

**การเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิต : กรณีศึกษา
สายการบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องครัว**
**A Comparison of Algorithms for Assembly Line Balancing: a Case
Study of Kitchenware Packing Line**

พรรษสิริ ลิ้มปะพันธุ์^{1*} จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน¹ และ รมิดายุ อยู่สุข¹

Patsasiri Limpabandhu¹ Chansiri Singhtaun¹ and Ramidayu Yousuk¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University (Bangkhen)

วันที่ส่งบทความ : 10 มกราคม 2563 วันที่แก้ไขบทความ : 6 เมษายน 2563 วันที่ตอบรับบทความ : 22 เมษายน 2563

Received: 10 January 2020, Revised: 6 April 2020, Accepted: 22 April 2020

บทคัดย่อ

การจัดสมดุลการผลิตมีความสำคัญต่อโรงงานอุตสาหกรรมอย่างมาก เนื่องจากสามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการรอคอยและเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิต การจัดสมดุลการผลิตโดยวิธีการที่ต่างกันจะให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพของสายการผลิตต่างกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของสายการบรรจุผลิตภัณฑ์เครื่องครัว โดยนำเสนอการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการผลิตของการจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขตซึ่งเป็นวิธีแม่นยำและวิธีคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติก การดำเนินงานเริ่มจากศึกษาความสัมพันธ์ของขั้นตอนก่อนหลัง พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุลการผลิตบนพื้นฐานของปัญหาการจัดสมดุลการผลิตประเภท E ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อลดทั้งจำนวนสถานีงานและรอบเวลาการผลิต และพัฒนาการแก้ปัญหาในโปรแกรมเอ็กเซลโอเพ่นโซลเวอร์เพื่อแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตโดยวิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต จากนั้นจัดสมดุลการผลิตโดยวิธีคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการจัดสมดุลการผลิตโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผลลัพธ์ ปัจจุบันสายการบรรจุในโรงงานกรณีศึกษามีประสิทธิภาพการผลิต 69.63% ผลจากการแก้ปัญหาพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขตมีประสิทธิภาพของสมดุลสายการผลิตดีกว่าวิธีคอมพิวเตอร์ 3.70% และสูงกว่าประสิทธิภาพสายการผลิตเดิม 25.16% ใช้เวลาในการประมวลผลหาคำตอบเฉลี่ย 1 ชั่วโมง 54 นาที ซึ่งมากกว่าวิธีคอมพิวเตอร์ใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ย 3 วินาที แต่อยู่ในระยะเวลาที่ยอมรับได้จึงแนะนำให้โรงงานกรณีศึกษาจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีแม่นยำเพื่อประสิทธิภาพสายการผลิตที่มากกว่า

คำสำคัญ : การจัดสมดุลการผลิต การแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต วิธีคอมพิวเตอร์

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: patsasiri.l@ku.th

Abstract

Line balancing is very important mission for manufacturing industries because they can reduce the wastage from waiting and increase production line efficiency. Balancing the production line by different methods will give different results or different line efficiency. The objective of this research is to increase kitchenware packing line efficiency by comparing line efficiency results from Branch and bound method which is exact algorithm with Comsoal method which is heuristic algorithm. The research methodology starts with studying on tasks relationships or precedence diagrams, develop the Branch and bound algorithm which is exact algorithm in Microsoft Excel spreadsheet and solve by using OpenSolver after that develop assembly line balancing mathematical model based on simple assembly line balancing problem type E which aims to reduce both of the number of work station and cycle time. Finally, Balancing the packing line by Comsoal method which is an assembly line balancing method using computer. The current packing line of case study has 69.63% of production line efficiency. From the computational results, it can be shown that the results using Branch and bound algorithm gave more line efficiency of the results than Comsoal method 3.70% and more than current line efficiency 25.16% by consuming 1 hours and 54 minutes for solving the results while Comsoal method consumed 3 seconds for solving the results therefore the suggestion for balancing the packing line in this company is balancing packing line by using exact algorithm for getting more line efficiency.

Keywords: Line Balancing, Branch and Bound, Comsoal

1. บทนำ

เครื่องครัวเป็นหมวดสินค้าที่มีความจำเป็นในชีวิตประจำวันอย่างมากจึงส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องครัวในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่ทำกำไรให้กับผู้ประกอบการสูงแต่ในขณะเดียวกันก็เป็นอุตสาหกรรมที่การแข่งขันสูงด้วยเช่นกันเนื่องจากเป็นกลุ่มตลาดขนาดใหญ่มีผู้ผลิตเครื่องครัวเป็นจำนวนมาก

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผู้ผลิตเครื่องครัวรายใหญ่ในประเทศไทยที่มียอดจำหน่ายและส่งออกเครื่องครัว 8,000 ล้านบาทต่อปี โดยมีแผนกที่เกี่ยวข้องกับการผลิต 3 แผนก ได้แก่ แผนกเคลือบสี แผนกประกอบและแผนกบรรจุ แผนกเคลือบสีและแผนกประกอบมีอุปกรณ์ที่ทันสมัย มีเครื่องจักรที่ทำงานอัตโนมัติจำนวนมาก ในขณะที่แผนกบรรจุจะใช้แรงงานมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้ในแผนกบรรจุมีประสิทธิภาพการผลิตที่ไม่แน่นอน ผลผลิตไม่สม่ำเสมอเนื่องจากความไม่แน่นอนของมนุษย์ และยังเกิด

ความสูญเสียจากการรอคอยงานเนื่องจากภาระงานแต่ละสถานีนงานไม่สมดุล ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการจัดสมดุลการผลิตจึงมีความสำคัญต่อแผนกบรรจุอย่างมาก

การจัดสมดุลการผลิตมีหลายวิธีทั้งวิธีแมนตรงอย่างวิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขตที่เป็นการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตโดยใช้โครงสร้างต้นไม้เก็บปัญหาเป็นปมย่อยและแก้ปัญหาทุกปมโดยสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยแก้ปัญหา จึงจะรับประกันว่าได้คำตอบที่ดีที่สุดมีประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิตมากที่สุด แต่เนื่องจากต้องทำการแก้ปัญหาทุกปมย่อยส่งผลให้วิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขตใช้เวลานาน ในขณะที่วิธีฮิวริสติกใช้เวลาในการประมวลผลหาคำตอบสั้นกว่า แต่ผลลัพธ์ที่ได้จะมีประสิทธิภาพการผลิตที่ต่ำกว่าวิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบวิธีการจัดสมดุลการผลิตด้วยวิธีแมนตรงซึ่งเลือกใช้วิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขตและวิธีฮิวริสติกซึ่งเลือกใช้วิธีคอมพิวเตอร์โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิต และเวลาในการประมวลผลคำตอบเพื่อนำเสนอแนวทางการจัดสมดุลการผลิตให้โรงงานกรณีศึกษาต่อไปโดยเลือกวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงและเวลาในการประมวลผลอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานรับได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบการจัดสมดุลการผลิต

การจัดสมดุลการผลิตมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์คือลดรอบเวลาการผลิตหรือลดจำนวนสถานีนงานให้น้อยที่สุด ปัญหาการจัดสมดุลคือการเลือกจัดงานย่อยและให้เวลาของแต่ละสถานีนงานมีค่าเข้าใกล้รอบเวลาเป้าหมายและเพื่อให้ภาระงานแต่ละสถานีนงานมีความสมดุล ไม่เกิดกระบวนการคอขวด [1] ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทตามความหลากหลายของข้อจำกัดและวัตถุประสงค์ [2] ได้แก่ การจัดสมดุลการผลิตอย่างง่าย (Simple Assembly Line Balancing Problem: SALBP) แบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามวัตถุประสงค์ ได้แก่ 1. SALBP Type 1 คือการจัดสมดุลการผลิตเพื่อลดจำนวนสถานีนงานให้น้อยที่สุดเมื่อทราบค่ารอบเวลาการผลิต 2. SALBP Type 2 เพื่อลดรอบเวลาการผลิตให้น้อยที่สุด เมื่อทราบจำนวนสถานีนงาน 3. SALBP Type E เป็นการจัดสมดุลเพื่อหาประสิทธิภาพการผลิตที่สูงที่สุดโดยลดทั้งจำนวนสถานีนงานและรอบเวลาการผลิต และ 4. SALBP Type F เป็นการจัดสมดุลการผลิตที่กำหนดจำนวนสถานีนงานและรอบเวลาที่ต้องการเพื่อหาคำตอบของการจัดสมดุลและปัญหาการจัดสมดุลการผลิตแบบทั่วไป (General Assembly Line Balancing Problem: GALBP)

2.2 การแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิต

การแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตสามารถแบ่งตามรูปแบบของผลลัพธ์ได้ 2 วิธีหลัก ได้แก่ วิธีแมนตรง (Exact Algorithm) เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผลิตได้แก่ วิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch and Bound Algorithm) ซึ่งเป็นการใช้โครงสร้างต้นไม้เก็บปัญหาเป็นปมย่อย (Node) และให้ปัญหาหลักเป็นปมราก (Root) แต่ละปมจะแก้ปัญหาจนครบทุกปมจึงได้คำตอบที่ดีที่สุด [3]

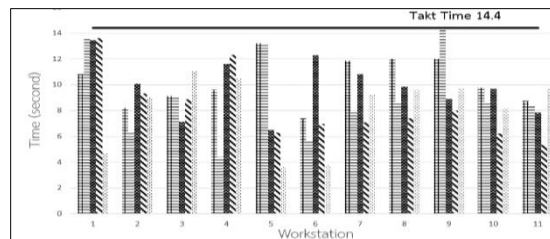
จากการทบทวนงานวิจัยแล้วมีงานวิจัยจำนวนไม่น้อยที่มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [4] งานวิจัยส่วนใหญ่จะสนใจปัญหาการจัดสมดุลการผลิตอย่างง่ายประเภท 1 และ 2 เพียงอย่างเดียว ในขณะที่ประเภท E ที่เป็นการรวมการแก้ปัญหาทั้งสองแบบเข้าด้วยกันย่อมดีกว่าแต่มิงานวิจัย

เพียงส่วนน้อย [5] วิธีฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) เช่น วิธีคอมโซล (Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line: COMSOAL) ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลาย [6] เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณ รวดเร็วและแม่นยำ ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีคอมโซลนี้เปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาค่าตอบย่านใกล้เคียงแบบหลายจุดเริ่มต้น (Multi-Started Neighborhood Search Heuristic) พบว่าวิธีคอมโซลให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการค้นหาค่าตอบย่านใกล้เคียงแบบหลายจุดเริ่มต้น [7] และสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมรถยนต์มีการนำเสนอเทคนิคการจัดสมดุลการผลิตโดยผสมผสานข้อดีระหว่างวิธีเรียงน้ำหนักตำแหน่งและวิธีคอมโซล ซึ่งสามารถจัดสมดุลการผลิตได้ประสิทธิภาพสูงจากเดิม 87.67% เป็น 92.76% [8] และได้มีงานวิจัยนำเสนอวิธีการแตกกิ่งและการตัดมาแก้ปัญหาการจัดแผนผังในสายการผลิตโดยทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้แก้ปัญหากำหนดการจำนวนเต็มเชิงเส้นแบบผสม และผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีฮิวริสติกอย่างเห็นได้ชัด และได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในขณะที่ใช้เวลาในการคำนวณ 3 วินาที [9]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตในแผนกบรรจุ

ในแผนกบรรจุเครื่องครัวมีขั้นตอนตั้งแต่พับกล่องถึง บรรจุหม้อลงในกล่อง ใส่แผ่นลังกันกระแทก ใส่ฝาหม้อ ขุดตะหลิว และปิดผนึกกล่อง ปัจจุบันแผนกบรรจุมี 11 สถานีพนักงานสถานีละ 1 คน โดยทำการศึกษา 5 ผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนการผลิตสูงที่สุดเพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่างสำหรับการจัดสมดุลการผลิตเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมกับโรงงานกรณีศึกษา เมื่อทำการศึกษา 5 ผลิตภัณฑ์ 20369-T 21890-T 22063-T 22064-T และ 22187-T พบว่าทุกรุ่นมีกำลังการผลิตเฉลี่ย 2,210 กล่องต่อกะ ซึ่งมากกว่าเป้าหมายคือ 2,000 กล่องต่อกะแต่ประสิทธิภาพสายการผลิต 69.63% ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่ 75% เมื่อทำการศึกษาดำเนินงานพบว่าเกิดสถานีงานคอขวด จึงทำการจับเวลาของงานในแต่ละสถานีงานเพื่อสร้างกราฟยามาซุมิรูปที่ 1 เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาพบว่าภาระงานแต่ละสถานีงานไม่สมดุลและสามารถลดจำนวนสถานีงานและลดรอบเวลาผลิตลงเพื่อประสิทธิภาพสายการผลิตได้



รูปที่ 1. เวลาในแต่ละสถานีงานของผลิตภัณฑ์ 5 รุ่น

3.2 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการวิเคราะห์ปัญหาพบว่าหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้นควรลดทั้งจำนวนสถานีนงานและรอบเวลาการผลิตทำให้ปัญหานี้เป็นปัญหาการจัดสมดุลการผลิตประเภท E ซึ่งแก้ปัญหาก็ได้โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) มีพารามิเตอร์ (Parameters) ดังนี้

N	คือ จำนวนงานย่อย
M	คือ จำนวนสถานีนงาน
I	คือ ดัชนีของงานย่อย ($i=1,2,...,n$)
j,k	คือ ดัชนีของสถานีนงาน ($j=1,2,...,m$)
t_j	คือ เวลาของงานย่อย j
C_T	คือ รอบเวลาสายการผลิต
$P(k)$	คือ เซตของงานก่อนงาน k
E	คือ ประสิทธิภาพสายการผลิต

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) ได้แก่ $C_T \geq 0$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้างาน } j \text{ ถูกจัดลงสถานีนงาน } i \\ 0, & \text{อื่นๆ } \forall i,j \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{ถ้ามีอย่างน้อย 1 งานจัดลงสถานีนงาน } i \\ 0, & \text{อื่นๆ } \forall i \end{cases}$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของ SALBP-E มีฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ได้แก่

$$\text{Maximize } E = \frac{1}{mC_T} \sum_{i=1}^m \sum_{j \in S_i} t_j X_{ij} \quad (1)$$

$$\text{Min } m = \sum_{i=1}^m \max_{1 \leq j \leq n} \{X_{ij}\} \quad (2)$$

$$\text{Min } C_T \quad (3)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints) ได้แก่ $\sum_{i=1}^m X_{ij} = 1, \forall j=1,2,...,n \quad (4)$

$$\sum_{i=1}^m iX_{ij} \leq \sum_{i=1}^m iX_{ik}, \forall j \in P(k) \quad (5)$$

$$t(S_i) = \sum_{j \in S_i} t_j = \sum_{j=1}^n t_j X_{ij} \leq C_T, \forall i \quad (6)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\}, \forall i,j \quad (7)$$

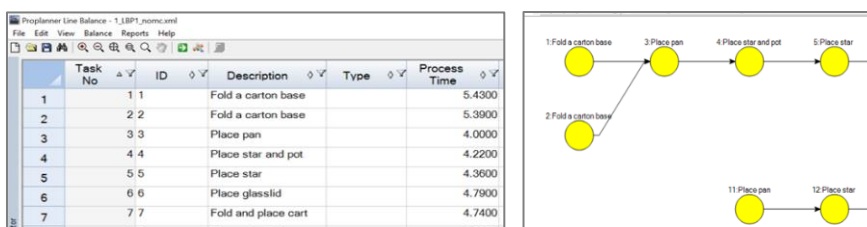
ปัญหาประเภท E มีฟังก์ชันเป้าหมายคือสมการที่ (1) หาประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิตสูงสุด สมการเงื่อนไขคือสมการที่ (4) ถึง (7) โดยเป็นปัญหากำหนดการจำนวนเต็มไม่เป็นเชิงเส้นมีแนวทางแก้ปัญห 2 ขั้นตอน ขั้นแรกทำการแก้ปัญห SALBP-1 ที่มีฟังก์ชันเป้าหมายคือสมการที่ (2) หาจำนวนสถานีนงาน (m) น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขสมการที่ (4) ถึง (7) และให้ค่าจำนวนสถานีนงาน m นี้เป็นขอบเขตล่าง (LB_m) และเข้าสู่ขั้นตอนที่สองหาขอบเวลา (C_T) น้อยที่สุดเมื่อกำหนดตัวแปรให้ค่า m เป็นค่าคงที่

เริ่มต้นจาก LB_m ไปจนถึง UB_m ซึ่ง UB_m คือจำนวนสถานีงานปัจจุบัน โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการแก้ปัญหาแบบ SALBP-2 ที่มีฟังก์ชันเป้าหมายคือสมการที่ (3) หาค่ารอบเวลาการผลิตที่น้อยที่สุดภายใต้เงื่อนไขสมการที่ (4) ถึง (7) โดยใช้โปรแกรมโอเพ่นโซลเวอร์ (OpenSolver) ในไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) คำนวณค่าประสิทธิภาพสายการผลิตของทุกค่า m และ C_T โดยเพิ่มค่า m ทีละหนึ่งหยุดเมื่อค่าประสิทธิภาพลดลง และเลือกคำตอบที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุดโดยคำนวณจากสมการที่ 8 ซึ่งคำนวณจากนำเวลารวมของงานย่อยหารด้วยจำนวนสถานีงานและรอบเวลาการผลิต

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{mC_T} \quad (8)$$

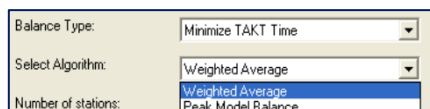
3.3 จัดสมดุลการผลิตโดยวิธีคอมพิวเตอร์

3.3.1 กรอกข้อมูลเวลางานย่อยและลำดับงานก่อนหลัง ดังรูปที่ 2



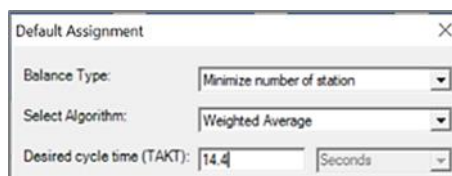
รูปที่ 2. ขั้นตอนการกรอกข้อมูลเวลางานย่อยและลำดับงานก่อนหลัง

3.3.2 จัดสมดุลการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์คือลดรอบเวลาผลิต ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3. จัดสมดุลการผลิตโดยลดรอบเวลาผลิต

3.3.3 จัดสมดุลการผลิตโดยมีวัตถุประสงค์คือลดจำนวนสถานีงานให้น้อยที่สุด โดยระบุจำนวนสถานีงานที่ต้องการจากผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอน 3.3.2 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. จัดสมดุลการผลิตโดยลดจำนวนสถานีงาน

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการคำนวณทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้โดยแบ่งตามวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาดังนี้

4.1 ผลการจัดสมดุลการผลิตโดยวิธีแมนตรง

4.1.1 ผลการจัดสมดุลการผลิตแบบ SALBP-1

ตารางที่ 1. ผลการจัดสมดุลการผลิตแบบปัญหา SALBP-1

รุ่นผลิตภัณฑ์	จำนวนสถานี	รอบเวลา	ประสิทธิภาพสายการผลิต	เวลาประมวลผล (วินาที)
20369-T	8	14.40	98.01%	25
21890-T	8	13.48	92.56%	257
22063-T	8	14.20	95.18%	351
22064-T	7	14.20	92.03%	17
22187-T	7	13.68	92.81%	13
ค่าเฉลี่ย		13.99	94.12%	133

4.1.2 ผลการจัดสมดุลการผลิตแบบ SALBP-2 จากตารางที่ 1 ผลลัพธ์จากการจัดสมดุลการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่น 20369-T ด้วยปัญหาแบบ SALBP-1 ได้ว่ามีจำนวนสถานีงานที่เป็นขอบเขตล่างคือ 8 สถานี และเมื่อแก้ปัญหา SALBP-2 การเพิ่มเป็น 9 สถานีจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงดังนั้นจึงเลือกคำตอบเดิม ประสิทธิภาพสายการผลิต 98.01% ดังตารางที่ 2 เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่น

ตารางที่ 2. ผลการจัดสมดุลการผลิตแบบปัญหา SALBP-2

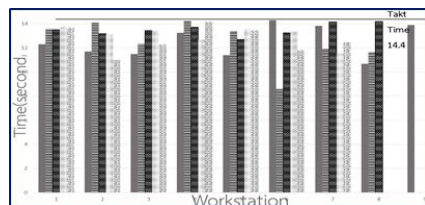
รุ่นผลิตภัณฑ์	จำนวนสถานี	รอบเวลา	ประสิทธิภาพสายการผลิต	เวลาประมวลผล (วินาที)
20369-T	8	14.40	98.01%	34
20369-T	9	13.76	91.19%	19,000
21890-T	8	13.48	92.56%	5
21890-T	9	12.92	85.82%	3
22063-T	8	14.20	95.18%	3
22063-T	9	13.13	91.50%	22
22064-T	7	13.73	95.17%	4
22064-T	8	11.97	95.50%	16
22064-T	9	11.40	89.14%	14,400
22187-T	7	13.68	92.81%	5
22187-T	8	12.86	86.36%	3
ค่าเฉลี่ย		13.23	92.11273%	3045

4.2 ผลการจัดสมดุลการผลิตด้วยวิธีคอมโซล

ผลจากการจัดสมดุลการผลิตด้วยวิธีคอมโซลโดยใช้โปรแกรม ProBalance ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 3 ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าผลิตภัณฑ์รุ่น 20369-T 21890-T 22063-T 22064-T และ 22187-T มีประสิทธิภาพสายการผลิตหลังปรับปรุงเป็น 87.66% 87.72% 95.16% 95.19% และ 89.82% และพบว่าภาระงานแต่ละสถานียานมีความสมดุลกันมากขึ้น ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 3. ผลการจัดสมดุลการผลิตด้วยวิธีคอมโซล

สถานี	20369-T		21890-T		22063-T		22064-T		22187-T	
	งานย่อย	เวลาสถานี	งานย่อย	เวลาสถานี	งานย่อย	เวลาสถานี	งานย่อย	เวลาสถานี	งานย่อย	เวลาสถานี
1	2,9	12.3	1,2	13.5	2,11,16	13.5	2,9	13.7	1,2,3	13.6
2	1,11,21	11.7	9,17	14.1	10,12,15	13.1	1,11,12	13.1	4,5	11.0
3	3,4,12	11.4	3,4,5,8	12.3	1,13,17	13.4	3,4,5,15	13.4	6,8,10	12.2
4	5,13,14	13.2	6,7,10	14.2	4,8,14	13.7	6,7,13,16	12.6	11,12,13	14.1
5	15,16,17	11.4	11,12,13,14	13.4	3,5,6,7	12.6	8,14,17,18	13.5	9,14,15	13.4
6	6,7,18	14.3	15,16	8.59	9,19,22	13.2	10,19,20	13.3	7,16	11.8
7	8,10,19,20	13.8	18,19	11.9	18,20	14.1	21,22,23,24	11.5	17,18,19	12.5
8	22,23	10.6	20,21,22	11.6	21,23,24	14.2				
9	24,25,26	13.9								
รวมเวลา	14.31		14.22		14.21		13.72		14.13	
ประสิทธิภาพ	87.66%		87.72%		95.16%		95.19%		89.82%	



รูปที่ 5. เวลาแต่ละสถานีงานของผลิตภัณฑ์ 5 รุ่น หลังปรับปรุง

4.3 ผลการเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลการผลิต

จากตารางที่ 4 พบว่าจากการทดลองจัดสมดุลสายการผลิตทั้ง 5 รุ่นผลิตภัณฑ์ วิธีแมนตรง สามารถจัดสมดุลการผลิตที่มีประสิทธิภาพสายการผลิตมากกว่าวิธีคอมโซลโดยเฉลี่ย 3.70% แต่วิธีแมนตรงใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าวิธีอีวิริสติก โดยวิธีแมนตรงใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ย 1 ชั่วโมง 54 นาที วิธีอีวิริสติกใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ย 3 วินาที และจำนวนสถานีงานที่ต้องการของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่วิธีแมนตรงคำนวณได้นั้นมีความใกล้เคียงกันมาก โดย 4 รุ่นจาก 5 รุ่นผลิตภัณฑ์ต้องการ 8 สถานีงาน และมีเพียง 1 รุ่นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ 7 สถานี ซึ่งเหมาะแก่การนำไปปรับใช้จริงกับโรงงานสามารถทำได้โดยกำหนดมาตรฐานให้แผนกบรรจุมี 8 สถานีซึ่งใช้พนักงาน 8 คนเพราะผลิตภัณฑ์ส่วนมากใช้ 8 สถานี และเมื่อถึงเวลาที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคนเพียง 7 สถานี สามารถย้ายพนักงาน 1 คน ไปช่วยงานในแผนกอื่นที่ปัจจุบันมีพนักงานไม่เพียงพออยู่ได้ ในขณะที่ผลลัพธ์ของจำนวนสถานีงานที่ต้องการจากวิธีอีวิริสติกมีความแปรปรวนมากกว่า โดยมี 1 รุ่นจาก 5 รุ่นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ 9 สถานี มี 2 รุ่นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ 8 สถานี และมี 2 รุ่นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ 7 สถานี จากความหลากหลายของจำนวนสถานีงานนี้จึงยากแก่การนำไปปรับใช้จริง

ตารางที่ 4. ผลการเปรียบเทียบการจัดสมดุลการผลิต

รุ่น	ปัจจุบัน		วิธีอีวิริสติก			วิธีแมนตรง			ผลต่าง ประสิทธิภาพ ผลิต
	สถานี	ประสิทธิภาพ สาย ผลิต	สถานี	ประสิทธิภาพ สาย ผลิต	เวลา ประมวล (วินาที)	สถานี	ประสิทธิภาพ สาย ผลิต	เวลา ประมวล (วินาที)	
20369	11	77.55%	9	87.66%	3	8	98.01%	19,059	10.35%
21890	11	63.40%	8	87.72%	2	8	92.56%	265	4.84%
22063	11	72.99%	8	95.16%	3	8	95.18%	376	0.02%
22064	11	61.06%	7	95.19%	4	8	95.50%	14,437	0.31%
22187	11	73.24%	7	89.82%	3	7	92.81%	21	2.99%
เฉลี่ย					3			6831.6	3.70%

5. สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตในแผนกบรรจุของโรงงานผลิตเครื่องครัวโดยทำการจัดสมดุลสายการผลิตโดยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการผลิตหลังการจัดสมดุลการผลิตโดยวิธีแมนตรงและวิธีอีวิริสติก ซึ่งวิธีแมนตรงที่เลือกศึกษาคือการแตกกิ่งและจำกัด

ขอบเขตซึ่งทำโดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาประเภท E และวิธีฮิวริสติกที่ศึกษาคือวิธีคอมโซล ผลจากการศึกษาและเปรียบเทียบพบว่าวิธีแมนตรงแม้จะใช้เวลาในการจัดสมดุลการผลิตมากกว่าแต่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้เพราะโรงงานสามารถจัดสมดุลการผลิตขณะผลิตผลิตภัณฑ์รุ่นก่อนหน้าและก่อนจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่นนี้ได้ ระยะเวลาในการประมวลผลหาคำตอบจึงเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และวิธีแมนตรงให้ประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิตที่สูงกว่าวิธีฮิวริสติกเฉลี่ย 3.70% จึงแนะนำให้โรงงานจัดสมดุลสายการผลิตโดยวิธีของแมนตรงเพื่อประสิทธิภาพสายการผลิตที่สูง

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Dwivedi, A. 2012. An Analysis and Development of Software for Assembly Line Balancing Problem of Manufacturing Industry. *VSRD international Journal of Mechanical, Automobile & production Engineering*, 2(2), 74-87.
- [2] Scholl, A. and Becker, C. 2006. A survey on problem and method in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168, 694-715.
- [3] Ogan, D. and Azizoglu, M. 2015. A branch and bound method for the line balancing problem in U-shaped assembly lines with equipment requirements. *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 46-54.
- [4] Boysen, N., Flieder, M. and Scholl, A. 2007. A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational Research*, 183, 674-693.
- [5] Nai-Chieh, W. and I-Ming, C. 2011. A Solution Procedure for Type E Simple Assembly Line Balancing. *Computer and Industrial Engineering*, 61, 824-830.
- [6] Depuy, G.W. and Gary, E.W. 2001. A simple and effective heuristic for the resource constrained project scheduling problem. *International Journal of Production Research*, 39(14), 3275-3287.
- [7] Areeda, L. and Prasad, Y. 2013. Assembly line balancing the comparison of COMSOAL and MSNSH technique in Motorcycle manufacturing company. *Advanced Materials Research*, 166-174.
- [8] บรรหาญ ลิลา และ นิชกุล ไชยสร. 2554. การพัฒนาเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตภายใต้ข้อจำกัดขอบเขตพื้นที่และอุปกรณ์. การประชุมข่ายงานวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, 223-229. [Banhan Lila and Nichakul Chaison. 2011. The developing of production line balancing techniques under limitation of space and equipment. The Proceedings of IE Network Conference, Burapha University, Chonburi, 223-229. (in Thai)]
- [9] Eduardo, A.M. and Markus, S. 2018. A branch-and-cut algorithm for the maximum covering cycle problem. *Annals of Operations Research*, 284(4), 487-499.