การออกแบบฮิวริสติกเพื่อใช้ในการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต

นายญาณวโรตม์ พงศ์เศรษฐไพศาล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# Heuristic design for production line design and improvement

Mr. Yanvaroj Pongsethpaisal

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การออกแบบฮิวริสติกเพื่อใช้ในการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต |
| โดย | นายญาณวโรตม์ พงศ์เศรษฐไพศาล |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. สิรวิชญ์ สว่างนพ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ญาณวโรตม์ พงศ์เศรษฐไพศาล : การออกแบบฮิวริสติกเพื่อใช้ในการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต (Heuristic design for production line design and improvement) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์, หน้า.

การออกแบบสายการผลิตมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้รับสายการผลิตที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการและข้อจำกัดของเจ้าของสายการผลิตได้ ซึ่งสายการผลิตจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละโรงงาน โดยทั่วไปนั้นสายการผลิตจะถูกออกแบบโดยผู้มีประสบการณ์สูงด้วยวิธีการลองผิดลองถูก ซึ่งจะอาศัยการประเมินว่าสายการผลิตที่ทำการออกแบบมานั้นทำได้ตรงตามความต้องการหรือข้อจำกัดของเจ้าของสายการผลิตหรือไม่ย่อม หากสายการผลิตไม่สามารถทำได้ตรงตามความต้องการหรือข้อจำกัดจะทำการปรับปรุงสายการผลิต ทำให้การออกแบบสายการผลิตแต่ครั้งใช้ระยะเวลานาน มีค่าใช้จ่ายสูง และจำเป็นต้องพึ่งพาผู้มีประสบการณ์สูงซึ่งมีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้การประเมินสายการผลิตแต่ละครั้งจำเป็นต้องใช้ตัวประเมินที่ถูกต้องและครบถ้วน ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าตัวประเมินสายการผลิตจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จะนำเสนอวิธีการออกแบบสายการผลิตที่สามารถใช้ได้ทั้งการออกแบบสายการผลิตใหม่และทำการปรับปรุงสายการผลิตที่มีอยู่เดิม ซึ่งวิธีการที่ทำการออกแบบมานั้นสามารถใช้งานได้ง่าย หาคำตอบได้อย่างรวดเร็วและไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้มีประสบการณ์สูงในการออกแบบ ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้ โดยวิธีการที่ทำการออกแบบมาจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกคือการหาคำตอบเริ่มต้นด้วยหลักการหาค่าเหมาะสมสุด และ อัลกอริทึมการจัดสรรแล้วพอดีที่สุด และในส่วนที่สองจะอาศัยหลักการการหาคำตอบข้างเคียงในการปรับปรุงคำตอบ โดยการหาคำตอบข้างเคียงจะทำการหาผ่านวิธีการที่ทำการออกแบบขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยฉบับนี้ยังได้ทำการรวบรวมตัวประเมินที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะสายการผลิตในแต่ละด้าน รวมไปถึงวิธีการชี้วัดหรือวิธีการคำนวณเพื่อใช้ในการประเมินสายการผลิตและสามารถเปรียบเทียบได้ เพื่อให้ผู้ทำการประเมินและผู้ที่นำผลการประเมินไปใช้สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของสายการผลิตได้อย่างแม่นยำและเที่ยงตรงโดยใช้ตัวชี้วัดสำหรับการประเมินสมรรถนะสายการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

# # 5970148021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: PRODUCTION LINE DESIGN / RAPID DESIGN / MANUFACTURING SYSTEM

YANVAROJ PONGSETHPAISAL: Heuristic design for production line design and improvement. ADVISOR: ASSOC. PROF. PAVEENA CHAOVALITWONGSE, Ph.D., pp.

The production line design aims to determine the production line that meets the owner's objectives and limitations which make production lines vary among factories. The production lines are typically determined by experts because the common method for design is trial and error method which based on designed line's assessment result and designer decision on how to adjust the line if the old one cannot meet the objectives and limitation. However, this method causes high expense, long designing time, and require expert designer which has a small amount. In each production line evaluation, it necessary to use complete and accurate assessment. From previous literatures, many research have proposed the performance assessment method into 4 aspects. Therefore, this research aims to present new production line design and improvement method for both newly designed and existing line which is fast, easy to implement and not require an expert designer. This method will help in reducing the design cost for the owner. The presented method will divide into two parts 1.) aims to find the initial solution by using optimization principle and best fitting allocation algorithm, and 2.) to improve the initial solution by using neighborhood search method which its solution can be found through the presented modules. In addition, this paper also aims to collect performance indicators for all four aspects along with the methodology for measurement or calculation for each of indicator that represent the value of each indicator and make them comparable which makes assessor or designer assess the production line performance accurately and precisely.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| | | | |
|---|---|---|---|
| Department: | Industrial Engineering | Student's Signature | ..... |
| Field of Study: | Industrial Engineering | Advisor's Signature | ..... |
| Academic Year: | 2017 | | |

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาเพื่อเป็นแนวทาง ข้อคิด และคำแนะนำในการทำวิจัย ตลอดถึงการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.สิรวิชญ์ สว่างนพ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์จากภายนอก ที่เสียสละเวลาเพื่อมาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ ผศ.ภูมิ เหลืองจามีกร และ อ.ดร.อมรศิริ วิลาสเดชานนท์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษากับผู้ทำวิจัยในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ รวมถึง ดร.กฤษดา พัวสกุล คุณอนวัช อริยสัจจากร นักวิจัย SAM 11 และ ผู้วิจัยท่านอื่น ๆ ภายในหน่วยวิจัย ROM ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัวและเพื่อน ๆ ที่ให้การสนับสนุน และกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**สารบัญ**

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ ..... 1
1.1. ที่มาและความสำคัญ ..... 1
1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ..... 3
1.3. ขอบเขตของงานวิจัย ..... 4
1.4. สมมติฐานงานวิจัย ..... 4
1.5. ปัญหางานวิจัย ..... 5
1.6. ผลลัพธ์จากงานวิจัย ..... 12
1.7. ประโยชน์ที่ได้รับ ..... 12
1.8. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ..... 13
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 15
2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ..... 15
2.1.1. ระบบ ..... 15
2.1.2. ระบบการผลิต ..... 15
2.1.3. สายการผลิต ..... 16
2.1.4. การหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายวัตถุประสงค์ ..... 19
2.1.5. ฮิวริสติก ..... 20
2.1.6. ตัวชี้วัดสมรรถนะหลัก ..... 21
2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

บทที่ 3 กระบวนการในการวิจัย ..... 25
3.1. องค์ประกอบของสายการผลิต ..... 25
3.2. แนวทางการรวบรวมตัวประเมินสายการผลิต ..... 30
3.3. แนวทางและการพัฒนาวิธีการออกแบบสายการผลิต ..... 31
3.3.1. แนวทางการหาคำตอบเริ่มต้น ..... 32
3.3.2. แนวทางการปรับปรุงคำตอบ ..... 33
บทที่ 4 องค์ประกอบของสายการผลิตและตัวประเมินสมรรถนะ ..... 37
4.1. ลักษณะปัญหาของแต่ละองค์ประกอบของสายการผลิต ..... 38
4.1.1. การเลือกทรัพยากร ..... 38
4.1.2. การจัดสรรทรัพยากร ..... 39
4.1.3. การจัดกลุ่มทรัพยากร ..... 40
4.1.4. การเลือกเส้นทางการผลิตและการแยกสายการผลิต ..... 41
4.2. ตัวชี้วัดสมรรถนะสายการผลิต ..... 42
4.2.1. ด้านปริมาณ (Volume) ..... 42
4.2.2. ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) ..... 43
4.2.3. ด้านความไว (Agility) ..... 45
4.2.4. ด้านความทนทาน (Robustness) ..... 46
4.3. ผลกระทบของการจำกัดตัวชี้วัดต่อลักษณะปัญหาของแต่ละองค์ประกอบของสายการผลิต ..... 46
4.3.1. ผลกระทบต่อการเลือกทรัพยากร ..... 46
4.3.2. ผลกระทบต่อการจัดสรรทรัพยากร ..... 47
4.3.3. ผลกระทบต่อการจัดกลุ่มทรัพยากร ..... 48
4.3.4. ผลกระทบต่อการเลือกเส้นทางการผลิตและการแยกสายการผลิต ..... 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

บทที่ 5 ฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต ..... 50
5.1. วิธีการหาคำตอบเริ่มต้น ..... 50
5.1.1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกจำนวนทรัพยากร ..... 50
5.1.2. การจัดสรรทรัพยากรอย่างง่าย ..... 54
5.2. วิธีการปรับปรุงคำตอบ ..... 57
5.2.1. โมดูลการปรับการจัดสรร (Reallocation module) ..... 57
5.2.2. โมดูลการแบ่งสายการผลิต (Line splitting module) ..... 63
5.2.3. โมดูลการจัดกลุ่มสถานีงาน (Workstation grouping module) ..... 67
5.3. ตัวชี้วัด ..... 69
5.3.1. ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวชี้วัด ..... 69
5.3.2. วิธีการชี้วัดตัวชี้วัด ..... 71
5.4. การประเมินผลของสายการผลิต ..... 77
5.5. ขั้นตอนการออกแบบสายการผลิต ..... 79
บทที่ 6 การทดสอบฮิวริสติก ..... 83
6.1. วิธีการทดสอบฮิวริสติก ..... 83
6.1.1. จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ ..... 83
6.1.2. กำลังการผลิตคงเหลือ ..... 84
6.1.3. จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร ..... 84
6.1.4. จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร ..... 84
6.1.5. ระยะเวลาการปรับตั้ง ..... 85
6.1.6. จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต ..... 85
6.1.7. อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ ..... 86
6.2. ปัญหาที่ใช้สำหรับทดสอบความสามารถในการปรับปรุงคำตอบ ..... 87

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

6.3. ผลการทดสอบ ..... 90
6.3.1. ความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติก ..... 90
6.3.2. ความเสถียรในการหาคำตอบของฮิวริสติก ..... 91
6.3.3. ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากฮิวริสติก ..... 94
บทที่ 7 สรุปผลงานวิจัย ..... 120
7.1. สรุปงานวิจัย ..... 120
7.2. การอภิปรายผลการวิจัย ..... 121
7.2.1. การวิเคราะห์ความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติก ..... 121
7.2.2. ผลกระทบของชุดตัวชี้วัดและพารามิเตอร์ ..... 121
7.3. แนวทางในการวิจัยในลำดับถัดไป ..... 124
..... 130
รายการอ้างอิง ..... 130
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 136

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

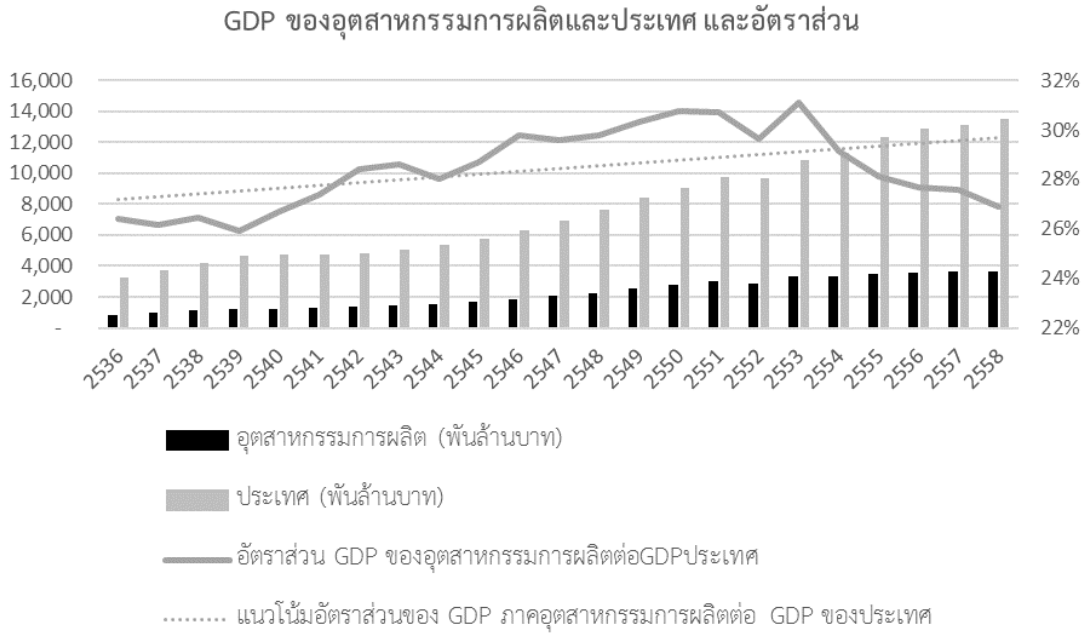
# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1. ที่มาและความสำคัญ

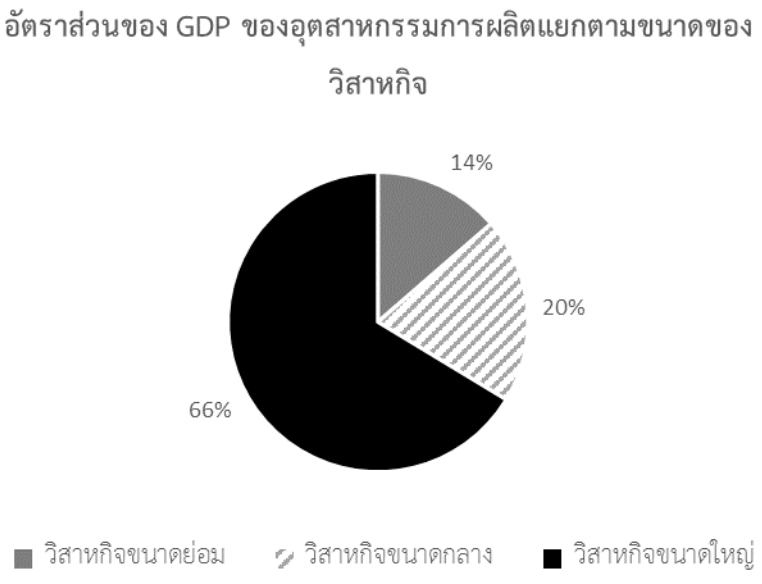
การออกแบบสายการผลิตถูกนิยามว่าเป็นการตัดสินใจใน 5 องค์ประกอบได้แก่ 1.) การเลือกทรัพยากร 2.) การจัดสรรทรัพยากรสำหรับแต่ละกระบวนการ (Bentaha et al., 2015) 3.) การจัดกลุ่มทรัพยากร 4.) การเลือกเส้นทางการผลิต และ 5.) การแบ่งสายการผลิต โดยสาเหตุที่ทำให้แต่ละโรงงานในอุตสาหกรรมการผลิตไม่สามารถใช้รูปแบบของสายการผลิตจากโรงงานอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมเดียวกันได้และจำเป็นต้องทำการออกแบบสายการผลิตใหม่ เนื่องด้วยความต้องการ (Objective) และข้อจำกัด (Limitation) ที่ถูกกำหนดแตกต่างกัน ถึงแม้ในกรณีที่มีทรัพยากรชนิดเดียวกันด้วยจำนวนทรัพยากรเท่ากัน ความต้องการและข้อจำกัดเหล่านั้นย่อมส่งผลให้องค์ประกอบภายในสายการผลิตของแต่ละโรงงานมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ซึ่ง Kurniadi et al. (2012) ได้ทำการประเมินสมรรถนะของสายการผลิตที่แตกต่างกันในแง่มุมต่าง ๆ ภายใต้สถานการณ์ที่เหมือนกัน ซึ่งสมรรถนะของสายการผลิตรูปแบบต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ซึ่งตรงกันกับคำกล่าว De Carlo et al. (2013) ที่ได้กล่าวไว้ว่าลักษณะของสายการผลิตนั้นส่งผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะ (Performance) ของระบบการผลิตในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน

อุตสาหกรรมการผลิตสร้างผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product : GDP) คิดเป็นอัตราส่วนเฉลี่ยอยู่ที่ 28 % ต่อปี จากข้อมูลสถิติผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product : GDP) รายไตรมาสจำแนกตามกิจกรรมทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ตั้งแต่ไตรมาสที่ 1 ประจำปีพ.ศ. 2536 จนถึงไตรมาสที่ 4 ประจำปีพ.ศ. 2558 (NESDB, 2016) ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 1-1 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในอุตสาหกรรมการผลิตระหว่างกิจการขนาดกลางและขนาดย่อม (Small and Medium Enterprises : SMEs) ซึ่งมีข้อจำกัดในการเข้าถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบสายการผลิตและบุคลากร (Namchaisiri, 2015) เปรียบเทียบกับกิจการขนาดใหญ่ที่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าวได้ พบว่ากิจการขนาดใหญ่นั้นมีจำนวนกิจการเพียงร้อยละ 0.13 ของจำนวนกิจการภายในอุตสาหกรรมการผลิตแต่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศถึงร้อยละ 66 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของภาคอุตสาหกรรมการผลิตดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 1-2 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหากสามารถทำให้กิจการต่าง ๆ สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการออกแบบย่อมช่วยให้ศักยภาพในการแข่งขันของกิจการดีขึ้นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




**รูปที่ 1-1 ข้อมูล GDP ของอุตสาหกรรมการผลิตและประเทศปีพ.ศ. 2536 ถึง 2558 (Promotion, 2016)**




**รูปที่ 1-2 อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่าง GDP ของวิสาหกิจแยกตามขนาดกับ GDP ของภาคอุตสาหกรรมการผลิตของปีพ.ศ. 2558 (Promotion, 2016)**

นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาถึงแนวโน้มตลาดโลก อ้างอิงจากแผนแม่บทการพัฒนาอุตสาหกรรมไทยปี พ.ศ. 2555-2574 ซึ่งกล่าวไว้ว่าภายใต้กระแสโลกาภิวัตน์ส่งผลกระทบให้รูปแบบของการแข่งขันนั้นมีความซับซ้อนและเกิดการเปลี่ยนแปลงบ่อยยิ่งขึ้น กล่าวคือแนวโน้มของอุตสาหกรรมการผลิตในระดับโลกมีแนวโน้มในการผลิตเปลี่ยนจากการผลิตแบบจำนวนมาก (Mass production) ไปเป็นแนวคิดการผลิตที่ผสมผสานระหว่างแนวคิดการผลิตแบบจำนวนมากและแนวคิดการผลิตแบบทำตามสั่ง (Customization) รวมถึงแนวโน้มการผลิตของประเทศไทย ซึ่งถูกเรียกว่าเป็นแนวคิดในการผลิตแบบจำนวนมากแบบหลากหลาย (Mass customization) นั้นเอง ซึ่งจากแนวโน้มดังกล่าวทำให้ผู้ควบคุมสายการผลิตตอบสนองโดยการเปลี่ยนแปลงวิธีการบริหารสายการผลิตของตน โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวคือการเปลี่ยนแนวทางในการจัดสายการผลิต มิได้หมายถึงการปรับเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ เนื่องจากการปรับเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรมีค่าใช้จ่ายที่สูงและจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานาน ในขณะที่การปรับเปลี่ยนแนวทางในการจัดสายการผลิตสามารถปรับเปลี่ยนได้อย่างรวดเร็วและสามารถตอบสนองต่อความประสงค์ที่เปลี่ยนไปได้อย่างทันท่วงที ซึ่งในการปรับเปลี่ยนแนวทางในการจัดสายการผลิตจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนด

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตในปัจจุบันมักเน้นการปรับปรุงความสมดุลของสายการผลิต (Line balancing) จนละเลยต่อสมรรถนะด้านอื่น ๆ ของสายการผลิตหรือความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนด นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังมีความเหมาะสมสำหรับสายการผลิตที่ได้เริ่มดำเนินการไปแล้ว เนื่องจากข้อมูลนำเข้าที่ต้องการจะสามารถทราบเมื่อสายการผลิตได้เริ่มทำงานแล้วเท่านั้น ทำให้วิธีการดังกล่าวไม่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสายการผลิตให้แก่ผู้ผลิตรายใหม่ที่ยังไม่มีโรงงานเป็นของตนเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบฮิวริสติกสำหรับการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต และทำการรวบรวมตัวชี้วัดสำหรับใช้ในการประเมินสมรรถนะสายการผลิต โดยสายการผลิตที่ทำการออกแบบหรือปรับปรุงต้องสามารถตอบสนองต่อความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนดได้

**1.3. ขอบเขตของงานวิจัย**

1.) งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอวิธีการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต โดยทำการพิจารณาในองค์ประกอบของการเลือกทรัพยากร การจัดสรรทรัพยากร การจัดกลุ่มสถานีงาน การเลือกเส้นทางการผลิตและการจัดสายการผลิต

2.) ทรัพยากรที่ทำการพิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้คือเครื่องจักร (Machine) แรงงาน (Labor) ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเท่านั้น

3.) ฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่ออกแบบสามารถใช้ได้ในสายการผลิตแบบช่วงตอน (Intermittent production line) เท่านั้น

4.) ฮิวริสติกที่นำเสนอครอบคลุมสำหรับการจัดตั้งสายการผลิตใหม่และการปรับปรุงสายการผลิตที่มีอยู่เดิม

5.) งานวิจัยฉบับนี้ครอบคลุมถึงการรวบรวมตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับประเมินสมรรถนะสายการผลิต และวิธีคำนวณ

**1.4. สมมติฐานงานวิจัย**

1.) แต่ละผลิตภัณฑ์มีรายการวัสดุ (Bill of material) และวิธีการผลิตเพียงรูปแบบเดียว

2.) ทรัพยากรที่กำลังพิจารณาสามารถอยู่ในสถานีงานเดียวกันได้

3.) ทำการออกแบบภายใต้กำลังการผลิตที่ถูกกำหนดให้

4.) ค่าใช้จ่ายของทรัพยากรเป็นค่าที่ถูกกำหนด

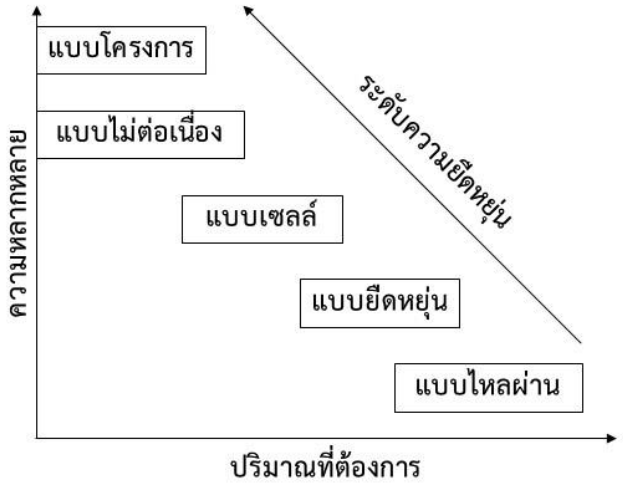
5.) ทรัพยากรในสถานีงานเดียวกันต้องทำการผลิตกระบวนการเดียวกันหรือทำการปรับตั้งทรัพยากรพร้อมกันตลอดเวลา

6.) การเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนจากทรัพยากรหนึ่งไปอีกทรัพยากรหนึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตสูงสุดของแต่ละทรัพยากร

Chulalongkorn University

## 1.5. ปัญหางานวิจัย

การออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้สายการผลิตที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนดในสถานการณ์ที่กำหนดไว้ได้ โดยสายการผลิตที่ทำการออกแบบมานั้นต้องสามารถใช้งานได้ มีสมรรถนะที่ดีและสามารถตอบสนองต่อความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนดได้ โดยใช้เงินลงทุนในการซื้อทรัพยากรต่ำที่สุด การออกแบบสายการผลิตต้องทำการออกแบบองค์ประกอบทั้ง 5 องค์ประกอบได้แก่ 1.) การเลือกทรัพยากร 2.) การจัดสรรทรัพยากร 3.) การจัดสรรกลุ่มทรัพยากร 4.) การเลือกเส้นทางการผลิต และ 5.) การแบ่งสายการผลิต โดยทั้ง 5 องค์ประกอบถูกพิจารณาภายใต้ความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนด เนื่องจากสายการผลิตมีการแบ่งออกเป็นลักษณะต่าง ๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 1-3 โดยสายการผลิตแต่ละลักษณะมีความเหมาะสมกับความต้องการและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน รวมไปถึงข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปดังที่แสดงในตารางที่ 1-1 เช่นหากมีความต้องการสายการผลิตสำหรับทำการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิดและมีเส้นทางการผลิตที่หลากหลาย ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีความเหมาะสมกับสายการผลิตรูปแบบไม่ต่อเนื่อง (Job shop) ในการออกแบบสายการผลิตมักอาศัยหลักการแบบลองผิดลองถูก (Trial and error method) ซึ่งหลักการดังกล่าวต้องใช้ระยะเวลานานเพื่อให้ได้รับสายการผลิตที่เหมาะสม




**รูปที่ 1-3 การแบ่งชนิดของสายการผลิต**

**ตารางที่ 1-1 ลักษณะทั่วไปของสายการผลิตลักษณะต่าง ๆ (Mohamed and Khan, 2012)**

| | ลักษณะสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| มุมมองด้านการผลิต | โครงการ (Project) | ไหลผ่าน (Flow shop) | ไม่ต่อเนื่อง (Jobshop) | เซลล์ (Cellular) | ยืดหยุ่น (Flexible) |
| ลักษณะของเทคโนโลยีภายในกระบวนการ | ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ | เฉพาะเจาะจง | ทั่วไป | เฉพาะเจาะจง | ทั่วไป |
| ความยืดหยุ่นของกระบวนการ | สูง | ต่ำ | สูง | ต่ำ | สูง |
| ปริมาณการผลิต | ต่ำ | สูง | ต่ำ | สูง | สูง |
| การเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต | เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง | เพิ่มเป็นขั้นบันได | เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง | เพิ่มเป็นขั้นบันได | เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง |
| จุดมุ่งหมายหลัก | ตอบสนองต่อคุณสมบัติของชิ้นงานและกำหนดการส่ง | ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ | ตอบสนองต่อคุณสมบัติของชิ้นงานและกำหนดการส่ง | ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ | รองรับต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลนำเข้าสำหรับการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ 1.) รายการของทรัพยากรที่สามารถเลือกใช้ 2.) รายการของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต และ 3.) ความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.) รายการของทรัพยากรที่สามารถเลือกใช้ในสายการผลิตได้

1.1) ชื่อของทรัพยากร

1.2) ชนิดและกระบวนการของผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้

1.2.1) จำนวนและชนิดของชิ้นส่วนนำเข้า (Input) และ ผลลัพธ์ (Output)

1.2.2) อัตราการผลิต

1.3) ต้นทุนการซื้อเครื่องจักร (Initial cost)

2.) รายการของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้สายการผลิตของตนทำการผลิต

2.1) ชื่อของผลิตภัณฑ์

2.2) รายการวัสดุ (Bill of material)

2.2.1) ชนิดของชิ้นส่วนที่ต้องใช้

2.2.2) จำนวนของชิ้นส่วนที่ต้องใช้

2.3) แผนภูมิกระบวนการผลิต

3.) ข้อจำกัดที่ถูกกำหนด

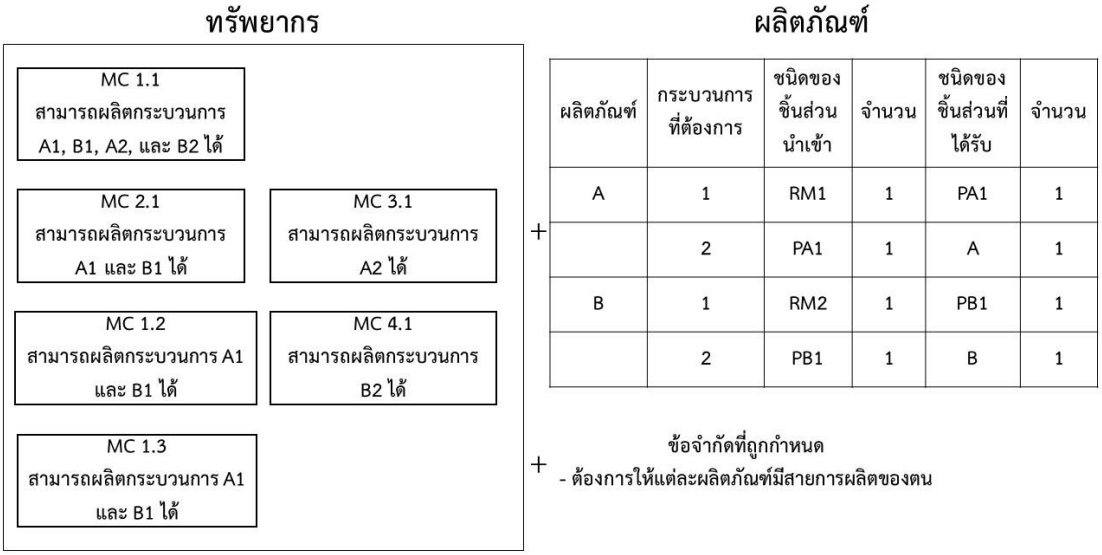
3.1) กำลังการผลิตขั้นต่ำที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

3.2) เงินลงทุนสูงสุด

3.3) ข้อกำหนดของตัวชี้วัดต่าง ๆ

ดังที่แสดงในรูปที่ 1-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



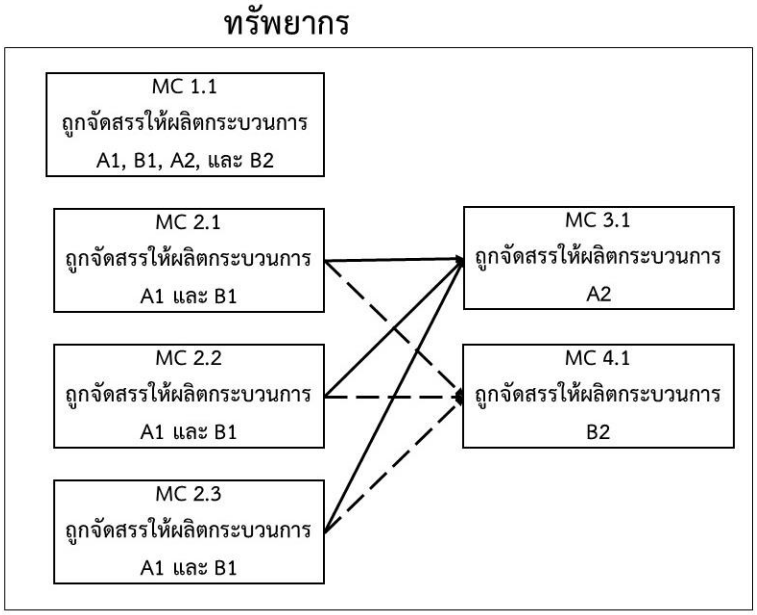

**รูปที่ 1-4 ภาพรวมการออกแบบสายการผลิต**

การออกแบบสายการผลิตเริ่มต้นจากการเลือกทรัพยากรที่ต้องการเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการที่ถูกกำหนดได้ โดยการเลือกทรัพยากรมีวัตถุประสงค์ในการเลือกทรัพยากรที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด หลังจากนั้นจึงใช้ชุดของทรัพยากรที่ทำการเลือกมา รวมไปถึงข้อมูลส่วนที่ 2 และ 3 ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 1-5 เพื่อใช้ในการออกแบบองค์ประกอบ การจัดสรรทรัพยากร การจัดกลุ่มทรัพยากร การเลือกเส้นทางการผลิตและการแบ่งสายการผลิต โดยทำการวิเคราะห์ถึงลักษณะที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์และคุณสมบัติของทรัพยากรที่ต้องทำการผลิต รวมไปถึงความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนด เพื่อทำการออกแบบสายการผลิตในเบื้องต้นซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 1-6 สำหรับรูปที่ 1-5 ถึงรูปที่ 1-7 ชื่อของทรัพยากรจะแสดงอยู่ในรูปของ “MC x.y” โดย x หมายถึงชนิดของทรัพยากรและ y คือหมายเลขของทรัพยากร และจะทำการระบุถึงกระบวนการที่ทำได้อยู่ในรูปแบบเช่น A1 หมายถึงกระบวนการที่ 1 ของผลิตภัณฑ์ A หรือ B2 หมายถึง กระบวนการที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ B

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ผลิตภัณฑ์ | กระบวนการที่ต้องการ | ชนิดของชิ้นส่วนนำเข้า | จำนวน | ชนิดของชิ้นส่วนที่ได้รับ | จำนวน |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | RM1 | 1 | PA1 | 1 |
| | 2 | PA1 | 1 | A | 1 |
| B | 1 | RM2 | 1 | PB1 | 1 |
| | 2 | PB1 | 1 | B | 1 |

**รูปที่ 1-5 ข้อมูลนำเข้าสำหรับการออกแบบสายการผลิตเมื่อไม่พิจารณาถึงข้อจำกัดที่ถูกกำหนด**

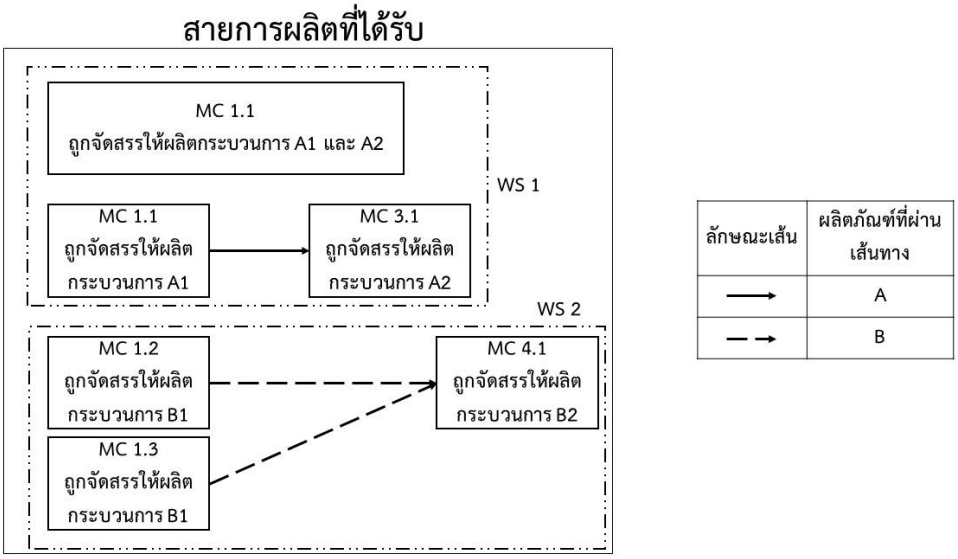



| ลักษณะเส้น | ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเส้นทาง |
|---|---|
| ——→ | A |
| — — → | B |

**รูปที่ 1-6 สายการผลิตที่ได้รับเมื่อไม่พิจารณาถึงข้อจำกัดที่ถูกกำหนด**

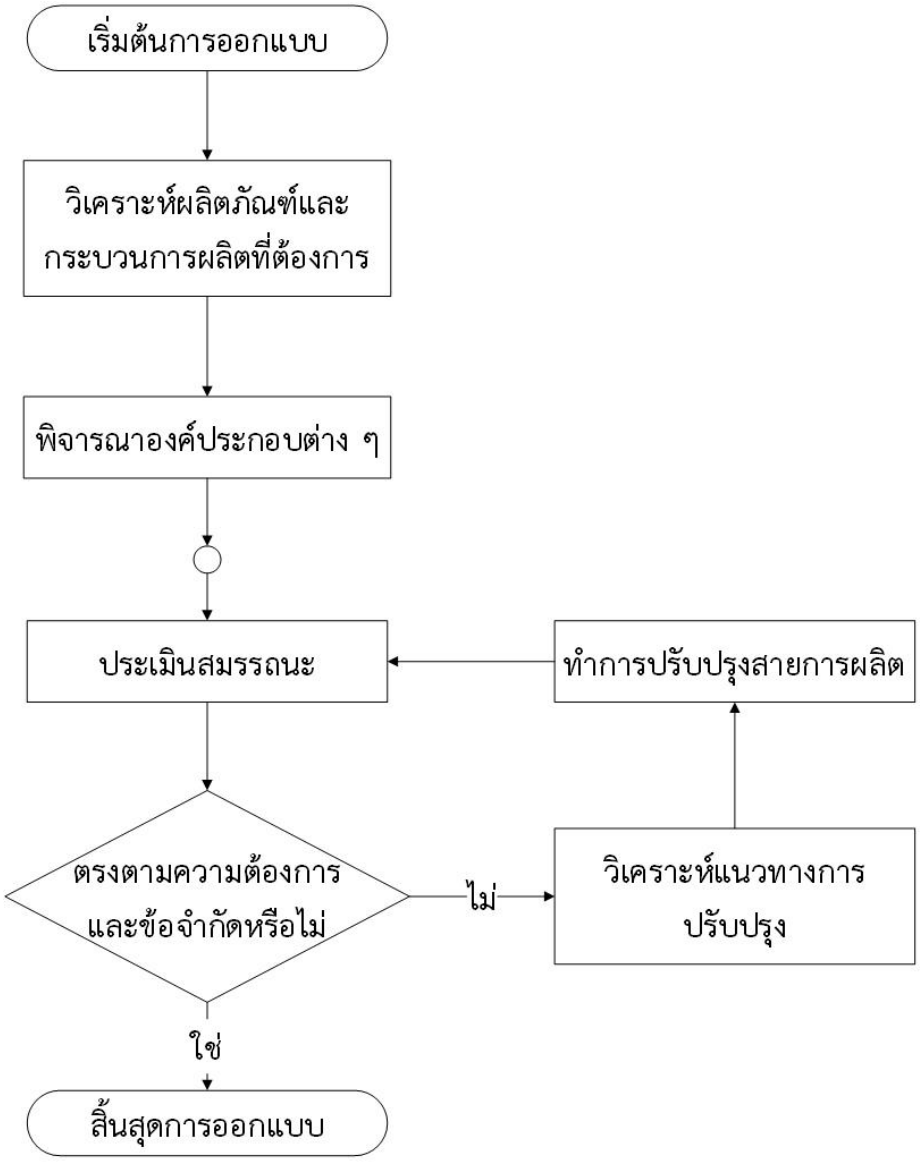
หลังจากนั้นผู้ออกแบบสายการผลิตจึงทำการประเมินสมรรถนะของสายการผลิตว่าเป็นไปตามความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนดหรือไม่ หากไม่สามารถทำได้ตรงตามความต้องการและข้อจำกัดเหล่านั้น ผู้ออกแบบจะทำการปรับปรุงด้วยหลักการแบบลองผิดลองถูกจนกระทั่งได้รับเป็นสายการผลิตสุดท้ายดังที่แสดงในรูปที่ 1-7 ซึ่งตัวชี้วัดสมรรถนะของสายการผลิตอาจถูกกำหนดให้เป็นข้อจำกัดในการออกแบบได้เช่นกัน ซึ่งในขั้นตอนการประเมินสมรรถนะของสายการผลิตมีความสำคัญ

อย่างมาก เนื่องจากตัวชี้วัดสมรรถนะสายการผลิตนั้นถูกตีความจากความเข้าใจของผู้ประเมินทั้งในแง่มุมของตัวชี้วัดที่ใช้และวิธีการคำนวณค่าของตัวชี้วัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อแนวทางในการปรับปรุงสายการผลิต ทางผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะออกแบบวิธีการที่ใช้ในการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่กล่าวมาในข้างต้น นอกจากนี้การที่จะประเมินผลว่าวิธีการออกแบบสายการผลิตที่ทำการออกแบบมานั้นมีความสามารถในการออกแบบและปรับปรุงได้ดีเพียงใดและมีความเหมาะสมในสถานการณ์เช่นไร ย่อมต้องระบุตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของสายการผลิตเสียก่อน ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้นอกจากนำเสนอฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต รวมถึงการรวบรวมตัวชี้วัดและการตีความวิธีการคำนวณ




**รูปที่ 1-7 สายการผลิตที่ได้รับเมื่อพิจารณาถึงข้อจำกัดที่ถูกกำหนด**

สายการผลิตที่ถูกออกแบบหรือปรับปรุงมานั้นถูกทำการประเมินสมรรถนะใน 4 ด้าน (Anders, 2008) คือ 1.) ด้านปริมาณ (Volume) 2.) ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) 3.) ด้านความไว (Agility) และ 4.) ด้านความทนทาน (Robustness) ซึ่งตัวประเมินสมรรถนะแต่ละด้านจะประกอบไปด้วยตัวชี้วัดหลักต่าง ๆ ซึ่งขั้นตอนในการออกแบบสายการผลิตสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1-8




**รูปที่ 1-8 ขั้นตอนการออกแบบสายการผลิตทั่วไป**

ทางผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะพัฒนาฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตภายใต้ทรัพยากรที่มี ในระบบการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการผลิตมากกว่า 1 ชนิดผลิตภัณฑ์และมีจำนวนทรัพยากรในแต่ละกระบวนการมากกว่า 1 หน่วย โดยวิธีการที่นำเสนอใช้ในการทำการออกแบบ 5 องค์ประกอบคือ 1.) การเลือกทรัพยากร (Resource selection) 2.) การจัดสรรทรัพยากร (Resource assignment) 3.) การจัดกลุ่มทรัพยากร (Resource grouping) 4.) การเลือกเส้นทางการผลิต (Route selection ) และ 5.) การแบ่งสายการผลิต (Production line separation) โดย

สมรรถนะของสายการผลิตถูกทำการประเมินด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะของสมรรถนะสายการผลิตทั้ง 4 ด้านที่ทำการรวบรวมมา

### 1.6. ผลลัพธ์จากงานวิจัย

ผลลัพธ์จากงานวิจัยฉบับนี้คือฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่สามารถใช้ได้ทั้งกรณีทำการออกแบบสายการผลิตใหม่หรือหรือปรับปรุงสายการผลิตที่มีอยู่แล้ว โดยฮิวริสติกที่ทำการพัฒนาขึ้นมีความสามารถในการออกแบบทั้ง 5 องค์ประกอบคือ 1.) การเลือกทรัพยากร 2.) การจัดสรรทรัพยากร 3.) การจัดกลุ่มทรัพยากร 4.) การเลือกเส้นทางการผลิต และ 5.) การแบ่งสายการผลิต โดยผลที่ได้จากฮิวริสติกอยู่ในรูปของสถานีงานและความสัมพันธ์ระหว่างสถานีงาน ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนด รวมไปถึงตัวชี้วัดสมรรถนะสายการผลิตที่ต้องใช้ในการประเมินสมรรถนะของสายการผลิตและวิธีการคำนวณตัวชี้วัดเหล่านั้น

### 1.7. ประโยชน์ที่ได้รับ

1.) ฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนด

2.) สามารถลดทรัพยากรที่ต้องใช้ในการออกแบบไม่ว่าจะเป็นค่าใช้จ่ายในการว่าจ้างผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์สูง ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ และระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบสายการผลิตรวมไปถึงการปรับปรุงสายการผลิต

3.) สามารถเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันภายใต้สถานการณ์ของตลาดโลกในปัจจุบันได้ โดยฮิวริสติกที่ทำการพัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในทุกกลุ่มอุตสาหกรรม และกิจการในทุกขนาด ที่มีระบบการผลิตแบบช่วงตอน

**1.8. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย**

1.) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.1) สมรรถนะที่จำเป็นต้องพิจารณา

1.2) ลักษณะของสายการผลิตรูปแบบต่าง ๆ

1.3) แนวทางในการออกแบบสายการผลิต

1.4) แนวทางในการปรับปรุงสายการผลิต

1.5) แนวการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์

2.) การรวบตัวชี้วัดและวิธีการชี้วัด

3.) ออกแบบและพัฒนา

3.1) วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้ฮิวริสติกสำหรับการออกแบบสายการผลิต

3.2) วิธีการวิเคราะห์ผลของสายการผลิต

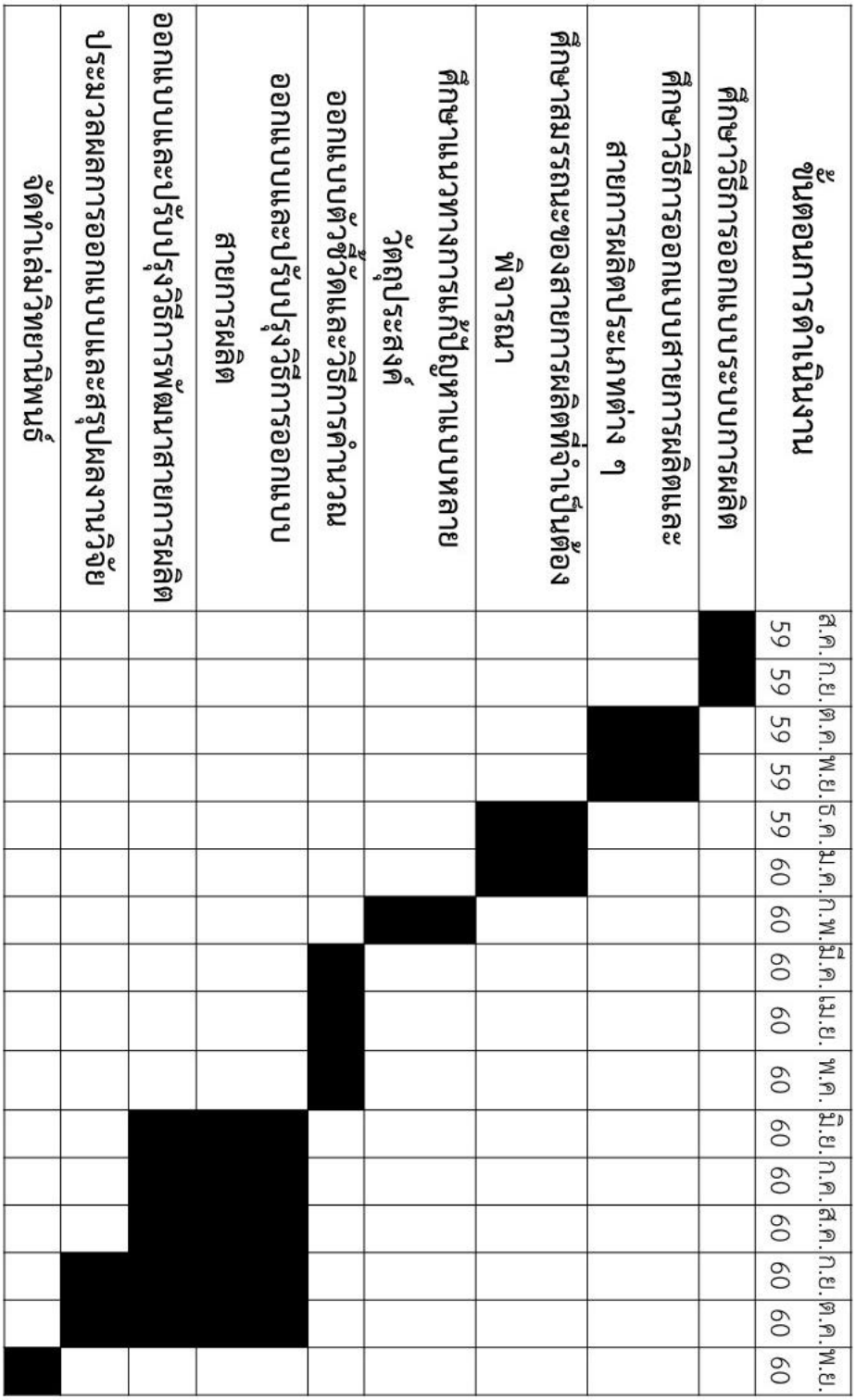
3.3) วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้ฮิวริสติกในการปรับปรุงสายการผลิต

4.) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.) จัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 1-2 ขั้นตอนการดำเนินงาน**



# บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1.1. ระบบ

ระบบ (System) (Stevenson, 2011) คือชุดขององค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กันและจำเป็นต้องทำงานร่วมกันเพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายได้ โดยระบบอาจจะเกิดขึ้นการจากการประกอบกันของระบบย่อย (Subsystem) ก็เป็นได้ โดยแนวทางของระบบนั้นจำเป็นอย่างยิ่งทั้งขั้นตอนของการออกแบบ การปรับปรุง การพัฒนา การนำไปใช้ หรือในกรณีใดก็ตามที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

### 2.1.2. ระบบการผลิต

ระบบการผลิต (Manufacturing system) หมายถึงระบบของกระบวนการภายในอุตสาหกรรมที่มีเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ (Papadopoulos et al., 2009) โดยทำการใช้ทรัพยากรเช่น เครื่องจักร แรงงาน เครื่องมือ หรือวัตถุดิบเป็นต้น องค์ประกอบของการผลิต (Manufacturing) จะแบ่งเป็น 3 ส่วนดังที่แสดงในรูปที่ 2-1 ซึ่งสามารถสรุปออกมาได้ดังนี้

1.) ทรัพยากร คือสิ่งที่จำเป็นต้องใช้เพื่อใช้ในการสร้างผลลัพธ์ได้แก่ เงินลงทุน วัตถุดิบ พลังงานเป็นต้น

2.) ระบบ หมายถึงการบริหารการจัดการทรัพยากรที่มีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

3.) ผลลัพธ์ ได้แก่ สินค้าผลิตได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า หรือ ความสิ้นเปลือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**รูปที่ 2-1 องค์ประกอบของการผลิต**

### 2.1.3. สายการผลิต

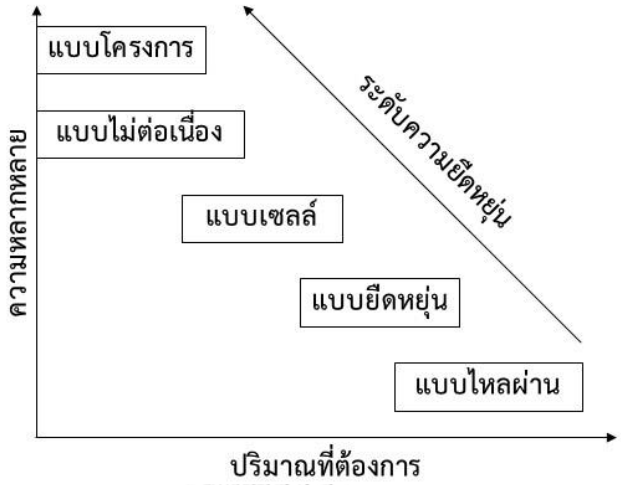
สายการผลิต (Production line) (Stevenson, 2011, Papadopoulos et al., 2009, Russell and III, 2011) คือการจัดสรรทรัพยากรที่มี โดยทำการจัดสรรในลักษณะของการแบ่งสถานีงานและการจัดลำดับของสถานีงาน ซึ่งในแต่ละสถานีงานจะประกอบไปด้วยทรัพยากรต่าง ๆ โดยอาจมีเพียงหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งทรัพยากรก็เป็นได้ ซึ่งในการจัดสรรดังกล่าวมักจะถูกจัดสรรโดยคำนึงถึง

1.) ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่ระบบต้องรองรับ

2.) ความยืดหยุ่นของทรัพยากรที่ต้องการ

3.) ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




**รูปที่ 2-2 การแบ่งชนิดของสายการผลิต**

ในรูปที่ 2-2 อธิบายว่าสายการผลิตนั้นถูกแบ่งออกเป็นรูปแบบต่าง ๆ โดยอาศัยปริมาณที่ต้องการผลิตและความหลายหลากของชนิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต โดยเริ่มจากลักษณะสายการผลิตรูปแบบโครงการที่มีปริมาณการผลิตต่ำ แต่มีความหลากหลายและความยืดหยุ่นสูง จนกระทั่งสายการผลิตรูปแบบไหลผ่านที่เหมาะสำหรับการผลิตที่ต้องการปริมาณมาก แต่จะมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และความยืดหยุ่นต่ำ ซึ่งลักษณะของสายการผลิตสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 รูปแบบดังนี้

**1. สายการผลิตแบบโครงการ (Project shop)**

สายการผลิตแบบโครงการมักใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตแบบไม่เป็นกิจวัตร (Non-routine) และใช้ทรัพยากรที่มีลักษณะเฉพาะ โดยสายการผลิตรูปแบบนี้จะให้ผลิตภัณฑ์อยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย แล้วจึงทำการเคลื่อนย้ายทรัพยากรต่าง ๆ เข้ามาทำการผลิต ณ บริเวณที่ผลิตภัณฑ์ตั้งอยู่ โดยสายการผลิตรูปแบบนี้เหมาะกับสายการผลิตที่มีมูลค่าสูงเช่นเรือ รถไฟ เครื่องบิน เป็นต้น โดยทรัพยากรภายในสายการผลิตนั้นจะมีการใช้งาน (Utilization) ของทรัพยากรต่ำ

**2. สายการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job shop)**

สายการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องเหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการจำนวนน้อยแต่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์สูง ซึ่งสายการผลิตลักษณะดังกล่าวจะมี

ความยืดหยุ่นสูง แต่ลักษณะของทรัพยากรที่ใช้ต้องไม่ใช่ทรัพยากรที่มีลักษณะเฉพาะ โดยการจัดสายการผลิตลักษณะนี้จะมีการแบ่งสถานีงาน (Work-station) ตามกระบวนการ ซึ่งเรียกว่าเป็นผังแบบกระบวนการ (Process layout) แต่สายการผลิตดังกล่าวก่อให้เกิดความซับซ้อนในการวางแผนการผลิต และจะเกิดการปรับตั้ง (Setup) ทรัพยากรหลากหลายครั้ง

**3. สายการผลิตแบบเซลล์ (Cellular manufacturing)**

สายการผลิตแบบเซลล์นั่นคือรูปแบบหนึ่งของผังโรงงานโดยทำการจัดกลุ่มทรัพยากรหรือสถานีงานที่ทำการผลิตกระบวนการที่แตกต่างกันเข้าเป็นกลุ่มที่เรียกว่าเซลล์ (Cell) โดยทำการพิจารณาจากกระบวนการผลิตที่ต้องการเพื่อทำกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่มีความคล้ายคลึงกันและมีกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน โดยสายการผลิตรูปแบบนี้เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย โดยก่อให้เกิดของเสียเพียงเล็กน้อยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับสายการผลิตรูปแบบอื่น นอกจากนี้ยังทำให้เกิดชิ้นงานระหว่างกระบวนการ (Work in process) จำนวนน้อย ช่วยให้พื้นที่ที่ต้องการสำหรับการตั้งระบบการผลิตและเวลานำที่ใช้ในการผลิต (Lead time) มีค่าน้อยลง แต่ในขณะเดียวกันทำให้ผลิตผล คุณภาพและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่สายการผลิตแบบเซลล์นั้นมีข้อเสียเนื่องจากการสร้างสายการผลิตแบบเซลล์จำเป็นต้องใช้เงินทุนที่สูง นอกจากนี้ยังจำเป็นที่จะต้องฝึกฝนพนักงานเพื่อให้สามารถทำงานที่หลากหลายได้ ยิ่งไปกว่านั้นหากมีการแบ่งเซลล์ หรือการจัดกลุ่มของผลิตภัณฑ์ไม่เหมาะสมจะทำให้สมรรถนะของสายการผลิตมีค่าน้อยลงอย่างมากหรืออาจเกิดความไม่สมดุล (Balance) ระหว่างเซลล์ขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**4. สายการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible manufacturing)**

สายการผลิตแบบยืดหยุ่นจะทำการออกแบบโดยอาศัยการควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ โดยจะทำการแบ่งกลุ่มของเครื่องจักรออกเพื่อให้รองรับต่อลักษณะของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะผลิต ซึ่งสายการผลิตดังกล่าวมีความประสงค์เพื่อรองรับต่อความไม่สม่ำเสมอของความต้องการ (Requirement) ของผลิตภัณฑ์ โดยสายการผลิตแบบยืดหยุ่นนั้นจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับทรัพยากรด้านแรงงานที่ต่ำและยังได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคงที่ แต่สายการผลิตแบบยืดหยุ่นจะมีข้อจำกัดคือกลุ่มของผลิตภัณฑ์นั้นมีความหลากหลายที่น้อยกว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกันสายการผลิตแบบเซลล์

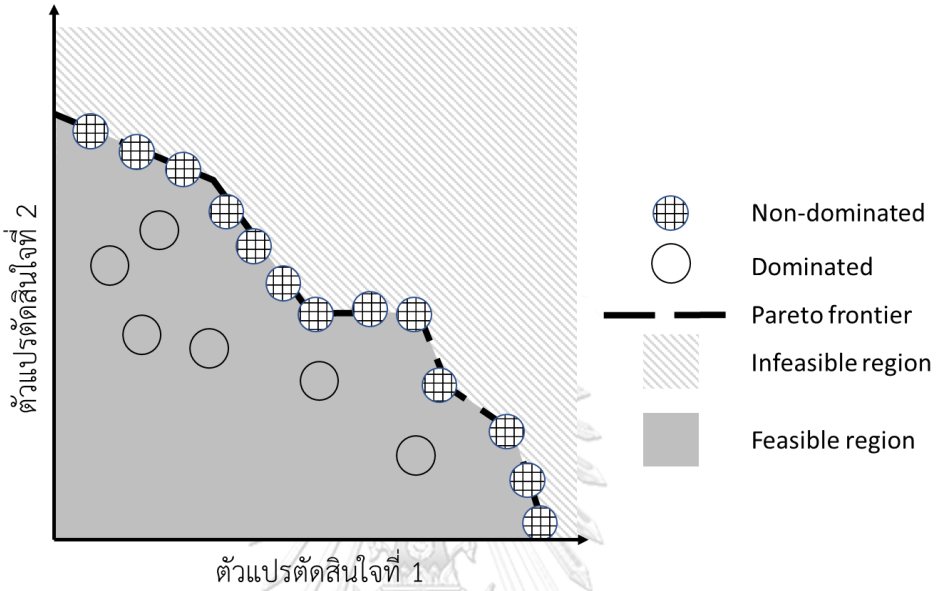
**5. สายการผลิตแบบไหลผ่าน (Flow line)**

สายการผลิตแบบไหลผ่านนั้นจะมีความเหมาะสมสำหรับระบบการผลิตที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ต่ำและมีปริมาณการผลิตที่ปริมาณมาก และยังมีการผลิตซ้ำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสายการผลิตดังกล่าวจะทำการแบ่งผังตามผลิตภัณฑ์ (Product layout) ซึ่งทำให้ลักษณะการไหลของชิ้นงานมีความราบลื่นและรวดเร็ว ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดการประหยัดต่อขนาด (Economy of scale) ขึ้น นอกจากนี้สายการผลิตที่ได้จะมีการใช้งาน (Utilization) สูง แต่สายการผลิตลักษณะดังกล่าวนั้นจะมีความยืดหยุ่นที่ต่ำ เนื่องการทรัพยากรที่ใช้นั้นมีความเหมาะสมเพียงแค่ผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์เดียวเท่านั้น นอกจากนี้หากมีทรัพยากรใดทรัพยากรหนึ่งในสายการผลิตหยุดชะงักลงมักจะส่งผลต่อทั้งสายการผลิต

### 2.1.4. การหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายวัตถุประสงค์

การหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective optimization) (Collette and Siarry, 2004) เป็นรูปแบบหนึ่งของการหาค่าเหมาะสมสุด (Optimization) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีเพียงวัตถุประสงค์เดียว ในปัญหาการหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายวัตถุประสงค์นั้นความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์มักจะเกิดการแลกเปลี่ยน (Trade-off) กัน กล่าวคือเมื่อมีค่าวัตถุประสงค์หนึ่งเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ค่าวัตถุประสงค์บางค่าเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงข้าม ซึ่งในการแก้ปัญหาลักษณะนี้จะมีคำตอบทางเลือก (Alternative solution) เกิดขึ้น เนื่องจากในแต่ละคำตอบนั้นย่อมมีค่าวัตถุประสงค์บางค่าสูง แต่ในขณะเดียวกันจะไม่สามารถทำให้ค่าวัตถุประสงค์ทุกค่าสูงพร้อมกันได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเปรียบเทียบระหว่างคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละวัตถุประสงค์ โดยหากคำตอบที่ x มีค่าวัตถุประสงค์ดีกว่าคำตอบ y ในบางวัตถุประสงค์จะเรียกว่าคำตอบ x และคำตอบ y เป็นคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (Non-dominated solution) แต่หากคำตอบ x ดีกว่าคำตอบ y ในทุกวัตถุประสงค์จะเรียกว่าคำตอบที่ x ครอบงำ (Dominate) คำตอบที่ y ซึ่งเรียกคำตอบที่ x ว่าเป็นคำตอบที่ครอบงำ (Dominance solution) และเรียกคำตอบที่ y ว่าเป็นคำตอบที่ถูกครอบงำ (Dominated solution) ซึ่งคำตอบที่ครอบงำและคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำจะถูกเรียกว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด (Pareto optimal solution) ซึ่งเมื่อรวมกลุ่มของค่าที่เหมาะสมที่สุดจะเรียกว่าเป็นกลุ่มของค่าที่เหมาะสมที่สุด (Pareto

optimal set) ซึ่งจะก่อให้เกิดขอบเขตของค่าที่เหมาะสมที่สุด (Pareto optimal frontier) ขึ้น โดยจะถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 2-3




**รูปที่ 2-3 องค์ประกอบของการหาค่าเหมาะสมสุดแบบหลายวัตถุประสงค์**

### 2.1.5. ฮิวริสติก

ฮิวริสติก (Heuristic) (Rothlauf, 2011, Winston and Goldberg, 2004) หรือวิธีการแก้ปัญหาแบบสามัญสำนึกนั้นเป็นหนึ่งในวิธีสำหรับหาค่าเหมาะสมสุด (Optimal solution) แต่ทั้งนี้การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกจะไม่สามารถรับรองได้ว่าคำตอบที่ได้นั้นจะเป็นค่าเหมาะสมสุด เนื่องจากวิธีการหาคำตอบของฮิวริสติกจะใช้อัลกอริทึม (Algorithm) ในการพิจารณา และใช้หลักการลองผิดลองถูก (Trial and error) แต่การใช้ ฮิวริสติกในการแก้ปัญหาจะช่วยให้ช่วยให้สามารถหาคำตอบที่ดีได้อย่างรวดเร็วกว่าวิธีการทั่วไป ดังนั้นในการที่จะออกแบบอัลกอริทึมสำหรับฮิวริสติก ผู้ออกแบบจำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจถึงลักษณะและโครงสร้างของปัญหาที่จะใช้ฮิวริสติกในการหาคำตอบ โดยฮิวริสติกที่ทำการออกแบบจำเป็นต้องถูกประเมินเพื่อให้สามารถทราบถึงสมรรถนะของฮิวริสติกนั้น ๆ โดยจะทำการประเมินในทั้งสิ้น 3 แง่มุม 1.) ขอบเขตของคำตอบ (Performance guarantees) ว่าในกรณีที่แย่ที่สุดนั้นมีค่าวัตถุประสงค์แตกต่างจากค่าเหมาะสมสุดมากน้อยเพียงใด 2.) การวิเคราะห์จากความน่าจะเป็นของข้อมูลนำเข้าที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากโจทย์ที่ฮิวริสติกถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหา และ 3.) การ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิเคราะห์จากการเปรียบเทียบ (Empirical analysis) ว่าผลของฮิวริสติกนั้นจะคลาดเคลื่อนจากค่าเหมาะสมสุดประมาณเท่าใด โดยทั่วไปฮิวริสติกจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1.) ฮิวริสติกแบบสร้าง (Construction heuristic) ซึ่งจะเป็นการหาคำตอบสุดท้ายภายในขั้นตอนเดียว โดยใช้วิธีการหาแบบเป็นขั้นตอน (step-wise) โดยทำการตัดสินใจทีละหนึ่งตัวแปรตัดสินใจ โดยเมื่อตัดสินใจครบทุกตัวแปรตัดสินใจ ฮิวริสติกจะไม่ทำการปรับปรุงตัวแปรตัดสินใจอีก

2.) ฮิวริสติกแบบพัฒนา (Improvement heuristic) เริ่มจากการหาคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) ทำการพัฒนาในหลากหลายรูปแบบ แล้วทำการเปรียบเทียบคำตอบในแต่ละรูปแบบ แล้วจึงทำการสร้างชุดของคำตอบใหม่ขึ้นมา โดยฮิวริสติกรูปแบบนี้จะมีแนวทางในการหยุดการหาคำตอบที่ต่างจากฮิวริสติกแบบสร้าง กล่าวคือฮิวริสติกแบบพัฒนาจะสิ้นสุดกระบวนการเมื่อไม่สามารถทำการพัฒนาคำตอบได้ภายในขอบเขตที่ทำการกำหนดไว้ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของระยะเวลา หรือจำนวนชุดที่ทำการทดสอบ เป็นต้น

### 2.1.6. ตัวชี้วัดสมรรถนะหลัก

ตัวชี้วัดสมรรถนะหลัก (Key performance indicators : KPIs) (Parmenter, 2015) คือตัวชี้วัดที่ใช้แสดงถึงสมรรถนะของแง่มุมที่องค์กรให้ความสนใจ โดยถูกตัดสินใจหรือเลือกจากตัวชี้วัดสมรรถนะ (Performance indicators : PIs) ซึ่งตัวชี้วัดเหล่านี้มักถูกกำหนดขึ้นมาจากพันธกิจ (Mission) วิสัยทัศน์ (Vision) หรือคุณค่า (Value) ที่องค์กรกำหนดไว้ โดยตัวชี้วัดหลักต้องมีลักษณะดังนี้ 1.) ไม่มีความเกี่ยวข้องกับการเงิน (Nonfinancial) 2.) มีการระบุความถี่ในการตรวจสอบ 3.) ผู้บริหารให้ความสนใจ 4.) เข้าใจง่าย 5.) มีผู้รับผิดชอบที่ 6.) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ และ 7.) ส่งเสริมสภาพแวดล้อมภายในองค์กร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบสายการผลิตนั้นเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการจัดผังโรงงาน (Facility layout problem) โดยการจัดผังโรงงานที่ดีนั้นทำให้สมรรถนะของระบบการผลิตมีค่าสูง ซึ่งช่วยให้ค่าใช้จ่ายลดลงอย่างมาก (Drira et al., 2007) โดยปัญหาในการออกแบบสายการผลิตนั้นนับเป็นปัญหายาก

(non-polynomial hard problem : NP-hard problem) (Garey and Johnson, 1979) เมื่อออกแบบสายการผลิตเสร็จสิ้นย่อมต้องทำการประเมินสมรรถนะของสายการผลิตเนื่องจากมีหลากหลายงานวิจัย (Lavy et al., 2014, Hon, 2005, Berrah and Clivillé, 2007, Vasiljevic et al., 2013, Lebas, 1995) กล่าวตรงกันถึงความสำคัญของการประเมินสมรรถนะว่า มีประโยชน์ที่หลากหลายเช่น 1.) ทำให้ทราบว่าสามารถดำเนินงานได้ตรงตามเป้าหมายเพียงใด 2.) ทำให้สามารถระบุแนวทางในการปรับปรุง การประเมินสมรรถนะสายการผลิตทำได้โดยใช้ตัวชี้วัดผลการปฏิบัติงานหลัก ตัวชี้วัดนั้นมีวัตถุประสงค์ดังนี้ (Franklin Liu and Cheng Liu, 2008) 1.) สร้างความเข้าใจให้ตรงกัน 2.) เข้าใจถึงสถานการณ์ที่กำลังเกิดขึ้น 3.) เปรียบเทียบในกรณีต่าง ๆ และ 4.) เป็นแนวทางในการวางแผนการปรับปรุง

สำหรับการประเมินสมรรถนะสายการผลิตนั้นสมรรถนะจะถูกแบ่งออกเป็นทั้งสิ้น 4 ด้าน (Anders, 2008) ดังนี้ 1.) ด้านปริมาณ (Volume) 2.) ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) 3.) ด้านความไว (Agility) และ 4.) ด้านความทนทาน (Robustness) จากคำจำกัดความของสมรรถนะในแต่ละด้านสามารถตีความได้อย่างหลากหลาย เช่นในด้านของความยืดหยุ่นมีงานวิจัย (Jain et al., 2013) ทำการระบุว่าในระบบการผลิตนั้นควรจะทำการประเมินด้านความยืดหยุ่นในแง่มุมใดบ้างเช่น ความยืดหยุ่นของการขยายระบบ ความยืดหยุ่นของการเพิ่มผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ หรือความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิตเป็นต้น ซึ่งมีเพียงบางแง่มุมเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับสายการผลิตในขั้นตอนของการออกแบบ หรืองานวิจัยในด้านปริมาณ (Papadopoulos et al., 2009, Hopp and Spearman, 2011)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แต่ผู้วิจัยพบว่าในอดีตการออกแบบสายการผลิตมักพิจารณาเพียงสมรรถนะด้านปริมาณเท่านั้น เช่นความสมดุลระหว่างสถานีงานหรือความสมดุลของสายการผลิตที่มีการพัฒนามาต่อเนื่อง (Bentaha et al., 2015) เริ่มต้นจากการออกแบบภายใต้ความต้องการที่แน่นอน (Deterministic production line design) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อทำการลดจำนวนสถานีงานให้มีต่ำที่สุด โดยทำการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบสามัญสำนึก (Gupta and Gungor, 1999, Duta et al., 2008, Avikal et al., 2013a, Tang et al., 2001, Avikal et al., 2013b) หรือในเวลาต่อมาได้ทำการพัฒนาวิธีแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์โดยนำแนวคิดแบบรังมด (Ant colony algorithm) ซึ่งในเวลาต่อมาได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการพัฒนาวิธีการออกแบบภายใต้ความไม่แน่นอน (Non-deterministic production line design) (Ding et al., 2010b, Ding et al., 2010a)

นอกจากการออกแบบที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดจำนวนสถานีงาน ยังพบว่ามีงานวิจัยอีกส่วนหนึ่งที่ทำการออกแบบ โดยสนใจในแง่มุมของการค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายของวัสดุหรือการเคลื่อนที่ของข้อมูลให้มีค่าต่ำที่สุด โดยทำการออกแบบผังโรงงาน (Layout design) ซึ่งมีทั้งสำหรับผังโรงงานแบบคงที่ (Static) และผังโรงงานแบบเคลื่อนที่ (Dynamic) (Drira et al., 2007) โดยจะมีวิธีการทำแบ่งเป็น 4 รูปแบบได้แก่ 1.) สูตรแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete formulation) โดยใช้วิธีการของปัญหาการจัดสรรงานกำลังสอง (Quadratic Assignment Problem : QAP) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อทำการลดค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายของวัสดุให้มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบของแบบจำลองมากมายในหลากหลายงานวิจัย (Balakrishnan et al., 2003, Nearchou, 2006, Baykasoğlu and Gindy, 2001, McKendall et al., 2006) 2.) สูตรแบบต่อเนื่อง (Continual formulation) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดพื้นที่ที่ต้องใช้สำหรับผังโรงงานให้ต่ำที่สุด ซึ่งมีข้อกำหนดสำคัญคือต้องไม่มีพื้นที่ทับซ้อนระหว่างสถานีงานเกิดขึ้น โดยใช้วิธีการของกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer programming) ซึ่งมีนักวิจัยในอดีตมากมายได้ทำการพัฒนาวิธีการหาคำตอบขึ้น (Aiello et al., 2002, Lacksonen, 1997, Welgama and Gibson, 1993, Mir and Imam, 2001, Dunker et al ., 2005) 3.) กำหนดการแบบคลุมเครือ (Fuzzy programming) ซึ่งมีความเหมาะสมกับการออกแบบภายใต้ความไม่แน่นอนมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการเคลื่อนที่ของวัสดุ (Dweirt and Meier, 1996, Aiello and Enea, 2001, Deb and Bhattacharyya, 2005) โดยใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบสามัญสำนึก 4.) ปัญหาผังโรงงานแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective layout problem) โดยทำการประยุกต์วิธีแบบการตัดสินใจด้วยวิธีวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process: AHP) วัตถุประสงค์ที่สนใจมักจะเป็นค่าใช้จ่ายในการเคลื่อนย้ายของวัสดุ เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย ระยะทางที่ทำการเคลื่อนย้ายเป็นต้น ซึ่งในอดีตได้มีงานวิจัยหลากหลายฉบับที่ทำการพิจารณาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว (Yang et al., 2005, Aiello et al., 2006)

นอกจากนี้ยังมีแนวคิดในการจัดสรรงานซึ่งอยู่ในงานวิจัยประเภทการจัดสมดุลสายการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Multi-product assembly line balancing problem : MPALB) ที่ได้นำเสนอวิธีการจัดสรรงานลงไปยังแต่ละสถานีงาน ซึ่งสถานีงานต่าง ๆ จะได้ถูกกำหนดทรัพยากรภายในมาแล้ว โดยงานวิจัยประเภทดังกล่าวจะมุ่งเน้นไปที่การจัดสรรงานเมื่อทราบถึงวิธีการในการจัดวางทรัพยากรเป็นที่เรียบร้อยแล้ว แล้วจึงทำการจัดสรรงานเพื่อให้ใช้ทรัพยากรจำนวนน้อยที่สุด โดยทรัพยากรดังกล่าวหมายถึงพนักงานด้วย ในงานวิจัยประเภท MPALB จะมุ่งในเน้นในแต่ละทรัพยากรมีการใช้งานที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งในอดีตได้มีการนำเสนอวิธีการที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นการหาคำตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ด้วยวิธีการแบบโปรแกรมเป้า (Goal programming) (Kara et al., 2010) หรือใช้ฮิวริสติกด้วยวิธีการหาคำตอบข้างเคียง (Neighborhood search) (Pereira and Vilà, 2015) หรือการใช้วิธีเชิงพันธุศาสตร์ (Genetic algorithm) (Mamun et al., 2012) เป็นต้นเพื่อให้ได้คำตอบ โดยเมื่อมีจุดมุ่งหมายของการจัดวางสายการผลิตที่แตกต่างกัน รายละเอียดของแต่ละวิธีย่อมมีลักษณะแตกต่างกันออกไป

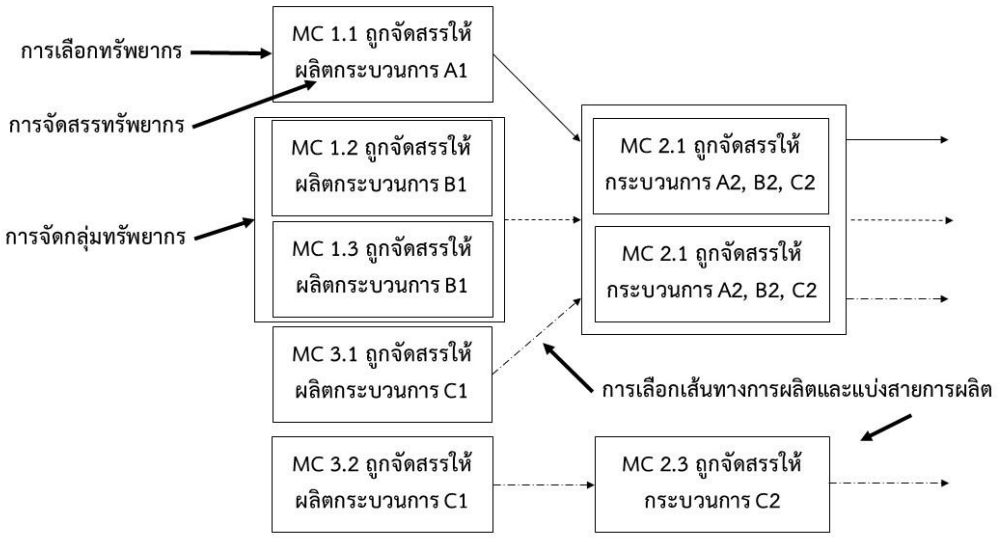
จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าการออกแบบสายการผลิตมักจะถูกเน้นไปที่แง่มุมใดแง่มุมหนึ่ง แต่ละเลยการหาแนวทางเพื่อทำการออกแบบสายการผลิตโดยทำการพิจารณาปัจจัยหลากหลายปัจจัยพร้อมกัน ประกอบกับความยากลำบากในการตีความหมายของตัวชี้วัดรวมไปถึงการหาวิธีคำนวณ งานวิจัยฉบับนี้จึงมีความต้องการที่จะทำการรวบรวมตัวชี้วัดและนำมาประยุกต์ใช้กับแนวทางการแก้ปัญหาแบบสามัญสำนึกสำหรับใช้ในการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 3 กระบวนการในการวิจัย

ในบทนี้จะทำการอธิบายแนวทางในการออกแบบ โดยการจะได้รับสายการผลิตที่สมบูรณ์จำเป็นต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบใดบ้าง และในการพิจารณาแต่ละองค์ประกอบมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ใด และทำการอธิบายถึงวิธีการประเมินในการประเมินสายการผลิต ว่าควรถูกประเมินในแง่มุมใดด้วยตัวประเมินใดบ้าง หลังจากนั้นจะกล่าวถึงขั้นตอนที่ใช้ในการออกแบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตรงกับความต้องการหรือข้อจำกัดที่ถูกกำหนด

## 3.1. องค์ประกอบของสายการผลิต




**รูปที่ 3-1 ผลลัพธ์จากการออกแบบสายการผลิต**

ในรูปที่ 3-1 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์จากการออกแบบสายการผลิตและองค์ประกอบของสายการผลิตที่ต้องทำการพิจารณา โดยประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 องค์ประกอบดังนี้ 1.) การเลือกทรัพยากร 2.) การจัดสรรทรัพยากร 3.) การจัดกลุ่มทรัพยากร 4.) การเลือกเส้นทางการผลิต และ 5.) การแบ่งสายการผลิต โดยองค์ประกอบทั้ง 5 องค์ประกอบมีจุดมุ่งหมายที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละองค์ประกอบเพื่อให้ได้สายการผลิตที่ประกอบไปด้วย 1.) ชนิดของทรัพยากรในสายการผลิต 2.) จำนวนของทรัพยากรแต่ละชนิด 3.) กระบวนการที่ทรัพยากรแต่ละหน่วยต้องรับผิดชอบ

4.) วิธีการแบ่งสถานีงาน และ 5.) การกำหนดเส้นทางการผลิต ซึ่งในแต่ละองค์ประกอบย่อมมีโจทย์พื้นฐานที่แตกต่างกัน ซึ่งทางผู้วิจัยจะทำการอธิบายถึงโจทย์พื้นฐานของแต่ละองค์ประกอบในภายหลัง

โดยวิธีการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่ออกแบบขึ้นต้องการข้อมูลนำเข้าดังนี้

1.) ข้อมูลนำเข้าของทรัพยากร

1.1) ชนิดของทรัพยากร

1.2) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

1.3) จำนวนหน่วยทรัพยากรที่สามารถเลือกได้สูงสุด

1.4) กำลังการผลิตสูงสุดต่อทรัพยากร

1.5) ค่าเผื่อของกำลังการผลิต

1.6) กระบวนการและชนิดผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้

1.6.1) ชนิดผลิตภัณฑ์

1.6.2) หมายเลขกระบวนการ

1.6.3) ระยะเวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิต

1.6.4) จำนวนและชนิดของชิ้นส่วนนำเข้า

1.6.5) จำนวนและชนิดของชิ้นส่วนที่ได้รับ

ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 3-1 และตารางที่ 3-2

**ตารางที่ 3-1 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของทรัพยากรส่วนที่ 1**

| ชนิดของทรัพยากร | ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (฿) | จำนวนที่สามารถเลือกได้สูงสุด | กำลังการผลิตสูงสุดต่อหน่วยทรัพยากร | ค่าเผื่อของกำลังการผลิต | ชนิดผลิตภัณฑ์ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 200 | 5 | 215 | 30 | A |
| | | | | | A |
| | | | | | B |
| 2 | 200 | 6 | 215 | 30 | B |
| | | | | | B |
| | | | | | A |

**ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของทรัพยากรส่วนที่ 2**

| หมายเลขกระบวนการ | ระยะเวลาการผลิต | จำนวนนำเข้า | ชนิดของชิ้นส่วนนำเข้า | จำนวนที่ได้รับ | ชนิดของชิ้นส่วนที่ได้รับ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | RM1 | 1 | PA1 |
| 2 | 1 | 1 | PA1 | 1 | PA2 |
| 3 | 1 | 1 | PB2 | 1 | FGB |
| 1 | 1 | 1 | RM2 | 1 | PB1 |
| 2 | 1 | 1 | PB1 | 1 | PB2 |
| 3 | 1 | 1 | PA2 | 1 | FGA |

2.) ข้อมูลนำเข้าของผลิตภัณฑ์

2.1) ชนิดผลิตภัณฑ์

2.2) กำลังการผลิตที่ต้องการ

2.3) หมายเลขกระบวนการ

2.4) จำนวนและชนิดของชิ้นส่วนนำเข้า

2.5) จำนวนและชนิดของชิ้นส่วนที่ได้รับ

ดังที่แสดงในตารางที่ 3-3

**ตารางที่ 3-3 ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าของผลิตภัณฑ์**

| ชนิดผลิตภัณฑ์ | กำลังการผลิตที่ต้องการ | หมายเลขกระบวนการ | จำนวนนำเข้า | ชนิดของชิ้นส่วนนำเข้า | จำนวนที่ได้รับ | ชนิดของชิ้นส่วนที่ได้รับ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 100 | 1 | 1 | RM1 | 1 | PA1 |
| | | 2 | 1 | PA1 | 1 | PA2 |
| | | 3 | 1 | PA2 | 1 | FGA |
| B | 100 | 1 | 1 | RM2 | 1 | PB1 |
| | | 2 | 1 | PB1 | 1 | PB2 |
| | | 3 | 1 | PB2 | 1 | FGB |

3.) ข้อจำกัดที่ถูกกำหนด เช่น

3.1) อัตราส่วนกำลังการผลิตคงเหลือ

3.2) จำนวนเส้นทางของผลิตภัณฑ์

การออกแบบองค์ประกอบของสายการผลิตทั้ง 5 องค์ประกอบจะถูกพิจารณาต่อกันเป็นลำดับ โดยเริ่มต้นจากการเลือกทรัพยากร เพื่อให้ทราบว่าทรัพยากรแต่ละชนิดรวมไปถึงการกำหนดว่าทรัพยากรแต่ละชนิดต้องทำการผลิตกระบวนใดของผลิตภัณฑ์ใด โดยองค์ประกอบการเลือกทรัพยากรจะทำการพิจารณาในแง่มุมของการเลือกทรัพยากร ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้รับกำลังการผลิตเพียงพอสำหรับกำลังการผลิตที่ต้องการที่ถูกกำหนดภายใต้ค่าใช้จ่ายที่สุด หลังจากนั้นจึงทำการจัดสรรทรัพยากรแต่ละหน่วยของทุกชนิดทรัพยากร สำหรับกระบวนการที่ถูกกำหนดไว้ในองค์ประกอบก่อนหน้า ซึ่งในขั้นตอนการจัดสรรทรัพยากรต้องทำการพิจารณาถึงระยะเวลาปรับตั้งของทรัพยากรที่สูงที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ สำหรับกรณีที่ทำการจัดสรรให้คู่ของกระบวนการที่ก่อให้เกิดระยะเวลาการปรับตั้งสูงอยู่ในทรัพยากรหน่วยเดียวกัน นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงจำนวนหน่วยทรัพยากรที่จะจัดสรรให้แต่ละกระบวนการ เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อจำกัดในขั้นตอนการจัดกลุ่มทรัพยากรและขั้นตอนการเลือกเส้นทางการผลิต โดยเมื่อทำการจัดสรรทรัพยากรเสร็จสิ้น ในลำดับถัดไปจะทำการพิจารณาว่าหน่วยใดของทรัพยากรที่ถูกจัดสรรด้วยกระบวนการหรือชุดของกระบวนการที่เหมือนกันควรจะทำการกำหนดให้อยู่ในสถานีงานเดียวกันเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการในภายหลัง หลังจากนั้นจึงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรหรือสถานีงานด้วยองค์ประกอบการเลือกเส้นทางการผลิตและแบ่งสายการผลิต ว่าควรมีการส่งผ่านชิ้นงานระหว่างทรัพยากรหรือสถานีงานใดบ้าง โดยอาศัยผังกระบวนการของแต่ผลิตภัณฑ์และกระบวนการที่ถูกจัดสรรของทรัพยากร โดยทำการตัดสินใจว่าอนุญาตให้เกิดการส่งต่อกันได้หรือไม่ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกเส้นทางการผลิตจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ นอกจากผังกระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียว เช่นการพิจารณาถึงวิธีการหรือความซับซ้อนในการจัดการเมื่อนำสายการผลิตไปใช้งานจริงเป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยแต่ละองค์ประกอบมีคำนิยามดังนี้

1.) การเลือกทรัพยากร คือการพิจารณาว่าภายใต้ความต้องการและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ถูกกำหนดควรจะมีการเลือกทรัพยากรชนิดใดบ้าง และจำนวนเท่าใด เพื่อให้การใช้งาน

ทรัพยากรเหล่านั้นมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากทรัพยากรต่ำที่สุดและได้ตรงตามความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนด

2.) การจัดสรรทรัพยากร คือการพิจารณาว่าทรัพยากรในแต่ละหน่วยนั้นจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดบ้าง ซึ่งความหลากหลายของกระบวนที่ถูกจัดสรรลงไปอาจจะมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนกระบวนการที่ทรัพยากรสามารถผลิตได้เดิม ดังนั้นสิ่งที่ต้องตัดสินใจคือควรจัดสรรให้ทรัพยากรนั้นทำการผลิตกระบวนการใดบ้าง โดยการกำหนดดังกล่าวต้องอยู่ภายใต้ความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนด ไม่ว่าจะเป็นกำลังการผลิตขั้นต่ำที่ต้องการของแต่ละผลิตภัณฑ์ หรืออาจจะเป็นข้อจำกัดอื่น ๆ เช่นผลิตภัณฑ์ A ต้องมีทรัพยากรที่ใช้รองรับมากกว่า 3 ทรัพยากรในแต่ละกระบวนการ เป็นต้น

3.) การจัดกลุ่มทรัพยากร เป็นการพิจารณาว่าทรัพยากรในแต่ละกระบวนการนั้นทรัพยากรใดควรจะอยู่ภายใต้สถานีงานเดียวกัน ซึ่งแต่ละสถานีงานนั้นจะมีข้อกำหนดคือจำเป็นต้องทำผลิตกระบวนการเดียวกันในแต่ละช่วงเวลา และหากมีการเปลี่ยนกระบวนการที่ทำการผลิตจะต้องปรับตั้งทรัพยากรที่อยู่ภายใต้กลุ่มเดียวกันทุกทรัพยากร โดยในการตัดสินใจนั้นจะอาศัยข้อจำกัดที่ถูกกำหนด เช่นในสมรรถนะด้านความยืดหยุ่นของสายการผลิต เช่นจำนวนเส้นทางการผลิตไม่น้อยกว่า 3 เส้นทางเป็นต้น

4.) การเลือกเส้นทางทางการผลิต เป็นการตัดสินใจว่าควรจะทำการส่งชิ้นงานจากทรัพยากรหรือสถานีงานใดไปยังทรัพยากรหรือสถานีงานใด โดยการเลือกเส้นทางการผลิตจำเป็นต้องพิจารณาถึงผังกระบวนการผลิต แต่อย่างไรก็ตามหากคู่กระบวนการผลิตใด ๆ มีทรัพยากรหรือสถานีงานมากกว่า 2 หน่วยต่อกระบวนการ ทรัพยากรหรือสถานีงานใด ๆ ในกระบวนการปัจจุบันย่อมไม่มีความจำเป็นที่จะต้องส่งไปยังทุกทรัพยากรหรือสถานีงานในกระบวนการถัดไป

5.) การแบ่งสายการผลิต เป็นการพิจารณาว่าชุดของทรัพยากรใดที่ทำการผลิตกระบวนการของผลิตภัณฑ์หรือชุดผลิตภัณฑ์ ที่ไม่มีความเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือชุดผลิตภัณฑ์อื่นย่อมสามารถแยกออกมาเป็นสายการผลิตใหม่ได้

หลังจากทำการพิจารณาครบทั้ง 5 องค์ประกอบที่กล่าวมาในข้างต้นจะทำให้ได้รับสายการผลิตโดยมีข้อมูลดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.) สายการผลิต

1.1) สถานีงาน

1.1.1) จำนวนและชนิดของทรัพยากร

1.1.2) กระบวนการที่ถูกจัดสรร

1.1.3) กำลังการผลิตสำหรับกระบวนการต่าง ๆ ที่ถูกจัดสรร

1.1.4) จำนวนครั้งที่สามารถปรับตั้งได้ในระยะเวลาที่กำหนด

1.2) ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีงาน

1.2.1) ชนิดและจำนวนของชิ้นงานที่ถูกส่งต่อ

1.2.2) ชนิดและจำนวนของชิ้นงานที่รับเข้า

2.) ผลิตภัณฑ์

2.1) แต่ละกระบวนการสามารถผลิตได้ที่สายการผลิต สถานีงาน หรือ ทรัพยากรใดบ้าง

2.2) จำนวนเส้นทางการผลิต

2.3) กำลังการผลิตที่รองรับเพิ่มเติม

3.) เงินลงทุนที่ใช้สำหรับการจัดซื้อทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 3.2. แนวทางการรวบรวมตัวประเมินสายการผลิต

สายการผลิตที่ถูกออกแบบหรือปรับปรุงเสร็จสิ้นจะถูกทำการประเมินสมรรถนะในแต่ละด้าน เพื่อให้ทราบว่าสายการผลิตที่ทำการออกแบบมานั้นมีสมรรถนะเป็นเช่นไร สามารถตอบสนองต่อความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนดหรือไม่ โดยสมรรถนะของสายการผลิตที่ถูกประเมินจะแบ่งออกเป็น 4 ด้านได้แก่ 1.) ด้านปริมาณ (Volume) 2.) ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) 3.) ด้านความไว (Agility) และ 4.) ด้านความทนทาน (Robustness) โดยทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อทำการค้นคว้าและระบุคำจำกัดความของด้านนั้น ๆ และในลำดับถัดไปจะทำการศึกษาว่าสมรรถนะแต่ละด้านที่ทำการชี้วัดนั้นควรจะประกอบไปด้วยตัวชี้วัดใดบ้าง โดยมีคำ

จำกัดความเช่นไรและควรทำการชี้วัดอย่างไร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในสมรรถนะสายการผลิตทั้ง 4 ด้านควรถูกประเมินโดยตัวชี้วัดทั้งสิ้น 9 ตัวชี้วัดดังนี้

1.) ด้านปริมาณ

1.1) กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร (Allocated capacity)

1.2) อัตราการผลิตคอขวด (Bottleneck rate)

1.3) ระยะเวลานำในการผลิต (Production lead time)

2.) ด้านความยืดหยุ่น

2.1) ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing flexibility)

2.2) ความยืดหยุ่นของกระบวนการ (Process flexibility)

3.) ด้านความไว

3.1) ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ (Process changing agility)

3.2) ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต (Plan changing agility)

4.) ด้านความทนทาน

4.1) การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ (Demand sensitivity)

4.2) การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต (Capacity sensitivity)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในลำดับต่อมาจะทำการอธิบายถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อปัญหาขององค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบ เมื่อตัวชี้วัดกลายเป็นข้อจำกัดที่ถูกกำหนด โดยรายละเอียดดังกล่าวจะถูกอธิบายอยู่ในภายหลัง

### 3.3. แนวทางและการพัฒนาวิธีการออกแบบสายการผลิต

ฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่นำเสนอจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ 1.) การหาคำตอบเริ่มต้น โดยคำตอบเริ่มต้นนั้นเป็นการหาคำตอบอย่างง่ายที่สามารถตอบสนองในข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ถูกกำหนดได้และสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งคำตอบดังกล่าวมีลักษณะเป็น

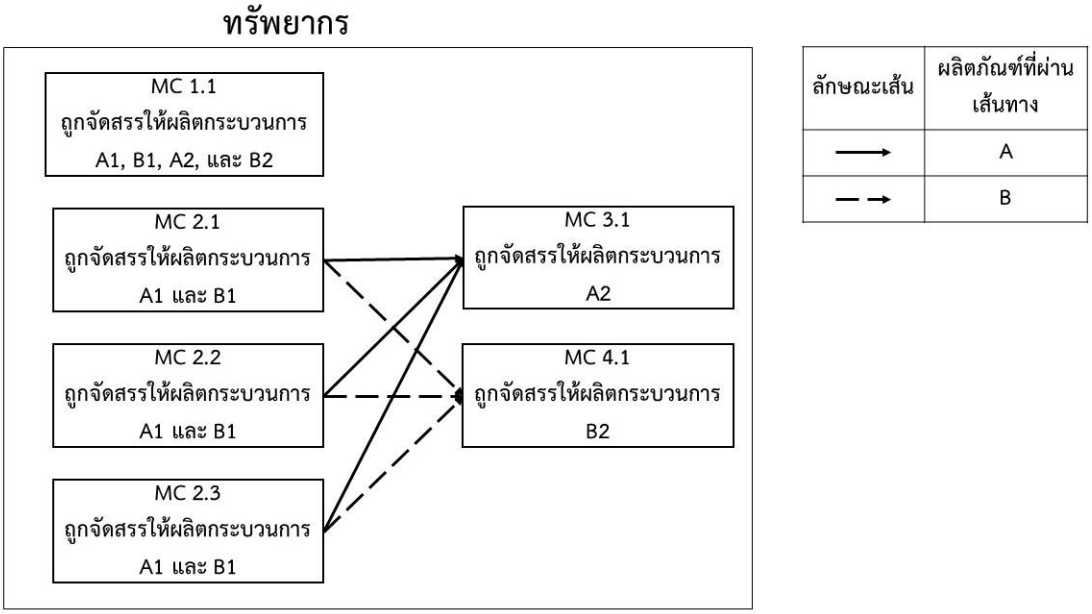
คำตอบ ณ จุดมุม (Corner point solution) ขององค์ประกอบต่าง ๆ ของสายการผลิตคือ 1.) มีการจัดสรรทรัพยากรสำหรับแต่ละกระบวนการจำนวนน้อยที่สุด 2.) ไม่มีกลุ่มของทรัพยากร และ 3.) ไม่มีการแยกสายการผลิต

ขั้นตอนของฮิวริสติกส่วนที่ 2.) การพัฒนาคำตอบเริ่มต้นเพื่อให้ได้สายการผลิตที่มีสมรรถนะรวมดีที่สุดภายใต้การกำหนดความสำคัญของตัวชี้วัด ตามความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนด การปรับปรุงคำตอบจะทำโดยการใช้โมดูลสำหรับการปรับปรุงแนวทางต่าง ๆ ซึ่งจะทำการค้นหาคำตอบข้างเคียงในแต่ละองค์ประกอบที่ดีที่สุด และทำการเปรียบเทียบกับคำตอบในปัจจุบันว่าคำตอบใดดีกว่ากัน หากคำตอบข้างเคียงเป็นคำตอบที่ดีกว่าจะทำการกำหนดให้คำตอบข้างเคียงเป็นคำตอบในปัจจุบันคำตอบใหม่ ซึ่งวิธีการดังกล่าวเรียกว่าเป็นการปรับปรุงคำตอบด้วยหลักการหาคำตอบข้างเคียง (Neighborhood search) นอกจากนี้ความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนดย่อมส่งผลต่อวิธีการตัดสินใจเพื่อหาคำตอบไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการหาคำตอบเริ่มต้นและการปรับปรุงคำตอบ ซึ่งทางผู้วิจัยมีความต้องการที่จะพัฒนาฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตทั้งในส่วนของการหาคำตอบเริ่มต้นและการปรับปรุงคำตอบพื้นฐาน และการเปลี่ยนแปลงปัญหาพื้นฐานเมื่อมีความต้องการและข้อจำกัดที่ถูกกำหนดเข้ามาควบคุม โดยทำการเพิ่มเติมหรือเปลี่ยนแปลงขอบเขตของปัญหาพื้นฐานในแต่ละองค์ประกอบ โดยวิธีการหาคำตอบในแต่ละส่วนจะมีแนวคิดดังนี้

### 3.3.1. แนวทางการหาคำตอบเริ่มต้น

ในการหาคำตอบเริ่มต้นนี้จะทำที่การพิจารณาเฉพาะ 2 องค์ประกอบเท่านั้นคือ 1.) การเลือกจำนวนทรัพยากร และ 2.) การจัดสรรทรัพยากรเบื้องต้น โดยจะทำการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการหาจำนวนทรัพยากรแต่ละชนิด รวมไปถึงการจัดสรรทรัพยากรในระดับทรัพยากรชนิดใดต้องทำการผลิตกระบวนการใดสำหรับผลิตภัณฑ์ใดบ้าง แล้วหลังจากนั้นจึงทำการจัดสรรทรัพยากรเบื้องต้น ว่าทรัพยากรแต่ละหน่วยจะทำการผลิตกระบวนการใดของผลิตภัณฑ์ใดบ้างด้วยหลักการของการจัดสรรเพื่อให้เกิดพื้นที่ว่างต่ำที่สุด (Best fit allocation) หลังจากนั้นจึงทำการเพิ่มเติมหรือปรับเปลี่ยนขอบเขต ซึ่งเกิดขึ้นจากการนำความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนดเข้ามาพิจารณากับแบบจำลองคณิตศาสตร์หรือวิธีการจัดสรรอย่างง่าย โดยส่วนประกอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนของวิธีการจัดสรรอย่างง่ายที่ใช้นั้นจะทำการอธิบายในลำดับถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




**รูปที่ 3-2 ตัวอย่างคำตอบเริ่มต้น**

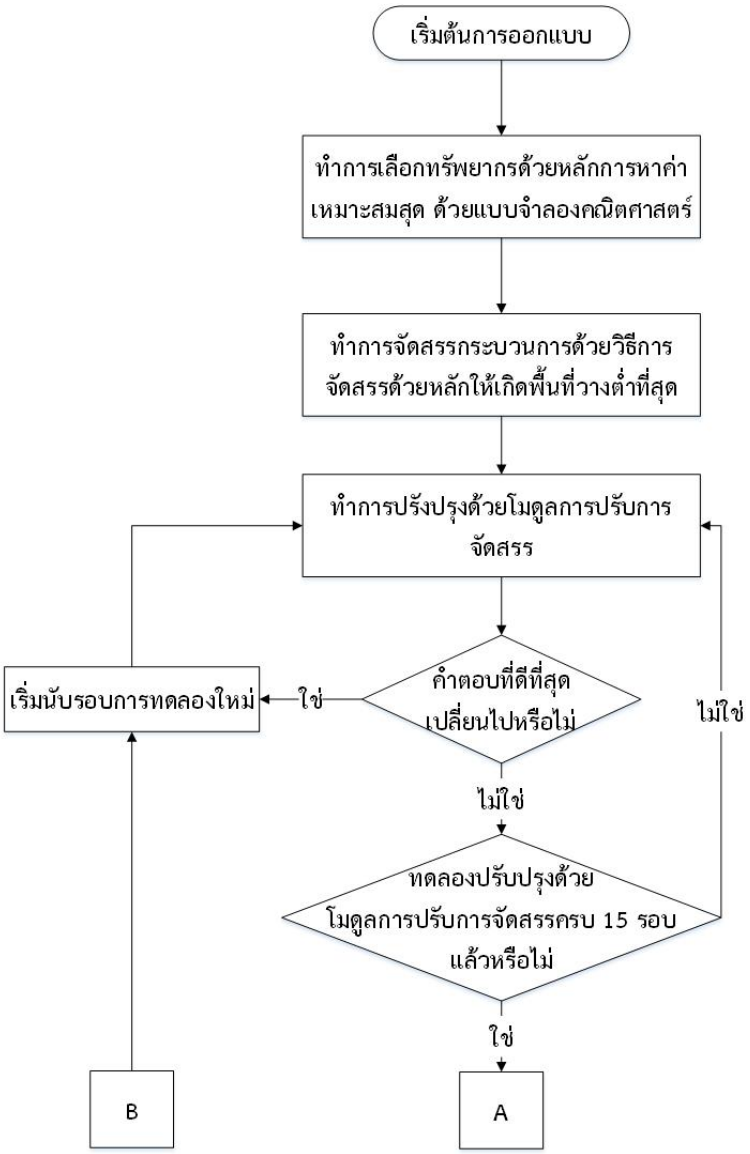
### 3.3.2. แนวทางการปรับปรุงคำตอบ

แนวทางการพัฒนาคำตอบนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการปรับปรุงคำตอบเพื่อให้ตัวชี้วัดสามารถตอบสนองต่อข้อจำกัดที่ถูกกำหนดขึ้นได้ และมีค่าสมรรถนะรวมได้รับความสนใจดีขึ้น โดยแนวทางในการหาคำตอบข้างเคียงของแต่ละองค์ประกอบสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 โมดูล (Module) ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาถึงผลกระทบจากการหาคำตอบข้างเคียงของแต่ละองค์ประกอบผลแต่ละองค์ประกอบจะส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดที่แตกต่างกันออกไป โดย 3 โมดูล คือ 1.) โมดูลการจัดสรรใหม่ (Re-allocation module) 2.) โมดูลการแยกสายการผลิต (Line splitting module) และ 3.) โมดูลการจัดกลุ่มสถานีงาน (Workstation grouping module) โดยโมดูลการจัดสรรใหม่จะทำหน้าที่จัดสรรกระบวนการ โดยจะทำการโยกย้ายกระบวนการผลิตเฉพาะในทรัพยากรชนิดเดียวกันเท่านั้น ซึ่งในโมดูลนี้มีจุดประสงค์เพิ่มจำนวนทรัพยากรที่ถูกจัดสรรให้แต่ละกระบวนเพิ่มมากขึ้นและทำให้กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรรของทรัพยากรที่ถูกจัดสรรใหม่มีความใกล้เคียงกัน สำหรับโมดูลการแยกสายการผลิตนั้นจะทำการเลือกทรัพยากรที่รับผิดชอบผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มของผลิตภัณฑ์และทำการแยกออกมาเป็นสายการผลิตใหม่ โดยกำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ทำการแยกเป็นสายการผลิตใหม่นั้นไม่จำเป็นต้องสามารถผลิตได้ตามกำลังการผลิตที่ต้องการทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามผลรวมของกำลังการผลิตในทุกสายการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ต้องมีเพียงพอกับความ

ต้องการหรือข้อจำกัด สำหรับโมดูลการจัดกลุ่มสถานีงานนั้นจะทำการพิจารณาว่าทรัพยากรใดบ้างที่ได้รับการจัดสรรให้รับผิดชอบกระบวนการหรือชุดของกระบวนการรูปแบบเดียวกัน แล้วจะทำการกำหนดให้อยู่ในสถานีงานเดียวกัน โดยทรัพยากรที่ถูกกำหนดให้อยู่ในสถานีงานเดียวกันไม่จำเป็นต้องเป็นทรัพยากรชนิดเดียวกันทั้งหมด โดยขั้นตอนสำหรับโมดูลทั้ง 3 โมดูลนั้นจะทำการอธิบายขั้นตอนในภายหลัง

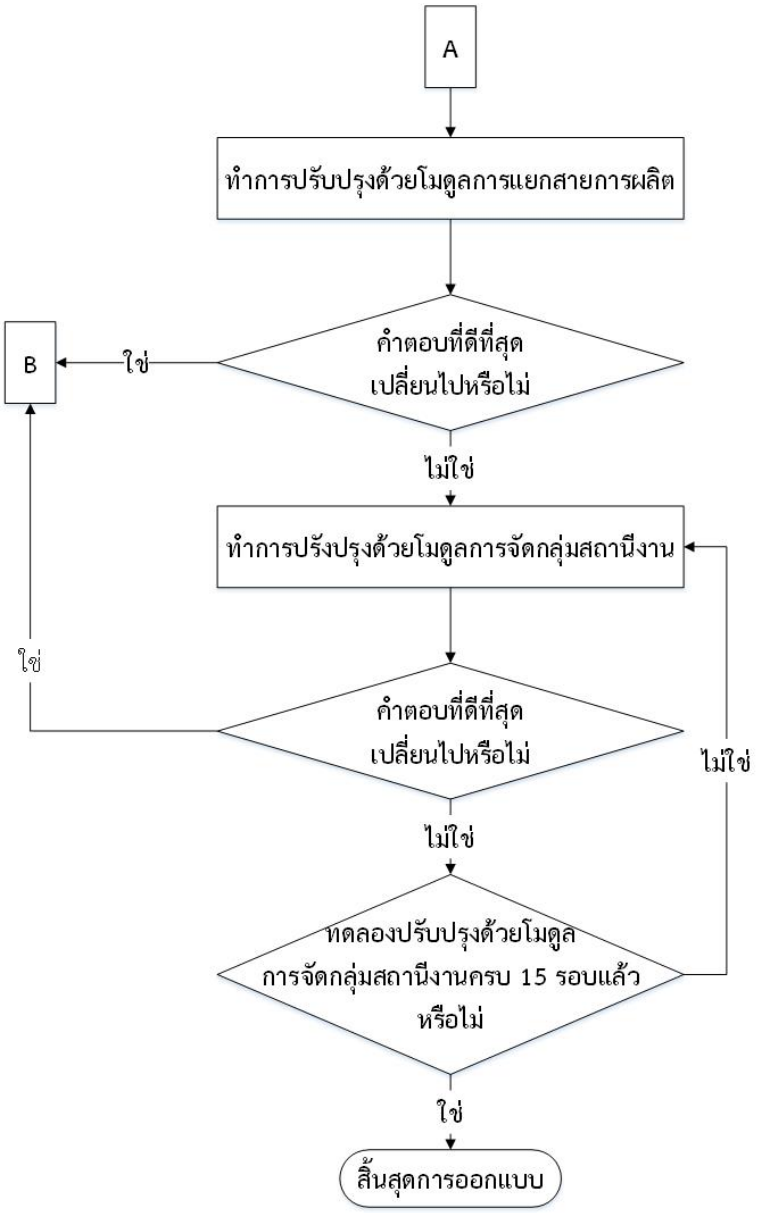
โดยแนวทางในการหาคำตอบเริ่มต้นแล้วแนวทางการปรังปรุงคำตอบที่ได้ทำการอธิบายในข้างต้นสามารถสรุปออกเป็นแผนผังฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 3-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




CHULALONGKORN UNIVERSITY

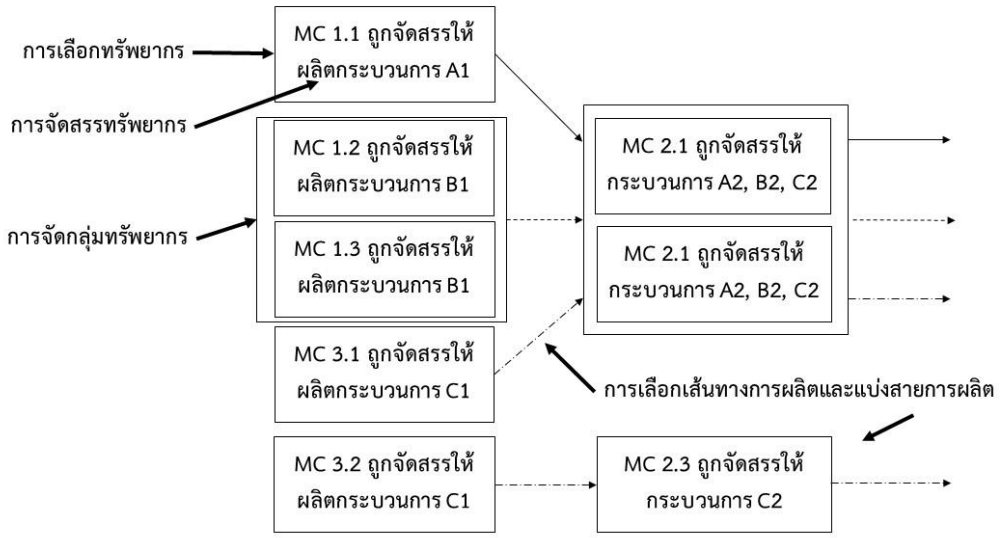
**รูปที่ 3-3 ขั้นตอนการออกแบบสายการผลิตของฮิวริสติกส่วนที่ 1**




**รูปที่ 3-4 ขั้นตอนการออกแบบสายการผลิตของฮิวริสติกส่วนที่ 2**

# บทที่ 4 องค์ประกอบของสายการผลิตและตัวประเมินสมรรถนะ

ในบทนี้จะนำเสนอปัญหาพื้นฐานของแต่ละองค์ประกอบดังที่แสดงในรูปที่ 4-1 รวมไปถึงผลกระทบต่อปัญหาพื้นฐานเมื่อพิจารณาความต้องการหรือข้อจำกัดที่ถูกกำหนด แต่ก่อนที่จะทำการกล่าวถึงผลกระทบของความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนดต่อปัญหาพื้นฐาน จะทำการอธิบายถึงตัวชี้วัดสมรรถนะที่ได้ทำการรวบรวมมาในด้านแนวคิด คำนิยาม และวิธีการคำนวณ เพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบต่อปัญหาพื้นฐานของแต่ละองค์ประกอบ เมื่อมีความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนดในตัวชี้วัดต่าง ๆ




CHULALONGKORN UNIVERSITY

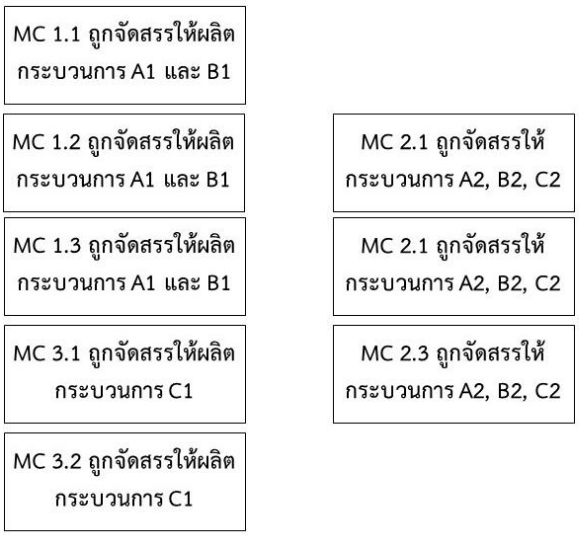
**รูปที่ 4-1 ผลลัพธ์จากการออกแบบสายการผลิต**

แต่ละองค์ประกอบของการออกแบบสายการผลิตมีจุดประสงค์ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ปัญหาพื้นฐานแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามในทุกองค์ประกอบของการออกแบบสายการผลิตจำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการและข้อจำกัดด้านต่าง ๆ ที่ถูกกำหนด แต่ทั้งนี้เมื่อความต้องการหรือข้อจำกัดที่ถูกกำหนดย่อมมีความแตกต่างกัน ทำให้ปัญหาพื้นฐานของแต่ละองค์ประกอบถูกเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการและข้อจำกัดตามที่กำหนด โดยในงานวิจัยฉบับนี้ทำการพิจารณาความต้องการหรือข้อจำกัดที่ถูกกำหนดเฉพาะในแง่มุมที่เกี่ยวข้องหรือส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดที่ทำการรวบรวมมาเท่านั้น

## 4.1. ลักษณะปัญหาของแต่ละองค์ประกอบของสายการผลิต

### 4.1.1. การเลือกทรัพยากร

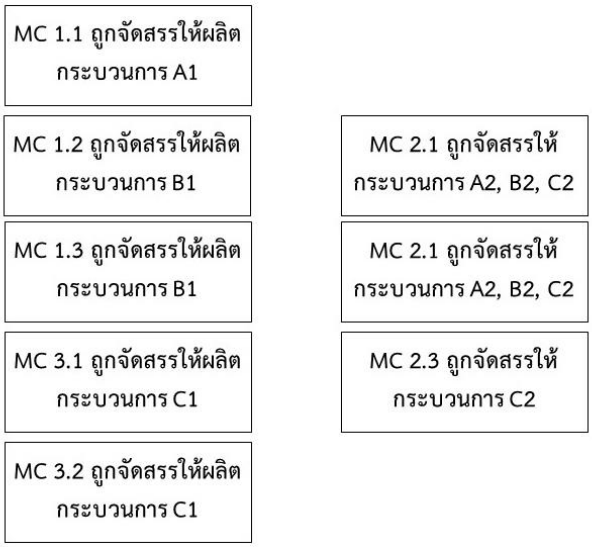
ในองค์ประกอบการเลือกทรัพยากรมีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาชนิดและจำนวนของทรัพยากรให้มีกำลังการผลิตเพียงพอต่อกำลังการผลิตที่ต้องการในแต่ละผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนด โดยการเลือกทรัพยากรมุ่งเน้นให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ในการเลือกทรัพยากรนั้นมีความซับซ้อนในหลายแง่มุม เช่นชนิดของทรัพยากรหลายชนิดที่สามารถทำการผลิตกระบวนการเดียวกัน ซึ่งแต่ละทรัพยากรย่อมมีค่าใช้จ่าย (Cost) ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต (Process time) ขนาดการผลิต (Batch size) กำลังการผลิต (Capacity) และปัจจัยอื่น ๆ แตกต่างกัน ทำให้ยากต่อการเลือกชุดของทรัพยากรที่เหมาะสม เนื่องจากชุดของทรัพยากรที่เหมาะสมอาจมีมากกว่าหนึ่งชุดของทรัพยากร นอกจากนี้การเลือกทรัพยากรต้องคำนึงถึงจำนวนเงินลงทุน (Budget) ที่ถูกกำหนด ซึ่งเปรียบเสมือนข้อจำกัดหนึ่งในการเลือกทรัพยากร โดยองค์ประกอบนี้มีจะได้รับคำตอบ 2 ส่วน ได้แก่ 1.) จำนวนของทรัพยากรแต่ละชนิด และ 2.) กระบวนการที่ถูกจัดสรรสำหรับทรัพยากรชนิดนั้น ๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 4-2




**รูปที่ 4-2 ผลลัพธ์จากการพิจารณาในองค์ประกอบการเลือกทรัพยากร**

### 4.1.2. การจัดสรรทรัพยากร

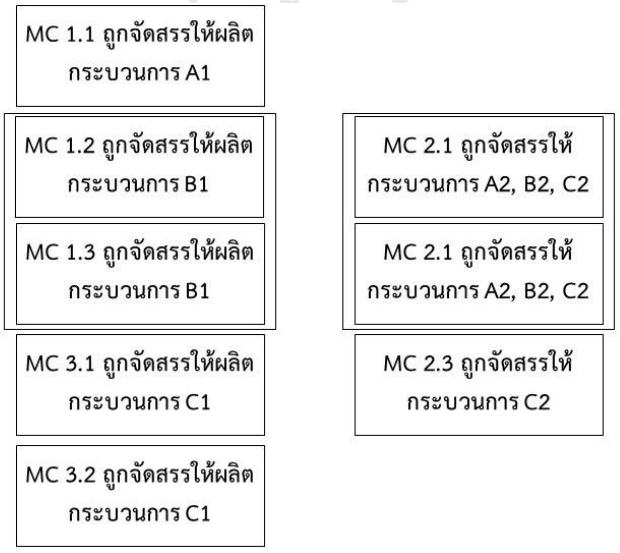
องค์ประกอบการจัดสรรทรัพยากรมีจุดประสงค์เพื่อทำการจัดสรรทรัพยากรแต่ละหน่วยของแต่ละชนิดทรัพยากรสำหรับผลิตกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้ถูกกำหนดให้ทรัพยากรแต่ละชนิดในขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งในการจัดสรรทรัพยากรนั้นต้องทำการพิจารณาเพิ่มเติมในประเด็นต่าง ๆ มิใช่เพียงจำนวนรอบการผลิตของแต่ละกระบวนการที่ทรัพยากรต้องทำการผลิต เช่นระยะเวลาในการปรับตั้งทรัพยากรระหว่างคู่กระบวนการใด ๆ ซึ่งหากจัดสรรให้ทรัพยากรทำการผลิตคู่ของกระบวนการที่ก่อให้เกิดระยะเวลาในการปรับตั้งสูงย่อมส่งผลให้เกิดการสูญเสียกำลังการผลิตของทรัพยากรจำนวนมากเมื่อทำการเปลี่ยนกระบวนการ หรือในกรณีที่กำหนดให้ทรัพยากรเพียงหน่วยทรัพยากรเดียวรับผิดชอบต่อกระบวนการใด ๆ ย่อมทำให้สมรรถนะของสายการผลิตในบางแง่มุมมีค่าต่ำ โดยองค์ประกอบนี้ทำให้คำตอบจากองค์ประกอบก่อนหน้ามีความละเอียดขึ้นในด้านของกระบวนการที่ทรัพยากรแต่ละหน่วยต้องทำการผลิตดังที่แสดงในรูปที่ 4-3




**รูปที่ 4-3 ผลลัพธ์จากการพิจารณาองค์ประกอบการจัดสรรทรัพยากร**

### 4.1.3. การจัดกลุ่มทรัพยากร

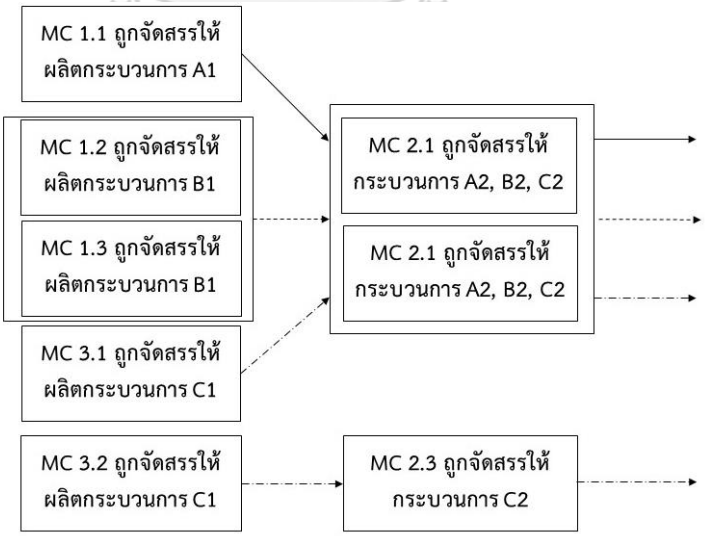
องค์ประกอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาว่าทรัพยากรใดที่ถูกจัดสรรกระบวนการหรือชุดของกระบวนการที่เหมือนกันควรอยู่ในสถานีงานเดียวกัน โดยทรัพยากรที่ถูกพิจารณานั้นไม่จำเป็นต้องเป็นทรัพยากรชนิดเดียวกัน ความซับซ้อนของการจัดกลุ่มทรัพยากรคือ เมื่อทำการจัดทรัพยากรจำนวนมากไว้ในสถานีงานเดียวกันย่อมส่งผลให้การจัดการทำได้ง่ายขึ้น แต่ในขณะเดียวกันย่อมทำให้ความยืดหยุ่นของสายการผลิตมีค่าลดลง เนื่องจากทุกทรัพยากรในสถานีงานต้องทำการผลิตกระบวนการเดียวกัน ณ ช่วงเวลาใด ๆ นอกจากนี้หากมีการเปลี่ยนการกระบวนการผลิตบ่อยครั้งย่อมเกิดความสูญเสียกำลังการผลิตมากกว่าการปรับตั้งเพียงบางทรัพยากร แต่ในทางตรงกันข้ามหากไม่มีการจัดกลุ่มทรัพยากรหรือมีการจัดกลุ่มทรัพยากรจำนวนน้อย ย่อมทำให้มีความซับซ้อนในการจัดการสูงกว่า เมื่อเทียบกับกรณีที่กำหนดให้ทรัพยากรจำนวนมากอยู่ในสถานีงานเดียวกัน โดยในองค์ประกอบนี้จะทำให้ทรัพยากรที่ต้องพิจารณาในองค์ประกอบถัดไปมีจำนวนน้อยลง เนื่องจากแต่ละสถานีงานย่อมสามารถพิจารณาเสมือนว่าเป็นทรัพยากรชนิดใหม่ที่มีเพียงหนึ่งหน่วยที่มีกำลังการผลิตหรือข้อมูลต่าง ๆ ที่เปลี่ยนไป ซึ่งผลลัพธ์ขององค์ประกอบนี้จะทำให้ทราบว่าควรจะแบ่งทรัพยากรเป็นทั้งสิ้นกี่สถานีงาน และแต่ละสถานีงานถูกจัดสรรให้ทำการผลิตกระบวนการใดบ้าง รวมไปถึงทรัพยากรที่อยู่ในสถานีงาน ดังในรูปที่ 4-4




**รูปที่ 4-4 ผลลัพธ์จากการพิจารณาองค์ประกอบของการจัดกลุ่มทรัพยากร**

### 4.1.4. การเลือกเส้นทางการผลิตและการแยกสายการผลิต

องค์ประกอบนี้ทำหน้าที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากร สถานีงานต่าง ๆ ว่ามีหน่วยของทรัพยากร หรือสถานีงานหน่วยใดบ้างที่ต้องส่งชิ้นงานถึงกัน ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวคือเส้นทางการผลิต โดยข้อมูลที่ทำให้องค์ประกอบนี้สร้างความสัมพันธ์ได้คือรายการวัสดุและแผนภูมิกระบวนการผลิต แต่อย่างไรก็ตามหน่วยของทรัพยากรหรือสถานีงานที่ถูกจัดสรรให้ผลิตกระบวนการที่ต่อเนื่องกันในแผนภูมิกระบวนการผลิต ไม่จำเป็นต้องส่งชิ้นงานให้แก่ทรัพยากรหรือสถานีงานที่ถูกจัดสรรให้ผลิตในกระบวนการที่ต่อเนื่องกันครบทุกทรัพยากรหรือสถานีงาน เนื่องจากเมื่อมีเส้นทางการผลิตจำนวนมากย่อมส่งผลให้การจัดการสายการผลิตมีความซับซ้อนสูง แต่หากผลิตภัณฑ์มีเส้นทางการผลิตที่น้อยเกินไป เมื่อมีทรัพยากรหรือสถานีงานใดเสียหายหรือหยุดชะงักย่อมส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ทรัพยากรหรือสถานีงานนั้นรับผิดชอบ ซึ่งในองค์ประกอบนี้ได้ผลลัพธ์เป็นความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรหรือสถานีงานว่าแต่ละทรัพยากรหรือสถานีงานมีการส่งต่อชิ้นส่วนหรือชิ้นงานใดไปยังทรัพยากรหรือสถานีงานใด โดยหากสามารถแยกกลุ่มของทรัพยากรและสถานีงานที่ไม่มีการส่งชิ้นส่วนหากันออกจากกันได้ ย่อมกล่าวได้ว่าการแยกดังกล่าวคือการแยกออกเป็นสายการผลิตใหม่ ดังที่แสดงในรูปที่ 4-5 ซึ่งจะมีลักษณะเช่นเดียวกับผลลัพธ์ของการออกแบบสายการผลิต




**รูปที่ 4-5 ผลลัพธ์จากการพิจารณาองค์ประกอบของการเลือกเส้นทางการผลิต**

### 4.2. ตัวชี้วัดสมรรถนะสายการผลิต

ในสายการผลิตที่ทำการออกแบบใหม่หรือสายการผลิตที่มีอยู่เดิมจำเป็นต้องทำการประเมินสมรรถนะของสายการผลิตเหล่านั้น ซึ่งการประเมินคือการชี้วัดหรือการตรวจสอบว่าสิ่งที่ถูกประเมินนั้นอยู่ในสถานการณ์ใด โดยในการประเมินจะใช้ “ตัวชี้วัดผลการปฏิบัติงานหลัก” (Key performance indicator : KPI) หรือเรียกโดยย่อว่าตัวชี้วัด ซึ่งผลที่ได้จากการประเมินนั้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนรับมือต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปตัวชี้วัดจะถูกกำหนดขึ้น

การประเมินสมรรถนะสายการผลิตนั้น Anders (2008) ได้ทำการแบ่งสมรรถนะของสายการผลิตออกเป็น 4 ด้าน ซึ่งด้านต่าง ๆ ได้ทำการอ้างอิงจากพฤติกรรมของระบบการผลิต (Anders, 2008) โดยสมรรถนะทั้ง 4 ด้านคือ 1.) ด้านปริมาณ (Volume) 2.) ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility) 3.) ด้านความไว (Agility) และ 4.) ด้านความทนทาน (Robustness)

#### 4.2.1. ด้านปริมาณ (Volume)

การประเมินสมรรถนะด้านปริมาณเป็นการประเมินว่าทรัพยากรต่าง ๆ ในสายการผลิตสามารถใช้งานภายใต้สถานการณ์ที่ทำการออกแบบไว้ด้วยประสิทธิภาพเช่นไร โดยในด้านนี้จะทำการพิจารณาจากความสามารถด้านต่าง ๆ ของทรัพยากรหรือสายการผลิตเป็นหลัก ได้แก่

**1. กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร (Allocated capacity)**

Hopp and Spearman (2011), Papadopoulos et al. (2009), Russell and III (2011) ระบุว่าตัวชี้วัดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาว่าทรัพยากรแต่ละทรัพยากรมีการใช้กำลังการผลิตสำหรับกระบวนการต่าง ๆ ที่ทรัพยากรถูกจัดสรรให้ผลิต รวมกันเป็นอัตราส่วนเท่าใดของกำลังการผลิตสูงสุดของทรัพยากรนั้น ซึ่งในตัวชี้วัดนี้จะทำให้ทราบถึงอรรถประโยชน์ (Utilization) ของทรัพยากรว่ามีการใช้ทรัพยากรมากน้อยเพียงใด

ตัวชี้วัดนี้สามารถทำการประเมินได้โดยทำการพิจารณาว่าในทรัพยากรนั้น ๆ ทำการรับผิดชอบกี่ผลิตภัณฑ์และแต่ละผลิตภัณฑ์ต้องใช้กระบวนการใดในทรัพยากรบ้าง เป็นจำนวนกี่รอบการผลิต (Cycle) หลังจากนั้นนำจำนวนรอบการผลิตของกระบวนการต่าง ๆ ที่ทรัพยากรต้องทำการผลิตมาทำการคำนวณเป็นระยะเวลาที่ต้องการ และทำการเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ทรัพยากรดังกล่าวสามารถใช้งานได้สูงที่สุดเป็นอัตราส่วนเท่าใด โดยในตัวชี้วัดนี้จะมีค่าที่หลากหลายตามจำนวนของทรัพยากรในสายการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**2. อัตราการผลิตคอขวด (Bottleneck rate)**

Hopp and Spearman (2011), Papadopoulos et al. (2009), Russell and III (2011), Ciufudean et al. (2006) ระบุว่าตัวชี้วัดนี้มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาว่าในสายการผลิตนั้นเกิด “คอขวด (Bottleneck)” ของแต่ละผลิตภัณฑ์ขึ้นที่บริเวณใดในสายการผลิต ซึ่งอัตราการผลิต ณ บริเวณคอขวดจะถูกเรียกว่าเป็นอัตราการผลิตคอขวด โดยอัตราการผลิตคอขวดเป็นค่าที่กำหนดว่าในสายการผลิตนั้นมีอัตราการผลิตสูงที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ แต่ทั้งนี้ตำแหน่งคอขวดของแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถอยู่ในบริเวณที่ต่างกันหรือมีมากกว่า 1 ตำแหน่งในสายการผลิต เนื่องจากอัตราการผลิตสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์หรือแต่ละกระบวนการย่อมมีค่าที่แตกต่างกันออกไป

จากที่กล่าวมาข้างต้น ค่าของตัวชี้วัดนี้สามารถหาได้จากการพิจารณาทรัพยากรที่มีอัตราการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ต่ำที่สุดในสายการผลิต แต่ทั้งนี้หากผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ในหลากหลายสายการผลิตย่อมมีอัตราการผลิตคอขวดหลายค่า ทำให้ ณ เวลาใด ๆ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีอัตราการคอขวดคือ ผลรวมของอัตราการผลิตคอขวดของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสายการผลิต

**3. ระยะเวลานำในการผลิต (Production lead time)**

Hopp and Spearman (2011) ระบุว่าตัวชี้วัดนี้มีจุดประสงค์ในการพิจารณาว่าเมื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ในกรณีที่ไม่มีชิ้นงานระหว่างกระบวนการต้องใช้เวลาน้อยที่สุดเท่าใดเพื่อให้ผลิตผลิตภัณฑ์ตามจำนวนที่กำหนดไว้ ซึ่งค่านี้หากมีค่าที่ต่ำย่อมแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถผลิตออกมาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งหากระยะเวลานำในการผลิตของผลิตภัณฑ์มีค่าต่ำ ย่อมทำให้ในกรณีที่มีความต้องการนอกเหนือจากที่คาดไว้จะสามารถตอบสนองได้ในระยะเวลาอันสั้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 4.2.2. ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility)

สมรรถนะด้านความยืดหยุ่นใช้สำหรับชี้วัดว่าสายการผลิตถูกออกแบบให้ทำการเปลี่ยนแปลงการจัดการได้เพียงใด สำหรับรองรับเมื่อมีความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลงของ

สถานการณ์มากระทบต่อสายการผลิตเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้ โดยจะทำการประเมินในสองแง่มุม ได้แก่

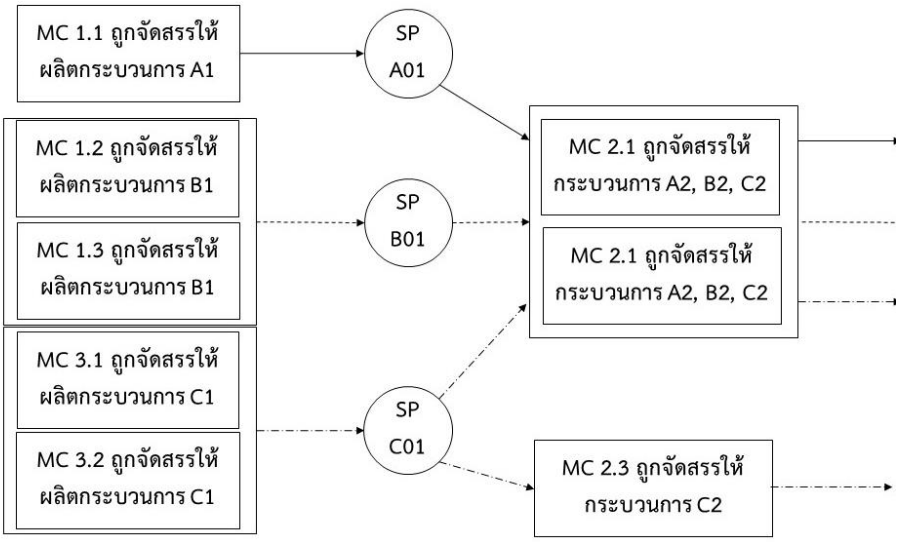
**1. ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing flexibility)**

Jain et al. (2013), Papadopoulos et al. (2009) ระบุว่าตัวชี้วัดนี้จะทำการพิจารณาว่าในแต่ละผลิตภัณฑ์มีทางเลือกกี่เส้นทางการผลิต เมื่อตัวชี้วัดนี้มีค่ามากขึ้นย่อมแสดงให้เห็นว่าหากเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ทรัพยากรเกิดการชะงักหรือเกิดความเสียหาย ผลิตภัณฑ์สามารถทำการผลิตได้โดยทำการเปลี่ยนเส้นทางการผลิต โดยการชี้วัดตัวชี้วัดนี้จะอาศัยข้อมูลเพิ่มเติมคือจุดพักชิ้นงาน (Stock point) ซึ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 4-6 โดยในจุดพักชิ้นงานนั้นเมื่อทำการใช้งานสายการผลิตจริง จุดพักชิ้นงานดังกล่าวอาจจะถูกใช้งานเพื่อเป็นชิ้นงานระหว่างกระบวนการ โดยจุด SP นั้นแทนจุดพักชิ้นงานและทำการระบุจุดพักชิ้นงานในลักษณะของ XYY โดย X แทนชนิดผลิตภัณฑ์และ YY แทนหมายเลขของกระบวนการเช่น A01 คือจุดพักชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ A ที่ทำการผลิตกระบวนการที่ 1 เสร็จสิ้นแล้ว โดยจุดพักชิ้นงานจะมีเอกลักษณ์คือเป็นของชิ้นงานลักษณะเดียวเท่านั้น ดังนั้นหากผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ มีหลากหลายกระบวนการย่อมมีจุดพักชิ้นงานที่เพิ่มมากขึ้น

**2. ความยืดหยุ่นของกระบวนการ (Process flexibility)**

Jain et al. (2013), Papadopoulos et al. (2009), Russell and III (2011) ระบุว่าตัวชี้วัดนี้มีจุดประสงค์เพื่อประเมินว่าสายการผลิตสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้พร้อมกันสูงที่สุดกี่ชนิด ซึ่งในตัวชี้วัดนี้จะมีเพียงหนึ่งค่าในแต่ละระบบการผลิต โดยตัวชี้วัดนี้สามารถทำการชี้วัดได้โดยอาศัยวิธีการลองผิดและถูก (Trial and error) เพื่อทำการพิจารณาว่าควรผลิตเช่นไรเพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิดในแต่ละช่วงเวลามากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 4-6 ตัวอย่างจุดพักสินค้า**

### 4.2.3. ด้านความไว (Agility)

ทำการประเมินว่าสายการผลิตสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้ไวเพียงใด โดยจะทำการพิจารณาในด้านของการปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ หรือการปรับเปลี่ยนแผนการผลิต

**1. ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ (Process changing agility)**

Tsourveloudis et al. (1999) ระบุว่าตัวชี้วัดนี้ทำการพิจารณาว่าในแต่ละทรัพยากรจะสามารถเปลี่ยนกระบวนการได้มากน้อยเพียงใด เช่นการเปลี่ยนจากกระบวนการ A01 ไป B01 และกลับไปยัง A01 จะนับว่าเกิดการเปลี่ยนกระบวนการทั้งสิ้น 3 ครั้ง ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีความถี่ที่สูงขึ้นหากในสายการผลิตนั้น ๆ มีกำลังการผลิตคงเหลือสูง

**2. ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต (Plan changing agility)**

Tsourveloudis et al. (1999) ระบุว่าตัวชี้วัดนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการประเมินว่าในสายการผลิตที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น หากทำการปรับเปลี่ยนแผนการผลิต จำเป็นต้องทำการวางแผนที่ซับซ้อนมาก ซึ่งความซับซ้อนนั้นสามารถพิจารณาได้จากจำนวนตำแหน่งที่ต้องทำการตัดสินใจ โดยเมื่อมีจำนวนจุดที่ต้องทำการตัดสินใจเพิ่มมากขึ้นย่อมแสดงถึงความซับซ้อนของสายการผลิตมีค่าสูงขึ้น โดยวิธีการชี้วัดความไวนี้จะอาศัยหลักแนวคิดของจุดพักชิ้นงานเช่นเดียวกับตัวชี้วัดความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต เพื่อทำการวัดความซับซ้อนของสายการผลิตเช่นกัน

#### 4.2.4. ด้านความทนทาน (Robustness)

ใช้ในการพิจารณาสายการผลิตในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกำลังการผลิตของทรัพยากรหรือเมื่อกำลังการผลิตที่ต้องการเพิ่มขึ้นจากที่คาดการณ์ไว้ สายการผลิตสามารถรองรับได้เพียงใด โดยไม่ทำการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสายการผลิต

**1. การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ (Demand sensitivity)**

Smith and Tan (2013) ระบุว่าการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการเป็นตัวชี้วัดที่ทำการประเมินว่าเมื่อไม่มีเปลี่ยนแปลงจำนวนทรัพยากร ความรับผิดชอบของทรัพยากรทั้งในแง่มุมของจำนวนรอบการผลิตสำหรับแต่ละกระบวนการและความต้องการของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ สายการผลิตดังกล่าวจะสามารถรองรับการขยายตัวของกำลังการผลิตที่ต้องการของแต่ละผลิตภัณฑ์เป็นอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการผลิตที่ต้องการในปัจจุบันของผลิตภัณฑ์นั้น

**2. การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต (Capacity sensitivity)**

ตัวชี้วัดนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการประเมินกำลังการผลิตของแต่สายการผลิตสามารถลดลงได้มากน้อยเพียงใดไม่ว่าจากสาเหตุใด เช่นจากการปรับตั้งเมื่อเปลี่ยนกระบวนการ หรือการพังลงของทรัพยากร โดยหากเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้กำลังการผลิตรวมของสายการผลิตลดลงเกินค่าของตัวชี้วัดนี้ ทำให้ทราบว่าสายการผลิตจะไม่สามารถผลิตได้ตรงตามกำลังการผลิตที่ต้องการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 4.3. ผลกระทบของการจำกัดตัวชี้วัดต่อลักษณะปัญหาของแต่ละองค์ประกอบของสายการผลิต

#### 4.3.1. ผลกระทบต่อการเลือกทรัพยากร

โดยทั่วไปการออกแบบสายการผลิต เริ่มต้นจากการเลือกชนิดและจำนวนของทรัพยากรที่เหมาะสม ดังนั้นทุกข้อจำกัดที่ถูกกำหนดในด้านใดก็ตาม ย่อมส่งผลกระทบต่อการออกแบบขององค์ประกอบนี้ แต่ข้อจำกัดของสมรรถนะสายการผลิตที่มีแง่มุมแตกต่างกันย่อมส่งผลกระทบต่อขอบเขตการเลือกทรัพยากรในลักษณะต่าง ๆ เช่น

ในลักษณะของการเลือกชนิดและจำนวนของทรัพยากร ซึ่งจำนวนของทรัพยากรย่อมถูกกำหนดจำนวนขั้นต่ำ หากต้องการให้แต่ผลิตภัณฑ์มีเส้นทางการผลิตที่เป็นไปได้หลายเส้นทางการผลิต หรือในกรณีที่ต้องการให้สายการผลิตสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิดพร้อมกัน ย่อมส่งผลให้จำนวนทรัพยากรที่ต้องมีถูกกำหนดขอบเขตขั้นต่ำ นอกจากนี้หากมีการจำกัดอัตราการผลิตคอขวด และระยะเวลานำในการผลิตย่อมส่งผลกระทบต่อชนิดและจำนวนของทรัพยากรเช่นกัน เนื่องจากอัตราการผลิตคอขวดสามารถเพิ่มขึ้นได้ หากทำการจัดสรรให้ทรัพยากรในแต่ละกระบวนการมีอัตราการผลิตที่ใกล้เคียงกัน หรือหากมีจำนวนทรัพยากรที่เพิ่มขึ้นย่อมทำให้อัตราการผลิตเพิ่มมาขึ้นเช่นกัน ซึ่งเมื่ออัตราการผลิตสูงขึ้นย่อมช่วยให้สามารถลดระยะเวลานำจนตรงตามความต้องการที่ถูกกำหนดได้

ในลักษณะของกำลังผลิตที่ถูกจัดสรรของทรัพยากรภายในสายการผลิตย่อมถูกควบคุม หากมีการกำหนดกำลังการผลิตที่ถูกจัดสรรว่าแต่ละทรัพยากรต้องถูกใช้งานเกินกว่าอัตราส่วนเท่าใด หรือในทางตรงกันข้าม หากต้องการให้มีกำลังการผลิตคงเหลือ เพียงพอให้สามารถปรับตั้งทรัพยากรเพื่อเปลี่ยนกระบวนการได้บ่อยครั้ง (ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ) หรือสามารถรองรับต่อการขยายตัวของความต้องการของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ) รวมไปถึงสำหรับรองรับในกรณีที่มีทรัพยากรภายในสายการผลิตเสียหายหรือหยุดชะงักลง (การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 4.3.2. ผลกระทบต่อการจัดสรรทรัพยากร

ในการจัดสรรทรัพยากรนั้นจะถูกผลกระทบจากบางข้อจำกัดเท่านั้นคือ อัตราการผลิตคอขวด เนื่องจากหากผลิตภัณฑ์สามารถทำการผลิตได้หลายทรัพยากร อัตราการผลิตคอขวดของผลิตภัณฑ์เหล่านั้นย่อมมีค่าดีขึ้นเช่นเดียวกัน โดยในอีกแง่มุมหนึ่งคือหากมีการกำหนดระยะเวลานำในการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด การจัดสรรทรัพยากรย่อมต้องทำการจัดสรรให้แต่ละกระบวนการของแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ในทรัพยากรจำนวนมาก เนื่องจากเมื่อมีอัตราการผลิตที่สูงขึ้นย่อมส่งผลให้ระยะเวลานำในการผลิตมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

ในกรณีที่เกิดข้อกำหนดในด้านความยืดหยุ่นของสายการผลิต เช่นต้องการให้ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีเส้นทางการผลิตที่หลากหลาย หรือต้องการให้สามารถทำการผลิตกระบวนการของผลิตภัณฑ์หลายชนิดได้พร้อมกัน ในการจัดสายการผลิตย่อมจำเป็นต้องคำนึงถึงความ

หลากหลายของกระบวนการและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทรัพยากรต่าง ๆ ถูกจัดสรรให้ทำการผลิต รวมไปถึงในแง่มุมว่าแต่ละกระบวนการควรจะทำการผลิตในกี่ทรัพยากร เพื่อให้เกิดจำนวนเส้นทางการผลิตตามความต้องการที่ถูกกำหนดหรือทำการแยกสายการผลิตเพื่อให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดได้พร้อมกัน นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณของกำลังการผลิตที่ทำการจัดสรรลงไปยังแต่ละทรัพยากร เพื่อให้ทรัพยากรที่รับผิดชอบกระบวนการเหล่านั้นสามารถรองรับในกรณีที่เกิดการขยายตัวของกำลังการผลิตที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์เหล่านั้นหรือในกรณีที่เกิดการหยุดลงของทรัพยากรเช่นกัน

### 4.3.3. ผลกระทบต่อการจัดกลุ่มทรัพยากร

ในการจัดกลุ่มทรัพยากรนั้นมีข้อจำกัดสำคัญที่จำเป็นต้องทำการพิจารณา 2 ข้อจำกัดคือ 1.) จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา และ 2.) ความซับซ้อนในการวางแผนการผลิต สำหรับในข้อจำกัดที่หนึ่งคือจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาหรือก็คือตัวชี้วัดด้านความยืดหยุ่นของกระบวนการนั้นเอง เนื่องจากหากทำการจัดกลุ่มทรัพยากรให้อยู่ภายใต้สถานีงานเดียวกัน ข้อจำกัดของสถานีงานย่อมส่งผลให้ในแต่ละช่วงเวลาทรัพยากรเหล่านั้นจำเป็นต้องผลิตกระบวนการเดียวกัน ทำให้ภายใต้จำนวนทรัพยากรที่เท่ากันนั้น หากยิ่งมีการรวมเป็นสถานีงานที่มีทรัพยากรจำนวนมากอยู่รวมกันมากขึ้นเท่าใดย่อมทำให้จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลามีจำนวนน้อยลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับในข้อจำกัดด้านที่สองคือความซับซ้อนในการวางแผนการผลิตนั้น ซึ่งคือตัวชี้วัดความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต เมื่อมีความต้องการให้สามารถวางแผนการผลิตได้ใหม่ได้ง่ายไม่ซับซ้อน หรือต้องการให้ใช้ระยะเวลาในการวางแผนการผลิตที่ต่ำ การจัดกลุ่มทรัพยากรจะช่วยให้สามารถบรรลุข้อจำกัดเหล่านั้นได้ เนื่องจากเมื่อเกิดการรวมทรัพยากรเข้าอยู่ในสถานีงานเดียวกันจะทำให้ตำแหน่งรวมไปถึงลำดับการผลิตที่ต้องตัดสินใจมีจำนวนน้อยลง ดังที่กล่าวไปในข้างต้นว่าเมื่อทรัพยากรถูกจัดกลุ่มให้อยู่ภายในสถานีงานเดียวกันนั้น ทุกทรัพยากรในสถานีงานจะทำหน้าที่ผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันเสมอ รวมไปถึงตำแหน่งในการการตัดสินใจว่าควรจะส่งชิ้นงานที่ผลิตเสร็จจากทรัพยากรหรือสถานีงานหนึ่งไปยังอีกทรัพยากรหรือสถานีงานหนึ่งมีจำนวนลดลง

### 4.3.4. ผลกระทบต่อการเลือกเส้นทางการผลิตและการแยกสายการผลิต

ในการเลือกเส้นทางการผลิตและการแยกสายการผลิตนั้นจะทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างทรัพยากรหรือสถานีงานต่าง ๆ ว่าต้องมีการส่งต่อกันอย่างไร โดยข้อกำหนดที่จะส่งผลกระทบต่อการตัดสินในการตัดสินใจว่าควรจะมีเส้นทางการผลิตเช่นไรนั้นคือ 1.) ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิตสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ว่ามีความต้องการเช่นไร เนื่องจากหากทำการแยกออกเป็นอีกสายการผลิตหนึ่งที่ไม่มีการส่งชิ้นงานถึงกันย่อมทำให้ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิตมีค่าน้อยลงถึงแม้จะมีการจำนวน ชนิด วิธีการจัดสรรและวิธีการจัดกลุ่มทรัพยากรที่เหมือนกันก็ตาม

สำหรับในอีกแง่มุมหนึ่งคือความซับซ้อนในการวางแผนการผลิต เนื่องจากหากการตัดสินใจในองค์ประกอบนี้ได้ทำการพิจารณาในแง่ของเส้นทางการผลิตและทำการแยกสายการผลิต โดยหากแยกทรัพยากรที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์ออกเป็นหลากหลายสายการผลิตย่อมช่วยลดความซับซ้อนในการตัดสินใจว่าควรจะทำการส่งชิ้นส่วนที่ทำการผลิตเสร็จสิ้นไปยังทรัพยากรหรือสถานีงานใด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 5 ฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต

ในบทนี้จะนำเสนอขั้นตอนของการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตของฮิวริสติกที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น โดยในแต่ละขั้นตอนมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการหาคำตอบขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น ซึ่งวิธีการออกแบบสายการผลิตที่ทางผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1.) การหาคำตอบเริ่มต้น และ 2.) การปรับปรุงคำตอบ โดยในแต่ละส่วนนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนย่อยที่มีจุดประสงค์และวิธีการที่แตกต่างกัน

## 5.1. วิธีการหาคำตอบเริ่มต้น

วิธีการหาคำตอบเริ่มต้นนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ 1.) การเลือกทรัพยากร และ 2.) การจัดสรรทรัพยากรอย่างง่าย โดยในส่วนของการเลือกทรัพยากรนั้นจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ในการหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมเพื่อทำการตัดสินใจในการเลือกชนิดและจำนวนของทรัพยากร รวมไปถึงการจัดสรรอย่างง่ายว่าทรัพยากรแต่ละชนิดใดต้องทำการผลิตกระบวนการใดของผลิตภัณฑ์ใดบ้างและคิดเป็นกำลังการผลิตเท่าใด สำหรับในส่วนของการจัดสรรทรัพยากรอย่างง่ายจะใช้อัลกอริทึม (Algorithm) เพื่อทำการจัดสรรทรัพยากรให้แก่กระบวนการและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

### 5.1.1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกจำนวนทรัพยากร

ในการเลือกทรัพยากรนั้นจะทำการเลือกและกำหนดกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ซึ่งจะได้รับผลลัพธ์เป็นจำนวนของทรัพยากรแต่ละชนิด รวมถึงกระบวนการของผลิตภัณฑ์ที่ถูกกำหนดให้ผลิตในทรัพยากรชนิดนั้น ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเผื่อให้มีกำลังการผลิตที่เพียงพอต่อกำลังการผลิตที่ต้องการที่ถูกกำหนด และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำที่สุด โดยในส่วนนี้จะใช้แนวคิดของการหาค่าเหมาะสมสุดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed-integer linear programing model) โดยจะมีชุด (Set) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) พารามิเตอร์ (Parameter) สมการกำหนดเป้าหมาย (Objective function) และ สมการแสดงขอบข่าย (Constraint) ดังนี้

**1. เซต**

$M$ คือ เซตของทรัพยากร

$I$ คือ เซตของผลิตภัณฑ์

$P_i$ คือ เซตของกระบวนการของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ $i$

**2. ตัวแปรตัดสินใจ**

$Num_m$ = จำนวนของทรัพยากรชนิดที่ $m$ โดยที่ $m \in M$ มีหน่วยเป็น [หน่วยทรัพยากร]

$NumProcess_{mp_i}$ = จำนวนรอบที่ทำการผลิตกระบวนการ $p$ ของผลิตภัณฑ์ $I$ ในทรัพยากรชนิด $m$ โดยที่ $m \in M$, $i \in I$, และ $p \in P_i$ มีหน่วยเป็น [จำนวนรอบกระบวนการผลิต]

**3. พารามิเตอร์**

$Cost_m$ = เงินลงทุนสำหรับทรัพยากรชนิดที่ $m$ โดยที่ $m \in M$ มีหน่วยเป็น [บาท / หน่วยทรัพยากร]

$Ratio_{p_i}$ = อัตราส่วนผลลัพธ์ของกระบวนการ $p$ ของผลิตภัณฑ์ $i$ เพื่อให้ได้สินค้าสำเร็จรูปของผลิตภัณฑ์ชนิด $i$ หนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยที่ $i \in I$ และ $p \in P_i$

$ProcessTime_{mp_i}$ = ระยะเวลาที่ใช้ต่อรอบการผลิตของกระบวนการ $p$ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ $i$ เมื่อผลิตในทรัพยากร $m$ โดยที่ $m \in M$, $i \in I$, และ $p \in P_i$ มีหน่วยเป็น [หน่วยเวลา / รอบกระบวนการผลิต]

$Avali_m$ = เวลาที่สามารถใช้สำหรับการผลิตต่อหนึ่งหน่วยทรัพยากรของทรัพยากร $m$ ในการผลิตโดยที่ $m \in M$ มีหน่วยเป็น [หน่วยเวลา / หน่วยทรัพยากร]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$CapNeed_i$ = กำลังการผลิตที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ชนิด i โดยที่ $i \in I$ มีหน่วยเป็น [หน่วยผลิตภัณฑ์]

$Input_{mp_i}$ = จำนวนชิ้นส่วนนำเข้าของกระบวนการ p สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิด i เมื่อทำการผลิตในทรัพยากร m โดยที่ $m \in M$, $i \in I$, และ $p \in P_i$ มีหน่วยเป็น [หน่วยผลิตภัณฑ์ / รอบกระบวนการผลิต]

$Output_{mp_i}$ = จำนวนชิ้นส่วนที่ได้รับของกระบวนการ p สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิด i เมื่อทำการผลิตในทรัพยากร m โดยที่ $m \in M$, $i \in I$, และ $p \in P_i$ มีหน่วยเป็น [หน่วยผลิตภัณฑ์ / รอบกระบวนการผลิต]

**4. สมการกำหนดเป้าหมาย**

$$\text{Minimize } z = \sum_{\forall m \in M} Cost_m Num_m \quad (1)$$

**5. สมการแสดงขอบเขต**

$$Avali_m Num_m \geq \sum_{\forall i \in I, \forall p \in P_i} ProcessTime_{mp_i} NumProcess_{mp_i} \quad (2)$$

$$; \forall m \in M$$

$$\sum_{\forall m \in M} Output_{mp_i} NumProcess_{mp_i} \geq Ratio_{p_i} CapNeed_i \quad (3)$$

$$; \forall p \in P_i, \forall i \in I$$

$$\sum_{\forall m \in M} Input_{mp_i} NumProcess_{mp_i} \leq \sum_{\forall m \in M, \{n | n \in P_i, n < p\}} Output_{mp_i} NumProcess_{mp_i} \quad (4)$$

$$; \forall i \in I, \forall p \in P_i$$

$$NumProcess_{mp_i}, Num_m \geq 0, \text{integer} \quad (5)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยสมการที่ 1 คือสมการวัตถุประสงค์ของแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบจำลองนี้โดยใช้ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากเงินลงทุนในการซื้อทรัพยากร โดยค่าจุดประสงค์ดังกล่าวต้องมีค่าที่ต่ำที่สุด

สมการที่ 2 จะกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการผลิตรวมในทรัพยากรชนิดที่ m ต้องมีเวลารวมไม่เกินเวลาที่สามารถใช้ได้สูงที่สุดของทรัพยากรชนิดที่ m สมการที่ 3 ระบุว่าจำนวนที่ผลิตรวมของชิ้นส่วนที่ได้รับจากแต่ละกระบวนการของทุกผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตในทุกทรัพยากร ต้องมีจำนวนเกินจากจำนวนที่ต้องการเพื่อให้ได้กำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และสมการที่ 4 เป็นการกำหนดขอบเขตว่าจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการก่อนหน้าต้องมีจำนวนเพียงพอสำหรับจำนวนชิ้นส่วนที่ต้องการในกระบวนการถัดไป ซึ่งจากการพิจารณาจะพบว่าแบบจำลองดังกล่าวมีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบจัดสรร (Assignment problem) แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะเกิดการเพิ่มข้อจำกัดต่าง ๆ ของที่ถูกกำหนดเช่นข้อจำกัดด้านจำนวนของทรัพยากรชนิดต่าง ๆ ที่สามารถเลือกได้ดังที่แสดงในสมการที่ 6 หรือหากมีเงินลงทุนจำกัดย่อมต้องทำการเลือกทรัพยากรให้มีต้องการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นดังในสมการที่ 7 โดยมีสมการแสดงขอบเขตดังนี้

$$Num_m \leq MaxNum_m ; \forall m \in M \tag{6}$$

$$\sum_{\forall m \in M} Cost_m Num_m \leq Budget \tag{7}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยมีพารามิเตอร์ที่เพิ่มเติมขึ้นมา 2 พารามิเตอร์ได้แก่

$MaxNum_m$ = จำนวนที่มากที่สุดที่สามารถเลือกได้สำหรับทรัพยากรชนิดที่ *m* มีหน่วยเป็น [หน่วยทรัพยากร]

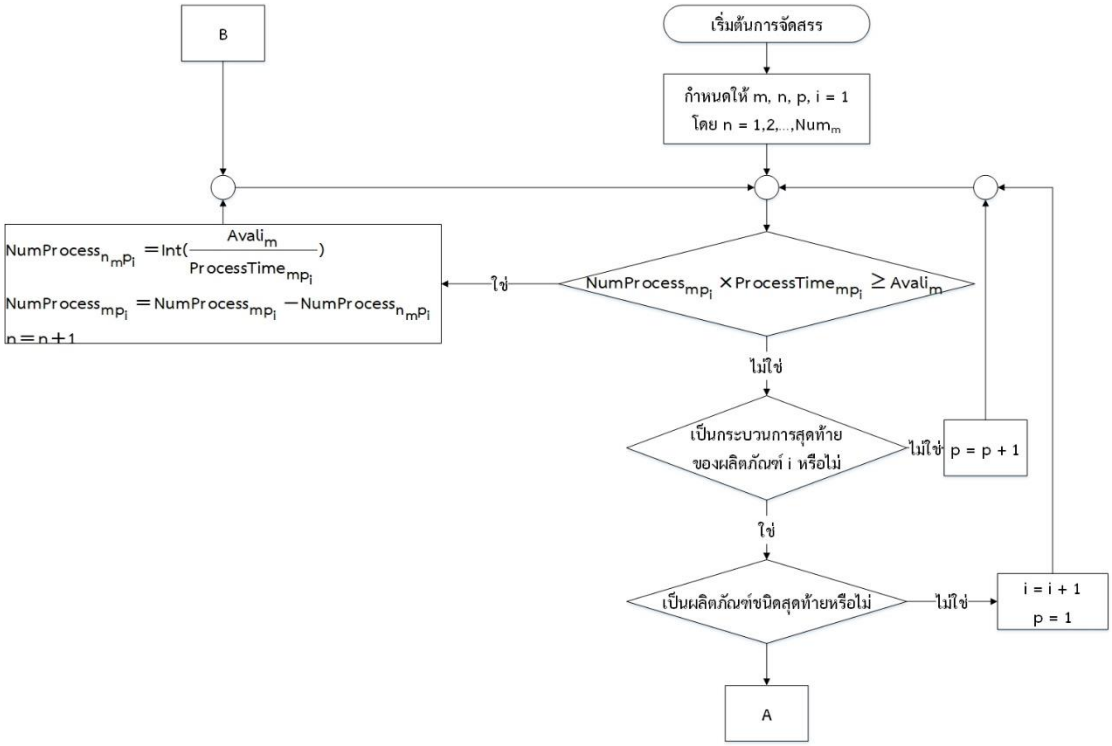
Budget = จำนวนเงินลงทุนสูงสุดที่สามารถใช้ในการเลือกซื้อทรัพยากรได้ มีหน่วยเป็น [บาท]

หรือหากมีการจำกัดสมรรถนะบางด้านจะทำให้เกิดสมการแสดงขอบเขตที่เพิ่มขึ้นมา

### 5.1.2. การจัดสรรทรัพยากรอย่างง่าย

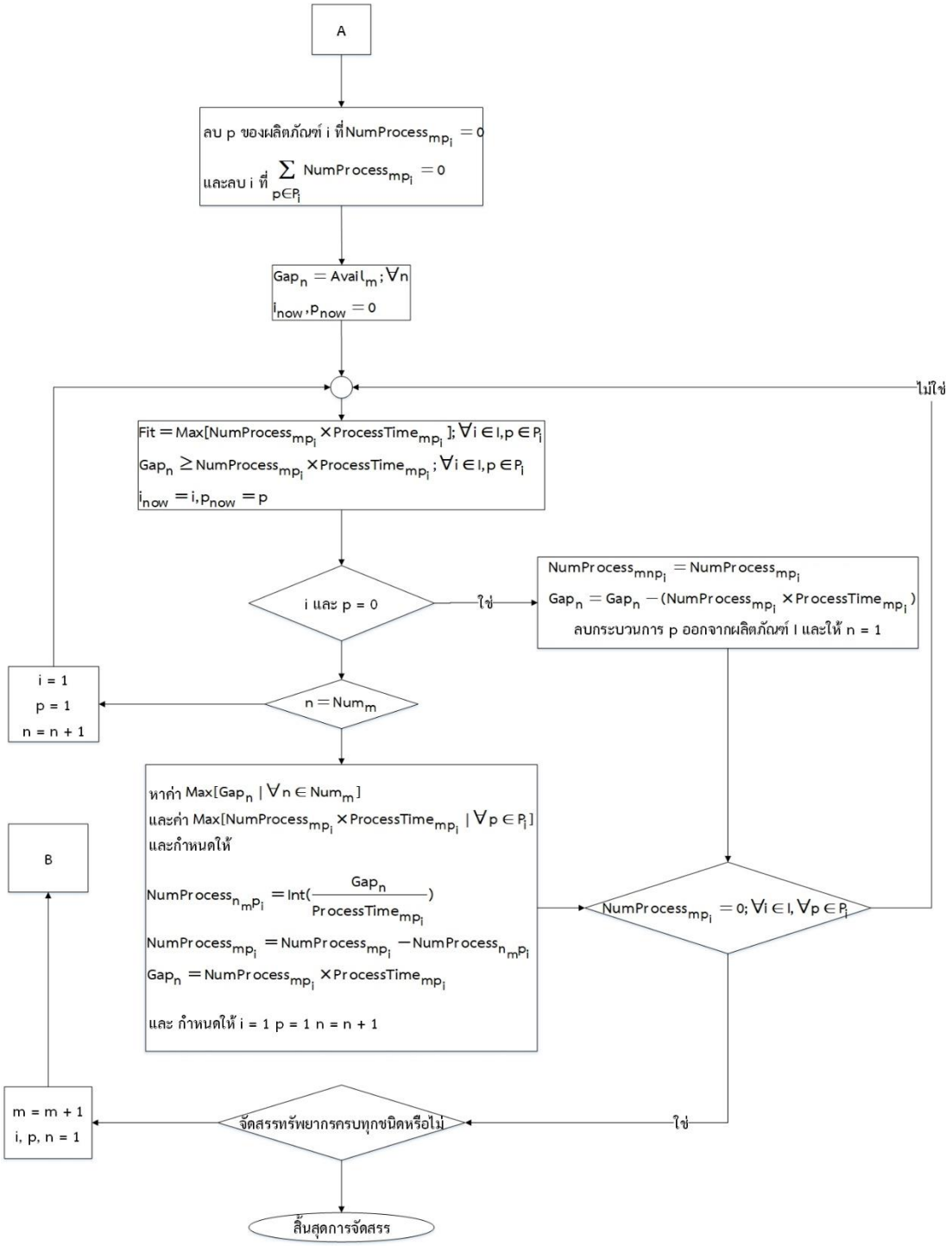
ในจัดสรรทรัพยากรเบื้องต้นนั้นจะมีจุดประสงค์เพื่อให้ใช้ทรัพยากรแต่ละหน่วยได้คุ้มค่าและให้เกิดการปรับตั้งทรัพยากรน้อยที่สุด กล่าวคือจะทำการจัดสรรให้เกิดทรัพยากรเฉพาะ (Dedicated resource) ซึ่งคือทรัพยากรที่ถูกกำหนดให้ผลิตเพียงกระบวนการเดียวจำนวนมากที่สุด เมื่อไม่สามารถจัดสรรให้เกิดทรัพยากรเฉพาะได้ ในลำดับถัดไปจะทำการพิจารณาว่ากระบวนการใดมีความใกล้เคียงกับกำลังการผลิตของทรัพยากรมากที่สุด แล้วจึงทำการจัดสรรกระบวนการดังกล่าวยังทรัพยากร ซึ่งเป็นหลักการของการจัดสรรเพื่อให้เกิดพื้นที่ว่างต่ำที่สุด (Best fit allocation) ซึ่งในกรณีที่ไม่มีกระบวนการใดสามารถจัดสรรเพิ่มเติมได้จะทำการจัดสรรเพียงบางส่วน โดยทำการจัดสรรลงไปยังทรัพยากรที่มีกำลังการผลิตเหลือสูงที่สุดและทำการจัดสรรจนเต็ม แล้วนำวิธีการจัดสรรเพื่อให้เกิดพื้นที่เหลือต่ำสุดอีกครั้ง และทำการพิจารณาจนทำการจัดสรรได้ครบทุกกระบวนการที่ถูกเลือกในขั้นตอนการเลือกทรัพยากร แล้วจึงทำการพิจารณาทรัพยากรชนิดถัดไป โดยปัจจัยที่ทำการจัดสรรคือ $NumProcess_{mp_i}$ ซึ่งเป็นตัวแปรตัดสินใจจากขั้นตอนการเลือกทรัพยากร ซึ่งจากขั้นตอนการออกแบบสามารถสรุปออกมาได้เป็นแผนผังกระบวนการออกแบบดังรูปที่ 5-1 และรูปที่ 5-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




**รูปที่ 5-1 ขั้นตอนการจัดสรรทรัพยากรอย่างง่ายส่วนที่ 1**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




**รูปที่ 5-2 ขั้นตอนการจัดสรรทรัพยากรอย่างง่ายส่วนที่ 2**

## 5.2. วิธีการปรับปรุงคำตอบ

สำหรับวิธีการปรับปรุงคำตอบจากคำตอบเริ่มต้นนั้นจะประกอบไปด้วยแนวทางในการปรับปรุงทั้งสิ้น 3 แนวทาง ซึ่งในแต่ละแนวทางนั้นถูกปรับปรุงผ่านโมดูลเฉพาะของแนวทางนั้น ๆ โดยแต่ละโมดูลมีแนวคิดและวิธีการดังนี้

### 5.2.1. โมดูลการปรับการจัดสรร (Reallocation module)

ในแนวทางการปรับปรุงนี้มีจุดประสงค์ขึ้นเพื่อทำการเปลี่ยนวิธีการจัดสรรของคู่ทรัพยากรหรือสถานีงาน โดยจะถูกแบ่งออกเป็นสองวิธีการดังนี้

**1. การกระจายงาน (Distributed process)**

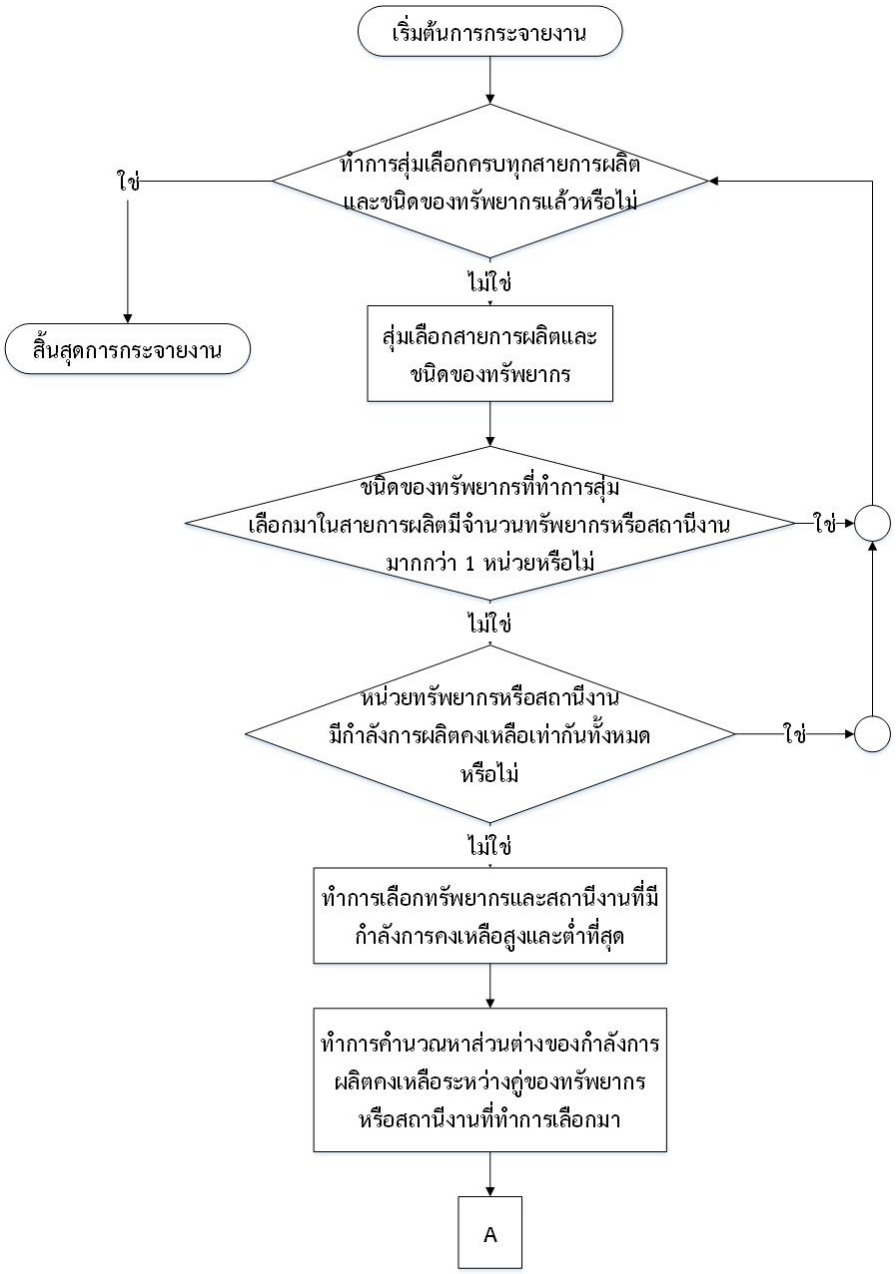
ในโมดูลการกระจายงานจะเริ่มจากทำการสุ่มเลือกสายการผลิตและชนิดของทรัพยากรที่จะนำมาทำการกระจายงาน หลังจากนั้นจะทำการพิจารณาว่าชนิดของทรัพยากรและสายการผลิตที่ทำการสุ่มเลือกมานั้นมีจำนวนทรัพยากรหรือสถานีงานจำนวนเท่าใด โดยหากมีเพียงหนึ่งทรัพยากรหรือหนึ่งสถานีงานจะทำการสุ่มเลือกชนิดของทรัพยากรและสายการผลิตอีกครั้ง จนกระทั่งได้ชนิดของทรัพยากรและสายการผลิตที่มีจำนวนทรัพยากรหรือสถานีงานมากกว่า 1 โดยสถานีงานในที่นี่จะถูกนับก็ต่อเมื่อสถานีงานดังกล่าวมีทรัพยากรชนิดที่ถูกเลือกมาเพียงชนิดเดียวเท่านั้น

สำหรับกรณีที่พบชนิดของทรัพยากรและสายการผลิตจะทำการตรวจสอบว่ากำลังการผลิตคงเหลือของแต่ละทรัพยากรหรือสถานีงานมีค่าเท่ากันหรือไม่ หากทุกทรัพยากรหรือสถานีงานของชนิดทรัพยากรและสายการผลิตที่ทำการเลือกมามีกำลังการผลิตเท่ากันทั้งหมดจะทำการสุ่มเลือกชนิดของทรัพยากรและสายการผลิตใหม่อีกครั้ง โดยเมื่อพบชนิดของทรัพยากรและสายการผลิตที่มีกำลังการผลิตคงเหลือในแต่ละทรัพยากรหรือสถานีงานไม่เท่ากันจะทำการเลือกทรัพยากรหรือสถานีงานที่มีกำลังการผลิตคงเหลือน้อยที่สุด ($WS_{min}$) และ ทรัพยากรหรือสถานีงานชนิดที่ทำการสุ่มซึ่งมีกำลังการผลิตคงเหลือมากที่สุด ($WS_{max}$) เป็นคู่ที่จะทำการกระจายงาน

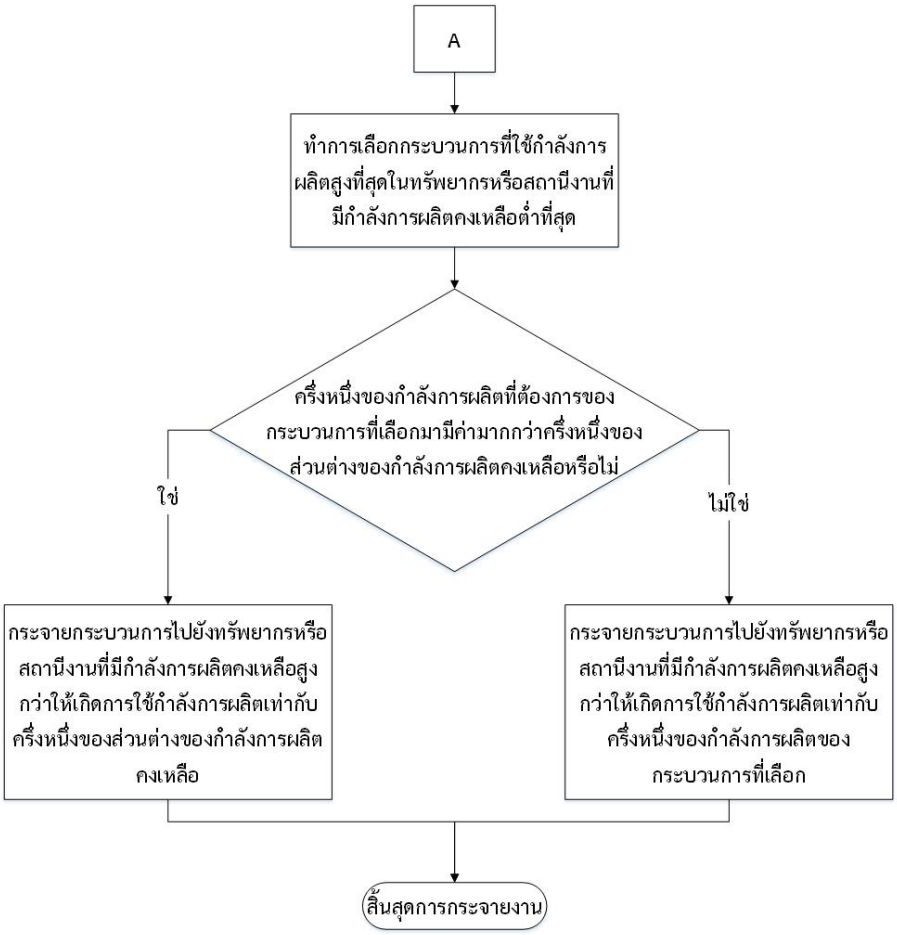
เมื่อได้ทรัพยากรหรือสถานีงานที่มีกำลังการผลิตคงเหลือมากที่น้อยที่สุดและมากที่สุดแล้วจึงทำการพิจารณาว่ากระบวนการใดในทรัพยากรหรือสถานีงานที่ใช้กำลังการผลิตที่สูง

ที่สุด เมื่อพบแล้วจะทำการพิจารณาว่าครึ่งหนึ่งของกำลังการผลิตที่ใช้สำหรับกระบวนการดังกล่าวมากกว่าหรือน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของส่วนต่างของกำลังการผลิตคงเหลือระหว่างทรัพยากรหรือสถานีงานที่มีกำลังการผลิตคงเหลือสูงและทรัพยากรหรือสถานีงานที่มีกำลังการผลิตคงเหลือต่ำ โดยหากครึ่งหนึ่งของกำลังการผลิตที่ใช้มีค่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของส่วนต่างของกำลังการผลิตคงเหลือจะทำการกระจายกระบวนการดังกล่าวไปยังทรัพยากรหรือสถานีงานที่มีกำลังการผลิตคงเหลือสูงเป็นจำนวนที่ทำให้เกิดกำลังผลิตเท่ากับครึ่งหนึ่งของกำลังการผลิตที่ใช้ หากครึ่งหนึ่งของกำลังการผลิตที่ใช้มีค่าสูงกว่าครึ่งหนึ่งของส่วนต่างของกำลังการผลิตจะทำการกระจายกระบวนการดังกล่าวไปยังทรัพยากรหรือสถานีงานที่มีกำลังการผลิตคงเหลือสูงเป็นจำนวนที่ทำให้เกิดกำลังผลิตเท่ากับครึ่งหนึ่งของส่วนต่างของกำลังการผลิตคงเหลือโดยขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังกระบวนการดังที่แสดงอยู่ดัง รูปที่ 5-3 และรูปที่ 5-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



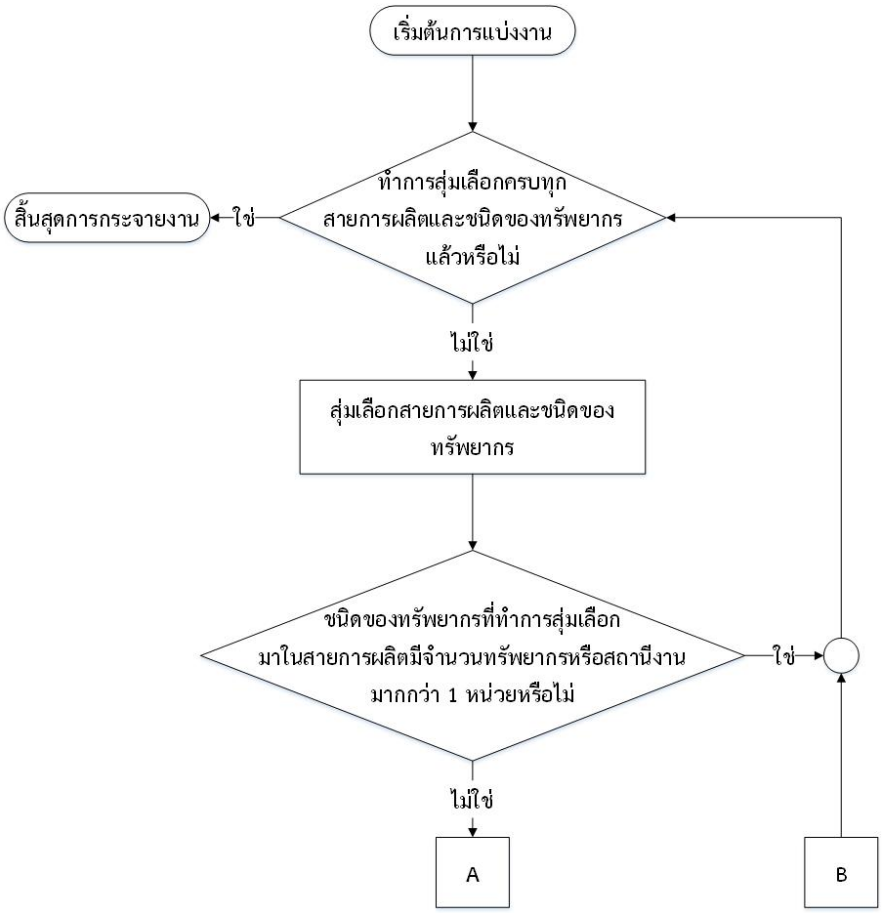

**รูปที่ 5-3 ขั้นตอนการกระจายงานส่วนที่ 1**




**รูปที่ 5-4 ขั้นตอนการกระจายงานส่วนที่ 2**

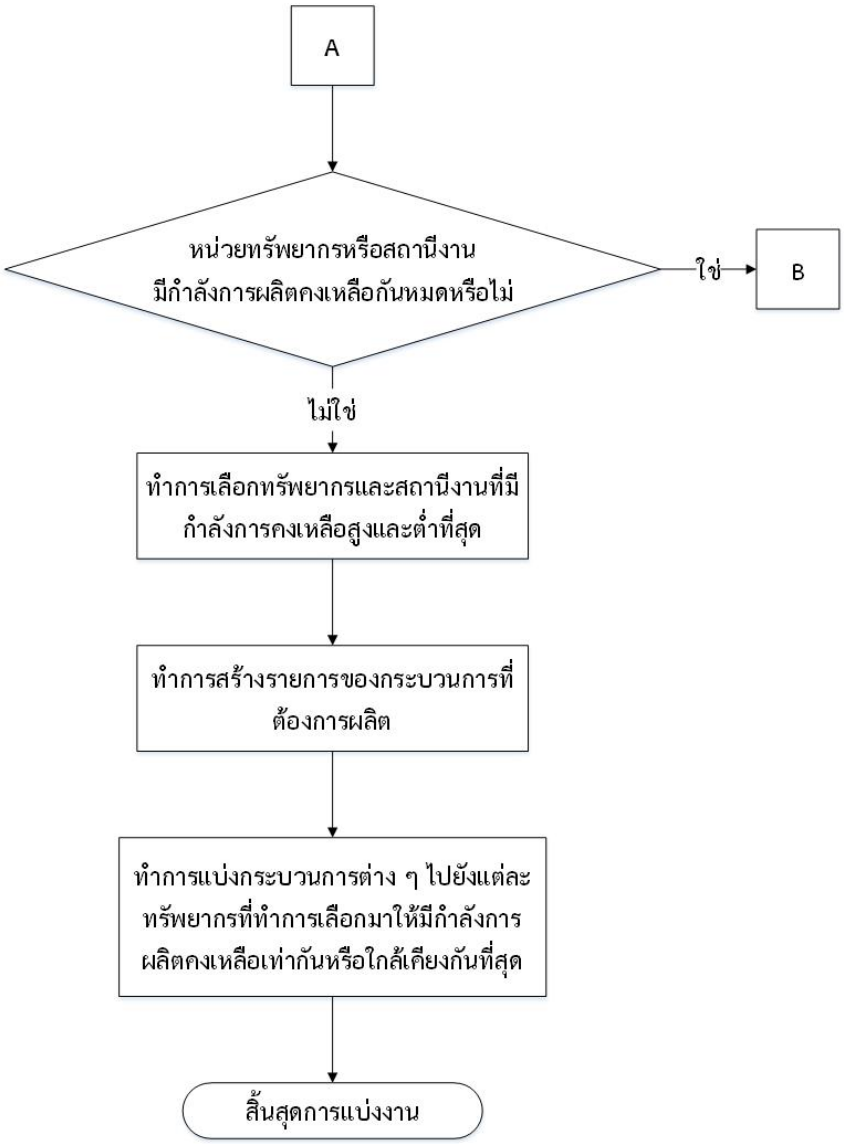
**2. การแบ่งงาน (Shared process)**

ในวิธีการแบ่งงานจะมีวิธีการเลือกสายการผลิตและชนิดของทรัพยากรรวมไปถึงคู่ของทรัพยากรหรือสถานีงานที่นำมาทำการแบ่งงานด้วยขั้นตอนรูปแบบเดียวกับการกระจายงาน โดยเมื่อได้คู่ของทรัพยากรหรือสถานีงานแล้วจะทำการสร้างรายการของกระบวนผลิตจากกระบวนที่ทำการผลิตจากทั้งสองทรัพยากรหรือสถานีงาน โดยหากมีกระบวนการที่ทำการผลิตจะทำการรวมกำลังการผลิตที่ต้องการเข้าด้วยกัน โดยเมื่อทำการสร้างรายการของกระบวนการที่ทำการผลิตเสร็จสิ้นจะทำการแบ่งกระบวนการทั้งหมดไปยังทรัพยากรหรือสถานีงานด้วยกำลังการผลิตที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันที่สุด โดยขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังกระบวนการดังที่แสดงอยู่ดังรูปที่ 5-5 และรูปที่ 5-6




**รูปที่ 5-5 ขั้นตอนการแบ่งงานส่วนที่ 1**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY




CHULALONGKORN UNIVERSITY

**รูปที่ 5-6 ขั้นตอนการแบ่งงานส่วนที่ 2**

### 5.2.2. โมดูลการแบ่งสายการผลิต (Line splitting module)

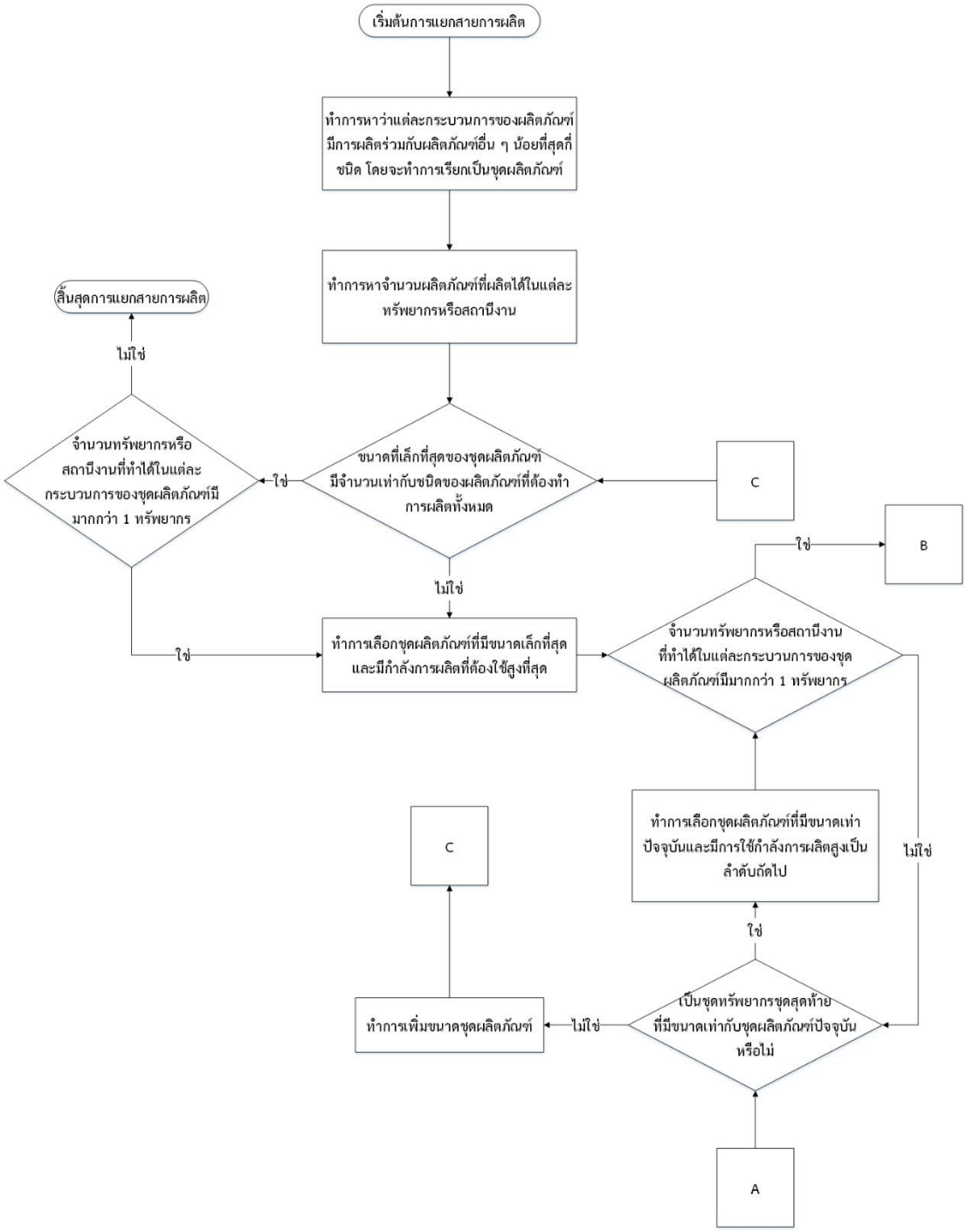
ในโมดูลนี้จะทำการแยกผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มของผลิตภัณฑ์จากสายการผลิตหลัก ซึ่งคือสายการผลิตที่ 1 โดยจะเริ่มต้นจากการเลือกผลิตภัณฑ์เพียงหนึ่งชนิดที่ใช้กำลังการผลิตสูงที่สุด โดยหากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไม่สามารถแยกสายการผลิตได้ กล่าวคือจะทำให้สูญเสียกำลังการผลิตจนไม่สามารถตอบสนองต่อกำลังการผลิตที่ต้องการของผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เลือกได้ หรือมีบางกระบวนการที่มีทรัพยากรที่รับผิดชอบผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่ทำการพิจารณาในการแบ่งสายการผลิตไม่เพียงพอต่อการแยกมายังอีกสายการผลิตหนึ่ง โดยหากผลิตภัณฑ์ที่ใช้กำลังการผลิตสูงที่สุดไม่สามารถทำการแยกสายการผลิตได้จะเริ่มจากทำการเลือกผลิตภัณฑ์ที่ใช้กำลังการผลิตมากเป็นลำดับถัดไป โดยหากทำการทดลองครบทุกผลิตภัณฑ์และไม่สามารถทำการแยกสายการผลิตได้ ในขั้นถัดไปจะทำการเลือกกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนสองชนิดและใช้กำลังการผลิตรวมสูงที่สุด และทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง แต่หากทดสอบครบทุกคู่ของผลิตภัณฑ์และไม่สามารถแยกสายการผลิตได้ ในลำดับถัดไปจะเพิ่มเป็นชุดผลิตภัณฑ์ที่มีชนิดของผลิตภัณฑ์เป็น 3,4,5 ชนิดตามลำดับจนครบทุกความเป็นไปได้ โดยเมื่อพบผลิตภัณฑ์ คู่ของผลิตภัณฑ์หรือชุดของผลิตภัณฑ์ที่สามารถแยกสายการผลิตได้นั้น จะมีแนวทางในการแยกสายการผลิตทั้งสิ้น 2 แนวทางได้แก่

1.) การแยกสายการผลิตที่ทำให้เสียกำลังการผลิตรวมน้อยที่สุด

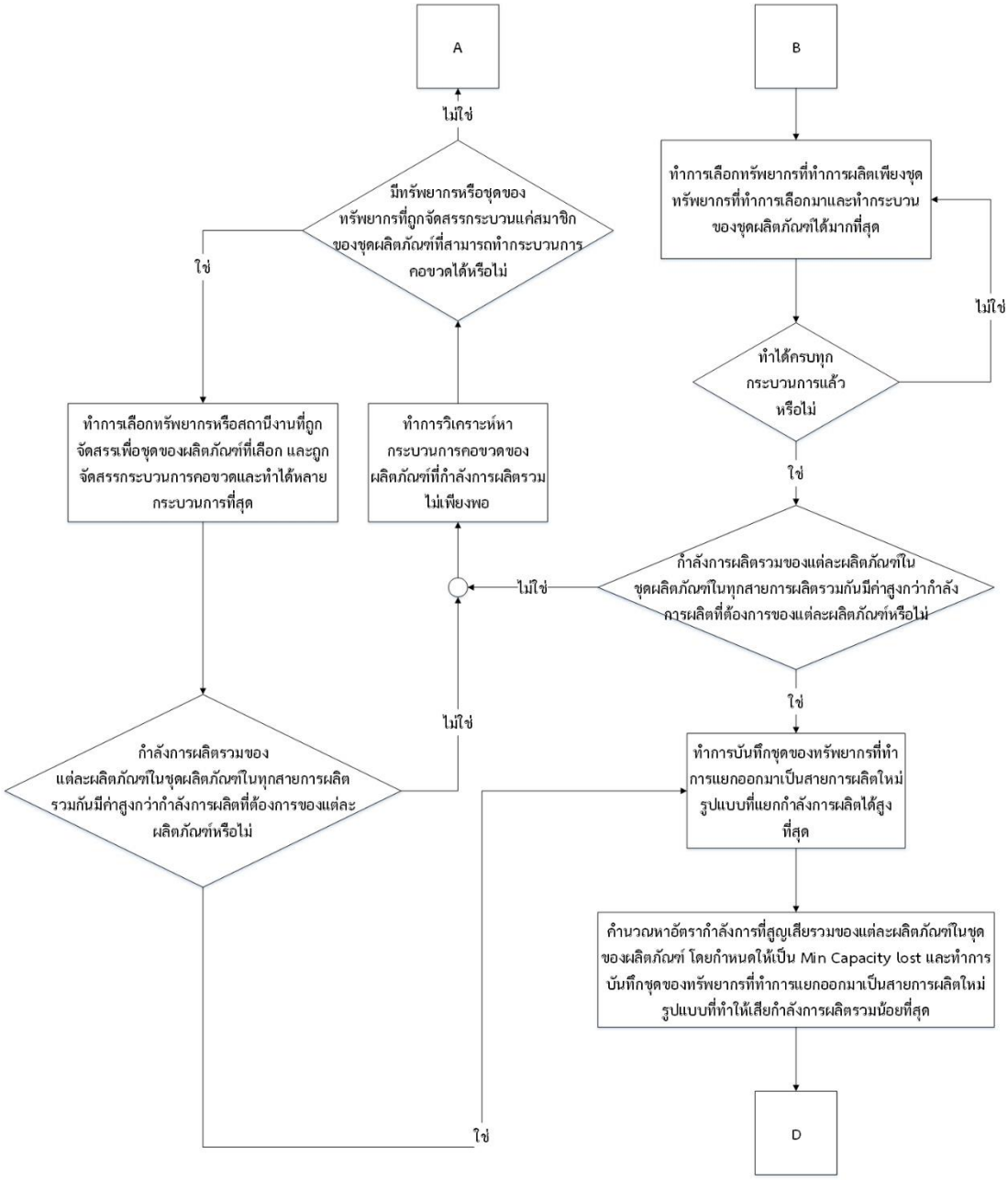
2.) การแยกสายการผลิตที่สามารถแยกกำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์หรือกลุ่มของผลิตภัณฑ์ไปยังสายการผลิตใหม่ได้สูงที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

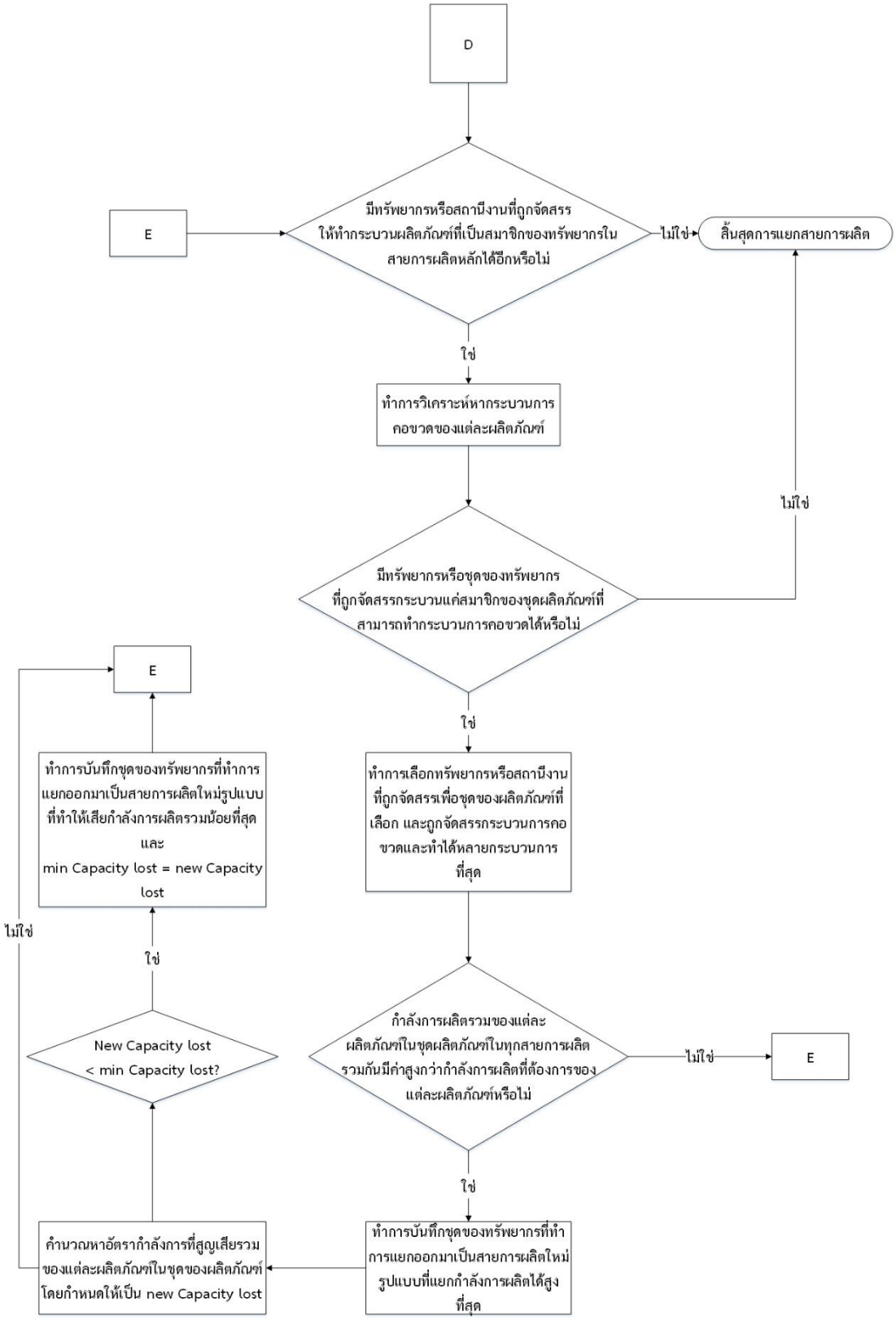
โดยแนวทางการแยกสายการผลิตทั้งสองแนวทางสามารถเขียนเป็นแผนผังกระบวนการดังที่แสดงอยู่ดังรูปที่ 5-7 ถึงรูปที่ 5-9




**รูปที่ 5-7 ขั้นตอนการแบ่งสายการผลิตส่วนที่ 1**



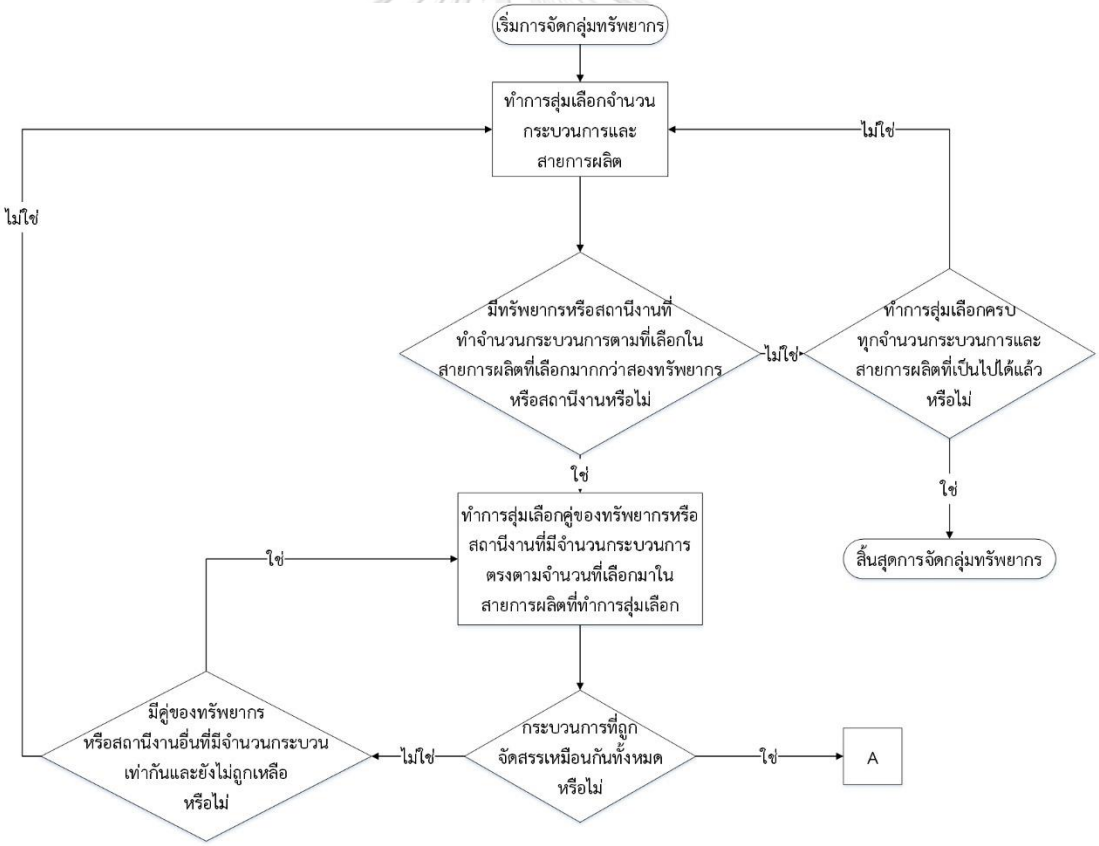

**รูปที่ 5-8 ขั้นตอนการแบ่งสายการผลิตส่วนที่ 2**



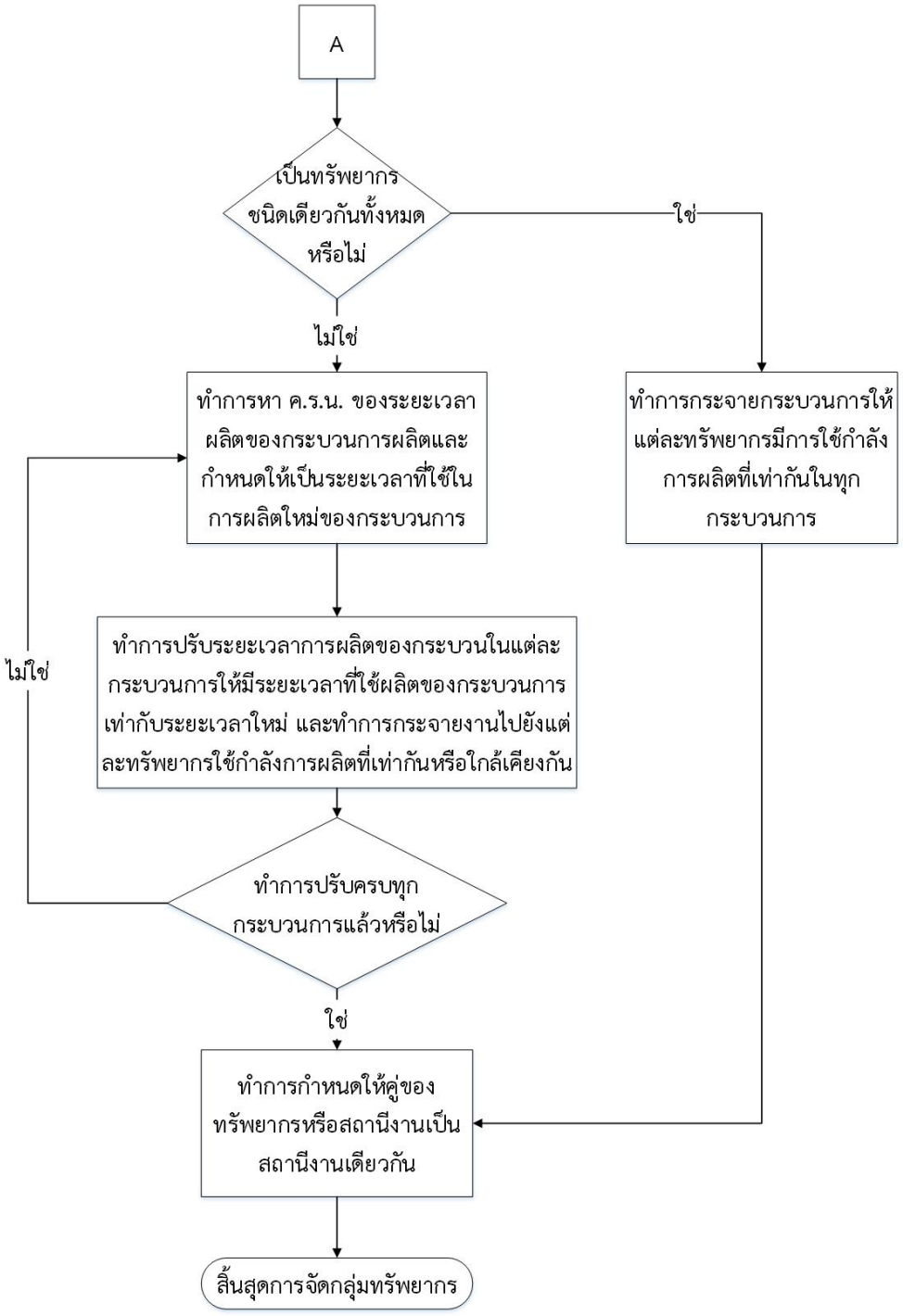

**รูปที่ 5-9 ขั้นตอนการแบ่งสายการผลิตส่วนที่ 3**

### 5.2.3. โมดูลการจัดกลุ่มสถานีงาน (Workstation grouping module)

ในโมดูลการจัดกลุ่มสถานีงานจะทำการสุ่มเลือกสายการผลิตที่มีอยู่แล้วจึงทำการตรวจสอบว่ามีทรัพยากรหรือกลุ่มของทรัพยากรใดที่ถูกจัดสรรกระบวนการผลิตที่เหมือนกัน โดยทรัพยากรหรือสถานีงานไม่จำเป็นต้องเป็นทรัพยากรชนิดเดียวกันทั้งหมด โดยทรัพยากรหรือสถานีงานที่ถูกเลือกมาทั้งสองส่วนจะถูกทำการกระจายกระบวนการต่าง ๆ ให้มีกำลังการผลิตที่ถูกใช้สำหรับแต่ละกระบวนการเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยระยะเวลาที่ใช้ของแต่ละกระบวนการจะถูกปรับให้มีระยะเวลาการผลิตเท่ากัน โดยใช้หลักการคูณร่วมน้อยรวมไปถึงจำนวนของชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ต้องใช้และสามารถผลิตได้โดยขั้นตอนดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังกระบวนการดังที่แสดงอยู่ดังรูปที่ 5-10 และรูปที่ 5-11




**รูปที่ 5-10 ขั้นตอนการจัดกลุ่มสถานีงานส่วนที่ 1**




**รูปที่ 5-11 ขั้นตอนการจัดกลุ่มสถานีงานส่วนที่ 2**

## 5.3. ตัวชี้วัด

หลังจากทำการออกแบบสายการผลิตเสร็จสิ้นแล้ว สายการผลิตที่ถูกออกแบบมานั้นจะถูกทำการประเมินจากทั้ง 9 ตัวชี้วัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งตัวชี้วัดแต่ละตัวนั้นจะทำการประเมินในแง่มุมที่ต่างกันออกไป โดยตัวชี้วัดแต่ละตัวนั้นจะมีวิธีการชี้วัดที่แตกต่างกันออกไป โดยจะทำการอธิบายในลำดับถัดไป แต่ทั้งนี้การคำนวณตัวชี้วัดแต่ละตัวชี้วัดนั้นจะถูกคำนวณโดยใช้ตัวแปรดังต่อไปนี้

### 5.3.1. ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าตัวชี้วัด

**1. เซต**

M คือ เซตของชนิดทรัพยากร

I คือ เซตของผลิตภัณฑ์

L คือ เซตของสายการผลิต

$W_l$ คือ เซตของสถานีงานในสายการผลิต l

$N_{mw_l}$ คือ เซตของหมายเลขทรัพยากรของทรัพยากรชนิดที่ m ที่เป็นสมาชิกของสถานีงาน w ในสายการผลิต l

$P_i$ คือ เซตของกระบวนการของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ i

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**2. ตัวแปรที่แสดงถึงค่าของตัวชี้วัด**

$AC_{n_{mw_l}}$ = อัตราส่วนกำลังการผลิตที่ถูกจัดสรรของทรัพยากรชนิดที่ m หมายเลข n ที่เป็นสมาชิกของสถานีงาน w ในสายการผลิต l โดยค่าดังกล่าวนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

$Rb_i$ = อัตราการผลิตคอขวดของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ i มีหน่วยเป็น [หน่วยผลิตภัณฑ์ / หน่วยเวลา]

$LT_i$ = ระยะเวลานำในการผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิด i มีหน่วยเป็น [หน่วยเวลา]

$RF_i$ = จำนวนเส้นทางการผลิตของผลิตภัณฑ์ i

$PCA_{n_{mw_l}}$ = ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการของทรัพยากรชนิดที่ m หมายเลข n ที่เป็นสมาชิกของสถานีงาน w ในสายการผลิต l

**3. ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณตัวชี้วัด**

$NP_{n_{mw_l}\,p_i}$ = จำนวนของรอบที่ทำการผลิตกระบวนการที่ p ของผลิตภัณฑ์ i ซึ่งถูกจัดสรรให้ทรัพยากรชนิดที่ m หมายเลข n ที่เป็นสมาชิกของสถานีงาน w ในสายการผลิต l มีหน่วยเป็น [จำนวนรอบกระบวนการผลิต]

$PT_{n_{mw_l}\,p_i}$ = ระยะเวลาที่ใช้ในการทำกระบวนการที่ p ของผลิตภัณฑ์ i ในทรัพยากรชนิดที่ m หมายเลข n ที่เป็นสมาชิกของสถานีงาน w ในสายการผลิต l มีหน่วยเป็น [หน่วยเวลา / รอบกระบวนการผลิต]

$A_{n_{mw_l}}$ = ระยะเวลาที่ทรัพยากรชนิดที่ m หมายเลข n ที่เป็นสมาชิกของสถานีงาน w ในสายการผลิต l สามารถใช้ในการผลิตได้ มีหน่วยเป็น [หน่วยเวลา / หน่วยทรัพยากร]

$OP_{n_{mw_l}\,p_i}$ = จำนวนชิ้นส่วนที่ได้รับของกระบวนการที่ p สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิด i เมื่อทำการผลิตในทรัพยากรชนิดที่ m หมายเลข n ที่เป็นสมาชิกของสถานีงาน w ในสายการผลิต l มีหน่วยเป็น [หน่วยผลิตภัณฑ์ / รอบกระบวนการผลิต]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$In_{p_i l}$ = จำนวนเส้นทางการผลิตที่เข้าสู่จุดพักชิ้นงานของกระบวนการที่ p ของผลิตภัณฑ์ i ในสายการผลิต l

$Out_{p_i l}$ = จำนวนเส้นทางการผลิตที่ออกจากจุดพักชิ้นงานของกระบวนการที่ p ของผลิตภัณฑ์ i ในสายการผลิต l

$Ratio_{p_i}$ = อัตราส่วนผลลัพธ์ของกระบวนการ p ของผลิตภัณฑ์ i เพื่อให้ได้สินค้าสำเร็จรูปของผลิตภัณฑ์ชนิด i หนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยที่ $i \in I$ และ $p \in P_i$

**5.3.2. วิธีการชี้วัดตัวชี้วัด**

**1. ด้านปริมาณ (Volume)**

**1.1. กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร (Allocated capacity)**

กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรรนั้นจะทำการพิจารณาว่าทรัพยากรแต่ละหน่วยในสายการผลิตต้องใช้กำลังการผลิตสำหรับผลิตกระบวนการที่ถูกจัดสรรรวมกันคิดเป็นอัตราส่วนเท่าใดของกำลังการผลิตที่สามารถใช้งานได้ของทรัพยากรนั้น ๆ โดยกำลังการผลิตที่ถูกจัดสรรของทรัพยากรหน่วยใด ๆ สามารถทำการคำนวณได้โดยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$AC_{n_{mw_l}} = \frac{\sum_{\forall p \in P_i, \forall i \in I} NP_{n_{mw_l} p_i} PT_{n_{mw_l} p_i}}{A_{n_{mw_l}}}$$

$$; \forall n \in N_{mw_l}, \forall m \in M, \forall w \in W_l, \forall l \in L$$

**1.2. อัตราการผลิตคอขวด (Bottleneck rate)**

ในการประเมินอัตราการผลิตคอขวดจะทำการในระดับของผลิตภัณฑ์ในแต่ละสายการผลิต โดยจะพิจารณาว่าในแต่ละทรัพยากรหรือสถานีงานที่ถูกจัดสรรให้ทำผลิตภัณฑ์นั้นกระบวนการใดมีอัตราการผลิตต่ำที่สุด หรือใช้ระยะเวลาในการผลิตนานที่สุดนั้นเอง หลังจากนั้นจึงนำอัตราการผลิตคอขวดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสายการผลิตรวมกัน จะทำให้ได้อัตราการผลิตคอขวดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในหนึ่งหน่วยเวลาจะสามารถทำผลิตภัณฑ์นั้นได้ด้วยอัตราการผลิตสูงสุดเท่าใดซึ่งสามารถเขียนออกมาอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Rb_i = \sum_{\forall l \in L} Min[\frac{\sum_{\forall n \in N_{mw_l}, \forall m \in M} OP_{n_{mw_l} p_i} Ratio_{p_i}}{Max[PT_{n_{mw_l} p_i} \mid \forall n \in N_{mw_l}, \forall m \in M]}$$

$$\mid \forall p \in P_i, \forall w \in W_l]; \forall i \in I$$

**1.3. ระยะเวลานำในการผลิต (Leadtime)**

ระยะเวลานำการผลิตจะทำการพิจารณาว่าต้องใช้ระยะเวลาน้อยที่สุดเท่าในภายใต้สายการผลิตที่ถูกออกแบบไว้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ชนิดดังกล่าวตามกำลังการผลิตที่ต้องการภายใต้สถานการณ์ที่ทำการเริ่มต้นผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวตั้งแต่กระบวนการแรก โดยไม่มีชิ้นงานระหว่างกระบวนการอยู่ในสายการผลิต แต่ทั้งนี้ระยะเวลานำจะไม่ทำการพิจารณาภายใต้สมมติฐานว่าทุกทรัพยากรที่ถูกจัดสรรให้ผลิตผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถใช้งานได้ทันที ตัวชี้วัดนี้สามารทำการคำนวณได้ โดยทำการพิจารณาว่าในแต่ละสายการผลิตที่ถูกระบุให้ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่กำลังทำการพิจารณาอยู่นั้น กระบวนการใดคือกระบวนการเป็นกระบวนการคอขวด ในกรณีที่กระบวนการที่เป็นคอขวดนั้นมีหลายทรัพยากรหรือสถานีงานจะทำการพิจารณาว่าทรัพยากรหรือสถานีงานใดที่ใช้ระยะเวลาในการผลิตให้ได้ตามจำนวนรอบกระบวนการที่จัดสรรไว้เป็นระยะเวลามากที่สุด หลักจากนั้นจะทำการพิจารณาว่าในกระบวนการที่เหลือของผลิตภัณฑ์ที่พิจารณานั้นทรัพยากรหรือสถานีงานใดที่ใช้ระยะเวลาต่อรอบการผลิตน้อยที่สุด โดยจะใช้ระยะเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลาตัวแทนของกระบวนการนั้นในสายการผลิตที่ทำการพิจารณาอยู่ เมื่อทำการพิจารณาครบทุกกระบวนการจะนำระยะเวลาในกระบวนการต่าง ๆ มารวมกันและคิดเป็นระยะเวลานำในการผลิตของผลิตภัณฑ์ในสายการผลิตนั้น ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์สามารถผลิตได้ในหลายสายการผลิตจะนำระยะเวลาในแต่ละสายการผลิตของผลิตภัณฑ์มาทำการเปรียบเทียบกัน และใช้ระยะเวลานำของสายการผลิตที่สูงที่สุดเป็นค่าระยะเวลานำในการผลิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นสมการดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$LT_i = Max[(\sum_{\forall p \in P_i} Min[Max[PT_{n_{mw_l} p_i} \mid \forall n \in N_{mw_l}, \forall m \in M] \mid \forall w \in W_l])$$

$$+ Max[Max[NP_{n_{mw_l} p_i} PT_{n_{mw_l} p_i} \mid \forall n \in N_{mw_l}, \forall m \in M] \mid \forall w \in W_l, \forall p \in P_i]$$

$$\mid \forall l \in L]; \forall i \in I$$

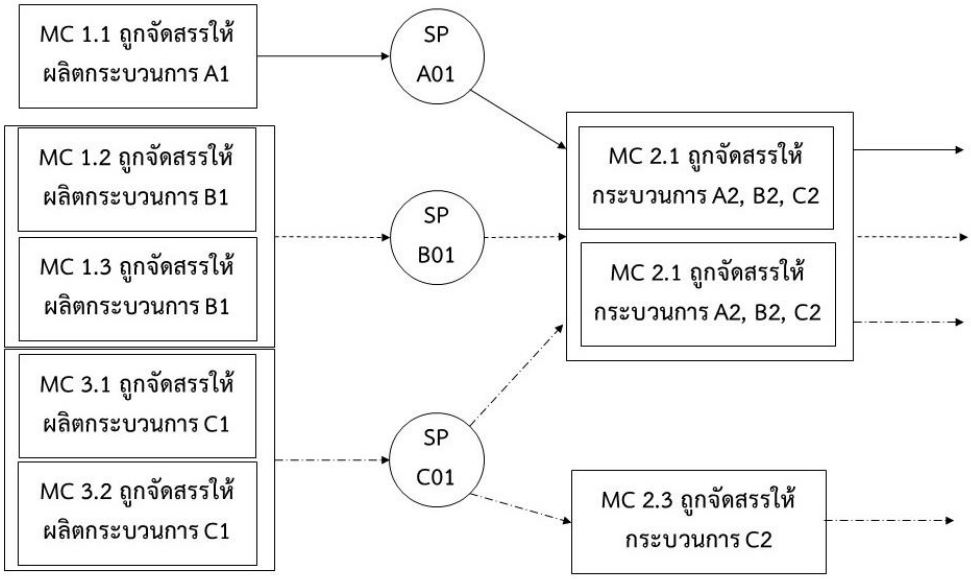
**2. ด้านความยืดหยุ่น (Flexibility)**

**2.1. ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing flexibility)**

ในด้านของความยืดหยุ่นจะทำการพิจารณาจากทรัพยากรหรือสถานีงานหน่วยต่าง ๆ จะสามารถส่งผลิตภัณฑ์ไปยังทรัพยากรหรือสถานีงานหน่วยใดได้เป็นลำดับถัดไป

เพื่อให้สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปได้ โดยทำการชี้วัดจากจำนวนเส้นทางการผลิตที่เข้าไปยังจุดพักชิ้นงานคูณด้วยเส้นทางการผลิตที่ออกจากจุดพักชิ้นงานนั้น และนำจำนวนเส้นทางการผลิตของแต่ละจุดพักชิ้นงานในสายการผลิตเดียวกันมาคูณกัน สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำได้ในหลายสายการผลิตจะนำจำนวนเส้นทางการผลิตของแต่ละสายการผลิตมารวมกัน โดยในตัวชี้วัดนี้จะทำการพิจารณาแยกเป็นของแต่ละผลิตภัณฑ์เช่นในรูปที่ 5-12 จะสามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์ A นั้นมีจำนวน 1 เส้นทาง ผลิตภัณฑ์ B 1 เส้นทาง และผลิตภัณฑ์ C 2 เส้นทางเป็นต้น โดยสามารถแสดงอยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

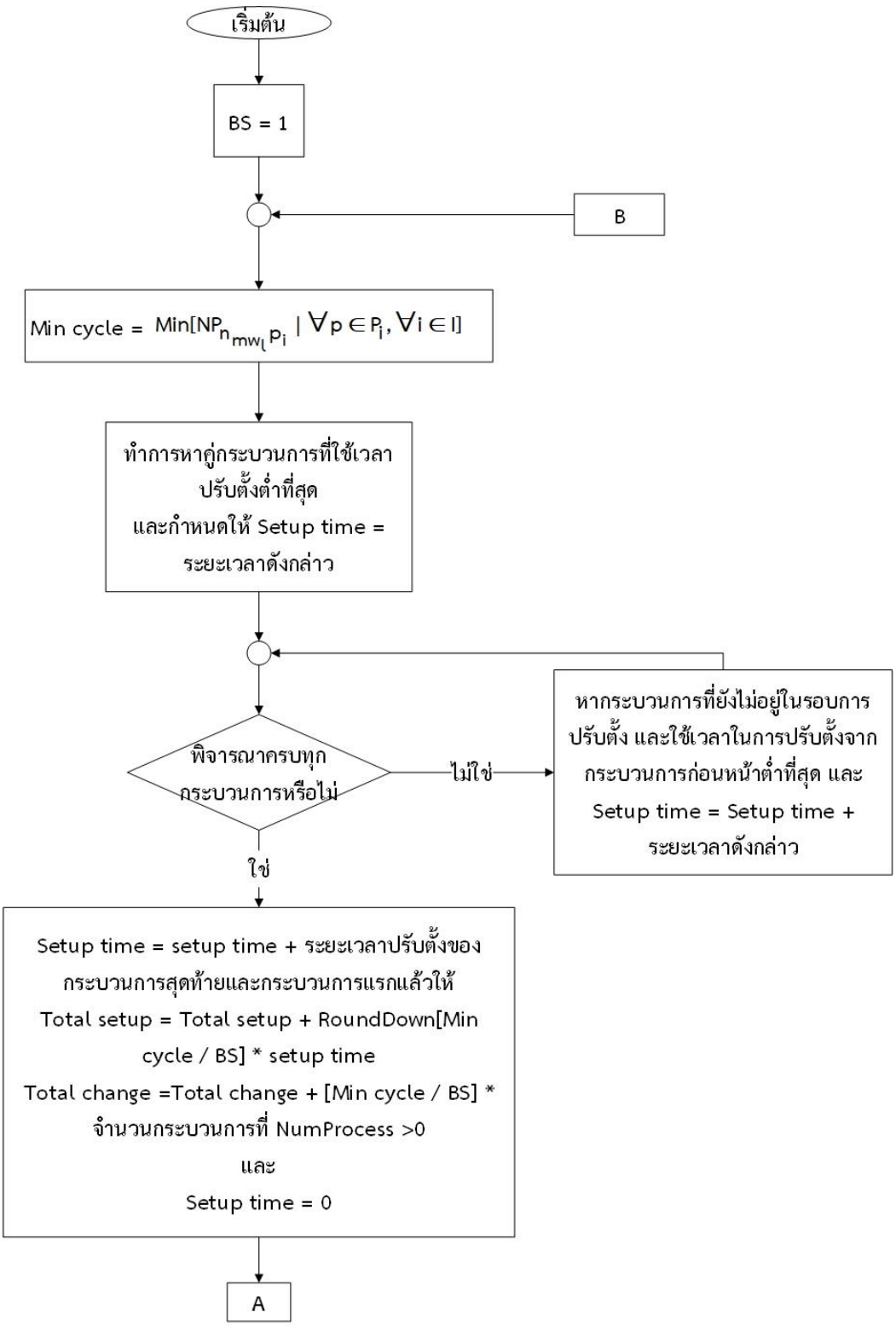
$$RF_i = \sum_{\forall l \in L,\ \forall p \in P_i - \{1\}} \left[ \prod In_{p_i l} \prod_{\forall p \in P_i - \{|P_i|\}} Out_{p_i l} \right]; \forall i \in I$$



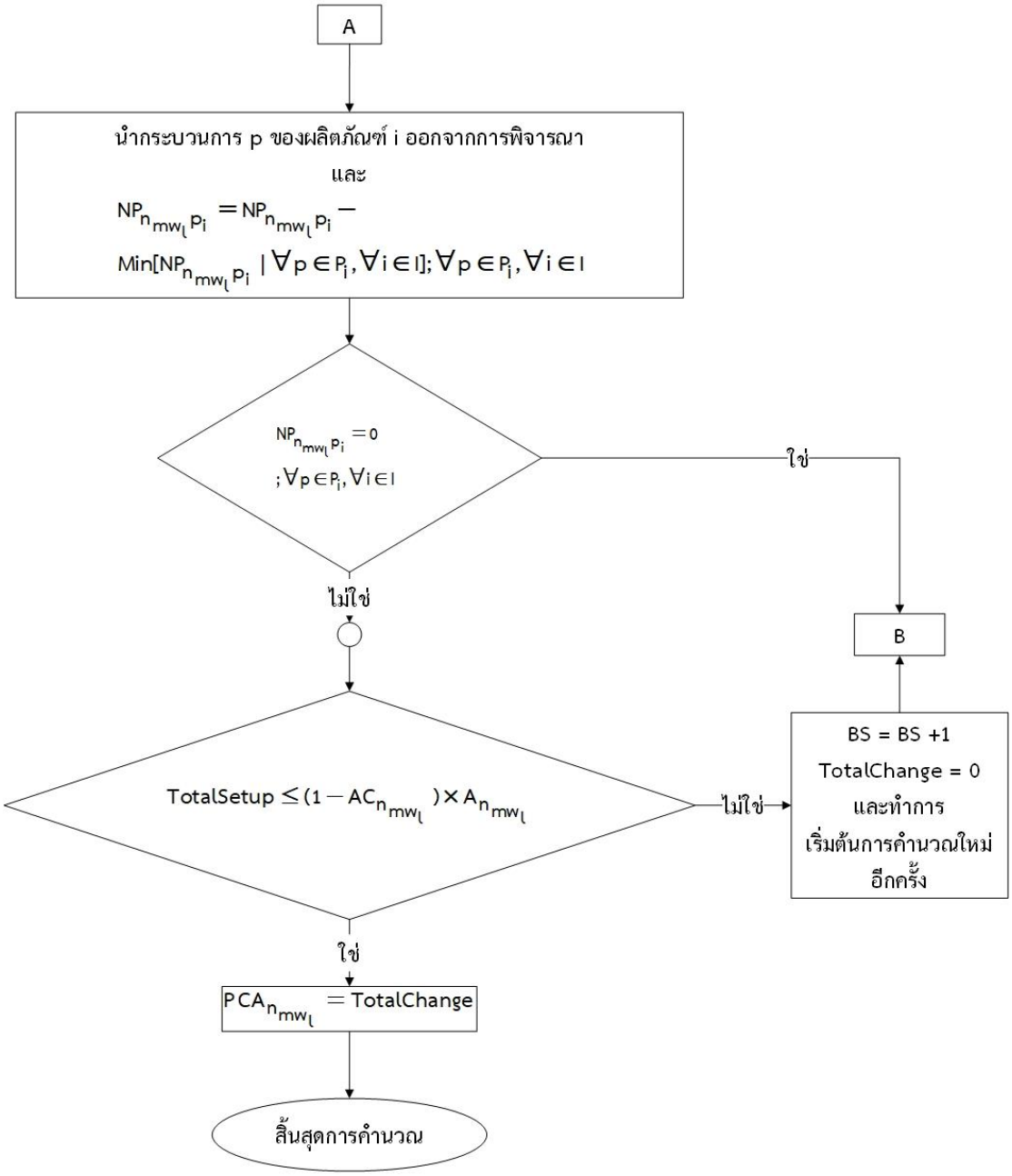

**รูปที่ 5-12 ตัวอย่างจุดพักชิ้นงาน**

### 2.2. ความยืดหยุ่นของกระบวนการ (Process flexibility)

ตัวชี้วัดดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์และจำนวนสายการผลิต โดยหากจำนวนสายการผลิตมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ ความยืดหยุ่นของกระบวนการย่อมมีค่าเท่ากับจำนวนสายการผลิต ในทางตรงกันข้ามความยืดหยุ่นของกระบวนการจะมีค่าเท่ากับจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นเองดังในรูปที่ 5-13 และรูปที่ 5-14




**รูปที่ 5-13 ขั้นตอนการหาความไวในการเปลี่ยนกระบวนการส่วนที่ 1**




**รูปที่ 5-14 ขั้นตอนการหาความไวในการเปลี่ยนกระบวนการส่วนที่ 2**

### 3. ด้านความไว (Agility)

#### 3.1. ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ (Process changing agility)

โดยวิธีการหาตัวชี้วัดจะทำการคำนวณโดยเริ่มจากทำการผลิตในแต่ละกระบวนการที่ทรัพยากรหรือสถานีงานถูกจัดสรรให้ทำการผลิตด้วยขนาดการผลิตที่น้อยที่สุด (Minimum batch size) โดยหากทรัพยากรหรือสถานีงานถูกจัดสรรให้ผลิตมากกว่า 2

กระบวนการจะทำการพิจารณาว่าควรมีลำดับการผลิตเช่นใดเพื่อให้เกิดระยะเวลาในการปรับตั้งทรัพยากรต่ำที่สุด โดยหากทรัพยากรหรือสถานีงานดังกล่าวไม่สามารถผลิตได้ตรงตามกำลังการผลิตที่กำหนดจะทำการเพิ่มขนาดการผลิตจำนวนที่ทำการผลิตเป็นจำนวนเท่าของขนาดการผลิตที่น้อยที่สุดและทำการเพิ่มจนกระทั่งสามารถทำการผลิตได้ตรงตามกำลังการผลิตที่ต้องการ ซึ่งจะทำให้ได้รับจำนวนครั้งที่มากที่สุดที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการได้ ซึ่งค่าดังกล่าวคือค่าความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ ทั้งนี้หากในระหว่างที่ทำการเพิ่มขนาดการผลิต หากมีกระบวนการที่สามารถผลิตได้ตรงตามจำนวนรอบการผลิตที่ถูกจัดสรรไว้จะไม่นำมาพิจารณาในการเปลี่ยนกระบวนการต่อ ซึ่งจะส่งผลให้ลำดับการเปลี่ยนกระบวนการหลังจากนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป

จากแนวทางในกล่าวในข้างต้นสามารถสรุปออกมาเป็นขั้นตอนในการหาความไวในการเปลี่ยนกระบวนการได้ดังนี้ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 5-13 และรูปที่ 5-14 โดยในการหาค่าความไวในการเปลี่ยนกระบวนการนั้นจะทำการพิจารณาแต่หน่วยของทรัพยากรซึ่งจะได้ว่า

$$PCA_{n_{mw_l}} = \text{TotalChange}$$

**3.2. ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต (Plan changing agility)**

ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิตนั้นจะมีวิธีการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต ซึ่งคือการนับจากจำนวนเส้นทางการผลิตที่มีอยู่ในระบบการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**4. ด้านความทนทาน (Robustness)**

**4.1. การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ (Demand sensitivity)**

ในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการจะทำการพิจารณาจากกำลังการผลิตที่ไม่ถูกครอบของทรัพยากรที่ทำหน้าที่รับผิดชอบแต่ละผลิตภัณฑ์ว่าสามารถรอบรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดนั้น ๆ ได้เพิ่มอีกเป็นอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ชนิดนั้น ๆ ในปัจจุบัน ซึ่งถูกคำนวณจากกระบวนการที่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นได้จำนวนน้อยที่สุด แต่

หากผลิตภัณฑ์สามารถทำการผลิตได้ในหลายสายการผลิตจะนำกำลังการผลิตที่ต่ำที่สุดของแต่ละสายการผลิตรวมกัน

**4.2. การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต (Capacity sensitivity)**

การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของการผลิตจะทำการพิจารณาจากกำลังการผลิตที่ไม่ถูกของครอบครองของทรัพยากรต่าง ๆ ภายในสายการผลิต และใช้กำลังการผลิตที่ไม่ถูกครอบครองของสายการผลิตนั้นเป็นค่าตัวแทนของการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต ณ สายการผลิตนั้น

**5.4. การประเมินผลของสายการผลิต**

ในการคำนวณตัวชี้วัดทั้ง 9 ตัวชี้วัดจะพบว่าในแต่ละตัวชี้วัดจะมีค่ามากกว่าหนึ่งค่า ทำให้จำเป็นต้องทำการหาค่าตัวแทนของแต่ละตัวชี้วัด โดยค่าตัวแทนของตัวชี้วัดแต่ละตัวนั้นจะถูกแทนด้วยค่าเฉลี่ยของค่าต่าง ๆ ในแต่ละตัวชี้วัดสำหรับกรณีที่มีค่าเกินกว่า 1 ค่า แต่อย่างไรก็ตามตัวชี้วัดแต่ละตัวนั้นมีหน่วยที่แตกต่างกันออกไปทำให้ไม่สามารถนำมาทำการเปรียบเทียบโดยตรงได้ ทางผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดการทำนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) เพื่อให้ทุกตัวชี้วัดมีค่าอยู่ในระดับเดียวกันโดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยคิดจากสมการดังนั้น

$$Score_{ind} = \begin{cases} \dfrac{x_{ind} - Min_{ind}}{Max_{ind} - Min_{ind}}; ind \in \{1,2,4,5,6,8,9\} \\ 1 - \dfrac{x_{ind} - Min_{ind}}{Max_{ind} - Min_{ind}}; ind \in \{3,7\} \end{cases}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปรต่าง ๆ มีความหมายดังนี้

$Score_{ind}$ คือค่าตัวแทนของตัวชี้วัด ind เมื่อถูกทำการนอร์มัลไลเซชันแล้ว

$x_{ind}$ คือค่าของตัวชี้วัด ind ที่ยังไม่ถูกทำการนอร์มัลไลเซชัน

$Max_{ind}$ คือค่าของตัวชี้วัด ind ที่มีค่าสูงที่สุดเมื่อยังไม่ถูกทำการนอร์มัลไลเซชัน

$Min_{ind}$ คือค่าของตัวชี้วัด ind ที่มีค่าต่ำที่สุดเมื่อยังไม่ถูกทำการนอร์มัลไลเซชัน

$w_{ind}$ คือค่าน้ำหนักของตัวชี้วัด ind ที่ถูกกำหนด โดยจะถูกทำการนอร์มัลไลเซชันให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

IND คือเซ็ตของตัวชี้วัดโดยมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 9 โดยแต่ละค่าแสดงถึงตัวชี้วัดต่าง ๆ ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 5-1

**ตารางที่ 5-1 ค่าแทนตัวชี้วัด**

| ค่าของ ind | ชื่อตัวชี้วัด |
|---|---|
| 1 | กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร (Allocated capacity) |
| 2 | อัตราการผลิตคอขวด (Bottleneck rate) |
| 3 | ระยะเวลานำในการผลิต (Production lead time) |
| 4 | ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต (Routing flexibility) |
| 5 | ความยืดหยุ่นของกระบวนการ (Process flexibility) |
| 6 | ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ (Process changing agility) |
| 7 | ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต (Plan changing agility) |
| 8 | การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ (Demand sensitivity) |
| 9 | การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต (Capacity sensitivity) |

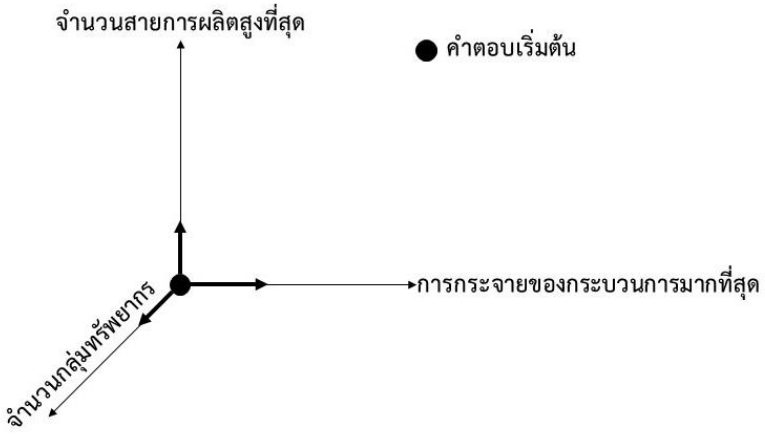
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ซึ่งค่า Min และค่า Max นั้นจะทำนำมาจากการพิจารณาจากค่าของตัวชี้วัดดังกล่าวในแต่สายการผลิตที่ทำการทดลองออกแบบ และทำการระบุเป็นค่า Min และค่า Max ของตัวชี้วัดดังกล่าว สำหรับตัวชี้วัดตัวที่ 3 และ 7 มีวิธีการคิดคะแนนที่แตกต่างจากตัวชี้วัดอื่นเนื่องจากในเชิงคณิตศาสตร์ค่าของตัวชี้วัดทั้งสองตัวควรจะมีค่าที่ต่ำซึ่งแตกต่างไปจากตัวชี้วัดตัวอื่น ๆ โดยหลังจากได้คะแนนของตัวชี้วัดแต่ละตัวจะทำรวมกันเพื่อเป็นคะแนนรวมของสายการผลิตนั้นผ่านสมการ โดยผลรวมของ $w_{ind}$ จะต้องมีค่าไม่เกิน 1

$$\text{Maximize } z = \sum_{ind \in IND} w_{ind} \times Score_{ind}$$

**5.5. ขั้นตอนการออกแบบสายการผลิต**

จากวิธีการหาคำตอบเริ่มต้นที่ได้อธิบายในข้างต้นจะทำให้เห็นว่าคำตอบดังกล่าวเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solution) แต่อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด โดยคำตอบเริ่มต้นจะมีลักษณะเด่นคือ 1.) สามารถหาคำตอบได้ง่ายและรวดเร็ว 2.) มีการจัดสรรทรัพยากรสำหรับแต่ละกระบวนการจำนวนน้อยที่สุด 3.) ไม่มีกลุ่มของทรัพยากร และ 4.) ไม่มีการแยกสายการผลิต หลังจากนั้นจะใช้แนวทางของการหาคำตอบข้างเคียง (Neighborhood search) เพื่อทำการเคลื่อนคำตอบไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5-15



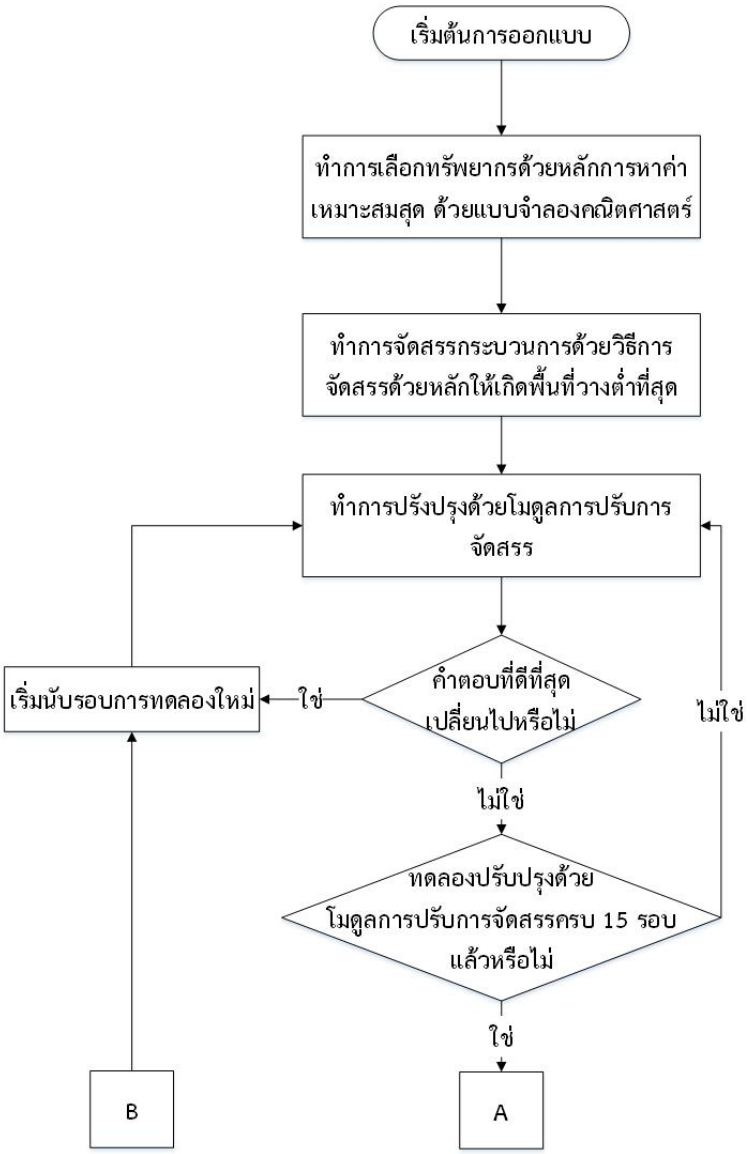

**รูปที่ 5-15 ลักษณะของคำตอบเริ่มต้นและวิธีการปรับปรุงคำตอบ**

CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยเมื่อได้รับคำตอบจากการหาค่าเหมาะสมสุดในการเลือกทรัพยากรและทำการจัดสรรทรัพยากรอย่างง่ายจะทำการปรับปรุงคำตอบโดยอาศัยแนวคิดพื้นฐานในการออกแบบสายการผลิต คือเริ่มจากการปรับการจัดสรร หลังจากนั้นจึงทำการแยกสายการผลิตแล้วจึงพิจารณาในองค์ประกอบของการเลือกเส้นทางการผลิตและแยกสายการผลิต และองค์ประกอบของการจัดกลุ่มทรัพยากรตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามแนวทางการปรับปรุงคำตอบที่ได้ทำการวิจัยขึ้นมานั้นอาศัยวิธีการลองผิดลองถูก ทางผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงแต่ละแนวทางภายใต้หลักการลองผิดลองถูกด้วยจำนวนครั้งที่กำหนด

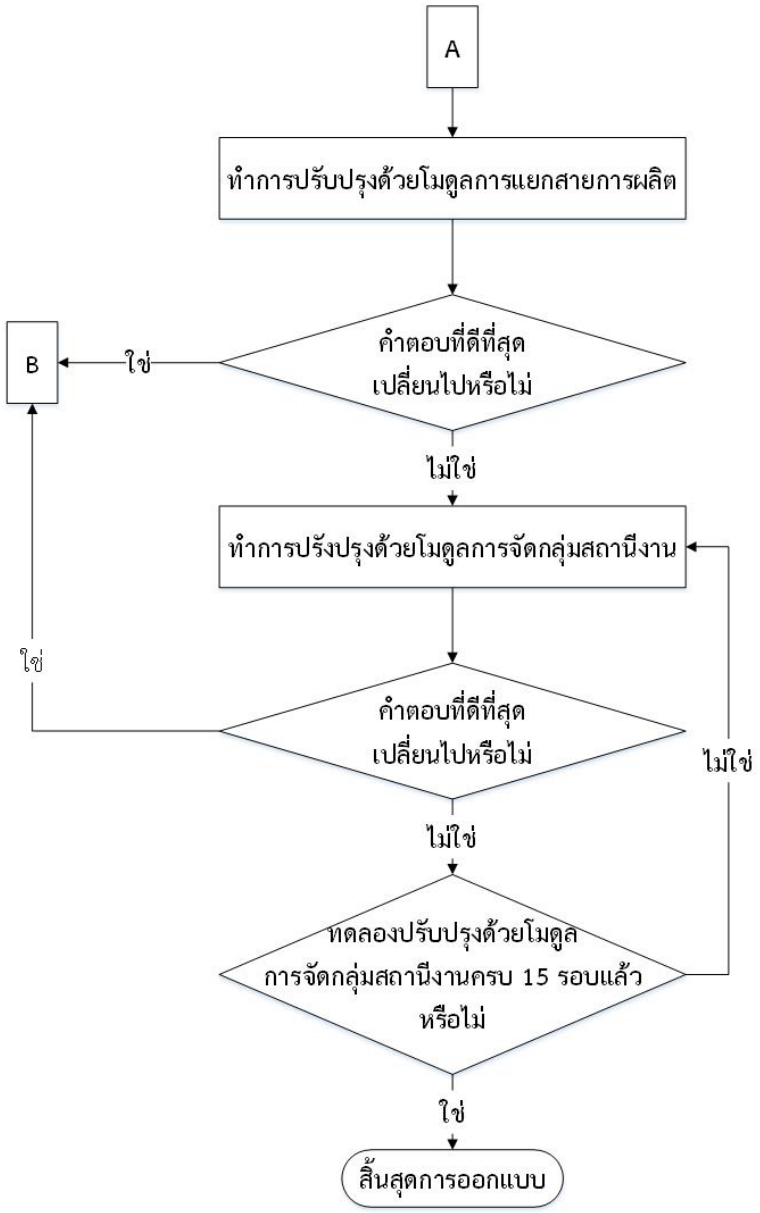
เมื่อได้รับคำตอบเริ่มต้นจะทำการปรับปรุงด้วยโมดูลการปรับการจัดสรรทั้งสองแนวทางย่อย หลังจากทำการทดลองแล้วจะทำการประเมินสมรรถนะของสายการผลิตโดยใช้ตัวชี้วัดทั้ง 9 ตัวชี้วัด และทำการคำนวณออกมาเป็นสมรรถนะรวมของสายการผลิต โดยหากคำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบันเป็นชุดคำตอบที่เปลี่ยนไปจากเดิมจะทำการปรับปรุงด้วยโมดูลการปรับการจัดสรรใหม่อีกครั้ง แต่หากคำตอบไม่มีการปรับปรุงคำตอบครบ 15 รอบของการปรับปรุงด้วยโมดูลการปรับการจัดสรร จะทำการปรับปรุงคำตอบด้วยโมดูลการแบ่งสายการผลิตเป็นลำดับถัดไป ซึ่งหากคำตอบที่ดีที่สุดมีการเปลี่ยนแปลง คำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบันจะถูกนำกลับไปทดลองปรับปรุงใหม่ด้วยโมดูลการปรับการจัดสรรอีกครั้งหนึ่งโดยทำการนับเป็นรอบที่ 1 ใหม่ แต่ถ้าหากโมดูลการแบ่งสายการผลิตไม่สามารถปรับปรุงคำตอบได้จะใช้โมดูลการจัดกลุ่มสถานีงานแทนซึ่งในโมดูลนี้จะทำการทดลองปรับปรุงได้ไม่เกิน 15 ครั้ง ถ้าหากการปรับปรุงครั้งใดทำให้คำตอบที่ดีที่สุดเปลี่ยนแปลงจะกลับไปทดลองปรับปรุงด้วยโมดูลการปรับการจัดสรรใหม่ แต่ถ้าหากทดลองปรับปรุงด้วยโมดูลการจัดกลุ่มสถานีงานเกิน 15 ครั้งและคำตอบที่ดีที่สุดยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะทำการสิ้นสุดการออกแบบการผลิตและให้คำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบันเป็นคำตอบใหม่ โดยทุกครั้งที่ได้รับคำตอบที่เป็นไปได้ชุดใหม่จะต้องทำการตำนวณค่าวัตถุประสงค์ของทุก ๆ คำตอบที่เป็นไปได้ใหม่อีกครั้ง ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวสามารถแสดงเป็นแผนผังได้ดังรูปที่ 5-16 และรูปที่ 5-17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




CHULALONGKORN UNIVERSITY

**รูปที่ 5-16 ฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่นำเสนอส่วนที่ 1**




**รูปที่ 5-17 ฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่นำเสนอส่วนที่ 2**

# บทที่ 6 การทดสอบฮิวริสติก

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงวิธีการและผลการทดสอบฮิวริสติกเพื่อประเมินฮิวริสติกสำหรับการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่ออกแบบขึ้นนั้นมีความสามารถอย่างไร เริ่มจากการอธิบายวิธีการการทดสอบและพารามิเตอร์ที่ถูกควบคุม หลังจากนั้นอธิบายถึงปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบพร้อมทั้งข้อสรุปในประเด็นต่าง ๆ

## 6.1. วิธีการทดสอบฮิวริสติก

การทดสอบฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อทำการทดสอบผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อความสามารถในการปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติก โดยพารามิเตอร์ที่ถูกควบคุมนั้นถูกระบุจากความซับซ้อนในการออกแบบสายการผลิตที่ถูกระบุในงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการออกแบบสายการผลิต รวมไปถึงพารามิเตอร์ที่คาดว่าส่งผลกระทบต่อความสามารถในการปรับปรุงคำตอบ โดยพารามิเตอร์ที่ถูกควบคุมมีทั้งหมด 7 พารามิเตอร์ดังนี้ 1.) จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 2.) กำลังการผลิตคงเหลือ 3.) จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร 4.) จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร 5.) ระยะเวลาการปรับตั้ง 6.) จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต และ 7.) อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ โดยพารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์ถูกแบ่งออกเป็น 3 ถึง 4 ระดับ โดยพารามิเตอร์ที่ถูกควบคุมทั้ง 7 พารามิเตอร์คือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 6.1.1. จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์

พารามิเตอร์นี้ถูกควบคุมในแง่มุมของจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการออกแบบสายการผลิต โดยขอบเขตของการควบคุมไม่รวมถึงกำลังการผลิตที่ต้องการและจำนวนกระบวนการของแต่ละผลิตภัณฑ์ พารามิเตอร์นี้จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับได้แก่

1.) มีผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดภายในสายการผลิต

2.) มีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิดภายในสายการผลิต

3.) มีผลิตภัณฑ์ 6 ชนิดภายในสายการผลิต

### 6.1.2. กำลังการผลิตคงเหลือ

พารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือจะถูกควบคุมว่ากำลังการผลิตที่เกิดจากทรัพยากรที่ถูกเลือกสูงกว่ากำลังการผลิตที่ต้องการในระดับที่แตกต่างกันจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติกด้วยแนวโน้มเช่นไร พารามิเตอร์นี้ถูกแบ่งระดับด้วยสัดส่วนของกำลังการผลิตคงเหลือเทียบกับกำลังการผลิตสูงสุดของทรัพยากรที่ถูกเลือก พารามิเตอร์นี้จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ระดับดังนี้

1.) กำลังการผลิตคงเหลือเป็นอัตราส่วน 20 % ของกำลังการผลิตสูงสุด

2.) กำลังการผลิตคงเหลือเป็นอัตราส่วน 30 % ของกำลังการผลิตสูงสุด

3.) กำลังการผลิตคงเหลือเป็นอัตราส่วน 40 % ของกำลังการผลิตสูงสุด

4.) กำลังการผลิตคงเหลือเป็นอัตราส่วน 50 % ของกำลังการผลิตสูงสุด

### 6.1.3. จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร

พารามิเตอร์นี้ถูกควบคุมจำนวนกระบวนที่ทรัพยากรแต่ละชนิดสามารถผลิตได้ โดยการควบคุมพารามิเตอร์นี้ไม่ครอบคลุมจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทรัพยากรสามารถทำได้ โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.) ทรัพยากรแต่ละชนิดสามารทำได้ 1 กระบวนการ

2.) ทรัพยากรแต่ละชนิดสามารทำได้ 3 กระบวนการ

3.) ทรัพยากรแต่ละชนิดสามารทำได้ 5 กระบวนการ

### 6.1.4. จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร

พารามิเตอร์จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากรถูกควบคุมในลักษณะกระบวนการทั้งหมดที่ทรัพยากรสามารถผลิตได้นับเป็นผลิตภัณฑ์กี่ชนิด แต่ทั้งนี้พารามิเตอร์ดังกล่าวไม่ครอบคลุมถึงการควบคุมจำนวนกระบวนการที่ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดต้องการ ซึ่งพารามิเตอร์จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากรจะถูกแบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้

1.) 1 ชนิดผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร

2.) 2 ชนิดผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร

3.) 3 ชนิดผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร

**6.1.5. ระยะเวลาการปรับตั้ง**

พารามิเตอร์นี้ถูกควบคุมในลักษณะของการปรับตั้งทรัพยากรหนึ่งครั้งจะทำให้ทรัพยากรสูญเสียระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตกระบวนการอื่น ๆ โดยการปรับตั้งทรัพยากรเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนกระบวนการที่ทรัพยากรทำการผลิต ซึ่งระยะเวลาการปรับตั้งถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนต่อระยะเวลาสูงที่สุดที่ทรัพยากรสามารถทำการผลิตได้ โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวถูกแบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้

1.) ไม่มีการสูญเสียระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตเมื่อเกิดการปรับตั้ง

2.) การปรับตั้งหนึ่งครั้งทำให้ทรัพยากรสูญเสียระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตเป็นอัตราส่วน 5 % ของระยะเวลาสูงที่สุดที่ทรัพยากรสามารถทำการผลิตได้

3.) การปรับตั้งหนึ่งครั้งทำให้ทรัพยากรสูญเสียระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตเป็นอัตราส่วน 10 % ของระยะเวลาสูงที่สุดที่ทรัพยากรสามารถทำการผลิตได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**6.1.6. จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต**

พารามิเตอร์นี้ถูกควบคุมในแง่มุมของจำนวนทรัพยากรภายในสายการผลิตที่ทำการออกแบบสายการผลิตในองค์ประกอบของ 1.) การจัดสรรทรัพยากร 2.) การจัดกลุ่มทรัพยากร และ 3.) การเลือกเส้นทางการผลิตและการแบ่งสายการผลิต โดยการควบคุมพารามิเตอร์นี้ไม่ครอบคลุมถึงจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์และจำนวนกระบวนการที่ทรัพยากรแต่ละชนิดสามารถทำการผลิตได้ และกำลังการผลิตคงเหลือของแต่ละทรัพยากร โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวถูกแบ่งออกเป็น 4 ระดับดังนี้

1.) สายการผลิตมีทรัพยากร 5 หน่วยทรัพยากร

2.) สายการผลิตมีทรัพยากร 10 หน่วยทรัพยากร

3.) สายการผลิตมีทรัพยากร 15 หน่วยทรัพยากร

4.) สายการผลิตมีทรัพยากร 20 หน่วยทรัพยากร

**6.1.7. อัตราส่วนผลิตภัณฑ์**

พารามิเตอร์นี้ถูกการควบคุมอัตราส่วนของกำลังการผลิตที่ต้องการของแต่ละผลิตภัณฑ์ ในลักษณะของความแตกต่างกำลังการผลิตที่ต้องการของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการผลิตในสายการผลิต โดยอัตราส่วนผลิตภัณฑ์ถูกแบ่งลักษณะเป็น 3 ระดับดังนี้

1.) อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกัน

2.) อัตราส่วนผลิตภัณฑ์เท่ากันทั้งหมด

3.) อัตราส่วนผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันมาก

นอกจากการทดสอบผลกระทบของพารามิเตอร์ทั้ง 7 พารามิเตอร์ต่อความสามารถในการปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติก ทางผู้วิจัยต้องการทำการทดสอบผลกระทบด้านความต้องการที่ถูกกำหนดต่อความสามารถในการปรับปรุงคำตอบ รวมไปถึงแนวโน้มของผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ การทดสอบผลกระทบด้านความต้องการที่ถูกกำหนดจะถูกทดสอบโดยการเปลี่ยนชุดของน้ำหนักตัวชี้วัด ซึ่งชุดของความต้องการที่ถูกกำหนดสามารถแบ่งเป็น 5 รูปแบบ โดยอ้างอิงจากรูปแบบสายการผลิตพื้นฐานที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.) ชุดของความต้องการเมื่อต้องการให้สายการผลิตมีรูปแบบของสายการผลิตแบบไหลผ่าน (Flow shop)

2.) ชุดของความต้องการเมื่อต้องการให้สายการผลิตมีรูปแบบของสายการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Job shop)

3.) ชุดของความต้องการเมื่อต้องการให้สายการผลิตมีรูปแบบของสายการผลิตแบบเซลล์ (Cellular)

4.) ชุดของความต้องการเมื่อต้องการให้สายการผลิตมีรูปแบบของสายการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible)

5.) ชุดของความต้องการเมื่อต้องการให้สายการผลิตมีรูปแบบทั่วไป (Non-specify)

โดยน้ำหนักของชุดตัวชี้วัดทั้ง 5 ชุด สามารถสรุปได้ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 6-1

**ตารางที่ 6-1 ตารางแสดงน้ำหนักของตัวชี้วัดทุกตัวสำหรับชุดตัวชี้วัดทั้ง 5 ชุด**

| | ลักษณะสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **ตัวชี้วัด** | **ไหลผ่าน** | **ไม่ต่อเนื่อง** | **เซลล์** | **ยืดหยุ่น** | **ทั่วไป** |
| **กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **อัตราการผลิตคอขวด** | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| **ระยะเวลานำในการผลิต** | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| **ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต** | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **ความยืดหยุ่นของกระบวนการ** | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ** | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| **ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต** | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ** | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| **การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต** | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**6.2. ปัญหาที่ใช้สำหรับทดสอบความสามารถในการปรับปรุงคำตอบ**

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบฮิวริสติกที่ทำการออกแบบถูกสร้างขึ้นจากพารามิเตอร์ทั้ง 7 พารามิเตอร์ที่กล่าวไปในข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบชุดพารามิเตอร์มาตรฐานขึ้น โดยมีลักษณะคือแต่ละพารามิเตอร์มีถูกควบคุมให้อยู่ในระดับที่ 2 เนื่องจากชุดพารามิเตอร์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นสายการผลิตที่มีความซับซ้อนในระดับกึ่งกลางของพารามิเตอร์นั้น ๆ ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้เป็นตัวแทนของชุดพารามิเตอร์ลักษณะต่าง ๆ ในลำดับต่อมาชุดพารามิเตอร์จะถูกออกแบบโดยการปรับเปลี่ยนระดับของพารามิเตอร์ของชุดพารามิเตอร์มาตรฐาน ในแต่ละปัญหามีเพียงหนึ่งพารามิเตอร์เท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนแปลงระดับของพารามิเตอร์ ยกเว้นในชุดพารามิเตอร์ที่ทำการ

ปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรที่สามารถทำได้เพียง 1 กระบวนการ ย่อมต้องทำการควบคุมให้แต่ละทรัพยากรสามารถผลิตได้เพียง 1 ชนิดของผลิตภัณฑ์เช่นกัน ด้วยวิธีการออกแบบชุดพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับทำการทดสอบดังกล่าวทำให้เกิดรายการของชุดพารามิเตอร์ขึ้น 17 ชุดพารามิเตอร์ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 6-2 และตารางที่ 6-3 นอกจากนี้แต่ละปัญหาถูกทำการทดสอบในสายการผลิตทั้ง 5 ลักษณะที่ถูกกำหนด ซึ่งจากการควบคุมชุดพารามิเตอร์และชุดของความต้องการที่ถูกกำหนดจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นทั้งหมด 85 รูปแบบ นอกจากนี้ในแต่ละรูปแบบของปัญหาจะถูกทำการทดสอบซ้ำ 3 รอบการทดสอบ

**ตารางที่ 6-2 รายการของชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ในทำการทดสอบส่วนที่ 1**

| ปัญหาที่ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ | 4 | 2 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| กำลังการผลิตคงเหลือ (%) | 30 | 30 | 30 | 20 | 40 | 50 | 30 | 30 | 30 |
| จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 5 | 3 |
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| ระยะเวลาการปรับตั้ง (%) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| จำนวนทรัพยากรในระบบ | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 6-3 รายการของชุดพารามิเตอร์ที่ใช้ในทำการทดสอบส่วนที่ 2**

| ปัญหาที่ | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| กำลังการผลิตคงเหลือ (%) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ระยะเวลาการปรับตั้ง (%) | 5 | 0 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| จำนวนทรัพยากรในระบบ | 10 | 10 | 10 | 5 | 15 | 20 | 10 | 10 |
| อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | ใกล้เคียงกัน | แตกต่างกัน |

เมื่อทำการพิจารณาวิธีการสร้างปัญหาในข้างต้นพบว่าในการปรับเปลี่ยนบางพารามิเตอร์ย่อมเกิดการควบคุมพารามิเตอร์อื่นไปพร้อมกัน เช่นในกรณีของการควบคุมจำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรที่ได้กล่าวในข้างต้น ทางผู้วิจัยจึงสร้างปัญหาสำหรับใช้ในการทดสอบเพิ่มเติม โดยจะทำการควบคุมเป็นคู่ของพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 คู่ได้แก่ 1.) กำลังการผลิตคงเหลือและระยะเวลาการปรับตั้ง 2.) จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร และ 3.) จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์และจำนวนทรัพยากรในสายการผลิต ซึ่งคู่พารามิเตอร์เหล่านี้ทำให้เกิดชุดพารามิเตอร์เพิ่มเติมอีก 13 ชุดพารามิเตอร์ดังที่แสดงในตารางที่ 6-4 และตารางที่ 6-5 โดยเมื่อทำการทดสอบผลกระทบของชุดความต้องการที่ถูกกำหนดย่อมทำให้ได้รับปัญหาเพิ่มขึ้น 65 รูปแบบ

แต่ทั้งนี้ความเป็นไปได้ของคำตอบของทุกปัญหาทั้ง 150 รูปแบบที่กล่าวมาข้างต้นมีจำนวนมากจนส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบด้วยวิธีการหาคำตอบแบบทั้งหมดที่เป็นไปได้ใช้ระยะเวลานานเกินกว่า 120 ชั่วโมง ทางผู้ทำวิจัยจึงออกแบบปัญหาขนาดเล็กเพิ่มเติม ซึ่งมีลักษณะดังนี้ 1.) มีผลิตภัณฑ์จำนวน 2 ชนิดผลิตภัณฑ์ 2.) แต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์มี 3 กระบวนการ 3.) แต่ละทรัพยากรสามารถผลิตกระบวนการของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด โดยในทรัพยากรชนิดที่ 1 สามารถทำกระบวนการที่ 1 ของทั้ง 2 ชนิดผลิตภัณฑ์ได้ ทรัพยากรชนิดที่ 2 สามารถทำกระบวนการที่ 2 ของทั้ง 2 ชนิดผลิตภัณฑ์ได้ และทรัพยากรชนิดที่ 3 จะสามารถทำกระบวนการที่ 3 ของทั้ง 2 ชนิดผลิตภัณฑ์ได้ 4.) ไม่มีระยะเวลาในการปรับตั้งทรัพยากรเกิดขึ้น 5.) มีจำนวนทรัพยากรภายในสายการผลิต 7 หน่วยทรัพยากร และ 6.) กำลังการผลิตที่ต้องการของแต่ละชนิดผลิตภัณฑ์มีความใกล้เคียงกันและมีจำนวนต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ตารางที่ 6-4 รายการของโจทย์ที่จะทำการทดสอบคู่ของพารามิเตอร์ส่วนที่ 1**

| ปัญหาที่ | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| กำลังการผลิตคงเหลือ (%) | 20 | 40 | 20 | 40 | 50 | 50 |
| จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ระยะเวลาการปรับตั้ง (%) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| จำนวนทรัพยากรในระบบ | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน | แตกต่างกัน | แตกต่างกัน | ใกล้เคียงกัน | แตกต่างกัน |

**ตารางที่ 6-5 รายการของโจทย์ที่จะทำการทดสอบคู่ของพารามิเตอร์ส่วนที่ 2**

| ปัญหาที่ | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 6 | 6 |
| กำลังการผลิตคงเหลือ (%) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| ระยะเวลาการปรับตั้ง (%) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| จำนวนทรัพยากรในระบบ | 10 | 10 | 5 | 15 | 20 | 15 | 20 |
| อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน | เท่ากัน |

### 6.3. ผลการทดสอบ

การผลลัพธ์ของการทดสอบฮิวริสติกด้วยปัญหารูปแบบต่าง ๆ ถูกสรุปผลทั้งสิ้น 5 ประเด็นดังนี้ 1.) ความสามารถในการหาและปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติก 2.) ความเสถียรในการหาคำตอบของฮิวริสติก 3.) ผลกระทบของพารามิเตอร์ในชุดตัวชี้วัดต่าง ๆ 4.) ความสัมพันธ์ของคู่พารามิเตอร์ และ 5.) ผลกระทบของชุดตัวชี้วัดต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ

#### 6.3.1. ความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 6-6 ผลจากการทดสอบด้วยโจทย์ขนาดเล็ก**

| ชุดของตัวชี้วัด | วิธีการคำตอบทั้งหมดที่เป็นไปได้ | วิธีการอย่างง่าย | | ฮิวริสติกที่ทำการออกแบบ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง) | เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง) | อัตราส่วนต่างจากค่าเหมาะสมสุด (%) | เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง) | อัตราส่วนต่างจากค่าเหมาะสมสุด (%) |
| 1 | 13:46:57 | 0:01:00 | 20.48 | 0:01:00 | 0.00 |
| 2 | 13:46:57 | 0:01:02 | 25.00 | 0:01:02 | 0.00 |
| 3 | 13:46:57 | 0:00:57 | 0.00 | 0:00:57 | 0.00 |
| 4 | 13:46:57 | 0:02:37 | 25.49 | 0:02:37 | 0.00 |
| 5 | 13:46:57 | 0:01:30 | 1.40 | 0:01:30 | 0.00 |

จากตารางที่ 6-6 จะทำให้เห็นได้ว่าแม้ในปัญหาที่มีขนาดเล็กแต่การทดสอบหาค่าเหมาะสมสุดด้วยวิธีจากคำตอบที่ทั้งหมดที่เป็นไปได้จำเป็นต้องใช้ระยะเวลานาน ในขณะที่การหาคำตอบโดยใช้ฮิวริสติกที่ทำการออกแบบขึ้นสามารถหาคำตอบที่เป็นค่าเหมาะสมสุด โดยใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธีการคำตอบจากคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 99.81% ในขณะที่การหาคำตอบด้วยวิธีอย่างง่ายจะใช้เวลาเพื่อหาคำตอบน้อยเช่นเดียวกับฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้น แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเหมาะสมสุดพบว่า การหาคำตอบด้วยวิธีการอย่างง่าย 3 ใน 5 ของชุดตัวชี้วัดมีคุณภาพของคำตอบคลาดเคลื่อนไปจากค่าเหมาะสมสุดถึง 25 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 6.3.2. ความเสถียรในการหาคำตอบของฮิวริสติก

ตารางที่ 6-7 ถึงตารางที่ 6-11 ทำการแสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติกเมื่อทำการเทียบกับค่าของคำตอบเริ่มต้น พบว่าผลจากการทดสอบซ้ำในแต่ละปัญหา ความสามารถในการปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติกมีค่าเท่ากันทั้งหมด ซึ่งทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละปัญหามีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งสามารถตีความได้ว่าฮิวริสติกที่ทำการออกแบบมามีความเสถียร (Stability) ในการปรับปรุงคำตอบสูง

**ตารางที่ 6-7 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบเมื่อทำการปรับเปลี่ยนระดับของแต่ละพารามิเตอร์ของสายการผลิตรูปแบบไหลผ่าน**

| รูปแบบสายการผลิต | พารามิเตอร์ที่ | | ระดับของพารามิเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ไหลผ่าน (Flowshop) | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 66.67 | 59.65 | 66.67 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | กำลังการผลิตคงเหลือ | ค่าเฉลี่ย (%) | 87.29 | 59.65 | 66.67 | 66.67 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 66.67 | 59.65 | 66.67 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 98.00 | 59.65 | 50.89 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | ระยะเวลาการปรับตั้ง | ค่าเฉลี่ย (%) | 66.67 | 59.65 | 66.67 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | ค่าเฉลี่ย (%) | 66.67 | 59.65 | 66.67 | 66.67 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 66.67 | 59.65 | 66.67 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |

**ตารางที่ 6-8 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบเมื่อทำการปรับเปลี่ยนระดับของแต่ละพารามิเตอร์ของสายการผลิตรูปแบบไม่ต่อเนื่อง**

| รูปแบบสายการผลิต | พารามิเตอร์ที่ | | ระดับของพารามิเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 75.00 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | กำลังการผลิตคงเหลือ | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 75.00 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 75.00 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | ระยะเวลาการปรับตั้ง | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 75.00 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 75.00 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |

**ตารางที่ 6-9 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบเมื่อทำการปรับเปลี่ยนระดับของแต่ละพารามิเตอร์ของสายการผลิตรูปแบบเซลล์**

| รูปแบบสายการผลิต | พารามิเตอร์ที่ | | ระดับของพารามิเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| เซลล์ (Cellular) | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 73.53 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | กำลังการผลิตคงเหลือ | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 73.53 | 72.87 | 75.00 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 73.53 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 75.00 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | ระยะเวลาการปรับตั้ง | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 73.53 | 74.51 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | ค่าเฉลี่ย (%) | 73.47 | 73.53 | 75.00 | 75.00 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 73.53 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |

**ตารางที่ 6-10 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบเมื่อทำการปรับเปลี่ยนระดับของแต่ละพารามิเตอร์ของสายการผลิตรูปแบบยืดหยุ่น**

| รูปแบบสายการผลิต | พารามิเตอร์ที่ | | ระดับของพารามิเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 66.67 | 79.01 | 83.33 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | กำลังการผลิตคงเหลือ | ค่าเฉลี่ย (%) | 76.98 | 79.01 | 73.10 | 83.33 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 83.33 | 79.01 | 83.33 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 76.10 | 79.01 | 83.33 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | ระยะเวลาการปรับตั้ง | ค่าเฉลี่ย (%) | 78.10 | 79.01 | 76.98 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | ค่าเฉลี่ย (%) | 83.33 | 79.01 | 83.33 | 66.67 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 67.11 | 79.01 | 73.21 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |

**ตารางที่ 6-11 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบเมื่อทำการปรับเปลี่ยนระดับของแต่ละพารามิเตอร์ของสายการผลิตรูปแบบทั่วไป**

| รูปแบบสายการผลิต | พารามิเตอร์ที่ | | ระดับของพารามิเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ทั่วไป (Non-specify) | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 62.50 | 84.26 | 62.50 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | กำลังการผลิตคงเหลือ | ค่าเฉลี่ย (%) | 82.73 | 84.26 | 61.44 | 75.00 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 75.00 | 84.26 | 75.00 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ค่าเฉลี่ย (%) | 87.50 | 84.26 | 70.84 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | ระยะเวลาการปรับตั้ง | ค่าเฉลี่ย (%) | 62.50 | 84.26 | 70.23 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |
| | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | ค่าเฉลี่ย (%) | 55.48 | 84.26 | 75.00 | 62.50 |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ย (%) | 61.99 | 84.26 | 52.36 | - |
| | | ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | - |

### 6.3.3. ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากฮิวริสติก

ในตารางที่ 6-12 ถึงตารางที่ 6-18 แสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบฮิวริสติกในปัญหารูปแบบที่ 1 ถึง 17 ดังที่แสดงในตารางที่ตารางที่ 6-2 และ ตารางที่ 6-3 โดยทำการแสดงคำตอบที่ได้รับจากกรณีต่าง ๆ 3 กรณีดังนี้ 1.) วิธีการหาคำตอบอย่างง่าย (Naïve method) ซึ่งใช้วิธีการคล้ายคลึงกับวิธีการหาคำตอบเริ่มต้น 2.) ฮิวริสติก (Heuristic) และ 3.) ความสามารถในการปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติกจากคำตอบเริ่มต้น (Improvement)

**ตารางที่ 6-12 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์**

| | | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | วิธีการหาคำตอบ | 2 | 4 | 6 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | Naïve | 33.33 | 50.89 | 66.67 | 50.30 |
| | Heuristic | 66.67 | 59.65 | 66.67 | 64.33 |
| | Improvement | 33.33 | 8.77 | 0.00 | 14.03 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | Naïve | 60.00 | 25.00 | 25.00 | 36.67 |
| | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | Improvement | 15.00 | 50.00 | 50.00 | 38.33 |
| เซลล์ (Cellular) | Naïve | 50.00 | 32.56 | 50.00 | 44.19 |
| | Heuristic | 75.00 | 73.53 | 75.00 | 74.51 |
| | Improvement | 25.00 | 40.97 | 25.00 | 30.32 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | Naïve | 50.00 | 25.03 | 31.49 | 35.51 |
| | Heuristic | 66.67 | 79.01 | 83.33 | 76.34 |
| | Improvement | 16.67 | 53.98 | 51.84 | 40.83 |
| ทั่วไป (Non-specify) | Naïve | 37.50 | 31.27 | 50.00 | 39.59 |
| | Heuristic | 62.50 | 84.26 | 62.50 | 69.75 |
| | Improvement | 25.00 | 52.99 | 12.50 | 30.16 |

**ตารางที่ 6-13 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือ**

| | | กำลังการผลิตคงเหลือ (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | วิธีการหาคำตอบ | 20 | 30 | 40 | 50 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | Naïve | 40.71 | 50.89 | 66.67 | 38.74 | 49.25 |
| | Heuristic | 87.29 | 59.65 | 66.67 | 66.67 | 70.07 |
| | Improvement | 46.58 | 8.77 | 0.00 | 27.93 | 20.82 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | Naïve | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | Improvement | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| เซลล์ (Cellular) | Naïve | 50.00 | 32.56 | 50.00 | 29.05 | 40.40 |
| | Heuristic | 75.00 | 73.53 | 72.87 | 75.00 | 74.10 |
| | Improvement | 25.00 | 40.97 | 22.87 | 45.95 | 33.70 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | Naïve | 34.60 | 25.03 | 33.33 | 21.82 | 28.70 |
| | Heuristic | 76.98 | 79.01 | 73.10 | 83.33 | 78.11 |
| | Improvement | 42.38 | 53.98 | 39.77 | 61.52 | 49.41 |
| ทั่วไป (Non-specify) | Naïve | 28.72 | 31.27 | 50.00 | 28.86 | 34.71 |
| | Heuristic | 82.73 | 84.26 | 61.44 | 75.00 | 75.86 |
| | Improvement | 54.02 | 52.99 | 11.44 | 46.14 | 41.15 |

**ตารางที่ 6-14 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร**

| | | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | วิธีการหาคำตอบ | 1 | 3 | 5 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | Naïve | 66.67 | 50.89 | 66.67 | 61.41 |
| | Heuristic | 66.67 | 59.65 | 66.67 | 64.33 |
| | Improvement | 0.00 | 8.77 | 0.00 | 2.92 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | Naïve | 50.00 | 25.00 | 50.00 | 41.67 |
| | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | Improvement | 0.00 | 8.77 | 0.00 | 2.92 |
| เซลล์ (Cellular) | Naïve | 50.00 | 32.56 | 50.00 | 44.19 |
| | Heuristic | 75.00 | 73.53 | 75.00 | 74.51 |
| | Improvement | 25.00 | 40.97 | 25.00 | 30.32 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | Naïve | 66.67 | 25.03 | 66.67 | 52.79 |
| | Heuristic | 83.33 | 79.01 | 83.33 | 81.89 |
| | Improvement | 16.67 | 53.98 | 16.67 | 29.11 |
| ทั่วไป (Non-specify) | Naïve | 62.50 | 31.27 | 62.50 | 52.09 |
| | Heuristic | 75.00 | 84.26 | 75.00 | 78.09 |
| | Improvement | 12.50 | 52.99 | 12.50 | 26.00 |

**ตารางที่ 6-15 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร**

| | | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | วิธีการหาคำตอบ | 1 | 2 | 3 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | Naïve | 57.78 | 50.89 | 50.89 | 53.19 |
| | Heuristic | 98.00 | 59.65 | 50.89 | 69.51 |
| | Improvement | 40.22 | 8.77 | 0.00 | 16.33 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | Naïve | 25.00 | 25.00 | 50.00 | 33.33 |
| | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | Improvement | 50.00 | 50.00 | 25.00 | 41.67 |
| เซลล์ (Cellular) | Naïve | 32.56 | 32.56 | 32.56 | 32.56 |
| | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | Improvement | 42.44 | 40.97 | 42.44 | 41.95 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | Naïve | 24.62 | 25.03 | 29.08 | 26.24 |
| | Heuristic | 76.10 | 79.01 | 83.33 | 79.48 |
| | Improvement | 51.48 | 53.98 | 54.25 | 53.24 |
| ทั่วไป (Non-specify) | Naïve | 35.20 | 31.27 | 58.34 | 41.60 |
| | Heuristic | 87.50 | 84.26 | 70.84 | 80.87 |
| | Improvement | 52.30 | 52.99 | 12.50 | 39.26 |

**ตารางที่ 6-16 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์ระยะเวลาการปรับตั้ง**

| | | ระยะเวลาการปรับตั้ง (%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | วิธีการหาคำตอบ | 0 | 5 | 10 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | Naïve | 66.67 | 50.89 | 44.89 | 54.15 |
| | Heuristic | 66.67 | 59.65 | 66.67 | 64.33 |
| | Improvement | 0.00 | 8.77 | 21.78 | 10.18 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | Naïve | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | Improvement | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| เซลล์ (Cellular) | Naïve | 50.00 | 32.56 | 33.67 | 38.74 |
| | Heuristic | 75.00 | 73.53 | 74.51 | 74.35 |
| | Improvement | 25.00 | 40.97 | 40.84 | 35.60 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | Naïve | 33.33 | 25.03 | 25.68 | 28.01 |
| | Heuristic | 78.10 | 79.01 | 76.98 | 78.03 |
| | Improvement | 44.76 | 53.98 | 51.30 | 50.01 |
| ทั่วไป (Non-specify) | Naïve | 50.00 | 31.27 | 31.76 | 37.68 |
| | Heuristic | 62.50 | 84.26 | 70.23 | 72.33 |
| | Improvement | 12.50 | 52.99 | 38.47 | 34.65 |

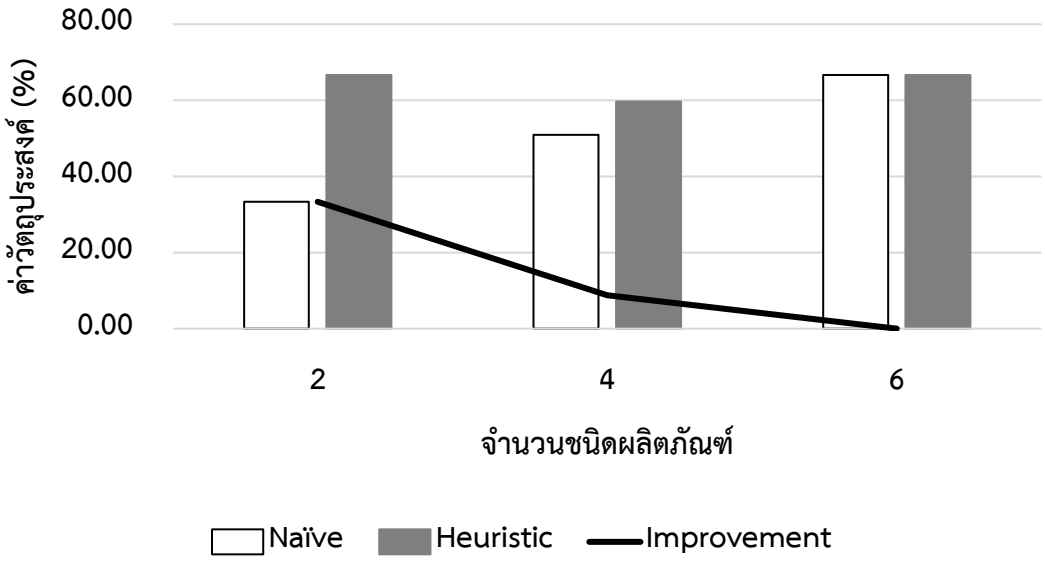
**ตารางที่ 6-17 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต**

| | | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | วิธีการหาคำตอบ | 5 | 10 | 15 | 20 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | Naïve | 66.67 | 50.89 | 66.67 | 33.33 | 54.39 |
| | Heuristic | 66.67 | 59.65 | 66.67 | 66.67 | 64.92 |
| | Improvement | 0.00 | 8.77 | 0.00 | 33.33 | 10.53 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | Naïve | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 50.00 | 31.25 |
| | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | Improvement | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 25.00 | 43.75 |
| เซลล์ (Cellular) | Naïve | 50.00 | 32.56 | 50.00 | 50.00 | 45.64 |
| | Heuristic | 73.47 | 73.53 | 75.00 | 75.00 | 74.25 |
| | Improvement | 23.47 | 40.97 | 25.00 | 25.00 | 28.61 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | Naïve | 27.79 | 25.03 | 66.67 | 50.00 | 42.37 |
| | Heuristic | 83.33 | 79.01 | 83.33 | 66.67 | 78.09 |
| | Improvement | 55.54 | 53.98 | 16.67 | 16.67 | 35.72 |
| ทั่วไป (Non-specify) | Naïve | 37.50 | 31.27 | 62.50 | 37.50 | 42.19 |
| | Heuristic | 55.48 | 84.26 | 75.00 | 62.50 | 69.31 |
| | Improvement | 17.98 | 52.99 | 12.50 | 25.00 | 27.12 |

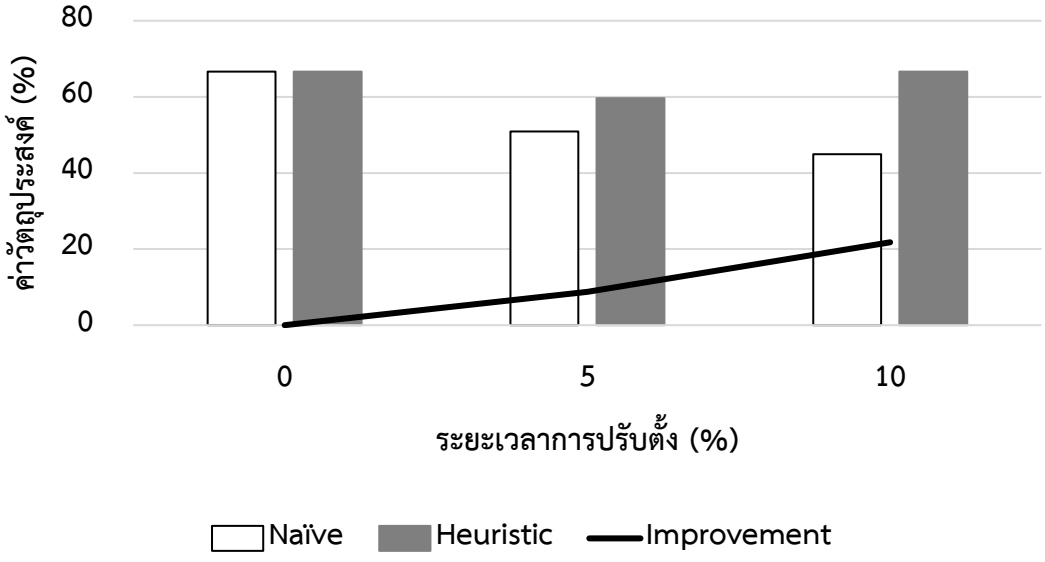
**ตารางที่ 6-18 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์อัตราส่วนผลิตภัณฑ์**

| ลักษณะสายการผลิต | วิธีการหาคำตอบ | อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | Naïve | 66.67 | 50.89 | 46.94 | 54.83 |
| | Heuristic | 66.67 | 59.65 | 66.67 | 64.33 |
| | Improvement | 0.00 | 8.77 | 19.72 | 9.50 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | Naïve | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | Improvement | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| เซลล์ (Cellular) | Naïve | 50.00 | 32.56 | 50.00 | 44.19 |
| | Heuristic | 75.00 | 73.53 | 75.00 | 74.51 |
| | Improvement | 25.00 | 40.97 | 25.00 | 30.32 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | Naïve | 35.73 | 25.03 | 34.04 | 31.60 |
| | Heuristic | 67.11 | 79.01 | 73.21 | 73.11 |
| | Improvement | 31.38 | 53.98 | 39.16 | 41.51 |
| ทั่วไป (Non-specify) | Naïve | 49.49 | 31.27 | 32.07 | 37.61 |
| | Heuristic | 61.99 | 84.26 | 52.36 | 66.20 |
| | Improvement | 12.50 | 52.99 | 20.29 | 28.59 |

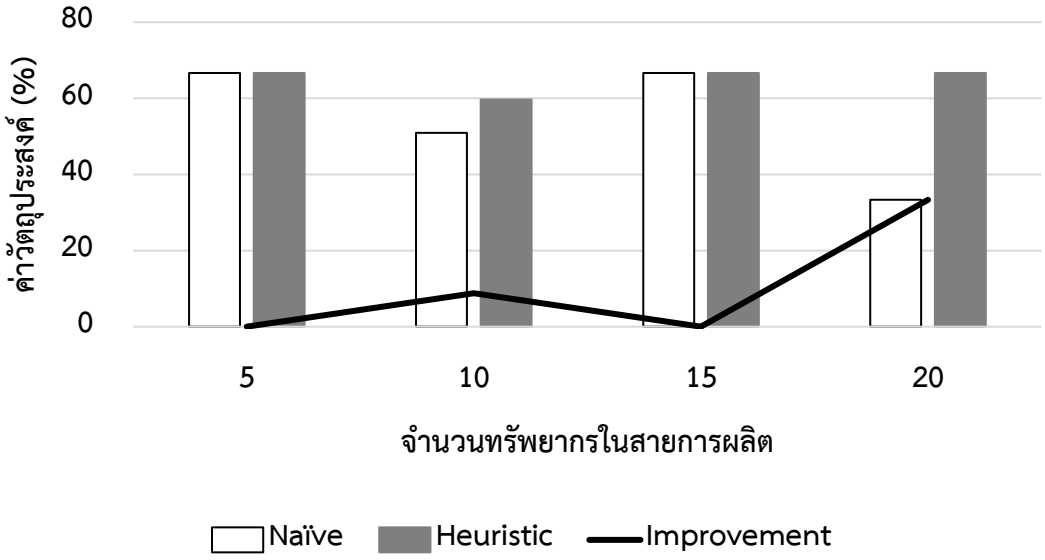
จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อต้องการออกแบบให้ได้สายการผลิตที่มีลักษณะแบบไหลผ่าน เมื่อมีจำนวนชนิดของทรัพยากรในสายการผลิตลดลง หรือจำนวนทรัพยากรในสายการผลิตเพิ่มขึ้น คำตอบที่ได้รับจากวิธีการหาคำตอบอย่างง่าย ซึ่งมุ่งเน้นการจัดสรรทรัพยากรให้มีลักษณะเป็นแบบทุ่มเท (Dedicated resource) สำหรับกระบวนการที่ต้องการกำลังการผลิตมากเกินกว่ากำลังการผลิตที่สามารถทำการผลิตได้ของแต่ละหน่วย ในขณะที่ส่วนเกินจะถูกจัดสรรให้เกิดการพื้นที่ว่างต่ำที่สุดซึ่งจะทำให้ทรัพยากรที่เหลือนั้นมีจำนวนผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดอยู่ด้วยกัน ทำให้ตัวชี้วัดของสายการผลิตในด้านระยะเวลานำ และ ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการมีค่าที่ไม่เหมาะสมเท่าที่ควรทำให้มีช่องว่างสำหรับการปรับปรุงต่อได้ ในขณะที่ในทางตรงกันข้าม คำตอบที่ได้รับจากวิธีการหาคำตอบอย่างง่ายผลิตภัณฑ์จะไม่สามารถปรับปรุงได้ เนื่องจากการจัดสรรใหม่เพื่อให้เกิดทรัพยากรที่มีลักษณะแบบทุ่มเทจะถูกจำกัดด้วยจำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ในสายการผลิตดังที่แสดงในรูปที่ 6-1 และ รูปที่ 6-2 นอกจากนี้เมื่อระยะเวลาในการปรับตั้งหรือกำลังการผลิตคงเหลือมีค่าลดลงมีค่าสูงขึ้นย่อมส่งให้การจัดสรรทรัพยากรด้วยวิธีการอย่างง่ายส่งผลต่อตัวชี้วัดนี้อย่างมาก แต่ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนทรัพยากรที่จำกัดทำให้ไม่สามารถปรับปรุงสายการผลิตได้อีกเมื่อทรัพยากรมีจำนวนจำกัด




**รูปที่ 6-1 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบไหลผ่าน**



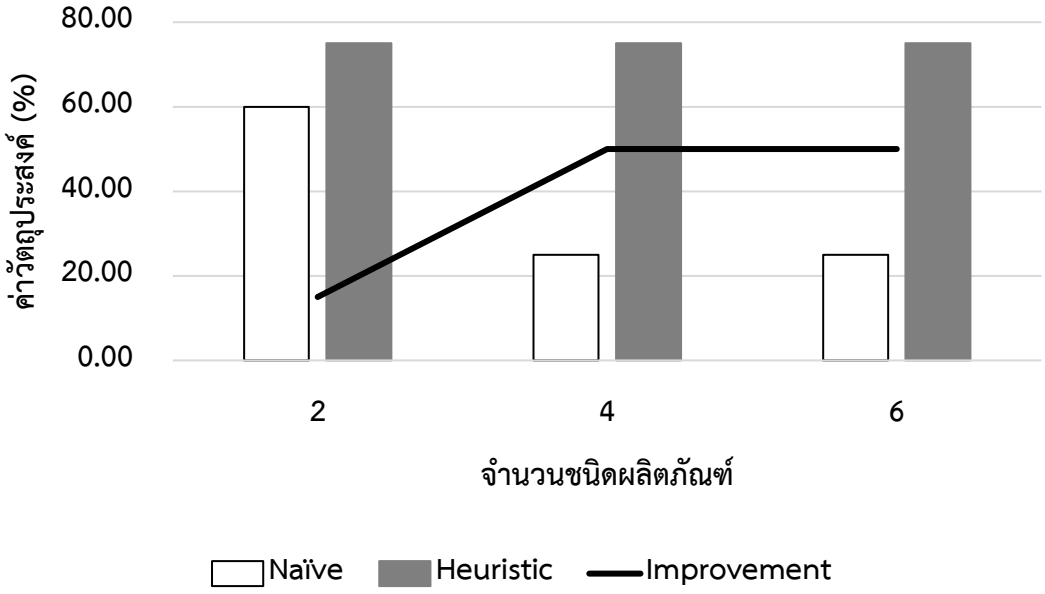

**รูปที่ 6-2 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรในสายการผลิต เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบไหลผ่าน**



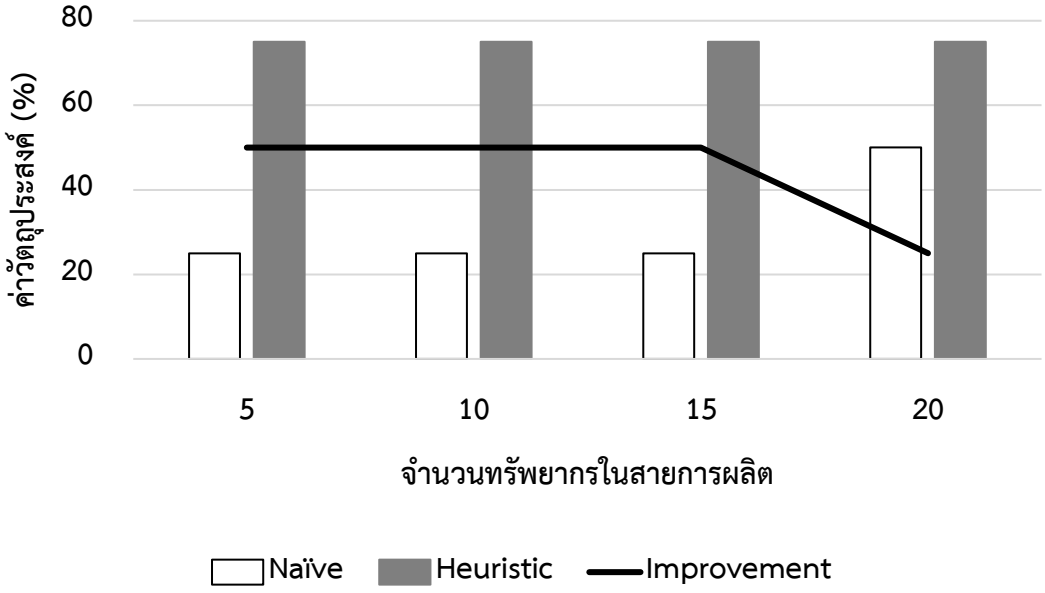

**รูปที่ 6-3 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนระยะเวลาการปรับตั้ง เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบไหลผ่าน**

ในสายการผลิตรูปแบบไม่ต่อเนื่องจะพบว่าเมื่อพารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือ ระยะเวลาการปรับตั้ง และ อัตราส่วนผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงไปจะไม่ส่งผลกระทบต่อคำตอบทั้งที่ได้รับจากวิธีการอย่างง่ายและจากฮิวริสติก นอกจากนี้ยังพบว่าไม่ว่าคำตอบเริ่มต้นจะมีประสิทธิภาพเพียงใด แต่คำตอบที่ได้รับการปรับปรุงจากฮิวริสติกจะมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 75 % ในทุก ๆ ระดับของพารามิเตอร์และในทุกพารามิเตอร์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนกันระหว่างความยืดหยุ่นและเส้นทางการผลิต และความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิตที่เกิดการแลกเปลี่ยนกัน จนทำให้เกิดจุดสมดุลขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะของผลกระทบของพารามิเตอร์จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์และจำนวนทรัพยากรในสายการผลิตยังมีแนวโน้มที่ตรงกันข้ามเช่นเดียวกับในสายการผลิตรูปแบบไหลผ่านดังที่แสดงในรูปที่ 6-4 และ รูปที่ 6-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



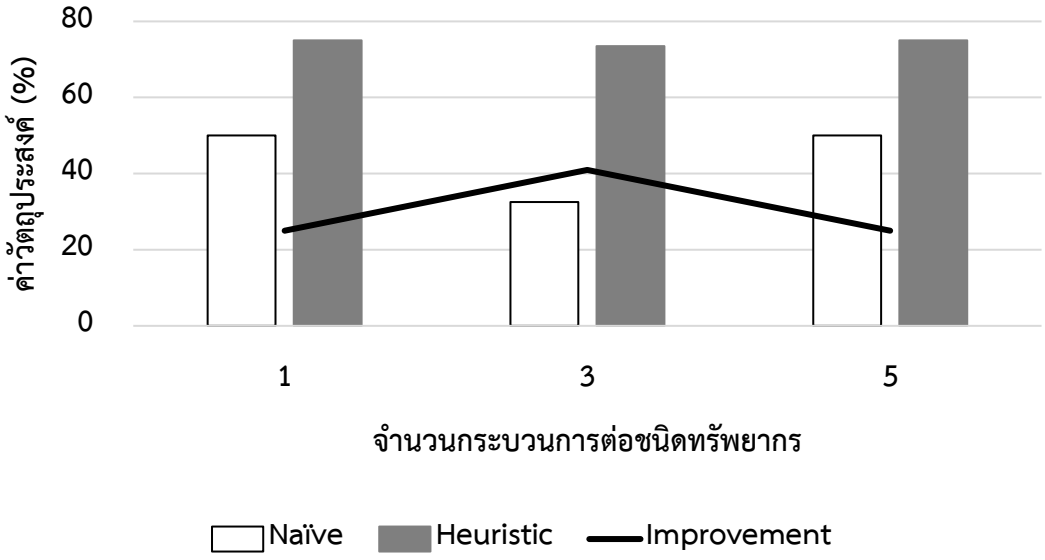

**รูปที่ 6-4 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบไม่ต่อเนื่อง**



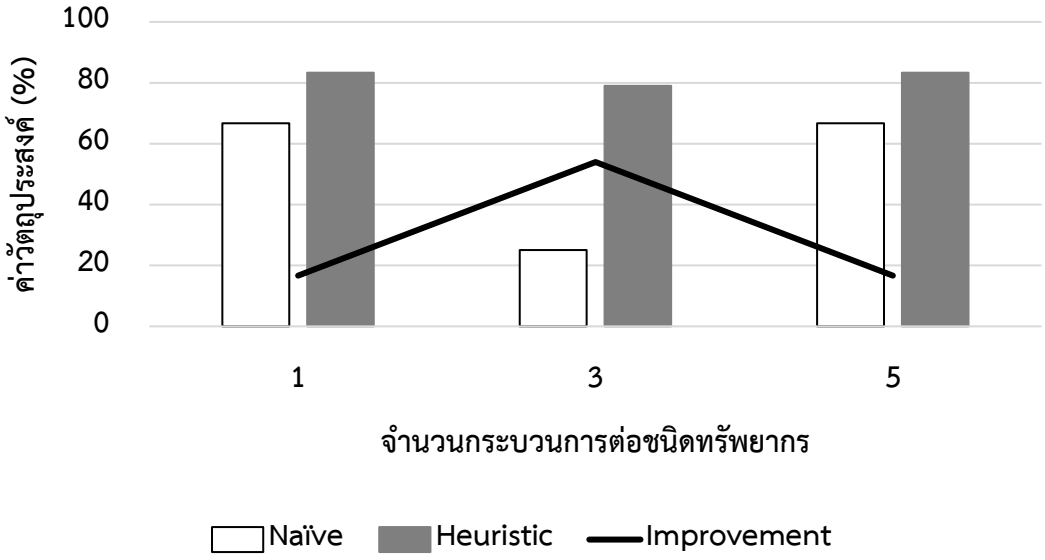

**รูปที่ 6-5 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรในสายการผลิต เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบไม่ต่อเนื่อง**

ในสายการผลิตรูปแบบเซลล์จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะมีลักษณะใกล้เคียงกับผลกระทบต่อสายการผลิตรูปแบบยืดหยุ่น โดยพบว่าสายการผลิตทั้งสองรูปแบบนั้น

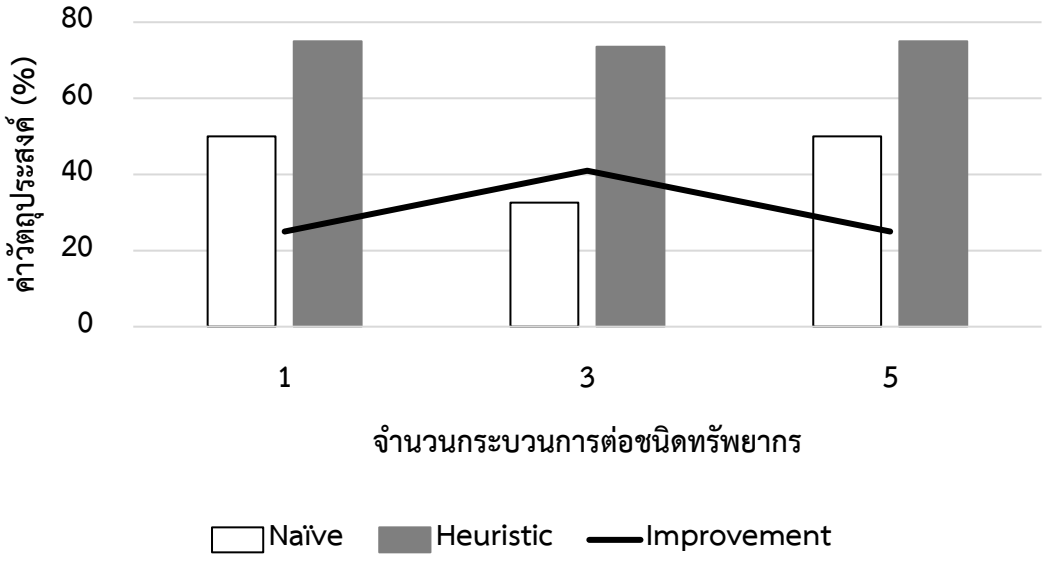
ในระดับต่าง ๆ ของพารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและพารามิเตอร์จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากรส่งผลต่อความสามารถในการปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติกจากคำตอบเริ่มต้นมากกว่าสายการผลิตรูปแบบอื่น ๆ ดังที่แสดงอยู่ในรูปที่ 6-6 ถึงรูปที่ 6-9



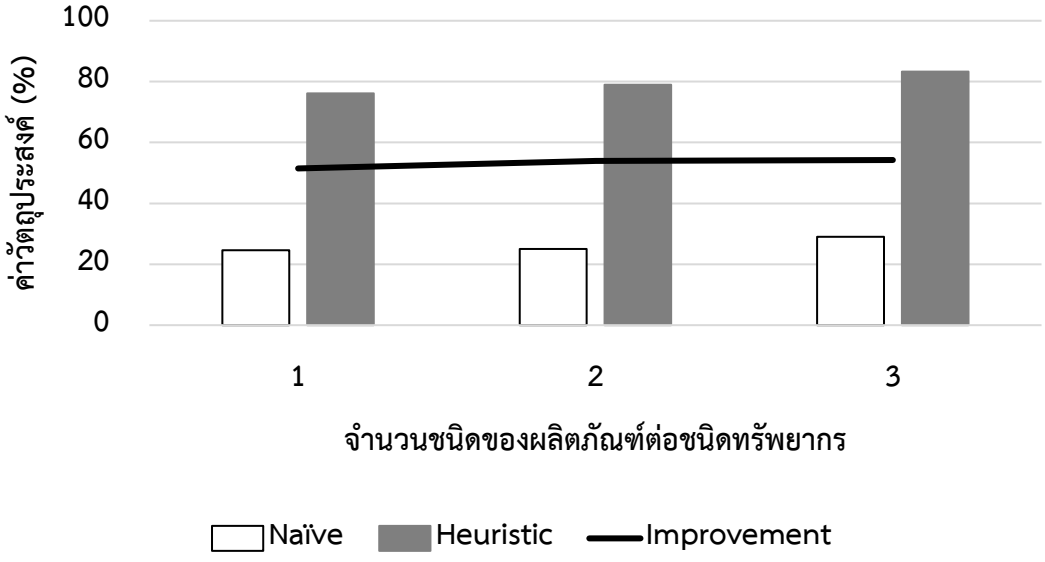

**รูปที่ 6-6 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบเซลล์**




**รูปที่ 6-7 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบยืดหยุ่น**



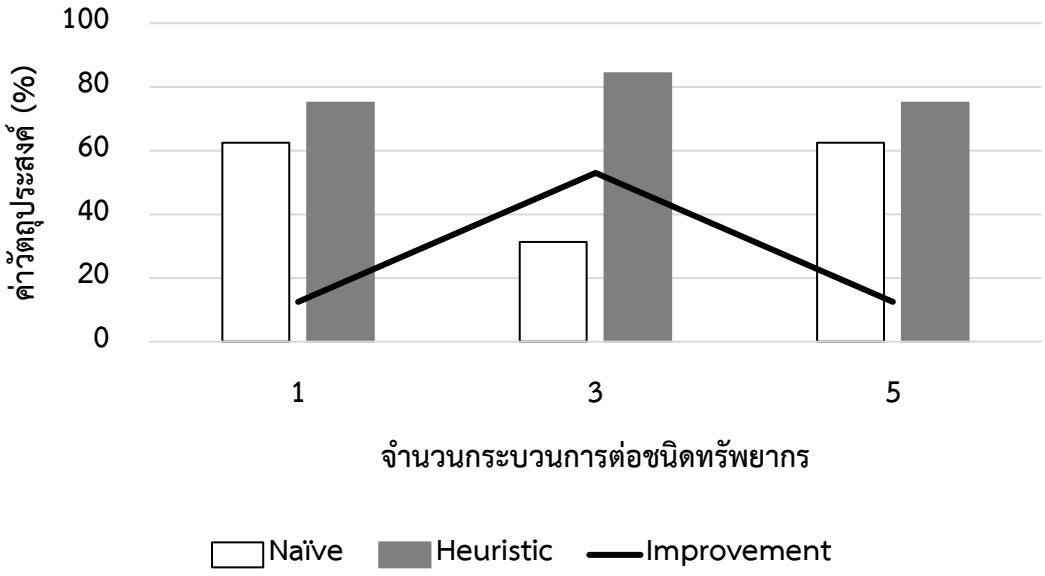

**รูปที่ 6-8 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบเซลล์**




**รูปที่ 6-9 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบยืดหยุ่น**

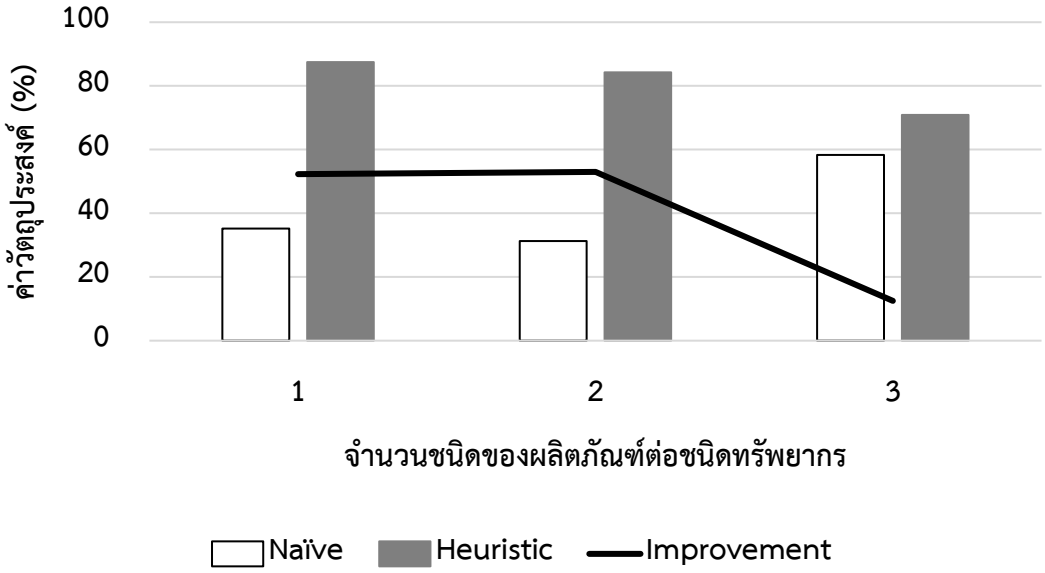
ในสายการผลิตรูปแบบทั่วไปจะเห็นได้ว่าในทุกพารามิเตอร์จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติกรวมไปถึงความสามารถในการปรับปรุงคำตอบของฮิวริสติกจากคำตอบเริ่มต้นเช่นกัน ซึ่งแนวโน้มผลกระทบของพารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์จะมี

ลักษณะใกล้เคียงกันกับสายการผลิตรูปแบบอื่น ๆ เช่นในพารามิเตอร์จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากรที่คล้ายคลึงกับสายการผลิตรูปแบบไม่ต่อเนื่องดังในรูปที่ 6-10 และพารามิเตอร์จำนวนทรัพยากรที่ใกล้เคียงกับสายการผลิตรูปแบบเซลล์ในรูปที่ 6-11 และพารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรในรูปที่ 6-12

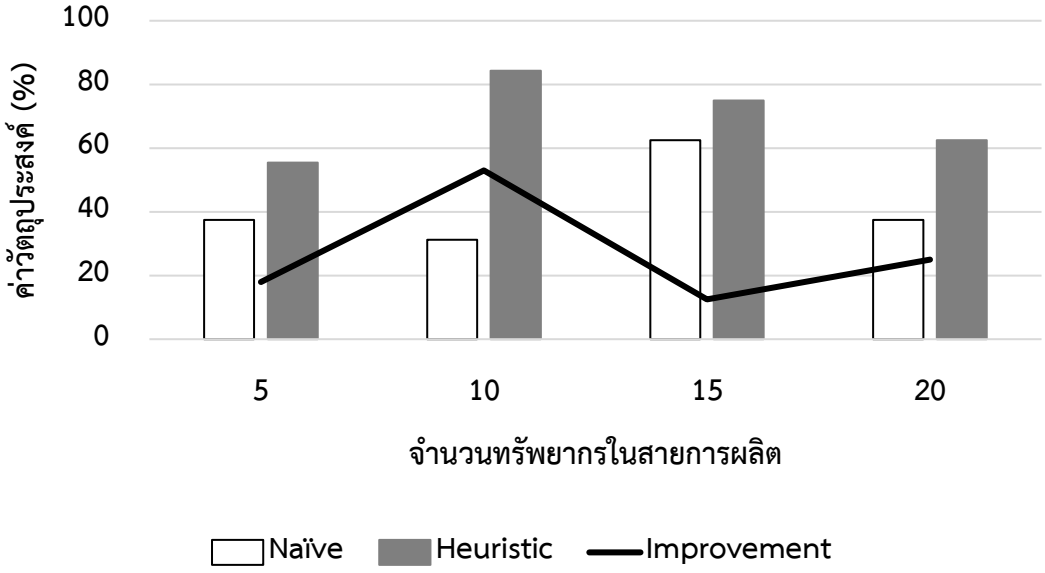



**รูปที่ 6-10 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบทั่วไป**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 6-11 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบทั่วไป**




**รูปที่ 6-12 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรในสายการผลิต เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบทั่วไป**

จากผลการทดสอบในข้างต้นสามารถทำการสรุปผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อลักษณะของสายการผลิตได้ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 6-19

**ตารางที่ 6-19 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อลักษณะของสายการผลิต**

| ชื่อพารามิเตอร์ | ลักษณะสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ไหลผ่าน | ไม่ต่อเนื่อง | เซลล์ | ยืดหยุ่น | ทั่วไป |
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| กำลังการผลิตคงเหลือ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |
| ระยะเวลาการปรับตั้ง | ✓✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

นอกจากนี้ผลการทดสอบข้างต้นทำให้พบว่าลักษณะของคำตอบเริ่มต้นมีความเหมาะสมสายการผลิตที่ไม่ได้ให้ความสนใจในตัวชี้วัดด้านความยืดหยุ่น และความทนทาน แต่หากมีความต้องการให้ได้รับสายการผลิตในลักษณะอื่น ๆ ที่ให้ความสนใจในตัวชี้วัดด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน สายการผลิตดังกล่าวควรที่จะสามารถปรับปรุงได้ถึง 30 ถึง 50 % นอกจากนี้ยังพบว่าพารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือ ระยะเวลาการปรับตั้งและอัตราส่วนผลิตภัณฑ์จะส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดในความไวในการเปลี่ยนกระบวนการอย่างชัดเจน ซึ่งเห็นได้จากสายการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องที่ไม่ได้ให้ความสนใจในตัวชี้วัดดังกล่าวจะไม่ได้รับผลกระทบเมื่อตัวชี้วัดดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการสรุปผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัดต่าง ๆ ซึ่งทำการแสดงอยู่ในตารางที่ 6-20 และตารางที่ 6-21

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 6-20 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัดส่วนที่ 1**

| ชื่อตัวชี้วัด | ชื่อพารามิเตอร์ | | |
|---|---|---|---|
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ | กำลังการผลิตคงเหลือ | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร |
| กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร | | | |
| อัตราการผลิตคอขวด | ✓ | | |
| ระยะเวลานำในการผลิต | ✓ | | |
| ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต | | | ✓ |
| ความยืดหยุ่นของกระบวนการ | | | ✓ |
| ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ | | ✓ | |
| ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต | | | |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ | | | |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต | ✓ | | |

**ตารางที่ 6-21 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัดส่วนที่ 2**

| ชื่อตัวชี้วัด | ชื่อพารามิเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ระยะเวลาการปรับตั้ง | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ |
| กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร | | | | |
| อัตราการผลิตคอขวด | | | ✓ | |
| ระยะเวลานำในการผลิต | | | ✓ | |
| ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต | ✓ | | | |
| ความยืดหยุ่นของกระบวนการ | ✓ | | | |
| ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ | | ✓ | | ✓ |
| ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต | | | | ✓ |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ | | | | ✓ |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต | | | | |

นอกจากนี้จากการทดสอบในข้างต้นยังพบว่าแต่ละพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์ต่อกันทั้งสิ้น 3 คู่ ได้แก่ 1.) จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์และจำนวนทรัพยากรในสายการผลิตที่แสดงให้เห็นถึงจำนวนหน่วยทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ 2.) พารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือและระยะเวลาการปรับตั้ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อจำนวนครั้งที่สามารถทำการเปลี่ยนกระบวนการและ 3.) พารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและพารามิเตอร์จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อ

ชนิดทรัพยากร ซึ่งผลต่อช่องว่างที่สามารถจัดสรรทรัพยากรได้เปลี่ยนแปลง ด้วยชุดของปัญหาดังที่แสดงใน

ตารางที่ 6-4 และตารางที่ 6-5 โดยในตารางที่ 6-22 ถึงตารางที่ 6-30 แสดงคำตอบที่ได้รับจากวิธีการหาคำตอบ 2 รูปแบบและความสามารถในการปรับปรุงคำตอบจากคำตอบเริ่มต้นของฮิวริสติก

**ตารางที่ 6-22 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์และจำนวนทรัพยากรในสายการผลิต ในสายการผลิตรูปแบบไหลผ่านและไม่ต่อเนื่อง**

| ลักษณะสายการผลิต | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | วิธีการหาคำตอบ | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | 10 | 15 | 20 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | 2 | Naïve | 49.76 | 33.33 | 66.67 | 33.33 | 45.77 |
| | | Heuristic | 100.00 | 66.67 | 94.22 | 66.67 | 81.89 |
| | | Improvement | 50.24 | 33.33 | 27.56 | 33.33 | 36.12 |
| | 4 | Naïve | 66.67 | 50.89 | 66.67 | 33.33 | 54.39 |
| | | Heuristic | 66.67 | 59.65 | 66.67 | 66.67 | 64.92 |
| | | Improvement | 0.00 | 8.77 | 0.00 | 33.33 | 10.53 |
| | 6 | Naïve | - | 66.67 | 66.67 | 66.67 | 66.67 |
| | | Heuristic | - | 66.67 | 66.67 | 66.67 | 66.67 |
| | | Improvement | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | 2 | Naïve | 50.00 | 60.00 | 50.00 | 50.00 | 52.50 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 25.00 | 15.00 | 25.00 | 25.00 | 22.50 |
| | 4 | Naïve | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 50.00 | 31.25 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 25.00 | 43.75 |
| | 6 | Naïve | - | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| | | Heuristic | - | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | - | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |

**ตารางที่ 6-23 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์และจำนวนทรัพยากรในสายการผลิต ในสายการผลิตรูปแบบเซลล์และยืดหยุ่น**

| ลักษณะสายการผลิต | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | วิธีการหาคำตอบ | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | 10 | 15 | 20 | ค่าเฉลี่ย |
| เซลล์ (Cellular) | 2 | Naïve | 62.32 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 53.08 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 12.68 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 21.92 |
| | 4 | Naïve | 50.00 | 32.56 | 50.00 | 50.00 | 45.64 |
| | | Heuristic | 73.47 | 73.53 | 75.00 | 75.00 | 74.25 |
| | | Improvement | 23.47 | 40.97 | 25.00 | 25.00 | 28.61 |
| | 6 | Naïve | - | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| | | Heuristic | - | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | - | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | 2 | Naïve | 41.55 | 50.00 | 33.33 | 50.00 | 43.72 |
| | | Heuristic | 83.33 | 66.67 | 79.48 | 66.67 | 74.04 |
| | | Improvement | 41.79 | 16.67 | 46.15 | 16.67 | 30.32 |
| | 4 | Naïve | 27.79 | 25.03 | 66.67 | 50.00 | 42.37 |
| | | Heuristic | 83.33 | 79.01 | 83.33 | 66.67 | 78.09 |
| | | Improvement | 55.54 | 53.98 | 16.67 | 16.67 | 35.72 |
| | 6 | Naïve | - | 31.49 | 33.33 | 50.00 | 38.27 |
| | | Heuristic | - | 83.33 | 72.73 | 76.85 | 77.64 |
| | | Improvement | - | 51.84 | 39.39 | 26.85 | 39.36 |

**ตารางที่ 6-24 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์และจำนวนทรัพยากรในสายการผลิต ในสายการผลิตรูปแบบทั่วไป**

| ลักษณะสายการผลิต | จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ | วิธีการหาคำตอบ | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 5 | 10 | 15 | 20 | ค่าเฉลี่ย |
| ทั่วไป (Non-specify) | 2 | Naïve | 43.66 | 37.50 | 37.50 | 37.50 | 39.04 |
| | | Heuristic | 87.50 | 62.50 | 72.11 | 62.50 | 71.15 |
| | | Improvement | 43.84 | 25.00 | 34.61 | 25.00 | 32.11 |
| | 4 | Naïve | 37.50 | 31.27 | 62.50 | 37.50 | 42.19 |
| | | Heuristic | 55.48 | 84.26 | 75.00 | 62.50 | 69.31 |
| | | Improvement | 17.98 | 52.99 | 12.50 | 25.00 | 27.12 |
| | 6 | Naïve | - | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| | | Heuristic | - | 62.50 | 62.50 | 62.50 | 62.50 |
| | | Improvement | - | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.50 |

**ตารางที่ 6-25 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือและระยะเวลาการปรับตั้ง ในสายการผลิตรูปแบบไหลผ่านและไม่ต่อเนื่อง**

| ลักษณะสายการผลิต | ระยะเวลาการปรับตั้ง (%) | วิธีการหาคำตอบ | กำลังการผลิตคงเหลือ (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20 | 30 | 40 | 50 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | 0 | Naïve | 23.81 | 66.67 | 66.67 | 66.67 | 55.96 |
| | | Heuristic | 87.29 | 66.67 | 66.67 | 66.67 | 71.83 |
| | | Improvement | 46.58 | 0.00 | 0.00 | 27.34 | 18.48 |
| | 5 | Naïve | 40.71 | 50.89 | 66.67 | 38.74 | 49.25 |
| | | Heuristic | 100.00 | 59.65 | 66.67 | 66.67 | 73.25 |
| | | Improvement | 76.19 | 8.77 | 0.00 | 0.00 | 21.24 |
| | 10 | Naïve | 40.71 | 44.89 | 66.67 | 39.33 | 47.90 |
| | | Heuristic | 88.61 | 66.67 | 66.67 | 66.67 | 72.16 |
| | | Improvement | 47.90 | 21.78 | 0.00 | 27.93 | 24.40 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | 0 | Naïve | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| | 5 | Naïve | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| | 10 | Naïve | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 25.00 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 50.00 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ตารางที่ 6-26 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือและระยะเวลาการปรับตั้ง ในสายการผลิตรูปแบบเซลล์และยืดหยุ่น**

| ลักษณะสายการผลิต | ระยะเวลาการปรับตั้ง (%) | วิธีการหาคำตอบ | กำลังการผลิตคงเหลือ (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20 | 30 | 40 | 50 | ค่าเฉลี่ย |
| เซลล์ (Cellular) | 0 | Naïve | 50.00 | 50.00 | 50.00 | 29.50 | 44.88 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 25.00 | 25.00 | 25.00 | 45.50 | 30.13 |
| | 5 | Naïve | 42.86 | 32.56 | 50.00 | 50.00 | 43.86 |
| | | Heuristic | 75.00 | 73.53 | 73.71 | 72.87 | 73.78 |
| | | Improvement | 32.14 | 40.97 | 23.71 | 22.87 | 29.92 |
| | 10 | Naïve | 50.00 | 33.67 | 50.00 | 29.05 | 40.68 |
| | | Heuristic | 75.00 | 74.51 | 75.00 | 75.00 | 74.88 |
| | | Improvement | 25.00 | 40.84 | 25.00 | 45.95 | 34.20 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | 0 | Naïve | 34.60 | 33.33 | 33.33 | 21.60 | 30.72 |
| | | Heuristic | 76.98 | 78.10 | 83.33 | 83.33 | 80.44 |
| | | Improvement | 42.38 | 44.76 | 50.00 | 61.73 | 49.72 |
| | 5 | Naïve | 28.57 | 25.03 | 33.33 | 33.33 | 30.07 |
| | | Heuristic | 83.33 | 79.01 | 73.90 | 73.10 | 77.34 |
| | | Improvement | 54.76 | 53.98 | 40.57 | 39.77 | 47.27 |
| | 10 | Naïve | 34.60 | 25.68 | 33.33 | 21.82 | 28.86 |
| | | Heuristic | 77.64 | 76.98 | 75.00 | 83.33 | 78.24 |
| | | Improvement | 43.04 | 51.30 | 41.67 | 61.52 | 49.38 |

**ตารางที่ 6-27 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือและระยะเวลาการปรับตั้ง ในสายการผลิตรูปแบบทั่วไป**

| ลักษณะสายการผลิต | ระยะเวลาการปรับตั้ง (%) | วิธีการหาคำตอบ | กำลังการผลิตคงเหลือ (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 20 | 30 | 40 | 50 | ค่าเฉลี่ย |
| ทั่วไป (Non-specify) | 0 | Naïve | 28.72 | 50.00 | 37.50 | 28.70 | 36.23 |
| | | Heuristic | 82.73 | 62.50 | 87.50 | 75.00 | 76.93 |
| | | Improvement | 54.02 | 12.50 | 50.00 | 46.30 | 40.71 |
| | 5 | Naïve | 21.43 | 31.27 | 50.00 | 50.00 | 38.18 |
| | | Heuristic | 87.50 | 84.26 | 61.86 | 61.44 | 73.77 |
| | | Improvement | 66.07 | 52.99 | 11.86 | 11.44 | 35.59 |
| | 10 | Naïve | 28.72 | 31.76 | 37.50 | 28.86 | 31.71 |
| | | Heuristic | 83.23 | 70.23 | 68.75 | 75.00 | 74.30 |
| | | Improvement | 54.51 | 38.47 | 31.25 | 46.14 | 42.59 |

**ตารางที่ 6-28 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร ในสายการผลิตรูปแบบไหลผ่านและไม่ต่อเนื่อง**

| | | | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | วิธีการหาคำตอบ | 1 | 2 | 3 | ค่าเฉลี่ย |
| ไหลผ่าน (Flow shop) | 1 | Naïve | 66.67 | 57.78 | 43.03 | 55.83 |
| | | Heuristic | 66.67 | 98.00 | 100.00 | 88.22 |
| | | Improvement | 0.00 | 40.22 | 56.97 | 32.40 |
| | 3 | Naïve | - | 50.89 | 66.67 | 58.78 |
| | | Heuristic | - | 59.65 | 66.67 | 63.16 |
| | | Improvement | - | 8.77 | 0.00 | 4.39 |
| | 5 | Naïve | - | 50.89 | 66.67 | 58.78 |
| | | Heuristic | - | 50.89 | 66.67 | 58.78 |
| | | Improvement | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ไม่ต่อเนื่อง (Job shop) | 1 | Naïve | 50.00 | 25.00 | 25.00 | 33.33 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 25.00 | 50.00 | 50.00 | 41.67 |
| | 3 | Naïve | - | 25.00 | 50.00 | 37.50 |
| | | Heuristic | - | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | - | 50.00 | 25.00 | 37.50 |
| | 5 | Naïve | - | 50.00 | 50.00 | 50.00 |
| | | Heuristic | - | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | - | 25.00 | 25.00 | 25.00 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 6-29 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร ในสายการผลิตรูปแบบเซลล์และยืดหยุ่น**

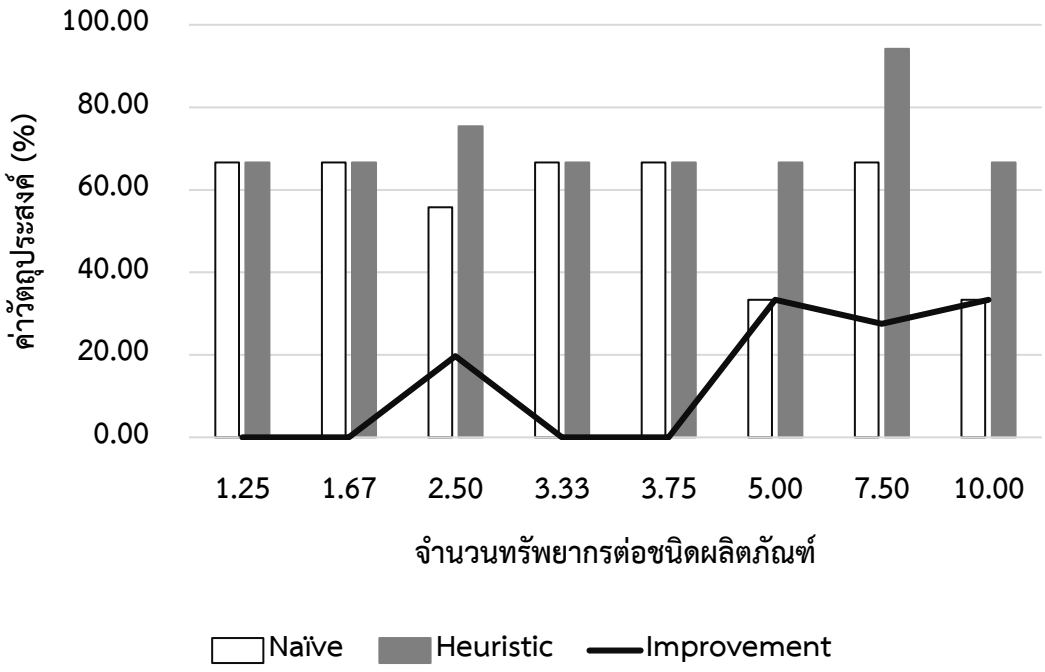
| | | | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | วิธีการหาคำตอบ | 1 | 2 | 3 | ค่าเฉลี่ย |
| เซลล์ (Cellular) | 1 | Naïve | 50.00 | 32.56 | 50.00 | 44.19 |
| | | Heuristic | 75.00 | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | 25.00 | 42.44 | 25.00 | 30.81 |
| | 3 | Naïve | - | 32.56 | 50.00 | 41.28 |
| | | Heuristic | - | 73.53 | 75.00 | 74.27 |
| | | Improvement | - | 40.97 | 25.00 | 32.99 |
| | 5 | Naïve | - | 32.56 | 75.00 | 53.78 |
| | | Heuristic | - | 75.00 | 75.00 | 75.00 |
| | | Improvement | - | 42.44 | 0.00 | 21.22 |
| ยืดหยุ่น (Flexible) | 1 | Naïve | 66.67 | 24.62 | 39.15 | 43.48 |
| | | Heuristic | 83.33 | 76.10 | 83.33 | 80.92 |
| | | Improvement | 16.67 | 51.48 | 44.18 | 37.44 |
| | 3 | Naïve | - | 25.03 | 66.67 | 45.85 |
| | | Heuristic | - | 79.01 | 83.33 | 81.17 |
| | | Improvement | - | 53.98 | 16.67 | 35.33 |
| | 5 | Naïve | - | 29.08 | 83.33 | 56.21 |
| | | Heuristic | - | 83.33 | 83.33 | 83.33 |
| | | Improvement | - | 54.25 | 0.00 | 27.13 |

**ตารางที่ 6-30 ผลลัพธ์จากการทดสอบในปัญหาต่าง ๆ เมื่อทำการปรับพารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร ในสายการผลิตรูปแบบทั่วไป**

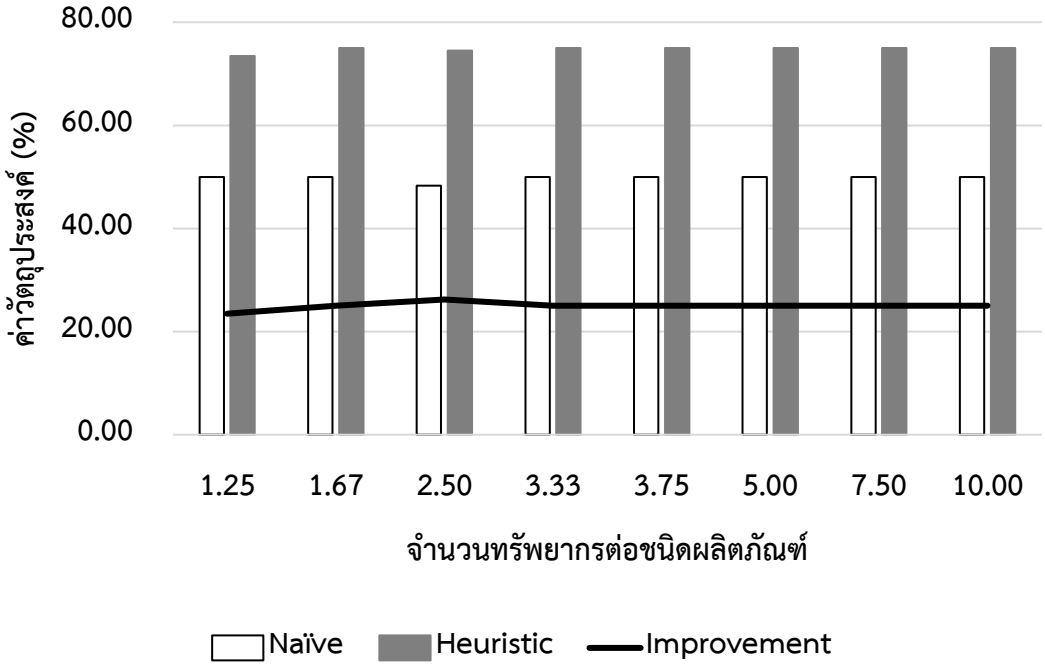
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| | | | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะสายการผลิต | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | วิธีการหาคำตอบ | 1 | 2 | 3 | ค่าเฉลี่ย |
| ทั่วไป (Non-specify) | 1 | Naïve | 62.50 | 35.20 | 41.86 | 46.52 |
| | | Heuristic | 75.00 | 87.50 | 87.50 | 83.33 |
| | | Improvement | 12.50 | 52.30 | 45.64 | 36.81 |
| | 3 | Naïve | - | 31.27 | 62.50 | 46.89 |
| | | Heuristic | - | 84.26 | 75.00 | 79.63 |
| | | Improvement | - | 52.99 | 12.50 | 32.75 |
| | 5 | Naïve | - | 58.34 | 75.00 | 66.67 |
| | | Heuristic | - | 70.84 | 75.00 | 72.92 |
| | | Improvement | - | 12.50 | 0.00 | 6.25 |

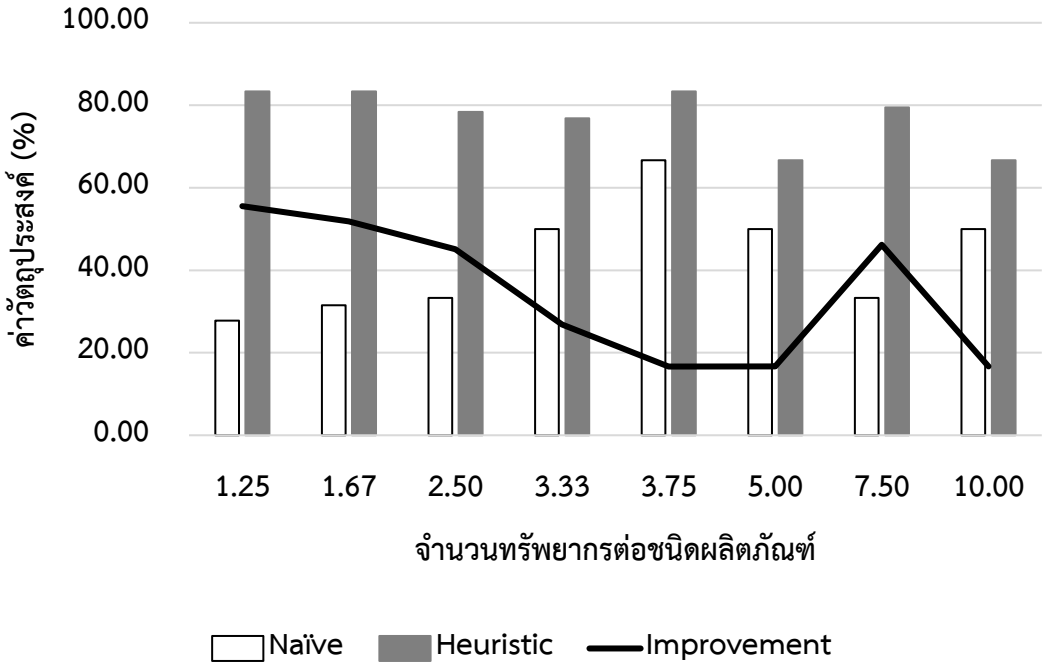
ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อจำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์มีจำนวนเพิ่มขึ้นในสายการผลิตรูปแบบไหลผ่านความสามารถในการปรับปรุงคำตอบจากคำตอบเริ่มต้นของฮิวริสติกจะมีความสามารถเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันดังที่แสดงในรูปที่ 6-13 ในขณะที่สายการผลิตรูปแบบเซลล์ซึ่งหากพิจารณาที่ละพารามิเตอร์จะพบว่าได้รับพบกระทบบ้าง แต่ในความเป็นจริงนั้นจะเห็นได้ว่าสายการผลิตรูปแบบเซลล์ที่มุ่งเน้นในการกระจายกระบวนการผลิตไปยังทรัพยากรหลายชนิด จะพบกว่าเมื่อจำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปคำตอบที่ได้รับจากวิธีการอย่างง่าย, ฮิวริสติก, และความสามารถในการปรับปรุงคำตอบจะมีลักษณะคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยดังที่แสดงในรูปที่ 6-14 แต่ในสายการผลิตรูปแบบยืดหยุ่นที่ให้ความสนใจในตัวชี้วัดด้านความทนทานจะพบว่าการกระจายกำลังการผลิตดังกล่าวจะถูกควบคุมด้วยตัวชี้วัดการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการและการเปลี่ยนของกำลังการผลิต โดยทำการจัดสรรให้มีกำลังการผลิตคงเหลือในแต่ละทรัพยากรใกล้เคียงกันมากที่สุดดังในรูปที่ 6-15




**รูปที่ 6-13 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบไหลผ่าน**

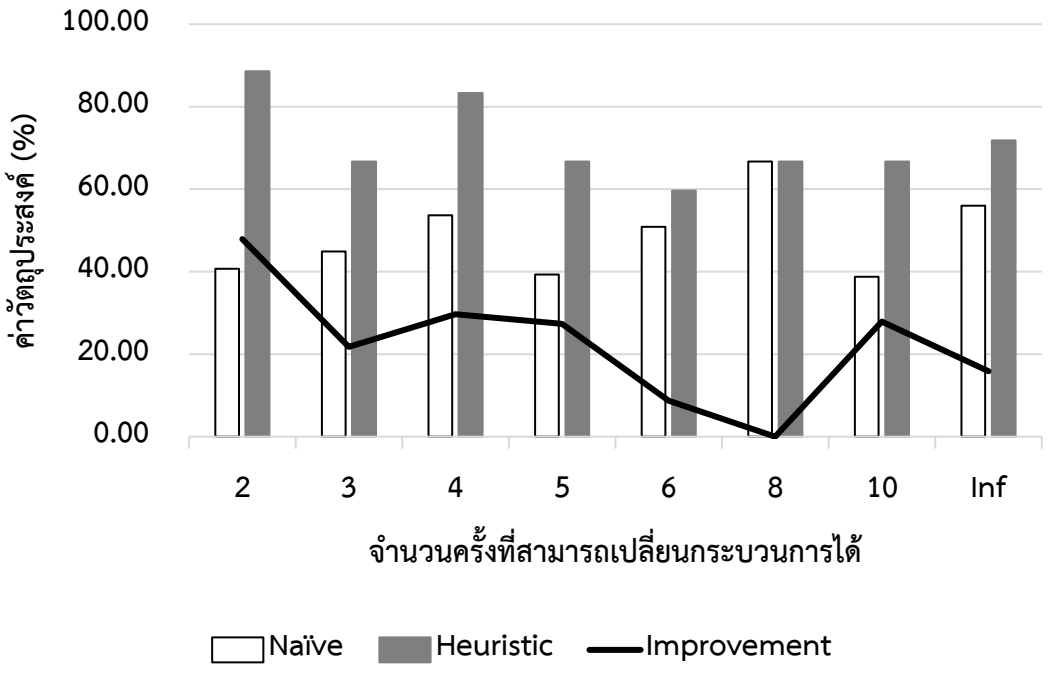



**รูปที่ 6-14 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบเซลล์**

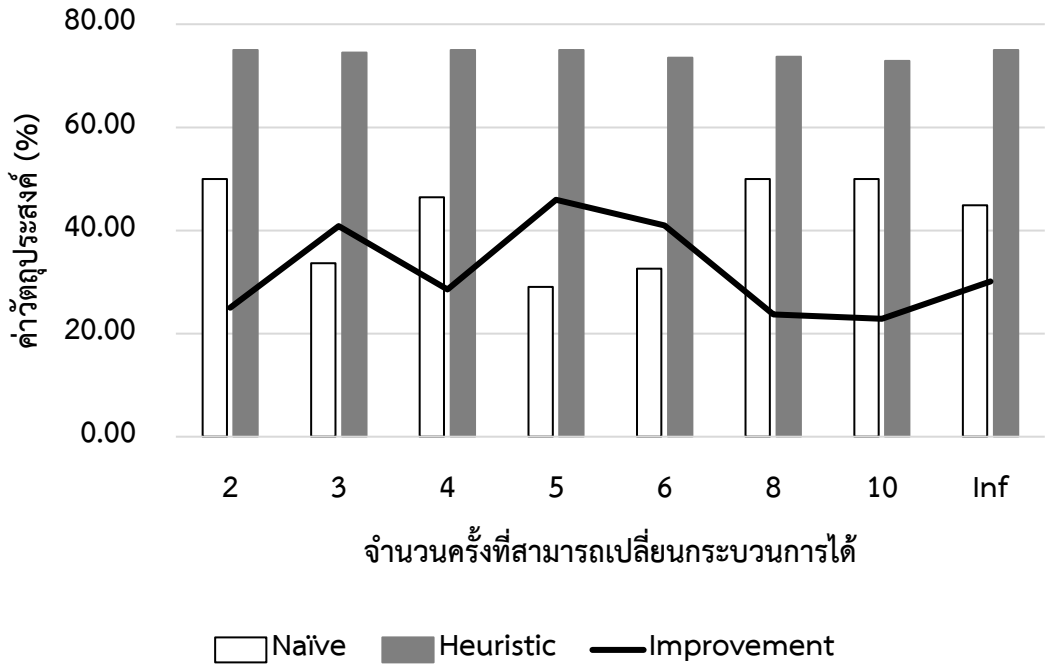



**รูปที่ 6-15 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบยืดหยุ่น**

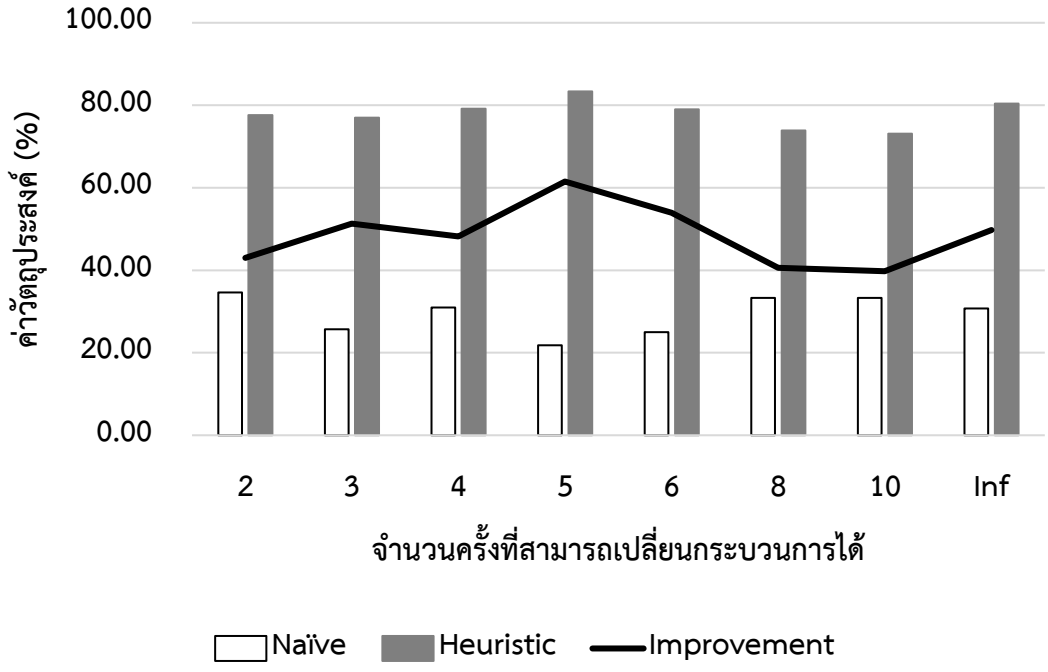
สำหรับคู่ของพารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือและระยะเวลาการปรับตั้งผลว่าเมื่อระยะเวลาในการปรับตั้งเพิ่มมากขึ้นและมีกำลังการผลิตคงเหลือจำนวนต่ำ คำตอบที่ได้รับจากวิธีอย่างง่ายจะสามารถปรับปรุงเพิ่มเติมได้ เนื่องจากการจัดสรรในวิธีการเริ่มต้นไม่ได้พิจารณาถึงจำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการได้ ซึ่งในสายการผลิตแบบไหลผ่านจะพบว่าเมื่อจำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการได้ต่ำ คำตอบเริ่มต้นหรือคำตอบที่ได้รับจากวิธีการอย่างง่ายจะสามารถปรับปรุงได้และจะมีจำนวนลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนครั้งที่เปลี่ยนกระบวนการได้มีเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่สายการผลิตรูปแบบเซลล์และยืดหยุ่น ในทุกระดับจะส่งผลกระทบสามารถปรับปรุงคำตอบเพิ่มขึ้นได้และมีแนวโน้มที่แตกต่างกันในแต่ละระดับดังที่แสดงในรูปที่ 6-16 ถึงรูปที่ 6-18




**รูปที่ 6-16 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการได้ เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบไหลผ่าน**




**รูปที่ 6-17 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการได้ เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบเซลล์**




**รูปที่ 6-18 ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับจากวิธีการต่าง ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการได้ เมื่อต้องการสายการผลิตรูปแบบยืดหยุ่น**

ในคู่พารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากรพบว่าในทุกรูปแบบสายการผลิต เมื่อแต่ละระดับของจำนวนกระบวนต่อชนิดทรัพยากรมีค่าต่ำแนวโน้มความสามารถในการปรับปรุงจากคำตอบเริ่มต้นของฮิวริสติกที่ใกล้เคียงกันในแต่ละสายการผลิต ในขณะที่หากพิจารณาเพียงพารามิเตอร์เดียวจะพบว่าในแต่ละรูปแบบของสายการผลิตจะแตกต่างกันออกไป

**ซึ่งจากการทดลองคู่ของพารามิเตอร์เพิ่มเติมทำให้พบว่า การพิจารณาครั้งละหนึ่งพารามิเตอร์จะพบว่าในสายการผลิตรูปแบบต่าง ๆ แนวโน้มของคำตอบที่ได้รับและความสามารถในการปรับปรุงคำตอบจะแตกต่างกันออกไป แต่ทั้งนี้หากพิจารณาในหลากหลายพารามิเตอร์พร้อมกันจะเห็นว่าเมื่อระดับของพารามิเตอร์อื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไป ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับย่อมมีความแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ผลกระทบของแต่ละพารามิเตอร์อาจจะไม่ใช่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากพารามิเตอร์นั้น ๆ เช่นในกรณีของจำนวนทรัพยากรในสายการผลิตและจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงไปของจำนวนทรัพยากรต่อชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นเอง ซึ่งสามารถทำการสรุปผลกระทบของคู่พารามิเตอร์ต่อลักษณะของสายการผลิต และ ผลกระทบของคู่พารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัดได้ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 6-31 และ**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6-32

**ตารางที่ 6-31 ผลกระทบของคู่พารามิเตอร์ต่อลักษณะของสายการผลิต**

| ชื่อพารามิเตอร์ | ลักษณะสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ไหลผ่าน | ไม่ต่อเนื่อง | เชลล์ | ยืดหยุ่น | ทั่วไป |
| จำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| จำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการ | ✓ | × | ✓ | ✓ | ✓ |
| จำนวนกระบวนการต่อชนิดเฉลี่ยผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |

**ตารางที่ 6-32 ผลกระทบของคู่พารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัด**

| ชื่อตัวชี้วัด | ชื่อพารามิเตอร์ | | |
|---|---|---|---|
| | จำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ | จำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการ | จำนวนกระบวนการต่อชนิดเฉลี่ยผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร |
| กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร | | | |
| อัตราการผลิตคอขวด | ✓ | | |
| ระยะเวลานำในการผลิต | ✓ | | |
| ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต | | | ✓ |
| ความยืดหยุ่นของกระบวนการ | | | ✓ |
| ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ | | ✓ | |
| ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต | | | |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ | | | |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต | ✓ | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 7 สรุปผลงานวิจัย

## 7.1. สรุปงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตทั้งสำหรับสายการผลิตที่ทำการออกแบบใหม่และสายการผลิตที่มีอยู่เดิม เพื่อให้ใช้งานได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการออกแบบ โดยฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่นำเสนอสามารถทำการออกแบบได้ในครบถ้วนทุกองค์ประกอบของสายการผลิต ซึ่งองค์ประกอบในสายการผลิตคือ 1.) เลือกทรัพยากร 2.) การจัดสรรทรัพยากร 3.) จัดกลุ่มทรัพยากร 4.) การเลือกเส้นทางการผลิต และ 5.) การแบ่งสายการผลิต นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังมีวัตถุประสงค์ในการรวบรวมตัวชี้วัดสำหรับประเมินสมรรถนะสายการผลิต

การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการศึกษาวิธีการออกแบบสายการผลิตในองค์ประกอบต่าง ๆ จากงานวิจัยในอดีต รวมไปถึงแง่มุมและวิธีการสำหรับชี้วัดสมรรถนะของสายการผลิตในแต่ละองค์ประกอบ โดยเมื่อทำการศึกษาเสร็จสิ้นทางผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมและตีความตัวชี้วัดสมรรถนะสายการผลิตเพื่อให้ได้วิธีการคำนวณตัวชี้วัดสำหรับที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะสายการผลิต แล้วจึงเริ่มออกแบบวิธีการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิต หลังจากทำการออกแบบวิธีการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตเสร็จสิ้น วิธีการดังกล่าวจะถูกนำมาทำการทดสอบด้วยปัญหารูปแบบต่าง ๆ เพื่อประเมินความสามารถของวิธีการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตในประเด็นต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลลัพธ์จากงานวิจัยฉบับนี้คือฮิวริสติกสำหรับออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตทั้งสายการผลิตที่ทำการออกแบบใหม่และสายการผลิตที่มีอยู่เดิม โดยหากเป็นสายการผลิตที่เป็นการออกแบบใหม่จะใช้วิธีการหาคำตอบเริ่มต้นผ่านทางแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการจัดสรรอย่างง่าย แต่สำหรับสายการผลิตที่มีอยู่แล้วจะใช้สายการผลิตที่มีอยู่เป็นคำตอบเริ่มต้น โดยเมื่อมีคำตอบเริ่มต้นจะทำการหาคำตอบโดยใช้หลักการหาคำตอบข้างเคียงในการปรับปรุงคำตอบผ่านแนวทางการปรับปรุงที่ทำการออกแบบขึ้น และประเมินสมรรถนะสายการผลิตผ่านตัวชี้วัดที่ทำการรวบรวมมา โดยวิธีการออกแบบและปรับปรุงสายการผลิตที่ทำการออกแบบมานั้นจะช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบลงได้อย่างมีนัยสำคัญ รวมไปถึงไม่ต้องใช้ผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์สูงในการปรับปรุงสายการผลิตแต่ละขั้นตอน

## 7.2. การอภิปรายผลการวิจัย

### 7.2.1. การวิเคราะห์ความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติก

จากผลการทดสอบฮิวริสติกที่ทำการออกแบบขึ้นในบทที่ 6 พบว่าฮิวริสติกที่ทำการออกแบบมานั้นสามารถหาคำตอบได้ตรงตามค่าเหมาะสมสุดและความสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบได้ 99.81 % เมื่อทำการทดสอบในโจทย์ที่มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ในการทดลองซ้ำในปัญหาแต่ละรูปแบบพบว่าความสามารถในการหาคำตอบของฮิวริสติกจะได้รับเป็นคำตอบที่มีค่าวัตถุประสงค์เท่ากันในทุกทดลองซ้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของคำตอบที่ได้รับจากฮิว-ริสติกมีความเสถียร (Stability) สูง

### 7.2.2. ผลกระทบของชุดตัวชี้วัดและพารามิเตอร์

ผลการทดสอบในข้างต้นสามารถทำการสรุปผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อลักษณะของสายการผลิตได้ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 7-1

**ตารางที่ 7-1 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อลักษณะของสายการผลิต**

| ชื่อพารามิเตอร์ | ลักษณะสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ไหลผ่าน | ไม่ต่อเนื่อง | เซลล์ | ยืดหยุ่น | ทั่วไป |
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| กำลังการผลิตคงเหลือ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |
| จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |
| ระยะเวลาการปรับตั้ง | ✓✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

จากผลการทดสอบพบว่าลักษณะของคำตอบเริ่มต้นมีความเหมาะสมสายการผลิตที่ไม่ได้ให้ความสนใจในตัวชี้วัดด้านความยืดหยุ่น และความทนทาน แต่หากมีความต้องการให้ได้รับสายการผลิตในลักษณะอื่น ๆ ที่ให้ความสนใจในตัวชี้วัดด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน สายการผลิตดังกล่าวควรที่จะสามารถปรับปรุงได้ถึง 30 ถึง 50 % นอกจากนี้ยังพบว่าพารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือ ระยะเวลาการปรับตั้งและอัตราส่วนผลิตภัณฑ์จะส่งผลกระทบต่อตัวชี้วัดในความไวในการเปลี่ยนกระบวนการอย่างชัดเจน ซึ่งเห็นได้จากสายการผลิตแบบไม่ต่อเนื่องที่ไม่ได้ให้ความสนใจในตัวชี้วัดดังกล่าวจะไม่ได้รับผลกระทบเมื่อตัวชี้วัดดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการสรุปผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัดต่าง ๆ ซึ่งทำการแสดงอยู่ในตารางที่ 6-20 และตารางที่ 6-21

**ตารางที่ 7-2 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัดส่วนที่ 1**

| ชื่อตัวชี้วัด | ชื่อพารามิเตอร์ | | |
|---|---|---|---|
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ | กำลังการผลิตคงเหลือ | จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากร |
| กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร | | | |
| อัตราการผลิตคอขวด | ✓ | | |
| ระยะเวลานำในการผลิต | ✓ | | |
| ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต | | | ✓ |
| ความยืดหยุ่นของกระบวนการ | | | ✓ |
| ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ | | ✓ | |
| ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต | | | |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ | | | |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต | ✓ | | |

**ตารางที่ 7-3 ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัดส่วนที่ 2**

| ชื่อตัวชี้วัด | ชื่อพารามิเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ระยะเวลาการปรับตั้ง | จำนวนทรัพยากรในสายการผลิต | อัตราส่วนผลิตภัณฑ์ |
| กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร | | | | |
| อัตราการผลิตคอขวด | | | ✓ | |
| ระยะเวลานำในการผลิต | | | ✓ | |
| ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต | ✓ | | | |
| ความยืดหยุ่นของกระบวนการ | ✓ | | | |
| ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ | | ✓ | | ✓ |
| ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต | | | | ✓ |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ | | | | ✓ |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต | | | | |

นอกจากนี้จากการทดสอบในข้างต้นยังพบว่าแต่ละพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์ต่อกันทั้งสิ้น 3 คู่ ได้แก่ 1.) จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์และจำนวนทรัพยากรในสายการผลิตที่แสดงให้เห็นถึงจำนวนหน่วยทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ 2.) พารามิเตอร์กำลังการผลิตคงเหลือและระยะเวลาการปรับตั้ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อจำนวนครั้งที่สามารถทำการเปลี่ยนกระบวนการและ 3.) พารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและพารามิเตอร์จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร ในคู่พารามิเตอร์จำนวนกระบวนการต่อชนิดทรัพยากรและจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากรพบว่าในทุกรูปแบบสายการผลิต เมื่อแต่ละระดับของจำนวนกระบวนต่อชนิดทรัพยากรมีค่าต่ำแนวโน้มความสามารถในการปรับปรุงจากคำตอบเริ่มต้นของฮิวริสติกที่ใกล้เคียงกันในแต่ละสายการผลิต ในขณะที่หากพิจารณาเพียงพารามิเตอร์เดียวจะพบว่าในแต่ละรูปแบบของสายการผลิตจะแตกต่างกันออกไป

**ซึ่งจากการทดลองคู่ของพารามิเตอร์เพิ่มเติมทำให้พบว่า การพิจารณาครั้งละหนึ่งพารามิเตอร์จะพบว่าในสายการผลิตรูปแบบต่าง ๆ แนวโน้มของคำตอบที่ได้รับและความสามารถในการปรับปรุงคำตอบจะแตกต่างกันออกไป แต่ทั้งนี้หากพิจารณาในหลากหลายพารามิเตอร์พร้อมกันจะเห็นว่าเมื่อระดับของพารามิเตอร์อื่น ๆ เปลี่ยนแปลงไป ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้รับย่อมมีความแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ผลกระทบของแต่ละพารามิเตอร์อาจจะไม่ใช่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากพารามิเตอร์นั้น ๆ เช่นในกรณีของจำนวนทรัพยากรในสายการผลิตและจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นจากการ**

**เปลี่ยนแปลงไปของจำนวนทรัพยากรต่อชนิดของผลิตภัณฑ์นั้นเอง ซึ่งสามารถทำการสรุปผลกระทบของคู่พารามิเตอร์ต่อลักษณะของสายการผลิต และ ผลกระทบของคู่พารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัดได้ดังที่แสดงอยู่ในตารางที่ 6-31 และ**

ตารางที่ 6-32

**ตารางที่ 7-4 ผลกระทบของคู่พารามิเตอร์ต่อลักษณะของสายการผลิต**

| ชื่อพารามิเตอร์ | ลักษณะสายการผลิต | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ไหลผ่าน | ไม่ต่อเนื่อง | เซลล์ | ยืดหยุ่น | ทั่วไป |
| จำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ | ✓✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| จำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการ | ✓ | × | ✓ | ✓ | ✓ |
| จำนวนกระบวนการต่อชนิดเฉลี่ยผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร | ✓ | ✓ | ✓✓ | ✓✓ | ✓ |

**ตารางที่ 7-5 ผลกระทบของคู่พารามิเตอร์ต่อตัวชี้วัด**

| ชื่อตัวชี้วัด | ชื่อพารามิเตอร์ | | |
|---|---|---|---|
| | จำนวนทรัพยากรต่อชนิดผลิตภัณฑ์ | จำนวนครั้งที่สามารถเปลี่ยนกระบวนการ | จำนวนกระบวนการต่อชนิดเฉลี่ยผลิตภัณฑ์ต่อชนิดทรัพยากร |
| กำลังการผลิตที่ถูกจัดสรร | | | |
| อัตราการผลิตคอขวด | ✓ | | |
| ระยะเวลานำในการผลิต | ✓ | | |
| ความยืดหยุ่นของเส้นทางการผลิต | | | ✓ |
| ความยืดหยุ่นของกระบวนการ | | | ✓ |
| ความไวในการเปลี่ยนกระบวนการ | | ✓ | |
| ความไวในการเปลี่ยนแผนการผลิต | | | |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ | | | |
| การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต | ✓ | | |

## 7.3. แนวทางในการวิจัยในลำดับถัดไป

1.) ทำการรวบรวมลักษณะพื้นฐานของความสนใจในตัวชี้วัดด้านต่าง ๆ ของแต่ละอุตสาหกรรมการผลิตเพื่อใช้สำหรับเสนอแนะต่อผู้ที่ต้องการตั้งสายการผลิตใหม่ที่ขาดความรู้และเข้าใจถึงลักษณะของอุตสาหกรรม

2.) ทำการพัฒนาวิธีการออกแบบโดยพิจารณาเมื่อค่าต่าง ๆ ภายในระบบไม่ได้มีลักษณะข้อมูลแบบแน่นอน (Deterministic) เป็นข้อมูลที่มีลักษณะของความน่าจะเป็นหรือการกระจายตัว (Stochastic)

3.) พัฒนาในวิธีการแสดงผลลัพธ์ให้มีวิธีการแสดงผล (Visualize) ที่เข้าใจได้ง่ายขึ้นรวมไปถึงทำการออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User interface : UI) เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

AIELLO, G. & ENEA, M. 2001. Fuzzy approach to the robust facility layout in uncertain production environments. *International Journal of Production Research,* 39**,** 4089-4101.

AIELLO, G., ENEA, M. & GALANTE, G. 2002. An integrated approach to the facilities and material handling system design. *International Journal of Production Research,* 40**,** 4007-4017.

AIELLO, G., ENEA, M. & GALANTE, G. 2006. A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* 22**,** 447-455.

ANDERS, K. 2008. Manufacturing system design based on real-life demands – a method description. *International design conference***,** 417-424.

AVIKAL, S., JAIN, R. & MISHRA, P. K. 2013a. A Heuristic for U-Shaped Disassembly. *International Journal of Mechanical Engineering,* 3**,** 51-56.

AVIKAL, S., MISHRA, P. K. & JAIN, R. 2013b. A Fuzzy AHP and PROMETHEE method-based heuristic for disassembly line balancing problems. *International Journal of Production Research,* 52**,** 1306-1317.

BALAKRISHNAN, J., CHENG, C.-H. & WONG, K.-F. 2003. FACOPT: a user friendly FACility layout OPTimization system. *Computers & Operations Research,* 30**,** 1625-1641.

BAYKASOĞLU, A. & GINDY, N. N. Z. 2001. A simulated annealing algorithm for dynamic layout problem. *Computers & Operations Research,* 28**,** 1403-1426.

BENTAHA, M. L., DOLGUI, A. & BATTAÏA, O. 2015. A bibliographic review of production line design and balancing under uncertainty. *IFAC-PapersOnLine,* 48**,** 70-75.

BERRAH, L. & CLIVILLÉ, V. 2007. Towards an aggregation performance measurement system model in a supply chain context. *Computers in Industry,* 58**,** 709-719.

CIUFUDEAN, C., PETRESCU, C. & PETRESCU, E. Measuring Bottleneck Times in Production Lines with Discrete Event Systems Formalisms. Proc. of International Measurement Confederation IMEKO XVIII World Congress: Metrology for a Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brasil, 2006. Citeseer.

COLLETTE, Y. & SIARRY, P. 2004. *Multiobjective Optimization : Principles and Case Studies*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

DE CARLO, F., ARLEO, M. A., BORGIA, O. & TUCCI, M. 2013. Layout Design for a Low Capacity Manufacturing Line: A Case Study. *International Journal of Engineering Business Management,* 5**,** 35.

DEB, S. K. & BHATTACHARYYA, B. 2005. Fuzzy decision support system for manufacturing facilities layout planning. *Decision Support Systems,* 40**,** 305-314.

DING, L.-P., FENG, Y.-X., TAN, J.-R. & GAO, Y.-C. 2010a. A new multi-objective ant colony algorithm for solving the disassembly line balancing problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 48**,** 761-771.

DING, L., CHEN, W. & TAN, J. 2010b. Multi-objective disassembly line balancing via modified ant colony optimization algorithm. *IEEE,* Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA)**,** 426-430.

DRIRA, A., PIERREVAL, H. & HAJRI-GABOUJ, S. 2007. Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control,* 31**,** 255-267.

DUNKER, T., RADONS, G. & WESTKÄMPER, E. 2005. Combining evolutionary computation and dynamic programming for solving a dynamic facility layout problem. *European Journal of Operational Research,* 165**,** 55-69.

DUTA, L., FILIP, F. G. & CACIULA, I. 2008. Real Time Balancing of Complex Disassembly Lines. *IFAC Proceedings Volumes,* 41**,** 913-918.

DWEIRT, F. & MEIER, F. A. 1996. Application of fuzzy decision-making in facilities layout planning. *International Journal of Production Research,* 34.

FRANKLIN LIU, F. H. & CHENG LIU, Y. 2008. Product line performance assessment on order fulfilment cycle time: a case of microelectronic communication company. *International Journal of Production Research,* 46**,** 4431-4443.

GAREY, M. R. & JOHNSON, D. S. 1979. *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness,* New York, W.H. Freeman and company.

GUPTA, S. & GUNGOR, A. 1999. Disassembly Line Balancing. 171-197.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

HON, K. K. B. 2005. Performance and Evaluation of Manufacturing Systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology,* 54**,** 139-154.

HOPP, W. J. & SPEARMAN, M. L. 2011. *Factory Physics: Third Edition*, Waveland Press.

JAIN, A., JAIN, P. K., CHAN, F. T. S. & SINGH, S. 2013. A review on manufacturing flexibility. *International Journal of Production Research,* 51**,** 5946-5970.

KARA, Y., ÖZGÜVEN, C., SEÇME, N. Y. & CHANG, C.-T. 2010. Multi-objective approaches to balance mixed-model assembly lines for model mixes having precedence conflicts and duplicable common tasks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 52**,** 725-737.

KURNIADI, K. A., ISLAMOGLU, E. & RYU, K. 2012. Performance Comparison of Two Assembly Line Concepts Conveyor Line and Box Assembly Line. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering,* 6.

LACKSONEN, T. A. 1997. Preprocessing for static and dynamic facility layout problems. *International Journal of Production Research,* 35**,** 1095-1106.

LAVY, S., A. GARCIA, J. & K. DIXIT, M. 2014. KPIs for facility's performance assessment, Part I: identification and categorization of core indicators. *Facilities,* 32**,** 256-274.

LEBAS, M. J. 1995. Performance measurement and performance management. *International Journal of Production Economics,* 41**,** 23-35.

MAMUN, A. A., KHALED, A. A., ALI, S. M. & CHOWDHURY, M. M. 2012. A heuristic approach for balancing mixed-model assembly line of type I using genetic algorithm. *International Journal of Production Research,* 50**,** 5106-5116.

MCKENDALL, A. R., SHANG, J. & KUPPUSAMY, S. 2006. Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem. *Computers & Operations Research,* 33**,** 2431-2444.

MIR, M. & IMAM, M. H. 2001. A hybrid optimization approach for layout design of unequal-area facilities. *Computers & Industrial Engineering,* 39**,** 49-63.

MOHAMED, N. M. Z. N. & KHAN, M. K. 2012. Decomposition of Manufacturing Processes: A Review. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering,* 5**,** 545-560.

NAMCHAISIRI, C. 2015. Productivity world. *In:* INSTITUTE, T. P. (ed.) *Productivity Conference* 2015. Thailand Productivity institute.

NEARCHOU, A. C. 2006. Meta-heuristics from nature for the loop layout design problem. *International Journal of Production Economics,* 101**,** 312-328.

NESDB 2016. Gross domestic product, chain volume measures : Q3/2016. *In:* OPM (ed.) 1 ed.: National Economic and Social Development Board.

PAPADOPOULOS, C. T., J.O'KELLY, M. E., J.VIDALIS, M. & SPINELLIS, D. 2009. *Analysis and Design of Discrete Part Production Line*, Sprigen.

PARMENTER, D. 2015. *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*, Wiley.

PEREIRA, J. & VILÀ, M. 2015. Variable neighborhood search heuristics for a test assembly design problem. *Expert Systems with Applications,* 42**,** 4805-4817.

PROMOTION, O. O. S. A. M. E. 2016. *Situation of Thai SMEs* 2016 [Online]. [Accessed 26 December 2016].

ROTHLAUF, F. 2011. *Design of Modern Heuristics: Principles and Application*, Springer Berlin Heidelberg.

RUSSELL, R. S. & III, B. W. T. 2011. Operations Management. *In:* JOHNSON, L. (ed.) *Creating Value Along the Supply Chain.* 7 ed.: George Hoffman.

SMITH, J. M. & TAN, B. 2013. *Handbook of stochastic models and analysis of manufacturing system operations*, Springer.

STEVENSON, W. J. 2011. Operations Management. *In:* MATTSON, S. (ed.) 11 ed.: Tim Vertovec.

TANG, Y., ZHOU, M. & CAUDILL, R. 2001. A Systematic Approach to Disassembly Line Design. *IEEE***,** 173-178.

TSOURVELOUDIS, N., VALAVANIS, K., GRACANIN, D. & MATIJASEVIC, M. On the measurement of agility in manufacturing systems. Proceedings of the 2nd European Symposium on Intelligent Techniques, 1999.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

VASILJEVIC, D., TRKULJA, Z. & DANILOVIC, M. 2013. Towards an extended set of production line performance indicators. *Total Quality Management & Business Excellence,* 25**,** 618-634.

WELGAMA, P. S. & GIBSON, P. R. 1993. A construction algorithm for the machine layout problem with fixed pick-up and drop-off points. *International Journal of Production Research,* 31.

WINSTON, W. L. & GOLDBERG, J. B. 2004. *Operations Research: Applications and Algorithms*, Thomson Brooks/Cole.

YANG, T., PETERS, B. A. & TU, M. 2005. Layout design for flexible manufacturing systems considering single-loop directional flow patterns. *European Journal of Operational Research,* 164**,** 440-455.

**รายการอ้างอิง**

AIELLO, G. & ENEA, M. 2001. Fuzzy approach to the robust facility layout in uncertain production environments. *International Journal of Production Research,* 39**,** 4089-4101.

AIELLO, G., ENEA, M. & GALANTE, G. 2002. An integrated approach to the facilities and material handling system design. *International Journal of Production Research,* 40**,** 4007-4017.

AIELLO, G., ENEA, M. & GALANTE, G. 2006. A multi-objective approach to facility layout problem by genetic search algorithm and Electre method. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,* 22**,** 447-455.

ANDERS, K. 2008. Manufacturing system design based on real-life demands – a method description. *International design conference***,** 417-424.

AVIKAL, S., JAIN, R. & MISHRA, P. K. 2013a. A Heuristic for U-Shaped Disassembly. *International Journal of Mechanical Engineering,* 3**,** 51-56.

Chulalongkorn University

AVIKAL, S., MISHRA, P. K. & JAIN, R. 2013b. A Fuzzy AHP and PROMETHEE method-based heuristic for disassembly line balancing problems. *International Journal of Production Research,* 52**,** 1306-1317.

BALAKRISHNAN, J., CHENG, C.-H. & WONG, K.-F. 2003. FACOPT: a user friendly FACility layout OPTimization system. *Computers & Operations Research,* 30**,** 1625-1641.

BAYKASOĞLU, A. & GINDY, N. N. Z. 2001. A simulated annealing algorithm for dynamic layout problem. *Computers & Operations Research,* 28**,** 1403-1426.

BENTAHA, M. L., DOLGUI, A. & BATTAÏA, O. 2015. A bibliographic review of production line design and balancing under uncertainty. *IFAC-PapersOnLine,* 48**,** 70-75.

BERRAH, L. & CLIVILLÉ, V. 2007. Towards an aggregation performance measurement system model in a supply chain context. *Computers in Industry,* 58**,** 709-719.

CIUFUDEAN, C., PETRESCU, C. & PETRESCU, E. Measuring Bottleneck Times in Production Lines with Discrete Event Systems Formalisms. Proc. of International Measurement Confederation IMEKO XVIII World Congress: Metrology for a Sustainable Development, Rio de Janeiro, Brasil, 2006. Citeseer.

COLLETTE, Y. & SIARRY, P. 2004. *Multiobjective Optimization : Principles and Case Studies*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

DE CARLO, F., ARLEO, M. A., BORGIA, O. & TUCCI, M. 2013. Layout Design for a Low Capacity Manufacturing Line: A Case Study. *International Journal of Engineering Business Management,* 5**,** 35.

DEB, S. K. & BHATTACHARYYA, B. 2005. Fuzzy decision support system for manufacturing facilities layout planning. *Decision Support Systems,* 40**,** 305-314.

DING, L.-P., FENG, Y.-X., TAN, J.-R. & GAO, Y.-C. 2010a. A new multi-objective ant colony algorithm for solving the disassembly line balancing problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 48**,** 761-771.

DING, L., CHEN, W. & TAN, J. 2010b. Multi-objective disassembly line balancing via modified ant colony optimization algorithm. *IEEE,* Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA)**,** 426-430.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

DRIRA, A., PIERREVAL, H. & HAJRI-GABOUJ, S. 2007. Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control,* 31**,** 255-267.

DUNKER, T., RADONS, G. & WESTKÄMPER, E. 2005. Combining evolutionary computation and dynamic programming for solving a dynamic facility layout problem. *European Journal of Operational Research,* 165**,** 55-69.

DUTA, L., FILIP, F. G. & CACIULA, I. 2008. Real Time Balancing of Complex Disassembly Lines. *IFAC Proceedings Volumes,* 41**,** 913-918.

DWEIRT, F. & MEIER, F. A. 1996. Application of fuzzy decision-making in facilities layout planning. *International Journal of Production Research,* 34.

FRANKLIN LIU, F. H. & CHENG LIU, Y. 2008. Product line performance assessment on order fulfilment cycle time: a case of microelectronic communication company. *International Journal of Production Research,* 46**,** 4431-4443.

GAREY, M. R. & JOHNSON, D. S. 1979. *Computers and intractability: A guide to the theory of NP-completeness,* New York, W.H. Freeman and company.

GUPTA, S. & GUNGOR, A. 1999. Disassembly Line Balancing. 171-197.

HON, K. K. B. 2005. Performance and Evaluation of Manufacturing Systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology,* 54**,** 139-154.

HOPP, W. J. & SPEARMAN, M. L. 2011. *Factory Physics: Third Edition*, Waveland Press.

JAIN, A., JAIN, P. K., CHAN, F. T. S. & SINGH, S. 2013. A review on manufacturing flexibility. *International Journal of Production Research,* 51**,** 5946-5970.

KARA, Y., ÖZGÜVEN, C., SEÇME, N. Y. & CHANG, C.-T. 2010. Multi-objective approaches to balance mixed-model assembly lines for model mixes having precedence conflicts and duplicable common tasks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 52**,** 725-737.

KURNIADI, K. A., ISLAMOGLU, E. & RYU, K. 2012. Performance Comparison of Two Assembly Line Concepts Conveyor Line and Box Assembly Line. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering,* 6.

LACKSONEN, T. A. 1997. Preprocessing for static and dynamic facility layout problems. *International Journal of Production Research,* 35**,** 1095-1106.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

LAVY, S., A. GARCIA, J. & K. DIXIT, M. 2014. KPIs for facility's performance assessment, Part I: identification and categorization of core indicators. *Facilities,* 32**,** 256-274.

LEBAS, M. J. 1995. Performance measurement and performance management. *International Journal of Production Economics,* 41**,** 23-35.

MAMUN, A. A., KHALED, A. A., ALI, S. M. & CHOWDHURY, M. M. 2012. A heuristic approach for balancing mixed-model assembly line of type I using genetic algorithm. *International Journal of Production Research,* 50**,** 5106-5116.

MCKENDALL, A. R., SHANG, J. & KUPPUSAMY, S. 2006. Simulated annealing heuristics for the dynamic facility layout problem. *Computers & Operations Research,* 33**,** 2431-2444.

MIR, M. & IMAM, M. H. 2001. A hybrid optimization approach for layout design of unequal-area facilities. *Computers & Industrial Engineering,* 39**,** 49-63.

MOHAMED, N. M. Z. N. & KHAN, M. K. 2012. Decomposition of Manufacturing Processes: A Review. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering,* 5**,** 545-560.

NAMCHAISIRI, C. 2015. Productivity world. *In:* INSTITUTE, T. P. (ed.) *Productivity Conference* 2015. Thailand Productivity institute.

NEARCHOU, A. C. 2006. Meta-heuristics from nature for the loop layout design problem. *International Journal of Production Economics,* 101**,** 312-328.

NESDB 2016. Gross domestic product, chain volume measures : Q3/2016. *In:* OPM (ed.) 1 ed.: National Economic and Social Development Board.

PAPADOPOULOS, C. T., J.O'KELLY, M. E., J.VIDALIS, M. & SPINELLIS, D. 2009. *Analysis and Design of Discrete Part Production Line*, Sprigen.

PARMENTER, D. 2015. *Key Performance Indicators: Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*, Wiley.

PEREIRA, J. & VILÀ, M. 2015. Variable neighborhood search heuristics for a test assembly design problem. *Expert Systems with Applications,* 42**,** 4805-4817.

PROMOTION, O. O. S. A. M. E. 2016. *Situation of Thai SMEs* 2016 [Online]. [Accessed 26 December 2016].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ROTHLAUF, F. 2011. *Design of Modern Heuristics: Principles and Application*, Springer Berlin Heidelberg.

RUSSELL, R. S. & III, B. W. T. 2011. Operations Management. *In:* JOHNSON, L. (ed.) *Creating Value Along the Supply Chain.* 7 ed.: George Hoffman.

SMITH, J. M. & TAN, B. 2013. *Handbook of stochastic models and analysis of manufacturing system operations*, Springer.

STEVENSON, W. J. 2011. Operations Management. *In:* MATTSON, S. (ed.) 11 ed.: Tim Vertovec.

TANG, Y., ZHOU, M. & CAUDILL, R. 2001. A Systematic Approach to Disassembly Line Design. *IEEE*, 173-178.

TSOURVELOUDIS, N., VALAVANIS, K., GRACANIN, D. & MATIJASEVIC, M. On the measurement of agility in manufacturing systems. Proceedings of the 2nd European Symposium on Intelligent Techniques, 1999.

VASILJEVIC, D., TRKULJA, Z. & DANILOVIC, M. 2013. Towards an extended set of production line performance indicators. *Total Quality Management & Business Excellence,* 25, 618-634.

WELGAMA, P. S. & GIBSON, P. R. 1993. A construction algorithm for the machine layout problem with fixed pick-up and drop-off points. *International Journal of Production Research,* 31.

WINSTON, W. L. & GOLDBERG, J. B. 2004. *Operations Research: Applications and Algorithms*, Thomson Brooks/Cole.

YANG, T., PETERS, B. A. & TU, M. 2005. Layout design for flexible manufacturing systems considering single-loop directional flow patterns. *European Journal of Operational Research,* 164, 440-455.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายญาณวโรตม์ พงศ์เศรษฐไพศาล เกิดเมื่อวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นปริญญาตรีในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2559 โดยระหว่างศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ได้ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัยอยู่ที่หน่วยวิจัย ROM (Resource and Operation Management) ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University