การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร

นายพัฒนโชค อินทะโส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

An Application of Two-Phase Heuristic for Production Scheduling in Electronic Part Mounting Process

Mr. Pattanachok Intaso

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร
โดย	นายพัฒนโชค อินทะโส
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ภูวดล ดุษฎีรังสีกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พัฒนโชค อินทะโส : การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร. (An Application of Two-Phase Heuristic for Production Scheduling in Electronic Part Mounting Process) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์

การจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร (Surface Mount Technology, SMT) เป็นกระบวนการจัดสรรทรัพยากรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต เช่น เครื่องจักร วัตถุดิบ ผู้ปฏิบัติงาน รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ให้บรรลุวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในการผลิต อย่างไรก็ดี การจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวกลับมีความซับซ้อน อันเนื่องมาจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ทั้งในมุมของจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประเภทของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงประเภทของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ซึ่งมีประสิทธิภาพในการผลิตที่แตกต่างกันออกไป หากตารางการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ ก็จะส่งผลทำให้ไม่สามารถส่งงานไปยังกระบวนการถัดไปได้ทันเวลา สูญเสียเวลาในการผลิตมากเกินความจำเป็น อีกทั้งยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าว โดยในขั้นตอนการหาผลเฉลยเบื้องต้น ได้ประยุกต์ใช้กฎการส่งมอบงานที่เร็วที่สุด (Earliest Due Date, EDD) แล้วจึงทำการปรับปรุงผลเฉลยที่ได้ด้วยการบูรณาการระหว่างการปรับปรุงผลเฉลยเฉพาะถิ่น และอัลกอริทึมในการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) เพื่อค้นหาผลเฉลยที่ดีขึ้น จากนั้นทำการทดสอบฮิวริสติกส์ที่ถูกพัฒนาขึ้น โดยได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบที่ได้ กับตารางการผลิตในอดีตของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถลดระยะเวลาในการปิดงาน (Makespan) ลดระยะเวลาเตรียมงาน (Setup Time) และลดต้นทุนค่าล่วงเวลาลงร้อยละ 16, 27, 32 ตามลำดับ

สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6370189021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Production scheduling, Dispatching rules, Heuristics, Two-phase heuristics

Pattanachok Intaso : An Application of Two-Phase Heuristic for Production Scheduling in Electronic Part Mounting Process . Advisor: Asst. Prof. Pisit Jarumaneeroj, Ph.D.

Production scheduling in surface mount technology process (SMT) is a process concerning the allocation of limited resources, such as machines, raw materials, and operators, to accomplish objectives of production. However, production scheduling in SMT process is a complicated one due to a wide variety of products – each of which differs in terms of number and type of electronic parts – as well as that of the machines used in different production lines. Without efficient production schedules, we might be unable to deliver the products according to their due dates; and, we might also waste part of our precious production time due to unproductive time – this might, in turn, affect the quality of produced products. A two-phase heuristic is herein devised in order to address such an issue, where the initial solution is first constructed based on simple dispatching rules – namely, Earliest Due Date (EDD). Once done, such a solution is then improved by an integration between several local searches and escape mechanisms so that the quality of resulting resolutions is gradually improved. Following this procedure, we found that the proposed heuristic could provide a better production schedule, in which makespan, setup time, and the cost of overtime could be reduced by 16%, 27% and 32%, respectively.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Industrial Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2021 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินงานวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่า ในการให้คำปรึกษา มอบวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย อีกทั้งยังคอยตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้การวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและเกิดประโยชน์สูงสุด ส่งผลให้การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช และ ดร.ภูวดล ดุษฎีรังสีกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการมอบความรู้และชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่มีประโยชน์ ทำให้การดำเนินการวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัทกรณีศึกษาและคณะทำงานที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้แนวทางในการปฏิบัติงาน ปัญหาในกระบวนการผลิต ตลอดจนข้อมูลที่มีประโยชน์ต่างๆ เป็นผลทำให้การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสามารถนำไปใช้เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์แก่สังคมและผู้ที่สนใจได้เป็นอย่างดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พัฒนโชค อินทะโส

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 การผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 4

1.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 4

1.2.2 กระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 6

1.3 กระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานกรณีศึกษา 7

1.3.1 กระบวนการทำงานในแต่ละหน่วยการผลิต 7

1.3.2 ขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องจักร 15

1.4 ปัญหาที่พบและข้อจำกัดในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษา 18

1.4.1 การมีลักษณะจำเพาะของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter) ที่หลากหลาย .. 18

1.4.2 การย้ายสายการผลิตในรายการไปยังสายการผลิตนอกรายการ 20

1.4.3 การจัดเตรียมการผลิต (Setup) สำหรับเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter) ... 21

1.5 วิธีการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษา..... 23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 วัตถุประสงค์ 24
1.7 ขอบเขตงานวิจัย 24
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ 24
1.9 แนวทางการหาคำตอบ 25
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 26
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 26
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29
บทที่ 3 แนวทางการดำเนินการวิจัย 33
3.1 ลักษณะของปัญหา 33
3.2 ข้อมูลที่จำเป็นในการจัดตารางการผลิตแผ่นวงจรในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ . 34
3.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย 38
3.3.1 หลักการ 38
3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 39
3.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) 46
3.5 การย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) 47
3.5.1 การแก้ไขผลเฉลย (Solution Repairing) 48
3.5.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ไขผลเฉลยโดยการสุ่มแบบอิสระและสุ่มแบบเป็นระบบ 52
3.6 การสลับลำดับการผลิต (Reordering) 55
3.6.1 การสุ่มลำดับการผลิตแบบเป็นระบบ 57
3.6.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการจัดลำดับการผลิตระหว่างการสุ่มแบบอิสระ และการสุ่มแบบเป็นระบบ 63
3.7 การย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) 67
3.8 การทดสอบฮิวริสติกส์ด้วยชุดข้อมูลกรณีศึกษา 70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.9 การวิเคราะห์ขอบเขตล่าง (Lower Bound) 75
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย 77
4.1 การเปรียบเทียบผลเฉลยในแง่มุมของเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) 78
4.2 การเปรียบเทียบผลเฉลยในแง่มุมการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 79
4.3 การเปรียบเทียบผลเฉลยในแง่มุมจำนวนชั่วโมงปฏิบัติงานล่วงเวลา 80
4.4 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานในหลากหลายชุดข้อมูล 81
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการวิจัย 85
5.1 สรุปผลการวิจัย 85
5.2 ข้อเสนอแนะ 87
บรรณานุกรม 89
ประวัติผู้เขียน 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 รายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (A และ B)..... 16

ตารางที่ 1-2 ความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสายการผลิต 19

ตารางที่ 1-3 เวลาที่ใช้ในการย้ายสายการผลิตในรายการไปยังสายการผลิตนอกรายการ..... 20

ตารางที่ 1-4 รายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (A, B และ C)..... 21

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างข้อมูลรายการคำสั่งผลิต..... 34

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างข้อมูลเวลามาตรฐานสำหรับการผลิต (Standard Processing Time)..... 35

ตารางที่ 3-3 รายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของสายการผลิตที่ 1 36

ตารางที่ 3-4 เวลาที่ใช้สำหรับจัดเตรียมเครื่องจักรในกรณีที่ย้ายสายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ 37

ตารางที่ 3-5 เวลาพักระหว่างปฏิบัติงานของโรงงาน 1 และ โรงงาน 2..... 37

ตารางที่ 3-6 แผนการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงเชิงป้องกันของสายการผลิตต่าง ๆ..... 38

ตารางที่ 3-7 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ..... 53

ตารางที่ 3-8 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ..... 54

ตารางที่ 3-9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) ระหว่างการแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ และการสุ่มแบบเป็นระบบ..... 55

ตารางที่ 3-10 ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบอิสระ 64

ตารางที่ 3-11 ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-12 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยด้วยการจัดลำดับการผลิต ระหว่างการสุ่มแบบอิสระ และการสุ่มแบบเป็นระบบ 66

ตารางที่ 3-13 ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) ในแต่ละรอบ... 69

ตารางที่ 3-14 เวลาที่ใช้สำหรับการผลิตรวม (Total Processing Time) ในแต่ละสายการผลิต ของชุดข้อมูลรายการคำสั่งผลิต 165 รายการ 76

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบเวลาเสร็จสิ้นการผลิต (Completion Time) ระหว่างผลเฉลยจากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน และวิธีฮิวริสติกส์ 78

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ระหว่างผลเฉลยจากการจัดตารางการผลิตวิธีปัจจุบัน (Current Solution) และวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution) 79

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงล่วงเวลา (Overtime) ระหว่างผลเฉลยจากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน (Current Solution) และวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution)..... 80

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบผลลัพธ์ตัวชี้วัดสำคัญ ระหว่างการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน (Current Solution) กับฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในหลากหลายชุดข้อมูล 82

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบการย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ ระหว่างการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน (Current Solution) กับฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในหลากหลายชุดข้อมูล 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 จำนวนล็อต (Lot) ที่ส่งงานล่าช้าในแต่ละเดือน 2

รูปที่ 1-2 ต้นทุนค่าชั่วโมงล่วงเวลาในแต่ละเดือน 3

รูปที่ 1-3 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สำหรับการผลิตของ 8 สายการผลิตตัวอย่าง 3

รูปที่ 1-4 ตัวอย่างแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 4

รูปที่ 1-5 ตัวอย่างตะกั่วชนิดครีมที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 4

รูปที่ 1-6 ตัวอย่างม้วนบรรจุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ . 5

รูปที่ 1-7 ตัวอย่างถาดบรรจุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ . 5

รูปที่ 1-8 ตัวอย่างสายการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 6

รูปที่ 1-9 เครื่องขนถ่ายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB Loader) 8

รูปที่ 1-10 เครื่องยิงเลเซอร์แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 9

รูปที่ 1-11 เครื่องทำความสะอาดแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB Cleaning Machine) 9

รูปที่ 1-12 แป้นสกรีนตะกั่ว 10

รูปที่ 1-13 เครื่องสกรีนตะกั่ว (Solder-Paste Printer) 10

รูปที่ 1-14 เครื่องตรวจสอบคุณภาพตะกั่ว (Solder Paste Inspection Machine) 11

รูปที่ 1-15 เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter) 12

รูปที่ 1-16 เครื่องบัดกรีตะกั่วในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Reflow) 13

รูปที่ 1-17 เครื่องตรวจสอบชิ้นงานในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (AOI) 14

รูปที่ 1-18 เครื่องขนถ่ายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Unloader) 14

รูปที่ 1-19 ตัวอย่างพื้นที่เก็บรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 15

รูปที่ 1-20 ตัวอย่างการติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนเครื่องวางอุปกรณ์ 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1-21 ตัวอย่างการสลับรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเตรียมการผลิตถัดไป 17
รูปที่ 1-22 ตัวอย่างการจัดลำดับคำสั่งผลิตที่ไม่เหมาะสม 22
รูปที่ 1-23 ตัวอย่างการจัดลำดับคำสั่งผลิตที่เหมาะสม 22
รูปที่ 2-1 เปรียบเทียบการประยุกต์ปัญหา VRP กับปัญหาการจัดตารางการผลิต 27
รูปที่ 3-1 แผนภูมิขั้นตอนการหาผลเฉลยเบื้องต้นของฮิวริสติกส์ 41
รูปที่ 3-2 แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) แสดงผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) ของฮิวริสติกส์ .. 42
รูปที่ 3-3 แผนภูมิกระบวนการทำงานของฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น (Two-Phase Heuristics) 43
รูปที่ 3-4 แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) แสดงผลเฉลยหลังปรับปรุง (Improved Solution) ของฮิวริสติกส์ 45
รูปที่ 3-5 แผนภูมิการทำงานสำหรับการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) 47
รูปที่ 3-6 ตารางการผลิต ณ สายการผลิตตัวอย่าง 48
รูปที่ 3-7 ตารางการผลิตหลังจากแทรกงาน C 49
รูปที่ 3-8 การคำนวณลำดับการผลิตที่ไม่ทำให้งาน *C* เสร็จสิ้นเกินกำหนดส่ง 50
รูปที่ 3-9 การคำนวณลำดับการผลิตที่ไม่ทำให้งานอื่น ๆ เสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่ง 51
รูปที่ 3-10 ผลลัพธ์การจัดลำดับการผลิตของสายการผลิตตัวอย่าง 52
รูปที่ 3-11 แผนภูมิการทำงานสำหรับการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) 56
รูปที่ 3-12 ตัวอย่างงานที่ใช้สำหรับการจัดลำดับการผลิต 57
รูปที่ 3-13 ข้อจำกัดในการจัดลำดับการผลิตของงานตัวอย่าง 58
รูปที่ 3-14 ตัวอย่างการจัดลำดับการผลิตที่ส่งผลทำให้เกิดการล่าช้า 59
รูปที่ 3-15 ผลลัพธ์การจัดลำดับการผลิตหลังจากกำหนด C อยู่ในลำดับการผลิตที่ 1 60
รูปที่ 3-16 ผลลัพธ์การจัดลำดับการผลิตหลังจากกำหนด A อยู่ในลำดับการผลิตที่ 2 61
รูปที่ 3-17 ผลลัพธ์หลังจากเสร็จสิ้นการลำดับการผลิตครบทุกงาน 61
รูปที่ 3-18 ผลลัพธ์ทั้งหมดของการจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ 62

รูปที่ 3-19 แผนภูมิการทำงานสำหรับการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism)..... 68
รูปที่ 3-20 ผลลัพธ์ที่ได้จากนำข้อมูลรายการผลิต 98 รายการ มาสร้างผลเฉลยด้วยฮิวริสติกส์ 70
รูปที่ 3-21 ผลลัพธ์ที่ได้จากนำข้อมูลรายการผลิต 165 รายการ มาสร้างผลเฉลยด้วยฮิวริสติกส์ 71
รูปที่ 3-22 ผลลัพธ์ค่าตัวชี้วัดสำคัญต่างๆ ในกระบวนการปรับปรุงผลเฉลย 72
รูปที่ 3-23 แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) แสดงผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) ของฮิวริสติกส์ 73
รูปที่ 3-24แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) แสดงผลเฉลยหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการปรับปรุงเฉลย (Improved Solution) ของฮิวริสติกส์ 74
รูปที่ 4-1 เปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาระหว่างผลเฉลยจากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน (Current Solution) และวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution)..... 81
รูปที่ 4-2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ตัวชี้วัดสำคัญ ระหว่างการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน (Current Solution) กับฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในหลากหลายชุดข้อมูล 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

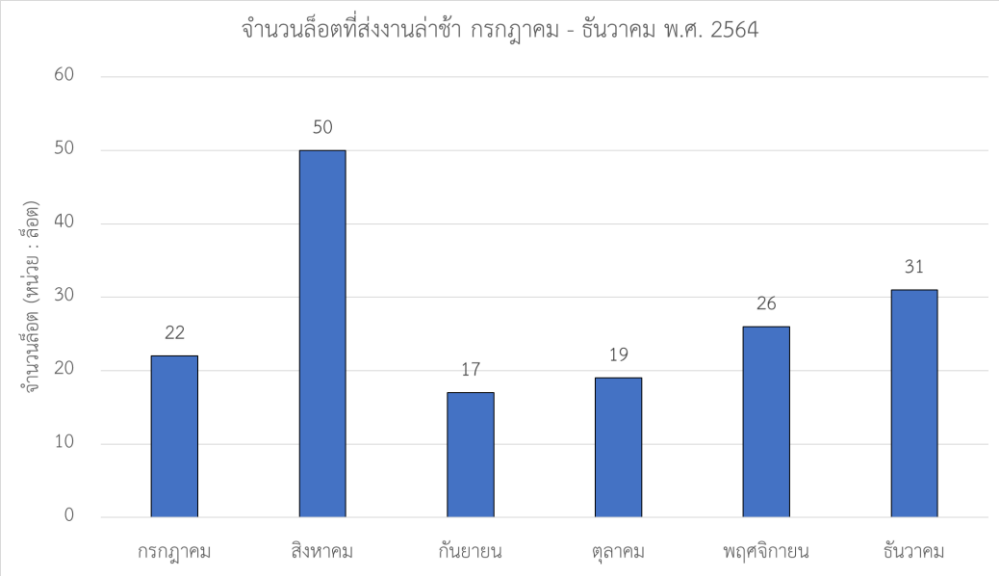
1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลทำให้แนวโน้มความต้องการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องจักรกล รวมไปถึง ชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทก็มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งในด้านประเภท และจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่งผลทำให้การผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

สำหรับกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยทั่วไปนั้น มักมีรูปแบบการผลิตเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow Production) โดยในแต่ละสายการผลิตจะประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตที่สำคัญ 3 ขั้นตอน คือ การสกรีนตะกั่วลงบนแผ่นวงจร (Soldering) การวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร (Mounting) และการอบแผ่นวงจรเพื่อบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผ่นวงจร (Reflow) ทั้งนี้โรงงานผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ มักผลิตแผ่นวงจรเพื่อตอบสนองต่อความต้องของการของผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หลายหลาย การวางแผนการผลิตในกระบวนการดังกล่าวจึงมีความซับซ้อน ทั้งในมุมของความหลายหลากของผลิตภัณฑ์ที่มีกำหนดส่ง (Due Date) ที่แตกต่างกัน ตลอดจนความหลากหลายของเครื่องจักรที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีประสิทธิภาพ และความเข้ากันได้กับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป ส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิต (Processing Time) ผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ บนเครื่องจักรที่แตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันออกไปด้วย หากการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวขาดประสิทธิภาพ ก็จะส่งผลทำให้ไม่สามารถส่งงานไปยังกระบวนการถัดไปได้ทันเวลา สูญเสียเวลาในการผลิตเกินความจำเป็น อีกทั้งยังส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ด้วยเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้เลือกทำการศึกษาปัญหาข้างต้น โดยอ้างอิงจากกระบวนการผลิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง ซึ่งมีสายการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กว่า

20 สายการผลิต และมีผลิตภัณฑ์รวมกว่า 400 รายการ สำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกัน ทั้งในด้านของประเภทอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ ซึ่งมีตั้งแต่ 3 – 100 รายการต่อแผ่นวงจร ตลอดจนจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีตั้งแต่ 20 – 3000 ชิ้นต่อแผ่นวงจร จากการศึกษาข้างต้น ผู้วิจัยพบว่า การวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษายังขาดประสิทธิภาพอยู่มาก เนื่องจากการดำเนินการส่วนใหญ่ยังอ้างอิงอยู่บนประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่วางแผน ส่งผลทำให้มีจำนวนครั้งที่ส่งงานล่าช้าเฉลี่ย 28 ครั้งต่อเดือน ดังแสดงในรูปที่ 1-1

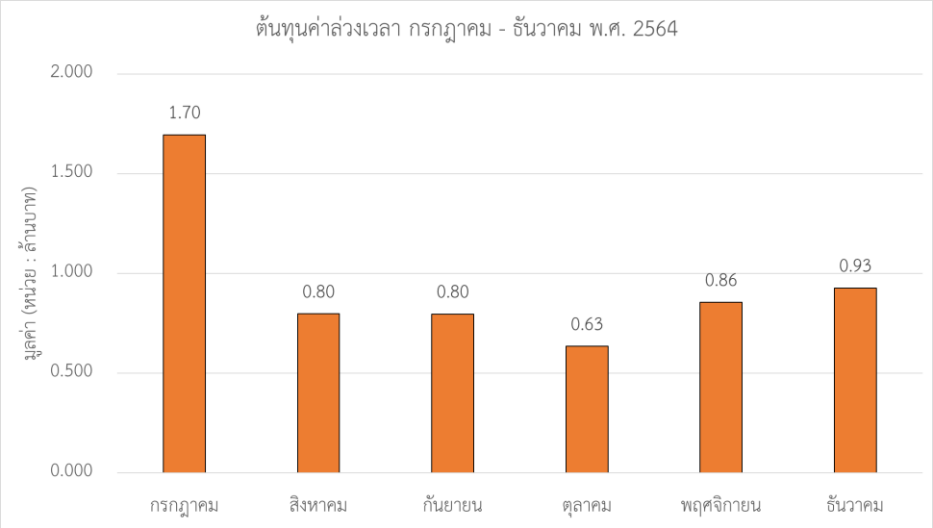


รูปที่ 1-1 จำนวนล็อต (Lot) ที่ส่งงานล่าช้าในแต่ละเดือน

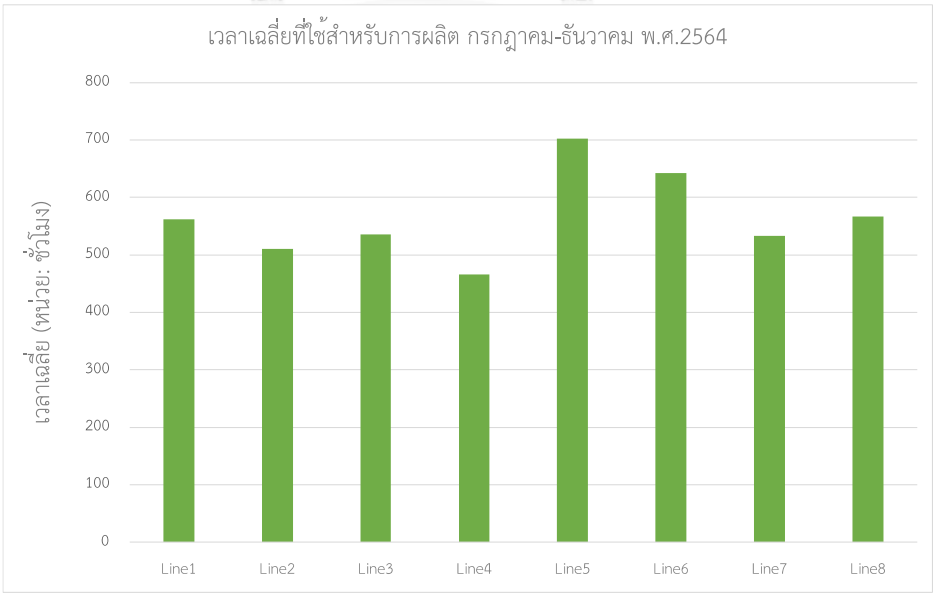
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับกระบวนการผลิตดังกล่าวมีความซับซ้อนอันเนื่องมาจาก แต่ละสายการผลิตมีความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และความเข้ากันได้กับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป และ มีรูปแบบของสายการผลิตแบบอัตโนมัติ ซึ่งประกอบไปด้วย 9 หน่วยการผลิตที่ต่อเนื่องกัน จึงทำให้การจัดเตรียมงานสำหรับคำสั่งผลิตถัดไป มีความซับซ้อนในด้านการจัดเตรียมเครื่องจักรที่หลากหลาย อีกทั้งเวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักรจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน (Sequence Dependent Setup Time) แผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจึงอ้างอิงอยู่กับการเลือกสายการผลิต และการลำดับคำสั่งผลิตที่เหมาะสม ดังนั้นการจัดตารางการผลิตโดยอาศัยเพียงประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่วางแผนเป็นหลัก จึงไม่สามารถพิจารณาถึงข้อจำกัดต่าง ๆ และเวลาในการจัดเตรียมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตดังกล่าว มีต้นทุนค่าล่วงเวลา

เฉลี่ยสูงถึง 951,200 บาทต่อเดือน (ดังแสดงในรูปที่ 1-2) และยังพบว่าเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละสายการผลิตนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมาก (ดังแสดงในรูปที่ 1-3) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดต้นทุนค่าปฏิบัติงานล่วงเวลาที่มากเกินความจำเป็น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดตารางการผลิตสำหรับกระบวนการดังกล่าว โดยมุ่งเน้นไปที่การลดเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) และต้นทุนในการปฏิบัติงานล่วงเวลาลงอย่างเป็นระบบ



รูปที่ 1-2 ต้นทุนค่าชั่วโมงล่วงเวลาในแต่ละเดือน



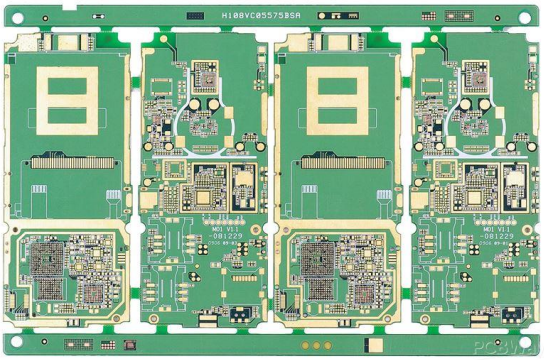
รูปที่ 1-3 เวลาเฉลี่ยที่ใช้สำหรับการผลิตของ 8 สายการผลิตตัวอย่าง

1.2 การผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

สำหรับกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษา จะมีวัตถุดิบหลัก (Raw Materials) ที่ใช้ในการผลิต 3 อย่าง ได้แก่

1. แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Printed Circuit Board, PCB)



รูปที่ 1-4 ตัวอย่างแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

(ที่มา: https://www.pcbway.com/blog/PCB_Basic_Information)

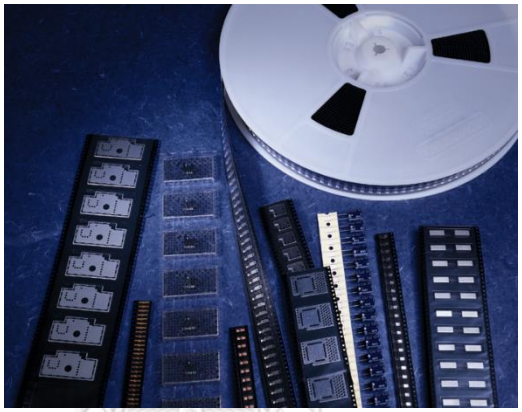
2. ตะกั่วชนิดครีม (Solder Paste)

รูปที่ 1-5 ตัวอย่างตะกั่วชนิดครีมที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

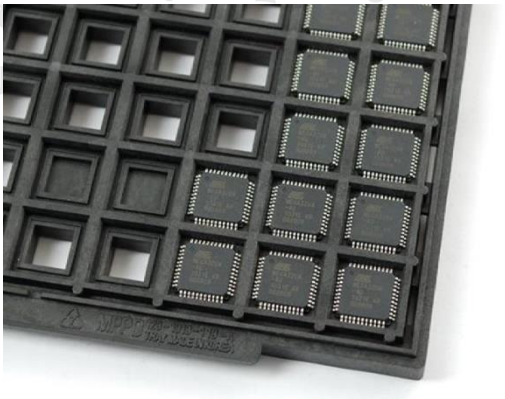
(ที่มา: https://www.made-in-china.com/showrooml)

3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Device)

สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะถูกนำไปติดตั้งลงบนแผ่นวงจร ส่วนใหญ่มักจะถูกบรรจุอยู่ในรูปแบบม้วน (ดังแสดงในรูปที่ 1-6) เพื่อความสะดวกและประหยัดพื้นที่ต่อการนำไปติดตั้งบนเครื่องจักร สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถนำไปบรรจุในม้วนได้ (ไมโครชิปบางชนิด) จะถูกนำไปบรรจุอยู่ในถาด (Tray) ดังแสดงในรูปที่ 1-7 และจะถูกติดตั้งอยู่ในเครื่องจักรตลอดเวลา จึงไม่ถูกนำมาพิจารณาประกอบในงานวิจัยฉบับนี้ เนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการจัดเตรียมงาน



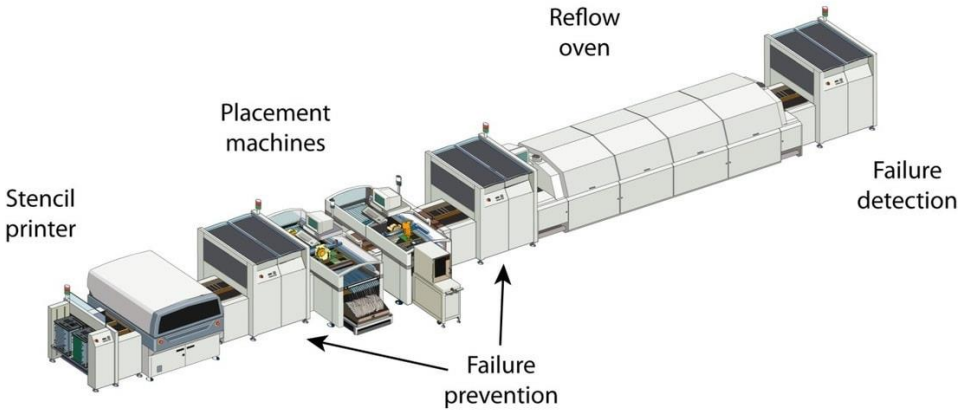
รูปที่ 1-6 ตัวอย่างม้วนบรรจุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
(ที่มา: https://www.alltemated.com/tape-and-reel/)



รูปที่ 1-7 ตัวอย่างถาดบรรจุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
(ที่มา: https://www.gobizkorea.com/user/goods)

1.2.2 กระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นกระบวนการสำหรับติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร เพื่อให้แผ่นวงจรดังกล่าว มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า หรือฟังก์ชันการทำงานตามที่ผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ออกแบบไว้ได้ ทั้งนี้การผลิตในกระบวนการดังกล่าว โดยทั่วไปมักเป็นกระบวนการผลิตอัตโนมัติแบบต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 1-8



รูปที่ 1-8 ตัวอย่างสายการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
(ที่มา: https://www.surfacemountprocess.com)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ซึ่งแม้ว่าผู้ผลิตแต่ละแห่งอาจมีรูปแบบของสายการผลิตที่แตกต่างกันออกไป แต่ก็สามารถสรุปกระบวนการผลิตที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้

กระบวนการที่ 1 การสกรีนตะกั่วลงบนแผ่นวงจร (Soldering) เมื่อแผ่นวงจรถูกลำเลียงเข้ามาในสายการผลิต เครื่องสกรีนตะกั่ว (Stencil Printer) จะทำการสกรีนตะกั่วลงบนแผ่นวงจร โดยมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ตามมาตรฐานของแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อควบคุมคุณลักษณะที่สำคัญต่าง ๆ ของตะกั่ว ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณ ความเรียบของพื้นที่ผิว ก่อนที่จะนำไปวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และบัดกรีในสถานีถัดไป

กระบวนการที่ 2การวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร (Mounting) เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Pick and Place Machine หรือ Mounter) จะนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกติดตั้งบนเครื่องจักรไปวางบนแผ่นวงจร โดยจะมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ต่าง ๆ ตามมาตรฐานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ยกตัวอย่างเช่น ตำแหน่งในการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ความเร็วและค่าลมของหัวหยิบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Nozzle) เป็นต้น

กระบวนการที่ 3 การบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผ่นวงจร (Reflow) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แผ่นวงจรจะถูกลำเลียงผ่านเครื่องบัดกรีตะกั่ว ซึ่งภายในเครื่องจักรจะให้ความร้อน 120 – 230 องศาเซลเซียส จากนั้นตะกั่วที่อยู่ในสถานะครีมจะเปลี่ยนสถานะเพื่อยึดติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ากับแผ่นวงจร

กระบวนการที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติ (Automated Optical Inspection) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตข้างต้น แผ่นวงจรจะถูกลำเลียงเข้ามาในเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติ จากนั้นเครื่องจักรจะทำการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นวงจรตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ดี เนื่องจากกระบวนการผลิตดังกล่าวมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ความซับซ้อนในแต่ละกระบวนการผลิต รวมไปถึงต้นทุนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์จึงแตกต่างกันออกไป ทำให้บางสายการผลิตอาจมีเครื่องตรวจสอบอัตโนมัติมากกว่า 1 เครื่อง เพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ และป้องกันการเกิดของเสียหลังเสร็จสิ้นกระบวนการสกรีนตะกั่วลงบนแผ่นวงจร (ดังกระบวนการที่ 1) และการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร (ดังกระบวนการที่ 2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 กระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานกรณีศึกษา

1.3.1 กระบวนการทำงานในแต่ละหน่วยการผลิต

สำหรับกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษา จะมีสายการผลิตในลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow Production) โดยจะมีสายพานในการลำเลียงชิ้นงานไปยังสถานีถัดไป โดย สามารถแบ่งออกได้เป็น 9 สถานี และแต่ละสถานีจะมีเครื่องจักรและลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

สถานีที่ 1 บรรจุแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Loading Process)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

- แมกกาซีน (Magazine)

ขั้นตอนการผลิต

ในขั้นตอนการบรรจุแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พนักงานจะต้องนำแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไปใส่ในแมกกาซีน ที่อยู่ด้านบนของเครื่องจักร (ดังแสดงในรูปที่ 1-9) ให้ครบทุกช่อง โดย 1 แมกกาซีนจะสามารถบรรจุแผ่นวงจรได้ 52 แผ่น จากนั้นเมื่อเครื่องจักรเริ่มทำงาน แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะถูกลำเลียงไปยังสถานีถัดไปครั้งละ 1 แผ่น และเครื่องจักรจะเริ่มวนรอบการทำซ้ำเมื่อสถานีที่ 2 เสร็จสิ้นการทำงาน

รูปที่ 1-9 เครื่องขนถ่ายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB Loader)
(ที่มา: https://thai.alibaba.com/product-detail)

สถานีที่ 2 ยิงเลเซอร์ (Lasering Process)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

- ไม่มี

ขั้นตอนการผลิต

ในการยิงเลเซอร์ลงบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องยิงเลเซอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 1-10) จะทำการยิงตัวอักษร หรือ คิวอาร์โค้ด (QR Code) ที่บ่งบอกถึงล็อต และ วัน เดือน ปี ของชิ้นงานที่ผลิต พร้อมทั้งตรวจสอบคุณภาพของตัวอักษร หรือ คิวอาร์โค้ด เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการแล้วสายพานก็จะลำเลียงชิ้นงานไปยังสถานีถัดไป

รูปที่ 1-10 เครื่องยิงเลเซอร์แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
(ที่มา: https://www.smt11.com/product)

สถานีที่ 3 ทำความสะอาดแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Cleaning Process)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

- ม้วนเทปกาว

ขั้นตอนการผลิต

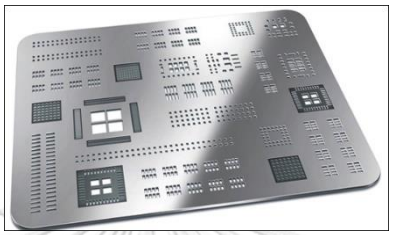
เมื่อเสร็จสิ้นจากกระบวนการยิงเลเซอร์ จะก่อให้เกิดความสกปรกบนพื้นผิวของชิ้นงาน ในสถานีนี้จะเป็นการทำความสะอาดแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยเครื่องทำความสะอาดแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (ดังแสดงในรูปที่ 1-11) โดยสายพานจะลำเลียงชิ้นงานผ่านม้วนเทปกาวที่อยู่ในเครื่องจักร ซึ่งพนักงานจะต้องติดตั้งม้วนเทปกาวไปในเครื่องจักรก่อนเริ่มการผลิต และทำการเปลี่ยนม้วนเทปกาวเมื่อเครื่องจักรร้องเตือน

รูปที่ 1-11 เครื่องทำความสะอาดแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (PCB Cleaning Machine)
(ที่มา: https://www.thai-hibex.com/product)

สถานีที่ 4 สกรีนตะกั่วลงบนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Solder-Paste Printing)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

- ตะกั่วประเภทครีม
- แป้นสกรีนตะกั่ว (ดังแสดงในรูปที่ 1-12) สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต
- ผ้าเช็ดแป้นสกรีนตะกั่ว



รูปที่ 1-12 แป้นสกรีนตะกั่ว

(ที่มา: https://sooneasy.com.hk/smt-stencil/)

ขั้นตอนการผลิต

ก่อนเริ่มการผลิตพนักงานจะต้องติดตั้งผ้าเช็ดแป้นสกรีนตะกั่ว และแป้นสกรีนตะกั่วของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต ลงบนเครื่องสกรีนตะกั่ว (ดังแสดงในรูปที่ 1-13) จากนั้นทำการเทตะกั่วลงบนแป้นสกรีนดังกล่าว เมื่อเริ่มการผลิต เครื่องจักรจะใช้ใบปาด (Squeegee) ในการปาดตะกั่วบนแป้นสกรีน ทำให้ตะกั่วไหลลงบนพื้นผิวลายทองแดงของชิ้นงาน และพนักงานจะต้องทำการเติมตะกั่วพร้อมกับเปลี่ยนผ้าเช็ดแป้นสกรีนเมื่อเครื่องจักรร้องเตือน

รูปที่ 1-13 เครื่องสกรีนตะกั่ว (Solder-Paste Printer)

(ที่มา: https://global.yamaha-motor.com/business/smt/printer/)

สถานีที่ 5 ตรวจสอบคุณภาพตะกั่ว (Solder Paste Inspection)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

- ไม่มี

ขั้นตอนการผลิต

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการสกรีนตะกั่วลงบนชิ้นงาน สายพานจะลำเลียงชิ้นงานเข้ามาในเครื่องตรวจสอบคุณภาพตะกั่ว (Solder Paste Inspection Machine, SPI) ดังแสดงในรูปที่ 1-14 โดยเครื่องจักรจะทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของตะกั่วบนชิ้นงาน เช่น พื้นที่ ความสูง ความเรียบ ว่าได้ตรงตามมาตรฐานหรือไม่ หากคุณภาพของตะกั่วตรงตามมาตรฐานสายพานจะลำเลียงชิ้นงานไปยังสถานีถัดไป แต่หากไม่ตรงตามมาตรฐานเครื่องจักรจะร้องเตือนให้พนักงานมาตรวจสอบด้วยตนเองอีกครั้ง

รูปที่ 1-14 เครื่องตรวจสอบคุณภาพตะกั่ว (Solder Paste Inspection Machine)
(ที่มา: https://global.yamaha-motor.com/business/smt)

สถานีที่ 6 วางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร

อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

- รถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Cart)

ขั้นตอนการผลิต

ก่อนเริ่มการผลิตพนักงานจะต้องเตรียมการผลิตโดยการนำรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ไปติดตั้งในเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 1-15 (สำหรับขั้นตอนเตรียมการผลิตโดยละเอียดจะกล่าวในหัวข้อถัดไป) จากนั้นเครื่องจักรจะเริ่มทำงานโดยการหยิบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จัดเตรียมไว้ไปวางบนแผ่นวงจร เมื่อเครื่องวางอุปกรณ์ทำงานเสร็จสิ้นแล้วสายพานจะลำเลียงชิ้นงานไปยังสถานีถัดไป

สำหรับความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Production Rate) ของสถานีดังกล่าวจะอ้างอิงอยู่กับประสิทธิภาพของตารางการผลิต เนื่องจากเวลาที่ใช้สำหรับการผลิต (Standard Processing Time) และเวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักร (Setup Time) จะอ้างอิงอยู่กับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ รวมไปถึงลำดับของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการปรับปรุงสถานีดังกล่าว โดยการเลือกสายการผลิต และการลำดับคำสั่งผลิตที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นกระบวนการคอขวด (Bottle Neck) ซึ่งจะส่งผลให้ใช้เวลาในการผลิต และเวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักรลดต่ำลงในที่สุด

รูปที่ 1-15 เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter)
(ที่มา: https://www.fuji.co.jp/en/items/rs_list/)

สถานีที่ 7 บัดกรีตะกั่ว (Reflow Oven)

อุปกรณ์ที่ใช้

- ไม่มี

ขั้นตอนการผลิต

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สายพานจะลำเลียงชิ้นงานไหลผ่านเครื่องรีโฟลว์ (ดังแสดงในรูปที่ 1-16) ซึ่งภายในเครื่องจักรจะให้ความร้อนสูงถึง 120 – 230 องศาเซลเซียส จากนั้นตะกั่วที่อยู่ในสถานะครีมจะเปลี่ยนสถานะเพื่อยึดติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กับลายทองแดง โดยในการเลือกปรับอุณหภูมิภายในเครื่องรีโฟลว์จะอ้างอิงกับอุณหภูมิมาตรฐานที่ได้กำหนดเอาไว้สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

รูปที่ 1-16 เครื่องบัดกรีตะกั่วในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Reflow)
(ที่มา: https://smtnet.com/mart)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สถานีที่ 8 ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน (Automated Optical Inspection)

อุปกรณ์ที่ใช้

- ไม่มี

ขั้นตอนการทำงาน

เมื่อเสร็จสิ้นการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สายพานจะลำเลียงชิ้นงานเข้ามาในเครื่องตรวจสอบชิ้นงาน (ดังแสดงในรูปที่ 1-17) โดยเครื่องจักรจะทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ตามมาตรฐานที่กำหนดเอาไว้ ยกตัวอย่างเช่น ความครบถ้วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ความสมบูรณ์ในการบัดกรีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น หากคุณภาพของชิ้นงานตรงตามมาตรฐานที่กำหนด

สายพานจะลำเลียงชิ้นงานไปยังสถานีถัดไป แต่หากคุณภาพของชิ้นงานไม่ตรงตามมาตรฐาน เครื่องจักรจะขนถ่ายชิ้นงานไปยังสายพานสำหรับลำเลียงชิ้นงานออกจากกระบวนการผลิต

รูปที่ 1-17 เครื่องตรวจสอบชิ้นงานในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (AOI)
(ที่มา: https://assets.omron.eu/downloads)

สถานีที่ 9 ขนถ่ายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Unloading Process)

อุปกรณ์ที่ใช้

- แมกกาซีน (Magazine)

ขั้นตอนการทำงาน

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน สายพานจะลำเลียงชิ้นงานมายังเครื่องขนถ่ายชิ้นงาน (ดังแสดงในรูปที่ 1-18) โดยเครื่องจักรจะทำการบรรจุชิ้นงานที่ถูกลำเลียงเข้ามา เก็บไว้ในแต่ละช่องของแมกกาซีน ซึ่งพนักงานจะต้องนำมาใส่ไว้ในเครื่องจักรก่อนเริ่มการผลิต

รูปที่ 1-18 เครื่องขนถ่ายแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Unloader)
(ที่มา: https://smtnet.com/company)

1.3.2 ขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องจักร

สำหรับขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องจักรก่อนจะเริ่มทำการผลิตในแต่ละล็อต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนที่ใช้เวลาเท่ากันในการจัดเตรียมเครื่องจักรก่อนการผลิต (Independent Setup Time)
   - ติดตั้งแมกกาซีนที่สถานีที่ 1 (Loading) และสถานีที่ 9 (Unloading) พร้อมทั้งใส่แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงในแมกกาซีน
   - ติดตั้งม้วนเทปกาวที่สถานีที่ 3 (Cleaning)
   - ติดตั้งแป้นสกรีน และผ้าเช็ดแป้นสกรีน พร้อมทั้งใส่ตะกั่วลงบนแป้นสกรีนที่สถานีที่ 4 (Solder-Paste Printing)
2. ขั้นตอนที่ใช้เวลาต่างกันในการจัดเตรียมเครื่องจักรก่อนการผลิต (Dependent Setup Time)

   สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดเตรียมเครื่องจักรในสถานีที่ 6 (Mounting) หรือเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยมีรายละเอียดในการปฏิบัติงานดังต่อไปนี้
   - จัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Cart) ที่ใช้ทั้งหมดสำหรับผลิตภัณฑ์ถัดไป จากพื้นที่เก็บรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 1-19

รูปที่ 1-19 ตัวอย่างพื้นที่เก็บรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

- ตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากรายการวัตถุดิบ (Bill of Materials)
- นำรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าออกจากเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ยกเว้นรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ร่วมกันได้ (Common Cart) กับผลิตภัณฑ์ถัดไป
- นำรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จัดเตรียมไปติดตั้งในเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 1-20

รูปที่ 1-20 ตัวอย่างการติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนเครื่องวางอุปกรณ์

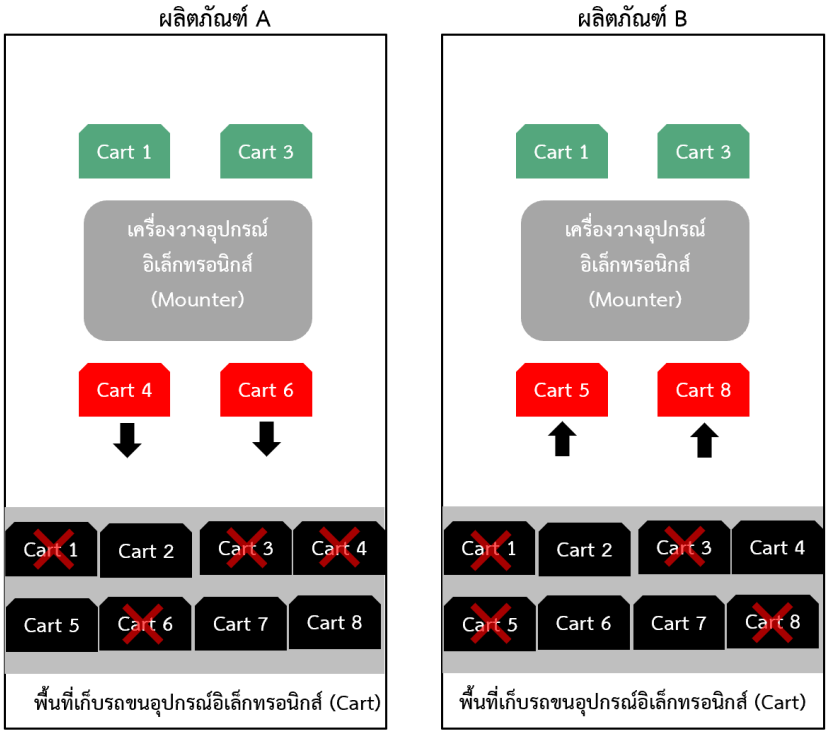
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เพื่อความชัดเจนมากยิ่งขึ้นในขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 1-1

	รถขนอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ A และ B	
	ผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า	**ผลิตภัณฑ์ถัดไป**
ผลิตภัณฑ์	**A**	**B**
รถขนอุปกรณ์ที่ใช้ (Cart)	**1, 3, 4, 6**	**1, 3, 5, 8**

ตารางที่ 1-1 รายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (A และ B)

จากตารางที่ 1-1 ผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า (ผลิตภัณฑ์ A) และผลิตภัณฑ์ถัดไป (ผลิตภัณฑ์ B) มีรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ร่วมกันได้ (Common Cart) คือ Cart 1 และ Cart 3 ดังนั้นพนักงานจะต้องนำรถขนอุปกรณ์ที่ไม่สามารถใช้ร่วมกันได้จากผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า คือ Cart 4 และ Cart 6 ออกจากเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และนำรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จัดเตรียมไว้สำหรับผลิตภัณฑ์ B ที่เหลือ (Cart 5 และ Cart 8) ไปติดตั้งบนเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 1-21



รูปที่ 1-21 ตัวอย่างการสลับรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเตรียมการผลิตถัดไป

1.4 ปัญหาที่พบและข้อจำกัดในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษา

สำหรับการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในบริษัทกรณีศึกษามีความซับซ้อนอันเนื่องมาจาก การมีกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ประกอบไปด้วย ไฟถนนสาธารณะ ไฟรถยนต์ ไฟรถมอเตอร์ไซค์ แผงควบคุมเครื่องปรับอากาศรถยนต์ รวมไปถึงสินค้าอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทก็มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันออกไป ทั้งในด้านประเภท และจำนวนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อรองรับปัญหาดังกล่าว แต่ละสายการผลิตจึงต้องมีเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter) ที่มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันออกไป ทำให้การจัดตารางการผลิต การจัดเตรียมเครื่องจักร ตลอดจนการย้ายสายการผลิต มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นไปด้วย อย่างไรก็ดีผู้วิจัยพบว่าปัญหาและข้อจำกัดในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษา สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สาเหตุหลักดังต่อไปนี้

1.4.1 การมีลักษณะจำเพาะของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter) ที่หลากหลาย

สำหรับเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละรุ่น จะมีข้อจำกัดในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกัน ทำให้โดยทั่วไปแล้วสายการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มักจะมีเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในจำนวน และรุ่นที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละสายการผลิต (แต่ละสายการผลิต จำนวน และรุ่นของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มักจะไม่เหมือนกัน) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 1-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Production Line	Number of Mounter	Capacity (Chips/Hr.)	Motorcycle	Car	Electronic device
Line01	2	72,000	✔	✔	
Line02	1	36,000	✔		✔
Line03	1	36,000		✔	
Line04	1	26,000	✔	✔	✔
Line05	3	108,000	✔		✔
Line06	3	72,000	✔	✔	
Line07	1	16,000	✔		✔
Line08	1	12,000	✔	✔	✔

ตารางที่ 1-2 ความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละสายการผลิต

จากตารางที่ 1-2 แสดงให้เห็นว่าแต่ละสายการผลิตในกระบวนการดังกล่าว มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันออกไป (อ้างอิงกับจำนวน และรุ่นของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละสายการผลิต) ทั้งในมุมของความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความแตกต่างกันสูง และความเข้ากันได้กับกลุ่มผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท ทำให้การติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในบางกลุ่มผลิตภัณฑ์ ไม่สามารถผลิตได้ในบางสายการผลิต ทั้งนี้กระบวนการผลิตดังกล่าว มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายกว่า 400 รายการ อีกทั้งกำหนดส่ง (Due Date) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน หากการจัดตารางการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ ก็จะทำให้มีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) และจำนวนส่งงานล่าช้า เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นในขั้นตอนการจัดตารางการผลิต เจ้าหน้าที่วางแผนการผลิต จะพิจารณาตามรายการสายการผลิตที่เคยผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อช่วยลดขั้นตอนในการตัดสินใจ และลดความผิดพลาดในการเลือกสายการผลิตที่ไม่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4.2 การย้ายสายการผลิตในรายการไปยังสายการผลิตนอกรายการ

อย่างไรก็ดี สายการผลิตในรายการอาจไม่สามารถทำการผลิตเพิ่มเติมได้ เนื่องจากปริมาณความต้องการสินค้าในบางประเภทเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีกำลังการผลิตไม่เพียงพอ หรือ เครื่องจักรเกิดการชำรุดเสียหาย จึงเกิดความจำเป็นที่จะต้องเลือกสายการผลิตนอกรายการทดแทน โดยในการคัดเลือกสายการผลิตนอกรายการทดแทน เจ้าหน้าที่วางแผนการผลิต จะต้องพิจารณาถึงฟังก์ชันการทำงานของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ว่าสามารถผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ได้หรือไม่ และจะต้องดำเนินการตามนโยบายของบริษัทเพิ่มเติม โดยจะต้องปฏิบัติงานร่วมกับแผนกอื่น ๆ เพื่อควบคุมมาตรฐานในการผลิต ดังนั้นในกระบวนการข้างต้นจะทำให้สูญเวลาในการดำเนินงานเพิ่มเติม ดังแสดงในตารางที่ 1-3

From \ To		Additional Setup Time Required for Transfering Production Line (Minutes)							
		Plant 1				Plant 2			
		LINE01	LINE02	LINE03	LINE04	LINE05	LINE06	LINE07	LINE08
Plant 1	LINE01		30	30	60	150	150	180	180
	LINE02	45		30	60	120	120	180	180
	LINE03	45	30		75	150	120	180	180
	LINE04	75	60	60		180	150	135	135
Plant 2	LINE05	150	120	120	180		60	90	120
	LINE06	150	120	120	150	90		75	75
	LINE07	165	150	150	120	90	75		60
	LINE08	135	120	120	90	90	75	45	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1-3 เวลาที่ใช้ในการย้ายสายการผลิตในรายการไปยังสายการผลิตนอกรายการ

จากตารางที่ 1-3 แสดงให้เห็นว่าการย้ายสายการผลิตในรายการไปยังสายการผลิตนอกรายการ จะต้องพิจารณาถึงสายการผลิตต้นทาง และสายการผลิตปลายทาง เพื่อป้องกันการสูญเสียเวลาในการดำเนินการที่มากเกินความจำเป็น ยกตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ A มีสายการผลิต 1 เป็นสายการผลิตในรายการ ซึ่งสายการผลิต 3 และ 8 มีความสามารถในการผลิตผลิตภัณฑ์ A ได้ แต่ยังไม่เคยมีการผลิตมาก่อน (สายการผลิตนอกรายการ) หากย้ายการผลิตไปยังสายการผลิต 8 จะต้องเสียเวลาในการดำเนินการถึง 180 นาที ซึ่งสายการผลิต 3 ใช้เวลาดำเนินการเพียง 30 นาที ดังนั้นหากย้ายไปยังสายการผลิต 8 จะทำให้สูญเสียเวลามากกว่าถึง 150 นาที

1.4.3 การจัดเตรียมการผลิต (Setup) สำหรับเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter)

ในการจัดเตรียมเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก่อนการผลิต เป็นการจัดเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ในรูปแบบของรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) ที่ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตถัดไป ดังที่กล่าวในหัวข้อก่อนหน้า ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าการจัดเตรียมงานในสถานีดังกล่าว มีความซับซ้อน และใช้เวลาในการปฏิบัติงานสูง เนื่องจากแต่ละผลิตภัณฑ์ มีการใช้รถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หลากหลาย อีกทั้งในการจัดเตรียมงาน พนักงานจะต้องไปค้นหารถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะต้องใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ถัดไปที่ไม่ได้ใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ก่อนหน้า (Uncommon Cart) จากพื้นที่จัดเก็บ ซึ่งก็มีจำนวนรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หลากหลายตลอดจนการตรวจสอบความถูกต้องของรายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ได้จัดเตรียมไว้ ดังนั้นหากการจัดตารางการผลิต ขาดการลำดับผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ ก็จะยิ่งส่งผลทำให้มีขั้นตอนการจัดเตรียมงานข้างต้นมากยิ่งขึ้น และใช้เวลาในการจัดเตรียมงานเพิ่มสูงขึ้นในที่สุด

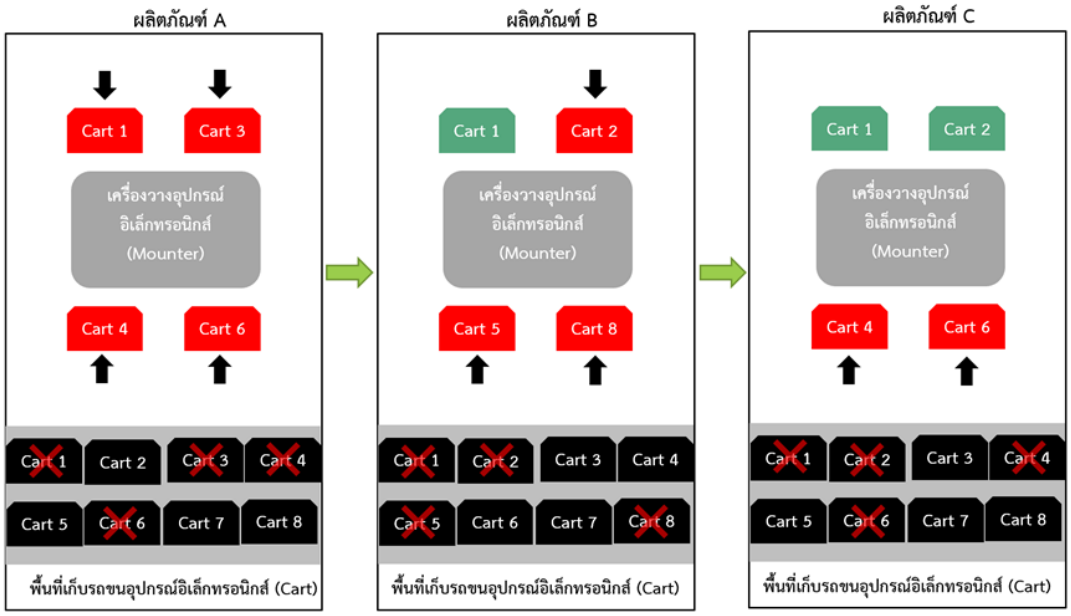
เพื่อความชัดเจนของผลกระทบในการจัดตารางการผลิตที่มีต่อการจัดเตรียมเครื่องจักร ผู้วิจัยจึงยกตัวอย่างรายการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 1-4

ผลิตภัณฑ์	รถขนอุปกรณ์ที่ใช้ (Cart)
A	1, 3, 4, 6
B	1, 2, 5, 8
C	1, 2, 4, 6

ตารางที่ 1-4 รายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (A, B และ C)

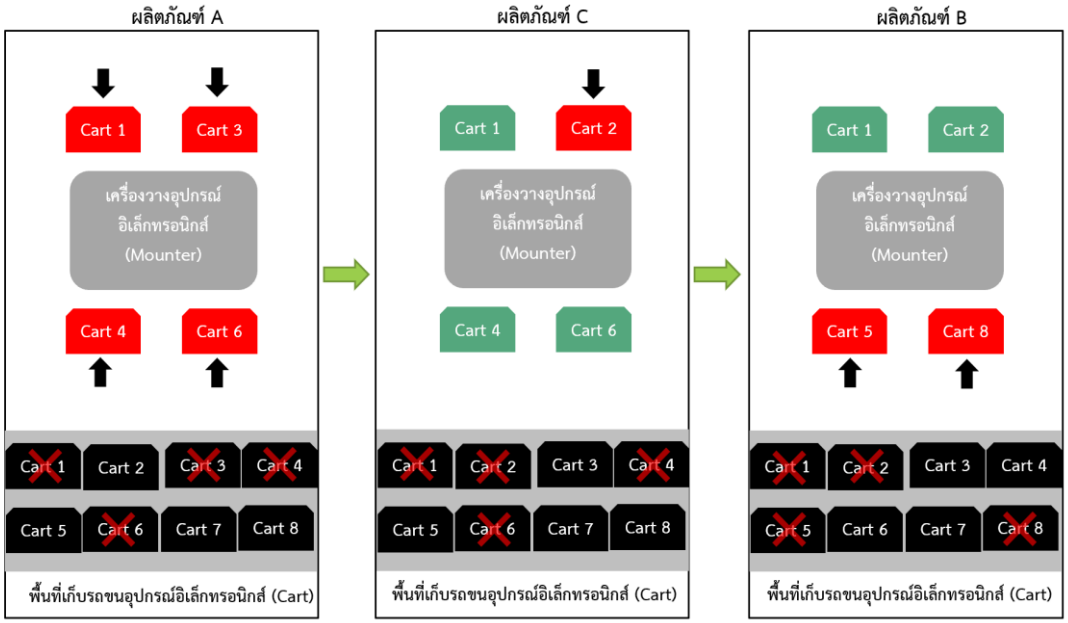
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรายการผลิตข้างต้น เจ้าหน้าที่วางแผนการผลิตจะต้องออกคำสั่งผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ A, B และ C ซึ่งแต่ละผลิตภัณฑ์ก็มีรายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ร่วมกันได้ (Common Cart) ที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นหากเจ้าหน้าที่วางแผนการผลิต จัดลำดับผลิตภัณฑ์จาก A, B และ C ตามลำดับ จะทำให้มีการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ถึง 9 คัน ดังแสดงในรูปที่ 1-22



รูปที่ 1-22 ตัวอย่างการจัดลำดับคำสั่งผลิตที่ไม่เหมาะสม

จากรูปที่ 1-22 แสดงให้เห็นว่าหากมีการลำดับผลิตภัณฑ์จาก A, B และ C ตามลำดับ พนักงานจะต้องจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด 9 คัน พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของรายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในทุก ๆ คัน แต่หากเจ้าหน้าที่วางแผนการผลิต ลำดับผลิตภัณฑ์จาก A, C และ B ตามลำดับ จะทำให้ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 1-23



รูปที่ 1-23 ตัวอย่างการจัดลำดับคำสั่งผลิตที่เหมาะสม

จากรูปที่ 1-23 แสดงผลลัพธ์ในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการลำดับคำสั่งผลิตจากผลิตภัณฑ์ A, C และ B ตามลำดับ จากผลลัพธ์ดังกล่าว พนักงานจะต้องจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพียง 7 คัน ซึ่งน้อยกว่าการลำดับคำสั่งผลิตจากผลิตภัณฑ์ A, B และ C ตามลำดับ ถึง 2 คัน ดังนั้นในการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าว หากมีการจัดลำดับคำสั่งผลิตที่มีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาถึงรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถใช้ร่วมกันได้ (Common Cart) ผลิตต่อเนื่องกัน ก็จะทำให้ขั้นตอนการจัดเตรียมเครื่องจักรในสถานีวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounting) ซึ่งเป็นสถานีที่มีความซับซ้อนในกระปฏิบัติงาน และใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด มีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ลดน้อยลง และสามารถลดเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) ได้ในที่สุด

1.5 วิธีการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษา

ในการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาเป็นการผลิตแบบตามคำสั่งซื้อ (Made-to-order) การจัดตารางการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาจึงอ้างอิงอยู่กับข้อมูลคำสั่งซื้อ (จำนวนสินค้า และวันส่งมอบสินค้า) ของลูกค้าเป็นหลักสำคัญ โดยแผนกติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะต้องผลิตชิ้นงานตามจำนวน และวันกำหนดส่ง ตามที่แผนกประกอบชิ้นงาน (Assemble Department) กำหนด นอกเหนือไปจากข้อมูลคำสั่งซื้อ เจ้าหน้าที่วางแผนการผลิตจะต้องพิจารณาความสามารถในการผลิต และ กลุ่มผลิตภัณฑ์สำหรับแต่ละสายการผลิต ตลอดจนความพร้อมของเครื่องจักร ซึ่งเจ้าหน้าที่วางแผนการผลิตจะได้รับข้อมูลดังกล่าว จากแผนกซ่อมบำรุง (Maintenance Department) จากการปฏิบัติงาน ผู้วิจัยพบว่าการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวยังไม่มีมาตรฐานที่ใช้ในการวางแผน ดังนั้นการปฏิบัติงานจึงอาศัยความชำนาญ และประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่วางแผนเป็นหลักสำคัญ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะกำหนดให้แต่ละผลิตภัณฑ์ผลิตในสายการผลิตเดิม หรือกำหนดให้สายการผลิตที่มีความสามารถในการผลิตสูงก่อนเท่านั้น ส่งผลทำให้เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) และจำนวนชั่วโมงล่วงเวลา (Overtime) สูง อีกทั้งอรรถประโยชน์ในบางสายการผลิตต่ำ ดังนั้นในกรณีที่ความต้องการแปรปรวนก็จะทำให้ผลิตงานไม่ทันกำหนดส่ง ส่งผลให้จำนวนส่งงานล่าช้าเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังต้องเปิดชั่วโมงล่วงเวลาในวันหยุดราชการ

สำหรับกรณีที่บางผลิตภัณฑ์ไม่สามารถถูกผลิตในสายการผลิตในรายการได้ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ยกตัวอย่างเช่น กำลังการผลิตไม่เพียงพอ เครื่องจักรชำรุดเสียหาย หรือ มีการแทรกคำสั่งการผลิต เจ้าหน้าที่วางแผนการผลิตจะเลือกสายการผลิตนอกรายการทดแทน โดยตรวจสอบจากรายการฟังก์ชันที่รองรับ และเวลามาตรฐานในการผลิต (Standard Processing Time)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตลอดจนประเมินงานคงค้างในแต่ละสายการผลิต จากนั้นทำการเลือกสายการผลิตที่เหมาะสมที่สุด สังเกตได้ว่าในการจัดตารางการผลิตไม่ได้พิจารณาลำดับของคำสั่งการผลิต และเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมเครื่องจักรในกรณีที่ย้ายคำสั่งการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ ซึ่งเป็นสาเหตุให้สูญเสียเวลาในการจัดเตรียมงานโดยไม่จำเป็น

1.6 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างฮิวริสติกส์ในการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ได้มาซึ่งแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพในระยะเวลาอันสั้น โดยสามารถผลิตงานได้ทันตามวันกำหนดส่ง (Due Date) และใช้เวลาในการผลิต (Makespan) และต้นทุนล่วงเวลา (Overtime Cost) ต่ำลงในที่สุด

1.7 ขอบเขตงานวิจัย

1. สร้างฮิวริสติกส์ที่ใช้สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในบริษัทกรณีศึกษา ที่มีจำนวนโรงงาน 2 แห่ง และ 8 สายการผลิต โดยแต่ละสายการผลิตมีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันออกไปในด้านความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Production Rate) และความเข้ากันได้ของสายการผลิตกับกลุ่มผลิตภัณฑ์

2. มุ่งเน้นพัฒนาและปรับปรุงตารางการผลิตที่ให้ผลลัพธ์ในรูปแบบของคำสั่งการผลิต โดยมีการชี้วัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือระยะเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) ภายใต้ข้อจำกัด (Constraint) ของวันกำหนดส่ง (Due Date) กำลังการผลิต การหยุดการผลิตเพื่อบำรุงรักษาเครื่องจักร (Preventive Maintenance) และชั่วโมงทำงาน

3. การจัดตารางการผลิตตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีเพียงพอต่อความต้องการ ไม่มีการสูญเสีย (Loss) ในการปฏิบัติงาน เครื่องจักรในทุกสายการผลิตไม่มีการชำรุดเสียหาย (breakdown) ตลอดจนไม่มีการหยุดการผลิต เว้นแต่การหยุดการผลิตตามแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ

สามารถจัดทำตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะสามารถลดเวลาปิดงานของระบบ ลดต้นทุนค่าล่วงเวลา ลดกระบวนการที่ก่อให้เกิดการปฏิบัติงานซ้ำซ้อน ตลอดจนการเพิ่มอรรถประโยชน์ของเครื่องจักร ซึ่งทำให้สามารถรองรับปริมาณความต้องการผลผลิตได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น

1.9 แนวทางการหาคำตอบ

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของบริษัทกรณีศึกษานี้ ผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นขึ้น โดยในขั้นตอนแรก ผู้วิจัยได้ทำการสร้างผลเฉลยเบื้องต้นด้วยกฎการจ่ายงานอย่างง่าย (Dispatching Rules) ด้วยกฎการส่งมอบงานที่เร็วที่สุด (Earliest Due Date) แล้วจึงทำการปรับปรุงผลเฉลยดังกล่าวด้วยการค้นหาเฉพาะถิ่น (Local Search) แบบต่าง ๆ เช่น การสุ่มอย่างทั่วถึง และการสับเปลี่ยนคำสั่งการผลิตระหว่างสายการผลิต (SWAP) ร่วมกับการย้ายขอบเขตการค้นหาไปยังขอบเขตเฉพาะถิ่นอื่น ๆ (Escape Mechanism) เพื่อให้ได้มาซึ่งตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต เป็นการบริหารจัดการทรัพยากรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ทั้งในมุมมองของเครื่องจักร วัตถุดิบ ผู้ปฏิบัติงาน รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการผลิต เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในการผลิต ยกตัวอย่างเช่น การส่งมอบงานได้ตามกำหนดเวลา การใช้อรรถประโยชน์ของเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยปัจจัยที่จะทำให้ตารางการผลิตมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องมีการแจกแจงคำสั่งผลิตที่ดี กล่าวคือ การเลือกสายการผลิตที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ทั้งในเชิงคุณภาพ และเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิต (Standard Processing Time) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านกำหนดส่ง (Due Date) ของผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกัน อีกทั้งเวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักร (Setup Time) อ้างอิงอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน (Sequence Dependent Setup Times) ทำให้การจัดตารางการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้น

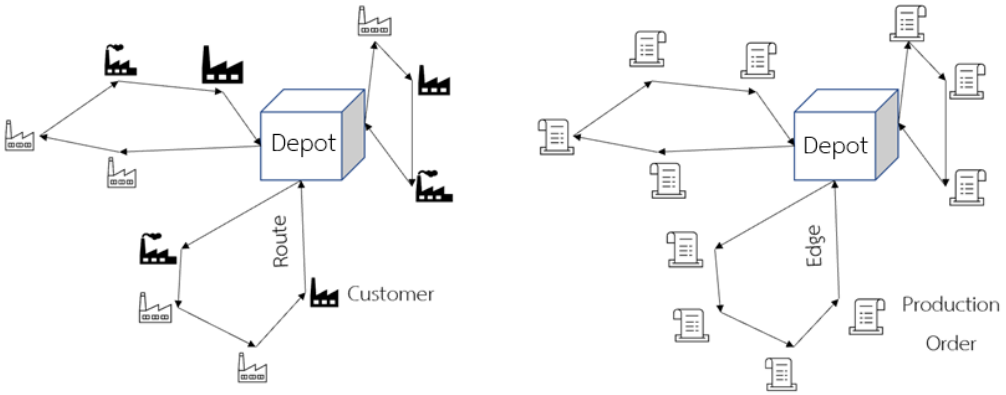
สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิต มักถูกจัดเป็นปัญหาที่อยู่ในรูปแบบเดียวกับปัญหาการขนส่งต่าง ๆ เช่น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems, TSP) ซึ่งเป็นการกำหนดเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายไปยังสถานที่ต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ใช้ระยะทางในการเดินทางที่สั้นที่สุด หรืออีกนัยยะหนึ่ง ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางของพนักงานขายสามารถเปรียบเทียบได้กับต้นทุนที่ใช้ในการผลิต ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปแบบของเวลา หรือ ค่าใช้จ่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อีกหนึ่งตัวอย่างของปัญหาการขนส่งที่มีความซับซ้อน ที่มักจะถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต คือ ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Vehicle Routing Problems, VRP) ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางของพาหนะไปยังสถานที่ต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ต้นทุนในการดำเนินกิจกรรมการขนส่งน้อยที่สุด [1] อีกทั้งปัญหาดังกล่าวยังสามารถนำมาแบ่งออกได้หลากหลายประเภท โดยแต่ละประเภทนั้นก็มีลักษณะจำเพาะหรือข้อจำกัดในการดำเนินกิจกรรมการขนส่งที่แตกต่างกันออกไป เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะแบบมีกรอบเวลาที่จำกัด (Vehicle Routing Problems with Time Windows, VRPTW) [2] ซึ่งมีความซับซ้อนในการมีกรอบเวลาในการขนส่งของแต่ละสถานที่ [3] หรือ ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะโดยมีพาหนะหลากหลายประเภท (Non-

Homogeneous Fleet VRP) คือการมีข้อจำกัดในมุมประเภทของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ดังนั้นในการกำหนดพาหนะเพื่อไปรับ-ส่งสินค้า ก็จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านประเภทของพาหนะประกอบด้วย

หากเทียบเคียงปัญหาดังกล่าวข้างต้นกับปัญหาในการผลิต พบว่าลักษณะของปัญหามีความใกล้เคียงกัน [4] โดยสถานที่ในการขนส่งสามารถเปรียบเทียบได้กับคำสั่งการผลิต ในขณะที่ระยะทางในการขนส่งระหว่างสถานที่ต่าง ๆ เปรียบเทียบได้กับระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต (ดังแสดงในรูปที่ 2-1) ซึ่งในแต่ละผลิตภัณฑ์ก็จะมีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกัน เช่น กำหนดเวลาส่งมอบงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงการเลือกสายการผลิตที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ทั้งในด้านของระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต และคุณภาพในการผลิต



รูปที่ 2-1 เปรียบเทียบการประยุกต์ปัญหา VRP กับปัญหาการจัดตารางการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทั้งนี้การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถสร้างผลเฉลยที่ทำให้บรรลุฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) สูงที่สุด หรือ ต่ำที่สุด ภายใต้คุณลักษณะ และข้อจำกัดต่าง ๆ ของการผลิตได้ [5,6] อย่างไรก็ดี ปัญหาการจัดตารางการผลิตส่วนใหญ่ มักอยู่ในกลุ่มของปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) [7,8] เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (Computational Time) เพื่อค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal Solution) จะอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Function) กล่าวคือ เมื่อปัญหามีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นยกกำลังขนาดของปัญหา ทั้งนี้ จุฑามาศ ผลตระกูล และ พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์ (2018) ได้นำเอาวิธีการหาค่าเหมาะสมที่ดีที่สุด (Optimization) มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตยาเม็ดเคลือบฟิล์ม พบว่าที่จำนวนรายการยา 30 รายการ การแก้ปัญหาด้วยวิธีการดังกล่าวใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า 23 ชั่วโมง และเกิดปัญหาข้อจำกัดทางด้านหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์

(Out of Memory, OOM) เมื่อจำนวนรายการยามากกว่า 30 รายการ [4] ด้วยปัญหาดังกล่าววิธีการหาค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดจึงมีข้อจำกัดในการนำมาใช้แก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และซับซ้อน [9]

ปัญหาเอ็นพีแบบยากจึงมักถูกแก้ผ่านอัลกอริทึม (Algorithm) ต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพหากแต่ยังคงใช้เวลาในการประมวลผล (Computational Time) ที่อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันพหุนาม (Polynomial Function) [10,11] ซึ่งวิธีการฮิวริสติกส์ (Heuristic Technique) ก็เป็นอีกหนึ่งในวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะ และการจัดตารางการผลิต ถึงแม้ว่าผลเฉลยที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกส์นั้น อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุด [12] แต่วิธีการฮิวริสติกส์กลับมีความยืดหยุ่น และสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาที่มีข้อกำหนดที่ซับซ้อนได้ดี อีกทั้งยังใช้เวลาในการคำนวณที่สั้นกว่าการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาก

สำหรับฮิวริสติกส์ที่ถูกพัฒนาขึ้นส่วนใหญ่ มักอยู่ในรูปแบบฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น (Two-Phase Heuristic) [13] โดยสามารถแบ่งขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการหาผลเฉลยเบื้องต้น (Construction Heuristic)
2. ขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristic)

โดยในขั้นตอนแรก จะเป็นการค้นหาผลเฉลยเบื้องต้นผ่านอัลกอริทึมต่าง ๆ เช่น กฎการจ่ายงานอย่างง่าย (Dispatching Rules) [14] ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างแพร่หลาย โดยอาจจะเลือกประยุกต์ใช้กฎการจ่ายงานที่เหมาะสมกับรูปแบบของปัญหานั้น ๆ เช่น กฎการจ่ายงานที่เร็วที่สุด (Earliest Due Date) กฎการจ่ายงานที่สั้นที่สุด (Shortest Processing Time) หรือ กฎการจ่ายงานที่ใช้เวลานานที่สุด (Longest Processing Time) เป็นต้น

ในลำดับถัดไปจึงนำผลเฉลยดังกล่าวไปพัฒนาปรับปรุงให้มีคุณภาพใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุดในขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristic) อย่างไรก็ดีผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์อาจเป็นผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Solutions) [15] เนื่องจากการสร้าง และการปรับปรุงผลเฉลยส่วนใหญ่ มักอ้างอิงจากกระบวนการค้นหาเฉพาะถิ่น (Local Search) ดังนั้นเราจึงอาจจำเป็นต้องอาศัยการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) เข้าร่วมในการพัฒนาผลเฉลยข้างต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุดยิ่งขึ้น

สำหรับการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) เป็นคุณสมบัติสำคัญของเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้การค้นหาผลเฉลยนั้นไม่จำกัดขอบเขต (Search Space) เพียงแต่ผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Minima) หนึ่งๆเท่านั้น ทั้งนี้ในการพัฒนาเมตาฮิวริสติกส์ส่วนใหญ่มักนิยมนำแนวคิดจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในการค้นหาผลเฉลย ยกตัวอย่างเช่น วิธีทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พันธุกรรม (Genetic Algorithm) [16] ซึ่งเป็นการนำผลเฉลยที่อยู่ในรูปแบบโครโมโซม มาทำการปรับปรุงผ่านการแลกเปลี่ยนข้าม (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) หรือขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Algorithm) [17] เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว วิธีเมตาฮิวริสติกส์จึงนิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตอย่างแพร่หลาย [18-21]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่ถูกนำมาวิจัยและพัฒนาอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิต หากแต่จะมีรายละเอียด ข้อจำกัด และวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตก็มีอยู่หลากหลายรูปแบบ ดังนั้นการเลือกวิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ จากปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในบริษัทกรณีศึกษา จัดเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) ซึ่งปัญหาในลักษณะดังกล่าว มักจะถูกนำมาแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ เนื่องจากสามารถให้ผลเฉลยที่น่าพึงพอใจ ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ อีกทั้งยังใช้เวลาในการประมวลผลอันสั้น ผู้วิจัยจึงนำงานวิจัยที่มีลักษณะปัญหาคล้ายคลึงกันมาศึกษาเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าว

สุวัฑฒิพงศ์ พรหมจันทร์ และ พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์ (2019) ได้นำวิธีฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการบรรจุยาสีฟัน ซึ่งมีกระบวนการจัดเตรียมงานที่ซับซ้อน อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมงานขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต รวมไปถึงข้อจำกัดในด้านเครื่องจักรที่ไม่สามารถผลิตงานได้ทุกประเภท ซึ่งในขั้นตอนแรกของฮิวริสติกส์ ได้นำกฎการส่งมอบงานที่เร็วที่สุด (Earliest Due Date) มาใช้ในการหาผลเฉลยเบื้องต้น และปรับปรุงผลเฉลยดังกล่าวด้วยการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะถิ่น (Local Searches) และการหลีกหนีขอบเขตเฉพาะถิ่น เพื่อค้นหาผลเฉลยที่ดีขึ้น โดยการวนรอบการทำซ้ำด้วยวิธีการสลับงาน (SWAP) และวิธีการย้ายตำแหน่ง (Moving Exchange, MOVEX) จากผลงานวิจัยพบว่าสามารถลดเวลาปิดงานของระบบได้ร้อยละ 32 และสามารถลดค่าใช้จ่ายประจำปีกว่า 600,000 บาทต่อปี [22]

นอกเหนือจากงานวิจัยข้างต้น ทศพร ประเสริฐพร และ พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์ (2021) ยังนำเอาวิธีฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางบรรจุยาเม็ด ซึ่งมีความซับซ้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อันเนื่องมาจากรูปแบบในการบรรจุยาเม็ดที่มีความหลากหลาย และรูปแบบของการบรรจุยาเม็ดแต่ละประเภทจะต้องใช้เครื่องจักรที่มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้มีเวลามาตรฐานในการผลิต (Standard Processing Time) และเวลาจัดเตรียมเครื่องจักร (Setup Time) ที่แตกต่างกัน โดยในขั้นตอนแรกได้นำกฎการผลิตที่สั้นที่สุด (Shortest Processing Time) มาใช้ในการสร้างผลเฉลยเบื้องต้น แล้วนำผลเฉลยดังกล่าวมาปรับปรุงด้วยวิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) โดยการแลกเปลี่ยนข้าม (Cross Over) และการกลายพันธุ์ (Mutation) จากผลการวิจัยพบว่าวิธีดังกล่าวสามารถลดเวลาปิดงานของระบบได้เฉลี่ยร้อยละ 8 และลดต้นทุนค่าล่วงเวลาเฉลี่ยร้อยละ 10 [23]

Franca, Paulo M, Gendreau, Laporte และ Müller (1996) ได้นำเสนอฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต สำหรับกระบวนการผลิตที่มีเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine) และเวลาสำหรับการเตรียมการผลิตขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน (Sequence Dependent Setup Time) โดยการสร้างผลเฉลยเบื้องต้น และปรับปรุงผลเฉลยด้วยการค้นหาเฉพาะถิ่นร่วมกับการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) จากนั้นนำผลเฉลยดังกล่าวมาปรับปรุงในขั้นตอนสุดท้ายด้วยวิธีการแทรกคำสั่งการผลิต (Insertion) และวิธีการย้ายคำสั่งการผลิต (Removal) จากผลวิจัยพบว่าวิธีการดังกล่าวให้ผลลัพธ์ที่มีเวลาปิดงานของระบบมากกว่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal Solution) เฉลี่ยร้อยละ 4.68 [24]

Miyata, Hissashi, Nagano และ Gupta (2019) ได้นำวิธีฮิวริสติกส์มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop) และมีการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิตโดยขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน (Sequence Dependent Setup Times) ตลอดจนการพิจารณาถึงการซ่อมบำรุงเครื่องจักรเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการลดเวลาปิดงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ [25]

Gholami, Zandieh และ Alem-Tabriz (2009) ได้ศึกษาวิธีการทางฮิวริสติกส์เพื่อนำมาแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนผสม (Hybrid Flow Shop) พบว่าวิธีการทางฮิวริสติกส์สามารถนำมาแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการผลิตที่มีเวลาการเตรียมการผลิตขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน (Sequence Dependent Setup Times) และคำนึงถึงกรณีที่เครื่องจักรมีการชำรุดเสียหาย (Stochastic Breakdown) ได้เป็นอย่างดี [26]

Türkyılmaz, Alper, Şenvar, Ünal และ Bulkan (2022) ได้นำวิธีการทางฮิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิต สำหรับกระบวนการผลิตที่มีเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Machine) โดยมีข้อกำหนดวันกำหนดปล่อยงาน (Release Date) และวันกำหนดส่ง (Due Date) ด้วยการสร้างผลเฉลยเบื้องต้นจากกฎการจ่ายงานอย่างง่าย จากนั้นนำผลเฉลยไปปรับปรุงด้วยวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) จากผลลัพธ์ของวิธีการดังกล่าวสามารถลดจำนวนงานล่าช้า และเวลาปิดงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ [27]

Damodaran, Purushothaman และ Chang (2008) ได้นำขั้นตอนวิธีการอบอ่อน (Simulated Annealing) ซึ่งจัดเป็นเมตาฮิวริสติกส์ มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อลดเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) พบว่าขั้นตอนวิธีดังกล่าวสามารถนำมาแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ดีกว่าการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์อีกด้วย [28]

Hulett, Maria, Damodaran และ Amouie (2017) ได้นำวิธีหาคำตอบที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) และวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่ดีที่สุด (Optimization) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการทดสอบแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่ดีที่สุดให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าในปัญหาที่มีขนาดเล็ก (จำนวนงาน 5-50 รายการ) แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มากขึ้น พบว่าวิธีหาคำตอบที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคให้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งกว่าวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่ดีที่สุด (ภายใต้ข้อจำกัดเวลาในการประมวลผล 30 นาที) ทั้งในแง่มุมของคุณภาพของผลเฉลย (Solution Quality) และเวลาในการประมวลผล (Computational Time) [29]

Qin, Wei, Zhuang, Liu และ Tang (2019) ได้นำวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Algorithm, ACA) มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร โดยมีลักษณะของปัญหาที่ประกอบไปด้วย กำหนดส่งงาน (Due Date) การตัดสินใจปริมาณการผลิต (Lot Sizing) ตลอดจนการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิตที่ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน (Sequence Dependent Setup Times) พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในแง่มุมของผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ตลอดจนระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล [30]

จากการศึกษาวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยพบว่าวิธีการทางฮิวริสติกส์ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตอย่างอย่างแพร่หลาย แม้ว่าปัญหาต่าง ๆ จะมีคุณลักษณะหรือข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนในเชิงการผลิต ยกตัวอย่างเช่น การจัดเตรียมการผลิต การมีเครื่องจักรที่มีลักษณะจำเพาะที่หลากหลาย หรือ การจัดตารางการผลิตโดยพิจารณาถึงความเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของเครื่องจักร ตลอดจนปัญหาที่มีความซับซ้อนในเชิงวัน

กำหนดส่ง ดังนั้นการประยุกต์ใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังใช้เวลาในการประมวลผลในระยะเวลาอันสั้น

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีความซับซ้อนของกระบวนการผลิตในด้านเวลาการจัดเตรียมงานที่ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อเนื่องกัน (Sequence Dependent Setup Time) การผลิตโดยมีเครื่องจักรที่มีลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกัน (Non-Identical Parallel Machine) ตลอดจนความหลายหลากของผลิตภัณฑ์ที่มีกำหนดส่ง (Due Date) ที่แตกต่างกัน ดังจะกล่าวต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
แนวทางการดำเนินการวิจัย

3.1 ลักษณะของปัญหา

สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นการนำปริมาณความต้องการของลูกค้า ที่อยู่ในรูปแบบรายการคำสั่งซื้อมาบริหารจัดการวางแผนเพื่อให้ได้มาซึ่งตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ทั้งในแง่มุมของการบริหารจัดการทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตอย่างเหมาะสม ตลอดจนต้นทุนในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ หากการจัดตารางการผลิตไม่มีประสิทธิภาพก็จะทำให้มีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) ที่ยาวนานเกินความจำเป็น ส่งผลทำให้สูญเสียต้นทุนในการปฏิบัติงานล่วงเวลา (Overtime Cost) เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

อย่างไรก็ดีการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวมีรูปแบบของปัญหา และข้อจำกัดที่ค่อนข้างซับซ้อน ทั้งในแง่มุมของความหลากหลายของสายการผลิตที่มีลักษณะจำเพาะของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ความเข้ากันได้กับแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ อีกทั้งปัญหาการจัดเตรียมเครื่องจักรในกรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องย้ายสายการผลิตซึ่งใช้เวลาในการจัดเตรียมแตกต่างกัน โดยเวลาที่ใช้สำหรับการจัดเตรียมเครื่องจักรจะอ้างอิงจากสายการผลิตต้นทาง และสายการผลิตปลายทาง รวมไปถึงปัญหาการลำดับการผลิต ซึ่งจะส่งผลต่อขั้นตอนในการจัดเตรียมและติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หากการลำดับการผลิตไม่มีประสิทธิภาพก็จะทำใช้เวลาในการจัดเตรียมงาน (Setup Time) มากเกินความจำเป็น ตลอดจนกำหนดส่งมอบของแต่ละงานที่มีความแตกต่างกัน จากปัญหาที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะสังเกตได้ว่าการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพได้นั้นจะต้องพิจารณาถึงหลากหลายปัจจัย หากการจัดตารางการผลิตไม่มีระบบแบบแผน และไม่มีเครื่องมือในการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมก็อาจจะไม่ได้มาซึ่งตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันเวลา และใช้ต้นทุนในการผลิตได้อย่างเหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 ข้อมูลที่จำเป็นในการจัดตารางการผลิตแผ่นวงจรในกระบวนการติดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาเป็นการผลิตแบบตามคำสั่งซื้อ (Made-to-order) การจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาจึงอ้างอิงอยู่กับข้อมูลคำสั่งซื้อ (จำนวนสินค้า และวันส่งมอบสินค้า) ของลูกค้าเป็นหลักสำคัญ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความพร้อมของเครื่องจักรซึ่งขึ้นอยู่กับชุดข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 รายละเอียดข้อมูลคำสั่งผลิต

สำหรับข้อมูลรายการคำสั่งผลิต จะประกอบไปด้วยรหัสผลิตภัณฑ์ ปริมาณความต้องการที่อยู่ในรูปแบบของจำนวนแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมทั้งกำหนดส่งของงานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-1

Product Code	Quantity (Unit: Board)	Due Date
AT01_1	350	15/1/2022
AT02_1	320	15/1/2022
AT06_1	450	15/1/2022
AT07_1	400	15/1/2022
ET02_1	350	15/1/2022
ET04_1	350	15/1/2022
ET05_2	400	15/1/2022
ET06_1	350	15/1/2022
LM01_1	400	15/1/2022
LM01_2	450	15/1/2022
LM02_1	400	15/1/2022
LM02_2	350	15/1/2022
TW02_1	350	15/1/2022
TW03_1	400	15/1/2022
TW04_2	350	15/1/2022
AT07_2	400	16/1/2022
AT08_1	425	16/1/2022
AT09_2	500	16/1/2022
AT10_1	500	16/1/2022
⋮	⋮	⋮

ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างข้อมูลรายการคำสั่งผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 ข้อมูลเวลามาตรฐาน (Standard Processing Time) ของแต่ละผลิตภัณฑ์

สำหรับข้อมูลเวลามาตรฐานที่ใช้สำหรับการผลิต (Standard Processing Time) จะประกอบไปด้วยรหัสผลิตภัณฑ์ และเวลามาตรฐานที่ใช้สำหรับการผลิตในแต่ละสายการผลิตที่สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ได้ ดังแสดงในตารางที่ 3-2

Product Code	Standard Processing Time (Unit: Sec.)							
	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line6	Line 7	Line 8
TW01		32		65			56	
TW02		39		54				
TW03		38		44				
TW04		40		47		35		
TW05		34		59				
TW06	32			58				
TW07	30			51				
TW08	25			45				62
TW09	30			43				
TW10	25			51				
TW11	32			62				
TW12					25			42
TW13					32			42
TW14					26			42
TW15				48			46	52
TW16							40	46
TW17							38	45
TW18		32			28	30		
TW19						33		
TW20						34	38	
⋮					⋮			

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างข้อมูลเวลามาตรฐานสำหรับการผลิต (Standard Processing Time)

3.2.3 รายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

สำหรับรายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะนำมาใช้เพื่อประกอบการพิจารณาในการจัดลำดับการผลิต ซึ่งในแต่ละสายการผลิตจะแตกต่างกันออกไป โดยจะอ้างอิงอยู่กับจำนวนเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter) โดยที่เครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 1 เครื่อง จะมีช่อง (Slot) สำหรับติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ 4 คัน และรายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของแต่ละสายการผลิต จะประกอบไปด้วย รหัสผลิตภัณฑ์ (Product Code) ที่สามารถทำการผลิตได้ ณ

สายการผลิตนั้น ๆ และรหัสรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Cart Number) ที่ใช้ในแต่ละช่อง (Slot) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังแสดงตัวอย่างรายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของสายการผลิตที่ 1 ในตารางที่ 3-3

Production Line 1								
Product Code	Cart Number							
	Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6	Slot 7	Slot 8
AT01	1	2	3	4	13	6	7	8
AT02	1	2	3	4	5	6	7	8
AT03	1	2	3	4	13	6	7	8
AT04	1	10	3	4	5	6	7	8
AT05	1	10	3	4	13	6	7	8
AT06	1	10	3	12	5	6	7	8
AT08	1	2	3	12	5	6	7	8
AT09	1	2	3	12	5	6	15	16
AT10	1	2	3	12	5	6	15	8
AT11	9	2	3	4	5	6	15	16
AT12	9	2	3	4	5	6	15	8
AT14	9	2	3	4	5	6	15	8
AT15	9	2	3	4	5	6	7	8
AT20	9	2	3	4	5	6	7	8
TW06	1	10	11	12	13	14	15	16
TW07	1	10	11	12	13	14	15	8
TW08	1	10	11	4	13	14	15	16
TW09	1	10	11	4	13	14	15	8
TW10	1	10	11	12	13	14	15	16
TW11	9	10	11	12	13	14	15	16
ET01	9	10	11	12	13	14	7	16
ET05	9	10	11	12	13	14	7	16

ตารางที่ 3-3 รายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของสายการผลิตที่ 1

3.2.4 เวลาที่ใช้สำหรับการจัดเตรียมเครื่องจักรในกรณีที่ย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ

สำหรับการจัดเตรียมเครื่องจักรในกรณีที่มีการย้ายสายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ จะใช้เวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักรที่แตกต่างกัน โดยจะอ้างอิงอยู่กับสายการผลิตต้นทางและสายการผลิตปลายทาง รวมไปถึงรุ่นของเครื่องวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Mounter) ดังแสดงในตารางที่ 3-4

From \ To		Additional Setup Time Required for Transfering Production Line (Minutes)							
		Plant 1				Plant 2			
		LINE01	LINE02	LINE03	LINE04	LINE05	LINE06	LINE07	LINE08
Plant 1	LINE01		30	30	60	150	150	180	180
	LINE02	45		30	60	120	120	180	180
	LINE03	45	30		75	150	120	180	180
	LINE04	75	60	60		180	150	135	135
Plant 2	LINE05	150	120	120	180		60	90	120
	LINE06	150	120	120	150	90		75	75
	LINE07	165	150	150	120	90	75		60
	LINE08	135	120	120	90	90	75	45	

ตารางที่ 3-4 เวลาที่ใช้สำหรับจัดเตรียมเครื่องจักรในกรณีที่ย้ายสายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ

3.2.5 เวลาพักระหว่างปฏิบัติงาน ประกอบไปด้วย เวลาพักเบรกตามช่วงเวลาต่าง ๆ และเวลาพักรับประทานอาหาร

Shift	Break Type	Plant 1	Plant2
Day	Rest	10:00-10:10	10:00-10:10
	Meal	12:00-12:40	11:40-12:20
	Rest	15:00-15:10	15:00-15:10
	Transition	17:00-17:20	17:00-17:20
Night	Rest	22:00-22:20	22:00-22:20
	Meal	02:00-02:40	02:00-02:40
	Rest	05:00-05:20	05:00-05:20

ตารางที่ 3-5 เวลาพักระหว่างปฏิบัติงานของโรงงาน 1 และ โรงงาน 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.6 แผนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

สำหรับแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) จะถูกจัดทำขึ้นโดยแผนกซ่อมบำรุง ซึ่งในแต่ละสายการผลิตจะมีการซ่อมบำรุง 1 ครั้ง/เดือน และใช้เวลาในการซ่อมบำรุงตั้งแต่เวลา 8.00-15.00 น.

Line NO.	Start Date	End Date
Line01	17/1/2022 08:00	17/1/2022 15:00
Line02	8/2/2022 08:00	8/2/2022 15:00
Line03	14/3/2022 08:00	14/3/2022 15:00
Line04	5/4/2022 08:00	5/4/2022 15:00
Line05	17/5/2022 08:00	17/5/2022 15:00
Line06	13/6/2022 08:00	13/6/2022 15:00
Line07	25/7/2022 08:00	25/7/2022 15:00
Line08	22/8/2022 08:00	22/8/2022 15:00

ตารางที่ 3-6 แผนการหยุดการผลิตเพื่อซ่อมบำรุงเชิงป้องกันของสายการผลิตต่าง ๆ

3.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย

3.3.1 หลักการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการจัดตารางการผลิต เป็นการบริหารจัดการทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตทั้งในมุมมองของเครื่องจักร วัตถุดิบ ผู้ปฏิบัติงาน รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ในการผลิต ทั้งนี้ การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต เป็นการประยุกต์ใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) หรือขั้นตอนวิธีอื่น ๆ เพื่อมุ่งเน้นในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ดี เนื่องจากกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความซับซ้อนทั้งในมุมของความหลายหลากของผลิตภัณฑ์ที่มีกำหนดส่ง (Due Date) ที่แตกต่างกันตลอดจนความหลากหลายของเครื่องจักรที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีประสิทธิภาพและความเข้ากันได้กับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป ทำให้การจัดตารางการผลิตในกระบวนการ

ดังกล่าวจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) ส่งผลทำให้มีแนวโน้มการใช้เวลาในการหาคำตอบ (Computational Time) ที่ยาวนาน และไม่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่

ในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเอาขั้นตอนวิธีฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น (Two-Phase Heuristics) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ในการพัฒนาฮิวริสติกส์มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้มาซึ่งแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ โดยมีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ในการค้นหาผลเฉลย อย่างไรก็ดีกระบวนการค้นหาผลเฉลยของฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลักด้วยกัน ได้แก่ การสร้างผลเฉลยเบื้องต้น (Construction Heuristic) ซึ่งเป็นการสร้างผลเฉลย หรือตารางการผลิตที่เป็นไปได้เบื้องต้น (Initial Solution) โดยการประยุกต์ใช้กฎการจ่ายงานอย่างง่าย (Dispatching Rules) และเนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวมีข้อจำกัดในแง่มุมของกำหนดส่ง จึงได้นำกฎการจ่ายงานที่เร็วที่สุด (Earliest Due Date, EDD) มาใช้ในการสร้างผลเฉลยเบื้องต้น

ในลำดับถัดไปจะนำผลเฉลยเบื้องต้นดังกล่าวมาทำการปรับปรุงให้มีเวลาปิดงานของระบบที่ดีมากยิ่งขึ้นด้วยกระบวนการปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristic) ซึ่งได้นำแนวคิดการหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable Neighborhood Search, VNS) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผลเฉลย โดยในขั้นตอนแรกจะทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการวนรอบการทำซ้ำในการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) จากนั้นจะนำผลเฉลยที่ได้ไปปรับปรุงด้วยการค้นหาผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Search) โดยการวนรอบการทำซ้ำในการสลับลำดับการผลิต (Reordering) และทำการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) โดยการวนรอบการทำซ้ำกระบวนการดังกล่าวข้างต้นจนกว่าเวลาปิดงานของระบบ จะหยุดปรับปรุงจนครบเงื่อนไขในการหยุดค้นหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ดำเนินการนำเข้าข้อมูลที่ใช้ประกอบการพิจารณาจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังต่อไปนี้

1. รายละเอียดข้อมูลของแต่ละคำสั่งผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย ปริมาณความต้องการ และกำหนดส่ง

2. แผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักรในแต่ละสายการผลิต โดยในแต่ละสายการผลิตจะมีการซ่อมบำรุง 1 ครั้ง/เดือน และใช้เวลาในการซ่อมบำรุงตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึง 15.00 น.

3. ข้อมูลเวลามาตรฐาน (Standard Processing Time) ของแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสายการผลิต

4. รายการรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อประกอบการพิจารณาในการจัดลำดับคำสั่งผลิต

5. ข้อมูลเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมเครื่องจักร (Setup Time) ในกรณีที่ย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ

6. เวลาพักระหว่างปฏิบัติงาน ประกอบไปด้วย เวลาพักเบรกตามช่วงเวลาต่าง ๆ และเวลาพักรับประทานอาหาร

เมื่อดำเนินการนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นเรียบร้อยแล้ว ในลำดับถัดไปจะนำข้อมูลดังกล่าวไปสร้างผลเฉลยที่อยู่ในรูปแบบของแผนการผลิตด้วยฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น (Two-Phase Heuristics) ที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการหลัก ดังต่อไปนี้

1. การสร้างผลเฉลยเบื้องต้น (Construction Heuristics)

2. การปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristics)

สำหรับการหาผลเฉลยเบื้องต้น (Construction Heuristics) ผู้วิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การสร้างตารางการผลิตที่ให้เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) ที่น้อย โดยที่งานต่าง ๆ ยังสามารถทำการผลิตในสายการผลิตที่ใช้เวลาในการผลิต (Standard Processing Time) ที่น้อยที่สุดของงานนั้น ๆ หากแต่ยังอยู่ภายใต้เงื่อนไขกำหนดวันส่งมอบของผลิตภัณฑ์แต่ละรายการ ซึ่งสามารถนำมาแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังแสดงในรูปที่ 3-2 และมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเรียงรายการผลิตภัณฑ์ตามลำดับกำหนดส่งมอบ โดยเรียงจากวันส่งมอบที่เร็วที่สุดไปวันส่งมอบที่ช้าที่สุดตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 จัดลำดับคำสั่งการผลิตที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 ลงบนสายการผลิตที่ใช้เวลามาตรฐานน้อยที่สุดทีละรายการ ทั้งนี้ หากพบว่าเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของผลิตภัณฑ์ใดมีค่าเกินกว่ากำหนดส่งมอบ ให้ทำการย้ายคำสั่งการผลิตดังกล่าวไปยังสายการผลิตอื่น ๆ ตามลำดับดังนี้

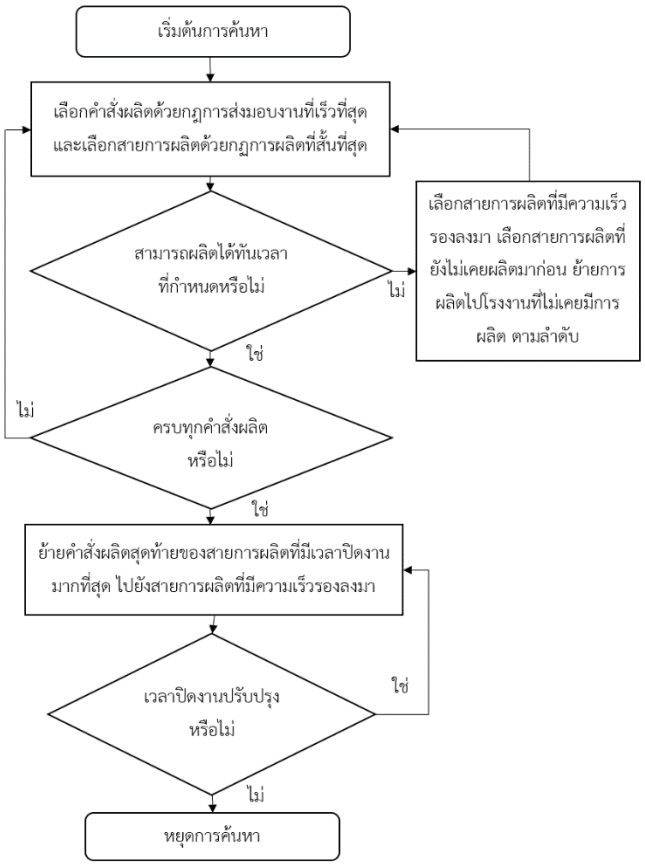
- สายการผลิตในรายการที่เคยมีการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ และใช้เวลามาตรฐานน้อยเป็นลำดับถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- สายการผลิตนอกรายการที่สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นได้ และอยู่ในโรงงานเดียวกัน

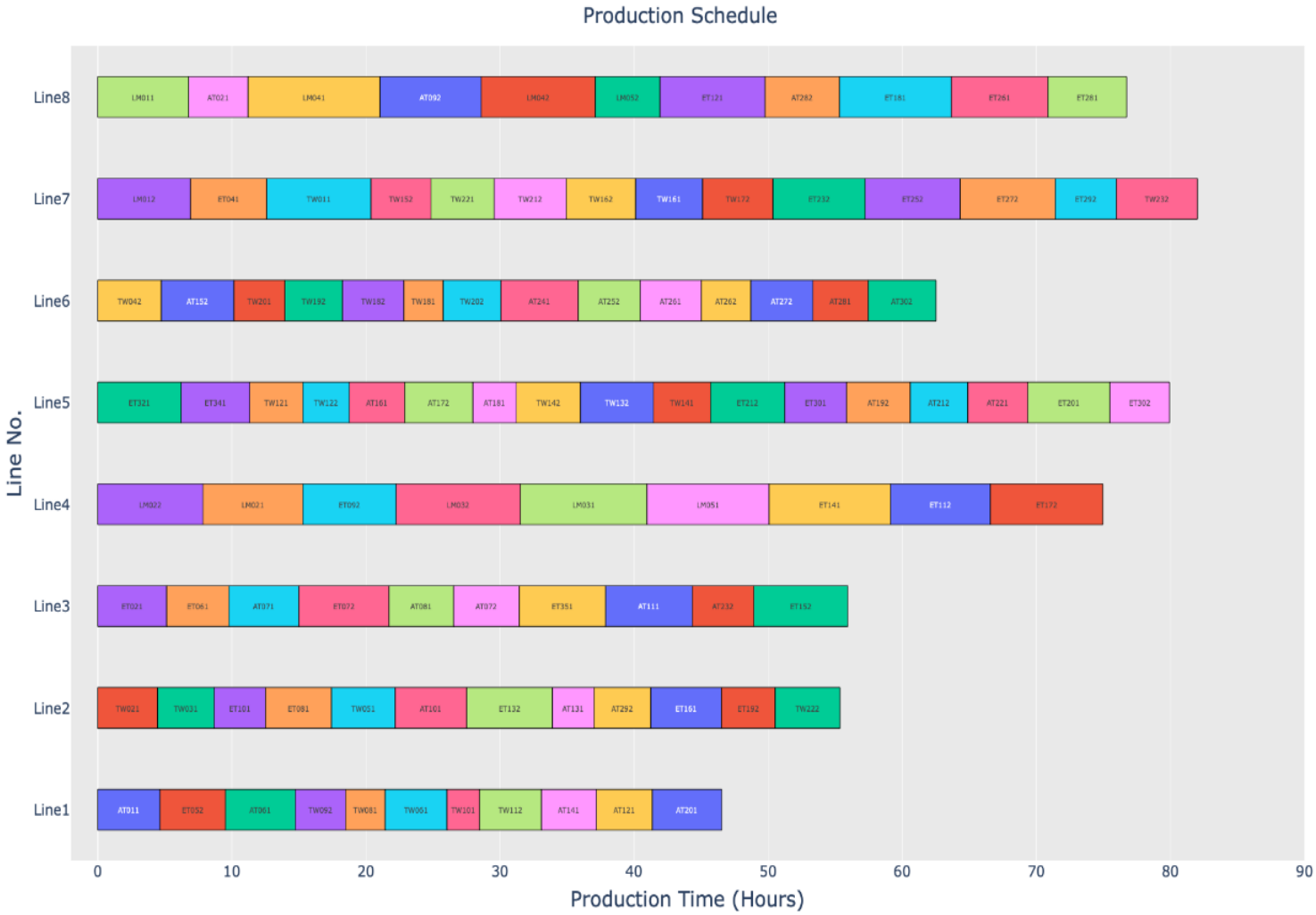
- สายการผลิตนอกรายการที่สามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นได้ หากแต่อยู่ต่างโรงงานออกไป

ขั้นตอนที่ 3 ทำการคำนวณเวลาเสร็จสิ้นการผลิต (Completion Time) ของแต่ละสายการผลิต แล้วทำการย้ายคำสั่งการผลิตรายการสุดท้ายของสายการผลิตที่มีเวลาเสร็จสิ้นการผลิตสูงสุด ไปยังสายการผลิตที่ใช้เวลามาตรฐานน้อยสุดในลำดับถัดมา จากนั้นทำการวนซ้ำจนเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) จะหยุดปรับปรุง



รูปที่ 3-1 แผนภูมิขั้นตอนการหาผลเฉลยเบื้องต้นของฮิวริสติกส์

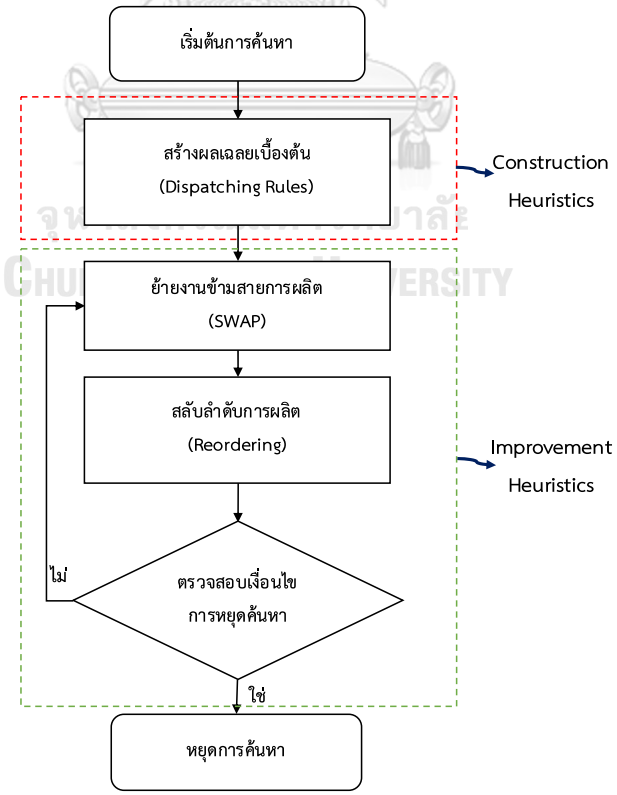
ผู้วิจัยได้นำเอาฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้น ไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลการจัดตารางการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา โดยดำเนินการนำเข้าข้อมูลที่ใช้ประกอบการพิจารณาจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และมีจำนวนคำสั่งการผลิตทั้งหมด 98 รายการ จากนั้นทำการสร้างผลเฉลยเบื้องต้นด้วยขั้นตอนวิธีดังกล่าว ซึ่งสามารถนำผลลัพธ์มาแสดงในรูปแบบของแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) แสดงผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) ของฮิวริสติกส์

จากรูปที่ 3-2 แสดงถึงผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) ที่ได้จากฮิวริสติกส์ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในแต่ละสายการผลิตจะมีเวลาเสร็จสิ้นการผลิต (Completion Time) ที่แตกต่างกัน บ้างก็ใช้เวลาในการผลิตสูง โดยจะอ้างอิงอยู่กับประเภทของงาน ณ ช่วงเวลานั้น ๆ เนื่องจากการสร้างผลเฉลยเบื้องต้นจะมุ่งเน้นในการเลือกสายการผลิตที่เหมาะสมในแง่มุมของเวลาผลิตที่สั้นที่สุด (Shortest Processing Time) เท่านั้น ไม่ได้พิจารณาถึงเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) หรือการใช้อรรถประโยชน์ของเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในลำดับถัดไปจะนำผลเฉลยเบื้องต้นดังกล่าวมาทำการปรับปรุงให้มีเวลาปิดงานของระบบที่ดีมากยิ่งขึ้นด้วยกระบวนการปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristic) ซึ่งได้นำแนวคิดการหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable Neighborhood Search, VNS) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผลเฉลย โดยในขั้นตอนแรกจะทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการวนรอบการทำซ้ำในการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) จากนั้นจะนำผลเฉลยที่ได้ไปปรับปรุงด้วยการค้นหาผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Search) โดยการวนรอบการทำซ้ำในการสลับลำดับการผลิต (Reordering) จากนั้นจะทำการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) โดยการวนรอบการทำซ้ำกระบวนการข้างต้นจนกว่าเวลาปิดงานของระบบจะหยุดปรับปรุงตามจำนวนรอบที่กำหนด ดังแสดงแผนภูมิการทำงานในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แผนภูมิกระบวนการทำงานของฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น (Two-Phase Heuristics)

ฮิวริสติกส์ขั้นที่ 2 การปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristics)

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณเวลาเสร็จสิ้นการผลิต (Completion Time) ของแต่ละสายการผลิต จากนั้นทำการสุ่มเลือกงานจากสายการผลิตที่มีเวลาเสร็จสิ้นการผลิตสูงที่สุด และย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) ไปยังสายการผลิตอื่น ๆ โดยจะทำการสุ่มสายการผลิตปลายทาง และลำดับในการผลิต หลังจากย้ายงานข้ามสายการผลิตเรียบร้อยแล้วจะนำผลเฉลยที่ได้มาทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่าสามารถผลิตได้ทันกำหนดส่งหรือไม่ ถ้าสามารถผลิตได้ทันกำหนดส่งก็จะวนรอบการทำซ้ำจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขในการหยุดค้นหา อย่างไรก็ดีหลังจากย้ายงานข้ามสายการผลิตอาจจะทำให้เกิดการส่งงานล่าช้า ซึ่งถือเป็นข้อจำกัด (Constraint) ของปัญหาดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะต้องทำการแก้ไขผลเฉลย (Solution Repairing) ก่อนการวนรอบการทำซ้ำในรอบถัดไป โดยกระบวนการแก้ไขผลเฉลยจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อที่ 3.5

ขั้นตอนที่ 2 ในขั้นตอนนี้จะทำการปรับปรุงผลเฉลยโดยมุ่งเน้นในการลดจำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อลดเวลาในการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต (Setup Time) ผ่านการจัดลำดับการผลิต (Reordering) เพื่อให้สามารถใช้รถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะวนรอบการทำซ้ำในการสุ่มลำดับการผลิตอย่างเป็นระบบ (กระบวนการสุ่มแบบเป็นระบบจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อที่ 3.6) จนกว่าผลลัพธ์ที่ได้จะหยุดปรับปรุงตามเงื่อนไขในการหยุดค้นหา

ขั้นตอนที่ 3 ในขั้นตอนนี้จะทำการวนรอบการทำซ้ำในการย้ายงานข้ามสายการผลิต (ขั้นตอนที่ 1) เพื่อย้ายขอบเขตในการค้นหา (Escape Mechanism) จากนั้นก็จะทำการค้นหาผลเฉลยเฉพาะถิ่นในขอบเขตการค้นหาดังกล่าวด้วยการวนรอบการทำซ้ำในการสลับลำดับการผลิต (ขั้นตอนที่ 2) จากนั้นก็จะวนรอบการทำซ้ำกระบวนการดังกล่าวจนกว่าผลเฉลยที่ได้จะหยุดปรับปรุงตามจำนวนรอบที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วิจัยได้นำผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) ที่ได้จากกระบวนการสร้างผลเฉลยเบื้องต้น (Construction Heuristics) ในหัวข้อก่อนหน้า มาทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยกระบวนการดังกล่าว ซึ่งสามารถนำผลลัพธ์มาแสดงในรูปแบบแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ดังแสดงในรูปที่ 3-4

รูปที่ 3-4 แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) แสดงผลเฉลยหลังปรับปรุง (Improved Solution) ของฮิวริสติกส์

3.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

สำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) หรือเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) ที่ใช้ในการปรับปรุงผลเฉลยในฮิวริสติกส์เชิงพัฒนา (Improvement Heuristics) ของปัญหาการจัดตารางการผลิตในงานวิจัยฉบับนี้สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้

N คือ รายการคำสั่งผลิต โดยที่ $N \in \{1,2,3,\dots,|N|\}$

M คือ สายการผลิต โดยที่ $M \in \{1,2,3,\dots,|M|\}$

PT_{im} : เวลาที่ใช้สำหรับการผลิตคำสั่งผลิต i บนสายการผลิต m

TT_{im} : เวลาที่ใช้สำหรับการย้ายสายการผลิตของคำสั่งผลิต i ไปยังสายการผลิต m

ST_{ij} : จำนวนรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่จะต้องติดตั้งลงบนเครื่องจักรเพิ่มเติมสำหรับคำสั่งผลิต i เมื่อเสร็จสิ้นการผลิตคำสั่งผลิต j

$\bar{K}$: เวลาเฉลี่ยสำหรับติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 1 คัน

C_m : เวลาเสร็จสิ้นการผลิตของสายการผลิต m

$$x_{ij}^{m} = \begin{cases} 1, & \text{เมื่อผลิตคำสั่งผลิต } i \text{ ถัดจากคำสั่งผลิต } j \text{ บนสายการผลิต } m \\ 0, & \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

ดังนั้น จะได้เวลาเสร็จสิ้นการผลิตของสายการผลิตใด ๆ ดังสมการที่ 1

$$C_m = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (PT_{im} + TT_{im} + \bar{K} \times ST_{ij}) \times x_{ij}^{m} \quad \forall_{m \in M} \quad (1)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับกระบวนการปรับปรุงผลเฉลยของฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้น จะมุ่งเน้นในการลดเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) หรือ เวลาเสร็จสิ้นการผลิตของสายการผลิตที่มีเวลาเสร็จสิ้นการผลิตสูงที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการที่ 3

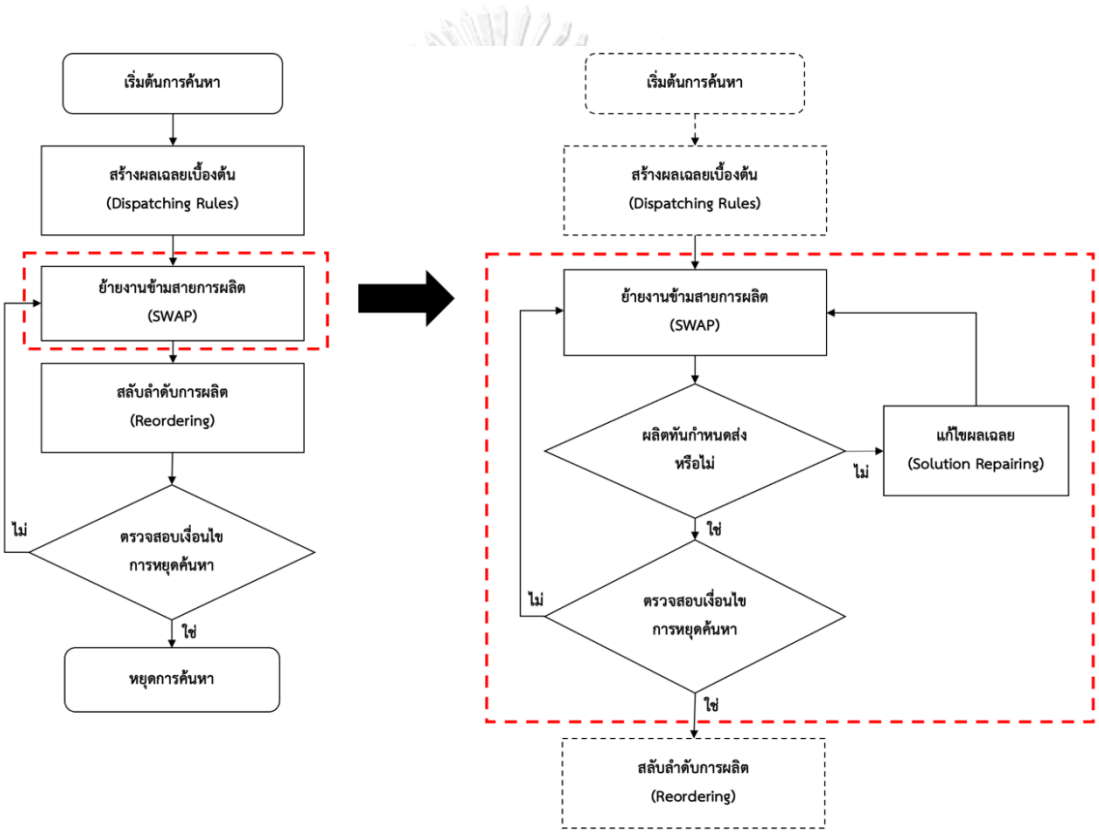
$$Makespan = Max(C_1, \dots, C_m) \quad , m \in M \qquad (2)$$

$$Min\ Z = Makespan \qquad (3)$$

จากการคำนวณเวลาปิดงานของระบบดังสมการข้างต้น การปรับปรุงผลเฉลยจะเป็นการนำฟังก์ชันดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงผลเฉลยผ่านกระบวนการหลัก 3 กระบวนการด้วยกัน ได้แก่ การย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) การสลับลำดับการผลิต (Reordering) และการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) ซึ่งแต่ละกระบวนการก็มีขั้นตอนในการปรับปรุงผลเฉลยที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยจะอธิบายแต่ละกระบวนการอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.5 การย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP)

ในขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) จะทำการสุ่มเลือกงานจากสายการผลิตที่มีเวลาเสร็จสิ้นการผลิตสูงที่สุด จากนั้นจะนำงานที่ได้จากการสุ่ม ย้ายออกจากสายการผลิตเดิม โดยสายการผลิตปลายทาง และลำดับในการผลิตก็จะทำการสุ่มเช่นเดียวกัน หลังจากย้ายงานข้ามสายการผลิตเรียบร้อยแล้วจะนำผลเฉลยที่ได้มาทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่าสามารถผลิตได้ทันกำหนดส่งหรือไม่ ถ้าสามารถผลิตได้ทันกำหนดส่งก็จะวนรอบการทำซ้ำจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขในการหยุดค้นหา ดังแสดงแผนภูมิการทำงานในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 แผนภูมิการทำงานสำหรับการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP)

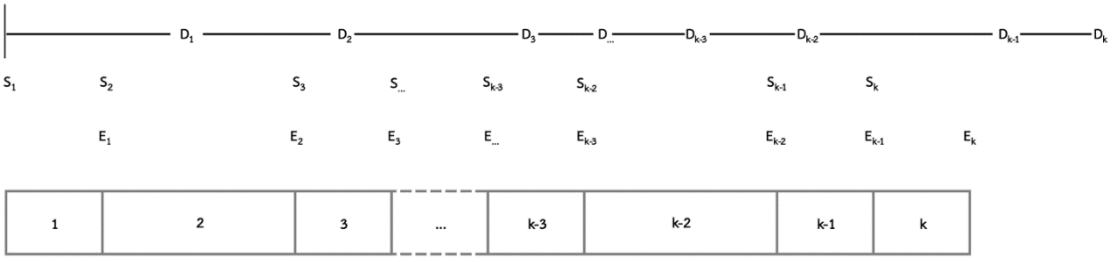
อย่างไรก็ดีหลังจากทำการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) อาจจะทำให้เกิดการส่งงานล่าช้า ซึ่งปัญหาดังกล่าวจัดเป็นข้อจำกัด (Constraint) ของปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงทำให้ผลเฉลยที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ได้ (Infeasible Solution) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการแก้ไขผลเฉลยดังกล่าว ก่อนที่จะทำการปรับปรุงผลเฉลย หรือวนรอบการทำซ้ำในรอบถัดไป

3.5.1 การแก้ไขผลเฉลย (Solution Repairing)

สำหรับขั้นตอนในการแก้ไขผลเฉลยสามารถทำได้หลากหลายวิธี ยกตัวอย่างเช่น ทำการสุ่มย้ายงานจากสายการผลิตที่มีการส่งงานล่าช้า (อาจจะเป็นงานที่ถูกย้ายมา หรืองานอื่น ๆ ก็ได้) ไปยังสายการผลิตอื่น จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) หรือ แก้ไขผลเฉลยโดยการนำงานที่ถูกย้ายมา กลับไปยังสายการผลิตเดิม (สายการผลิตที่มีเวลาเสร็จสิ้นการผลิตสูงที่สุด) จากนั้นทำการสุ่มย้ายงานอื่นแทน อย่างไรก็ดี ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าว มีความซับซ้อนในเชิงปริมาณงานที่มีจำนวนมาก (มากกว่า 150 รายการ) อีกทั้งในแต่ละงานก็มีกำหนดส่งที่แตกต่างกัน หากการแก้ไขผลเฉลยไม่มีระบบ (ย้ายงานไปเรื่อย ๆ โดยไม่มีแบบแผน) ก็มีโอกาสสูงที่ผลเฉลยหลังจากทำการแก้ไขยังคงเป็นผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) ซึ่งเป็นผลทำให้การทำงานของฮิวริสติกส์ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากจะต้องเสียเวลาในการแก้ไขผลเฉลยไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) หรือสามารถส่งงานได้ทันกำหนดส่งในทุก ๆ รายการคำสั่งผลิต

อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยได้พัฒนาแนวทางในการแก้ไขผลเฉลย ในกรณีที่เกิดผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) หรือผลเฉลยที่มีการส่งงานล่าช้า หลังจากทำการสุ่มย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) โดยการสุ่มเลือกงานใดงานหนึ่ง จากสายการผลิตที่มีการส่งงานล่าช้า จากนั้นนำงานที่ได้จากการสุ่ม มาทำการคำนวณหาลำดับการผลิต ที่จะไม่ทำให้เกิดการส่งงานล่าช้า แล้วจึงทำการสุ่มเลือกลำดับการผลิต และสายการผลิตปลายทางจากผลลัพธ์ที่ได้ โดยผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างการคำนวณหาลำดับการผลิต ที่จะไม่ทำให้เกิดการส่งงานล่าช้า ณ สายการผลิตหนึ่ง ๆ ซึ่งมีตารางการผลิตดังแสดงในรูปที่ 3-6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-6 ตารางการผลิต ณ สายการผลิตตัวอย่าง

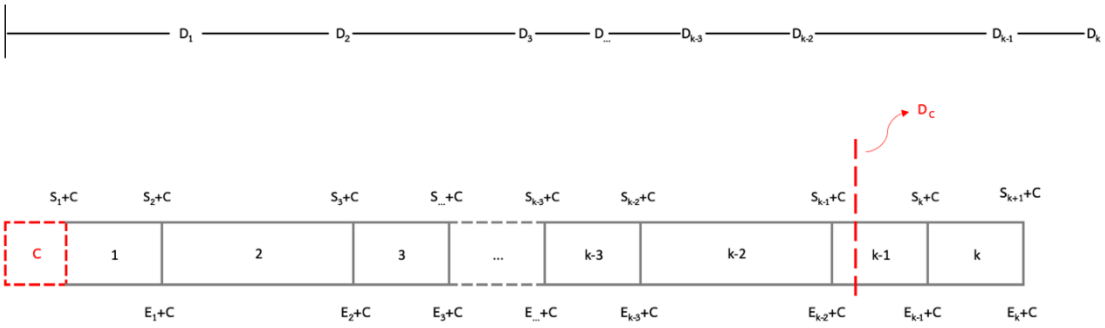
จากรูปที่ 3-6 แสดงตัวอย่างตารางการผลิต ณ สายการผลิตหนึ่ง ๆ โดยมีจำนวนผลิตภัณฑ์ k จำนวน

กำหนดให้ S_i คือ เวลาเริ่มต้นในการผลิตของงาน i

E_i คือ เวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงาน i

D_i คือ กำหนดส่งของงาน i

จากนั้นจะทำการแทรกงาน C (งานที่ถูกย้ายมาจากสายการผลิตที่มีการส่งงานล่าช้า) ที่ตำแหน่งแรก ดังแสดงในรูปที่ 3-7

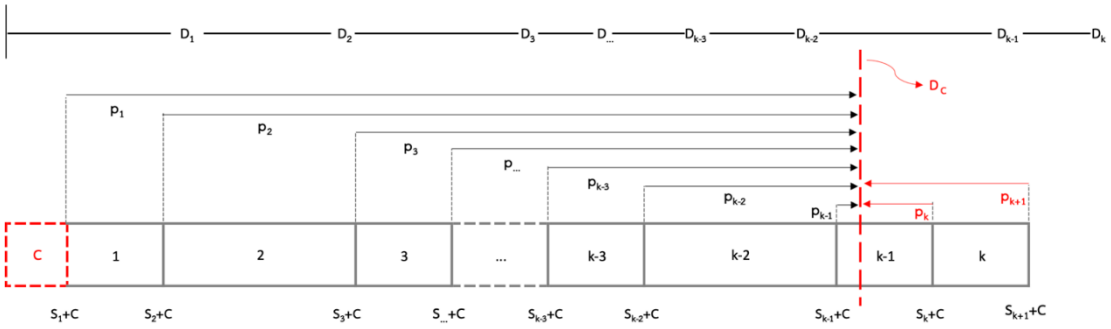


รูปที่ 3-7 ตารางการผลิตหลังจากแทรกงาน C

จากรูปที่ 3-7 แสดงตัวอย่างตารางการผลิต ณ สายการผลิตหนึ่ง ๆ หลังจากแทรกงาน C ที่ตำแหน่งแรก จากรูปจะสังเกตได้ว่าเวลาเริ่มการผลิต และเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงานเดิมจะถูกเลื่อนออกไป C หน่วย ทำให้การแทรกงาน C ที่ลำดับใด ๆ จะส่งผลต่อเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงานถัดไปด้วย ซึ่งอาจส่งผลทำให้งานอื่น ๆ เสร็จสิ้นการผลิตไม่ทันกำหนดส่ง ดังนั้นการจัดลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ของงาน C จะต้องพิจารณา 2 กรณี ดังต่อไปนี้

1. ลำดับการผลิตที่เวลาเสร็จสิ้นการผลิตไม่เกินกำหนดส่ง
2. ลำดับการผลิตที่ทำให้งานถัดไปเสร็จสิ้นการผลิตไม่เกินกำหนดส่ง

สำหรับการคำนวณหาลำดับการผลิตที่เวลาเสร็จสิ้นการผลิตไม่เกินกำหนดส่ง ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคำนวณหาลำดับการผลิตของงาน C ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่จะทำให้เวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงาน C ไม่เกินกำหนดส่ง โดยจะทำการคำนวณหาเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงาน C ที่ลำดับการผลิตต่าง ๆ จากนั้นจึงนำไปเปรียบเทียบกับกำหนดส่งของงาน C เพื่อหาลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ ดังแสดงในรูปที่ 3-8



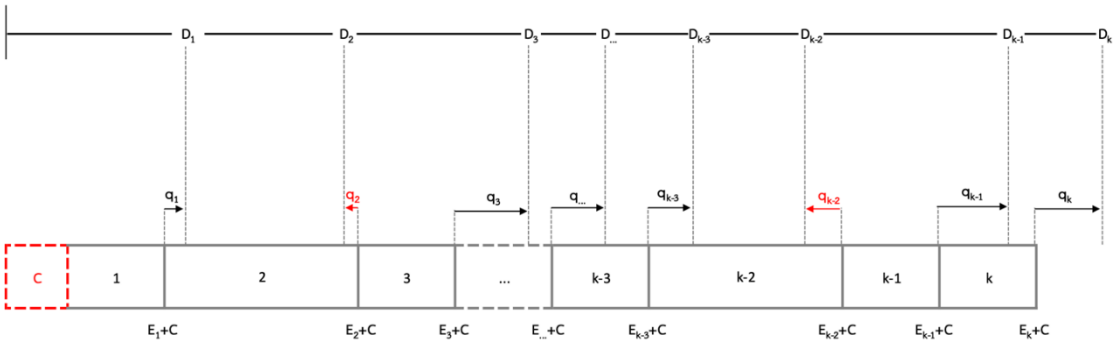
รูปที่ 3-8 การคำนวณลำดับการผลิตที่ไม่ทำให้งาน *C* เสร็จสิ้นเกินกำหนดส่ง

จากรูปที่ 3-8 แสดงลำดับการผลิตหลังจากแทรกงาน C ไปยังตำแหน่งแรก โดยที่ D_C คือ กำหนดส่งของงาน C ซึ่งจากรูปจะสังเกตได้ว่าหากเริ่มการผลิตงาน C ที่ลำดับแรก จะเสร็จสิ้นการผลิตที่เวลา S_1+C หรือ หากงาน C เริ่มผลิตที่ตำแหน่ง i ก็จะเสร็จสิ้นการผลิตที่เวลา S_i+C ดังนั้นหาก S_i+C มีค่ามากกว่า D_c (p_i <0) สามารถสรุปได้ว่าเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงาน C เกินกำหนดส่ง ก็จะทำให้เกิดการส่งงานล่าช้า ซึ่งค่า P_i สามารถนำมาคำนวณในรูปเมทริกซ์ได้ดังต่อไปนี้

$$D_c - \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \vdots \\ S_{k-3} \\ S_{k-2} \\ S_{k-1} \\ S_k \\ S_{k+1} \end{bmatrix} + C = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ \vdots \\ p_{k-3} \\ p_{k-2} \\ p_{k-1} \\ -p_k \\ -p_{k+1} \end{bmatrix}$$

จากสมการในรูปเมทริกซ์ที่ใช้สำหรับการคำนวณเพื่อหาลำดับการผลิตที่ไม่ทำให้งาน C ส่งงานล่าช้า ซึ่งจะสังเกตได้ว่า p_k และ p_{k+1} มีค่าเป็นลบ กล่าวคือ หากลำดับการผลิตงาน C อยู่ลำดับที่ k หรือ k+1 ก็จะทำให้เกิดการส่งงานล่าช้า ดังนั้นลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ คือ 1, 2, 3, ..., k-3, k-2, k-1

สำหรับการคำนวณหาลำดับการผลิตที่ไม่ทำให้งานถัดไปเสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่ง ในการแทรกงาน C ไปยังลำดับการผลิตใด ๆ ก็จะส่งผลทำให้งานที่อยู่ในลำดับการผลิตถัดไปมีเวลาเสร็จสิ้นการผลิตนานมากยิ่งขึ้น ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้งานที่อยู่ลำดับถัดไปเสร็จสิ้นการผลิตไม่ทันกำหนดส่งได้ ดังนั้นการจัดลำดับการผลิตของงาน C จะต้องทำการคำนวณลำดับที่เป็นไปได้ที่จะไม่ทำให้งานอื่น ๆ เสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่ง โดยทำการแทรกงาน C ที่ลำดับการผลิตแรก และคำนวณเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงานอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-9

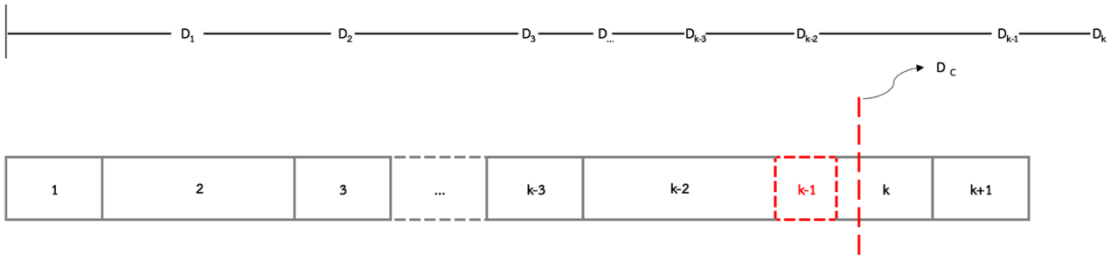


รูปที่ 3-9 การคำนวณลำดับการผลิตที่ไม่ทำให้งานอื่น ๆ เสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่ง

จากรูปที่ 3-9 แสดงลำดับการผลิตและเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงานอื่น ๆ หลังจากแทรกงาน C ที่ตำแหน่งแรก จะสังเกตได้ว่าเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงาน i จะมีค่าเท่ากับ E_i+C ซึ่งหาก E_i+C มีค่ามากกว่า D_i ($q_i < 0$) ก็จะทำให้เกิดการส่งงานล่าช้า จากรูปจะสังเกตได้ว่าที่ q_2 และ q_{k-2} มีค่าเป็นลบ ดังนั้นลำดับการผลิตของงาน C ที่จะไม่ทำให้งานอื่น ๆ เสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่งจะต้องอยู่ลำดับถัดจาก k-2 (ถัดจากลำดับที่ q_i มีค่าติดลบตัวสุดท้าย) หรือ ลำดับที่ k-1, k และ k+1 (ลำดับสุดท้ายหลังจากแทรกงาน C) ซึ่งสามารถนำมาคำนวณในรูปเมทริกซ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ \vdots \\ D_{k-3} \\ D_{k-2} \\ D_{k-1} \\ D_k \end{bmatrix} - \left(\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ \vdots \\ E_{k-3} \\ E_{k-2} \\ E_{k-1} \\ E_k \end{bmatrix} + C \right) = \begin{bmatrix} q_1 \\ -q_2 \\ q_3 \\ \vdots \\ q_{k-3} \\ -q_{k-2} \\ q_{k-1} \\ q_k \end{bmatrix}$$

เมื่อทำการคำนวณหาลำดับที่เป็นไปได้จากทั้ง 2 กรณีเสร็จสิ้นแล้ว จากนั้นนำลำดับการผลิตของทั้ง 2 กรณีมาหาสมาชิกที่มีร่วมกัน (Intersection) ก็จะได้เป็นลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ทั้งหมดของงาน C ที่จะไม่ทำให้มีการส่งงานล่าช้า ซึ่งจากตัวอย่างลำดับการผลิตที่จะไม่ทำให้งาน C เกินกำหนดส่งคือ {1, 2, 3, ..., k-3, k-2, k-1} และลำดับที่จะไม่ทำให้งานอื่น ๆ เสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่ง คือ {k-1, k, k+1} ดังนั้นลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ทั้งหมดของงาน C คือ {k-1} ซึ่งสามารถนำมาจัดตารางการผลิตได้ดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 ผลลัพธ์การจัดลำดับการผลิตของสายการผลิตตัวอย่าง

จากตัวอย่างการคำนวณลำดับที่เป็นไปได้ของงานตัวอย่าง (งาน C) ที่สายการผลิตหนึ่ง ๆ ซึ่งในกระบวนการแก้ไขผลเฉลย จะทำการคำนวณลำดับที่เป็นไปได้ของงาน C ในทุก ๆ สายการผลิตที่งาน C สามารถผลิตได้ จากนั้นจึงทำการสุ่มเลือกสายการผลิตปลายทาง และลำดับการผลิตจากผลลัพธ์ที่ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ไขผลเฉลยโดยการสุ่มแบบอิสระและสุ่มแบบเป็นระบบ

ในลำดับแรกผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับปรุงผลเฉลยด้วยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) โดยการแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ โดยใช้ชุดข้อมูลที่มีรายการคำสั่งผลิต 165 รายการ และมีกำหนดส่งภายใน 7 วันทำการ ซึ่งได้ทำการทดลองเป็นจำนวน 30 ครั้ง โดยการกำหนดเงื่อนไขในการหยุดค้นหา คือ เมื่อไม่พบผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้นเป็นจำนวน 100 รอบ (Non-Improving Iterations) และทำการเก็บข้อมูลในแง่มุมของคุณภาพของผลเฉลย (Solution Quality), เวลาในการปรับปรุงผลเฉลย (Computational Time) ตลอดจนจำนวนผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) และเป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) ดังแสดงในตารางที่ 3-7

No.	Makespan (Hrs.)	No.Feasible Solution	No.Infeasible Solution	Computational Time (Sec.)
1	153.40	344	2326	94.16
2	156.47	169	552	26.17
3	149.07	222	1616	64.20
4	147.18	439	2735	110.52
5	151.92	304	1877	78.53
6	146.25	428	2944	119.46
7	154.25	303	1198	57.20
8	153.03	187	1076	43.24
9	150.10	503	4099	162.61
10	145.88	241	1880	75.59
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.

ตารางที่ 3-7 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ

จากตารางที่ 3-7 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเป็นจำนวน 10 ตัวอย่าง ที่ได้มาจากการปรับปรุงผลเฉลย โดยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และใช้วิธีในการแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ พบว่าในบางการทดลองมีจำนวนผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) หรือผลเฉลยที่มีการส่งงานล่าช้า เป็นจำนวนตั้งแต่ 2,000-4,000 ผลเฉลย ซึ่งส่งผลทำให้การปรับปรุงผลเฉลยเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังใช้เวลาในการปรับปรุงผลเฉลยมากกว่า 120 วินาที

ในลำดับถัดไปผู้วิจัยได้นำชุดข้อมูลรายการคำสั่งผลิตเดิมที่มีรายการคำสั่งผลิต 165 รายการ และมีกำหนดส่งภายใน 7 วันทำการ มาทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และใช้วิธีในการแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ (ขั้นตอนวิธีที่ได้กล่าวไปข้างต้น) โดยกำหนดเงื่อนไขในการหยุดค้นหา คือ เมื่อไม่พบผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้นเป็นจำนวน 100 รอบ โดยได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3-8

No.	Makespan (Hrs.)	No.Feasible Solution	No.Infeasible Solution	Computational Time (Sec.)
1	147.38	432	214	24.75
2	152.69	373	174	22.50
3	150.29	492	253	30.57
4	155.14	227	110	15.29
5	152.11	417	254	27.62
6	149.21	323	134	21.24
7	150.56	340	176	20.51
8	147.39	405	181	23.97
9	147.64	444	222	27.79
10	151.06	238	126	14.09
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

ตารางที่ 3-8 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ

จากตารางที่ 3-8 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเป็นจำนวน 10 ตัวอย่าง ที่ได้มาจากการปรับปรุงผลเฉลย โดยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และใช้วิธีในการแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ พบว่าจำนวนผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) ที่พบในระหว่างการปรับปรุงผลเฉลยลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการสุ่มแบบอิสระ โดยมีจำนวนผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้อยู่ที่ 100-300 ผลเฉลย ส่งผลทำให้เวลาในการปรับปรุงผลเฉลย (Computational Time) ลดลงเหลือเพียง 10-30 วินาที

ในลำดับถัดไปผู้วิจัยได้ทำการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลย มาทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบผลลัพธ์ในการแก้ไขผลเฉลยของทั้ง 2 วิธี ในแง่มุมของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function), อัตราส่วนของผลเฉลยที่เป็นไปได้เทียบกับผลเฉลยทั้งหมดที่พบระหว่างการปรับปรุงผลเฉลย และเวลาในการปรับปรุงผลเฉลย (Computational Time) ดังแสดงในตารางที่ 3-9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Repairing Method	Makespan (Hrs.) (Average)		Feasible Sol. Ratio (Average)	Computational Time (Sec.) (Average)
	Initial Solution	Improved Solution		
Random	160.71	150.50	0.15	84.10
Guided Random		150.62	0.68	21.50

ตารางที่ 3-9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) ระหว่างการแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ และการสุ่มแบบเป็นระบบ

จากตารางที่ 3-9 จะสังเกตได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการแก้ไขผลเฉลยโดยการสุ่มแบบอิสระ และการแก้ไขผลเฉลยโดยการสุ่มแบบเป็นระบบ ให้ผลลัพธ์วัตถุประสงค์ (Objective Function) หรือ เวลาปิดงานของระบบโดยเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันอยู่ที่ 150.50 และ 150.62 ตามลำดับ ซึ่งลดลงจากผลเฉลยเบื้องต้น ที่มีเวลาปิดงานของระบบอยู่ที่ 160.71 ชั่วโมง

ในแง่มุมของผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) การปรับปรุงผลเฉลยโดยการแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ มีอัตราส่วนของผลเฉลยที่เป็นไปได้อยู่เพียง 0.15 ทำให้เวลาเฉลี่ยในการปรับปรุงผลเฉลยสูงถึง 84.10 วินาที ในขณะที่การปรับปรุงผลเฉลยโดยการแก้ไขผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ มีอัตราส่วนของผลเฉลยที่เป็นไปได้อยู่ถึง 0.68 ทำให้มีเวลาในการปรับปรุงผลเฉลยเพียง 21.50 วินาที

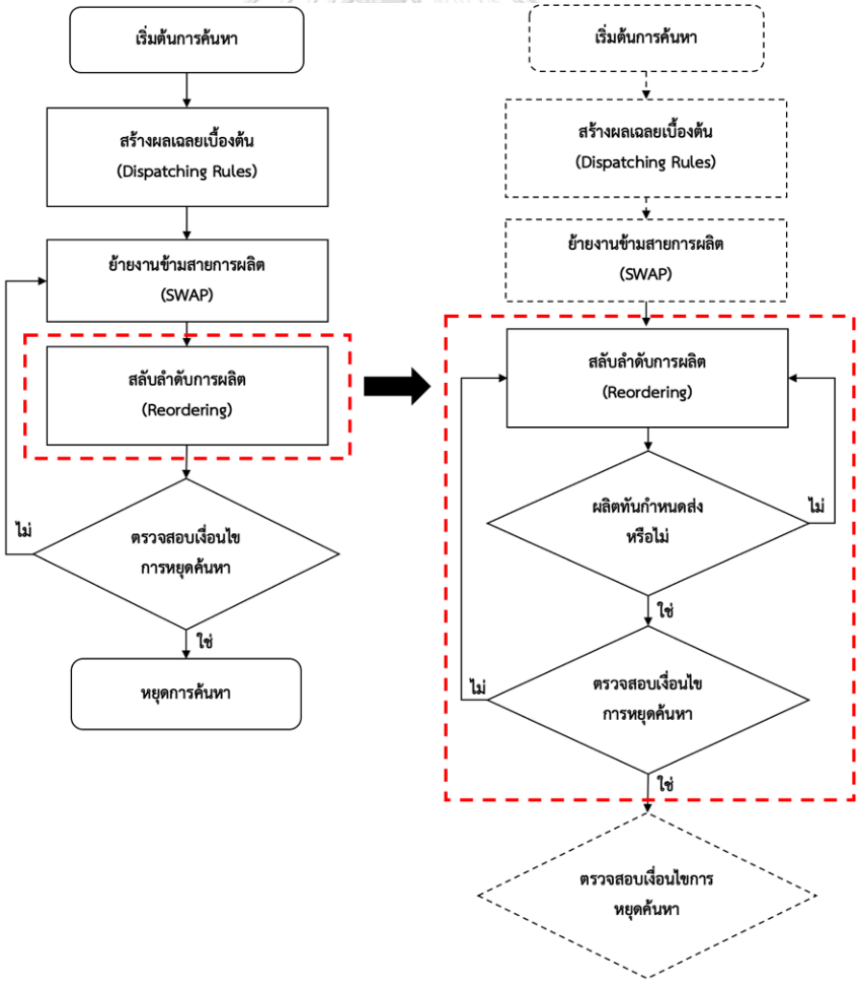
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6 การสลับลำดับการผลิต (Reordering)

สำหรับการปรับปรุงผลเฉลยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. การย้ายงานข้ามสายการผลิต (Inter Route) 2. การสลับลำดับการผลิตของงานในแต่ละสายการผลิต (Intra Route) ซึ่งจัดเป็นการค้นหาผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Search) เนื่องจากเป็นการค้นหาผลเฉลยในย่านใกล้เคียง ทั้งนี้การ

สลับลำดับการผลิตของงานในแต่ละสายการผลิต มีความสำคัญเนื่องจากในขั้นตอนการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต พนักงานจะต้องทำการจัดเตรียมและติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนเครื่องจักร ซึ่งบางผลิตภัณฑ์สามารถใช้รถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันได้ เป็นผลทำให้พนักงานไม่ต้องสูญเสียเวลาในการจัดเตรียมและติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซ้ำซ้อน

สำหรับการปรับปรุงผลเฉลยในขั้นตอนการสลับลำดับการผลิต (Reordering) มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้มาซึ่งรูปแบบลำดับการผลิตที่มีจำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ลดน้อยลง โดยการสุ่มลำดับการผลิตของงานต่าง ๆ เมื่อทำการสุ่มลำดับการผลิตของงานต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว จากนั้นจะทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่าสามารถผลิตงานได้ทันกำหนดส่งหรือไม่ หากไม่สามารถผลิตได้ทันกำหนดส่งก็จะทำการสุ่มลำดับการผลิตอีกครั้งจนกว่าจะสามารถผลิตงานได้ทันเงื่อนไขกำหนดส่ง จากนั้นจะวนรอบการทำซ้ำจนกว่าจะครบเงื่อนไขการหยุดค้นหา ดังแสดงการทำงานในรูปที่ 3-11



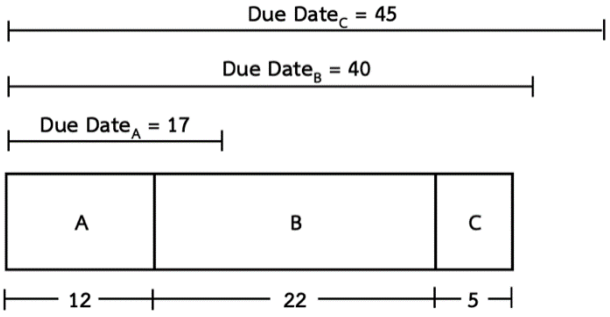
รูปที่ 3-11 แผนภูมิการทำงานสำหรับการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP)

สำหรับการปรับปรุงผลเฉลยในขั้นตอนดังกล่าว ในแต่ละรอบการค้นหาผลเฉลยจะทำการจัดลำดับการผลิตงานในทุก ๆ สายการผลิต โดยจะดำเนินการจัดลำดับการผลิตทีละสายการผลิต ซึ่งในการสุ่มลำดับการผลิตจะทำการสุ่มทีละลำดับ ตั้งแต่ลำดับการผลิตแรกไปจนถึงลำดับการผลิตสุดท้าย อย่างไรก็ดี ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าว มีความซับซ้อนในเชิงปริมาณงานที่มีจำนวนมาก อีกทั้งในแต่ละงานก็มีกำหนดส่งที่แตกต่างกัน หากการสุ่มลำดับการผลิตไม่มีระบบ ก็จะมีโอกาสสูงที่ผลลัพธ์หลังจากทำการสุ่มลำดับการผลิต เกิดการส่งงานล่าช้า ซึ่งจัดเป็นข้อจำกัด (Constraint) ของปัญหาดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถนำผลเฉลยไปใช้งานได้ (Infeasible Solution) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการแก้ไขผลเฉลยดังกล่าว โดยอาจจะทำได้ด้วยวิธีการสุ่มลำดับการผลิตใหม่ไปเรื่อย ๆ จนกว่าผลลัพธ์ที่ได้จะไม่มีการส่งงานล่าช้า (Feasible Solution) ซึ่งวิธีดังกล่าวนอกจากจะทำให้การปรับปรุงผลเฉลยไม่มีประสิทธิภาพแล้ว ยังส่งผลโดยตรงต่อเวลาในการสร้างผลเฉลย (Computational Time) ที่จะเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

3.6.1 การสุ่มลำดับการผลิตแบบเป็นระบบ

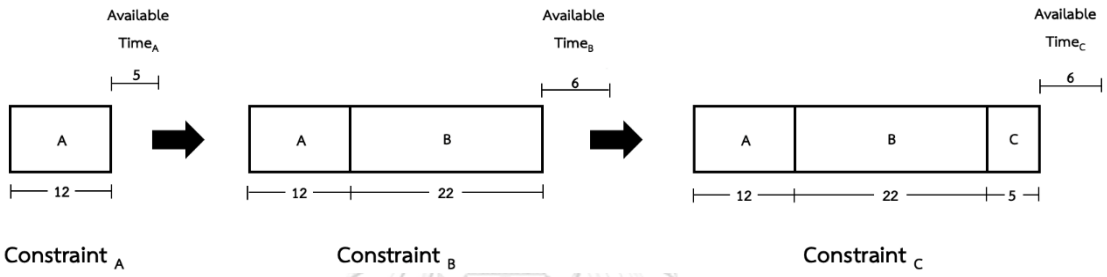
ผู้วิจัยได้พัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว ด้วยการสุ่มลำดับการผลิตอย่างเป็นระบบ โดยการสุ่มงานทีละลำดับ จากนั้นจะนำเวลาที่ใช้ในการผลิตของงานที่สุ่มได้ ไปคำนวณหางานที่จะสามารถทำการผลิตในลำดับถัดไปได้ โดยไม่ทำให้งานอื่น ๆ เสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่ง โดยได้ยกตัวอย่างประกอบการอธิบายดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3-12 ตัวอย่างงานที่ใช้สำหรับการจัดลำดับการผลิต

จากรูปที่ 3-12 แสดงตัวอย่างงานทั้งหมด 3 งาน โดยเรียงลำดับการผลิตตามกฎการจ่ายงานที่เร็วที่สุด (Earliest Due Date, EDD) ประกอบไปด้วยงาน A, B และ C ตามลำดับ ซึ่งการจัดลำดับการผลิตที่จะไม่ทำให้เกิดการส่งงานล่าช้านั้น จะต้องทำให้เวลาเสร็จสิ้นการผลิตของทุก ๆ งานไม่เกินกำหนดส่ง ดังนั้นจากตัวอย่างดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่าการลำดับการผลิตมีข้อจำกัด (Constraint) อยู่ 3 อย่างด้วยกัน คือ 1. กำหนดส่งงาน A 2. กำหนดส่งงาน B และ 3. กำหนดส่งงาน C ซึ่งในแต่ละข้อจำกัด ก็มีเวลาที่จะต้องใช้ในการผลิต และเวลาเหลือที่จะสามารถนำงานอื่น ๆ มาผลิตเพิ่มเติมได้ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3-13



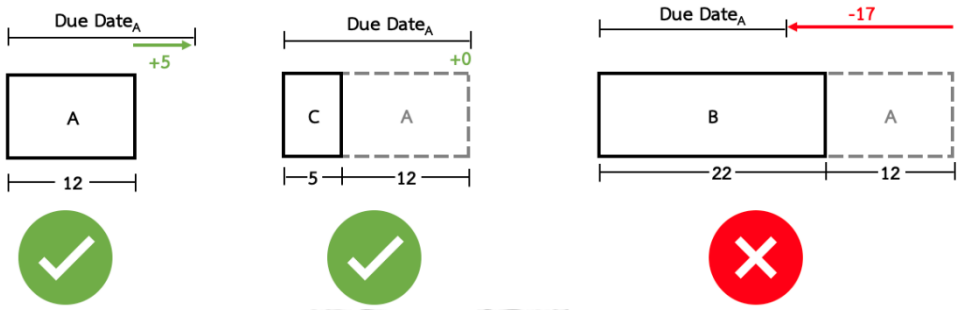
รูปที่ 3-13 ข้อจำกัดในการจัดลำดับการผลิตของงานตัวอย่าง

จากรูปที่ 3-13 แสดงถึงข้อจำกัดในแง่มุมกำหนดส่งของทั้ง 3 งาน (A, B และ C) ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในแต่ละข้อจำกัด (Constraint A,B และ C) ต่างก็มีระยะเวลาที่เหลือหลังจากสิ้นสุดการผลิตไปจนถึงกำหนดส่ง (Available Time A, B และ C) ที่แตกต่างกัน ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวจะส่งผลทำให้การลำดับการผลิตในแต่ละงานมีความยืดหยุ่นที่แตกต่างกันอีกด้วย โดยผู้วิจัยจะอธิบายเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

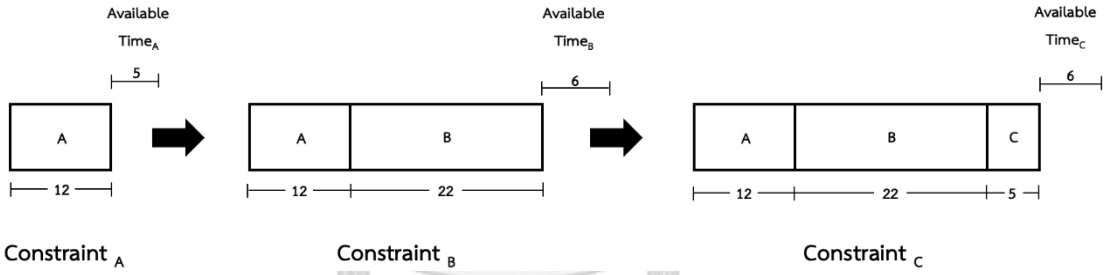
Constraint A: จากเวลาที่ใช้ในการผลิต และกำหนดส่งของงาน A จะพบว่างาน A เสร็จสิ้นการผลิตก่อนกำหนดส่งเป็นระยะเวลา 5 หน่วย ดังนั้นงานที่จะสามารถทำการผลิตในลำดับที่ 1 ได้โดยที่ไม่ทำให้งาน A เสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่ง จะต้องใช้เวลาในการผลิตไม่เกิน 5 หน่วย (ไม่เกิน Available Time A) หรืองาน A เท่านั้น ซึ่งหากกำหนดให้งานที่ใช้เวลาในการผลิตมากกว่า 5 หน่วย อยู่ลำดับการผลิตแรกก็จะทำให้งาน A ไม่สามารถเสร็จสิ้นการผลิตทันกำหนดส่ง (ดังแสดงใน

รูปที่ 3-14) ดังนั้นงานที่สามารถทำการผลิตในลำดับที่ 1 ได้ ภายใต้ Constraint A คือ งาน A หรือ C ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$Constraint\ A = \{A\} \cup \{C\}$$



รูปที่ 3-14 ตัวอย่างการจัดลำดับการผลิตที่ส่งผลทำให้เกิดการล่าช้า



รูปที่ 3-13 ข้อจำกัดในการจัดลำดับการผลิตของงานตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Constraint B: จากกำหนดส่งของงาน A ที่เร็วกว่างาน B จึงสามารถกล่าวได้ว่า ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นการผลิต ไปจนถึงกำหนดส่งของงาน B จะต้องเสร็จสิ้นการผลิตทั้งงาน A และ งาน B ดังนั้น ภายใต้ Constraint B งานที่จะสามารถทำการผลิตในลำดับที่ 1 ได้ โดยที่ไม่ทำให้งาน B เกินกำหนดส่ง จะต้องเป็นงาน A, B หรืองานที่ใช้เวลาในการผลิตไม่เกิน 6 หน่วย เท่านั้น

$$Constraint\ B = \{A, B\} \cup \{C\}$$

Constraint C: จาก Constraint C จะสังเกตได้ว่างาน C สามารถทำการผลิตที่ลำดับใดก็ได้ โดยที่เวลาเสร็จสิ้นการผลิตไม่เกินกำหนดส่ง (สามารถที่จะไม่นำ Constraint ของงานที่มีกำหนดส่งช้า

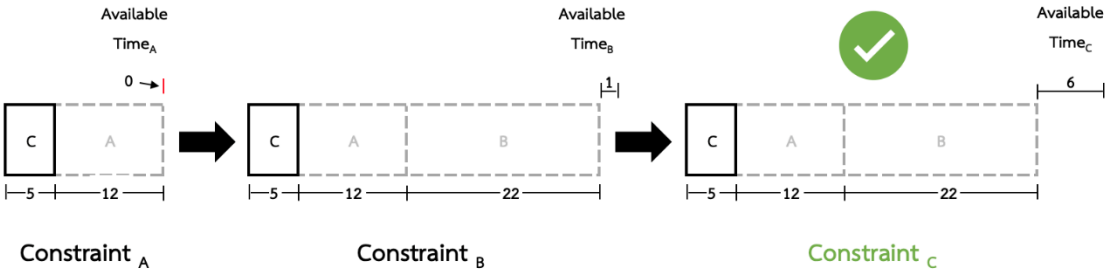
ที่สุดมาพิจารณาประกอบการจัดลำดับการผลิตก็ได้ เนื่องจากสามารถอยู่ลำดับการผลิตใดก็ได้) ดังนั้น งานที่จะสามารถนำมาผลิตในลำดับที่ 1 ภายใต้ Constraint C ได้ คือ งาน A, B หรือ C

$$Constraint\ C = \{A, B, C\}$$

เมื่อได้สมาชิกของแต่ละข้อจำกัดแล้ว (Constraint A, B และ C) จากนั้นจะนำสมาชิกที่เป็นไปได้ของแต่ละข้อจำกัด มาหาสมาชิกที่มีร่วมกัน (Intersection) เพื่อให้ได้มาซึ่งงานที่สามารถอยู่ลำดับการผลิตที่ 1 แล้วไม่เกินข้อกำหนดในทุก ๆ ข้อจำกัด ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

$$Constraint\ (A \cap B\ \cap C) = \{A, C\} \cap \{A, B, C\}\ \cap \{A, B, C\}$$
$$= \{A, C\}$$

จากผลลัพธ์จะพบว่างานที่สามารถนำมาผลิตเป็นลำดับที่ 1 ได้ แล้วจะไม่ทำให้ทั้ง 3 ข้อจำกัดเกินกำหนดส่ง ได้แก่ งาน A หรือ C จากนั้นจะทำการสุ่มเลือกเพียง 1 งาน ในที่นี้จะทำการเลือกงาน C จากนั้นจะทำการกำหนดงาน C เป็นลำดับการผลิตที่ 1 และทำการคำนวณเวลาที่เหลือ (Available Time A, B และ C) ที่จะใช้ในการพิจารณาจัดลำดับการผลิตในลำดับถัดไป ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 3-15



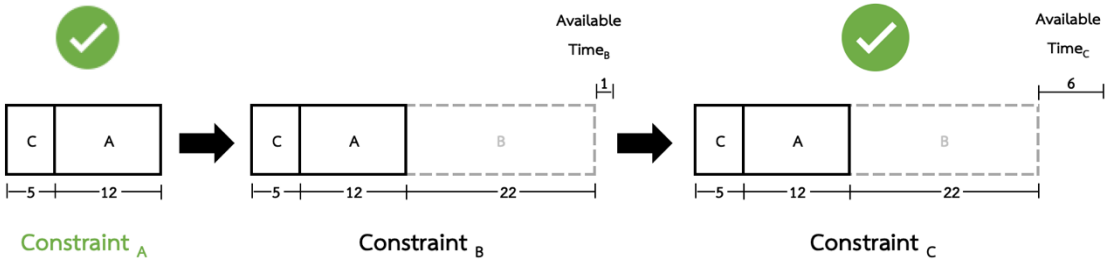
รูปที่ 3-15 ผลลัพธ์การจัดลำดับการผลิตหลังจากกำหนด C อยู่ในลำดับการผลิตที่ 1

จากรูปที่ 3-15 แสดงถึงเวลาที่เหลือของแต่ละข้อจำกัด (Constraint A, B และ C) หลังจากกำหนดให้งาน C อยู่ในลำดับการผลิตที่ 1 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ที่ Constraint A จะมีเวลาว่างสำหรับนำงานอื่น ๆ มาผลิตได้นอกเหนือจากงาน A คือ 0 ดังนั้นงานที่จะสามารถทำการผลิตในลำดับถัดไปได้ (ลำดับที่ 2) ภายใต้ข้อจำกัดของ Constraint A จะมีเพียงงาน A เท่านั้น ซึ่งในส่วนของ Constraint B จะสังเกตได้ว่าสามารถเลือกผลิตงานใดในลำดับถัดไปก็ได้ งาน A และ B ก็ยังคงเสร็จสิ้นการผลิตไม่เกินกำหนดส่ง ทั้งนี้ Constraint C จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากกำหนดลำดับงาน C เรียบร้อยแล้ว

ดังนั้นงานที่จะสามารถทำการผลิตในลำดับถัดไปได้ภายใต้ทุก ๆข้อจำกัด สามารถนำมาคำนวณได้ดังต่อไปนี้

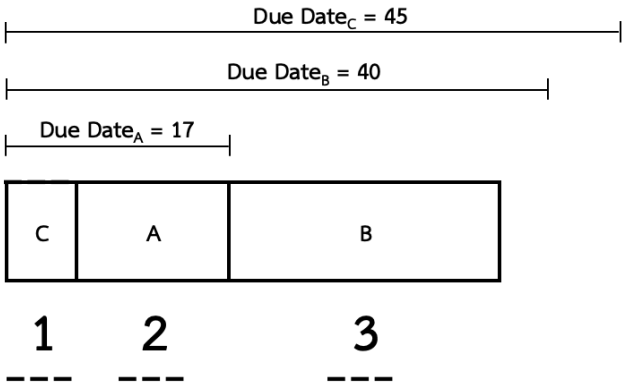
$$Constraint\ A = \{A\}$$
$$Constraint\ B = \{A, B\}$$
$$Constraint\ (A \cap B\ ) = \{A\} \cap \{A, B\}$$
$$= \{A\}$$

จากการคำนวณหาผลลัพธ์ของงานที่จะสามารถทำการผลิตในลำดับถัดไปได้ ภายใต้ทุก ๆ ข้อจำกัด จะสังเกตได้ว่ามีเพียงงาน A เท่านั้น ดังนั้นในขั้นตอนถัดไปจะทำการกำหนดงาน A อยู่ในลำดับการผลิตที่ 2 จากนั้นก็จะทำการคำนวณหาเวลาที่เหลือสำหรับแต่ละข้อจำกัด (ดังแสดงในรูปที่ 3-16) และทำการวนรอบการทำซ้ำจากกระบวนการที่ได้กล่าวมาทั้งหมด จนกว่าจะกำหนดลำดับการผลิตครบทุก ๆ งาน ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3-17



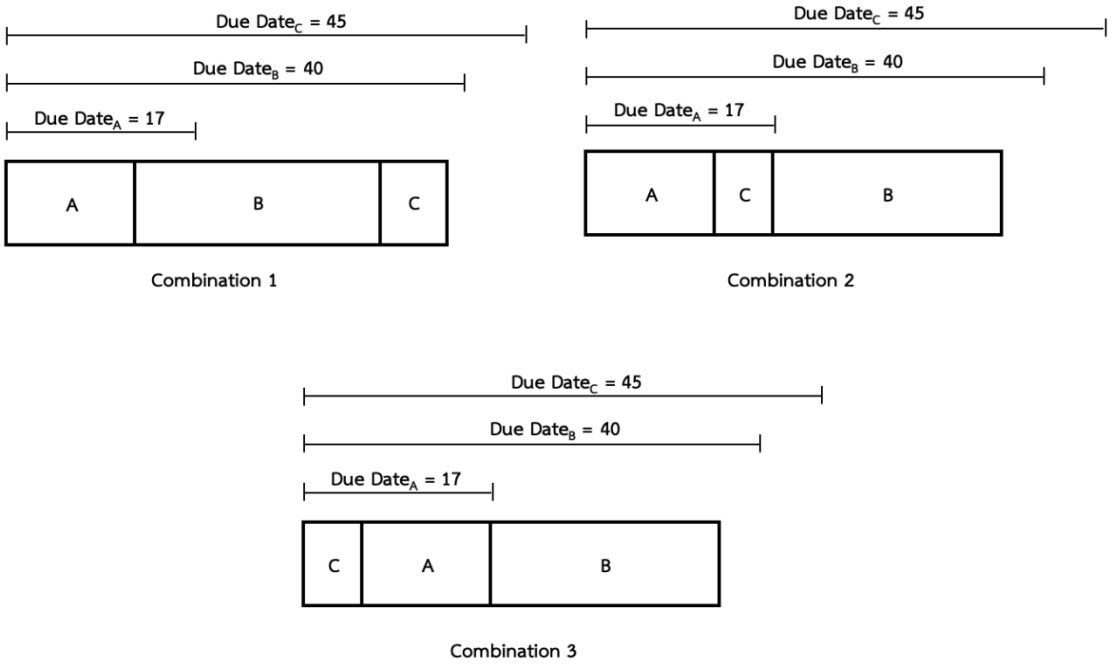
รูปที่ 3-16 ผลลัพธ์การจัดลำดับการผลิตหลังจากกำหนด A อยู่ในลำดับการผลิตที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3-17 ผลลัพธ์หลังจากเสร็จสิ้นการลำดับการผลิตครบทุกงาน

จากรูปที่ 3-17 แสดงผลลัพธ์การจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ โดยผลลัพธ์ดังกล่าวเป็นผลลัพธ์เพียง 1 รูปแบบ (Combination) ที่ได้จากการสุ่มจากผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำขั้นตอนวิธีดังกล่าวมาดำเนินการทำซ้ำ เพื่อหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด พบว่าการจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ สามารถให้ผลลัพธ์การจัดลำดับการผลิตจากงานตัวอย่าง (งาน A, B และ C) ได้ทั้งหมด 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 3-18



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-18 ผลลัพธ์ทั้งหมดของการจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ

จากรูปที่ 3-18 แสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของการจัดลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ทั้งหมดของงานตัวอย่าง (A, B และ C) ที่ได้จากขั้นตอนวิธีการสุ่มแบบเป็นระบบที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในทุก ๆ ผลลัพธ์สามารถจัดลำดับการผลิตได้ทันกำหนดส่งได้ครบทุกงาน จากกระบวนการลำดับการผลิตข้างต้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. เรียงลำดับงานด้วยกฎการจ่ายงานที่เร็วที่สุด (Earliest Due Date, EDD)
2. กำหนดข้อจำกัด (Constraint) การจัดลำดับการผลิตด้วยกำหนดส่งของแต่ละงาน
3. คำนวณหาเวลาที่เหลือ (Available Time) จากการผลิตงานภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ

4. คำนวณหางานที่สามารถทำการผลิตในลำดับถัดไปได้ภายใต้แต่ละข้อจำกัด

5. นำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 มาคำนวณหางานที่สามารถทำการผลิตได้ในลำดับการผลิตถัดไปร่วมกันในทุก ๆ ข้อจำกัด (Intersection)

6. นำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 มาสุ่มเลือกงานที่จะทำการผลิตในลำดับถัดไป

7. วนรอบการทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6 จนได้ผลลัพธ์ครบในทุก ๆ ลำดับการผลิต

อย่างไรก็ดีจากปัญหาที่ได้กล่าวข้างต้น การปฏิบัติงานในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีความซับซ้อนในเชิงการจัดเตรียมการผลิต เนื่องจากพนักงานจะต้องจัดเตรียมและติดตั้งรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนเครื่องจักร ซึ่งในบางผลิตภัณฑ์สามารถใช้รถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันได้ รูปแบบการลำดับการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้เวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมงานของแต่ละงานก็แตกต่างกันออกไปอีกด้วย ดังนั้นการคำนวณเวลาที่ใช้สำหรับการผลิตของแต่ละงานจึงไม่สามารถทำการคำนวณได้อย่างแน่ชัดหากยังไม่ทำการกำหนดลำดับการผลิต และเพื่อไม่ให้ตัดผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) ออกจากพื้นที่การค้นหาผลเฉลย (Search Space) ผู้วิจัยจึงอ้างอิงเวลาที่ใช้สำหรับการผลิตของแต่ละงานด้วยเวลามาตรฐาน (Standard Processing Time) เท่านั้น ดังนั้นการนำขั้นตอนวิธีการสุ่มแบบเป็นระบบมาประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จึงไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) ในบางส่วน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการจัดลำดับการผลิตระหว่างการสุ่มแบบอิสระ และการสุ่มแบบเป็นระบบ

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับปรุงผลเฉลยในขั้นตอนการหาผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Search) ด้วยการจัดลำดับการผลิต โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือลดเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต หรือ ลดจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยในขั้นตอนแรกผู้วิจัยได้นำข้อมูลรายการคำสั่งผลิตจำนวน 98 รายการ ที่มีวันกำหนดส่ง 1-5 วัน มาทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยวิธีการสุ่มลำดับการผลิตแบบอิสระ โดยกำหนดเงื่อนไขการหยุดค้นหา คือ เมื่อไม่พบผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้นเป็นจำนวน 100 รอบ (Non-Improving Iterations) และทำการเก็บข้อมูลในแต่ละสายการผลิต ในแง่มุมของจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (No. Setup Times) ซึ่งเป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function),

จำนวนผลเฉลยที่ไม่มีการส่งงานล่าช้า (No. Feasible Solution), จำนวนผลเฉลยที่มีการส่งงานล่าช้า (No. Infeasible Solution) และเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผลเฉลย (Computational Time) ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3-10

Line No.	No.Setup Times	No.Feasible Sol.	No.Infeasible Sol.	Computational Time(Sec.)
1	42	162	52827	83.77
2	14	232	284911	405.81
3	16	115	35302	42.29
4	22	203	34629	33.16
5	79	124	11	0.29
6	46	279	655	1.68
7	14	121	1433	2.02
8	10	149	227	0.53

ตารางที่ 3-10 ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบอิสระ

จากตารางที่ 3-10 จะสังเกตได้ว่าแต่ละสายการผลิตก็จะมีจำนวนผลเฉลยที่มีการส่งงานล่าช้า (Infeasible Solution) ที่แตกต่างกัน โดยมีจำนวนตั้งแต่ 11 ผลเฉลย ณ สายการผลิต 5 ไปจนถึง 284,911 ผลเฉลย ณ สายการผลิต 2 ซึ่งจำนวนผลเฉลยที่มีการส่งงานล่าช้าที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผลเฉลย (Computational Time) สูงถึง 405.81 วินาที ทั้งนี้จำนวนผลเฉลยที่มีการส่งงานล่าช้าจะมีโอกาสถูกพบได้มากในสายการผลิตที่มีกำหนดส่งงานกระชั้นชิด เนื่องจากจำนวนรูปแบบในการลำดับการผลิตที่สามารถทำให้ส่งงานได้ทันกำหนดส่งในทุก ๆ งานลดน้อยลง ส่งผลทำให้การจัดลำดับการผลิตด้วยวิธีการสุ่มแบบอิสระไม่มีประสิทธิภาพอีกด้วย

ในลำดับถัดไป ผู้วิจัยได้นำข้อมูลรายการผลิตชุดเดิม ที่มีจำนวนรายการผลิตจำนวน 98 รายการ และมีวันกำหนดส่ง 1-5 วัน มาทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการจัดลำดับการผลิต โดยการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการสุ่มแบบเป็นระบบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3-11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Line No.	No.Setup Times	No.Feasible Sol.	No.Infeasible Sol.	Computational Time (Sec.)
1	40	171	121	2.18
2	13	317	39	2.62
3	15	266	55	1.73
4	22	128	45	0.84
5	81	208	2	1.68
6	46	150	20	1.28
7	12	309	35	2.12
8	10	273	26	1.66

ตารางที่ 3-11 ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยการจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ

จากตารางที่ 3-11 จะสังเกตได้ว่าเมื่อนำขั้นตอนวิธีการสุ่มลำดับการผลิตแบบเป็นระบบมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผลเฉลย ทำให้จำนวนผลเฉลยที่มีการส่งงานล่าช้า (Infeasible Solution) ในทุก ๆ สายการผลิต ลดน้อยลงอย่างมีนัยยะสำคัญ อีกทั้งยังทำให้เวลาในการปรับปรุงผลเฉลย (Computational Time) ลดน้อยลงอีกด้วย

สำหรับการปรับปรุงผลเฉลยในขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Search) ด้วยการจัดลำดับการผลิต (Reordering) พบว่าเมื่อจำนวนรายการคำสั่งผลิต และรอบวันกำหนดส่งงานมีมากขึ้น ยิ่งส่งผลทำให้จำนวนผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) ในพื้นที่การค้นหาผลเฉลย (Search Space) มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย กล่าวคือ หากปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น การจัดลำดับการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผลเฉลยยิ่งซับซ้อนและใช้เวลานานมากยิ่งขึ้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการสุ่มลำดับการผลิตที่ได้พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการจัดเตรียมชุดข้อมูลรายการคำสั่งผลิต 3 ชุดข้อมูล ที่แตกต่างกัน ได้แก่

Case I: คำสั่งผลิต 35 รายการ โดยมีกำหนดส่งภายใน 1 วันทำการ (กำหนดส่ง 8.30 น./16.30 น.)

Case II. คำสั่งผลิต 98 รายการ โดยมีกำหนดส่งภายใน 5 วันทำการ

Case III. คำสั่งผลิต 165 รายการ โดยมีกำหนดส่งภายใน 7 วันทำการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อทำการจัดเตรียมชุดข้อมูลรายการคำสั่งผลิตทั้ง 3 ชุดข้อมูล ที่มีจำนวนรายการคำสั่งผลิตและรอบกำหนดส่งที่แตกต่างกันเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการนำชุดข้อมาดังกล่าวมาทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการค้นหาเฉพาะถิ่น (Local Search) หรือ จัดลำดับการผลิต (Reordering) จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ และการสุ่มแบบเป็นระบบ ในแง่มุมของคุณภาพของผลเฉลย (Solution Quality), อัตราส่วนของผลเฉลยที่เป็นไปได้ต่อผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Feasible Solution Ratio) และเวลาในการปรับปรุงผลเฉลย (Computational Time) ดังแสดงในตารางที่ 3-12

Testing Condition		No.Setup Times		Feasible Sol. Ratio	Computational Time(Sec.)
		Initial Solution	Improved Solution		
Case I	Random	118	87	0.50	3.55
	Guided Random		85	0.96	1.87
Case II	Random	332	243	0.11	569.55
	Guided Random		239	0.84	14.11
Case III	Random	527		<0.000001	> 3 Hours
	Guided Random		414	0.83	39.38

ตารางที่ 3-12 เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยโดยด้วยการจัดลำดับการผลิตระหว่างการสุ่มแบบอิสระ และการสุ่มแบบเป็นระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4-12 จะสังเกตได้ว่าที่ชุดข้อมูลกรณีศึกษาที่ 1 (Case I) ซึ่งจัดเป็นปัญหาขนาดเล็ก การปรับปรุงผลเฉลยด้วยการจัดลำดับการผลิต โดยการสุ่มแบบอิสระ และ การสุ่มแบบเป็นระบบ สามารถให้ผลเฉลยที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ใกล้เคียงกันอยู่ที่ 87 และ 85 ตามลำดับ โดยที่ใช้เวลาในการปรับปรุงผลเฉลยไม่มาก (ประมาณ 1-5 วินาที)

จากการปรับปรุงผลเฉลยด้วยชุดข้อมูลกรณีศึกษาที่ 2 (Case II) ซึ่งมีขนาดของปัญหาที่ใหญ่มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลกรณีศึกษาที่ 1 (Case I) จากผลลัพธ์พบว่าให้ผลลัพธ์ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ที่ใกล้เคียงกัน ของการปรับปรุงผลเฉลยทั้ง 2 วิธี แต่อัตราส่วน

ของผลเฉลยที่เป็นไปได้ที่พบมีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยคิดเป็นอัตราส่วนอยู่ที่ 0.11 และ 0.84 ตามลำดับ ส่งผลทำให้เวลาในการปรับปรุงผลเฉลยโดยการสุ่มแบบอิสระใช้เวลานานถึง 569.55 วินาที (ประมาณ 9.5 นาที) โดยที่การสุ่มลำดับการผลิตแบบเป็นระบบใช้เวลาในการปรับปรุงผลเฉลยเพียง 14.11 วินาที

สำหรับการปรับปรุงผลเฉลยด้วยชุดข้อมูลกรณีศึกษาที่ 3 (Case III) ซึ่งมีขนาดของปัญหาที่ใหญ่ที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลกรณีศึกษาทั้ง 3 ชุดข้อมูล โดยมีจำนวนรายการคำสั่งผลิตกว่า 165 รายการ และมีกำหนดส่งภายใน 7 วันทำการ ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการสุ่มแบบอิสระ โดยใช้เวลาในการปรับปรุงผลเฉลยกว่า 3 ชั่วโมง พบว่ายังไม่สามารถปรับปรุงผลเฉลยได้แล้วเสร็จ เนื่องจากจำนวนผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) ที่พบมีอัตราส่วนที่น้อยมาก (น้อยกว่า 0.000001) จึงสามารถสรุปได้ว่าการจัดลำดับการผลิตด้วยการสุ่มแบบอิสระไม่สามารถนำมาแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่การปรับปรุงผลเฉลยด้วยการสุ่มลำดับการผลิตแบบเป็นระบบ พบว่ามีอัตราส่วนผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) กว่า 0.83 อีกทั้งยังใช้เวลาในการปรับปรุงผลเฉลยเพียง 39.38 วินาที

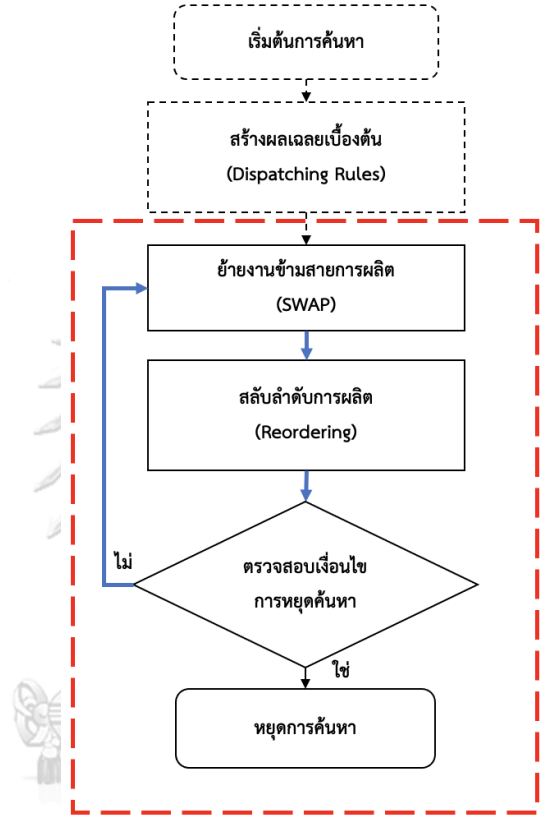
3.7 การย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism)

จากการปรับปรุงผลเฉลยในขั้นตอนย้ายสายการผลิต (SWAP) เป็นการปรับปรุงผลเฉลยโดยการย้ายงานระหว่างสายการผลิต เพื่อมุ่งเน้นให้แต่ละสายการผลิตสามารถผลิตงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีเวลาเสร็จสิ้นการผลิต (Completion Time) ที่ใกล้เคียงกันในทุก ๆ สายการผลิต ในลำดับถัดมาจึงทำการนำผลเฉลยที่ได้จากการย้ายงานข้ามสายการผลิต มาทำการปรับปรุงให้ดีมากยิ่งขึ้นด้วยการค้นหาผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Search) ด้วยการสลับลำดับการผลิต (Reordering) อย่างไรก็ดีแม้ว่าผลเฉลยที่ได้จะถูกปรับปรุงมาอย่างต่อเนื่องจนมีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) ที่ดีมากยิ่งขึ้น แต่ก็อาจเป็นเพียงผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Solution)

สำหรับขั้นตอนการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ซึ่งเป็นกลไกในการย้ายขอบเขตการค้นหาผลเฉลย เพื่อนำไปสู่ผลเฉลยที่ดีที่สุด (Global Solution) ดังนั้นในลำดับถัดไปจะทำการวนรอบการทำซ้ำในการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) เพื่อย้ายขอบเขตในการค้นหา จากนั้นก็จะทำการค้นหาผลเฉลย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เฉพาะถิ่นในขอบเขตการค้นหาดังกล่าวด้วยการวนรอบการทำซ้ำในการสลับลำดับการผลิต (Reordering) จากนั้นก็จะวนรอบการทำซ้ำกระบวนการดังกล่าวจนกว่าผลเฉลยที่ได้จะหยุดปรับปรุงตามจำนวนรอบที่กำหนด ดังแสดงกระบวนการทำงานในรูปที่ 3-19



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-19 แผนภูมิการทำงานสำหรับการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism)

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลรายการคำสั่งผลิตจำนวน 165 รายการ ที่มีวันกำหนดส่ง 1-7 วันทำการ มาทำการปรับปรุงผลเฉลยโดยในขั้นตอนการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และการสลับลำดับการผลิต (Reordering) ได้กำหนดเงื่อนไขในการหยุดค้นหา คือ เมื่อผลเฉลยหยุดปรับปรุงเป็นจำนวน 100 รอบ และในการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) ได้ทำการกำหนดเงื่อนไขในการหยุดค้นหา คือ เมื่อผลเฉลยหยุดปรับปรุงเป็นจำนวน 10 รอบ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3-13

No. Iteration	Makespan (Hrs.)	
	After SWAP	After Reordering
0 (Initial Solution)	160.71	160.71
1	149.61	147.61
2	146.6	146.14
3	145.86	145.57
4	144.82	144.65
5	144.17	144.17
8	144.13	144.13
10	143.99	143.83
15	143.71	143.71
19	143.14	143.14
21	142.88	142.81
26	142.01	142.01
36	142.01	142.01

ตารางที่ 3-13 ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) ในแต่ละรอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

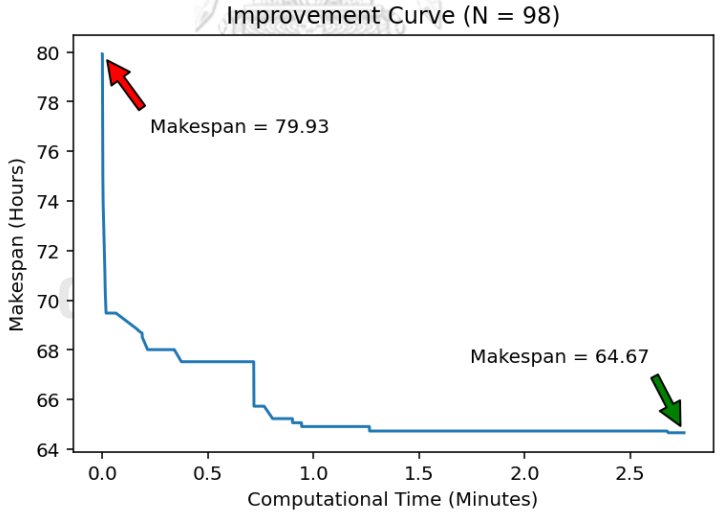
จากตารางที่ 3-13 แสดงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) หรือเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) สำหรับการย้ายขอบเขตการค้นหาในแต่ละรอบ จากผลเฉลยเบื้องต้นมีเวลาปิดงานของระบบอยู่ที่ 160.71 ชั่วโมง หลังจากทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยการวนรอบการทำซ้ำในการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) และสลับลำดับการผลิต (Reordering) ในรอบแรกจะพบว่าเวลาปิดงานของระบบลดลงเหลือ 149.61 และ 147.61 ตามลำดับ

ทั้งนี้เมื่อวนรอบการทำซ้ำในกระบวนการดังกล่าว กล่าวคือเมื่อทำการย้ายการค้นหาไปยังขอบเขตเฉพาะถิ่นอื่น ๆ จะพบว่าเวลาปิดงานของระบบลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเวลาปิดงานของระบบจะเริ่มหยุดปรับปรุงในรอบที่ 26 และหยุดการค้นหาในรอบที่ 36 โดยมีเวลาปิดงานของระบบอยู่ที่ 142.01 ชั่วโมง

3.8 การทดสอบฮิวริสติกส์ด้วยชุดข้อมูลกรณีศึกษา

จากการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้น จะสังเกตได้ว่าเมื่อปัญหามีขนาดที่ใหญ่มากขึ้น กระบวนการในการปรับปรุงผลเฉลยของฮิวริสติกส์ก็ยิ่งซับซ้อน กล่าวคือหากรายการคำสั่งผลิต และกำหนดส่งมอบมีความหลากหลาย ก็ยิ่งใช้เวลาในการค้นหาผลเฉลย (Computational Time) ที่ยาวนานมากยิ่งขึ้น

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวด้วยฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลคำสั่งผลิต 98 รายการ ที่มีกำหนดส่งภายใน 1-5 วันทำการมาทำการสร้างผลเฉลย โดยในขั้นตอนการปรับปรุงด้วยการย้ายสายการผลิต (SWAP) และการสลับลำดับการผลิต (Reordering) ได้กำหนดเงื่อนไขในการหยุดค้นหา คือ เมื่อไม่พบผลเฉลยที่ดีมากยิ่งขึ้นเป็นจำนวน 100 รอบ เช่นเดียวกับการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) พร้อมทั้งเก็บข้อมูลเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) เปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการสร้างผลเฉลย (Computational Time) ดังแสดงในรูปที่ 3-20

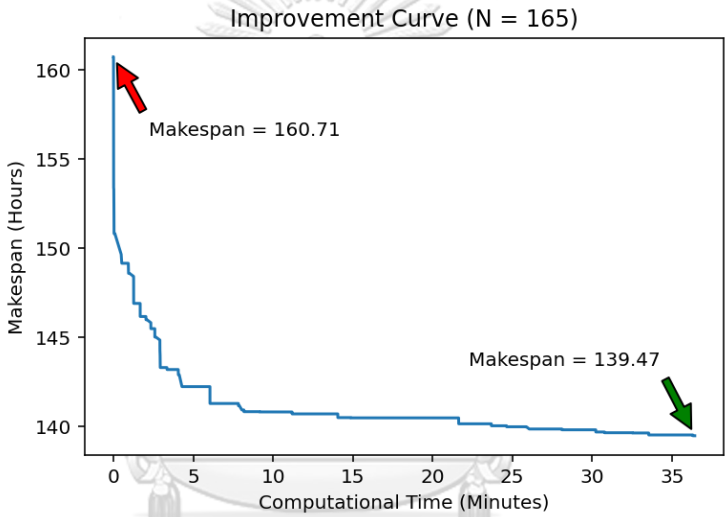


รูปที่ 3-20 ผลลัพธ์ที่ได้จากนำข้อมูลรายการผลิต 98 รายการ มาสร้างผลเฉลยด้วยฮิวริสติกส์

จากรูปที่ 3-20 ผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) มีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) อยู่ที่ราว ๆ 80 ชั่วโมง เมื่อนำผลเฉลยดังกล่าวมาปรับปรุงในขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristics) จะพบว่าเวลาปิดงานของระบบปรับปรุงอย่างต่อเนื่องภายใน 20 วินาที

แรก โดยลดลงจาก 80 ชั่วโมง เหลือเพียง 67.5 ชั่วโมง และเมื่อย้ายขอบเขตในการค้นหาผลเฉลย จึงพบผลเฉลยที่ให้เวลาปิดงานของระบบที่ดีมากยิ่งขึ้น โดยมีเวลาปิดงานของระบบอยู่ที่ 64.67 ชั่วโมง และเริ่มคงที่ ที่เวลาตั้งแต่ 1 นาทีเป็นต้นไป

ในลำดับถัดไปผู้วิจัยได้นำชุดข้อมูลที่มีขนาดของปัญหาใหญ่มากขึ้น โดยมีรายการคำสั่งผลิตกว่า 165 รายการ และมีกำหนดส่งภายใน 1-7 วันทำการ มาทำการทดสอบโดยกำหนดเงื่อนไขในการหยุดค้นหาเช่นเดิม คือ เมื่อไม่พบผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้นเป็นจำนวน 100 รอบ ทั้งการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) การสลับลำดับการผลิต (Reordering) และการย้ายขอบเขตการค้นหา (Escape Mechanism) โดยได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3-21

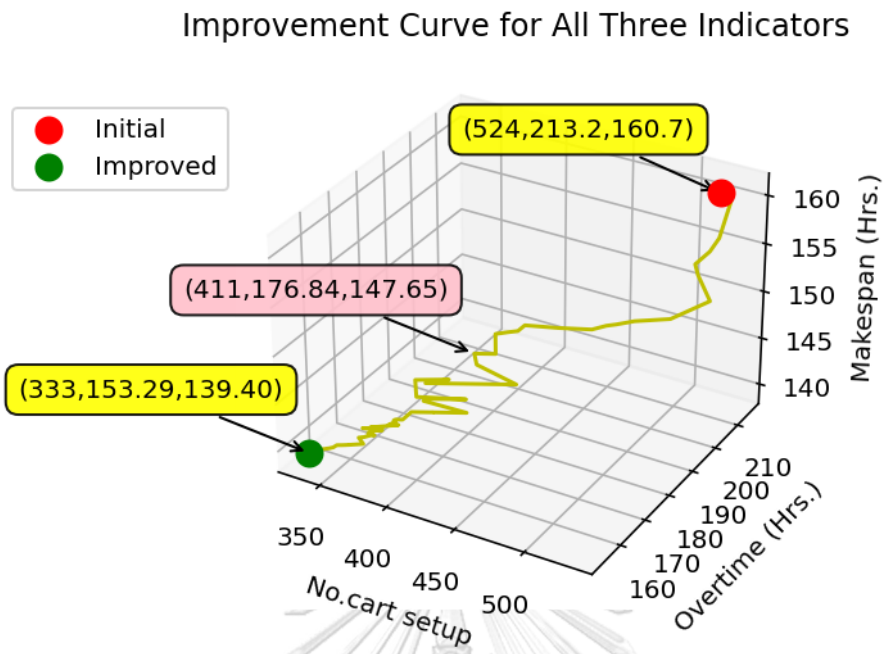


รูปที่ 3-21 ผลลัพธ์ที่ได้จากนำข้อมูลรายการผลิต 165 รายการ มาสร้างผลเฉลยด้วยฮิวริสติกส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 3-21 ผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) มีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) อยู่ที่ 160.71 ชั่วโมง จากนั้นเมื่อนำผลเฉลยดังกล่าวมาปรับปรุงในขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristics) จะสังเกตได้ว่าเวลาปิดงานของระบบลดลงเหลือเพียง 141.27 ชั่วโมง ภายในระยะเวลา 6 นาทีแรกของการปรับปรุงผลเฉลย จากนั้นจะเริ่มชะลอการปรับตัวลง และครบเงื่อนไขในการหยุดค้นหาที่เวลา 38 นาที โดยมีเวลาปิดงานของระบบอยู่ที่ 139.47 ชั่วโมง

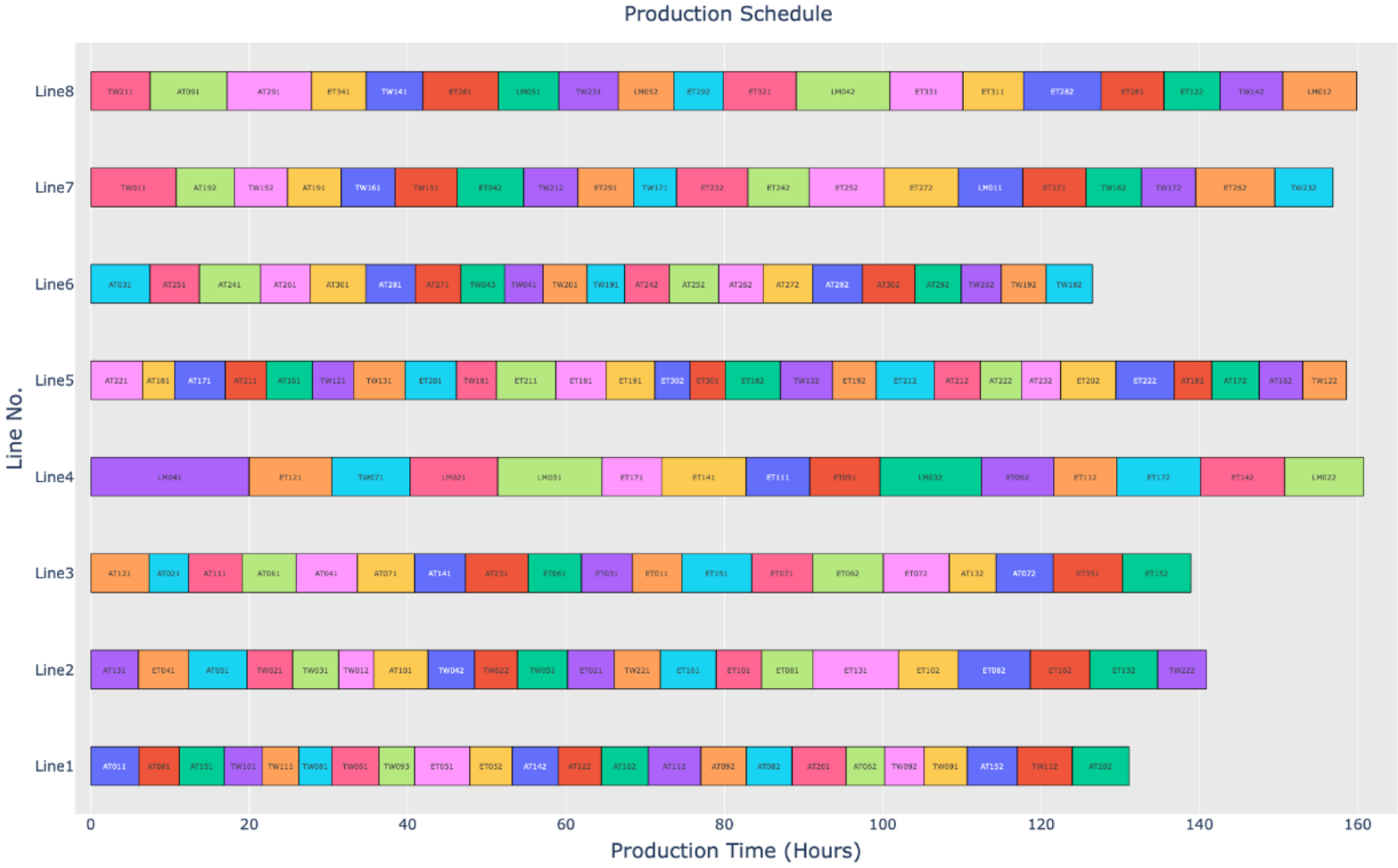
ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลค่าตัวชี้วัดสำคัญสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย เวลาปิดงานของระบบ จำนวนชั่วโมงการปฏิบัติงานล่วงเวลา และจำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำมาวิเคราะห์แนวโน้มการลดลงของตัวชี้วัดสำคัญต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-22



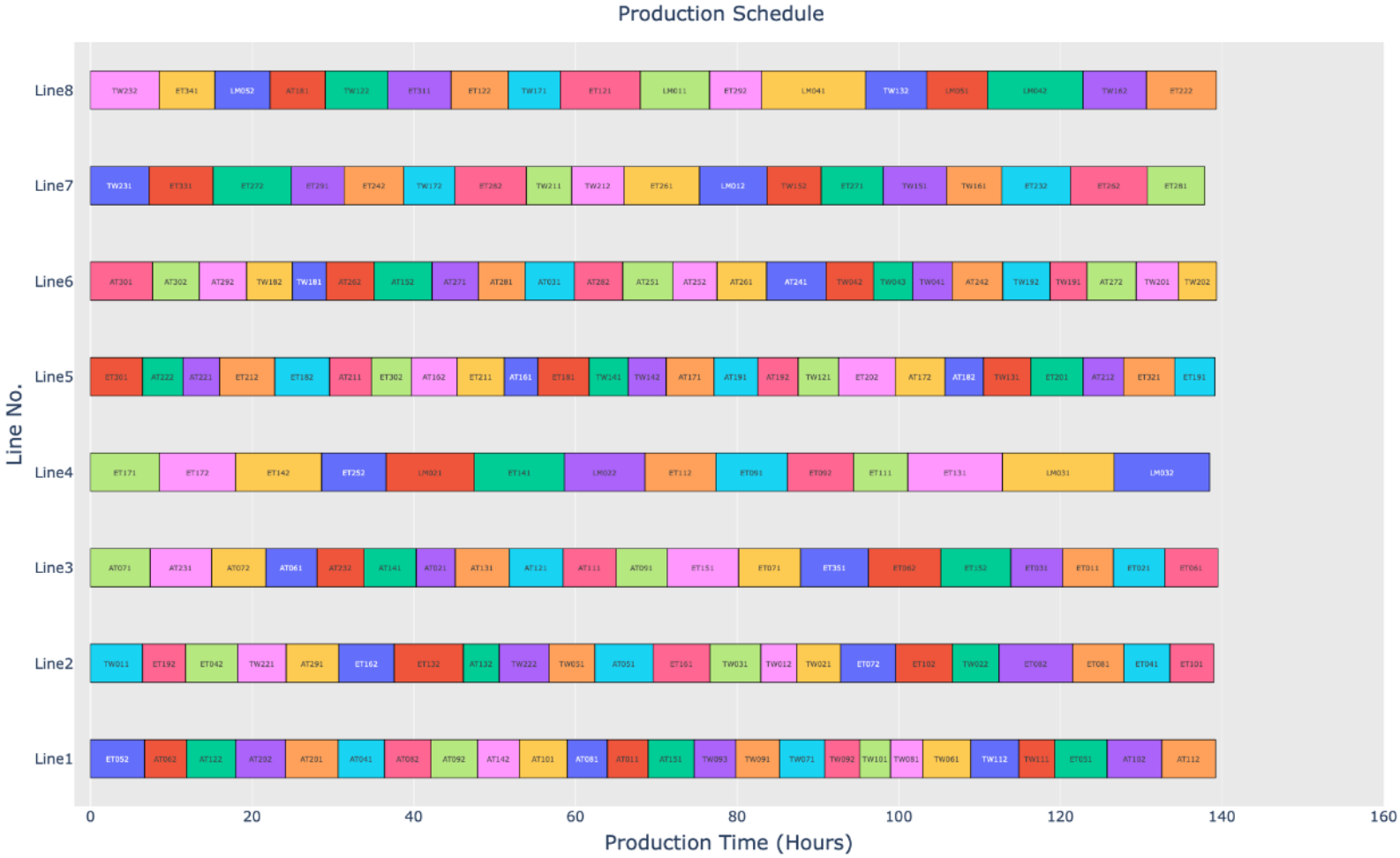
รูปที่ 3-22 ผลลัพธ์ค่าตัวชี้วัดสำคัญต่างๆ ในกระบวนการปรับปรุงผลเฉลย

จากรูปที่ 3-22 แสดงถึงแนวโน้มการลดลงของตัวชี้วัดสำคัญต่างๆ ซึ่งประกอบไปด้วยเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) จำนวนชั่วโมงการปฏิบัติงานล่วงเวลา (Overtime) และจำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) มีเวลาปิดงานของระบบ 160.71 ชั่วโมง เมื่อทำการย้ายงานข้ามสายการผลิต (SWAP) เวลาปิดงานของระบบลดลงอยู่ที่ราว ๆ 152 ชั่วโมง จากนั้นจะลดลงอีกครั้งหลังจากทำการสลับลำดับการผลิต (Reordering) โดยมีเวลาปิดงานของระบบอยู่ที่ 147.65 ชั่วโมง และจำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จาก 524 ครั้ง ลดลงเหลือเพียง 411 ครั้ง

เมื่อพิจารณาแนวโน้มในลำดับถัดมา จะสังเกตได้ว่าหลังจากย้ายขอบเขตในการค้นหาแม้ว่าจำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จะเพิ่มสูงขึ้นจาก 411 ครั้ง เป็น 441 ครั้ง แต่เวลาปิดงานของระบบยังคงมีค่าลดน้อยลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในการตัดสินใจของฮิวริสติกส์จะอ้างอิงจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือ เวลาปิดงานของระบบเป็นหลักสำคัญ อย่างไรก็ดีหลังจากทำการค้นหาผลเฉลยเฉพาะถิ่น (Local Search) อีกครั้ง จำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าลดน้อยลงอย่างต่อเนื่อง เป็นผลทำให้เวลาปิดงานของระบบลดน้อยลงอีกด้วย ทั้งนี้ผู้วิจัยได้แสดงผลลัพธ์การจัดตารางผลิตด้วยชุดข้อมูลคำสั่งผลิตดังกล่าวในรูปแบบแผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) ของผลเฉลยเบื้องต้นในรูปที่ 3-23 และผลเฉลยหลังการปรับปรุงในรูปที่ 3-24



รูปที่ 3-23 แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) แสดงผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) ของฮิวริสติกส์



รูปที่ 3-24แผนภูมิแกนต์ (Gantt chart) แสดงผลเฉลยหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการปรับปรุงเฉลย (Improved Solution) ของฮิวริสติกส์

3.9 การวิเคราะห์ขอบเขตล่าง (Lower Bound)

สำหรับการวิเคราะห์ขอบเขตล่างเป็นการวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์โดยการนำค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ของผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์มาเปรียบเทียบกับขอบเขตล่าง (Lower Bound) โดยที่ค่าขอบเขตล่างนั้นสามารถคำนวณได้จากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal Solution) แต่เนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจรจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) การหาผลเฉลยที่ดีที่สุดจึงเป็นไปอย่างจำกัด

ทั้งนี้ก็อาจจะนำแนวทางในการหาค่าขอบเขตล่างด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การจำแนกงานต่าง ๆ ไปยังสายการผลิตที่มีเวลาที่ใช้ในการผลิต (Standard Processing Time) ที่ต่ำที่สุดของงานนั้น ๆ แล้วจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อหนึ่งสายการผลิต แต่ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าวก็มีข้อจำกัดในแง่มุมของกำหนดส่งงาน (Due Date) รวมไปถึงข้อกำหนดที่ว่าในแต่ละสายการผลิต ไม่สามารถผลิตงานบางงานได้ ทำให้ผลเฉลยดังกล่าวเป็นผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต (Setup Time) ก็ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งบางผลิตภัณฑ์สามารถใช้รถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกันได้ การจัดลำดับงาน และการเลือกสายการผลิตที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้เวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิตแตกต่างกันออกไปอีกด้วย ดังนั้นถึงแม้ว่างานต่าง ๆ จะถูกจำแนกไปยังสายการผลิตที่ใช้เวลาในการผลิตที่น้อยที่สุด แต่ก็ไม่สามารถที่จะทำให้เวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิตมีค่าน้อยที่สุดได้

อย่างไรก็ดีเพื่อวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์ที่ได้พัฒนาขึ้นเบื้องต้น ผู้วิจัยจึงทำการคำนวณค่าขอบเขตล่างโดยการจำแนกงานต่าง ๆ ไปยังสายการผลิตที่มีเวลามาตรฐานในการผลิต (Standard Processing Time) ที่ต่ำที่สุดของงานนั้น ๆ (ไม่นำเงื่อนไขกำหนดส่งมาพิจารณา) จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาคำนวณหาเวลาที่ใช้สำหรับการผลิตรวมในทุก ๆ สายการผลิต (ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์) และทำการหาค่าเฉลี่ยด้วยการหารจำนวนสายการผลิต ดังแสดงผลลัพธ์ในตารางที่ 3-14

Line No.	Total Processing Time (Unit: Hours)
1	165.22
2	169.79
3	44.01
4	121.57
5	179.94
6	114.01
7	134.79
8	85.56
Average	126.86

ตารางที่ 3-14 เวลาที่ใช้สำหรับการผลิตรวม (Total Processing Time) ในแต่ละสายการผลิต ของชุดข้อมูลรายการคำสั่งผลิต 165 รายการ

จากตารางที่ 3-14 แสดงถึงเวลาที่ใช้สำหรับการผลิตรวมในแต่ละสายการผลิต (ไม่รวมเวลาจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต) ของผลเฉลยที่ถูกสร้างขึ้นโดยไม่พิจารณาถึงวันกำหนดส่ง ซึ่งมีข้อมูลรายการคำสั่งผลิต 165 รายการ พบว่ามีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 126.86 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์ (ถูกสร้างขึ้นภายใต้ทุก ๆข้อกำหนดในกระบวนการผลิต และวันกำหนดส่ง) ซึ่งมีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) อยู่ที่ 139.47 ชั่วโมง พบว่ามีผลต่างอยู่ที่ร้อยละ 9.94

ทั้งนี้จากผลเฉลยดังกล่าวมีจำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ที่ 550 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นเวลาในการจัดเตรียมงาน 91.67 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงนำผลเฉลยดังกล่าวไปทำการปรับปรุงในขั้นตอนการสลับลำดับการผลิต (Reordering) จนกว่าผลเฉลยจะหยุดปรับปรุงเป็นจำนวน 1000 รอบ จำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จึงลดลงเหลือ 407 ครั้ง คิดเป็นเวลาในการจัดเตรียมงาน 67.83 ชั่วโมง ซึ่งหากนำไปรวมกับเวลาเฉลี่ยที่ใช้สำหรับการผลิต พบว่ามีเวลาปิดงานของระบบอยู่ที่ 126.86+67.83/8 = 135.34 ชั่วโมง ซึ่งหากนำมาเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์จะมีผลต่างคิดเป็นร้อยละ 3.07

จากข้อจำกัดของปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การคำนวณหาค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ที่แน่ชัดอาจทำได้อย่างจำกัด ผู้วิจัยจึงใช้กระบวนการข้างต้นเพื่อประมาณการประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์ ซึ่งหากพิจารณาเป็นช่วงแล้วพบว่าผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์นั้น อยู่ในช่วงร้อยละ 3.07 (ขอบเขตล่างรวมเวลาจัดเตรียมงานที่ได้จากการปรับปรุงผลเฉลยผ่านกระบวนการสลับลำดับการผลิต) ถึง 9.94 (ขอบเขตล่างไม่รวมเวลาจัดเตรียมงาน)

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

จากการพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น เพื่อใช้สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ณ บริษัทกรณีศึกษา โดยมีจุดประสงค์เพื่อสามารถสร้างแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ภายในระยะเวลาอันสั้น และมีเป้าหมายในการปรับปรุงเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) เป็นสำคัญ ดังนั้นในการวัดผลของฮิวริสติกส์ที่ได้พัฒนาขึ้น จะทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบัน (Current Solution)
2. ผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution)

โดยการวัดผลจะทำการเปรียบเทียบผลเฉลยในแง่มุมต่าง ๆ ได้แก่

1. เวลาปิดงานของระบบ (Makespan)
2. เวลาจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต (Setup Time)
3. จำนวนชั่วโมงปฏิบัติงานล่วงเวลา (Overtime)

โดยจะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ในแง่มุมต่าง ๆ ระหว่างผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบัน (Current Solution) กับผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในรูปแบบของร้อยละความแตกต่าง (%Difference) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\%Difference = \frac{Z_{Current\ plan} - Z_{Heuristic}}{Z_{Current\ plan}} \times 100$$

โดยที่

$Z_{Current\ plan}$ คือ ค่าวัตถุประสงค์ของผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน

$Z_{Heuristic}$ คือ ค่าวัตถุประสงค์ของผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์

สำหรับการสร้างผลเฉลยด้วยฮิวริสติกส์จะทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Visual Studio Code โดยใช้ภาษา Python บนคอมพิวเตอร์ Intel® Core ™ i9-9880H CPU 2.6 GHz – 4.8 GHz RAM 16 GB

4.1 การเปรียบเทียบผลเฉลยในแง่มุมของเวลาปิดงานของระบบ (Makespan)

ผู้วิจัยได้นำเอาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นที่ถูกพัฒนาขึ้น ไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลการจัดตารางการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา ที่มีจำนวนคำสั่งผลิตทั้งหมด 165 รายการ และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์กับผลเฉลยจากวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันในแง่มุมของเวลาเสร็จสิ้นการผลิต (Completion Time) ดังแสดงในตารางที่ 4-1

Production Line	Completion Time (Hours)		%Difference
	Current Solution	Improved Solution	
1	131.01	139.18	-6.24%
2	140.86	138.95	1.36%
3	138.90	139.46	-0.40%
4	159.52	138.44	13.21%
5	158.53	139.11	12.25%
6	126.44	139.31	-10.18%
7	156.82	137.84	12.10%
8	159.82	139.29	12.85%
Total	1171.90	1111.58	5.15%

ตารางที่ 4-1 เปรียบเทียบเวลาเสร็จสิ้นการผลิต (Completion Time) ระหว่างผลเฉลยจากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน และวิธีฮิวริสติกส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4-1 แสดงเวลาเสร็จสิ้นการผลิต (Completion Time) ของผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน (Current Solution) และวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในแต่ละสายการผลิต ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์มีค่าต่ำกว่า ผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบันเป็นส่วนใหญ่ และมีเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) อยู่ที่ 139.46 ชั่วโมง โดยที่เวลาปิดงานของระบบของวิธีในปัจจุบันมีค่าสูงถึง 159.82 ชั่วโมง ซึ่งมีเวลาปิดงานของระบบสูงกว่าอยู่ที่ 20.36 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 12.74

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดของทุกสายการผลิตจะพบว่าลดลงจาก 1171.90 ชั่วโมง เหลือเพียง 1111.58 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาในการผลิตน้อยกว่าอยู่ที่ 60.32 ชั่วโมง คิด

เป็นร้อยละ 5.15 ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการเลือกจ่ายงานไปยังสายการผลิตที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการลดจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผ่านการจัดลำดับการผลิตที่มีประสิทธิภาพ

4.2 การเปรียบเทียบผลเฉลยในแง่มุมการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

จากผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีฮิวริสติกส์ที่ได้กล่าวไปในหัวข้อก่อนหน้า ผู้วิจัยได้นำผลเฉลยดังกล่าวมาวิเคราะห์ในแง่มุมของจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 4-2

Production Line	No. Setup Times		%Difference
	Current Solution	Improved Solution	
1	76	58	23.68%
2	43	24	44.19%
3	31	12	61.29%
4	54	33	38.89%
5	172	98	43.02%
6	73	58	20.55%
7	45	20	55.56%
8	30	23	23.33%
Total	524	326	37.79%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ระหว่างผลเฉลยจากการจัดตารางการผลิตวิธีปัจจุบัน (Current Solution) และวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution)

จากตารางที่ 4-2 แสดงจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ของผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบัน (Current Solution) และวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในแต่ละสายการผลิต ซึ่งจะสังเกตในว่าผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า การ

จัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบันในทุก ๆ สายการผลิตอย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อพิจารณาที่ภาพรวมแล้วสามารถลดลงเหลือเพียง 326 ครั้ง จาก 524 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 37.79 ซึ่งนำมาคิดเป็นเวลาที่ลดลงจากการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิตได้ราว ๆ 66 ชั่วโมง

ทั้งนี้การจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ลดน้อยลงนอกจากจะช่วยลดเวลาในการจัดเตรียมงาน (Setup Time) แล้ว ยังทำให้พนักงานปฏิบัติงานได้สะดวกมากขึ้น ตลอดจนลดโอกาสในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผิดพลาด ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตอีกด้วย

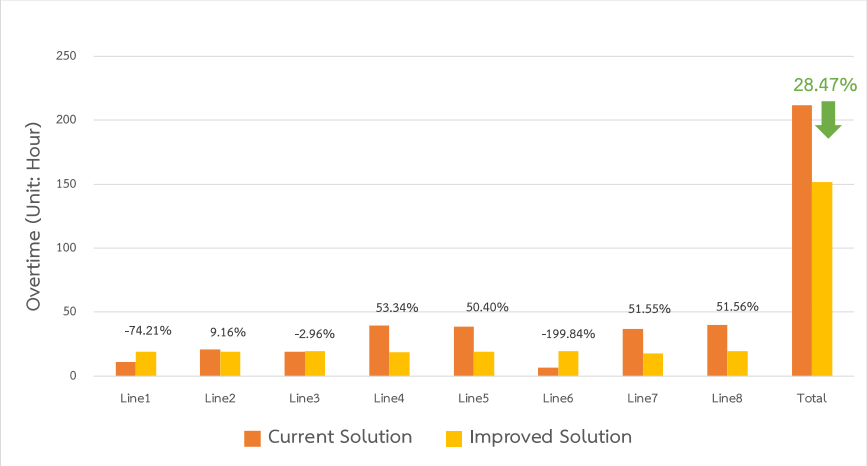
4.3 การเปรียบเทียบผลเฉลยในแง่มุมจำนวนชั่วโมงปฏิบัติงานล่วงเวลา

นอกเหนือไปจากการวัดผลด้วยเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) จำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้นำผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์ดังกล่าว มาทำการวิเคราะห์ในแง่มุมของจำนวนชั่วโมงล่วงเวลา ทั้งในมุมมองของแต่ละสายการผลิต ตลอดจนภาพรวมทั้งระบบดังแสดงในตารางที่ 4-3 และรูปที่ 4-1

Production Line	Overtime (Hours)		%Difference
	Current Solution	Improved Solution	
Line1	11.01	19.18	-74.21%
Line2	20.86	18.95	9.16%
Line3	18.9	19.46	-2.96%
Line4	39.52	18.44	53.34%
Line5	38.53	19.11	50.40%
Line6	6.44	19.31	-199.84%
Line7	36.82	17.84	51.55%
Line8	39.82	19.29	51.56%
Total	211.90	151.58	28.47%

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงล่วงเวลา (Overtime) ระหว่างผลเฉลยจากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน (Current Solution) และวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4-1 เปรียบเทียบจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาระหว่างผลเฉลยจากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน (Current Solution) และวิธีฮิวริสติกส์ (Improved Solution)

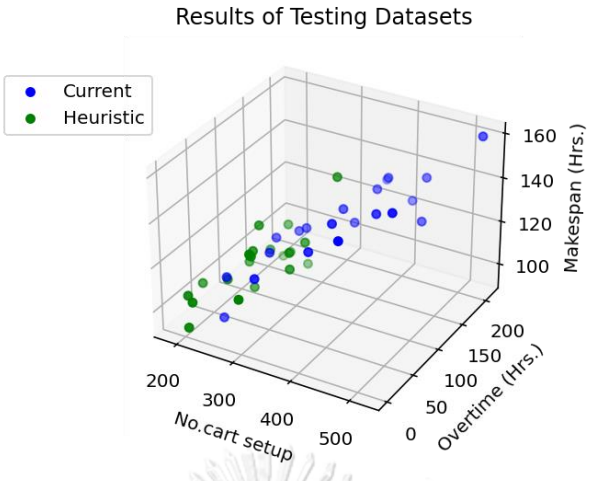
จากรูปที่ 4-1 แสดงถึงผลการปรับปรุงในเชิงจำนวนชั่วโมงล่วงเวลา พบว่าผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์ สามารถลดจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาลงได้เป็นส่วนใหญ่ และเมื่อพิจารณาในมุมมองของชั่วโมงล่วงเวลาโดยรวมแล้วสามารถลดจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาลงได้จาก 211.90 ชั่วโมง เหลือเพียง 151.58 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 28.47 ถึงแม้ว่าเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) จะลดลงเพียงร้อยละ 12.74 แต่เมื่อพิจารณาผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์แล้ว พบว่าสามารถเพิ่มอรรถประโยชน์ของสายการผลิตทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานในหลากหลายชุดข้อมูล

จากการพิจารณาเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลยระหว่างการจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์ และวิธีในปัจจุบันในแง่มุมของแต่ละสายการผลิตในหัวข้อก่อนหน้า จะพบว่าเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) จำนวนชั่วโมงล่วงเวลา (Overtime) และจำนวนครั้งในการจัดเตรียมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์ที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถให้คุณภาพของผลลัพธ์ที่ดีกว่าในทุก ๆ ตัวชี้วัดสำคัญอย่างเห็นได้ชัด

ในลำดับถัดไปผู้วิจัยได้นำเอาฮิวริสติกส์ ไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลรายการคำสั่งผลิตในอดีตของโรงงานกรณีศึกษา จำนวน 21 ชุดข้อมูล และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ในแง่มุมของเวลาปิดงานของระบบ จำนวนชั่วโมงล่วงเวลา และจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงรูปที่ 4-2 และตารางที่ 4-4



รูปที่ 4-2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ตัวชี้วัดสำคัญ ระหว่างการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน (Current Solution) กับฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในหลากหลายชุดข้อมูล

Sample No.	Makespan (Hour)			Overtime (Hour)			No.Cart Setup (Time)		
	Current	Improved	%Difference	Current	Improved	%Difference	Current	Improved	%Difference
1	159.82	139.46	12.74%	211.90	151.58	28.47%	524	326	37.79%
2	143.25	116.46	18.70%	178.32	132.05	25.95%	458	256	44.10%
3	128.14	106.23	17.10%	124.86	87.93	29.58%	381	228	40.16%
4	133.52	100.54	24.70%	169.21	132.29	21.82%	442	291	34.16%
5	129.24	115.28	10.80%	154.23	114.41	25.82%	471	303	35.67%
6	115.75	101.86	12.00%	31.11	11.88	61.82%	294	202	31.29%
7	139.28	108.36	22.20%	117.31	87.58	25.34%	452	301	33.41%
8	113.39	103.18	9.00%	28.95	15.78	45.50%	247	190	23.08%
9	121.48	101.68	16.30%	59.76	47.07	21.23%	293	184	37.20%
10	125.21	98.29	21.50%	95.44	76.75	19.58%	311	248	20.26%
11	138.83	100.51	27.60%	173.21	133.40	22.98%	394	245	37.82%
12	98.54	93.32	5.30%	15.40	0.00	100.00%	255	207	18.82%
13	123.65	105.10	15.00%	79.37	53.51	32.58%	286	223	22.03%
14	126.64	115.56	8.75%	98.55	74.81	24.09%	321	248	22.74%
15	139.55	109.81	21.31%	149.30	105.40	29.41%	398	249	37.44%
16	143.68	107.47	25.20%	158.43	119.29	24.70%	409	272	33.50%
17	135.97	113.78	16.32%	120.38	94.98	21.10%	422	293	30.57%
18	131.81	116.44	11.66%	73.71	62.27	15.52%	399	257	35.59%
19	124.64	105.12	15.66%	67.73	27.24	59.79%	353	269	23.80%
20	133.83	119.14	10.98%	91.38	55.24	39.55%	372	261	29.84%
21	134.57	123.21	8.44%	118.44	92.50	21.90%	367	242	34.06%
Average	130.51381	109.56271	16.05%	110.33	79.81	27.67%	373.761905	252.14	32.54%

ตารางที่ 4-4 เปรียบเทียบผลลัพธ์ตัวชี้วัดสำคัญ ระหว่างการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน (Current Solution) กับฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในหลากหลายชุดข้อมูล

จากตารางที่ 4-4 จะพบว่าตารางการผลิตที่ได้จากฮิวริสติกส์นั้น ให้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งกว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบันในทุก ๆตัวชี้วัดสำคัญ โดยที่สามารถลดเวลาปิดงานของระบบลงได้ถึงร้อยละ 16.05 ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการเพิ่มอรรถประโยชน์ของสายการผลิตทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนการสูญเสียเวลาในขั้นตอนการจัดเตรียมงานที่ลดน้อยลง ซึ่งจะสังเกตได้จากจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ลดน้อยลงร้อยละ 32.54 จึงทำให้สามารถลดจำนวนชั่วโมงการปฏิบัติงานล่วงเวลา (Overtime) ลงได้ในที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 27.67

นอกจากตัวชี้วัดสำคัญที่ประกอบไปด้วย เวลาปิดงานของระบบ จำนวนชั่วโมงล่วงเวลา จำนวนการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยได้นำผลเฉลยของทั้ง 21 ชุดข้อมูล ที่ได้จากฮิวริสติกส์มาเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน ในแง่มุมของการย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการดำเนินการจัดเตรียมเครื่องจักรเพิ่มเติม และปฏิบัติตามนโยบายควบคุมคุณภาพของบริษัท โดยมีผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4-5

Sample No.	No.Transfering Production Line (Time)			Total Additional Setup Time (Minute)			Avg. time (Minute/TIme)		
	Current	Improved	%Diff	Current	Improved	%Diff	Current	Improved	%Diff
1	8	4	50.00%	960	285	70.31%	120	71.25	40.63%
2	3	1	66.67%	210	120	42.86%	70	120	-71.43%
3	1	1	0.00%	75	90	-20.00%	75	90	-20.00%
4	6	2	66.67%	795	150	81.13%	132.5	75	43.40%
5	3	0	100.00%	405	0	100.00%	135	0	100.00%
6	0	0		0	0		0	0	
7	2	1	50.00%	240	135	43.75%	120	135	-12.50%
8	0	0		0	0		0	0	
9	4	2	50.00%	570	195	65.79%	142.5	97.5	31.58%
10	3	3	0.00%	270	255	5.56%	90	85	5.56%
11	5	1	80.00%	525	60	88.57%	105	60	42.86%
12	0	0		0	0		0	0	
13	3	3	0.00%	495	375	24.24%	165	125	24.24%
14	1	2	-100.00%	150	195	-30.00%	150	97.5	35.00%
15	5	3	40.00%	480	225	53.13%	96	75	21.88%
16	5	4	20.00%	615	510	17.07%	123	127.5	-3.66%
17	3	1	66.67%	360	90	75.00%	120	90	25.00%
18	1	2	-100.00%	30	210	-600.00%	30	105	-250.00%
19	1	1	0.00%	30	135	-350.00%	30	135	-350.00%
20	3	3	0.00%	375	225	40.00%	125	75	40.00%
21	4	2	50.00%	600	90	85.00%	150	45	70.00%
Total	61	36	40.98%	7185	3345	53.44%	1979	1608.75	18.71%

ตารางที่ 4-5 เปรียบเทียบการย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ ระหว่างการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน (Current Solution) กับฮิวริสติกส์ (Improved Solution) ในหลากหลายชุดข้อมูล

จากตารางที่ 4-5 จะสังเกตได้ว่าผลเฉลยของฮิวริสติกส์นั้นมีการย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการลดลงจาก 61 ครั้ง เหลือเพียง 36 ครั้ง น้อยกว่าถึงร้อยละ 40.98 เป็นผลทำให้สูญเสียเวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักรลดน้อยลงร้อยละ 53.44 ซึ่งคิดเป็นเวลากว่า 3,840 นาที

เมื่อพิจารณาถึงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดเตรียมเครื่องจักรต่อครั้ง พบว่าผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์ใช้เวลาน้อยกว่าร้อยละ 18.71 ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในการย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการของวิธีในปัจจุบัน เจ้าหน้าที่วางแผนมักจะไม่ได้พิจารณาเปรียบเทียบเวลาที่สูญเสียในการจัดเตรียมเครื่องจักรในหลาย ๆ สายการผลิต เนื่องจากแต่ละสายการผลิตก็มีงานเป็นจำนวนมาก การนำงานอื่นไปแทรกก็อาจจะทำให้งานที่อยู่ลำดับถัดไปเสร็จสิ้นการผลิตเกินกำหนดส่ง ในทางกลับกันการจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์ สามารถเลือกสายการผลิตนอกรายการที่สูญเสียเวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักรเพิ่มเติมที่น้อยกว่า และยังสามารถผลิตงานเสร็จสิ้นทันกำหนดส่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ได้มาซึ่งแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพที่สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างคุ้มค่า ทั้งในแง่มุมของเวลาที่ใช้ในการผลิต ตลอดจนต้นทุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ภายใต้เงื่อนไขกรอบเวลาที่กำหนด ทั้งนี้กระบวนการผลิตในกระบวนการดังกล่าวมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก ทั้งในแง่มุมของลักษณะจำเพาะที่แตกต่างกันของเครื่องจักร การจัดเตรียมเครื่องจักรก่อนเริ่มการผลิต ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ ตลอดจนกำหนดส่งของงานที่มีความแตกต่างกัน ทำให้ปัญหาดังกล่าวมีขนาดใหญ่มากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำวิธีทางฮิวริสติกส์มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการดังกล่าว โดยการพัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น (Two-Phase Heuristics) และพบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายในระยะเวลาอันสั้น และได้ทำการวัดผลด้วยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ โดยมีตัวชี้วัดหลัก 3 ประการด้วยกัน ได้แก่ เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) จำนวนชั่วโมงล่วงเวลา (Overtime) และจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการที่ผู้วิจัยได้นำเอาชุดข้อมูลรายการคำสั่งผลิตในอดีตของโรงงานกรณีศึกษาจำนวน 21 ชุดข้อมูล มาทำการจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นที่ได้พัฒนาขึ้น และทำการเปรียบเทียบกับแผนการผลิตที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบัน เมื่อพิจารณาในแง่มุมของเวลาปิดงานของระบบ (Makespan) พบว่าการจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์มีเวลาปิดงานของระบบที่น้อยกว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการในปัจจุบัน โดยคิดเป็นร้อยละ 16.05 ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดตารางการผลิตที่สามารถเพิ่มอรรถประโยชน์ของสายการผลิตทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในแง่มุมของการเลือกสายการผลิตที่เหมาะสมกับงาน ทำให้ไม่สูญเสียเวลาในการผลิตที่มากจนเกินไป

รวมไปถึงการกระจายงานไปยังสายการผลิตอื่น ๆ แม้ว่าจะใช้เวลามาตรฐานในการผลิต (Standard Processing Time) ที่มากกว่า แต่ก็สามารถใช้เครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในแง่มุมของการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต (Setup) พบว่าผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์มีจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่น้อยกว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบันเป็นอย่างมาก โดยผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์สามารถลดจำนวนครั้งในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงได้ร้อยละ 32.54 ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดลำดับการผลิตที่มีประสิทธิภาพ ทำให้งานที่ทำการผลิตต่อเนื่องกันสามารถใช้รถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกัน (Common Cart) ได้เป็นอย่างดี เป็นผลทำให้สูญเสียเวลาในขั้นตอนการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต (Setup Time) ลดน้อยลง ทั้งนี้การลดลงของการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ลดน้อยลง นอกจากจะทำให้ประหยัดต้นทุนเวลาแล้ว ยังช่วยลดขั้นตอนในการปฏิบัติงาน และโอกาสในการจัดเตรียมรถขนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ผิดพลาด อันจะส่งผลทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตอีกด้วย

ในแง่มุมของจำนวนชั่วโมงการปฏิบัติงานล่วงเวลา พบว่าผลเฉลยที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์นั้น มีจำนวนชั่วโมงการปฏิบัติงานล่วงเวลาที่น้อยกว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบันอย่างมีนัยยะสำคัญ โดยผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์สามารถลดจำนวนชั่วโมงล่วงเวลาลงได้ร้อยละ 27.67 ทั้งนี้เป็นเพราะการจัดสรรงานไปยังสายการผลิตต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทำให้สายการผลิตที่มีความเร็วและความยืดหยุ่นในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลายประเภทไม่รับภาระในการผลิตเยอะมากจนเกินไป รวมไปถึงการจัดลำดับการผลิตที่มีประสิทธิภาพที่มีส่วนช่วยลดเวลาในการจัดเตรียมงานก่อนเริ่มการผลิต (Setup Time) ได้เป็นอย่างมาก ทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดลดน้อยลง

นอกเหนือไปจากตัวชี้วัดสำคัญที่ได้กล่าวไปข้างต้นแล้ว จากผลการทดสอบยังพบว่าการจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์ มีจำนวนการย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการน้อยกว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบันอยู่ที่ร้อยละ 40.98 ส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมเครื่องจักรในกรณีที่ย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการลดน้อยลงถึงร้อยละ 53.44 และเมื่อพิจารณาถึงเวลาโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดเตรียมเครื่องจักรต่อครั้ง ผลเฉลยที่ได้จากฮิวริสติกส์ใช้เวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักรน้อยกว่าร้อยละ 18.71 ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าการตัดสินใจของฮิวริสติกส์ในการย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการนั้น มีประสิทธิภาพในแง่มุมของการเลือกสายการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปลายทางที่ทำให้สูญเสียเวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักรที่น้อยกว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีปัจจุบัน นอกเหนือจากประโยชน์ในแง่มุมของต้นทุนเวลาแล้ว การย้ายสายการผลิตที่ลดน้อยลงยังสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต เนื่องจากความคุ้นชินในการปฏิบัติงานของพนักงานที่ต้องทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคยทำการผลิตมาก่อน

อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยพบว่าประโยชน์ที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์ยังมีอีกหลากหลายแง่มุม ยกตัวอย่างเช่น การใช้อรรถประโยชน์ของเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถรองรับปริมาณความต้องการได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น ตลอดจนเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต (Computational Time) ที่ลดน้อยลง จากวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันที่ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง แต่การจัดตารางการผลิตด้วยฮิวริสติกส์ใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที ทั้งนี้อ้างอิงอยู่กับจำนวนรายการคำสั่งผลิต และกรอบเวลากำหนดส่ง (Due Date) ซึ่งเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตที่ลดน้อยลงเจ้าหน้าที่วางแผนก็สามารถนำแผนการผลิตที่ได้ มาวิเคราะห์เพิ่มเติม ทำให้สามารถเห็นภาพรวมของแผนการผลิตได้ภายในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งอาจจะนำไปสู่การปรับปรุงแผนการผลิตให้เหมาะสมกับสถานการณ์ได้ดีมากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้พัฒนาฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น (Two-Phase Heuristics) เพื่อใช้สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ภายใต้ข้อจำกัด (Constraint) ของกำหนดส่งงานที่แตกต่างกัน ลักษณะจำเพาะของจักรทั้งในด้านความเร็วในการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และความเข้ากันได้กับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันในแต่ละสายการผลิต รวมไปถึงข้อกำหนดและเงื่อนไขในการจัดเตรียมเครื่องจักรก่อนเริ่มการผลิต (Setup) และในกรณีที่ย้ายการผลิตไปยังสายการผลิตนอกรายการ ตลอดจนเวลาในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ โดยในการสร้างผลเฉลยของฮิวริสติกส์มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือ เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) ดังนั้นในการปรับปรุงผลเฉลยของฮิวริสติกส์ที่ได้พัฒนาขึ้น ก็จะอ้างอิงอยู่กับข้อกำหนดและเงื่อนไขในกระบวนการผลิตดังกล่าว โดยมุ่งเน้นในการลดเวลาปิดงานของระบบเป็นสำคัญ

อย่างไรก็ดีฮิวริสติกส์ที่ได้พัฒนาขึ้น อาจนำไปทำการวิจัยต่อยอดเพิ่มเติมได้โดยการพิจารณาตัวชี้วัดอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่น ต้นทุนการปฏิบัติงานล่วงเวลา หรือ อรรถประโยชน์ของเครื่องจักร เป็นต้น ทั้งนี้อาจจะต่อยอดประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์เพิ่มมากขึ้น โดยที่ฮิวริสติกส์สามารถพิจารณาปรับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จำนวนการผลิตต่อล็อต (Lot Size) ได้เอง เพื่อเก็บงานบางส่วนไว้เป็นพัสดุคงคลัง ซึ่งอาจจะสามารถลดเวลาในการจัดเตรียมเครื่องจักร (Setup Time) หรือสามารถรองรับปริมาณความต้องการได้เพิ่มมากยิ่งขึ้น ตลอดจนการจัดตารางการผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตอื่น ๆ เพื่อให้แผนการผลิตมีความสอดคล้องกัน อันจะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มความยืดหยุ่นในกระบวนการทำงานได้ดีมากยิ่งขึ้น ตลอดจนในกระบวนการปรับปรุงผลเฉลย (Improvement Heuristics) ซึ่งอาจจะพิจารณานำเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) อื่น ๆ ที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตอย่างแพร่หลาย เช่น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

[1] Li, Wenhan, Xiaolong Chen, Junqing Li, Hongyan Sang, Yuyan Han, and Shubo Du. "An Improved Iterated Greedy Algorithm for Distributed Robotic Flowshop Scheduling with Order Constraints." Computers & Industrial Engineering 164 (2022): 107907.

[2] Liu, Qiang, Huibing Cheng, Tian Tian, Yongsheng Wang, Jiewu Leng, Rongli Zhao, Hao Zhang, and Lijun Wei. "Algorithms for the Variable-Sized Bin Packing Problem with Time Windows." Computers & Industrial Engineering 155 (2021): 107175.

[3] Potvin, Jean-Yves, and Jean-Marc Rousseau. "An Exchange Heuristic for Routeing Problems with Time Windows." Journal of the Operational Research Society 46, no. 12 (1995): 1433-46.

[4] จุฑามาศ ผลตระกูล และ พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์. 2561. "ฮิวริสติกส์สำหรับการจัดลำดับการผลิตยาเม็ดเคลือบฟิล์ม" วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1: 1-14.5

[5] ปารเมศ ชุติมา. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[6] Pongcharoen, Pupong, C Hicks, PM Braiden, and DJ Stewardson. "Determining Optimum Genetic Algorithm Parameters for Scheduling the Manufacturing and Assembly of Complex Products." International Journal of Production Economics 78, no. 3 (2002): 311-22.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[7] Karabulut, Korhan, and M Fatih Tasgetiren. "A Variable Iterated Greedy Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Time Windows." Information Sciences 279 (2014): 383-95.

[8] Zhang, Defu, Sifan Cai, Furong Ye, Yain-Whar Si, and Trung Thanh Nguyen. "A Hybrid Algorithm for a Vehicle Routing Problem with Realistic Constraints." Information Sciences 394 (2017): 167-82.

[9] Oğuz, C, XT Qi, and YF Fung. Scheduling Multiprocessor Tasks in a Hybrid Flow-Shop Using a Genetic Algorithm. Working Paper (1998).

[10] Lin, Feng-Tse, Cheng-Yan Kao, and Ching-Chi Hsu. "Applying the Genetic Approach to Simulated Annealing in Solving Some Np-Hard Problems." IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics 23, no. 6 (1993): 1752-67.

[11] Hochba, Dorit S. "Approximation Algorithms for Np-Hard Problems." ACM Sigact News 28, no. 2 (1997): 40-52.

[12] วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ. หลักการหาความเหมาะสมที่ดีที่สุด, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

[13] Alejo-Reyes, Avelina, Abraham Mendoza, and Elias Olivares-Benitez. "A Heuristic Method for the Supplier Selection and Order Quantity Allocation Problem." Applied Mathematical Modelling 90 (2021): 1130-42.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[14] Haupt, Reinhard. "A Survey of Priority Rule-Based Scheduling." Operations-Research-Spektrum 11, no. 1 (1989): 3-16.

[15] Hoogervorst, Rowan, Twan Dollevoet, Gábor Maróti, and Dennis Huisman. "A Variable Neighborhood Search Heuristic for Rolling Stock Rescheduling." EURO Journal on Transportation and Logistics 10 (2021): 100032.

[16] Gómez-Gasquet, Pedro, Carlos Andrés, and Francisco-Cruz Lario. "An Agent-Based Genetic Algorithm for Hybrid Flowshops with Sequence Dependent Setup Times to Minimise Makespan." Expert Systems with Applications 39, no. 9 (2012): 8095-107.

[17] Wu, Zhengjia, Cheng Zhang, and Xiaoqin Zhu. "An Ant Colony Algorithm for Master Production Scheduling Optimization." Paper presented at the Proceedings of the 2012 IEEE 16th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), 2012.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[18] Hansen, Pierre, Nenad Mladenović, and Jose A Moreno Perez. "Variable Neighbourhood Search: Methods and Applications." 4OR 6, no. 4 (2008): 319-60.

[19] Venditti, Luca, Dario Pacciarelli, and Carlo Meloni. "A Tabu Search Algorithm for Scheduling Pharmaceutical Packaging Operations." European Journal of Operational Research 202, no. 2 (2010): 538-46.

[20] Ribas, Imma, Ramon Companys, and Xavier Tort-Martorell. "An Iterated Greedy Algorithm for Solving the Total Tardiness Parallel Blocking Flow Shop Scheduling Problem." Expert Systems with Applications 121 (2019): 347-61.

[21] Jans, Raf, and Zeger Degraeve. "Meta-Heuristics for Dynamic Lot Sizing: A Review and Comparison of Solution Approaches." European journal of operational research 177, no. 3 (2007): 1855-75.

[22] Promjun, S, and P Jarumaneeroj. "Heuristic Based Scheduling for Toothpaste Filling Problem." Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019.

[23] ทศพร ประเสริฐพร และ พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์. 2564. "การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการจัดตารางการบรรจุยาเม็ด". การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, ครั้งที่ 39, ฉบับที่ 1: 349-55.

[24] França, Paulo M, Michel Gendreau, Gilbert Laporte, and Felipe M Müller. "A Tabu Search Heuristic for the Multiprocessor Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times." International Journal of Production Economics 43, no. 2-3 (1996): 79-89.

[25] Miyata, Hugo Hissashi, Marcelo Seido Nagano, and Jatinder ND Gupta. "Integrating Preventive Maintenance Activities to the No-Wait Flow Shop Scheduling Problem with Dependent-Sequence Setup Times and Makespan Minimization." Computers & Industrial Engineering 135 (2019): 79-104.

[26] Gholami, M, M Zandieh, and A Alem-Tabriz. "Scheduling Hybrid Flow Shop with Sequence-Dependent Setup Times and Machines with Random Breakdowns." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 42, no. 1 (2009): 189-201.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[27] Türkyılmaz, Alper, Özlem Şenvar, İrem Ünal, and Serol Bulkan. "A Hybrid Genetic Algorithm Based on a Two-Level Hypervolume Contribution Measure Selection Strategy for Bi-Objective Flexible Job Shop Problem." Computers & Operations Research (2022): 105694.

[28] Damodaran, Purushothaman, and Ping-Yu Chang. "Heuristics to Minimize Makespan of Parallel Batch Processing Machines." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 37, no. 9 (2008): 1005-13.

[29] Hulett, Maria, Purushothaman Damodaran, and Mahbod Amouie. "Scheduling Non-Identical Parallel Batch Processing Machines to Minimize Total Weighted Tardiness Using Particle Swarm Optimization." Computers & Industrial Engineering 113 (2017): 425-36.

[30] Qin, Wei, Zilong Zhuang, Yang Liu, and Ou Tang. "A Two-Stage Ant Colony Algorithm for Hybrid Flow Shop Scheduling with Lot Sizing and Calendar Constraints in Printed Circuit Board Assembly." Computers & Industrial Engineering 138 (2019): 106115.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พัฒนโชค อินทะโส
วัน เดือน ปี เกิด	16 กันยายน 2538
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	พหลโยธิน 71 แขวงสนามบิน เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร
ผลงานตีพิมพ์	พัฒนโชค อินทะโส และ พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์. 2565. "การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น สำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นวงจร". การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, ครั้งที่ 40, ฉบับที่ 1: 42-48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University