาสายการผลิตที่มีอยู่เดิมให้ดียิ่งขึ้น [12] การหาจำนวนของสถานีงานที่น้อยที่สุดโดยการกำหนดเวลาทำงานขึ้นมาทดสอบ [13] รวมทั้งการใช้เงินเนติกอัลกอริทึมหลายวัตถุประสงค์ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ร่วมที่พิจารณาความต้องการบนพื้นฐานของรอบเวลา [14] ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบเพื่อลดรอบเวลาการผลิตเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญต่อการเพิ่มผลิตผล ซึ่งวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและสามารถพัฒนากลไกได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลไกการค้นหาคำตอบที่สามารถปรับตัวเองให้เหมาะสมในแต่ละปัญหา เช่น การพัฒนาเงินเนติกอัลกอริทึมที่สามารถพารามิเตอร์เองได้ [3, 15]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยของการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมนี้ เริ่มจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลสภาพกิจกรรมการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา อันได้แก่ กระบวนการประกอบรถกึ่งพ่วง ทั้ง 2 รุ่น พร้อมทั้งการศึกษาและพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยได้มีการคำนวณเชิงเปรียบเทียบผลจากทั้งวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึมแบบธรรมดา และวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้

3.1 กระบวนการประกอบรถกึ่งพ่วง

ในปัจจุบัน โรงงานกรณีศึกษามีกระบวนการประกอบรถกึ่งพ่วง 2 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ รถกึ่งพ่วงพื้นเรียบ และรถกึ่งพ่วงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ โดยแต่ละผลิตภัณฑ์จะถูกผลิตจากสายการประกอบของตัวเองด้วยเวลาการประกอบที่มีความแตกต่างกันน้อยมาก โดยขั้นตอนงานย่อยของการประกอบรถกึ่งพ่วงพื้นเรียบจะมีจำนวนมากกว่ารถกึ่งพ่วงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ และมีการจำกัดจำนวนสถานีงานไว้คงที่ ดังนั้น การจัดสมดุลสายการประกอบนี้จึงมุ่งเน้นวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดรอบเวลาการผลิตให้น้อยที่สุด การศึกษานี้ได้ใช้แนวทางในการทำปัญหาให้ง่ายขึ้น (Simplifying the problem) โดยการแบ่งขนาดของปัญหาในการทดลองจัดสมดุลออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ปัญหาขนาดเล็ก (Small-size problem) ซึ่งมาจากการจัดกลุ่มงานย่อยในสถานการณ์การผลิตจริงให้มีจำนวนน้อยลง และ (2) ปัญหาขนาดใหญ่ (Large-size problem) ซึ่งมาจากการลดความยุ่งยากในสถานการณ์จริงให้มีความซับซ้อนน้อยลง

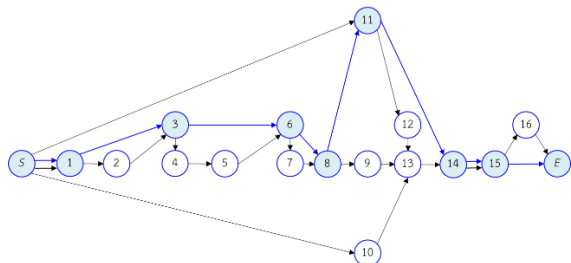
ปัญหขนาดเล็กสำหรับสายการประกอบรถกึ่งพ่วง

ตารางที่ 1 เวลามาตรฐานงานย่อยของปัญหขนาดเล็ก

No.	Element Time (sec.)	No.	Element Time (sec.)
1*	3,670	9	2,764
2	1,164	10	14,406
3*	582	11*	459
4	8,953	12	1,345
5	146	13	14,400
6*	130	14*	1,490
7	589	15*	11,418
8*	133	16	1,482

หมายเหตุ * คือ งานย่อยของผลิตภัณฑ์รถกึ่งพ่วงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์

กรณีศึกษาที่มีการจำแนกงานย่อยแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังนี้ การประกอบรถกึ่งพวงพื่นเรียบมี 16 งานย่อย และการประกอบรถกึ่งพวงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์มี 7 งานย่อย



รูปที่ 1 กราฟลำดับงานก่อน-หลังของปัญหามานกลาง

โดยจำนวนสถานีงานถูกจำกัดไว้ 6 สถานี มีเวลามาตรฐานสำหรับการประกอบผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1 และมีความสัมพันธ์ของลำดับขั้นตอนงานย่อยก่อน-หลัง ดังรูปที่ 1 เส้นสีดำแสดงลำดับขั้นตอนการประกอบรถกึ่งพวงพื่นเรียบ ในขณะที่เส้นสีน้ำเงินแสดงลำดับขั้นตอนการประกอบรถกึ่งพวงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์

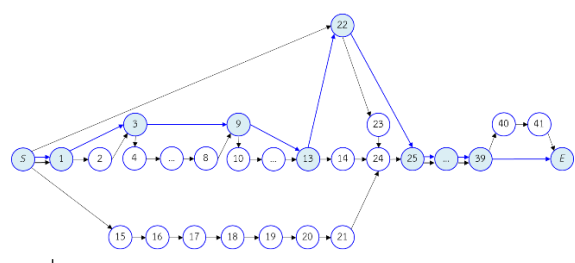
ปัญหามานกลางสำหรับสายการประกอบรถกึ่งพวง

ตารางที่ 2 เวลามาตรฐานงานย่อยของปัญหามานกลาง

No.	Element Time (sec.)	No.	Element Time (sec.)
1*	3,670	22*	459
2	1,164	23	1,345
3*	582	24	14,400
4	1,243	25*	1,490
5	6,982	26*	238
6	146	27*	244
7	582	28*	994
8	146	29*	488
9*	130*	30*	253
10	150	31*	497
11	148	32*	235
12	291	33*	994
13*	133*	34*	501
14	2,764	35*	1,485
15	2,235	36*	497
16	3,228	37*	2,010
17	233	38*	1,987
18	249	39*	995
19	1,987	40	497
20	6,207	41	985
21	267		

หมายเหตุ * คือ งานย่อยของผลิตภัณฑ์รถกึ่งพวงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์

กรณีศึกษาที่มีการจำแนกงานย่อยแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังนี้ การประกอบรถกึ่งพวงพื่นเรียบมี 41 งานย่อย และการประกอบรถกึ่งพวงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์มี 17 งานย่อย



รูปที่ 2 กราฟลำดับงานก่อน-หลังของปัญหามานกลาง

โดยจำนวนสถานีงานถูกจำกัดไว้ 12 สถานี มีเวลามาตรฐานสำหรับการประกอบผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2 และมีความสัมพันธ์ของลำดับขั้นตอนงานย่อยก่อน-หลัง ดังรูปที่ 2 เส้นสีดำแสดงลำดับขั้นตอนการประกอบรถกึ่งพวงพื่นเรียบ ในขณะที่เส้นสีน้ำเงินแสดงลำดับขั้นตอนการประกอบรถกึ่งพวงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์

การคำนวณรอบเวลาทำงานโดยเฉลี่ย

การจัดสมดุลสายการผลิตในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการจัดสรรทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์สม โดยมีรอบเวลาทำงานโดยเฉลี่ย (Averaged cycle time: ACT) เป็นสมการเป้าหมาย เมื่อไม่สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนสถานีงานได้ ดังนี้

$$T_{jk} = \sum_{i \in S_j} t_{ik}, \quad \forall j, \forall k \quad (1)$$

$$CT_k = \max_{j \in m} (T_{jk}), \quad \forall k \quad (2)$$

$$ACT = \frac{\sum_{k \in p} CT_k}{p} \quad (3)$$

โดยที่ i คือ ดัชนีของงานย่อย ($i = 1, 2, \dots, n$), j คือ ดัชนีของสถานีงาน ($j = 1, 2, \dots, m$), k คือ ดัชนีของผลิตภัณฑ์ ($k = 1, 2, \dots, p$), n คือ จำนวนงานย่อยทั้งหมด, m คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด, p คือ จำนวนรุ่นผลิตภัณฑ์ทั้งหมด, t_{ik} คือ เวลาทำงานย่อย i สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น k , T_{jk} คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในสถานีงาน j สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น k , S_j คือ เซตของงานย่อยที่ถูกจัดไว้ในสถานีงาน j , CT_k คือ รอบเวลาการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่น k

3.2 การพัฒนาเจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้

การพัฒนาเจนเนติกอัลกอริทึมที่สามารถปรับตัวเองได้เมื่อมีทำงาน มีแนวคิดพื้นฐานมาจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย ที่คิดค้นขึ้นโดย John Holland และทีมงานของเขา ซึ่งในการศึกษานี้ยังได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าวเพิ่มเติมอีกด้วย โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมนี้เพื่อการหาลำดับการทำงานโดยเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ซึ่งการอธิบายในหัวข้อนี้ เริ่มต้นด้วยการแนะนำขั้นตอนพื้นฐานในการดำเนินการทางเจนเนติกที่ปรับตัวเองได้ จากนั้นแนวทางในการปรับพารามิเตอร์แบบหยาบ และการปรับพารามิเตอร์แบบละเอียดจะได้รับการนำเสนอต่อไป

การดำเนินการทางเจนเนติกที่ปรับตัวเองได้

ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมโดยทั่วไป ประกอบด้วย (1) สร้างชุดคำตอบชุดแรก (Initialization) (2) กำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness function) (3) คัดเลือกโครโมโซม (Selection) (4) การผสมพันธุ์โครโมโซม (Crossover) (5) การกลายพันธุ์ของโครโมโซม (Mutation) และ (6) การสรุปคำตอบที่เหมาะสม (The best-so-far solution) โดยกระบวนการหรือกลไกทางเจนเนติกส์ (Genetic mechanism) ดังกล่าวเริ่มต้นจากการสร้างโครโมโซมคำตอบเริ่มต้นเป็นจำนวนเท่ากับ $popSize$ ในขั้นตอนที่ (1) จากนั้น ขั้นตอนที่ (2) ถึง (5) จะดำเนินการซ้ำรอบตามจำนวน $maxGen$ หรือจำนวนรุ่นที่กำหนดเพื่อให้โครโมโซมคำตอบเกิดการพัฒนาหรือวิวัฒนาการ เมื่อครบจำนวนการวนซ้ำ คำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่เคยค้นหาก็จะถูกกำหนดให้เป็นผลลัพธ์ของการคำนวณนั้นๆ ในขั้นตอนที่ (6)

Procedure Adaptive GA for Mixed Model Assembly Line Balance
Input: Mixed model assembly problem, GA parameters ($popSize, maxGen, Pm, Pc$)
Output: Cycle time, Line balancing pattern
Begin
 $r \leftarrow 0$;
 Initialize $P(r)$ by operation-based encoding routine;
 Evaluate $P(r)$ by operation-based decoding routine and keep the best solution;
While (not terminating condition) **do**
 create $C(r)$ from $P(r)$ by one cut-point crossover routine;
 create $C(r)$ from $P(r)$ by swap mutation routine;
 tune parameter by tuning parameters routine;
 $r \leftarrow r+1$;
End while
Output the best-so-far of minimum cycle time;
End

รูปที่ 3 รหัสเทียม Adaptive Genetic Algorithm

อย่างไรก็ดี อัลกอริทึมอย่างง่ายดังกล่าวได้ถูกพัฒนาศักยภาพการค้นหาในงานวิจัยนี้ด้วยการศึกษาการปรับค่าอัตราการผสมพันธุ์ (Crossover rate) และอัตราการกลายพันธุ์ (Mutation rate) ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการค้นหาคำตอบทั้งทางด้านความเข้มข้น (Intensification) และความหลากหลาย (Diversification) ของการค้นหาคำตอบในเขตพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible region) โดยรหัสเทียม (Pseudocode) ในรูปที่ 3 แสดงขั้นตอนเจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้ ซึ่งมีการปรับพารามิเตอร์อัตโนมัติโดยการใช้ “TurningParameterRoutine” ในการคำนวณอัตราการผสมพันธุ์และอัตราการกลายพันธุ์ในแต่ละรอบการวนซ้ำ ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำเสนอการปรับไว้ 2 รูปแบบ คือ “Rough-tuningParameters” และ “Fine-tuningParameters”

การปรับพารามิเตอร์เองแบบหยาบ

การปรับพารามิเตอร์เองแบบหยาบ เริ่มต้นด้วยการคำนวณค่า “deltaf” ซึ่งเปรียบเสมือนการหาผลต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าเป้าหมายรุ่นก่อนหน้าและค่าเป้าหมายรุ่นปัจจุบันเพื่อนำไปเปรียบเทียบและกำหนดการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละการวนซ้ำ โดย “PcNew” จะถูกปรับค่าเพิ่มขึ้น และ “PmNew” จะถูกปรับค่าลดลงเมื่อ “deltaf” มีค่าเป็นลบ ในขณะที่ “PcNew” จะถูกปรับค่าลดลง และ “PmNew” จะถูกปรับค่าเพิ่มขึ้นในกรณีอื่นๆ ดังแสดงรายละเอียดของรหัสเทียมในรูปที่ 4

Procedure Rough-tuning Parameters

Input: $Pc, Pm, fpre, fcur$

Output: $PcNew, PmNew$

Begin

Step 1 : Delta function Calculation

If (condition $maxGen > 2$)

$avp = \text{mean}(fpre); \quad avc = \text{mean}(fcur);$

$mvp = \text{max}(fpre); \quad mxc = \text{max}(fcur);$

$deltaf = (avc/mxc) - (avp/mvp);$

End if

Step 2 : Auto adjust crossover rate and mutation rate

If $0 \leq deltaf$

$PcNew = Pc - 0.05;$

$PmNew = Pm + 0.02;$

Else

$PcNew = Pc + 0.01;$

$PmNew = Pm - 0.01;$

End if

End

รูปที่ 4 รหัสเทียม Rough-tuning Parameters Routine

ค่าความละเอียดในการปรับ $Pc + 0.01$ และ $Pm - 0.01$ เมื่อ $deltaf$ มีค่าเป็นลบ และค่าความละเอียดในการปรับ $Pc - 0.05$ และ $Pm + 0.02$ เมื่อ $deltaf$ มีค่าไม่เป็นลบ มาจากการทดลองปรับค่าในเบื้องต้น ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในกรณีศึกษาอื่น

การปรับพารามิเตอร์เองแบบละเอียด

การปรับพารามิเตอร์เองแบบละเอียด มีขั้นตอนปฏิบัติเหมือนกับการปรับพารามิเตอร์เองแบบหยาบ ซึ่งใช้ผลต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าเป้าหมายรุ่นก่อนหน้าและค่าเป้าหมายรุ่นปัจจุบันในการกำหนดการปรับค่าพารามิเตอร์ และมีการกำหนดช่วงในการปรับค่าจากเดิมที่มีเพียงแค่ 2 ช่วง (ค่า $deltaf$ เป็นลบ และ ไม่เป็นลบ) ให้มีความละเอียดมากขึ้น เป็น 4 ช่วงด้วยการแบ่งครึ่งช่วงการปรับค่าเดิมในแต่ละช่วง ได้แก่ ในกรณีที่ “ $deltaf$ ” มีค่าเป็นลบจะกำหนดไว้ 2 ช่วง และในกรณีที่ “ $deltaf$ ” มีค่าไม่เป็นลบจะกำหนดไว้อีก 2 ช่วง ดังแสดงรายละเอียดของรหัสเทียมในรูปที่ 5

Procedure Fine-tuning Parameters

Input: $Pc, Pm, fpre, fcur$

Output: $PcNew, PmNew$

Begin

Step 1 : Delta function Calculation

If (condition $maxGen > 2$)

$avp = \text{mean}(fpre); \quad avc = \text{mean}(fcur);$

$mvp = \text{max}(fpre); \quad mvc = \text{max}(fcur);$

$deltaf = (avc/mvc) - (avp/mvp);$

End if

Step 2 : Auto adjust crossover rate and mutation rate

If $0.08 \leq deltaf$

$PcNew = Pc - 0.08;$

$PmNew = Pm + 0.05;$

Else if $0 \leq deltaf < 0.08$

$PcNew = Pc - 0.05;$

$PmNew = Pm + 0.02;$

Else if $-0.09 \leq deltaf < 0$

$PcNew = Pc + 0.01;$

$PmNew = Pm - 0.01;$

Else if $deltaf < -0.09$

$PcNew = Pc + 0.02;$

$PmNew = Pm - 0.02;$

End if

End

รูปที่ 5 รหัสเทียม Fine-tuning Parameters Routine

ค่าความละเอียดในการปรับค่า Pc และ Pm ในแต่ละกรณี มาจากการทดลองในเบื้องต้นเช่นเดียวกันกับวิธีการปรับพารามิเตอร์เองแบบหยาบ

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในบทความนี้ มาจากการจำลองวิธีการทั้งหมดในการหาคำตอบการจัดสมมูลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งทุกขนาดปัญหาจะได้รับการคำนวณหาคำตอบด้วยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

(1) อัตราการผสมพันธุ์เริ่มต้น (Initial crossover rate) เท่ากับ 0.6 และอัตรากลายพันธุ์เริ่มต้น (Initial mutation rate) เท่ากับ 0.02 โดยทั้ง 2 ค่านี้จะถูกกำหนดไว้ในตอนเริ่มต้นของการคำนวณหาคำตอบ ซึ่งจะถูกทำให้เปลี่ยนค่าไปด้วยฟังก์ชัน “*TuningParameterRoutine*” รูปแบบต่างๆ ยกเว้นแต่วิธีการเจนนิติกอัลกอริทึมแบบธรรมชาติ (GA) ที่จะไม่ทำการเปลี่ยนแปลงใดๆ ต่อค่านี้

(2) จากการทดลองรันผลในเบื้องต้น (Pilot run) จึงได้กำหนดจำนวนโครโมโซม (คำตอบ) ทั้งหมดในการค้นหาที่เหมาะสม เท่ากับ 10,000 คำตอบ (มาจาก $maxGen \times popSize$) ดังนั้น ในการทดลองนี้จะใช้แผนการทดลอง 2 รูปแบบซึ่งมีการกำหนดค่าจำนวนประชากรในแต่ละรุ่น ($popSize$) และจำนวนรุ่นทั้งหมด ($maxGen$) ที่แตกต่างกัน ดังนี้ แบบที่ 1 คือ 10×1000 และแบบที่ 2 คือ 20×500

(3) จำนวนการคำนวณซ้ำ (Replication) เท่ากับ 10 ครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในตารางที่ 3 จะกลายเป็นค่าเฉลี่ยของรอบเวลาการทำงานที่น้อยที่สุดจากทุกการรันซ้ำ

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การทดลองเชิงเปรียบเทียบ

Problems	Parameters	Average Cycle Time (sec.)		
		GA	GA-RA	GA-FA
Small size	10 $popSize$ & 1000 $maxGen$	17609.8	17,143.5	<u>16,672.3</u>
	20 $popSize$ & 500 $maxGen$	16,659.0	16,377.3	<u>16,222.9</u>
Large size	10 $popSize$ & 1000 $maxGen$	16,116.4	16,089.7	<u>16,006.4</u>
	20 $popSize$ & 500 $maxGen$	16,116.4	16,051.4	<u>15,963.8</u>

หมายเหตุ ผลลัพธ์มาจากการคำนวณซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง

หลังจากการทดลองทุกขนาดปัญหาของการจัดสมมูลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ตารางที่ 3 ได้แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณทั้งหมด โดยผลลัพธ์ได้สำหรับการ

แก้ปัญหาขนาดเล็ก การประยุกต์ใช้วิธีเงินเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้แบบละเอียด (GA-FA) ให้คำตอบรอบเวลาเฉลี่ยน้อยที่สุด 16,672.3 วินาที สำหรับแผนการทดลองแบบที่ 1 (10×1000) และ 16,622.9 วินาที สำหรับแผนการทดลองแบบที่ 2 (20×500) ในขณะที่ ผลที่ได้สำหรับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ การประยุกต์ใช้วิธีเงินเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้แบบละเอียด (GA-FA) ให้คำตอบรอบเวลาเฉลี่ยน้อยที่สุด 16,006.4 วินาที สำหรับแผนการทดลองแบบที่ 1 (10×1000) และ 15,963.8 วินาที สำหรับแผนการทดลองแบบที่ 2 (20×500)



รูปที่ 6 กราฟการค้นหาคำตอบของ GA-FA

โดยรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างวิวัฒนาการในการค้นหาคำตอบของวิธีการเงินเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้แบบละเอียดที่ได้ให้ผลลัพธ์ของการจัดสมดุลด้วยรอบเวลาการทำงานที่ดีที่สุดจากทุกกรณี

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการจัดการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมเพื่อกำหนดรอบเวลาการทำงานโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดในกระบวนการผลิตรถกึ่งพวง ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 2 รุ่น ได้แก่ รถกึ่งพวงพื้นเรียบ และรถกึ่งพวงบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ โดยในบทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีเงินเนติกอัลกอริทึม (GA) อย่างง่าย รวมทั้งได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมของเงินเนติกเพิ่มเติม ซึ่งทำให้ได้วิธีการใหม่ ได้แก่ เงินเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้แบบหยาบ (GA-RA) และเงินเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้แบบละเอียด (GA-FA) โดยได้ทำการทดลองเชิงเปรียบเทียบวิธีการทั้งหมด

ด้วยปัญหา 2 ขนาด ซึ่งจากผลการคำนวณหาคำตอบด้วยวิธีการต่างๆ พบว่า เงินเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม โดยเงินเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้แบบละเอียด (GA-FA) สามารถให้ผลคำตอบที่ดีกว่าอีก 2 วิธีการที่เหลือไม่ว่าจะเป็นการแก้ปัญหาขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ตาม อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอนาคตควรมีการมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกส์อื่นๆ ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าหรือใกล้เคียงวิธีการที่ทดลองในงานวิจัยนี้เพิ่มเติม รวมทั้งควรมีการมุ่งเน้นศึกษาการปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดำเนินการผลิตของอุตสาหกรรมจริงเพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยวิจัยการปรับปรุงผลิตภาพและการจัดการโลจิสติกส์ (PILM) ภายใต้กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมและการจัดการการผลิต (IPM) คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

เอกสารอ้างอิง

- [1] B., Yagmahan, "Mixed-model assembly line balancing using a multi-objective ant colony optimization approach," *Expert Systems with Applications*, 38, 12453-12461, 2011.
- [2] N. Kriengkarakot and N. Pianthong, "The assembly line balancing problem: Review articles," *KKU Engineering Journal*, 34(2), 133-140, 2007.
- [3] C., Chamnanlor, K., Sethanan, C.F., Chien and M., Gen, "Re-entrant flow shop scheduling problem with time windows using hybrid genetic algorithm based on auto-tuning strategy," *International Journal of Production Research*, 52(9), 2612-2629, 2014.
- [4] A., Sofia Simaria and M., Vilarinho, "A genetic algorithm based approach to the mixed-

- model assembly line balancing problem of type II,” *Computers & Industrial Engineering*, 47(4), 391-407, 2004.
- [5] U., Mohammad Kamal, L., Jose Luis Martinez, “Assembly Line Balancing and Sequencing”, *Assembly Line–Theory and Practice*, Prof. Waldemar Grzechca (Ed.), ISBN: 978-953-307-995-0, In Tech, 2011.
- [6] เชษฐา ชำนาญหล่อ, จักรินทร์ กลั่นเงิน, และไตรภพ แซ่ตั้ง. “การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการจัดสมดุลสายการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์,” *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* ปีที่ 44(4), หน้า 809-819, 2559.
- [7] R. Pitakaso and K. Sethanan. “Modified differential evolution algorithm for simple assembly line balancing with a limit on the number of machine types,” *Engineering Optimization*, 48(2), 253-271, 2016.
- [8] A. Noorul Haq, J. Jayaprakash and K. Rengarajan. “A hybrid genetic algorithm approach to mixed-model assembly line balancing,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28, 337-341, 2006.
- [9] W. Zhang and M. Gen, “An efficient multiobjective genetic algorithm for mixed-model assembly line balancing problem considering demand ratio-based cycle time,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 367-378, 2011.
- [10] P., Su and Y., Lu, “Combining Genetic Algorithm and Simulation for the Mixed-model Assembly Line Balancing Problem,” *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)*, 314-318, 2007.
- [11] P., Sivasankaran and P., Shahabudeen, “Genetic Algorithm for con-current balancing of mixed-model assembly lines with original task times of models,” *Intelligent Information Management*, 5, 84-92, 2013.
- [12] A.A., Mamun, A.A., Khaled, S.M., Ali and M.M., Chowdhury, “A heuristic approach for balancing mixed-model assembly line of type I using genetic algorithm,” *International Journal of Production Research*, 50, 5106-5116, 2012.
- [13] A., Noorul Haq, J., Jayaprakash and K., Rengarajan, “A Hybrid genetic algorithm approach to mixed-model assembly line balancing,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 28, 337-341, 2006.
- [14] Z., Zhang and M., Gen, “An efficient multi objective genetic algorithm for mixed-model assembly line balancing problem considering demand ratio-based cycle time,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 367-378, 2011.
- [15] Y.S., Yun and M. Gen, “Performance analysis of adaptive genetic algorithms with fuzzy logic and heuristics,” *Optimization Decision Making*, 2(2), 161-175, 2003.