การประยุกต์ใช้วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบสำหรับการผลิตช่องแอร์รถยนต์

An Application of Assembly Line Balancing Methods for Producing Vehicle's Air Outlets

ธนัญญา ฉมารัตน์[1] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์[2]

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เขตสวนหลวง, กรุงเทพฯ 10250
[1]thananya.champ@gmail.com
[2]pisut@tni.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพความสมดุลของสายการประกอบในการผลิตช่องแอร์รถยนต์ของโรงงานแห่งหนึ่ง โดยทำการประยุกต์ใช้วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบต่างๆ กับสายการผลิตช่องแอร์รถยนต์จำนวน 3 สายการผลิตที่มีประสิทธิภาพความสมดุลต่ำ และนำผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากวิธีทั้งหมดมาเปรียบเทียบเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมกับสายการผลิตช่องแอร์รถยนต์ของโรงงานแห่งนั้นมากที่สุด ผลลัพธ์จากวิธีที่ดีที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพความสมดุลได้ถึง 13.3% จากประสิทธิภาพความสมดุลก่อนปรับปรุง

คำสำคัญ: ปัญหาสมดุลสายการประกอบ, ประสิทธิภาพความสมดุล, ช่องแอร์รถยนต์

ABSTRACT

This research aims at improving the assembly line balance efficiencies on producing the vehicle's air outlets in a factory. To do so, this research applies a number of assembly line balancing methods on the three production lines which have low balance efficiencies. This research finally compares the results of those methods in order to find out the most proper method for the vehicle's air-outlet production lines in the factory. The most proper method revealed here results in the 13.3% average balance efficiency improvement from the current production.

Keywords: Assembly Line Balancing Problem, Balance Efficiency, Vehicle's Air Outlet.

1) บทนำ

งานวิจัยนี้มีเป้าประสงค์หลัก คือ การปรับปรุงประสิทธิภาพความสมดุลของสายการประกอบในการผลิตช่องแอร์รถยนต์ของโรงงานแห่งหนึ่ง สายการประกอบที่ถูกพิจารณาเลือกทำการปรับปรุงในงานวิจัยนี้คือสายการผลิตโมเดลที่มีประสิทธิภาพความสมดุล (Balance Efficiency) ที่ต่ำและโรงงานยังคงมีแผนการผลิตโมเดลเหล่านี้ต่อไปในอนาคต ดังนั้น เพื่อให้เป้าประสงค์ที่วางไว้ประสบผลสำเร็จ งานวิจัยนี้จึงได้เลือกวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing Methods) แบบต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับสายการผลิตช่องแอร์รถยนต์ของโมเดลที่ต้องการปรับปรุง จากนั้นงานวิจัยนี้จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมาเปรียบเทียบ เพื่อหาวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายการผลิตช่องแอร์รถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาแห่งนี้

2) นิยามของปัญหาและคำศัพท์ที่ใช้ในงานวิจัย

ปัญหาสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing Problem) คือ ปัญหาที่ต้องการจัดเรียงองค์ประกอบงานทั้งหมด (ซึ่งเท่ากับ n_e องค์ประกอบงาน) ให้กับสถานีงานในสายการประกอบเพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามเวลารอบการทำงาน (Cycle Time) ที่โรงงานกำหนดและเป็นไปตามข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพความสมดุล (Balance Efficiency) สูงสุด งานวิจัยนี้ใช้คำย่อ, นิยาม และคำศัพท์เหมือนกับที่ใช้ใน [1, 2] ดังต่อไปนี้

- T_{ek} คือ เวลาองค์ประกอบงาน (Work Element Time) ขององค์ประกอบงานที่ k (เมื่อ k = 1, 2,..., n_e) โดย n_e คือ องค์ประกอบงานลำดับสุดท้าย และดังนั้น n_e จึงเท่ากับจำนวนขององค์ประกอบงานทั้งหมดในสายการประกอบด้วย
- T_cคือ เวลารอบการทำงาน (Cycle Time) ที่มากที่สุดที่ยอมรับได้ซึ่งถูกกำหนดจากทางโรงงาน โดยเวลารอบการทำงานของแต่ละสายการประกอบ คือ เวลาเฉลี่ยระหว่างการผลิตเสร็จสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์ 2 ชิ้นที่ผลิตต่อกัน หรือก็คือเวลาเฉลี่ยที่ผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้นจะออกมาจากสถานีงานสุดท้ายของสายการประกอบ
- T_rคือ เวลาการกลับสู่ที่เดิม (Repositioning Time) ซึ่งก็คือเวลารวมในการหยิบชิ้นงานออกจากสายพานมาดำเนินการที่พื้นที่ทำงานและหยิบชิ้นงานวางคืนสู่สายพานเมื่อดำเนินการเสร็จ งานวิจัยนี้กำหนดให้ทุกๆ สถานีงานในสายการประกอบเดียวกันมีเวลาการกลับสู่ที่เดิมเท่ากัน
- T_{si} คือ เวลาทำงาน (Service Time) ของสถานีงานที่ i โดยมีข้อกำหนดว่าเวลาทำงานของแต่ละสถานีต้องไม่เกินเวลาทำงานสูงสุดที่ยอมรับได้ ซึ่งย่อว่า T_s โดย $T_s = T_c - T_r$

- E_b คือ ประสิทธิภาพความสมดุล (Balance Efficiency) โดย $E_b = \sum_{k=1...n_e} T_{ek} / n\text{Max}(T_{si})$ เมื่อ n คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด

3) วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบที่ใช้ในงานวิจัย

วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing Methods) ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ กลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มของวิธีที่จัดเรียงองค์ประกอบงานตามข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) แบบปรกติ และกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มของวิธีที่จัดเรียงองค์ประกอบงานตามข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) แบบย้อนหลัง วิธีในกลุ่มที่ 1 แต่ละวิธีมีการกำหนดความสำคัญในการเลือกองค์ประกอบงานที่เป็นเอกลักษณ์แตกต่างกัน อย่างไรก็ดี วิธีทั้งหมดในกลุ่มที่ 1 จะมีขั้นตอนทั่วไปที่เหมือนกันดังต่อไปนี้

ขั้นตอนทั่วไปของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 1:

1. กำหนดให้ $i = 1$
2. เลือกองค์ประกอบงานจำนวน 1 องค์ประกอบงานที่มีความสำคัญ (Priority) สูงสุดจากองค์ประกอบงานทั้งหมดที่ยังไม่เคยถูกเลือกจัดลงสายการประกอบและไม่ขัดแย้งกับข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) เพื่อจัดให้กับสถานีงานที่ i โดยไม่ทำให้เวลาทำงานของสถานีงานที่ i เกินเวลาทำงานสูงสุดที่ยอมรับได้ (T_s) จากนั้นให้ดำเนินการซ้ำในขั้นตอนที่ 2 นี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่มีองค์ประกอบงานที่เข้าเงื่อนไขที่จะเลือกได้เหลืออยู่เลย จึงข้ามไปดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 3
3. ถ้าการจัดองค์ประกอบงานทั้งหมดลงสายการประกอบเสร็จสิ้นแล้ว ให้กำหนดสถานีงานที่ i เป็นสถานีงานสุดท้าย (นั่นคือ $n = i$) และให้หยุดการคำนวณ แต่ถ้ายังมีองค์ประกอบงานที่ยังไม่ถูกจัดลงสายการประกอบเหลืออยู่ ให้เพิ่มค่า i ขึ้นโดยการบวก 1 แล้วกลับไปดำเนินการในขั้นตอนที่ 2

ดังที่กล่าวมา วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 1 ทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความแตกต่างกันที่ลำดับของความสำคัญ (Priorities) ที่ใช้ในขั้นตอนที่ 2 ในขั้นตอนทั่วไปของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 1 ดังต่อไปนี้

- วิธี LCR (Largest Candidate Rule) มีการจัดลำดับความสำคัญขององค์ประกอบงานโดยการเลือกองค์ประกอบงานที่มีเวลาองค์ประกอบงานมากกว่าก่อน [1]
- วิธี RPW (Ranked Positional Weight Method) เลือกองค์ประกอบงานที่มีค่า RPW สูงสุดก่อน โดยค่า RPW ขององค์ประกอบงานหนึ่งๆ คือ ผลรวมเวลาองค์ประกอบงานขององค์ประกอบงานนั้นกับองค์ประกอบงานที่ตามหลังองค์ประกอบงานนั้นตลอดสายของข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) ทั้งหมด [1, 3]
- วิธี MFWEL (Most Following Work Element Method using Longest Work Element Time Rule as the Secondary Criterion) เลือกองค์ประกอบงานที่มีจำนวนองค์ประกอบงานตามหลังตลอดสายของข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) มากที่สุดก่อน ในกรณีที่องค์ประกอบงานซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบงานตามหลังมากที่สุดนั้นมีจำนวนมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบงาน ให้เลือกองค์ประกอบงานที่มีเวลาองค์ประกอบงานสูงสุดจากองค์ประกอบงานเหล่านั้น [4-5]
- วิธี MFWES (Most Following Work Element Method using Shortest Work Element Time Rule as the Secondary Criterion) เลือกองค์ประกอบงานที่มีจำนวนองค์ประกอบงานตามหลังตลอดสายของข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) มากที่สุดก่อน ในกรณีที่องค์ประกอบงานซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบงานตามหลังมากที่สุดนั้นมีจำนวนมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบงาน ให้เลือกองค์ประกอบงานที่มีเวลาองค์ประกอบงานต่ำสุดจากองค์ประกอบงานเหล่านั้น [2]
- วิธี LFWEL (Least Following Work Element Method using Longest Work Element Time Rule as the Secondary Criterion) เลือกองค์ประกอบงานที่มีจำนวนองค์ประกอบงานตามหลังตลอดสายของข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) น้อยที่สุดก่อน ในกรณีที่องค์ประกอบงานซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบงานตามหลังน้อยที่สุดนั้นมีจำนวนมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบงาน ให้เลือกองค์ประกอบงานที่มีเวลาองค์ประกอบงานสูงสุดจากองค์ประกอบงานเหล่านั้น
- วิธี LFWES (Least Following Work Element Method using Shortest Work Element Time Rule as the Secondary Criterion) เลือกองค์ประกอบงานที่มีจำนวนองค์ประกอบงานตามหลังตลอดสายของข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) น้อยที่สุดก่อน ในกรณีที่องค์ประกอบงานซึ่งมีจำนวนองค์ประกอบงานตามหลังน้อยที่สุดนั้นมีจำนวนมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบงาน ให้เลือกองค์ประกอบงานที่มีเวลาองค์ประกอบงานต่ำสุดจากองค์ประกอบงานเหล่านั้น

สำหรับวิธี Least Following Work Element Method, วิธี Longest Work Element Time Rule และวิธี Shortest Work Element Time Rule สามารถสืบค้นได้จาก [6-7]

สำหรับวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 2 นั้น คือการจัดสมดุลสายการประกอบแบบย้อนหลัง ซึ่งทุกๆ วิธีในกลุ่มที่ 2 มีขั้นตอนทั่วไปที่เหมือนกัน โดยขั้นตอนที่ 2 ในขั้นตอนทั่วไปของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 2 คือ การนำขั้นตอนทั่วไปของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 1 มาใช้ ดังนั้น ขั้นตอนทั่วไปของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 2 เป็นดังต่อไปนี้

ขั้นตอนทั่วไปของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 2:

1. กลับทิศทางของข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraints) ทั้งหมดของปัญหา โดยการกลับทิศของหัวลูกศรทั้งหมดบนแผนภาพลำดับก่อนหลัง (Precedence Diagram) และให้ใช้ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลังที่กำหนดขึ้นใหม่นี้ในขั้นตอนที่ 2

2. ดำเนินการตามขั้นตอนทั่วไปของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 1 จนกว่าการจัดเรียงจะเสร็จสิ้น จากนั้นจึงดำเนินการในขั้นตอนถัดไป
3. จัดเรียงองค์ประกอบงานใหม่เพื่อให้ใช้งานได้จริง ดังนี้คือ องค์ประกอบงานใดที่ถูกจัดในสถานีงานที่ *i* ตามขั้นตอนที่ 2 ให้ย้ายไปอยู่ในสถานีงานที่ $n - i + 1$ และสำหรับ องค์ประกอบงานคู่ใดๆ ที่ถูกจัดในสถานีงานเดียวกัน องค์ประกอบงานที่ถูกจัดก่อนตามขั้นตอนที่ 2 ให้เปลี่ยนเป็นจัดทีหลัง

วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นการจัดเรียงองค์ประกอบงานแบบย้อนหลัง (Reverse) ทุกวิธีจะมีชื่อย่อที่ขึ้นต้นด้วย “R-” แล้วตามด้วยวิธีการจัดลำดับความสำคัญ (Priority) ในการจัดองค์ประกอบงานเข้าสู่สายการประกอบ เช่น R-RPW คือ วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในกลุ่มที่ 2 ที่ใช้การลำดับความสำคัญเหมือนวิธี RPW เป็นต้น ดังนั้น วิธีทั้งหมดที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้ที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 มีดังต่อไปนี้คือ R-LCR, R-RPW, R-MFWEL, R-MFWES, R-LFWEL และ R-LFWES โดยวิธี R-RPW สามารถสืบค้นได้จาก [3, 8], วิธี R-LCR, R-MFWEL, R-MFWES สามารถสืบค้นได้จาก [2] และงานวิจัยนี้เพิ่มเติมวิธี R-LFWEL กับ R-LFWES เพื่อเป็นอีกสองทางเลือก

4) สายการประกอบกรณีศึกษาจากโรงงาน

จากการศึกษาและการปรึกษากับบุคลากรของโรงงาน ทำให้พบว่าสายการประกอบที่กำลังประสบปัญหาขาดประสิทธิภาพความสมดุลมีด้วยกัน 3 สายการประกอบ แต่ละสายการประกอบผลิตโมเดล (Model) ที่แตกต่างกันของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงอ้างถึงแต่ละสายการประกอบตามโมเดลที่สายการประกอบนั้นผลิต ได้แก่ โมเดล I, II และ III

4.1) รายละเอียดของสายการประกอบโมเดล I

สายการประกอบโมเดล I มีจำนวนองค์ประกอบงานทั้งหมด 20 องค์ประกอบงาน, เวลาการกลับสู่ที่เดิมเท่ากับ 2.99 วินาที และเวลารอบการทำงานที่โรงงานต้องการคือ 32.14 วินาทีต่อชิ้น สายการประกอบนี้มีประสิทธิภาพความสมดุล (Balancing Efficiency) อยู่ที่ 78.90% ก่อนปรับปรุง

รายละเอียดขององค์ประกอบงานของสายการประกอบโมเดล I จะแสดงไว้ด้านล่าง โดยลำดับเลข (1 ถึง 20) จะใช้แทนว่าเป็นองค์ประกอบงาน *k* ที่เท่าใด จากนั้นจึงแสดงรายละเอียดขององค์ประกอบงานดังกล่าวตามลำดับดังนี้คือ คำอธิบายองค์ประกอบงาน, องค์ประกอบงานที่ต้องทำก่อนที่ติดกัน (Immediate Predecessors) ขององค์ประกอบงานนั้น และ เวลาองค์ประกอบงานในหน่วยวินาที ซึ่งจะใช้เครื่องหมาย “ : ” ในการแบ่งแยกรายละเอียดทั้งสาม สำหรับรายละเอียดของทั้ง 20 องค์ประกอบงาน ซึ่งเรียงจากองค์ประกอบงานที่ 1 ไปจนถึงองค์ประกอบงานที่ 20 ของสายการประกอบโมเดล I ถึงแสดงไว้ด้านล่างดังต่อไปนี้

รายละเอียดองค์ประกอบงานของสายการประกอบโมเดล I:

1. ทำเครื่องหมายถูกที่ฝาปิดหน้า (Bezel) : ไม่มี : 0.52 (หมายถึง องค์ประกอบงานที่ 1 เป็นการทำเครื่องหมายถูกที่ฝาปิดหน้า ซึ่งไม่มีองค์ประกอบงานที่ต้องทำก่อนที่ติดกันและองค์ประกอบงานที่ 1 นี้มีเวลาองค์ประกอบงานเท่ากับ 0.52 วินาที)
2. ประกอบคลิปล็อก (Clips) จำนวน 4 ตำแหน่งที่ฝาปิดหน้า : 1 : 5.38
3. นำกรอบ CTR (CTR Case) ออกมาจากสายพาน : ไม่มี : 1.15
4. ติดยางกันลมรั่ว (Urethane) บนกรอบ CTR : 3 : 10.76
5. ใส่บานปรับช่องแอร์ 5 ประเภท ประเภทละ 1 ชิ้น ได้แก่ บานปรับ A (Fin A) จำนวน 1 ชิ้น, บานปรับ B (Fin B) จำนวน 1 ชิ้น, บานปรับ C (Fin C) จำนวน 1 ชิ้น, บานปรับ D (Fin D) จำนวน 1 ชิ้น, และ บานปรับ E (Fin E) จำนวน 1 ชิ้น ลงในอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig) : ไม่มี : 6.82
6. โยกคันโยกเพื่ออัดบานปรับ A, บานปรับ B, บานปรับ C, บานปรับ D และ บานปรับ E ให้เข้ากัน (บานปรับที่อัดรวมกันเสร็จแล้วจะถูกเรียกว่า ชุดบานปรับ A-E) : 5 : 0.84
7. ทาน้ำมันหล่อลื่นที่ชุดบานปรับ A-E : 6 : 1.12
8. ทาน้ำมันหล่อลื่นที่กรอบ CTR : 4, 7 : 3.05
9. ประกอบกรอบ CTR เข้ากับชุดบานปรับ A-E (เรียกชุดบานปรับ A-E ที่ประกอบเข้ากับกรอบ CTR เสร็จแล้วว่า ชุด CTR RR) : 8 : 2.52
10. ทดสอบโยก (Shaking Test) ชุด CTR RR : 9 : 1.62
11. ใส่บานปรับช่องแอร์ 3 ประเภท ประเภทละ 1 ชิ้น ได้แก่ บานปรับ A (Fin A) จำนวน 1 ชิ้น, บานปรับ B (Fin B) จำนวน 1 ชิ้น และบานปรับ C (Fin C) จำนวน 1 ชิ้น ลงในอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig) : ไม่มี : 3.60
12. โยกคันโยกเพื่ออัดบานปรับ A, บานปรับ B และบานปรับ C, ให้เข้ากัน (บานปรับที่อัดรวมกันเสร็จแล้วจะถูกเรียกว่า ชุด CTR FR) : 11 : 0.82
13. ประกอบชุด CTR RR กับชุด CTR FR เข้าด้วยกันโดยใช้ตัวโฮลเดอร์ (เรียกชิ้นส่วนที่เกิดจากการประกอบชุด CTR RR กับชุด CTR FR เข้าด้วยกันว่า ชุด CTR) : 12 : 2.26
14. ประกอบชุด CTR ลงบนตัวดันบานปรับช่องแอร์ (Knob) : 10, 13 : 2.86
15. ทดสอบโยก (Shaking Test) ชุด CTR : 14 : 0.99
16. นำชุด CTR วางครอบลงบนฝาปิดหน้า (Bezel) ซึ่งได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ : 2, 15 : 2.75
17. ทดสอบการทำงานพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ : 16 : 1.74
18. ทำเครื่องหมายสัญลักษณ์เพื่อแสดงให้ทราบว่าผ่านการตรวจสอบแล้ว : 16 : 3.95
19. ทดสอบการทำงานพื้นฐานของผลิตภัณฑ์อีกครั้งหนึ่ง : 16 : 1.17
20. ตรวจสอบพื้นผิวของผลิตภัณฑ์และบรรจุลงกล่อง : 17, 18, 19 : 2.30

4.2) รายละเอียดของสายการประกอบโมเดล II

สายการประกอบโมเดล II มีจำนวนองค์ประกอบงานทั้งหมด 30 องค์ประกอบงาน, เวลาการกลับสู่ที่เดิมเท่ากับ 1.35 วินาที และเวลา

รอบการทำงานที่โรงงานต้องการคือ 25 วินาทีต่อชิ้น ก่อนปรับปรุงมีประสิทธิภาพความสมดุล (Balancing Efficiency) เท่ากับ 72.07%

รายละเอียดองค์ประกอบงานของสายการประกอบโมเดล II จะแสดงไว้ด้านล่างในรูปแบบเดียวกันกับโมเดล I โดยลำดับเลข (1 ถึง 30) ใช้แทนว่าเป็นองค์ประกอบงาน *k* ที่เท่าใด บานปรับช่องแอร์ที่ใช้ในโมเดล II นี้มี 3 ประเภท ได้แก่ บานปรับ A (Fin A), บานปรับ B (Fin B) และ บานปรับ C (Fin C) ส่วนตัวดันบานปรับช่องแอร์ที่ใช้ประกอบในโมเดล II มี 3 ประเภท ได้แก่ ตัวดัน A (Knob A), ตัวดัน B (Knob B) และตัวดัน C (Knob C) รายละเอียดของ 30 องค์ประกอบงานของสายการประกอบโมเดล II เป็นดังต่อไปนี้

รายละเอียดองค์ประกอบงานของสายการประกอบโมเดล II:

1. หยอดจาระบีใส่ลงในแกนกลางของกรอบนอก (Outer Case) : ไม่มี : 1.68
2. ใส่สปริง 1 ตัวลงในตัวเชื่อม (Link) ของบานปรับ A : 1 : 1.74
3. หยอดจาระบีลงในตัวเชื่อมของบานปรับ A (Fin A) และหยอดจาระบีลงในตัวเชื่อมของบานปรับ B (Fin B) : 2 : 3.63
4. ประกอบบานปรับ A และบานปรับ B โดยการสอดลงในแกนกลางของกรอบนอก (เราเรียกบานปรับ A กับบานปรับ B ที่ประกอบกันเสร็จแล้วนี้ว่า ชุดบานปรับ A-B และเรียกกรอบนอกที่ประกอบเข้ากับชุดบานปรับ A-B ว่า ชุดกรอบนอก โดยชุดบานปรับ A-B ได้กลายมาเป็นชิ้นส่วนหนึ่งของชุดกรอบนอก) : 1, 3 : 1.87
5. ทาน้ำมันหล่อลื่นที่ขาล็อกด้านนอกของชุดกรอบนอก : 4 : 3.82
6. นำตัวกันกระแทก (Seal) จำนวน 1 เส้น มาติดที่ชุดกรอบนอก : ไม่มี : 7.36
7. ใส่ยาง (Rubber) ลงในตัวเชื่อมของชุดบานปรับ A-B : 5 : 3.23
8. ใส่ชุดกรอบนอกลงในอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig) แล้วนำตัวดัน C (Knob C) มาครอบตัวเชื่อมของชุดบานปรับ A-B : 7 : 1.82
9. นำตัวปิดตัวเชื่อมบานปรับ (Joint Cover) 1 ชิ้น มาครอบตัวดัน C โดยการอัดให้ล้งล็อก : 8 : 2.34
10. นำชุดกรอบนอกออกจากอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานแล้วทดลองหมุนตัวปิดตัวเชื่อมบานปรับ : 9 : 1.48
11. ประทับตรารุ่นการผลิต (Product Lot) ลงบนชุดกรอบนอก : ไม่มี : 3.36
12. หยิบยาง (Rubber) 1 ชิ้น มาประกอบเข้ากับบานปรับ A จำนวน 1 ชิ้น : ไม่มี : 7.14
13. ทาน้ำมันหล่อลื่นที่บริเวณขาล็อกของบานปรับ A : 12 : 2.22
14. กดบานปรับ A ลงในชุดกรอบนอก : 10, 13 : 3.02
15. นำชุดกรอบนอกมาวางลงในอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และนำตัวดัน A (Knob A) กับตัวดัน B (Knob B) มาประกอบกันและนำไปประกอบเข้ากับชุดกรอบนอก : 14 : 2.95
16. ทาน้ำมันหล่อลื่นที่ขาตัวดัน B (Knob B) แล้ววางบนขาตัวดัน C (Knob C) แล้วอัดตัวดัน A, ตัวดัน B และตัวดัน C ลงไปในชุดกรอบนอกให้สุดด้วยเครื่องอัดนิวแมติกส์ (ตัวดัน A, B และ C ที่ถูกอัดลงในชุดกรอบนอกเรียบร้อยแล้วจะถูกเรียกว่า ชุดตัวดัน) : 15 : 1.42
17. นำชุดกรอบนอกที่อัดชุดตัวดันเรียบร้อยแล้วออกมาจากอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig) จากนั้นทดสอบความแน่นโดยการทดลองหมุนและโยก : 16 : 2.97
18. ประกอบกรอบใน (Inner Case) กับชุดกรอบนอกเข้าด้วยกัน (เรียกกรอบในและชุดกรอบนอกที่ประกอบกันเรียบร้อยแล้วว่า ชุดกรอบ) : 17 : 2.99
19. นำชุดกรอบมาพลิกเอาด้านล่างขึ้นแล้วนำไปวางใส่ลงในอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน จากนั้นนำฝาเปิดปิดลมเข้า (Flabs) จำนวน 2 ชิ้น มาประกอบที่ชุดกรอบ : 18 : 5.38
20. นำชุดกรอบออกจากอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน จากนั้นหมุนชุดตัวดันเพื่อปิดฝาเปิดปิดลมเข้า : 19 : 5.33
21. ทาน้ำมันหล่อลื่นบริเวณรอบๆ ฝาเปิดปิดลมเข้า : 20 : 3.62
22. หมุนชุดตัวดันเพื่อทดสอบการเปิดปิดของฝาเปิดปิดลมเข้า : 21 : 1.21
23. นำฝาปิดหน้ามาประกอบเข้ากับชุดกรอบ ซึ่งทำให้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ : 6, 11, 22 : 5.79
24. เขย่าผลิตภัณฑ์เบาๆ เพื่อฟังเสียงสปริง, ทดลองโยกชุดบานปรับขึ้นลง และโยกซ้ายขวาเพื่อเช็คน้ำหนักและฟังก์ชันอื่น : 23 : 1.10
25. ตรวจสอบขาล็อกของชุดกรอบนอกกับฝาปิดหน้า และตรวจสอบขาล็อกของกรอบในกับชุดกรอบนอก : 23 : 2.23
26. ตรวจสอบขาแหวนล็อกตรงบริเวณรอยเชื่อม : 23 : 3.83
27. เป่าผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องเป่าลมไฟฟ้าสถิต : 24,25,26 : 1.71
28. ทำเครื่องหมายสัญลักษณ์เพื่อแสดงให้ทราบว่าผ่านการตรวจสอบแล้ว : 27 : 2.82
29. นำผลิตภัณฑ์มาใส่ถุง และห่อให้เรียบร้อย : 28 : 2.90
30. บรรจุใส่กล่อง : 29 : 1.32

4.3) รายละเอียดของสายการประกอบโมเดล III

สายการประกอบโมเดล III มีจำนวนองค์ประกอบงานทั้งหมด 16 องค์ประกอบงาน, เวลาการกลับสู่ที่เดิมเท่ากับ 1.80 วินาที และเวลารอบการทำงานที่โรงงานต้องการคือ 16.48 วินาทีต่อชิ้น สายการประกอบนี้มีประสิทธิภาพความสมดุลอยู่ที่ 70.89% ก่อนปรับปรุง

รายละเอียดขององค์ประกอบงานของโมเดล III จะแสดงไว้ด้านล่างโดยลำดับเลข (1 ถึง 16) จะใช้แทนว่าเป็นองค์ประกอบงานที่เท่าใด บานปรับช่องแอร์ที่ใช้ในโมเดล III นี้มี 3 ประเภท ได้แก่ บานปรับ A (Fin A), บานปรับ B (Fin B) และ บานปรับ C (Fin C) รายละเอียดของ 16 องค์ประกอบงานของสายการประกอบโมเดล III เป็นดังต่อไปนี้

รายละเอียดองค์ประกอบงานของสายการประกอบโมเดล III:

1. นำตัวเชื่อมบานปรับช่องแอร์ด้านข้าง (Side Link) มาใส่ลงในอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน (Jig) : ไม่มี : 1.72
2. ใส่บานปรับ A (Fin A), บานปรับ B (Fin B) และบานปรับ C

(Fin C) ลงในตัวเชื่อมบานปรับช่องแอร์ด้านข้าง (Side Link) : ไม่มี : 2.21

3. โยกคันโยกอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อประกอบบานปรับ A, บานปรับ B, บานปรับ C และตัวเชื่อมบานปรับช่องแอร์ด้านข้างเข้าด้วยกัน โดยเรียกชิ้นงานจากการประกอบนี้ว่า ชุดบานปรับ : 1, 2 : 1.04
4. นำชุดบานปรับมาประกอบฝาปิดหน้าด้านข้าง (Side Panel) และเรียกรวมกันว่า ชุดฝาปิดหน้า : 3 : 2.39
5. ทำสัญลักษณ์เพื่อยืนยันความถูกต้อง : 4 : 1.01
6. นำกรอบด้านข้าง (Side Case) จำนวน 1 ชิ้น มาใส่แหวนล็อก (Ring) : ไม่มี : 1.43
7. นำกรอบด้านข้าง จำนวน 1 ชิ้น มาใส่สปริง (Spring) : ไม่มี : 1.79
8. นำกรอบด้านข้าง จำนวน 1 ชิ้น มาใส่ลูกปืน (Bearing) : 7 : 1.27
9. นำกรอบด้านข้างทั้ง 3 ชิ้น จากองค์ประกอบงานที่ 6, 7 และ 8 มาประกอบเข้าด้วยกัน โดยเรียกรวมกันว่าชุดกรอบ : 6, 8 : 1.30
10. ทาน้ำมันหล่อลื่นที่ชุดฝาปิดหน้า : 5 : 1.82
11. นำชุดฝาปิดหน้ามาใส่บนชุดกรอบ จากนั้นดึงแหวนล็อกมาสอดสปริงเพื่อให้เข้าล็อกตรงตำแหน่ง : 9, 10 : 3.04
12. ทดสอบความสัมพันธ์ของชิ้นส่วนต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ : 11 : 5.83
13. ทดสอบบานปรับช่องแอร์ : 12 : 1.88
14. ทดสอบเปิดปิด : 12 : 0.93
15. ตรวจสอบพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ : 12 : 5.21
16. ทำเครื่องหมายสัญลักษณ์เพื่อแสดงให้ทราบว่าผ่านการตรวจสอบแล้ว และวางลงในกล่อง : 13, 14, 15 : 2.17

5) ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบปรกติจำนวน 6 วิธี และแบบย้อนหลังจำนวน 6 วิธี รวมทั้งสิ้น 12 วิธี ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3 มาทดสอบกับสายการผลิตช่องแอร์รถยนต์จำนวน 3 สาย ซึ่งผลิตโมเดล I, II และ III ตามลำดับ ดังที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 4 โดยความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบทั้ง 12 วิธีนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกันด้วยประสิทธิภาพความสมดุล (Balance Efficiency; E_b) รวมทั้งเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพความสมดุลที่ได้จากสายการประกอบของโรงงานก่อนการปรับปรุงด้วย

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพความสมดุลของวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบทั้ง 12 วิธี รวมไปถึงประสิทธิภาพความสมดุลของสายการประกอบก่อนการปรับปรุงของโมเดลที่ I, II, III และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพความสมดุลจากทั้งสามโมเดล ตามลำดับ

ตารางที่ 1: ร้อยละ (%) ของประสิทธิภาพความสมดุล

วิธี	โมเดล I	โมเดล II	โมเดล III	เฉลี่ย
ก่อนปรับปรุง	78.9	72.1	70.9	74.0
LCR	98.0	78.5	82.4	86.3
RPW	98.0	79.8	79.5	85.8
MFWEL	98.0	80.5	79.5	86.0
MFWES	98.0	81.2	82.4	87.2
LFWEL	66.3	78.5	82.4	75.7
LFWES	73.5	78.5	82.4	78.1
R-LCR	97.3	79.3	80.9	85.8
R-RPW	99.5	79.4	82.8	87.2
R-MFWEL	99.5	79.4	82.8	87.2
R-MFWES	99.5	80.5	81.8	87.3
R-LFWEL	99.1	80.5	79.6	86.4
R-LFWES	99.1	80.5	79.6	86.4

ผลลัพธ์จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบทั้ง 12 วิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพความสมดุลของสายการประกอบทั้ง 3 โมเดลให้ดีขึ้นกว่าประสิทธิภาพความสมดุลก่อนการปรับปรุง โดยวิธี R-MFWES เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพความสมดุลที่สูงที่สุดโดยเฉลี่ย เนื่องจากค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพความสมดุลที่ได้รับจาก R-MFWES เท่ากับ 87.3% ซึ่งสูงกว่าวิธีอื่นๆ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าวิธี R-MFWES มีความเหมาะสมที่จะใช้จัดองค์ประกอบงานของสายการผลิตช่องแอร์รถยนต์ในโรงงานกรณีศึกษานี้มากที่สุด

6) สรุป

งานวิจัยนี้นำวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบจำนวนทั้งหมด 12 วิธี ได้แก่ LCR, RPW, MFWEL, MFWES, LFWEL, LFWES, R-LCR, R-RPW, R-MFWEL, R-MFWES, R-LFWEL และ R-LFWES มาใช้กับสายการประกอบ 3 สายในโรงงานผลิตช่องแอร์รถยนต์ ผลการวิจัยสรุปว่าวิธีที่ทำให้สายการประกอบมีประสิทธิภาพความสมดุลที่สูงที่สุดโดยเฉลี่ย คือ วิธี R-MFWES ซึ่งการใช้วิธี R-MFWES สามารถเพิ่มค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพความสมดุลจาก 74.0% ไปเป็น 87.3% นั่นคือเพิ่มขึ้นจากก่อนปรับปรุง 13.3% โดยเฉลี่ย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ศรีไทย มิยากาวา จำกัด และ คุณชาญชัย ทองเชื้อ หัวหน้าแผนกวิศวกรรม ที่อนุญาตให้ทำวิจัยในส่วนของกระบวนการผลิตของโรงงาน รวมไปถึงการให้ความช่วยเหลือและการอำนวยความสะดวกที่ได้รับในขั้นตอนของการเก็บข้อมูลอันเป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] M. P. Groover, *Work Systems and the Methods, Measurement and Management of Work*, NJ: Pearson Prentice Hall, 2007.

[2] P. Phiphatsomporn and P. Pongchairerks, "Double Assembly Line Balancing Algorithms on Real-world Instances of Producing Digital Rice Cookers and Digital Hot Pots," *Science and Technology RMUTT Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 96–117, Dec. 2015.

[3] B. Rekiek and A. Delchambre, *Assembly Line Design: The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms*, Germany: Springer, 2006.

[4] J. K. Shim and J. G. Siegel, *Operations Management*, NY: Barron's Educational Series, 1999.

[5] S. Bhattacharya, *Operations Management*, Delhi: PHI Learning Private, 2014.

[6] H. J. Weiss, "Implement Line Balancing Heuristics in Spreadsheets," *INFORMS Transactions on Education*, vol. 13, no. 2, pp. 114-125, Jan. 2013.

[7] J. Heizer and B. Render, *Operations Management,* 10th ed. NJ: Pearson Prentice Hall, 2011.

[8] W. B. Helgeson and D. P. Birnie, "Assembly line balancing using ranked positional weight technique," *Journal of Industrial Engineering*, vol. 12, pp. 394-398, 1961