



การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการจัดสมดุล  
สายการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

The Application of Optimization Technique in Production Line  
Balancing of Electronic Devices

เชษฐา ชำนาญหล่อ<sup>1\*</sup> จักรินทร์ กลั่นเงิน<sup>1</sup> และ ไตรภพ แซ่ตั้ง<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ชลบุรี 20230

\*Corresponding Author, Email: chettha@eng.src.ku.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาปัญหาการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้สามารถผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้า โดยการจัดสมดุลที่เหมาะสมของสายการผลิตด้วยการประยุกต์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ การจัดสมดุลสายการผลิตที่พิจารณาเงื่อนไขพื้นฐาน การจัดสมดุลสายการผลิตที่พิจารณาข้อจำกัดในการผลิต และการจัดสมดุลสายการผลิตแบบทรัพยากรร่วม ซึ่งวิธีการปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาและวิธีการทางฮิวริสติกส์ เช่น วิธีเฮลเจสันและเบอร์นีที่ปรับปรุง ได้ถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ และจากผลการทดลองเชิงคำนวณ แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่นำเสนอสามารถถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์การผลิตจริงได้อย่างเหมาะสม โดยมีค่าประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 87% สำหรับผลิตภัณฑ์ A และ 86% สำหรับผลิตภัณฑ์ B และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตเฉลี่ยเป็น 90.43% ในกรณียอมให้มีการใช้ทรัพยากรการผลิตร่วมกัน

### ABSTRACT

This paper studied the improvement of line efficiency of electronic devices production in order to meet demands. In many situations, the production line balancing is solved by applying the developed mathematical models such as the basic line balancing, the line balancing with restriction constraint, and the balanced lines considering merged resources. The current method of case study and the reviewed heuristic as Modified Helgeson-Birnie were used in the comparison. From the computational results, it can be shown that the proposed models

can be applied for solving the real situations appropriately. The line efficiencies are increased to become 87% of the product\_A and 86% of the product\_B. And, the averaged line efficiency can be increased to 90.43% if the case of merged resources is allowed.

**คำสำคัญ:** สมดุลสายการผลิต การจำลองทางคณิตศาสตร์ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด การผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

**Keywords:** Line balancing, Mathematical model, Optimization, Electronic devices production

## บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศโดยมีมูลค่าสูงถึง 1.7 ล้านล้านบาท มีสัดส่วนการส่งออกร้อยละ 23 ของการส่งออกรวมของประเทศ (สภาอุตสาหกรรม, 2556) ซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีการปรับตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการทั้งในและต่างประเทศที่เพิ่มสูงขึ้น จากมูลค่านำเข้าและส่งออกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้สภาวะการแข่งขันของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เริ่มมีความรุนแรงมากขึ้น ดังนั้น การปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถเพิ่มศักยภาพทางการแข่งขันได้ อย่างไรก็ตาม การจัดการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาการผลิตได้ไม่ทันตามเป้าหมายหรือผลิตได้ไม่ทันความต้องการของลูกค้า ซึ่งอาจมีผลมาจากประสิทธิภาพของสายการผลิตต่ำจากสมดุลสายการผลิตที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากเวลาการผลิตของแต่ละสถานีงานมีความแตกต่างกันมาก บางสถานีงานมีรอบเวลาการผลิตน้อย ในขณะที่บางสถานีงานมีรอบเวลาการผลิตมาก จากความแตกต่างของเวลานี้ ส่งผลให้สถานีงานที่ใช้รอบเวลาการผลิตมากเกิดปัญหาคอขวด และมีงานค้างอยู่ในระบบ (Work in process : WIP) กองคอก่อนเข้าในสถานีงานนี้เป็นจำนวนมาก ในขณะที่สถานีงานที่ใช้รอบเวลาการผลิตน้อยจะเกิดการว่างงาน ทำให้ไม่เกิดประโยชน์จากการใช้ทรัพยากรทั้งคน เครื่องจักร และอุปกรณ์ ดังนั้น การจัดสมดุลสายการผลิตที่เหมาะสม จึงควรได้รับการมุ่งเน้นศึกษาเพื่อปรับเวลาของสถานีงานต่างๆ ให้มีเวลาการผลิตที่ใกล้เคียงกันภายใต้อัตราความต้องการของลูกค้า และทำให้เกิดเวลาว่างของสถานีงาน (Idle time) น้อยที่สุดด้วย

การจัดสมดุลสายการผลิตประเภทต่างๆ ได้รับความสนใจในการศึกษาอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น Wei and Chao (2011) ได้นำเสนอการจัดสมดุลสายการผลิต (SALP-E) ซึ่งเป็นารรวมกันของการจัดสมดุลสายการผลิตประเภทที่ 1 และ 2 (SALBP-1, SALBP-2) นอกจากนี้ยังได้พัฒนาขั้นตอนวิธีแก้ปัญหาสำหรับรูปแบบที่ได้นำเสนอให้เข้าใจง่ายขึ้น สามารถนำไปปฏิบัติในการจัดสมดุลสายการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด และสามารถทำให้เวลาว่างงานน้อยที่สุดด้วย อย่างไรก็ตาม วิธี การจัดสมดุลสายการผลิตที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับการดำเนินการของแต่ละอุตสาหกรรมอีกด้วย ตัวอย่างเช่น สุทธิพันธ์ และภักสรดา (2556) ได้นำเสนอการจัดสมดุลสายการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการเกณฑ์เวลามากสุด วิธีการเกณฑ์เวลาน้อยสุด วิธีการเฮลเจสันและเบอร์นี (Helgeson-Birnle) และวิธีเฮลเจสันและเบอร์นีที่ถูกปรับปรุง (Modified

Helgeson-Birnie) ซึ่งเป็นวิธีการฮิวริสติกส์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจากเดิม 47% เป็น 83%

สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมรถยนต์ บรรเทาญ และณิกกุล (2554) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตโดยผสมผสานข้อดีระหว่างเทคนิคเรียงน้ำหนักตำแหน่งและเทคนิคคอมโซล (COMSOL technique) ซึ่งสามารถจัดสมดุลสายการผลิตได้ประสิทธิภาพสูงจากเดิม 87.67% เป็น 92.76% หลังจาก เพ็ญทิพย์ และวิสุทธิ์ (2556) ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตแชสซี (Chassis) ในบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งโดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ ได้แก่ วิธีเกณฑ์เวลายาวที่สุด วิธีเกณฑ์เวลาสั้นที่สุด และวิธีเกณฑ์น้ำหนักตำแหน่ง จากการวิเคราะห์พบว่า การจัดสมดุลการผลิตโดยใช้วิธีเกณฑ์น้ำหนักตำแหน่งให้ผลดีที่สุด โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจาก 50.03% เป็น 87.27%

งานวิจัยของ ภาณุภักดิ์ (2556) แสดงให้เห็นว่า วิธีการดิฟเฟอเรนเชียลเอพวอลูชัน (Differential evolution: DE) สามารถใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบเย็บในโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปที่มีผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวได้ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบจาก 65.39% เป็น 95.58% ในขณะที่ นุชสรุ และปรีชา (2555) ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่งในจังหวัดอุบลราชธานี โปรแกรมดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ฮิวริสติกส์ 4 วิธีการในการแก้ปัญหา ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถทำให้ค่าประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 55.48% เป็น 78.60%

ถึงแม้ว่าวิธีการทางฮิวริสติกส์จะได้รับความนิยมในการแก้ปัญหาทางการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization problems) แต่โดยส่วนใหญ่ ผลจากวิธีการดังกล่าวไม่อาจยืนยันว่าเป็นแนวทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ในขณะที่ วิธีการที่ให้ผลของคำตอบเหมาะสมที่สุด (Optimal solution) คือ การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models) ซึ่งจากการทบทวนและการแบ่งประเภทปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบของ Boysen et al. (2007) แสดงให้เห็นว่า มีงานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อาทิเช่น การโปรแกรมจำนวนเต็มฐานสอง (Binary integer-programming) สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบที่เป็นแบบขนาน (Parallel assembly lines) ซึ่งมีมากกว่าสองสายการประกอบผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันวางขนานกันและมีบางสถานีงานที่สามารถใช้ทรัพยากรในการผลิตร่วมกันได้ (Gokcen et al., 2006) การโปรแกรมจำนวนเต็มฐานสองสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบเชิงผสมผลิตภัณฑ์ (Mixed-model assembly line balancing) (Gokcen and Erel, 1998) และการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตลักษณะตัวยู (U-line balancing) ที่มีหลายเกณฑ์การตัดสินใจ (Multi-criteria) ด้วยการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer programming) (Gokcen and Agpak, 2006) นอกจากนี้ Essafi et al. (2010) ยังได้นำเสนอการโปรแกรมจำนวนเต็มเชิงผสม (Mixed-integer programming) สำหรับการจัดสมดุลสายการผลิตที่มีความยืดหยุ่นซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติที่มีลักษณะเหมือนกัน โดยมีสมการเป้าหมายเพื่อทำให้จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด (Minimizing total number of machines) ซึ่งส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตให้ดีขึ้น

จากการทบทวนงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่า การลดจำนวนสถานีงานหรือเครื่องจักรให้น้อยที่สุด เป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต โดยการคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิตเช่นดัง สมการที่ (1) ซึ่งถูกใช้เป็นตัววัดผลที่ได้จากการจัดสมดุลด้วยวิธีการต่างๆ

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{m \times Ct} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่  $E$  คือ เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพสายการผลิต ซึ่งได้มาจากผลรวมของงานย่อย ( $t_i$ ) ทั้งหมด หาร ด้วยจำนวนสถานีงาน ( $m$ ) ซึ่งคูณกับรอบเวลาการผลิต ( $Ct$ ) และสุดท้าย ค่าที่ได้จะถูกแปลงเป็นเปอร์เซนต์

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการแก้ปัญหาในสายการผลิตตามที่ได้กล่าวไว้โดยการจัดสมดุลสายการผลิต อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อจากงานของ สุทธินันท์ และลักสรดา (2556) ด้วยการพัฒนาแบบทางคณิตศาสตร์ หลากหลายรูปแบบที่มีสมการเป้าหมายในการทำให้จำนวนสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด เพื่อการแก้ไขปัญหาที่มี ประสิทธิภาพและสามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดในการจัดสมดุลสายการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และสามารถนำ แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์นี้ไปประยุกต์กับสถานการณ์การผลิตจริงได้

## วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในบทความนี้ ประกอบด้วย 1) การศึกษากระบวนการผลิตอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติในอุตสาหกรรมกรณีศึกษา 2) การออกแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาในกรณีศึกษา 3) การจัดสมดุลสายการผลิตที่มีข้อจำกัดการผลิต และ 4) การจัดสมดุลสายการผลิตแบบทรัพยากรร่วม ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

### 1. การศึกษากระบวนการผลิตอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติ

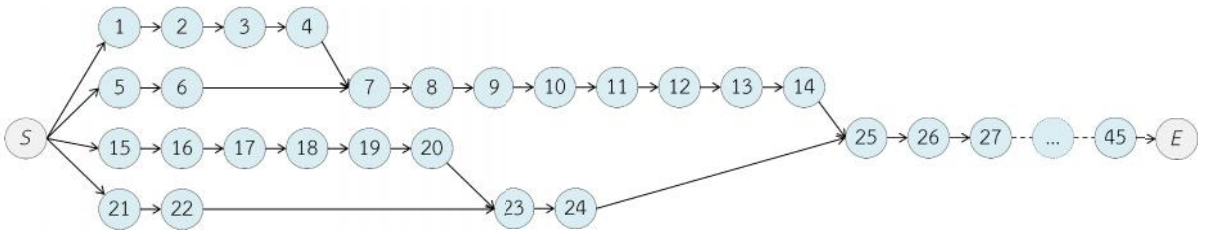
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษากระบวนการผลิตอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติจากโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัด ปทุมธานี โดยผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 2 รุ่นที่ได้ทำการศึกษา ได้แก่ ผลิตภัณฑ์รุ่น A และ B ซึ่งประกอบด้วยงานย่อย ทั้งหมดจำนวน 45 และ 44 งานย่อยตามลำดับ รวมทั้งถูกผลิตด้วยสถานีงานจำนวนสถานีงาน 26 และ 25 สถานี สำหรับผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่นตามลำดับ เวลาการทำงานต่อวันแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 4 ชั่วโมงสำหรับช่วงเช้า 5 ชั่วโมงสำหรับช่วงบ่าย และ 3 ชั่วโมงสำหรับช่วงนอกเวลา (OT) รวมเป็นเวลาการทำงานทั้งหมด 12 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งในปัจจุบันสามารถผลิตได้เพียง 3,313 ชิ้นต่อวัน ในขณะที่เป้าหมายในการผลิต คือ 4,200 ชิ้นต่อวัน ซึ่งทำให้ รอบเวลาการผลิตที่ต้องการ คือ 10.23 วินาที การดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของ ความสัมพันธ์ลำดับงานก่อนหลัง (ดังรูปที่ 1 และ 2) และเวลามาตรฐาน (ดังตารางที่ 1) ซึ่งได้รับการศึกษาเวลา และการทำงานมาแล้วเป็นอย่างดี โดยเฉพาะการลดความสูญเสียเปล่าด้วยหลักการกำจัด การรวม การจัดใหม่ และการทำให้ง่าย (Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify: ECRS) จากงานวิจัยของ สุทธินันท์ และ ลักสรดา (2556) ในการปรับปรุงเวลาการทำงานของแต่ละงานย่อย

ตารางที่ 1 เวลามาตรฐานต่องานในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่น A และ B

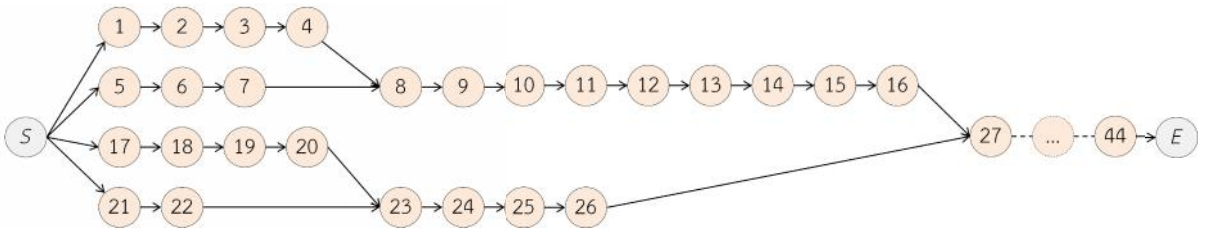
| สถานีงานที่ | ลำดับงาน<br>ย่อย | เวลา<br>มาตรฐาน<br>ของงาน<br>(sec) | เวลา<br>มาตรฐาน<br>ของสถานี<br>งาน (sec) | สถานีงานที่ | ลำดับงาน<br>ย่อย | เวลา<br>มาตรฐาน<br>ของงาน<br>(sec) | เวลา<br>มาตรฐาน<br>ของสถานี<br>งาน<br>(sec) |
|-------------|------------------|------------------------------------|--|-------------|------------------|------------------------------------|---|
| 1           | 1                | 8.43                               | 12.38                                    | 13          | 24               | 4.15                               | 4.15  |
|             | 2                | 3.95                               |  |             | 25               | 2.86                               |   |
| 2           | 3                | 4.57                               | 8.06                                     | 14          | 26               | 1.74                               | 4.6   |
|             | 4                | 3.49                               |  |             | 27               | 1.12                               |   |
| 3           | 5                | 3.38                               | 9.06                                     | 15          | 28               | 3.45                               | 5   |
|             | 6                | 5.68                               |  |             | 29               | 1.55                               |   |
| 4           | 7                | 3.39                               | 3.39                                     | 16          | 30               | 3.4                                | 7.81  |
|             | 8                | 4.67                               |  |             | 31               | 4.41                               |   |
| 5           | 9                | 4.59                               | 9.26                                     | 17          | 32               | 10.23                              | 13.04                                       |
|             | 10               | 3.38                               |  |             | 33               | 2.82                               |   |
| 6           | 11               | 4.49                               | 7.87                                     | 18          | 34               | 3.53                               | 4.76  |
|             | 12               | 2.21                               |  |             | 35               | 1.24                               |   |
| 7           | 13               | 2.32                               | 6.81                                     | 19          | 36               | 2.26                               | 9.04  |
|             | 14               | 2.28                               |  |             | 37               | 3.36                               |   |
| 8           | 15               | 3.2                                | 4.57                                     | 20          | 38               | 3.42                               | 3.46  |
|             | 16               | 1.37                               |  |             | 39               | 3.46                               |   |
| 9           | 17               | 3.09                               | 4.47                                     | 21          | 40               | 3.45                               | 3.45  |
|             | 18               | 1.38                               |  |             | 41               | 4.61                               |   |
| 10          | 19               | 2.47                               | 3.88                                     | 22          | 42               | 3.12                               | 6.56  |
|             | 20               | 1.41                               |  |             | 43               | 3.43                               |   |
| 11          | 21               | 2.8                                | 4.45                                     | 23          | 44               | 3.55                               | 3.55  |
|             | 22               | 1.65                               |  |             | 45               | 3.5                                |   |
| 12          | 23               | 4.34                               | 4.34                                     | 26*         | 45               | 3.5                                | 3.5   |

หมายเหตุ \* คือ สถานีงานที่มีการดำเนินการเฉพาะผลิตภัณฑ์ A เท่านั้น

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นเวลามาตรฐานต่องานย่อยแต่ละงานในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่น โดยผลิตภัณฑ์ A มี 45 งานย่อย 26 สถานีงาน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ B มี 44 งานย่อย 25 สถานีงาน ซึ่งแต่ละสถานีงานมีพนักงาน 1 คนปฏิบัติงาน



รูปที่ 1 แผนผังลำดับขั้นตอนงานก่อน-หลัง ของผลิตภัณฑ์ A



รูปที่ 2 แผนผังลำดับขั้นตอนงานก่อน-หลัง ของผลิตภัณฑ์ B

2. การออกแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์

จากปัญหากรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ ถือเป็นหนึ่งในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization problem) ซึ่งสามารถใช้วิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical modeling) ในการแก้ปัญหาเพื่อการจัดสมดุลสายการผลิตให้มีประสิทธิภาพสายการผลิตสูงสุดจากจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด ซึ่งจากลักษณะของปัญหาที่กล่าวมาเบื้องต้นสามารถกำหนดตัวแปรและเครื่องหมายต่างๆ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

สัญลักษณ์ (Notation)

- $i$  : ดัชนีของงานย่อย ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
- $j$  : ดัชนีของสถานีงาน ( $j = 1, 2, \dots, m$ )
- $k$  : ดัชนีของงานย่อยที่ตามหลังดัชนีงานย่อย  $i$  ( $k = i+1; k \leq n$ )
- $n$  : จำนวนของงานย่อยทั้งหมด
- $m$  : จำนวนสถานีงานที่คาดหวัง
- $t_i$  : เวลาการทำงานของงานย่อยที่  $i$
- $Ct$  : รอบเวลาการผลิต (มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0)
- $pre$  : เซตลำดับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของแต่ละงานย่อย (Precedence diagram)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$x_{ij}$  : มีค่าเป็น 1 เมื่องานย่อยที่  $i$  ถูกจัดอยู่ในสถานีนงาน  $j$ ; มีค่าเป็น 0  
ในกรณีอื่นๆ

$m^*$  : จำนวนสถานีนงานที่น้อยที่สุด

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

$$\text{Minimize } Z = m^* \quad (2)$$

Such that

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i(x_{ij}) \leq Ct \quad ; \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m j(x_{ij}) \leq \sum_{j=1}^m j(x_{kj}) \quad ; \quad \forall i, k \in pre \quad (5)$$

$$j(x_{ij}) \leq m^* \quad ; \quad \forall i, j \quad (6)$$

$$m^* \leq m \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad ; \quad \forall i, j \quad (8)$$

การจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการจัดสมดุลสายการผลิตในรูปแบบของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer linear programming) ซึ่งมีสมการเป้าหมาย (Objective function) ในการหาจำนวนสถานีนงานน้อยที่สุดดังสมการที่ (2) ที่ทำให้ประสิทธิภาพสายการผลิตสูงสุด ภายใต้เงื่อนไขทั้งหมด 6 ข้อจำกัด โดยมีรายละเอียดดังนี้ สมการที่ (3) เป็นการกำหนดเงื่อนไขของการจัดงานย่อยเข้าสถานีนงานโดยที่งานย่อยแต่ละงานนั้นสามารถจัดเข้าในสถานีนงานได้เพียง 1 สถานีนงานเท่านั้น ในขณะที่สมการที่ (4) แสดงข้อจำกัดที่ว่าผลรวมเวลาของงานย่อยที่ถูกจัดเข้าไปในแต่ละสถานีนงาน ต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิต สมการที่ (5) ทำให้แน่ใจว่าการจัดงานย่อยเข้าสถานีนงานแต่ละสถานีนงานเป็นไปตามลำดับความสัมพันธ์ก่อน-หลัง สมการที่ (6) และ (7) เป็นการกำหนดจำนวนสถานีนงานที่น้อยที่สุดที่ได้จากการสมดุลสายการผลิต ซึ่งจำนวนสถานีนงานที่น้อยที่สุด ( $m^*$ ) ต้องไม่เกินจำนวนสถานีนงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ( $m$ ) สุดท้ายสมการที่ (8) เป็นข้อจำกัดที่ใช้ในการกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจสำหรับการจำลองปัญหานี้

### 3. การจัดสมดุลสายการผลิตที่มีข้อจำกัดในการผลิต

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอในเบื้องต้นสามารถถูกนำมาใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิตในอุตสาหกรรมกรณีศึกษาที่มีการพิจารณาเงื่อนไขพื้นฐาน อย่างไรก็ตาม สถานการณ์การผลิตในปัจจุบันมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ลักษณะเฉพาะของฝีมือแรงงานและเครื่องมืออุปกรณ์ที่จำกัด ส่งผลทำให้ความสามารถในการทำงานของบางสถานีนงานมีลักษณะเฉพาะต่อการปฏิบัติงานสำหรับบางงานย่อยเท่านั้น

ดังนั้น การจำลองทางคณิตศาสตร์พื้นฐานเบื้องต้น จึงต้องได้รับการปรับปรุงให้มีความเหมาะสมต่อสถานการณ์ในปัจจุบันมากขึ้นด้วยการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการพิจารณาเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดในการผลิต โดยใช้สมการที่ (9) และ (10) แทนที่สมการที่ (4) พร้อมทั้งกำหนดให้  $n_j$  เป็นเซตของงานย่อยที่เป็นไปได้สำหรับสถานีนงาน

งานที่  $j$  ( $n_j \subseteq n$ ) ดังนั้น เงื่อนไขที่เพิ่มเข้าไปใหม่นี้เป็นการทำให้แน่ใจว่าการจัดงานย่อยให้กับบางสถานีงานจะอยู่ภายใต้ขอบเขตของเซต  $n_j$  เท่านั้น และตัวแปร  $x_{ij}$  จะถูกกำหนดให้เป็น 0 เมื่องานย่อยนั้นๆ ไม่ได้เป็นสมาชิกของเซต  $n_j$

$$\sum_{i \in n_j} t_i(x_{ij}) \leq Ct \quad ; \quad \forall j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$x_{ij} \leq 0 \quad ; \quad \forall j = 1, 2, \dots, m ; i \notin n_j \quad (10)$$

#### 4. การจัดสมดุสสายการผลิตแบบทรัพยากรร่วม

ในอุตสาหกรรมกรณีศึกษา การผลิตผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่นที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ มีการดำเนินกิจกรรมการผลิตไปตามสถานีงานต่างๆ โดยแยกออกเป็นสายการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นโดยไม่มี การปะปนกัน อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่า การผลิตในสายการผลิตของทั้งสองผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บางสถานีงานถูกกำหนดให้ปฏิบัติงานย่อยในลักษณะเดียวกัน ซึ่งทำให้ทรัพยากร (Resources) ต่างๆ ต้องถูกจัดไว้สำหรับสายการผลิตทั้งสองสายการผลิต ดังนั้น เพื่อไม่ให้ทรัพยากรบางอย่างถูกใช้อย่างเปล่าประโยชน์ เช่น การทำให้เกิดเวลารอคอยมากเกินไป ดังนั้น การผลิตในลักษณะขนานที่สามารถใช้ทรัพยากรบางอย่างร่วมกันสำหรับสถานีงานที่สามารถรวมกันได้ จะช่วยให้การดำเนินการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งต้องอาศัยการจัดสมดุสที่เหมาะสมต่อการผลิตแบบทรัพยากรร่วมที่บางสถานีงานสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ทั้ง 2 รุ่น โดยมุ่งเน้นให้ประสิทธิภาพของทั้งสองสายการผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถเขียนสมการเงื่อนไขการทำงานแบบทรัพยากรร่วมได้ โดยการแทนสมการที่ (3) ในแบบจำลองพื้นฐานด้วยสมการที่ (11) (12) และ (13) ดังนี้

$$\sum_{j=1}^{m'} x_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i = 1, 2, \dots, n' \quad (11)$$

$$\sum_{j=m'+1}^{m''} x_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i = n'+1, n'+2, \dots, n'+n'' \quad (12)$$

$$x_{ij} \geq x_{lj} \quad ; \quad \forall j \in \text{merge}; i = 1, 2, \dots, n'; l = n'+1, n'+2, \dots, n'+n'' \quad (13)$$

เมื่อกำหนดให้

- $n'$  : จำนวนงานย่อยของผลิตภัณฑ์รุ่น A
- $n''$  : จำนวนงานย่อยของผลิตภัณฑ์รุ่น B
- $m'$  : จำนวนสถานีงานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่น A
- $m''$  : จำนวนสถานีงานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่น B
- $\text{merge}$  : เซตของสถานีงานที่สามารถใช้สำหรับงานย่อยของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 รุ่น

#### ผลการวิจัย

จากการทดลองเชิงเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้ วิธีปฏิบัติในปัจจุบัน (Current practice) และวิธีเฮลเจสันและเบอร์นีที่ถูกปรับปรุง (Modified Helgeson-Birnie) จากงานวิจัยของ สุทธิพันธ์ และ ลภัสสรดา (2556) ซึ่งเป็นวิธีการทางฮิวริสติกส์ที่ตีวิธีหนึ่ง แสดงให้เห็นว่า รูปแบบทาง



คณิตศาสตร์ที่พิจารณาเงื่อนไขพื้นฐานสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสมในการจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งสองรุ่น

**ตารางที่ 2** ผลการเปรียบเทียบการจัดสมดุลสายการผลิตที่พิจารณาเงื่อนไขพื้นฐาน

| ผลิตภัณฑ์รุ่น | Current Practice |             | Modified Helgeson-Birnie |             | Mathematical Model |             |
|---------------|------------------|-------------|--------------------------|-------------|--------------------|-------------|
|               | จำนวน            | ประสิทธิภาพ | จำนวน                    | ประสิทธิภาพ | จำนวน              | ประสิทธิภาพ |
|               | สถานีงาน         | สายการผลิต  | สถานีงาน                 | สายการผลิต  | สถานีงาน           | สายการผลิต  |
| A             | 26               | 47%         | 18                       | 83%         | 17                 | 87%         |
| B             | 25               | 42%         | 19                       | 84%         | 18                 | 86%         |

ผลการคำนวณในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า การผลิตผลิตภัณฑ์ A สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจากเดิม 47% เป็น 87% และสามารถลดจำนวนสถานีงานลงจากเดิม 26 สถานี เป็น 17 สถานี ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ B สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจากเดิม 42% เป็น 86% และสามารถลดจำนวนสถานีงานลงจากเดิม 25 สถานี เป็น 18 สถานี โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจัดสมดุลสายการผลิตทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์

**ตารางที่ 3** ผลสรุปการจัดสมดุลสายการผลิตเมื่อพิจารณาข้อจำกัดในการผลิต

| ผลิตภัณฑ์รุ่น | จำนวนสถานีงาน | ประสิทธิภาพสายการผลิต |
|---------------|---------------|-----------------------|
| A             | 18            | 83%                   |
| B             | 19            | 85%                   |

การจัดสมดุลสายการผลิตในบางสถานการณ์ บางสถานีงานสามารถทำงานย่อยได้เพียงบางงานเท่านั้น เนื่องจากความไม่พอเพียงของอุปกรณ์เครื่องมือ อาทิเช่น สถานีงานที่ 2, 4, 5, 6, 7, และ 11 เป็นต้น ดังนั้น การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงควรพิจารณาข้อจำกัดในการผลิต (Restriction condition) ประกอบด้วย ซึ่งตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองการจัดสมดุลสายการผลิตเมื่อพิจารณาข้อจำกัดในการผลิต โดยผลิตภัณฑ์รุ่น A มีประสิทธิภาพสายการผลิตเท่ากับ 83.09% ด้วยจำนวน 18 สถานีงาน และผลิตภัณฑ์รุ่น B มีประสิทธิภาพสายการผลิตเท่ากับ 85.56% ด้วยจำนวน 19 สถานีงาน

อย่างไรก็ดี ในสถานการณ์การผลิตจริงสำหรับผลิตภัณฑ์ทั้งสองรุ่น บางสถานีงานสามารถนำมารวมกัน (Merge) โดยการใช้ทรัพยากรรวมกันได้ กล่าวคือ บางสถานีงานในสายการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่น A และบางสถานีงานในสายการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่น B ที่มีความสามารถในการผลิตสูง (High capacity) และมีลักษณะการผลิตเหมือนกันสามารถถูกรวมกันและถูกใช้ในการปฏิบัติงานย่อยร่วมกัน ดังนั้น การประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ในลำดับถัดมา คือ การจัดสมดุลสายการผลิตที่ยอมให้การผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งสองรุ่นสามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ในบางสถานีงาน

**ตารางที่ 4** ผลสรุปการจัดสมดุสลายการผลิตเมื่อสามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้

| ครั้งที่ | จำนวนสถานีงาน | ประสิทธิภาพสลายการผลิต<br>Product A & Product B |
|----------|---------------|---|
| 1        | 35            | 89.54%  |
| 2        | 34            | 90.32%  |
| 3        | 35            | 90.78%  |
| 4        | 35            | 91.42%  |
| 5        | 35            | 89.78%  |
| 6        | 36            | 90.45%  |
| 7        | 35            | 90.78%  |
| 8        | 38            | 91.22%  |
| 9        | 35            | 89.43%  |
| 10       | 35            | 90.58%  |
| เฉลี่ย   | 35.3          | 90.43%  |

ผลการจัดสมดุสลายการผลิตเมื่อสามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ ที่แสดงในตารางที่ 4 มาจากการประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์คำนวณค่าตอบโดยใช้เวลาในการผลิตที่แตกต่างกันทั้งหมด 10 วัน วันละชุดข้อมูล ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ ผลิตภัณฑ์รุ่น A และผลิตภัณฑ์รุ่น B มีประสิทธิภาพของสลายการผลิตรวมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 90.43% มีจำนวนสถานีงานเฉลี่ยเท่ากับ 35 สถานี (หรืออาจกล่าวได้ว่า 17.5 สถานีงานต่อรุ่นผลิตภัณฑ์)

### สรุปผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพสลายการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น A และ B โดยได้มุ่งเน้นการพัฒนาในรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุสลายการผลิตในสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ การจัดสมดุสลายการผลิตที่พิจารณาเงื่อนไขพื้นฐาน การจัดสมดุสลายการผลิตที่พิจารณาข้อจำกัดในการผลิต และการจัดสมดุสลายการผลิตที่สามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ ซึ่งจากผลการทดลองเชิงคำนวณ แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถถูกนำมาประยุกต์และปรับใช้ได้อย่างดีสำหรับการจัดสมดุสลายการผลิตในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้น ประสิทธิภาพสลายการผลิตจากทุกรูปแบบจึงให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพสลายการผลิตดีกว่าวิธีการปัจจุบันและวิธีการทางฮิวริสติกส์

มากกว่านั้น ในการจัดสมดุสลายการผลิตที่พิจารณาเพียงเงื่อนไขพื้นฐานอาจให้ค่าประสิทธิภาพสลายการผลิตที่ดีที่สุด แต่ในบางสถานการณ์ของการดำเนินการผลิตอาจไม่ราบรื่นด้วยเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ดังนั้น การจัดสมดุสลายการผลิตที่ต้องพิจารณาข้อจำกัดในการผลิตประกอบด้วยจึงมีความน่าสนใจและมีความเหมาะสมมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น 2 สลายการผลิตที่ดำเนินการผลิตขนานกัน ซึ่งอาจมีบางสถานีงานที่มีความคล้ายคลึงกันและมีความสามารถในการผลิตสูง ก็สามารถจัดสมดุสลายการผลิตทั้ง 2 สลายการผลิตโดยการใช้ทรัพยากรในการผลิตร่วมกันได้ ดังเช่น การประยุกต์ใช้การจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุสลายการผลิตแบบทรัพยากรร่วม ซึ่งจะ

ช่วยให้ประสิทธิภาพสายการผลิตโดยรวมเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากสถานงานได้เต็มประสิทธิภาพอีกด้วย

### เอกสารอ้างอิง

- นุชสรุภา เกรียงกรกฎ และ ปรีชา เกรียงกรกฎ. (2555). โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบ. ระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. อุบลราชธานี.
- บรรพทัญญู ลีลา และ นิชกุล ไชยสร. (2554). การพัฒนาเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตภายใต้ข้อจำกัดขอบเขตพื้นที่และอุปกรณ์. มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.
- เพ็ญทิพย์ บำรุงเจริญ และ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์. (2556). การประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต กรณีศึกษา: สายประกอบแซสซีส์โรงงานประกอบรถยนต์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พิภพ ลลิตาภรณ์. (2548). ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต. (พิมพ์ครั้งที่ 11). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 634 น.
- ภาณุภัณฑ์ ภาระเวช. (2556). การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธีดีฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชัน. ระดับปริญญาตรี. Princess of Naradhiwas University. นราธิวาส.
- วิภาวรรณ สิงห์พริ้ง. (2543). การวิจัยการดำเนินงาน. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: บริษัท เพื่อนพิมพ์ จำกัด. 427 น.
- สมเกียรติ รุจิเกียรติกำจร. (2537). การวิจัยดำเนินงาน. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 323 น.
- สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2556). สัดส่วนการเติบโตของการนำเข้าและส่งออกอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. แหล่งข้อมูล: <http://www.fti.or.th>
- สุทธินันท์ ปานหมี และ ภัทสรดา พันธุกุล. (2556). การจัดสมดุลสายการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. ระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา. ชลบุรี.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม. OFFICE OF INDUSTRIAL ECONOMICS. เอกสารเผยแพร่อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. แหล่งข้อมูล: <http://www.oie.go.th/index>
- Gokcen, H. and Erel, E. (1998). Binary integer formulation for mixed-model assembly line balancing problem. Computers and Industrial Engineering 34(2): 451-461.
- Gokcen, H. and Agpak, K. (2006). A goal programming approach to simple U-line balancing problem. European Journal of Operational Research 171: 577-585.
- Gokcen, H., Agpak, K. and Benzer, R. (2006). Balancing of parallel assembly lines. International Journal of Production Economics 103: 600-609.
- Wei, NC. and Chao, IM. (2011). A solution procedure for Type E simple assembly line balancing problem. Computers & Industrial Engineering 61(3): 824-830.
- Boysen, N., Flieder, M. and Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. European Journal of Operational Research 183: 674-693.
- Essafi, M., Delorme, X., Dolgui, A. and Guschinskaya, O. (2010). A MIP approach for balancing transfer line with complex industrial constraints. Computers & Industrial Engineering 58(3): 393-400.

