การจัดตารางการผลิตโดยวิธีการฮิวริสติกส์ สำหรับกระบวนการบรรจุยาสีฟัน

นายสุวัฑฒิพงศ์ พรหมจันทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HEURISTIC BASED SCHEDULING FOR TOOTHPASTE FILLING PROCESS

Mr. Suwatthiphong Promjun

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดตารางการผลิตโดยวิธีการฮิวริสติกส์ สำหรับกระบวนการบรรจุยาสีฟัน
โดย	นายสุวัฑฒิพงศ์ พรหมจันทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรวิชญ์ สว่างนพ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สุวัฑฒิพงศ์ พรหมจันทร์ : การจัดตารางการผลิตโดยวิธีการฮิวริสติกส์ สำหรับกระบวนการบรรจุยาสีฟัน. (HEURISTIC BASED SCHEDULING FOR TOOTHPASTE FILLING PROCESS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการบรรจุยาสีฟัน (TFP) ซึ่งมีความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์ (สูตร และขนาด) รวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ของเครื่องบรรจุและถังเก็บ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องบรรจุที่มีความเร็วและความสามารถในการบรรจุยาสีฟันแต่ละขนาดที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้งานบางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ นอกจากนี้ยังมีถังเก็บที่มีจำนวนจำกัด และขนาดที่แตกต่างกัน อีกทั้งไม่สามารถนำถังบรรจุมาใช้บรรจุมากกว่าหนึ่งเครื่องในเวลาเดียวกันได้ ส่งผลทำให้การจัดตารางการผลิตมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยทำการแก้ปัญหา TFP ด้วยวิธีการสองขั้นตอน (Two-phase Method) โดยการสร้างคำตอบขั้นต้นด้วยกฎการส่งมอบงานเร็วสุด (EDD) แล้วทำการปรับปรุงคำตอบเริ่มต้นโดยนำแนวคิดการค้นหาคำตอบในการย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable Neighborhood Search) และได้ทำการทดสอบฮิวริสติกด้วยข้อมูลตัวอย่างจากบริษัทผลิตสินค้าอุปโภคบริโภครายใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่งในประเทศไทย จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับการแผนงานในปัจจุบันพบว่าฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถลดเวลาปิดงาน (Makespan) ลงโดยเฉลี่ย 20% หรือคิดเป็นมูลค่า 12 ล้านบาทต่อปี จากการลดเวลาทำงานล่วงเวลา (Overtime)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5970973321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: TOOTHPASTE FILLING PROBLEM, VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH, TRAVELING SALESMAN PROBLEM, SCHEDULING PROBLEM

Suwatthiphong Promjun :

HEURISTIC BASED SCHEDULING FOR TOOTHPASTE FILLING PROCESS .

Advisor: Asst. Prof. Pisit Jarumaneeroj, Ph.D.

This research focuses on the development of a heuristic method for the Toothpaste Filling Problem (TFP) whose complication lies on a vast variety of products (formulae and sizes), together with specific restrictions on filling machines and storage tanks. More specifically, filling machines are non-identical, each of which has different speeds and capacities for filling toothpaste of various sizes. As a result, some order cannot be produced on some machines. Moreover, there are also limited tanks and different sizes. It will be only be unloaded by one machine at a time. Make more complicated of production planning. Researchers solve the TFP by means of a two-phase method, where the initial solution is constructed by an Earliest Due Date (EDD) dispatching rule. Once completed, the initial solution is then iteratively improved by a series of improvement operators, mimicking the concept of Variable Neighbourhood Search (VNS). We test our heuristic on a set of sample instances acquired from one of the biggest consumer products manufacturers in Thailand. Impressively, when compared to the current practice, our proposed heuristic could help reduce makespan by 20% on average, or equivalently an annual saving of $0.36 million, mainly from the reduction on overtime payment.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้มอบความรู้ แนวความคิด และสละเวลาอันมีค่าคอยให้คำชี้แนะเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาของการทำวิจัย เพื่อให้งานวิจัยมีความถูกต้อง และเกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งยังคอยเอาใจใส่ และให้กำลังใจอย่างสม่ำเสมอ ส่งผลให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี และ ผศ.ดร. สิรวิชญ์ สว่างนพ กรรมการรสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ตลอดจนข้อเสนอแนะและแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่มีประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มิได้กล่าวถึงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจได้เป็นอย่างดี

สุวัฑฒิพงศ์ พรหมจันทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญรูปภาพ ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 กระบวนการผลิตยาสีฟัน 7
1.2.1 กระบวนการผสมยาสีฟัน 8
1.2.2 กระบวนการบรรจุยาสีฟัน 10
1.2.3 การล้างเครื่องบรรจุยาสีฟัน 13
1.2.4 การเปลี่ยนขนาดหลอด (Size of Tube) ยาสีฟัน 13
1.2.5 ข้อจำกัด และปัญหาที่พบในการบรรจุ 15
1.2.6 วิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน 18
1.3 วัตถุประสงค์ 21
1.4 ขอบเขตงานวิจัย 21
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 21
1.6 แนวทางการหาคำตอบ 21
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 22
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
บทที่ 3 แนวทางการแก้ปัญหา 28
3.1 ลักษณะของปัญหา 28
3.2 สมมติฐาน 28
3.3 แนวทางการดำเนินงาน 30
3.3.1 หลักการ 30
3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ 31
3.2 นิยามศัพท์เฉพาะ 41
บทที่ 4 ฮิวริสติกสำหรับการวางแผนการบรรจุยาสีฟัน 42
4.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการจัดตารางการบรรจุ 42
4.1.1 ข้อมูลการบรรจุ 42
4.1.2 ข้อมูลเครื่องบรรจุ 47
4.2 กระบวนการตัดสินใจของฮิวริสติก 48
4.3 ตัวอย่างผลการคำนวณของฮิวริสติก 52
บทที่ 5 ผลการดำเนินการวิจัย 65
5.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล 65
5.2 ผลการเปรียบเทียบเวลาปิดงาน 65
5.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 76
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินการวิจัย 78
6.1 สรุปผลการวิจัย 78
6.2 ข้อเสนอแนะ 79
บรรณานุกรม 80
ประวัติผู้เขียน 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 จำนวน SKU (Stock Keeping Unit) ที่ผลิตในแต่ละเดือน 2
รูปที่ 1-2 จำนวนสูตรที่ผลิตในแต่ละเดือน 3
รูปที่ 1-3 ความเร็วในการบรรจุยาสีฟันแต่ละเครื่อง 4
รูปที่ 1-4 จำนวนถังบรรจุยาสีฟันแต่ละขนาด 5
รูปที่ 1-5 เวลาหยุดเครื่องบรรจุเพื่อทำการล้างเปลี่ยนสูตร และเปลี่ยนขนาดบรรจุ 6
รูปที่ 1-6 ต้นทุนจากเวลาหยุดเครื่องบรรจุเพื่อทำการล้างเปลี่ยนสูตร และเปลี่ยนขนาดบรรจุ 6
รูปที่ 1-7 ต้นทุนจากการทำงานล่วงเวลา (Overtime) 7
รูปที่ 1-8 กระบวนการผลิตยาสีฟัน 7
รูปที่ 1-9 ตัวอย่างเครื่องผสมยาสีฟัน 10
รูปที่ 1-10 ตัวอย่างเครื่องบรรจุยาสีฟัน 11
รูปที่ 1-11 กระบวนการบรรจุยาสีฟัน 12
รูปที่ 1-12 ถ้วยรองรับหลอด (Tube Holder) 14
รูปที่ 1-13 เปรียบเทียบเวลาในการล้างเปลี่ยนสูตร และการปรับตั้งขนาดบรรจุ 17
รูปที่ 1-14 วิธีการวางแผนการผลิตในปัจจุบัน 19
รูปที่ 1-15 ตัวอย่างการจัดตารางการบรรจุ 20
รูปที่ 2-1 เปรียบเทียบการประยุกต์ใช้แนวทางการแก้ปัญหา TSP กับการจัดตารางการผลิต 24
รูปที่ 2-2 เปรียบเทียบการประยุกต์ใช้แนวทางแก้ปัญหา VRP กับการจัดตารางการผลิต 25
รูปที่ 3-1 การบรรจุยาสีฟันถังเดียวกันที่เครื่องบรรจุมากกว่าหนึ่งเครื่อง 29
รูปที่ 3-2 ขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) 32
รูปที่ 3-3 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) 33
รูปที่ 3-4 ขั้นตอนการหาคำตอบจากการสลับงาน (SWAP) 35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3-5 ตัวอย่างการสลับงาน (SWAP) แต่ได้คำตอบที่ไม่ดีขึ้น 36
รูปที่ 3-6 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการสลับงาน (SWAP) แล้วได้คำตอบที่ดีขึ้น 37
รูปที่ 3-7 ขั้นตอนการหาคำตอบที่ได้จากการย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX) 39
รูปที่ 3-8 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX) 40
รูปที่ 4-1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติก 49
รูปที่ 4-2 Pseudo code แสดงขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติก 51
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) 52
รูปที่ 4-4 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) และการจัดเรียงถังบรรจุ 53
รูปที่ 4-5 ตัวอย่างการปรับปรุงคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีการ SWAP 54
รูปที่ 4-6 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการสลับงาน (SWAP) 55
รูปที่ 4-7 ตัวอย่างกรณีที่สลับงานไม่ได้เนื่องจากมีเครื่องบรรจุอื่นใช้งานถังบรรจุอยู่ 56
รูปที่ 4-8 ตัวอย่างข้อจำกัดกรณีที่การสลับงานที่ใช้ยาสีฟันตามแผนการผสม 57
รูปที่ 4-9 ตัวอย่างการจัดลำดับการใช้งานถังบรรจุ 58
รูปที่ 4-10 ตัวอย่างการย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX) 59
รูปที่ 4-11 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX) 60
รูปที่ 4-12 ตัวอย่างการย้ายงานตามข้อจำกัดของเครื่องบรรจุ 61
รูปที่ 4-13 ตัวอย่างกรณีที่ย้ายงานไม่ได้เนื่องจากมีเครื่องบรรจุอื่นใช้งานถังบรรจุอยู่ 62
รูปที่ 4-14 ตัวอย่างข้อจำกัดกรณีที่การย้ายงานที่ใช้ยาสีฟันตามแผนการผสม 63
รูปที่ 5-1 เปรียบเทียบเวลาปิดงานระหว่างการวางแผนในปัจจุบัน EDD และฮิวริสติก 66
รูปที่ 5-2 ตัวอย่างการจัดตารางการบรรจุด้วย EDD 67
รูปที่ 5-3 เปรียบเทียบจำนวนงานสายระหว่างการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันปัจจุบัน กับ EDD 69
รูปที่ 5-4 เปรียบเทียบจำนวนงานสายระหว่างการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันปัจจุบัน กับ ฮิวริสติก 70

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 ความสามารถในการบรรจุยาสีฟันขนาดต่างๆ ของเครื่องบรรจุยาสีฟัน 5
ตารางที่ 1-2 ส่วนประกอบหลักของยาสีฟันและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน 9
ตารางที่ 1-3 เวลาที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสูตรและขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟัน 15
ตารางที่ 1-4 ความเร็วและขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟัน 16
ตารางที่ 4-1 ตัวอย่างข้อมูลรายการผลิตที่กำลังผลิตอยู่ในปัจจุบัน 43
ตารางที่ 4-2 ตัวอย่างข้อมูลแผนการผลิตที่ได้รับมาจากหน่วยงานวางแผนผลิต 44
ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างข้อมูลถังบรรจุ สูตร และปริมาณยาสีฟันที่บรรจุอยู่ภายในถังบรรจุ 45
ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างข้อมูลแผนการผสมยาสีฟัน สูตร ปริมาณ และเวลาแล้วเสร็จ 46
ตารางที่ 4-5 ตัวอย่างข้อมูลเวลาที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสูตร และขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟัน ... 47
ตารางที่ 4-6 ตัวอย่างข้อมูลความเร็ว และขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟันแต่ละเครื่อง 47
ตารางที่ 4-7 ตัวอย่างข้อมูลผลจากการวางแผนโดยใช้ฮิวริสติก 64
ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบเวลาปิดงานระหว่างการวางแผนในแบบปัจจุบัน EDD และฮิวริสติก..... 68
ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบจำนวนงานสายระหว่างการวางแผนปัจจุบัน EDD และฮิวริสติก..... 72
ตารางที่ 5-3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการทำงานล่วงเวลาระหว่างแผนปัจจุบัน และฮิวริสติก 74
ตารางที่ 5-4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการทำงานของแต่ละฮิวริสติก 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการดำเนินธุรกิจของกลุ่มผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคซึ่งเป็นสินค้าที่มีความจำเป็นในชีวิตประจำวันมีการแข่งขันที่ค่อนข้างสูง ทั้งในด้านต้นทุน คุณภาพ กลยุทธ์ทางการตลาด ราคา ตลอดจนการแข่งขันกับคู่แข่งในกลุ่มธุรกิจเดียวกัน ส่งผลทำให้ผู้ผลิตต้องผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่หลากหลาย การมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายนับเป็นการส่งเสริมการขายเพื่อเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการขยายตัวของธุรกิจ อย่างไรก็ตามการมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายก็ก่อให้เกิดอุปสรรคกับโรงงาน กล่าวคือ ทำให้การจัดแผนการผลิตมีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากมีกิจกรรมเพิ่มเติม ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนสูตร และการเปลี่ยนขนาดบรรจุที่ส่งผลต่อต้นทุนโดยตรง หากมีการจัดตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพก็จะช่วยให้การผลิตเป็นไปตามแผนผลิต มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และทันต่อกำหนดการส่งมอบให้ลูกค้า

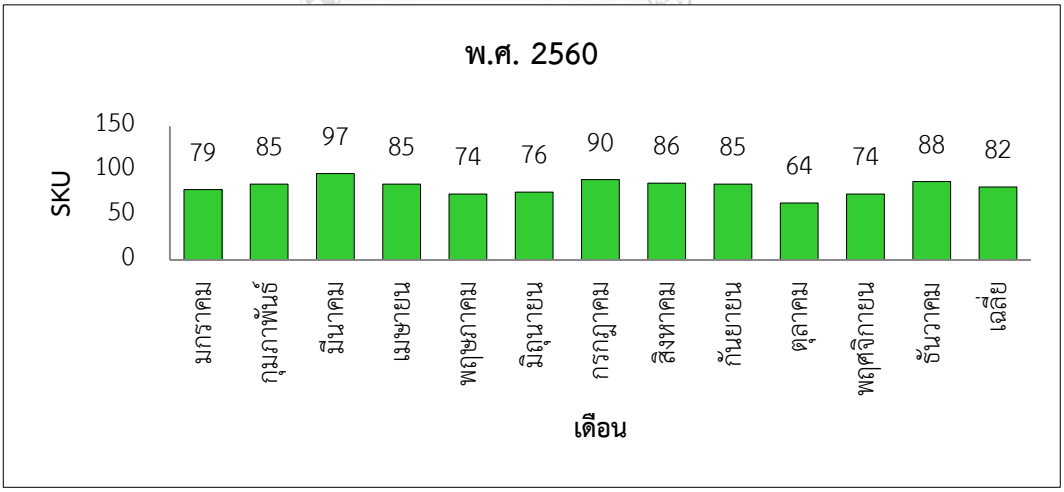
ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันมีนักวิจัยจำนวนมากที่ทำการคิดค้นวิธีการจัดตารางการผลิตให้มีประสิทธิภาพ แต่ปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการจัดตารางการผลิตเป็นจำนวนมาก การจัดตารางการผลิตที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดนั้นอาจไม่สามารถทำได้ภายในระยะเวลาอันสั้น ส่งผลทำให้ผู้จัดตารางการผลิตจำเป็นต้องยอมรับวิธีการที่ให้ผลลัพธ์ออกมาดีพอสมควร ยอมรับได้แต่ใช้เวลาในการจัดไม่มากนักแทนวิธีที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (ชุติมา ,2556) ทั้งนี้หนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อความซับซ้อนของการจัดตารางการผลิต คือ ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากค่านิยมตามยุคสมัย เช่น ผู้บริโภคในช่วงวัยที่ต่างกันมีการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันทำให้เกิดผลิตภัณฑ์สำหรับเด็ก วัยรุ่น ผู้ใหญ่ ตลอดจนสำหรับผู้สูงอายุขึ้น

สำหรับบริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจผลิตผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอุปโภคบริโภคประเภทยาสีฟัน โดยมีนโยบายในการเจาะกลุ่มลูกค้าในทุกๆ วัย โดยใช้ รูป รส กลิ่น สี และขนาดเป็นส่วนหนึ่งในการตัดสินใจผลิต ส่งผลทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นหลากหลายรูปแบบ ปัจจุบันบริษัทมี SKU (Stock Keeping Unit) ที่ผลิตเฉลี่ยจำนวน 82 SKU ต่อเดือน และมีสูตรที่ต้องผลิตเฉลี่ย 31 สูตรต่อเดือน ดังแสดงในรูปที่ 1-1 และ 1-2 ตามลำดับ ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาปัญหาดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

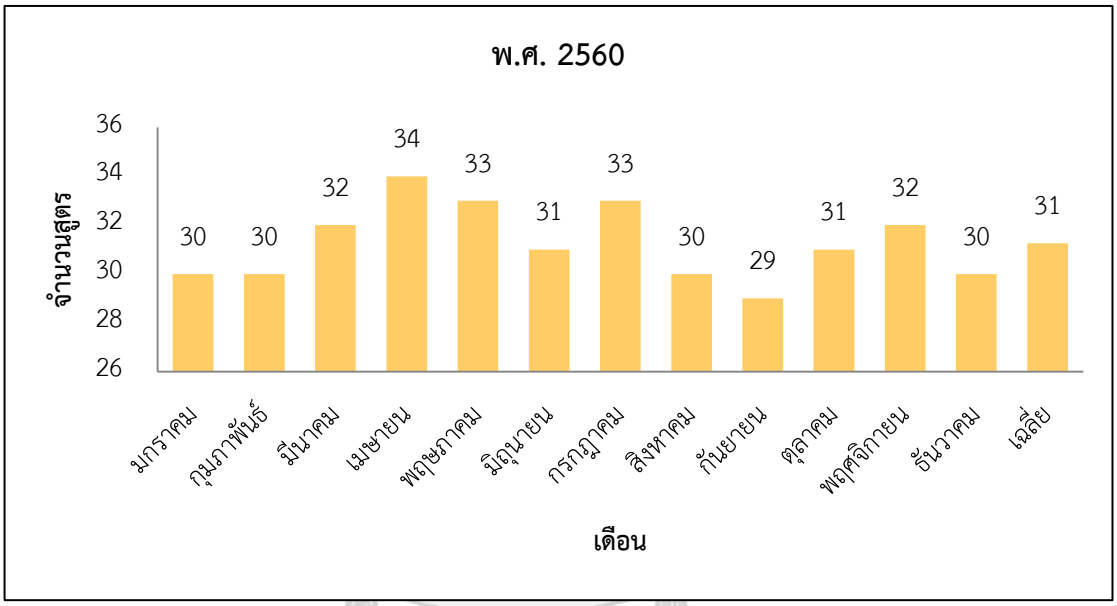
ในส่วนการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันซึ่งมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์สูง หากแต่มีข้อจำกัดในส่วนของเครื่องจักรที่มีความเร็วในการบรรจุแตกต่างกัน และมีจำนวนถังบรรจุที่จำกัด จำนวน 48 ใบ หรือคิดเป็นความสามารถในการบรรจุยาสีฟันสูงสุด 84.5 ตันต่อวัน นอกจากนี้ในการบรรจุยาสีฟันยังมีข้อจำกัดในส่วนของขนาดบรรจุ (Size) ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1-3 1-4 และตารางที่ 1-1 ตามลำดับ ทำให้สูญเสียเวลาในการเปลี่ยนขนาดบรรจุ และเวลาล้างเปลี่ยนสูตรหลายชั่วโมงต่อเดือน ส่งผลให้การผลิตเกิดความล่าช้า และต้องทำการผลิตแบบล่วงเวลา (Overtime) เพื่อให้ทันต่อกำหนดการส่งมอบให้ลูกค้า

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการศึกษาวิธีการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมให้กับแผนกบรรจุยาสีฟันของบริษัทกรณีศึกษา โดยนำกฎการจ่ายงานอย่างง่าย เช่น EDD (Earliest Due Date) และวิธีการทางฮิวริสติกมาใช้ภายใต้ข้อกำหนดระยะเวลาการล้าง การเปลี่ยนสูตร ตลอดจนข้อจำกัดของจำนวนถังบรรจุผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป โดยนำคำสั่งผลิตมาทำการจัดเรียงขั้นต้น (Initial Solution) แล้วจึงทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก เพื่อช่วยให้การบรรจุใช้เวลาสั้นลง (Makespan) และช่วยลดการทำงานล่วงเวลา ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง



รูปที่ 1-1 จำนวน SKU (Stock Keeping Unit) ที่ผลิตในแต่ละเดือน

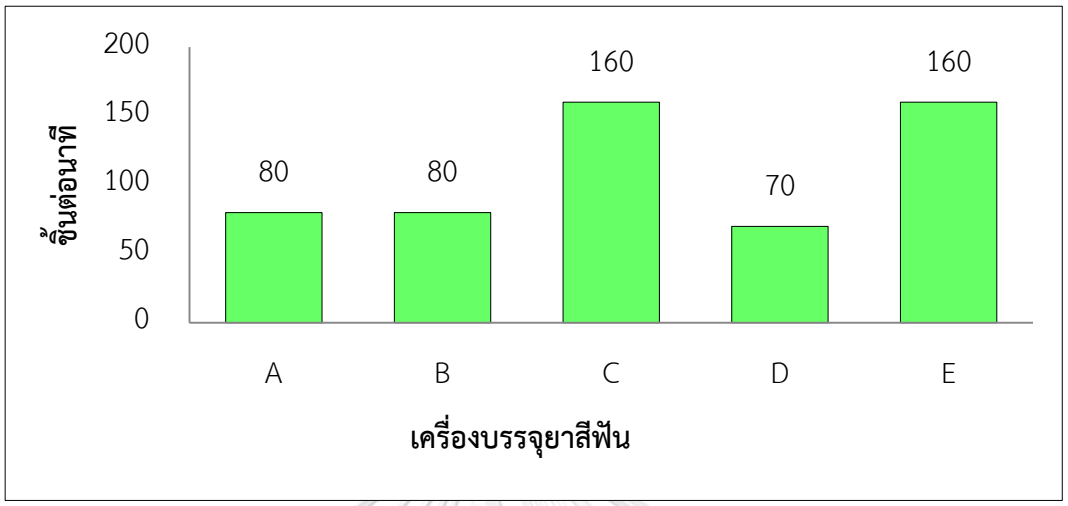
บริษัทกรณีศึกษามีการผลิตยาสีฟันที่มีความหลากหลายโดยเฉลี่ยจำนวน 31 สูตรต่อเดือน ดังแสดงในรูปที่ 1-2 ส่งผลให้เกิดการล้างเปลี่ยนสูตรบ่อยครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากยาสีฟันต่างสูตร โดยการล้างเปลี่ยนสูตรแต่ละครั้งจะใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรุ่น และขนาดเครื่องบรรจุ ทั้งนี้หากการจัดตารางการผลิตไม่มีประสิทธิภาพมากพอจะทำให้เกิดการล้างเปลี่ยนสูตรบ่อยครั้ง ทำให้กระบวนการบรรจุมีเวลาปิดงานยาวนานขึ้น ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตโดยตรง



รูปที่ 1-2 จำนวนสูตรที่ผลิตในแต่ละเดือน

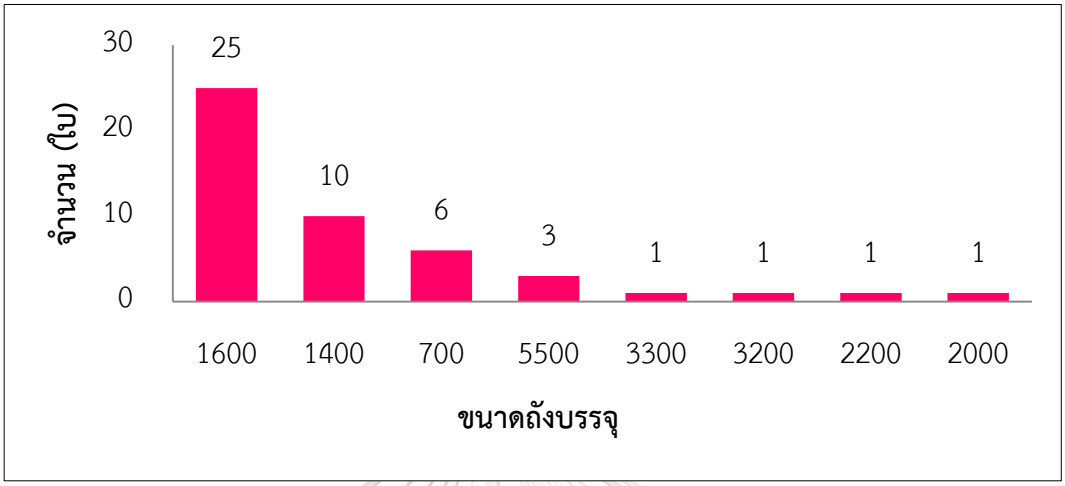
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นอกจากนี้เครื่องบรรจุยาสีฟันรุ่นเก่ายังมีการความเร็วในการบรรจุที่ต่ำ ขณะที่เครื่องบรรจุรุ่นใหม่จะมีความเร็วในการบรรจุสูงกว่า เนื่องจากมีหัวบรรจุ (Nozzle) ที่ทันสมัย ทำให้ประสิทธิภาพการบรรจุในแต่ละเครื่องแตกต่างกัน ทั้งนี้ยังส่งผลต่อเวลาเปลี่ยนขนาดที่แตกต่างกันอีกด้วย เนื่องจากเครื่องบรรจุรุ่นใหม่และอุปกรณ์ที่ช่วยให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้เร็วกว่าเครื่องบรรจุรุ่นเก่า ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-3 ความเร็วในการบรรจุยาสีฟันแต่ละเครื่อง

กระบวนการบรรจุยาสีฟันในแต่ละวันจะมีการลำเลียงถังบรรจุยาสีฟันที่มีขนาด และจำนวนแตกต่างกัน จากแผนกผสมไปบรรจุยังแผนกบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 1-4 โดยในการจัดตารางการผลิตแต่ละครั้งจะพิจารณาปริมาณยาสีฟันที่มีอยู่ในถังบรรจุแต่ละใบว่ามีเพียงพอสำหรับการบรรจุหรือไม่ นอกจากนี้ยังคำนึงถึงลำดับการใช้งานของถังบรรจุแต่ละใบ เนื่องจากถังบรรจุหนึ่งใบไม่สามารถนำไปบรรจุพร้อมกันได้มากกว่าหนึ่งเครื่องในเวลาเดียวกันตามมาตรฐานการผลิต และการตรวจสอบย้อนกลับได้ของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น ในช่วงเวลาหนึ่งถังบรรจุจะสามารถนำไปบรรจุได้เพียงหนึ่งเครื่องเท่านั้น ทั้งนี้หากต้องการนำไปบรรจุที่เครื่องบรรจุเครื่องอื่นต้องทำการบรรจุที่เครื่องใดเครื่องหนึ่งให้เสร็จก่อนนำไปบรรจุที่เครื่องถัดไปได้



รูปที่ 1-4 จำนวนถังบรรจุยาสีฟันแต่ละขนาด

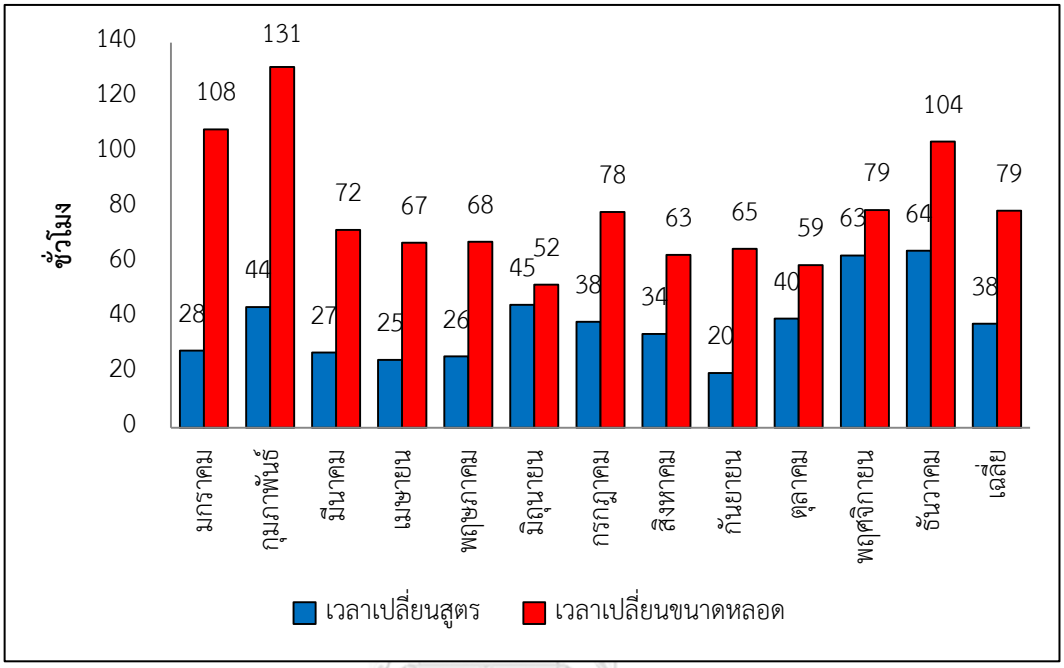
จากตารางที่ 1-1 จะเห็นได้ว่าเครื่องบรรจุยาสีฟันแต่ละเครื่องมีความสามารถในการบรรจุยาสีฟันที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการจัดตารางการผลิต เนื่องจากงานบางงานไม่สามารถทำการบรรจุที่เครื่องบรรจุบางเครื่องได้ ดังนั้นในขั้นตอนการจัดตารางการผลิตจึงต้องมีการพิจารณาถึงความสามารถเครื่องจักรเป็นหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

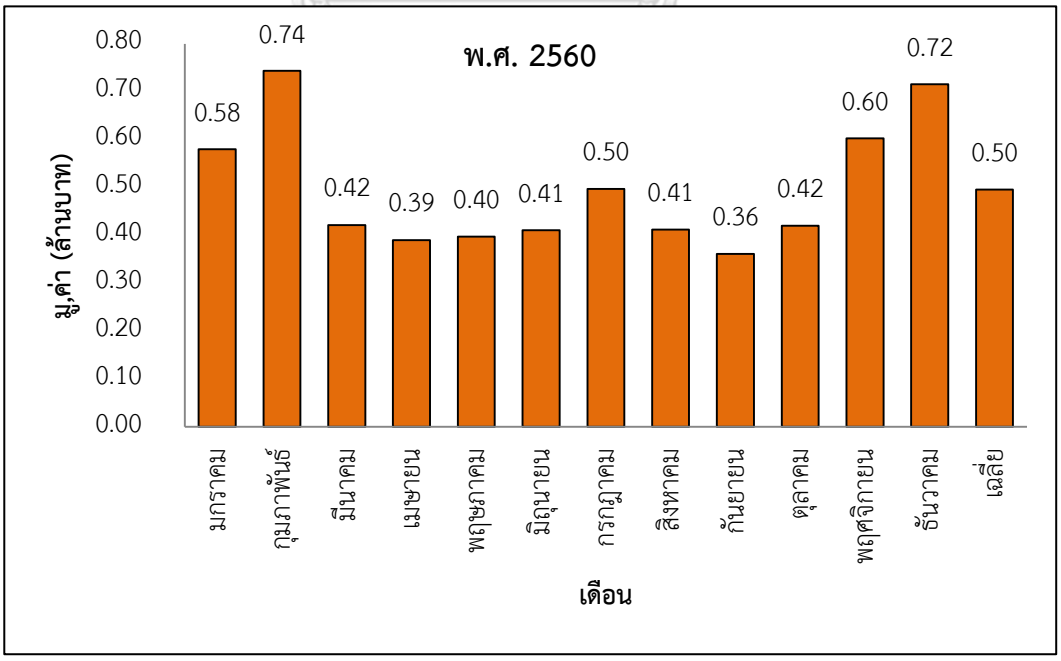
ตารางที่ 1-1 ความสามารถในการบรรจุยาสีฟันขนาดต่างๆ ของเครื่องบรรจุยาสีฟัน

เครื่องจักร	ขนาดบรรจุ (กรัม)													
A	-	-	-	-	-	80	90	100		140	150	160	180	
B	-	-	25	40	50	-	90	100	130	140	150	160	180	200
C	15	20	25	40	-	80	-	-	-	-	-	-	-	-
D	15	-	25	40	-	80	90	-	-	-	-	160	-	-
E	-	-	-	-	-	80	90	-	-	140	150	160	-	200

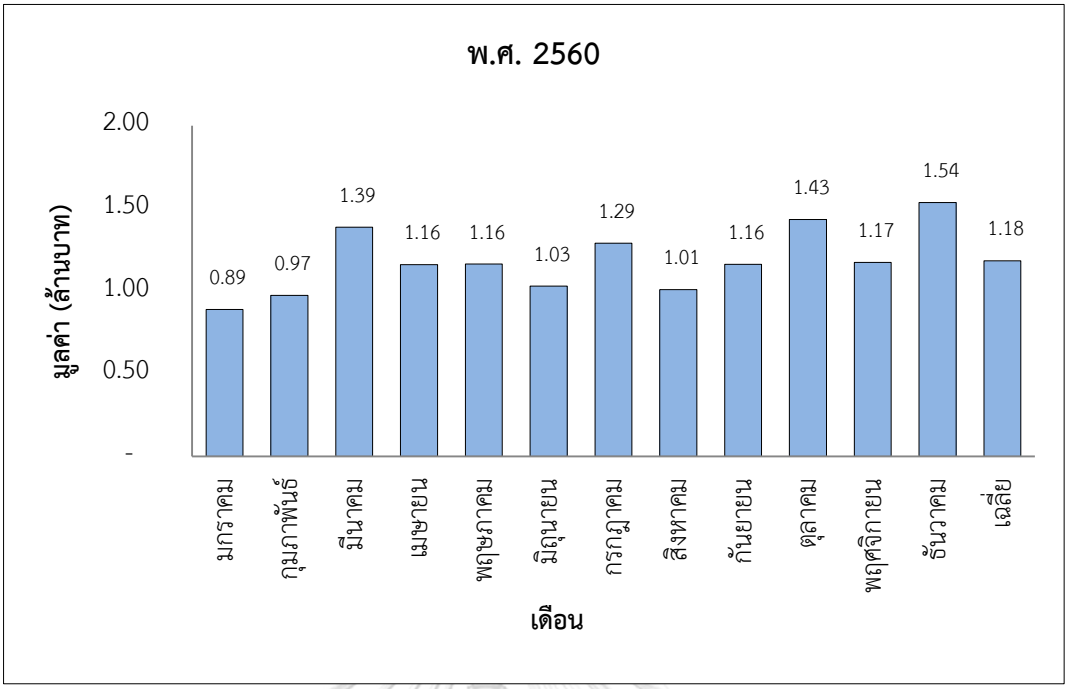
จากสถิติที่ผ่านมา การล้างเปลี่ยนสูตร การเปลี่ยนขนาดบรรจุ ส่งผลต่อต้นทุนแฝงเฉลี่ย 6 ล้านบาทต่อปี ขณะที่มีการทำงานล่วงเวลาส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตเฉลี่ย 14 ล้านบาทต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 1-5 1-6 และ 1-7 ตามลำดับ



รูปที่ 1-5 เวลาหยุดเครื่องบรรจุเพื่อทำการล้างเปลี่ยนสูตร และเปลี่ยนขนาดบรรจุ



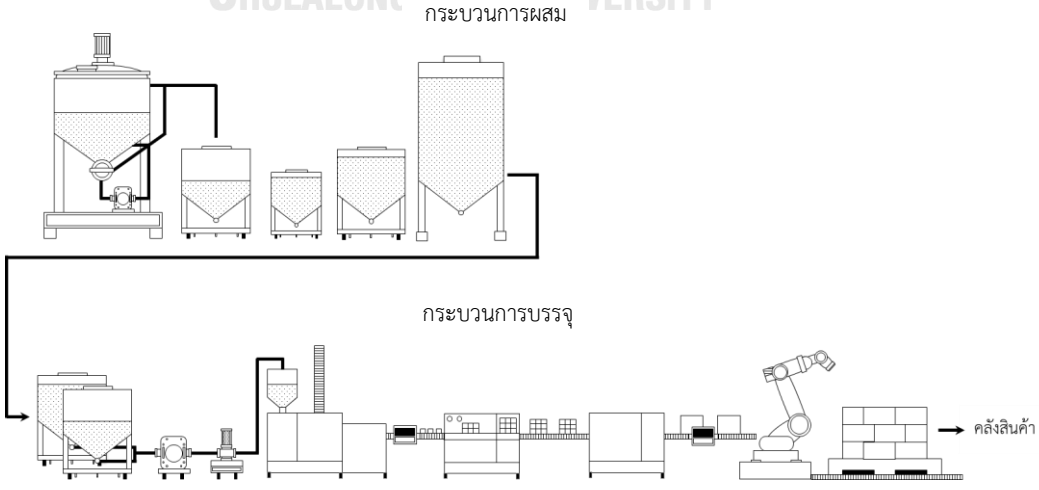
รูปที่ 1-6 ต้นทุนจากเวลาหยุดเครื่องบรรจุเพื่อทำการล้างเปลี่ยนสูตร และเปลี่ยนขนาดบรรจุ



รูปที่ 1-7 ต้นทุนจากการทำงานล่วงเวลา (Overtime)

1.2 กระบวนการผลิตยาสีฟัน

กระบวนการผลิตยาสีฟันโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการผสม และกระบวนการบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 1-8



รูปที่ 1-8 กระบวนการผลิตยาสีฟัน

1.2.1 กระบวนการผสมยาสีฟัน

กระบวนการผสมยาสีฟันมีขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอน คือ การรับวัตถุดิบ การจัดเตรียมวัตถุดิบ การผสม การตรวจสอบคุณภาพ และการถ่ายลงถังบรรจุ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรับวัตถุดิบ เป็นขั้นตอนเริ่มต้นปฏิบัติงาน โดยแผนกผสมยาสีฟันต้องทำการรับวัตถุดิบจากคลังวัตถุดิบ (Material Store) เพื่อจัดเตรียมตามแผนการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 การจัดเตรียมวัตถุดิบ เป็นการเตรียมส่วนผสมต่างๆ ตามสูตร และปริมาณที่กำหนดไว้ โดยแบ่งวัตถุดิบออกเป็นส่วนๆ ตามชนิดและปริมาณที่กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ยกตัวอย่างเช่น ตารางที่ 1-2 แสดงส่วนประกอบของวัตถุดิบต่างๆ ที่จำเป็นในการผลิต ในขั้นตอนการจัดเตรียมเจ้าหน้าที่จัดเตรียมจะนำส่วนผสมทั้งหมดที่ติดบาร์โค้ดกำกับไว้แล้วมาทำการชั่งเตรียม โดยวัตถุดิบที่ใช้ในปริมาณมากๆ จะถูกเตรียมใส่ในไซโล (Silo) ส่วนวัตถุดิบที่มีปริมาณการใช้ขนาดกลางจะถูกเตรียมไว้ในถังบรรจุขนาดกลาง (Storage Tank) และวัตถุดิบที่ใช้ในปริมาณน้อยๆ เช่น วัตถุดิบแต่งกลิ่น สี หรือรสชาติ จะถูกชั่งเตรียมใส่ในถังขนาดเล็ก โดยในแต่ละขั้นตอนของการจัดเตรียมจะใช้วิธีสแกนบาร์โค้ดเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวัตถุดิบ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมน้ำหนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 1-2 ส่วนประกอบหลักของยาสีฟันและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

ส่วนประกอบต่าง ๆ	ประโยชน์ของวัตถุดิบ
1. สารขัดถู (Abrasives)	1. ทำความสะอาด/กำจัดคราบ
2. สารให้ความหนืด (Thickening Agents/Binder)	2. ยึดวัตถุดิบต่างๆ เข้าไว้ด้วยกันทำให้ยาสีฟันมีเนื้อเรียบสม่ำเสมอดูสวยน่าใช้ ช่วยในการเก็บรักษา
3. สารให้ความชุ่มชื้น (humectants)	3. สารคงความชื้นและทำให้เนื้อยาสีฟันมีลักษณะเป็นครีมที่สามารถบีบออกได้เป็นเส้น
4. น้ำ	4. ตัวทำละลาย (Solvents) ของวัตถุดิบ
5. สารให้ฟอง/สารลดแรงตึงผิว (Detergents/Surfactants)	5. สารให้ฟอง ช่วยละลายสิ่งสกปรก ต่อต้านเชื้อโรคยับยั้งการเกิด Plaque ให้ความรู้สึกที่ดีขณะแปรงฟัน
6. สารแต่งกลิ่นและรสชาติ (Flavoring Agents)	6. ช่วยให้รสชาติดีขึ้นและความรู้สึกสดชื่น
7. สารให้ความหวาน (Sweeteners)	7. ให้รสหวานเพื่อให้รสชาติดีขึ้น
8. สารให้สี (Coloring Agents)	8. แต่งสีให้สวยงามน่าใช้
9. สารกันเสีย	9. ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ
10. สารให้คุณสมบัติในการบำบัด (Therapeutic Agents)	10. สารออกฤทธิ์ต่างๆ เช่น ป้องกันฟันผุ
11. สารทำให้ขุ่น (Pacifier)	11. เปลี่ยนยาสีฟันแบบใสให้เป็นยาสีฟันแบบขุ่น

ที่มา : ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พฤษภาคม 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 3 การผสม การผสมจะเป็นการผสมแบบรุ่นการผลิต (Batch) โดยจะนำส่วนผสมทั้งหมดเทหรือลำเลียงเข้าไปในเครื่องผสมระบบสุญญากาศ (Homogenizing Mixer) ดังแสดงในรูปที่ 1-9 จากนั้นจะทำการกวนตามเวลาที่กำหนด โดยแต่ละรุ่นการผลิตจะใช้เวลาประมาณ 3 - 5 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องผสม สูตร และปริมาณการผลิตในแต่ละรุ่นการผลิต

รูปที่ 1-9 ตัวอย่างเครื่องผสมยาสีฟัน

(Source: https://www.exapro.com/fryma-koruma-maxxd1800-machine-p41022089)

ขั้นตอนที่ 4 การตรวจสอบคุณภาพ เมื่อผสมยาสีฟันครบถ้วนตามขั้นตอนแล้วยาสีฟันจะถูกตักไปตรวจสอบคุณภาพโดยแผนก QA (Quality Assurance)

ขั้นตอนที่ 5 การถ่ายลงถังบรรจุ เมื่อตรวจสอบคุณภาพผ่านแล้วจะทำการถ่ายยาสีฟันออกจากเครื่องผสมลงสู่ถังบรรจุแบบเคลื่อนที่ได้ (Moving Tank) และถังบรรจุขนาดใหญ่ (Storage Tank) ที่มีขนาดแตกต่างกัน เพื่อรอนำไปเข้าเครื่องบรรจุในขั้นตอนต่อไป

1.2.2 กระบวนการบรรจุยาสีฟัน

กระบวนการบรรจุยาสีฟันมีขั้นตอนที่สำคัญ 7 ขั้นตอน คือ การรับภาชนะบรรจุ การจัดเตรียมภาชนะบรรจุ การปล่อยหลอดลงปล่อง การบรรจุใส่หลอด การบรรจุใส่กล่อง การตรวจสอบคุณภาพ และการลำเลียงสู่คลังสินค้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การรับภาชนะบรรจุ แผนกบรรจุต้องทำการรับภาชนะบรรจุจากคลังจัดเก็บภาชนะบรรจุ (Packaging Store) เพื่อจัดเตรียมตามแผนผลิตในแต่ละวัน

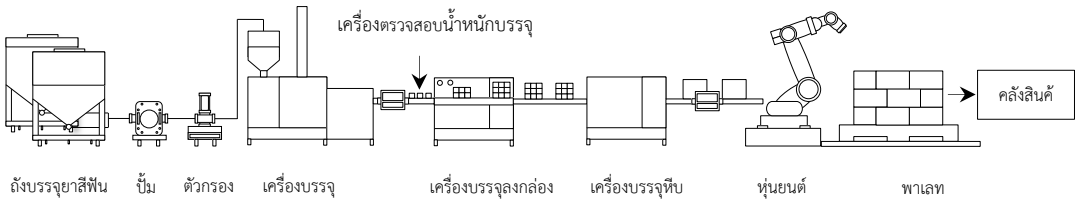
ขั้นตอนที่ 2 การจัดเตรียมภาชนะบรรจุ เป็นการเตรียมภาชนะบรรจุ ต่างๆ ตาม SKU และรูปแบบที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ (Product Standard)

ขั้นตอนที่ 3 การปล่อยหลอดลงปล่อง เจ้าหน้าที่จะทำความสะอาดหลอดโดยทำการจับหลอดยาสีฟันตั้งขึ้นให้ปลายหลอดอยู่ด้านล่าง จากนั้นจึงทำการเคาะเพื่อให้สิ่งแปลกปลอมหลุดออกก่อนวางหลอดบนสายพานเพื่อลำเลียงไปยังเครื่องบรรจุ ดังรูปที่ 1-10

รูปที่ 1-10 ตัวอย่างเครื่องบรรจุยาสีฟัน

(Source : https://www.indiamart.com/proddetail/ointment-filling-machine-17648453830.html)

ขั้นตอนที่ 4 การบรรจุใส่หลอด เป็นการนำยาสีฟันที่อยู่ในถังบรรจุมาทำการบรรจุ โดยนำถังบรรจุมาต่อกับท่อและปั้ม แล้วลำเลียงผ่านทางท่อและตัวกรองสิ่งแปลกปลอมก่อนเข้าเครื่องบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 1-11 ทั้งนี้แต่ละเครื่องบรรจุมีขนาดบรรจุ และความเร็วในการบรรจุที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีระบบตรวจจับสิ่งแปลกปลอมภายในหลอด หากพบสิ่งแปลกปลอมภายในหลอด เครื่องจะทำการแยกหลอดออกจากสายการผลิตโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าหลอดมีสภาพปกติเครื่องจะทำการบรรจุยาสีฟันลงหลอดตามปริมาณที่ปรับไว้



รูปที่ 1-11 กระบวนการบรรจุยาสีฟัน

ขั้นตอนที่ 5 การบรรจุใส่กล่อง เมื่อยาสีฟันถูกบรรจุใส่หลอดพลาสติกเรียบร้อยแล้ว จะถูกลำเลียงไปยังสายพาน เพื่อบรรจุลงกล่องกระดาษ และหีบ ตามลำดับ โดยเครื่องบรรจุจะทำการบรรจุในอัตราเร็วเดียวกันและถูกตรวจสอบน้ำหนักบรรจุ (Weight Checker) อีกครั้งเพื่อยืนยันความถูกต้อง

ขั้นตอนที่ 6 การตรวจสอบคุณภาพ เมื่อบรรจุยาสีฟันครบถ้วนตามขั้นตอนแล้วจะต้องทำการสุ่มตรวจคุณภาพโดยแผนก QA (Quality Assurance) อีกครั้งก่อนปล่อยผ่านไปยังคลังสินค้า

ขั้นตอนที่ 7 การลำเลียงสู่คลังสินค้า โดยใช้หุ่นยนต์ (Robot) ในการจัดเรียงสินค้าบนพาเลท และใช้ระบบ ASRS (Automated Storage Retrieval System) ช่วยในการรับและจัดเก็บสินค้าเข้าคลังสินค้า

จากการศึกษาขั้นตอนในกระบวนการบรรจุยาสีฟันข้างต้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการบรรจุยาสีฟันมีหลากหลายขั้นตอน แต่ในที่นี้จะมีกระบวนการหลักที่สำคัญ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การล้างเครื่องบรรจุ และการเปลี่ยนขนาดบรรจุ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อเวลาผลิตโดยตรง ดังจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

1.2.3 การล้างเครื่องบรรจุยาสีฟัน

การล้างเครื่องบรรจุยาสีฟันเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนสูตรผลิตภัณฑ์จากสูตรหนึ่งไปยังอีกสูตรที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมแตกต่างกัน โดยมี 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการถอดชิ้นส่วนเครื่องบรรจุยาสีฟันแต่ละแบบที่แตกต่างกัน
2. ทำการยก Hopper ออกจากเครื่องบรรจุ จากนั้นจึงทำการถอดชุด Filling Pump ออกจากเครื่องบรรจุ
3. ทำความสะอาด Hopper และ Filling Pump โดยใช้น้ำร้อนล้างทำความสะอาด ทั้งภายในและภายนอก
4. ตรวจสอบสภาพความสมบูรณ์ของชิ้นส่วนและ Seal O-ring ต่างๆ ภายในชุด Filling Pump โดยทุกชิ้นส่วนต้องอยู่ในสภาพปกติ พื้นผิวเรียบ ไม่แตกหัก ผุ กัดกร่อน จึงสามารถใช้งานได้ จากนั้นจึงทำการประกอบกลับเข้าที่เดิม
5. นำ Hopper และ Filling Pump ตลอดจนอุปกรณ์ทั้งหมดมาติดตั้งบนเครื่องบรรจุ เพื่อเตรียมใช้งาน

1.2.4 การเปลี่ยนขนาดหลอด (Size of Tube) ยาสีฟัน

การเปลี่ยนขนาดหลอด (Size of Tube) เป็นขั้นตอนสำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งในการผลิตยาสีฟันที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดหลอดจากขนาดหนึ่งไปยังอีกขนาดหนึ่งตามแผนการผลิต หากแต่เป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยชำนาญและความละเอียดรอบคอบในการปฏิบัติงานสูง เพื่อให้เครื่องบรรจุสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ออกมาได้ตามมาตรฐาน โดยไม่มีของเสียเกิดขึ้น ทั้งนี้หากการปรับตั้งไม่มีประสิทธิภาพมากพอก็อาจก่อให้เกิดความเสียหายทั้งต่อผลิตภัณฑ์และเครื่องบรรจุได้ การเปลี่ยนขนาดหลอดยาสีฟันมี 8 ขั้นตอนดังนี้

1. ทำการปรับตั้งตัว Guide สำหรับจัดเรียงหลอดตามขนาดหลอด โดยต้องปรับให้สูงจากหลอดประมาณ 1-2 mm.
2. ปรับตั้งตัวกั้นหลอดตามความยาวของหลอด โดยเว้นระยะห่างจากหลอดประมาณ 1-2 mm. เพื่อให้หลอดเรียงเป็นระเบียบขณะเดินเครื่องบรรจุ
3. ปรับตั้งตัวจับหัวหลอด เพื่อป้องกันไม่ให้หลอดตกลงไปในตัวป้อนหลอดเข้าเครื่องบรรจุขณะกำลังป้อนหลอดเข้าเครื่อง
4. ปรับตั้งตัวรับ หรือป้อนหลอด (Tilter) ตามขนาดของหลอดยาสีฟัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. เปลี่ยนถ้วยรองรับหลอด (Tube Holder) ตามขนาดหลอด ดังรูปที่ 1-12

รูปที่ 1-12 ถ้วยรองรับหลอด (Tube Holder)

(Source : http://www.altubecan.com/toothpaste-line/gz05c-automatic-colorful-toothpaste-filling-and-sealing-machine.html)

6. ปรับตั้งตัวทำความสะอาดหลอด ตามขนาดหลอด และปรับตัวเป่าลมให้ห่างจากหลอดประมาณ 1-2 mm. โดยประมาณ
7. ปรับเซนเซอร์จับหลอดให้อยู่ตรงกลางหลอด โดยตั้งให้จับอยู่ระหว่างกลางของขีด Eye Mark ที่อยู่ตำแหน่งปลายหลอด
8. ปรับแท่นชุดลูกสูบให้ สูง - ต่ำ ตามขนาดบรรจุ ทำการปรับแท่นตั้งความยาวหลอด และตัดปลายหลอดให้สูงตามขนาดที่กำหนด เช่น กรณีที่เปลี่ยนเป็นขนาด 200 กรัม ก็ต้องเปลี่ยน Clamp ให้ตรงกับขนาด 200 กรัม จากนั้น ทำการเปลี่ยนขนาดหัวบรรจุ (Nozzle) ตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดบรรจุ

เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนระหว่างการล้างเปลี่ยนสูตร กับการเปลี่ยนขนาดบรรจุจะพบว่า เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนขนาดบรรจุมีค่ามากกว่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสูตร เนื่องจากขั้นตอนในการเปลี่ยนขนาดบรรจุมีความซับซ้อน และต้องใช้ความละเอียดรอบคอบสูงมากกว่าขั้นตอนการล้างเปลี่ยนสูตร ดังแสดงในตารางที่ 1-3 ทั้งนี้หากปฏิบัติงานไม่ถูกต้องอาจก่อให้เกิดความเสียหายทั้งในด้านคุณภาพและต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังพบว่ายังมีข้อจำกัด และปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุอีกหลายประการ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความซับซ้อนของการจัดตารางการผลิต ดังจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 1-3 เวลาที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสูตรและขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟัน

เครื่องจักร	เวลาที่ใช้ (นาที)		
	เปลี่ยนขนาดบรรจุ	เปลี่ยนสูตร	เปลี่ยนทั้งขนาดบรรจุ และสูตร
A	40	15	55
B	60	15	75
C	60	15	75
D	90	60	150
E	45	10	55

1.2.5 ข้อจำกัด และปัญหาที่พบในการบรรจุ

เนื่องจากเครื่องบรรจุแต่ละเครื่องมีลักษณะแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการบรรจุไม่เท่ากัน โดยแต่ละเครื่องบรรจุมีข้อจำกัด และปัญหาในการบรรจุ ดังนี้

1. เครื่องบรรจุแต่ละเครื่องมีความเร็วในการบรรจุไม่เท่ากัน เนื่องจากมีจำนวนหัวบรรจุ (Nozzle) ไม่เท่ากัน เช่น เครื่องบรรจุ C สามารถบรรจุได้เร็วกว่า A เนื่องจากมี 2 หัวบรรจุ จึงบรรจุได้เร็วกว่าเครื่องที่มีหัวบรรจุหัวเดียว ดังแสดงในตารางที่ 1-4
2. ขนาดบรรจุ เครื่องบรรจุแต่ละเครื่องมีความสามารถในการบรรจุไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 1-4 โดยบางเครื่องบรรจุไม่สามารถบรรจุบางขนาดได้ เช่น เครื่องจักร A สามารถบรรจุขนาด 160 กรัมได้ แต่เครื่องจักร C ไม่สามารถทำการบรรจุขนาดบรรจุนี้ได้ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1-4 ความเร็วและขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟัน

เครื่องจักร	ความเร็ว (ชิ้นต่อนาที)	ขนาดบรรจุ (กรัม)													
A	80	-	-	-	-	-	80	90	100		140	150	160	180	
B	80	-	-	25	40	50	-	90	100	130	140	150	160	180	200
C	160	15	20	25	40	-	80	-	-	-	-	-	-	-	-
D	70	15	-	25	40	-	80	90	-	-	-	-	160	-	-
E	160	-	-	-	-	-	80	90	-	-	140	150	160	-	200

3. เวลาในการปรับตั้งขนาดบรรจุมากกว่าเวลาล้างเปลี่ยนสูตร เช่น การปรับตั้งขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุ B ใช้เวลา 60 นาที แต่เวลาล้างเปลี่ยนสูตรใช้เวลาเพียง 15 นาที ดังแสดงในตารางที่ 1-3 ซึ่งหากมีการล้างและเปลี่ยนขนาดพร้อมกัน จะใช้เวลามากกว่าการล้างหรือการเปลี่ยนขนาดบรรจุอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังรูปที่ 1-13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

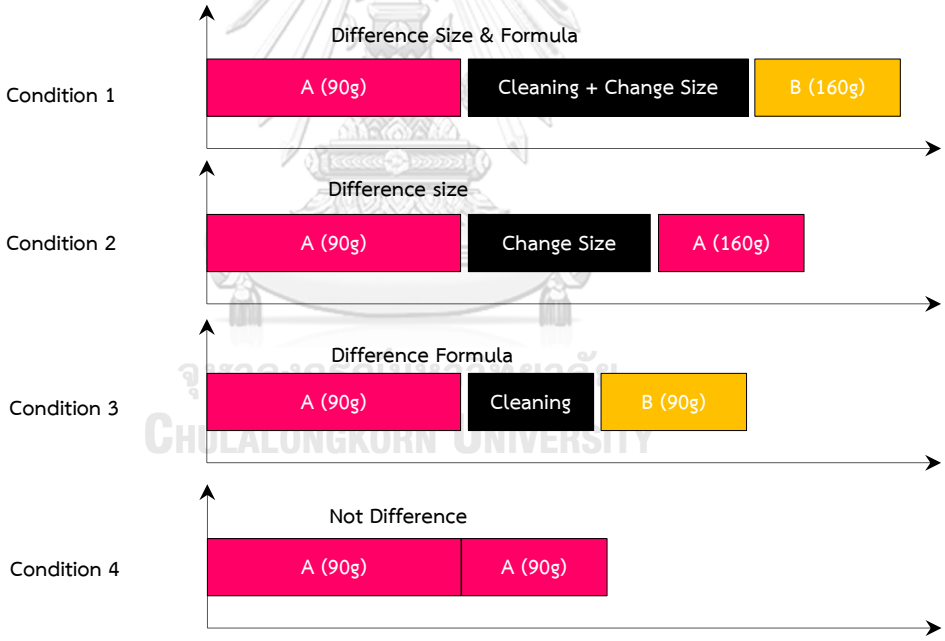
4. สามารถจำแนกเงื่อนไขในการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันออกเป็น 4 เงื่อนไข โดยการเรียงลำดับเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนจากมากไปหาน้อย ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 กรณีมีคำสั่งผลิตต่างสูตรต่างขนาดบรรจุผลิตต่อเนื่องกันจะสูญเสียเวลาทั้งในการเปลี่ยนสูตรและขนาดบรรจุทำให้เวลาในการเปลี่ยนมีค่ามากกว่าเงื่อนไขอื่น

เงื่อนไขที่ 2 กรณีมีคำสั่งผลิตสูตรเหมือนกันแต่ต่างขนาดบรรจุผลิตต่อเนื่องกันจะสูญเสียเฉพาะเวลาในการเปลี่ยนขนาดบรรจุเท่านั้น ซึ่งจะใช้เวลาในการเปลี่ยนน้อยกว่าเงื่อนไขที่ 1

เงื่อนไขที่ 3 กรณีมีคำสั่งผลิตขนาดบรรจุเหมือนแต่ต่างสูตรกันผลิตต่อเนื่องกันจะสูญเสียเฉพาะเวลาในการล้างเปลี่ยนสูตรเท่านั้น ซึ่งจะใช้เวลาน้อยกว่าเงื่อนไขที่ 2

เงื่อนไขที่ 4 กรณีมีคำสั่งผลิตขนาดเดียวกันและสูตรเดียวกันผลิตต่อเนื่องกันจะไม่สูญเสียเวลาในการเปลี่ยน



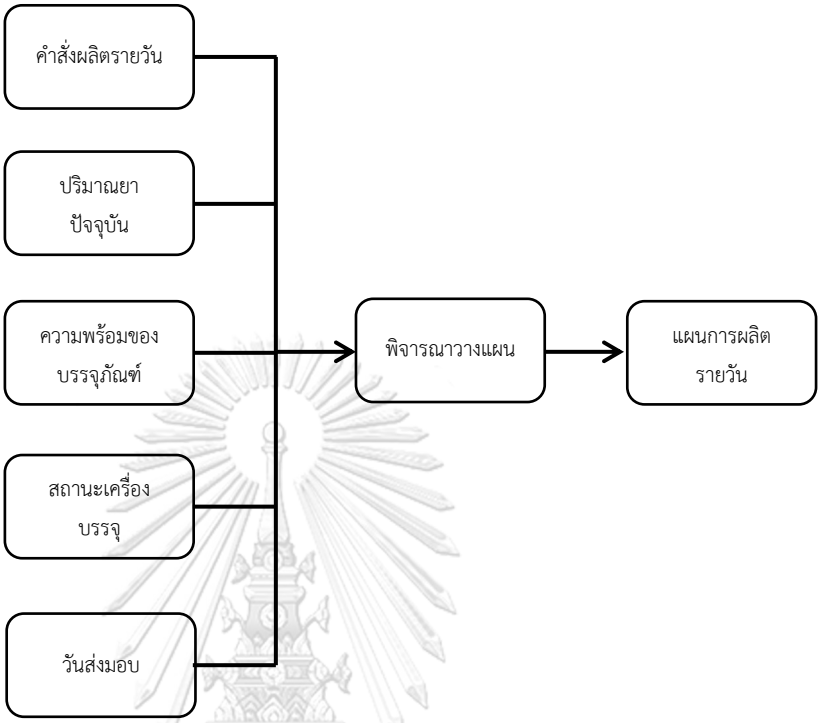
รูปที่ 1-13 เปรียบเทียบเวลาในการล้างเปลี่ยนสูตร และการปรับตั้งขนาดบรรจุ

1.2.6 วิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน

ปัจจุบันการจัดตารางการผลิตยังไม่มีแบบแผนที่ชัดเจน หากแต่พึ่งพาประสบการณ์ของผู้จัดตารางการผลิตเป็นหลัก โดยในการจัดตาราง ผู้จัดจะพิจารณาจากคำสั่งผลิต ปริมาณยาสีฟันที่พร้อมใช้ ความพร้อมของบรรจุภัณฑ์ สถานะเครื่องบรรจุ และวันส่งมอบ ดังแสดงในรูปที่ 1-14 ซึ่งในแต่ละวันมีคำสั่งผลิตการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย และการมีเครื่องจักรที่มีความเร็ว และความสามารถในการบรรจุที่ไม่เท่ากัน ทำให้ขั้นตอนการจัดตารางการผลิตมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ผู้จัดตารางไม่สามารถจัดตารางการบรรจุได้อย่างมีประสิทธิภาพมากพอ ทำให้มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างไม่คุ้มค่า ซึ่งบ่อยครั้งก่อให้เกิดความสูญเสียขึ้นจากการล้างเปลี่ยนสูตร หรือการเปลี่ยนขนาดบรรจุกลับไปกลับมาโดยไม่มีความจำเป็นจนทำให้เวลาปิดงานสูงขึ้น ขณะที่บางเครื่องบรรจุกลับไม่ได้มีการใช้งานอย่างเต็มประสิทธิภาพ

จากข้อมูลการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาที่ผ่านมาพบว่าในแต่ละวันมีการสั่งผลิตในการผลิตที่เครื่องบรรจุบางเครื่องยาวนานเกินไปในขณะที่ยังมีบางเครื่องบรรจุยังสามารถทำการผลิตทดแทนกันได้ ทำให้เวลาปิดงาน (Makespan) ยาวนานขึ้น ซึ่งเกิดจากการจัดตารางการผลิตที่ยังไม่มีประสิทธิภาพมากพอ นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบทำให้ไม่สามารถส่งมอบสินค้าได้ทันตามกำหนด และต้องมีการผลิตแบบล่วงเวลา (Overtime) ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น ในทางกลับกันหากมีการจัดตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะช่วยเวลาในการผลิตสั้นลง (Minimize Makespan) และลดการผลิตแบบล่วงเวลาลงได้

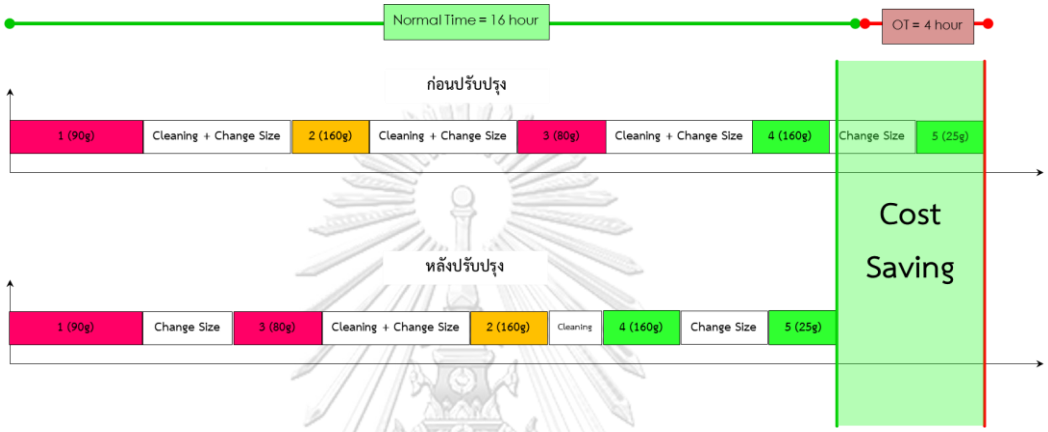
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1-14 วิธีการวางแผนการผลิตในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 1-15 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกมีการวางแผนการบรรจุกลับไปกลับมา ยกตัวอย่างเช่น สูตรสีส้มขนาด 160 และสูตรสีเขียว 160 กรัม ถูกผลิตคั่นด้วยสูตรสีชมพู 80 กรัม ทำให้ต้องมีการล้างเปลี่ยนสูตร และเปลี่ยนขนาดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เวลาปิดงานมีค่าเท่ากับ 20 ชั่วโมง แต่ในแถวที่ 2 เมื่อนำสูตรสูตรสีส้มขนาด 160 และสูตรสีเขียว 160 กรัม มาจัดเรียงต่อเนื่องกันจะทำให้สามารถลดเวลาในการเปลี่ยนขนาดลงได้ และกรณีสูตรเดียวกันมาเรียงต่อกันยังสามารถลดเวลาในการล้างเปลี่ยนสูตรได้ ส่งผลให้เวลาปิดงานมีค่าเท่ากับ 16 ชั่วโมง ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตที่เครื่องดังกล่าวลงได้ 4 ชั่วโมง



รูปที่ 1-15 ตัวอย่างการจัดตารางการบรรจุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.3 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง และพัฒนาวิธีการวางแผนผลิตในกระบวนการบรรจุยาสีฟัน เพื่อให้สามารถบรรจุยาสีฟันโดยใช้ต้นทุนต่ำ และมีเวลาปิดงานสั้นลง (Makespan) ภายใต้เวลากำหนดส่งมอบ

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษา และพัฒนาวิธีการวางแผนการบรรจุยาสีฟันรายวันเท่านั้น
2. ปรับปรุงวิธีการวางแผนภายใต้เครื่องบรรจุยาสีฟันที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน 5 เครื่อง โดยคำนึงเฉพาะกรณีที่มีบรรจุภัณฑ์ที่พร้อมใช้งานเท่านั้น
3. กำหนดให้ความสูญเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนขนาดบรรจุ และการเปลี่ยนสูตรเท่านั้น
4. มุ่งเน้นพัฒนาวิธีการวางแผนภายใต้ปริมาณยาสีฟันที่มีอยู่ ณ เวลาปัจจุบัน และที่กำลังผลิตออกมาตามแผนการผสมเท่านั้น

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถหาแนวทางในการจัดลำดับการผลิตยาสีฟัน ในขั้นตอนการบรรจุโดยใช้ระยะเวลาในการปิดงาน (Makespan) และมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำที่ลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 แนวทางการหาคำตอบ

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการสร้างฮิวริสติก โดยนำเอาแนวทางการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (VRP) มาพัฒนาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการวางแผนการบรรจุยาสีฟัน โดยเพิ่มความซับซ้อนมากขึ้น เมื่อพิจารณาความพร้อมของถังบรรจุ และข้อจำกัดของเครื่องบรรจุ เนื่องจากงานบางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การจัดตารางการผลิต (Production Scheduling) เป็นการจัดลำดับความสำคัญก่อนหลังของงานโดยการจัดสรรทรัพยากร (Resource) ที่มีอยู่อย่างจำกัด ไม่ว่าจะเป็นแรงงาน เครื่องจักร สถานที่ผลิต อุปกรณ์ หรือสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ (ชุติมา, 2546) ให้สามารถนำไปใช้ในการผลิตตามที่ต้องการได้อย่างเหมาะสมภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด การจัดตารางการผลิตมีความสำคัญอย่างยิ่งต่องานด้านการผลิต เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดผลผลิตสูงสุด และเป็นส่วนช่วยที่จะทำให้องค์กรสามารถบรรลุเป้าหมายได้ (รัตน เกื้อกังวาลย์, 2548) วิธีการจัดลำดับการผลิตมีหลากหลายวิธี โดยทั่วไปมักรู้จักกันในชื่อ กฎการจ่ายงานพื้นฐาน (Dispatching Rules) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้วิธีการหนึ่ง เนื่องจากเป็นวิธีที่ทำให้การจัดตารางการผลิตได้ผลลัพธ์ออกมาดีพอสมควร ยอมรับได้ แต่ใช้เวลาในการจัดไม่นานนัก เช่น การจัดงานที่มีกำหนดส่งมอบงานเร็วที่สุดก่อน (Earliest Due Date: EDD) เป็นการจัดลำดับงานโดยจัดให้มีการทำงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วที่สุดก่อน จากนั้นจึงค่อยทำงานที่มีกำหนดส่งมอบนานกว่าเป็นลำดับถัดไป อย่างไรก็ตาม EDD เป็นเพียงวิธีที่ช่วยลดความล่าช้าจากกำหนดการส่งมอบให้แก่ลูกค้าเท่านั้น หากแต่ยังไม่สามารถตอบโจทย์ในส่วนการจัดลำดับการผลิตว่าเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวางแผนงานหรือไม่ โดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้กับงานที่มีการตั้งค่าเครื่องจักร (Setup) จะทำให้เวลาปิดงานมีค่าสูงขึ้น จึงได้มีการนำวิธีการอื่นๆ เข้ามาช่วยศึกษาและพัฒนาขึ้นเป็นวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความซับซ้อนขึ้น หนึ่งในวิธีการดังกล่าว คือ การประยุกต์ใช้แนวทางการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problems : TSP) ในการแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิต ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยจำนวนมากอย่างต่อเนื่อง หลักการแก้ปัญหาของ TSP คือ การหาระยะทางหรือเวลาที่สั้นลงในการเดินทางไปพบลูกค้ายังเมืองหรือสถานที่ต่างๆ จนครบทุกเมืองแล้วกลับมายังเมืองเริ่มต้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการนำแนวทางการแก้ปัญหาของ TSP มาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันจะทำให้สามารถกำหนดให้เมืองแต่ละเมืองเปรียบเหมือนคำสั่งผลิต ขณะที่เส้นทางหรือระยะทางเปรียบเหมือนระยะเวลาที่ใช้บรรจุ รวมถึง

ระยะเวลาในการเปลี่ยนสูตร และขนาดบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 2-1 โดยมีวิธีการปรับปรุงคำตอบ เช่น การค้นหาใกล้เคียง (Neighborhood Search) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบดีขึ้น วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ และมีความรวดเร็วในการหาคำตอบ เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงในการผลิตได้ เพื่อหาลำดับการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

กระบวนการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดนั้นอาจต้องใช้วิธีการสร้างตัวแปร และสมการเงื่อนไขเพื่อการตัดสินใจในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ยาก และใช้เวลานาน โดยเฉพาะกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่อาจไม่สามารถหาคำตอบได้ วิธีฮิวริสติกจึงเป็นทางเลือกในการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหา (Sun Zhongyue, 2010) อย่างไรก็ตามปัญหา TSP เป็นการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเพียงหนึ่งเส้นทางเท่านั้น เมื่อมีจำนวนเส้นทางมากขึ้นถูกเรียกว่าปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problems : VRP) วัตถุประสงค์หลักของ VRP คือ การหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมจากจำนวนของเส้นทางเดินรถที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้า และลดระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า ซึ่งสามารถนำมาเป็นแนวทางในการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันที่มีเครื่องบรรจุหลายเครื่องภายใต้ความสามารถที่แตกต่างกัน โดยการนำแนวทางการแก้ปัญหาของ VRP มาทำการค้นหาลำดับการบรรจุ เพื่อให้ได้ลำดับการบรรจุที่ทำให้เวลาปิดงานสั้นลงจากการจัดลำดับที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งการหาเส้นทางเดินรถและการจัดลำดับการบรรจุสามารถเกิดขึ้นได้หลากหลายเส้นทาง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีอยู่ในขณะนั้น แสดงในรูปที่ 2-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แนวทางการแก้ปัญหา VRP ด้วยฮิวริสติกเป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง เนื่องจากมีการนำฮิวริสติกพื้นฐานมาใช้ในการค้นหาคำตอบของปัญหา ทั้งยังมีความรวดเร็วในการหาคำตอบ และการนำไปใช้งานจริง

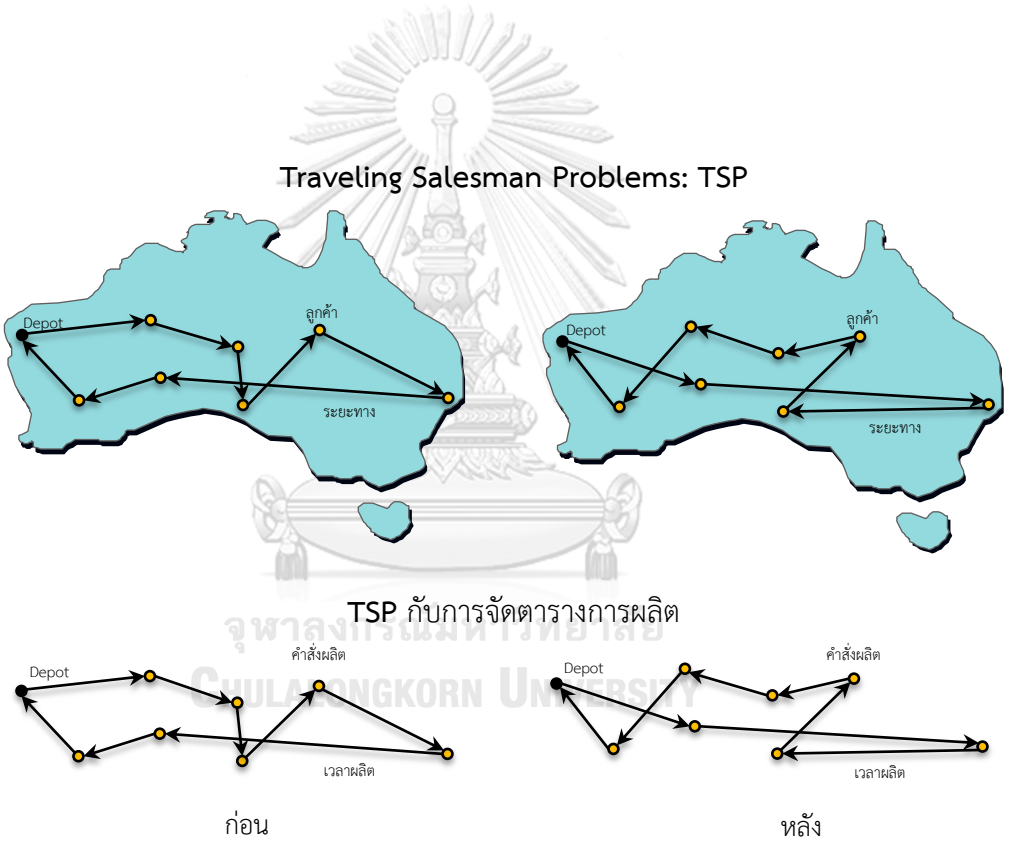
วิธีฮิวริสติกโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน (Potvin and Rousseau, 1995) ดังนี้

1. การหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) เป็นการนำฮิวริสติกพื้นฐานมาใช้เพื่อสร้างคำตอบที่เป็นไปได้เบื้องต้น

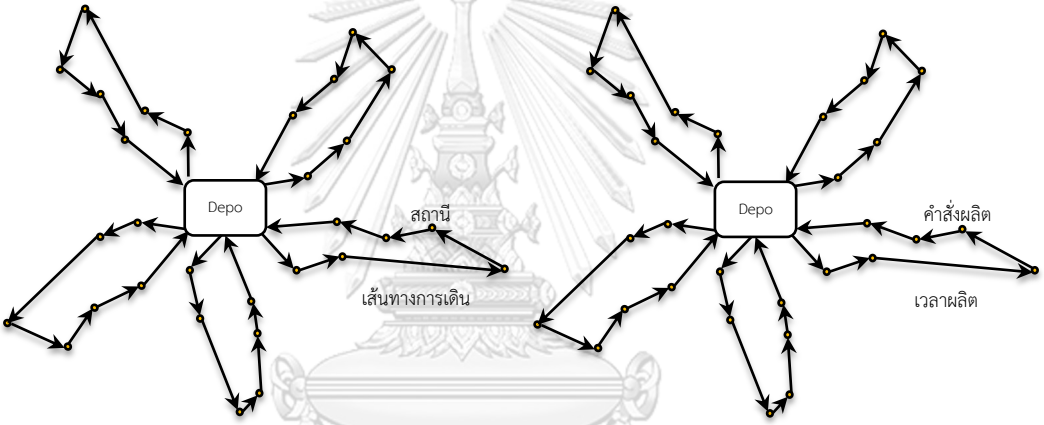
2. การปรับปรุงคำตอบ (Improved Feasible Solution) ด้วยการ Search แบบต่างๆ เช่น 2-opt, 3-opt, K- Exchange ซึ่งเป็นการปรับปรุงคำตอบโดยการสลับหรือสับเปลี่ยนลูกค้าบน

เส้นทางที่เกิดขึ้น เพื่อให้เกิดคำตอบที่ดีขึ้น โดย Search Algorithm ที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของปัญหา

3. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 จนกว่าจะไม่มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น จึงหยุดการทำซ้ำ



รูปที่ 2-1 เปรียบเทียบการประยุกต์ใช้แนวทางการแก้ปัญหา TSP กับการจัดตารางการผลิต



Vehicle Routing Problems: VRP VRP กับการจัดตารางการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2-2 เปรียบเทียบการประยุกต์ใช้แนวทางแก้ปัญหา VRP กับการจัดตารางการผลิต

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการวางแผนบรรจุยาสีฟันเป็นกระบวนการผลิตที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อจำกัดทั้งในเรื่องของเครื่องจักร ขนาดบรรจุ และถังที่ใช้สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่ (NP-Hard) ทั้งนี้เราสามารถนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันมาศึกษาเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดตารางการบรรจุได้ เช่น ในงานวิจัยของ กิติสุข (2560) ที่นำเอาปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) มาศึกษาและใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตกระจกแผ่นเรียบแบบโฟลท โดยก่อให้เกิดเศษกระจกในระบบน้อยที่สุด กิติสุข (2560) ได้พัฒนาฮิวริสติกขึ้นบนพื้นฐานของ Variable Neighborhood Search (VNS) โดยใช้ 2-opt และ 3-opt ในการค้นหาและพัฒนาคำตอบ แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับการจัดตารางที่มีกำหนดส่งมอบงานเร็วสุด (Earliest Due Date) กับการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้จากฮิวริสติกสามารถลดการเกิดเศษกระจก (Scrap) ได้มากกว่าวิธีการจัดงานที่มีกำหนดส่งมอบงานเร็วสุดก่อนโดยเฉลี่ยถึง 86.44% อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบเครื่องจักรเดียวซึ่งไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานนี้ได้โดยตรง

Jarumaneeroj และ Kunaporn (2017) ได้นำเอาแนวคิดของ VNS มาใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่งลูกเรือ สำหรับบริษัทสำรวจน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ ในกรณีที่ต้องส่งวิศวกรหรือเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงรักษาไปยังสถานีต่างๆ ในแต่ละวัน โดยที่บุคลากรเหล่านี้มีชั่วโมงการทำงานที่มีมูลค่าสูงและมีระยะเวลาทำงานที่จำกัด Jarumaneeroj และ Kunaporn (2017) ใช้วิธี λ-Interchange และ Cyclic Transfer Algorithm ในการพัฒนาคำตอบ เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากบุคลากรเหล่านั้นได้อย่างเต็มศักยภาพ และหลีกเลี่ยงโอกาสที่จะเกิดความล่าช้าของโครงการ เนื่องจากการสูญเสียชั่วโมงการทำงาน ซึ่งมีความแตกต่างจากการขนส่งสินค้าทั่วไป

นอกจากนี้ยังพบว่ามีงานวิจัยอีกหลายเรื่องที่แก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยใช้วิธีการฮิวริสติกเพื่อลดเวลาปิดงาน (Makespan) ให้สั้นลง เช่น Franca (1996) ได้ใช้ TSP และ Tabu Search เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตบนกระบวนการผลิตแบบขนาน ซึ่งเวลาในการตั้งเครื่องขึ้นอยู่กับลำดับของงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เวลาปิดงานมีค่าต่ำที่สุด Oguz (2003) สร้างฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิตแบบมัลติโปรเซสเซอร์แบบสองขั้นตอนโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดระยะเวลาในการผลิตลง Bilge (2004) ได้นำ Tabu Search ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการ

ผลิตของเครื่องจักรแบบขนาน โดยมีข้อจำกัดเวลาตั้งเครื่องที่ขึ้นกับลำดับของงาน และมีเป้าหมายเพื่อให้ความล่าช้าโดยรวมมีค่าต่ำที่สุด Zadeh (2017) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาการวางแผนผลิตของเครื่องจักรแบบเก่าและแบบใหม่ที่ไม่สัมพันธ์กัน โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แล้วนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับแต่ละฮิวริสติก เพื่อเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการจัดตารางในการลดเวลาปิดงาน (Makespan) เช่นเดียวกับ Pontrakul และ Jarumaneeroj (2018) ที่ได้ใช้วิธีการฮิวริสติกและแนวทางการค้นหาคำตอบแบบ VNS และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาทำการทดลองเปรียบเทียบในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตยาเม็ดเคลือบฟิล์ม แต่จากผลการทดลองพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตได้เพียง 20 คำสั่งผลิตเท่านั้น ซึ่งต่างการวิธีการทางฮิวริสติกที่สามารถแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตได้มากกว่า 50 คำสั่งผลิต แสดงให้เห็นว่าวิธีการทางฮิวริสติกเหมาะสมปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนของปัจจัยการผลิตสูง

งานวิจัยจำนวนมากมุ่งเน้นไปที่การลดเวลาปิดงาน โดยเลือกวิธีการแก้ปัญหาตามความเหมาะสมของปัญหาโดยใช้วิธีการทางฮิวริสติก จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังพบว่าวิธีการทางฮิวริสติกเป็นวิธีการที่สามารถหาคำตอบได้ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมมากที่สุด (Near Optimal Solution) และสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาภายในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีการพัฒนาเพื่อตอบสนองกับปัญหาใหม่ๆ ที่มีความซับซ้อนอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา วิธีการทางฮิวริสติกจึงเหมาะแก่การนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาวิธีการวางแผนการบรรจุยาสีฟันที่มีความซับซ้อน

ในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเสนอฮิวริสติกสำหรับกระบวนบรรจุยาสีฟันที่มีความซับซ้อนซึ่งมีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมา เนื่องจากเป็นการจัดตารางการผลิตที่มีข้อจำกัดทั้งในด้านเครื่องจักรที่มีความสามารถแตกต่างกัน ขนาดบรรจุ และสูตรผลิตที่มีความหลากหลาย ประกอบกับถังบรรจุที่มีหลายขนาด และจำนวนที่จำกัด ทำให้วิธีการในการจัดตารางการผลิตมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากปัจจัยต่างๆสัมพันธ์กัน ซึ่งจะกล่าวในบทถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
แนวทางการแก้ปัญหา

3.1 ลักษณะของปัญหา

กระบวนการผลิตยาสีฟันที่มีผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย เพื่อตอบต่อสนองความต้องการของผู้บริโภคที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้การวางแผนผลิตมีความซับซ้อน หากมีการจัดตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพก็จะช่วยให้การผลิตเป็นไปตามแผนผลิต ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ และทันต่อกำหนดการส่งมอบของลูกค้า ทั้งนี้ในกระบวนการบรรจุยาสีฟันมีเวลาที่สูญเสียไประหว่างการผลิต 2 ส่วน คือ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสูตร และเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนขนาดบรรจุ อันเป็นผลมาจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในส่วนของเครื่องจักรที่มีความเร็วในการบรรจุ จำนวนสูตรผลิต (Formula) จำนวนถังบรรจุ (Storage Tank) และขนาดบรรจุ (Size) ที่แตกต่างกัน หากแผนการผลิตที่ใช้ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอก็อาจก่อให้เกิดการสูญเสียเวลาในการผลิตเป็นเวลาหลายชั่วโมงต่อเดือน ไม่สามารถผลิตได้ทันเวลา ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น และอาจส่งมอบสินค้าไม่ทันตามกำหนด ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิดในการนำเอากฎการจ่ายงานอย่างง่าย เช่น EDD (Earliest Due Date) และวิธีการทางฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนผลิตภายใต้ข้อกำหนดระยะเวลาการล้าง การเปลี่ยนสูตร ตลอดจนข้อจำกัดของจำนวนถังบรรจุผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป เพื่อช่วยให้กระบวนการบรรจุใช้เวลาสั้นลง (Makespan)

3.2 สมมติฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

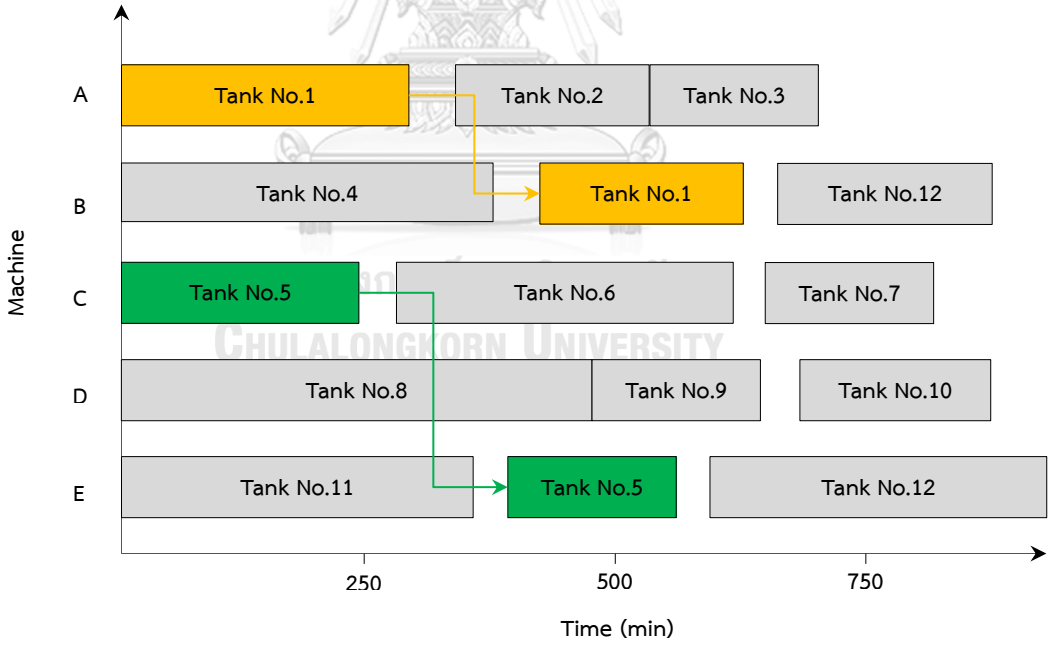
ในงานวิจัยฉบับนี้ กำหนดให้การวางแผนการบรรจุยาสีฟันถูกพัฒนาขึ้นโดยตั้งอยู่บนสมมติฐานต่างๆ ดังนี้

1. เครื่องจักรที่ใช้ในการบรรจุมีทั้งหมด 5 เครื่อง ซึ่งมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน โดยแต่ละเครื่องบรรจุมีความเร็วในการบรรจุ และขนาดบรรจุแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1-2
2. การวางแผนการบรรจุที่พัฒนาขึ้นไม่พิจารณาของเสีย (Defect) ที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต และไม่พิจารณาเวลาหยุดเครื่องบรรจุที่เกิดจากความไม่พร้อมของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุ
3. แผนการผลิตที่นำมาใช้เป็นข้อมูลจากแผนผลิตรายวันเท่านั้น
4. พัฒนาวิธีการวางแผนภายใต้ปริมาณยาสีฟันที่มีอยู่ ณ เวลาปัจจุบัน และที่กำลังผลิตออกมาตามแผนผลิตในวันนั้นเท่านั้น

5. ระหว่างการผลิตจะไม่มีการแยกผลิตภายในคำสั่งผลิต เช่น หากมีคำสั่งผลิตให้ผลิตยาสีฟันขนาดบรรจุ 160 กรัม จำนวน 1,000 หลอด จะต้องดำเนินการผลิตจนครบ 1,000 หลอดจึงจะสามารถเปลี่ยนไปผลิตคำสั่งผลิตอื่นได้

6. เวลาปิดงานต้องไม่เกินเวลาในการปฏิบัติงานรายวัน คือ 1,350 นาที ((24 ชั่วโมง x 60 นาที) – (เวลาพัก 30 นาที x 3 กะ))

7. กรณีมียาสีฟันที่บรรจุอยู่ในถังบรรจุเดียว และเพียงพอต่อการบรรจุมากกว่าหนึ่งเครื่องในเวลาเดียวกัน ให้พิจารณานำไปบรรจุตามคำสั่งผลิตที่มีกำหนดการส่งมอบสั้นสุดคำสั่งแรกให้เสร็จก่อนเสมอ แล้วค่อยบรรจุคำสั่งผลิตในลำดับถัดไป เนื่องจากยาสีฟันหนึ่งถังไม่สามารถบรรจุพร้อมกันได้มากกว่าหนึ่งเครื่องบรรจุในเวลาเดียวกันได้ ยกตัวอย่างเช่น ถังหมายเลข 1 (Tank No.1) เพียงพอต่อการบรรจุทั้งคำสั่งผลิตที่เครื่องบรรจุ A และ B ในการบรรจุจะต้องนำไปบรรจุตามคำสั่งผลิตที่เครื่องบรรจุ A ซึ่งมีกำหนดการส่งมอบสั้นสุดคำสั่งแรกให้เสร็จก่อน แล้วค่อยบรรจุคำสั่งผลิตที่เครื่องบรรจุ B ในลำดับถัดไป กรณีมีกำหนดการส่งมอบพร้อมกันให้พิจาณาบรรจุในเครื่องที่มีความเร็วสูงและขนาดบรรจุใหญ่กว่าก่อนเสมอ เพื่อระบายยาสีฟันออกจากถังบรรจุได้เร็วกว่า และสามารถใช้ถังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 การบรรจุยาสีฟันถังเดียวกันที่เครื่องบรรจุมากกว่าหนึ่งเครื่อง

8. เวลาในการปรับตั้งขนาดบรรจุ และเวลาล้างเปลี่ยนสูตรแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1-3

3.3 แนวทางการดำเนินงาน

3.3.1 หลักการ

เนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตที่ศึกษาที่มีความซับซ้อนจากปัจจัยในส่วนของสูตรการผลิตที่มีความหลากหลาย ขนาดบรรจุ และความเร็วของเครื่องบรรจุ ตลอดจนจำนวนถังบรรจุที่มีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกประยุกต์ใช้แนวทางแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problems : VRP) มาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถใช้แก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความซับซ้อนได้ดี สามารถหาคำตอบได้โดยใช้เวลาไม่นานมากนัก มีขั้นตอนที่ง่าย รวดเร็วในการค้นหา

นอกจากนี้ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้นำแนวคิดของ VNS ซึ่งเป็นการค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผันด้วยวิธีการสลับตำแหน่งเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในเส้นทางนั้นๆ โดยมีการตัดสินใจเป็นลำดับขั้น และมีโมดูล (Module) แยกกันมาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธีการสลับตำแหน่ง (SWAP) โดยจะนำงานทั้งหมดที่ได้จากคำตอบเริ่มต้นที่มีพื้นฐานมาจาก EDD มาทำการสลับกับตำแหน่งอื่นๆ ที่เป็นไปได้ เพื่อสร้างคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบเดิมที่ได้ก่อนการสลับในตอนแรก หากเปรียบเทียบแล้วเวลาปิดงานน้อยกว่าคำตอบเริ่มต้นจะทำการจัดตารางตามการจัดเรียงตามแผนที่ใช้เวลาปิดงานน้อยที่สุด จากนั้นทำการปรับปรุงด้วยวิธีการย้ายตำแหน่ง (Moving Exchange) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า MOVEX ซึ่งจะทำการย้ายงาน 1 งาน จากเครื่องบรรจุหนึ่งไปยังอีกเครื่องบรรจุหนึ่ง โดยจะเลือกงานจากเครื่องบรรจุที่มี Makespan มากสุด แล้วทำการย้ายงานดังกล่าวไปยังงานแต่ละตำแหน่งของเครื่องบรรจุที่เป็นไปได้ที่มี Makespan น้อยกว่า ทั้งนี้ก่อนทำการย้ายงานต้องตรวจสอบข้อจำกัดของเครื่องบรรจุในส่วนของขนาดบรรจุ และเวลาใช้ถังบรรจุก่อนทำการย้ายงานเช่นเดียวกับขั้นตอนการ SWAP ว่าสามารถย้ายงานไปแทนงานในตำแหน่งนั้นๆ ของเครื่องบรรจุอื่นได้หรือไม่ เมื่อทำการย้ายแล้วจะทำการดึงผลการย้ายงานที่ได้ในแต่ละรอบการค้นหาไปทำการเก็บไว้ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการย้ายงานในตำแหน่งอื่นๆ เมื่อได้คำตอบที่มี Makespan สั้นที่สุดแล้ว จะทำการ SWAP และ MOVEX อีกครั้ง และนำคำตอบไปเปรียบเทียบกับคำตอบเดิมที่ว่ามี Makespan ที่สั้นลงหรือไม่ หากได้ Makespan ที่สั้นลงจะพิจารณาย้ายงาน ทั้งนี้เมื่อลด Makespan บางเครื่องลงได้อาจทำให้บางเครื่องมี Makespan ที่สูงสุดแทน ให้ทำการย้ายงานโดยใช้กฎเดียวกันจนกว่าจะไม่มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น จึงหยุดการย้ายงานจนกว่าจะไม่มีการปรับปรุงจากนั้นจึงทำการจัดตารางตามการจัดเรียงตามแผนที่ใช้เวลาปิดงานน้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

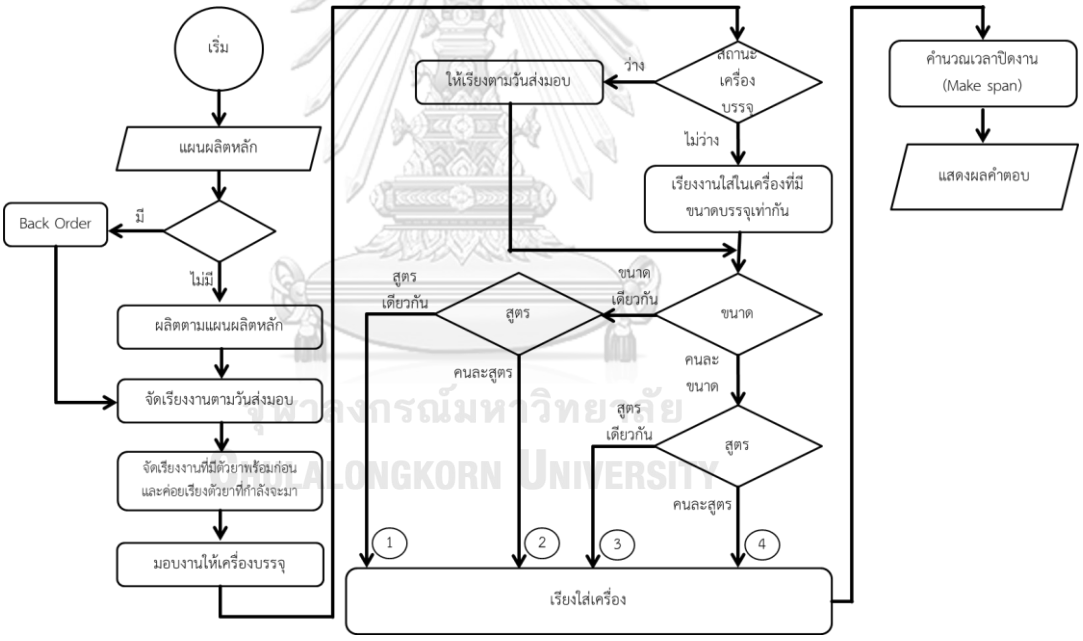
เริ่มจากการนำเข้าข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย รหัสผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป รหัสผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปริมาณยาสีฟันที่ใช้บรรจุ ขนาดบรรจุ ปริมาณการผลิต และกำหนดการส่งมอบของแต่ละคำสั่งผลิต (Order) ตลอดจนข้อจำกัดของเครื่องจักร เช่น ความเร็วในการบรรจุ จำนวนถังบรรจุ ปริมาณยาสีฟัน เวลาในการเปลี่ยนสูตร และเปลี่ยนขนาดของแต่ละเครื่อง

สำหรับแนวทางในการจัดตารางการผลิตนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)

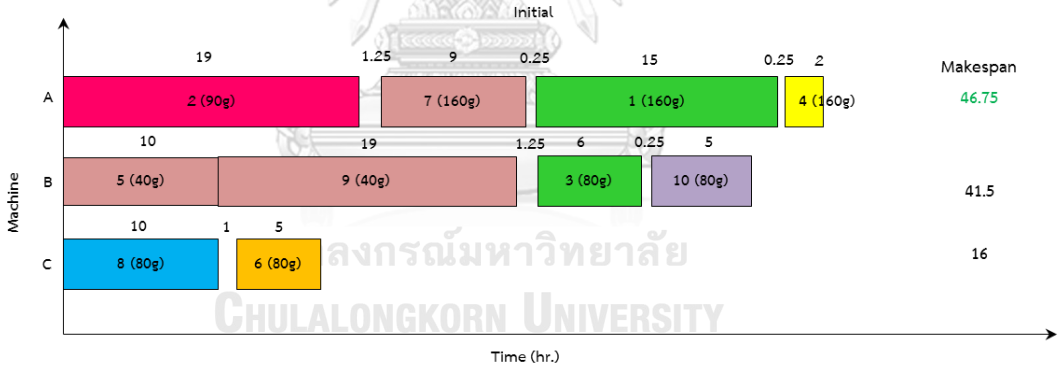
- เริ่มแรกกำหนดให้มีการตรวจสอบแผนเร่งด่วน (Back Order) หากมีแผนเร่งด่วนให้ทำการจัดเรียงลงในเครื่องที่เป็นไปได้ที่ยังไม่มีแผนผลิตหรือกรณีมีงานบรรจุค้างอยู่ให้จัดเรียงถัดจากงานแรกที่กำลังผลิตค้างอยู่
- นำแผนผลิตหลักมาทำการจัดเรียงต่อท้ายโดยใช้เกณฑ์ Earliest Due Dates (EDD) ในการจัดงานเข้าสู่ตารางการผลิต ซึ่งจะเรียงลำดับจากงานที่มีกำหนดส่งมอบสั้นที่สุดก่อนเป็นอันดับแรก โดยพิจารณาควบคู่กับปริมาณยาสีฟันที่มีอยู่ในขณะนั้น หากมีปริมาณยาสีฟันไม่เพียงพอสำหรับคำสั่งผลิต จะไม่ถูกนำมาจัดเรียง ทั้งนี้การจัดเรียงต้องตรวจสอบสถานะเครื่องบรรจุว่ามีงานอื่นบรรจุค้างอยู่หรือไม่ กรณีที่มีงานอื่นบรรจุค้างอยู่ให้ทำการจัดเรียงงานที่มีขนาดบรรจุ และสูตรเดียวกันกับงานที่กำลังบรรจุก่อน เพื่อไม่ให้สูญเสียเวลาในการล้างและเปลี่ยนขนาดบรรจุ ซึ่งจะส่งผลทำให้เวลาปิดงานสูงขึ้น
- ทำการจัดเรียงงานที่มีขนาดบรรจุเดียวกันแต่ต่างสูตร แล้วค่อยจัดเรียงงานที่มีสูตรเดียวกันแต่ต่างขนาด และงานต่างสูตรต่างขนาดไว้เป็นลำดับสุดท้าย ตามลำดับ เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดใช้เวลามากกว่าการล้างเปลี่ยนสูตร ดังนั้น การจัดเรียงงานที่มีขนาดเดียวกันต่อเนื่องกันจะช่วยลดเวลาการผลิตลงได้ แต่หากเครื่องไม่มีงานอื่นค้างอยู่ให้ทำการจัดเรียงตามวันส่งมอบ
- นำงานอื่นๆ มาทำการจัดตารางการผลิตบนเครื่องบรรจุ โดยใช้กฎเกณฑ์ข้างต้นแล้วทำซ้ำสำหรับงานในลำดับต่อไปจนกระทั่งงานหมดรายการของงานที่ได้เรียงลำดับไว้
- คำนวณเวลาปิดงาน (Makespan) ที่ได้ และเวลาส่งมอบไม่ทัน (Lateness) ดังแสดงให้เห็นภาพในรูปที่ 3-2 ซึ่งจะได้มาซึ่งคำตอบที่เป็นไปได้เบื้องต้น (Feasible Solution) ดังแสดงในรูปที่ 3-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-2 ขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)

จากตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) ในรูปที่ 3-3 จะเห็นได้เมื่อทำการจัดตารางการผลิตโดยใช้เกณฑ์ Earliest Due Dates (EDD) และหลักการพื้นฐานในการวางแผนผลิตยาสีฟันดังกล่าวข้างต้นแล้ว พบว่ามีการจัดเรียงงานที่มีสูตรและขนาดเดียวกันผลิตต่อเนื่องกัน เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนขนาดและการล้างเปลี่ยนสูตร ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องที่มีขนาดหรือสูตรเดียวกันถูกจัดอยู่ในเครื่องเดียวกันจำนวนมาก ทำให้บางเครื่องบรรจุมีเวลาปิดงานที่มากขึ้นจากการจัดเรียงงานที่มีขนาดหรือสูตรที่เหมือนกันต่อเนื่องกัน (เครื่องบรรจุ A) ส่งผลให้บางเครื่องบรรจุที่มีเวลาปิดงานที่สั้นกว่า (เครื่องบรรจุ C) ไม่สามารถใช้ประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังอาจทำให้เกิดการทำงานล่วงเวลาที่เครื่องบรรจุ A ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิตโดยตรง ในขณะบางเครื่องบรรจุยังว่าง ในบางกรณีการจัดตารางดังกล่าวจึงอาจไม่เหมาะในการนำมาใช้งานจริง จึงนำมาสู่การปรับปรุงคำตอบในขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3-3 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)

ขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการสลับงาน (SWAP)

ในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการสลับ (SWAP) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาแบบ Neighborhood Search เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3-4 โดยจะนำงานทั้งหมดที่ได้จากคำตอบเริ่มต้นมาทำการสลับกับงานแต่ละตำแหน่งของเครื่องบรรจุที่เป็นไปได้ ทั้งนี้ก่อนทำการสลับต้องตรวจสอบข้อจำกัดของเครื่องบรรจุในส่วนของขนาดบรรจุ และเวลาใช้ถังบรรจุก่อนว่าสามารถนำงานไปสลับกับงานแต่ละตำแหน่งของเครื่องบรรจุอื่นได้หรือไม่ เนื่องจากแต่ละเครื่องบรรจุมีความสามารถในการบรรจุไม่เท่ากัน และถังบรรจุไม่สามารถใช้บรรจุมากกว่าหนึ่งเครื่องบรรจุในเวลาเดียวกันได้ เมื่อทำการสร้างคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากการสลับแล้วจะทำการบันทึกผลของการสลับงานที่ทำให้เวลาปิดงานน้อยที่สุดในแต่ละรอบการค้นหาไปเก็บไว้ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบเดิมที่ได้จากการสลับในตอนแรก หากเปรียบเทียบแล้วเวลาปิดงานน้อยกว่าคำตอบเริ่มต้นจะทำการจัดตารางตามการจัดเรียงตามแผนที่ใช้เวลาปิดงานน้อยที่สุด ซึ่งสามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกงานตำแหน่งที่ 1 จากเครื่องบรรจุเริ่มต้น และงานของตำแหน่งที่ 1 ของเครื่องถัดไป จากคำตอบเริ่มต้น

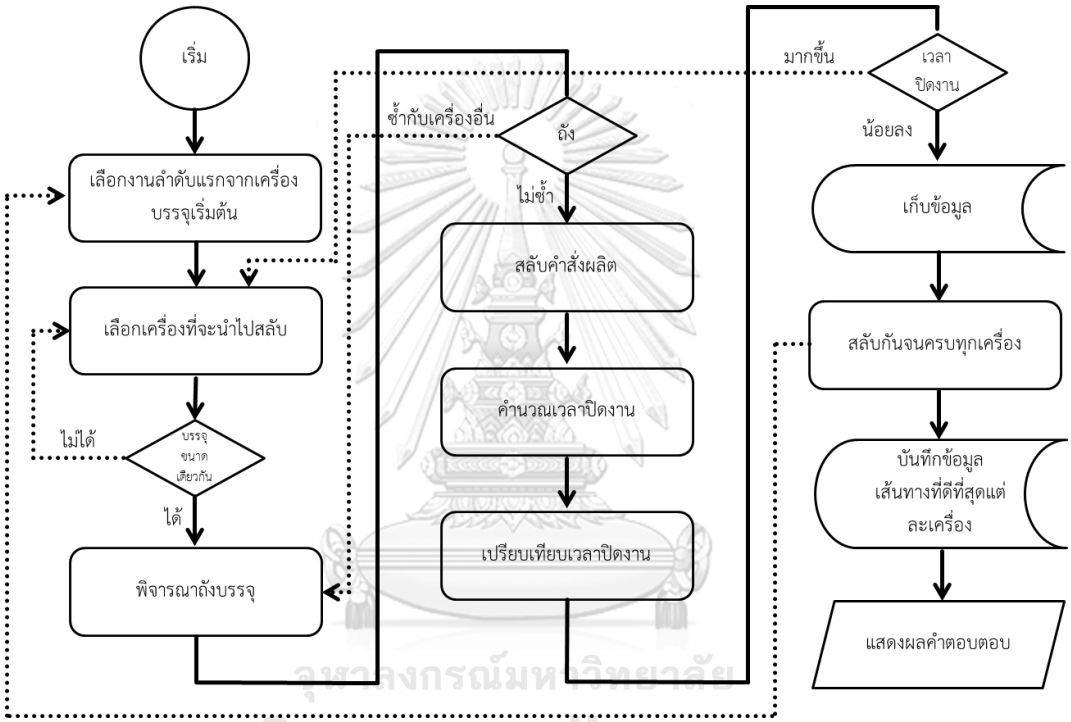
ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบเครื่องบรรจุถัดไปว่าสามารถบรรจุงานขนาดที่นำมาสลับกันได้หรือไม่ ถ้าเครื่องบรรจุไม่สามารถบรรจุขนาดเดียวกันได้ให้พิจารณาเปลี่ยนไปสลับที่เครื่องบรรจุถัดไป แต่ถ้าสามารถบรรจุขนาดเดียวกันได้ให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 3 โดยก่อนการสลับทุกครั้งจะพิจารณาถึงถังบรรจุซึ่งจะไม่สามารถใช้ถังบรรจุเดียวกันที่เครื่องบรรจุต่างเครื่องในเวลาเดียวกัน เพราะถังบรรจุจะถูกใช้งานอยู่ที่เครื่องบรรจุอื่นจึงไม่สามารถสลับกันได้

ขั้นตอนที่ 3 สลับตำแหน่งงานของเครื่องบรรจุเริ่มต้น กับงานแต่ละตำแหน่งของเครื่องบรรจุถัดไปในแต่ละเครื่องบรรจุ จากนั้นทำการคำนวณเวลาปิดงาน และเก็บเป็นข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบเวลาปิดงาน กรณีที่สลับแล้วได้ทำตอบที่ไม่ดีขึ้นจากเดิม ดังแสดงในรูปที่ 3-5 จะใช้คำตอบเดิมในการจัดตารางการผลิต หากได้คำตอบที่ดีขึ้นจะใช้คำตอบใหม่ในการจัดตารางการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 3-6

ขั้นตอนที่ 4 สลับกันจนครบทุกตำแหน่งของทุกเครื่องที่เป็นไปได้จึงสิ้นสุดการสลับ

ขั้นตอนที่ 5 บันทึกข้อมูลคำตอบที่ดีที่สุดแต่ละเครื่อง

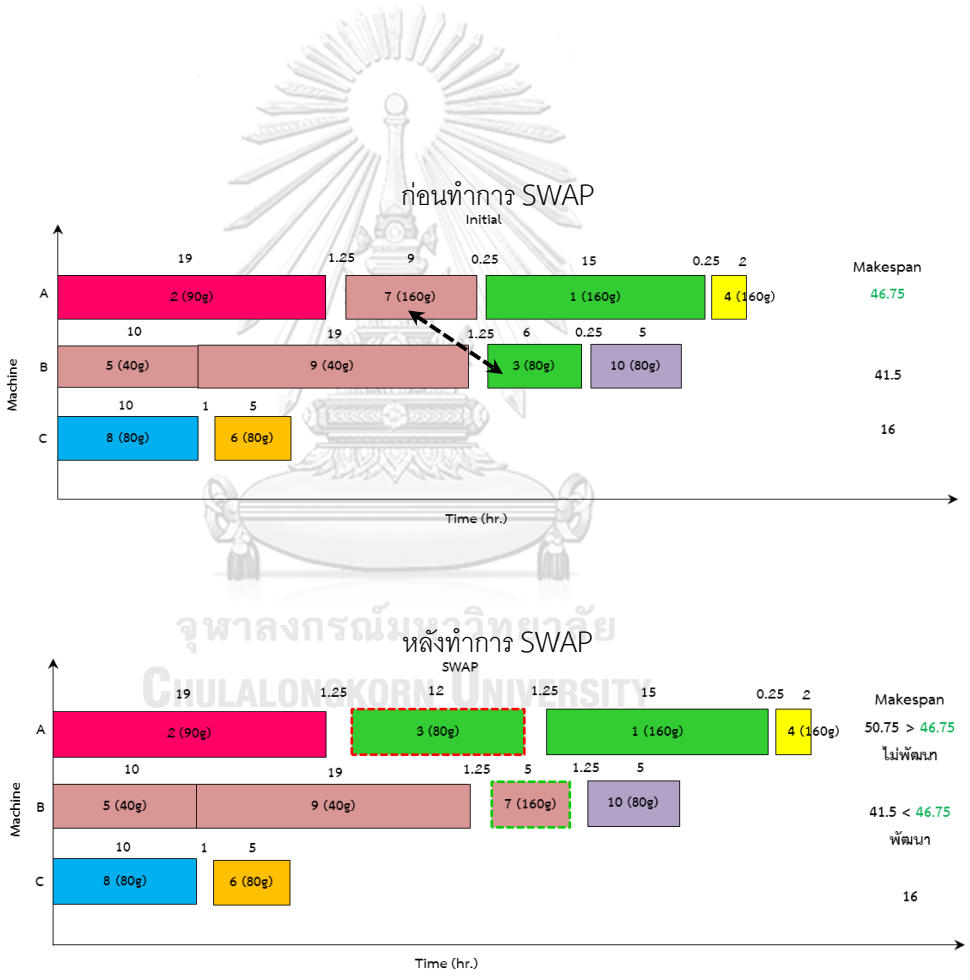
ขั้นตอนที่ 6 แสดงผลคำตอบตอบ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

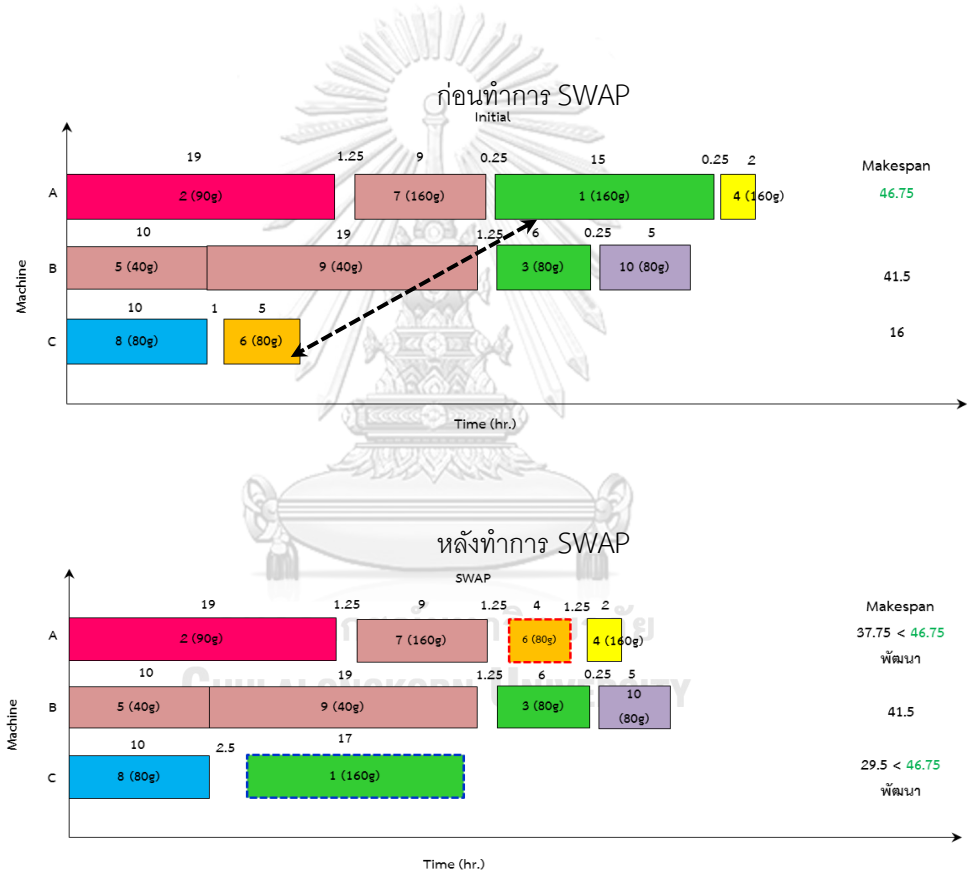
รูปที่ 3-4 ขั้นตอนการหาคำตอบจากการสลับงาน (SWAP)

การสลับงาน (SWAP) แต่ละครั้งจะทำให้เกิดคำตอบที่ดีขึ้นและแย่ลง ดังจะเห็นจากตัวอย่างการสลับงานในรูปที่ 3-5 พบว่าก่อนทำการ SWAP เครื่องบรรจุ A มี Makespan เท่ากับ 46.75 ชั่วโมง แต่เมื่อทำการสลับคำสั่งผลิตที่ 7 ของเครื่องบรรจุ A กับคำสั่งผลิตที่ 3 ของเครื่องบรรจุ B แล้ว Makespan จะเพิ่มขึ้นเป็น 50.75 ชั่วโมง ซึ่งเป็นคำตอบที่ไม่ดีขึ้น หรือไม่เกิดการปรับปรุงนั่นเอง ทั้งนี้เกิดจากเครื่องบรรจุ A มีความเร็วในการผลิตน้อยกว่าเครื่องบรรจุ B โดยสามารถสังเกตได้จากคำสั่งผลิตที่ 3 ของเครื่องบรรจุ A หลังปรับปรุงที่มีเวลาผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 6 ชั่วโมงเป็น 12 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อเวลาในการล้างเปลี่ยนสูตรและเปลี่ยนขนาดของเครื่องบรรจุ A ที่เพิ่มขึ้นจาก 0.25 ชั่วโมง เป็น 1.25 ชั่วโมง เนื่องจากมีการขนาดเพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 3-5 ตัวอย่างการสลับงาน (SWAP) แต่ได้คำตอบที่ไม่ดีขึ้น

จากตัวอย่างขั้นตอนการ SWAP ในรูปที่ 3-6 จะเห็นได้ว่าก่อนทำการสลับงานเครื่องบรรจุ A มี Makespan เท่ากับ 46.75 แต่เมื่อทำการสลับคำสั่งผลิตที่ 1 ที่เครื่องบรรจุ A กับคำสั่งผลิตที่ 2 เครื่องบรรจุ C จะทำให้เวลาปิดงานของระบบน้อยลง จากเดิม Makespan เท่ากับ 46.75 ชั่วโมง เป็น 41.5 ชั่วโมง ซึ่งทำให้สามารถปิดงานได้เร็วขึ้นจากเดิม 5.25 ชั่วโมง ทั้งนี้เกิดจากการนำคำสั่งผลิตที่มีปริมาณมากจากเครื่องบรรจุ A ไปสลับตำแหน่งกับเครื่องที่มีคำสั่งผลิตน้อยที่เครื่องบรรจุ C ซึ่งจะเห็นได้ว่าคำตอบเกิดการปรับปรุง

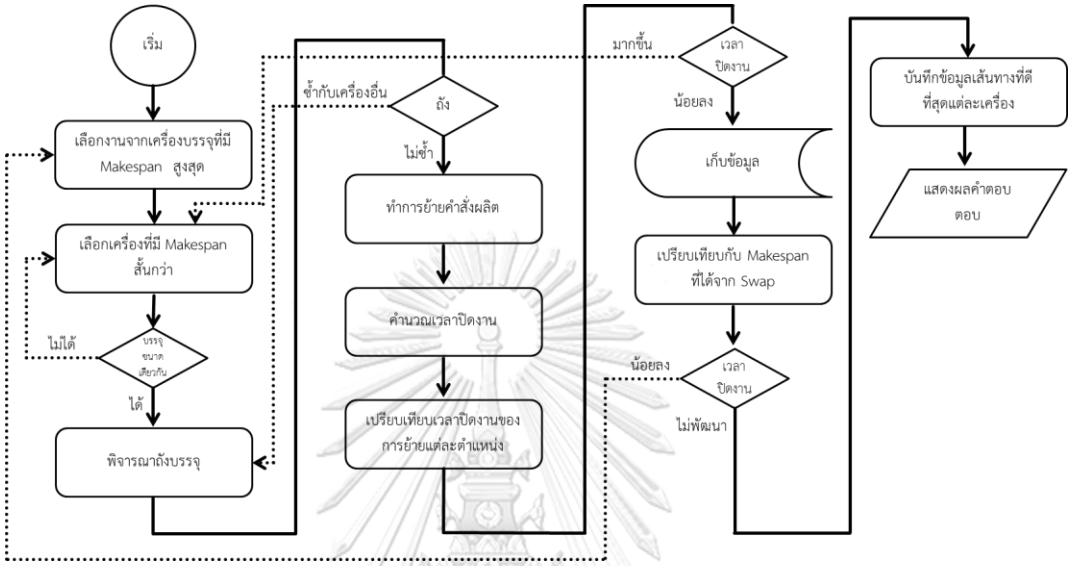


รูปที่ 3-6 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการสลับงาน (SWAP) แล้วได้คำตอบที่ดีขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX)

ทำการปรับปรุงคำตอบอีกครั้งด้วยวิธี Moving Exchange (MOVEX) ดังแสดงในรูป 3-7 โดยจะเลือกงานจากเครื่องบรรจุที่มี Makespan มากที่สุดที่ได้จากการ SWAP มาทำการย้ายงานไปยังเครื่องบรรจุที่เป็นไปได้ที่มี Makespan น้อยที่สุด ทั้งนี้ก่อนทำการย้ายงานต้องตรวจสอบข้อจำกัดของเครื่องบรรจุในส่วนของขนาดบรรจุ และเวลาใช้ถังบรรจุก่อน เช่นเดียวกับขั้นตอนการ SWAP ว่าสามารถย้ายงานไปแทนงานตำแหน่งนั้นๆ ของเครื่องบรรจุอื่นได้หรือไม่ เมื่อทำการย้ายเสร็จแล้วจะทำการบันทึกผลของการย้ายที่ทำให้เวลาปิดงานน้อยที่สุดในแต่ละรอบการค้นหาไปเก็บไว้ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบเดิมที่ได้จาก SWAP โดยจะวนซ้ำไปจนกว่าไม่มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น จึงหยุดวนซ้ำ แล้วทำการจัดตารางตามแผนที่ใช้เวลาปิดงานน้อยที่สุด ทั้งนี้เมื่อได้คำตอบมาแล้วในระหว่างวันจะทำการปรับปรุงคำตอบในทุก ๆ 6 ชั่วโมง หรือประมาณ 1 กะ เพื่อสามารถเตรียมการผลิตสำหรับกะถัดไป และมีปริมาณยาสีฟันเพียงพอสำหรับการปรับปรุงแผนการผลิต เนื่องจากแผนกผสมจะใช้เวลาในการผสมโดยเฉลี่ย 3 ชั่วโมงต่อแบท ซึ่งมีทั้งหมด 3 เครื่อง ขนาด 3 ตัน 2 ตัน และ 1 ตัน ขนาดละ 1 เครื่อง เมื่อเวลาผ่านไปภายในเวลา 6 ชั่วโมงจะมียาสีฟันเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 6 แบท หรือประมาณ 12 ((3 + 2 + 1 ตัน) x 2 = 10 ตัน) ซึ่งหากปริมาณยาสีฟันความแตกต่างจากเดิมจะทำให้การค้นหาคำตอบมีความแตกต่าง

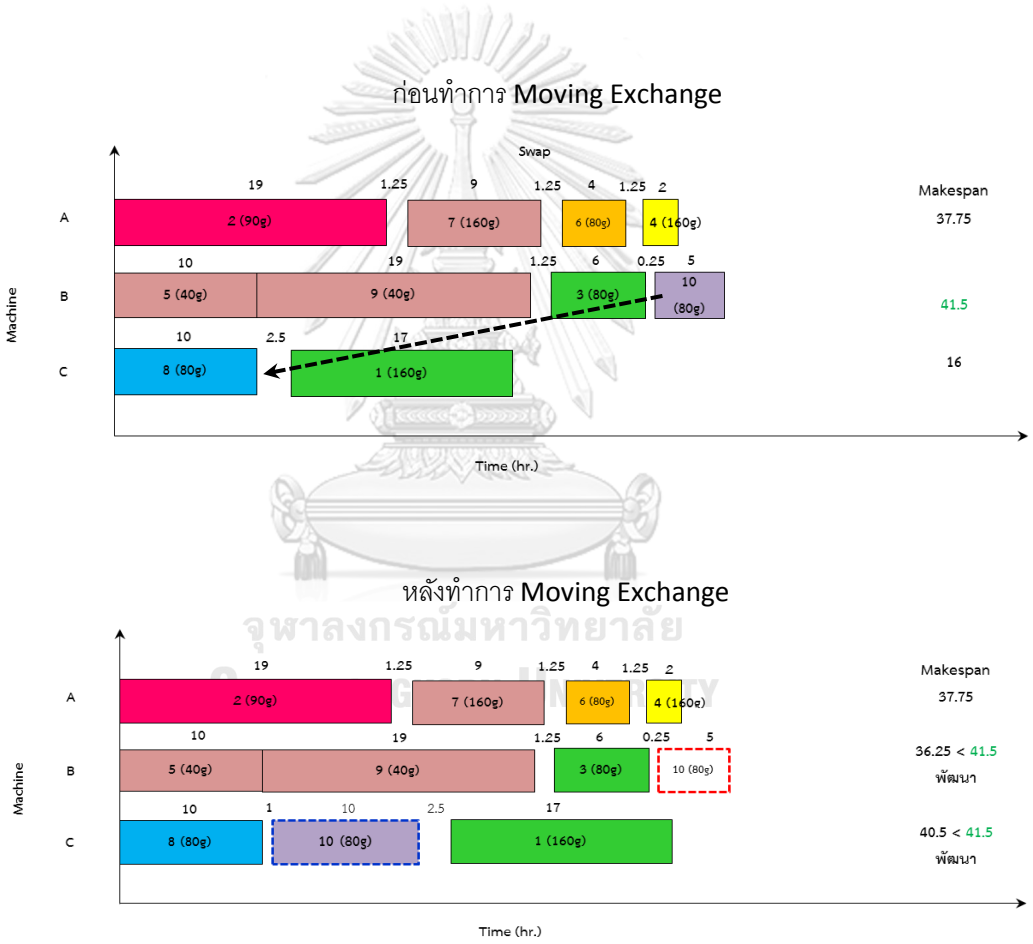
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-7 ขั้นตอนการหาคำตอบที่ได้จากการย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตัวอย่างวิธีการย้ายงาน (MOVEX) ในรูปที่ 3-8 จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการ SWAP เสร็จแล้ว เครื่องบรรจุ B จะมี Makespan มากที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องบรรจุอื่นจึงทำการย้ายงานที่ 10 ที่เครื่องบรรจุ B ไปยังเครื่องบรรจุที่เป็นไปได้ที่มี Makespan น้อยที่สุด นั่นคือตำแหน่งงานลำดับที่ 2 ที่เครื่องบรรจุ C โดยทั้งนี้ก่อนทำการย้ายงานต้องตรวจสอบข้อจำกัดของเครื่องบรรจุในส่วนของขนาดบรรจุ และเวลาใช้ถังบรรจุก่อนว่าสามารถย้ายงานไปแทนงานตำแหน่งนั้นๆ ของเครื่องบรรจุอื่นได้หรือไม่ เช่นเดียวกับขั้นตอนการ SWAP พบว่าทำให้เวลาปิดงานของระบบลดลงจากเดิม 41.5 ชั่วโมง เหลือเพียง 40.5 ชั่วโมง ซึ่งทำให้สามารถปิดงานได้เร็วขึ้นกว่าเดิม 1 ชั่วโมง



รูปที่ 3-8 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX)

3.2 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Makespan คือ เวลาปิดงานที่ยาวที่สุด เมื่อเปรียบเทียบเวลาการทำงานของเครื่องบรรจุแต่ละเครื่อง
2. คำสั่งผลิต (Order) หมายถึง ความต้องการผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของ ขนาดบรรจุ สูตร จำนวน และเวลาที่กำหนดเสร็จ
3. ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (Semi Product) หมายถึง ยาสีฟันที่ทำการผสมเสร็จแล้ว แต่ยังไม่ได้บรรจุใส่หลอด
4. ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (Product) หมายถึง ยาสีฟันที่บรรจุใส่หลอดเสร็จเรียบร้อยแล้ว พร้อมจำหน่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ฮิวริสติกสำหรับการวางแผนการบรรจุยาสีฟัน

ฮิวริสติกสำหรับการวางแผนการบรรจุยาสีฟันเป็นการนำแผนผลิต (Master Plan) รายเดือนจากแผนกวางแผนผลิตมาทำการบริหารจัดการเป็นแผนผลิตรายวัน ทั้งนี้ปริมาณแผนที่นำมาจัดตารางการบรรจุจะขึ้นอยู่กับความพร้อมบรรจุภัณฑ์ โดยมีกำหนดการส่งมอบไปยังคลังสินค้าเป็นแบบรายวัน แต่มีกำหนดส่งมอบให้กับลูกค้าภายในสัปดาห์ ดังนั้น กรณีมีการส่งมอบงานไปยังคลังสินค้าช้ากว่ากำหนดจึงสามารถยอมรับได้ แต่การส่งมอบเลยสัปดาห์จะกระทบต่อการขาย จึงต้องคำนึงไม่ให้มีการผลิตเลยไปจากสัปดาห์ที่กำหนด โดยในการวางแผนผลิตจะทำการพิจารณาคำสั่งผลิตที่มีความพร้อมของปริมาณยาสีฟันทั้งในส่วนที่มีอยู่แล้วในเวลาปัจจุบันกับที่กำลังผลิตตามแผนการผสมมาทำการจัดเรียงด้วยฮิวริสติก ภายใต้ปัจจัยในส่วนต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกประยุกต์ใช้แนวทางแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) มาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมใช้แก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความซับซ้อนได้ดี และสามารถหาคำตอบได้โดยใช้เวลาไม่นานมากนัก มีขั้นตอนที่ง่ายรวดเร็วในการค้นหา นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการค้นหาคำตอบข้างเคียง (Neighborhood Search) มาใช้สำหรับการค้นหาคำตอบ

ในบทนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดการนำเข้าข้อมูล ตลอดจนขั้นตอนการตัดสินใจในการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันด้วยวิธีฮิวริสติก ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 หัวข้อหลัก คือ

1. ข้อมูลที่ใช้ประกอบการจัดตารางการบรรจุ
2. กระบวนการตัดสินใจของฮิวริสติก
3. ตัวอย่างผลการคำนวณของฮิวริสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการจัดตารางการบรรจุ

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบเป็นข้อมูลจริงที่ได้จากโรงงานกรณีศึกษา โดยอ้างอิงจากกำลังการผลิต และการวางแผนผลิตจริงของแผนกบรรจุยาสีฟัน ซึ่งในปัจจุบันมีเครื่องบรรจุยาสีฟันจำนวน 5 เครื่องที่มีความสามารถแตกต่างกัน

ในขั้นตอนแรกจะนำเข้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตทั้งหมดจากฐานข้อมูล ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ข้อมูลการบรรจุ และ ข้อมูลเครื่องบรรจุ

4.1.1 ข้อมูลการบรรจุ

ข้อมูลการบรรจุเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ทั้งในส่วนของสูตรการผลิต ขนาดหลอด และเวลาส่งมอบ ซึ่งจะนำไปประมวลผลและจัดตารางการผลิต ได้แก่

- ข้อมูลรายการผลิตที่กำลังผลิตอยู่ของแต่ละเครื่องบรรจุในปัจจุบัน ซึ่งประกอบไปด้วย สูตรการผลิตหรือรหัสผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (S / FC) ปริมาณยาสีฟันที่ต้องการบรรจุ (หน่วย : กิโลกรัม) เลขที่คำสั่ง กำหนดการจัดส่งสินค้า รหัสผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (F / C) ขนาดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (หน่วย : กรัม) ถังบรรจุที่ใช้งานอยู่ที่เครื่องบรรจุแต่ละเครื่องในปัจจุบัน โดยเวลาที่ใช้ผลิตจะขึ้นอยู่ปริมาณและขนาดที่ผลิตอยู่ในเวลาดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ตัวอย่างข้อมูลรายการผลิตที่กำลังผลิตอยู่ในปัจจุบัน

MC Code	S/P_code	Quantity (kg.)	F/G_order	Duedate	F/G_code	Size (g.)	TankUse
A	E	4277	300545777	27/3/2018	FE160	160	TT26
B	I	998	300545272	26/3/2018	FI90	90	TT09
C	C	1421	300545291	26/3/2018	FC40	40	TT07
D	C	3600	300545344	26/3/2018	FC160	160	TT40
E	C	7509	300545379	26/3/2018	FC160	160	TT23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ข้อมูลแผนการผลิตที่ได้รับมาจากหน่วยงานวางแผนผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย สูตรการผลิตหรือรหัสผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (S / FC) ปริมาณยาสีฟันที่ต้องการบรรจุ (หน่วย : กิโลกรัม) เลขที่คำสั่ง กำหนดการจัดส่งสินค้า รหัสผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (F / C) ขนาดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (หน่วย : กรัม) ปริมาณผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (หน่วย : หีบ) ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ตัวอย่างข้อมูลแผนการผลิตที่ได้รับมาจากหน่วยงานวางแผนผลิต

S/P_code	Quantity (kg.)	F/G_order	Duedate	F/G_code	Size (g.)	F/G_Target (Case)
C	1421	300545291	26/3/2018	FC40	40	414
C	7509	300545379	26/3/2018	FC160	160	1286
I	998	300545272	26/3/2018	FI90	90	301
I	2997	300545235	26/3/2018	FI160	160	381
C	1875	300545292	26/3/2018	FC40	40	641
G	1897	300548351	26/3/2018	FG25	25	324
C	3600	300545344	26/3/2018	FC160	160	305
A	1584	300542877	26/3/2018	FA80	80	128
D	6176	300545369	26/3/2018	FD90	90	1880
E	4277	300545777	27/3/2018	FE160	160	362
J	877	300545236	27/3/2018	GJ80	80	287
I	2996	300545297	27/3/2018	FI40	40	1014
D	2112	300545382	27/3/2018	GD40	40	362
C	10323	300545345	27/3/2018	FC160	160	884
D	4763	300545370	27/3/2018	FD90	90	1450
H	1994	300545245	28/3/2018	FH160	160	338
H	2997	300545233	28/3/2018	FH160	160	381
C	4763	300545290	28/3/2018	FC90	90	1450

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ข้อมูลถังบรรจุ ซึ่งประกอบไปด้วย หมายเลขถังบรรจุ สูตรการผลิตหรือรหัสผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (S / FC) ที่พร้อมใช้งาน และปริมาณยาสีฟันแต่ละสูตรที่บรรจุอยู่ภายในถังบรรจุ (หน่วย : กิโลกรัม) ดังแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างข้อมูลถังบรรจุ สูตร และปริมาณยาสีฟันที่บรรจุอยู่ภายในถังบรรจุ

Tank No.	Formula Code	Quantity (Kg.)	Capacity Tank (Kg.)
TT08	D	1307.5	1400
TT09	C	1416	1400
TT10	C	1605	1400
TT11	I	1000	1400
TT12	J	960	1400
TT13	C	1401	1400
TT14	D	1361.5	1400
TT15	L	696	700
TT16	M	480	700
TT17	N	350	700
TT18	N	350	700
TT19	Cleaned	0	700
TT20	O	480	700
TT21	A	115	1400
TT22	Cleaned	0	1600
TT23	C	1344	1400
TT24	I	1000	1400
TT25	C	1618.5	1600
TT26	C	1618.9	1600
TT27	D	1622.5	1600
TT28	E	254	1600
TT29	C	1405.8	1600

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ข้อมูลแผนการผสมยาสีฟัน ซึ่งประกอบไปด้วย รหัสเครื่องผสม วันที่ และเวลาผลิตเสร็จ สูตรการผลิตหรือรหัสผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (S / FC) ที่ และปริมาณยาสีฟันที่อยู่ระหว่างการผสม ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ตัวอย่างข้อมูลแผนการผสมยาสีฟัน สูตร ปริมาณ และเวลาแล้วเสร็จ

Machine Code	Date	Finish Time	Formula Code	Quantity (Kg.)
A	26/3/2018	6:30	K	1000
A	26/3/2018	9:30	F	1000
A	26/3/2018	11:30	F	1000
A	26/3/2018	13:30	F	1000
A	26/3/2018	16:30	E	1000
A	26/3/2018	18:30	E	1000
B	26/3/2018	6:30	C	2000
B	26/3/2018	9:30	C	2000
B	26/3/2018	12:30	C	2000
B	26/3/2018	15:30	C	2000
B	26/3/2018	18:30	C	2000
B	26/3/2018	21:30	C	2000
B	27/3/2018	6:30	C	2000
B	27/3/2018	9:30	C	2000
B	27/3/2018	12:30	C	2000
B	27/3/2018	15:30	C	2000
B	27/3/2018	18:30	C	2000
B	27/3/2018	21:30	C	2000
C	26/3/2018	6:30	D	3000
C	26/3/2018	9:30	D	3000
C	26/3/2018	12:30	D	3000
C	26/3/2018	15:30	D	3000
C	26/3/2018	18:30	D	3000
C	26/3/2018	21:30	D	3000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.2 ข้อมูลเครื่องบรรจุ

ข้อมูลเครื่องบรรจุเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของเครื่องบรรจุแต่ละเครื่องซึ่งมีเวลาในการเปลี่ยนสูตร เปลี่ยนขนาดหลอด และความเร็วแตกต่างกัน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญ ในการจัดตารางการผลิต ได้แก่

- ข้อมูลเวลาที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสูตรและขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟันแต่ละเครื่อง ซึ่งประกอบไปด้วย รหัสเครื่องบรรจุ เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนขนาดหลอด เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสูตร และเวลาที่เปลี่ยนทั้งขนาดหลอดและสูตร (หน่วย : นาที)

ตารางที่ 4-5 ตัวอย่างข้อมูลเวลาที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสูตร และขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟัน

MC Code	Size change (min.)	Formula change (min.)	Size + Formula change (min.)
A	40	15	55
B	60	15	75
C	60	15	75
D	90	60	150
E	45	10	55

- ข้อมูลความเร็ว และขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟันแต่ละเครื่อง ซึ่งประกอบไปด้วย รหัสเครื่องบรรจุ ความเร็วในการบรรจุ (หน่วย : ชิ้นต่อนาที) และขนาดหลอดที่เครื่องสามารถบรรจุได้ (หน่วย : กรัม) ดังแสดงในตารางที่ 4-6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-6 ตัวอย่างข้อมูลความเร็ว และขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุยาสีฟันแต่ละเครื่อง

Machine Code	Speed (Pcs./Min.)	Container Sizes (g.)													
A	80	-	-	-	-	-	80	90	100	-	140	150	160	180	-
B	80	-	-	25	40	50	-	90	100	130	140	150	160	180	200
C	160	15	20	25	40	-	80	-	-	-	-	-	-	-	-
D	70	15	-	25	40	-	80	90	-	-	-	-	160	-	-
E	160	-	-	-	-	-	80	90	-	-	140	150	160	-	200

4.2 กระบวนการตัดสินใจของฮิวริสติก

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเอากฎการจ่ายงานอย่างง่าย และวิธีการทางฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจจัดตารางการผลิตภายใต้ข้อจำกัดดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งสามารถแบ่งการแก้ปัญหาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) และการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น (Improved Feasible Solution) โดยการนำฮิวริสติกพื้นฐานอย่างง่าย และสะดวกต่อการใช้งาน ได้แก่ EDD มาสร้างคำตอบที่เป็นไปได้เบื้องต้น จากนั้นจึงนำคำตอบที่ได้มาทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น (Improved Feasible Solution) ทั้งนี้จะใช้วิธีการสลับงาน (SWAP) และการย้ายงาน (MOVEX) ซึ่งเป็นการค้นหาคำตอบในย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (VNS) โดยการสลับตำแหน่งเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4-1 ทำให้ได้คำตอบใหม่ที่ดีกว่าเดิม และจะทำการวนซ้ำทั้งในส่วนของการสลับงาน (SWAP) และการย้ายงาน (MOVEX) จนกว่าคำตอบจะไม่มีการปรับปรุง เพื่อหาคำตอบที่จะทำให้การจัดตารางการบรรจุใช้เวลาสั้นลง (Makespan) ผู้วิจัยได้แบ่งหลักการตัดสินใจออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

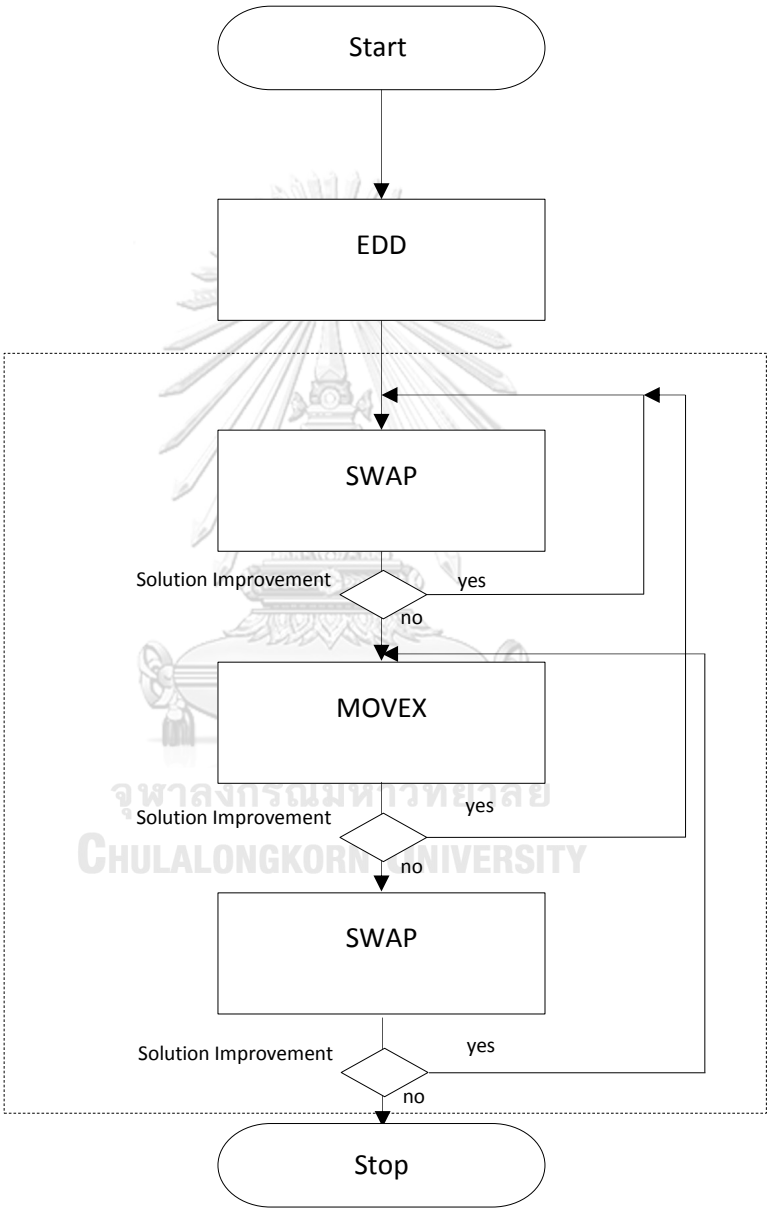
ขั้นตอนที่ 1 การหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)

การตัดสินใจของฮิวริสติกเริ่มต้นจากการรับข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ซึ่งประกอบด้วยรหัสผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป รหัสผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ปริมาณยาสีฟันที่ใช้บรรจุ ขนาดบรรจุ ปริมาณการผลิต และกำหนดการส่งมอบของแต่ละคำสั่งผลิต (Order) ตลอดจนข้อจำกัดของเครื่องจักร เช่น ความเร็วในการบรรจุ จำนวนถังบรรจุ ปริมาณยาสีฟัน เวลาในการเปลี่ยนสูตร และเปลี่ยนขนาดของแต่ละเครื่อง เพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูลและตัดสินใจ

ในขั้นตอนแรกจะทำการตรวจสอบแผนเร่งด่วน (Back Order) หากมีแผนเร่งด่วนจะทำการจัดเรียงถัดจากงานที่กำลังผลิตอยู่ในปัจจุบัน จากนั้นจึงนำแผนผลิตหลักมาทำการจัดเรียงต่อท้ายโดยใช้เกณฑ์ Earliest Due Dates (EDD) ในการจัดงานเข้าสู่ตารางการบรรจุจะจัดเรียงงานที่มีกำหนดส่งมอบสั้นที่สุดก่อนเป็นอันดับแรก ทั้งนี้จะพิจารณาควบคู่กับปริมาณยาสีฟันที่มีอยู่ในขณะนั้น หากมีปริมาณยาสีฟันไม่เพียงพอสำหรับคำสั่งผลิตจะไม่ถูกนำมาจัดเรียง ยกเว้นกรณีมีแผนผสมที่รู้ล่วงหน้าว่าสามารถผสมได้ทันตามเวลาบรรจุ โดยก่อนการจัดเรียงทุกครั้งต้องมีการตรวจสอบสถานะเครื่องบรรจุว่ามีงานอื่นบรรจุค้างอยู่หรือไม่ กรณีที่มีงานอื่นบรรจุค้างอยู่ให้ทำการจัดเรียงงานที่มีขนาดบรรจุและสูตรเดียวกันกับงานที่กำลังบรรจุก่อนเพื่อไม่ให้สูญเสียเวลาในการล้างและเปลี่ยนขนาดบรรจุที่ส่งผลต่อเวลาปิดงานโดยตรง

จากนั้นจึงทำการจัดเรียงงานที่มีขนาดบรรจุเดียวกันแต่ต่างสูตร แล้วค่อยจัดเรียงงานที่มีสูตรเดียวกันแต่ต่างขนาด และงานต่างสูตรต่างขนาดไว้เป็นลำดับสุดท้าย ตามลำดับ เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดใช้เวลามากกว่าการล้างเปลี่ยนสูตร ดังนั้น การจัดเรียงงานที่มีขนาดเดียวกันต่อเนื่องกันจะช่วย

ลดเวลาการผลิตลงได้ แต่หากเครื่องไม่มีงานอื่นค้างอยู่ให้ทำการจัดเรียงตามวันส่งมอบ จากนั้นนำงานอื่นๆ มาทำการจัดตารางการผลิตบนเครื่องบรรจุ โดยใช้กฎเกณฑ์ข้างต้นแล้วทำซ้ำสำหรับงานในลำดับต่อไปจนกระทั่งหมดรายการของงาน เสร็จแล้วทำการคำนวณเวลาปิดงาน (Makespan) ที่ได้และเวลาส่งมอบไม่ทัน (Lateness) ซึ่งจะได้มาซึ่งคำตอบที่เป็นไปได้เบื้องต้น (Feasible Solution)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-1 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติก

ขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการสลับงาน SWAP

เมื่อคำตอบเริ่มต้นถูกสร้างขึ้นเสร็จแล้ว ในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการ SWAP ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาแบบ Neighborhood Search เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นด้วยการนำงานทั้งหมดที่ได้จากคำตอบเริ่มต้นมาทำการสลับกับงานในตำแหน่งอื่นๆที่เป็นไปได้ โดยเริ่มจากการเลือกงานลำดับ 1 จากเครื่องบรรจุเริ่มต้น และงานของลำดับที่ 1 ของเครื่องถัดไป

โดยก่อนทำการสลับในแต่ละครั้งจะต้องตรวจสอบเครื่องบรรจุคู่ที่สลับว่าสามารถบรรจุงานขนาดที่นำมาสลับกันได้หรือไม่เสมอ หากไม่สามารถบรรจุขนาดเดียวกันได้ให้พิจารณาเครื่องบรรจุถัดไป เมื่อได้เครื่องบรรจุที่สามารถบรรจุขนาดเดียวกันได้แล้ว จะพิจารณาถังบรรจุว่ามีการใช้ซ้อนทับกันกับเครื่องบรรจุอื่นหรือไม่ หากตรวจสอบแล้วพบว่าซ้อนทับกับเครื่องบรรจุอื่นให้ทำการพิจารณาคำสั่งผลิตใหม่ แต่หากไม่ซ้อนทับกันกับเครื่องบรรจุอื่นให้ทำการสลับตำแหน่ง แล้วทำการคำนวณเวลาปิดงาน และเก็บเป็นข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบเวลาปิดงาน กรณีที่สลับแล้วได้ทำตอบที่ไม่ดีขึ้นจากเดิม จะใช้คำตอบเดิมในการจัดตารางการผลิต หากได้คำตอบที่ดีขึ้นจะใช้คำตอบใหม่ในการจัดตารางการผลิต โดยจะทำการสลับกันจนครบทุกเครื่องทุกงานจึงสิ้นสุดการสลับ และบันทึกข้อมูลคำตอบที่ดีที่สุดแต่ละเครื่อง และคำตอบที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับคำตอบเดิมที่ได้จากการสลับในตอนแรกหากเปรียบเทียบแล้วเวลาปิดงานน้อยกว่าคำตอบเริ่มต้นจะทำการจัดตารางตามการจัดเรียงตามแผนที่ใช้เวลาปิดงานน้อยที่สุดแต่หากไม่คำตอบไม่ดีขึ้นจะใช้คำตอบเดิม

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี MOVEX

เมื่อทำการ SWAP จนไม่มีการปรับปรุงคำตอบที่ดีขึ้นแล้วจะทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี Moving Exchange (MOVEX) ซึ่งแนวคิดของ MOVEX เป็นวิธีที่ค่อนข้างง่ายในการลด Makespan โดยการเลือกงานจากเครื่องบรรจุที่มี Makespan มากที่สุดมาทำการย้ายงานไปยังเครื่องบรรจุที่มี Makespan น้อยกว่า ทั้งนี้ก่อนทำการย้ายงานต้องตรวจสอบข้อจำกัดของเครื่องบรรจุในส่วนของขนาดบรรจุ และเวลาใช้ถังบรรจุก่อนเสมอว่าคำสั่งผลิตดังกล่าวสามารถย้ายได้หรือไม่เช่นเดียวกับการ SWAP หากพบคำตอบที่ดีขึ้น คำตอบที่ได้จะถูกนำไป SWAP อีกครั้ง และวนซ้ำจนกว่าคำตอบจะไม่เกิดการปรับปรุงให้ดีขึ้น จากนั้นทำการจัดตารางการบรรจุตามแผนที่ใช้เวลาปิดงานน้อยที่สุด เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจต่อกระบวนการทำงานของฮิวริสติกมากยิ่งขึ้น เราสามารถแสดงการทำงานของฮิวริสติกได้ด้วย Pseudo code ดังแสดงในรูปที่ 4-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Pseudo Code of the Proposed Heuristic

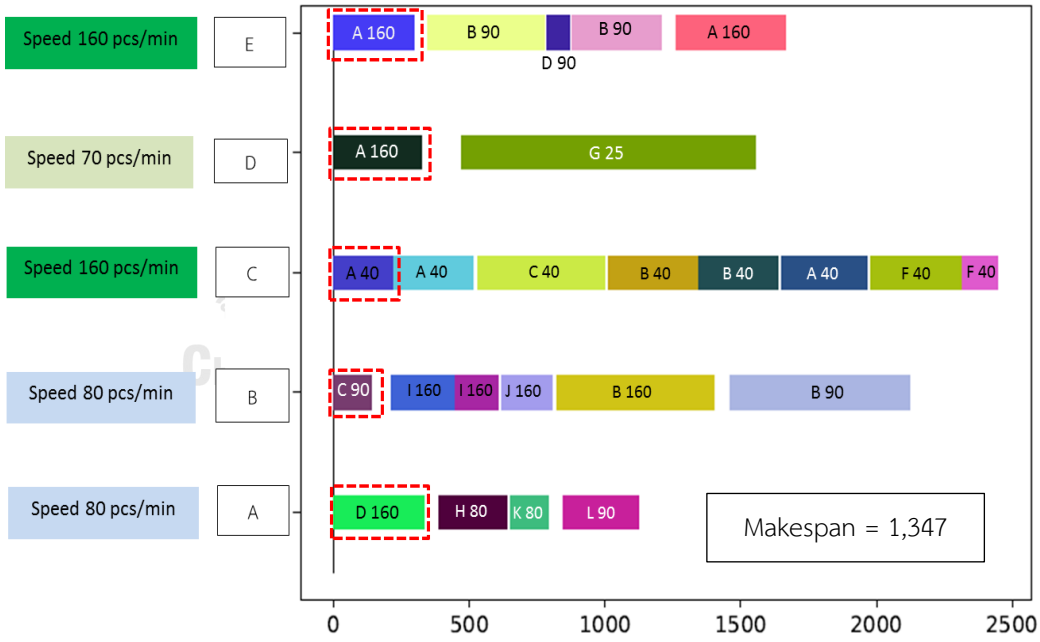
1: **Input data**: S/PC, F/C, Quantities of Semi-finished products and finished products, Delivery schedules, Number of available storage tanks, Amount of packing material, Production orders.
2: **Construct** an initial solution using **EDD** and a set of predefined rules
3. **z** = **true**
4: **while z** = **true**
5: **Call SWAP**
6: **Select** a pair of orders from different machines
7: **Check** compatibility between orders and filling machines
8: **if** compatibility condition is violated, discard such a pair and select the new one (Back to Line 6)
9: **else**
10: **Check** the availability of storage tanks and other components
11: **if** an order is not ready at the time of swapping, discard such a pair and select the new one (Back to Line 6)
12: **else**
13: **Check** the availability of storage tanks for the whole production sequences
14: **if** swapping is possible for the whole production sequences on both machines, SWAP the positions of such a pair and compute makespan, lateness, and number of tardy jobs.
15: **else**
16: Discard such a pair and select the new one (Back to Line 6)
17: **end if**
18: **end if**
19: **end if**
20: **if** no better solution is found within r iterations
21: **Call MOVEX** (the implementation of MOVEX is quite similar to that of SWAP)
22: **if** no better solution is found within r iterations, **z = false**
23: **else**
24: Return a better tour as new solution and back to Line 6
25: **end if**
26: **end if**
27: **end while**
28: **return** Best-found solution

รูปที่ 4-2 Pseudo code แสดงขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

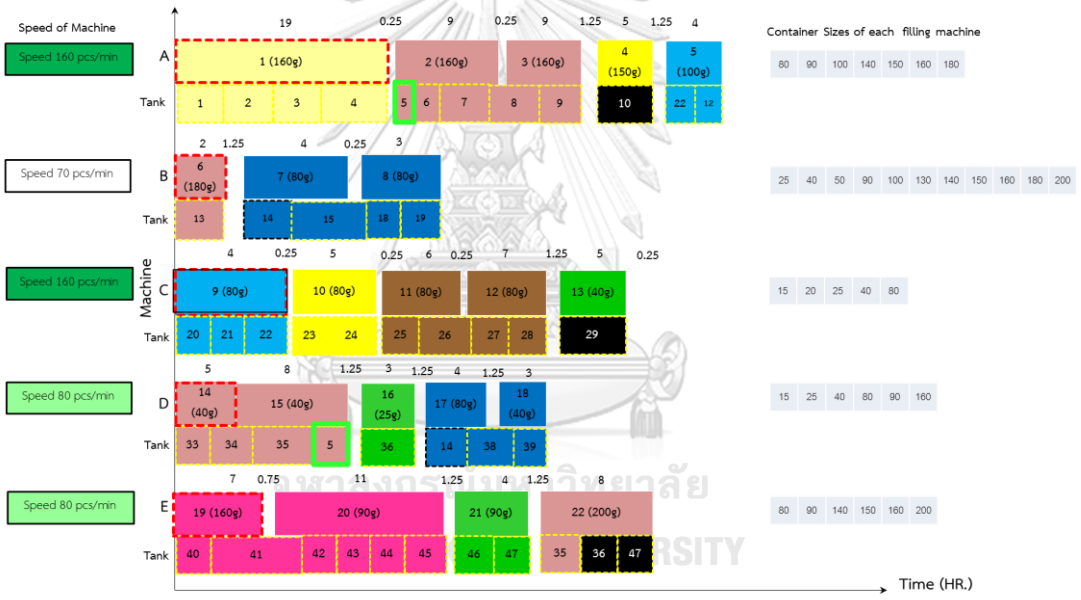
4.3 ตัวอย่างผลการคำนวณของฮิวริสติก

จากตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) ในรูปที่ 4-3 จะเห็นว่าการจัดตารางการบรรจุโดยใช้เกณฑ์ Earliest Due Dates (EDD) และหลักการพื้นฐานในการวางแผนผลิตยาสีฟัน ทำให้เครื่องบรรจุแต่ละเครื่องจะมีการจัดลำดับงานที่มีขนาดและสูตรเดียวกันผลิตต่อเนื่องกัน ยกเว้นกรณีมีประมาณยาสีฟันไม่เพียงพออาจมีการนำสูตรอื่นบรรจุคั่นกลาง เพื่อลดเวลาในการเปลี่ยนขนาดและการล้างเปลี่ยนสูตร แต่หากมีแผนการผลิตขนาดเดียวกันหรือสูตรเดียวกันจำนวนหลายคำสั่งผลิตมากเกินไปจะทำให้มีโอกาสที่งานที่มีขนาดหรือสูตรเดียวกันถูกจัดอยู่ในเครื่องเดียวกันสูงจนทำให้เครื่องบรรจุบางเครื่องมีเวลาปิดงานที่มากขึ้นจากการจัดเรียงงานที่มีขนาดหรือสูตรที่เหมือนกันต่อเนื่องกัน เช่น ที่เครื่องบรรจุ C พบว่ามีการจัดตารางการบรรจุขนาด 40 กรัมต่อเนื่องกัน ส่งผลทำให้บางเครื่องบรรจุมีเวลาปิดงานที่สั้น เช่น เครื่องบรรจุ A ซึ่งทำงานได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ ขณะที่เครื่องบรรจุ C มีเวลาปิดงานที่สูง ซึ่งอาจทำให้เกิดการทำงานล่วงเวลา ดังนั้นคำตอบดังกล่าวจึงยังไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งาน



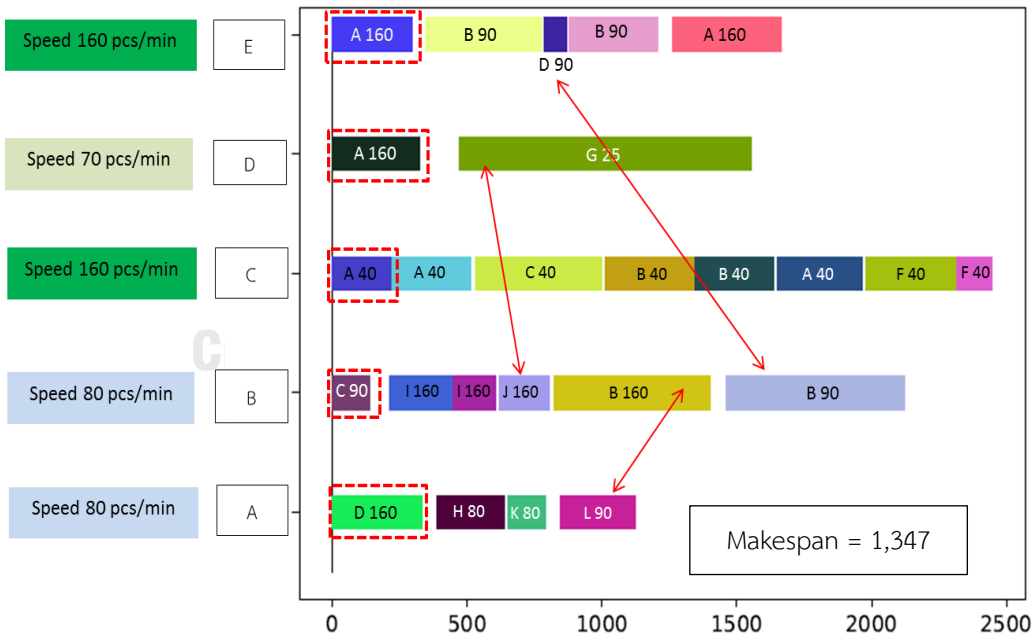
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)

นอกจากนี้เมื่อทำการจัดเรียงงานบนเครื่องบรรจุเสร็จแล้วจะมีถังบรรจุที่ใช้กับคำสั่งผลิตในแต่ละเครื่องบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 4-4 ซึ่งถังบรรจุดังกล่าวมีลำดับและเวลาใช้งานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและประมาณของยาสีฟันที่บรรจุอยู่ภายในถังบรรจุ โดยถังบรรจุหนึ่งใบอาจมีการใช้งานที่เครื่องบรรจุมากกว่าหนึ่งเครื่องในเวลาแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการใช้ถังบรรจุหมายเลข 5 ที่คำสั่งผลิตที่ 15 ขนาดบรรจุ 40 กรัม ที่เครื่องบรรจุ D เสร็จแล้ว ถังบรรจุหมายเลข 5 จะถูกนำไปใช้ต่อที่คำสั่งผลิตที่ 2 ขนาด 160 กรัม ที่เครื่องบรรจุ A เป็นต้น ดังนั้นในขั้นตอนการสลับงานจึงต้องคำนึงถึงลำดับการใช้งานถังบรรจุของแต่ละเครื่องบรรจุ เนื่องจากการสลับงานที่เครื่องบรรจุหนึ่งอาจกระทบต่อลำดับการใช้ถังบรรจุของงานอีกเครื่องบรรจุหนึ่งได้

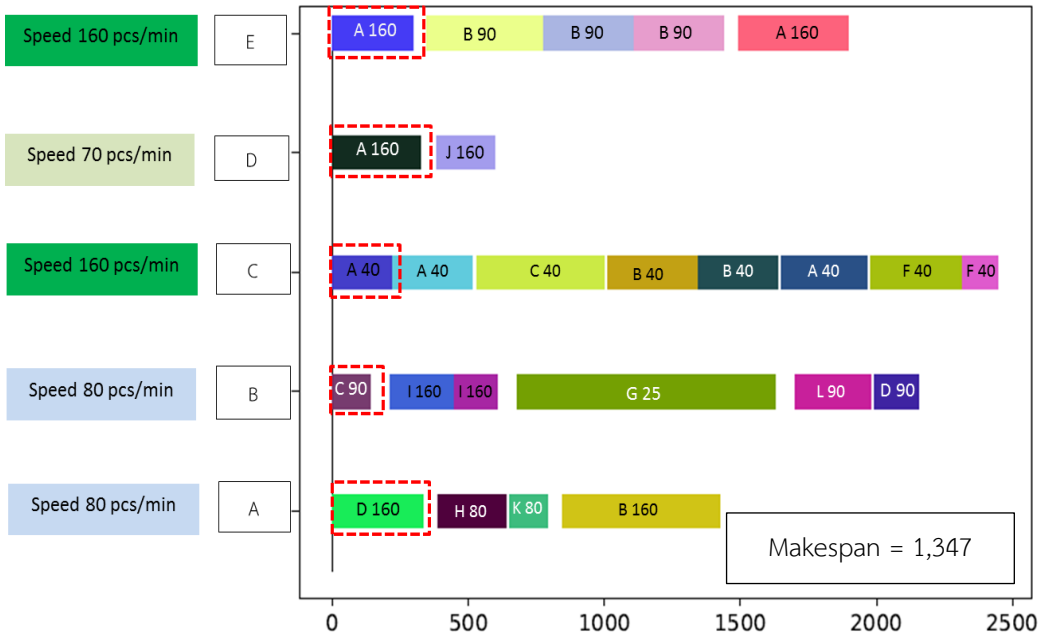


รูปที่ 4-4 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) และการจัดเรียงถังบรรจุ

เมื่อได้คำตอบเริ่มต้นแล้วในขั้นตอนต่อไปจะทำการ SWAP เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นโดยนำงานจากคำตอบเริ่มต้นทั้งหมดมาทำการสลับกับงานในตำแหน่งอื่นๆ ที่เป็นไปได้ ทั้งนี้ก่อนการ SWAP ทุกครั้งต้องตรวจสอบเครื่องบรรจุถัดไปว่าสามารถบรรจุงานขนาดที่นำมาสลับกันได้หรือไม่เสมอ กรณีสลับไม่ได้ให้พิจารณาเปลี่ยนไปสลับที่เครื่องบรรจุถัดไป จากนั้นจะพิจารณาถังบรรจุว่ามีการใช้ซ้อนทับกันกับเครื่องบรรจุอื่นหรือไม่ หากตรวจสอบแล้วพบว่าซ้อนทับกับเครื่องบรรจุอื่นให้ทำการพิจารณาคำสั่งผลิตใหม่ แต่หากไม่ซ้อนทับกันกับเครื่องบรรจุอื่นให้ทำการสลับตำแหน่ง แล้วทำการคำนวณเวลาปิดงาน และเก็บเป็นข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบเวลาปิดงาน กรณีที่สลับแล้วได้ทำตอบที่ไม่ดีขึ้นจากเดิม เช่นจากตัวอย่างการ SWAP ในรูปที่ 4-5 และ 4-6 จะเห็นได้ว่าก่อนทำการสลับงานเครื่องบรรจุ C มี Makespan เท่ากับ 1,347 นาที แต่เมื่อทำการสลับงาน D 90 ที่เครื่องบรรจุ E กับงานที่ B 90 ที่เครื่องบรรจุ B ทำให้เวลาปิดงานยังคงเท่าเดิม ซึ่งถือว่าคำตอบไม่เกิดการปรับปรุง โปรแกรมจะทำการไปยังขั้นตอนการปรับปรุงขั้นต่อไป



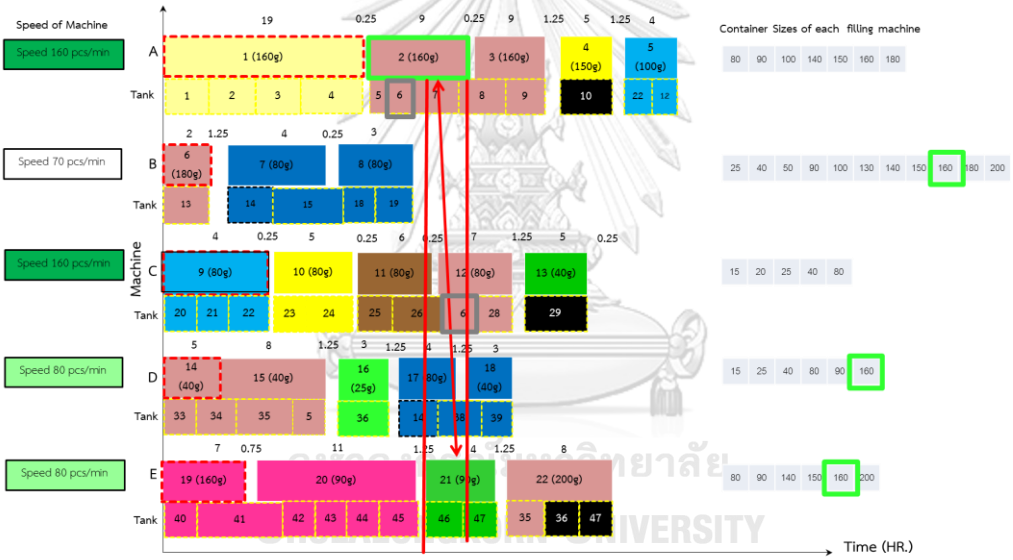
รูปที่ 4-5 ตัวอย่างการปรับปรุงคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีการ SWAP



รูปที่ 4-6 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการสลับงาน (SWAP)

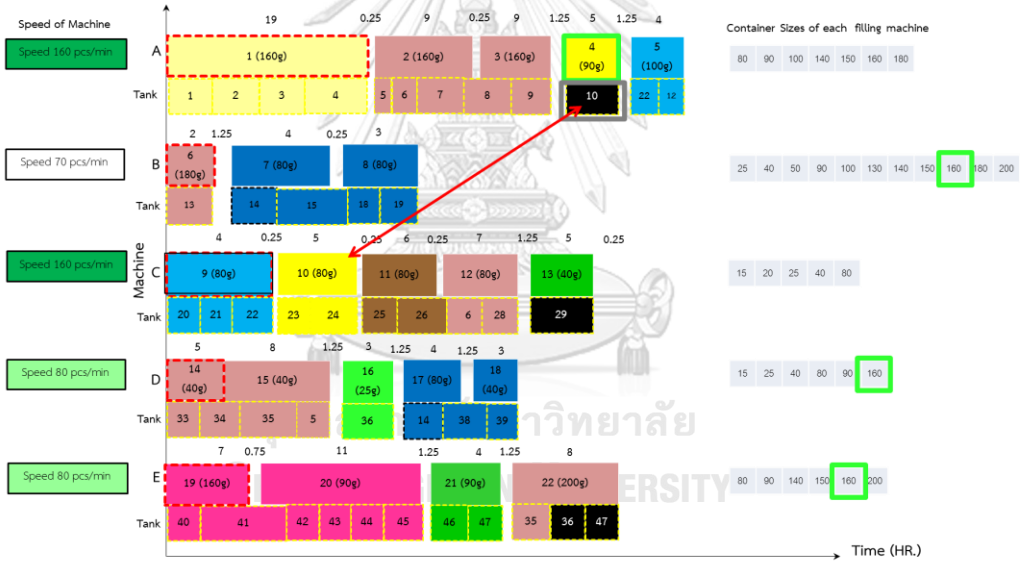
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในการสลับงานแต่ละครั้งนอกจากต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของเครื่องบรรจุแต่ละเครื่องบรรจุที่มีความสามารถในการบรรจุที่ไม่เท่ากันแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงลำดับการใช้งานของถังบรรจุ ซึ่งต้องไม่ซ้อนทับกับเครื่องบรรจุอื่น เนื่องจากถังบรรจุหนึ่งใบไม่สามารถใช้งานพร้อมกันได้มากกว่าหนึ่งเครื่องบรรจุในเวลาเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการสลับคำสั่งผลิตที่ 1 ขนาดบรรจุ 160 กรัม ที่เครื่องบรรจุ A กับคำสั่งผลิตที่ 21 ขนาด 90 กรัมที่เครื่องบรรจุ E เมื่อทำการพิจารณาขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุ A และ E แล้วสามารถสลับกันได้ แต่เมื่อพิจารณาถังบรรจุพบว่าการสลับตำแหน่งคำสั่งผลิตที่ 2 ไปแทนคำสั่งผลิตที่ 21 จะทำให้ถังบรรจุที่ 6 มีการใช้งานที่ซ้อนทับกับคำสั่งผลิตที่ 12 ที่เครื่องบรรจุ C ทำให้ไม่สามารถทำการสลับงานคู่ดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 4-7



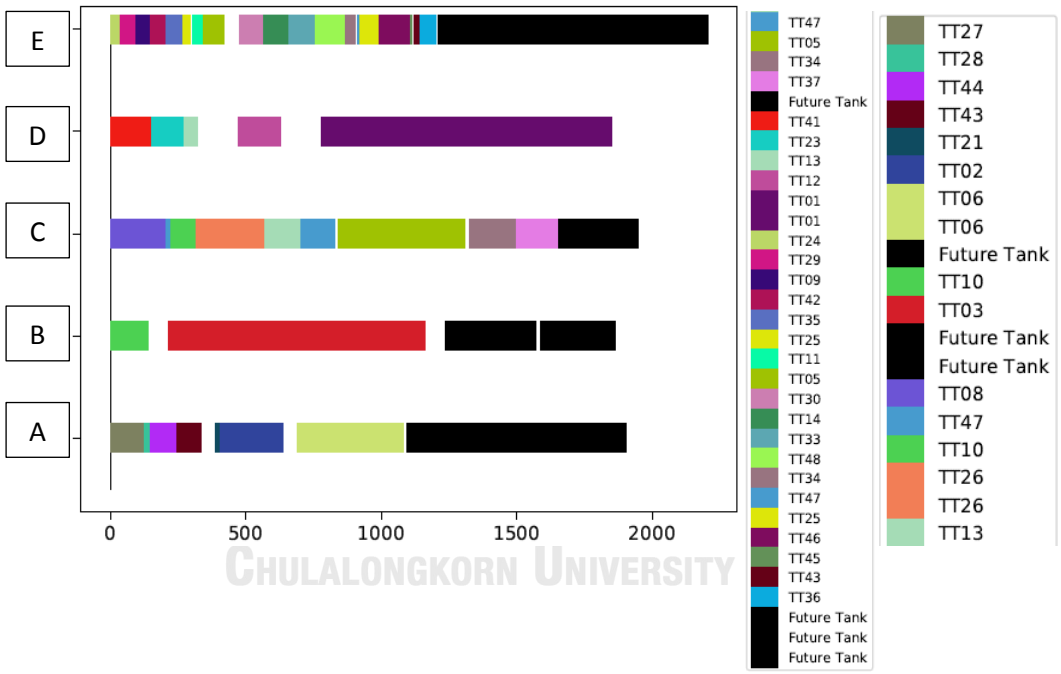
รูปที่ 4-7 ตัวอย่างกรณีที่สลับงานไม่ได้เนื่องจากมีเครื่องบรรจุอื่นใช้งานถังบรรจุอยู่

นอกจากนี้การสลับงานในแต่ละครั้งยังต้องพิจารณาถึงถังบรรจุที่ใช้ในแต่ละคำสั่งว่าผลิตเสร็จแล้วหรือไม่ ในกรณีที่มีการวางแผนการบรรจุโดยใช้ยาสีฟันตามแผนการผสมจะไม่สามารถสลับคำสั่งมาที่ตำแหน่งที่อยู่ก่อนเวลาผสมเสร็จได้ ยกตัวอย่างเช่น กรณีต้องการสลับคำสั่งผลิตที่ 4 ขนาดบรรจุ 90 กรัม ที่เครื่องบรรจุ A กับคำสั่งผลิตที่ 10 ขนาด 80 กรัม ที่เครื่องบรรจุ C เมื่อทำการพิจารณาขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุ A และ C แล้วสามารถสลับกันได้ แต่เมื่อพิจารณาถังบรรจุพบว่าการสลับตำแหน่งคำสั่งผลิตที่ 4 ไปแทนคำสั่งผลิตที่ 10 จะไม่สามารถนำถังบรรจุที่ 10 มาใช้งานได้ เนื่องจากยังผสมไม่เสร็จในเวลาดังกล่าว ดังนั้นกรณีทำการสลับคำสั่งผลิตที่มีการใช้ยาสีฟันแผนผสมซึ่งไม่มีของจริงอยู่ในเวลาปัจจุบันจะต้องทำการพิจารณาเวลาในการผสมเสร็จร่วมด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4-8



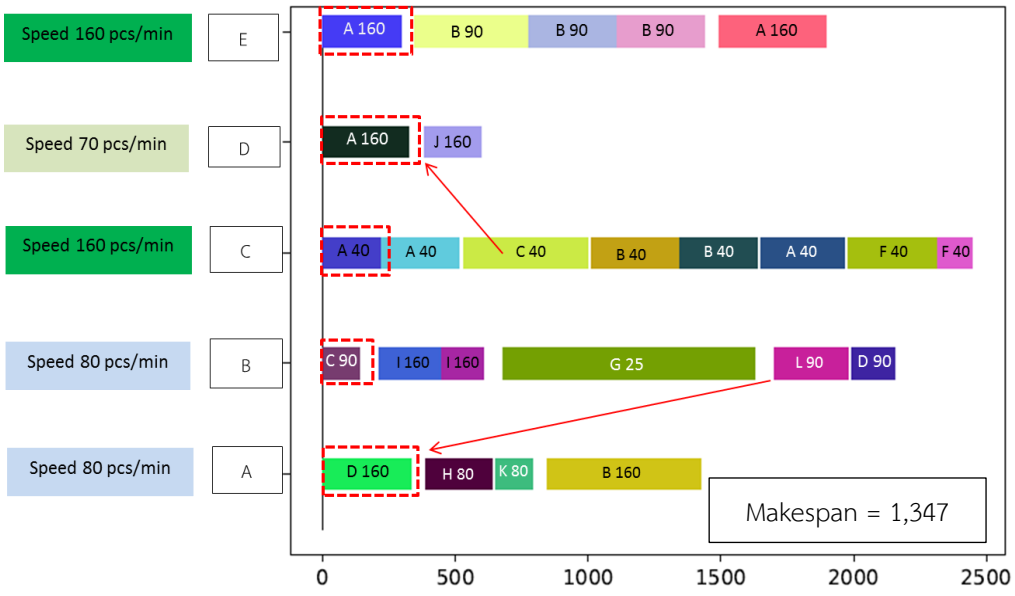
รูปที่ 4-8 ตัวอย่างข้อจำกัดกรณีที่การสลับงานที่ใช้ยาสีฟันตามแผนการผสม

จากรูปที่ 4-9 จะเห็นได้ว่าในการจัดตารางการใช้ถังบรรจุจะถูกแบ่งออกเป็นสีต่างๆ ตามรหัสถังบรรจุเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกต โดยสีดำ หรือถัง FE คือถังบรรจุที่ทราบเวลาที่จะผสมเสร็จ แต่ยังไม่มียาสีฟันของจริงในเวลาปัจจุบัน ขณะที่สีอื่นๆ ที่ไม่ใช่สีดำจะเป็นถังบรรจุที่มียาสีฟันบรรจุพร้อมใช้งานในเวลาปัจจุบัน ดังนั้นกรณีทำการสลับหรือย้ายงานที่เป็นถังบรรจุตามแผนการผสมจึงต้องพิจารณาความพร้อมของถังบรรจุด้วยโดยจะสามารถสลับงานหรือย้ายงานได้ก็ต่อเมื่อเวลาที่ไปสลับหรือย้ายงานต้องมากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่ยาฟันผสมเสร็จแล้วเท่านั้น

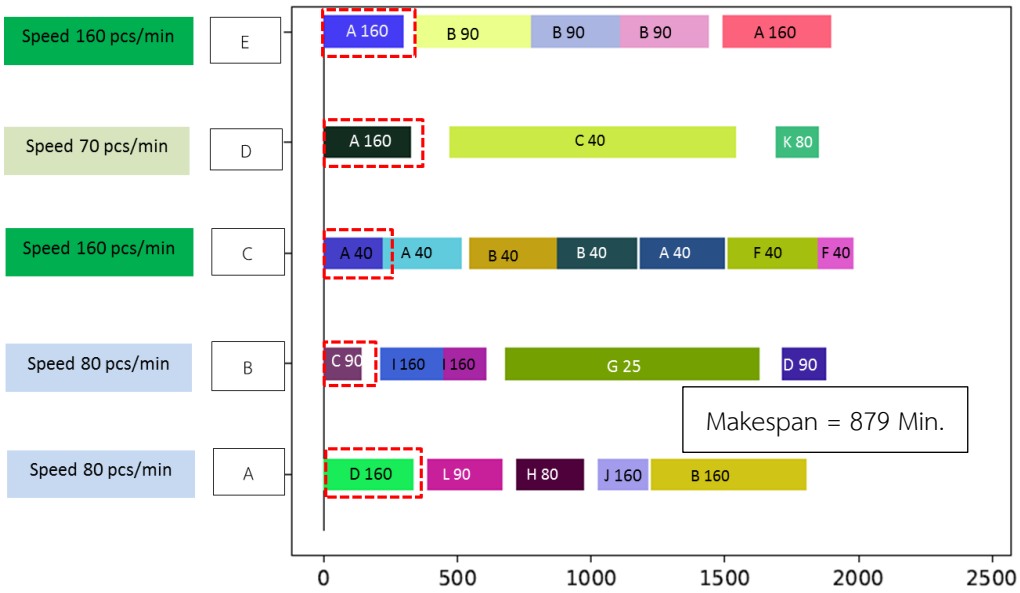


รูปที่ 4-9 ตัวอย่างการจัดลำดับการใช้งานถังบรรจุ

จากตัวอย่างวิธีการย้ายงานในรูปที่ 4-10 จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการ SWAP เสร็จแล้วเครื่องบรรจุ C จะมี Makespan มากที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องบรรจุอื่น ในที่นี้จะใช้วิธี MOVEX เพื่อย้ายงาน C 40 ลำดับที่ 3 จากเครื่องบรรจุ C ไปยังเครื่องบรรจุที่เป็นไปได้ที่มี Makespan น้อยที่สุด นั่นคืองานลำดับที่ 2 ที่เครื่องบรรจุ D โดยทั้งนี้ก่อนทำการย้ายงานต้องตรวจสอบข้อจำกัดของเครื่องบรรจุในส่วนของขนาดบรรจุ และเวลาใช้ถังบรรจุว่าสามารถย้ายงานไปแทนงานตำแหน่งดังกล่าวของเครื่องบรรจุอื่นได้หรือไม่ เช่นเดียวกับขั้นตอนการ SWAP เมื่อทำการย้ายงานเสร็จแล้วพบว่าทำให้เวลาปิดงานลดลงจากเดิม 1,347 นาที เหลือเพียง 879 นาที โดยไม่ต้องทำงานล่วงเวลา ซึ่งทำให้สามารถปิดงานได้เร็วขึ้นกว่าเดิม 468 นาที หรือประมาณ 8 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4-14



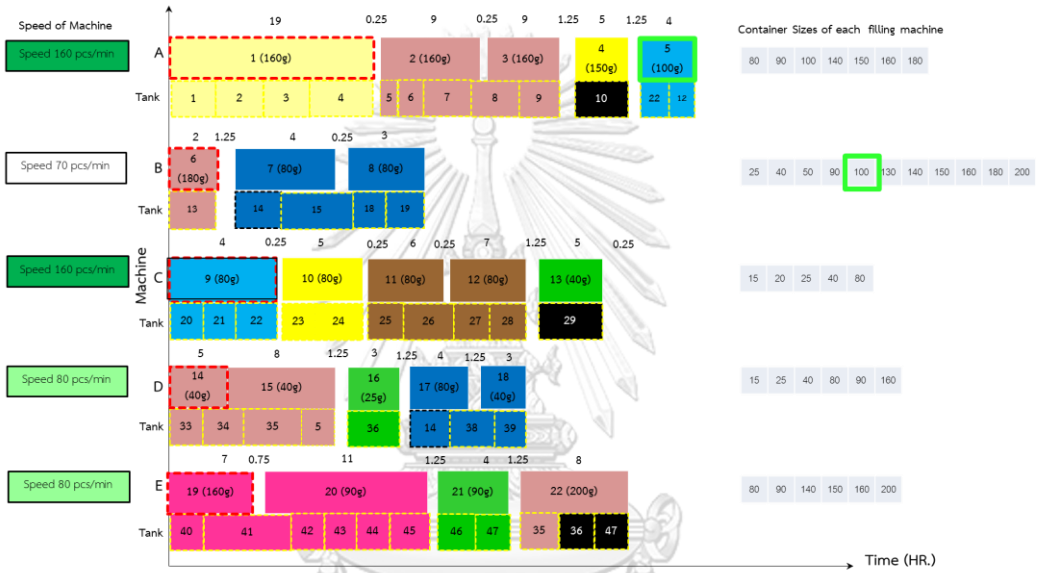
รูปที่ 4-10 ตัวอย่างการย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX)



รูปที่ 4-11 ตัวอย่างคำตอบที่ได้จากการย้ายงาน (Moving Exchange : MOVEX)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

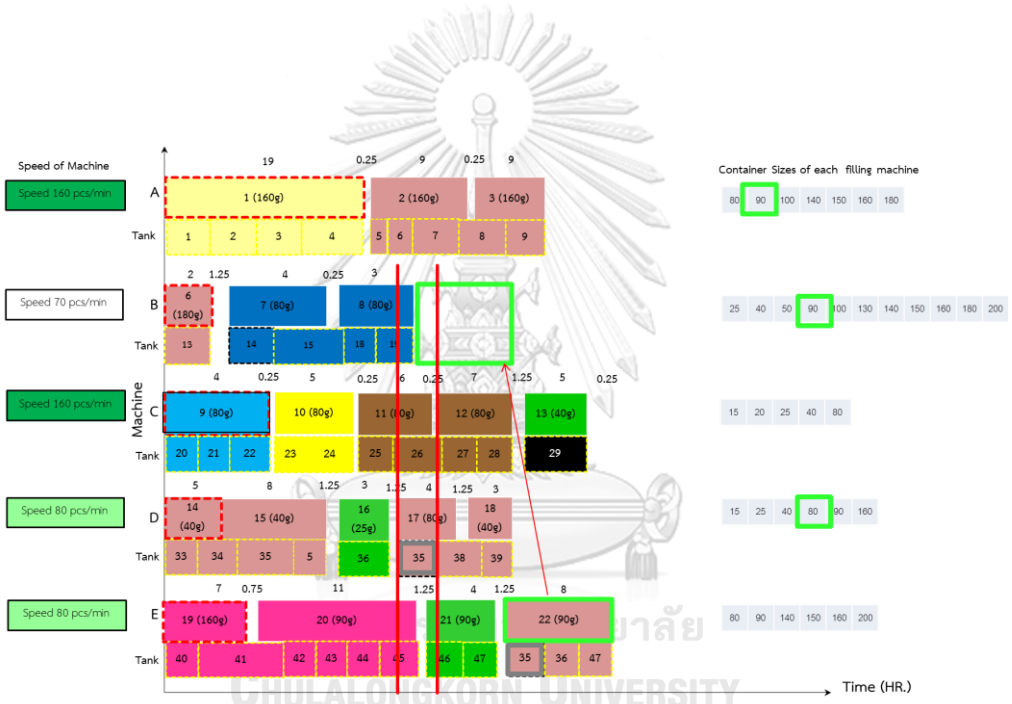
จากรูปที่ 4-12 จะเห็นได้ว่าการย้ายงานในบางกรณีที่ไม่สามารถทำการย้ายจากเครื่องบรรจุหนึ่งไปยังอีกเครื่องบรรจุหนึ่งได้อย่างหลากหลาย เนื่องจากมีเครื่องบรรจุบางเครื่องไม่สามารถทำการบรรจุยาสีฟันบางขนาดได้ ยกตัวอย่างเช่น กรณีต้องการย้ายคำสั่งผลิตที่ 5 ขนาดบรรจุ 100 กรัม ที่เครื่องบรรจุ A ไปยังเครื่องผลิตอื่นๆ แต่เมื่อทำการตรวจสอบขนาดบรรจุพบว่าจะสามารถทำการย้ายไปที่เครื่อง B ได้เพียงเครื่องเดียวเท่านั้น แสดงให้เห็นว่ายาสีฟันบางขนาดจะมีข้อจำกัดในการย้ายงานได้เพียงเครื่องเดียวเท่านั้น



รูปที่ 4-12 ตัวอย่างการย้ายงานตามข้อจำกัดของเครื่องบรรจุ

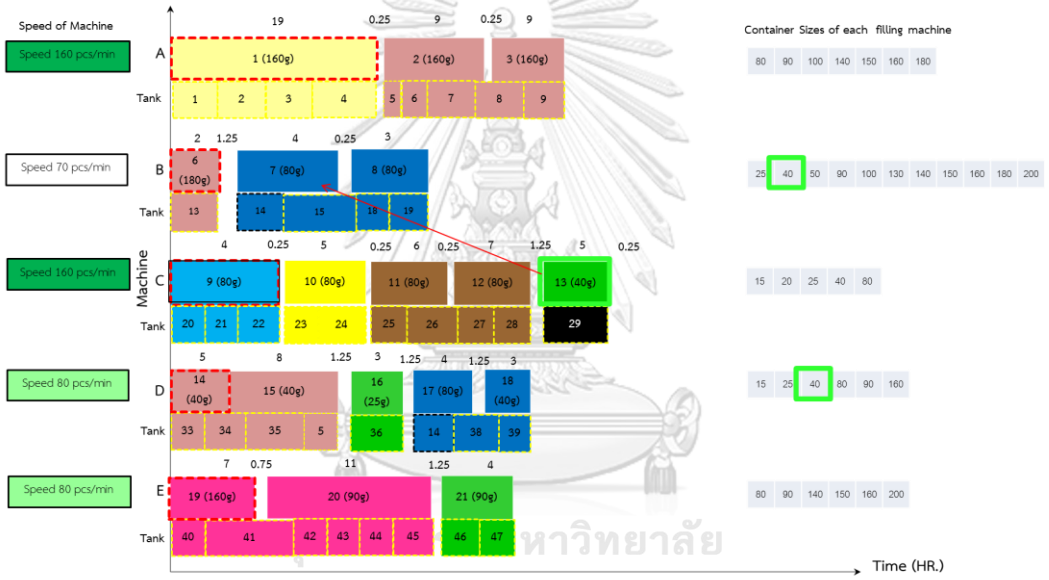
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นอกจากนี้การย้ายงานแต่ละครั้งนอกจากต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของเครื่องบรรจุแต่ละเครื่องบรรจุที่มีความสามารถในการบรรจุที่ไม่เท่ากันแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงลำดับการใช้งานของถังบรรจุเช่นเดียวกับการสลับงาน (SWAP) ซึ่งต้องไม่ซ้อนทับกับเครื่องบรรจุอื่น ยกตัวอย่างเช่น กรณีต้องการย้ายคำสั่งผลิตที่ 22 ขนาดบรรจุ 90 กรัม ที่เครื่องบรรจุ E ไปที่เครื่องบรรจุ B ซึ่งพิจารณาขนาดบรรจุแล้วสามารถสลับกันได้ แต่เมื่อพิจารณาถังบรรจุพบว่าหากทำการย้ายคำสั่งผลิตที่ 22 ไปที่ตำแหน่งดังกล่าวจะทำให้ถังบรรจุที่ 35 มีการใช้งานที่ซ้อนทับกับคำสั่งผลิตที่ 17 ที่เครื่องบรรจุ D ทำให้ไม่สามารถทำการย้ายคำสั่งผลิตดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 4-13



รูปที่ 4-13 ตัวอย่างกรณีที่ย้ายงานไม่ได้เนื่องจากมีเครื่องบรรจุอื่นใช้งานถังบรรจุอยู่

จากรูปที่ 4-14 จะเห็นได้ว่าการย้ายงานในแต่ละครั้งยังต้องพิจารณาถึงถังบรรจุที่ใช้ในแต่ละงานว่าผลิตเสร็จแล้วหรือไม่ เช่นเดียวกับการสลับงาน โดยในกรณีมีการวางแผนการบรรจุโดยใช้ยาสีฟันตามแผนการผสม ซึ่งแผนกผสมยังผสมไม่เสร็จจะไม่สามารถย้ายคำสั่งผลิตมาที่ตำแหน่งที่อยู่ก่อนเวลาผสมเสร็จได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น กรณีต้องการย้ายคำสั่งผลิตที่ 13 ขนาดบรรจุ 40 กรัม ที่เครื่องบรรจุ C ไปแทนที่คำสั่งผลิตที่ 7 ขนาด 80 กรัม ที่เครื่องบรรจุ B เมื่อทำการพิจารณาขนาดบรรจุของเครื่องบรรจุ C และ B แล้วสามารถย้ายได้ แต่เมื่อพิจารณาถังบรรจุพบว่าการย้ายไปตำแหน่งดังกล่าวจะไม่สามารถนำถังบรรจุที่ 29 มาใช้งานได้ เนื่องจากยังผสมไม่เสร็จ



รูปที่ 4-14 ตัวอย่างข้อจำกัดกรณีที่การย้ายงานที่ใช้ยาสีฟันตามแผนการผสม

จากการแสดงผลการจัดลำดับการบรรจุของแต่ละคำสั่งการผลิตโดยเรียงตามวันเวลาที่ผลิต ในตารางที่ 4-7 ซึ่งประกอบไปด้วย เวลาเริ่มต้น เวลาผลิตจบ หมายเลขเครื่องบรรจุ หมายเลขคำสั่งผลิต ขนาดที่ผลิต สูตรที่ผลิต และหมายเลขถังบรรจุที่ใช้สำหรับแต่ละคำสั่งผลิต ทั้งนี้กรณีนำไปใช้งานจริง ผู้วางแผนสามารถตรวจสอบลำดับการบรรจุด้วยวิธีการกรองข้อมูลแต่ละเครื่องบรรจุ และการใช้ถังบรรจุในแนวนอน เพื่อความสะดวกในการจัดลำดับการใช้งานถังบรรจุแต่ละใบ นอกจากนี้ยังพบว่าลำดับการใช้ถังบรรจุแต่ละใบต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้งานโดยการจัดลำดับการใช้งานถังที่มีปริมาณยาสีฟันน้อยสุดก่อนถังที่มีปริมาณมากสุด (ยกเว้นถังใบแรกที่มีการต่อกับเครื่องบรรจุอยู่ก่อนแล้ว) เพื่อให้สามารถนำถังบรรจุที่มีโอกาสบรรจุหมดไปใช้บรรจุยาสีฟันที่ผสมรุ่นการผลิต (Batch) ถัดไปได้เร็วกว่า ยกตัวอย่างเช่น จากตารางที่ 4-7 ในคำสั่งผลิตบรรทัดแรกจะนำถังหมายเลข TT28 TT44 และ TT43 ซึ่งมีการเรียงน้ำหนักจากน้อยไปมากที่น้ำหนัก 254 ตามด้วย 1,080 และ 1,121 กิโลกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4-7 ตัวอย่างข้อมูลผลจากการวางแผนโดยใช้ฮิวริสติก

Time start	Time complete	MC Code	Order	Size	Formula	Tank 1	Tank 2	Tank 3	Tank 4	Tank 5
18-03-26 06:00	18-03-26 11:34	A	30054 5777	160	E	TT27 (1622.5)	TT28 (254.0)	TT44 (1080.0)	TT43 (1121.0)	
18-03-26 06:00	18-03-26 11:21	D	30054 5344	160	C	TT41 (1704.0)	TT23 (1344.0)	TT13 (552.32)		
18-03-26 06:00	18-03-26 10:53	E	30054 5379	160	C	TT24 (1000.0)	TT29 (1405.8)	TT09 (1416.0)	TT42 (1480.0)	TT35 (1600.0)
18-03-26 06:00	18-03-26 09:42	C	30054 5291	40	C	TT08 (1307.5)	TT47 (113.653)			
18-03-26 06:00	18-03-26 08:18	B	30054 5272	90	I	TT10 (997.671)				
18-03-26 09:33	18-03-27 01:22	B	30054 8351	25	G	TT03 (1896.9)				
18-03-26 09:42	18-03-26 14:34	C	30054 5292	40	C	TT10 (607.329)	TT26 (1267.296)			
18-03-26 11:03	18-03-26 12:21	E	30054 5245	160	H	TT06 (1994.079)				
18-03-26 12:21	18-03-26 16:49	D	30054 5235	160	I	TT11 (1000.0)	TT05 (1996.888)			
18-03-26 12:29	18-03-26 16:36	A	30054 2877	80	A	TT21 (115.0)	TT02 (1469.143)			
18-03-26 12:31	18-03-26 19:14	E	30054 5345	160	C	FE 30.0 (10323.2)				

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

ผลการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยมุ่งเน้นการสร้าง และพัฒนาฮิวริสติกสำหรับกระบวนการบรรจุยาสีฟัน และทำการวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติกโดยการเปรียบเทียบเวลาปิดงาน Makespan ระหว่างการจัดตารางการบรรจุด้วยวิธีฮิวริสติก EDD และการจัดตารางการบรรจุที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จากตัวอย่างซึ่งเป็นข้อมูลการผลิตจริงที่มีการผลิตล่วงเวลา (Overtime) จากบริษัทผู้ผลิตสินค้าอุปโภคบริโภครายใหญ่แห่งหนึ่งของประเทศไทย จำนวน 30 ตัวอย่าง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-2 โดยทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Python บนคอมพิวเตอร์ Intel® Core ™ i5-6200U CPU 2.30 GHz RAM 8.00 GB เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างการจัดตารางการบรรจุในปัจจุบันกับการจัดตารางการบรรจุด้วยฮิวริสติก พบว่าการจัดตารางการบรรจุด้วยฮิวริสติก สามารถลดเวลาปิดงาน Makespan และความล่าช้าในการผลิตลงโดยเฉลี่ย 20% และ 48% ตามลำดับ และใช้เวลาเพียงไม่กี่วินาทีในการประมวลผลทั้งหมด

5.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล

เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการแสดงผลตารางการผลิต ซึ่งจะระบุเวลาเริ่มต้น เวลาสิ้นสุด หมายเลขเครื่องบรรจุ ขนาดบรรจุ สูตรการผลิต และลำดับในการใช้งานถังบรรจุพร้อมน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 5-1 เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานได้จริง

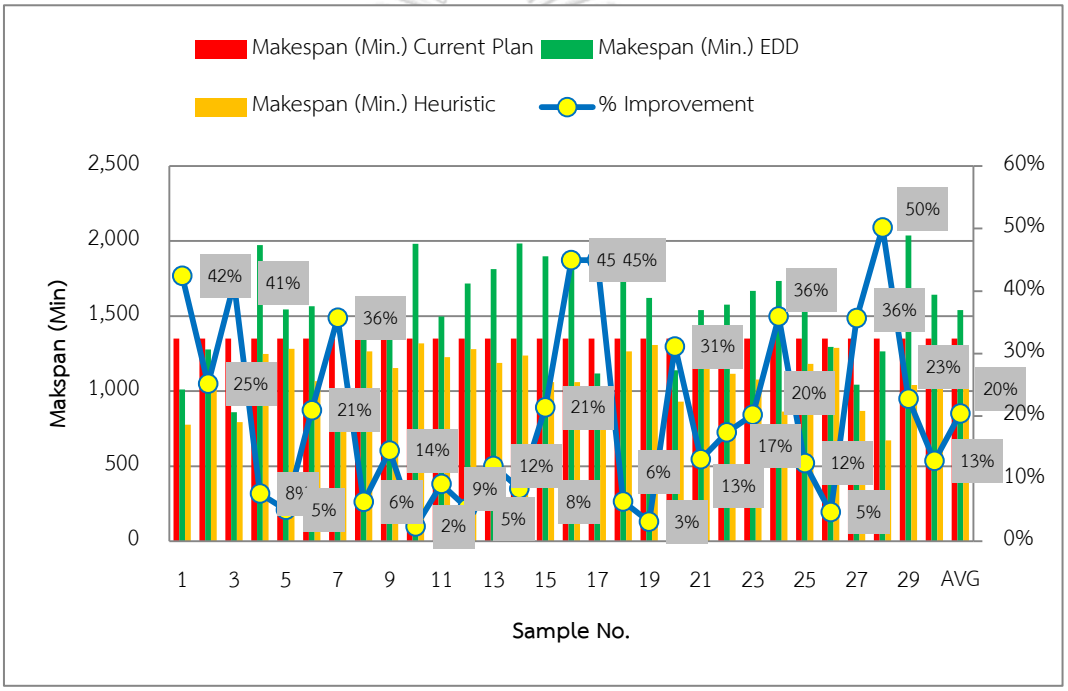
5.2 ผลการเปรียบเทียบเวลาปิดงาน

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบเวลาปิดงาน ระหว่างการวางแผนผลิตแบบปัจจุบัน EDD และวิธีการวางแผนด้วยฮิวริสติก ดังแสดงในรูปที่ 5-1 และตารางที่ 5-1 โดยการคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบ (%Difference) จากสมการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\%Difference = \left(\frac{Currenlyt\ Plan - Heuristic\ Solution}{Currently\ Plan}\right) x100\%$$

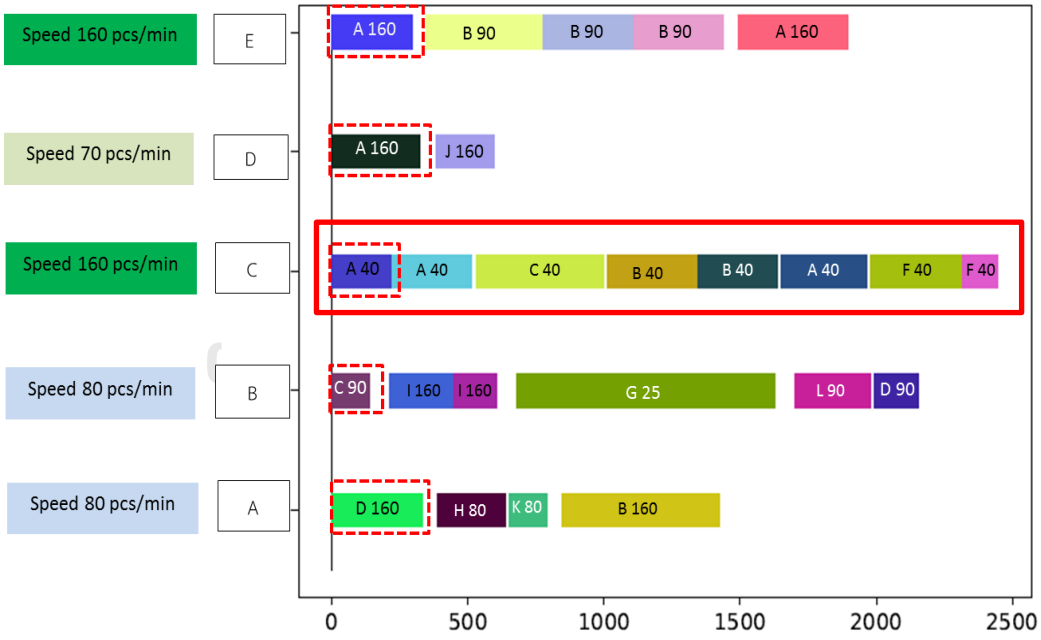
จากรูปที่ 5-1 พบว่าการจัดตารางการบรรจุด้วยวิธีฮิวริสติกจะมีเวลาปิดงานน้อยกว่าการจัดตารางบรรจุด้วยวิธีปัจจุบัน และ EDD โดยจากข้อมูลตัวอย่างจะสามารถลดเวลาปิดงานได้โดยเฉลี่ย 20% เมื่อเทียบกับเวลาปิดงานจากการจัดตารางการบรรจุในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดตารางการบรรจุด้วย EDD ส่วนใหญ่จะทำให้เวลาในการปิดงานสูงขึ้นกว่าการจัดตารางการบรรจุในปัจจุบัน และการจัดตารางการบรรจุด้วยฮิวริสติกเนื่องจากมีการจัดลำดับให้งานที่มีสูตรและขนาดเดียวกันผลิตต่อเนื่องกัน ทำให้บางเครื่องบรรจุมีเวลาปิดงานที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-1 เปรียบเทียบเวลาปิดงานระหว่างการวางแผนในปัจจุบัน EDD และฮิวริสติก

จากตารางที่ 5-1 พบว่าการจัดตารางการบรรจุด้วย EDD ส่วนใหญ่จะทำให้เวลาในการปิดงานสูงขึ้นกว่าการจัดตารางการบรรจุในปัจจุบัน และการจัดตารางการบรรจุด้วยฮิวริสติก เนื่องจากจะทำการจัดลำดับการบรรจุตามวันที่ส่งมอบโดยคำสั่งซื้อที่มีกำหนดการส่งมอบก่อนจะถูกนำมาจัดเรียงก่อน ทำให้ในการบรรจุมีการเปลี่ยนขนาดหลอด และล้างเปลี่ยนสูตรบ่อยครั้งทำให้มีเวลาปิดงานสูงขึ้น แต่เมื่อนำหลักการพื้นฐานในการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันก็ไม่สามารถทำให้เวลาปิดงานลดลงได้ เนื่องจากมีการจัดลำดับให้งานที่มีสูตรและขนาดเดียวกันผลิตต่อเนื่องกัน เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนขนาดและการล้างเปลี่ยนสูตร ซึ่งจะส่งผลให้เครื่องที่มีขนาดหรือสูตรเดียวกันถูกจัดอยู่ในเครื่องเดียวกัน ซึ่งทำให้เวลาปิดงานในบางเครื่องบรรจุยาวนานขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 5-2

จากการเปรียบเทียบผลคำตอบของวิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก กับค่าเวลาปิดงานของระบบจากแผนผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของคำตอบ (%Difference) พบว่าวิธีฮิวริสติก สามารถหาลดเวลาปิดงานได้โดยเฉลี่ย 20 %



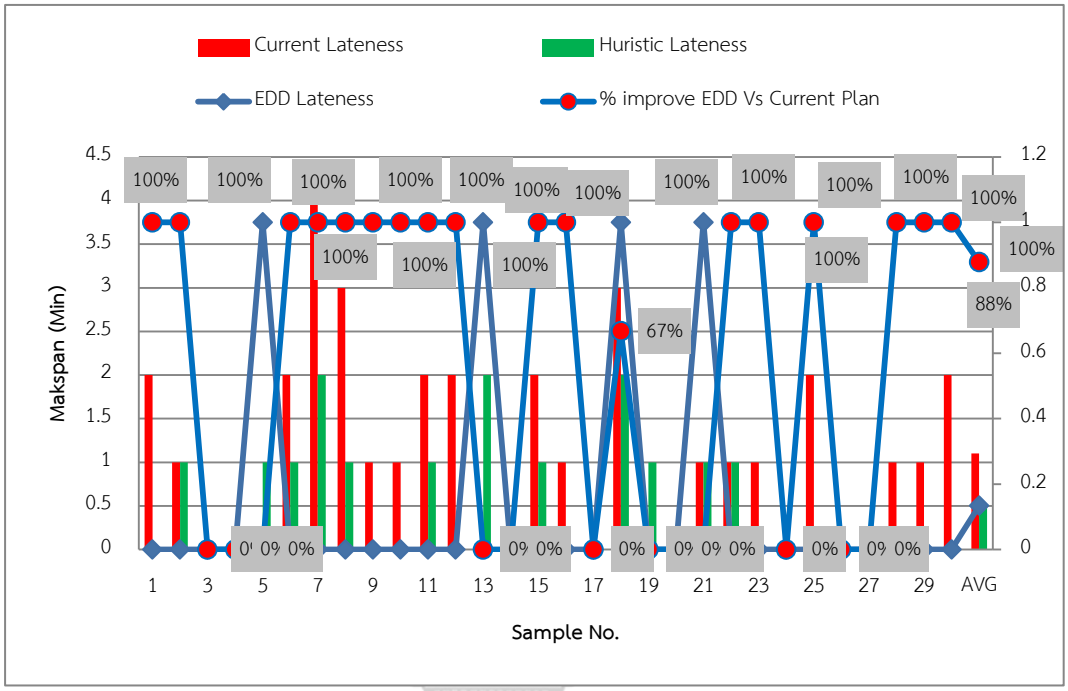
รูปที่ 5-2 ตัวอย่างการจัดตารางการบรรจุด้วย EDD

ตารางที่ 5-1 เปรียบเทียบเวลาปิดงานระหว่างการวางแผนในแบบปัจจุบัน EDD และฮิวริสติก

Sample No.	Makespan (Min.)				%Improve EDD Vs Current	%Improve Heuristic Vs EDD	%Improve Heuristic Vs Current
	Current Plan	EDD	Heuristic	Time (Sec.)			
1	1,350	1,011	777	1.92	25%	23%	42%
2	1,350	1,278	1,010	2.42	5%	21%	25%
3	1,350	860	793	2.13	36%	8%	41%
4	1,350	1,972	1,247	4.42	-46%	37%	8%
5	1,350	1,544	1,282	5.52	-14%	17%	5%
6	1,350	1,565	1,067	5.06	-16%	32%	21%
7	1,350	992	868	1.44	26%	13%	36%
8	1,350	1,500	1,265	2.87	-11%	16%	6%
9	1,350	1,523	1,155	3.10	-13%	24%	14%
10	1,350	1,981	1,319	4.95	-47%	33%	2%
11	1,350	1,497	1,227	5.75	-11%	18%	9%
12	1,350	1,718	1,279	2.69	-27%	26%	5%
13	1,350	1,814	1,188	5.52	-34%	35%	12%
14	1,350	1,983	1,237	3.75	-47%	38%	8%
15	1,350	1,899	1,061	2.30	-41%	44%	21%
16	1,350	1,899	1,061	2.30	-41%	44%	21%
17	1,350	1,118	743	2.04	17%	34%	45%
18	1,350	1,821	1,264	6.20	-35%	31%	6%
19	1,350	1,620	1,308	7.40	-20%	19%	3%
20	1,350	1,138	930	2.78	16%	18%	31%
21	1,350	1,541	1,173	5.87	-14%	24%	13%
22	1,350	1,576	1,115	3.20	-17%	29%	17%
23	1,350	1,669	1,077	5.42	-24%	35%	20%
24	1,350	1,733	865	3.13	-28%	50%	36%
25	1,350	1,690	1,182	2.67	-25%	30%	12%
26	1,350	1,295	1,288	2.69	4%	1%	5%
27	1,350	1,042	869	1.41	23%	17%	36%
28	1,350	1,264	673	2.78	6%	47%	50%
29	1,350	2,036	1,042	4.27	-51%	49%	23%
30	1,350	1,643	1,177	4.35	-22%	28%	13%
			AVG.	3.68	-14%	28%	20%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

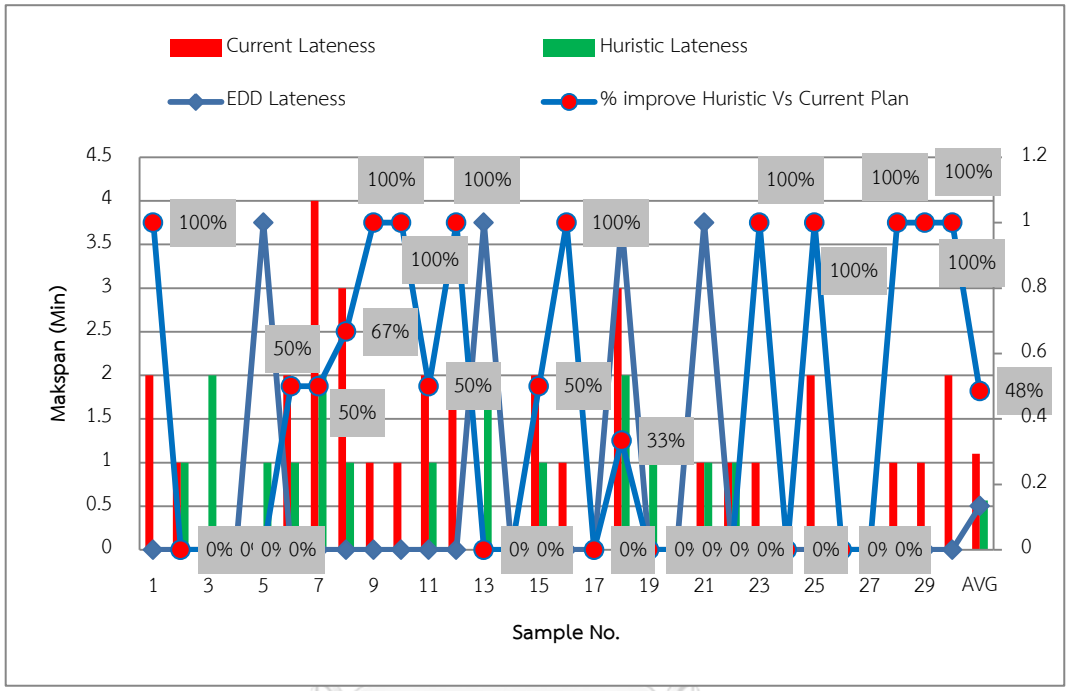
จากการเปรียบเทียบจำนวนงานสายระหว่างการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันในปัจจุบัน และ EDD จะเห็นได้ว่าการจัดตารางการบรรจุโดยใช้ฮิวริสติกจะสามารถลดงานสายลงได้โดยเฉลี่ย 88% ดังแสดงในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-3 เปรียบเทียบจำนวนงานสายระหว่างการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันปัจจุบัน กับ EDD

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการเปรียบเทียบจำนวนงานสายระหว่างการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันในปัจจุบันและฮิวริสติก จะเห็นได้ว่าการจัดตารางการบรรจุโดยใช้ฮิวริสติกจะสามารถลดงานสายลงได้โดยเฉลี่ย 48% ดังแสดงในรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-4 เปรียบเทียบจำนวนงานสายระหว่างการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันปัจจุบัน กับ ฮิวริสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 5-2 พบว่าวิธีฮิวริสติกสามารถลดจำนวนงานสายลงได้โดยเฉลี่ย 48% เมื่อเทียบกับแผนการผลิตในปัจจุบัน แต่ยังพบว่ายังมีบางตัวอย่างที่ยังมีงานสายเกิดขึ้น แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนงานสายในการวางแผนปัจจุบัน จากการวิเคราะห์ผลพบว่าเกิดจาก 2 สาเหตุหลัก ได้แก่

1. มีการปรับปรุงตารางการบรรจุยาสีฟัน จากเดิมที่จัดโดยใช้วิธี EDD จะมีลำดับการบรรจุทันตามกำหนดการ แต่มีการสลับงาน หรือย้ายงาน โดยนำงานอื่นสลับหรือย้ายมาทำก่อนเพื่อให้เวลาปิดงานจึงทำให้เกิดงานสายเกิดขึ้น แต่ทั้งนี้งานสายดังกล่าวจะไม่กระทบต่อกำหนดการส่งมอบภายในสัปดาห์ดังกล่าว เนื่องจากไม่เลยกำหนดภายในสัปดาห์ที่ผลิต

2. เกิดจากแผนการผสมและแผนการผลิตไม่สัมพันธ์กัน เช่น ในวันนั้นมีจำนวนยาสีฟันมีปริมาณยาสีฟันเพียงพอต่อการบรรจุ แต่แผนในการผสมในวันถัดไป ส่งผลให้ต้องเลื่อนการบรรจุไปในวันถัดไปทำให้บรรจุไม่ตรงตามกำหนดการ ซึ่งผู้วิจัยสามารถทำเป็นข้อแนะนำให้แก่แผนกวางแผนการผลิตในการปรับปรุงแผนการผลิตต่อไป

การปรับปรุงคำตอบที่ทำให้เวลาปิดงาน Makespan สั้นลงด้วยวิธีฮิวริสติก บางครั้งนอกจากต้องแลกกับจำนวนครั้งในการล้างหรือเปลี่ยนสูตรเพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังทำให้เกิดงานสายเพิ่มขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหลากหลายของสูตร ขนาด และปริมาณยาสีฟันที่มีในขณะนั้นว่ามีว่ามีเพียงพอกับความต้องการหรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างที่ 15 ในตารางที่ 5-2 พบว่าหากมีการจัดตารางการบรรจุด้วย EDD จะไม่มีงานสายเกิดขึ้น และมีเวลาปิดงานเท่ากับ 1,350 นาที แต่หากจัดตารางการบรรจุด้วยวิธีฮิวริสติกจะทำให้เกิดงานสายเพิ่มขึ้น 1 งาน ขณะที่เวลาปิดงานอยู่ที่ 1,061 นาที ซึ่งจะสามารถลดเวลาปิดงานลงได้ 289 นาที แต่ต้องแลกกับการเกิดงานสายขึ้น 1 งาน ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงหากเป็นงานสายที่ไม่เกินกำหนดภายในสัปดาห์ จะไม่ส่งผลต่อการส่งมอบแก่ลูกค้าซึ่งสามารถยอมรับได้

นอกจากนี้ในบางกรณี ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างที่ 3 ในตารางที่ 5-2 พบว่าหากมีการจัดตารางการบรรจุด้วย EDD จะไม่มีงานสายเกิดขึ้น และมีเวลาปิดงานเท่ากับ 860 นาที แต่หากจัดตารางการบรรจุด้วยวิธีฮิวริสติกจะทำให้เกิดงานสาย 2 งาน ขณะที่เวลาปิดงานอยู่ที่ 793 นาที ซึ่งจะสามารถลดเวลาปิดงานลงได้ 67 นาที แต่ต้องแลกกับการเกิดงานสายขึ้น 2 งาน ซึ่งกรณีดังกล่าวไม่ทำให้เกิดการทำงานล่วงเวลาเนื่องจากเวลาผลิตไม่เกิน 2 กะ (900 นาที) อาจพิจารณาจัดตารางการบรรจุตาม EDD ได้ เพื่อลดจำนวนการเกิดงานสายในการผลิต

Chulalongkorn University

ตารางที่ 5-2 เปรียบเทียบจำนวนงานสายระหว่างการวางแผนปัจจุบัน EDD และฮิวริสติก

Sample No.	Current Lateness	EDD Lateness	Heuristic Lateness	% improve Heuristic Vs Current Plan
1	2	0	0	100%
2	1	0	1	0%
3	0	0	2	0%
4	0	0	0	0%
5	0	1	1	0%
6	2	0	1	50%
7	4	0	2	50%
8	3	0	1	67%
9	1	0	0	100%
10	1	0	0	100%
11	2	0	1	50%
12	2	0	0	100%
13	0	1	2	0%
14	0	0	0	0%
15	2	0	1	50%
16	1	0	0	100%
17	0	0	0	0%
18	3	1	2	33%
19	0	0	1	0%
20	0	0	0	0%
21	1	1	1	0%
22	1	0	1	0%
23	1	0	0	100%
24	0	0	0	0%
25	2	0	0	100%
26	0	0	0	0%
27	0	0	0	0%
28	1	0	0	100%
29	1	0	0	100%
30	2	0	0	100%
AVG	33	4	17	48%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 ผลการเปรียบเทียบค่าใช่จ่ายจากการทำงานล่วงเวลา (Overtime)

ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาระหว่างการจัดตารางการบรรจุในปัจจุบันกับการจัดตารางการบรรจุด้วยฮิวริสติก ดังแสดงตารางที่ 5-3 โดยการคำนวณค่าใช้จ่ายจากสมการ

$$OT\ Cost\ (Bath) = \big((\text{จำนวนชั่วโมงที่ทำ } OT \times \text{จำนวนคน}) \times \text{จำนวนเครื่องบรรจุที่ทำ } OT\big) \times (\text{ค่าแรงต่อชั่วโมง } \times 1.5)$$

เมื่อทำการเปรียบเทียบการทำงานล่วงเวลาในแต่ละวันจะพบว่า หากจัดตารางการบรรจุด้วยวิธีฮิวริสติกจะไม่ทำให้เกิดการทำงานล่วงเวลา ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างที่ 1 3 และ 7 เป็นต้น ขณะที่วันอื่นๆมีจำนวนเครื่องบรรจุที่มีการทำงานล่วงเวลาทั้งน้อยกว่าและเท่ากัน แต่มีจำนวนชั่วโมงที่น้อยกว่าการจัดตารางการบรรจุในปัจจุบันส่งผลให้การจัดตารางการบรรจุด้วยฮิวริสติกสามารถลดเวลาในการทำงานล่วงเวลาในแต่ละเครื่องบรรจุลงได้โดยเฉลี่ย 49% หรือคิดเป็นมูลค่า 12 ล้านบาทต่อปี เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการการจัดตารางการบรรจุในปัจจุบัน ดังแสดงในตารางที่ 5-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5-3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการทำงานล่วงเวลาระหว่างแผนปัจจุบัน และฮิวริสติก

Sample No.	Overtime of Current Plan		Overtime of Heuristic		%Improve Heuristic Vs Current
	OT Manhour	OT Cost (Baht)	OT Manhour	OT Cost (Baht)	
1	30	129,000	0	0	0%
2	23	78,750	6	19,250	24%
3	15	40,500	0	0	0%
4	23	78,750	17	60,725	77%
5	15	40,500	19	66,850	165%
6	15	40,500	8	29,225	72%
7	23	78,750	0	0	0%
8	8	14,250	6	11,558	81%
9	8	14,250	9	22,950	161%
10	15	40,500	21	73,325	181%
11	8	14,250	22	93,740	658%
12	23	78,750	13	34,110	43%
13	15	40,500	5	9,120	23%
14	30	129,000	17	58,975	46%
15	30	129,000	3	5,098	4%
16	23	78,750	5	14,490	18%
17	8	14,250	0	0	0%
18	30	129,000	24	104,347	81%
19	30	129,000	20	71,400	55%
20	23	78,750	1	950	1%
21	23	78,750	14	47,775	61%
22	15	40,500	7	19,350	48%
23	15	40,500	9	30,975	76%
24	8	14,250	0	0	0%
25	23	78,750	14	49,350	63%
26	23	78,750	13	34,920	44%
27	30	129,000	0	0	0%
28	8	14,250	0	0	0%
29	8	14,250	5	12,780	90%
30	23	78,750	18	79,407	101%
Total (Bath/Month)		1,944,750		950,670	49%

*คำนวณจากค่าแรงเฉลี่ยในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2561

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.4 ผลการเปรียบเทียบการทำงานของแต่ละฮิวริสติก

จากตารางที่ 5-4 พบว่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงคำตอบในแต่ละขั้นตอนมีความแตกต่างกัน ทั้งเวลาปิดงาน จำนวนงานสาย และจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสูตรและขนาดบรรจุ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อทำการย้ายงาน (MOVEX) เสร็จแล้วจะทำให้เวลาปิดงาน (Makespan) ลดลงจากเดิม 860 เหลือ 724 แต่จะทำให้งานมีงานสายเพิ่มขึ้น 1 งาน ประกอบกับต้องทำการเปลี่ยนสูตรและเปลี่ยนขนาดเพิ่มขึ้นอย่างละ 1 ครั้ง ผู้วางแผนสามารถพิจารณานำคำตอบที่ได้จากการ Initial หรือ SWAP ที่ไม่มีงานสายและจำนวนครั้งในการเปลี่ยนขนาดลดลงไปใช้แทนได้ ดังนั้นในบางกรณีที่เวลาปิดงานทั้งในการปรับปรุงแบบ Initial SWAP และ MOVEX ไม่เกินเวลาปิดงานปกติรายวัน (900 นาที) ซึ่งในกรณีนี้ผู้วางแผนสามารถพิจารณาเลือกคำตอบที่มีจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสูตรและเปลี่ยนขนาดที่น้อยกว่ามาใช้ในการจัดตารางการบรรจุได้

ตารางที่ 5-4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการทำงานของแต่ละฮิวริสติก

No.	Type	Makespan (Min.)	Late Work	Setup Amount
0	Initial	860	0	{'Size': 0, 'Formula': 1, 'Size&Formula': 1}
1	SWAP	773	0	{'Size': 0, 'Formula': 2, 'Size&Formula': 1}
2	MOVEX	724	1	{'Size': 1, 'Formula': 2, 'Size&Formula': 1}

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบเวลาปิดงานระหว่างการจัดตารางการบรรจุด้วยวิธีฮิวริสติก กับการจัดตารางการบรรจุในปัจจุบันพบว่าวิธีการฮิวริสติกสามารถลดเวลาปิดงาน Makespan และจำนวนงานสายน้อยกว่าแผนปัจจุบัน นอกจากนี้ยังพบว่าเวลาปิดงาน และการเกิดงานสายในแต่ละวันแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหลากหลายของสูตร และขนาดบรรจุที่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) โดยใช้เกณฑ์ Earliest Due Dates (EDD) ในการจัดลำดับการบรรจุตามวันที่ส่งมอบ โดยการนำงานที่มีกำหนดการส่งมอบก่อนมาจัดเรียงก่อน จะส่งผลทำให้ในกระบวนการบรรจุมีการเปลี่ยนขนาดหลอดและล้างเปลี่ยนสูตรบ่อยครั้ง ขณะที่เมื่อนำ EDD จัดตารางควบคู่กับหลักการพื้นฐานในการวางแผนผลิตยาสีฟัน จะพบว่าที่เครื่องบรรจุแต่ละเครื่องจะมีการจัดลำดับงานที่มีขนาดและสูตรเดียวกันผลิตต่อเนื่องกัน เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนขนาดและการล้างเปลี่ยนสูตร ซึ่งบางครั้งอาจทำให้เวลาปิดงานในบางเครื่องบรรจุยาวนานขึ้น จากผลการทดลองพบว่าในกรณีที่มีแผนการผลิตที่มีขนาดหรือสูตรเดียวกันในปริมาณมากเกินไปจะทำให้มีโอกาสที่งานที่มีขนาดหรือสูตรเดียวกันถูกจัดอยู่ในเครื่องเดียวกันสูงจนทำให้เครื่องบรรจุบางเครื่องมีเวลาปิดงานที่มากขึ้น ส่งผลทำให้บางเครื่องบรรจุมีเวลาปิดงานที่สั้นทำงานได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ ขณะที่เครื่องบรรจุบางเครื่องมีเวลาปิดงานที่สูง ซึ่งอาจทำให้เกิดการทำงานล่วงเวลา คำตอบที่ได้จากคำตอบเริ่มต้นดังกล่าวจึงยังไม่เหมาะแก่การนำมาใช้งาน

การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการสลับงาน SWAP เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นกว่าเดิมพบว่าบางครั้งเมื่อทำการปรับปรุงจนเวลาปิดงาน Makespan สั้นลงจะทำให้จำนวนการครั้งในการล้างหรือการเปลี่ยนสูตรเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดงานสายเพิ่มขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหลากหลายของสูตร ขนาด และปริมาณยาสีฟันที่มีในขณะนั้นว่ามีว่ามีเพียงพอกับความต้องการหรือไม่ ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงหากเป็นงานสายไม่เกินเวลาภายในสัปดาห์ จะไม่ส่งผลต่อการส่งมอบแก่ลูกค้ามากนัก สามารถยอมรับได้ นอกจากนี้ยังพบว่างานสายบางส่วนเกิดจากแผนการผสมและแผนการผลิตไม่สัมพันธ์กัน เช่น แผนผสมถูกวางไว้หลังแผนการบรรจุ ส่งผลให้ต้องเลื่อนการบรรจุไปในวันถัดไปทำให้บรรจุไม่ตรงตามกำหนดการ ซึ่งผู้วิจัยสามารถทำเป็นข้อแนะนำให้แก่แผนกวางแผนการผลิตในการปรับปรุงแผนการผลิตต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสูตร เปลี่ยนขนาดในการปรับปรุงแต่ละขั้นตอนจะมีจำนวนครั้งแตกต่างกัน ทำให้ในบางกรณีที่เวลาปิดงานทั้งในการปรับปรุงแบบ Initial SWAP และ MOVEX ไม่เกินเวลาปิดงานปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายวัน (900 นาที) ผู้วางแผนสามารถพิจารณาเลือกคำตอบที่มีจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสูตรและเปลี่ยนขนาดที่น้อยกว่ามาใช้ในการจัดตารางการบรรจุได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง และพัฒนาวิธีการวางแผนผลิตในกระบวนการบรรจุยาสีฟัน เพื่อให้สามารถบรรจุยาสีฟันโดยใช้ต้นทุนต่ำ และมีเวลาปิดงานที่สั้นลง (Makespan) ภายใต้เวลากำหนดส่งมอบจากปัญหาการจัดตารางการบรรจุยาสีฟัน ซึ่งมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์โดยมีปัจจัยและข้อจำกัดในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรที่มีความเร็ว และความสามารถในการการบรรจุที่แตกต่างกัน ตลอดจนจำนวนถังบรรจุที่มีอย่างจำกัด ทำให้การจัดตารางการบรรจุมีความซับซ้อนมากขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา และพัฒนาวิธีการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันรายวันภายใต้เครื่องบรรจุยาสีฟันที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกันจำนวน 5 เครื่อง โดยเพิ่มความซับซ้อนมากขึ้น เมื่อพิจารณาความพร้อมของถังบรรจุ และข้อจำกัดของเครื่องบรรจุ เนื่องจากงานบางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ และมีขอบเขตในการพิจารณางานที่มีบรรจุภัณฑ์ที่พร้อมใช้งานและกำหนดให้ความสูญเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนขนาดบรรจุและการเปลี่ยนสูตรเท่านั้น

จากการศึกษาข้อมูลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้วิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) สำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น แต่ในกรณีที่ปัญหาขนาดใหญ่ หรือปัญหามีความซับซ้อนสูง การหาคำตอบวิธีนี้ต้องใช้เวลาในการหาคำตอบเป็นเวลานาน ซึ่งไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในสภาพความเป็นจริง ทำให้ฮิวริสติกเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้จริง

6.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการสร้าง และพัฒนาวิธีการวางแผนผลิตในกระบวนการบรรจุยาสีฟัน เพื่อให้สามารถบรรจุยาสีฟันโดยใช้ต้นทุนต่ำ และมีเวลาปิดงานสั้นลง (Makespan) ภายใต้เวลากำหนดส่งมอบ ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถแก้ปัญหาได้ภายในเวลาอันรวดเร็วภายในเวลาไม่กี่วินาที ทำให้สามารถปรับตารางการบรรจุเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีกว่าได้ตลอดเวลา จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการจัดตารางการบรรจุโดยใช้ฮิวริสติก กับแผนการผลิตปัจจุบัน พบว่าฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันสามารถลดเวลาปิดงาน และความล่าช้าในการผลิตลงได้โดยเฉลี่ย 20% และ 48% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถลดเวลาในการทำงานล่วงเวลาในแต่ละเครื่องบรรจุลงได้โดยเฉลี่ย 49% หรือคิดเป็นมูลค่า 12 ล้านบาทต่อปี เมื่อเทียบกับตัวอย่างจากการผลิตในปัจจุบัน ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์ในการปรับปรุงในแต่ละตัวอย่างจะขึ้นอยู่ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ได้นำมาทำการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ผู้วางแผนสามารถวางแผนผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความน่าเชื่อถือ และสามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ยาสีฟันได้ทันตามความต้องการของลูกค้าภายใต้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำลง และยังสามารถแทรกงานได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องทำการประมวลผลใหม่ทั้งหมด โดยในการใช้งานจริงจะทำการปรับปรุงคำตอบในทุก ๆ 6 ชั่วโมง หรือประมาณ 1 กะ เพื่อสามารถเตรียมการผลิตสำหรับกะถัดไป และมีปริมาณยาสีฟันเพียงพอสำหรับการปรับปรุงแผนการผลิต เนื่องจากแผนกผสมจะใช้เวลาในการผสมโดยเฉลี่ย 3 ชั่วโมงต่อรุ่นการผลิต (Batch) เมื่อเวลาผ่านไปภายในเวลา 6 ชั่วโมงจะมียาสีฟันเพิ่มขึ้นอย่างน้อย 10 ตัน ซึ่งหากปริมาณยาสีฟันความแตกต่างจากเดิมจะทำให้การค้นหาคำตอบมีความแตกต่าง

6.2 **ข้อเสนอแนะ**

งานวิจัยฉบับนี้ได้พัฒนาฮิวริสติกสำหรับกระบวนการจัดตารางการบรรจุยาสีฟันที่มีความซับซ้อนภายใต้สมมติฐานรวมถึงปัจจัยหลายประการที่ตั้งไว้ เพื่อจำกัดขอบเขตของการดำเนินงานให้เหมาะสมกับระยะเวลาที่กำหนด โดยใช้วิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น และทำการปรับปรุงด้วยวิธีสลับงาน (SWAP) และวิธีย้ายงาน (MOVEX) เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นกว่าเดิม และสะดวกรวดเร็วต่อการนำไปใช้งานจริงเท่านั้น ซึ่งในอนาคตอาจสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือพัฒนาในการจัดตารางการผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นที่มีกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกัน เช่น น้ำยาบ้วนปาก แชมพู หรือสบู่เหลว เป็นต้น หรือพัฒนาสำหรับการจัดตารางการผสมยาสีฟัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแผนกผสม หรือทั้งกระบวนการผลิตยาสีฟันโดยการค้นหาคำตอบพร้อมกันทั้งแผนกผสม และแผนกบรรจุซึ่งเป็นการพัฒนาฮิวริสติกเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาการผลิตที่มีความซับซ้อน และทำให้เกิดคำตอบทั้งระบบที่ดีขึ้น นอกจากนี้ในอนาคตอาจสามารถปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาฮิวริสติกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[1] กิติสุข, ก. 2560. การจัดตารางการผลิตโดยวิธีการฮิวริสติกสำหรับการผลิตกระจกแผ่นเรียบ.

[2] ชุติมา, ป. 2546. เทคนิคการจัดตารางการผลิต.กรุงเทพฯ.โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] รัตนเกื้อกังวาลย์, ส. 2548. การบริหารการผลิตและการดำเนินงาน.กรุงเทพฯ.โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553. ยาสีฟัน.

[5] Bilge, U., Furkan K., Kurtulan, M., Pekgun, P. 2004. A Tabu Search Algorithm for Parallel Machine Total Tardiness Problem. Computers & Operations Research. pp. 397–414.

[6] Cook, W. In Pursuit of the Traveling Salesman Mathematics at the Limits of Computation, Princeton University Press. 2011.

[7] Clarke, G., Wright, J.W. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, Operations Research, 12(4), 1964. pp. 568-581.

[8] Ching Ying, K., Lin, S.W. Minimizing Makespan for the Distributed Hybrid Flowshop Scheduling Problem with Multiprocessor Tasks. Expert Systems With Applications 92. 2018. pp. 132–141.

[9] Franca, P. M., M. Gendreaub, G., Laporteb, Miiller, F.M. A tabu search heuristic for the multiprocessor scheduling problem with sequence dependent setup times. Int. J. Production Economic. 1996. pp. 79-89.

[10] Helsgaun, K.. An Effective Implementation of The Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic. European Journal of Operational Research, 2000. pp. 106-130.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[11] Jarumaneeroj, P., Kunaporn S., A Variable Neighbourhood Search Approach for Crew Transportation Problems. 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications. 2017.

[12] Oguz, C., Ercan, M.F., Edwin Cheng, T.C., Fung Y.F. Heuristic algorithms for multiprocessor task scheduling in a two-stage hybrid flow-shop. European Journal of Operational Research. 2003. pp. 390–403.

[13] Pontrakul, C., Jarumaneeroj. P. Heuristic Based Scheduling for Tablets Film Coating. Process ICACS '18 Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Algorithms Computing and Systems 2018. pp. 238–242.

[14] Potvin, J.Y., Rousseau, J.M. An Exchange Heuristic for routing problems with time windows. Journal of the Operational Research Society. 1995. 46, pp. 1433-1446.

[15] Qiu, Y., Wang, L., Xu, X., Fang, X.,Pardalos, P.M., A variable neighborhood search heuristic algorithm for production routing problems. Applied Soft Computing. 2018. pp. 311–318.

[16] Tong, Z., Ning, L., Debao, S. Genetic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Window with Uncertain Vehicle Number. Intelligent Control and Automation, WCICA 2004.

[17] Wang, Z. , Li, Y., Hu, X. A Heuristics Approach and a Tabu Search for the Heterogeneous Multi-Type Fleet Vehicle Routing Problem with Time Window and an Incompatible Loading Constraint. Computers and Industrial Engineering, 89, 2015. pp. 162-176.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[18] Zadeh, B.S., Moghaddam, R.T., Moghadam, A.T., Rastgar, I. Solving a bi-objective unrelated parallel batch processing machines scheduling problem: A comparison study. Computers and Operations Research. 2017. pp. 71–90.

[19] Zhongyue, S. Vehicle routing problem based on object-oriented discrete event simulation. Advanced Computer Control (ICACC), 2010 2nd International Conference on, 27-29 March 2010.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุวัฑฒิพงศ์ พรหมจันทร์
วัน เดือน ปี เกิด	18 สิงหาคม 2531
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขา วิศวกรรมเคมีและกระบวนการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 205 หมู่ 2 ตำบลควนทอง อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช
ผลงานตีพิมพ์	การจัดตารางการผลิตโดยวิธีฮิวริสติกส์ สำหรับกระบวนการบรรจุยาสีฟัน (Heuristic Based Scheduling for Toothpaste Filling Problem)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University