การออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

นางสาวรัชนีพร ยุกตปรีชา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Design of Decision Support System for Float Glass Production Planning

Miss Rachaneepohn Yuktapreecha

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ
โดย	นางสาวรัชนีพร ยุกตปรีชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ เรี่ยวเดชะ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รัชนีพร ยุกตปรีชา : การออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ (Design of Decision Support System for Float Glass Production Planning) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี, 132 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ ด้วยวิธีการทางฮิวริสติก (Heuristic) เพื่อลดเวลาล่าช้าและความสูญเสียในระบบการผลิต ซึ่งความสูญเสียในระบบการผลิตที่พิจารณาคือเศษกระจกที่ประกอบด้วย เศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนความหนา และเศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนความกว้าง และเศษจากการเว้นระยะขอบสำหรับตัดกระจก กระบวนตัดสินใจที่พัฒนาขึ้นนี้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดของระบบการผลิตกระจกแผ่นเรียบ และความต้องการด้านเวลาส่งมอบงานของลูกค้า

กระบวนการตัดสินใจด้วยฮิวริสติกนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) กระบวนการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับวางแผนการผลิต (2) การะบวนการจัดลำดับเบื้องต้นโดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก (3) กระบวนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นโดยพิจารณาความหนาเป็นหลัก และ (4) กระบวนการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้ายโดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก ผลลัพธ์จากกระบวนการตัดสินใจดังกล่าวคือ ลำดับการผลิตงานที่มีเวลาล่าช้ารวม และเศษกระจกต่ำ ซึ่งจากการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการวางแผนการผลิตที่พัฒนาขึ้นนี้ด้วยข้อมูลตัวอย่างที่สร้างขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการวางแผนของโรงงานตัวอย่างพบว่า แผนการผลิตสามารถลดเวลาล่าช้าและปริมาณเศษกระจกได้โดยเฉลี่ย 33.10% และ 23.58% ตามลำดับ

นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ออกแบบสารสนเทศสนับสนุนการตัดสินใจที่ประกอบด้วยฐานข้อมูล หน้าจอการทำงาน และเอกสารหรือรายงาน เพื่อช่วยอำนวยสะดวกในการทำงานมากยิ่งขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

5670353021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: FLAT GLASS / CONTINUOUS PROCESS / PRODUCTION PLANNING / SCHEDULING

RACHANEEPOHN YUKTAPREECHA: Design of Decision Support System for Float Glass Production Planning. ADVISOR: ASST. PROF. NARAGAIN PHUMCHUSRI, Ph.D., 132 pp.

This research aims to develop the decision support system for flat glass manufacturers by implementing heuristic method in order to reduce tardiness and waste in the production system. The considered wastes consist of wastes from thickness changeover, width changeover and edge loss. The proposed decision method is developed under flat glass manufacturing environments with respect to the customer orders' due dates.

The decision process consists of 4 subprocesses, which are (1) The information preparation process (2) The initial rearrangement from received orders' process (3) The thickness rearrangement process (4) The width rearrangement process. The result of the decision process is the production sequence with low tardiness and wastes. Several experiments have been conducted to evaluate the proposed system's efficiency, and the results show our proposed method can reduce tardiness and waste by 33.10% and 23.58% respectively, compared with the method implemented in a case-study factory.

In addition, this research also designs the information system consisting of data base, user interfaces and reports for an effective implementation of the developed decision support system.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Industrial Engineering	Student's Signature	.....
Field of Study:	Industrial Engineering	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2015		

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับแนวคิด วิธีการ ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ ผศ.ดร.เหรียญ บัญดีสกุลโชค รศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาในการให้คำแนะนำ และแง่คิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ในหน่วยวิจัย ROM ทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงนักวิจัยและผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ และดูแลผู้วิจัยมาโดยตลอดจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทต่างๆ ที่ได้สละเวลาให้สัมภาษณ์เชิงลึก และแสดงความคิดเห็นที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ซึ่งต้องขออภัยที่ไม่สามารถกล่าวขอบคุณได้ทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชายที่ได้สนับสนุนดูแลเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 กระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 1

1.2 ผลกระทบจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ต่อกระบวนการผลิต 2

1.3 การวางแผนการผลิตของผู้ผลิตกระจกแผ่นเรียบ 4

1.4 วัตถุประสงค์ 5

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย 5

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน 6

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 8

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

1.9 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 8

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10

2.1.1 การวิเคราะห์กระบวนการ 10

2.1.2 การวางแผนการผลิต 11

2.1.3 การตัดสินใจจัดตารางการผลิต 13

2.1.4 ระบบสารสนเทศ 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
บทที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุงแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 22
3.1 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 22
3.1.1 ธรรมชาติการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 22
3.1.2 ธรรมชาติของความต้องการ 26
3.1.3 การตัดสินใจในการวางแผนการผลิต 26
3.2 แนวคิดของระบบสนับสนุนการวางแผนผลิตกระจกแผ่นเรียบ 27
3.2.1 แนวคิดกระบวนการตัดสินใจสำหรับการสร้างแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 28
3.2.2 แนวคิดระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 34
บทที่ 4 กระบวนการตัดสินใจสำหรับการสร้างแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 37
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิต 37
4.2 กระบวนการตัดสินใจในการสร้างแผนการผลิต 39
4.2.1 การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับสร้างแผนการผลิต 41
4.2.2 การจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก 46
4.2.3 ปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาความหนา 53
4.2.4 การปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก 68
บทที่ 5 ระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 74
5.1 กระบวนการทำงาน 74
5.2 ฐานข้อมูล 76
5.2.1 กลุ่มข้อมูลความต้องการสินค้าและข้อมูลสินค้า 77
5.2.2 กลุ่มข้อมูลความสามารถของระบบการผลิต 78
5.2.3 กลุ่มข้อมูลการวางแผนการผลิตและการปฏิบัติงานจริง 79
5.3 หน้าจอการทำงาน 80

หน้า

5.3.1 กลุ่มหน้าจอนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นต่อการวางแผนการผลิต 81
5.3.2 กลุ่มหน้าจอแสดงผลการวางแผนการผลิต 84
5.4 เอกสาร/รายงาน 87
5.4.1 เอกสารข้อมูลการผลิตแยกตามลูกค้า 87
5.4.2 เอกสารการจัดลำดับความหนา 88
5.4.3 เอกสารแผนภูมิ Gantt chart การจัดลำดับความหนา 91
5.4.4 เอกสารการจัดลำดับการผลิต 92
5.4.5 เอกสารสรุปเศษกระจก 94
บทที่ 6 การทดสอบและประเมินผลการดำเนินงาน 95
6.1 การประเมินผลจากผู้เชี่ยวชาญ 95
6.2 การประเมินผลจากการทดลอง 96
6.2.1 การทดลองศึกษาผลของอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ที่แตกต่างกัน 99
6.2.2 การทดลองศึกษาผลของระยะเวลารอคอยสินค้าที่แตกต่างกัน 102
6.2.3 การทดลองศึกษาผลของจำนวนงานและการกระจายตัวของงานที่แตกต่างกัน 106
บทที่ 7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 111
7.1 ผลการวิจัย 111
7.2 ข้อจำกัดงานวิจัย 114
7.3 ข้อเสนอแนะ 114
รายการอ้างอิง 116
ภาคผนวก 118
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 132

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ 2
รูปที่ 1.2 การกรีดกระจกตามแนวการไหล และแนวขวางการไหล 2
รูปที่ 1.3 การกำหนดแบบของชิ้นงานด้วยการพิจารณาด้านกว้างและด้านยาว 3
รูปที่ 2.1 ระดับการวางแผน 12
รูปที่ 2.2 ระบบสารสนเทศ 15
รูปที่ 2.3 วงจรการพัฒนาระบบ 16
รูปที่ 2.4 การแบ่งกลุ่มปัญหาการจัดลำดับที่เกี่ยวกับเวลาปรับตั้ง 18
รูปที่ 2.5 รูปแบบการตัดขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยงานหลายขนาด 20
รูปที่ 3.1 ลักษณะการปรับเปลี่ยนความหนาและความกว้างที่ทำให้เกิดความสูญเสีย 24
รูปที่ 3.2 การวางแบบชิ้นงานที่มีเส้นแนวการดึงขนานกับทิศทางการไหล 24
รูปที่ 3.3 การเว้นระยะขอบกระจกที่ทำให้เกิดความสูญเสีย 25
รูปที่ 3.4 ภาพรวมของกระบวนการตัดสินใจในการวางแผนการผลิต 28
รูปที่ 3.5 แบบการวางชิ้นงานของกระจกหน้ารถยนต์ที่มีความยาว m และความกว้าง n 29
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของแนวคิดการตัดสินใจสำหรับการสร้างแผนการผลิต 31
รูปที่ 3.7 ภาพรวมแนวคิดและการตัดสินใจในกระบวนการวางแผนการผลิต 33
รูปที่ 3.8 แนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิต 35
รูปที่ 4.1 กระบวนการตัดสินใจในการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับสร้างแผนการผลิต 41
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการวางแบบที่ทำให้ความกว้างของสแนปแตกต่างกัน 42
รูปที่ 4.3 ข้อมูลความต้องการผลิตสำหรับตัวอย่างที่ 1 45
รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ข้อมูลเบื้องต้นในตัวอย่างที่ 1 46
รูปที่ 4.5 กระบวนการตัดสินใจในการจัดลำดับเบื้องต้นโดยพิจารณาความหนาเป็นหลัก 46
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความหนาที่ต้องมีการปรับเปลี่ยน 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก..... 48
รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก (ต่อ)..... 49
รูปที่ 4.9 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับจัดลำดับสำหรับตัวอย่างที่ 2..... 51
รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์การจัดลำดับเบื้องต้นในตัวอย่างที่ 2..... 52
รูปที่ 4.11 กระบวนการตัดสินใจในการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นโดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก..... 54
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงความหนาที่มีการย้ายงานแล้วไม่พัฒนาคำตอบ..... 55
รูปที่ 4.13 ตำแหน่งที่สามารถย้ายงานไปได้..... 56
รูปที่ 4.14 ลำดับการย้ายตำแหน่งของงาน..... 57
รูปที่ 4.15 ขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเฉพาะความหนา..... 58
รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเพาะความหนา (ต่อ)..... 59
รูปที่ 4.17 ขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเพาะความหนา (ต่อ)..... 60
รูปที่ 4.18 ข้อมูลที่ได้จากการจัดสำดับเบื้องต้นสำหรับตัวอย่างที่ 3..... 60
รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงความหนาสำหรับตัวอย่างที่ 3..... 60
รูปที่ 4.20 การแทรกงาน รหัสงานที่ 6 ในตัวอย่างที่ 3..... 61
รูปที่ 4.21 การแทรกงาน รหัสงานที่ 8 ในตัวอย่างที่ 3..... 62
รูปที่ 4.22 การแทรกงาน รหัสงานที่5 ในตัวอย่างที่ 3..... 62
รูปที่ 4.23 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นในตัวอย่างที่ 3..... 63
รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวอย่างที่ 4..... 63
รูปที่ 4.25 ข้อมูลสำหรับตัวอย่างที่ 4..... 64
รูปที่ 4.26 ผลการปรับปรุงงานเซตที่ 1..... 65
รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงความหนาหลังการปรับปรุงงานเซตที่ 1..... 66
รูปที่ 4.28 ผลการปรับปรุงงานเซตที่ 2..... 67
รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงความหนาหลังการปรับปรุงงานเซตที่ 2..... 67
รูปที่ 4.30 กระบวนการตัดสินใจในการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้ายโดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก . 68

รูปที่ 4.31 ขั้นตอนการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก 70
รูปที่ 4.32 ข้อมูลที่ได้จากการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นสำหรับตัวอย่างที่ 4 71
รูปที่ 4.33 การจัดลำดับงาน {8, 10} ของตัวอย่างที่ 4 72
รูปที่ 4.34 การจัดลำดับงาน {7, 9, 1, 4} ของตัวอย่างที่ 4 73
รูปที่ 4.35 ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย 73
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการจัดเก็บข้อมูลและกระบวนการตัดสินใจ 74
รูปที่ 5.2 ภาพรวมการทำงานของระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิต 75
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูล 76
รูปที่ 5.4 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต 81
รูปที่ 5.5 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลความต้องการสินค้าของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต 82
รูปที่ 5.6 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลสินค้าของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต 82
รูปที่ 5.7 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลระบบการผลิตของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต 83
รูปที่ 5.8 หน้าจอแสดงผลการวางแผนการผลิต 84
รูปที่ 5.9 หน้าจอแสดงลำดับการผลิตตามความหนา 85
รูปที่ 5.10 หน้าจอแสดงแผนภูมิลำดับการผลิตความหนา 85
รูปที่ 5.11 หน้าจอแสดงเอกสาร/รายงาน 86
รูปที่ 6.1 ตัวอย่างแนวทางการวางแผนการผลิตมาตรฐานของโรงงานตัวอย่าง 97
รูปที่ 6.2 ตัวอย่างการพิจารณาจัดลำดับงานด้วยแนวทางการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง 97
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของเศษกระจก 101
รูปที่ 6.4 ตัวอย่างการส่งมอบที่มีเวลารอคอยสินค้า 2 วัน 103
รูปที่ 6.5 ตัวอย่างการส่งมอบที่มีเวลารอคอยสินค้าเพิ่มขึ้น 9 วัน 103
รูปที่ 6.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของเวลาล่าช้ารวม 104

รูปที่ 6.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของปริมาณเศษกระจก 104
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์เศษกระจกที่ลดลงของอัตราส่วนการผลิตกระจกรถต่างๆ..... 106
รูปที่ 6.9 ตัวอย่างการกระจายตัวของงานสม่ำเสมอ..... 107
รูปที่ 6.10 ตัวอย่างการกระจายตัวของงานไม่สม่ำเสมอ..... 107
รูปที่ 6.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาล่าช้า..... 109
รูปที่ 6.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณเศษกระจก 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 6
ตารางที่ 1.2 รายละเอียดโครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 8
ตารางที่ 3.1 แนวคิดของแต่ละขั้นตอนการวางแผนการผลิต และเกณฑ์ในการตัดสินใจ 31
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างตารางข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับสินค้าและกำหนดส่งมอบ 37
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างตารางข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิต 38
ตารางที่ 4.3 คำศัพท์เฉพาะที่ใช้อธิบายการวางแผนการผลิตและความหมาย 39
ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวางแผนการผลิตและความหมาย 40
ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการผลิตและการปฏิบัติงาน 43
ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ใช้ในส่วนการดึงขึ้นรูปที่ได้จากกระบวนการตัดสินใจ 71
ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ใช้ในส่วนการตัดและจัดเก็บที่ได้จากกระบวนการตัดสินใจ 71
ตารางที่ 5.1 ข้อมูลลูกค้า 77
ตารางที่ 5.2 ข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้า 77
ตารางที่ 5.3 ข้อมูลสินค้า 78
ตารางที่ 5.4 ข้อมูลตั้งค่าการผลิต 78
ตารางที่ 5.5 ข้อมูลการผลิตตามรอบการวางแผน 79
ตารางที่ 5.6 ข้อมูลการวางแผนการผลิต 80
ตารางที่ 5.7 ข้อมูลเศษกระจก 80
ตารางที่ 5.8 ตัวอย่างเอกสารข้อมูลการผลิตแยกตามลูกค้า 89
ตารางที่ 5.9 อย่างเอกสารจากการจัดลำดับความหนา 90
ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างเอกสารการจัดลำดับความหนา Gantt chart 91
ตารางที่ 5.11 ตัวอย่างเอกสารการจัดลำดับการผลิต 93
ตารางที่ 5.12 ตัวอย่างเอกสารสรุปปริมาณเศษกระจก 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดการทดลองแบ่งตามอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ 100
ตารางที่ 6.2 รายละเอียดการทดลองที่แบ่งตามระยะเวลาส่งมอบ 103
ตารางที่ 6.3 รายละเอียดการทดลองที่แบ่งตามจำนวนงานและการกระจายตัวของงาน 108

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

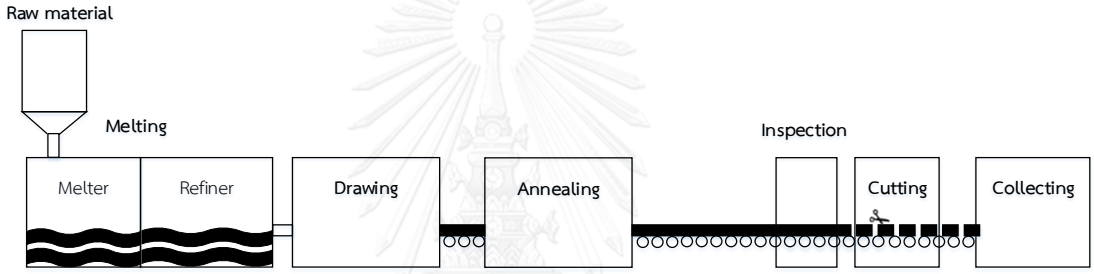
อุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบ เป็นอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนพื้นฐานสำหรับอีกหลายอุตสาหกรรม และมีความสำคัญมากต่ออุตสาหกรรมยานยนต์โดยกระจกแผ่นเรียบที่ใช้จะต้องเป็นกระจกคุณภาพสูง มีความบิดเบี้ยวของภาพสะท้อนน้อย ซึ่งเมื่อนำไปผ่านการแปรรูปเป็นกระจกรถแล้วจะให้ทัศนวิสัยที่ดีแก่ผู้ขับขี่และสามารถป้องกันการเกิดอุบัติเหตุได้ ซึ่งในอุตสาหกรรมยานยนต์จะนำกระจกแผ่นเรียบมาทำเป็นกระจกบังลมหน้า กระจกบังลมหลัง และกระจกประตูรถ ดังนั้นกระจกแผ่นเรียบที่นำมาใช้จึงมีความหลากหลายของขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา ซึ่งนอกจากวัตถุประสงค์การนำไปใช้งานที่ต่างกันทำให้กระจกแผ่นเรียบมีความแตกต่างกันแล้ว ยังมีความแตกต่างกันตามรุ่นและค่ายรถยนต์อีกด้วย

วัตถุประสงค์ของผู้ผลิตกระจกแผ่นเรียบโดยทั่วไป คือ การผลิตเพื่อสนับสนุนการทำงานของบริษัทที่อยู่ในเครือเดียวกัน เช่น บริษัทผลิตกระจกรถยนต์บางแห่งมีโรงงานผลิตกระจกแผ่นเรียบเป็นของตนเอง เป็นต้น อีกประเภทหนึ่งเป็นการผลิตเพื่อส่งขายให้กับอุตสาหกรรมการผลิตอื่น เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมการบิน และอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องอุปโภคอื่นๆ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแนวทางการดำเนินงานและความต้องการของโรงงาน

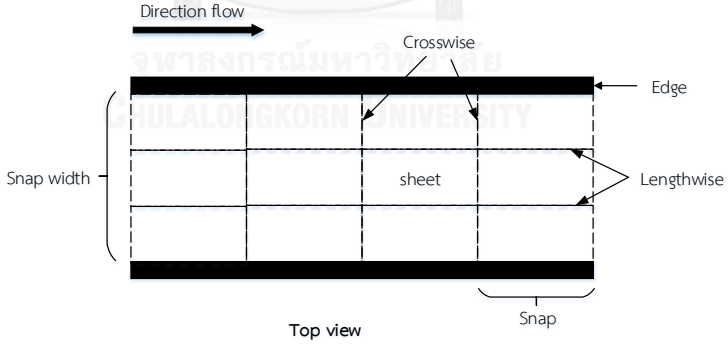
1.1 กระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

ปัจจุบันกระจกแผ่นเรียบทำการผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบโฟลต (Float glass process) ซึ่งจะทำให้แผ่นกระจกมีผิวเรียบ สม่ำเสมอ กระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบหรือกระจกพื้นฐานด้วยการผลิตแบบโฟลต แสดงดังรูปที่ 1.1 เริ่มต้นด้วยการนำวัตถุดิบหลักซึ่งประกอบด้วย ทรายแก้วหรือทรายซิลิกา (Silica sand: SiO_3), โซดาแอช (Soda Ash: Na_2CO_3), หินฟันม้า (Feldspar) และเศษแก้วหรือเศษกระจก (Cullet) มาชั่งผสมกันในอัตราส่วนตามสูตรการผลิตแล้วลำเลียงเข้าสู่เตาหลอมขนาดใหญ่ (Melter) วัตถุดิบเหล่านี้จะถูกหลอมให้เป็นน้ำกระจกที่อุณหภูมิสูง 1,200-1,500 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานหลายสิบชั่วโมง ก่อนที่น้ำกระจกจะถูกปล่อยออกมาสู่อ่างดีบุก (Tin bath) เพื่อทำการดึงขึ้นรูป เรียกว่า การขึ้นรูปด้วยระบบโฟลต (Float) โดยน้ำกระจกที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำดีบุกเหลวจะลอยตัวอยู่บนผิวดีบุกเหลว และถูกดึงขึ้นรูปให้ได้ความหนาและความกว้างที่ต้องการด้วยเครื่องเอโรล (A-roll) ซึ่งการขึ้นรูปนี้มีการปรับตั้ง (Setup) ทั้งความหนาและความกว้างที่ใช้เวลานานทำให้มีเศษกระจกเกิดขึ้น หลังจากนั้นจะอบแผ่นกระจก (Annealing) ให้เย็นตัวอย่างช้าๆ

จนใกล้เคียงกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอก เพื่อไม่ให้กระจกเกิดการร้าวหรือแตก และตรวจสอบด้วยแสงเพื่อหาจุดบกพร่อง เช่น รอยร้าว ฟองอากาศ ความใส และอื่นๆ สุดท้ายกระจกจะถูกลำเลียงผ่านโรลเลอร์ (Roller) เข้าสู่กระบวนการตัดและบรรจุ ในการตัดกระจกจะทำการกรีดกระจกให้ได้ขนาดตามที่ต้องการด้วยเครื่องกรีดกระจก (Cutter) ซึ่งจะกรีดออกเป็นแนวตามการไหล (Lengthwise) และแนวขวางการไหล (Crosswise) ดังรูปที่ 1.2 ตามลำดับ แผ่นกระจกที่อยู่ระหว่างแนวขวางการไหล 2 แนวจะถูกเรียกว่า สแนป (Snap) โดยเมื่อแผ่นกระจกไหลผ่านเครื่องจะเกิดเป็นรอยกรีดแต่จะยังไม่ถูกแยกออกจากกันจนกว่าจะถึงชุดหักกระจก (Roller snap) จากนั้นแผ่นกระจกจะเคลื่อนเข้าสู่การบรรจุ ส่วนกระจกที่แตกเสียหายระหว่างการผลิตหรือเศษกระจกที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้จะถูกนำกลับไปหลอมเพื่อทำการขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ



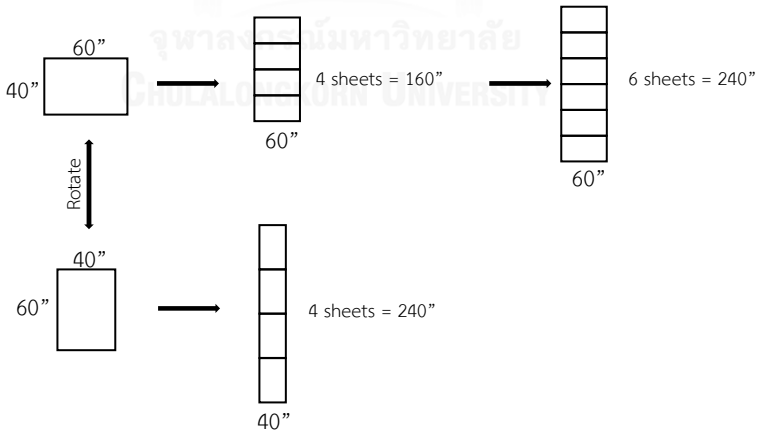
รูปที่ 1.2 การกรีดกระจกตามแนวการไหล และแนวขวางการไหล

1.2 ผลกระทบจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ต่อกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบที่ได้กล่าวมาในกัวข้อก่อนหน้าจะเห็นได้ว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีความแข็งต้องใช้เวลาหลอมนาน และมีการใช้งานเครื่องจักรร่วมกันเพื่อทำการผลิตกระจกหลายขนาด โดยทำการผลิตต่อเนื่องกันเป็นสายการผลิตเดียว จากการหลอมที่ใช้เวลานานและการ

ไหลต่อเนื่องกันของงานนี้เอง ทำให้มีต้นทุนที่เกิดจากการหยุดสายการผลิตสูงมาก เมื่อเทียบกับมูลค่างานเสียที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนในสายการผลิต ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้ผลิตจึงวางแผนการผลิตโดยไม่ให้สายการผลิตหยุดทำงาน แต่จะยอมให้เกิดเศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนขนาดในกระบวนการดึงขึ้นรูปในระหว่างการผลิตแทน

การปรับเปลี่ยนที่ทำให้เกิดเศษกระจกเกิดขึ้นในกระบวนการดึงขึ้นรูป โดยมาจากการวางแบบชิ้นงานที่ผลิตต่อกัน เนื่องจากแผ่นกระจกที่ทำการผลิตนั้นเป็นแผ่นกระจกทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงสามารถกำหนดได้ว่าจะให้ด้านใดเป็นด้านกว้างและให้ด้านใดเป็นด้านยาว เมื่อนำมาเรียงต่อกันจะให้ความกว้างของสแนปที่ต่างกัน ดังรูปที่ 1.3 ที่จำนวนแผ่นกระจกเท่ากันแต่หากให้ด้านที่มีความยาวสูงสุดเป็นด้านกว้างของสแนป จะทำให้สแนปกว้างมากกว่าให้ด้านที่มีความยาวน้อยเป็นด้านกว้าง ซึ่งการผลิตต่อกันของงานที่มีความหนาและความกว้างของสแนปต่างกัน จะทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนที่ต้องตั้งค่าเครื่องจักรใหม่ทุกครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งจะใช้ระยะเวลานานเนื่องจากกระจกมีความเปราะบางไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ทันที โดยเฉพาะในการปรับความหนาจะใช้เวลานานมากและช่วงที่ปรับความหนาจะไม่สามารถผลิตกระจกได้เลย นอกจากการปรับความหนาแล้วยังมีการปรับความกว้างซึ่งมีทั้งขยายความกว้างและลดความกว้างโดยไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ทันทีเช่นกัน เนื่องจากการขยายความกว้างนั้นเป็นการดึงน้ำกระจกจากบริเวณที่มีความร้อนสูง ไปยังบริเวณของอ่างที่มีความร้อนต่ำ หากมีการดึงที่รวดเร็วจะทำให้เกิดรอยร้าวหรือแตกได้ ส่วนการลดความกว้างนั้นจะทำได้เร็วกว่าเนื่องจากเป็นการบีบน้ำกระจกจากบริเวณความร้อนต่ำมาสู่บริเวณที่ความร้อนสูง



รูปที่ 1.3 การกำหนดแบบของชิ้นงานด้วยการพิจารณาด้านกว้างและด้านยาว

แบบของชิ้นงานที่ถูกเลือกยังส่งผลต่อระยะเวลาการผลิต (Processing time) และเศษกระจก กล่าวคือ จำนวนแผ่นกระจกต่อแสนปแสดงถึงจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ต่อ 1 หน่วยเวลา หากจำนวนชิ้นงานต่อหน่วยเวลามีน้อยก็จะมีระยะเวลาการผลิตที่นาน และการผลิตกระจกจะมีการเว้น

ระยะขอบ (Edge) ทั้ง 2 ข้าง ตลอดแนวการผลิต ดังรูปที่ 1.2 เพื่อให้กระจกที่ตัดออกมามีความหนาและขอบที่เรียบสม่ำเสมอ ส่วนขอบที่ถูกตัดออกจึงถือได้ว่าเป็นเศษกระจกในระบบการผลิต

1.3 การวางแผนการผลิตของผู้ผลิตกระจกแผ่นเรียบ

นอกจากความซับซ้อนของการผลิตที่ส่งผลต่อการเกิดเศษกระจกแล้ว ความต้องการของลูกค้าก็เป็นปัจจัยที่สำคัญ โดยความต้องการในอุตสาหกรรมกระจกแผ่นเรียบมีหลากหลาย ทั้งขนาดที่ลูกค้าสามารถกำหนดเองได้ และการส่งมอบที่มีเวลาต่างกัน ในแต่ละวันผู้ผลิตจึงต้องวางแผนว่าจะผลิตอะไรก่อนหลัง เนื่องจากต้องใช้ทรัพยากรการผลิตร่วมกัน ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบหรือเครื่องจักร ทำให้ในบางครั้งอาจไม่สามารถผลิตได้เนื่องจากกำลังการผลิตไม่เพียงพอ ซึ่งหากไม่สามารถเจรจาขอเลื่อนเวลาส่งมอบได้อาจทำให้ผู้ผลิตต้องสูญเสียรายได้ และเสียค่าปรับจากการขาดส่งสินค้า หรือหากสามารถขอเลื่อนเวลาส่งมอบได้ ก็อาจต้องมีการปรับแทรกการผลิต ซึ่งจะส่งผลกระทบกับลูกค้าผู้เป็นเจ้าของงานที่ถูกแทรกและงานในลำดับถัดไป และอาจทำให้ปริมาณเศษกระจกเพิ่มขึ้นได้ หรือหากผู้ผลิตไม่ต้องการให้เกิดการแทรกงาน การส่งสินค้าล่าช้า หรือขาดส่งสินค้า ผู้ผลิตอาจต้องสั่งซื้อสินค้าจากผู้ผลิตรายอื่น ทำให้นอกจากจะไม่เกิดรายได้แล้วยังเป็นการเพิ่มรายจ่ายอีกด้วย

โดยส่วนใหญ่แล้วผู้ประกอบการหรือผู้ผลิตที่อยู่ในอุตสาหกรรมการผลิต มักดำเนินงานบนพื้นฐานความต้องการของลูกค้าเป็นสำคัญ เนื่องจากเกรงว่าหากไม่สามารถผลิตหรือส่งสินค้าได้จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโรงงานหรือบริษัท ในอุตสาหกรรมกระจกแผ่นเรียบก็เช่นเดียวกัน แต่สำหรับอุตสาหกรรมนี้ แผนการผลิตที่คำนึงถึงความต้องการของลูกค้าเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอต้องคำนึงถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตด้วย ดังนั้นการจัดทำแผนการผลิตเพื่อให้สามารถบอกได้ว่า ลำดับการผลิตแบบใดจะทำให้เกิดประสิทธิภาพการผลิตสูงสุด หรือลำดับการผลิตแบบใดที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า และความต้องการของโรงงานไปพร้อมกันได้จึงเป็นการตัดสินใจที่สำคัญ และต้องพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างครบถ้วน ซึ่งปกติแล้วการวางแผนส่วนใหญ่อาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการวิเคราะห์และวางแผน ทำให้บางครั้งประสบปัญหาในการดำเนินงาน และจำต้องทำการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม นอกจากนั้นแล้วยังมักจะทำการวางแผนแบบแยกกันทีละกระบวนการคือ เมื่อกระบวนแรกวางแผนและทำการผลิตเสร็จก็จะส่งให้กระบวนการถัดไปวางแผนต่อ หากทำการผลิตไม่ได้ก็ต้องเริ่มวางแผนใหม่ตั้งแต่กระบวนการแรก ทำให้การทำงานเกิดความยุ่งยากและอาจนำมาซึ่งข้อผิดพลาดได้

ระบบสนันสนุนการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมกระจกแผ่นเรียบที่นำเสนอ จึงออกแบบมาเพื่อจัดการกับความยุ่งยากดังกล่าว ด้วยการจัดลำดับการผลิตให้สอดคล้องกับเวลาความต้องการสินค้า โดยคำนึงถึงเศษกระจกที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้

1.4 วัตถุประสงค์

การทำวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต สำหรับอุตสาหกรรมผลิตกระจกแผ่นเรียบ ที่มีลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่องที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นกับงานลำดับก่อนหน้า (Continuous flow with sequence dependent setup time) โดยคำนึงถึงความต้องการของลูกค้าในข้อจำกัดด้านเวลาส่งมอบสินค้าและลดความสูญเสียในระบบการผลิต

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาและพัฒนากระบวนการวางแผนการผลิตจะศึกษาเฉพาะส่วนการวางแผนการผลิตและระบบการผลิต โดยมีขอบเขตของงานวิจัยมีดังนี้

1. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ
    1.1. กระบวนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนการผลิต เป็นส่วนที่มีการประยุกต์ใช้ฮิวริสติกในการปรับปรุงและพัฒนา เพื่อตอบวัตถุประสงค์ด้านเวลาส่งมอบที่ล่าช้าน้อยที่สุดและมีเศษกระจกในระบบการผลิตน้อย
    1.2. ระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิต ที่ไม่รวมถึงการเขียนโปรแกรม ประกอบด้วย ระบบฐานข้อมูล หน้าจอการทำงาน (User interface) และเอกสารสรุปการวางแผน
2. สายการผลิตที่ศึกษาเป็นสายการผลิตกระจกโฟลต ที่มีสายการผลิตเดียว (Single line) ทำการผลิตกระจกหลายขนาด โดยพิจารณาที่กระบวนการดึงขึ้นรูป การตัดและการจัดเก็บกระจก
3. ความสูญเสียในระบบการผลิตสำหรับงานวิจัยนี้เป็นความสูญเสียด้านเศษกระจก ประกอบด้วย เศษกระจกที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนความหนา และเศษกระจกที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนความกว้าง
4. เวลาล่าช้าซึ่งเป็นกรอบในการตัดสินใจคือ เวลาล่าช้ารวม (Tardiness) จากงานทุกงานที่นำมาวางแผนการผลิต
5. แผนการผลิตมีรอบการวางแผนตามที่โรงงานกำหนด โดยแต่ละรอบจะพิจารณางานที่ได้รับการยืนยันจากลูกค้าทั้งด้านขนาด จำนวน และเวลาส่งมอบที่ลูกค้าต้องการ
6. การวางแผนการผลิตที่พัฒนาถูกออกแบบบนพื้นฐานของระบบการผลิตในโรงงานกระจกตัวอย่างที่ทำการเก็บข้อมูลเท่านั้น

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	วิธีการดำเนินงาน	ผลลัพธ์
1. ศึกษาข้อมูลอุตสาหกรรมยานยนต์ และชิ้นส่วนยานยนต์	- ศึกษาข้อมูลชิ้นส่วน และระบบการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์จากเอกสารและรายงานที่เกี่ยวข้อง - ศึกษาลักษณะความต้องการชิ้นส่วนยานยนต์ รวมถึงวัตถุดิบในการผลิต	- ภาพรวมของอุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ - ปัจจัยที่ส่งผลต่อผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ - ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เบื้องต้น
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระจกแผ่นเรียบ และการผลิตที่มีความคล้ายคลึงกับการผลิตกระจกแผ่นเรียบ	- สืบค้นข้อมูลงานวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูลที่น่าสนใจ - วิเคราะห์ปัญหาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	- พบปัญหาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวางแผนการผลิตของงานวิจัย
3. ศึกษาระบบการผลิต และการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบ	- เข้าศึกษาระบบการผลิตกระจกแผ่นเรียบจากโรงงานผลิต - สัมภาษณ์หัวหน้างานวิศวกร และพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการวางแผนการผลิต	- ขั้นตอนและวิธีการผลิตที่มีการดำเนินการผลิตจริง รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการวางแผนการผลิต ของโรงงานที่เข้าศึกษา - ข้อมูลลักษณะความต้องการของลูกค้าในอุตสาหกรรม - การวางแผนการผลิตเบื้องต้นของโรงงานที่เข้าศึกษา

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินงาน	วิธีการดำเนินงาน	ผลลัพธ์
4. วิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาเอกสาร และการเก็บข้อมูลจากโรงงาน	- ประมวลผลข้อมูลที่ได้รับเพื่อกำหนดปัญหางานวิจัย และระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ	- ปัญหาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิต
5. ดำเนินการวิจัย	- สร้างแนวคิดการแก้ปัญหางานวิจัยภายใต้ขอบเขตและเงื่อนไขที่กำหนด - ออกแบบและพัฒนาการวางแผนการผลิต - สร้างสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจ	- แผนการผลิต ที่ให้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ - ระบบสารสนเทศที่มีกระบวนการทำงานตามที่ออกแบบไว้
6. ทดสอบ และแก้ไขแผนการผลิต	- ทดสอบความสามารถของแผนการผลิตและสารสนเทศที่ออกแบบโดยการนำไปใช้งาน - แก้ไขข้อผิดพลาดของแผนการผลิต และสารสนเทศ	- แผนการผลิตที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรม และสามารถนำไปใช้ได้จริง - ระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจ ที่รองรับแนวทางการวางแผนที่พัฒนาขึ้น
7. สรุปผลงานวิจัย	- สรุปผลลัพธ์ของงานวิจัยที่ได้จากการทดสอบแผนการผลิตในข้อที่ 6	- ข้อสรุปของงานวิจัย
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์	- นำข้อมูลจากการศึกษาและขั้นตอนการพัฒนาแผนการผลิต รวมทั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบมาเรียบเรียง และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์	- วิทยานิพนธ์

1.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กระบวนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนการผลิต และระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถวางแผนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ความต้องการของลูกค้าในด้านเวลาส่งมอบได้มากขึ้น

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยให้การวางแผนการผลิตเป็นไปอย่างมีระบบ มีขั้นตอน และมีเกณฑ์การตัดสินใจ ที่พิจารณาจากประเด็นต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ชัดเจน ซึ่งจะมีส่วนช่วยลดความยุ่งยากในการวางแผนและจัดลำดับการผลิตให้กับผู้วางแผนการผลิตในโรงงาน
2. แผนการผลิตที่พัฒนาขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต จากการส่งสินค้าได้ทันเวลาส่งมอบและลดความสูญเสียในรูปเศษกระจก
3. ระบบสารสนเทศที่ออกแบบจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและติดตามการวางแผนการผลิตได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

1.9 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

รายละเอียดของเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์แสดงดังตารางที่ 1.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดโครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่	รายละเอียด
บทที่ 1 บทนำ	- กระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ - ลักษณะการดำเนินงานในอุตสาหกรรม และปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบการผลิต - วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย - ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัย	- ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ และการวางแผนการผลิต - งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดโครงสร้างของวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

บทที่	รายละเอียด
บทที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุงแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ	- วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยศึกษาถึงธรรมชาติของการผลิต ความต้องการสินค้า และประเด็นการตัดสินใจในการวางแผนการผลิต - แนวคิดในการตัดสินใจวางแผนการผลิต - แนวคิดในการสร้างระบบสารสนเทศ - สมมติฐานในการวางแผนการผลิต
บทที่ 4 กระบวนการตัดสินใจสำหรับสร้างแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ	- ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจสร้างแผนการผลิต - กระบวนการตัดสินใจในการสร้างแผนการผลิต ประกอบด้วย การจัดเตรียมข้อมูล และการจัดลำดับการผลิต
บทที่ 5 ระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ	- ระบบสารสนเทศสนับสนุนการตัดสินใจ ประกอบด้วย กระบวนการทำงานของงานสารสนเทศ ฐานข้อมูล หน้าจอการทำงาน และเอกสาร/รายงานสำหรับนำเสนอ
บทที่ 6 การทดสอบผลและประเมินผลการดำเนินงาน	- การประเมินการทำงานของแผนการผลิตโดยผู้เชี่ยวชาญในอุตสาหกรรม - การประเมินประสิทธิภาพของแผนการผลิตด้วยการทดลอง
บทที่ 7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	- สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาแผนการผลิตในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมผลิตกระจกแผ่นเรียบสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีความใกล้ชิดกับผู้ประกอบยานยนต์ ทำให้ได้รับอิทธิพลจากแนวคิดการผลิตแบบทันเวลา (Just in time) ของผู้ประกอบยานยนต์ จึงต้องดำเนินการผลิตกระจกให้เสร็จตามเวลาเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานของผู้ผลิตและผู้ประกอบในลำดับถัดไปได้ แต่เนื่องจากมีลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) ที่มีการผลิตกระจกหลายขนาดบนสายการผลิตเดียวกัน ทำให้มีเศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าของสายการผลิตอยู่บ่อยครั้ง เป็นปัญหาที่ไม่พึงประสงค์ของผู้ผลิต การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงเป็นส่วนหนึ่งที่จะทำให้สามารถเข้าใจถึงสาเหตุและวิธีการในการแก้ปัญหาได้มากขึ้น

ในบทนี้จึงได้กล่าวถึงหลักการและแนวคิดของทฤษฎีรวมทั้งงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์กระบวนการผลิต การวางแผนการผลิต และการจัดตารางการผลิต โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การวิเคราะห์กระบวนการ

การศึกษา การวิเคราะห์ข้อมูลและกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งการดำเนินงานที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เป็นการแสดงถึงความเชื่อมโยงกันของกระบวนการต่างๆ ที่สะท้อนการทำงานขององค์กร ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (Krajewski 2007) คือ

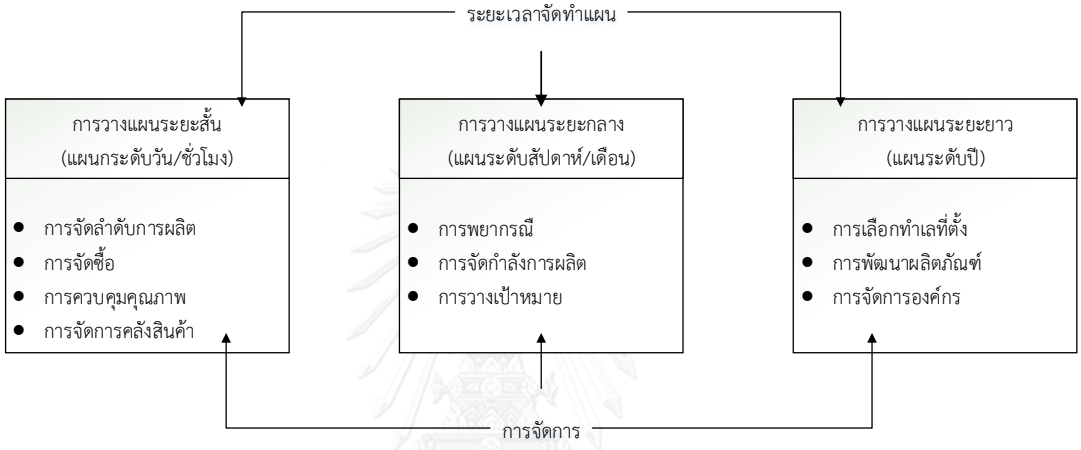
1. การกำหนดโอกาสในการปรับปรุง เป็นการพิจารณากระบวนการหลักซึ่งได้แก่ ความสัมพันธ์กับผู้จำหน่ายวัตถุดิบ การพัฒนาสินค้าและบริการ การตอบสนองคำสั่งซื้อ และปฏิสัมพันธ์กับลูกค้า เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกต้อง
2. การกำหนดขอบเขตการปรับปรุง หลังจากทราบปัญหาหรือกระบวนการที่ต้องมีการแก้ไขปรับปรุงแล้ว ควรมีการกำหนดขอบเขตการปรับปรุงที่เหมาะสม ให้สอดคล้องกับการดำเนินงานขององค์กร และสามารถแก้ไขปัญหาได้จริง

3. กระบวนการทางเอกสาร เป็นการบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งปัจจัยนำเข้า ผู้จำหน่าย วัตถุดิบ ผลผลิตที่ได้ และข้อมูลลูกค้า เพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องที่จะทำการปรับปรุงต่อไป ซึ่งกระบวนการทางเอกสารสามารถทำได้ 3 วิธีด้วยกันคือ
   I. แผนภูมิการไหลของงาน (Flowchart) เป็นการเรียงลำดับขั้นตอนของการไหลของข้อมูล หรือวัตถุดิบในกระบวนการต่างๆ
   II. ต้นแบบการให้บริการ (Service Blueprints) เป็นแผนภูมิการไหลของงานชนิดหนึ่งที่มักใช้กับงานบริการเป็นหลัก เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของลูกค้ากับกระบวนการดำเนินงาน
   III. แผนภูมิกระบวนการ (Process Chart) เป็นเอกสารแสดงรายละเอียดการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด แบ่งออกเป็น การปฏิบัติการ (Operations), การขนส่ง (Transportation), การตรวจสอบ (Inspection), การคอย (Delay), และการเก็บรักษา (Storage)
4. การประเมินผลการปฏิบัติงาน หรือตัวชี้วัดการปฏิบัติงาน (Performance Measures) โดยสามารถกำหนดเป็นเมทริกซ์ตัวชี้วัด เริ่มจากปัจจัยการแข่งขันต่างๆ ซึ่งสามารถรวบรวมได้จากการสังเกต การซักถาม เป็นต้น เครื่องมือที่นิยมนำมาใช้มีด้วยกัน 6 แบบ คือ รายการตรวจสอบ (Checklist), กราฟแท่ง (ฮีสโตแกรม (Histogram) หรือบาร์ชาร์ต (Bar Chart)), แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart), แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram), แผนภาพสาเหตุ-ผลลัพธ์ (Cause-Effect Diagram) และการสืบค้นข้อมูล (Data Snooping)
5. การออกแบบกระบวนการใหม่ เพื่อหาทางแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องที่พบ เนื่องจากการวิเคราะห์นั้นช่วยชี้ให้เห็นถึงข้อบกพร่องหรือช่องว่างของการดำเนินงาน แต่การออกแบบกระบวนการเป็นการใช้ความรู้ในการหาทางแก้ไขที่เหมาะสม
6. การนำการเปลี่ยนแปลงไปปฏิบัติ เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ของการออกแบบกระบวนการใหม่

2.1.2 การวางแผนการผลิต

การวางแผนผลิตและการปฏิบัติการ แบ่งได้เป็น 3 ระดับคือ การวางแผนระยะสั้น การวางแผนระยะกลาง และการวางแผนระยะยาว การวางแผนระยะสั้นเป็นการวางแผนในระดับการปฏิบัติการ ซึ่งจะมีการปรับเปลี่ยนแผนระดับรายวันหรือรายชั่วโมง เช่น การตัดสินใจในการจัดลำดับการผลิต การจัดการคลังสินค้า การจัดซื้อสินค้าและบริการ การควบคุมคุณภาพและการปรับปรุงการ

ทำงาน เป็นต้น ในระหว่างการวางแผนระยะสั้นและระยะยาวจะมีการวางแผนระยะกลาง โดยทั่วไปแล้วแผนระยะกลางจะอยู่ในช่วงสัปดาห์และเดือน เป็นการวางแผนที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ความต้องการ การจัดหาช่องทางการซื้อขาย การจ้างงาน การประเมินแรงงานและกำลังการผลิต และการตั้งเป้าหมายในการจัดเก็บสินค้าหรือระดับการบริการ ส่วนในการวางแผนระยะยาวเป็นการวางแผนระดับกลยุทธ์เพื่อดำเนินการในระยะยาว เช่น การเลือกที่ตั้งของโรงงาน การวางแผนและพัฒนาผลิตภัณฑ์ การวางแผนการจัดการภายในองค์กร เป็นต้น (Nahmias 2009) การวางแผนการผลิตระยะต่างๆสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ระดับการวางแผน

(ที่มา: ปรับปรุงจาก Nahmias 2009)

วัตถุประสงค์ของการวางแผนการผลิตคือ การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ทำการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด เพื่อตอบสนองต่อความต้องการ การวางแผนการผลิตแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน (พิชิต สุขเจริญพงษ์ 2540) คือ

1. การพยากรณ์ความต้องการ เพื่อคาดการณ์ปริมาณความต้องการของสินค้าหรือบริการในช่วงเวลาต่างๆ
2. การวางแผนการผลิต เป็นการพิจารณาปัจจัยและเงื่อนไขขององค์กรหลังจากรู้ความต้องการในช่วงเวลานั้นแล้ว เพื่อกำหนดกลยุทธ์ในการผลิตให้เหมาะสมกับความต้องการของสินค้าหรือบริการ
3. การกำหนดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต คือการกำหนดว่าจะผลิตผลิตภัณฑ์นั้นในปริมาณเท่าใด

2.1.2.1 การวางแผนการผลิตด้วยวิธีกราฟและแผนภูมิ

การวางแผนการผลิตด้วยวิธีกราฟและแผนภูมิ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในทางปฏิบัติ ประกอบด้วย การพยากรณ์และกำหนดความต้องการในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นทำการคำนวณกำลังการผลิตและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เพื่อเลือกกลยุทธ์ในการวางแผนแล้วคำนวณปริมาณที่จะได้ในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นจึงมีการเปรียบเทียบผลที่ได้และปรับปรุงแผนการโดยเน้นการลดต้นทุนให้มากที่สุดจนกระทั่งได้แผนการผลิตที่พอใจ

2.1.2.2 การวางแผนการผลิตรวมด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์

การวางแผนการผลิตรวมด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์ ยังไม่ค่อยมีการใช้งานกันมากนักแต่ก็ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบผลกับวิธีกราฟและแผนภูมิ ประกอบไปด้วย

1. ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น ใช้แก้ปัญหาการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรที่มีอย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
2. กฎการตัดสินใจเชิงเส้น อาศัยสมการความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่างๆ ในการตัดสินใจวางแผนการผลิตรวม
3. ตัวแบบฮิวริสติกส์ เป็นตัวแบบที่ผู้วางแผนสามารถใช้ความรู้และประสบการณ์ช่วยในการวางแผน โดยกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมแล้วทำการวางแผนตามเกณฑ์ที่กำหนด ข้อดี คือ ใช้ข้อมูลจำนวนน้อยและรวบรวมได้ง่าย

2.1.3 การตัดสินใจจัดตารางการผลิต

วัตถุประสงค์ในการกำหนดตารางการผลิตคือ การเพิ่มการใช้ประโยชน์โดยการลดช่องว่างของเวลาการทำงานในการผลิต ลดการสะสมงานในระหว่างผลิต โดยพยายามลดจำนวนงานเฉลี่ยที่รออยู่ขณะที่กำลังทำงานอื่น และพยายามทำให้การผลิตนั้นสามารถทำตามใบสั่งเสร็จในระยะเวลาที่กำหนด หรือพยายามลดจำนวนงานที่จะเสร็จช้ากว่ากำหนด ในบางสถานการณ์การทำงานที่ล่าช้าไม่สามารถส่งงานได้ทันกำหนดจะทำให้เกิดค่าปรับขึ้น

การกำหนดตารางการผลิตด้วยการหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อลดปัญหาเวลาล่าช้าของงานสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ วิธีการแจงนับบริบูรณ์ (Complete Enumeration) และ วิธีแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound Algorithm) (ปารเมศ ชุติมา 2551) ทั้งสองวิธีนี้แม้จะให้คำตอบที่ดีที่สุดแต่ก็ยังมีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการหาคำตอบนาน ซึ่งอาจไม่เหมาะกับความต้องการในบางอุตสาหกรรม ดังนั้นวิธีการฮิวริสติก (Heuristic) จึงถูกนำมาใช้หาคำตอบแทน แม้ว่าจะไม่สามารถ

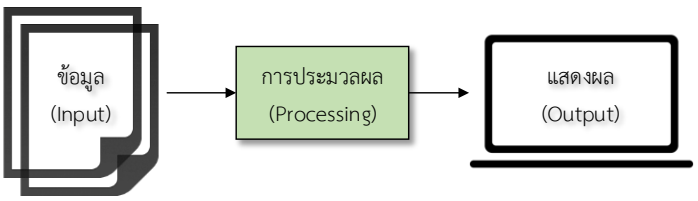
รับประกันได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะเป็นผลที่ดีที่สุดแต่ก็ถือว่าให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ โดยเกณฑ์ที่นิยมใช้กันมากมีดังนี้ (พิภพ ลติตาภรณ์ 2545)

1. รับก่อนทำก่อน (First Come – First Served) คือ งานที่รับเข้ามาก่อนจะได้รับการผลิตก่อน งานที่เข้ามาเป็นลำดับต่อมาก็จะเข้าแถวคอยตามลำดับการมาถึงก่อนหลัง
2. งานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดทำก่อน (Shortest Processing Time) งานที่ใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุดจะได้รับการจัดลำดับให้ได้รับการผลิตก่อนเป็นลำดับแรก งานที่ใช้เวลาน้อยถัดมาก็จะถูกจัดเป็นงานลำดับที่ 2, 3, 4 ... จนหมดจำนวนงานที่มีอยู่
3. งานที่ใช้เวลานานที่สุดทำก่อน (Longest Processing Time) งานที่ใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดจะถูกจัดให้ทำก่อน
4. ทำงานที่จะถึงกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อน (Earliest Due Date) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาล่าช้ามากที่สุดให้น้อยที่สุด โดยการจัดลำดับงานตามกำหนดส่งมอบ
5. งานที่มีเวลาเหลือสำหรับการทำงานน้อยที่สุดทำก่อน (Minimum Slack Time) คือ การหาค่าเฉลี่ยของ slack ที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ซึ่งสามารถหาได้จากการเอาเวลาที่ต้องใช้ทั้งหมดลบออกจากเวลาที่จะถึงกำหนดส่ง หารด้วยจำนวนกระบวนการที่งานนั้นจะต้องผ่าน
6. งานมาทีหลังทำก่อน (Last Come First Serve) งานที่เข้ามาช้าสุดจะได้รับการจัดลำดับการทำงานก่อนงานอื่น

เกณฑ์การจัดตารางการผลิตข้างต้นจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไปตามเงื่อนไขและสภาพแวดล้อมของการผลิต ปัญหาในการจัดตารางการผลิตนั้นมีความซับซ้อน ดังนั้นการใช้หลักการของฮิวริสติกนั้นจะช่วยให้เห็นถึงวิธีการที่จะได้มาซึ่งผลลัพธ์ของปัญหา

2.1.4 ระบบสารสนเทศ

ระบบสารสนเทศเป็นกลไกชนิดหนึ่งที่นำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีการสื่อสารมาทำงานร่วมกัน โดยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาผ่านการประมวลผลและแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 2.2 ระบบสารสนเทศประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์ ซอฟแวร์ ข้อมูล บุคลากร และกระบวนการทำงาน สารสนเทศที่ดีจะต้องสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน มีความเร็วต่อการเรียกใช้งานและไม่ล้าสมัยในช่วงที่ต้องการใช้งาน นอกจากนี้ยังต้องมีความถูกต้องของข้อมูลที่นำเสนอ สามารถสร้างประโยชน์ให้แก่ผู้ใช้งานได้ (เกษณีย์ เอี่ยมรักษาเกียรติ 2551)



รูปที่ 2.2 ระบบสารสนเทศ

2.1.4.1 การพัฒนาระบบ

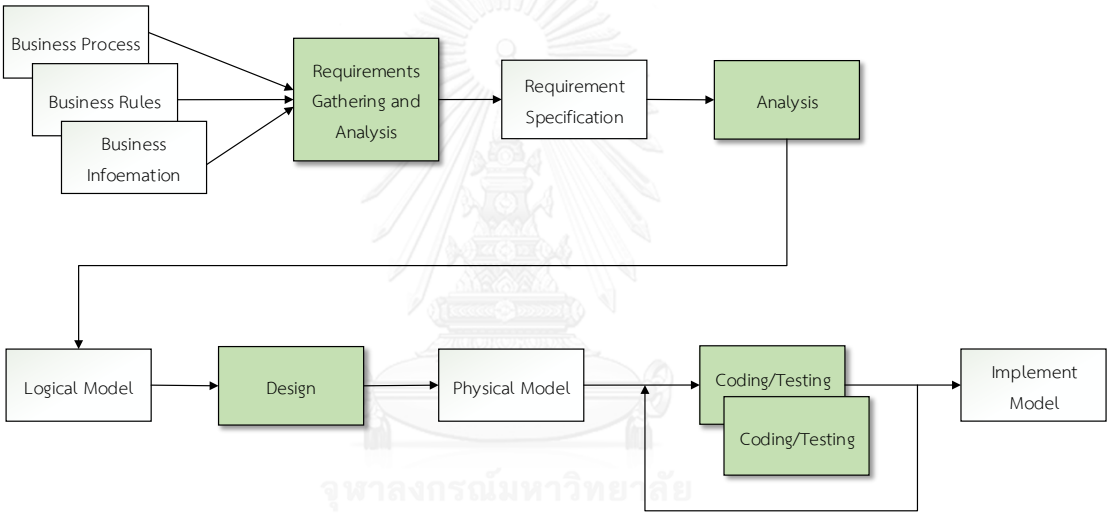
การวิเคราะห์ระบบเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อเสนอแนวทางการแก้ไข โดยมีขั้นตอนการพัฒนาที่ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถดำเนินการได้อย่างเป็นขั้นตอน ทั้งยังสามารถควบคุมเวลาการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย โดยขั้นตอนการพัฒนาระบบสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.3 (โอภาส เอี่ยมศิริวงศ์ 2549) สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. การวางแผนโครงการ (Project Planning Phase)
   เป็นการวิเคราะห์ปัญหาของระบบเดิมซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงและแก้ไข โดยทำการรวบรวมข้อมูลการทำงานที่ผ่านมาด้วยวิธีการต่างๆเช่น การรวบรวมเอกสารแบบฟอร์ม หรือบันทึกที่มีการใช้งานในปัจจุบัน การสังเกตุการณ์และการสัมภาษณ์ข้อมูลจากบุคคลที่เกี่ยวข้องกับระบบ เป็นต้น เพื่อทำความเข้าใจกับภาพรวมและปัญหาของระบบ นอกจากนี้ยังเป็นการสำรวจความเป็นไปได้ของระบบที่จะพัฒนาว่าคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่
2. การวิเคราะห์ (Analysis Phase)
   การวิเคราะห์การพัฒนาระบบเพื่อตอบคำถามว่าใครเป็นผู้ใช้ระบบ และระบบควรมีการทำงานอย่างไรบ้าง โดยวัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์ระบบคือการกำหนดรายละเอียดของระบบของระบบใหม่ ซึ่งอาศัยเครื่องมือในการจำลองการทำงานของระบบที่เรียกว่า แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram: DFD) และสร้างแบบจำลองข้อมูลด้วย อีอาร์ไดอะแกรม (Entity Relationship Diagram: ERD)
3. การออกแบบ (Design Phase)
   การออกแบบเป็นพิจารณาแนวทางการดำเนินของระบบ โดยเกี่ยวข้องกับระบบฐานข้อมูล (Database Design) ข้อมูลนำเข้า (Input Design) การออกแบบ

รายงาน (Output Design) การออกแบบส่วนสื่อสารกับผู้ใช้งาน (User Interface Design) รวมไปถึงรายละเอียดต่างๆของโปรแกรมเพื่อจัดทำเป็นโปรแกรมต้นแบบ (Prototype)

4. การนำไปใช้ (Implementation Phase)

การนำไปใช้จะทำการสร้างระบบด้วยการเขียนโปรแกรมจากภาษาคอมพิวเตอร์ แล้วทำการทดสอบและติดตั้งระบบ รวมถึงการฝึกอบรมผู้ใช้งานให้เข้าใจการดำเนินงานของระบบ เพื่อสนับสนุนให้ระบบทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.3 วงจรการพัฒนาระบบ

(ที่มา: ปรับปรุงจาก โอภาส เอี่ยมศิริวงศ์, 2549)

2.1.4.2 การออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface)

ส่วนสื่อสารกับผู้ใช้งานเป็นการโต้ตอบกันระหวางโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผู้ใช้โปรแกรม โดยการออกแบบอินเตอร์เฟซควรมีคำสั่งที่แสดงบนหน้าจอการทำงานที่เข้าใจง่าย สามารถสื่อสารงานกับผู้ใช้ได้ทั้งรูปภาพและข้อความ

การออกแบบยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ (โอภาส เอี่ยมศิริวงศ์ 2549, เกษณีย์ เอี่ยมรักษาเกียรติ 2551) มีหลายรูปแบบด้วยกัน ดังต่อไปนี้

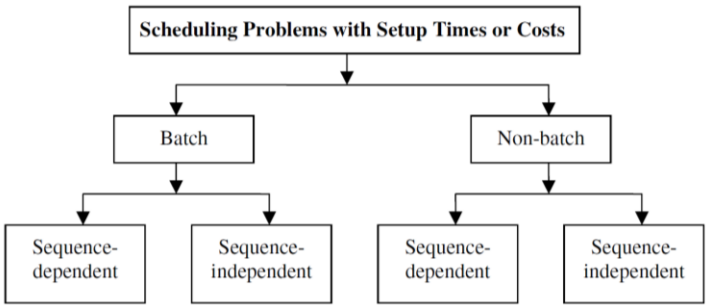
1. การโต้ตอบด้วยชุดคำสั่ง (Command-Language Interaction) เป็นการโต้ตอบกับระบบที่ผู้ใช้งานจะต้องป้อนคำสั่ง หรือประโยคที่มีการกำหนดไว้ให้กับระบบอย่างถูกต้องเพื่อให้ระบบสามารถทำงานตามคำสั่งที่ป้อนเข้าไปได้
2. การโต้ตอบด้วยเมนูคำสั่ง (Manu Interaction) เป็นการโต้ตอบกับระบบโดยผู้ใช้งานสามารถเลือกคำสั่งหรือชุดคำสั่งได้โดยที่ไม่ต้องป้อนคำสั่งเอง ซึ่งเมนูคำสั่งนี้ควรเป็นคำสั่งสั้นๆที่สามารถสื่อความหมายได้ชัดเจน
3. การโต้ตอบด้วยแบบฟอร์ม หรือการโต้ตอบด้วยคำถามและคำตอบ (Form/Question and Answer Interaction) เป็นการโต้ตอบที่ผู้ใช้งานต้องตอบคำถามโดยการป้อนข้อมูลหรือคำตอบลงในช่องว่างที่ระบบแสดงออกมา
4. การโต้ตอบเชิงวัตถุ หรือกราฟฟิกยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ (Objective-Based Interaction/Graphics User Interfaces: GUI) เป็นการโต้ตอบที่มีลักษณะคล้ายการโต้ตอบด้วยเมนูคำสั่ง แต่จะใช้รูปภาพหรือไอคอน (Icon) เป็นตัวแทนของคำสั่ง เป็นรูปแบบการโต้ตอบที่ได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานอย่างมาก เนื่องจากมีหน้าตาที่สวยงาม น่าดึงดูดใจ
5. การโต้ตอบด้วยภาษาธรรมชาติ หรือภาษามนุษย์ (Natural Language Interaction) เป็นการโต้ตอบกับผู้ใช้งานด้วยเสียง ซึ่งมีข้อจำกัดด้านภาษาที่ยากต่อการออกเสียงและตีความ

การออกแบบหน้าจอต่อประสานกับผู้ใช้งานที่ดีควรมีการแสดงชื่อหน้าจอให้ผู้ใช้งานทราบว่ากำลังทำงานอยู่ในส่วนใด การรับข้อมูลจากผู้ใช้งานมีความถูกต้องหรือไม่ และบอกให้ผู้ใช้งานทราบถึงสถานะการทำงานของระบบด้วยการแสดงรูปภาพหรือข้อความที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจได้ นอกจากนี้การออกแบบหน้าจอยังควรพิจารณาถึงการรักษาข้อมูลและควบคุมการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานที่ไม่พึงประสงค์ด้วย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวางแผนเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อตัดสินใจกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายในการดำเนินการ รวมถึงนโยบายและวิธีการทำงานเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด เป็นการบอกให้ทราบว่าบริษัทหรือองค์กรจะมีการทำงานอย่างไร สำหรับการวางแผนการผลิตนั้นสามารถบอกได้ว่าเมื่อต้องทำการผลิตจะทำอย่างไรให้สามารถทำการผลิตสินค้าภายในเวลาที่กำหนด และตรงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด ในการผลิตนั้นนอกจากจะต้องทำ

ให้เกิดต้นทุนน้อยที่สุดแล้วยังต้องทำให้ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตมีน้อยที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งการวางแผนการผลิตร่วมกันของหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องจะทำให้สามารถดำเนินการผลิตได้สอดคล้องกันมากขึ้น ลดเวลาของการจัดการลง สามารถรับรู้ถึงสถานะของการผลิตได้รวดเร็ว การวางแผนการผลิตสามารถแบ่งได้หลายระดับทั้งแผนระดับกลยุทธ์ (Strategic level) แผนระดับกลวิธี (Tactical level) และแผนระดับปฏิบัติการ (Operation level) ในแต่ละระดับนั้นยังมีความแตกต่างกันไปตามระบบการผลิต และเป้าหมายการดำเนินงานขององค์กรนั้น จึงทำให้เกิดการวางแผนที่มีความแตกต่างกันในหลายรูปแบบ



รูปที่ 2.4 การแบ่งกลุ่มปัญหาการจัดลำดับที่เกี่ยวกับเวลาปรับตั้ง
(ที่มา: Allahverdi, A., et al., 2008)

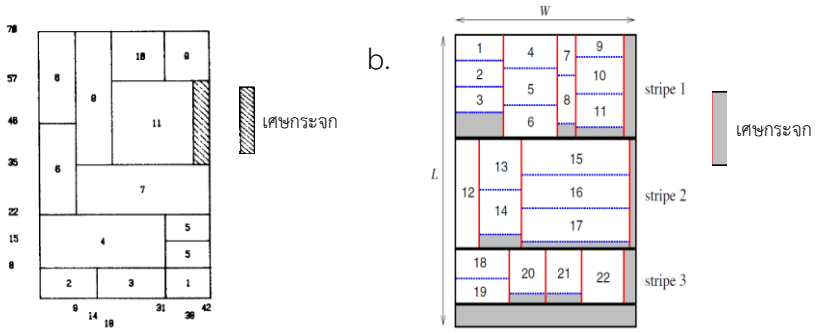
ในการวางแผนระดับปฏิบัติการเช่นการจัดลำดับการผลิตนั้นนับว่าเป็นส่วนสำคัญ ที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตและประสิทธิภาพการทำงาน โดยส่วนใหญ่แล้วมักมีความเกี่ยวข้องกับการจัดลำดับการผลิต ซึ่งปัญหาการจัดลำดับการผลิตในอุตสาหกรรมกระจก เป็นการจัดการกับปัญหาที่มีความเกี่ยวข้องกับเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร ซึ่งเวลาการปรับตั้งในแต่ละระบบผลิตสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ด้วยกัน คือ การผลิตเป็นกลุ่ม (Batch) และการผลิตแบบไม่เป็นกลุ่ม (Non-batch) แต่ละกลุ่มยังสามารถแบ่งการจัดลำดับได้เป็น การจัดลำดับแบบไม่อิสระ (Sequence dependent) และการจัดลำดับแบบอิสระ(Sequence independent) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งมีวิธีการแก้ปัญหาตามระบบการผลิตได้หลายแบบ (Allahverdi et al. 2008) สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบการผลิตกระจกนั้นจัดอยู่ในปัญหาระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรเดี่ยว (Single machine) และมีเวลาการปรับตั้งขึ้นกับงานก่อนหน้า หรือเรียกว่าเป็นลำดับไม่อิสระ ซึ่งดำเนินการด้วยวัตถุประสงค์การลดเวลาล่าช้าในการส่งสินค้าและลดความสูญเสียในระบบการผลิต

สำหรับการลดความล่าช้าของระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรเดี่ยว ที่มีลำดับงานแบบไม่อิสระนั้นมีผู้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา เช่น Problem Space-Based Local Search, Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) (Gupta and Smith 2006), Branch-and-

Bound Algorithm (Keshavarz, Savelsbergh, and Salmasi 2015), Neighborhood Search (Liao, Tsou, and Huang 2012) และวิธีการเมตาฮิวริสติก (Meta-heuristic) จำพวก Simulated Annealing, Genetic algorithm, Tabu Search (Lin and Ying 2007) เป็นต้น โดยแต่ละวิธีการมีความเหมาะสมกับลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน ซึ่งผู้วิจัยยังไม่พบงานวิจัยที่กล่าวถึงการลดเวลาล่าช้าเฉพาะในอุตสาหกรรมการะผลิตกระจกแผนเรียบ ในส่วนของการลดความสูญเสียนั้นมีทั้งในรูปของเวลา วัตถุดิบ และกำลังการผลิต มักศึกษากันในระบบที่ทำการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) เนื่องจากเกิดความสูญเสียและต้นทุนการผลิตสูงกว่าระบบผลิตอื่น ดังเช่นการผลิตกระดาษของโรงงานผลิตกระดาษคราฟท์ เป็นตัวอย่างหนึ่งที่มีระบบผลิตคล้ายคลึงกับการผลิตกระจกแผ่นเรียบ มีความต้องการในการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อวางแผนการผลิต จึงมองปัญหาที่เกิดขึ้นในรูปของของปัญหาทางการขนส่ง (Transportation problem) และประยุกต์ใช้วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ในการหาคำตอบพบว่าสามารถทำให้ต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุดได้ (กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ 2543)

ในส่วนของการศึกษาวิจัยเพื่อลดความสูญเสียในอุตสาหกรรมผลิตกระจก ส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญกับความสูญเสียจากการตัด (Trim loss) ที่เกิดจากความหลากหลายของขนาดสินค้า ปัญหานี้ได้เริ่มศึกษาโดย Gilmore และ Gomory ในปี 1961 เรียกว่าเป็นปัญหา Cutting stock problem ผู้ศึกษาทั้งสองได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) ซึ่งภายหลังได้มีรับการพัฒนาเรื่อยมาและถูกใช้เป็นต้นแบบในการประยุกต์เข้ากับวิธีการอื่น เช่น การใช้วิธีการฮิวริสติกและการแจกแจง (Enumeration procedure) ในการสร้างแพทเทิ่ล (Pattern) หรือแบบการวางชิ้นงาน (Layout) โดยการนำกระจกแผ่นเล็กหลายขนาดมาเรียงกันในพื้นที่ที่จำกัด ดังรูปที่ 2.5 a. ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ช่วยให้เศษกระจกลดลง (Farley 1983) หรือวินำธีการ Greedy heuristic และ Branch-and-Bound Algorrithm มาประยุกต์ใช้ในการสร้างวิธีหาคำตอบของการวางแพทเทิ่ล ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ต่างวิธีการแจกแจงดังรูปที่ 2.5 b. โดยมีจัดเรียงกระจกที่พิจารณาข้อจำกัดในการตัดความกว้างมากขึ้น (Puchinger, Raidl, and Koller 2004)

a. b.



รูปที่ 2.5 รูปแบบการตัดขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยงานหลายขนาด
(ที่มา: Alan Farley, 1982 และ Jakob Puchinger, 2004)

ในปัจจุบันกรรมวิธีการผลิตกระจกได้เปลี่ยนแปลงไป มีการใช้เทคโนโลยีและเครื่องจักรเข้ามาช่วยมากขึ้น ทำให้เกิดข้อจำกัดมากขึ้น การตัดสินใจจึงเปลี่ยนไปแม้จะใช้วิธีการเดิมในการหาคำตอบ เช่น โรงงานที่ทำการผลิตด้วยระบบอัตโนมัติ ทั้งในส่วนของการตัดและการจัดเก็บ มีความต้องการที่จะผลิตกระจกให้ได้ผลผลิตมากที่สุด โดยลดความสูญเสียที่เกิดจากการจัดเก็บ เนื่องจากรูปแบบการตัดเปลี่ยนไป ไม่สามารถตัดกระจกหลายขนาดดังรูปที่ 2.5 ได้ จึงทำการพัฒนาฮิวริสติกในการกำหนดขนาดมาตรฐานของสแนป และจัดสมดุลการทำงานของเครื่องจักรในการจัดเก็บด้วยการใช้ Mixed-integer programming (MIP) เพื่อจัดตารางการผลิตภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องจักร (Taşkın and Ünal 2009) แต่ในบางครั้งการผลิตทำให้เกิดจุดบกพร่องที่ไม่อาจแก้ไขได้ และจำเป็นต้องตัดกระจกส่วนที่มีจุดบกพร่องทิ้งไป วิธีการ Mixed integer linear programming (MILP) จึงถูกนำมาใช้เพื่อตัดสินใจว่าจะตัดส่วนที่มีจุดบกพร่องทิ้งอย่างไรให้พื้นที่ที่เหลือสามารถใช้ประโยชน์ต่อไปได้ (Na et al. 2013) เป็นต้น

ยิ่งไปกว่านั้นโรงงานบางแห่งไม่เพียงทำการผลิตกระจกแผ่นเรียบเท่านั้น แต่ยังขยายการผลิตไปจนถึงขั้นการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กระจกรถยนต์ จึงต้องทำการวางแผนการผลิตกระจกทั้งสองส่วนให้สอดคล้องกัน วิธีการที่นำมาใช้วางแผนเป็นวิธีฮิวริสติกที่มีพื้นฐานจาก p-Median model เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างความสูญเสียในการปรับเปลี่ยนความกว้าง และการผลิตที่เกินความต้องการ (Arbib and Marinelli 2007) และบางโรงงานมีการผลิตกระจกสีและกระจกใสด้วยสายการผลิตเดียวกัน ทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุดิบจำนวนมากขณะเปลี่ยนสีและเสียเวลาการผลิตหลายวัน การวางแผนการผลิตจึงต้องถูกจัดทำล่วงหน้าเป็นเวลานานกว่าโรงงานที่ทำการผลิตกระจกใสเพียงอย่างเดียว และเนื่องจากมีการผลิตกระจกหลายสีทำให้ต้องพิจารณาการจัดเก็บสินค้าของคลังสินค้าในแผนการผลิตด้วย จึงได้จัดทำแผนการผลิตบนพื้นฐานแนวคิดของวิธีการ Mixed integer linear programming และ Traveling salesman model (Puchinger, Raidl, and Koller 2004)

การศึกษางานวิจัยข้างต้นทำให้เห็นว่าการวางแผนการผลิตมีความสำคัญ และแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์และลักษณะการผลิต แม้ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมเดียวกันแต่ด้วยกระบวนการผลิตที่ต่างกัน ปัจจัยที่พิจารณาจึงต่างออกไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบการผลิตของงานวิจัยข้างต้นมีลักษณะแตกต่างจากระบบที่ศึกษา และไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาการวางแผนการผลิตกระจกภายใต้เงื่อนไขของเวลาส่งมอบ และไม่มีงานวิจัยที่ให้ความสำคัญของเศษกระจกที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนความหนาและความกว้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการพัฒนาระบบสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิตภายใต้ข้อจำกัดของระบบการผลิตและความต้องการของลูกค้า เพื่อวางแผนการผลิตและลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การวิเคราะห์ปัญหาและแนวคิดในการปรับปรุงแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

การวางแผนการผลิตจะไม่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพหากผู้วางแผนไม่มีความเข้าใจในธรรมชาติของระบบการผลิตและความต้องการของลูกค้าอย่างแท้จริง ด้วยลักกษณะการผลิตกระจกแผ่นเรียบที่มีความซับซ้อนและมีประเด็นในการพิจารณาหลายประเด็นร่วมกัน ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. การวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิต
2. แนวคิดของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต

3.1 การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงธรรมชาติของการผลิตกระจกแผ่นเรียบ และธรรมชาติของความต้องการสินค้าที่ส่งผลต่อการตัดสินใจวางแผนการผลิต ซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

3.1.1 ธรรมชาติการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

ระบบการผลิตกระจกแผ่นเรียบมีลักษณะที่สำคัญ คือ เป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่องที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง โดยไม่มีการหยุดพัก เนื่องจากการหยุดการผลิตจะต้องมีการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่เมื่อจะมีการดำเนินการผลิตต่อ ซึ่งจะใช้ต้นทุนมหาศาลและอาศัยเวลานานมากในการเพิ่มอุณหภูมิเตาหลอมให้กลับมาสูงพอกับการผลิต ระบบการผลิตนี้ไม่มีการแยกสถานีงาน โดยงานทุกขนาดต้องผ่านทุกขั้นตอนบนสายการผลิตเดียว ซึ่งกระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบประกอบด้วยกระบวนการหลัก 4 กระบวนการ ได้แก่ การหลอม การดึงขึ้นรูป การอบ และการตัดบรรจุ อย่างไรก็ตามงานที่ทำการผลิตบนสายการผลิตเดียวกันนี้จะมีความแตกต่างกันในด้านขนาดของกระจก อันประกอบด้วย ความกว้าง ความยาว และความหนา การปรับตั้งเครื่องจักรภายใต้ระบบการผลิตที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจึงก่อให้เกิดความสูญเสียในมิติเวลาและปริมาณน้ำกระจก

เวลาการในการปรับตั้งเครื่องจักรและปริมาณน้ำกระจกที่สูญเสียไปนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ และความแตกต่างของขนาดระหว่างงานที่มีลำดับการผลิตต่อเนื่องกัน ในการปรับตั้งเครื่องจักรที่มีการสูญเสียน้ำกระจกนั้นจะเกิดจากส่วนที่ไม่สามารถกลายเป็นชิ้นงานได้ ซึ่งมีรูปแบบการเกิดทั้งแบบที่ไม่สามารถระบุการเกิดที่แน่นอนได้ เช่น การแตกร้าวเนื่องจากความแปรปรวนของอุณหภูมิ การเกิดรอยตำหนิหรือจุดบกพร่องในเนื้อกระจก เป็น

ต้น และอีกรูปแบบหนึ่งที่สามารถระบุความแน่นอนได้ คือ สามารถระบุปริมาณการสูญเสียน้ำกระจกหรือเศษกระจกได้ ได้แก่ ปริมาณที่สูญเสียจากการปรับเปลี่ยนความหนา ปริมาณที่สูญเสียจากปรับเปลี่ยนความกว้าง และปริมาณที่สูญเสียจากการเว้นระยะขอบ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการวางรูปแบบชิ้นงาน รายละเอียดความสูญเสียที่สามารถระบุความแน่นอนได้มีดังนี้

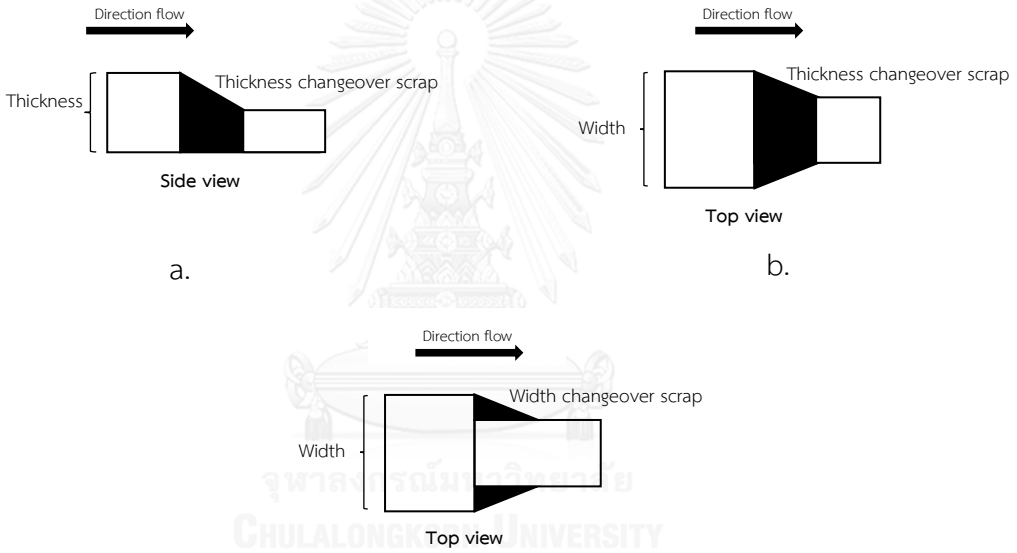
1. ปริมาณเศษกระจกที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนความหนา

   การปรับเปลี่ยนความหนาจากความหนาหนึ่งไปเป็นอีกความหนาหนึ่งของงานที่ต้องผลิตต่อกัน ทำให้เกิดเศษกระจกจากการปรับความหนา (Thickness changeover scrap) ดังรูปที่ 3.1 (a.) ยิ่งความหนาของงานต่างกันมากยิ่งใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนมาก และมีเศษกระจกเกิดขึ้นมากขึ้น โดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนความหนาจะเสียน้ำกระจกในปริมาณที่มากกว่าการเปลี่ยนความกว้าง เนื่องจากความลาดเอียงของผิวหน้าทำให้ต้องเสียน้ำกระจกไปทั้งหน้าตัดเหมือนดังรูปที่ 3.1 (b.) และแม้ความหนาจะต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่เวลาที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนกลับมากกว่าการเปลี่ยนความกว้าง ซึ่งการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนจากความหนึ่งไปอีกความหนาหนึ่งนั้นทำให้เสียเวลาการผลิตไปโดยที่ไม่สามารถทำให้เกิดชิ้นงานได้เลย มีผลต่อเวลาเสร็จสิ้นการผลิตของงานอื่นๆที่อยู่ในลำดับถัดไปที่ต้องถูกเลื่อนออกไปและอาจมีความล่าช้าในการส่งมอบงานเกิดขึ้นได้ กล่าวได้ว่าการปรับเปลี่ยนความหนาเป็นความสูญเสียที่ส่งผลกระทบต่อระบบการผลิตเป็นอย่างมากทั้งในด้านเศษกระจกหรือน้ำกระจก และเวลาในการผลิต

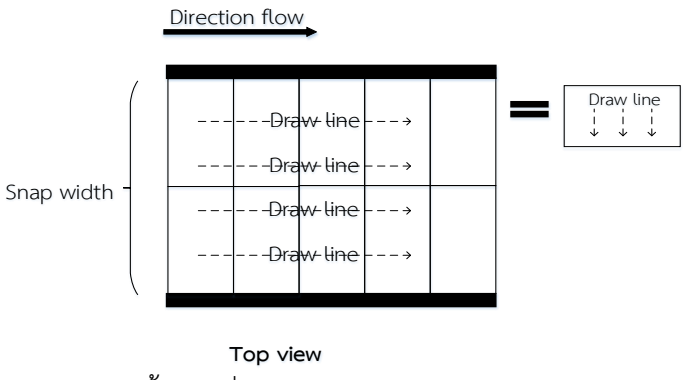
2. ปริมาณเศษกระจกที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนความกว้าง

   การปรับเปลี่ยนความกว้างทำให้เกิดเศษกระจกที่เรียกว่า เศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนความกว้าง (Width changeover scrap) ทั้งในขณะที่มีการปรับความหนาและไม่มีการปรับความหนา ซึ่งการขยายความกว้างและลดความกว้างจะมีปริมาณเศษกระจกแตกต่างกัน โดยการขยายความกว้างเป็นการดึงกระจกจากกลางอ่างที่มีความร้อนสูง ไปยังขอบที่มีความร้อนต่ำกว่า หากทำด้วยอัตราเร็วเท่ากับการลดความกว้างจะทำให้น้ำกระจกขาดออกจากกัน ทำให้ไม่สามารถใช้อัตราเร็วในการขยายความกว้างเท่ากับการลดความกว้างได้ การปรับความกว้างนี้เป็นการปรับดึงน้ำกระจกที่ขอบซึ่งหากไม่มีการปรับความหนา กระจกด้านในยังสามารถใช้ได้ดังพื้นที่สีขาวในรูปที่ 3.1 (c.)

ความสูญเสียจากการปรับเปลี่ยนความกว้างเกิดจากขนาดและรูปแบบการวางชิ้นงาน (Layout/Pattern) ที่ต่างกันเมื่อนำมาเรียงต่อกันเป็นสแนป (Snap) จะให้ความกว้างและความยาวที่ต่างกัน ซึ่งรูปแบบการวางชิ้นงานถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขของความเร็วในการเก็บกระจกและชนิดของกระจก หากกระจกที่ตัดออกมาเป็นกระจกทั่วไปจะสามารถวางแบบโดยให้ด้านทั้ง 4 มีด้านใดด้านหนึ่งเป็นด้านกว้างก็ได้ แต่หากกระจกที่ตัดออกมาจะถูกนำไปใช้เป็นกระจกหน้ารถยนต์จะสามารถวางแบบชิ้นงานได้แบบเดียว โดยให้เส้นแนวการดึง (Draw Line) ที่ขนานกับทิศทางการไหลของน้ำกระจกอยู่ในแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.2 เท่านั้น



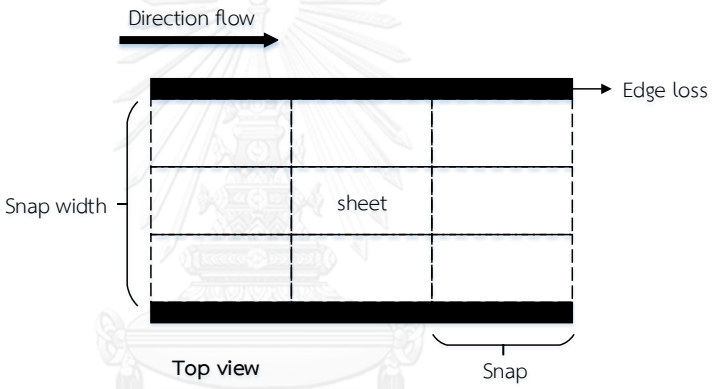
รูปที่ 3.1 ลักษณะการปรับเปลี่ยนความหนาและความกว้างที่ทำให้เกิดความสูญเสีย



รูปที่ 3.2 การวางแบบชิ้นงานที่มีเส้นแนวการดึงขนานกับทิศทางการไหล

3. ปริมาณเศษกระจกที่เกิดจากการเว้นระยะขอบ

การผลิตกระจกจะมีการเว้นระยะขอบทั้ง 2 ข้าง เนื่องจากบริเวณขอบกระจกเป็นบริเวณที่มีการดึงน้ำกระจกให้คงความกว้างอยู่ตลอดเวลา และเมื่อมีการปรับเปลี่ยนความกว้างจะทำให้น้ำกระจกถูกดึงมากองที่ขอบ บริเวณนี้จึงมีทั้งรอยดึงและหน้ากระจกที่ไม่เรียบ ระยะขอบที่ถูกตัดทิ้งนี้เรียกว่า เศษกระจกจากการเว้นขอบ (Edge loss) ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งปริมาณการเกิดเศษกระจกชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความกว้างของขอบที่กำหนด และความยาวของการผลิต โดยผู้ผลิตจะกำหนดความกว้างของขอบเป็นค่าคงที่ แต่ความยาวจะขึ้นกับเวลาการผลิตที่เป็นผลสืบเนื่องจากจำนวนแผ่นกระจกที่มีการสั่งซื้อและการวางแบบชิ้นงาน



รูปที่ 3.3 การเว้นระยะขอบกระจกที่ทำให้เกิดความสูญเสีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เศษกระจกที่เกิดขึ้นทั้ง 3 รูปแบบเป็นความสูญเสียที่งานวิจัยนี้นำมาวิเคราะห์และหาทางแก้ไข โดยจะลดปัญหาเศษกระจกที่เกิดจากการเว้นระยะขอบก่อน เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการวางรูปแบบชิ้นงานและข้อมูลเบื้องต้นอื่นๆที่นำไปใช้ในการวางแผนขั้นต่อไป จากนั้นจะลดปัญหาที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนความหนาและความกว้างตามลำดับ สาเหตุที่พิจารณาจัดการกับปัญหาเศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนความหนาก่อนเนื่องมาจาก การพิจารณาความสำคัญที่เห็นได้ชัดเจนว่าเศษกระจกจากการปรับความหนามีความสูญเสียเกิดขึ้นมากและการปรับเปลี่ยนแต่ละครั้งทำให้มีเศษกระจกมากเมื่อเทียบกับเวลาที่เสียไป และยังส่งผลให้มีการผลิตเศษกระจกแทนการผลิตงานที่ก่อให้เกิดรายได้ในช่วงเวลาการปรับเปลี่ยนความหนานั้น เป็นการเสียเวลาและทรัพยากรการผลิตไปอย่างสิ้นเปลือง แตกต่างจากการปรับความกว้างซึ่งเศษกระจกเกิดขึ้นที่ช่วงด้านข้าง ดังรูปที่ 3.1 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาการปรับเปลี่ยนความหนาก่อนแล้วจึงพิจารณาการปรับเปลี่ยนความกว้างเป็นลำดับถัดไป

3.1.2 ธรรมชาติของความต้องการ

ลูกค้าของผู้ผลิตกระจกแผ่นเรียบที่ทำการศึกษาเป็นลูกค้าที่นำกระจกแผ่นเรียบไปแปรรูปเป็นกระจกรถยนต์เพื่อส่งให้ผู้ประกอบยานยนต์ อาจกล่าวได้ว่า ผู้ผลิตกระจกแผ่นเรียบเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนลำดับที่ 2 (Tier 2) ที่ทำการผลิตให้กับลูกค้าที่เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนลำดับที่ 1 (บริษัทผลิตกระจกรถยนต์) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งบางแห่งเป็นบริษัทในเครือเดียวกัน การผลิตจึงมีลักษณะเป็นการผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to order) จากลักษณะของลูกค้าในข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีสายโซ่อุปทานที่ค่อนข้างสั้น และแม้จะผลิตให้กับลูกค้าอื่นนอกเหนือจากลูกค้าในกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ก็ไม่ได้ทำให้วงจรการแปรรูปกระจกยาวขึ้น เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีความพร้อมสำหรับนำไปใช้งานสูง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้ผลิตกระจกแผ่นเรียบได้รับข้อมูลที่ค่อนข้างแน่นอน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากตอนเริ่มต้นรับคำสั่งซื้อมากนัก และรู้ความต้องการล่วงหน้าในระดับหนึ่ง โดยข้อมูลที่ผู้ผลิตได้รับจากลูกค้าจะระบุประเภทกระจก (กระจกลามิเนต กระจกเทมเปอร์ และกระจกทั่วไป) ขนาดกระจกที่ต้องการ (ความกว้าง ความยาว และความหนา) จำนวน และเวลาส่งมอบงาน

3.1.3 การตัดสินใจในการวางแผนการผลิต

เนื่องจากลักษณะของลูกค้าที่ส่วนใหญ่ของผู้ผลิตกระจกแผ่นเรียบที่ทำการศึกษาเป็นผู้ผลิตที่มีความใกล้ชิดกับผู้ประกอบยานยนต์ ที่ให้ความสำคัญกับเวลาส่งมอบซึ่งค่าปรับจากการขาดส่งสินค้ามีมูลค่าสูงมากหากผู้ผลิตไม่สามารถส่งสินค้าได้ทันเวลา จึงทำให้ผู้ผลิตกระจกแผ่นเรียบต้องดำเนินการผลิตสินค้าให้ทันตามกำหนดส่งมอบ แผนการผลิตที่สร้างขึ้นจึงมีข้อจำกัดด้านเวลาส่งมอบเป็นสำคัญ และเนื่องจากความหลากหลายของขนาดกระจกทำให้ผู้ผลิตไม่สามารถผลิตกระจกเพียงความหนาหรือความกว้างเดียวได้ การปรับเปลี่ยนในสายการผลิตจึงเกิดขึ้น และส่งผลให้เกิดความสูญเสียทั้งจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรและเศษกระจกที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าการวางแผนการผลิตที่เหมาะสมนั้นนอกจากจะต้องคำนึงถึงเวลาส่งมอบงานแล้วยังต้องคำนึงถึงความสูญเสียด้วย แต่ด้วยลักษณะการตกลงซื้อขายในปัจจุบัน ผู้ผลิตยังคงมีอำนาจการต่อรองเหนือลูกค้าทำให้สามารถควบคุมกำหนดส่งมอบของลูกค้าได้ จึงเป็นผลดีต่อการวางแผนควบคุมปริมาณเศษกระจกในระบบผลิต แต่เมื่อใดก็ตามที่อำนาจการต่อรองลดลง หมายความว่าผู้ผลิตจะต้องผลิตงานตามกำหนดส่งมอบมากขึ้น การวางแผนการผลิตจะยิ่งยากต่อการควบคุมปริมาณเศษกระจกมากขึ้น

ดังนั้น วัตถุประสงค์ในการวางแผนการผลิตที่ออกแบบนี้จึงมีเกณฑ์การตัดสินใจที่สำคัญ คือ ลำดับการผลิตจะต้องมีเวลาส่งมอบงานที่ล่าช้าน้อยที่สุด และมีเศษกระจกจากการจัดลำดับน้อยที่สุด เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยแผนการผลิตที่ได้นี้ต้องบอกได้ว่าจะผลิตกระจกอะไร ผลิตเมื่อไหร่ และมีรูปแบบการวางชิ้นงานอย่างไร

3.2 แนวคิดของระบบสนับสนุนการวางแผนผลิตกระจกแผ่นเรียบ

การวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบในอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นการวางแผนการผลิตภายใต้ลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่อง ที่ต้องผลิตสินค้าหลายขนาดบนสายการผลิตเดียวกัน โดยมีปัญหาสำคัญที่ต้องตัดสินใจ คือ จะผลิตกระจกอะไร ผลิตเมื่อไหร่ และควรมีรูปแบบวางชิ้นงานอย่างไร ที่จะทำให้เกิดเศษกระจกที่ต่ำที่สุด ภายใต้ความต้องการในการสนองลูกค้าด้านเวลาส่งมอบ

ความยุ่งยากของการวางแผนเกิดจากความซับซ้อนของการวางแผนการผลิตที่ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัยประกอบกัน และต้องพิจารณาไปพร้อมกันไม่ว่าจะเป็นปัจจัยด้านวัตถุดิบ กำลังการผลิตของเครื่องจักร กำลังคน รวมไปถึงความต้องการสินค้าที่มีความหลากหลาย หากผู้ผลิตหรือผู้วางแผนไม่คิดให้รอบคอบ หรือขาดการพิจารณาปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งไปจะทำให้เกิดความสูญเสียในด้านเศษกระจกและด้านเวลาล่าช้าขึ้นได้ จากสาเหตุดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต โดยระบบสนันสนุนที่พัฒนาขึ้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ กระบวนการวางแผนการผลิต และระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิต

กระบวนการวางแผนการผลิตที่พัฒนาขึ้นนี้มีวัตถุประสงค์คือ การจัดลำดับการผลิตให้สามารถผลิตสินค้าได้ตามความต้องการของลูกค้า ด้วยต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนที่กล่าวถึงนี้เป็นต้นทุนจากการสูญเสียเศษกระจกในระบบการผลิต ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาต้นทุนผันแปรเป็นหลัก โดยสามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วน ดังนี้

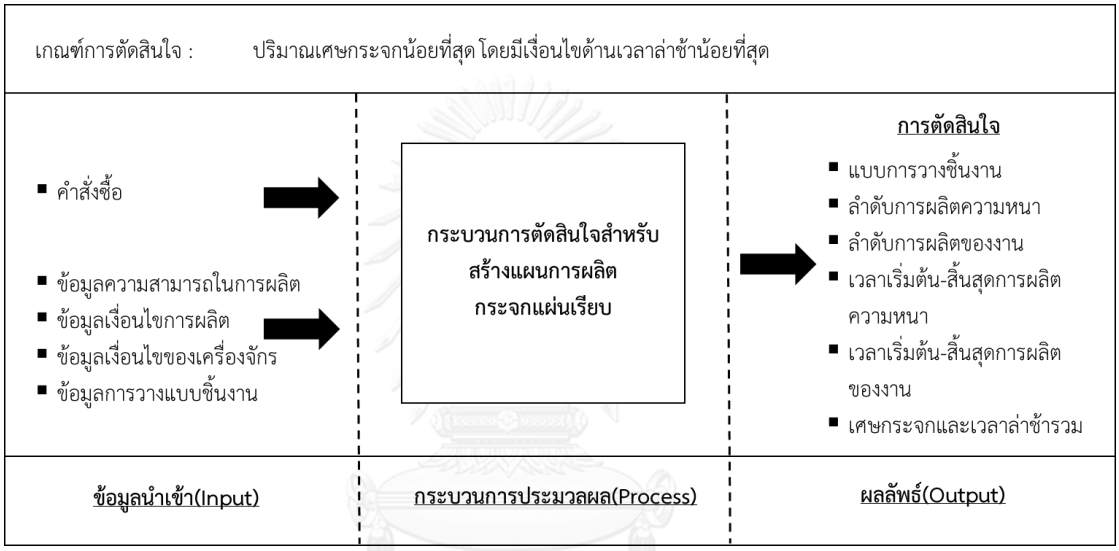
1. ต้นทุนการปรับเปลี่ยน เป็นต้นทุนที่เกิดจากเศษกระจกเมื่อมีการปรับความหนาหรือความกว้าง
2. ต้นทุนจากการวางรูปแบบชิ้นงาน เป็นต้นทุนที่พิจารณาจากเศษกระจกจากการเว้นขอบและการเก็บไม่ทัน
3. ต้นทุนที่แปรผันตามเวลาล่าช้า เป็นต้นทุนจากการส่งสินค้าล่าช้า โดยคิดตามระยะเวลาที่ล่าช้า

เกณฑ์การตัดสินใจในการวางแผนการผลิตนี้ คือ เวลาล่าช้าของการส่งมอบงานและปริมาณเศษกระจกในระบบการผลิต ซึ่งจะเป็นตัวบอกว่าแผนการผลิตดีหรือไม่ และผลลัพธ์ที่ได้จากการวางแผนการผลิตประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. ลำดับการผลิตสินค้า
2. เวลาล่าช้ารวมจากลำดับการผลิต
3. ปริมาณเศษกระจกจากลำดับการผลิต

3.2.1 แนวคิดกระบวนการตัดสินใจสำหรับการสร้างแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

จากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการผลิตที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ระบบการผลิตกระจกแบบต่อเนื่องนี้สามารถผลิตกระจกหลายขนาดได้บนสายการผลิตเดียวกัน โดยที่มีการปรับตั้งเครื่องจักรที่ขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า ซึ่งแผนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมนี้จะต้องบอกได้ว่าจะผลิตกระจกอะไร ผลิตเมื่อไหร่ และควรมีรูปแบบวางชิ้นงานอย่างไร ที่จะทำให้ลำดับการผลิตมีเศษกระจกในระบบการผลิตต่ำที่สุด แต่ยังสามารถส่งสินค้าได้ทันเวลาหรือล่าช้าน้อยที่สุด โดยกรอบการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพรวมของกระบวนการตัดสินใจในการวางแผนการผลิต

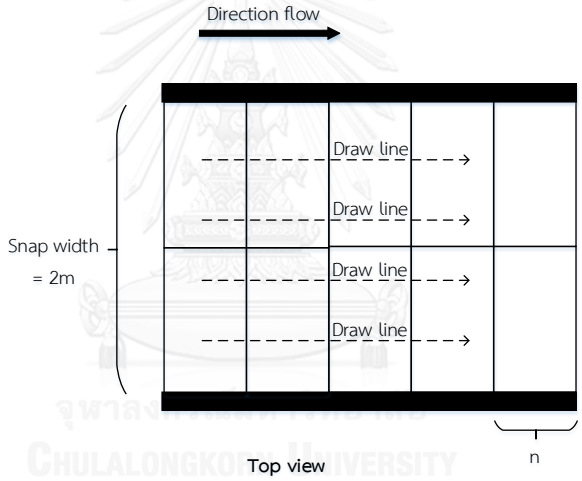
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ ซึ่งพบประเด็นสำคัญอยู่ที่เวลาส่งมอบและเศษกระจก การตัดสินใจเพื่อให้ได้มาซึ่งแผนการผลิตว่า ควรผลิตสินค้ารายการใด เมื่อไหร่ และควรมีรูปแบบการวางชิ้นงานแบบใดจึงต้องมีการพิจารณาทั้ง 2 ประเด็นควบคู่กัน โดยระบบสนับสนุนที่พัฒนาขึ้นจะทำการเลือกแนวทางการผลิตที่ให้ผลลัพธ์ดี ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดการผลิตโดยให้ความสำคัญกับเวลาส่งมอบงานเป็นหลัก และพยายามจัดตารางให้เวลาการผลิตของแต่ละงานสั้นที่สุดและเริ่มผลิตให้เร็วที่สุด

รายละเอียดแนวคิดการพัฒนากระบวนการตัดสินใจมีดังนี้ เวลาการผลิตขึ้นอยู่กับการวางแบบของชิ้นงาน ซึ่งกระจกที่ผลิตเป็นกระจกลักษณะสี่เหลี่ยมมุมฉาก จึงสามารถวางแบบให้ด้านใดเป็นด้านยาวหรือด้านกว้างได้ เช่น กระจกขนาด m x n x p โดย m, n เป็นด้านยาวและด้านกว้างของแผ่นกระจก ซึ่ง m > n และ p เป็นความหนา ถ้าให้ด้านของสแนปมีความกว้างเท่ากับ am (a คือจำนวนแผ่นกระจกในสแนป) และยาวเท่ากับ n จะทำให้มีเวลาที่ใช้ผลิตน้อยกว่าให้ด้านของสแนปมี

ความกว้างเท่ากับ an และยาวเท่ากับ m หมายความว่าการวางแบบที่มีความยาวของสแนปน้อยที่สุดจะผลิตได้เร็ว เป็นต้น แต่การพิจารณาความยาวของสแนปเพียงอย่างเดียวไม่สามารถสรุปได้ว่าเวลาการผลิตน้อยที่สุด เนื่องจากยังมีค่าของ a ที่ส่งผลต่อการวางแบบ หากค่า a มากแสดงว่าสามารถผลิตกระจกในจำนวนต่อหน่วยเวลาได้ในปริมาณมาก เวลาการผลิตของงานจึงลดลงและหากทำการผลิตด้วยความเร็วที่มากที่สุดได้จะยิ่งทำให้เวลาการผลิตลดลงอีก ซึ่งการพิจารณาทั้ง 2 ค่านี้จะช่วยให้การผลิตเสร็จเร็วขึ้น และลดปริมาณเศษกระจกจากการเว้นระยะขอบได้

หากกระจกที่ผลิตเป็นกระจกชนิดที่ใช้บังลมหน้ารถยนต์ที่มีขนาด m x n x p โดย m, n เป็นด้านยาวและด้านกว้าง จะสามารถวางแบบได้เพียงแบบเดียว คือ am ดังรูปที่ 3.5 เท่านั้น ดังนั้นการตัดสินใจเริ่มแรกจะพิจารณาการจัดวางชิ้นงานให้ใช้เวลาผลิตน้อยที่สุด โดยมีการตัดสินใจที่พิจารณาถึงความสามารถในการจัดเก็บด้วย เพื่อไม่ให้เกิดเศษกระจกเนื่องจากการจัดเก็บไม่ทัน



รูปที่ 3.5 แบบการวางชิ้นงานของกระจกหน้ารถยนต์ที่มีความยาว m และความกว้าง n

หลังจากเลือกแบบการวางของชิ้นงานเพื่อสร้างสแนปได้แล้ว จึงจัดลำดับงานจากการพิจารณาเวลาเริ่มผลิตที่เร็วที่สุด เพื่อให้ผลิตงานได้ทันเวลาส่งมอบ โดยทำการจัดลำดับงานเบื้องต้นด้วยหลักการ ส่งก่อนทำก่อน (Early due date) และเนื่องจากภายในเวลาส่งมอบเดียวกันอาจมีงานที่มีความหนาเดียวกันหลายงาน จึงมีการจัดเรียงความหนาเพื่อช่วยลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรและเศษกระจกเบื้องต้นด้วย การนำหลักการส่งก่อนทำก่อนมาใช้จะช่วยให้เห็นว่ากำลังการผลิตในหนึ่งวันนั้นเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ หากวันใดที่กำลังการผลิตไม่เพียงพอก็จะทำการย้ายงานบางงานไปเริ่มผลิตในวันก่อนหน้าที่มีกำลังการผลิตเหลือ หรือหากวันใดที่กำลังการผลิตเหลือและไม่มีงานล่าช้าอาจเลือกงานจากวันอื่นมาผลิตก่อนได้

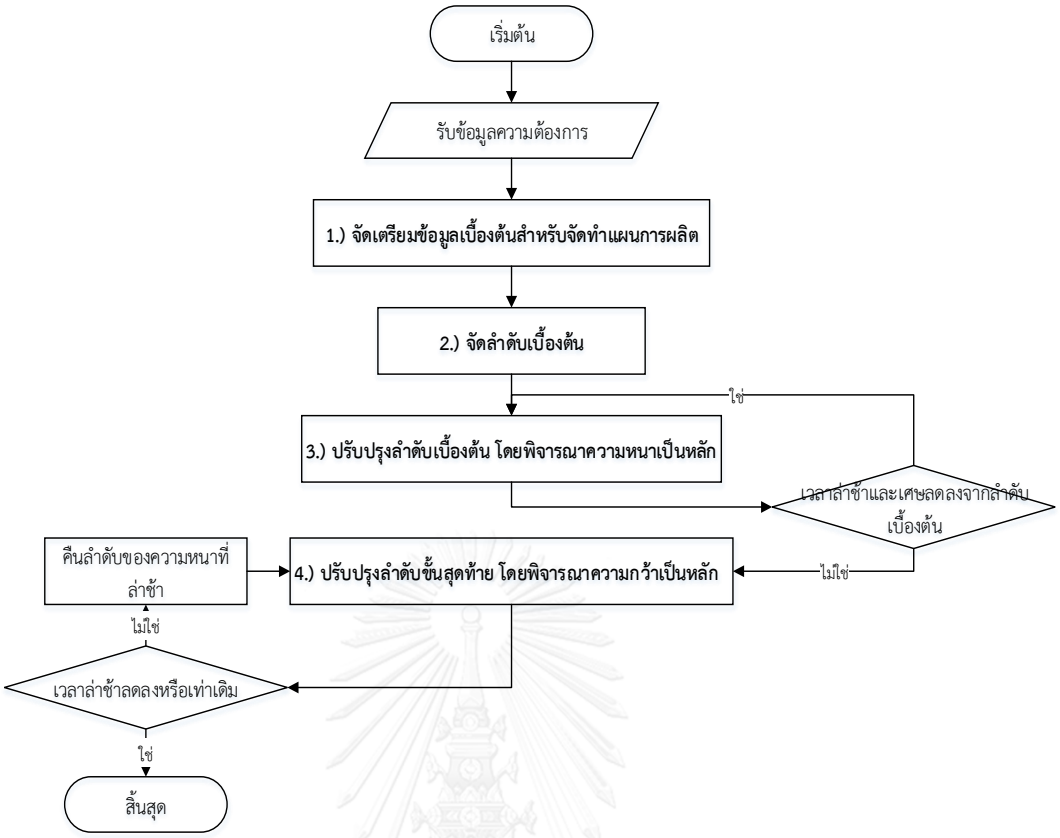
จากการศึกษาระบบการผลิตประกอบกับแนวคิดในการจัดลำดับพบว่า เวลาปรับตั้งเครื่องจักรส่งผลให้กำลังการผลิตลดลง และเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเป็นผลจากลำดับการผลิตที่ให้ความหนาต่างกันมาผลิตต่อกัน ซึ่งหากสามารถลดการปรับตั้งเครื่องจักรลงได้นอกจากจะส่งผลดีต่อกำลังการผลิตแล้วยังลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรที่มีผลต่อปริมาณเศษกระจก และลดเวลาเสร็จสิ้นการผลิตไปในตัวด้วย วิธีการในส่วนนี้จึงเป็นการรวมความหนา โดยพิจารณาย้ายงานที่ส่งผลกับเป้าหมาย คือ ลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรให้มากที่สุด ซึ่งต้องคำนึงถึงเวลาส่งมอบของงานที่ย้ายและงานในลำดับถัดไปที่อาจเกิดความล่าช้า และเมื่อรวมความหนาได้แล้วต้องพิจารณาจัดเรียงความกว้างด้วย เพื่อลดเศษกระจกลงอีก โดยแนวคิดการจัดเรียงความกว้างนี้จะพิจารณาเฉพาะกลุ่มงานที่มีความหนาเท่ากันและผลิตต่อกันเท่านั้น เพื่อไม่ให้กระทบกับเวลาล่าช้าที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนก่อนหน้า วิธีการจัดการจะกำหนดให้มีการปรับเพิ่มหรือลดความกว้างในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง และไม่มีการกระโดดข้ามความกว้างไปมา ดังนั้นลำดับการผลิตสุดท้ายที่ผ่านการจัดความกว้างด้วยวิธีนี้จึงไม่ทำให้เวลาล่าช้าเพิ่มขึ้นจากเดิม

แนวคิดการพัฒนากระบวนการวางแผนการผลิตดังกล่าว ประกอบด้วยกระบวนการตัดสินใจวางแผนการผลิตทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ

1. การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับจัดทำแผนการผลิต
2. การจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก
3. การปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาความหนาเป็นหลัก
4. การปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก

ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1-3 คือ ลำดับการผลิตความหนา ซึ่งเป็นลำดับที่ทำให้เวลาปรับตั้งเครื่องจักรรวมน้อยที่สุด และมีเศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนความหนาน้อยที่สุด แต่เนื่องจากยังไม่ได้มีการพิจารณาความกว้าง จึงไม่สามารถบอกได้ว่าลำดับของงานที่แท้จริงนั้นเป็นอย่างไร ขั้นตอนที่ 4 จึงเป็นการสิ้นสุดการจัดลำดับของงาน

แนวทางการปรับปรุงทั้ง 4 ขั้นตอนนี้จะมีการตัดสินใจที่แตกต่างกันไปตามจุดประสงค์ในขั้นนั้น โดยความสัมพันธ์ของแนวคิดการพัฒนาแผนการผลิตแสดงดังรูปที่ 3.6 เกณฑ์การตัดสินใจที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และภาพรวมของแนวคิดและการตัดสินใจในกระบวนการวางแผนการผลิตแสดงดังรูปที่ 3.7



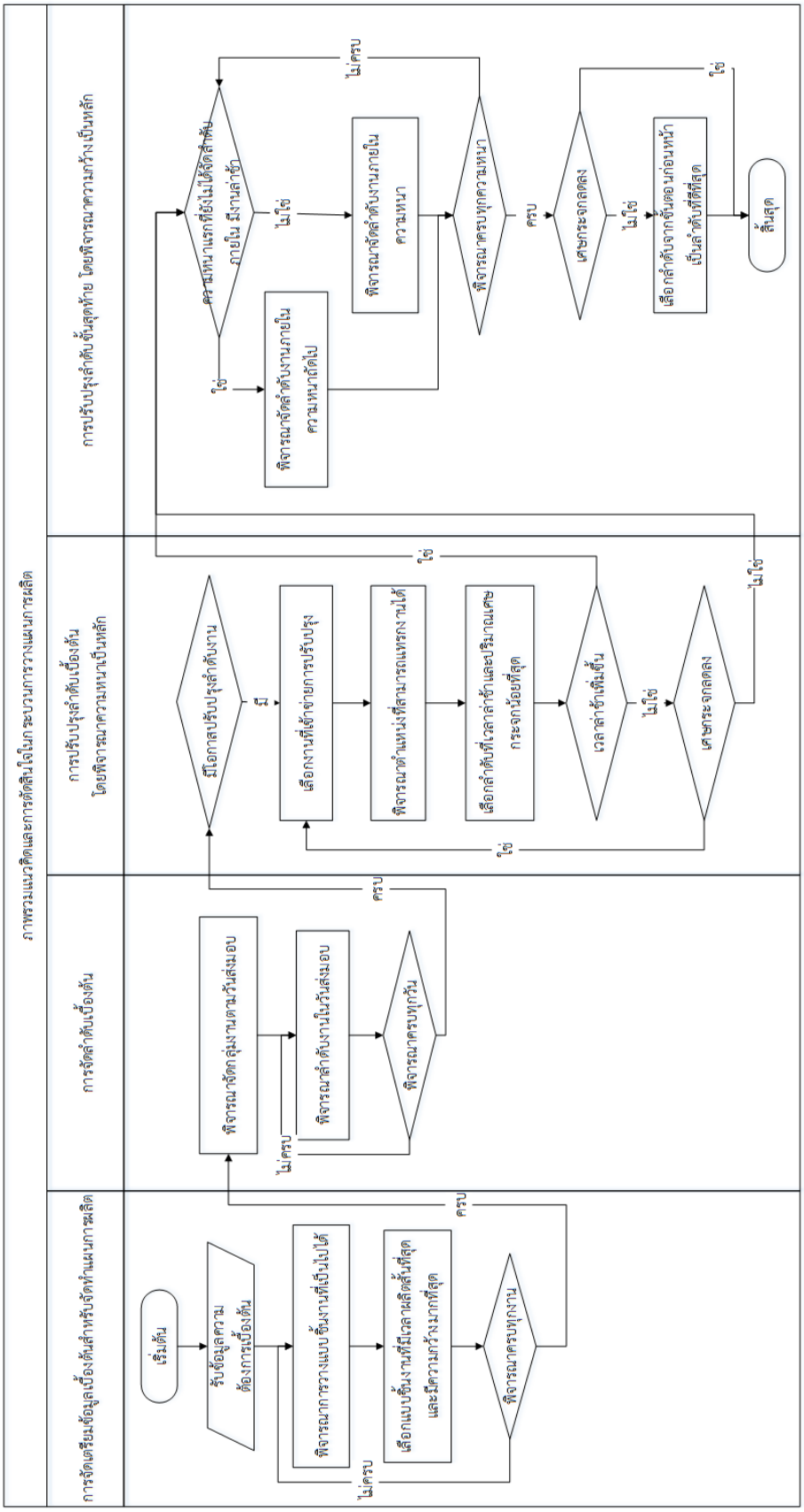
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของแนวคิดการตัดสินใจสำหรับการสร้างแผนการผลิต

ตารางที่ 3.1 แนวคิดของแต่ละขั้นตอนการวางแผนการผลิต และเกณฑ์ในการตัดสินใจ

ขั้นตอน	รายละเอียด	เกณฑ์การตัดสินใจ	ผลลัพธ์
1. การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับจัดทำแผนการผลิต	หาการวางแบบชิ้นงานจากด้านกว้างหรือด้านยาวที่มีโอกาสทำให้เวลาผลิตสั้นที่สุด	เวลาการผลิตของแต่ละงานน้อยที่สุด และมีความกว้างของการขึ้นรูปมากที่สุด	- แบบการวางชิ้นงาน - จำนวนสแนป - เวลาการผลิตของแต่ละงาน - ความเร็วในการผลิตแต่ละงาน

ตารางที่ 3.1 แนวคิดของแต่ละขั้นตอนการวางแผนการผลิต และเกณฑ์ในการตัดสินใจ (ต่อ)

ขั้นตอน	รายละเอียด	เกณฑ์การตัดสินใจ	ผลลัพธ์
2. การจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก	จัดกลุ่มงานตามเวลาส่งมอบ และภายในกลุ่มมีการจัดลำดับความหนาเบื้องต้น โดยเริ่มจากกลุ่มที่มีเวลาส่งมอบน้อยที่สุดและพิจารณากลุ่มถัดไปด้วยเกณฑ์เดียวกัน	ความหนาของงานในลำดับถัดไปต่างจากงานก่อนหน้าน้อยที่สุด	- ลำดับงานเบื้องต้น - งานที่มีเวลาล่าช้า - เวลาล่าช้ารวม
3. การปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาความหนาเป็นหลัก	เลือกงานที่มีโอกาสทำให้เวลาล่าช้าหรือเวลาปรับตั้งลดลง จากนั้นนำไปแทรกตามตำแหน่งต่างๆของลำดับที่ไม่ทำให้เวลาปรับตั้งเพิ่มขึ้นจากเดิม	เวลาล่าช้ารวมและปริมาณเศษกระจกน้อยที่สุด	- ลำดับการผลิตความหนา - เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการผลิตแต่ละความหนา - เวลาล่าช้ารวม
4. การปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก	พิจารณาการปรับเพิ่ม-ลดความกว้างของงานทีละความหนาตั้งแต่ความหนาแรก ไม่ให้มีการกระโดดไปมา	เวลาล่าช้ารวมน้อยที่สุด	- ลำดับงานในแต่ละความหนา - เวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการผลิตของแต่ละงาน - เวลาล่าช้ารวม - ปริมาณเศษกระจกทั้งหมดจากการจัดลำดับ



รูปที่ 3.7 ภาพรวมแนวคิดและการตัดสินใจในกระบวนการวางแผนการผลิต

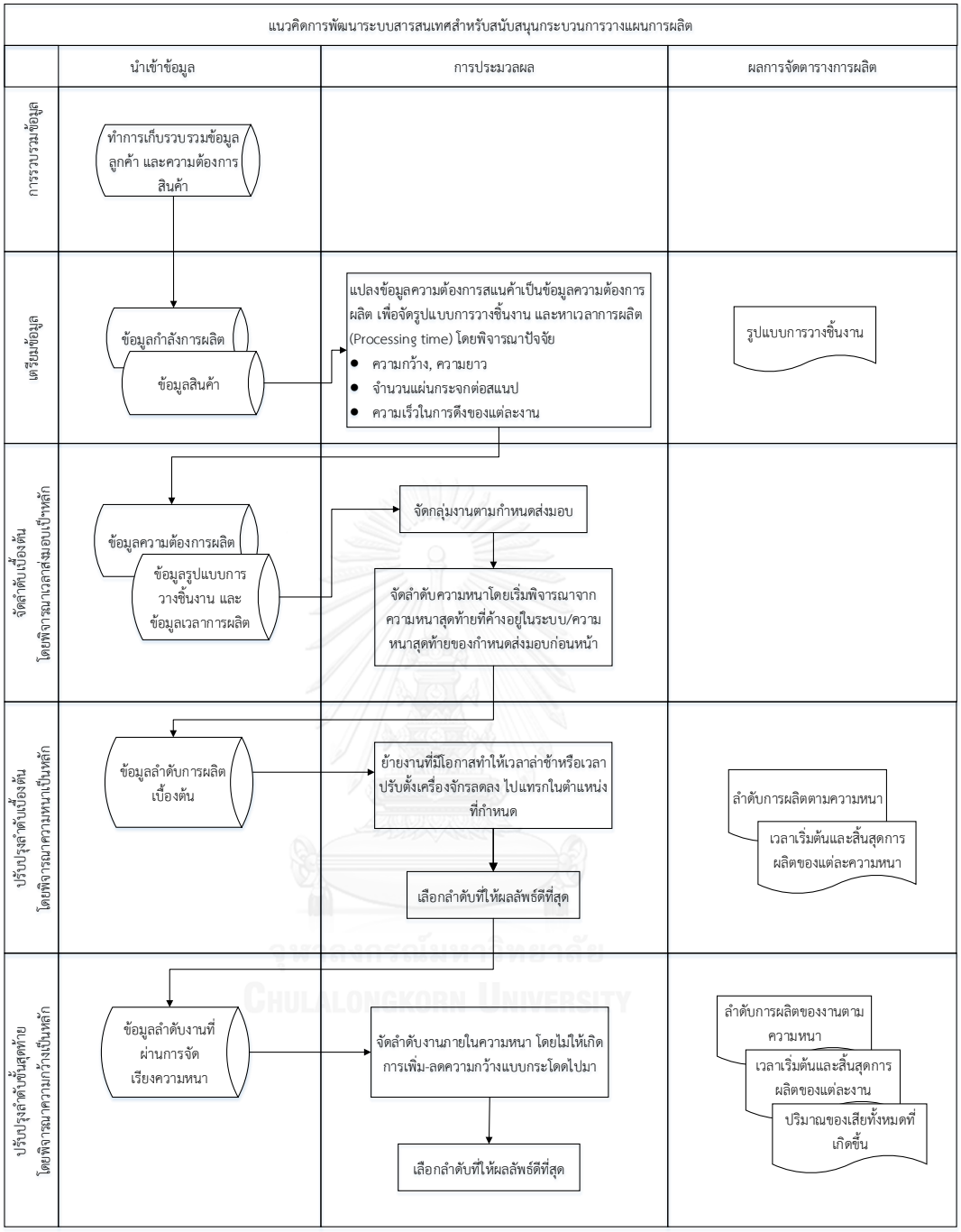
3.2.2 แนวคิดระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

ระบบสารสนเทศ (Management Information system) เป็นระบบที่ใช้ความเชื่อมโยงกันของข้อมูลทั้งข้อมูลความต้องการและข้อมูลของผู้ผลิต เพื่อสนับสนุนการทำงานของกระบวนการวางแผนการผลิตที่พัฒนาขึ้น โดยแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิตนี้ จะมีส่วนช่วยสนับสนุนการดำเนินงานของกระบวนการตัดสินใจวางแผนการผลิต และสะดวกต่อการนำไปใช้งานจริงในอุตสาหกรรม

ระบบสารสนเทศสำหรับวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. ส่วนนำเข้าข้อมูล ประกอบด้วย
   - ข้อมูลความต้องการสินค้า ระบุ รายละเอียดของลูกค้า และความต้องการสินค้า
   - รายละเอียดข้อมูลสินค้า ระบุ ขนาดสินค้า และชนิดของสินค้าที่จะนำกระจกแผ่นเรียบไปผลิต เช่น กระจกชนิดลามิเนต กระจกชนิดเทมเปอร์ เป็นต้น
   - ข้อมูลความต้องการผลิต ระบุ รายละเอียดของสแนป ความเร็ว และระยะเวลาการผลิต
   - ข้อมูลกำลังการผลิตหรือระบบการผลิต ระบุ ความสามารถในการทำงานของเครื่องจักร เช่น ความจุของเตาหลอม ความเร็วการดึง เป็นต้น
   - ข้อมูลลำดับการผลิต ระบุ ลำดับของงานที่ผ่านกระบวนการวางแผน
2. ส่วนประมวลผล เป็นส่วนที่ทำการวิเคราะห์และประมวลผล เพื่อให้สามารถจัดลำดับการผลิตได้ตามวัตถุประสงค์ด้วยกระบวนการวางแผนที่พัฒนาขึ้น
3. ส่วนแสดงผลการจัดตารางการผลิต ประกอบด้วย
   - รูปแบบการวางชิ้นงาน
   - ลำดับการผลิต ระบุ เวลาเริ่มต้น และสิ้นสุดการผลิต
   - ปริมาณเศษกระจกในระบบการผลิต

ผลลัพธ์ที่ได้จากสารสนเทศจะออกมาในรูปแบบของกระบวนการทำงาน ฐานข้อมูล หน้าจอการทำงาน และ เอกสาร/รายงาน ซึ่งแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิต

ระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตที่พัฒนาขึ้นอยู่ภายใต้สมมติฐาน ดังนี้

1. ระบบการผลิตที่สนใจเป็นระบบการผลิตที่มีสายการผลิตเดียว โดยเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนสิ้นสุดกระบวนการผลิต

2. ความเร็วในการผลิตตั้งแต่เริ่มการดึงขึ้นรูปตามแนวการไหลจนสิ้นสุดกระบวนการผลิต เป็นความเร็วในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน
3. ไม่มีการแยกล็อตการผลิต กล่าวคือ หากมีความต้องการผลิตกระจกขนาด 40in. x 30 in. x 2 mm. จำนวน 1000 แผ่น จะดำเนินการผลิตทั้ง 1000 แผ่นจนครบแล้วเริ่มผลิตกระจกขนาดอื่นต่อไป จะไม่แยกผลิตเป็น 500 แผ่น จำนวน 2 ครั้ง หรือไม่แยกผลิตเป็น 700 แผ่นและ 300 แผ่น เป็นต้น
4. การวางแบบชิ้นงานไม่สามารถวางชิ้นงานหลายขนาดลงในสแนปเดียวได้ กล่าวคือ ใน 1 สแนป จะมีการวางแบบชิ้นงานเพียง 1 งาน เท่านั้น และไม่สามารถผลิตสแนปหลายขนาดสลับกัน
5. อัตราการผลิต (Production rate) กระจกที่มีขนาดเดียวกันอาจแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการวางชิ้นงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
กระบวนการตัดสินใจสำหรับการสร้างแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายรายละเอียดของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบ เพื่อป้อนให้กับโรงงานผลิตกระจก ซึ่งมีลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่อง มีการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า และมีเศษกระจกเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยนำเสนอขั้นตอนการตัดสินใจที่จะนำไปสู่ผลลัพธ์การวางแผนที่ดี รายละเอียดในหัวข้อนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ด้วยกัน คือ

1. ข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการผลิต
2. กระบวนการตัดสินใจ

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิต

การจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าที่ถูกต้องเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการวางแผนการผลิตแบบต่อเนื่อง เนื่องจากหากมีการจัดเตรียมข้อมูลที่ไม่ดีหรือคลาดเคลื่อนจะส่งผลให้การตัดสินใจผิดพลาด และกระทบต่อการผลิต

ข้อมูลนำเข้าที่นำไปใช้ในการวางแผน จากแนวคิดการแผนการผลิตในส่วนขั้นตอนการจัดเรียงความหนามีโครงสร้างข้อมูล ดังนี้

1. ข้อมูลความต้องการสินค้า รายละเอียดของข้อมูลประกอบด้วย
    - รหัสสินค้า/งาน
    - ขนาดสินค้า ซึ่งระบุใน 3 มิติ คือ ความกว้าง ความยาว และความหนา มีหน่วยเป็นนิ้วและมิลลิเมตร
    - ปริมาณสินค้า มีหน่วยเป็นแผ่น
    - เวลาในการส่งมอบสินค้า มีหน่วยเป็นวันและเวลา

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างตารางข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับสินค้าและกำหนดส่งมอบ

job	Width (in.)	Length (in.)	Thickness (mm.)	Amount (sheet)	Due date	
					date	time
1	100	100	5	3500	07/02/2559	15.00
2	100	50	5	4000	07/02/2559	16.00

2. ข้อมูลกำลังการผลิตที่มีผลกระทบต่อการจัดลำดับ ประกอบด้วย

2.1 ข้อมูลกระบวนการดึงขึ้นรูป

- ขนาดสูงสุดที่ทำการดึงขึ้นรูปได้
- อัตราการปรับเปลี่ยนทั้งการเพิ่มและลด ของความหนาและความกว้าง มีหน่วยเป็นเมตรต่อชั่วโมง
- อัตราการดึงน้ำกระจก มีหน่วยเป็นเมตรต่อชั่วโมง
- ปริมาณน้ำกระจก มีหน่วยเป็นตันต่อวัน
- รหัสงานสุดท้ายที่ค้างอยู่ในระบบ

2.2 ข้อมูลกระบวนการตัด

- จำนวนแผนกระจกที่สามารถตัดได้ในแนวตามการไหลและแนวขวางการไหล มีหน่วยเป็นแผ่นต่อสแนปและขนาดต่อแสนปตามลำดับ

2.3 ข้อมูลกระบวนการจัดเก็บ

- ความเร็วในการจัดเก็บโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็นวินาทีต่อแผ่น
- จำนวนช่องเก็บทั้งช่องเก็บกระจกขนาดเล็ก และช่องเก็บกระจกขนาดใหญ่ มีหน่วยเป็นช่อง และระบุขนาดที่จำกัดของช่องจัดเก็บแต่ละขนาด

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างตารางข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิต

Station	Information			Note
1. Drawing	Width	100 - 360	inch	
	Thick	0.008 – 0.48	inch	
	Speed	0 – 20000	inch / hr.	
	Width expand rate	10	inch / hr.	
	Width shrink rate	20	inch / hr.	
	Thick change rate	0.024	inch / hr.	
	Pull rate	1	T. / day	
	No. of last job	12		
2. Cutting	X - Cut	10	Sheet per snap	
	Y - Cut	1	Sheet type per snap	
3. Collecting	Collecting speed	10	Sec per Sheet	
	Small branch	4	branch	length ≤100 inch
	Big branch	1	branch	length >100 inch

4.2 กระบวนการตัดสินใจในการสร้างแผนการผลิต

กระบวนการตัดสินใจของระบบสนันสนุนการวางแผนผลิตกระจกแผ่นเรียบ เป็นกระบวนการจัดลำดับที่พิจารณาเฉพาะงานที่มีความต้องการผลิตเท่านั้น โดยจะพิจารณาเลือกลำดับที่มีความเหมาะสมผ่านการพิจารณาด้วยกระบวนการ 4 ขั้นตอน คือ

1. การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับจัดทำแผนการผลิต
2. การจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก
3. การปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเฉพาะความหนา
4. การปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาเฉพาะความกว้าง

ขั้นตอนทั้ง 4 จะมีการทำงานที่สัมพันธ์กัน โดยมีการตัดสินใจที่คำนึงถึงเงื่อนไขของระบบการผลิต ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการผลิต ดังนี้

ตารางที่ 4.3 คำศัพท์เฉพาะที่ใช้อธิบายการวางแผนการผลิตและความหมาย

คำศัพท์	ความหมาย
ขนาด (Size)	ความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นกระจกที่ลูกค้ากำหนด
รูปแบบการวางชิ้นงาน หรือการวางแบบชิ้นงาน (Layout)	ลักษณะการจัดเรียงของแผ่นกระจกในแสนป โดยพิจารณาความกว้างและความยาวของแผ่นกระจกขนาดต่างๆให้สามารถวางแบบให้อยู่ในความกว้างของกระจกที่ผ่านการดึงขึ้นรูป
สแนป (Snap)	ขนาดของแผ่นกระจกที่เกิดจากการตัดตามขวาง
ช่องเก็บและบรรจุ (Branch)	ส่วนที่มีการเก็บบรรจุแผ่นกระจกที่ผ่านการตัดเรียบร้อยแล้ว
จุดสูงสุด (Maximum point)	เซตของงานที่มีความกว้างหรือความหนาสูงสุด เมื่อเทียบกับงานที่ผลิตก่อนและหลังเซตของงานนั้น
จุดต่ำสุด (Minimum point)	เซตของงานที่มีความกว้างหรือความหนาต่ำสุด เมื่อเทียบกับงานที่ผลิตก่อนและหลังเซตของงานนั้น
ความกว้างสูงสุด (Maximum ribbon width)	ความกว้างสูงสุดของแผ่นกระจกบนที่สามารถไหลไปตามสายพานลำเลียง เป็นความกว้างสูงสุดที่รวมระยะขอบ
ความเร็วฟีด (Feed speed)	ความเร็วในการดึงน้ำกระจกตามแนวการไหล

ตารางที่ 4.3 คำศัพท์เฉพาะที่ใช้อธิบายการวางแผนการผลิตและความหมาย (ต่อ)

คำศัพท์	ความหมาย
เวลาหย่อน (Slack time)	เวลาที่เหลือก่อนส่งมอบ คำนวณจาก เวลาหย่อน = กำหนดส่งมอบ – (เวลาเริ่มผลิต + ระยะเวลาผลิตสินค้า)
ระยะขอบ (Edge)	ขอบกระจกแต่ละด้านที่ถูกกำหนดว่าจะต้องตัดทิ้ง เนื่องจากเป็นส่วนที่เกิด Edge loss มีการกำหนดความกว้างคงที่ และมีความยาวตลอดแนวการผลิต
เซตความหนา	เซตของงานที่มีความหนาเดียวกันและผลิตต่อกัน
เวลาล่าช้ารวม (Tardiness)	เวลาล่าช้าของงานทุกงานที่นำมาจัดลำดับ

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวางแผนการผลิตและความหมาย

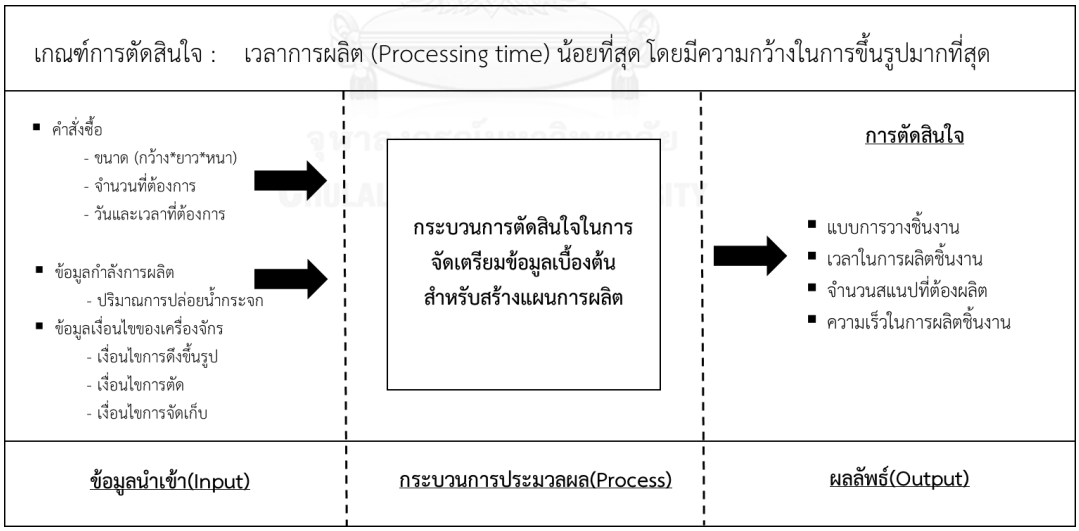
พารามิเตอร์	ความหมาย
a	ความกว้างของแผ่นกระจกที่ลูกค้ากำหนด
X	จำนวนแผ่นกระจกใน 1สแนป
d_i	กำหนดส่งมอบงานลำดับที่ i
i	จำนวนนับที่เป็นสมาชิกของเซต {0, 1, 2, 3, ..., n}
T_i	ความหนาลำดับที่ i
W_i	ความกว้างลำดับที่ i
$W_{min(T_i, T_{i+1})}$	ความกว้างของความหนาน้อยที่สุดระหว่างความหนาที่ i กับความหนาที่ i+1
$W_{max(T_i, T_{i+1})}$	ความกว้างของความหนามากที่สุดระหว่างความหนาที่ i กับความหนาที่ i+1
$\Delta T, \Delta W$	ผลต่างของความหนา และผลต่างของความกว้าง
ν_T	ความเร็วในการเพิ่มหรือลดความหนา
ν_W	ความเร็วในการเพิ่มหรือลดความกว้าง
ν_f	ความเร็วในการดึงน้ำกระจกตามแนวการไหล (ความเร็วฟีด) ในสมการคำนวณจะมีค่าเท่ากับ ความเร็วเฉลี่ยในการปรับเปลี่ยนความหนาและความกว้างระหว่าง 2 งาน
t_T	ระยะเวลาการเปลี่ยนความหนา

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวางแผนการผลิตและความหมาย (ต่อ)

พารามิเตอร์	ความหมาย
$ending\ time_i$	เวลาสิ้นสุดการผลิตของงานลำดับที่ i
$setup\ time_{i-1,i}$	เวลาปรับตั้งค่าเครื่องจักรจากงานลำดับที่ i-1 เพื่อทำการผลิตงานลำดับที่ i
$processing\ time_i$	ระยะเวลาในการผลิตงานลำดับที่ i

4.2.1 การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับสร้างแผนการผลิต

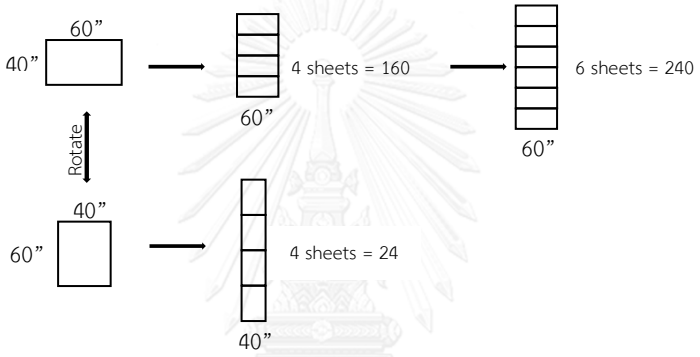
ขั้นตอนการตัดสินใจวางแผนการผลิตจำเป็นต้องมีการเตรียมข้อมูลให้พร้อม โดยข้อมูลที่รับเข้ามาในระบบยังไม่พร้อมที่จะนำไปใช้งาน จึงต้องทำการแปลงให้ข้อมูลความต้องการผลิตก่อน ซึ่งการจัดเตรียมข้อมูลนี้จะบอกได้ว่าควรดึงขึ้นรูปที่ความกว้างเท่าใด และจะผลิตความกว้างนี้ไปนานเท่าไหร่ นอกจากนี้ยังสามารถบอกได้ว่าแต่ละงานต้องทำการผลิตทั้งหมดกี่สแนป จำนวนแผ่นกระจกในสแนปควรเป็นเท่าใด จึงจะได้ครบตามจำนวนความต้องการ และงานแต่ละงานต้องใช้เวลาผลิตนานเท่าใด โดยกระบวนการตัดสินใจในขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลมีการรับข้อมูล และการประมวลผลด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กระบวนการตัดสินใจในการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับสร้างแผนการผลิต

ข้อมูลของสินค้าที่รับเข้ามาประกอบด้วยด้านกว้าง ด้านยาว จำนวนและเวลาที่ต้องการ สำหรับด้านกว้างและด้านยาวนั้นจะนำมาหาแบบการวางชิ้นงาน โดยสามารถวางแบบกลับไปมาได้ ดังรูปที่ 4.2 การคำนวณหารูปแบบการวางชิ้นงานที่เหมาะสม จึงใช้แนวคิดที่ว่ายิ่งในสแนปมีจำนวน

แผ่นกระจกมาก ความกว้างของสแนปยิ่งมาก ยิ่งใช้เวลาผลิตน้อย ดังสมการที่ 1 และหากมีความเร็วที่ใช้ดึงหรือความเร็วฟีดมากก็จะยิ่งช่วยให้เวลาผลิตสั้นขึ้นอีก ซึ่งความเร็วฟีดนี้เป็นค่าที่คำนวณได้จากการกำหนดปริมาณน้ำกระจกที่ปล่อยออกมา ดังสมการที่ 2 แต่เนื่องจากการเก็บบรรจุกระจกแต่ละครั้งมีการจับยกกระจก แล้ววางลงบนพัลเล็ท (Pallet) ทำให้เกิดรอบเวลาทำงาน (Cycle time) ที่อาจไม่เร็วเท่ากับความเร็วฟีด หรืออาจกล่าวได้ว่าความเร็วฟีดถูกจำกัดด้วยความเร็วในการเก็บบรรจุ ดังนั้นการวางแบบของชิ้นงานจึงต้องพิจารณารอบการเก็บด้วย โดยจะเลือกแบบการวางชิ้นงานที่มีเวลาผลิตน้อยที่สุด เมื่อใช้ความเร็วฟีดที่ได้จากการคำนวณด้วยรอบการเก็บหรือปริมาณการปล่อยน้ำกระจก ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะถูกแปลงให้อยู่ในหน่วยนิ้วและชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการวางแผนการผลิตและการปฏิบัติงานแสดงดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการวางแบบที่ทำให้ความกว้างของสแนปแตกต่างกัน

- การคำนวณจำนวนแผ่นกระจกต่อสแนปได้จากสมการต่อไปนี้

$$a\,X \;\leq\; maximum\,ribbon\,width \;-\; (2 \times controlled\,edge)$$

สมการที่ 1

โดยที่ a คือ ความกว้างของแผ่นกระจก

X คือ จำนวนแผ่นกระจกต่อสแนป

- ความเร็วฟีดคำนวณได้จากพารามิเตอร์ความหนา ความกว้าง ปริมาณน้ำกระจก และค่าความหนาแน่นของน้ำกระจก (3700 kg/m^3; Smith, Alphers W.) คือ

$$\text{ความเร็วฟีด} = \frac{\text{ปริมาตรน้ำกระจกในหนึ่งวัน}}{\text{ความหนา} \times \text{ความกว้าง} \times \text{ความหนาแน่นของน้ำกระจก}}$$

สมการที่ 2

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการผลิตและการปฏิบัติงาน

Due date (yyy.mm.dd)	Pull (ton/day)	job	Width (in.)	Length (in.)	Thickness (in.)	Sheet/snap	Snap	Ribbon Width (in.)	Ribbon length (in.)	Feed speed (in./hr.)	Processing time (min.)	Used branch
2559.05.09	250	7	56	97	0.13	2	4824	120	467928	196.65	12380	4
	250	4	104	67	0.118	1	8245	112	552415	233.32	2368	4
2559.05.10	250	8	49	41	0.083	2	20129	106	825289	328	2517	4
2559.05.11	250	14	49	32	0.079	2	28939	106	926048	256	3618	4
2559.05.14	250	1	58	55	0.079	2	13959	124	767745	312.45	2458	4
2559.05.15	250	2	64	51	0.083	2	13109	136	668559	269.51	2481	4

รายละเอียดของข้อมูลสินค้าและความสามารถของระบบการผลิตจะถูกแปลงเป็นความต้องการผลิต เพื่อความสะดวกต่อการนำไปใช้ในขั้นตอนการวางแผนการผลิตและการปฏิบัติงาน ในตารางที่ 4.5 มีรายละเอียดประกอบด้วย

- กำหนดส่งมอบ (Due date)
- ปริมาณน้ำกระจกที่ใช้ (Pull rate)
- รหัสงาน
- ความกว้าง ความยาว และความหนาของแบบชิ้นงาน (Width x Length x Thickness)
- จำนวนแผ่นกระจกต่อสแนป (Sheet/Snap)
- จำนวนสแนป (Snap)
- ความกว้างที่ต้องดึงขึ้นรูป (Ribbon width)
- ความยาวในการผลิตต่อรหัสงาน (Ribbon length)
- ความเร็วในการดึงน้ำกระจก (Feed speed)
- ระยะเวลาการผลิตต่อรหัสงาน (Processing time)
- จำนวนช่องเก็บที่ใช้ (Used branch)

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น

กำหนดให้
- ความต้องการในการปล่อยน้ำกระจกต่อวัน คือ 250 ตันต่อวัน
- ความกว้างที่สามารถดึงขึ้นรูปได้โดยไม่รวมขอบสำหรับตัด คือ 100 นิ้ว ถึง 150 นิ้ว
- ความเร็วในการดึงน้ำกระจกไม่เกิน 1,000 เมตร/ชั่วโมง (656.17 นิ้ว/นาที)
- ช่องเก็บบรรจุกระจกมี 4 ช่อง แต่ละช่องมีความเร็วในการเก็บ คือ 15 วินาทีต่อแผ่น
- ความต้องการในการผลิตแสดงดังรูปที่ 4.3 โดยงานเริ่มต้นคือ งานที่ค้างอยู่ในระบบก่อนทำการวางแผนการผลิต มีความกว้างและยาวของสแนปเท่ากับ 128 x 53 นิ้ว และชนิด 0 หมายถึง กระจกรถยนต์ ชนิด 1 หมายถึง กระจกแผ่นเรียบทั่วไป

งาน	กว้าง (นิ้ว)	ยาว (นิ้ว)	หนา (มิลลิเมตร)	จำนวน (แผ่น)	กำหนดส่ง (วันที่)	ชนิด
เริ่มต้น	64	53	10	1	0	1
1	58	55	2	27918	7	1
2	64	51	2.1	26217	9	0
3	57	45	1.8	39428	10	0
4	104	67	3	8245	12	1
5	47	44	2	43952	14	0

รูปที่ 4.3 ข้อมูลความต้องการผลิตสำหรับตัวอย่างที่ 1

การคำนวณหาแบบการวางชิ้นงานเริ่มจากพิจารณารหัสงานที่ 1 ขนาด 58 x 55 x 0.079 นิ้ว จำนวน 27,918 แผ่น เป็นกระจกชนิดกระจกทั่วไป จึงสามารถหาแบบการวางชิ้นงานได้จากการหมุนแผ่นกระจกเพื่อหาด้านกว้างและด้านยาว ด้วยขนาดของสินค้าที่กำหนด หากให้ด้านกว้างเป็น 58 นิ้ว จะมีความกว้างของสแนปเท่ากับ 116 นิ้ว (กระจก 2 แผ่นต่อสแนป) และต้องทำการผลิตทั้งหมด 13,959 สแนป โดยสามารถคำนวณจำนวนแผ่นกระจกต่อสแนปได้จาก

$$58\,X \leq 150-(2\times 4)$$

$X \leq 2$ แผ่น ; X = จำนวนแผ่นกระจกต่อสแนปเมื่อความกว้างเป็น 58 นิ้ว

จากปริมาตรการปล่อยน้ำแก้ววันละ 250 ตัน เป็นเวลา 30 วัน ความหนา 0.079 นิ้ว หากทำการดึงขึ้นรูปที่ความกว้าง 116 นิ้ว จะใช้ความเร็วฟีด 312.46 นิ้ว/นาที โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ความเร็วฟีดที่ความกว้าง 116 นิ้ว} = \frac{250\ \text{T} \times 1\ m.^3}{24\ hr.\times 60\ min.\times 0.079\ in.\times 116\ in.\times 3.7\ kg.}$$

$$= 312.46 \quad \text{in./min.}$$

แต่หากพิจารณาความเร็วในการเก็บกระจกเทียบกับความเร็วฟีดพบว่าในเวลา 60 วินาที สามารถเก็บกระจกได้ 4 แผ่น หรือ 2 สแนป และเนื่องจากมีช่องเก็บกระจกทั้งหมด 4 ช่อง จึงสามารถเก็บกระจกได้ 16 แผ่น (8 สแนป) แสดงว่าความเร็วฟีดสูงสุดที่ยังสามารถเก็บทันเท่ากับ 440 นิ้ว/นาที (คำนวณจาก 8 x 55) ซึ่งมากกว่าความเร็วฟีดที่คำนวณจากความสามารถในการดึงน้ำแก้ว ดังนั้นสแนปขนาด 116 x 55 นิ้ว จะมีความเร็วฟีดเท่ากับ 312.45 นิ้ว/นาที และใช้เวลาผลิต 40.95 ชั่วโมง (คำนวณจาก $\frac{13959 \times 55}{312.45 \times 60}$)

พิจารณาเช่นเดียวกันนี้เมื่อกำหนดด้านกว้างเป็น 55 นิ้ว พบว่าขนาดของสแนปเท่ากับ 110 x 58 นิ้ว โดยต้องทำการผลิตทั้งหมด 13,959 สแนป ด้วยความเร็ว 329.49 นิ้ว/นาที ซึ่งจะใช้เวลาผลิตทั้งหมด 40.95 ชั่วโมง จะเห็นว่าสแนปที่เกิดจากการวางแบบชิ้นงานทั้ง 2 แบบ ใช้เวลาผลิตเท่ากัน แตกต่างกันที่ขนาดและความเร็วที่ผลิต ซึ่งแบบการวางชิ้นงานที่มีความกว้างของสแนปมากที่สุดจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด งานที่ 1 จึงเลือกแบบการวางชิ้นงานที่มีสแนปขนาด 116 x 55 นิ้ว เมื่อพิจารณาครบทุกงานจะได้ข้อมูลเบื้องต้นดังรูปที่ 4.4

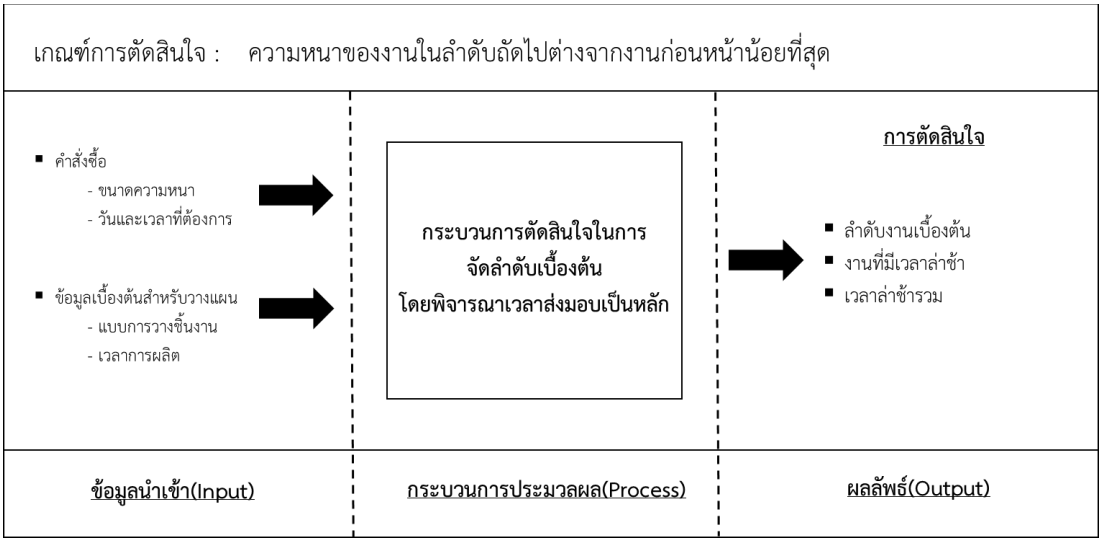
งาน	กำหนดส่ง (นาที)	กว้าง (นิ้ว)	ยาว(นิ้ว)	หนา (นิ้ว)	ชนิด	ความกว้างของสแนป (นิ้ว)	จำนวนกระจก (แผ่น/สแนป)	จำนวนสแนป	ความเร็วฟีด (นิ้ว/นาที)	ระยะเวลาผลิต	
										ชั่วโมง	นาที
เริ่มต้น	0	64	53	0.394	0	128	2	0	56.77	0	0
1	10080	58	55	0.079	0	116	2	13959	312.45	40.95	2457.18
2	12960	64	51	0.083	0	128	2	13109	269.51	41.34	2480.65
3	14400	57	45	0.071	0	114	2	19714	353.76	41.8	2507.72
4	17280	104	67	0.118	1	104	1	8245	233.32	39.46	2367.63
5	20160	47	44	0.079	0	141	3	14651	234.65	45.79	2747.26

รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ข้อมูลเบื้องต้นในตัวอย่างที่ 1

4.2.2 การจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก

เนื่องจากเวลาส่งมอบมีความสำคัญที่สุดต่ออุตสาหกรรมการผลิต จึงจัดลำดับเบื้องต้นโดยคำนึงถึงเวลาส่งมอบเป็นสำคัญ โดยการจัดลำดับเบื้องต้นมีการประมวลผลด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.5

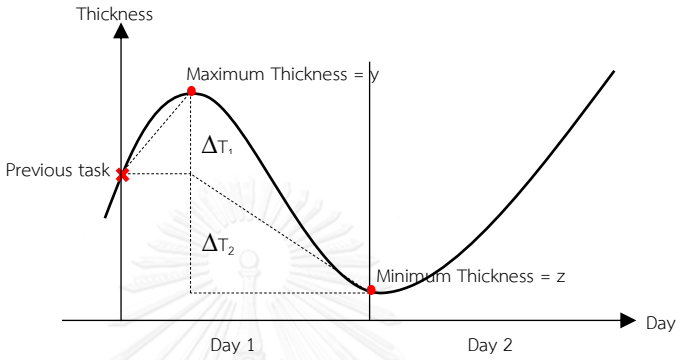
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



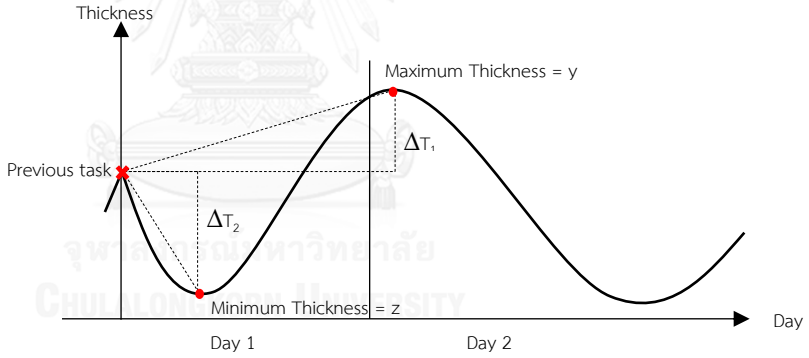
รูปที่ 4.5 กระบวนการตัดสินใจในการจัดลำดับเบื้องต้นโดยพิจารณาความหนาเป็นหลัก

แนวทางการจัดลำดับเบื้องต้นโดยพิจารณาความหนาเป็นหลัก จะจัดงานตามเวลาส่งมอบด้วยหลักการส่งก่อนทำก่อน (Early due date) แต่เนื่องจากภายในกำหนดเวลาส่งมอบเดียวกันนี้อาจจะมีหลายงานที่มีความหนาเดียวกัน จึงต้องมีการจัดลำดับความหนาอีกครั้งหนึ่งเพื่อช่วยลดการปรับตั้งค่า ลำดับนี้จะเริ่มพิจารณาการเลือกงานถัดไปจากงานที่ถูกจัดลำดับไปแล้ว โดยเลือกงานที่มีความหนาต่างน้อยที่สุดจากความหนาก่อนหน้า

a.



b

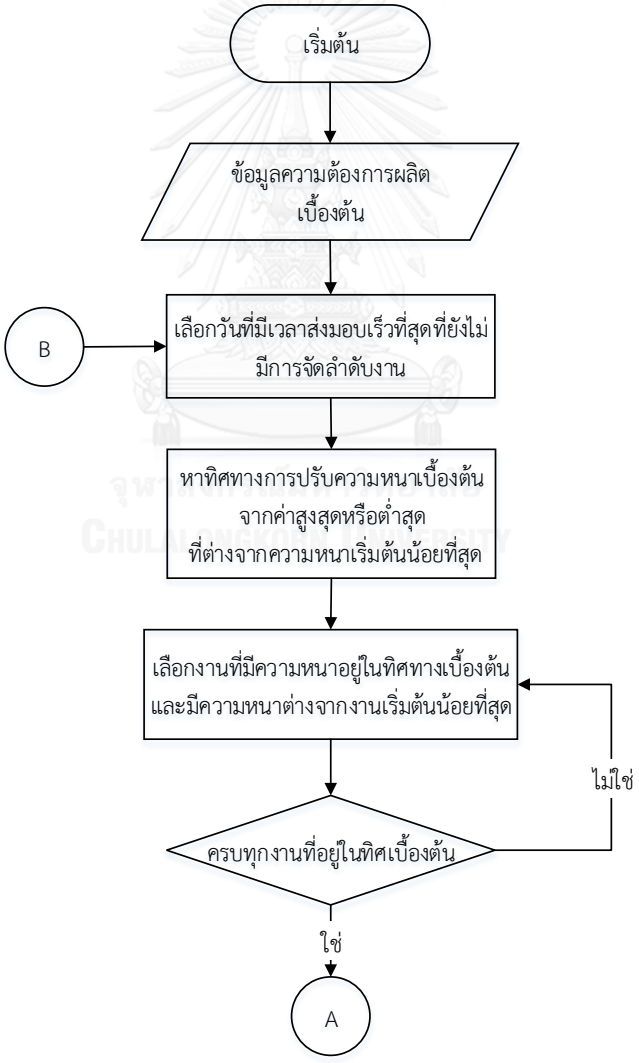


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความหนาที่ต้องมีการปรับเปลี่ยน

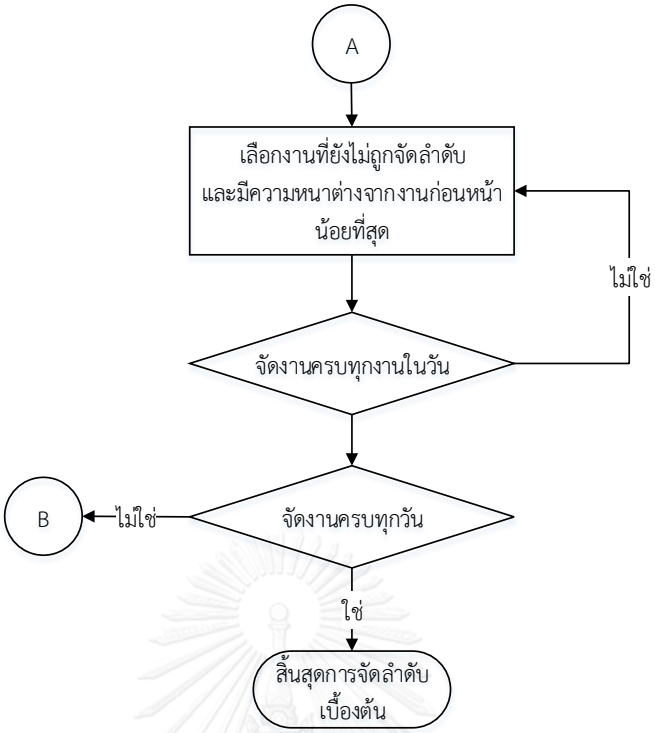
จากรูปที่ 4.6 เส้นโค้งคือความหนาที่ต้องทำการผลิตในแต่ละวัน จะเห็นว่าวันที่ 1 มีความหนาสูงสุดเท่ากับ y และความหนาต่ำสุดเท่ากับ z ก่อนเริ่มวันที่ 1 มีงานก่อนหน้าที่ความหนามากกว่า z แต่น้อยกว่า y ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นความหนาเริ่มต้นในการเลือกงานถัดไป ในรูปที่ 4.6 (a.) เมื่อพิจารณาผลต่างความหนาเริ่มต้นกับจุดสูงสุด และความหนาเริ่มต้นกับจุดต่ำสุดของวันแรกพบว่าความหนาเริ่มต้นต่างจากค่า z น้อยกว่าค่า y นั่นคือ $\Delta T_1 < \Delta T_2$ หากในวันแรกมีการปรับความหนาสู่ค่า y ก่อนเมื่อต้องวกกลับมาที่ค่า z จะผ่านความหนาเดิมที่ผลิตไปแล้วด้วยระยะเวลาที่ขึ้นกับ $2\Delta T_1 + \Delta T_2$ แต่หากปรับความหนาสู่ค่า z ก่อน ดังรูปที่ 4.6 (b.) เมื่อวกกลับไปที่จุดสูงสุดจะต้องผ่านความ

หนาเดิมที่ผลิตไปแล้วด้วยระยะเวลาที่ขึ้นกับ $\Delta T_1 + 2\Delta T_2$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะเวลาการปรับตั้งเพิ่มขึ้นจากการปรับความหนาแบบแรก และทำให้เวลาการผลิตงานอื่นยืดออกไป

การเลือกทิศทางการปรับความหนานี้จึงมีสำคัญต่อลำดับงานเบื้องต้น ดังนั้นควรเลือกทิศทางการปรับความหนาไปยังจุดสูงสุดหรือต่ำสุด ที่ให้ค่าผลต่างความหนาเทียบกับความหนาของงานก่อนหน้าน้อยที่สุด จากนั้นจัดลำดับงานที่มีความหนาอยู่ระหว่างทิศทางการปรับความหนานั้นโดยเลือกงานที่มีความหนาต่างจากความหนาของงานก่อนหน้าน้อยที่สุดมาจัดเป็นงานลำดับต่อไปจนครบแล้วจึงเลือกงานที่เหลืออยู่มาจัดลำดับต่อด้วยวิธีเดียวกับการจัดลำดับงานในทิศทางการปรับความหนา และพิจารณางานที่ต้องผลิตในวันถัดไปด้วยวิธีการเดียวกันนี้ กระบวนการจัดลำดับเบื้องต้นสามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก



รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก (ต่อ)

การคำนวณเศษกระจกทั้งหมดที่เกิดขึ้นความหนาและความกว้างที่แท้จริงของงาน แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

1. การปรับความหนาใช้เวลานานกว่าการปรับความกว้าง

$$\text{เศษกระจก} = \frac{\nu_f}{2}\left[\begin{array}{l}\frac{min(W_i,W_{i+1})(T_i+T_{i+1})|\Delta T|}{\nu_T} \\ + \frac{\Delta W^2}{\nu_W}\left[min(T_i,T_{i+1}) + \frac{\nu_T\left(W_{min(T_i,T_{i+1})} - W_{max(T_i,T_{i+1})}\right)}{3\nu_W}\right]\end{array}\right]$$

สมการที่ 3

2. การปรับความกว้างใช้เวลานานกว่าการปรับความหนา

$$\text{เศษกระจก} = \frac{\nu_f}{2}\left[\begin{array}{l}\frac{min(W_i,W_{i+1})(T_i+T_{i+1})|\Delta T|}{\nu_T} \\ + \frac{T_{\min(W_i,W_{i+1})}}{\nu_W}\left(|\Delta W| - \frac{\nu_W|\Delta T|}{\nu_T}\right)^2 + \frac{|\Delta W|\Delta T^2}{\nu_T} - \frac{\nu_W|\Delta T|^3}{3\nu_T}\end{array}\right]$$

สมการที่ 4

สำหรับการปรับเปลี่ยนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างจะใช้สูตรคำนวณจากกรณีที่ 1 และหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาจะใช้สูตรคำนวณจากกรณีที่ 2 ในการคำนวณเศษกระจกทั้งหมดที่เกิดขึ้น ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งค่าและเวลาล่าช้าของงานสามารถคำนวณได้ดังนี้

1. เวลาปรับตั้งค่าความหนา

$$t_T = \frac{\Delta \mathrm{T}}{v_T}$$

สมการที่ 5

2. เวลาปรับตั้งค่าความกว้าง

$$t_W = \frac{\Delta \mathrm{W}}{v_W}$$

สมการที่ 6

3. เวลาล่าช้าของงาน

$$tardiness_i = d_i - (ending\ time_{i-1} + setup\ time_{i-1,i} + processing\ time_i)$$

สมการที่ 7

ถ้าเวลาล่าช้าของงานมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 แสดงว่าไม่มีเวลาล่าช้าเกิดขึ้น (Tardiness = 0) แต่หากมีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่างานนั้นเสร็จล่าช้ากว่ากำหนด โดยมีเวลาล่าช้าเท่ากับค่าติดลบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวอย่างที่ 2 การจัดลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก

สมมติข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากขั้นตอน 4.2.1 แสดงดังตารางในรูปที่ 4.8 โดยมีอัตราการเพิ่มและลดความหนาเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร/นาที อัตราการขยายความกว้างเท่ากับ 1 นิ้ว/นาที และอัตราการลดความกว้างเท่ากับ 2 นิ้ว/นาที

งาน	กำหนดส่ง (นาที)	หนา (มิลลิเมตร)	ความกว้างของสแนป (นิ้ว)	ความเร็วฟีด (นิ้ว/นาที)	ระยะเวลาผลิต (นาที)
เริ่มต้น	0	0.098	114	197.32	0
1	5760	0.087	118	278.91	3654.727
2	7200	0.087	130	253.16	3522.642
3	7200	0.087	128	196	4891.5
4	7200	0.394	106	68.55	3511.101
5	5760	0.197	129	112.67	3763.628
6	5760	0.083	128	269.51	3810.259
7	7200	0.091	117	268.93	3592.682
8	5760	0.071	98	272	5605.75
9	7200	0.083	117	294.85	3845.328
10	7200	0.071	114	353.76	3534.232

รูปที่ 4.9 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับจัดลำดับสำหรับตัวอย่างที่ 2

ในขั้นตอนการหาลำดับเบื้องต้นจะรับข้อมูลความต้องการผลิตเบื้องต้นดังรูปที่ 4.9 เมื่อพิจารณาจัดกลุ่มงานตามเวลาส่งมอบจะได้เซตของงาน 2 เซต คือ {1, 5, 6, 8} เป็นเซตของงานที่มีเวลาส่งมอบ 5,760 นาที และ {2, 3, 4, 7, 9, 10} เป็นเซตของงานที่มีเวลาส่งมอบ 7,200 นาที จากนั้นพิจารณางานทีละเซตเริ่มจากเซตที่มีเวลาส่งมอบน้อยที่สุด เพื่อเรียงงานในเซตตามความหนา

เลือกงานลำดับถัดไปที่จะผลิตต่อจากงานเริ่มต้นจากทิศทางการปรับความหนา ซึ่งในเซต {1, 5, 6, 8} มีงานที่ 5 มีความหนาสูงสุด (0.197 นิ้ว) และงานที่ 8 มีความหนาต่ำสุด (0.071 นิ้ว)

งานที่ 5 ต่างจากความหนาของงานเริ่มต้น = |0.0098 – 0.197| = 0.1872 นิ้ว

งานที่ 8 ต่างจากความหนาของงานเริ่มต้น = |0.0098 – 0.071| = 0.0612 นิ้ว

ดังนั้นจะเลือกงานลำดับถัดไปที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.098 - 0.071 นิ้ว (ทิศปรับลดความหนา) และเลือกงานที่มีความหนาต่างจากงานเริ่มต้นน้อยที่สุด คือ งานที่ 1 จากนั้นเลือกงานถัดไปอีกจากผลต่างความหนาที่น้อยที่สุดจะได้ลำดับงานดังนี้ {1, 6, 8, 5} มีความหนาเท่ากับ {0.087, 0.083, 0.071, 0.197}

ต่อมาพิจารณางานในเซต {2, 3, 4, 7, 9, 10} ด้วยวิธีแบบเดียวกับงานเซตแรก คือ มีงานที่ 4 มีความหนาสูงสุด (0.394 นิ้ว) และงานที่ 10 มีความหนาตค่ำสุด (0.071 นิ้ว) เลือกงานจากทิศทางการปรับความหนา

งานที่ 4 ต่างจากความหนาของงานก่อนหน้า = |0.197 – 0.394| = 0.197 นิ้ว

งานที่ 10 ต่างจากความหนาของงานก่อนหน้า = |0.197 – 0.071| = 0.126 นิ้ว

ดังนั้นจะเลือกงานที่อยู่ในทิศปรับลดความหนาก่อน เมื่อจัดงานครบทุกเวลาส่งมอบจะได้ลำดับงาน คือ 1, 6, 8, 5, 7, 2, 3, 9, 10, 4 โดยรหัสงานที่มีเวลาล่าช้า คือ 6, 8, 5, 7, 2, 3, 9, 10 และ 4 ดังรูปที่ 4.10

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน		1	6	8	5	7	2	3	9	10	4	
ความหนา (มม.)	0.098	0.087	0.083	0.071	0.197	0.091	0.087	0.087	0.083	0.071	0.394	
การปรับความหนา		-	-	-	+	-	-	0	-	-	+	
เวลาส่งมอบ (นาที)		5760	5760	5760	5760	7200	7200	7200	7200	7200	7200	
เวลาที่สิ้นสุดการผลิต (นาที)	0	3657.52	7468.79	13077.59	16873.20	20492.78	24016.44	28907.94	32754.28	36291.56	39884.64	
เวลาล่าช้า (นาที)		-	1,708.79	7,317.59	11,113.20	13,292.78	16,816.44	21,707.94	25,554.28	29,091.56	32,684.64	159,287.22
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)		7,287.80	3,997.32	9,118.25	95,216.04	87,783.15	4,779.20	19.54	2,893.11	8,729.43	459,070.37	678,894.21

รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์การจัดลำดับเบื้องต้นในตัวอย่างที่ 2

การคำนวณเวลาล่าช้าและปริมาณเศษกระจกจะต้องทราบเวลาในการปรับเปลี่ยนความหนาและความกว้างก่อน ตัวอย่างเช่น การปรับเปลี่ยนจากงานเริ่มต้นไปยังงานรหัสที่ 1 สามารถคำนวณเวลาได้จากสมการที่ 5 และ 6 ดังนี้

$$\text{เวลาในการปรับความหนา} = \frac{|0.098-0.087| \text{ in.}}{0.00394 \text{ in./min}} = 2.79 \text{ min}$$

$$\text{เวลาในการปรับความกว้าง} = \frac{|114-118| \text{ in.}}{1 \text{ in./min}} = 4 \text{ min}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อทราบเวลาในการปรับเปลี่ยนแล้วจะสามารถคำนวณเวลาล่าช้ารวมได้ โดยจะต้องคำนวณเวลาล่าช้าของแต่ละงานจากสมการที่ 7 ก่อน เช่น

จากสมการ $\text{Tardiness}_i = d_1 - (\text{ending time}_{i-1} + \text{setup time}_{i-1,i} + \text{processing time}_i)$

เวลาล่าช้าของงานรหัสที่ 1 $= d_1 - (\text{ending time}_0 + \text{setup time}_{0,1} + \text{processing time}_1)$

$$= 5{,}760 \text{ min} - \left(0 + \frac{|0.098-0.087| \text{ in.}}{0.00394 \text{ in./min}} + 3{,}654.727 \text{ min}\right)$$

$$= 2{,}102.483 \text{ min}$$

เนื่องจากค่าที่คำนวณได้เป็นค่าบวก แสดงว่ากำหนดส่งมอบมีเวลามากกว่า ดังนั้นเวลาล่าช้าของงานรหัสที่ 1 จึงเท่ากับ 0 และจะผลิตเสร็จเมื่อเวลา 3,657.52 นาที โดยคิดจาก $\text{ending time}_0 + \text{setup time}_{0,1} + \text{processing time}_1$

และเมื่อทราบเวลาในการปรับเปลี่ยนแล้วจะสามารถคำนวณเศษกระจกรวมได้ โดยจะต้องคำนวณเศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนแต่ละครั้งจากสมการที่ 3 และ 4 ตัวอย่างเช่น เศษกระจกจากการปรับเปลี่ยนเพื่อผลิตงานรหัสที่ 1 มีเวลาในการปรับความกว้างมากกว่าเวลาในการปรับความหนา ดังนั้นเศษกระจกจากการเปลี่ยนจากความหนาของงานเริ่มต้นไปยังงานที่ 1 จึงใช้สมการที่ 4 ในการคำนวณโดยให้ความหนาของงานเริ่มต้นเป็น T_i และ i = 0 มีเศษกระจกเท่ากับ

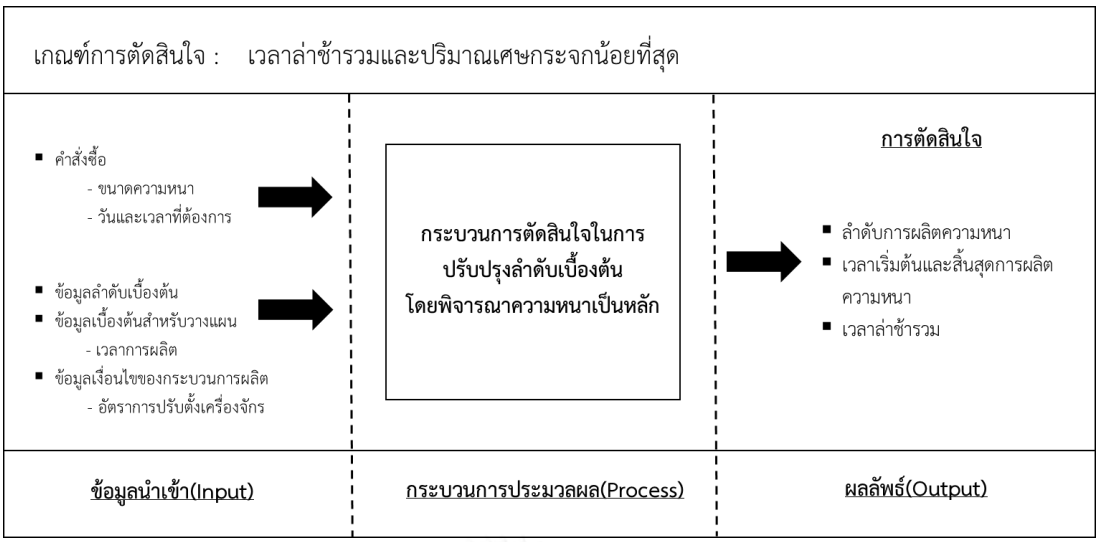
$$= \frac{197.32+278.91}{2*2}\left[\frac{114(0.098+0.087)|0.098-0.087|}{0.00394} + \frac{0.098}{1}\left(|114-118| - \frac{1*|0.098-0.087|}{0.00394}\right)^2 + \frac{|114-118||0.098-0.087|^2}{0.00394} - \frac{1|0.098-0.087|^3}{3*0.00394}\right]$$

= 7,287.8 ลบ.นิ้ว

การคำนวณเวลาล่าช้าและเศษกระจกของลำดับงานอื่นๆก็จะมีขั้นตอนการคำนวณเช่นเดียวกัน ซึ่งเมื่อรวมเวลาล่าช้าทั้งหมดแล้วจะได้ 2,654.8 ชั่วโมง (159,287.22 นาที) และมีเศษกระจก 678,894.21 ลบ.นิ้ว โดยการคำนวณในตัวอย่างต่อไปก็จะใช้วิธีการเดียวกันกับตัวอย่างนี้

4.2.3 ปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาความหนา

เนื่องจากเวลาการปรับตั้งค่านั้นมีผลเกี่ยวเนื่องกับเวลาส่งมอบและปริมาณเศษกระจก เวลาการปรับตั้งค่านี้เกิดจากการปรับความหนาที่ต่างกัน ดังนั้นการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นนี้จึงพิจารณาที่ความหนาเป็นหลัก โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการหาลำดับใหม่ให้กับงานที่สามารถปรับปรุงได้และทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีขึ้น วิธีการที่นำมาใช้คือวิธีการแทรกงาน (Insertion) โดยกระบวนการตัดสินใจในขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นมีการรับข้อมูล และการประมวลผลด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กระบวนการตัดสินใจในการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นโดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก

จากลำดับเบื้องต้นพบว่ามีการผลิตความหนาเดิมซ้ำกันหลายครั้ง และบางงานมีเวลาหย่อนมาก หมายถึงผลิตเสร็จก่อนถึงเวลาส่งมอบนาน (slack time > 0) แต่บางงานกลับไม่มีเวลาหย่อนเหลือเลย หมายถึงผลิตทันเวลาพอดีหรืออาจผลิตเสร็จหลังเวลาส่งมอบ (slack time ≤ 0) ซึ่งงานเหล่านี้สามารถย้ายไปผลิตเร็วขึ้นหรือช้าลงได้ จึงเป็นที่มาของแนวคิดการปรับปรุงลำดับด้วยวิธีการแทรกแบบเลื่อนไปข้างหน้าให้เริ่มผลิตช้าลง (Forward insertion) และแทรกแบบเลื่อนไปข้างหลังให้เริ่มผลิตเร็วขึ้น (Backward insertion)

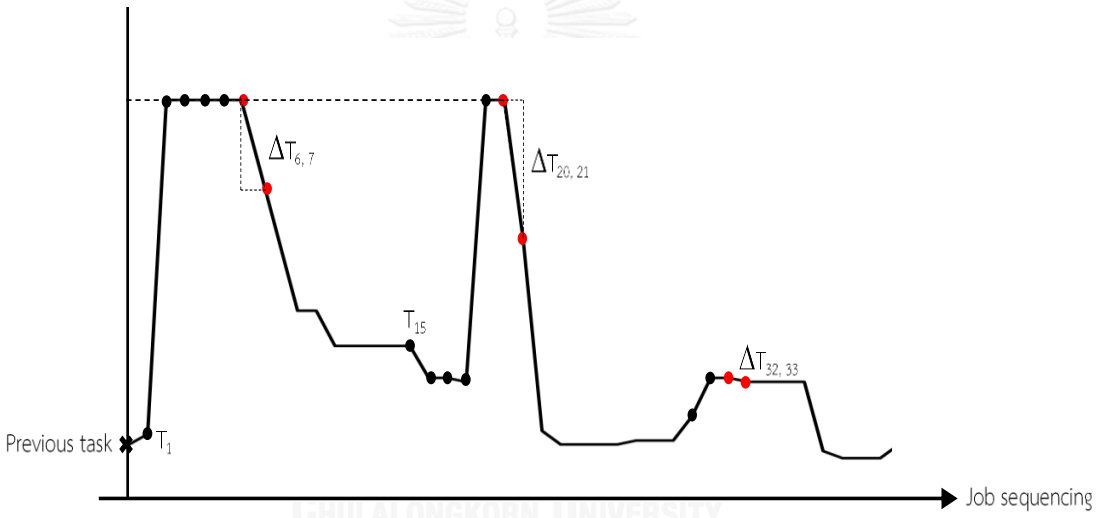
การเลือกงานที่จะถูกนำไปแทรก มีหลักการมาจากความต้องการลดเวลาล่าช้าและเวลาปรับตั้งค่าเครื่องจักร ดังนั้นงานที่ถูกเลือกจึงได้แก่

1. งานที่มีความหนาเป็นจุดสูงสุด หรือจุดต่ำสุด
2. งานสุดท้ายของลำดับ
3. งานที่มีเวลาส่งมอบล่าช้า

เมื่อเลือกงานได้แล้วจะพิจารณาตำแหน่งในการแทรกของทุกงาน ยกเว้นงานล่าช้า ทั้งแบบเลื่อนไปข้างหน้า (Forward) และเลื่อนไปข้างหลัง (Backward) ที่มีลักษณะดังนี้

1. ตำแหน่งที่งานลำดับก่อนหน้าหรืองานลำดับถัดไปมีความหนาเท่ากัน
2. ตำแหน่งที่งานลำดับก่อนหน้ามีความหนาน้อยกว่างานที่เลือก และงานลำดับถัดไปมีความหนามากกว่างานที่เลือก
3. ตำแหน่งที่งานลำดับก่อนหน้ามีความหนามากกว่างานที่เลือก และงานลำดับถัดไปมีความหนาน้อยกว่างานที่เลือก

สำหรับงานล่าช้าจะพิจารณาการแทรกแบบไปข้างหน้าเท่านั้น และแทรกทุกตำแหน่งที่อยู่ระหว่างความหนาเท่ากัน ซึ่งลำดับทั้งหมดที่เกิดจากการแทรกจะนับเป็น 1 รอบของการพัฒนาคำตอบ จากนั้นจึงหาลำดับที่เวลาส่งมอบล่าช้าน้อยที่สุดเป็นคำตอบสำหรับนำไปพัฒนารอบถัดไป หากมีลำดับหลายแบบที่ให้คำตอบเดียวกันควรเลือกลำดับที่เกิดเศษกระจกน้อยสุด ซึ่งการคำนวณเศษจากการปรับความหนาสามารถหาได้จากสมการที่ 3 และ 4 การพัฒนาคำตอบด้วยวิธีการนี้จะทำจนกว่าไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ กล่าวคือ ไม่มีลำดับใดที่สามารถลดความล่าช้าของเวลาส่งมอบ หรือไม่สามารถลดเศษกระจกลงได้อีก จะนำคำตอบนี้มาตรวจสอบซ้ำเนื่องจาก สาเหตุที่ผลลัพธ์ไม่พัฒนาขึ้นอาจเกิดจากงานที่เลือกและงานข้างเคียงมีความหนาเท่ากันทำให้ไม่ว่าจะย้ายตำแหน่งงานใดออกไปก็ไม่ทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนแปลง แต่หากย้ายงานทั้งหมดที่มีความหนาเท่ากันออกไปได้ทั้งหมดจะส่งผลให้ผลลัพธ์เปลี่ยนไปในทางที่ดีขึ้น



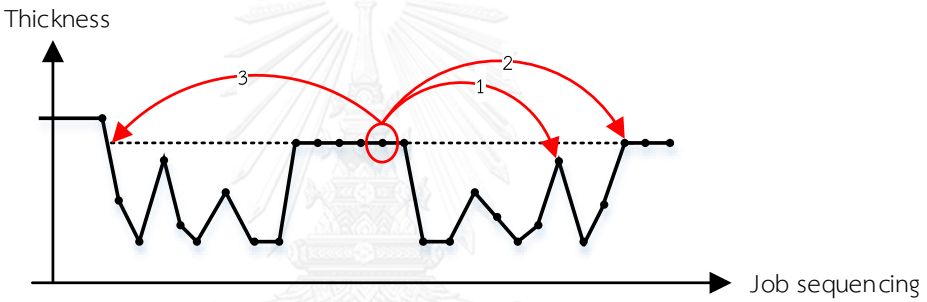
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงความหนาที่มีการย้ายงานแล้วไม่พัฒนาคำตอบ

ในรูปที่ 4.12 เส้นทึบแสดงถึงการปรับความหนา และจุดบนเส้นคือความหนาของงานในลำดับที่ได้จากการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นที่จะนำมาตรวจสอบซ้ำ โดย T_i หมายถึง ความหนาของงานลำดับที่ i และ $\Delta T_{i, i+1}$ หมายถึง ผลต่างความหนาระหว่างงานในลำดับที่ i และ i+1 ซึ่งผลต่างของความหนานี้มีค่าแปรผันตรงกับเวลาการปรับตั้งค่าเครื่องจักรและปริมาณเศษกระจกที่เกิดจากการปรับความหนา

จากเส้นการปรับความหนาหากสามารถย้ายเซตของงานในลำดับที่ 2–6 ไปรวมกับงานลำดับที่ 19, 20 ที่มีความหนาเท่ากันได้จะทำให้เวลาปรับตั้งค่าลดลงเท่ากับ $\Delta T_{6, 7}$ หรือย้ายงานลำดับที่ 19, 20 ไปรวมกับเซตของงานในลำดับที่ 2–6 จะทำให้เวลาปรับตั้งค่าลดลงเท่ากับ $\Delta T_{20, 21}$ สังเกตุได้ว่าเวลาปรับตั้งค่าที่ลดลงมีค่าเท่ากับความหนาสูงสุดลบความหนาที่มีค่ารองลงมาโดย $\Delta T_{6, 7} < \Delta T_{20, 21}$

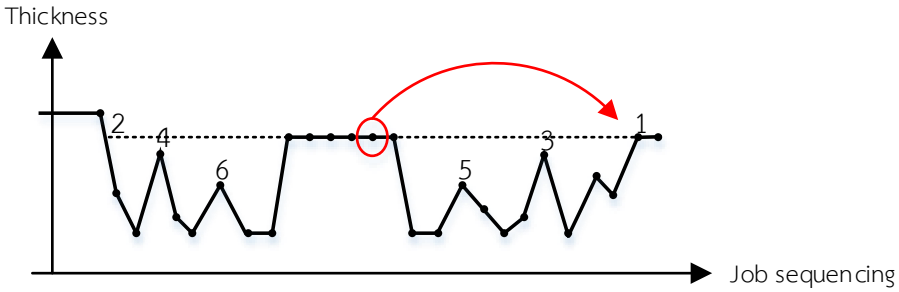
นั่นหมายความว่า การย้ายงานลำดับที่ 19, 20 สามารถลดเวลาปรับตั้งค่าได้มากกว่าการย้ายเซตของงานลำดับที่ 2-6 และเมื่อรวมเวลาปรับตั้งค่าจากการย้ายงานที่ T_{30}, T_{31} ไปไว้ที่ตำแหน่งอื่นที่มีค่าเท่ากัน เช่น ตำแหน่งถัดจากงานลำดับที่ 15 (T_{15}) จะทำให้เวลาปรับตั้งค่าและเศษกระจกลดลงเท่ากับ $\Delta T_{20, 21} + \Delta T_{32, 33}$

การพิจารณาตรวจสอบซ้ำจึงเริ่มจากการนำลำดับที่ไม่พัฒนามาตรวจสอบหาเซตของงานที่มีความหนาเป็นจุดสูงสุด หรือจุดต่ำสุด หากมีงานที่มีลักษณะนี้อยู่แสดงว่าอาจสามารถลดเวลาปรับตั้งค่าเครื่องจักรลงได้อีกโดยวิธีการคือ พิจารณาผลต่างของความหนาในเซตของงานที่เป็นจุดสูงสุดและงานข้างเคียงที่มีความหนาสูงสุดรองลงมา หรือผลต่างของความหนาในเซตของงานที่เป็นจุดต่ำสุดและงานข้างเคียงที่มีความหนาต่ำสุดรองลงมา เลือกเซตของงานที่ให้ผลต่างความหนามากที่สุดเนื่องจากจะทำให้เวลาปรับตั้งค่าลดลงได้มากที่สุด เวลาที่ลดลงคำนวณได้จากสมการที่ 5



รูปที่ 4.13 ตำแหน่งที่สามารถย้ายงานไปได้

เมื่อเลือกเซตของงานที่ต้องการย้ายได้แล้วจะย้ายงานในเซตที่เลือกทีละงานโดย เลือกงานที่มีเวลาส่งมอบช้าที่สุดเป็นงานแรก และใช้วิธีการแทรกงานลงในตำแหน่งที่มีเวลาปรับตั้งค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ซึ่งก็คือตำแหน่งเดียวกับที่มีการพิจารณาแบบเลื่อนไปข้างหน้าและแบบเลื่อนไปข้างหลัง และตำแหน่งที่มีความหนาเป็นจุดสูงสุดหรือต่ำสุดดังรูปที่ 4.13 ลูกศรที่ 1 แสดงการย้ายงานไปยังตำแหน่งที่มีความหนาเป็นจุดสูงสุด ลูกศรที่ 2 แสดงการย้ายงานไปยังตำแหน่งที่มีความหนาเดียวกัน และลูกศรที่ 3 แสดงการย้ายงานไปยังตำแหน่งที่มีความหนาอยู่ระหว่างงานลำดับก่อนและงานลำดับถัดไป วิธีการย้ายงานจะใช้วิธีเลื่อนไปข้างหน้าและเลื่อนไปข้างหลังเช่นเดิม แต่จะมีหลักการเลือกตำแหน่งใหม่ให้กับงานคือ จะเริ่มจากย้ายไปตำแหน่งที่มีความหนาเท่ากันหรือระหว่าง 2 งานที่งานใดงานหนึ่งมีความหนามากกว่าและอีกงานมีความหนาน้อยกว่า เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ไม่มีการปรับตั้งค่า และจะพิจารณาย้ายงานไปยังจุดสูงสุดหรือต่ำสุดที่มีความหนารองจากงานที่เลือกเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีการปรับตั้งค่าน้อยที่สุด ซึ่งขั้นตอนการย้ายงานมีดังนี้

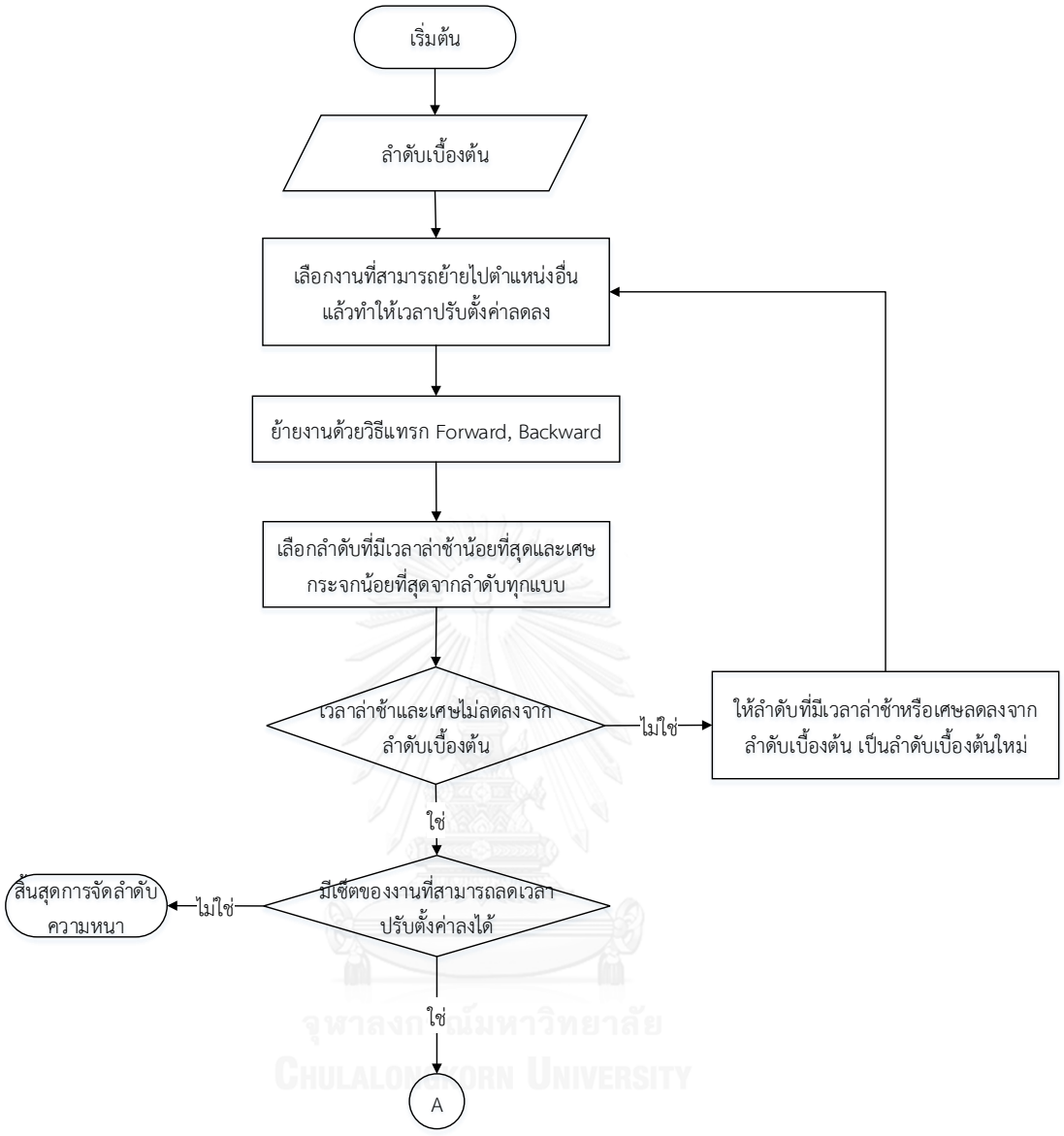


รูปที่ 4.14 ลำดับการย้ายตำแหน่งของงาน

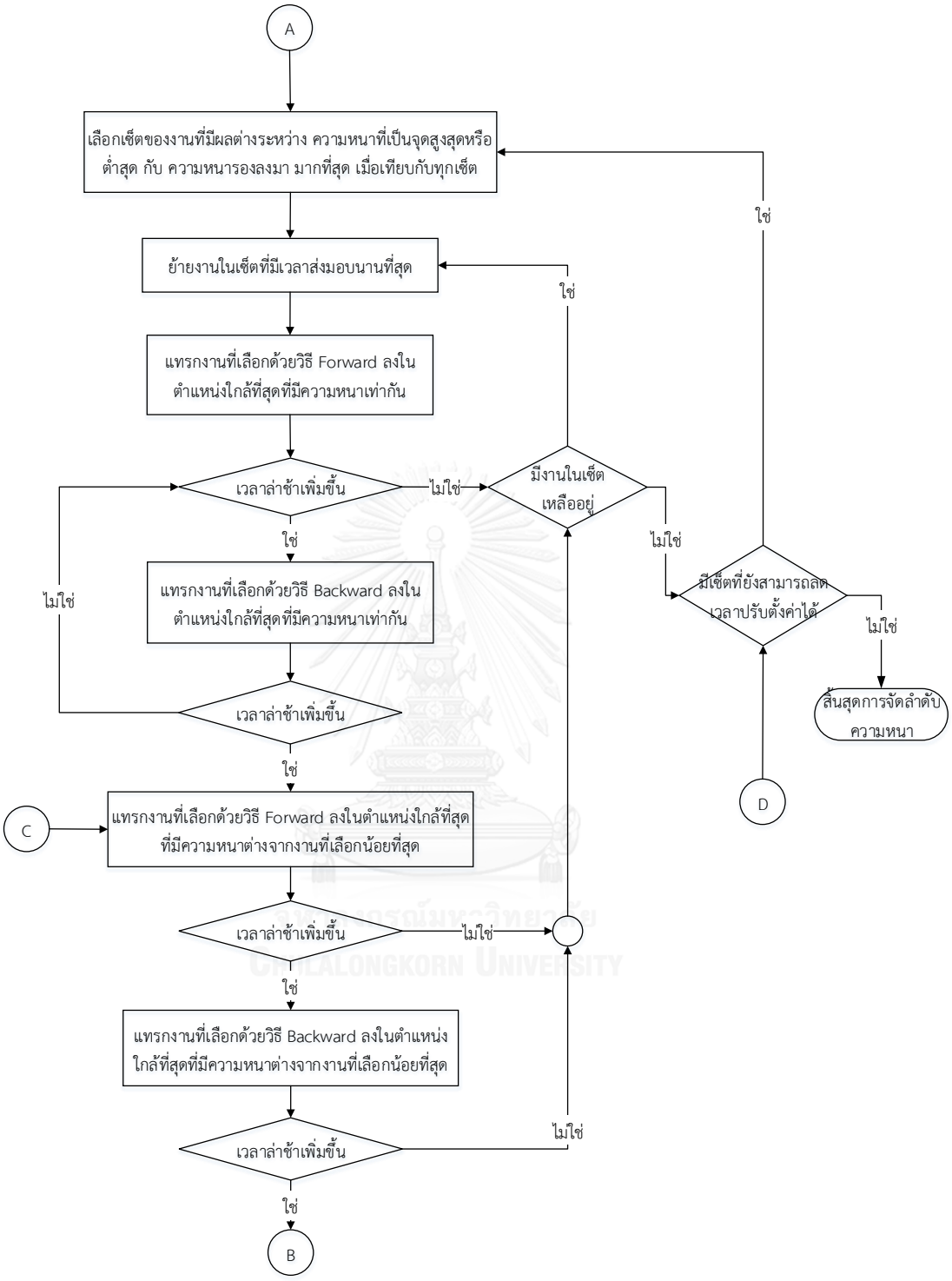
1. ย้ายงานแบบเลื่อนไปข้างหลัง โดยแทรกงานในตำแหน่งใกล้ที่สุดที่มีความหนาเท่ากัน หรือระหว่างงาน 2 งานใดๆที่งานใดงานหนึ่งมีความหนาน้อยกว่างานที่เลือก (หมายเลข 1 ในรูปที่ 4.14)
2. ตรวจสอบเวลาล่าช้าของงานที่ย้ายไป หากมีเวลาล่าช้าเพิ่มขึ้นจะย้ายงานนั้นด้วยวิธีเลื่อนไปข้างหน้าแทน (หมายเลข 2 ในรูปที่ 4.14) ซึ่งจะเลือกตำแหน่งที่มีลักษณะเดียวกับการย้ายงานแบบเลื่อนไปข้างหลัง
3. ตรวจสอบเวลาล่าช้าของงานที่ย้ายไปและงานในลำดับถัดจากตำแหน่งที่ย้ายไป หากเวลาล่าช้าเพิ่มขึ้นจะย้ายงานที่เลือกไปข้างหลังที่ความหนาเป็นจุดสูงสุดหรือต่ำสุดรองจากความหนาของงานที่เลือก (หมายเลข 3, 4, 5 และ 6 รูปที่ 4.14 ตามลำดับ) และตรวจสอบเวลาล่าช้า

ในข้อที่ 3 จะทำไปซ้ำไปเรื่อยๆโดยเริ่มจากจุดสูงสุดที่มีความหนาที่น้อยกว่าความหนาที่พิจารณา และเริ่มจากจุดต่ำสุดที่มีความความหนามากกว่าความหนาที่พิจารณา ทั้งแบบเลื่อนไปข้างหน้าและเลื่อนไปข้างหลังจนกว่าจะไม่มีเวลาล่าช้าเพิ่มขึ้น หากมีงานใดงานหนึ่งไม่สามารถย้ายได้จะนำงานที่ถูกย้ายไปทั้งหมดกลับมาไว้ที่ตำแหน่งเดิม แล้วพิจารณาเซตของงานถัดไป

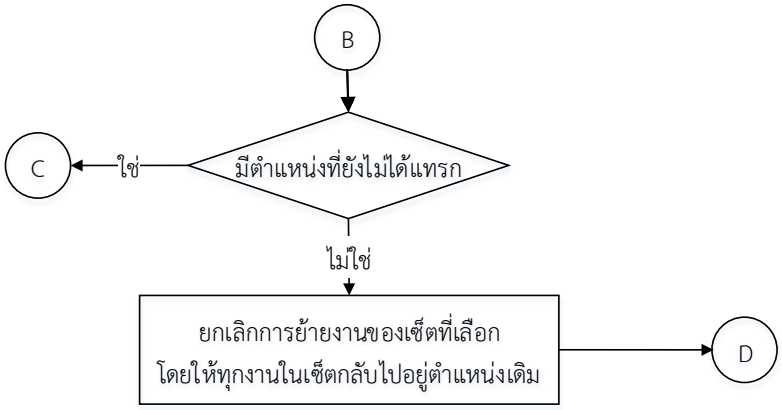
งานที่ถูกเลื่อนไปข้างหลังจะถูกจัดเรียงตามลำดับก่อน-หลังแบบเดิมหากถูกย้ายมาอยู่ตำแหน่งติดกัน และงานที่ถูกเลื่อนไปข้างหน้าจะถูกจัดเรียงตามเวลาส่งมอบโดยงานที่มีเวลาส่งมอบเร็วกว่าจะอยู่ก่อนหน้างานที่เวลาส่งมอบช้ากว่าหากถูกย้ายมาอยู่ตำแหน่งติดกัน กระบวนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นอธิบายได้ดังรูปที่ 4.15 และลำดับซึ่งเป็นคำตอบสุดท้ายจากกระบวนการพัฒนานี้จะนำไปเป็นลำดับเริ่มต้นสำหรับกระบวนการพัฒนาคำตอบในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.15 ขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเฉพาะความหนา



รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเพาะความหนา (ต่อ)



รูปที่ 4.17 ขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาเพาะความหนา (ต่อ)

ตัวอย่างที่ 3 การปรับปรุงลำดับเบื้องต้น โดยพิจารณาความหนาเป็นหลัก

สมมติลำดับงานเบื้องต้น คือ 1, 6, 8, 5, 7, 2, 3, 9, 10, 4 และมีข้อมูลดังตารางในรูปที่ 4.18 โดยกำหนดสัญลักษณะในการปรับความหนา “–” หมายถึง การลดความหนา “+” หมายถึง การเพิ่มความหนา และ “0” หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา และสามารถสร้างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาได้ดังรูปที่ 4.19

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน		1	6	8	5	7	2	3	9	10	4	
ความหนา (มม.)	0.098	0.087	0.083	0.071	0.197	0.091	0.087	0.087	0.083	0.071	0.394	
การปรับความหนา		-	-	-	+	-	-	0	-	-	+	
เวลาส่งมอบ (นาที)		5760	5760	5760	5760	7200	7200	7200	7200	7200	7200	
เวลาล่าช้า (นาที)		-	1,708.79	7,317.59	11,113.20	13,292.78	16,816.44	21,707.94	25,554.28	29,091.56	32,684.64	159,287.22
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)		7,287.80	3,997.32	9,118.25	95,216.04	87,783.15	4,779.20	19.54	2,893.11	8,729.43	459,070.37	678,894.21

รูปที่ 4.18 ข้อมูลที่ได้จากการจัดสำดับเบื้องต้นสำหรับตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงความหนาสำหรับตัวอย่างที่ 3

การปรับปรุงลำดับเบื้องต้นตามขั้นตอนที่ได้อธิบายข้างต้น จะทำการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นรอบที่ 1 ซึ่งมีงานที่เข้าข่ายสามารถทำให้ปรับปรุงลำดับดีขึ้นได้ ดังนี้

1. งานที่มีความหนาเป็นจุดสูงสุด หรือจุดต่ำสุด เมื่อเทียบกับความหนาของงานที่อยู่ติดกัน จากรูปที่ 4.13 คือ รหัสงานที่ 8, 5, 10 และ 4
2. งานสุดท้ายของลำดับ คือ รหัสงานที่ 4
3. งานที่มีเวลาส่งมอบล่าช้า คือ รหัสงานที่ 6, 8, 5, 7, 2, 3, 9, 10 และ 4

จากงานที่เข้าข่ายทั้ง 3 ข้อพบว่า จะต้องพิจารณาการย้ายตำแหน่งงานในเซตดังต่อไปนี้ { 6, 8, 5, 7, 2, 3, 9, 10, 4}

พิจารณางานรหัสที่ 6 พบว่าการย้ายงานนี้ไม่สามารถนำไปแทรกไว้ที่ตำแหน่งใดได้ด้วยวิธีการ Forward เนื่องจากไม่มีตำแหน่งที่มีลักษณะดังที่กำหนด หากใช้วิธีการ Backward จะมีตำแหน่งที่สามารถนำไปแทรกได้ คือ ระหว่างรหัสงานที่ 3 กับ 9 ทำให้เวลาล่าช้ารวมเพิ่มขึ้น 2,388.87 นาที เศษกระจกลดลง 3,198.34 ลูกบาศก์นิ้ว และแทรกระหว่างรหัสงานที่ 9 กับ 10 มีเวลาล่าช้ารวมเพิ่มขึ้น 2,423.94 นาที และเศษกระจกลดลง 2,141.89 ลูกบาศก์นิ้ว ดังรูปที่ 4.20

a. แทรกระหว่างรหัสงานที่ 3 กับ 9

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน		1	8	5	7	2	3	6	9	10	4	
ความหนา (นิ้ว)	0.098	0.087	0.071	0.197	0.091	0.087	0.087	0.083	0.083	0.071	0.394	
การปรับความหนา		-	-	+	-	-	0	-	0	-	+	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	-	3,507.33	7,302.94	9,482.52	13,006.18	17,897.68	23,148.95	25,554.28	29,091.56	32,684.64	161,676.09
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	7,287.80	9,528.91	95,216.04	87,783.15	4,779.20	19.54	2,570.94	708.48	8,729.43	459,070.37	675,693.87

b. แทรกระหว่างรหัสงานที่ 9 กับ 10

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน		1	8	5	7	2	3	9	6	10	4	
ความหนา (นิ้ว)	0.098	0.087	0.071	0.197	0.091	0.087	0.087	0.083	0.083	0.071	0.394	
การปรับความหนา		-	-	+	-	-	0	-	0	-	+	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	-	3,507.33	7,302.94	9,482.52	13,006.18	17,897.68	21,744.02	26,994.28	29,091.56	32,684.64	161,711.16
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	7,287.80	9,528.91	95,216.04	87,783.15	4,779.20	19.54	2,893.11	1,416.97	8,757.23	459,070.37	676,752.32

รูปที่ 4.20 การแทรกงาน รหัสงานที่ 6 ในตัวอย่างที่ 3

จากนั้นบันทึกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของการย้ายรหัสงานที่ 6 ไว้ ซึ่งก็คือการย้ายไประหว่างรหัสงานที่ 3 กับ 9 แล้วพิจารณาการย้ายตำแหน่งของรหัสงานที่ 8 โดยดูจากความหนาพบว่าไม่สามารถนำไปแทรกไว้ที่ตำแหน่งใดได้ด้วยวิธีการ Forward เนื่องจากไม่มีตำแหน่งที่มีลักษณะดังที่กำหนด หากใช้วิธีการ Backward จะมีตำแหน่งที่สามารถนำไปแทรกได้ คือ ระหว่างรหัสงานที่ 9 กับ 10 ทำให้เวลา

ล่าช้ารวมลดลง 8,397.74 นาที เศษกระจกลดลง 3,671.34 ลูกบาศก์นิ้ว และระหว่างรหัสงานที่ 10 กับ 4 ซึ่งมีเวลาล่าช้ารวมลดลง 10,469.26 นาที และเศษกระจกลดลง 142,737.05 ลูกบาศก์นิ้ว ดังรูปที่ 4.21 แล้วบันทึกผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของการย้ายรหัสงานที่ 8 ไว้ ซึ่งก็คือการย้ายไประหว่างรหัสงานที่ 10 กับ 4

a. แทรกระหว่างรหัสงานที่ 9 กับ 10

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน		1	6	5	7	2	3	9	8	10	4	
ความหนา (นิ้ว)	0.098	0.087	0.083	0.197	0.091	0.087	0.087	0.083	0.071	0.071	0.394	
การปรับความหนา		-	-	+	-	-	0	-	-	0	+	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	-	1,708.79	5,501.36	7,680.94	11,204.60	16,096.10	19,942.44	26,991.24	29,085.47	32,678.55	150,889.48
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	7,287.80	3,997.32	99,098.38	87,783.15	4,779.20	19.54	2,893.11	7,450.54	2,843.45	459,070.37	675,222.87

b. แทรกระหว่างรหัสงานที่ 10 กับ 4

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน		1	6	5	7	2	3	9	10	8	4	
ความหนา (นิ้ว)	0.098	0.087	0.083	0.197	0.091	0.087	0.087	0.083	0.071	0.071	0.394	
การปรับความหนา		-	-	+	-	-	0	-	-	0	+	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	-	1,708.79	5,501.36	7,680.94	11,204.60	16,096.10	19,942.44	23,479.72	30,525.47	32,678.55	148,817.96
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	7,287.80	3,997.32	99,098.38	87,783.15	4,779.20	19.54	2,893.11	8,729.43	1,421.73	320,147.50	536,157.16

รูปที่ 4.21 การแทรกงาน รหัสงานที่ 8 ในตัวอย่างที่ 3

ต่อมาพิจารณางานที่ 5 พบว่าไม่สามารถนำไปแทรกไว้ที่ตำแหน่งใดได้ด้วยวิธีการ Forward เนื่องจากไม่มีตำแหน่งที่มีลักษณะดังที่กำหนด หากใช้วิธีการ Backward จะมีตำแหน่งที่สามารถนำไปแทรกได้ คือ ระหว่างรหัสงานที่ 10 กับ 4 ซึ่งทำให้เวลาล่าช้ารวมเพิ่มขึ้น 255.56 นาที และเศษกระจกลดลง 335,224.64 ลูกบาศก์นิ้ว ดังรูปที่ 4.22

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน		1	6	8	7	2	3	9	10	5	4	
ความหนา (นิ้ว)	2.5	2.2	2.1	1.8	2.3	2.2	2.2	2.1	1.8	5	10	
การปรับความหนา		-	-	-	+	-	0	-	-	+	+	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	-	1,708.79	7,317.59	9,475.35	12,999.00	17,890.50	21,736.85	25,274.13	30,509.73	32,630.83	159,542.78
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	7,287.80	3,997.32	9,118.25	13,020.47	4,779.20	19.54	2,893.11	8,729.43	118,582.38	175,242.07	343,669.57

รูปที่ 4.22 การแทรกงาน รหัสงานที่5 ในตัวอย่างที่ 3

เมื่อพิจารณาจนครบทุกรหัสงานดังวิธีข้างต้นแล้ว จะนำเวลาล่าช้ารวมและปริมาณเศษกระจกของการย้ายงานแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบกัน แล้วเลือกลำดับที่มีเวลาล่าช้ารวมน้อยที่สุด หากมีลำดับหลายแบบจะเลือกลำดับที่มีเศษกระจกน้อยที่สุด ลำดับที่ได้นี้นับเป็น 1 รอบของการพัฒนาคำตอบ และจะนำไปปรับปรุงด้วยขั้นตอนเดียวกับที่แสดงให้ดูนี้เพื่อให้ได้คำตอบในการพัฒนารอบที่ 2 และรอบต่อๆไปจนกระทั่งไม่มีลำดับที่ให้คำตอบได้ดีกว่า ในตัวอย่างนี้มีรอบการปรับปรุงทั้งหมด 7 รอบ ลำดับที่เป็นคำตอบสุดท้าย คือ 1, 2, 7, 5, 6, 9, 10, 8, 3, 4 มีเวลาล่าช้า 146,052.89 นาที และมีเศษกระจก 543,744.14 ลูกบาศก์นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.23

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน		1	2	7	5	6	9	10	8	3	4	
ความหนา (นิ้ว)	2.5	2.2	2.2	2.3	5	2.1	2.1	1.8	1.8	2.2	10	
การปรับความหนา		-	0	+	+	-	0	-	0	+	+	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	-	-	3,573.86	8,804.39	12,643.58	15,048.91	18,586.19	25,631.94	29,087.50	32,676.52	146,052.89
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	7,287.80	1,666.44	3,787.79	88,973.92	99,089.06	708.48	8,729.43	1,421.73	13,174.14	318,905.35	543,744.14

รูปที่ 4.23 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นในตัวอย่างที่ 3

<u>ตัวอย่างที่ 4</u> การปรับปรุงลำดับเบื้องต้น เมื่อคำตอบไม่พัฒนา

สมมติลำดับงานที่คำตอบไม่พัฒนาสามารถสร้างกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาได้ดังรูปที่ 4.24 และมีข้อมูลดังตารางในรูปที่ 4.25 และมีอัตราเร็วในการเปลี่ยนความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร/นาที กำหนดสัญลักษณะในการปรับความหนา “–” หมายถึง การลดความหนา “+” หมายถึง การเพิ่มความหนา และ “0” หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนา

รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงความหนาของตัวอย่างที่ 4

ลำดับที่	รหัสงาน	ความหนา (นิ้ว)	ระยะเวลาผลิต (นาที)	การปรับความหนา	เวลาส่งมอบ
งานเริ่ม		0.13			0
1	3	0.118	124	-	8640
2	15	0.102	275.21	-	24480
3	5	0.102	242.65	0	11520
4	2	0.102	222.79	0	7200
5	6	0.091	275.21	-	12960
6	11	0.071	188	-	20160
7	8	0.071	312.45	0	33120
8	12	0.079	296	+	23040
9	7	0.079	249.72	0	12960
10	1	0.079	159.6	0	5760
11	16	0.126	218.65	+	24480
12	4	0.126	335.59	0	8640
13	13	0.091	172	-	23040
14	18	0.083	243.48	-	25920
15	20	0.083	226.38	0	28800
16	9	0.091	214.38	+	18720
17	14	0.098	177.62	+	24480
18	10	0.13	308.01	+	20160
19	17	0.13	193.91	0	25920
20	19	0.138	269.51	+	28800
เวลาล่าช้ารวม					0
เศษ					143,622.76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.25 ข้อมูลสำหรับตัวอย่างที่ 4

จากข้อมูลข้างต้นมีเซตของงานที่อาจลดเวลาปรับตั้งค่าลงได้คือ {11, 8}, {16, 4}, {18, 20} และ {19} โดยมีผลต่างของความหนาของงานในเซตกับความหนารองลงมา เท่ากับ 0.008, 0.035, 0.008 และ 0.008 นิ้ว ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกเซตของงาน {16, 4} มาพิจารณาก่อนเนื่องจากมีผลต่างความหนาที่สามารถลดเวลาปรับตั้งค่าลงได้มากที่สุดหากงานในเซตถูกย้ายไปอยู่ระหว่างงานเริ่มต้นและงานรหัสที่ 3 หรือระหว่างงานรหัสที่ 14 และ 10 โดยสามารถคำนวณเวลาที่ลงได้จากสมการที่ 5 ดังนี้

$$\text{เวลาที่ลดลง} = \frac{0.126\text{-}0.091}{0.00394}$$

$$= 8.88 \quad \text{นาที}$$

งานรหัสที่ 16 เป็นงานที่เหลือเวลาส่งมอบนานที่สุดจึงถูกเลือกให้ย้ายไปอยู่ระหว่างงานรหัสที่ 14 และ 10 ซึ่งไม่ทำให้เวลาล่าช้าเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.26 (a.) และเมื่อย้ายงานรหัสที่ 4 ตามมาจะวางงานไว้ที่ตำแหน่งก่อนหน้างานรหัสที่ 16 เนื่องจากเหลือเวลาส่งมอบน้อยกว่า โดยลำดับจากการย้ายงานในเซต {16, 4} ทำให้เศษกระจกลดลงโดยเวลาล่าช้าไม่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.26 (b.) จึงใช้ลำดับนี้ในการพิจารณาครั้งต่อไป

a.

ลำดับที่	รหัสงานรอบการปรับปรุงงานเซ็ตที่ 1 ครั้งที่ 1	ความหนา (นิ้ว)	การปรับความหนา	เวลาล่าช้า (นาที)
งานเริ่ม		0.13		
1	3	0.118	-	0
2	15	0.102	-	0
3	5	0.102	0	0
4	2	0.102	0	0
5	6	0.091	-	0
6	11	0.071	-	0
7	8	0.071	0	0
8	12	0.079	+	0
9	7	0.079	0	0
10	1	0.079	0	0
11	4	0.126	+	0
12	13	0.091	-	0
13	18	0.083	-	0
14	20	0.083	0	0
15	9	0.091	+	0
16	14	0.098	+	0
17	16	0.126	+	0
18	10	0.13	+	0
19	17	0.13	0	0
20	19	0.138	+	0
เวลาล่าช้ารวม				0
เศษ				145,851.87

b.

ลำดับที่	รหัสงานรอบการปรับปรุงงานเซ็ตที่ 1 ครั้งที่ 2	ความหนา (นิ้ว)	การปรับความหนา	เวลาล่าช้า (นาที)
งานเริ่ม		0.13		
1	3	0.118	-	0
2	15	0.102	-	0
3	5	0.102	0	0
4	2	0.102	0	0
5	6	0.091	-	0
6	11	0.071	-	0
7	8	0.071	0	0
8	12	0.079	+	0
9	7	0.079	0	0
10	1	0.079	0	0
11	13	0.091	+	0
12	18	0.083	-	0
13	20	0.083	0	0
14	9	0.091	+	0
15	14	0.098	+	0
16	4	0.126	+	0
17	16	0.126	0	0
18	10	0.13	+	0
19	17	0.13	0	0
20	19	0.138	+	0
เวลาล่าช้ารวม				0
เศษ				106,089.46

รูปที่ 4.26 ผลการปรับปรุงงานเซตที่ 1

รูปที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงความหนาหลังการปรับปรุงงานเซตที่ 1

จากลำดับการปรับปรุงงานเซตที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงความหนาดังรูปที่ 4.27 เซตของงานที่ให้ความสนใจมีทั้งหมด 4 เซต คือ {11, 8}, {13}, {18, 20} และ {19} และเนื่องจากทุกเซตมีผลต่างของความหนาของงานในเซตกับความหนารองลงมา เท่ากับ 0.008 จึงจะเปรียบเทียบผลจากการย้ายเซตของงานทุกเซตแล้วเลือกลำดับจากเซตที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด ดังรูปที่ 4.28 โดย

1. {11, 8} ไม่สามารถย้ายไปตำแหน่งอื่นได้
2. {13} ย้ายไประหว่างงานรหัสที่ 20 และ 9 มีเวลาล่าช้ารวมเท่ากับ 0 และเศษกระจกเท่ากับ 97,599.66 ลูกบาศก์นิ้ว แสดงผลลัพธ์ได้ดังรูปที่ 4.28 (a.)
3. {18, 20} ย้ายไประหว่างงานรหัสที่ 1 และ 13 (ให้ผลลัพธ์เดียวกับการย้าย {13})
4. {19} ย้ายไประหว่างงานเริ่มต้น และงานรหัสที่ 3 มีเวลาล่าช้ารวมเท่ากับ 0 และเศษกระจกเท่ากับ 115,955.05 ลูกบาศก์นิ้ว แสดงผลลัพธ์ได้ดังรูปที่ 4.28 (b.)

การปรับปรุงงานเซตที่ 2 นี้จึงเลือกปรับปรุงที่ {13} และนำลำดับที่ได้ไปพิจารณาไปทำการปรับปรุงงานเซตที่ 3 ซึ่งประกอบไปด้วย {11, 8} ซึ่งไม่สามารถย้ายไปตำแหน่งอื่นได้ และ {19} ย้ายไประหว่างงานเริ่มต้นและงานรหัสที่ 3 ได้และทำให้มีเวลาล่าช้ารวมเท่ากับ 0 เศษกระจกเท่ากับ 107,465.24 ลูกบาศก์นิ้ว ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมดังนั้นจึงไม่สามารถย้าย {19} ไปตำแหน่งอื่นได้และลำดับที่เป็นคำตอบคือ ลำดับที่ได้จากการปรับปรุงเซตที่ 2 ดังรูปที่ 4.26 (a.) และมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของคำตอบที่ไม่พัฒนาและคำตอบที่ผ่านการปรับปรุงงานเซตที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.29

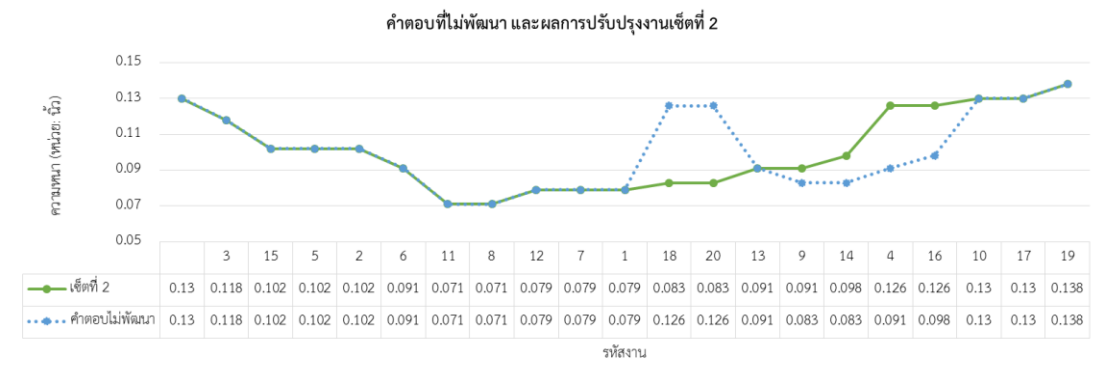
a.

ลำดับที่	รหัสงานรอบการปรับปรุงงานเซ็ตที่ 2	ความหนา (นิ้ว)	การปรับความหนา	เวลาล่าช้า (นาที)
งานเริ่ม		0.13		
1	3	0.118	-	0
2	15	0.102	-	0
3	5	0.102	0	0
4	2	0.102	0	0
5	6	0.091	-	0
6	11	0.071	-	0
7	8	0.071	0	0
8	12	0.079	+	0
9	7	0.079	0	0
10	1	0.079	0	0
11	18	0.083	+	0
12	20	0.083	0	0
13	13	0.091	+	0
14	9	0.091	0	0
15	14	0.098	+	0
16	4	0.126	+	0
17	16	0.126	0	0
18	10	0.13	+	0
19	17	0.13	0	0
20	19	0.138	+	0
เวลาล่าช้ารวม				0
เศษ				97,599.66

b.

ลำดับที่	รหัสงานรอบการปรับปรุงงานเซ็ตที่ 2	ความหนา (นิ้ว)	การปรับความหนา	เวลาล่าช้า (นาที)
งานเริ่ม		0.13		
1	19	0.138	+	0
2	3	0.118	-	0
3	15	0.102	-	0
4	5	0.102	0	0
5	2	0.102	0	0
6	6	0.091	-	0
7	11	0.071	-	0
8	8	0.071	0	0
9	12	0.079	+	0
10	7	0.079	0	0
11	1	0.079	0	0
12	13	0.091	+	0
13	18	0.083	-	0
14	20	0.083	0	0
15	9	0.091	+	0
16	14	0.098	+	0
17	4	0.126	+	0
18	16	0.126	0	0
19	10	0.13	+	0
20	17	0.13	0	0
เวลาล่าช้ารวม				0
เศษ				115,955.05

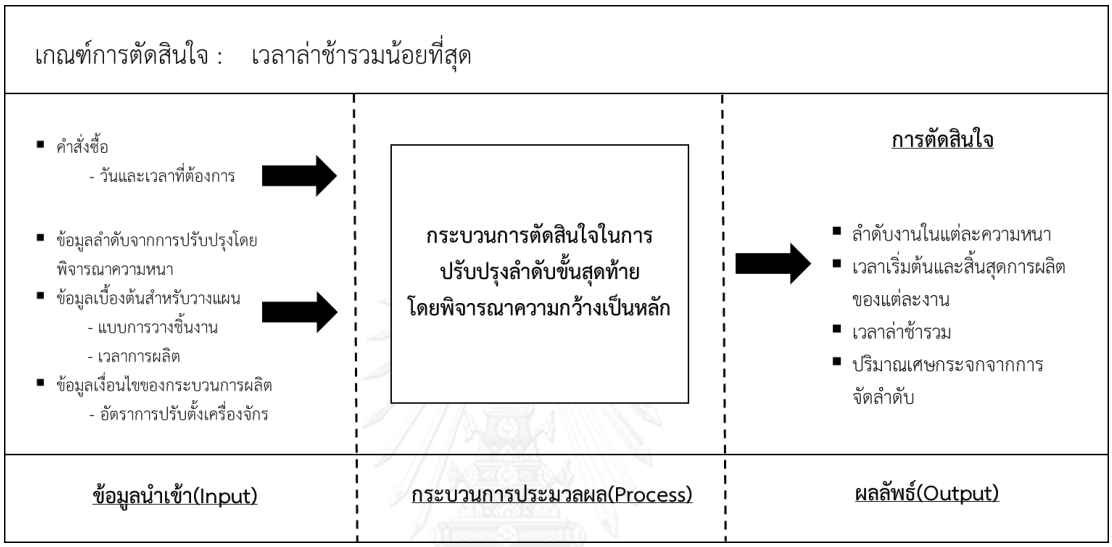
รูปที่ 4.28 ผลการปรับปรุงงานเซตที่ 2



รูปที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงความหนาหลังการปรับปรุงงานเซตที่ 2

4.2.4 การปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก

ลำดับที่ได้จากขั้นตอนการจัดลำดับความหนาเป็นลำดับที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรรวมน้อยสุด ซึ่งมีผลดีต่อการลดเวลาล่าช้าและลดเศษกระจกลงในระดับหนึ่ง แต่ลำดับนี้ยังมีโอกาสในการปรับปรุงให้ปริมาณเศษกระจกลดลงได้อีก ด้วยการจัดเรียงความกว้างที่ดี ซึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงนี้มีการนำเข้าข้อมูล และการประมวลผลด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 กระบวนการตัดสินใจในการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้ายโดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก

จากแนวทางการปรับปรุงที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 3 การปรับปรุงลำดับโดยพิจารณาความกว้างเป็นหลักนี้จะต้องไม่ส่งผลให้เวลาล่าช้ารวมจากขั้นตอน 4.2.3 เพิ่มขึ้น โดยวิธีการที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นการจัดการกับความกว้างที่อยู่ภายใต้ความหนาเดียวกัน เพื่อช่วยให้เศษกระจกจากการปรับความกว้างลดลง

วิธีการคำนวณเศษกระจกจากการปรับความกว้างภายในความหนาเดียวกัน ซึ่งเป็นรูปสามเหลี่ยมมุกฉาก 2 ด้าน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$width\ changeover\ scrap = \frac{1}{2v_w} \times v_f \times \Delta W^2$$

สมการที่ 8

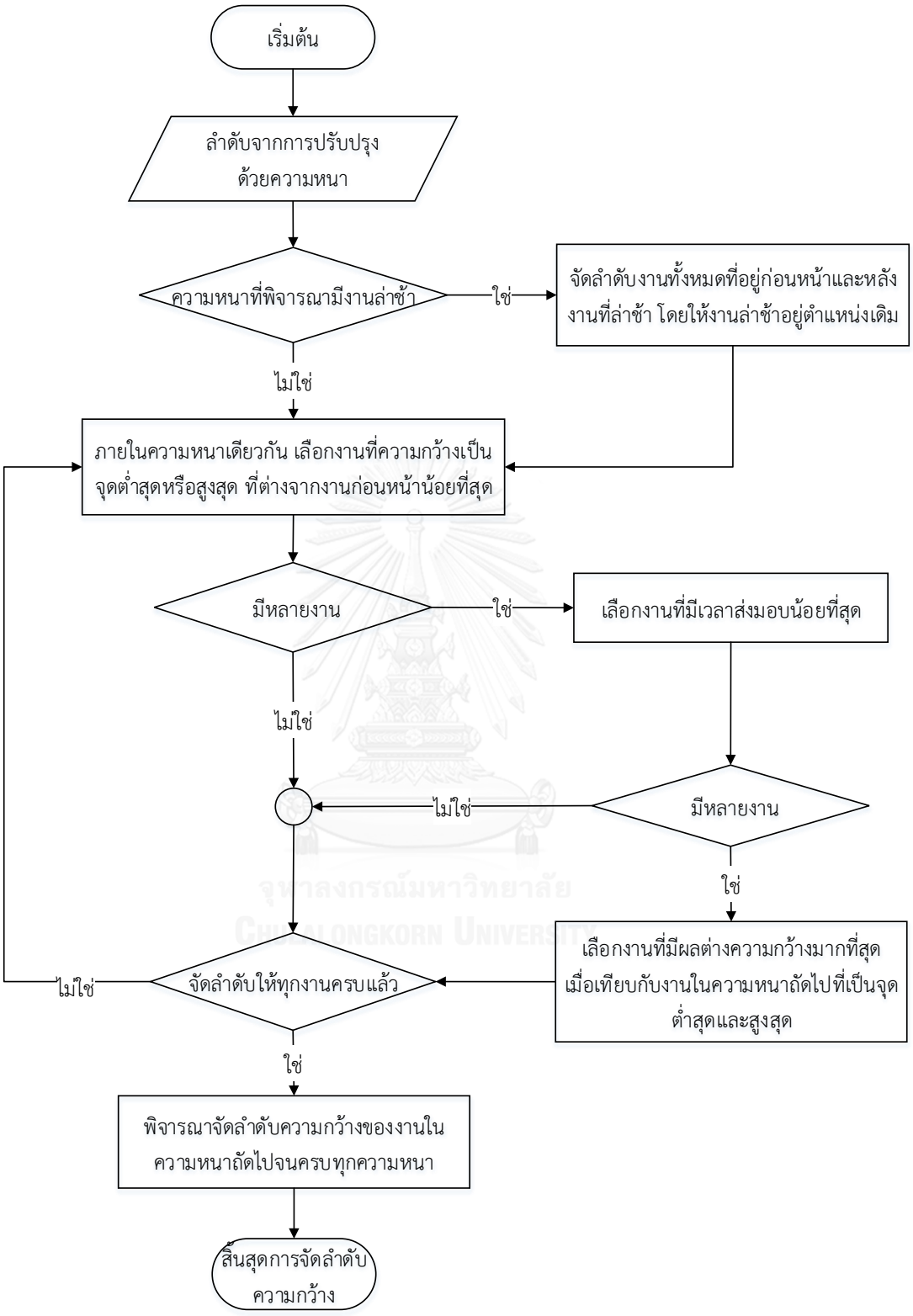
จากสมการที่ใช้คำนวณจะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ 3 ตัว มีผลกับเศษจากการปรับความกว้างคือ ความเร็วฟีด ความเร็วเพิ่มลดความกว้าง และผลต่างของความกว้าง แต่เนื่องด้วยความเร็วเป็นค่าที่ไม่

สามารถทราบได้แน่ชัด แต่ผลต่างของความกว้างสามารถทราบแน่ชัด และกำลังสองของผลต่างที่มากย่อมมีโอกาสที่จะทำให้เศษกระจกเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับผลต่างของความกว้างในการจัดลำดับมากกว่าพารามิเตอร์อื่น

เมื่อทราบแล้วว่าลำดับจากการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นโดยพิจารณาความหนาเป็นหลักมีหน้าตาเป็นอย่างไร ในส่วนหัวข้อนี้จะทำการคำนวณหาปริมาณเศษกระจกที่เกิดขึ้นจริงจากลำดับที่ได้ในหัวข้อ 4.2.3 แล้วจึงนำลำดับนั้นมาพิจารณาทีละกลุ่มความหนา ตั้งแต่กลุ่มแรกเป็นต้นไป โดยพิจารณาจัดลำดับงานตามความกว้าง เฉพาะงานภายในกลุ่มความหนาเดียว ซึ่งมีแนวคิดของการแก้ปัญหาเช่นเดียวกับแนวคิดของ Byungsoo na. ดังนั้นในความหนาหนึ่งควรมีการปรับเปลี่ยนความกว้างในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง

การจัดลำดับงานตามความกว้าง โดยพิจารณาเฉพาะงานที่อยู่ภายในกลุ่มความหนาเดียวกันนี้ จะพิจารณาเฉพาะผลต่างความกว้างของงานที่อยู่ในกลุ่มความหนาเดียวกันเท่านั้น โดยเริ่มจากการพิจารณากลุ่มความหนาลำดับแรก หากไม่มีงานใดมีเวลาส่งมอบล่าช้า จะเรียงลำดับความกว้างของงานจากสูงสุดไปต่ำสุด หรือจากต่ำสุดไปสูงสุด โดยเลือกความกว้างสูงสุดหรือต่ำสุดที่ต่างจากงานสุดท้ายของความหนาก่อนหน้าน้อยที่สุด หากมี 2 งานที่ให้ผลเหมือนกันให้เลือกงานที่มีเวลาส่งมอบเร็วกว่า (Slack time น้อย) หากเวลาส่งมอบเท่ากันจะพิจารณาผลต่างของทั้ง 2 งาน กับงานที่มีความกว้างสูงสุดหรือต่ำสุดในความหนาถัดไปอีก และเลือกงานที่มีผลต่างมากที่สุดเป็นงานลำดับถัดมา จากนั้นเรียงลำดับงานที่เหลือโดยพิจารณาจากความกว้างที่มีค่าใกล้เคียง จนกระทั่งครบทุกงานที่อยู่ในความกว้าง แล้วจึงพิจารณากลุ่มความกว้างถัดไปด้วยวิธีการดังเช่นที่ได้กล่าวมา

ความหนาใดที่มีงานล่าช้า ให้ใช้หลักการเดียวกัน แต่ให้ตรึงงานที่ล่าช้านั้นไว้ในตำแหน่งเดิม แล้วทำการจัดลำดับด้วยวิธีการที่ได้กล่าวมา โดยแบ่งเป็นการจัดลำดับของงานที่อยู่ในลำดับก่อนหน้างานล่าช้าทั้งหมด และงานที่อยู่ถัดจากงานล่าช้าทั้งหมด กระบวนการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้ายสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.31 และตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากกระบวนการตัดสินใจซึ่งจะถูกนำไปใช้ในส่วนงานต่างๆแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.31 ขั้นตอนการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาความกว้างเป็นหลัก

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ใช้ในส่วนการดึงขึ้นรูปที่ได้จากกระบวนการตัดสินใจ

Date (yyy.mm.dd)	Time (hr.min.)	Pull (ton/day)	job	Ribbon Width (in.)	Ribbon length (in.)	Thickness (in.)	Feed speed (in./hr.)	Processing time (min.)
2559.05.09	00:00	250	7	120	467928	0.13	196.65	12380
	13:00	250	4	112	552415	0.118	233.32	2368
2559.05.10	03:05	250	8	106	825289	0.083	328	2517
2559.05.11	21:10	250	14	106	926048	0.079	256	3618
2559.05.14	09:28	250	1	124	767745	0.079	312.45	2458
2559.05.15	14:33	250	2	136	668559	0.083	269.51	2481

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ใช้ในส่วนการตัดและจัดเก็บที่ได้จากกระบวนการตัดสินใจ

Date (yyy.mm.dd)	Time (hr.min.)	job	Width (in.)	Length (in.)	Thickness (in.)	Sheet/snap	Snap	Used branch
2559.05.09	00:00	7	56	97	0.13	2	4824	4
	13:00	4	104	67	0.118	1	8245	4
2559.05.10	03:05	8	49	41	0.083	2	20129	4
2559.05.11	21:10	14	49	32	0.079	2	28939	4
2559.05.14	09:28	1	58	55	0.079	2	13959	4
2559.05.15	14:33	2	64	51	0.083	2	13109	4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างที่ 4 การปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย โดยพิจารณาความกว้างหลัก

สมมติลำดับที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้น และข้อมูลของงานสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.32

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน	-	8	10	5	6	4	1	9	7	3	2	
ความหนา (นิ้ว)	0.13	0.118	0.118	0.079	0.079	0.083	0.083	0.083	0.083	0.118	0.118	
ความกว้าง (นิ้ว)	100	81	110	108	126	116	120	123	136	114	135	
ความเร็วฟีด (นิ้ว/นาที)	220.25	299.57	220.59	288	287.65	297.39	287.48	280.47	156	212.85	179.74	
ระยะเวลาผลิต (นาที)	-	3116.23	2702.21	2701.00	2667.24	3576.17	2009.60	2465.63	7774.50	1776.77	6463.34	
กำหนดส่ง (นาที)	-	27360	31680	27360	28800	28800	28800	28800	28800	30240	31680	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,595.52	3,595.52
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	9,318.71	12,904.91	26,806.94	3,683.58	3,422.38	194.18	106.06	1,530.59	23,119.77	5,107.40	86,194.52

รูปที่ 4.32 ข้อมูลที่ได้จากการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นสำหรับตัวอย่างที่ 4

ในขั้นตอนการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้ายจะเริ่มพิจารณาที่ความหนาแรก (0.118 นิ้ว) ซึ่งประกอบด้วยเซตของรหัสงาน {8, 10} มีความกว้างเท่ากับ 81 และ 110 นิ้วตามลำดับ ให้มีการเรียงลำดับรหัสงานด้วยความกว้างที่ต่างจากงานก่อนหน้า (งานเริ่ม) น้อยที่สุด จะได้ลำดับเป็น 10, 8, 5, 6, 4, 1, 9, 7, 3, 2 ดังรูปที่ 4.33 ซึ่งไม่ได้ทำให้เวลาล่าช้าเพิ่มขึ้นจึงใช้ลำดับนี้ในการพิจารณาความหนาที่ 2 (0.079 นิ้ว) ประกอบด้วยเซตของรหัสงาน {5, 6} ที่มีการเรียงความกว้างอยู่แล้ว จึงข้ามไปพิจารณาความหนาที่ 3 (0.083 นิ้ว) ประกอบด้วยเซตของรหัสงานที่ {4, 1, 9, 7}

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน	-	10	8	5	6	4	1	9	7	3	2	
ความหนา (นิ้ว)	0.13	0.118	0.118	0.079	0.079	0.083	0.083	0.083	0.083	0.118	0.118	
ความกว้าง (นิ้ว)	100	110	81	108	126	116	120	123	136	114	135	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,595.52	3,595.52

รูปที่ 4.33 การจัดลำดับงาน {8, 10} ของตัวอย่างที่ 4

ในเซต {4, 1, 9, 7} รหัสงานที่มีความกว้างน้อยสุด คือ รหัสงานที่ 4 มีความกว้างต่างจากรหัสงานที่ 6 เท่ากับ 10 นิ้ว และรหัสงานที่มีความกว้างมากสุด คือ รหัสงานที่ 7 มีความกว้างต่างจากรหัสงานที่ 6 เท่ากับ 10 นิ้ว ซึ่งรหัสงานทั้งสองให้ผลต่างของความกว้างที่เท่ากันจึงพิจารณาเลือกงานจากเวลาส่งมอบ แต่เนื่องจากเวลาส่งมอบเท่ากันจึงต้องพิจารณาผลต่างของรหัสงานทั้งสองกับรหัสงานที่มีความกว้างน้อยสุดและมากสุดในความหนาถัดไป (0.118 นิ้ว) ซึ่งเป็นความหนาสุดท้าย

ที่ความหนาสุดท้ายมีเซตของงาน {3, 2} โดยรหัสงานที่ 2 มีเวลาล่าช้าจึงถูกตรึงไว้ที่จำแหน่งเดิม ดังนั้นจะได้ว่า

1. ความกว้างของรหัสงานที่ 4 – ความกว้างของรหัสงานที่ 3 = 2 นิ้ว
2. ความกว้างของรหัสงานที่ 7 – ความกว้างของรหัสงานที่ 3 = 22 นิ้ว

จากผลต่างของความกว้างดังกล่าวจึงตัดสินใจให้รหัสงานที่ 7 ถูกผลิตต่อจากรหัสงานที่ 6 ลำดับงานที่ได้ คือ 10, 8, 5, 6, 7, 9, 1, 4, 3, 2 ดังรูปที่ 4.34 ซึ่งไม่ได้ทำให้เวลาล่าช้าเพิ่มขึ้นจึงใช้ลำดับนี้ในการพิจารณาความหนาสุดท้าย (0.118 นิ้ว) แต่ความหนาสุดท้ายไม่สามารถจัดลำดับแบบอื่นได้ เนื่องจากมีเพียง 2 งานและมีรหัสงานที่ 2 ถูกตรึงไว้

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน	-	10	8	5	6	7	9	1	4	3	2	
ความหนา (นิ้ว)	0.13	0.118	0.118	0.079	0.079	0.083	0.083	0.083	0.083	0.118	0.118	
ความกว้าง (นิ้ว)	100	110	81	108	126	136	123	120	116	114	135	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,595.52	3,595.52

รูปที่ 4.34 การจัดลำดับงาน {7, 9, 1, 4} ของตัวอย่างที่ 4

ดังนั้นผลลัพธ์จากขั้นตอนการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้ายของตัวอย่างนี้ คือ 10, 8, 5, 6, 7, 9, 1, 4, 3, 2 ที่มีเวลาล่าช้าเท่ากับ 3,595.52 นาที เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับผลลัพธ์จากขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นดังรูปที่ 4.35 พบว่า ลำดับทั้ง 2 มีเวลาล่าช้าเท่ากัน แต่ลำดับที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงลำดับเบื้องต้นมีเศษกระจกน้อยกว่า จึงเลือกลำดับ 8, 10, 5, 6, 4, 1, 9, 7, 3, 2 ในรูปที่ 4.35 (a.) เป็นคำตอบสุดท้ายสำหรับแผนการผลิต

a. ผลลัพธ์จากการปรับปรุงลำดับเบื้องต้น

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน	-	8	10	5	6	4	1	9	7	3	2	
ความหนา (นิ้ว)	0.13	0.118	0.118	0.079	0.079	0.083	0.083	0.083	0.083	0.118	0.118	
ความกว้าง (นิ้ว)	100	81	110	108	126	116	120	123	136	114	135	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,595.52	3,595.52
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	9,318.71	12,904.91	26,806.94	3,683.58	3,422.38	194.18	106.06	1,530.59	23,119.77	5,107.40	86,194.52

b. ผลลัพธ์จากการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย

ลำดับที่	งานเริ่ม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
รหัสงาน	-	10	8	5	6	4	1	9	7	3	2	
ความหนา (นิ้ว)	0.13	0.118	0.118	0.079	0.079	0.083	0.083	0.083	0.083	0.118	0.118	
ความกว้าง (นิ้ว)	100	110	81	108	126	116	120	123	136	114	135	
เวลาล่าช้า (นาที)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,595.52	3,595.52
เศษกระจก (ลบ.นิ้ว)	-	9,890.11	6,452.45	37,535.24	3,683.58	3,422.38	194.18	106.06	1,530.59	23,119.77	5,107.40	91,041.76

รูปที่ 4.35 ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้าย

บทที่ 5
ระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ

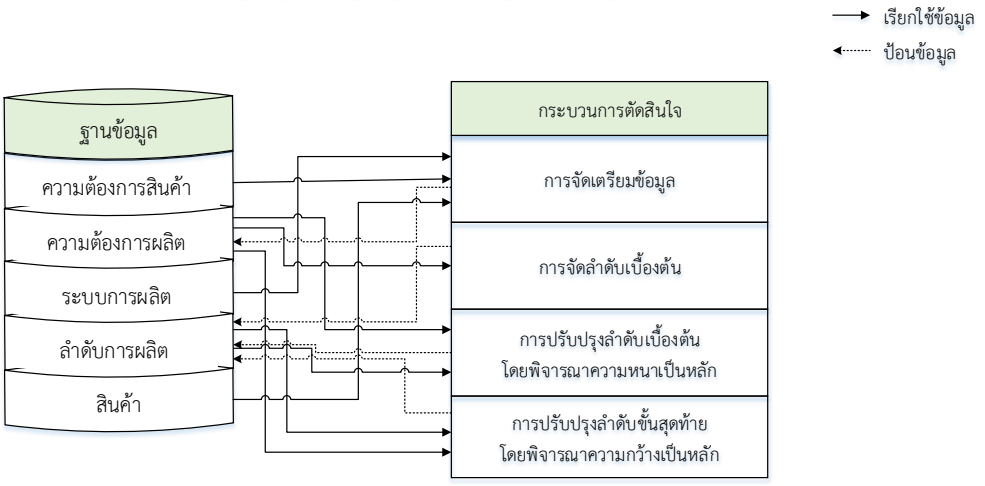
ระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิตที่ถูกพัฒนาขึ้นต้องสามารถช่วยให้เจ้าหน้าที่วางแผนสามารถสร้างแผนการผลิตได้ง่ายและสะดวกขึ้น รายละเอียดในหัวข้อนี้ประกอบด้วย 4 ส่วนตามองค์ประกอบของระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้น ดังนี้

1. กระบวนการทำงานของสารสนเทศ
2. ฐานข้อมูล
3. หน้าจอการทำงาน
4. เอกสาร/รายงาน

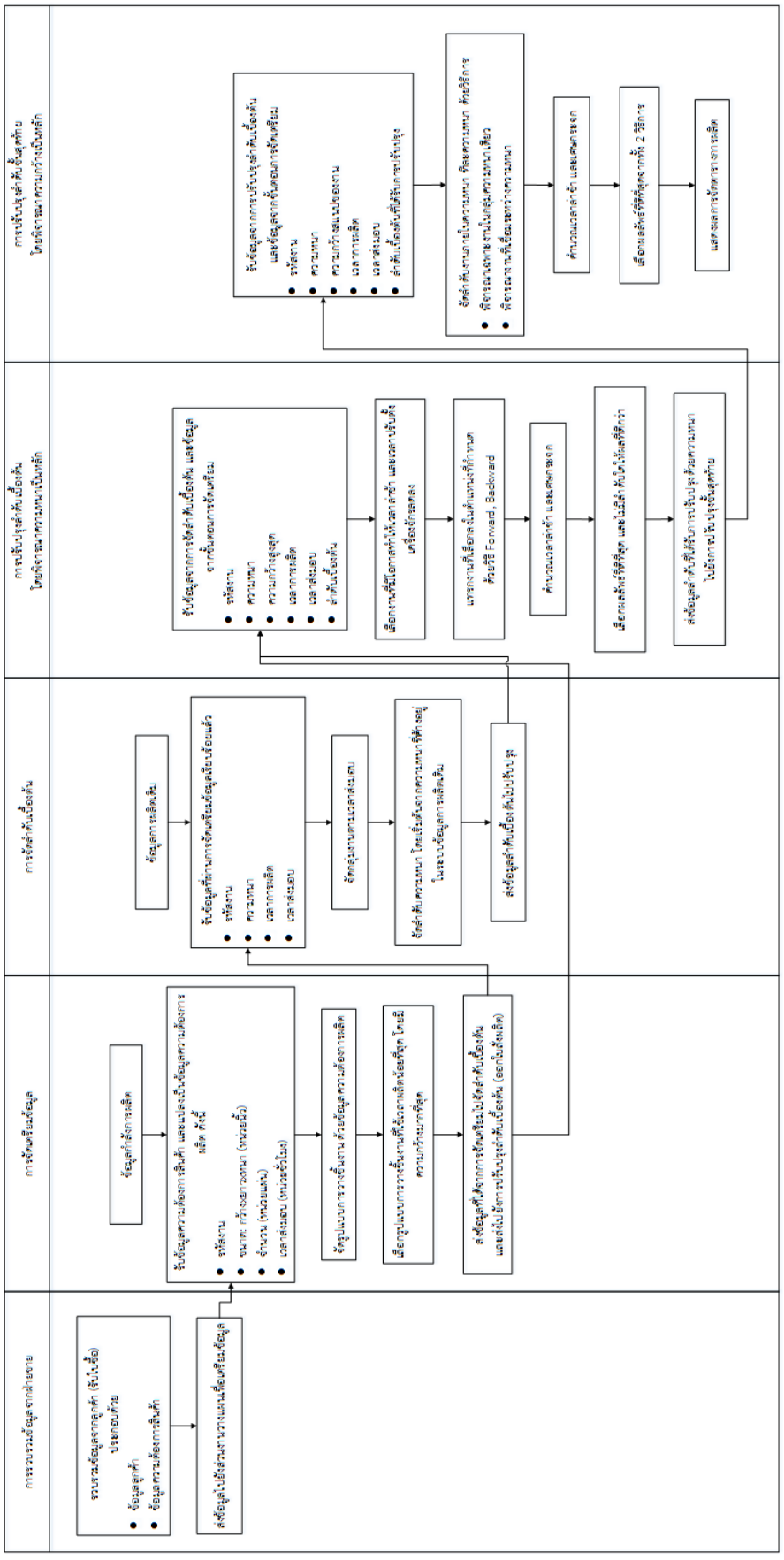
5.1 กระบวนการทำงาน

กระบวนการทำงานของระบบสารสนเทศแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ กระบวนการจัดเก็บข้อมูลและกระบวนการวางแผนการผลิต ซึ่งทั้งสองส่วนนี้มีการทำงานที่เชื่อมโยงกันดังรูปที่ 5.1 โดยระบบจะทำการจัดเก็บข้อมูลความต้องการสินค้า ความต้องการผลิต ระบบการผลิต ลำดับการผลิต และข้อมูลสินค้า ไว้เป็นฐานข้อมูลสำหรับเรียกใช้ในกระบวนการวางแผนการผลิต โดยแต่ละขั้นตอนสามารถเรียกใช้งานข้อมูลในชุดเดียวกันมาสนันสนุนการตัดสินใจได้ และระบบสารสนเทศนี้ยังใช้ข้อมูลบางส่วนจากฐานข้อมูลในการแสดงผล ภาพรวมกระบวนการทำงานของระบบสารสนเทศแสดงดังรูปที่ 5.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการจัดเก็บข้อมูลและกระบวนการตัดสินใจ



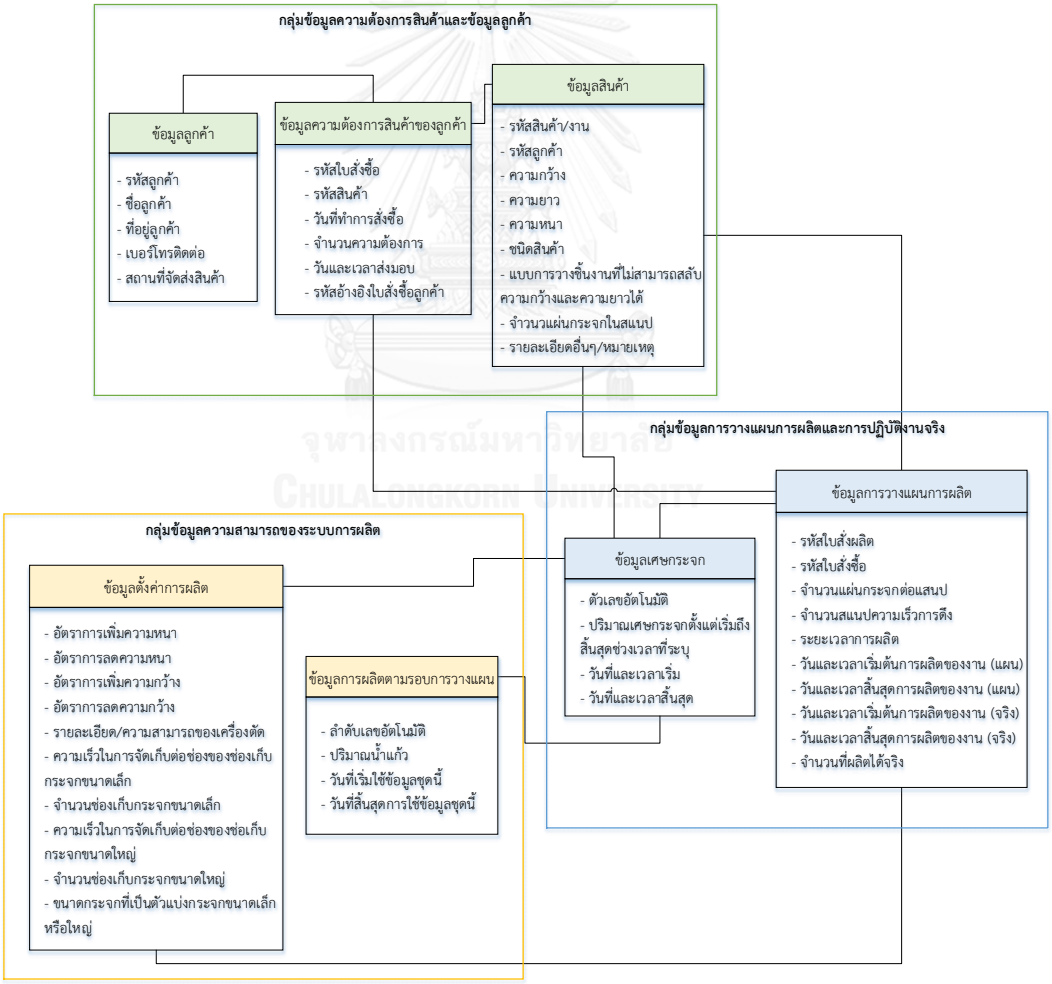
รูปที่ 5.2 ภาพรวมการทำงานของระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิต

5.2 ฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลในระบบสารสนเทศสำหรับใช้ในการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบประกอบด้วยฐานข้อมูล 5 กลุ่ม ในแต่ละกลุ่มสามารถความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มได้ดังนี้

1. กลุ่มข้อมูลความต้องการสินค้าและข้อมูลลูกค้า
2. กลุ่มข้อมูลความสามารถของระบบการผลิต
3. กลุ่มข้อมูลการวางแผนการผลิตและการปฏิบัติงานจริง

ในฐานข้อมูลแต่ละกลุ่มประกอบด้วยตารางข้อมูลย่อยหลายตาราง ซึ่งตารางข้อมูลบางส่วนไม่ได้นำไปใช้ในกระบวนการวางแผนการผลิต แต่เป็นข้อมูลรายละเอียดสำหรับใช้ประกอบการทำเอกสารอื่นๆ สำหรับความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูลของระบบสารสนเทศ มีความสัมพันธ์กันดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมดในฐานข้อมูล

5.2.1 กลุ่มข้อมูลความต้องการสินค้าและข้อมูลสินค้า

เป็นการเก็บข้อมูลสำหรับประกอบการวางแผนการผลิตและข้อมูลสำหรับจัดทำเอกสารหรือรายงาน โดยข้อมูลบางส่วนถูกเรียกใช้ในการแปลงเป็นข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการผลิต กลุ่มข้อมูลความต้องการสินค้าและข้อมูลสินค้าประกอบด้วยตารางข้อมูลดังต่อไปนี้

- ข้อมูลลูกค้า
- ข้มูลความต้องการสินค้าของลูกค้า
- ข้อมูลสินค้า

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลลูกค้า

ข้อมูลลูกค้า		
ชื่อ	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด
CustomerID	ข้อความ	รหัสลูกค้า
Customer_Name	ข้อความ	ชื่อลูกค้า
Customer_Address	ข้อความ	ที่อยู่ลูกค้า
Customer_Phone	ข้อความ	เบอร์โทรติดต่อ
Delivery_location	ข้อความ	สถานที่จัดส่งสินค้า

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้า

ข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้า		
ชื่อ	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด
PO	ข้อความ	รหัสใบสั่งซื้อ
Code	ข้อความ	รหัสสินค้า
Purchase_Date	วันที่	วันที่ทำการสั่งซื้อ
Sheet	ตัวเลข	จำนวนความต้องการ
Delivery_DateTime	วันที่/เวลา	วันและเวลาส่งมอบ
Ref_no	ข้อความ	รหัสอ้างอิงใบสั่งซื้อลูกค้า

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลสินค้า

ข้อมูลสินค้า		
ชื่อ	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด
Code	ข้อความ	รหัสสินค้า/งาน
CustomerID	ข้อความ	รหัสลูกค้า
Width	ตัวเลข	ความกว้าง
Length	ตัวเลข	ความยาว
Thickness	ตัวเลข	ความหนา
Type	ข้อความ	ชนิดสินค้า (ลามิเนต, เทมเปอร์, ปกติ)
Layout_Fix	Yes/No	แบบการวางชิ้นงานที่ไม่สามารถสลับความกว้างและความยาวได้
NumPerSnap	ตัวเลข	จำนวนแผ่นกระจกในสแนปของ Layout_Fix (0 = ไม่ระบุ)
Detail	ข้อความ	รายละเอียดอื่นๆ/หมายเหตุ

5.2.2 กลุ่มข้อมูลความสามารถของระบบการผลิต

ฐานข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลกำลังการผลิตของทุกกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยตารางข้อมูลดังต่อไปนี้

- ข้อมูลตั้งค่าการผลิต
- ข้อมูลการผลิตตามรอบการวางแผน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลตั้งค่าการผลิต

ข้อมูลตั้งค่าการผลิต		
ชื่อ	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด
IncreaseT	ตัวเลข	อัตราการเพิ่มความหนา (in./min)
DecreaseT	ตัวเลข	อัตราการลดความหนา (in./min)
IncreaseW	ตัวเลข	อัตราการเพิ่มความกว้าง (in./min)
DecreaseW	ตัวเลข	อัตราการลดความกว้าง (in./min)
Capacity_Cut	ตัวเลข/ข้อความ	รายละเอียด/ความสามารถของเครื่องตัด

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลตั้งค่าการผลิต (ต่อ)

ข้อมูลตั้งค่าการผลิต		
ชื่อ	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด
Large_CollectingSpeed	ตัวเลข	ความเร็วในการจัดเก็บต่อช่องของช่องเก็บกระจกขนาดเล็ก
Large_CollectingSlot	ตัวเลข	จำนวนช่องเก็บกระจกขนาดเล็ก
Small_CollectingSpeed	ตัวเลข	ความเร็วในการจัดเก็บต่อช่องของช่องเก็บกระจกขนาดใหญ่
Small_CollectingSlot	ตัวเลข	จำนวนช่องเก็บกระจกขนาดใหญ่
Breaksize	ตัวเลข	ขนาดกระจกที่เป็นตัวแบ่งกระจกขนาดเล็กหรือใหญ่

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลการผลิตตามรอบการวางแผน

ข้อมูลการผลิตตามรอบการวางแผน		
ชื่อ	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด
ID	ตัวเลข	ลำดับเลขอัตโนมัติ
Pull	ตัวเลข	ปริมาณน้ำกระจก (ตัน)
Capacity_StartDate	วันที่	วันที่เริ่มใช้ข้อมูลชุดนี้
Capacity_EndDate	วันที่	วันที่สิ้นสุดการใช้ข้อมูลชุดนี้

5.2.3 กลุ่มข้อมูลการวางแผนการผลิตและการปฏิบัติงานจริง

ฐานข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลการวางแผนการผลิตและการปฏิบัติงานจริง เป็นการนำข้อมูลความต้องการสินค้าที่ผ่านการพิจารณาค่าเผื่อปริมาณการผลิตมาแล้ว กับข้อมูลสินค้า และข้อมูลตั้งค่าการผลิต มาใช้ในการจัดลำดับการผลิต ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ข้อมูลการวางแผนการผลิต
- ข้อมูลเศษกระจก

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลการวางแผนการผลิต

ข้อมูลการวางแผนการผลิต		
ชื่อ	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด
MO	ข้อความ	รหัสใบสั่งผลิต
PO	ข้อความ	รหัสใบสั่งซื้อ
Pc	ตัวเลข	จำนวนแผ่นกระจกต่อแสนป
Snap	ตัวเลข	จำนวนสแนป
Feed	ตัวเลข	ความเร็วการดึง
Duration	ตัวเลข	ระยะเวลาการผลิต
Plan_Start_DateTime	วันที่/เวลา	วันและเวลาเริ่มต้นการผลิตของงาน (แผน)
Plan_Finish_DateTime	วันที่ /เวลา	วันและเวลาสิ้นสุดการผลิตของงาน (แผน)
Actual_Start_DateTime	วันที่/เวลา	วันและเวลาเริ่มต้นการผลิตของงาน (จริง)
Actual_Sheet	ตัวเลข	จำนวนที่ผลิตได้จริง (แผ่น)

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลเศษกระจก

ข้อมูลเศษกระจก		
ชื่อ	ชนิดข้อมูล	รายละเอียด
ID	ตัวเลข	ตัวเลขอัตโนมัติ
Waste	ตัวเลข	ปริมาณเศษกระจกตั้งแต่เริ่มถึงสิ้นสุดช่วงเวลาที่ระบุ
Start_DateTime	วันที่/เวลา	วันที่และเวลาเริ่ม
End_DateTime	วันที่/เวลา	วันที่และเวลาสิ้นสุด

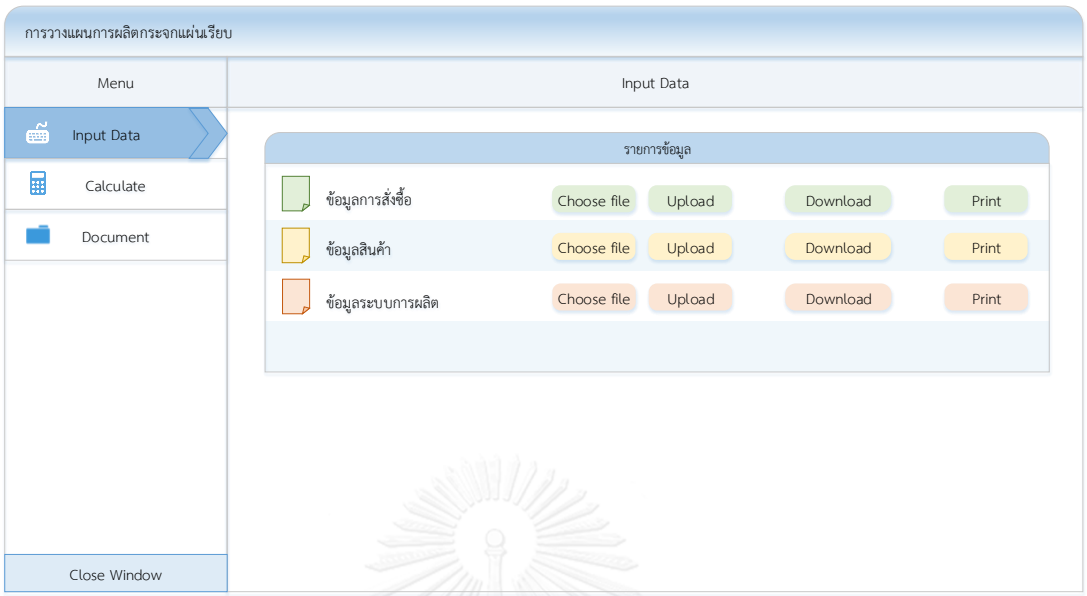
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 หน้าจอการทำงาน

การออกแบบหน้าจอการทำงานที่ใช้สื่อสารกับผู้ใช้งาน จะทำการรับข้อมูลและบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล เพื่อแสดงผลลัพธ์การวางแผน ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบให้เข้าใจง่ายและไม่ซับซ้อนจนเกินไป โดยแบ่งหน้าจอการทำงานออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ กลุ่มหนาจอนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นต่อการวางแผนการผลิต กลุ่มหน้าจอการวางแผนการผลิต และกลุ่มหน้าจอแสดงผลการผลิต

รายละเอียดของหน้าจอการทำงานกลุ่มต่างๆ ของระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิต สามารถอธิบายได้ ดังนี้

5.3.1 กลุ่มหน้าจอนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นต่อการวางแผนการผลิต



รูปที่ 5.4 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

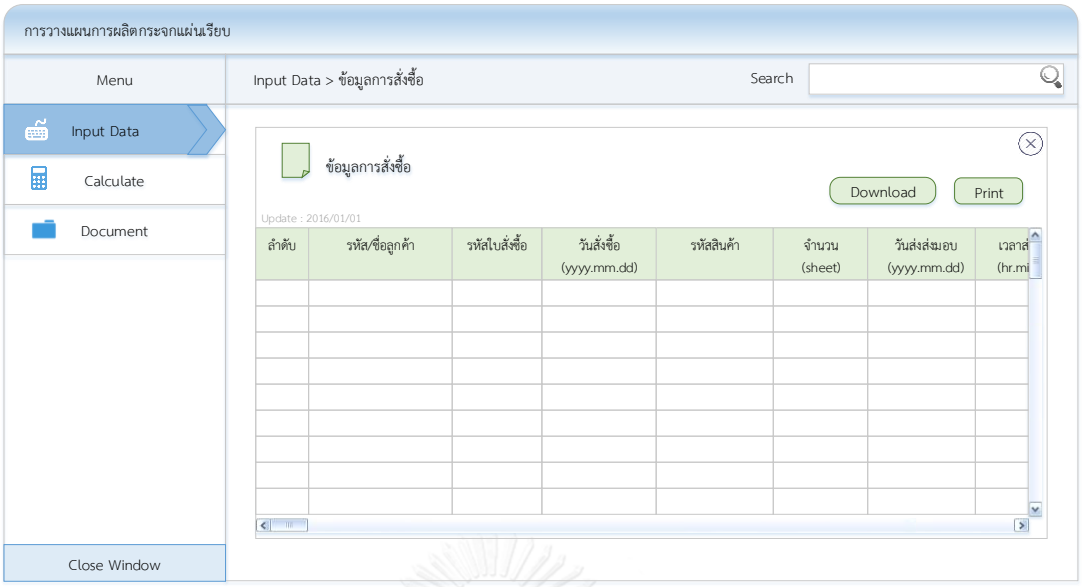
เพื่อนำข้อมูลความต้องการสินค้า ข้อมูลสินค้า และข้อมูลระบบการผลิตมาสร้างเป็นข้อมูลความต้องการผลิต เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของกระบวนการวางแผนการผลิต

<u>รายละเอียดการใช้งาน</u>

ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานหน้าจอการทำงานนี้ได้จากการกดเลือกแถบ Data จากเมนูการทำงานด้านซ้ายมือ แล้วหน้าจอจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้า
- ข้อมูลสินค้า
- ข้อมูลระบบการผลิต

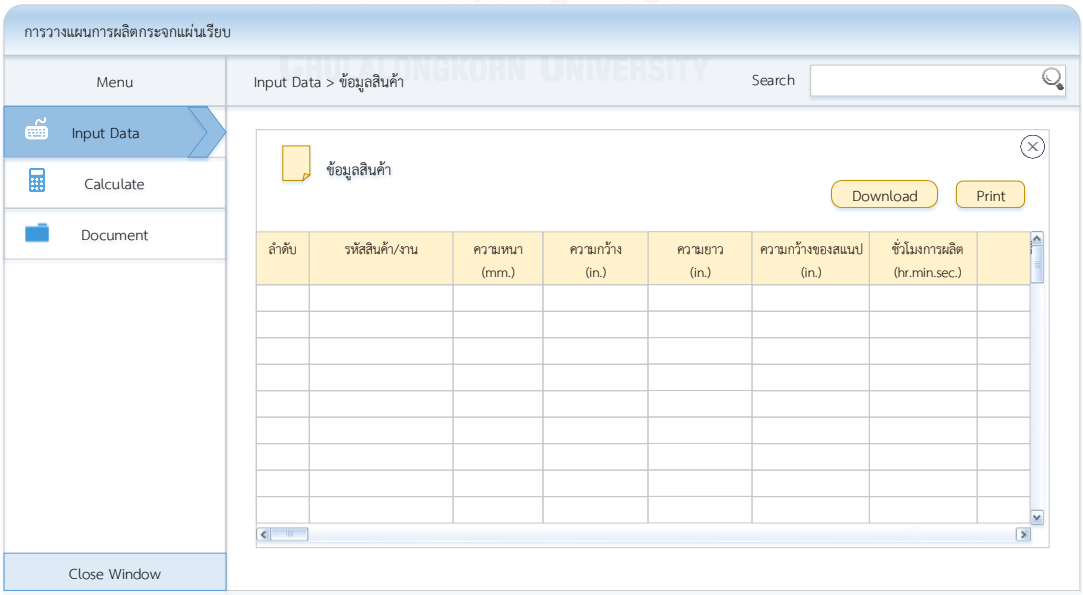
หน้าจอการนำเข้าข้อมูลนี้สามารถแสดงข้อมูลดังกล่าวได้ เมื่อทำการอัพโหลดไฟล์เอกสารที่อยู่ในแบบฟอร์มที่กำหนดเท่านั้น โดยสามารถเลือกไฟล์เอกสารได้จากปุ่ม Choose file และกดปุ่ม Upload เพื่อทำการบันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบ การแสดงข้อมูลหลังจากอัพโหลดแล้วสามารถกดเข้าไปที่หัวข้อ ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้า ข้อมูลสินค้า และข้อมูลระบบการผลิตได้ทันที และหน้าจอนี้ยังสามารถดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลดังกล่าวได้เมื่อกดปุ่ม Download



รูปที่ 5.5 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลความต้องการสินค้าของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต

<u>รายละเอียดการใช้งาน</u>

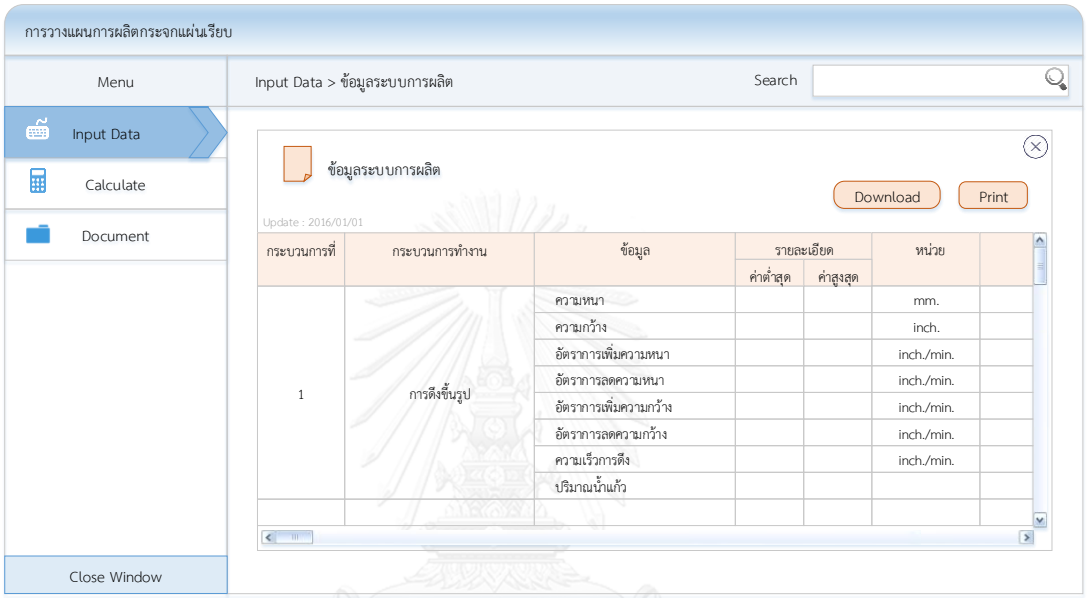
ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานหน้าจอการทำงานนี้ได้จากการกดที่หัวข้อ ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าในแถบ Data ที่เมนูการทำงานด้านซ้ายมือ แล้วหน้าจอจะแสดงข้อมูลความต้องการสินค้าในรูปของตาราง ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการค้นหาข้อมูลในตารางได้ด้วยการกรอกคำค้นหาลงในช่อง Search และสามารถโหลดข้อมูลเป็นเอกสารได้โดย กดปุ่ม Download หรือกดปุ่ม Print เพื่อพิมพ์ข้อมูล



รูปที่ 5.6 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลสินค้าของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต

รายละเอียดการใช้งาน

ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานหน้าจอการทำงานนี้ได้จากการกดที่หัวข้อ ข้อมูลสินค้า ในแถบ Data ที่เมนูการทำงานด้านซ้ายมือ แล้วหน้าจอจะแสดงข้อมูลของสินค้าแต่ละรายการในรูปของตาราง ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการค้นหาข้อมูลในตารางได้ด้วยการกรอกคำค้นหาลงในช่อง Search และสามารถโหลดข้อมูลเป็นเอกสารได้โดย กดปุ่ม Download หรือกดปุ่ม Print เพื่อพิมพ์ข้อมูล



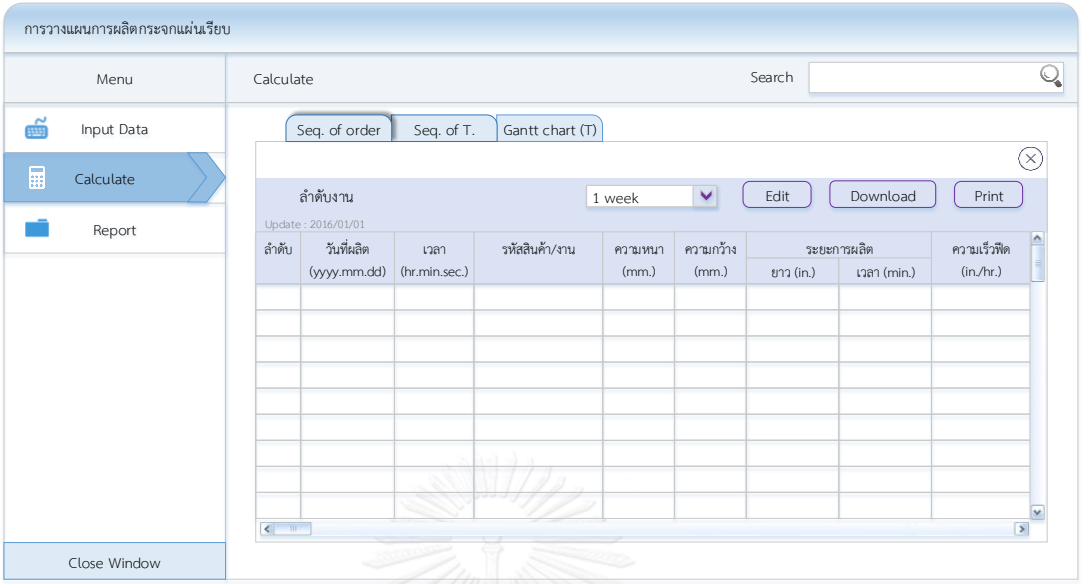
รูปที่ 5.7 หน้าจอการนำเข้าข้อมูลระบบการผลิตของระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดการใช้งาน

ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานหน้าจอการทำงานนี้ได้จากการกดที่หัวข้อ ข้อมูลระบบการผลิต ในแถบ Data ที่เมนูการทำงานด้านซ้ายมือ แล้วหน้าจอจะแสดงข้อมูลของกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องทุกกระบวนการในรูปของตาราง ซึ่งผู้ใช้สามารถทำการค้นหาข้อมูลในตารางได้ด้วยการกรอกคำค้นหาลงในช่อง Search และสามารถโหลดข้อมูลเป็นเอกสารได้โดย กดปุ่ม Download หรือกดปุ่ม Print เพื่อพิมพ์ข้อมูล

5.3.2 กลุ่มหน้าจอแสดงผลการวางแผนการผลิต



รูปที่ 5.8 หน้าจอแสดงผลการวางแผนการผลิต

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

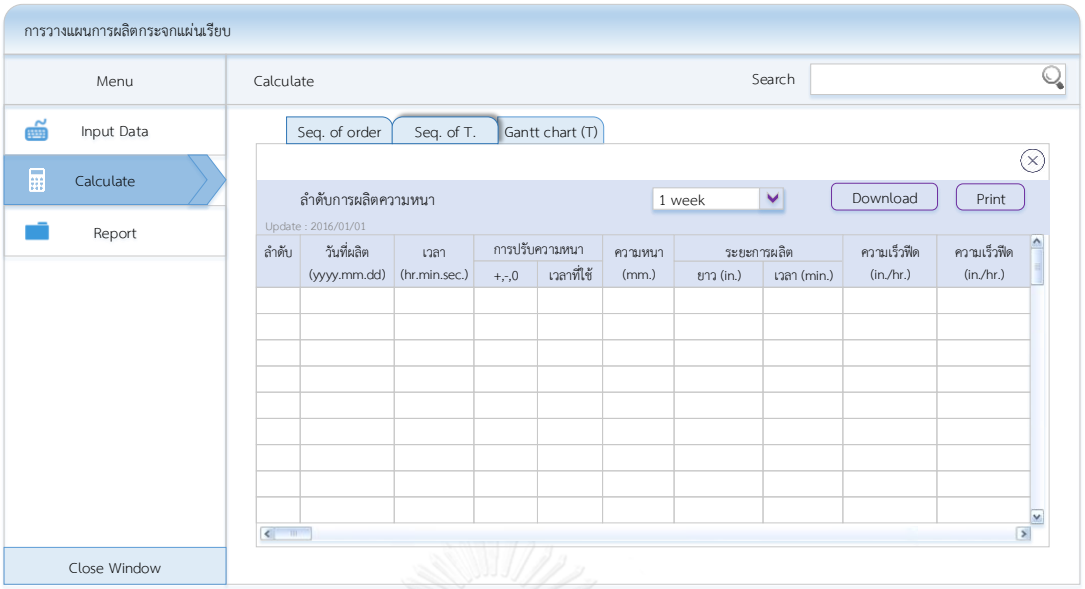
เพื่อนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ ทั้งผลลัพธ์แบบเป็นตารางข้อมูลและแบบแผนภูมิแกนต์ (Gantt chart)

<u>รายละเอียดการใช้งาน</u>

ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานหน้าจอการทำงานนี้ได้จากการกดเลือกแถบ Calculate จากเมนูการทำงานด้านซ้ายมือ แล้วหน้าจอจะแสดงรายละเอียดตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- Seq. of order แสดงการจัดลำดับงาน
- Seq. of T แสดงผลการจัดลำดับการผลิตเฉพาะความหนา
- Gantt chart (T) แสดงแผนภูมิการจัดลำดับการผลิตเฉพาะความหนา

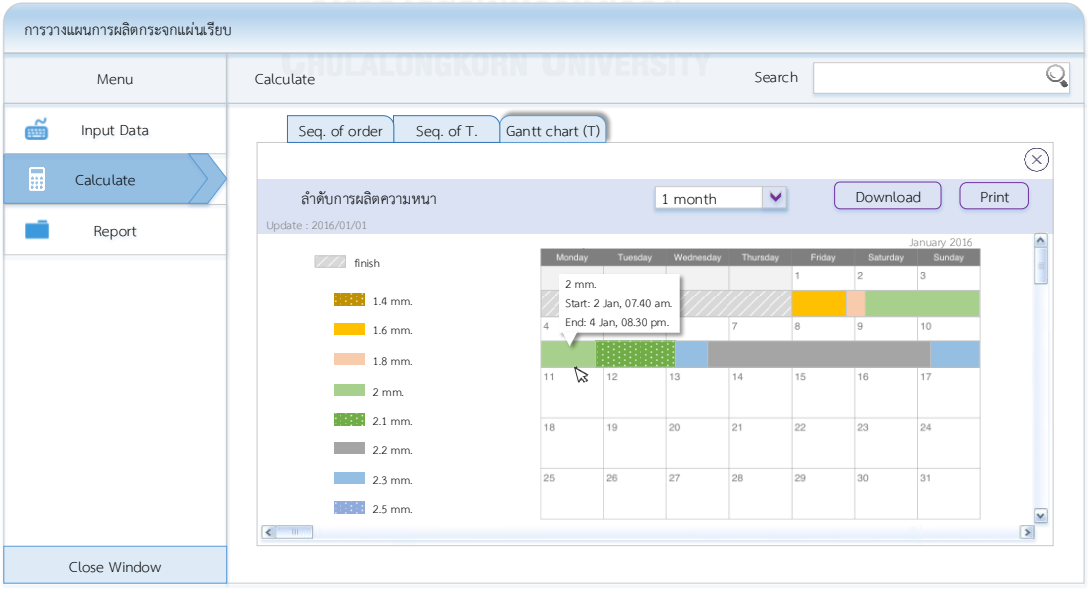
หน้าจอแสดงผลลัพธ์จะแสดงผลการจัดลำดับการผลิต Seq. of order เป็นหน้าจอแรก ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ว่าให้แสดงผลเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือนได้ และผู้ใช้งานยังสามารถทำการแก้ไขได้ด้วยการกดปุ่ม Edit และกดเลือกการแสดงผลแบบอื่นได้ โดยกดแถบ Seq. of T หรือ Gantt chart (T) ที่อยู่ด้านบนได้ ในหน้าจอการแสดงผลนี้สามารถทำการดาวน์โหลดข้อมูลและสั่งพิมพ์ได้โดยกดปุ่ม Download หรือ Print



รูปที่ 5.9 หน้าจอแสดงลำดับการผลิตตามความหนา

<u>รายละเอียดการใช้งาน</u>

ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานหน้าจอการทำงานนี้ได้จากการกดเลือกแถบ Seq. of T ที่อยู่ด้านบนการแสดงผล โดยสามารถเลือกได้ว่าให้แสดงผลเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือน หน้าจอแสดงผลลัพธ์นี้จะแสดงตารางผลการจัดลำดับการผลิตขั้นสุดท้าย และหน้าจอการแสดงผลนี้สามารถทำการดาวน์โหลดข้อมูลและสั่งพิมพ์ได้ โดยกดปุ่ม Download หรือ Print

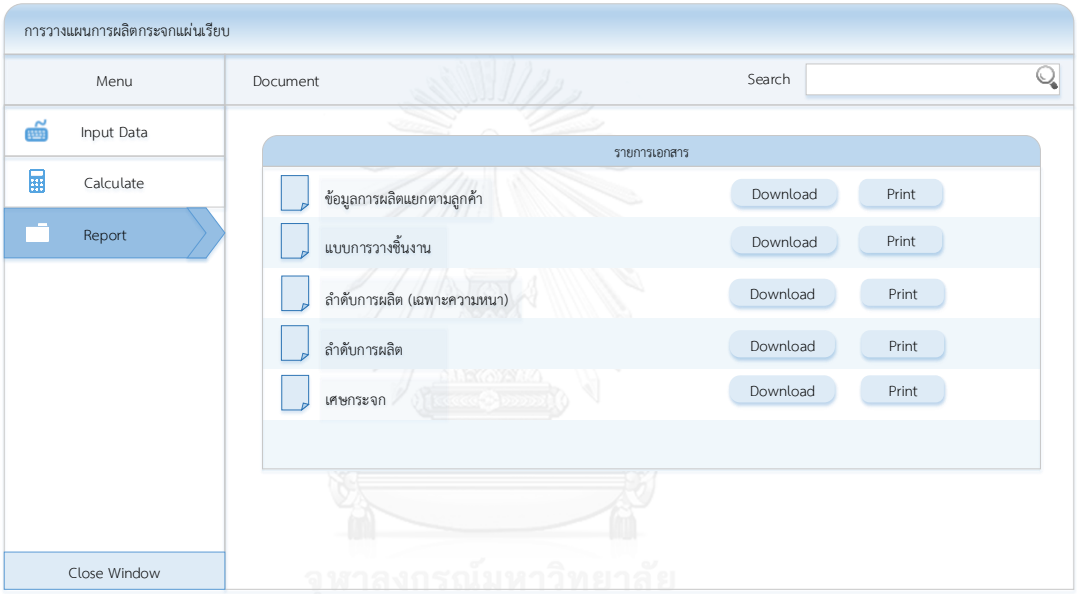


รูปที่ 5.10 หน้าจอแสดงแผนภูมิลำดับการผลิตความหนา

รายละเอียดการใช้งาน

ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานหน้าจอการทำงานนี้ได้จากการกดเลือกแถบ Gantt chart ที่อยู่ด้านบนการแสดงผล โดยสามารถเลือกได้ว่าให้แสดงผลเป็นสัปดาห์หรือเป็นเดือน ในแผนภูมิแสดงแถบสีบอกความหนา เมื่อผู้ใช้งานเลื่อนเมาส์ไปที่แถบสีจะมีข้อความบอกเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการผลิต และหน้าจอการแสดงผลนี้สามารถทำการดาวน์โหลดข้อมูลและสั่งพิมพ์ได้ โดยกดปุ่ม Download หรือ Print

5.3.3 กลุ่มหน้าจอเอกสาร



รูปที่ 5.11 หน้าจอแสดงเอกสาร/รายงาน

วัตถุประสงค์การใช้งาน

เพื่อแสดงรายการเอกสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ และเอกสารผลลัพธ์จากกระบวนการวางแผนการผลิต

รายละเอียดการใช้งาน

ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานหน้าจอการทำงานนี้ได้จากการกดเลือกแถบ Document จากเมนูการทำงานด้านซ้ายมือ แล้วหน้าจอจะแสดงรายละเอียดเอกสารดังต่อไปนี้

- ข้อมูลการผลิตแยกตามลูกค้า
- ข้อมูลการสั่งซื้อ
- ข้อมูลสินค้า

- ข้อมูลระบบการผลิต
- แบบการวางชิ้นงาน
- ลำดับการผลิตความหนา
- ลำดับการผลิต
- สรุปปริมาณเศษกระจก

ในหน้าจอการทำงานนี้ผู้ใช้งานสามารถทำการดาวน์โหลดเอกสารและสั่งพิมพ์ได้ โดยกดปุ่ม Download หรือ Print

5.4 เอกสาร/รายงาน

เอกสารแสดงข้อมูลและผลลัพธ์จากกระบวนการวางแผนการผลิต มีรูปแบบที่ความสอดคล้องกับการแสดงผลในหน้าจอการทำงาน ซึ่งถูกออกแบบมาให้ง่ายต่อการอ่านและทำความเข้าใจ โดยอยู่ในแบบฟอร์มตารางและแผนภูมิทั้งหมด 5 แบบด้วยกัน คือ เอกสารข้อมูลการผลิตแยกตามลูกค้า เอกสารจากจัดลำดับความหนา เอกสาร Gantt chart จากการจัดลำดับความหนา และเอกสารการจัดลำดับการผลิต และเอกสารสรุปปริมาณเศษกระจก

รายละเอียดของเอกสารต่างๆ ของระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิตสามารถอธิบายได้ ดังนี้

5.4.1 เอกสารข้อมูลการผลิตแยกตามลูกค้า

ใช้สำหรับแสดงรายละเอียดข้อมูลการผลิตสินค้าทั้งหมดที่ถูกสั่งโดยลูกค้า แยกเป็นข้อมูลเฉพาะของลูกค้าแต่ละราย เพื่อความสะดวกในการค้นหาและรายงานผล ดังตารางที่ 15 โดยมีรายละเอียดของตารางประกอบด้วย

- เดือนและปีของข้อมูล
- ลำดับที่ของข้อมูล
- รหัสใบสั่งซื้อ
- รหัสสินค้า/งาน
- ขนาดสินค้า ระบุความหนา ความกว้าง และความยาว
- จำนวนสินค้า
- รายละเอียดการผลิต ระบุวันและเวลาที่เริ่มผลิต วันและเวลาสิ้นสุดการผลิต ความเร็วในการผลิต เวลาล่าช้าของงาน และปริมาณเศษกระจกที่เกิดจากการเปลี่ยนมาทำการผลิตงานรหัสนี้

5.4.2 เอกสารการจัดลำดับความหนา

ใช้แสดงรายละเอียดข้อมูลลำดับการผลิตความหนา สำหรับผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการดึงขึ้นรูปและผู้ที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดของเอกสารแสดงดังตารางที่ 16 รายละเอียดของตารางประกอบด้วย

- วันที่ออกเอกสาร
- ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลง ระบุปริมาณน้ำกระจก อัตราการเพิ่ม-ลดความหนาและความกว้าง
- ลำดับที่ของข้อมูล
- วันและเวลาที่ทำการผลิต
- การปรับเปลี่ยนการผลิต ระบุรหัสการปรับเปลี่ยน +T คือ เพิ่มความหนา, -T คือ เพิ่มความกว้าง, +W คือ เพิ่มความกว้าง, –W คือ ลดความกว้าง, 0 คือ ไม่มีการปรับเปลี่ยน และระยะเวลาที่ใช้
- รหัสสินค้า/งาน
- ขนาดของสินค้า/งาน ระยบุเฉพาะความหนา
- ระยะการผลิต ระบุความยาวในการผลิต และระยะเวลาที่ใช้ผลิต
- ความเร็วในการดึง
- เวลาล่าช้า
- ปริมาณเศษกระจก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.8 ตัวอย่างเอกสารข้อมูลการผลิตแยกตาม

รหัส/ชื่อลูกค้า:												
เดือน..... ปี.....												
ลำดับ	รหัสใบสั่งซื้อ	รหัสสินค้า	ความหนา (in.)	ความกว้าง (in.)	ความยาว (in)	จำนวน (Sheet)	รายละเอียดการผลิต					
							เริ่มผลิต (yyyy.mm.dd.)	เวลา (hr.min.)	ระยะเวลา (hr.min.)	ความเร็ว (in./min.)	เวลาล่าช้า (hr.min.)	เศษกระจก ($m.^3$)

ตารางที่ 5.9 อย่างเอกสารจากการจัดลำดับความ

เอกสาร: ผลลัพธ์จากการจัดลำดับความหนา

วันที่..... เดือน..... ปี.....

ข้อมูลอัตาการเปลี่ยนแปลง	
ปริมาณน้ำกระจก	
อัตราการเพิ่มความกว้าง	
อัตราการลดความกว้าง	
อัตราการเพิ่มความหนา	
อัตราการลดความหนา	

ลำดับ	วันที่ (yyyy.mm.dd.)	เวลาเริ่ม (hr.min.)	การปรับความหนา		รหัสสินค้า/งาน	ความหนา (mm.)	ระยะการผลิต		ความเร็วฟีด (in./min.)	เวลาล่าช้า (hr.min.)	ปริมาณเศษ ($m.^3$)
			รหัสการปรับ	เวลาที่ใช้ (min.)			ยาว (in.)	เวลาที่ใช้ (min.)			

5.4.3 เอกสารแผนภูมิ Gantt chart การจัดลำดับความหนา

ใช้แสดงแผนภูมิลำดับการผลิตความหนา สำหรับผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการดึงขึ้นรูปและผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยมีลักษณะเป็นปฏิทินรายเดือนและตารางรายละเอียดของแผนภูมิ ดังตารางที่ 17 รายละเอียดของแผนภูมิและตารางประกอบด้วย

- วันที่ออกเอกสาร
- แผนภูมิ Gantt chart
- ลำดับที่ของข้อมูล
- วันและเวลาที่เริ่มผลิตความหนา
- ความหนาที่ผลิต
- ระยะการผลิต ระบุ ความยาว และเวลาที่ใช้ผลิต

ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างเอกสารการจัดลำดับความหนา Gantt chart

เอกสาร: Gantt chart การจัดลำดับความหนา					
วันที่..... เดือน..... ปี..... แผนภูมิ Gantt chart					
ลำดับ	วันที่ (yyyy.mm.dd.)	เวลา (hr.min)	ความหนา (mm.)	ระยะการผลิต	
				ความยาว (in.)	เวลาที่ใช้ (min.)

5.4.4 เอกสารการจัดลำดับการผลิต

ใช้แสดงรายละเอียดข้อมูลลำดับการผลิต รายละเอียดของเอกสารแสดงดังตารางที่ 18 โดยรายละเอียดของตารางประกอบด้วย

- วันที่ออกเอกสาร
- ข้อมูลอัตราการเปลี่ยนแปลง ระบุปริมาณน้ำกระจก อัตราการเพิ่ม-ลดความหนาและความกว้าง จำวนวนช่องเก็บ และความเร็วเฉลี่ยที่ใช้เก็บกระจก
- ลำดับที่ของข้อมูล
- วันและเวลาที่ทำการผลิต
- การปรับเปลี่ยนการผลิต ระบุรหัสการปรับเปลี่ยน +T คือ เพิ่มความหนา, -T คือ เพิ่มความกว้าง, +W คือ เพิ่มความกว้าง, –W คือ ลดความกว้าง, 0 คือ ไม่มีการปรับเปลี่ยน และระยะเวลาที่ใช้
- รหัสสินค้า/งาน
- ขนาดของสินค้า/งาน ระบุความหนา และความกว้างของสแนป
- ระยะการผลิต ระบุความยาวในการผลิต และระยะเวลาที่ใช้ผลิต
- ความเร็วในการดึง
- เวลาล่าช้า
- ปริมาณเศษกระจก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.11 ตัวอย่างเอกสารการจัดลำดับการผลิต

เอกสาร: ผลลัพธ์จากการจัดลำดับการผลิต

วันที่..... เดือน..... ปี.....

ข้อมูลอัตาการเปลี่ยนแปลง	
ปริมาณน้ำกระจก	
อัตราการเพิ่มความกว้าง	
อัตราการลดความกว้าง	
อัตราการเพิ่มความหนา	
อัตราการลดความหนา	
จำนวน Branch	
ความเร็วเก็บกระจกเฉลี่ย	

ลำดับ	วันที่ (yyyy.mm.dd.)	เวลา (hr.min.)	การปรับ		รหัสสินค้า/งาน	ความหนา (mm.)	ความกว้าง (in.)	ระยะการผลิต		ความเร็วฟีด (in./min.)	เวลาล่าช้า (hr.min.)	ปริมาณเศษ ($m.^3$)
			รหัสปรับ	เวลาที่ใช้ (min.)				ยาว (in.)	เวลาที่ใช้ (min.)			

5.4.5 เอกสารสรุปเศษกระจก

ใช้สำหรับดูรายงานสรุปผลการเกิดเศษกระจกทั้งหมดที่เกิดจากกระบวนการวางแผน โดยแยกตามการเกิดเศษกระจกรายละเอียดของเอกสารแสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 5.12 ตัวอย่างเอกสารสรุปปริมาณเศษกระจก

เอกสาร: สรุปปริมาณเศษกระจกจากผลลัพธ์การวางแผนการผลิต					
วันที่..... เดือน..... ปี.....					
ลำดับ	วันที่ (yyyy.mm.dd.)	เศษความหนา ($m.^3$)	เศษความกว้าง ($m.^3$)	เศษเว้นขอบ ($m.^3$)	เศษทั้งหมด ($m.^3$)

รายละเอียดของตารางประกอบด้วย

- วันที่ออกเอกสาร
- ลำดับที่ของข้อมูล
- วันที่มีเศษกระจก
- ปริมาณเศษกระจก ระบุทั้งเศษกระจกจากการปรับความหนา เศษกระจกการปรับความกว้าง เศษกระจกจากการเว้นขอบ และเศษกระจกรวม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 6
การทดสอบและประเมินผลการดำเนินงาน

บทนี้นำเสนอวิธีการประเมินเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการวางแผนการผลิตที่พัฒนาขึ้น ว่าสามารถสร้างแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โดยประเมินใน 2 ประเด็น คือ แนวคิดการออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิต และคุณภาพคำตอบที่ได้จากระบบสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิต

การประเมินแนวคิดการออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิตทำโดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่อยู่ในสายงานการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินว่า

1. ข้อมูลที่ใช้ประกอบการวางแผนการผลิต เหมาะสมหรือไม่ ครบถ้วนหรือไม่ และโรงงานเก็บข้อมูลเหล่านี้หรือไม่ ถ้าไม่ได้เก็บจะสามารถเก็บได้หรือไม่
2. กระบวนการวางแผนการผลิต คำนึงถึงปัจจัยต่างๆครบถ้วนหรือไม่ และแนวทางการออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิตสมเหตุสมผลหรือไม่
3. แผนการผลิตที่ได้จากระบบสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิตมีข้อมูลครบถ้วนหรือไม่

การประเมินคุณภาพคำตอบที่ได้จากระบบสนับสนุนกระบวนการวางแผนการผลิตทำโดยการเขียนโปรแกรมตามลำดับขั้นตอนการวางแผนการผลิตที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft excel และภาษา PHP และนำคำตอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีของโรงงานตัวอย่าง รายละเอียดการประเมินมีดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.1 การประเมินผลจากผู้เชี่ยวชาญ

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินแนวคิดที่เกี่ยวกับข้อมูลสำหรับใช้ในการวางแผนการผลิต ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลสินค้า และข้อมูลกำลังการผลิตของแต่ละกระบวนการ ได้ข้อสรุปว่า ข้อมูลมีความครบถ้วนและทางโรงงานมีการจัดเก็บข้อมูลไว้อยู่แล้ว โดยเฉพาะข้อมูลการวางแบบของชิ้นงานที่สามารถดึงข้อมูลมาใช้ได้เลย แต่ความละเอียดของข้อมูลยังต้องมีการเพิ่มเติม เช่น การกำหนดความสำคัญของงาน รายละเอียดการปล่อยน้ำกระแก้ว เป็นต้น ข้อมูลความสัมพันธ์ของเวลาการปรับเปลี่ยนความหนาหรือความกว้างนั้นทางโรงงานมองว่าไม่จำเป็นต้องมีการจัดเก็บ เนื่องจากสามารถคำนวณได้อยู่แล้ว และข้อมูลความเร็วในการจัดเก็บที่มีความสำคัญนั้นไม่มีการบันทึกไว้ แต่หากมีความจำเป็นต้องนำข้อมูลนี้ไปใช้ก็สามารถจัดเก็บเพิ่มเติมได้

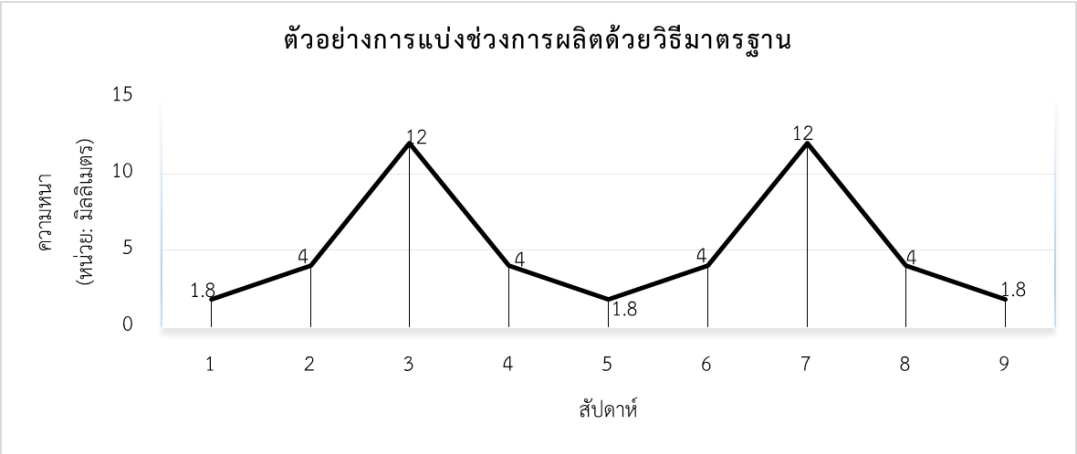
ในส่วนของปัจจัยการวางแผนการผลิตมีการพิจารณาที่ครบถ้วนและกระบวนการวางแผนมีความสมเหตุสมผลภายใต้ขอบเขตที่พิจารณา แต่หากนำไปใช้งานจริงควรมีการพิจารณาที่ลึกซึ้งกว่านี้ เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริงต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นด้วย เช่น กำลังคน อัตราการผลิตของแต่ละกระบวนการ ความสำคัญหรือความเร่งด่วนของงานที่ทางโรงงานอยากให้เน้นความสำคัญ เป็นต้น และแผนการผลิตที่ได้จากระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตมีข้อมูลครบถ้วน แต่ควรมีการแยกเป็นชุดสำหรับแต่ละกระบวนการ เพื่อให้เข้าใจง่ายและสามารถนำไปใช้ได้ทันที (การนำเสนองานวิจัยแสดงไว้ในภาคผนวกท้ายเล่ม)

6.2 การประเมินผลจากการทดลอง

การประเมินผลการทำงานของกระบวนการวางแผนการผลิตที่พัฒนาขึ้น เป็นการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของชุดข้อมูล เพื่อหาแนวโน้มของคำตอบและประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการวางแผนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป โดยการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระหว่าง แนวทางการวางแผนการผลิตมาตรฐานของโรงงานตัวอย่างกับแผนการผลิตที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ว่ามีประสิทธิภาพแตกต่างกันเพียงใดในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ประเด็น ดังนี้

1. การทดลองศึกษาผลของอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ที่แตกต่างกัน
2. การทดลองศึกษาผลของระยะเวลารอคอยสินค้าที่แตกต่างกัน
3. การทดลองศึกษาจำนวนงานและการแกว่งตัวของเวลาส่งมอบที่แตกต่างกัน

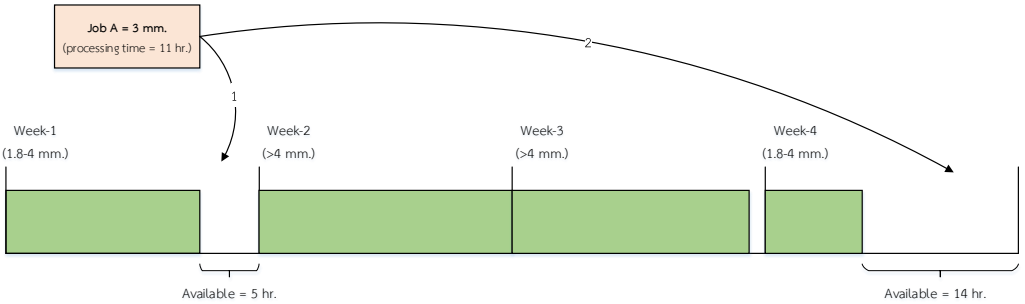
การทดลองทั้ง 3 ประเด็นจะเป็นการทดลองที่มีลักษณะเป็น Static case คือ มีการกำหนดจำนวนและค่าของข้อมูลตัวอย่างที่แน่นอน โดยพิจารณาคำสั่งซื้อที่มีการยืนยันแล้วเท่านั้น ซึ่งผลการทดลองจะเปรียบเทียบกับวิธีการวางแผนของโรงงานตัวอย่างที่มีลักษณะการวางแผนเน้นให้ความสำคัญกับปริมาณเศษกระจก และลำดับการผลิตความหนาเป็นหลัก ลักษณะการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่างมีรอบของการวางแผน (Planning cycle) คือ 4 สัปดาห์ โดยกำหนดว่าในระยะเวลา 1 เดือนต้องมีการผลิตความหนาให้ครบทุกความหนา และผลิตความหนาละ 2 ครั้ง/เดือน ซึ่งทางโรงงานจะแบ่งกลุ่มความหนาออกเป็น 2 กลุ่มคือ บางและหนา เช่นกำหนดให้ความหนาระหว่าง 1.8 – 4 มิลลิเมตรอยู่ในกลุ่มบางและความหนามากกว่า 4 มิลลิเมตรอยู่ในกลุ่มหนา ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.1 แสดงการผลิตความหนาในระยะเวลา 2 เดือน (8 สัปดาห์) ในแต่ละเดือนได้แบ่งการผลิตตามกลุ่มความหนาออกเป็น 4 ช่วง คือ สัปดาห์ที่ 1 (บาง) - สัปดาห์ที่ 2 (หนา) - สัปดาห์ที่ 1 (หนา) - สัปดาห์ที่ 2 (บาง)



รูปที่ 6.1 ตัวอย่างแนวทางการวางแผนการผลิตมาตรฐานของโรงงานตัวอย่าง

การจัดลำดับการผลิตเมื่อมีงานเข้ามาโรงงานจะพิจารณาความหนาเป็นอันดับแรก โดยจัดงานลงในสัปดาห์ที่มีความหนาตรงกันจนกว่าจะสิ้นสุดสัปดาห์หรือไม่มีเวลาเหลือพอ และงานที่ไม่สามารถจัดลงได้จะถูกจัดลงในสัปดาห์ถัดไปที่ผลิตความหนาตรงกัน ตัวอย่างเช่นรูปที่ 6.2 งาน A มีความหนา 3 มิลลิเมตรและมีเวลาผลิต 11 ชั่วโมง ด้วยวิธีการจัดลำดับของโรงงานจะจัดให้งาน A ถูกผลิตในสัปดาห์ที่ 1 แต่เนื่องจากเวลาผลิตของงาน A มากกว่าเวลาผลิตที่เหลืออยู่ในสัปดาห์ที่ 1 จึงต้องจัดให้ผลิตในสัปดาห์ที่ 4 ที่มีเวลาเหลือมากกว่าและหากในสัปดาห์นี้มีงานที่ความหนาเท่ากันกับงาน A จะพิจารณาเรียงลำดับด้วยเวลาส่งมอบจากน้อยไปมาก และโดยปกติโรงงานจะมีการผลิตเพื่อเก็บสำรอง (Make stock) และขายให้กับผู้ที่ไม่ใช่ลูกค้าประจำ ถ้าหากในสัปดาห์ใดมีกำลังการผลิตมากกว่าความต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 6.2 ตัวอย่างการพิจารณาจัดลำดับงานด้วยแนวทางการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต เป็นข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานลักษณะการผลิตของโรงงานตัวอย่าง โดยแบ่งการกำหนดข้อมูลออกเป็น 6 ด้าน ดังนี้

1. ด้านกำลังการผลิต

เนื่องจากระบบการผลิตกระจกมีลักษณะแบบต่อเนื่อง และทำการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง จึงมีการกำหนดให้ใช้น้ำกระจกในปริมาณที่น้อยกว่าความจุของเตาหลอม ในการทดลองนี้ได้กำหนดให้ปริมาณน้ำกระจกที่ใช้ได้วันละไม่เกิน 250 ตัน และให้มีการใช้น้ำกระจก (ไม่รวมน้ำกระจกที่เป็นเศษกระจก) อยู่ที่ 90% ของปริมาณน้ำกระจกที่กำหนด

ในส่วนของอัตราการผลิต มีการกำหนดอัตราในการเพิ่ม-ลดความกว้างและความหนาเป็นอัตราคงที่ ดังนี้

- อัตราการเพิ่มความกว้างเท่ากับ 2 นิ้วต่อนาที
- อัตราการลดความกว้างเท่ากับ 1 นิ้วต่อนาที
- อัตราการเพิ่ม-ลดความความหนา มีค่าเท่ากันที่ 0.00394 นิ้วต่อนาที (0.1 มิลลิเมตรต่อนาที)

2. ด้านเวลาการปรับตั้งค่า

ระยะเวลาการปรับตั้งค่าเครื่องจักรแปรผันตรงกับระยะเวลาการปรับตั้งความหนา ดังสมการที่ 9

$$\text{ระยะเวลาปรับตั้งค่าเครื่องจักร} = \frac{|T_i - T_{i+1}|}{\nu_T}$$

สมการที่ 9

ระยะเวลาการปรับความกว้างเกิดจากการคำนวณผลต่างความกว้างของงานที่ผลิตต่อกัน ดังสมการที่ 10

$$\text{ระยะเวลาปรับความกว้าง} = \frac{|W_i - W_{i+1}|}{\nu_W}$$

สมการที่ 10

3. ด้านจำนวนคำสั่งซื้อ

การสั่งซื้อกระจกประกอบไปด้วยคำสั่งซื้อหลายคำสั่ง แต่ละคำสั่งอาจมีขนาดเดียวกันแต่มีเวลาส่งมอบต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลคำสั่งซื้อเข้าสู่ระบบการวางแผน จะมีการแบ่งคำสั่งซื้อเหล่านี้เป็นรหัสงานตามเวลาส่งมอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. ด้านจำนวนการผลิต

จำนวนการผลิตของแต่ละงานจะคำนวณจากกำลังการผลิตรวม และขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นกระจก โดยให้มีการใช้ปริมาณน้ำกระจกรวมไม่เกินปริมาณที่กำหนด

5. ด้านขนาดของงาน

เนื่องจากโรงงานตัวอย่างที่ศึกษาทำการผลิตกระจกแผ่นเรียบไม่ได้ทำการผลิตเพื่อสนับสนุนการผลิตของโรงงานผลิตกระจกรถยนต์เพียงอย่างเดียว ความหนาของแผ่นกระจกมีทั้งหมด 18 ความหนา โดยแบ่งเป็นความหนาที่ครอบคลุมความหนาของกระจกรถยนต์ 7 ความหนา คือ 1.8, 2, 2.1, 2.2, 2.3, 2.5 และ 2.6 (หน่วย มิลลิเมตร) มีความแปรปรวนเท่ากับ 0.067 และความหนาของกระจกทั่วไป 11 ความหนา คือ 3, 3.2, 3.3, 3.5, 4, 4.1, 5, 6, 8, 10 และ 12 (หน่วย มิลลิเมตร) มีความแปรปรวนเท่ากับ 8.51

การกำหนดความกว้าง จะทำการสุ่มความกว้างที่ครอบคลุมความกว้างของกระจกรถยนต์ที่ 40 นิ้ว – 80 นิ้ว และครอบคลุมความกว้างบางส่วนของกระจกชนิดอื่นที่สามารถผลิตร่วมกันกับกระจกรถยนต์ได้ โดยมีขนาดมากกว่า 80 นิ้ว แต่ไม่เกิน 142 นิ้ว

6. ด้านกำหนดเวลาการทำงาน

กำหนดให้ทุกงานที่นำมาวางแผนสามารถเริ่มผลิตได้ที่เวลาเท่ากับ 0 (หน่วย ชั่วโมง) มีกำหนดเวลาส่งมอบในสถานการณ์ปกติหลังจากรับคำสั่ง 30 วัน (43,200 ชั่วโมง) และในสถานการณ์ไม่ปกติเช่น มีคำสั่งเร่งด่วนจะสามารถส่งมอบงานได้หลังจากรับคำสั่ง 2 วัน (48 ชั่วโมง) โดยคิดจากสัดส่วนวันทำงานและข้อกำหนดเวลาส่งสินค้าเร่งด่วน

6.2.1 การทดลองศึกษาผลของอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ที่แตกต่างกัน

เนื่องจากในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบมีการผลิตกระจกสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆ หลายอุตสาหกรรม รวมไปถึงกระจกสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วย ซึ่งจะมีอัตราส่วนการผลิตแตกต่างกันตามแนวทางการดำเนินงานของบริษัทนั้นๆ ในส่วนการทดลองนี้จึงมีการใช้อัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ในการทดสอบว่า หากอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ต่อกระจกแผ่นเรียบทั่วไปมีอัตราลดลงจะส่งผลต่อคำตอบที่ได้จากวิธีการวางแผนที่พัฒนาอย่างไร และการทดลองนี้จะพิจารณาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ไม่มีเวลาล่าของทั้งวิธีการที่พัฒนาและวิธีการของโรงงาน โดยกำหนดชุดข้อมูลในการทดลองทั้งหมด 4 ชุด ตามอัตราการผลิตกระจกรถยนต์ ซึ่งได้กำหนดให้กระจกรถยนต์เป็นกลุ่ม

ของสินค้าที่มีความแปรปรวนน้อย และกระจกทั่วไปเป็นกลุ่มของสินค้าที่มีความแปรปรวนมาก รายละเอียดในการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.1 และกำหนดชุดข้อมูลทั้ง 4 ดังนี้

1. อัตราส่วนการผลิต 98% หมายถึง ในงาน 100 งาน มี 98 งานเป็นการผลิตกลุ่มสินค้าที่มีความแปรปรวนน้อยและอีก 2 งานเป็นการผลิตกระจกที่มีความแปรปรวนมาก
2. อัตราส่วนการผลิต 80% หมายถึง ในงาน 100 งาน มี 80 งานเป็นการผลิตกลุ่มสินค้าที่มีความแปรปรวนน้อยและอีก 20 งานเป็นการผลิตกระจกที่มีความแปรปรวนมาก
3. อัตราส่วนการผลิต 60% หมายถึง ในงาน 100 งาน มี 60 งานเป็นการผลิตกลุ่มสินค้าที่มีความแปรปรวนน้อยและอีก และอีก 40 งานเป็นการผลิตกระจกที่มีความแปรปรวนมาก
4. อัตราส่วนการผลิต 40% หมายถึง ในงาน 100 งาน มี 40 งานเป็นการผลิตกลุ่มสินค้าที่มีความแปรปรวนน้อยและอีก 60 งานเป็นการผลิตกระจกที่มีความแปรปรวนมาก

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดการทดลองแบ่งตามอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์

รายละเอียดการทดลอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4
อัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ * (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)	98	80	60	40
กำลังการผลิต (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)	70-100%	70-100%	70-100%	70-100%
จำนวนข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (หน่วย: ตัวอย่าง)	85 (แบบสุ่ม)	85 (แบบสุ่ม)	85 (แบบสุ่ม)	85 (แบบสุ่ม)
เวลาส่งมอบ (หน่วย: วัน)	30 (แบบสุ่ม)	30 (แบบสุ่ม)	30 (แบบสุ่ม)	30 (แบบสุ่ม)
จำนวนรอบการทดสอบ (หน่วย: รอบ/อัตราการผลิต)	30	30	30	30

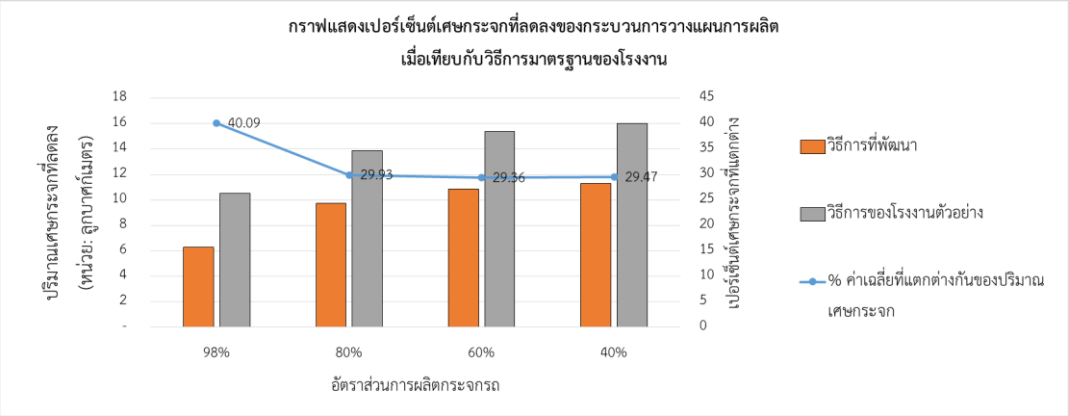
***** หมายถึง ข้อแตกต่างของชุดข้อมูลที่ใช้ทดลองที่แบ่งตามอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์

การทดลองที่แบ่งตามอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ นี้จะทำการเปรียบเทียบจากวัตถุประสงค์หลัก 2 ข้อ คือ เวลาล่าช้ารวม (หน่วย ชั่วโมง) และปริมาณเศษกระจกรวม (หน่วย

ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งผลลัพธ์จากการทดลองจะแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเมื่อเทียบกับวิธีการวางแผนของโรงงานตัวอย่าง โดยสามารถหาเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างของเวลาล่าช้ารวมและปริมาณเศษกระจกรวมจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การพัฒนาคำตอบ} = \frac{\text{คำตอบจากวิธีการของโรงงาน - คำตอบจากวิธีการที่พัฒนา}}{\text{คำตอบจากวิธีการของโรงงาน}} \times 100$$

ผลการทดลองของกระบวนการวางแผนที่พัฒนาด้วยจากโปรแกรมที่สร้างขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง โดยอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ต่อกระจกแผ่นเรียบทั่วไปให้ผลด้านเวลาส่งมอบดังรูปที่ 6.3 และผลด้านปริมาณเศษกระจกดังรูปที่ 6.4 และรายละเอียดของผลลัพธ์ของแต่ละการทดลองในภาคผนวก



รูปที่ 6.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของเศษกระจก

การทดลองที่มีอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ต่างกันเมื่อข้อมูลไม่มีเวลาล่าช้า หมายความว่า ที่ทุกอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์มีเวลาล่าช้าที่เกิดจากการจัดลำดับด้วยวิธีการวางแผนที่พัฒนาขึ้นและวิธีการวางแผนของโรงงานตัวอย่างเท่ากับ 0 เมื่อพิจารณาปริมาณเศษกระจกจากรูปที่ 6.3 จะสังเกตุได้ว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณเศษกระจกจากวิธีการที่พัฒนามีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ลดลง แสดงว่ากระบวนการวางแผนที่พัฒนาให้ผลลัพธ์ด้านปริมาณเศษกระจกมีแนวโน้มที่ดีกว่าวิธีของโรงงานหากมีอัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์มากกว่ากระจกทั่วไป โดยเฉพาะที่อัตราส่วน 98% สามารถลดเศษกระจกได้มากกว่าวิธีของโรงงานถึง 40.09% สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากกระบวนการวางแผนที่พัฒนามีการจัดเวลาตามกำหนดส่งมอบซึ่งอาจทำให้เกิดการปรับตั้งค่าบ่อยครั้ง ประกอบกับเมื่ออัตราส่วนการผลิตกระจกรถลดลง (ความหนาที่ผลิตมีความแปรปรวนมาก) การปรับตั้งค่าจะยิ่งใช้เวลานานขึ้นทำให้เกิดเศษกระจกมากขึ้น

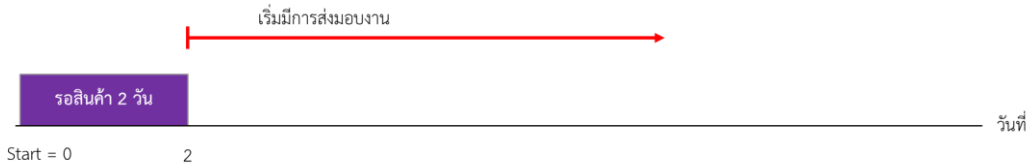
การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าความหนาของกระจกที่ทำการผลิตจะมีความแปรปรวนมากหรือน้อย ทั้งในอุตสาหกรรมผลิตกระจกสำหรับรถยนต์ที่มีการผลิตกระจกความหนา หรือผลิตกระจกสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่น วิธีการที่พัฒนายังสามารถตอบโจทย์ด้านเวลาส่งมอบและเศษกระจกได้ดีกว่าวิธีของโรงงาน

6.2.2 การทดลองศึกษาผลของระยะเวลารอคอยสินค้าที่แตกต่างกัน

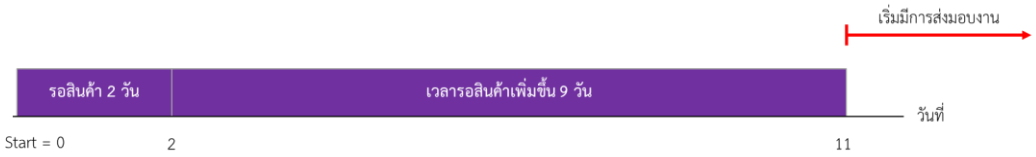
เนื่องจากลักษณะความต้องการในการรอคอยสินค้าของลูกค้า (Production lead time) มีความแตกต่างกันไป ลูกค้าบางรายไม่ต้องรีบใช้สินค้าจึงส่งข้อมูลล่วงหน้าให้โรงงานก่อนส่งมอบ 2 สัปดาห์ บางรายให้ข้อมูลล่วงหน้า 1 เดือน แต่บางรายมีความต้องการรอสินค้าที่สั้นคือ 2-3 วัน เป็นข้อมูลที่ทราบล่วงหน้าในระยะกระชั้นชิด นับว่าเป็นงานเร่งด่วนและมีโอกาสที่โรงงานจะไม่รับผลิตอาจเนื่องด้วยกำลังการผลิตไม่เพียงพอหรืออาจไม่คุ้มกับต้นทุนการผลิต ดังนั้นทางโรงงานจึงกำหนดเวลารอคอยสินค้าของลูกค้าไว้ เพื่อให้มั่นใจว่าลูกค้าจะได้สินค้าตามเวลาที่ต้องการ การทดลองนี้จึงออกแบบมาเพื่อทดสอบว่า ระยะเวลารอคอยสินค้าที่เวลาต่างๆมีผลต่อคำตอบที่ได้จากวิธีการวางแผนที่พัฒนาอย่างไร ซึ่งการทดลองนี้กำหนดชุดข้อมูลในการทดลองทั้งหมด 6 ชุด โดยแบ่งชุดข้อมูลตามค่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของเวลารอสินค้าจากเดิมที่มีเวลารอ 2 วัน (อนุญาตให้เริ่มส่งมอบได้หลังจากรับงาน 2 วัน) และงานทุกงานมีกำหนดให้ส่งมอบภายใน 30 วัน โดยระยะเวลารอคอยที่เพิ่มขึ้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เวลารอคอยเพิ่มขึ้น 0 วัน หมายถึง มีเวลารอสินค้า 2 วันนับจากวันที่ได้รับคำสั่ง
2. เวลารอคอยเพิ่มขึ้น 9 วัน หมายถึง มีเวลารอสินค้า 11 วันนับจากวันที่ได้รับคำสั่ง
3. เวลารอคอยเพิ่มขึ้น 18 วัน หมายถึง มีเวลารอสินค้า 20 วันนับจากวันที่ได้รับคำสั่ง
4. เวลารอคอยเพิ่มขึ้น 27 วัน หมายถึง มีเวลารอสินค้า 29 วันนับจากวันที่ได้รับคำสั่ง
5. เวลารอคอยเพิ่มขึ้น 36 วัน หมายถึง มีเวลารอสินค้า 38 วันนับจากวันที่ได้รับคำสั่ง
6. เวลารอคอยเพิ่มขึ้น 45 วัน หมายถึง มีเวลารอสินค้า 47 วันนับจากวันที่ได้รับคำสั่ง

ตัวอย่างของเวลารอคอยสินค้า ในการทดลองนี้กำหนดให้เริ่มต้นลูกค้าต้องรอสินค้าอย่างน้อย 2 วัน นั่นหมายความความจากเวลาเริ่มต้นที่ 0 นับไปอีก 2 วันถึงจะเริ่มมีการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าดังรูปที่ 6.4 และหากเวลารอยคอยเพิ่มขึ้น 9 วัน แสดงว่าจากเดิมที่ต้องรอ 2 วัน กลายเป็นลูกค้าต้องรอ 11 วัน โรงงานจึงจะส่งสินค้าให้ได้ แสดงได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.4 ตัวอย่างการส่งมอบที่มีเวลารอคอยสินค้า 2 วัน



รูปที่ 6.5 ตัวอย่างการส่งมอบที่มีเวลารอคอยสินค้าเพิ่มขึ้น 9 วัน

การทดลองผลของระยะเวลารอคอยสินค้าที่แตกต่างกันทั้ง 6 ชุดการทดลอง เป็นการทดลองแบบ Static คือ สถานการณ์จำลองมีจำนวนตัวอย่างที่ใช้คงที่ และไม่มีสถานการณ์ที่มีงานเพิ่มเข้ามาในระหว่างวันที่กำหนดให้มีการรอสินค้า ซึ่งแต่ละการทดลองแบ่งเป็น 4 การทดลองย่อยตามอัตราส่วนการผลิตกระจกรถ และข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 เป็นการปรับข้อมูลจากตัวอย่างในการทดลองชุดที่ 1 โดยปรับกำหนดส่งมอบให้เพิ่มขึ้นตามเวลารอคอยที่เพิ่มขึ้นของการทดลองชุดนั้น รายละเอียดการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดการทดลองที่แบ่งตามระยะเวลาส่งมอบ

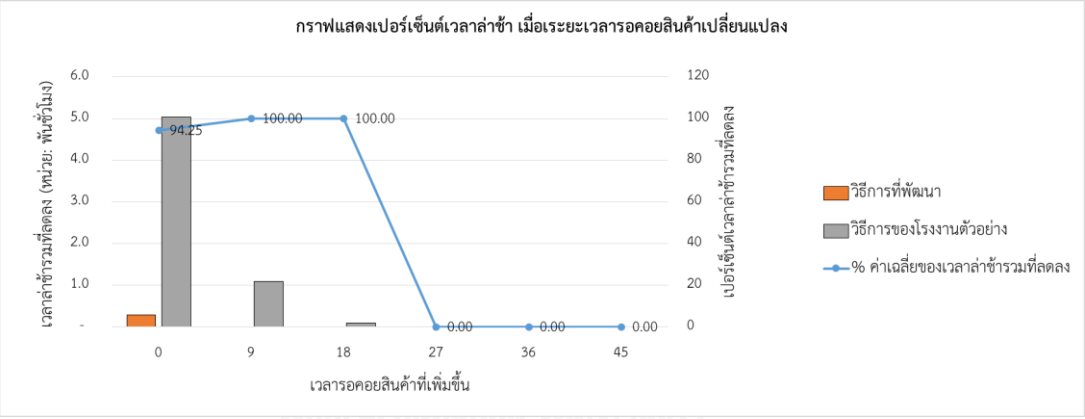
รายละเอียดการทดลอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4	ชุดที่ 5	ชุดที่ 6
เวลารอคอยสินค้าที่เพิ่มขึ้น (หน่วย: วัน) **	0	9	18	27	36	45
กำลังการผลิต (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90	> 90
จำนวนข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ (หน่วย: ตัวอย่าง)	72 (แบบสุ่ม)	72 (แบบสุ่ม)	72 (แบบสุ่ม)	72 (แบบสุ่ม)	72 (แบบสุ่ม)	72 (แบบสุ่ม)
จำนวนรอบการทดสอบ (หน่วย: รอบ/อัตราส่วน)	10	10	10	10	10	10
อัตราส่วนการผลิตกระจกรถ (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)	98, 80, 60, 40					

** หมายถึง ข้อแตกต่างของชุดข้อมูลที่ใช้ทดลองในการทดลองที่แบ่งตามระยะเวลาส่งมอบ

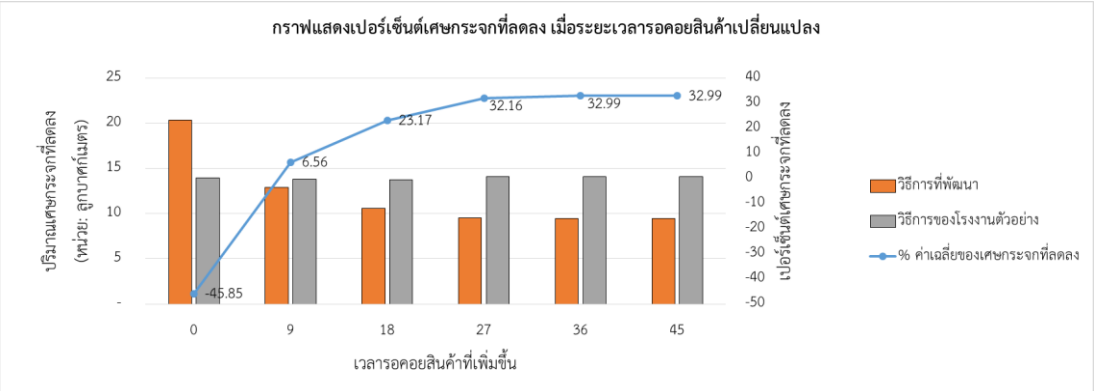
การทดลองที่แบ่งตามระยะรอคอยสินค้านี้จะทำการเปรียบเทียบจากวัตถุประสงค์หลัก 2 ข้อ คือ เวลาล่าช้ารวม (หน่วย ชั่วโมง) และปริมาณเศษกระจกรวม (หน่วย ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งผลลัพธ์จากการทดลองจะแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเมื่อเทียบกับวิธีการวางแผนของโรงงานตัวอย่าง โดยสามารถหาเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างของเวลาล่าช้ารวมและปริมาณเศษกระจกรวมจาก

$$\text{เปอร์เซ็นต์การพัฒนาคำตอบ} = \frac{\text{คำตอบจากวิธีการของโรงงาน - คำตอบจากวิธีการที่พัฒนา}}{\text{คำตอบจากวิธีการของโรงงาน}} \times 100$$

ผลการทดลองของกระบวนการวางแผนที่พัฒนาด้วยจากโปรแกรมที่สร้างขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง โดยระยะเวลาส่งมอบที่เพิ่มขึ้นให้ผลด้านเวลาส่งมอบดังรูปที่ 6.6 ผลด้านปริมาณเศษกระจกดังรูปที่ 6.7 และผลด้านปริมาณเศษกระจกแยกตามอัตราส่วนการผลิตกระจกรถดังรูปที่ 6.8 และรายละเอียดของผลลัพธ์ของแต่ละการทดลองในภาคผนวก



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของเวลาล่าช้ารวม

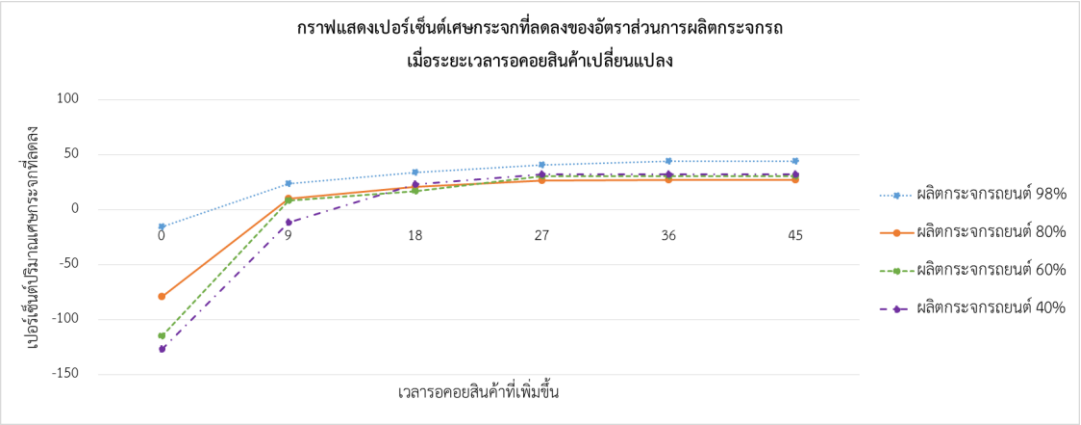


รูปที่ 6.7 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของปริมาณเศษกระจก

รูปที่ 6.6 แสดงค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของเวลาล่าช้าจากวิธีการที่พัฒนาเทียบกับวิธีการของโรงงาน สังเกตได้ว่าเมื่อระยะเวลารอสินค้าเพิ่มขึ้น เวลาส่งมอบที่ล่าช้าของทั้งวิธีการที่พัฒนาและวิธีการของโรงงานจะลดลง โดยเริ่มต้นที่เวลารอคอย 2 วัน (เวลารอคอยเพิ่มขึ้น = 0) วิธีการที่พัฒนามีเวลาล่าช้าน้อยกว่า 94.25% เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นปรากฏว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ด้านเวลาส่งมอบล่าช้าไปในทิศทางเดียวกันคือ มีเวลาล่าช้าลดลง โดยวิธีที่พัฒนาไม่มีเวลาล่าช้าเลย และเมื่อเวลารอคอยสินค้าเพิ่มขึ้น 27 วัน วิธีการวางแผนทั้งสองไม่มีเวลาล่าช้าเลย และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.7 จะเห็นว่าเวลารอสินค้าไม่มีผลต่อเศษกระจกที่เกิดจากวิธีการของโรงงานมากนักแต่กลับมีผลต่อวิธีที่พัฒนา กล่าวคือ ยิ่งเวลารอสินค้าเพิ่มขึ้น ปริมาณเศษกระจกที่เกิดจากการจัดลำดับด้วยวิธีการที่พัฒนายิ่งมีปริมาณลดลง และเมื่อถึงจุดหนึ่งของเวลาจะมีปริมาณเศษกระจกคงที่ โดยที่เวลาส่งมอบเพิ่มขึ้นมากกว่า 0 วิธีการที่พัฒนามีปริมาณเศษกระจกน้อยกว่าวิธีโรงงานทุกการทดลองโดยเฉลี่ยเท่ากับ 25.57% ในขณะที่วิธีการของโรงงานไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านเศษกระจกเลย หากพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณเศษกระจกจากวิธีการที่พัฒนาและวิธีการของโรงงาน เมื่อทั้งสองวิธีมีเวลาล่าช้าเท่ากับ 0 (เวลาส่งมอบเพิ่มขึ้น 27, 36 และ 45 วัน) พบว่าวิธีการที่พัฒนาให้ผลลัพธ์ด้านเศษกระจกที่ดีกว่าถึง 32%

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้วิธีการที่พัฒนามีเศษกระจกน้อยเนื่องจาก เวลารอสินค้าที่ไกลออกไปเพิ่มโอกาสในการปรับปรุงการจัดลำดับงานมากขึ้น โดยสามารถย้ายงานได้อย่างอิสระมากขึ้นจนกระทั่งพบตำแหน่งที่เหมาะสม แต่หากมีเวลารอคอยสินค้าสั้นลำดับของงานที่ถูกจัดด้วยวิธีที่พัฒนาจะถูกจำกัดด้วยเวลาส่งมอบ ทำให้การปรับเปลี่ยนความหนาและความกว้างจึงเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ส่งผลให้เศษกระจกมีปริมาณมาก ในส่วนของลักษณะการวางแผนของโรงงาน แม้ว่าเวลารอสินค้าจะเพิ่มขึ้นทำให้กำหนดส่งมอบไกลออกไป แต่ช่วงเวลาที่กำหนดให้ผลิตความหนาต่างๆไม่ได้เพิ่มขึ้นตาม และถึงแม้ในเดือนนั้นหรือช่วงสัปดาห์นั้นจะมีกำลังการผลิตเหลือก็ไม่ได้นำมาใช้กับงานที่มีอยู่ แต่จะยังคงการผลิตในลักษณะเดิม เช่น ถ้าสัปดาห์นี้ผลิตงานกลุ่มบางและใช้กำหลังการผลิตเต็มแต่สัปดาห์ถัดไปที่ผลิตงานกลุ่มหนาซึ่งใช้กำลังการผลิตไม่เต็ม ก็จะไม่ใช้กำลังการผลิตของสัปดาห์ถัดไปในการผลิตงานกลุ่มบาง เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ยังมีงานที่ล่าช้าอยู่และปริมาณเศษกระจกที่แสดงในรูปที่ 6.7 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เมื่อพิจารณาการลดลงของปริมาณเศษกระจกด้วยวิธีการที่พัฒนาเป็นรายอัตราส่วนการผลิตจากรูปที่ 6.8 พบว่า ที่เวลารอสินค้าเพิ่มขึ้น 45 วัน อัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์ 40% มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเทียบกับเวลารอสินค้า 2 วัน (เวลารอสินค้าไม่เพิ่มขึ้น) รองลงมาเป็นอัตราส่วน 60%, 80% และ 98% เนื่องจากอัตราส่วนลดลงหมายความว่า มีการผลิตกระจกทั่วไปมากกว่ากระจกรถ ซึ่งกระจกทั่วไปมีการกระจายตัวของความหนาและความกว้างมาก ดังนั้นปริมาณเศษกระจกจึงลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลำดับเพียงเล็กน้อย

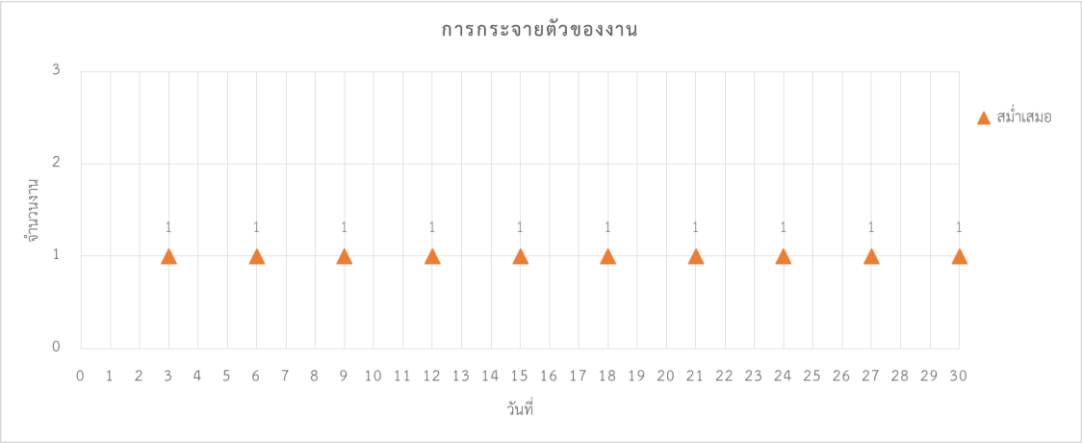


รูปที่ 6.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์เศษกระจกที่ลดลงของอัตราส่วนการผลิตกระจกรถต่างๆ

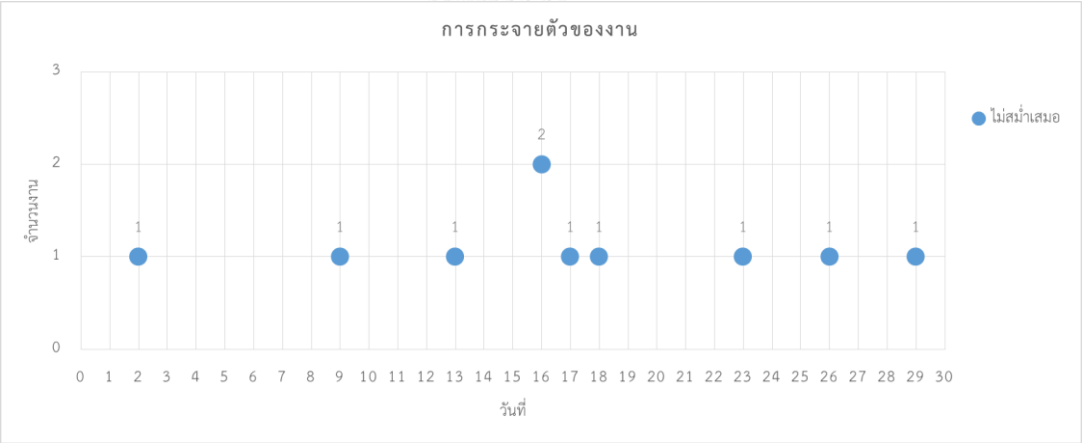
ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการทำงานของกระบวนการวางแผนที่พัฒนามีแนวโน้มที่จะให้ผลลัพธ์ด้านเวลาการส่งมอบล่าช้าที่ดีกว่าหากมีระยะเวลารอคอยสินค้าสั้น (เวลาส่งมอบกระชั้นชิด) หรือมีผลลัพธ์ด้านเวลาล่าช้าเท่ากับวิธีการของโรงงานตัวอย่างหากเวลารอคอยหรือเวลาส่งมอบไกลมาก แต่อาจให้ผลลัพธ์ด้านปริมาณเศษกระจกที่มากกว่าวิธีของโรงงานหากระยะเวลารอคอยสินค้าสั้น จึงอาจไม่เหมาะกับการผลิตของโรงงานที่มีลูกค้าไม่ประจำหรือโรงงานที่มักทำการผลิตในลักษณะของงานเร่งด่วน โดยโรงงานที่มีการผลิตกระจกรถยนต์มากๆหรือผลิตกระจกที่มีความแปรปรวนของความหนาน้อยๆวิธีการที่พัฒนาจะยิ่งให้ผลลัพธ์ที่ดี

6.2.3 การทดลองศึกษาผลของจำนวนงานและการกระจายตัวของงานที่แตกต่างกัน

เนื่องจากจำนวนงานที่ต้องส่งมอบในแต่ละเดือนไม่คงที่ บางเดือนอาจมีจำนวนงานน้อยแต่ปริมาณที่ต้องการต่องานมีมาก หรือจำนวนงานมากแต่ปริมาณที่ต้องการต่องานมีน้อย ทั้งยังมีการกระจายตัวของงาน (งานกระจายตัวตามกำหนดส่งมอบ) ที่ไม่เท่ากัน โดยลักษณะการกระจายตัวแบบสม่ำเสมออธิบายได้ว่า งานทั้งหมดจะมีการกระจายเฉลี่ยที่เท่าๆกันภายในระยะเวลาที่พิจารณา โดยจำนวนงานที่จัดส่งในแต่ละรอบการส่งมีจำนวนงานเท่ากัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.9 ที่ภายใน 30 วัน มีงานต้องส่งมอบ 10 งาน ซึ่งแต่ละงานมีการกระจายตัวของเวลาส่งมอบสม่ำเสมอ และลักษณะการกระจายตัวไม่สม่ำเสมออธิบายได้ว่า งานทั้งหมดมีการกระจายที่ห่างออกจากการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ โดยมีการจัดส่งการจายตัวภายในช่วงวันที่ใช้ทดสอบ ดังเช่นตัวอย่างในรูปที่ 6.10 ที่แสดงของงาน 10 งานภายใน 30 วัน ที่มีงานการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ทำให้จำนวนงานที่จัดส่งในแต่ละรอบการส่งจะมีจำนวนไม่เท่ากัน



รูปที่ 6.9 ตัวอย่างการกระจายตัวของงานสม่ำเสมอ



รูปที่ 6.10 ตัวอย่างการกระจายตัวของงานไม่สม่ำเสมอ

การทดลองนี้จึงจะทดสอบว่า จำนวนงานและการกระจายตัวของงานที่แตกต่างกันมีผลต่อวิธีการวางแผนที่พัฒนาอย่างไร ซึ่งการทดลองนี้จะแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุดตามการกระจายตัวของงานในช่วงการกระจายต่างๆ โดยกำหนดให้เริ่มส่งมอบสินค้าได้หลังจากได้รับคำสั่ง 30 วัน และกำหนดการกระจายตัวของงานเป็นช่วงเวลาดังนี้

1. งานมีการกระจายตัวเล็กน้อย หมายถึง งานมีระยะห่างจากการกระจายตัวแบบสม่ำเสมออยู่ในช่วง ±1 วัน
2. งานมีการกระจายตัวปานกลาง หมายถึง งานมีระยะห่างจากการกระจายตัวแบบสม่ำเสมออยู่ในช่วง ±3 วัน
3. งานมีการกระจายตัวมาก หมายถึง งานมีระยะห่างจากการกระจายตัวแบบสม่ำเสมออยู่ในช่วง ±6 วัน

ในการทดลองแต่ละชุดจะแบ่งเป็น 3 การทดลองย่อยตามจำนวนงาน รายละเอียดการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 รายละเอียดการทดลองที่แบ่งตามจำนวนงานและการกระจายตัวของงาน

รายละเอียดการทดลอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
การกระจายตัวของงาน ***	น้อย	ปานกลาง	มาก
กำลังการผลิต (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)	> 90	> 90	> 90
จำนวนข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ (หน่วย: ตัวอย่าง)	37, 73, 145 (แบบสุ่ม)	37, 73, 145 (แบบสุ่ม)	37, 73, 145 (แบบสุ่ม)
จำนวนรอบการทดสอบ (หน่วย: รอบ/จำนวนข้อมูลตัวอย่าง)	10	10	10
อัตราการผลิตกระจกรถ (หน่วย: เปอร์เซ็นต์)	90	90	90

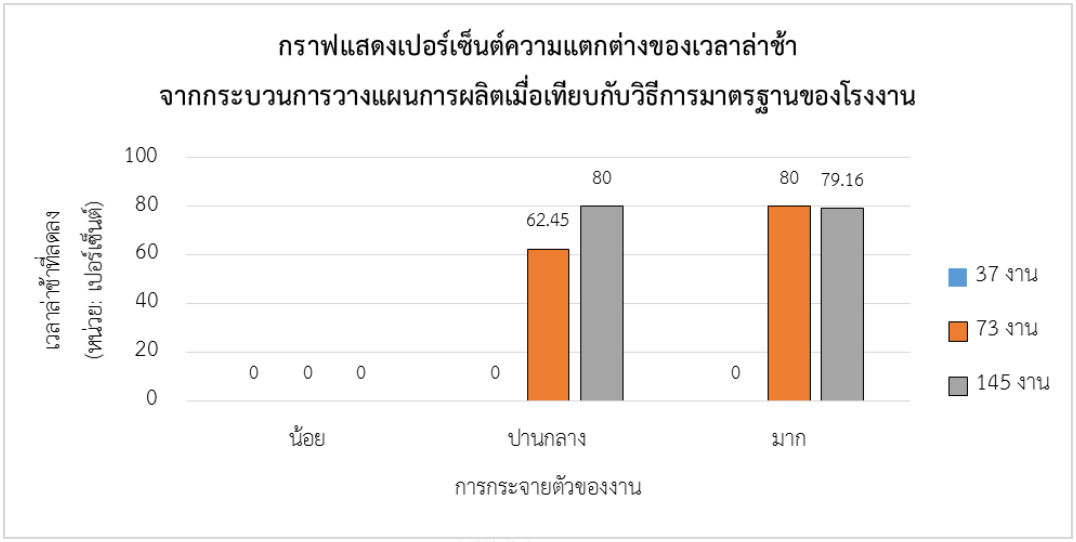
*** หมายถึง ข้อแตกต่างของชุดข้อมูลในการทดลองแบ่งตามจำนวนงานและการกระจายตัวของงาน

การทดลองที่แบ่งตามจำนวนงานและการกระจายตัวของงานจะทำการเปรียบเทียบจากวัตถุประสงค์หลัก 2 ข้อ คือ เวลาล่าช้ารวม (หน่วย ชั่วโมง) และปริมาณเศษกระจกรวม (หน่วย ลูกบาศก์เมตร) ซึ่งผลลัพธ์จากการทดลองจะแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงเมื่อเทียบกับวิธีการวางแผนของโรงงานตัวอย่าง โดยสามารถหาเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างของเวลาล่าช้ารวมและปริมาณเศษกระจกรวมจาก

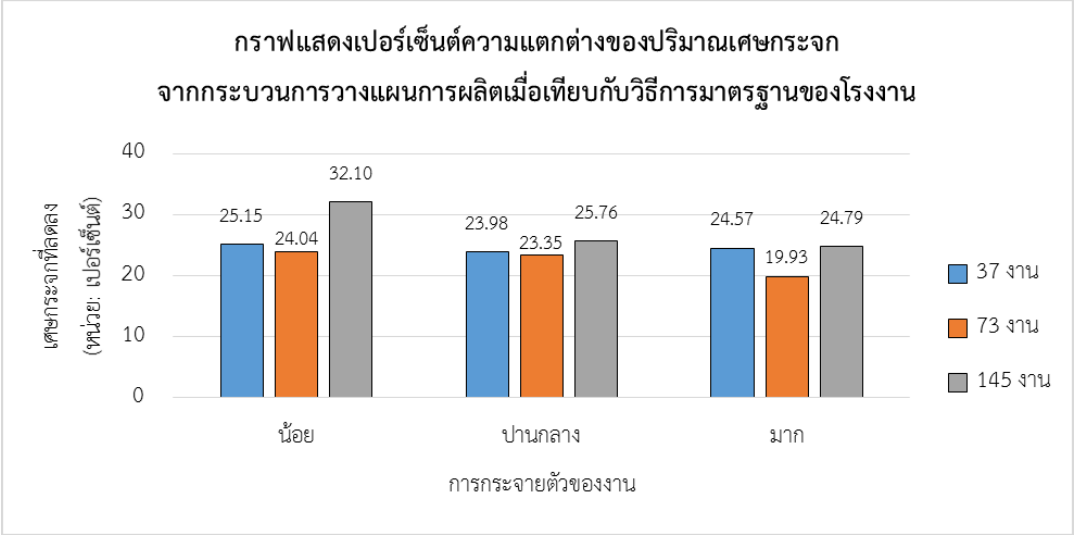
$$\text{เปอร์เซ็นต์การพัฒนาคำตอบ} = \frac{\text{คำตอบจากวิธีการของโรงงาน - คำตอบจากวิธีการที่พัฒนา}}{\text{คำตอบจากวิธีการของโรงงาน}} \times 100$$

ผลการทดลองของกระบวนการวางแผนที่พัฒนาด้วยจากโปรแกรมที่สร้างขึ้น เมื่อเทียบกับวิธีการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง โดยจำนวนงานและการการกระจายตัวของงานที่แตกต่างกันให้ผลด้านเวลาส่งมอบดังรูปที่ 6.11 ผลด้านปริมาณเศษกระจกดังรูปที่ 6.12 และรายละเอียดของผลลัพธ์ของแต่ละการทดลองในภาคผนวก

Chulalongkorn University



รูปที่ 6.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาล่าช้า



รูปที่ 6.12 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของปริมาณเศษกระจก

พิจารณาเปรียบเทียบผลของเวลาล่าช้าเมื่อจำนวนงานแตกต่างกันจากรูปที่ 6.11 พบว่าจำนวนงานที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้คำตอบจากวิธีการที่พัฒนาแย่กว่าวิธีการของโรงงานแม้ว่าการกระจายตัวของงานจะมีรัศมีการกระจายเพิ่มขึ้น โดยเมื่องานมีการกระจายตัวมาก วิธีการที่พัฒนาจะมีเวลาล่าช้าน้อยกว่าวิธีของโรงงานคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยจากทุกจำนวนงาน 53.053% ค่าเปอร์เซ็นต์นี้จะลดลงเหลือ 47.48%, 0% เมื่องานมีการกระจายตัวปานกลางและน้อยตามลำดับ แต่หากพิจารณาเป็นรายจำนวนงานตามการกระจายตัวพบว่า จำนวนงาน 37 ไม่เกิดเวลาล่าช้าเช่นเดียวกับวิธีโรงงาน ซึ่งเมื่อจำนวนงานและการกระจายตัวเพิ่มมากขึ้นเปอร์เซ็นต์เวลาล่าช้าที่แตกต่างจาก

วิธีการของโรงงานจะเพิ่มมากขึ้นแต่ไม่สามารถระบุแนวโน้มได้ว่ามีลักษณะอย่างไร จึงบอกได้เพียงว่าวิธีการที่พัฒนามีเวลาล่าช้ารวมน้อยกว่าวิธีการของโรงงาน

หากพิจารณาเปรียบเทียบผลของปริมาณเศษกระจกเป็นรายจำนวนงาน จากรูปที่ 6.12 พบว่า ไม่ว่าจำนวนงานจะเป็นเท่าใดที่การกระจายตัวของงานทั้ง 3 รูปแบบให้ผลในทิศทางเดียวกัน คือ มีปริมาณเศษกระจกโดยเฉลี่ยจากวิธีที่พัฒนาน้อยกว่าวิธีการโรงงาน และปริมาณเศษกระจกของแต่ละจำนวนงานมีแนวโน้มลดลงหากเวลาส่งมอบแกว่งตัวมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาเป็นรายจำนวนงานในสถานการณ์ที่มีการกระจายตัวต่างกันจะสังเกตุได้ว่า ปริมาณเศษกระจกที่เกิดขึ้นไม่มีการแปรผันตามจำนวนงานและจำนวนงานที่มีการกระจายตัวแบบต่างๆไม่สามารถบอกได้ชัดเจนว่าจะมีแนวโน้มของเศษกระจกเป็นเช่นไร

การทดลองนี้แม้จะไม่สามารถระบุถึงแนวโน้มของเวลาส่งมอบและปริมาณเศษกระจกได้ชัดเจนแต่ก็แสดงให้เห็นว่า การวางแผนที่พัฒนาสามารถรองรับความต้องการด้านเวลาส่งมอบและลดเศษกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จำนวนงานและเวลาส่งมอบจะมีการแกว่งตัวมากขึ้น จึงสามารถนำวิธีการวางแผนนี้ไปใช้ในการปฏิบัติงานได้ ในสถานการณ์ที่โรงงานไม่สามารถควบคุมหรือพยากรณ์ความต้องการที่แน่นอนของลูกค้าได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

อุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบ เป็นอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนพื้นฐานอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความแตกต่างของระบบการผลิตต่างจากอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนพื้นฐานอื่น โดยระบบการผลิตกระจกแผ่นเรียบเป็นระบบการผลิตที่มีลักษณะต่อเนื่องและไม่มีวันหยุดผลิต คือ จะทำการผลิตกระจกตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยสายการผลิตเดียวที่ประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตหลัก 4 กระบวนการ คือ การหลอม การดึงขึ้นรูป การอบ การตัดและจัดเก็บ ซึ่งกระจกทุกขนาดจะต้องผ่านทุกกระบวนการผลิตทั้ง 4 กระบวนการเหมือนกัน แต่ด้วยความหลากหลายของคำสั่งซื้อทั้งในด้านขนาดกระจกและเวลาส่งมอบทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนการผลิตให้สอดคล้องกับความต้องการ ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียในด้านของเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรและน้ำกระจกค่อนข้างมาก นอกจากนี้แล้วรูปแบบการจัดวางชิ้นงานบนสายการผลิตยังมีผลต่อการสูญเสียน้ำกระจกเช่นกัน

การวางแผนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบนอกจากจะต้องคำนึงถึงเวลาส่งมอบแล้วยังต้องคำนึงถึงการปรับเปลี่ยนความหนา การปรับเปลี่ยนความกว้าง และรูปแบบการจัดวางชิ้นงานบนสายการผลิตอีกด้วย โดยประเด็นการพิจารณาทั้งหมดที่กล่าวถึงนี้จะต้องได้รับการพิจารณาไปพร้อมกันเพื่อให้ได้แผนการผลิตที่ดีและเหมาะสม

จากสาเหตุข้างต้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบ ที่มีลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่องและมีการปรับตั้งค่าเครื่องจักรขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า ซึ่งมีการผลิตสินค้าหลากหลายขนาดบนสายการผลิตเดียว ทำให้เกิดการปรับตั้งเครื่องจักรที่ส่งผลต่อความสูญเสียในด้านเวลาและเศษกระจก โดยได้สร้างระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตที่สามารถตอบคำถามที่ว่าจะผลิตสินค้าอะไร เริ่มผลิตเมื่อไหร่ และรูปแบบการวางชิ้นงานเป็นอย่างไร ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณเศษกระจกที่เกิดจากการจัดลำดับการผลิต ภายใต้เงื่อนไขเวลาส่งมอบล่าช้าน้อยที่สุด เพื่อตอบสนองความต้องการของของลูกค้า

7.1 ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบฮิวริสติกที่ประกอบด้วยการทำงาน 2 ส่วน คือ กระบวนตัดสินใจสร้างแผนการผลิต และระบบสารสนเทศสำหรับสนับสนุนการวางแผนการผลิต โดยการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอน ได้แก่ การจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้นสำหรับจัดทำแผนการผลิต การจัดลำดับเบื้องต้นที่พิจารณาเวลาส่งมอบเป็นหลัก การปรับปรุงลำดับเบื้องต้นที่พิจารณาเฉพาะความหนา และการ

ปรับปรุงลำดับขั้นสุดท้ายที่พิจารณาเฉพาะความกว้าง โดยกระบวนการวางแผนนี้อาศัยข้อมูลเบื้องต้นจากขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับใช้ในการจัดลำดับอีก 3 ขั้นตอน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการตัดสินใจในการวางแผนนี้ คือ รูปแบบการวางชิ้นงาน ลำดับการผลิตความหนา ลำดับการผลิตของงานในความหนา ลำดับการผลิตความกว้าง และลำดับการผลิตของงานในความกว้าง ที่สามารถระบุเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการผลิตของแต่ละงาน ความหนา และความกว้างได้ โดยมีการประเมินความเหมาะสมของแนวคิดการวางแผนการผลิต และความครบถ้วนของข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในสายงาน และประเมินคุณภาพของคำตอบที่ได้จากแผนการผลิตด้วยการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการวางแผนที่มาตรฐานของโรงงานตัวอย่าง

จากการประเมินความเหมาะสมของกระบวนการวางแผนโดยผู้เชี่ยวชาญนั้นพบว่า มีความครบถ้วนของข้อมูลที่นำมาวางแผนและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ในส่วนของแนวคิดการออกแบบระบบสนับสนุนและแผนการผลิตที่ได้จากระบบสนับสนุน มีความเหมาะสมกับลักษณะระบบการผลิตและเงื่อนไขที่พิจารณา และมีความเป็นไปได้ที่ในการนำระบบสนับสนุนการวางแผนนี้ไปใช้งานจริง

ในส่วนการทดลองเพื่อทดสอบแนวโน้มของประสิทธิภาพการวางแผนการผลิตที่พัฒนา โดยใช้วัตถุประสงค์หลักด้านเวลาล่าช้ารวมของการส่งมอบ และปริมาณเศษกระจกในระบบผลิตเป็นตัวชี้วัด ได้ทำการทดลองใน 3 ประเด็น คือ อัตราส่วนความแปรปรวนของความหนาและความกว้างที่แตกต่างกัน โดยใช้ลักษณะของกระจกประเภทกระจกรถยนต์และกระจกทั่วไปเป็นตัวอย่างในการแบ่งช่วงความแปรปรวน ประเด็นถัดมาเป็นการพิจารณาผลจากระยะเวลารอคอยสินค้าที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองนี้มีระยะเวลาที่สั้นที่สุดเป็นระยะเวลารอคอยสำหรับงานเร่งด่วน ซึ่งจะเพิ่มเวลานี้ขึ้นเพื่อดูผลลัพธ์ และในประเด็นสุดท้ายเป็นการทดลองที่มีจำนวนงานและการกระจายตัวของงานแตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองทั้ง 3 ประเด็นมีลักษณะเป็น Static experiments คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในแต่ละการทดลองจะคงที่ โดยในระหว่างการทดลองจะไม่มีการสร้างตัวอย่างเพิ่มเข้ามาแทรก ซึ่งการทดลองทั้งหมดให้ผลลัพธ์ด้านเวลาล่าช้าและปริมาณเศษกระจกไปในทิศทางเดียวกันคือ วิธีการวางแผนการผลิตที่พัฒนาขึ้นมีเวลาล่าช้ารวมลดลงโดยเฉลี่ย 60.25% จากทุกการทดลองเทียบกับวิธีการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง และปริมาณเศษกระจกรวมลดลงโดยเฉลี่ย 70.75% จากทุกการทดลองเทียบกับวิธีการวางแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง

ผลการทดลองในสถานการณ์ที่มีอัตราส่วนความแปรปรวนของความหนาและความกว้างแตกต่างกัน กรณีที่วิธีการวางแผนของโรงงานและวิธีที่พัฒนาไม่มีเวลาล่าช้าทั้งคู่พบว่า วิธีการที่พัฒนามีเศษกระจกน้อยกว่าวิธีการวางแผนของโรงงานถึง 32.21% โดยการผลิตกระจกที่มีความแปรปรวนทั้งความหนาและความกว้างน้อยดังเช่น กระจกรถยนต์ หากมีสัดส่วนการผลิตกระจกประเภทนี้มากขึ้นจะสามารถลดเศษกระจกได้มากกว่าการผลิตกระจกประเภทอื่นที่มีความแปรปรวนค่อยข้างมาก เนื่องจากความแปรปรวนของกระจกน้อยจะทำให้การเปลี่ยนความหนาและความกว้งมีเวลาปรับตั้งค่า

น้อย ซึ่งส่งผลให้เศษกระจกระหว่างการปรับตั้งค่าเกิดขึ้นน้อย แต่การทดลองประเด็นถัดมาในสถานการณ์ที่เวลารอคอยสินค้าของทุกสัดส่วนความแปรปรวนในการทดลองแรกแตกต่างกัน โดยเวลารอคอยสินค้าที่กระชั้นชิดคือ การวางแผนที่พัฒนามีเวลาล่าช้าน้อยกว่าถึง 94.25% แต่อาจทำให้เศษกระจกมีปริมาณมากกว่าวิธีการวางแผนของโรงงาน โดยจากการทดลองที่มีเวลารอสินค้าเพียง 2 วัน มีเศษกระจกมากกว่าถึง 45.85% สาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากการวางแผนที่ถูกจำกัดด้วยเวลาส่งมอบทำให้มีการปรับเปลี่ยนความหนาบ่อยครั้งจึงมีเศษกระจกมาก แต่เมื่อขยายระยะเวลาส่งมอบให้มากขึ้นปริมาณเศษกระจกจะลดลงและอาจลดลงได้มากกว่าการวางแผนของโรงงาน ซึ่งในการลดลองสามารถลดลงได้น้อยกว่าวิธีการของโรงงานมากที่สุด 32% ที่ระยะเวลารอสินค้าตั้งแต่ 27 วันเป็นต้นไปและผลของความแตกต่างนี้จะเริ่มคงที่หากเวลารอสินค้าเพิ่มมากขึ้น โดยหากทำการผลิตกระจกกลุ่มที่มีความแปรปรวนมากในสัดส่วนที่มากกว่าจะสามารถลดเศษกระจกได้ในปริมาณที่มากกว่าและผลของความแตกต่างจะเข้าสู่ค่าคงที่ด้วยระยะเวลารอที่สั้นกว่าการผลิตมีความแปรปรวนน้อย

การทดลองในประเด็นสุดท้ายที่มีจำนวนงานและการกระจายตัวของงานแตกต่างกัน การวางแผนการผลิตที่พัฒนามีเวลาล่าช้ารวมและเศษกระจกน้อยกว่าวิธีการวางแผนของโรงงานโดยเฉลี่ยจากทุกสถานการณ์ 33.51% และ 24.85% ตามลำดับ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองนี้ไม่ได้แสดงถึงความสัมพันธ์กันของจำนวนงานและการกระจายตัวของงาน ที่มีต่อเวลาล่ารวมและปริมาณเศษกระจกที่เกิดขึ้นจากการวางแผน แต่การทดลองนี้ก็แสดงให้เห็นว่าแผนการผลิตสามารถรองรับความไม่แน่นอนจากการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าในสถานการณ์ที่มีงานจำนวนมาก หรือมีเวลาส่งมอบไม่แน่นอนได้ดีไม่น้อยกว่าวิธีการวางแผนของโรงงาน

ผลลัพธ์จากการวางแผนการผลิตที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้บ่งบอกได้อย่างชัดเจนว่า การวางแผนด้วยวิธีการของโรงงานตัวอย่างมีความเหมาะสมกับโรงงานที่สามารถควบคุมหรือมีอำนาจในการต่อรองกับลูกค้าค่อนข้างสูง และสามารถรองรับกับความต้องการของลูกค้าที่ไม่ใช่ลูกค้าประจำได้มากกว่าวิธีการที่พัฒนา ในขณะที่แผนการผลิตที่พัฒนาขึ้นมานี้ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการวางแผนให้สามารถรองรับความต้องการและความไม่แน่นอนของลูกค้าได้มากขึ้น ถึงแม้ว่าในบางสถานการณ์วิธีการวางแผนการผลิตที่พัฒนาอาจทำให้เกิดเศษกระจกมากกว่าวิธีการของโรงงานตัวอย่าง แต่เมื่อเทียบกับเวลาล่าช้ารวมที่ลดลงเป็นอย่างมากแล้วถือว่า วิธีการที่พัฒนาขึ้นเป็นประโยชน์กับงานผลิตกระจกเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับโรงงานในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่ให้ความสำคัญกับการส่งมอบตรงเวลามากที่สุด

7.2 ข้อจำกัดงานวิจัย

1. ข้อจำกัดด้านกระบวนการ

   งานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาการผลิตแบบแยกล็อตผลิต และการผลิตที่มีการสลับขนาดของสแนป ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถทำได้ และสำหรับบางโรงงานที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่แตกต่างออกไป เช่น มีเครื่องตัดที่สามารถวางแบบการตัดกระจกได้หลากหลาย หรือใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการจัดเก็บ หากกระบวนการวางแผนที่พัฒนาสามารถพิจารณาถึงข้อจำกัดด้านนี้ได้จะยิ่งเพิ่มความสมบูรณ์ให้งานวิจัยมากยิ่งขึ้น

2. ข้อจำกัดด้านการทดสอบ

   ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบเป็นข้อมูลที่ถูกสร้างให้สอดคล้องกับระบบการผลิต ที่ได้จากการสัมภาษณ์และการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

   สถานการณ์ที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะที่เป็น Static case คือ พิจารณาเฉพาะงานที่ได้รับการยืนยันแล้วเท่านั้น ดังนั้นหากธรรมชาติของโรงงานมีการเปลี่ยนแปลงงานหรือรับงานเข้ามาเพิ่มตลอดทั้งวัน การนำวิธีการวางแผนที่นำเสนอไปใช้จะต้องมีการปรับรอบการวางแผนให้เหมาะสม

3. ข้อจำกัดด้านการนำไปใช้งาน

   เนื่องจากงานวิจัยนี้ถูกออกแบบภายใต้ลักษณะระบบการผลิตที่ทำการศึกษา จึงอาจไม่เหมาะกับการนำไปทดสอบหรือใช้งานกับการผลิตที่มีลักษณะต่างออกไป เช่น การผลิตที่ไม่ได้ตัดกระจกเป็นแผ่นสำเร็จ แต่เป็นการตัดไว้สำหรับตัดแผ่นย่อยอีกครั้ง (Offline cutting) หรือการผลิตที่ต้องมีการเปลี่ยนสี หรือพิมพ์ลายกระจก เป็นต้น

7.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการพัฒนาการวางแผนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตกระจกแผ่นเรียบเพียงแนวทางหนึ่ง ซึ่งยังสามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพได้มากยิ่งขึ้น เช่น

1. มีการลดรูปของวิธีการวางแผนให้ง่ายและเหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้นโดย จัดลำดับให้งานที่เพิ่มเข้ามาใหม่โดยไม่ต้องพิจารณางานในลำดับเดิมทั้งหมด แต่จะพิจารณาเฉพาะงานที่ได้รับผลกระทบ

2. พิจารณาความสำคัญของงานให้มีลำดับความสำคัญต่างกัน เนื่องจากการดำเนินงานในทางธุรกิจไม่ได้ให้ความสำคัญกับงานทุกงานเท่ากันเสมอไป
3. การวางแผนการผลิตที่สัมพันธ์กับการคาดการณ์ล่วงหน้าว่าจะผลิตกระจกขนาดใดเก็บไว้ในคลังหากมีกำลังการผลิตมากกว่าปริมาณงานที่ต้องผลิต
4. การวางแผนการผลิตที่มีจำนวนสีของกระจกมากกว่า 1 สี

ข้อเสนอแนะข้างต้นเป็นแนวทางการพัฒนาแผนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมผลิตกระจกแผ่นเรียบ โดยขยายขอบเขตให้มากขึ้นจากงานวิจัยนี้ เนื่องจากการตัดสินใจในบางขั้นตอนของงานวิจัยนี้ถูกจำกัดอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการผลิตกระจก ซึ่งแตกต่างจากอุตสาหกรรมอื่นที่มีระบบการผลิตเช่นเดียวกัน ดังนั้นแนวทางการพัฒนาเพื่อนำไปปรับใช้กับการผลิตสินค้าชนิดอื่นจึงอาจต้องมีการวิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อมในอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นในด้านความพร้อมหรือเทคโนโลยีในการผลิต ลักษณะความต้องการของลูกค้า หรือกระทั่งนโยบายการผลิต ให้เหมาะสมกับสภาพการดำเนินที่แท้จริงเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานจริงได้มากยิ่งขึ้นในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Allahverdi, Ali, CT Ng, TC Edwin Cheng, and Mikhail Y Kovalyov. 2008. "A survey of scheduling problems with setup times or costs." *European Journal of Operational Research* no. 187 (3):985-1032.

Arbib, Claudio, and Fabrizio Marinelli. 2007. "An optimization model for trim loss minimization in an automotive glass plant." *European journal of operational research* no. 183 (3):1421-1432.

Farley, Alan. 1983. "Trim-loss pattern rearrangement and its relevance to the flat-glass industry." *European Journal of Operational Research* no. 14 (4):386-392.

Gupta, Skylab R, and Jeffrey S Smith. 2006. "Algorithms for single machine total tardiness scheduling with sequence dependent setups." *European Journal of Operational Research* no. 175 (2):722-739.

Keshavarz, Taha, Martin Savelsbergh, and Nasser Salmasi. 2015. "A branch-and-bound algorithm for the single machine sequence-dependent group scheduling problem with earliness and tardiness penalties." *Applied Mathematical Modelling* no. 39 (20):6410-6424.

Krajewski, L.J., L.P. Ritzman, and M.K. Malhotra,. 2007. "Operations management: processes and value chains."

Liao, Ching-Jong, Hsin-Hui Tsou, and Kuo-Ling Huang. 2012. "Neighborhood search procedures for single machine tardiness scheduling with sequence-dependent setups." *Theoretical Computer Science* no. 434:45-52.

Lin, Shih-Wei, and Kuo-Ching Ying. 2007. "Solving single-machine total weighted tardiness problems with sequence-dependent setup times by meta-heuristics." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* no. 34 (11-12):1183-1190.

Na, Byungsoo, Shabbir Ahmed, George Nemhauser, and Joel Sokol. 2013. "Optimization of automated float glass lines." *International Journal of Production Economics* no. 145 (2):561-572.

Nahmias, Steven. 2009. *Production and Operations Analysis*. 6th ed. Singapore: McGraw-Hill Education.

Puchinger, Jakob, Günther R Raidl, and Gabriele Koller. 2004. *Solving a real-world glass cutting problem*: Springer.

Taşkın, Z Caner, and A Tamer Ünal. 2009. "Tactical level planning in float glass manufacturing with co-production, random yields and substitutable products." *European Journal of Operational Research* no. 199 (1):252-261.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่ออัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์เท่ากับ 98%

Proportion	Capacity	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
98% auto	90-100%	1	691499.7121	186746.2494	154394.8583	289749.8548	46.71	0	0	0	0
		2	909640.8626	218583.4745	217215.5943	426118.6375	49.02	0	0	0	0
		3	1221996.18	372399.0081	347820.9911	513894.6946	32.32	0	0	0	0
		4	1356264.18	540549.6041	518688.1393	763267.6275	32.04	0	0	0	0
		5	1468322.932	624724.1625	677911.2001	827026.0232	24.46	0	0	0	0
		6	976872.8807	295233.807	273336.7265	721928.9009	62.14	0	0	0	0
		7	1607236.793	519660.6632	493150.6304	1262612.276	60.94	0	0	0	0
		8	1948958.435	633738.321	608204.1886	954117.3116	36.25	0	0	0	0
		9	824283.4965	220088.6622	183859.5128	357026.7014	48.5	0	0	0	0
		10	658854.1636	171598.7028	157441.597	350705.1142	55.11	0	0	0	0
	80-90%	1	825300.5296	212916.0169	189847.3919	446324.4996	57.46	0	0	0	0
		2	1828987.95	333735.2754	336469.0504	616441.7696	45.86	0	0	0	0
		3	1315658.004	692374.4795	686061.7723	774528.1118	11.42	0	0	0	0
		4	823361.9218	222111.7934	194123.0353	387067.8339	49.85	0	0	0	0
		5	1707288.397	756111.6107	741013.0223	1004119.179	26.2	0	0	0	0
		6	1297127.546	797768.2101	769714.5635	1026312.172	25	0	0	0	0
		7	1795062.547	878712.0592	870069.3794	1031737.196	15.67	0	0	0	0
		8	627833.4968	130181.4187	97970.09109	249686.3316	60.76	0	0	0	0
		9	2019374.277	624347.471	598314.0879	881400.201	32.12	0	0	0	0
		10	740827.2259	161982.7044	139606.0958	383031.6135	63.55	0	0	0	0
	70-80%	1	1841132.73	385953.7538	393764.7811	945539.5435	59.18	0	0	0	0
		2	2013293.935	816203.9752	797348.1944	978700.4692	18.53	0	0	0	0
		3	574938.2704	93158.04907	75059.42073	230173.9358	67.39	0	0	0	0
		4	685350.3162	115906.1954	97729.70276	364231.7877	73.17	0	0	0	0
		5	1707288.397	756111.6107	741013.0223	1004119.179	26.2	0	0	0	0
		6	628559.5854	122629.7806	106911.184	205731.313	48.03	0	0	0	0
		7	785796.9562	199880.7602	164686.5558	432589.2598	61.93	0	0	0	0
		8	862549.9818	368498.2184	464969.2092	507038.4934	27.32	0	0	0	0
		9	1574013.174	507217.835	500805.4187	1120986.225	55.32	0	0	0	0
		10	765019.9013	171460.1998	126413.509	245679.5744	48.55	0	0	0	0

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่ออัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์เท่ากับ 80%

Proportion	Capacity	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
80% auto	90-100%	1	3315816.51	686817.9853	702080.8746	889383.5248	22.78	0	0	0	0
		2	2773370.92	705021.7601	713279.4423	975790.8193	27.75	0	0	0	0
		3	3226346.806	574936.5037	556519.0071	815190.8635	31.73	0	0	0	0
		4	1919263.001	641313.9779	606273.4324	748250.9597	18.97	0	0	0	0
		5	2867608.85	687457.9743	688256.2727	863083.3599	20.35	0	0	0	0
		6	3587004.418	475230.2644	422416.4545	1040449.391	59.4	0	0	0	0
		7	3862270.702	621394.2417	575125.0463	805938.993	28.64	0	0	0	0
		8	3370113.003	647692.6077	639057.7895	919589.2761	30.51	0	0	0	0
		9	3784530.586	707670.6597	789131.5945	810266.6534	12.66	0	0	0	0
		10	3219803.87	709457.4797	687908.2107	801955.7951	14.22	0	0	0	0
	80-90%	1	2863626.518	400247.8793	374894.7975	884284.6111	57.6	0	0	0	0
		2	4984965.519	736974.0157	729760.3965	865785.6011	15.71	0	0	0	0
		3	2564184.366	485493.1436	416838.3493	894877.7812	53.42	0	0	0	0
		4	2335231.153	608906.7584	560969.6324	926575.2097	39.46	0	0	0	0
		5	4430014.073	652734.9317	629961.385	862090.4996	26.93	0	0	0	0
		6	4189202.322	824562.1465	863467.3975	1040518.838	20.75	0	0	0	0
		7	3678270.706	696100.7576	685163.571	913123.4236	24.96	0	0	0	0
		8	2899566.278	735930.8744	735160.6768	526791.7373	-39.55	0	0	0	0
		9	3164457.776	717087.0961	700843.8314	928290.8045	24.5	0	0	0	0
		10	2518341.013	489065.2592	460959.0436	952310.0174	51.6	0	0	0	0
	70-80%	1	2390334.746	423560.4013	419611.4646	626117.267	32.98	0	0	0	0
		2	2803334.431	759211.8718	778501.5863	1002538.62	24.27	0	0	0	0
		3	3777191.564	544724.9224	522993.2714	661127.3408	20.89	0	0	0	0
		4	2546134.629	474304.2581	501954.6703	540276.6474	12.21	0	0	0	0
		5	2322634.121	441963.0501	415225.8416	737815.3343	43.72	0	0	0	0
		6	4889088.563	684476.9456	778816.2126	831376.3116	17.67	0	0	0	0
		7	4984627.865	699207.43	667950.9287	903919.3995	26.11	0	0	0	0
		8	2904727.969	432891.1417	448399.4759	958881.6359	54.85	0	0	0	0
		9	1672123.155	383471.9393	360827.2367	715229.4119	49.55	0	0	0	0
		10	4627470.331	688269.4581	671538.1262	965871.7817	30.47	0	0	0	0

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่ออัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์เท่ากับ 60%

Proportion	Capacity	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
60% auto	90-100%	1	2917479.476	616867.0462	597409.3112	871180.9622	31.43	0	0	0	0
		2	3975425.054	644733.745	641628.0897	859094.7593	25.31	0	0	0	0
		3	5703797.339	763535.4619	808339.2537	1060135.222	27.98	0	0	0	0
		4	4561794.751	713879.8188	719120.5202	1052211.826	32.15	0	0	0	0
		5	5581512.626	767902.3615	741705.5823	838741.8906	11.57	0	0	0	0
		6	5171241.822	510466.2469	462128.2922	964941.9728	52.11	0	0	0	0
		7	4067438.656	788421.9383	804182.7959	890070.6564	11.42	0	0	0	0
		8	4744184.118	650500.4668	641849.627	908601.3311	29.36	0	0	0	0
		9	5207742.097	759632.5115	742027.3096	1047251.771	29.15	0	0	0	0
		10	4089934.295	423025.0626	426217.2725	892574.7766	52.61	0	0	0	0
	80-90%	1	4149898.94	743251.0659	747259.5147	957830.8348	22.4	0	0	0	0
		2	4638290.844	709658.3823	690460.5641	958372.4047	27.95	0	0	0	0
		3	4720993.871	790957.7724	750177.0391	793808.7081	5.5	0	0	0	0
		4	4184195.541	575363.6848	545095.1646	884104.8946	38.34	0	0	0	0
		5	4719850.612	712509.254	718906.5241	978802.4381	27.21	0	0	0	0
		6	4763405.485	752747.1368	749514.483	1000331.225	25.07	0	0	0	0
		7	3685152.253	406926.2822	426946.5976	694279.3192	41.39	0	0	0	0
		8	7307138.131	804580.5256	786803.0737	930203.256	15.42	0	0	0	0
		9	6630551.214	905651.4012	792279.9036	1098485.893	27.88	0	0	0	0
		10	5433482.908	480648.4275	451617.4273	940444.7561	51.98	0	0	0	0
	70-80%	1	4872918.034	571485.0199	499762.6243	1120345.831	55.39	0	0	0	0
		2	4815983.018	648760.483	641000.2898	1100283.87	41.74	0	0	0	0
		3	6836917.543	698149.9343	677573.4174	928941.9263	27.06	0	0	0	0
		4	5180195.72	663041.4101	646708.5881	734994.7577	12.01	0	0	0	0
		5	4970096.41	813697.2279	804239.1427	866297.6349	7.16	0	0	0	0
		6	3361865.972	808352.8285	809625.7674	977701.3367	17.32	0	0	0	0
		7	5430604.795	722501.7932	692583.2685	906224.1253	23.57	0	0	0	0
		8	4807321.301	716086.5858	727941.2064	1017012.406	29.59	0	0	0	0
		9	4523345.107	671479.3744	658229.159	958757.2891	31.35	0	0	0	0
		10	5960559.557	642494.3155	628609.4733	963542.921	34.76	0	0	0	0

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่ออัตราส่วนการผลิตกระจกรถยนต์เท่ากับ40%

Proportion	Capacity	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
40% auto	90-100%	1	3984082.427	786884.1592	752378.5436	1004980.574	25.14	0	0	0	0
		2	4748821.052	858621.5574	802288.1181	1060309.749	24.33	0	0	0	0
		3	6311719.464	798528.0275	776700.1668	978667.7875	20.64	0	0	0	0
		4	5920780.531	568369.8004	453356.4361	901589.0564	49.72	0	0	0	0
		5	5260330.823	550014.7868	427200.2489	904173.2209	52.75	0	0	0	0
		6	6081149.579	577309.6112	446251.9039	973897.7553	54.18	0	0	0	0
		7	4672378.566	688922.6293	702620.1456	1069854.559	35.61	0	0	0	0
		8	6264109.849	824900.1632	802537.6294	999325.519	19.69	0	0	0	0
		9	5777193.802	794037.4268	825218.4594	1083105.945	26.69	0	0	0	0
		10	6392415.512	803173.9061	818949.3297	997892.8995	19.51	0	0	0	0
	80-90%	1	5577593.381	801679.9515	814807.0008	892836.2304	10.21	0	0	0	0
		2	5953201.985	792413.3389	746448.8168	978883.6785	23.74	0	0	0	0
		3	4359629.85	745245.5682	739871.375	1011145.518	26.83	0	0	0	0
		4	5285608.328	553919.3778	486436.6467	611731.9872	20.48	0	0	0	0
		5	5380984.556	678407.3765	665417.1681	975738.3079	31.8	0	0	0	0
		6	5638855.962	552080.4044	511154.4831	1106724.755	53.81	0	0	0	0
		7	3511242.678	641522.149	526544.1224	1030624.66	48.91	0	0	0	0
		8	6139355.125	776218.0993	729251.2241	927547.695	21.38	0	0	0	0
		9	5310250.871	905545.7809	868280.68	918462.8147	5.46	0	0	0	0
		10	5594470.439	479241.9108	446611.8292	897821.3938	50.26	0	0	0	0
	70-80%	1	4980213.873	767379.9572	753544.9337	897980.0365	16.08	0	0	0	0
		2	4920999.011	625000.1069	612917.5226	807484.8411	24.1	0	0	0	0
		3	6904509.802	745818.3792	756237.4341	1153195.409	35.33	0	0	0	0
		4	6225254.011	717476.9881	768437.9469	986868.7494	27.3	0	0	0	0
		5	6925487.516	806764.4188	672510.2826	827869.703	18.77	0	0	0	0
		6	7309083.135	752093.5498	734370.17	1213114.19	39.46	0	0	0	0
		7	7549695.583	908332.9358	905407.1244	1003202.995	9.75	0	0	0	0
		8	5796124.088	765386.3498	742011.8466	1022179.454	27.41	0	0	0	0
		9	5012320.443	825737.4951	847165.8365	1032649.347	20.04	0	0	0	0
		10	6240157.497	694178.2354	740492.58	1042053.715	33.38	0	0	0	0

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่อแบ่งตามระยะเวลารอสินค้า 2 วัน

Day	Proportion	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
0	98%	1	658332.3288	292602.56	298797.9187	331378.4419	11.7	0	0	0	272678.9758
		2	929594.1784	772402.0849	773920.6079	431612.4185	-78.96	602.3733926	519.5939698	519.5939698	491835.0074
		3	1144082.994	578848.8557	567851.4062	483160.0888	-17.53	6862.95999	5685.480516	5685.480516	248914.385
		4	1366045.115	990332.5594	998723.9988	727880.1686	-36.06	259.3474077	186.250961	186.250961	437908.9574
		5	1465116.816	1279160.585	1270287.934	829042.5143	-53.22	45919.70101	38990.73481	38990.73481	316702.2771
		6	1309553.019	809662.5127	815338.5625	687356.771	-17.79	0	0	0	257100.6554
		7	1755414.957	971764.3777	966200.0409	1288876.711	25.04	0	0	0	50958.59944
		8	1836547.404	731473.7725	735394.3022	943742.9342	22.49	0	0	0	257505.543
		9	834349.1319	493602.1509	486446.5375	346086.9131	-40.56	6693.170054	4580.630147	4580.630147	292245.4311
		10	612598.6837	500022.8005	510064.7351	339851.9601	-47.13	50219.02158	41953.99188	41953.99188	377252.2305
	80%	1	3394753.276	1747662.997	1763221.203	903636.1205	-93.4	10570.71092	7193.290351	7193.290351	370190.8803
		2	2713661.736	1755420.394	1755246.612	987270.0348	-77.79	75929.98004	56934.00091	56934.00091	567230.9184
		3	2458800.176	1627305.351	1635685.595	813916.2887	-99.94	67508.71203	52275.95826	52275.95826	406206.2117
		4	1759093.928	1513427.817	1507460.98	746247.1995	-102.01	245816.2122	192644.8543	192644.8543	463468.9281
		5	2831231.373	1246916.189	1367530.083	867413.756	-43.75	0	0	0	196838.4419
		6	3053837.809	2430190.604	2430766.309	1103451.073	-120.24	57499.14048	43809.13778	43809.13778	370915.3867
		7	4101089.631	1009664.283	1013548.431	759747.0419	-32.89	0	0	0	268266.5766
		8	3590250.357	1884655.566	1887188.538	909509.5033	-107.22	0	0	0	166879.7063
		9	3789633.908	1071638.583	1083570.209	798388.3152	-34.23	0	0	0	273272.4552
		10	3008130.874	1234590.044	1243370.807	797594.7056	-54.79	115.612677	0	0	295699.261
	60%	1	2638505.233	1999470.877	2000001.443	867565.8855	-130.47	231658.35	185567.4182	185567.4182	422417.0453
		2	3993834.619	1709196.953	1712398.045	849386.5623	-101.23	420.646102	0	0	345760.7167
		3	6227497.372	2737961.288	2738753.692	1123229.719	-143.76	3187.357904	734.7945763	734.7945763	336199.5388
		4	4510552.901	1776729.871	1782250.58	1026527.513	-73.08	0	0	0	93805.86026
		5	5510435.907	1930713.602	1932086.439	823380.6051	-134.49	0	0	0	364683.5447
		6	4857730.79	2002669.251	2047200.05	947393.3229	-111.39	0	0	0	327432.7649
		7	4958835.454	1890580.574	1948980.524	884585.532	-113.73	0	0	0	393504.5005
		8	5144395.558	1984012.524	1982323.417	890965.1988	-122.49	0	0	0	342752.1478
		9	5740645.512	2536242.879	2516628.152	1061514.696	-138.93	6388.644148	2559.336321	2983.15182	175680.8174
		10	4069276.249	1502925.609	1514943.447	873259.623	-72.11	1851.370758	639.9585465	639.9585465	163278.5106
	40%	1	6207569.201	2126980.354	2155835.312	971772.8103	-118.88	6083.276407	1695.423487	1695.423487	181443.768
		2	5695459.542	1765800.021	1779755.718	1062469.767	-66.2	0	0	0	147322.5805
		3	6164821.392	2719862.176	2760866.769	978484.8518	-177.97	458.3710812	310.147731	310.147731	425874.3197
		4	5539156.448	3381688.051	3381688.051	857418.2924	-294.4	70563.51799	59347.78351	59347.78351	414058.7049
		5	5915836.972	1841797.386	1852467.705	934731.2457	-97.04	0	0	0	296270.7311
		6	5951632.231	2090473.611	2112732.904	967959.2052	-115.97	0	0	0	156513.4706
		7	6252192.799	1391351.014	1425871.73	912774.7392	-52.43	0	0	0	314451.9544
		8	5743850.443	2778093.063	2800661.66	978663.9745	-183.87	0	0	0	321350.0517
		9	6207775.824	1982586.916	1974124.947	1106848.651	-78.36	0	0	0	185597.7798
		10	5915429.167	1993166.448	2023980.802	958458.2465	-107.96	0	0	0	310113.8175

Chulalongkorn University

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่อแบ่งตามระยะเวลารอสินค้าที่เพิ่มขึ้น 9 วัน

Day	Proportion	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
9	98%	1	691499.7121	218031.6089	218221.2629	302297.3178	27.88	0	0	0	55206.56733
		2	909640.8626	373357.2605	357551.0658	434059.2483	17.63	0	0	0	124874.3036
		3	1221996.18	416581.4405	418717.4348	491193.5241	15.19	0	0	0	36425.06406
		4	1356264.18	629923.9538	682321.7959	756668.1579	16.75	0	0	0	134141.0362
		5	1468322.932	851880.6886	897945.4916	816775.4106	-4.3	0	0	0	35093.85318
		6	976872.8807	324242.7911	314572.8254	722639.8873	56.47	0	0	0	60387.94834
		7	1607236.793	1010468.069	1011935.487	1250798.676	19.21	0	0	0	0
		8	1948958.435	661319.1897	672111.1706	925628.4358	28.55	0	0	0	32770.70029
		9	824283.4965	235912.622	247631.3371	355189.5689	33.58	0	0	0	35745.17948
		10	658854.1636	190959.6343	184415.8727	349466.8033	47.23	0	0	0	83273.58727
	80%	1	3315816.51	673700.5841	727726.0588	886059.0595	23.97	0	0	0	58123.35259
		2	2773370.92	765185.0865	768409.8649	996799.0426	23.24	0	0	0	163458.5226
		3	3226346.806	639798.0387	630870.7773	814005.2629	22.5	0	0	0	136739.6089
		4	1919263.001	795070.7318	806077.6716	782740.1477	-1.58	0	0	0	100961.6079
		5	2867608.85	777829.1909	781461.1547	860020.9019	9.56	0	0	0	62749.08657
		6	3587004.418	792842.0211	807800.4003	1042966.873	23.98	0	0	0	117363.0482
		7	3862270.702	830452.9946	816336.2626	775153.2756	-5.31	0	0	0	69221.48745
		8	3370113.003	695839.0995	695199.4514	906846.565	23.34	0	0	0	1886.496509
		9	3784530.586	958197.6843	946945.1776	802793.8667	-17.96	0	0	0	62573.09717
		10	3219803.87	859514.3381	860596.4356	794182.7744	-8.23	0	0	0	61131.95326
	60%	1	2917479.476	808111.2507	804620.0008	863344.6348	6.8	0	0	0	81193.86691
		2	3975425.054	709606.725	727671.3571	859064.8682	17.4	0	0	0	113174.7109
		3	5703797.339	797524.9278	797487.1548	1046429.919	23.79	0	0	0	110925.6078
		4	4561794.751	575717.5835	596738.7518	1052211.826	45.29	0	0	0	29834.34513
		5	5581512.626	769719.2356	771079.1234	837895.3289	8.14	0	0	0	63999.62807
		6	5171241.822	1080745.015	1076004.038	971259.7419	-10.78	0	0	0	113243.9186
		7	4067438.656	832105.0616	887712.2628	886728.0407	6.16	0	0	0	109416.233
		8	4744184.118	1127951.096	1143968.233	899790.9794	-25.36	0	0	0	106593.2777
		9	5207742.097	790036.9195	792301.8847	1049048.81	24.69	0	0	0	1896.566958
		10	4089934.295	1047676.315	1071986.111	881864.497	-18.8	0	0	0	10759.57028
	40%	1	5577593.381	1319454.144	1329079.48	892836.2304	-47.78	0	0	0	47522.2044
		2	5953201.985	968308.9289	957447.9661	989648.7749	3.25	0	0	0	1128.895567
		3	4359629.85	901319.2303	894399.0624	1002605.411	10.79	0	0	0	51776.21228
		4	5285608.328	920163.6421	925468.1679	618629.4444	-48.74	0	0	0	33197.43586
		5	5260330.823	1265174.963	1260306.898	916618.7738	-37.5	0	0	0	115705.4382
		6	5638855.962	1139657.635	1120595.211	1067133.026	-5.01	0	0	0	0
		7	3511242.678	824353.1069	882617.072	1059890.781	22.22	0	0	0	82158.29329
		8	6139355.125	889011.0681	869793.2313	924890.9649	5.96	0	0	0	9314.117783
		9	5310250.871	1131275.055	1164136.621	929216.5587	-21.75	0	0	0	61235.79542
		10	5594470.439	1037097.83	1051517.961	897526.7176	-15.55	0	0	0	37718.38907

Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่อแบ่งตามระยะเวลารอสินค้าที่เพิ่มขึ้น 18 วัน

Day	Proportion	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date	From thickness	From width	Factory base	% difference	From due date	From thickness	From width	Factory base
18	98%	1	691499.7121	184365.9063	142037.2747	274835.9113	48.32	0	0	0	5092.083219
		2	909640.8626	223578.9249	214923.3489	425706.2971	49.51	0	0	0	19269.10167
		3	1221996.18	383530.1232	358952.6077	510469.3493	29.68	0	0	0	0
		4	1356264.18	548750.5723	527120.1479	741315.947	28.89	0	0	0	20855.11435
		5	1468322.932	627047.4769	691328.9079	825291.5508	24.02	0	0	0	0
		6	976872.8807	288771.3653	252581.4394	682586.3985	63	0	0	0	11736.48052
		7	1607236.793	980510.9229	988870.9074	1244429.487	21.21	0	0	0	0
		8	1948958.435	635875.734	627480.2212	954117.3116	34.23	0	0	0	6156.823362
		9	824283.4965	240234.9329	215677.183	357026.7014	39.59	0	0	0	0
		10	658854.1636	223664.4868	223965.8422	313470.9207	28.65	0	0	0	5254.7118
	80%	1	3315816.51	648971.3141	683403.5768	877630.0812	26.05	0	0	0	0
		2	2773370.92	706025.2719	724930.6384	964490.0017	26.8	0	0	0	30207.10837
		3	3226346.806	610502.6007	607996.2554	806959.2458	24.66	0	0	0	29103.44622
		4	1919263.001	676175.047	663672.0652	740742.8243	10.4	0	0	0	0
		5	2867608.85	711630.4253	697439.2213	861573.5072	19.05	0	0	0	12896.9383
		6	3587004.418	716233.598	719893.9886	1045147.797	31.47	0	0	0	16265.8517
		7	3862270.702	623849.9092	577963.8806	794231.9205	27.23	0	0	0	0
		8	3370113.003	694141.4283	695232.1017	914738.6473	24.12	0	0	0	0
		9	3784530.586	755971.7544	741087.1691	812581.8284	8.8	0	0	0	7494.645148
		10	3219803.87	746620.3849	771824.2724	796147.6533	6.22	0	0	0	0
	60%	1	2917479.476	695819.1788	701007.8448	877041.4635	20.66	0	0	0	403.1387711
		2	4638290.844	748318.8635	742669.359	958372.4047	22.51	0	0	0	6836.163103
		3	4720993.871	798463.1185	766599.2252	795409.1887	3.62	0	0	0	5696.701537
		4	4561794.751	1177810.385	1206836.777	1051158.244	-12.05	0	0	0	0
		5	4719850.612	713116.7177	718389.4571	979281.6531	27.18	0	0	0	0
		6	5171241.822	758109.7767	727145.8953	965845.3943	24.71	0	0	0	13188.99091
		7	4067438.656	809190.2913	847064.5566	882548.4641	8.31	0	0	0	12248.57838
		8	4744184.118	662011.3887	657579.5242	907177.4329	27.51	0	0	0	15867.15895
		9	6630551.214	905651.4012	792279.9036	1098485.893	27.88	0	0	0	0
		10	4089934.295	727498.2498	688304.3529	885411.8871	22.26	0	0	0	0
	40%	1	5577593.381	837113.587	883283.7636	892836.2304	6.24	0	0	0	0
		2	5953201.985	872791.2008	825999.7412	978883.6785	15.62	0	0	0	0
		3	4359629.85	760860.3819	755889.9188	1011145.518	25.24	0	0	0	3852.72843
		4	5285608.328	553919.3778	486436.6467	611731.9872	20.48	0	0	0	0
		5	5260330.823	768472.9502	743677.9498	924850.279	19.59	0	0	0	15447.78466
		6	5638855.962	611931.9994	589819.6673	1106724.755	46.71	0	0	0	0
		7	3511242.678	723002.7557	707300.4836	1026997.607	31.13	0	0	0	3584.300522
		8	6139355.125	798339.9097	744965.918	927547.695	19.68	0	0	0	0
		9	5310250.871	1021712.262	970182.1673	922578.36	-5.16	0	0	0	2195.151178
		10	5594470.439	479241.9108	446611.8292	897821.3938	50.26	0	0	0	0

Chulalongkorn University

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่อแบ่งตามระยะเวลารอสินค้าที่เพิ่มขึ้น 27 วัน

Day	Proportion	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date	From thickness	From width	Factory base	% difference	From due date	From thickness	From width	Factory base
27	98%	1	691499.7121	186746.2494	154394.8583	289749.8548	100	0	0	0	0
		2	909640.8626	218583.4745	217215.5943	426118.6375	49.02	0	0	0	0
		3	1221996.18	372399.0081	347820.9911	513894.6946	32.32	0	0	0	0
		4	1356264.18	540549.6041	518688.1393	763267.6275	32.04	0	0	0	0
		5	1468322.932	624724.1625	677911.2001	827026.0232	24.46	0	0	0	0
		6	976872.8807	295233.807	273336.7265	721928.9009	62.14	0	0	0	0
		7	1607236.793	519660.6632	493150.6304	1262612.276	60.94	0	0	0	0
		8	1948958.435	633738.321	608204.1886	954117.3116	36.25	0	0	0	0
		9	824283.4965	220088.6622	183859.5128	357026.7014	48.5	0	0	0	0
		10	658854.1636	171598.7028	157441.597	350705.1142	55.11	0	0	0	0
	80%	1	3219803.87	709457.4797	687908.2107	801955.7951	14.22	0	0	0	0
		2	2773370.92	705021.7601	713279.4423	975790.8193	27.75	0	0	0	0
		3	3226346.806	574936.5037	556519.0071	815190.8635	31.73	0	0	0	0
		4	1919263.001	641313.9779	606273.4324	748250.9597	18.97	0	0	0	0
		5	2867608.85	687457.9743	688256.2727	863083.3599	20.35	0	0	0	0
		6	3587004.418	475230.2644	422416.4545	1040449.391	59.4	0	0	0	0
		7	3862270.702	621394.2417	575125.0463	805938.993	28.64	0	0	0	0
		8	3370113.003	647692.6077	639057.7895	919589.2761	30.51	0	0	0	0
		9	3784530.586	707670.6597	789131.5945	810266.6534	12.66	0	0	0	0
		10	3219803.87	709457.4797	687908.2107	801955.7951	14.22	0	0	0	0
	60%	1	2917479.476	616867.0462	597409.3112	871180.9622	31.43	0	0	0	0
		2	3975425.054	644733.745	641628.0897	859094.7593	25.31	0	0	0	0
		3	5703797.339	763535.4619	808339.2537	1060135.222	27.98	0	0	0	0
		4	4561794.751	713879.8188	719120.5202	1052211.826	32.15	0	0	0	0
		5	5581512.626	767902.3615	741705.5823	838741.8906	11.57	0	0	0	0
		6	5171241.822	510466.2469	462128.2922	964941.9728	52.11	0	0	0	0
		7	4067438.656	788421.9383	804182.7959	890070.6564	11.42	0	0	0	0
		8	4744184.118	650500.4668	641849.627	908601.3311	29.36	0	0	0	0
		9	5207742.097	759632.5115	742027.3096	1047251.771	29.15	0	0	0	0
		10	4089934.295	423025.0626	426217.2725	892574.7766	52.61	0	0	0	0
	40%	1	3984082.427	786884.1592	752378.5436	1004980.574	25.14	0	0	0	0
		2	4748821.052	858621.5574	802288.1181	1060309.749	24.33	0	0	0	0
		3	6311719.464	798528.0275	776700.1668	978667.7875	20.64	0	0	0	0
		4	5920780.531	568369.8004	453356.4361	901589.0564	49.72	0	0	0	0
		5	5260330.823	550014.7868	427200.2489	904173.2209	52.75	0	0	0	0
		6	6081149.579	577309.6112	446251.9039	973897.7553	54.18	0	0	0	0
		7	4672378.566	688922.6293	702620.1456	1069854.559	35.61	0	0	0	0
		8	6264109.849	824900.1632	802537.6294	999325.519	19.69	0	0	0	0
		9	5777193.802	794037.4268	825218.4594	1083105.945	26.69	0	0	0	0
		10	6392415.512	803173.9061	818949.3297	997892.8995	19.51	0	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่อแบ่งตามระยะเวลารอสินค้าที่เพิ่มขึ้น 36 วัน

Day	Proportion	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date	From thickness	From width	Factory base	% difference	From due date	From thickness	From width	Factory base
36	98%	1	691499.7121	186746.2494	154394.8583	289749.8548	46.71	0	0	0	0
		2	909640.8626	218583.4745	217215.5943	426118.6375	49.02	0	0	0	0
		3	1221996.18	372399.0081	347820.9911	513894.6946	32.32	0	0	0	0
		4	1356264.18	540549.6041	518688.1393	763267.6275	32.04	0	0	0	0
		5	1468322.932	624724.1625	677911.2001	827026.0232	24.46	0	0	0	0
		6	976872.8807	295233.807	273336.7265	721928.9009	62.14	0	0	0	0
		7	1607236.793	519660.6632	493150.6304	1262612.276	60.94	0	0	0	0
		8	1948958.435	633738.321	608204.1886	954117.3116	36.25	0	0	0	0
		9	824283.4965	220088.6622	183859.5128	357026.7014	48.5	0	0	0	0
		10	658854.1636	171598.7028	157441.597	350705.1142	55.11	0	0	0	0
	80%	1	3315816.51	686817.9853	702080.8746	889383.5248	22.78	0	0	0	0
		2	2773370.92	705021.7601	713279.4423	975790.8193	27.75	0	0	0	0
		3	3226346.806	574936.5037	556519.0071	815190.8635	31.73	0	0	0	0
		4	1919263.001	641313.9779	606273.4324	748250.9597	18.97	0	0	0	0
		5	2867608.85	687457.9743	688256.2727	863083.3599	20.35	0	0	0	0
		6	3587004.418	475230.2644	422416.4545	1040449.391	59.4	0	0	0	0
		7	3862270.702	621394.2417	575125.0463	805938.993	28.64	0	0	0	0
		8	3370113.003	647692.6077	639057.7895	919589.2761	30.51	0	0	0	0
		9	3784530.586	707670.6597	789131.5945	810266.6534	12.66	0	0	0	0
		10	3219803.87	709457.4797	687908.2107	801955.7951	14.22	0	0	0	0
	60%	1	2917479.476	616867.0462	597409.3112	871180.9622	31.43	0	0	0	0
		2	3975425.054	644733.745	641628.0897	859094.7593	25.31	0	0	0	0
		3	5703797.339	763535.4619	808339.2537	1060135.222	27.98	0	0	0	0
		4	4561794.751	713879.8188	719120.5202	1052211.826	32.15	0	0	0	0
		5	5581512.626	767902.3615	741705.5823	838741.8906	11.57	0	0	0	0
		6	5171241.822	510466.2469	462128.2922	964941.9728	52.11	0	0	0	0
		7	4067438.656	788421.9383	804182.7959	890070.6564	11.42	0	0	0	0
		8	4744184.118	650500.4668	641849.627	908601.3311	29.36	0	0	0	0
		9	5207742.097	759632.5115	742027.3096	1047251.771	29.15	0	0	0	0
		10	4089934.295	423025.0626	426217.2725	892574.7766	52.61	0	0	0	0
	40%	1	3984082.427	786884.1592	752378.5436	1004980.574	25.14	0	0	0	0
		2	4748821.052	858621.5574	802288.1181	1060309.749	24.33	0	0	0	0
		3	6311719.464	798528.0275	776700.1668	978667.7875	20.64	0	0	0	0
		4	5920780.531	568369.8004	453356.4361	901589.0564	49.72	0	0	0	0
		5	5260330.823	550014.7868	427200.2489	904173.2209	52.75	0	0	0	0
		6	6081149.579	577309.6112	446251.9039	973897.7553	54.18	0	0	0	0
		7	4672378.566	688922.6293	702620.1456	1069854.559	35.61	0	0	0	0
		8	6264109.849	824900.1632	802537.6294	999325.519	19.69	0	0	0	0
		9	5777193.802	794037.4268	825218.4594	1083105.945	26.69	0	0	0	0
		10	6392415.512	803173.9061	818949.3297	997892.8995	19.51	0	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 10 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเมื่อแบ่งตามระยะเวลารอสินค้าที่เพิ่มขึ้น 45 วัน

Day	Proportion	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due	From	From width	Factory base	%	From due	From	From width	Factory
45	98%	1	691499.7121	186746.2494	154394.8583	289749.8548	46.71	0	0	0	0
		2	909640.8626	218583.4745	217215.5943	426118.6375	49.02	0	0	0	0
		3	1221996.18	372399.0081	347820.9911	513894.6946	32.32	0	0	0	0
		4	1356264.18	540549.6041	518688.1393	763267.6275	32.04	0	0	0	0
		5	1468322.932	624724.1625	677911.2001	827026.0232	24.46	0	0	0	0
		6	976872.8807	295233.807	273336.7265	721928.9009	62.14	0	0	0	0
		7	1607236.793	519660.6632	493150.6304	1262612.276	60.94	0	0	0	0
		8	1948958.435	633738.321	608204.1886	954117.3116	36.25	0	0	0	0
		9	824283.4965	220088.6622	183859.5128	357026.7014	48.5	0	0	0	0
		10	658854.1636	171598.7028	157441.597	350705.1142	55.11	0	0	0	0
	80%	1	3315816.51	686817.9853	702080.8746	889383.5248	22.78	0	0	0	0
		2	2773370.92	705021.7601	713279.4423	975790.8193	27.75	0	0	0	0
		3	3226346.806	574936.5037	556519.0071	815190.8635	31.73	0	0	0	0
		4	1919263.001	641313.9779	606273.4324	748250.9597	18.97	0	0	0	0
		5	2867608.85	687457.9743	688256.2727	863083.3599	20.35	0	0	0	0
		6	3587004.418	475230.2644	422416.4545	1040449.391	59.4	0	0	0	0
		7	3862270.702	621394.2417	575125.0463	805938.993	28.64	0	0	0	0
		8	3370113.003	647692.6077	639057.7895	919589.2761	30.51	0	0	0	0
		9	3784530.586	707670.6597	789131.5945	810266.6534	12.66	0	0	0	0
		10	3219803.87	709457.4797	687908.2107	801955.7951	14.22	0	0	0	0
	60%	1	2917479.476	616867.0462	597409.3112	871180.9622	31.43	0	0	0	0
		2	3975425.054	644733.745	641628.0897	859094.7593	25.31	0	0	0	0
		3	5703797.339	763535.4619	808339.2537	1060135.222	27.98	0	0	0	0
		4	4561794.751	713879.8188	719120.5202	1052211.826	32.15	0	0	0	0
		5	5581512.626	767902.3615	741705.5823	838741.8906	11.57	0	0	0	0
		6	5171241.822	510466.2469	462128.2922	964941.9728	52.11	0	0	0	0
		7	4067438.656	788421.9383	804182.7959	890070.6564	11.42	0	0	0	0
		8	4744184.118	650500.4668	641849.627	908601.3311	29.36	0	0	0	0
		9	5207742.097	759632.5115	742027.3096	1047251.771	29.15	0	0	0	0
		10	4089934.295	423025.0626	426217.2725	892574.7766	52.61	0	0	0	0
	40%	1	3984082.427	786884.1592	752378.5436	1004980.574	25.14	0	0	0	0
		2	4748821.052	858621.5574	802288.1181	1060309.749	24.33	0	0	0	0
		3	6311719.464	798528.0275	776700.1668	978667.7875	20.64	0	0	0	0
		4	5920780.531	568369.8004	453356.4361	901589.0564	49.72	0	0	0	0
		5	5260330.823	550014.7868	427200.2489	904173.2209	52.75	0	0	0	0
		6	6081149.579	577309.6112	446251.9039	973897.7553	54.18	0	0	0	0
		7	4672378.566	688922.6293	702620.1456	1069854.559	35.61	0	0	0	0
		8	6264109.849	824900.1632	802537.6294	999325.519	19.69	0	0	0	0
		9	5777193.802	794037.4268	825218.4594	1083105.945	26.69	0	0	0	0
		10	6392415.512	803173.9061	818949.3297	997892.8995	19.51	0	0	0	0

Chulalongkorn University

ตารางที่ 11 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจำนวนงานที่มีการกระจายตัวของงานเล็กน้อย

Swing	Job order	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
± 1	37	1	365292.291	127759.211	108573.286	155222.667	30.05	0	0	0	0
		2	2022488.062	362647.668	347346.549	404614.191	14.15	0	0	0	0
		3	906984.396	287299.716	289451.563	344611.153	16.63	0	0	0	0
		4	813047.676	281845.359	296663.754	379777.025	25.79	0	0	0	0
		5	440050.131	133554.105	130571.902	236243.246	44.73	0	0	0	0
		6	768640.202	137889.078	135719.638	179707.435	24.48	0	0	0	0
		7	1546107.822	521327.737	514624.297	592884.526	13.2	0	0	0	0
		8	919831.676	296903.046	295754.232	336065.336	12	0	0	0	0
		9	1717441.642	671482.136	663372.547	766474.449	13.45	0	0	0	0
		10	1860088.192	373389.748	369062.161	858495.149	57.01	0	0	0	0
	73	1	1623546.056	697227.046	669712.157	789497.061	15.17	0	0	0	0
		2	1428937.907	310762.109	275031.463	412851.067	33.38	0	0	0	0
		3	2176010.747	457906.532	466076.801	647613.847	29.29	0	0	0	0
		4	1108430.504	353937.843	335616.077	518537.496	35.28	0	0	0	0
		5	2892884.444	691428.928	755981.001	958997.023	27.9	0	0	0	0
		6	2421151.338	571645.551	567833.859	658679.765	13.79	0	0	0	0
		7	2897825.179	684959.462	675590.195	890513.563	24.13	0	0	0	0
		8	2129271.388	510684.532	477155.138	654079.338	27.05	0	0	0	0
		9	1589715.213	612763.258	598959.850	697916.269	14.18	0	0	0	0
		10	3056750.747	734352.135	730670.015	915476.605	20.19	0	0	0	0
	145	1	4416778.125	673358.119	612598.220	1048245.009	41.56	0	0	0	0
		2	5028642.895	981040.367	1004964.918	848654.358	-15.6	0	0	0	0
		3	1486873.935	326664.683	308814.391	468006.752	34.01	0	0	0	0
		4	2666839.524	689436.210	646626.016	986457.787	34.45	0	0	0	0
		5	2553460.018	847512.812	720068.590	979279.322	26.47	0	0	0	0
		6	3807376.515	573894.902	541089.709	876306.328	38.25	0	0	0	0
		7	3960145.633	728559.585	679177.237	1197417.820	43.28	0	0	0	0
		8	3876266.415	572235.041	498888.886	902833.498	44.74	0	0	0	0
		9	3695943.078	708772.760	673010.941	976846.207	31.1	0	0	0	0
		10	2045272.538	469788.443	438430.756	766007.898	42.76	0	0	0	0

ตารางที่ 12 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจำนวนงานที่มีการกระจายตัวของงานปานกลาง

Swing	Job order	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
± 3	37	1	1341198.572	337782.647	339521.116	552804.395	38.9	0	0	0	0
		2	903758.001	272955.595	308842.509	291970.928	6.51	0	0	0	0
		3	376814.132	104397.831	95830.146	176551.791	45.72	0	0	0	0
		4	560879.273	147533.897	159521.361	171453.053	13.95	0	0	0	0
		5	2576517.513	466505.034	456328.278	1017802.116	55.17	0	0	0	0
		6	1252311.911	360178.566	350358.027	643760.578	45.58	0	0	0	0
		7	2125805.539	579738.649	569232.832	647837.154	12.13	0	0	0	0
		8	1431762.928	664944.764	708403.034	634885.555	-4.73	0	0	0	0
		9	641345.678	245099.266	246240.057	350192.333	30.01	0	0	0	0
		10	1213593.792	597483.482	597978.635	577215.482	-3.51	0	0	0	0
	73	1	1623546.056	697227.046	669712.157	789497.061	15.17	0	0	0	0
		2	2542812.809	695599.018	689461.800	811718.864	15.06	0	0	0	90251.256
		3	2060188.023	839727.206	830241.993	953249.078	12.9	0	0	0	3711.315
		4	3274893.719	807913.779	809732.442	927363.479	12.88	0	0	0	54697.269
		5	1454182.323	596798.282	590177.668	658732.015	10.41	0	0	0	54888.212
		6	1330332.334	438350.301	577955.827	597588.057	26.65	0	0	0	4931.537
		7	1702616.757	692728.291	684139.009	900609.208	24.04	0	0	0	7172.842
		8	1044835.450	488758.933	472493.915	560736.861	15.74	0	0	0	0
		9	1658664.012	569908.930	565980.727	1084980.706	47.83	0	0	0	30023.514
		10	2141306.439	342096.933	337923.380	716397.889	52.83	0	0	0	0
	145	1	3996431.073	761400.466	715300.162	1044894.203	31.54	0	0	0	69066.776
		2	2507654.108	863759.149	818593.607	1061038.505	22.85	0	0	0	10333.029
		3	1924541.551	341369.426	299890.556	505322.566	40.65	0	0	0	1.864
		4	3665636.653	734409.682	714186.799	1034778.814	30.98	0	0	0	0
		5	2679917.603	731706.687	749156.710	804145.500	9.01	0	0	0	76981.176
		6	3709809.798	762853.433	751535.937	1117732.047	32.76	0	0	0	0
		7	3664072.902	769085.512	752182.305	1017431.869	26.07	0	0	0	138618.037
		8	2847645.313	795672.073	759699.449	759458.775	-0.03	0	0	0	21544.780
		9	3920494.913	800532.507	776694.673	998625.277	22.22	0	0	0	64578.961
		10	3127630.022	612534.101	587503.262	1004998.655	41.54	0	0	0	62538.891

ตารางที่ 13 ผลลัพธ์จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจำนวนงานที่มีการกระจายตัวของงานมาก

Swing	Job order	No.	Waste (cubic in.)					late (min.)			
			From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base	% difference	From due date (step 4.2.2)	From thickness (step 4.2.3)	From width (step 4.2.4)	Factory base
± 6	37	1	595161.801	274663.884	326697.972	293529.237	6.43	0	0	0	0
		2	447048.276	106848.667	105448.372	205730.105	48.74	0	0	0	0
		3	499480.910	126569.175	126396.432	285411.860	55.71	0	0	0	0
		4	1179785.653	392351.598	413216.715	480659.744	18.37	0	0	0	0
		5	1507988.702	680927.733	667686.588	750250.511	11	0	0	0	0
		6	1504270.310	595445.802	577133.623	709902.908	18.7	0	0	0	0
		7	413869.460	121276.976	109236.953	177133.464	38.33	0	0	0	0
		8	1257246.595	467185.036	464677.985	543169.207	14.45	0	0	0	0
		9	680528.963	222505.156	222511.550	290547.749	23.42	0	0	0	0
		10	742769.537	436843.444	538254.910	487960.580	10.48	0	0	0	0
	73	1	2327724.599	289304.175	279320.346	409777.073	31.84	0	0	0	1821.985
		2	1437395.360	634088.097	623054.260	890324.473	30.02	0	0	0	0
		3	1972258.854	791471.098	799132.049	885119.986	10.58	0	0	0	4360.981
		4	3120858.753	580497.584	641086.545	833569.161	30.36	0	0	0	19816.161
		5	1559206.222	750993.666	745094.768	854558.246	12.81	0	0	0	8601.872
		6	1712519.537	692409.366	694735.299	856931.958	19.2	0	0	0	71838.655
		7	1552511.181	501768.855	485881.177	640169.018	24.1	0	0	0	0
		8	1885549.013	565008.883	640429.926	655730.482	13.84	0	0	0	17000.132
		9	1583654.325	586825.699	574734.008	700267.799	17.93	0	0	0	21401.382
		10	2225336.994	738884.454	729100.885	797758.393	8.61	0	0	0	4222.883
	145	1	4841212.446	881402.632	864681.749	940109.110	8.02	35373.162	35202.190	35202.190	420123.200
		2	6028695.469	567029.005	483211.941	1068974.333	54.8	0	0	0	11972.835
		3	4999654.173	742988.141	682097.653	1067370.310	36.1	0	0	0	0
		4	3300710.642	577542.155	584765.301	727854.555	20.65	0	0	0	42685.406
		5	3928155.154	741301.874	706682.282	1014879.560	30.37	0	0	0	17400.447
		6	3163211.165	802050.192	781298.825	988157.355	20.93	0	0	0	25162.592
		7	4326780.485	679075.702	647976.668	1057666.840	38.74	0	0	0	0
		8	3784220.085	675681.322	651528.446	884699.107	26.36	0	0	0	7518.489
		9	4275760.172	993826.366	1126213.393	773422.312	-28.5	0	0	0	23469.238
		10	5545770.532	442329.549	414921.166	696571.966	40.43	0	0	0	2968.664

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรัชนีพร ยุกตปรีชา เกิดเมื่อวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2533 สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยมหิดลปีการศึกษา 2555 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

ในระหว่างการศึกษาหลักสูตรมหาบัณฑิตได้รับหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัย ในโครงการการพัฒนาระบบการวางแผนการผลิตสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งเป็นโครงการวิจัยร่วมภาครัฐกับภาคเอกชนที่ดำเนินงานโดยหน่วยวิจัย Resources and Operations Management (ROM) ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ระหว่างปีพ.ศ. 2557-2558 ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มุ่งเน้นการพัฒนาศักยภาพการบริหารทรัพยากรและระบบงานเชิงบูรณาการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University