การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน ในโรงงานประกอบรถยนต์

นาย พันรวี ทรัพย์อุดม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TWO-SIDED ASSEMBLY LINE BALANCING IN AUTOMOTIVE ASSEMBLY PLANT

Mr. Punravee Sub-udom

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

520828

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านในโรงงานประกอบรถยนต์
โดย	นาย พันรวี ทรัพย์อุดม
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พันรวี ทรัพย์อุดม : การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านในโรงงานประกอบรถยนต์ (TWO-SIDED ASSEMBLY LINE BALANCING IN AUTOMOTIVE ASSEMBLY PLANT). อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. ปารเมศ ชุติมา, 192 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านของงานประกอบรถยนต์ที่มีการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Batch Processing) ซึ่งจัดอยู่ในปัญหาประเภทที่ 1 ปัจจุบันพบว่าประสิทธิภาพของสายการประกอบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 58.5% พบว่าไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการในการผลิตได้เนื่องมาจากมีบางสถานีงานเกินรอบเวลาการผลิต สาเหตุดังกล่าวมาจากการจัดสายการประกอบที่อาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบสายการประกอบ

สำหรับงานวิจัยนี้จะอธิบายถึงวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านโดยเริ่มตั้งแต่การนำเทคนิคการวัดผลงาน (Work Measurement) รวมไปถึงการกำหนดลำดับความสัมพันธ์ของงานประกอบรถยนต์ ซึ่งพบว่ามีสถานีงานกิจกรรมร่วมเท่ากับ 31 สถานี เงื่อนไขลำดับก่อนหลังของงาน 411 เงื่อนไข โดยแบ่งเป็นงานทางด้านซ้าย (61 งาน) ด้านขวา (66 งาน) และงานที่ต้องเลือกปฏิบัติจากด้านใดด้านหนึ่ง (56 งาน) จากนั้นจะนำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการทางฮิวริสติก (RPWT, MAXDUR, MINDUR และ MAXFOL) และพัฒนาโปรแกรมเข้ามาช่วยในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน รวมไปถึงการทดสอบกับข้อมูลงานประกอบจริง

จากการวิเคราะห์และทดสอบโปรแกรมพบว่า วิธีการของ MINDUR ให้ผลคำตอบโดยรวมที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆโดยทดสอบที่ระดับนับสำคัญ 0.05 และยังพบว่าโปรแกรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถระบุงานในแต่ละสถานีงานได้ รวมไปถึงเวลาว่างงานในแต่ละสถานีงาน ซึ่งผู้ออกแบบสายการประกอบสามารถนำวิธีการปรับปรุงงาน เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อลดเวลาดังกล่าว สำหรับคำตอบที่ได้โปรแกรมที่ประยุกต์ใช้วิธีการของ MINDUR มีประสิทธิภาพสายการประกอบเท่ากับ 87.64% เพิ่มขึ้นจากเดิม 29.14% รวมไปถึงจำนวนสถานีกิจกรรมร่วมลดลง 10 สถานี

ภาควิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต พันรวี ทรัพย์อุดม

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา : 2552

5071432521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS :THE MULTI-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINE BALANCING / HEURISTIC / AUTOMOTIVE ASSEMBLY PLANT

PUNRAVEE SUB-UDOM : TWO-SIDED ASSEMBLY LINE BALANCING IN AUTOMOTIVE ASSEMBLY PLANT. THESIS ADVISOR: PARAMES CHUTIMA, ASST., Ph.D., 192 pp.

This paper has been conducted to study the balancing of multi-model automotive assembly line. The Two-sided Assembly Line Balancing:TALB problem is categorized in type-I. The average current process efficiency is 58.5% and this efficiency can not comply with the production volume requirement. The main reason for this efficiency is the differrence of the cycle time of each station which caused by the production process design that based on experience of the designer.

This paper described the methodology for balancing the assembly line using work measurement technique, investigate the precedence constraint and apply heuristic method (RPWT, MAXDUR,MAXFOL,MINDUR) and developed computer program to find the appropriate balancing options. And tested with the current information from assembly line.For TALB,we analysis the data with significant 0.05 which are considered 183 tasks, 411 constraints and task performed left, right and either sides of the line,61 66 and 56 respectively. Then the experiment are carried out to propose in the programming which developed.

From conducting the study, the MINDUR methodology has showed the better results and also found out that the developed TALB identified tasks for each station including the cycle time. The production process designer can apply ECRS procedure to reduce that times.The assembly line of applied MINDUR methodology increased industry's efficiency by 29.14 % which is now 87.64% and also decreased mate-stations by 10.

Department : Industrial Engineering Student's Signature Punrav T.

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

Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยจากการช่วยเหลือและให้คำแนะนำจาก รศ. ดร. ปารเมศ ชุติมา ผู้เป็นที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นต่างๆด้วยความเมตตาแก่ผู้ทำการวิจัยตลอดระยะเวลาการดำเนินงานรวมทั้งได้รับความกรุณาจาก ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. วันชัย ริจิรวนิช และ รศ. จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ ที่ได้ช่วยกรุณาให้ข้อคิดเห็นเสนอแนะและกลั่นกรองงานวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงต่อทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือตลอดจนอำนวยความสะดวกในการประสานงานต่างๆทำให้ผลงานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่คอยสนับสนุนและเอาใจใส่ผู้วิจัยด้วยความรักและความเมตตา และเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัย ตลอดเวลาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญภาพ.....ญ

สารบัญตาราง.....ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....2

1.2วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....7

1.3ขอบเขตของการวิจัย.....7

1.4สมมติฐานของการวิจัย.....8

1.5ลักษณะของปัญหา.....8

1.6คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....9

1.7ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....10

1.8วิธีดำเนินการวิจัย.....11

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำวิธีการศึกษาการทำงานมาประยุกต์ใช้.....12

2.1.1 เทคนิคของการวัดงาน.....13

2.1.1.1 การคำนวณหาจากค่าเฉลี่ยอย่างง่ายๆ.....13

2.1.1.2 การคาดคะเน.....14

2.1.1.3 การศึกษาการทำงานโดยตรง.....14

2.1.1.4 การใช้ระบบข้อมูลเวลามาตรฐาน.....19

2.1.1.5 การศึกษาเวลาแบบพรีดีเทอร์มิน.....19

2.1.2การปรับปรุงวิธีการทำงาน.....21

2.1.2.1 ขจัดงานที่ไม่จำเป็น.....22

2.1.2.2 รวมขั้นตอนการปฏิบัติงานเข้าด้วยกัน.....23

2.1.2.3 การสลับสับเปลี่ยนลำดับการปฏิบัติงาน.....24

2.1.2.4 การทำงานให้ง่ายขึ้น..... 24
2.1.3 การสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงาน.....25
2.1.3.1 ประโยชน์ของมาตรฐานการปฏิบัติงาน..... 26
2.2 แนวคิดและทฤษฎีการจัดสมดุลสายการประกอบโดยทั่วไป 26
2.2.1 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์.....29
2.2.2 วิธีการวัดผลในการจัดสมดุลสายการประกอบ 29
2.3 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน.....30
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....32
2.5 สรุป..... 39
บทที่ 3 โรงงานประกอบรถยนต์
3.1 หน่วยงานภายในโรงงานประกอบรถยนต์.....42
3.2 สายการประกอบรถยนต์ 48
3.3 คุณลักษณะสายงานการประกอบโดยทั่วไป.....48
3.4 ลักษณะของการควบคุมสายการประกอบ 50
3.5 วิธีการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน 50
บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานวิจัย
4.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน และปัญหาของงานประกอบรถยนต์.....52
4.2 รวบรวมข้อมูลและจัดทำเป็นมาตรฐานของงานประกอบรถยนต์.....56
4.3 ทดลองการจัดสมดุลการประกอบแบบสองด้านเพื่อนำไปจัดทำโปรแกรม 58
4.3.1 ฮิวริสติกสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน 58
4.3.1.1 วิธีการจัดสรรงานด้วยการถ่วงน้ำหนัก..... 59
4.3.1.2 วิธีการจัดสรรงานโดยเลือกงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน..... 59
4.3.1.3 วิธีการจัดสรรงานโดยเลือกงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน..... 59
4.3.1.4 วิธีการจัดสรรงานโดยเลือกงานต่อเนื่องมากสุด..... 59
4.3.1.5 วิธีการจัดสรรงานโดยเลือกงานด้วยการสุ่ม..... 59
4.3.2 กระบวนการของฮิวริสติกและอัลกอริทึม 60
4.3.3 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน 10 งาน.....63
4.3.4 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน 22 งาน.....72
4.4 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน.....87
4.4.1ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม 87
4.4.2 คุณสมบัติของโปรแกรมที่ใช้จัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน.....88

4.4.3 โครงสร้างของโปรแกรม 88
4.4.3.1 โมดูลการรับข้อมูลเข้า..... 88
4.4.3.2 โมดูลการประมวลผล..... 89
4.4.3.3 โมดูลการแสดงผลลัพธ์..... 89
4.4.4 การทดสอบโปรแกรม..... 90
4.5 การสรุปผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน..... 91
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลงานวิจัย
5.1 การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ในแต่ละวิธีจากข้อมูลตัวอย่าง..... 93
5.2 การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ในแต่ละวิธีจากข้อมูลตัวอย่าง..... 94
5.2.1 การวิเคราะห์ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบ 10 งาน 96
5.2.2 การวิเคราะห์ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบ 22 งาน 105
5.2.3 การสรุปผลการทดสอบเชิงเปรียบเทียบ..... 115
5.3 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านโดยใช้ข้อมูลจากงานประกอบจริง 105
5.4 การวิเคราะห์ความไว..... 119
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ
6.1 สรุปผลการวิจัย..... 122
6.2 ผลการทดสอบเชิงเปรียบเทียบของวิธีการค้นหาคำตอบด้วยฮิวริสติก..... 123
6.3 ประโยชน์ที่ได้รับและแนวทางในการประยุกต์ใช้..... 123
6.4 ข้อเสนอแนะ..... 124
รายการอ้างอิง..... 125
ภาคผนวก 128
ภาคผนวก ก ข้อมูลการศึกษาเวลา..... 129
ภาคผนวก ข ลำดับก่อนหลังและเวลาของงานประกอบรถยนต์..... 164
ภาคผนวก ค แสดงการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการจัดสมดุลสายการประกอบ 176
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการปรับปรุงงาน..... 188
ภาคผนวก จ ตารางความน่าจะเป็นแบบ t..... 190
ภาคผนวก ฉ ตารางความน่าจะเป็นแบบ f 191
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 192

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 ภาพรวมของสายการประกอบรถยนต์....3
รูปที่ 2.1 แสดงที่มาของเวลามาตรฐาน....18
รูปที่ 2.2 ประเภทของการจัดสมดุลสายการประกอบ....27
รูปที่ 2.3 ลักษณะของสายการประกอบเป็นสายการประกอบแบบสองด้าน....31
รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของ TALB....32
รูปที่ 3.1 การเชื่อมประกอบตัวถังรถยนต์....40
รูปที่ 3.2 การพ่นสีตัวถังรถยนต์....40
รูปที่ 3.3 แชสซีส์และช่วงล่าง....41
รูปที่ 3.4 เครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง....41
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ไฟฟ้า....42
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ภายใน....42
รูปที่ 3.7 สายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว....49
รูปที่ 3.8 สายงานการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์....49
รูปที่ 3.9 สายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม....50
รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอ....60
รูปที่ 4.2 แสดงอัลกอริทึมของการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน....62
รูปที่ 4.3 ส่วนของการปรับเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในการผลิต....88
รูปที่ 4.4 ส่วนของการประมวลผลของโปรแกรม....89
รูปที่ 4.5 ส่วนของการแสดงผลลัพธ์....89
รูปที่ 6.1 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบที่ได้จากฮิวริสติก....121
รูปที่ 6.2 ผลการปรับปรุงคำตอบที่ได้จากฮิวริสติก....122
รูปที่ 6.3 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังจัดสมดุลสายการประกอบ....123

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 จำนวนสถานีงานหลักและสถานีกิจกรรมร่วม 4
ตารางที่ 1.2 เวลาและประสิทธิภาพในแต่ละสถานีงาน....6
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการจัดลำดับก่อนหลังของงาน 55
ตารางที่ 4.2 กฎการจัดงานด้วยวิธีการทางฮิวริสติก....59
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างขั้นงาน10 งาน และลำดับก่อนหลังของงาน....63
ตารางที่ 4.4 งานและ RPW ด้านซ้าย 64
ตารางที่ 4.5 งานและ RPW สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน....64
ตารางที่ 4.6 งานและ RPW ด้านขวา 64
ตารางที่ 4.7 ผลจากการจัดด้วยวิธี RPWT 10 งาน....65
ตารางที่ 4.8 การจัดงานด้วย MAXDUR ของด้านซ้าย 66
ตารางที่ 4.9 การจัดงานด้วย MAXDUR ของงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน 66
ตารางที่ 4.10 การจัดงานด้วย MAXDUR ของด้านขวา 66
ตารางที่ 4.11 ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXDUR 10 งาน 67
ตารางที่ 4.12 การจัดงานด้วย MINDUR ของด้านซ้าย 68
ตารางที่ 4.13 การจัดงานด้วย MINDUR ของงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน....68
ตารางที่ 4.14 การจัดงานด้วย MINDUR ของด้านขวา 69
ตารางที่ 4.15 ผลจากการจัดด้วยวิธี MINDUR 10 งาน 70
ตารางที่ 4.16 งานและ MAXFOL ด้านซ้าย 70
ตารางที่ 4.17 งานและ MAXFOL สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน....71
ตารางที่ 4.18 งานและ MAXFOL ด้านขวา....71
ตารางที่ 4.19 ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXFOL 10 งาน....72
ตารางที่ 4.20ตัวอย่างขั้นงาน 22 งานและลำดับก่อนหลังของงาน....73
ตารางที่ 4.21 วิธีการจัดงานด้วย RPWT สำหรับงานทางด้านซ้าย....74
ตารางที่ 4.22 วิธีการจัดงานด้วย RPWT สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากทั้งสองด้าน 74
ตารางที่ 4.23 วิธีการจัดงานด้วย RPWTสำหรับงานทางด้านขวา 75
ตารางที่ 4.24 ผลจากการจัดด้วยวิธี RPWT 22 งาน....76
ตารางที่ 4.25 วิธีการจัดงานด้วย MAXDUR สำหรับงานทางด้านซ้าย 77

ตารางที่ 4.26 วิธีการจัดงานด้วย MAXDUR สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากทั้งสองด้าน.....78
ตารางที่ 4.27 วิธีการจัดงานด้วย MAXDUR สำหรับงานทางด้านขวา.....78
ตารางที่ 4.28 ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXDUR 22 งาน.....79
ตารางที่ 4.29 วิธีการจัดงานด้วย MINDUR สำหรับงานทางด้านซ้าย.....81
ตารางที่ 4.30 วิธีการจัดงานด้วย MINDUR สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากทั้งสองด้าน.....81
ตารางที่ 4.31 วิธีการจัดงานด้วย MINDUR สำหรับงานทางด้านขวา.....81
ตารางที่ 4.32 ผลจากการจัดด้วยวิธี MINDUR 22 งาน.....83
ตารางที่ 4.33 วิธีการจัดงานด้วย MAXFOL สำหรับงานทางด้านซ้าย.....84
ตารางที่ 4.34 วิธีการจัดงานด้วย MAXFOL สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากทั้งสองด้าน.....84
ตารางที่ 4.35 วิธีการจัดงานด้วย MAXFOL สำหรับงานทางด้านขวา.....85
ตารางที่ 4.36 ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXFOL 22 งาน.....86
ตารางที่ 4.37 การทดสอบโปรแกรม 10 งาน.....90
ตารางที่ 4.38 การทดสอบโปรแกรม 22 งาน.....91
ตารางที่ 5.1 ผลที่ได้จากการจัดสมดุลสายการประกอบ 10 งานที่เปลี่ยนรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง..96
ตารางที่ 5.2 ตาราง ANOVA ของประสิทธิภาพสายการประกอบ 10 งาน.....97
ตารางที่ 5.3 ตาราง ANOVA ของเวลาว่างงาน 10 งาน.....98
ตารางที่ 5.4 ตาราง ANOVA ของจำนวนสถานีงาน 10 งาน.....98
ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการประกอบ10 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง.....99
ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบเวลาว่างงานสำหรับ 10 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง..... 100
ตารางที่ 5.7 ผลที่ได้จากการจัดสมดุลสายการประกอบ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง 106
ตารางที่ 5.8 ตาราง ANOVA ของประสิทธิภาพสายการประกอบ 22 งาน..... 107
ตารางที่ 5.9 ตาราง ANOVA ของเวลาว่างงาน 22 งาน..... 108
ตารางที่ 5.10 ตาราง ANOVA ของจำนวนสถานีงาน 22 งาน..... 108
ตารางที่ 5.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการประกอบ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง 109
ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบเวลาว่างงานสำหรับ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง..... 110
ตารางที่ 5.13 สรุปผลการเปรียบเทียบตัวชี้วัดต่างๆที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95% 116
ตารางที่ 5.14 ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบ 183 งานที่มีรอบเวลาการผลิต 22 นาที..... 118
ตารางที่ 6.1 งานที่ย้ายเพื่อปรับปรุงคำตอบ..... 121
ตารางที่ 6.2 การสรุปผลการวิจัย 122

บทที่ 1
บทนำ

การแข่งขันที่เพิ่มขึ้นในสังคมอุตสาหกรรมและการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ผลิตแต่ละรายพยายามหาวิธีการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำนวนจำกัด ที่มีความสำคัญต่อกิจกรรมการผลิต การบริการ เช่น เครื่องมือ เครื่องจักร และแรงงาน สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นปัจจัยพื้นฐานในกระบวนการผลิต เนื่องจากความต้องการของลูกค้ามีแนวโน้มที่มีความหลากหลายมากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการผลิตต้องมีความยืดหยุ่น เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะผลิตสินค้าหรือบริการตามคุณลักษณะเฉพาะที่กำหนดในปริมาณที่ต้องการภายในระยะเวลาที่กำหนด เพื่อที่จะให้มีประสิทธิภาพในการผลิต การบริการหรือแปรสภาพสูงที่สุด โดยมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม

สำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรในสายการประกอบรถยนต์ สิ่งที่เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่จะตอบสนองต่อการจัดการบริหารดังกล่าวได้แก่ การศึกษาการทำงาน (Work Study) ซึ่งเป็นคำที่ใช้แทนถึงวิธีการต่างๆจากการศึกษาวิธีการทำงาน (Method study) และการวัดผลงาน (Work Measurement) โดยจะทำการศึกษาอย่างมีระเบียบถึงการทำงานของคนและพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและสภาวะของการทำงาน เพื่อนำไปสู่การจัดการทรัพยากรต่างๆได้อย่างเหมาะสม โดยที่เครื่องมือดังกล่าวยังสามารถประยุกต์เข้ากับทฤษฎีการจัดสมดุลการประกอบ (Boysen,2007) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาแบบจำลองต่างๆ และการหาเทคนิคที่เหมาะสมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการจัดสรรทรัพยากร โดยพยายามให้เกิดความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในแต่ละสถานีน้อยที่สุด

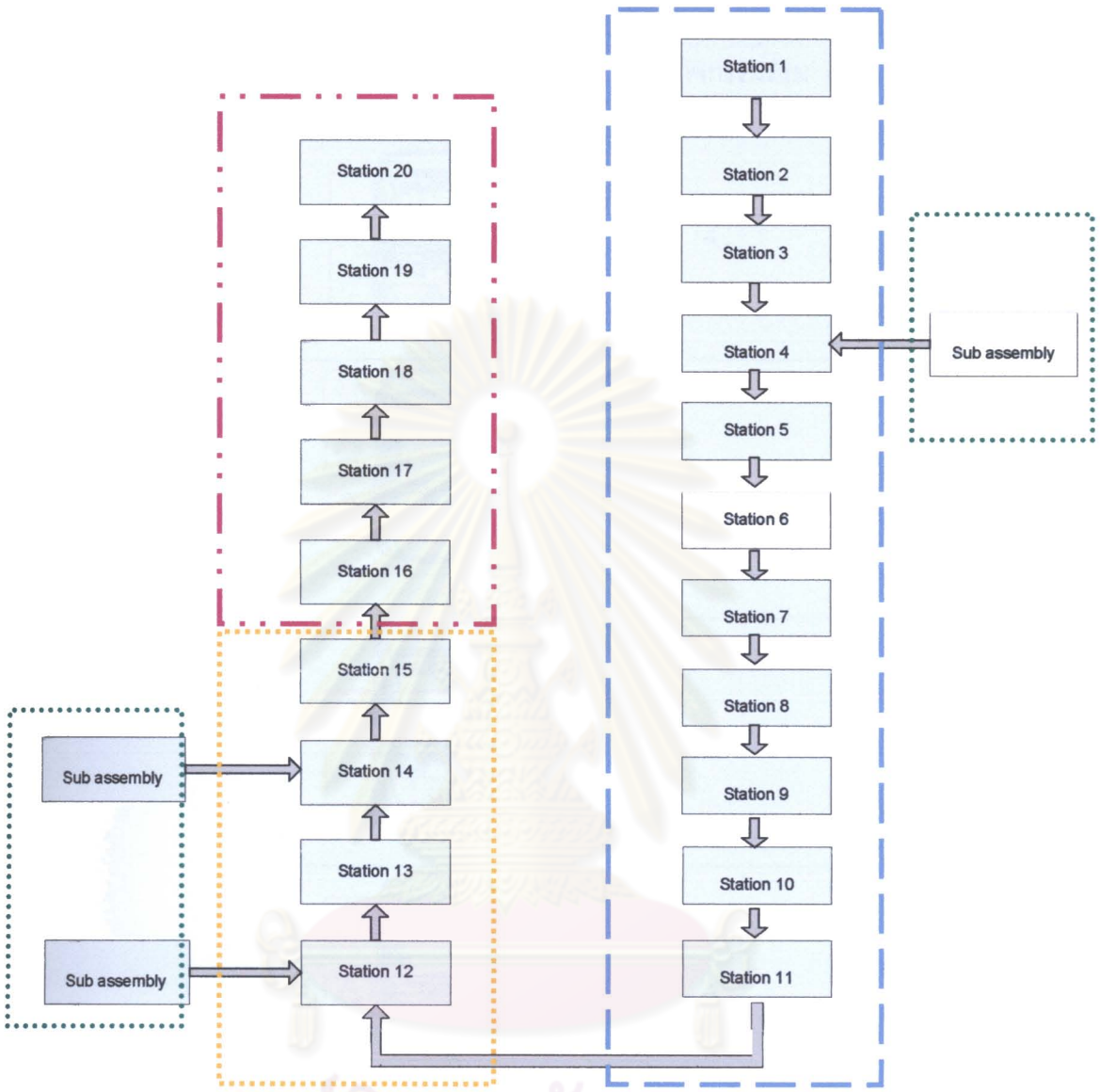
โดยทั่วไปสายการประกอบเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดรูปแบบการวางตำแหน่งของเครื่องจักร และจัดสรรพนักงาน ตามสถานีงาน (Work Station) การกำหนดงาน (Task Allocation) ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆที่มีอยู่ เพื่อให้การดำเนินการผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด (Erel and Geacen,1998)(Nakade and Ohno,1999) ด้วยการกำหนดงานและลำดับขั้นให้กับแต่ละสถานีงาน เพื่อต้องการอัตราการทำงานหรือเวลาที่ใช้ใกล้เคียงกัน ตำแหน่งของขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะถูกกำหนดแน่นอนตามลำดับขั้นตามสายการประกอบ และสายการประกอบจะถูกแบ่งออกเป็นสถานีงาน (Work Station) หลายสถานีต่อเนื่องกัน สิ่งต่างๆ เหล่านี้เรียกว่าสายการประกอบ ซึ่งเป็นการพิจารณากำหนดงานและสภาพแวดล้อมต่างๆ เพื่อให้การผลิตมีการใช้ทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สำหรับสายการประกอบรถยนต์นั้นจะแบ่งพื้นที่การประกอบออกเป็นสองด้าน (Bartholdi, 1993) คือด้านซ้ายและด้านขวา โดยที่พนักงานที่ประกอบที่อยู่ในแต่ละด้านจะมีกิจกรรมประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าสู่ตัวถังรถยนต์ที่เลื่อนผ่านแต่ละสถานีงาน ในบางกิจกรรมพนักงานที่อยู่ทางด้านซ้ายหรือด้านขวา อาจจะต้องประกอบชิ้นส่วนที่อยู่บริเวณตรงกลางของตัวถังรถยนต์ เรานิยามลักษณะนี้ว่าเป็นงานที่สามารถประกอบได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งบางกิจกรรมงานทางด้านซ้ายและด้านขวาจะมีความสัมพันธ์เชิงลำดับร่วมกัน ยกตัวอย่างเช่น งานประกอบมือโหนด้านซ้ายและงานประกอบมือโหนด้านขวา จะประกอบได้ต่อเมื่อผ้าหลังคาประกอบเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งผ้าหลังคาเป็นกิจกรรมที่สามารถประกอบได้จากทั้งสองด้านของตัวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นงานประกอบมือโหนด้านซ้ายและด้านขวาจะมีความสัมพันธ์เชิงลำดับด้วยกันโดยผ่านงานที่ประกอบได้จากด้านใดด้านหนึ่งของตัวผลิตภัณฑ์ เราเรียกสถานีงานลักษณะนี้ว่าสถานีงานกิจกรรมร่วม (Mate-station)

บนสายการประกอบจะมีรุ่นรถยนต์หลักอยู่ 2รุ่นด้วยกัน คือ รุ่น A,B โดยจะเริ่มตั้งแต่การนำชิ้นส่วนของตัวถังในแต่ละส่วน นำมาประกอบเข้าด้วยกัน จนเป็นตัวถังรถยนต์ (Body) จากนั้นจึงเตรียมเข้าไปในกระบวนการทำสี (Paint) และกระบวนการถัดไปจะอธิบายถึงขอบเขตของพื้นที่ที่สนใจศึกษา จัดอยู่ในแผนกประกอบรถยนต์ (Assembly) ซึ่งมีกระบวนการประกอบหลัก ได้แก่งานประกอบชิ้นส่วนภายในรวมไปถึงชิ้นส่วนภายนอก (Trim Line: TL) จากนั้นตัวถังที่ผ่าน TL จะถูกส่งไปประกอบชิ้นส่วนที่เกี่ยวกับ ระบบส่งกำลัง และระบบอื่นๆ (Mechanical Line: ML) โดยจะมีบางสถานีที่ไม่ได้ตั้งอยู่ในกระบวนการหลัก เราเรียกว่าสถานีงานย่อย (Sub-assembly: Sa) จะทำการประกอบส่วนหลักๆของรถยนต์เช่น คอนโซลหน้า เครื่องยนต์ ระบบส่งกำลัง เป็นต้น ซึ่งสายการประกอบ TL, ML และ Sa จะแสดงในรูปภาพที่ 1.1

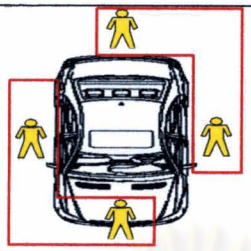
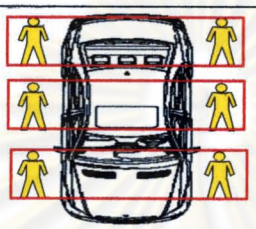
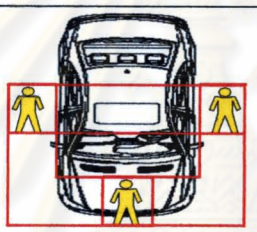
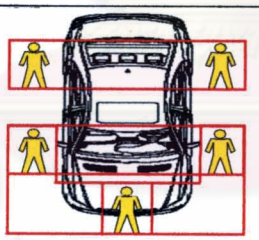
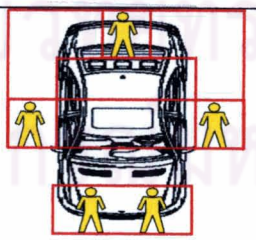
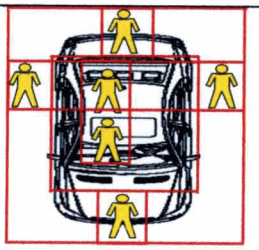
ในงานวิจัยฉบับนี้สนใจศึกษาในส่วนของ TL ซึ่งมีการประกอบทั้งรุ่น A และ B อยู่บนสายการประกอบเดียวกัน ซึ่งจะแยกออกเป็นงานประกอบชิ้นส่วนภายในรวมไปถึงชิ้นส่วนภายนอก ที่มีสถานีการประกอบในส่วนนี้จำนวน 11 สถานีงานหลัก 31 สถานีกิจกรรมร่วม (Mate-station) โดยจำนวนของสถานีงานหลักและสถานีงานร่วมจะถูกกำหนดโดยผู้ออกแบบสายการประกอบที่อาศัยประสบการณ์ในการจัดสรรงานต่างๆลงสู่สถานีงาน สำหรับสายการประกอบรถยนต์รุ่น A และ B นั้นจะไม่มีการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการประกอบ เนื่องจากเป็นงานปรับตั้งที่ต้องใช้ความสามารถของพนักงานเป็นหลัก ในส่วนรายละเอียดที่เกี่ยวกับจำนวนสถานีงานหลักและสถานีกิจกรรมร่วมนั้นจะแสดงในตารางที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ภาพรวมของสายการประกอบรถยนต์

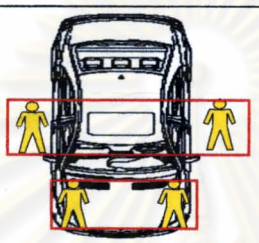
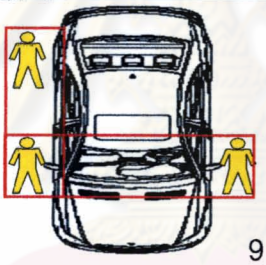
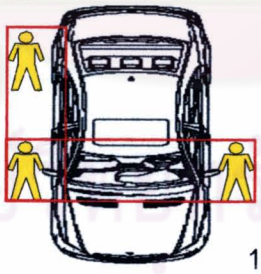
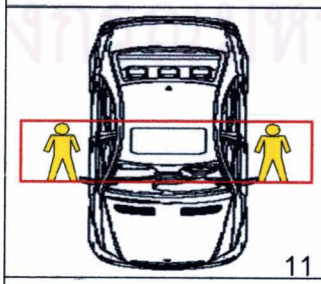
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1 จำนวนสถานีงานหลักและสถานีกิจกรรมร่วม

สถานีงานหลัก	สถานีกิจกรรมร่วม
 1	2
 2	3
 3	3
 4	4
 5	4
 6	6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.1(**ต่อ**) จำนวนสถานีงานหลักและสถานีกิจกรรมร่วม

สถานีงานหลัก	สถานีกิจกรรมร่วม
7	2
 8	2
 9	2
 10	2
 11	1
รวม	31

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจุบันพบว่าสายการประกอบรถยนต์ปัจจุบัน ที่ถูกออกแบบโดยอาศัยประสบการณ์ ซึ่งแสดงตามตารางที่1.2 พบว่าตั้งแต่สถานีงานที่ 3 มีเวลาเกินรอบเวลาการผลิต ซึ่งรอบเวลาการผลิตปัจจุบันเท่ากับ 22 นาที และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดคอขวดในกระบวนการ (Bottle Neck) ดังนั้นสถานีงานที่ 2 นั้นจะเสร็จงานก่อนสถานีที่ 3 แต่ไม่สามารถส่งงานให้กับสถานีที่ 3 ได้ เนื่องจากสถานีงานที่ 3 นั้นยังทำงานไม่เสร็จ ทำให้สถานีงานที่ใช้เวลามากที่สุดมากที่สุดจะเป็นตัวกำหนดรอบเวลาการผลิต และมีอัตราการใช้เวลาในการผลิตเท่ากับ 100% และส่งผลโดยรวมต่อประสิทธิภาพของสถานีงานอื่นๆ เนื่องจากมีการใช้เวลาน้อยกว่าสถานีงานที่ 3

ปัจจุบันการผลิตในช่วงเวลาปรกติมียอดการผลิตวันละ 18 คัน (Takt Time เท่ากับ 22 นาที/คัน โดยที่รุ่น A ผลิต 12 คันและรุ่น B ผลิต 6 คัน) เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของสายการประกอบโดยเฉลี่ยของทั้งรุ่น A และ B พบว่าเท่ากับ 58.5% สิ่งต่างๆเหล่านี้สาเหตุมาจากผู้ออกแบบสายการประกอบได้อาศัยประสบการณ์ในจัดสรรงานซึ่งขาดระเบียบวิธีการที่มีขั้นตอนอย่างชัดเจน และยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรในการประกอบไม่เหมาะสม

ตารางที่ 1.2 เวลาและประสิทธิภาพในแต่ละสถานีงาน

สถานีงาน	เวลาต่อสถานีงาน(นาที/คัน)		ประสิทธิภาพของสถานีงาน(%)	
	A	B	A	B
1	13	14.79	39	51
2	14.26	14.06	43	48
3	18.97	23.56	57	81
4	29.09	27.39	88	94
5	33.01	2 9.04	100	100
6	12.36	13.82	37	48
7	22.07	21.87	67	75
8	19.43	19.43	59	67
9	9.17	9.4	28	32
10	16.99	17.97	51	62
11	9.13	10.06	28	35
ประสิทธิภาพสายการประกอบ(%)			54	63

จากตารางที่ 1.2 กล่าวได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบที่มาจากประสิทธิภาพสถานีงานโดยเฉลี่ยจะส่งผลต่อการจัดสรรทรัพยากรต่างๆ เช่น เครื่องมือที่ใช้ในการผลิต หรือ การจัดสรรกำลังคน ดังนั้นการจัดสมดุลสายการประกอบจะเป็นวิธีการที่จะช่วยจัดสรรงานในแต่ละสถานีงานให้การใช้เวลาในการประกอบที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งนำไปสู่การใช้ทรัพยากรในการผลิตได้อย่างเหมาะสม

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดสมดุลสายการประกอบนั้นเป็นปัญหาในเชิงการจัด โดยมุ่งเน้นหาลำดับความสัมพันธ์ของงานที่เหมาะสม มีนักวิจัยมากมายได้พัฒนาวิธีต่างๆมาเพื่อใช้ในการหาคำตอบ (Boysen and Scholl,2006) ได้ทำการรวบรวมงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบ โดยแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักคือ วิธีการทางฮิวริสติก(Heuristic) วิธีการทางเมตะฮิวริสติก (Meta-Heuristic) และวิธีการทางคณิตศาสตร์(Mathematic Model) และพบว่าวิธีการทางฮิวริสติกนั้นมักจะถูกนำมาสร้างคำตอบในเบื้องต้น (Initial Solution) ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่าการจัดสมดุลสายการประกอบ เป็นปัญหาเอ็นพียาก (NP-Hard) ที่มีความซับซ้อนด้านเวลาเชิงยกกำลัง หมายถึงปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนาน และเวลาในการหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเอ็กโปเนนเชียลเมื่อมีปัญหาเพิ่มมากขึ้น จึงกล่าวได้ว่าวิธีการทางคณิตศาสตร์ เหมาะสมที่จะใช้ในสำหรับงานที่มีขั้นตอนไม่เกิน 10 งาน (ปารเมศ, 2546) ซึ่งขั้นตอนการประกอบรถยนต์ในขอบเขตที่สนใจ มี183 งาน (429 เงื่อนไข) สายการประกอบที่สนใจนั้นจะทำการประกอบรถยนต์ 2 รุ่นคือรุ่น A และ B ที่อยู่บนสายการประกอบเดียวกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การกำหนดเวลามาตรฐานของงานประกอบรถยนต์ และนำเวลามาตรฐานมาจัดสมดุลสายการประกอบ ที่มีลักษณะของสายการประกอบเป็นแบบสองด้าน (Two-Sided Assembly Line Balancing: TALB) ด้วยการประยุกต์วิธีทางฮิวริสติก โดยต้องการออกแบบสายการประกอบให้อยู่ภายใต้รอบเวลาการผลิตที่กำหนด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ทำการศึกษาขั้นตอนการทำงานและกำหนดเวลามาตรฐาน
2) ใช้วิธีการทางฮิวริสติกเข้ามาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ

3) ทำการศึกษาปัญหาการจัดสมดุลสายผลิตของแผนกประกอบรถยนต์ (Assembly) ในกระบวนการงานประกอบชิ้นส่วนภายในรวมไปถึงชิ้นส่วนภายนอก (Trim Line) ที่มี 11 สถานีงานหลักและ 31 สถานีกิจกรรมร่วม
4) จัดทำโปรแกรมสำหรับใช้ในการออกแบบและจัดสมดุลสายการประกอบสำหรับงานประกอบรถยนต์
5) การวัดผลจะใช้พิจารณาจากประสิทธิภาพของสายการประกอบและเวลาว่างงาน ที่ประมวลผลจากโปรแกรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

1.4 สมมติฐานของการวิจัย

1) ปัญหาการจัดสายการประกอบของโรงงานกรณีศึกษา เป็นปัญหาการ กำหนดลำดับงาน (Work Element) ภายในสถานีงานต่างๆที่เหมาะสม
2) เป็นสายการประกอบที่มีระบบการผลิตแบบเป็นชุด (Batch)
3) ทราบข้อมูลเข้า (Input) ซึ่งได้แก่ ระยะเวลาในการผลิต (Takt Time) และวิธีการประกอบ
4) เวลาการทำงานคงที่ ไม่ขึ้นกับลำดับการจัดงาน และไม่ขึ้นกับสถานีการทำงานนั้นๆ
5) เวลาปรับเปลี่ยนรุ่นการผลิตสำหรับรถยนต์แต่ละรุ่น จะไม่ขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า และถูกรวมไว้แล้วกับเวลาดำเนินงาน
6) ไม่มีการแทรกงานในระหว่างการทำงาน
7) ชิ้นส่วนสำหรับการประกอบไม่มีการขาดแคลนและมารอพร้อมประกอบเสมอ
8) พิจารณาว่าเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในการประกอบไม่มีการเสียระหว่างการดำเนินงาน
9) ในแต่ละสถานีงานสามารถทำงานได้หลายงาน แต่เวลารวมของการทำงานในสถานีงานนั้นๆ ต้องไม่เกินระยะรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time: CT)
10) พนักงานที่ทำการประกอบมีความสามารถทำงานได้มากกว่า 1 งาน
11) ขณะทำการจับเวลาพนักงานมีอัตราการทำงานปรกติ โดยที่ไม่มีการเร่งงาน หรือหน่วงงาน
12) การจัดงานเข้าสถานีงานนั้นจะรวมไปถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานในสถานีงานนั้นๆด้วย

1.5 ลักษณะของปัญหา

โดยทั่วไปปัญหาประเภทการจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing) นั้นจะเป็นการจัดสรรทรัพยากรและเงื่อนไขที่ใช้ในการผลิต เช่น พนักงาน เครื่องจักร งานย่อยต่างๆ รวมไป

ถึงเวลาที่ใช้ในการผลิตในแต่และกิจกรรมการปฏิบัติงานหรือที่เรียกว่าเวลามาตรฐานในการทำงาน (Standard Time) เพื่อเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาไปพร้อมๆ กัน ในขณะที่ทำการจัดสมดุลสายการประกอบ สำหรับปัญหาประเภทดังกล่าว จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (Helgeson and Birnie,1961) คือ ปัญหาประเภทที่1: การจัดสมดุลสายการประกอบ เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด โดยกำหนดรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) มาให้และปัญหาประเภทที่ 2: การจัดสมดุลสายการประกอบ เพื่อให้เกิดรอบเวลาการผลิต น้อยที่สุด โดยกำหนดสถานีงานมาให้ ซึ่งปัญหาที่สนใจนั้นจัดอยู่ในประเภทที่ 1

สายการประกอบ (Assembly Line) จะประกอบไปด้วยสถานีงาน (Work Station) ที่ประกอบไปด้วยงานมากกว่าหนึ่งงาน ปัจจุบันสายการประกอบที่สนใจนั้นมีประสิทธิภาพที่ต่ำเนื่องจากเวลาที่แตกต่างกัน แต่ละสถานีงานหลักที่ภายในสถานีงานจะประกอบไปด้วยสถานีงานกิจกรรมร่วม จะส่งผลโดยตรงต่อการประกอบ ซึ่งต้องอาศัยการพิจารณาการจัดตำแหน่งของขั้นตอนการทำงานต่างๆ ตามลำดับขั้นเงื่อนไขลำดับความสัมพันธ์ เช่น งานหมายเลข 1 จะต้องทำก่อนงานหมายเลข 2 ดังนั้น การที่มีจำนวนสถานีงานกิจกรรมร่วมที่ไม่เหมาะสมกับเงื่อนไขความสัมพันธ์ของงานอาจจะไม่ได้ทำให้เวลาในการผลิตในแต่ละสถานีงานหลักนั้นสอดคล้องกัน สิ่งที่สำคัญที่ผู้ออกแบบสายการประกอบจำเป็นที่จะต้องพิจารณาคือเวลาในแต่ละสถานีงานหลักควรจะใกล้เคียงกันเพื่อให้เกิดการว่างงานน้อยที่สุด ในทำนองเดียวกันรอบเวลาการผลิตจะเป็นสิ่งที่กำหนดขอบเขตของงานในแต่ละสถานีงาน เมื่องานที่ถูกจัดสรรลงไปในสถานีงาน มีเวลาการทำงานรวมเท่ากับรอบเวลาการผลิต และยังมีงานอื่นๆที่ยังไม่ได้ถูกจัดลงสู่สถานีงาน ในทางปฏิบัติอาจจะเปิดสถานีงานใหม่ หรือการเพิ่มเวลาให้กับสถานีงาน เช่น การเพิ่มจำนวนพนักงาน รวมไปถึงการปรับปรุงการทำงาน (Work Improvement) เพื่อลดเวลางานให้สั้นลง เรานิยามสิ่งต่างๆเหล่านี้เรียกว่า "การจัดสมดุลสายการประกอบ" โดยถ้าสายการประกอบมีความสมดุลกันอย่างแท้จริง เวลาที่ใช้ในแต่ละสถานีงานจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งเกิดขึ้นได้ยากในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง ดังนั้นวิธีการทำให้เวลาในแต่ละสถานีงานใกล้เคียงกัน ผู้ออกแบบสายการประกอบอาจจะนำวิธีการปรับปรุงงาน (ECRS) เข้ามาช่วยลดความสูญเสียหลังจากการจัดสมดุลสายการประกอบต่อไป

1.6 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาถึงปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนั้นควรทำความเข้าใจกับคำนิยามที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบดังนี้คือ

1) สายงานการประกอบ (Assembly Line) คือสายงานที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ต้นจนเสร็จ (Becker and Scholl, 2004)

2) สมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสมดุลสายการประกอบ (Production Line Balancing) คือการกำหนดงานต่างๆในการประกอบสินค้าที่ทำให้ภาระงานในสถานีงานต่างๆใกล้เคียงกัน (Boysen et,al, 2007)
3) สถานีกิจกรรมร่วม (Mate-station) คือ สถานีงานที่เกี่ยวเนื่องกันและเนื้องานนั้นมีความเกี่ยวข้องเชิงลำดับก่อนหลัง ในแต่ละด้านของผลิตภัณฑ์ (Bartholdi, 1993)
4) พนักงาน (Operator) หมายถึง พนักงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการประกอบโดยตรง และมีหน้าที่กำหนดไว้ชัดเจน
5) ฮิวริสติก (Heuristic) เป็นลำดับขั้นของการพิจารณาการคัดเลือกในการกำหนดงานให้กับสถานีงาน ที่สามารถสร้างให้ผลจากการจัดได้เป็นเพียงค่าเริ่มต้น (Initial Solution) โดยปรกติทั่วไป ในแต่ละรอบของการพิจารณาจะพยายามคัดเลือก หากิจกรรมงานที่เหมาะสมที่สุด โดยอาศัยสามัญสำนึกมากกว่าที่จะเป็นการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นจึงไม่อาจจะรับประกันได้ว่าผลลัพธ์ที่ออกมานั้นเหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบสายการประกอบสามารถนำผลที่ได้จากการจัดโดยใช้ฮิวริสติกนั้นมาปรับปรุงคำตอบจนกว่าจะพบค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้งานในสภาพแวดล้อมนั้นๆ (Bartholdi, 1993) ,(Lee et.al, 2001)
6) การปรับปรุงการทำงาน (ECRS) เป็นการกำหนดประเภทเวลาส่วนเกินและเวลาไร้ประสิทธิภาพได้ ซึ่งสามารถขจัดหรือลดเวลาดังกล่าวได้ด้วยการ ตัดงานส่วนที่ไม่จำเป็น รวมหรือแยกขั้นตอนของงาน ทำให้ขั้นตอนการทำงานง่ายขึ้น หรือมีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆเข้ามาช่วย ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการจัดสมดุลสายการประกอบ เนื่องจากวิธีการปรับปรุงการทำงานอาจจะทำให้เกิดอัตราการใช้ทรัพยากรที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น (วันชัย, 2548) (รัชต์วรรณ, 2550)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) โปรแกรมที่สร้างขึ้นสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบนั้นจะให้แนวทางในการจัดสายการประกอบได้ และเป็นระเบียบวิธีปฏิบัติที่สามารถอธิบายได้เป็นขั้นตอน
2) สายการประกอบมีจำนวนสถานีงานเหมาะสมภายใต้สมมติฐานที่กำหนด และมีการจัดการทรัพยากรสำหรับการผลิตได้อย่างเหมาะสม
3) สามารถนำผลที่ได้จากการจัดมาพิจารณาเพื่อปรับปรุงการทำงาน โดยทราบถึงเวลาไร้ประสิทธิภาพได้และสามารถขจัดหรือลดเวลาดังกล่าวได้
4) เป็นข้อเสนอเพื่อการตัดสินใจในการจัดสรรทรัพยากร เช่น พนักงาน จัดจัดวางชิ้นส่วน หรือเครื่องมือต่างๆ เป็นต้น

1.8 วิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาสภาพปัจจุบัน และปัญหาของงานประกอบรถยนต์
2) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบรวมไปถึงวิธีการของฮิวริสติก
3) รวบรวมข้อมูลของเวลาการทำงานและจัดทำเป็นมาตรฐานรวมไปการพิจารณาลำดับก่อนหลังของงานประกอบรถยนต์
4) ทดลองทำการจัดสมดุลการประกอบแบบสองด้านโดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกเพื่อนำไปจัดทำโปรแกรม
5) จัดทำโปรแกรมเพื่อเป็นเครื่องมือในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านและทำการทดสอบผลโดยการใช้ตัวอย่างงาน 10 และ 22 งานจากนั้นจึงนำข้อมูลจริงที่เก็บจากงานประกอบรถยนต์มาประมวลผลในโปรแกรมที่จัดทำขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบ โดยเริ่มจากการกำหนดเวลามาตรฐาน (Standard Time) จากนั้นจึงทำการจัดสายการประกอบ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน รวมไปถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำวิธีการศึกษาการทำงานมาประยุกต์ใช้

การศึกษาการทำงาน (Work Study) ประกอบด้วยการศึกษาวิธี (Method) และการวัดผลงาน ในบทนี้จะเป็นทฤษฎีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการวัดผลงาน ซึ่งจะเป็นการศึกษาเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการวัดผลงาน ที่เป็นแนวทางที่ใช้ได้ผลที่สุดในการเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรม โดยการกำหนดเวลาที่สูญเปล่าในการทำงาน และช่วยให้สามารถขจัดเวลาที่สูญเปล่าเหล่านี้ นอกจากนี้ยังใช้ในการกำหนดเวลามาตรฐาน (Standard Time) ในการทำงาน เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยมาตรฐาน ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลเวลาทำงานที่เป็นประโยชน์ต่อการบริหารการผลิต

การวัดผลงาน คือการกำหนดหาเวลาทำงานที่เป็นมาตรฐานในการทำงานของคนงานที่มีระดับการทำงานที่เหมาะสมด้วยเงื่อนไขสภาพการทำงานที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ผลงานหนึ่งหน่วย ซึ่งการวัดผลงานเป็นการสังเกตการณ์และกำจัดเวลาที่ไร้ประสิทธิภาพ การวัดผลงานเป็นเครื่องมืออันหนึ่งที่ช่วยให้ฝ่ายบริหารทราบระยะเวลาในการทำงานของงานแต่ละส่วนที่ประกอบกันเข้าเป็นผลิตภัณฑ์ และสามารถทราบว่ามีเวลาที่ไม่เกิดประโยชน์อยู่ในช่วงไหนและการวัดผลงานยังช่วยให้สามารถกำหนดเวลามาตรฐาน (Standard time) ในการทำงานแต่ละชิ้นได้ เวลามาตรฐานจะเป็นเครื่องมือเปรียบเทียบเวลาการทำงานของแต่ละชิ้น ถ้าหากพบว่าการทำงานของคนงานนานเกินกว่าเวลามาตรฐาน ซึ่งอาจเกิดเวลาที่ไร้ประสิทธิภาพในการทำงานขึ้น จะทำให้ฝ่ายบริหารทราบได้ทันท่วงที ส่วนหนึ่งปัญหาทางการผลิตของสายงานประกอบทั่วไปคือ การเกิดคอขวด (Bottle Neck) ซึ่งมีสถานีงานประกอบบางสถานีทำงานได้ช้า เกิดงานระหว่างกระบวนการค้างอยู่สูง เกิดการรอในสายงานประกอบ การศึกษาเวลาเพื่อค้นหาสถานีที่เป็นคอขวดนั้นจะนำไปสู่การจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งทำให้ลดเวลารองาน ลดปริมาณงานระหว่างกระบวนการ รวมไปถึงลดรอบเวลาของการผลิต ส่งผลให้ผลผลิตสูงขึ้น เราสามารถคำนวณหาผลผลิตมาตรฐานในการผลิตจากสมการดังนี้ (รัชต์วรรณ, 2550)

$$\text{ผลผลิตมาตรฐาน(จำนวนชิ้น)} = \frac{\text{เวลารวมของงาน}}{\text{เวลามาตรฐาน}} \qquad (2.1)$$

กล่าวได้ว่าผลผลิตมาตรฐานเป็น ข้อมูลที่มีความสำคัญ สำหรับการบริหารการจัดการและการควบคุมการวางแผนการผลิต หากผลผลิตมาตรฐานดังกล่าวถูกคำนวณมาอย่างถูกต้อง โดยรวมเอาเวลาค่าเผื่อต่างๆสำหรับการทำงานเช่น เวลาพักเหนื่อย ความล้า เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของเวลาที่ใช้ในการผลิตแล้ว ยังสามารถสะท้อนถึงประสิทธิภาพของสายการประกอบซึ่งคำนวณได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพ(\%)} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตมาตรฐาน}} \qquad (2.2)$$

ซึ่งเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการทำงานที่บ่งบอกถึงทิศทางในการบริหารงานได้เป็นอย่างดี

2.1.1 เทคนิคของการวัดงาน

เทคนิคการวัดงานมีอยู่หลายวิธี แต่ละวิธีนั้นจะแตกต่างกันในรายละเอียดของวิธีการเก็บข้อมูลและการคำนวณ ซึ่งทั้งนี้ย่อมขึ้นกับองค์ประกอบของงานที่จะศึกษา ดังนั้นเทคนิคการวัดงานที่สามารถนำไปใช้มีหลายวิธี ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานและความต้องการของตน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1.1 การคำนวณหาจากค่าเฉลี่ยอย่างง่าย ๆ(Simple Mathematical Computation)

เป็นการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลการผลิต หรือปริมาณงานที่ทำไว้ในอดีตนำไปหารเวลาที่มีในการทำงานทั้งหมดก็จะได้เวลามาตรฐานของการปฏิบัติงานนั้นๆ

$$\text{เวลามาตรฐาน} = \frac{\text{เวลาทำงานที่มี}}{\text{ปริมาณงานที่นับได้}} \qquad (2.3)$$

วิธีนี้ทำได้ง่ายและรวดเร็วเหมาะสำหรับงานที่นับจำนวนได้ แต่มีข้อเสียตรงที่ผู้ศึกษาไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพการทำงานที่แท้จริงได้ รวมทั้งสัดส่วนของเวลาทำงานนั้นๆ ในกรณีที่พนักงานทำงานร่วมกันหลายอย่าง ซึ่งเวลามาตรฐานที่ได้ในลักษณะนี้จะให้แต่ตัวเลขเฉลี่ยและเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดในการกำหนดเวลามาตรฐาน

2.1.1.2 **การคาดคะเน** (Professional Estimate)

เป็นการคาดคะเนหรือประมาณการโดยผู้เชี่ยวชาญหนึ่งคนหรือมากกว่าหนึ่งคนขึ้นไป โดยอาจกำหนดองค์ประกอบของงานย่อยต่างๆและประมาณการเวลาในการทำงาน โดยเวลามาตรฐานที่ได้ต้องมีความสมเหตุสมผล ซึ่งผู้ที่เหมาะสมจะทำการประเมินงานควรเป็นผู้ที่เคยมีประสบการณ์เกี่ยวข้องกับงานในลักษณะนั้นมาก่อน แต่ถึงกระนั้นก็อาจมีโอกาสที่จะคลาดเคลื่อนไหวจากความเป็นจริงได้มาก ซึ่งทั้งนี้ต้องเป็นที่ยอมรับของผู้ปฏิบัติงานด้วย

2.1.1.3 **การศึกษาการทำงานโดยตรง** (Direct Time Study)

การศึกษาการทำงาน (Work study) เป็นคำที่ใช้แทนถึงวิธีการต่างๆจากการศึกษาวิธีการทำงาน (Method study) และการวัดผลงาน (Work Measurement) ซึ่งใช้ในการศึกษา อย่างมีระเบียบถึงการทำงานของคนและพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ และมีผล ต่อประสิทธิภาพและสภาวะของการทำงาน การศึกษางานวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้เก็บข้อมูลในโรงงานประกอบรถยนต์ ทั้งนี้เพื่อความสอดคล้องกับความต้องการในการใช้ข้อมูลโดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1) เลือกงานที่ต้องการศึกษา
2) บันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
3) แบ่งแยกย่อยงาน
4) วัดและบันทึกเวลา
5) กำหนดจำนวนวัฏจักร
6) ประเมินอัตราการทำงาน
7) กำหนดเวลาเผื่อ
8) หาเวลามาตรฐาน

1) เลือกงานที่ต้องการศึกษา

ในการประกอบรถยนต์นั้นมีอยู่หลายกลุ่มงานซึ่งการประกอบรถยนต์นั้นจะเริ่มนำตัวถังรถที่พร้อมประกอบเข้ามาในสายการประกอบ เริ่มตั้งแต่สถานีงานที่ 1 ไปจนถึงสถานีงานสุดท้าย ดังนั้นผู้ที่ทำการศึกษาจะต้องทำการแตกงานออกเป็นงานย่อยๆ ซึ่งสามารถแยกงานออกเป็นกลุ่มต่างๆ เช่น ระบบเบรค ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น

2) **บันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง**

ดังที่ได้กล่าวข้างต้นในการประกอบรถยนต์นั้นมีอยู่หลายกลุ่มงาน ซึ่งหลังจากที่ได้มีการจัดกลุ่มของงานประกอบแล้ว เราจำเป็นที่จะต้องทำการเลือกงานและนิยามงานนั้นๆโดยการระบุระเบียบวิธีการปฏิบัติงานเป็นต้น

3) **แบ่งแยกย่อยงาน**

การบันทึกสิ่งต่างๆที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งโดยทั่วไปการจดบันทึกมักจะใช้เครื่องมือเข้ามาจดบันทึกอย่างกระชับในแบบฟอร์มมาตรฐาน แผนภูมิที่ใช้กันอย่างแพร่หลายยกตัวอย่างได้ดังนี้

1) แผนภูมิที่เกี่ยวข้องกับลำดับในการผลิต

2) แผนภูมิที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนในการผลิต

3) ไดอะแกรมที่บ่งบอกถึงการเคลื่อนไหว

ทั้งนี้การเลือกใช้แผนภูมิต่างๆนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของงานและการใช้ข้อมูลเป็นสำคัญ เช่นถ้าหากงานไม่ซับซ้อนมาก มักจะกระทำกันโดยการเขียนเป็นข้อความไว้ ซึ่งรูปแบบการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้แสดงตามภาคผนวก ก

4) **วัดและบันทึกเวลา**

การจับเวลาอาจกระทำได้ดังนี้

ก. การบันทึกเวลาแบบต่อเนื่อง (Continuous Timing) คือการจับเวลาแบบติดต่อกันโดยไม่หยุด นั่นคือ เริ่มจับเวลาตั้งแต่ 0 เมื่อเริ่มงานย่อยของงานแรก และเวลาของงานย่อยต่อ ๆ ไป ก็ดูจากเข็มนาฬิกาจนจบวัฏจักร เวลาของงานย่อยที่ แท้จริงจะได้จากเวลาเริ่มต้นของงานย่อยถัดไปลบออกด้วยเวลาเริ่มต้นของมัน

ข. การบันทึกเวลาแบบย้อนกลับ (Repetitive timing หรือ Snapback timing) คือการจับเวลาของแต่ละงานย่อย โดยเริ่มต้นที่ 0 ดังนั้นเวลาที่อ่านได้ก็จะเป็นเวลาจริงของแต่ละงานย่อยโดยไม่ต้องหักออก วิธีนี้มีประโยชน์ตรงที่ว่าคนจับเวลาสามารถหักพวกความล่าช้าหรือการเคลื่อนไหวที่ผิดพลาดไปได้และไม่ต้องเสียเวลามาคำนวณเวลาจริงของแต่ละงานย่อย นอกจากนี้ยังมีวิธี Accumulating Timing ซึ่งคล้ายกับวิธีที่ 2 เพียงแต่ใช้นาฬิกา 2 หรือ 3 เรือนช่วยโดยทั้ง 2 เรือนนี้ มีกลไกที่เชื่อมโดยถึงกันในลักษณะที่ ถ้าเรือนที่ 1 เริ่มเดิน อีกเรือนจะหยุดถ้าเรือนที่ 2 เริ่มเดินเรือนที่ 1

จะหยุด ดังนั้นทำให้เราอ่านเวลาของงานย่อยแต่ละอันได้โดยไม่ต้องเสียเวลาในการกดนาฬิกาให้กลับไปที่ 0 ใหม่ และเมื่อบันทึกเวลาเสร็จแล้วจึงกดให้เข็มกลับไปอยู่ที่ 0

5) กำหนดจำนวนวัฏจักร

ในการศึกษาเวลาเบื้องต้นเราอาจจะจับเวลาไป 5-10 วัฏจักรการทำงาน แล้วจึงนำมาหาค่าจำนวนวัฏจักรที่เหมาะสมในการจับเวลา ทั้งนี้เพื่อความเชื่อถือได้ทางสถิติว่าเวลาที่เราจับได้เป็นตัวแทนของเวลาการทำงานทั้งหมดจริงในกรณีนี้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า 30 จึงเลือกใช้ t-Distribution โดยสามารถหา Sample Standard Error ได้จากสูตรดังนี้

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(X-\overline{X})^2}{N-1}} \qquad (2.4)$$

และ $$S_{\overline{x}} = \frac{Sx}{\sqrt{N}} \qquad (2.5)$$

$$t = \frac{\overline{X}-u}{S_{\overline{X}}} \qquad (2.6)$$

ซึ่งค่าของ t นี้แปรผันตามขนาดของข้อมูลหรือ Degree of freedom ถ้าเราต้องการให้ค่า $\overline{X}$ คลาดเคลื่อนจากค่า U ไม่เกิน $\pm$ 10 % ภายใต้ระดับความเชื่อมั่น 90% เราจะหาค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้จาก สูตรค่าความแม่นยำสัมพัทธ์ดังนี้

$$\text{ค่าความแม่นยำสัมพัทธ์} = \frac{(t_{\alpha/2},\nu)(S_{\overline{X}})}{\overline{X}} * 100\% \qquad (2.7)$$

6) การประเมินอัตราการทำงาน

การประเมินอัตราความเร็ว (Rating) คือขบวนการซึ่งผู้ทำการศึกษาเวลาใช้เปรียบเทียบการทำงานของคนงาน ซึ่งกำลังถูกศึกษาอยู่กับระดับการทำงานปรกติในความรู้สึกของผู้ทำการศึกษานั้น การให้ค่าอัตราความเร็วของคนงานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ก. การตั้งระดับความเร็วปรกติของงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. การลงความเห็นว่า การทำงานของคนงานภายใต้การศึกษานั้นแตกต่างจากระดับความเร็วปรกติเท่าใด

ความเร็วปรกติ (Normal Pace) คือ อัตราการทำงานของคนงานเฉลี่ยซึ่งทำงานภายใต้การแนะนำที่ถูกต้อง และปราศจากแรงกระตุ้นจากเงินรางวัลอัตราความเร็วนี้สามารถคงอยู่วันแล้ววันเล่า โดยไม่ก่อให้เกิดความเครียดทางร่างกายหรือจิตใจหรือต้องอาศัยความพยายามจนเกินไป

คำนิยามนี้ยังดูกว้างมากในความหมายจึงทำให้ต้องมีมาตรเป็นหลักในการศึกษา เช่น การเดินในอัตราความเร็ว 3 ไมล์ต่อชั่วโมง โดยก้าวเท้ายาว 27 ซม. หรือการแจกไพ่ 52 ใบ ออกเป็น 4 กอง เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ห่างกัน 1 ฟุตใช้เวลา 0.05 นาที เป็นต้น และระบบการให้อัตราเร็วมีหลายวิธี เช่น

ก. Skill Effort Rating

ข. Westing House System of Rating

ค. Synthetic Rating

ง. Objective Rating

จ. Physiological Evaluation of Performance Level

ฉ. Performance Rating

โดยเฉพาะวิธี Performance Rating เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุดคือการใช้ความเร็วในการทำงานของคนงานเป็นตัวตัดสินโดยอาจคิดเป็น % เป็นแต้ม / ชม. หรือหน่วยวัดอื่นๆก็ได้ ส่วนใหญ่จะอาศัยสเกลการปรับค่าอัตราความเร็ว (Rating Scale) ซึ่งนิยมใช้มีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ

ก. Scale 100 – 133 มีอัตราปรกติอยู่ที่ 100 และ Average Incentive Pace อยู่ระหว่าง 115-145 และค่าเฉลี่ยของทั้งกลุ่มอยู่ที่ 130 มีแต้มสูงสุดอยู่ที่ 200

ข. Scale 60-80 มีอัตราปรกติอยู่ที่ 60 และ Average Incentive Pace อยู่ระหว่าง 70-80 มีแต้มสูงสุดอยู่ที่ 120

ค. Scale Incentive 125% จะมีลักษณะ Scale คล้ายคลึงกับแบบที่หนึ่งแต่ได้กำหนดค่าเฉลี่ยของการใช้ระบบเงินจูงใจไว้ที่ 125% เป็นเกณฑ์(Benchmark) และจะจ่ายเงินรางวัล 25% ของรายได้พื้นฐานทันทีที่คนงานทำงานได้ถึงระดับนี้

ง. Scale 0-100 มี Average Incentive Pace อยู่ที่ 100% เป็นเกณฑ์ดังนั้นอัตราปรกติจะอยู่ที่ประมาณค่า 75-80%

7) **การกำหนดเวลาเผื่อ**

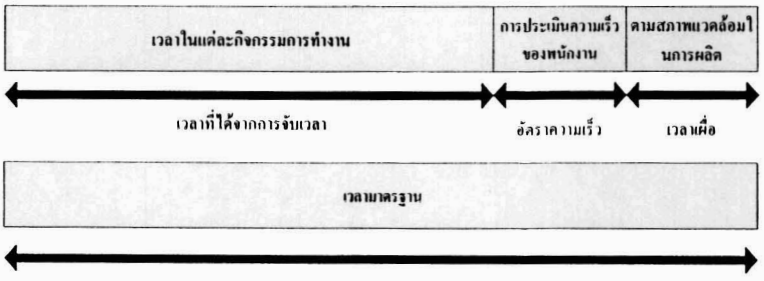
ก. เวลาเผื่อสำหรับบุคคล (Personal Allowance) คือ เวลาเผื่อให้คนงานทำกิจส่วนตัว เช่น ไปห้องน้ำ, ล้างมือ, พักดื่มน้ำ เป็นต้น เวลาเผื่อส่วนบุคคลนี้แม้ว่าจะแตกต่างกันสำหรับบุคคลต่างๆ แต่ก็ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและชนิดของงานด้วย

ข. เวลาเผื่อสำหรับความเครียด (Fatigue Allowance) คือเวลาเผื่อสำหรับความเหนื่อยล้าเนื่องจากการทำงาน แต่ในสภาพของการทำงานปัจจุบันความเหนื่อยล้าแทบจะไม่มีผลต่อการทำงานเลย เพราะสภาพการทำงานได้ถูกปรับปรุงจนเหมาะสม นอกจากนี้ค่าความเครียดที่แท้จริงไม่สามารถวัดได้ จริงอยู่ในการทำงานหนัก คนงานจำเป็นต้องมีเวลาพักแต่เวลาที่ต้องการพักนี้ก็ยังขึ้นกับบุคคล ช่วงเวลาที่ต้องการทำงานก่อนจะได้พัก รวมไปถึง สภาพแวดล้อมของการทำงานด้วย

ค. เวลาเผื่อสำหรับความล่าช้า (Delay or Contingency) คือ ความล่าช้าอาจเกิดได้ทั้งแบบหลีกเลี่ยงได้ (Avoidable Delay) และแบบหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Unavoidable Delay) ถ้าเป็นความล่าช้าที่หลีกเลี่ยงได้ หรือจงใจกระทำก็จะไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณเวลามาตรฐาน แต่ถ้าเป็นความล่าช้าซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ ก็จะถูกนำมาคิดในการหาเวลามาตรฐาน

8) **การหาเวลามาตรฐาน**

การศึกษาเวลาคือเทคนิคของการวัดผลงานเพื่อหาเวลาและอัตราการทำงานของงานส่วนย่อยของงานชิ้นหนึ่งๆ ภายใต้สภาวะอันหนึ่ง นอกจากนี้ก็เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในการหาเวลาเท่าที่ควรในการทำงานชิ้นหนึ่งในระดับการทำงานที่เหมาะสมการศึกษา กล่าวได้ว่าการเวลามาตรฐานมาจากการรวมเวลาที่ได้จากการจับเวลา โดยค่าเวลาดังกล่าวได้มีการตรวจสอบเพื่อเลือกเวลาตัวแทนที่ผ่านกระบวนการการทดสอบทางสถิติจากนั้นจึงทำการประเมินอัตราความเร็ว และค่าเวลาเผื่อเพื่อรวมกันเป็นเวลามาตรฐานดังที่แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงที่มาของเวลามาตรฐาน

2.1.1.4 **การใช้ระบบข้อมูลเวลามาตรฐาน** (Standard Time Data Systems)

เป็นตารางข้อมูลเวลาที่สร้างขึ้นเฉพาะสำหรับงานประเภทต่างๆที่ได้มีผู้รวบรวมไว้ ตารางข้อมูลเหล่านี้ สร้างมาจากการจับเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาหรือการเปิดตาราง Predetermined Time แล้วรวบรวมข้อมูลได้มากพอจนสามารถสร้างเป็นตารางขึ้นมา ซึ่งส่วนใหญ่มักจะใช้ได้กับงานที่มีลักษณะเฉพาะเท่านั้น

2.1.1.5 **การศึกษาเวลาแบบพรีดีเทอร์มิน** (Predetermined Time System: PTS)

การศึกษาเวลาแบบ PTS นั้นเป็นการวิเคราะห์เวลาจากระบบเวลาแบบประเมินล่วงหน้า ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในการปรับปรุงงาน โดย PTS นั้นเป็นระบบการหาเวลาของการทำงานจากตารางเวลาของ "Fundamental Motions" ที่สามารถหาเวลามาตรฐานของงานใดๆก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการจับเวลาโดยตรงและยังใช้ในการประเมินเวลาสำหรับอุปกรณ์ที่ช่วยในการประกอบก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง ประโยชน์ของการใช้ Predetermined Time System อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 การประเมินผลของการเคลื่อนไหว โดยใช้เพื่อ

1) ปรับปรุงวิธีการทำงานที่มีอยู่ให้ดีขึ้น
2) ประเมินผลของวิธีการทำงานที่นำเสนอไว้ล่วงหน้า
3) ประเมินผลของการออกแบบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ช่วยในการทำงานต่างๆ
4) ช่วยในการออกแบบและปรับปรุงผลิตภัณฑ์
5) ใช้ฝึกผู้ทำการศึกษาเวลาให้คุ้นเคยกับระบบของการศึกษาเวลา

กลุ่มที่ 2 การศึกษาเวลา เพื่อ

1) หาเวลามาตรฐานโดยใช้ PTS
2) รวมเอาข้อมูลมาตรฐาน และสูตรสำหรับกลุ่มงานต่างๆเพื่อความรวดเร็วในการหาเวลามาตรฐาน
3) ตรวจสอบเวลาที่หาได้จากการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา
4) ประเมินต้นทุนค่าจ้างแรงงาน
5) วางสายการประกอบและจัดสมดุลสายการประกอบ

สำหรับระบบของ PTS นั้นมีวิธีใช้ที่แตกต่างกัน แต่ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดผู้ใช้ควรได้รับการฝึกฝนมาอย่างถูกต้องเสียก่อน จึงจะใช้ได้อย่างไม่ผิดพลาด เพราะแม้ว่าตารางเหล่านี้จะไม่ต้องมีการประเมินอัตราความเร็วของผู้ทำงาน แต่ก็ยังคงต้องอาศัยความเห็นของผู้วิเคราะห์ในการเปิดตาราง ซึ่งถ้าผู้วิเคราะห์ที่ขาดความชำนาญอาจให้ค่าผิดพลาดได้มาก ซึ่งระบบ

PTS นั้นถ้าต้องการประยุกต์ใช้งานจริงนั้น สามารถค้นคว้าได้จากหนังสือการศึกษาการทำงานทั่วไป ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของระบบ PTS ไว้ 2 วิธีคือ

1) Method-Time Measurement (MTM)

ระบบ MTM ได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี 1948 โดย Maynard, Stegemerten และ Schwab ในสหรัฐอเมริกา โดยพัฒนามาจากการวิเคราะห์งาน ซึ่งถูกบันทึกเป็นภาพยนตร์ เป็นการวิเคราะห์งานที่มีการใช้มือ (Manual Work) ในลักษณะต่างๆออกมาเป็นพื้นฐานการเคลื่อน ในปี 1957 ได้มีการก่อตั้ง MTM Association for Standards and Research ขึ้นซึ่งเป็นผู้ถือครองลิขสิทธิ์ของ MTM และได้มีการแตกสาขาเป็น MTM Association ในประเทศใหญ่ๆทั่วโลกในปี 1963 ได้มีการพัฒนา MTM-2 ซึ่งเป็นการปรับปรุง MTM รุ่นแรกเพื่อให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น และมีการพัฒนามาเรื่อยๆ จนปัจจุบันนี้มีระบบ MTM ในรหัสต่างๆ เพื่อใช้กับงานแต่ละประเภทได้แก่

ก. MTM-1
ข. MTM-GPD
ค. MTM-2
ง. MTM-3
จ. MTM-V
ฉ. MTM-M
ช. MTM-C
ซ. 4M DATA
ฌ. MOST

โดยระบบ MTM ดั้งเดิมซึ่งถูกพัฒนาใช้มาแต่แรก ในปัจจุบันมักถูกเอ่ยถึงในนามของ MTM-1 นั่นเอง

2) Master Standard Data (MSD)

บริษัท Serge A. Birn Company of Consultants ในสหรัฐอเมริกา เป็นหนึ่งในจำนวนผู้ริเริ่มใช้ระบบ MTM ในการหาเวลามาตรฐาน และพบว่าต้องมีความคุ้นเคยกับระบบนี้มากจึงจะสามารถใช้ได้ถูกต้อง ถึงกระนั้นก็ต้องเสียเวลาในการวิเคราะห์งานแต่ละงาน เพราะมีรายละเอียดของตารางงานค่อนข้างมาก และผู้วิเคราะห์ไม่สามารถจำข้อมูลที่มีอยู่ในตารางทั้ง 10 ได้หมด R.M. Crossan และ H.W. Nance พนักงานของบริษัทนี้จึงได้

พัฒนาระบบใหม่ขึ้น ซึ่งใช้ระบบของ MTM เช่นกัน แต่ง่ายกว่าโดยอาศัยหลักที่ว่างานย่อยบางตัวสามารถรวมได้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้และถ้า Element ที่มีเวลาเหมือนกันก็อาจรวมเป็น Element เดียวกันได้และยังลดจำนวนข้อมูลเวลาลง โดยรวมเป็นกลุ่มระยะทาง "Preferred Distances" นั่นคือระยะทางของการเคลื่อนที่ก็อาจรวมกลุ่มกันได้

ผู้ที่พัฒนาวิธีการนี้ได้อ้างถึงความสะดวกรวดเร็วในการใช้ และลดต้นทุนค่าใช้จ่าย แม้ว่าวิธี MSD นี้จะให้รายละเอียดสู้วิธี MTM ไม่ได้ก็ตาม แต่ผู้วิเคราะห์ใช้เวลาฝึกน้อยกว่า และให้ค่าวิเคราะห์ที่คลาดเคลื่อนได้น้อยกว่า สรุปการเปรียบเทียบระบบ MTM และ MSD

- ระบบ MTM จะละเอียดมากกว่าระบบ MSD และครอบคลุม Element ต่างๆได้มากกว่า
- เวลาในตาราง MSD ได้มาจากการรวมเอา Element ในตารางของ MTM เข้าด้วยกัน และในหลายๆกรณียังรวมค่าเผื่อให้อีกด้วย ดังนั้นเวลาที่ได้มาจึงใกล้เคียงกับความเป็นจริง และการคิดค่าเผื่อต่างๆก็เป็นไปตามปรกติเท่านั้น
- ตาราง MSD มีน้อยกว่า MTM มากจึงสะดวกใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- ค่าความแปรปรวนระหว่างผู้วิเคราะห์ที่ใช้วิธี MSD จะน้อยกว่าวิธี MTM

2.1.2 การปรับปรุงวิธีการทำงาน

การปรับปรุงงาน ได้แก่ การใช้สามัญสำนึกที่จัดเป็นระบบแล้วเพื่อค้นหาวิธีการทำงานที่ดีกว่าและง่ายกว่าและหลีกเลี่ยงการสูญเปล่าทุกประเภทเป็นต้นว่า แรงงาน เวลา เงินวัสดุ สิ่งของอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ทั้งนี้ก็เพื่อให้การดำเนินงานหรือปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การปรับปรุงงานเพื่อให้ได้มาซึ่งงานหรือบริการหรือผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพตลอดจนวิธีการทำงานที่ดีกว่าและง่ายกว่านั้นมีเป้าหมายหรือจุดมุ่งหมายที่สำคัญดังนี้

1) การกำจัดหรือลดการใช้วัสดุอย่างฟุ่มเฟือยโดยเปล่าประโยชน์หรือมีของเสียในกระบวนการผลิตมาก
2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน โดยการหาวิธีทำงานที่ดีกว่าและขจัดขั้นตอนงานที่ไม่จำเป็นออก
3) ช่วยในการปรับปรุงการวางแผนผังโรงงานให้ดีขึ้น
4) ช่วยในการปรับปรุงสภาพการทำงานในโรงงาน
5) ช่วยในการหาวิธีขนย้ายสิ่งของที่เหมาะสม
6) ช่วยให้การใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ได้เต็มที่

7) ช่วยลดความเหนื่อยล้าของพนักงาน

เทคนิคการปรับปรุงงานเพื่อเพิ่มผลผลิตมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่ก่อนที่จะนำเทคนิคอันใดโดยเฉพาะมาดำเนินงาน มีความจำเป็นต้องทราบวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเสียก่อนว่า เวลาและแรงงานที่ได้ใช้ไปนั้น ใช้ไปจำนวนเท่าใด และใช้อย่างไร เราสามารถทราบข้อมูลเหล่านี้ได้โดยวิธีการศึกษางาน

วิธีการศึกษางานนี้ เมื่อได้ดำเนินการไปตามหลักวิชาการแล้ว จะแสดงให้ทราบจำนวนงานและเวลาที่เสียไปในการผลิตแต่ละขั้นตอนอย่างชัดเจนงานใดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดหรือบกพร่องของการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือเนื่องจากการผลิตไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งยังจะแสดงถึงจำนวนเวลาที่เสียไปโดยไม่เกิดประโยชน์เนื่องจากความบกพร่องในด้านการจัดการและการปฏิบัติงานของคนงาน

การศึกษางานจะเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งของการเพิ่มผลผลิตช่วยให้ฝ่ายจัดการสามารถปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆให้ดีขึ้นทำให้ลดสิ่งที่สิ้นเปลืองต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตให้สูงขึ้น โดยทั่วไปสายการประกอบเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดรูปแบบการวางตำแหน่งของ เครื่องจักร และจัดสรรพนักงาน ตามสถานีงาน (Work Station) การกำหนดงาน (Task Allocation) ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆที่มีอยู่ เพื่อให้การดำเนินการผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด ด้วยการกำหนดงานและลำดับขั้นให้กับแต่ละสถานีงานเพื่อต้องการอัตราการทำงานหรือเวลาที่ใช้ใกล้เคียงกัน ตำแหน่งของขั้นตอนการทำงานต่างๆจะถูกกำหนดแน่นอนตามลำดับขั้นตามสายการประกอบ และสายการประกอบจะถูกแบ่งออกเป็นสถานีงาน หลายสถานีต่อเนื่องกันภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด สิ่งต่างๆ เหล่านี้เรียกว่าการจัดสมดุลสายการประกอบ และยังสามารถประยุกต์ใช้วิธีการปรับปรุงวิธีการทำงานต่อจากการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งเทคนิคที่ใช้สำหรับการปรับปรุงงานจะอธิบายในหลักการของ ECRS ที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.2.1 **ขจัดงานที่ไม่จำเป็น**

หลักการของการขจัดงานที่ไม่จำเป็นนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการวิเคราะห์งานโดยการตั้งคำถามแล้วพบว่าไม่มีความจำเป็นต้องทำอีกต่อไปเนื่องจากวัตถุประสงค์ได้เปลี่ยนไปจากเดิม หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมของการทำงานต่าง ๆ ซึ่งพิจารณาแนวทางในการขจัดงานที่ไม่จำเป็นให้พิจารณาดังนี้

1) เลือกงานที่มีปัญหาเรื่องต้นทุนสูง ซึ่งถ้าสามารถขจัดงานนี้ได้จะทำให้ลดต้นทุนค่าแรงทางตรง วัตถุดิบ และค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์การผลิตลงได้

ดังนั้นหากใช้เทคนิคการตั้งคำถามแล้ว ปรากฏว่าคำตอบคือเป็นงานที่ไม่จำเป็นอีกต่อไป ก็สมควรตัดทิ้งซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้มาก

2) กรณีที่งานนั้นยังเป็นงานที่มีความจำเป็น ให้แยกแยะวัตถุประสงค์ให้เห็นเด่นชัดว่าทำงานนั้นเพื่อประโยชน์ใด ครอบคลุมขอบข่ายใดบ้าง เพื่อจัดทำเป็นมาตรฐานและป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการขจัดงานนั้น

3) ในกรณีที่วัตถุประสงค์ของงานนั้นไม่ชัดเจนว่าคืออะไร ให้พิจารณาโดยการตั้งคำถามว่าจะเกิดอะไรขึ้นหากขจัดงานนั้นออกไป ถ้าคำตอบออกมาว่าการไม่ทำงานนั้นเลยจะก่อให้เกิดผลดีกว่าการยังคงทำงานนั้นอยู่ก็ควรตัดการทำงานนั้นออกทันที

สิ่งสำคัญที่สุดในการพิจารณาคือ หากค้นหาวัตถุประสงค์ของงานไม่พบหรือยังไม่ชัดเจนให้ตั้งคำถามว่า "ทำไม" "ทำไม" และ "ทำไม" ต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้รับคำตอบที่ถูกต้องที่สุดถ้าวัตถุประสงค์ของงานนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ไม่สามารถจะละเลยได้การตั้งคำถามว่า"ทำไม" จะส่งผลให้ได้คำตอบในท้ายที่สุดถึงความจำเป็นของงานนั้น แม้ขจัดงานนั้นออกไปทั้งหมดยังไม่ได้ก็ยังสามารถตั้งคำถามเพื่อลดขั้นตอนงานหรือการเตรียมงานบางส่วนออกไปได้

2.1.2.2 **รวมขั้นตอนการปฏิบัติงานเข้าด้วยกัน**

ในกระบวนการผลิตโดยทั่วไปจะประกอบด้วยขั้นตอนการปฏิบัติงานย่อย ๆ หลายขั้นตอนด้วยกัน หลักการดังกล่าวเกิดขึ้นในกระบวนการออกแบบวิธีการทำงานเพื่อให้งานในแต่ละสถานี มีขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการแบ่งงานตามความชำนาญของคนงาน แต่บางครั้งการแตกขั้นตอนการปฏิบัติงานออกมากจนเกินความจำเป็นทำให้เกิดปัญหาอื่นตามมา เช่นปริมาณงานที่ไม่สมดุลกันในสายการประกอบและขั้นตอนการปฏิบัติงาน การมีงานค้างหรืองานคอยในระหว่างสายการผลิตสูงเพราะการวางแผนการผลิตไม่เหมาะสม มีงานล่าช้าอันเกิดจากความแตกต่างในทักษะของพนักงานในขั้นตอนการปฏิบัติงานต่างๆ ซึ่งการรวมงานอาจเกิดขึ้นได้หลายระดับดังนี้

1) การรวมการเคลื่อนไหวเช่นการหยิบจับตั้งแต่ 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน

2) การรวมกิจกรรมตั้งแต่ 2 ขั้นตอนเข้าด้วยกัน

3) การรวมงานของสถานีงานตั้งแต่สองสถานีเข้าด้วยกัน

4) การรวมชิ้นส่วนงานเข้าด้วยกัน

ตัวอย่างเช่นกระบวนการการอุดลูกยางใต้ท้องรถยนต์ พนักงานจะต้องทำการอุดลูกยางใต้ท้องรถจำนวนมาก ซึ่งหลังจากที่พนักงานอุดลูกยางเสร็จแล้วจะเดินไปหยิบแผ่นเก็บเสียงมาประกอบเข้ากับใต้ท้อง ซึ่งการปรับปรุงในกระบวนการนี้คือ การรวมขั้นตอนการปฏิบัติงานเข้าด้วยกัน ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเดินไปหยิบจะหายไป ทำให้เวลามาตรฐานลดลง และเราสามารถประยุกต์ใช้การหาเวลาแบบ PTS เพื่อมาประมาณเวลามาตรฐานใหม่และนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการคำนวณเพื่อจัดสมดุลสายการประกอบต่อไป

2.1.2.3 **การสลับสับเปลี่ยนลำดับการปฏิบัติงาน**

ในการผลิตสินค้าใหม่มักเริ่มต้นการผลิตในปริมาณน้อยและค่อยๆขยายปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นจนเต็มประสิทธิภาพ เมื่อสายการประกอบมีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น ลำดับขั้นตอนของการปฏิบัติงานแบบเดิมอาจไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากสภาพแวดล้อมการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น เส้นทางการเคลื่อนย้ายของงานที่ต้องย้อนกลับไปกลับมาเนื่องจากมีจำนวนเครื่องจักรเพิ่มขึ้น จำนวนผลิตเพิ่มขึ้นกว่าเดิมเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาในเรื่องการเคลื่อนย้ายวัสดุเนื่องจากระยะทางที่ยาวไกล การตรวจสอบด้วยวิธีการตั้งคำถามอย่างละเอียดเพื่อดูว่าจะสามารถสลับสับเปลี่ยนลำดับขั้นตอนของการปฏิบัติงานใหม่ได้หรือไม่ เพื่อให้งานง่ายและรวดเร็วขึ้นการใช้แผนภูมิและไดอะแกรมต่างๆ บันทึกการทำงานจะช่วยชี้ให้เห็นว่ามีการเสียเวลาและรอคอยในขั้นตอนใดและสมควรจะเปลี่ยนลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างไรเพื่อลดการเคลื่อนย้ายวัสดุและทำให้การไหลของงานเป็นไปอย่างรวดเร็ว

2.1.2.4 **การทำงานให้ง่ายขึ้น**

การตั้งคำถามเพื่อนำไปสู่การทำงานให้ง่ายขึ้น ควรเริ่มต้นจากคำถามในทุกเรื่องที่เกี่ยวกับงานนั้น เช่น วิธีการทำงาน วัตถุดิบที่ใช้ เครื่องมือ สภาพแวดล้อมในการทำงาน การออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยตั้งสมมติฐานว่างานที่กำลังวิเคราะห์อยู่นั้นยังไม่สมบูรณ์ คำถามที่ตั้งจะขึ้นต้นด้วย “อะไร ที่ไหน เมื่อใด ใคร อย่างไร และทำไม

2.1.3 **การสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงาน**

มาตรฐานการปฏิบัติงาน คือระดับผลการปฏิบัติงานซึ่งกำหนดไว้ด้วยการยอมรับของผู้เกี่ยวข้องโดยการกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติจะเขียนเป็นข้อความว่า ในการปฏิบัติงานจะต้องมีลักษณะอย่างไร ทั้งในด้านคุณภาพ เวลา วิธีการ รวมไปถึงพฤติกรรมในการปฏิบัติงานด้วย

ซึ่งความสำคัญของมาตรฐานการปฏิบัติงานเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานซึ่งช่วยให้เกิดความเข้าใจอันดีระหว่างผู้บังคับบัญชากับผู้ใต้บังคับบัญชา และกับบุคคลอื่นๆทั้งที่ต้องทำงานเกี่ยวข้องด้วยและมิได้เกี่ยวข้องด้วย สิ่งที่สำคัญคือเป้าหมายที่ผู้บังคับบัญชาหวังจะให้ผู้ใต้บังคับบัญชาของตนที่อยู่ในตำแหน่งหน้าที่งานนั้นๆ ปฏิบัติงานให้บรรลุผลสำเร็จ และขณะเดียวกันก็เป็นเป้าหมายที่พนักงานผู้นั้นจะต้องพยายามบรรลุให้ได้ตามที่กำหนดไว้และการกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานจะทำให้สามารถตรวจสอบและคงไว้ซึ่งระดับผลการปฏิบัติงาน นอกจากนี้การมีมาตรฐานการปฏิบัติงาน จะทำให้ผู้ปฏิบัตงานทุกคนทราบถึงหน้าที่ความรับผิดชอบของแต่ละคนว่าจะต้องปฏิบัติงานให้มีลักษณะอย่างไร ในการกำหนดมาตรฐานอาจใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรือใช้มากกว่าหนึ่งวิธีสุดแต่จะเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ วิธีกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานโดยทั่วไปใช้วิธีดังต่อไปนี้

1. อาศัยผลการปฏิบัติงานที่แล้วมา (History Method)

   เป็นวิธีที่ใช้ข้อมูลย้อนหลังประมาณ 1-2 ปีแล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยตามสัดส่วนกับจำนวนผู้ปฏิบัติงานในหน้าที่เดียวกันผู้บังคับบัญชาอาจกำหนดค่าเฉลี่ยเป็นมาตรฐานโดยปรับให้สูงขึ้นหรือลดลงเล็กน้อยตามสภาพการที่เป็นอยู่ในปัจจุบันวิธีนี้ใช้ได้กับงานทุกประเภทเพราะอาศัยข้อมูลจากการปฏิบัติงานที่ผ่านมาเป็นหลักในการพิจารณา

2. เปรียบเทียบกับผลการปฏิบัติงานของบุคคลอื่นๆ (Market Method)

   เป็นวิธีที่ใช้ผลการเปรียบเทียบ ผลการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานในหน้าที่เดียวกันในสถานการณ์ปัจจุบัน กล่าวง่ายๆ คือถ้าคนส่วนใหญ่ในหน้าที่เดียวกันปฏิบัติได้อย่างไรก็นำมากำหนดเป็นมาตรฐาน วิธีนี้ใช้ได้ดีกับงานที่ต้องปฏิบัติซ้ำๆกันเป็นงานประจำจึงจะกำหนดได้ใกล้เคียงความเป็นจริง

3. ศึกษาจากการปฏิบัติงาน (Engineer Method)

   เป็นวิธีที่ใช้หลักทางวิศวกรรมศาสตร์ อาจทำเป็นระบบศึกษางาน (Work Study) นับแต่ใช้การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาในการปฏิบัติ (Time and Motion Study) เพื่อหาเวลามาตรฐาน (Standard Time) เวลาบันทึกการทำงาน (Time Logs) วิธีนี้ใช้ได้ดีกับงานด้านการผลิตหรืองานที่นับชิ้นได้ (Piece Work)

2.1.3.1 ประโยชน์ของมาตรฐานการปฏิบัติงาน

มาตรฐานการปฏิบัติงานมีประโยชน์ต่อองค์กรต่อผู้บังคับบัญชาและพนักงานทุกคนทุกระดับ ในด้านประสิทธิภาพการทำงานการสร้างแรงจูงใจ การปรับปรุงงาน การควบคุมงานและการประเมินผลการปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

1) ช่วยให้พนักงานรู้ว่าผลงานที่มีคุณภาพเป็นอย่างไร
2) ช่วยให้พนักงานที่ดีเกิดความรู้สึกท้าทาย
3) ช่วยให้พนักงานที่มุ่งความสำเร็จมีความตั้งใจและสนุกกับงาน
4) ช่วยเป็นสิ่งเร้าให้การทำงานมีประสิทธิภาพ
5) ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานดีเกิดความภาคภูมิใจ
6) ช่วยให้การเปรียบเทียบผลงานที่ทำได้กับที่ควรจะเป็นมีความชัดเจน
7) ช่วยให้ผู้บังคับบัญชามีเครื่องมือช่วยในการควบคุมงาน
8) ช่วยให้การประเมินผลการปฏิบัติงานเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์แทนการวัดด้วยความรู้สึก
9) ช่วยให้เห็นแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุงและพัฒนาความสามารถของผู้ปฏิบัติงาน
10) ช่วยให้สามารถพิจารณาถึงความคุ้มค่าและเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มผลิตภาพ

มาตรฐานที่วางไว้นั้นไม่ควรให้มีกฎเกณฑ์ผูกมัดการปฏิบัติงานมากนักจนผู้ปฏิบัติงานขาดความคล่องตัวในการใช้ดุลพินิจ และตัดสินใจด้วยตัวเองมาตรฐานนั้นไม่ควรจะยอมรับการเปลี่ยนแปลงอันอาจเกิดขึ้นซึ่งเป็นผลทำให้ไม่สามารถทำตามมาตรฐานได้ไม่ควรเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งส่อให้เห็นว่าเป็นสิ่งที่ผู้บังคับบัญชามุ่งแต่จะใช้ควบคุมผู้ใต้บังคับบัญชาประการเดียว สำหรับรายละเอียดเนื้อหาสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือการศึกษางานในอุตสาหกรรมทั่วไป

2.2 แนวคิดและทฤษฎีการจัดสมดุลสายการประกอบโดยทั่วไป

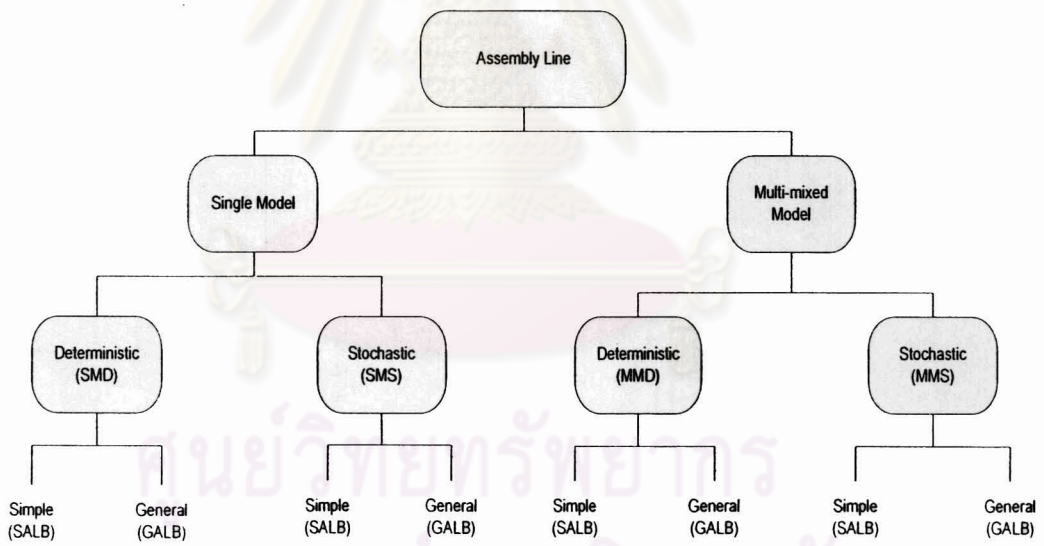
การจัดสมดุลสายงานประกอบ (Assembly Line Balancing: ALB) เป็นหนึ่งในปัญหาการจัดตารางในอุตสาหกรรมซึ่งแบ่งประเภทของปัญหาออกเป็น 2 ลักษณะคือ ปัญหาประเภทที่1: การจัดสมดุลสายการประกอบ เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด โดยกำหนดรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) มาให้ และ ปัญหาประเภทที่2: การจัดสมดุลสายการประกอบ เพื่อให้เกิดรอบเวลา การผลิตน้อยที่สุด และพบว่าความสัมพันธ์ด้านลำดับก่อนหลังของงานมีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะแสดงได้โดยง่ายโดยอาศัยตารางหรือข่ายงาน ที่เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิต ที่ชิ้นงานจะถูกนำเข้ามาประกอบกันขึ้นจนเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ในขณะที่ชิ้นงานจะผ่านจากสถานีงานหนึ่งไปสู่อีกสถานีงาน เพื่อที่จะจัดสมดุลสายงาน เราจำเป็นจะต้องกระจายเนื้องาน (Work Element) ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไปสู่สถานีงานทั้งหมด โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ทุกสถานีงานสามารถทำงานที่ได้รับมอบหมายให้เสร็จได้ภายในเวลาเดียวกัน ถ้าสายงานมีความสมดุลอย่างแท้จริงแล้ว แต่ละสถานีงานจะใช้เวลาเท่ากันในการทำงานทั้งหมดที่ได้รับมอบหมาย อย่างไรก็

ตามความสมดุลอย่างแท้จริงเกิดขึ้นได้ยากมากในชีวิตจริง และสถานีงานที่ใช้เวลามากที่สุดจะเป็นสถานีงานที่กำหนดรอบเวลาการผลิต (Cycle time: Ct) ของสายงานประกอบ

ในการศึกษาถึงปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนั้นควรทำความเข้าใจกับคำนิยามที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบดังนี้คือ

1) สายงานการประกอบ (Assembly Line) คือสายงานที่ใช้ในการประกอบชิ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ต้นจนเสร็จ
2) สมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balance) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สมดุลสายการประกอบ(Assembly Line Balancing) คือการกำหนดขั้นงานต่างๆในการประกอบสินค้าที่ทำให้ภาระงานในสถานีงานต่างๆใกล้เคียงกัน
3) สถานีกิจกรรมร่วม (Mate-station) คือ สถานีงานที่เนื้องานนั้นมีความเกี่ยวข้องเชิงลำดับก่อนหลัง ในแต่ละด้านของผลิตภัณฑ์

ประเภทของการจัดสมดุลสายการประกอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ดังนี้



รูปที่ 2.2 ประเภทของการจัดสมดุลสายการประกอบ

1) Single Model Deterministic (SMD) เป็นพื้นฐานของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ที่มีผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว และเวลาการทำงานแต่ละขั้นถูกกำหนดไว้อย่างแน่นอน
2) Single Model Stochastic (SMS) เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบเช่นเดียวกับ SMD แต่ต่างกันที่เวลาการทำงานในแต่ละขั้นของ SMS ไม่คงที่ ซึ่งปัญหานี้

1) **Single Model Deterministic (SMD)** เป็นพื้นฐานของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ที่มีผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว และเวลาการทำงานแต่ละขั้นถูกกำหนดไว้อย่างแน่นอน
2) **Single Model Stochastic (SMS)** เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบเช่นเดียวกับ SMD แต่ต่างกันที่เวลาการทำงานในแต่ละขั้นของ SMS ไม่คงที่ ซึ่งปัญหานี้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง เนื่องจากสายการประกอบที่ไม่ใช่ระบบอัตโนมัติ มักจะมีเวลาการทำงานในแต่ละขั้นงานไม่แน่นอน กรณีที่การทำงานในแต่ละขั้นตอนต่างๆไม่คงที่จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงสิ่งอื่นตามมาด้วย เช่น ขนาดที่เหมาะสมของงานรอผลิต (Buffer) สถานีการทำงานที่มีเวลารวมเกินกว่ารอบเวลาการผลิต เป็นต้น
3) **Multi/Mixed Model Deterministic (MMD)** เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า1 อย่างขึ้นไป โดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นเป็นค่าแน่นอน โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตในสายงานการประกอบแบบผสมมักจะมีขั้นงานและลำดับก่อนหลังที่คล้ายกันดังนั้นเราจึงมักออกแบบสายงานการประกอบเพียงแบบเดียวเพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ซึ่งในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบเช่นนี้ ต้องการผลการจัดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Optimum Solution)
4) **Multi/Mixed Model Stochastic (MMS)** เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า1อย่างขึ้นไปโดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นไม่แน่นอน ปัญหาแบบนี้เป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากที่สุด เพราะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น Learning Effect ระดับทักษะความชำนาญของคนงานการออกแบบงานและสายการประกอบแบบนี้ต้องจัดสมดุลใหม่บ่อยๆเนื่องจากมีการเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์บ่อย

ปัญหา ALB ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในกลุ่มนักวิจัยและวิศวกร ซึ่งจัดเป็นปัญหาแบบเอ็นพียาก (NP-Hard) ในลักษณะปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงผสมผสาน (Combinatorial Optimization Problem) การจัดสมดุลสายการประกอบนั้นเกี่ยวข้องกับการกำหนดงานให้กับสถานีงาน ซึ่งจะมีข้อจำกัดทางเทคนิคที่แตกต่างกัน งานแต่ละงาน I= (1, 2, 3...n) ที่ผลิตขึ้นในแต่ละผลิตภัณฑ์ สามารถทำการจับเวลา และจัดลำดับก่อนหลังของงานสามารถกล่าวได้ว่า งานแต่ละงานจะถูกจัดอยู่ในสถานีงานใดสถานีงานหนึ่งและเวลาที่ใช้ในการทำงานคงที่

2.2.1 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์

ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสายการประกอบแบบแบบหลายผลิตภัณฑ์เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า1 อย่างขึ้นไปโดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นเป็นค่าแน่นอนโดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตในสายงานการประกอบแบบแบบหลายผลิตภัณฑ์มักจะมีขั้นงานและลำดับก่อนหลังของงานที่คล้ายกัน ดังนั้นเราจึงมักออกแบบสายงานการประกอบเพียงแบบเดียวเพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยทั่วไปจะนำเวลาเฉลี่ยของแต่ละผลิตภัณฑ์หรือใช้เวลาในผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุดมาเป็นเวลาในการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งต้องการผลการจัดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Optimum Solution)

วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมมี 3 วิธีคือวิธีการทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model: MA) วิธีทางฮิวริสติก (Heuristic) และวิธีทางเมตตะฮิวริสติก (Meta-Heuristic) ซึ่งวิธีการทาง MA ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในทางปฏิบัติเพราะมีความยุ่งยากซับซ้อนประกอบกับไม่สามารถนำไปสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหาทั่วไปได้จึงมีผู้คิดค้นวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมขึ้นซึ่งได้นำวิธิการทาง ฮิวริสติกเข้ามาประยุกต์ใช้

2.2.2 วิธีการวัดผลในการจัดสมดุลสายการประกอบ

การประเมินประสิทธิภาพของสายงานการประกอบทั่วไป ทำได้โดยดูจากตัววัดประสิทธิภาพต่างๆ (Measure of Performance) ซึ่งตัววัดต่างๆเหล่านี้จะถูกใช้เป็นวัตถุประสงค์ในการจัด (Objective Criteria) ของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบในงานวิจัยจะมีตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

I = งาน; i= (1, 2..., i..., n)

J = ด้านของสถานีงาน; J { 1 แทนด้านซ้าย, 2 แทนด้านขวา

A_L = กลุ่มของงานที่ปฏิบัติงานทางด้านซ้าย

A_R = กลุ่มของงานที่ปฏิบัติงานทางด้านขวา

A_E = กลุ่มของงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากด้านใดด้านหนึ่ง

T = เวลางานทั้งหมด

t_i = เวลาของงาน i

Ct = รอบเวลาการผลิต; $\frac{\text{เวลาที่ใช้ในการผลิตต่อวัน}}{\text{แผนการผลิตต่อวัน}}$

K = สถานีเดี่ยว

สำหรับประสิทธิภาพสายการประกอบโดยรวม (ปารเมศ, 2550) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

$$(1-\frac{1}{k*ct}(\sum_{i=1}^{n} t_{i,j,k}))*100 \qquad (2.2)$$

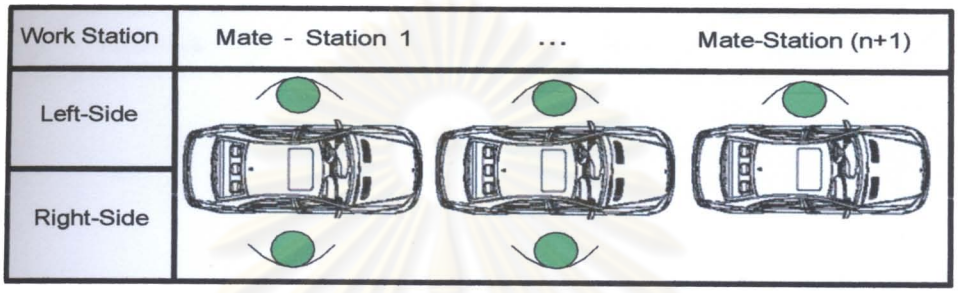
ตัววัดประสิทธิภาพอาจมีเพิ่มเติมจากนี้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและจุดประสงค์ในการใช้งาน สายงานการประกอบทั่วไปสามารถแบ่งเป็นสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียว สายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์และสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ซึ่งปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบนั้นเป็นปัญหาเกี่ยวกับการกำหนดขั้นงานให้กับสถานีทำงาน เพื่อให้เกิดสายการประกอบที่ดีที่สุดโดยไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานและเวลาทำงานในแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิตสูงสุดที่กำหนด และแต่ละขั้นงานจะต้องถูกจัดให้กับสถานีทำงานใดสถานีทำงานหนึ่งเท่านั้น ในการจัดสมดุลสายการประกอบข้อมูลที่จำเป็นได้แก่ เวลาทำงานของขั้นงานความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน และรอบเวลาการผลิต เป็นต้น เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวแล้วจึงนำมาทำการจัดสมดุลสายการประกอบต่อไป

2.3 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

สายการประกอบแบบสองด้านนั้นจะพบได้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ ที่ต้องปฏิบัติงานจากทั้งสองด้านของผลิตภัณฑ์ เช่น สายการประกอบรถยนต์ ซึ่งในบางสถานีงานจะต้องมีการทำงานทั้งสองด้านของสายการประกอบไปพร้อมๆกัน ซึ่งเรียกสายการประกอบประเภทนี้ว่า สายการประกอบแบบสองด้าน (Two-sided Assembly Line: TAL) โดยแบ่งด้านในการประกอบออกเป็นสองด้านคือ ด้านซ้ายและด้านขวา แต่ยังมีบางงานซึ่งสามารถประกอบได้จากทั้งด้านซ้ายและด้านขวาด้านใดด้านหนึ่ง (งานที่ชิ้นส่วนอยู่บริเวณตรงกลางของผลิตภัณฑ์) รวมไปถึงบางงานที่ต้องการพนักงานทั้งสองด้านประกอบพร้อมๆกัน (จะพบในส่วนประกอบตัวถัง) กล่าวได้ว่าสายการประกอบแบบสองด้านจะแบ่งงานออกเป็น 4 ลักษณะตามที่ได้อธิบายมาในข้างต้น

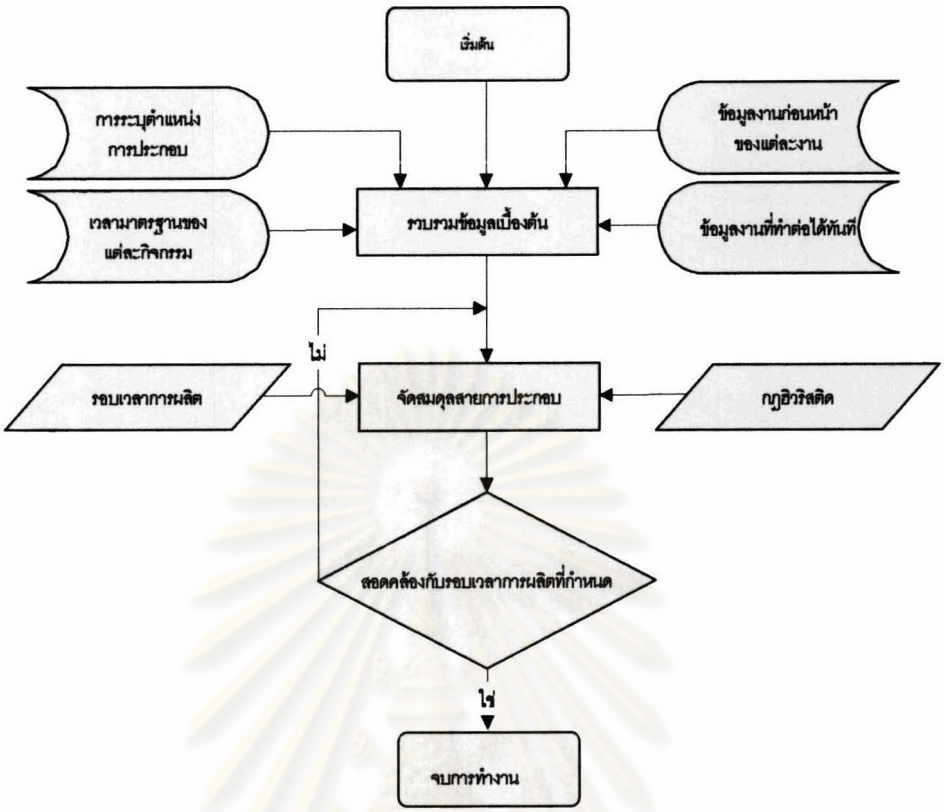
สายการประกอบแบบสองด้านนั้น จะมีสถานีงานที่มีกิจกรรมร่วมเรียกว่า Mate-station และมีความสัมพันธ์เชิงลำดับของงานร่วมกัน อย่างไรก็ตามการออกแบบรถยนต์นั้นต้องพยายามทำให้ชิ้นส่วนของด้านซ้ายและด้านขวากระจายน้ำหนักใกล้เคียงกัน จึงทำให้กิจกรรม

การประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ด้านซ้าย จะใกล้เคียงกับกิจกรรมการประกอบชิ้นส่วนด้านขวา และงานทั้งสองด้านจะมีความสัมพันธ์กันผ่านงานที่สามารถประกอบได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ หรือกล่าวได้นัยหนึ่งว่าจะไม่มีงานด้านซ้ายที่มีลำดับก่อนหลังโดยตรงกับงานด้านขวา และพนักงานสองคนควรจะทำงานกันคนละด้านโดยที่พนักงานคนใดคนหนึ่งจะไม่แยกไปทำงานอย่างอื่น โดยอธิบายได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะของสายการประกอบเป็นสายการประกอบแบบสองด้าน

มีงานวิจัยมากมายที่กล่าวถึงการหาอัลกอริทึ่มที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาในการจัดสมดุลสายการประกอบโดยทั่วไป ซึ่งถ้าหากนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านพบว่า บางอัลกอริทึ่มนั้นยังไม่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับงานที่มีลักษณะดังกล่าว เนื่องจากการใช้งานและรูปแบบในการแก้ปัญหานั้นยังไม่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมในการประกอบจริง และเมื่อศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้น ยังพบว่าส่วนใหญ่ได้ละเลยต่อสภาพความเป็นจริงที่งานแต่ละงานมีความสัมพันธ์เชิงลำดับก่อนหลังของทั้งสองด้านผ่านงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่น งานประกอบพรมพื้นรถยนต์และสายไฟต่างๆซึ่งเป็นงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์จากนั้นเบาะซ้ายและขวาจึงจะสามารถทำการประกอบต่อได้ ซึ่งงานเหล่านี้สามารถกำหนดให้ทำในสถานีงานอื่นๆได้ ถ้าหากจำเป็น เพื่อให้เกิดความเข้าใจจึงได้อธิบายโครงสร้างของการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการทำงานของ TALB

การพัฒนาวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบในงานวิจัยนี้ ได้อาศัยข้อมูลจริงจากงานประกอบรถยนต์ โดยเริ่มจากการศึกษาและกำหนดเวลามาตรฐาน (Standard Time) การกำหนดลำดับก่อนหลังของงาน เพื่อจัดทำเป็นโปรแกรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) **อัจฉรา วัฒนานนท์** (2543) ปัจจุบันในสายการประกอบใช้ Cycle Time ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นำมาใช้โดยไม่ได้มีการเก็บข้อมูลที่ถูกต้องตามหลักการของการศึกษาเวลา ซึ่งมีผลทำให้เวลามาตรฐานที่ใช้อยู่ไม่เหมาะสม ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนำมาซึ่งปัญหาต่างๆมากมาย ซึ่งล้วนก่อให้เกิดต้นทุนที่มากขึ้นทั้งสิ้นเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตที่มีความคลาดเคลื่อนสูง จึงทำการศึกษาเพื่อหา รูปแบบที่เหมาะสมโดยใช้ข้อมูลในอดีตนำมาประมาณเชิงสถิติของการเวลาเผื่อเพื่อให้การวางแผนการผลิตใกล้เคียงกับการผลิตจริงมากที่สุด และเพื่อพิสูจน์รูปแบบดังกล่าวจึงได้มีการนำ วางแผนการผลิตประยุกต์ใช้จริงและพบว่ามีความคลาดเคลื่อนลดลง

2) **ฐิติพร สังข์สัมฤทธิ์** (2544) ได้นำเอาเทคนิคของการควบคุมคุณภาพและการศึกษาการทำงาน

มาทำการวิเคราะห์และหาวิธีในการลดและป้องกันการเกิดความสูญเสีย จากการวิเคราะห์ปัญหาของโรงพิมพ์ที่เป็นกรณีศึกษา พบว่ามีความสูญเสียที่สำคัญที่เกิดขึ้นในกระบวนการพิมพ์ด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ ความสูญเสียจากการปรู๊ฟ การสกัม และการเสียระหว่างพิมพ์ มีสาเหตุมาจากวิธีการทำงาน และความผิดพลาดของช่างพิมพ์ ตลอดจนการไม่สามารถใช้ทรัพยากรการผลิตของโรงพิมพ์ อันประกอบด้วย กำลังคน วัตถุดิบ เครื่องจักรและอุปกรณ์ให้เกิดประโยชน์พบว่าสามารถลดความสูญเสียทั้งสามชนิดลงคิดเป็นร้อยละ 60

3) ศรันยา อุดมศรี (2547) ได้กำหนดเวลามาตรฐานของงานประกอบรถยนต์และนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดตารางการผลิตโดย แบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกคือการพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก เป็นการเปรียบเทียบวิธีฮิวริสติก NEHและวิธีฮิวริสติกที่ได้ทำการพัฒนาโดยใช้ ข้อมูลเวลาการดำเนินงานที่เป็นค่าคงที่จาก OR-Library และในส่วนที่สองเป็นการนำวิธีฮิวริสติก NEHและวิธีฮิวริสติกที่พัฒนามาประยุกต์ใช้กับสายการประกอบของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าวิธีที่พัฒนาจากวิธีฮิวริสติกของ Palmer,วิธี Sum Absolute Differences และวิธี Sum Absolute Residuals สามารถหาค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีฮิวริสติก NEH และวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ไม่ต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 90%

4) อภิชาติ ลิลิตการตกุล(2540) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่ต้องการลดและขจัดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผผลิตสบู่ของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในกกระบวการผลิตของโรงงานตัวอย่างคือเวลาการทำงานของพนักงานและเครื่องจักรต่ำ วิธีการลดความสูญเสียคือการใช้เทคนิคการวิเคราะห์กรรมวิธีกับกระบวนการผลิตสบู่โดยการศึกษาเวลาหลังจากนั้นจึงทำได้ใช้เทคนิค ECRS เพื่อลดและขจัดความสูญเสียที่เกิดขึ้น หลังจากทำการปรับปรุงพบว่า 1) พนักงานทำงานเพิ่มขึ้น 4.45% 2) เครื่องจักรทำงานเพิ่มขึ้น 5.76% 3) ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น 10.53%

5) นิสา ชัยนภาพร (2545) งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาและลดความสูญเสียการผลิตในส่วนการประกอบและส่วนการผลิตของชิ้นส่วนเก้าอี้ทันตกรรม ซึ่งมีปัญหาจากกระบวนการผลิตและสายการประกอบเกิดการรอคอยและความล่าช้าในการประกอบส่งผลให้สายการผลิตนั้นเกิดความไม่สมดุล การปรับปรุงจะได้เริ่มต้นจาก การวิเคราะห์ในส่วนสายการประกอบให้ทราบถึงการรอคอยและความล่าช้าที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงทำการออกแบบรหัสงานและรหัสชิ้นส่วนใหม่เพื่อให้มีความสัมพันธ์กันกับขั้นตอนในการประกอบซึ่งส่งผลต่อการจัดการชิ้นส่วนและงานย่อยที่จะนำมาใช้ในสายการประกอบตามลำดับขั้นและตรงตามเวลาที่ต้องการใช้งาน หลังจาก

ดำเนินการจัดสมดุลสายการผลิตแล้ว พบว่าสามารถลดจำนวนงานระหว่างทำและลดจำนวนชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดการรอคอยลงได้

6) Simaria and Vilarinho (2004) ได้นำเสนอวิธีการในการจัดสายการประกอบแบบผสม ซึ่ง มีวัตถุประสงค์ที่จะหารอบเวลการผลิตน้อยที่สุดโดยที่กำหนดสถานีงานมาให้ โดยใช้เจนเนติกลำดับขั้นตอน ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นมาจากโปรแกรม C++ ซึ่งสามารถกำหนดภาระงานของแต่ละสถานีงานให้มีเวลาในการทำงานใกล้เคียงกันได้ ถึงแม้จะเป็นผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามยังคงต้องหาวิธีการของฮิวริสติกเพื่อมาช่วยแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น

7) Khan and Day (2001) ในทางปฏิบัติหรือสภาพการทำงานจริง ปัญหาการผลิตมักจะเกิดขึ้นอย่างมีความน่าจะเป็น ไม่ว่าจะเป็นสายการประกอบแบบอัตโนมัติ หรือสายการประกอบที่ใช้แรงงานคน ในบทความนี้จะนำเสนอ องค์ความรู้ในการปฏิบัติงานท่ามกลางสภาพแวดล้อมดังกล่าว (Knowledge Base Design Methodology) ซึ่งเป็นการนำเสนอองค์ความรู้ที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับสายการประกอบเดี่ยว และสายการประกอบแบบผสม โดยการนำเสนอการคิดที่เป็นระบบไม่ว่าปัญหาจะเป็นปัญหาเชิงเส้นหรือไม่ก็ตาม

8) Becker and Scholl (2004) ที่ผ่านมาในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ มักจะพิจารณาถึงวิธี The Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP) แต่อีกวิธีที่นำมาพิจารณาก็คือ The Generalize Assembly Line Balancing Problem(GALBP) สาเหตุเพราะมีความสามารถในการแก้ไขปัญหาในการจัดสมดุลสายการประกอบได้ดีกว่าเนื่องจาก มีการพิจารณาถึงรายละเอียดเพิ่มเติมได้เหมือนสภาพแวดล้อมในการทำงานจริงได้ดีกว่า เช่น ในส่วนของต้นทุน การเลือกใช้เครื่องมือ สายการประกอบแบบคู่ขนาน สายการประกอบแบบตัวยู หรือแม้แต่การผลิตแบบหลายรุ่นในสายการประกอบเดียวกัน

9) Erel and Gokcen (1998) บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการหาระยะทางที่สั้นที่สุดในโครงข่ายการทำงานสำหรับสายการประกอบแบบผสม โดยการสร้างลำดับขั้นตอนและทำการกำหนดเงื่อนไขต่างๆรวมไปถึงโครงข่ายของงานแต่ละงานที่ได้ทำการจัดสมดุลแล้ว ซึ่งรูปแบบที่ได้มาจากงานวิจัยนั้น พบว่าสามารถลดระยะทางในการทำงานโดยการรวมโครงข่ายในแต่ละงานด้วยวิธีการทางฮิวริสติกได้อย่างลงตัว

10) Hadi at al. (2006) ได้ศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบคู่ขนาน โดยในรูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาวิเคราะห์และการจัดสมดุลการผลิตด้วยวิธี COMSOAL เพื่อนำผลของทั้ง 2 แบบมาเปรียบเทียบกัน สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการสถานีงานที่น้อยที่สุด พบว่าวิธีของ COMSOAL นั้นสามารถให้คำตอบที่ยอมรับได้

11) Bautista and Pereira (2006) ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาในการจัดสมดุลสายการประกอบ ที่มีความเกี่ยวเนื่องกับ เวลา และข้อจำกัดของพื้นที่ (Time and Space constrained Assembly Line Balancing Problem: TSALBP) โดยที่วิธีการที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้คือเอนท์โคโลนี ซึ่งลำดับขั้นตอนดังกล่าวได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาในลักษณะ SALBP I และ SALBP II ซึ่งผลที่ได้จากวิธีการของเอนท์โคโลนี ได้สร้างผลคำตอบได้ดีกว่า

12) Nakade and Ohno (1999) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ที่จะจัดสรรกำลังคนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายการประกอบรูปตัวยู ที่มีการใช้รอบเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุด โดยกำหนดให้เวลาในการทำงาน เช่น การหยิบของ การเดินประกอบ เป็นแบบคงที่ (Deterministic) และนำเสนอลำดับขั้นตอนเพื่อการจัดสรรพนักงานที่เหมาะสมที่สุด โดยผลที่ได้จากการรันโปรแกรมนั้น ให้ผลที่น่าพอใจคือ สามารถให้ข้อมูลของพนักงานที่เหมาะสมที่สุดภายใต้รอบเวลาการผลิต ซึ่งง่ายต่อการพิจารณา แต่ผลที่ออกมานั้นจะอยู่ภายใต้สมมติฐานคือ พนักงานมีความสามารถในการทำงานได้เท่ากัน และเนื่องจากสภาพในการทำงานโดยส่วนมากจะใช้เวลาที่ไม่แน่นอน (Stochastic) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาในการสร้างเงื่อนไขของลำดับขั้นตอนต่อไป

13) Jina and Wu (2002) บทความนี้ได้ให้มุมมองถึงวิธีการต่างๆที่จะปรับปรุงสายการประกอบแบบผสม โดยใช้อัลกอริทึ่มของความแปรปรวน (Variance Algorithm) ที่มีการยืดระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี ซึ่งบทความนี้ได้มีการพัฒนาการลดความแปรปรวน เพื่อลดต้นทุนในการเสียโอกาส ซึ่งเป็นสิ่งที่ช่วยพิสูจน์ว่า สิ่งที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ ในส่วนของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผสมได้พัฒนารูปแบบที่ช่วยในการค้นหาปัญหาที่มองเห็นได้ยากอีกด้วย

14) Boysen et al. (2006) บทความนี้ได้ทำการสรุปปัญหาของการจัดสมดุลสายการประกอบ ที่เน้นวิธีของ The Generalize Assembly Line Balancing problem (GALBP) และเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา โดยแยกประเภทของเครื่องมือที่ใช้แก้ปัญหาและพบว่าวิธีการทางฮิวริสติกได้ถูกมาใช้ในการแก้ปัญหามากที่สุด

15) Gamberini and Grassi (2005) ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาของสายการประกอบซึ่งปัจจุบันมีสภาพแวดล้อมในการแข่งขันที่สูง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยนำเข้า จะทำให้กระทบโดยตรงกับภาระของงานในสายผลิต ผู้วิจัยได้นำวิธีการของฮิวริสติกแบบหลายวัตถุประสงค์เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาหลักๆ คือ ต้นทุนต่อหน่วยที่น้อยที่สุด โดยที่ไม่ต้องการให้มีการจัดภาระงานใหม่ วิธีการฮิวริสติกที่ผู้วิจัยได้พัฒนา จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการฮิวริสติกของ Kottas and Lau และได้ให้คำตอบที่ดีกว่าในเรื่องของต้นทุนต่อหน่วย อย่างมีนัยสำคัญ

16) Lapierre e al. (2004) ได้ศึกษาปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ แบบ SALB 1 โดยการนำวิธีการทางฮิวริสติกและได้ใช้การค้นหาแบบตาบูเชิงพันทาง (Tabu Search: TS) ซึ่งค่าความแปรปรวนของภาระงานถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของกระบวนการค้นหา ผลจากการใช้ TS เข้ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา พบว่าสามารถจัดสมดุลของงานที่มีงาน 162งานและความสัมพันธ์ของงาน 264 ลำดับขั้น โดยที่ไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของสถานีงานใหม่ จึงถือได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีความยืดหยุ่นสูง

17) Xiaoboa et al. (1997) ได้ทำการศึกษาแนวคิดการผลิตแบบทันเวลาพอดี สำหรับการปริมาณการใช้ชิ้นส่วนในอุดมคติได้มีวิธีการคำนวณอย่างง่ายๆ โดยการ หา จำนวนหน่วยผลิตและจำนวนชิ้นส่วนที่ใช้ที่สถานีใดๆ ในแต่ละช่วงเวลาจากนั้นจึงได้ทำการสร้างลำดับขั้นตอน ในการจัดลำดับในการผลิต ที่ได้นำปริมาณการใช้เข้ามาพิจารณาถึงความเหมาะสมในการจัดลำดับ และเลือกผลที่ให้คำตอบในลักษณะที่ดีที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

18) Helgeson and Birnie (1961) ได้แยกปัญหาของการจัดสมดุลสายการประกอบออกเป็น 2 ประเภทคือ 1. ให้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดโดยที่กำหนดรอบเวลาการผลิตมาให้ และ 2. ให้รอบเวลาการผลิตน้อยที่สุดโดยที่กำหนดจำนวนสถานีงานมาให้ นอกจากนี้ยังได้นำเสนอการจัดสมดุลสายการประกอบ โดยการจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนัก (Ranked Positional Weight Technique: RPWT)

19) จงกล เอี่ยมมิ (2543) งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางในการนำเอาเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GAs) มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุดและเกิดเวลา

ว่างงานรวมน้อยที่สุดด้วยพบว่าเจนเนติกอัลกอริทึมจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเจนเนติกอัลกอริทึม เป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีประสิทธิภาพ และสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดให้ได้

20) Lee et al. (2001) ได้ทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบ ที่มีลักษณะเป็นสายการประกอบแบบสองด้าน ในงานวิจัยนี้ นำเสนอวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบโดยประยุกต์วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดี่ยวด้วยฮิวริสติกแบบจัดกลุ่ม และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับฮิวริสติกตัวอื่นๆที่นิยมใช้กับงานจัดสมดุลสายการประกอบแบบด้านเดียวและงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวัดผลด้วยดัชนีความสัมพันธ์ของงาน และความเหลื่อมล้ำกันของงานที่ได้จัดลำดับงานแล้ว โดยทำการทดลองกับปัญหาทั้งประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2

21) Kim et al. (2007) สนใจศึกษาสายการประกอบแบบสองด้าน (Two Side Assembly) โดยทำการหารอบเวลาการผลิตที่น้อยที่สุดที่ได้มีการกำหนดจำนวนของสถานีงาน และใช้เจนเนติกอัลกอริทึ่มควบคู่กับวิธีการทางคณิตศาสตร์ จากนั้นจึงสร้างคำตอบของกลุ่มประชากรในตอนเบื้อนต้นเพื่อเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ ควบคู่กับวิธีการทางคณิตศาสตร์ และได้ทดลองกับ วิธีการทางฮิวริสติกตัวอื่นๆคือ First-fit rule (FFR) และ Integer Programming โดยดูผลการทดลองจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบที่ให้ผลได้ดีที่สุด

22) Ozan and Toklu (2008) นำเสนอโปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming) และตรรกแห่งความคลุมเคลือ (Fuzzy Logic) สำหรับการตัดสินใจแบบหลายลำดับขั้นในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านและนำผลมาเปรียบเทียบ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการมีจำนวนสถานีงาน (Mate Station) น้อยที่สุดโดยมีการกำหนดรอบเวลาการผลิต รวมไปถึงการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน ผลของงานวิจัยสามารถให้ทางเลือกในการจัดสมดุลสายการประกอบ ในสภาวะแวดล้อมที่มีปัจจัยหลากหลาย

23) Hu et al. (2007) ได้นำอีมูเรทีฟอัลกอริทึ่ม (Enumerative Algorithm) เข้ามาใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน โดยเริ่มพิจารณาจากการจัดลำดับความสัมพันธ์ของงาน (Precedence Diagram) และนำมาจัดลำดับขั้นงานใหม่โดยใช้กฎ เวลาการเริ่มงานที่เร็วที่สุด (Eeriest Start Time) และเวลาที่เริ่มงานได้ช้าที่สุด (Latest Start Time) ตามลำดับ จากนั้นจึงทำ

การกำหนดงานเข้าในสถานีงาน โดยใช้กฎเวลาการเริ่มงานที่เร็วที่สุด ซึ่งอัลกอริที่มที่นำเสนอได้นำมารวมเข้ากับวิธีการทางฮิวริสติกฮอฟแมน และวิเคราะห์ผลจากการทดลองกับปัญหาต่างๆ

24) Ozan and Toklu (2008) ได้ทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยอัลกอริที่มการจำลองการอ่อนตัว (Simulate Annealing Algorithm) กับสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ รวมไปถึงได้นำเสนอรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีวัตถุประสงค์ในการจัดสถานีงาน (Mate station) ให้น้อยที่สุด โดยที่กำหนดเงื่อนไขของรอบเวลาการผลิต (Cycle Time Constraint) ได้ทำการสรุปผลระหว่างแบบจำลองการอ่อนตัวกับ MIP สำหรับปัญหาขนาดเล็ก และแบบจำลองการอ่อนตัวกับปัญหาขนาดใหญ่ พบว่าให้ผลคำตอบและแนวทางที่เป็นไปได้ในการจัดสมดุลสายการประกอบได้อย่างรวดเร็ว

25) Lapierre and Ruiz (2004) ได้ทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน โดยสายการประกอบจะมีการประกอบจากทั้งด้านซ้าย ขวา ด้านบน และด้านล่างของตัวผลิตภัณฑ์ รวมเป็น 4 คุณลักษณะ และใช้วิธีการทางฮิวริสติกคือ LTF STF และ RND จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ทำการทดลองในเรื่องของ จำนวนสถานีงานและภาระงานของแต่ละสถานีกับโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น

26) Simaria and Vilarinho (2007) ได้นำเอนท์อัลกอริที่มเข้ามาจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด โดยให้เอนท์อัลกอริที่มนั้นสร้างลำดับของงานและด้านที่ทำการผลิต รวมไปถึงภาระงานในแต่ละสถานีงาน จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างสายการประกอบเดี่ยวกับสายการประกอบแบบผสม พบว่าผลที่ได้จากเอนท์อัลกอริที่มนั้นสามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ได้

27) Bartholdi (1993) เป็นผู้วิจัยที่ระบุลักษณะของ TALB และได้อธิบายขั้นตอนที่สำคัญสำหรับปัญหาของ TALB ตั้งแต่วิธีการเลือกใช้ข้อมูล เช่น แนะนำค่าเวลาเผื่อสำหรับการทำงานไว้ 20% ของเวลาการทำงาน การแนะนำให้เขียนลำดับก่อนหลังของงานโดยใช้การใช้ตารางเพื่อลดเวลาในการสร้างเงื่อนไข เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นยังสร้างโปรแกรมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยการใช้วิธีการทางฮิวริสติกที่เรียกว่า “First Fit Rule” และสามารถอธิบายขั้นตอนการแทรกงานได้อย่างเหมาะสม ซึ่งสามารถให้คำตอบได้ในตอนเริ่มต้น ซึ่งคำตอบดังกล่าวจะถูกนำมาปรับปรุงคำตอบโดยพิจารณาจากงานที่สามารถสลับสถานีงานได้โดยไม่ติด

เงื่อนไขของงานก่อนหน้า ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่ต้องการจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

2.5 สรุป

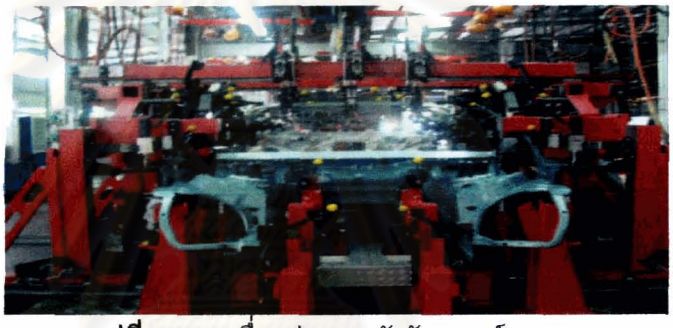
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบโดยทั่วไปพบว่า วิธีการผู้วิจัยส่วนใหญ่เลือกใช้มักจะนำวิธีการทางฮิวริสติกเข้ามาหาคำตอบในเบื้องต้นมากที่สุด(Boysen, 2006) จากนั้นจึงนำคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกมาทำการปรับปรุงคำตอบ สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้นพบว่างานวิจัยของ (Bartholdi,1993) ได้ประยุกต์วิธีการ First Fit Rule:FFR ซึ่งเป็น ฮิวริสติกที่ทำให้เกิดลำดับ (Constructive Heuristic) ที่ดัดแปลงมาจากการจัดสมดุลสายการประกอบแบบด้านเดียว และได้นำข้อมูลจริงของงานประกอบรถยนต์เข้ามาประยุกต์ใช้ ส่วนของงานของอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านพบว่า ได้ใช้วิธีการเมตะฮิวริสติกเช่น เจนเนติกอัลกอริทึ่ม แอนท์อัลกอริทึ่ม และ วิธีการจำลองการอ่อนตัว เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวเหมาะที่จะนำมาปรับปรุงคำตอบที่ได้จากฮิวริสติก กล่าวได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบด้านเดียว และแบบสองด้านต่างก็แนะนำให้ใช้เวลามาตรฐานเข้ามาใช้ในการจัดสรรงานลงสู่สถานีงาน เพื่อให้ได้ผลคำตอบที่สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
โรงงานประกอบรถยนต์

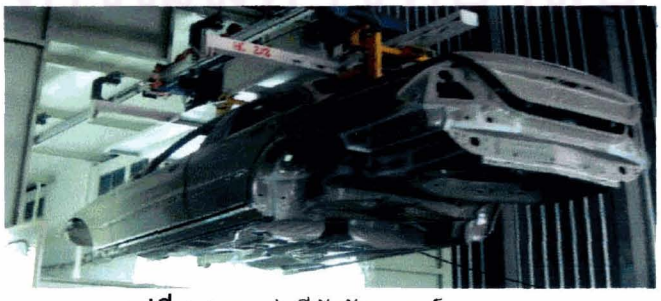
ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิตรถยนต์ จะกล่าวถึงส่วนประกอบของรถยนต์ เพื่อให้เข้าใจถึงหน้าที่ของส่วนประกอบนั้นๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนหลักๆของรถยนต์ได้ดังนี้

1) ตัวถัง (Body) จะทำการประกอบตัวถังนำตัวถังตั้งแต่ด้านข้าง หลังคา เข้ามาประกอบติดกันเป็นตัวรถด้วยการเชื่อม ซึ่งมีหน้าที่ในการห่อหุ้มและป้องกันสิ่งแปลกปลอม จากภายนอกที่จะเข้ามารบกวน สร้างความเสียหาย ให้แก่บุคคลและทรัพย์สินที่อยู่ภายในรถยนต์ เช่น หัวเก๋ง ประตู ฝากระโปรง โครงหลังคา กระบะ ฝาท้าย กันชน เป็นต้น ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การเชื่อมประกอบตัวถังรถยนต์

2) การตกแต่งตัวถังที่ทำการประกอบซึ่งทำการตกแต่งรอยเชื่อม รอยต่อ รอยอาร์คต่าง ๆ ให้เรียบร้อย เช่น ทาพีวีซีบริเวณรอยต่อ ก่อนที่จะนำไปพ่นสีในแผนกสี ซึ่งหน้าที่ในการทำความสะอาดตัวถัง ชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีการเคลือบน้ำมันมา จะล้างน้ำมันออกแล้วจะเคลือบน้ำยาเรียกว่าน้ำยาฟอสเฟต เพื่อให้สีกันสนิมเกาะตัวถังได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นก็นำตัวถังไปชุบสีกันสนิมแล้วนำมาพ่นสีพื้นและพ่นสีจริงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การพ่นสีตัวถังรถยนต์

3) **แชสซีส์และช่วงล่าง**(Chassis and Suspension) **มีหน้าที่หลักในการรองรับส่วนประกอบทั้งหมดของรถยนต์** และช่วยลดความสั่นสะเทือนที่จะไปกระทบต่อผู้ขับขี่ ผู้โดยสาร รวมถึงสัมภาระต่างๆเช่น แชสซีส์ แหนบ สปริง โช้คอัพ ปีกนก คันบังคับ คันเร่ง เบรก ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แชสซีส์และช่วงล่าง

4) **เครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง** (Power Train) **มีหน้าที่ในการแปลงพลังงานเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันให้เป็นพลังงานกล และถ่ายทอดไปขับเคลื่อนรถยนต์ เช่น เครื่องยนต์ เพลากลาง เพลาขับ เฟืองท้าย ล้อ** ดังที่แสดงในรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 เครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง

5) อุปกรณ์ไฟฟ้า (Electronic Module) **มีหน้าที่ในการเชื่อมโยงการทำงานของระบบต่างๆ ทั้งหมดของรถยนต์ ที่จะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ ของผู้ขับขี่ และแจกจ่ายพลังงานไฟฟ้า เช่น ระบบสายไฟฟ้าของส่วนต่างๆ ไดสตาร์ต ไดชาร์จ แบตเตอรี่ ไฟหน้า ไฟหลัง ไฟเบรก ไฟเลี้ยว ดังที่แสดงในรูปที่** 3.5

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ไฟฟ้า

6) อุปกรณ์ภายใน (Trim) จะเป็นส่วนที่ตกแต่งอุปกรณ์ภายในทั้งหมด ตั้งแต่พรม ประตู สายไฟเดินอุปกรณ์ตกแต่งภายในต่าง ๆ ให้เรียบร้อย และทำหน้าที่สำหรับอำนวยความสะดวกสบายให้กับผู้โดยสาร เช่น เบาะนั่ง แผงประตู เข็มขัดนิรภัย พรมหลังคา พรมพื้นรถ หน้าปัด แอร์ วิทยุ ดังรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ภายใน

สำหรับกระบวนการทดสอบรถยนต์ที่ประกอบเสร็จแล้วนั้นโดยทั่วไปจะทำการทดสอบที่สนามทดสอบคุณภาพรถยนต์มีการทดสอบวงเลี้ยวของล้อ ทดสอบเสียงจากความสะเทือนในขณะขับขี่ ทดสอบช่วงล่างจากการวิ่งบนถนนขรุขระ จากนั้นจะเป็นการทดสอบการรั่วรอยรั่วของหลังคา ตัวถัง รวมไปถึงจุดต่างๆของตัวรถอีกด้วย

3.1 หน่วยงานภายในโรงงานประกอบรถยนต์

ในส่วนการประกอบรถยนต์นั้นต้องอาศัยหน่วยงานต่างๆเข้ามาดูแลในแต่ละส่วน ซึ่งหน่วยงานเหล่านี้จะมีหน้าที่ความรับผิดชอบที่แตกต่างกัน แต่หน่วยงานที่จะยกตัวอย่างต่อไปนี้ เป็นเพียงหน่วยงานหลัก ซึ่งในโรงงานประกอบรถยนต์บางแห่งอาจจะมีหน่วยงานหรือชื่อเรียกไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย รายละเอียดของแต่ละหน่วยงานที่ยกตัวอย่างสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) **หน่วยงานออกแบบและวิจัย**

ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญในแต่ละส่วนของรถยนต์ และต้องมีเครื่องมือที่ทันสมัยจึงจำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความสามารถสูงเป็นจำนวนมาก รวมทั้งเงินลงทุนจำนวนมหาศาล ดังนั้น โดยส่วนใหญ่แล้ว แต่ละบริษัทมักจะมีศูนย์วิจัยใหญ่อยู่ที่บริษัทแม่แล้วรับข้อมูลความต้องการของลูกค้า ในแต่ละประเทศมาออกแบบ และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของตน มากกว่าที่จะตั้งเป็นศูนย์วิจัยในแต่ละประเทศโดยตรง แต่ถ้าหากประเทศนั้นเป็น ฐานในการผลิตชิ้นส่วนที่สำคัญ เช่น ประเทศไทย ก็มีความเป็นไปได้ที่จะมีฝ่ายวิจัยสำหรับชิ้นส่วนนั้นๆ โดยจะมีผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทแม่มาเป็นผู้ดูแลและประสานงาน เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีคุณภาพตามมาตรฐานที่ต้องการ สามารถทำงานในหน้าที่ของชิ้นส่วนนั้นๆ ได้อย่างสมบูรณ์ มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วยที่เหมาะสม และตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า

2) **หน่วยงานควบคุมสูตรการผลิต**

รถยนต์แต่ละคันจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่างๆ จำนวนมาก โดยชิ้นส่วนของรถยนต์จะมีทั้งชิ้นส่วนที่ใช้รูปแบบเดียวกันในรถยนต์หลายๆ รุ่น และชิ้นส่วนที่ใช้แตกต่างกันไปในแต่ละรุ่น ดังนั้น หลักเกณฑ์การผลิตชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบขึ้นเป็นรถยนต์แต่ละรุ่นจะเรียกว่า สูตรการผลิต การผลิตรถรุ่นหนึ่งออกมาขายเป็นระยะเวลานาน จะต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ผลิตรถยนต์ออกสู่ตลาด ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนที่ใช้ และในบางครั้งจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะหน้าตา (Face Lift) ด้วยเหตุผลทางการตลาด ซึ่งตลาดรถยนต์ในแต่ละประเทศจะมีรถรุ่นต่างๆ ให้เลือกในแต่ละยี่ห้อ มากบ้างน้อยบ้างหลายสิบรุ่น ดังนั้น ในการผลิตก็อาจจะผลิตเป็นล็อต (Batch Processing) ล็อตละ 6 คันบ้าง ล็อตละ 30 คันบ้าง ขึ้นอยู่กับขนาดความต้องการของตลาด โดยความหมายของคำว่า "ล็อต" ก็คือ จำนวนอย่างต่ำของรถรุ่นเดียวกันที่จะผลิตในแต่ละครั้งอย่างต่อเนื่องกันของสายการประกอบ

ส่วนคำว่า "รุ่น"หมายความว่า รูปร่างและชิ้นส่วนทุกอย่างของรถยนต์ในรถรุ่นเดียวกันจะเหมือนกันทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างกันเลย ยกเว้นเฉพาะสีที่พ่นเท่านั้นที่อาจมีได้หลายๆ สี และไม่นับรวมถึงอุปกรณ์เพิ่มเติม (Options) ที่ผู้ใช้จะเป็นผู้ซื้อ หรือสั่งให้ติดตั้ง ภายหลังจากที่รถยนต์ได้ถูกผลิตออกจากสายการประกอบแล้ว แต่ในบางประเทศ อุปกรณ์เพิ่มเติมนี้สามารถระบุให้มีการติดตั้งในสายการประกอบตามการสั่งซื้อล่วงหน้า

ปัจจุบัน ประเทศไทยเป็นฐานผลิตรถยนต์ที่สำคัญของโลกประเทศหนึ่ง และมีแนวโน้มที่จะผลิตเพื่อการส่งออกจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น ในการผลิตรถยนต์เพื่อส่งออกจะต้องผลิต

ให้ได้รถยนต์แบบต่างๆ หลายรุ่นตามความต้องการที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ ทำให้ต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาช่วยคำนวณสูตรการผลิตของรถแต่ละคันว่า จะต้องใช้ชิ้นส่วนอะไรบ้าง จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนระบบการผลิตแบบเป็นล็อตมาเป็นการผลิตแบบเป็นคันแทน เพราะถ้าหากยังใช้ระบบการผลิตแบบเป็นล็อตเหมือนเดิม จะต้องมีจัดเก็บรถที่ผลิตสำเร็จรูปแล้วจำนวนมาก ซึ่งเป็นการเสี่ยงและต้องลงทุนสูง

การเก็บข้อมูลของสูตรการผลิตจะแบ่งตามกลุ่มของส่วนของรถยนต์ (Bill of Material: BOM) เช่น เบรกหน้า เบรกหลัง เบาะ กันชน เป็นต้น แล้วค่อยแยกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ เช่น เบาะหน้า ประกอบด้วย หัวหมอน ผ้าเบาะ ปุ่มปรับระยะ รางยึดเบาะ เป็นต้น โดยชิ้นส่วนแต่ละชิ้นก็จะมีหมายเลขชิ้นส่วนที่แตกต่างกันไป ดังนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแบบแต่ละครั้ง หมายเลขชิ้นส่วนก็จะเปลี่ยนตามไปด้วย

3) **หน่วยงานพัฒนาชิ้นส่วนในประเทศ**

เนื่องจากทางรัฐบาลมีนโยบายสนับสนุนการใช้ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ผลิตภายในประเทศ จึงได้ กำหนดอัตราส่วนว่ารถที่ประกอบภายในประเทศ แต่ละคันจะต้องมีชิ้นส่วนที่ผลิตในประเทศร้อยละเท่าไร ซึ่งเป็นเรื่องของการเตรียมการ และการวางแผนงานเกี่ยวกับรถยนต์ที่จะผลิตในรุ่นต่างๆ และการผลิตชิ้นส่วนในประเทศ ให้ได้เปอร์เซ็นต์ตามที่สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมกำหนด โดยข้อกำหนดนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายของรัฐบาลในแต่ละสมัย

ส่วนขั้นตอนในการดำเนินงานเพื่อการผลิตชิ้นส่วน และการจัดเตรียมอัตราส่วนให้เพียงพอตามข้อกำหนด มีลำดับการดำเนินงาน คือ

1. ศึกษาราคาของชิ้นส่วนที่จะจัดทำและพิจารณาความเป็นไปได้
2. เลือกชิ้นส่วนที่จะจัดทำอีกครั้งและแจ้งให้บริษัทแม่ทราบว่าจะทำการผลิตชิ้นส่วนดังกล่าวนี้
3. ติดต่อขอสั่งแบบของชิ้นส่วน ชิ้นส่วน ตัวอย่าง และรายละเอียดต่างๆ จากบริษัทแม่ เพื่อนำมาเป็นตัวอย่างให้กับผู้ผลิตชิ้นส่วนในประเทศ
4. เมื่อได้รับชิ้นส่วนตัวอย่างแล้วก็จะติดต่อกับผู้ผลิตชิ้นส่วนภายในประเทศ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของรายละเอียดทางด้านต่างๆ เช่น วัสดุ หากต้องใช้เหล็กชนิดเกรดเอ แต่จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้หรือไม่ ศึกษาต้นทุนต่อหน่วย เวลาที่ต้องใช้ในการทำรายละเอียดทางเทคนิคต่างๆ แบบของชิ้นส่วน และการควบคุมคุณภาพของชิ้นส่วน เป็นต้น

5. ติดต่อผู้ผลิตชิ้นส่วน เพื่อศึกษาความ สามารถและกำลังการผลิตของผู้ผลิตชิ้นส่วน
6. ส่งชิ้นส่วนตัวอย่าง แบบ และรายละเอียดของชิ้นส่วน ให้กับผู้ผลิตชิ้นส่วนเพื่อเสนอราคา
7. ได้รับใบเสนอราคาจากผู้ผลิตชิ้นส่วนแต่ละราย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับราคาของชิ้นส่วนที่นำเข้า
8. ยืนยันคุณภาพและราคากับผู้ผลิตชิ้นส่วนว่า ได้คุณภาพและราคาตามที่บริษัทแม่กำหนดไว้หรือไม่ โดยจะตรวจสอบกับรายละเอียด และแบบของชิ้นส่วน รวมทั้งการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นส่วนนั้นๆ ด้วยตัดสินใจเลือกผู้ผลิตชิ้นส่วนภายในประเทศ
9. ตัดสินใจขั้นสุดท้าย โดยยืนยันกับบริษัทแม่ว่า ต้องการให้ชิ้นส่วนใดเป็นชิ้นส่วนที่ผลิตในประเทศ เพื่อให้บริษัทแม่ได้เตรียมการ จัดการในส่วนของชิ้นส่วนที่จะต้องสั่งนำเข้า
10. เสนอแจ้งให้สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมพิจารณา
11. แจ้งให้แผนกต่างๆ ภายในบริษัทที่เกี่ยวข้องทราบ โดยออกเป็นเอกสารใบคำสั่งวิศวกรรม

หลังจากที่ได้รับข้อมูลต่างๆ จากแผนกวางแผนพัฒนาชิ้นส่วนที่ผลิตในประเทศแล้ว ก็จะทำการติดตามชิ้นส่วนนั้นๆ จากผู้ผลิตชิ้นส่วน แล้วพิจารณาว่า สามารถผลิตได้ตามรายละเอียดหรือไม่ ถ้าได้ ก็ทำการรับรองโดยแบ่งชิ้นส่วนเป็นหมวดต่างๆ คือ เครื่องยนต์ ตัวถัง ระบบไฟฟ้า ระบบช่วงล่าง ชิ้นส่วนประกอบภายใน

เป้าหมายที่สำคัญอีกประการหนึ่งของความพยายามในการพัฒนาชิ้นส่วนในประเทศก็คือ เพื่อจะลดปริมาณการสั่งนำเข้าชิ้นส่วน ซึ่งจะช่วยลดการขาดดุลของประเทศ และในขณะเดียวกัน ก็จะเป็นการเพิ่มศักยภาพของอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ของประเทศไทยด้วย นอกจากนี้ ยังทำให้ต้นทุนการผลิตลดลง หมายความว่า เราจะได้ใช้รถยนต์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น ในราคาต่ำลง

4) หน่วยงานวิศวกรรมการผลิต

เตรียมการเกี่ยวกับเอกสารที่แจ้งรายละเอียดต่างๆ เมื่อจะมีการผลิตรถรุ่นใหม่ รายละเอียดเหล่านั้น ได้แก่ รายละเอียดของรถยนต์แต่ละรุ่น ซึ่งการที่จะผลิตในแต่ละรุ่น ทางโรงงาน จะได้รับการแจ้งล่วงหน้าประมาณ 2 ปี (ขึ้นอยู่กับทีมงานและความพร้อม) โดยจะได้รับ

ข้อมูลจากฝ่ายการตลาดของบริษัทมาวางแผน เพื่อเตรียมการผลิตในกรณีที่มีรถรุ่นใหม่เกิดขึ้น อีกทั้งจะต้องได้รับการอนุมัติแบบการประกอบ ซึ่งระบุเกี่ยวกับอัตราส่วนชิ้นส่วนผลิตในประเทศ และชิ้นส่วนสั่งนำเข้า จากกระทรวงอุตสาหกรรม เพื่อจะได้สามารถเสียภาษีนำเข้าในลักษณะของชิ้นส่วนนำเข้า(Complete Knock Down: CKD) และเมื่อใดมีการเปลี่ยนแปลงแบบการประกอบ หรือเปลี่ยนแปลงรายการชิ้นส่วนก็จะต้องแจ้งทุกครั้ง โดยงานที่ทำมักจะเป็นการประสานงานกับฝ่ายพัฒนาชิ้นส่วนในประเทศเป็นส่วนใหญ่

5) ฝ่ายวางแผนและควบคุมการผลิต

มีหน้าที่ในการวางแผนการผลิต และควบคุมการรับส่งชิ้นส่วน ให้มีปริมาณที่พอดีกับการใช้งานของฝ่ายผลิต แบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

ก. ***การวางแผนการผลิต*** แผนกวางแผนจะได้รับข้อมูลความต้องการจำนวนรถยนต์ของลูกค้า โดยการประชุมร่วมกับฝ่ายขาย แล้วนำมาวางแผนการผลิต โดยคำนึงถึงความสามารถในการผลิต หาก ความต้องการมีมากกว่ากำลังการผลิต ก็จะต้องประชุมกับทางฝ่ายผลิตและผู้ผลิตชิ้นส่วน ว่าสามารถที่จะผลิตได้ตามเป้าหมายที่เพิ่มขึ้นนี้หรือไม่ โดยอาจจะมีการทำงานล่วงเวลาหรือการทำงานในวันหยุด แต่ถ้าหากความต้องการน้อยกว่ากำลังการผลิต ก็จะต้องปรับให้การผลิตในแต่ละวันเท่ากัน และจะต้องวางแผนการผลิตให้ได้จำนวนและรุ่นของรถยนต์ตรงกับความต้องการ ทั้งยังต้องผลิตให้ทันกับกำหนดการส่งมอบด้วย แผนการผลิตแบ่งเป็นระยะคือ แผนเดือน แผนสามเดือน และแผนปี โดยแผนเดือนจะเป็นการยืนยันกำหนดที่แน่นอนว่า ในเดือนนั้นๆ จะผลิตรถยนต์ในแต่ละรุ่นจำนวนเท่าไร และในวันใด ส่วนแผนสามเดือนจะมีประโยชน์สำหรับผู้ผลิตชิ้นส่วนในการวางแผนว่า จะต้องสั่งวัตถุดิบ จำนวนเท่าไร โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ แผนปีจะบอกถึงแนวโน้มความต้องการรถยนต์ในปีนั้นๆ ใช้เพื่อวางแผนกำลังคนและเครื่องจักรว่า จะต้องมีการเพิ่มหรือลดอย่างไร การวางแผนจะต้องคำนึงถึงเวลาในแต่ละช่วงการผลิต ตั้งแต่การสั่งซื้อวัตถุดิบ กำหนดการ ส่งมอบ ระยะเวลาในกระบวนการผลิต ตั้งแต่สายการเชื่อม สายการพ่นสี สายการประกอบ การทดสอบต่างๆ จนกระทั่งสำเร็จสมบูรณ์ประกอบเป็นรถยนต์ที่เรียบร้อยเพื่อการส่งมอบได้

ข. ***การส่งมอบชิ้นส่วน*** กำหนดการส่งมอบชิ้นส่วนจะแยกตามผู้ผลิตชิ้นส่วนแต่ละราย ในปัจจุบัน ระบบ การส่งมอบแบบทันเวลาพอดี (Just In Time: JIT) ถูกนำมาใช้ในการกำหนดเวลาการส่งมอบชิ้นส่วน โดยมีแนวคิดจากหลักการที่ว่า ทุกกระบวนการผลิตจะต้องสอดคล้องกันดังนั้น จะไม่มีการเก็บสต็อกชิ้นส่วนในแต่ละกระบวนการผลิต เพื่อที่จะลดปริมาณชิ้นส่วนในสายการประกอบรวม โดยในการผลิตแต่ละวันหรือแต่ละสัปดาห์จะมีกำหนดการส่งมอบ เพื่อให้มีปริมาณชิ้นส่วนที่เพียงพอต่อการผลิตตามกำหนดเท่านั้น ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดวัตถุดิบในการผลิตแล้ว ยังทำให้วัตถุดิบเสียหายน้อยลงด้วย เมื่อได้รับคำสั่งซื้อในเดือนนั้นแล้ว ผู้ผลิตชิ้นส่วนแต่ละรายก็จะนำไปวางแผนการผลิตต่อไป เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนทันการส่งมอบตามที่กำหนดไว้ในใบสั่งซื้อ

ในปัจจุบัน การผลิตชิ้นส่วนล่วงหน้าของผู้ผลิตชิ้นส่วนแต่ละรายจะมีปริมาณต่ำ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ ดังนั้นหากมีผู้ผลิตชิ้นส่วนรายใดที่ไม่สามารถทำตามแผนกำหนดการส่งมอบแล้ว ย่อมจะกระทบต่อสายการประกอบหลัก รวมถึงผู้ผลิตชิ้นส่วนรายอื่นๆทั้งหมด เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้น เช่น เครื่องจักรเสีย จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขอย่างเร่งด่วนซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบการผลิตดังกล่าวต้องอาศัยกระบวนการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพของผู้ผลิตทั้ง ระบบจึงต้องมีการเตรียมการที่ดี มิฉะนั้นแล้ว ก็จะไม่สามารถทำการผลิตได้

ค. ***การจัดส่งชิ้นส่วนเข้าสายการประกอบ*** ชิ้นส่วนนำเข้าจากต่างประเทศจะถูกบรรทุกไว้ในตู้คอนเทนเนอร์ขนาดใหญ่ และขนส่งมาทางเรือ หลังจากผ่านกระบวนการทางศุลกากรแล้ว ชิ้นส่วนจะถูกขนออกมาจากตู้คอนเทนเนอร์โดยใช้รถยกมาเก็บไว้ในโกดังเพื่อรอการผลิตต่อไป เมื่อถึงกำหนดการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องใช้จะถูกนำออกมาจากโกดังไปไว้ยังพื้นที่จัดชิ้นส่วน จากนั้นชิ้นส่วนก็จะถูกจัดใส่ตะกร้าพลาสติก แล้ว จัดวางบนรถ หรืออาจจะจัดวางในรถลากพิเศษสำหรับชิ้นส่วนนั้นๆโดยเฉพาะ โดยชิ้นส่วนเหล่านี้ จะถูกคัดแยกเพื่อจัดส่งไปตามจุดประกอบในสายพานการผลิตต่อไป ชิ้นส่วนขนาดเล็ก (Small Part) เช่น นัทโบล์ท คลิป จะถูกแยกจัดและส่งด้วยวิธีที่แตกต่างออกไป เนื่องจากมีจำนวนมากและเป็นชิ้นส่วนที่มีการใช้ทั่วๆ ไป การแบ่งชิ้นส่วนประเภทนี้ จึงไม่นิยมแบ่งด้วยการนับ แต่จะใช้วิธีการชั่ง โดยมีรายการ

บันทึกไว้ก่อนว่า ชิ้นส่วนหมายเลขใด ใช้ปริมาณเท่าไรต่อครั้ง และมีน้ำหนักเท่าไร การชั่งสามารถให้ความเที่ยงตรงได้พอเพียงภายในระยะเวลาที่สั้นลง

ทั้งนี้อาจจะมีหน่วยงานอื่นๆที่มากกว่าหน่วยงานที่ยกตัวอย่างทางด้านบน สิ่งที่สำคัญที่สุดในการกำหนดหน่วยงาน จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆมาผสมผสานกัน เช่น โรงงานประกอบรถยนต์กับโรงงานรับจ้างประกอบรถยนต์ ซึ่งจะแตกต่างกันในเรื่องของหน่วยงาน โดยที่โรงงานรับจ้างประกอบรถยนต์อาจจะไม่จำเป็นต้องมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและวิจัยอยู่ภายในองค์กรก็เป็นได้

3.2 สายการประกอบรถยนต์

ลักษณะของสายการประกอบรถยนต์นั้นในบางสถานีงานจะต้องมีการทำงานทั้งสองด้านของสายการประกอบไปพร้อมๆกัน ซึ่งเรียกสายการประกอบประเภทนี้ว่า สายการประกอบแบบสองด้าน (Two-sided Assembly Line: TAL) โดยแบ่งด้านในการประกอบออกเป็นสองด้านคือ ด้านซ้ายและด้านขวา แต่ยังมีบางงานซึ่งสามารถประกอบได้จากทั้งด้านซ้ายและด้านขวาด้านใดด้านหนึ่ง (งานที่ชิ้นส่วนอยู่บริเวณตรงกลางของผลิตภัณฑ์) รวมไปถึงบางงานที่ต้องการพนักงานทั้งสองด้านประกอบพร้อมๆกัน (จะพบในส่วนประกอบตัวถัง) กล่าวได้ว่าสายการประกอบแบบสองด้านจะแบ่งงานออกเป็น 4 ลักษณะตามที่ได้อธิบายมาในข้างต้น

สายการประกอบแบบสองด้านนั้น จะมีสถานีงานที่มีกิจกรรมร่วมเรียกว่า Mate-station และมีความสัมพันธ์เชิงลำดับของงานร่วมกัน อย่างไรก็ตามการออกแบบรถยนต์นั้นต้องพยายามทำให้ชิ้นส่วนของด้านซ้ายและด้านขวากระจายน้ำหนักใกล้เคียงกัน จึงทำให้กิจกรรมการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ด้านซ้าย จะใกล้เคียงกับกิจกรรมการประกอบชิ้นส่วนด้านขวา และงานทั้งสองด้านจะมีความสัมพันธ์กันผ่านงานที่สามารถประกอบได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ หรือกล่าวได้นัยหนึ่งว่าจะไม่มีงานด้านซ้ายที่มีลำดับก่อนหลังโดยตรงกับงานด้านขวา และพนักงานสองคนควรจะทำงานกันคนละด้านโดยที่พนักงานคนใดคนหนึ่งจะไม่แยกไปทำงานอย่างอื่น

3.3 คุณลักษณะสายงานการประกอบโดยทั่วไป

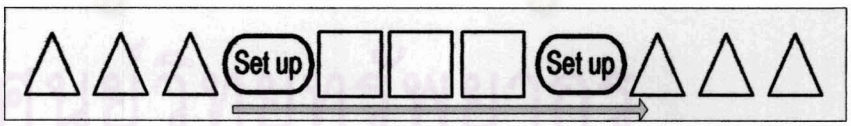
สายงานการประกอบ (Assembly Line) เป็นการจัดรูปแบบของผังการประกอบ ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยการผลิตต่างๆที่เรียกว่าสถานีงาน (Work Station)ในระบบสายงานการ

ประกอบแบบต่อเนื่อง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประกอบจะเคลื่อนย้ายมาตามสถานีงานต่างๆเมื่อชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแต่ละหน่วยเข้ามาสู่สถานีงานใดๆแล้ว จะเกิดขั้นงานการประกอบ (Assembly Operation) ขึ้นในสถานีนั้นตามลำดับ เมื่อหมดขั้นตอนการประกอบในสถานีนั้นแล้วชิ้นส่วนนั้นก็จะเคลื่อนไปยังสถานีต่อไป ในขณะเดียวกันที่สถานีเดิมก็จะมีชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หน่วยถัดไปเข้ามาแทนสายงานการประกอบสามารถแยกออกได้ตามจำนวนชนิดของสินค้าที่ทำการผลิต มี 3 แบบ คือ

1) สายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว (Single Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวโดยเฉพาะและเป็น ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบเดียว ดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 สายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว

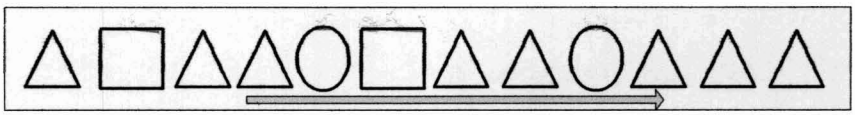
2) **สายงานการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์** (Batch-Model Assembly Line) **เป็นสาย**งานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีกระบวนการประกอบที่ใกล้เคียงกันสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ โดยในการประกอบจะทำทีละชุด (Batch) ผลิตภัณฑ์ ในช่วงที่จะเปลี่ยนการประกอบชนิดของผลิตภัณฑ์ ต้องมีการปรับสายการประกอบใหม่ (Set up) ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สายงานการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์

3) สายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่าเช่นเดียวกับสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ แต่ต่างกันตรงที่ผลิตภัณฑ์ต่างๆจะเข้าสู่สายงานการประกอบปนกันไม่มีการแบ่ง ว่าต้องทำผลิตภัณฑ์ชุดไหนก่อน โดยในระหว่างการผลิตจะไม่มีการปรับสายการประกอบ ในกรณีของสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ ถ้าหากขนาดของชุดผลิตภัณฑ์ (Batch Size) มีขนาดใหญ่มาก สายการประกอบก็จะคล้ายกับ สายการประกอบ

แบบผลิตภัณฑ์เดียว แต่ถ้าขนาดของชุดผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กประมาณหนึ่งสายการประกอบก็จะคล้ายกับสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 สายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

3.4 ลักษณะของการควบคุมสายการประกอบ

ลักษณะการควบคุมสายงานการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1) Paced Line: สายงานการประกอบแบบ Paced Line คือสายงานที่กำหนดให้เวลาทำงานในสถานีทำงานต้องเท่ากับรอบเวลาการผลิต ซึ่งหมายความว่าทุกๆรอบเวลาการผลิตนั้นผลิตภัณฑ์จะต้องถูกส่งต่อให้กับสถานีทำงานถัดไปไม่ว่าจะทำงานในสถานีทำงานนั้นเสร็จหรือไม่ก็ตาม ถ้าหากทำงานในสถานีนั้นเสร็จก่อนรอบเวลาการผลิตชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ก็ต้องคอยอยู่ในสถานีทำงานเดิมจน กว่าจะครบรอบรอบเวลาการผลิตจะเห็นได้ว่าสายงานประกอบแบบ Paced Line อาจทำให้ได้ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะต้องถูกนำไปซ่อมแซมและทำใหม่อีกทีหนึ่ง

2) Unpaced asynchronous line: ในสายงานการประกอบแบบ Unpaced Line แต่ละสถานีจะทำงานตามขั้นงานที่ถูกกำหนดให้กับสถานีนั้นๆจนกว่าจะเสร็จ แล้วจึงเคลื่อนย้ายไปทำงานในสถานีทำงานต่อไปมากกว่าหรือน้อยกว่ารอบเวลาการผลิตก็ได้ดังนั้นเวลาทำงานในแต่ละสถานีอาจมากกว่าหรือน้อยกว่ารอบเวลาการผลิต

3.5 วิธีการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน

สายการประกอบยังสามารถแยกออกโดยดูจากวิธีการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงานดังนี้คือ

1) การเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ (Manual Transfer) การเคลื่อนย้ายงานด้วยมือเป็นการเคลื่อนย้ายงานจากสถานีงานหนึ่งไปยังอีกสถานีงานถัดไปจะทำด้วยมือ ซึ่งจะมีโอกาสเกิดปัญหาต่างๆ ดังนี้คือ

   - ***การไม่มีงานป้อน (Starving)*** คือการที่คนงานได้ทำงานตนเสร็จแล้วแต่ต้องคอยงานที่ยังไม่เสร็จจากคนงานสถานีก่อนหน้า

- ***การไม่มีที่ส่งงาน (Blocking)*** คือการที่คนงานได้ทำงานของตนเสร็จแล้วแต่ ต้องรอให้คนงานสถานีงานถัดไปทำงานให้เสร็จก่อนจึงจะสามารถส่งงานของตนเองไปได้ แล้วจึงเริ่มทำงานชิ้นใหม่

ปัญหาทั้งสองแบบนี้มีผลทำให้การไหลของงานไม่สม่ำเสมอรอบเวลาการผลิตไม่คงที่ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต การจัดสมดุลสายการประกอบจะช่วยลดปัญหาทั้งสองนี้ได้ทำให้สายการประกอบมีการผลิตที่ต่อเนื่องยิ่งขึ้น

2) การเคลื่อนย้ายงานโดยสายพาน (Moving Conveyor) การเคลื่อนย้ายงานโดยสายพานเป็นการเคลื่อนย้ายงานจากสถานีงานหนึ่งไปยังสถานีงานถัดไป ทำได้โดยอาศัยสายพานเป็นตัวลำเลียงชิ้นงาน ซึ่งมีทั้งแบบต่อเนื่อง (Continuous) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent) การเคลื่อน ย้ายงานแบบไม่ต่อเนื่องคือการที่สถานีงานใดก็ตามที่ทำงานชิ้นใดเสร็จก็จะสามารถส่งต่อไปยังสถานีงานถัดไปได้ทันที โดยไม่ต้องรอส่งพร้อมกับสถานีงานอื่นๆปัญหาที่เกิดขึ้นก็จะเหมือนกับ ปัญหาของการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ ส่วนการเคลื่อนย้ายงานแบบต่อเนื่องคือการที่ผลิตภัณฑ์ถูกเคลื่อนย้ายตลอดเวลา ผ่านไปยังสถานีงานต่างๆพร้อมกันในขณะที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นพนักงานตามสถานีงาน ก็จะทำการประกอบชิ้นส่วนเข้าไป การเคลื่อนย้ายงานโดยมากจะใช้สายพานเป็นตัวลำเลียงซึ่งอาจเกิดปัญหาดังนี้คือ การไม่มีงานป้อน (Starving) สามารถเกิดขึ้นได้ เช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือการมีงานล้นมือ (Congestion) คือการที่งานไม่เสร็จสมบูรณ์ เนื่องจากการที่คนงานไม่สามารถทำงานชิ้นนั้นให้เสร็จก่อนที่ชิ้นงานจะวิ่งผ่านตัวไป สำหรับการไม่มีที่ส่งงาน (Blocking) นั้นจะไม่เกิดกับการย้ายงานแบบนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ในส่วนแรกจะอธิบายวิธีการกำหนดหาเวลาทำงานที่เป็นมาตรฐานในการทำงานของคนงานที่มีระดับการทำงานที่เหมาะสมด้วยเงื่อนไขสภาพการทำงานที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ผลงานหนึ่งหน่วย การวัดผลงานเป็นการสังเกตการณ์และกำจัดเวลาที่ไร้ประสิทธิภาพ การวัดผลงานเป็นเครื่องมืออันหนึ่งที่ ช่วยให้ฝ่ายบริหารทราบระยะเวลาในการทำงานของงานแต่ละส่วนที่ประกอบกันเข้าเป็นผลิตภัณฑ์ และสามารถทราบว่ามีเวลาที่ไม่เกิดประโยชน์อยู่ในช่วงไหน และในส่วนที่สองจะอธิบายถึงขั้นตอนในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการทางฮิวริสติกซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน และปัญหาของงานประกอบรถยนต์

4.2 รวบรวมข้อมูลของเวลาการทำงานและจัดทำเป็นมาตรฐานรวมไปการพิจารณาลำดับก่อนหลังของงานประกอบรถยนต์

4.3 ทดลองทำการจัดสมดุลการประกอบแบบสองด้านโดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกเพื่อนำไปจัดทำโปรแกรม

4.4 พัฒนาโปรแกรมเพื่อเป็นเครื่องมือในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

4.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน และปัญหาของงานประกอบรถยนต์

ในบทที่ 1 ได้แสดงเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานและพบว่าพบว่าตั้งแต่สถานีงานที่ 3 มีเวลาเกินรอบเวลาการผลิต ซึ่งรอบเวลาการผลิตปัจจุบันเท่ากับ 22 นาที และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดคอขวดในกระบวนการ (Bottle Neck) ดังนั้นสถานีงานที่ 2 นั้นจะเสร็จงานก่อนสถานีที่3 แต่ไม่สามารถส่งงานให้กับสถานีที่ 3 ได้ เนื่องจากสถานีงานที่ 3 นั้นยังทำงานไม่เสร็จ ทำให้สถานีงานที่ใช้เวลามากที่สุดมากที่สุดจะเป็นตัวกำหนดรอบเวลาการผลิต และส่งผลโดยรวมต่อสถานีงานอื่นๆ ปัจจุบันการผลิตในช่วงเวลาปรกติมียอดการผลิตวันละ 18 คัน (Takt Time เท่ากับ 22 นาที/คัน โดยที่รุ่น A ผลิต 12 คันและรุ่น B ผลิต 6 คัน) สิ่งต่างๆเหล่านี้สาเหตุมาจากผู้ออกแบบสายการประกอบได้อาศัยประสบการณ์ในจัดสรรงานซึ่งขาดระเบียบวิธีการที่มีขั้นตอนอย่างชัดเจน และยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรในการประกอบไม่เหมาะสม ที่สำคัญสายการประกอบที่เวลาของแต่ละสถานีงานใช้เวลาแตกต่างกันมากจะส่งผลต่อการทำงานล่วงเวลา

1) เลือกงานที่ต้องการศึกษา

ในการประกอบรถยนต์นั้นมีอยู่หลายสถานีงาน แผนกประกอบรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาจะเริ่มทำนำตัวถังรถเข้ามาในสายการประกอบ เริ่มตั้งแต่สถานีงานที่ 1 ไปจนถึงสถานีงานสุดท้าย งานที่จะเลือกเพื่อทำการศึกษานั้นจะต้องทำการแยกกลุ่มงานประกอบส่วนต่างๆของรถยนต์เพื่อทำการเก็บข้อมูล โดยจะแสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

1) กลุ่มงานประกอบลูกยาง
   - อุดลูกยางใต้ท้องบริเวณถังน้ำมัน
   - อุดลูกยางใต้ท้องบริเวณถังน้ำมันฝั่งซ้าย
   - อุดลูกยางใต้ท้องบริเวณถังน้ำมันฝั่งขวา
   - อุดลูกยางบริเวณ Side Wall
   - อุดลูกยางบริเวณ Side Wall ฝั่งซ้าย
   - อุดลูกยางบริเวณ Side Wall ฝั่งขวา
2) กลุ่มงานประกอบแดมปิ้ง
   - ประกอบแดมปิ้งใต้ท้อง
   - ปะกอบแดมปิ้งหลังคา
   - ประกอบแดมปิ้งบริเวณถังน้ำมัน
3) กลุ่มงานประกอบท่อใต้ท้อง
   - ประกอบท่อน้ำมันเชื้อเพลิง
   - ประกอบท่อน้ำมันเชื้อเพลิงไหลเข้าเครื่องยนต์
   - ประกอบท่อน้ำมันเชื้อเพลิงไหลกลับถัง
   - ประกอบท่อน้ำมันเบรค
   - ประกอบท่อน้ำมันเบรกสำหรับล้อหน้าซ้าย
   - ประกอบท่อน้ำมันเบรกสำหรับล้อหน้าขวา
   - ประกอบท่อน้ำมันเบรกสำหรับล้อหลังซ้าย
   - ประกอบท่อน้ำมันเบรคสำหรับล้อหลังขวา
4) กลุ่มงานประกอบสายไฟ
   - ประกอบสายไฟหน้าเครื่อง
   - ประกอบสายไฟบริเวณฝากระโปรงหลัง
5) กลุ่มงานประกอบคอนโซลหน้า

- ประกอบคอนโซลหน้าเข้ากับตัวถัง

6) กลุ่มงานประกอบภายในตัวถัง

- ประกอบพรมบริเวณห้องโดยสาร
- ประกอบคอนโซลกลาง
- ประกอบชุดเข็มขัดนิรภัย

7) กลุ่มงานประกอบกระจก

- ประกอบกระจกหน้า
- ประกอบกระจกหลัง

8) กลุ่มงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิค

- ประกอบกล่องควบคุมระบบปรับอากาศ
- ประกอบกล่องควบคุมเบาะ

9) กลุ่มงานประกอบประตู

- ประกอบประตูหน้าซ้าย
- ประกอบประตูหน้าขวา
- ประกอบประตูหลังซ้าย
- ประกอบประตูหลังขวา

2) บันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในการประกอบรถยนต์นั้นมีอยู่หลายกลุ่มงาน เช่น กลุ่มงานประกอบและปรับตั้งฝากระโปรงหลังจะมีการประกอบ Cross Member, งานปรับตั้งฝากระโปรงหลัง ฯลฯ ซึ่งหลังจากที่ได้มีการจัดกลุ่มของงานประกอบแล้ว เราจำเป็นที่จะต้องนิยามงานนั้นๆโดยการระบุระเบียบวิธีการปฏิบัติงานเป็นต้น

3) แบ่งแยกย่อยงาน

การบันทึกสิ่งต่างๆที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งโดยทั่วไปการจดบันทึกมักจะใช้เครื่องมือเข้ามาจดบันทึกอย่างกระชับในแบบฟอร์มมาตรฐาน รวมไปถึงข้อมูลที่ต้องในการจัดสมดุลสายงานประกอบ ซึ่งจะทำการพิจารณาลำดับก่อนหลังของงานไปพร้อมๆกัน และอาจจะพบว่างานประกอบของทั้งสองรุ่นนั้นแตกต่างกัน ลำดับถัดไปจะเป็นการหาความสัมพันธ์เชิงลำดับก่อนหลังของงานย่อยทั้งหมดที่แตกออกมา ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแสดงให้เห็นว่าจะต้องทำงานใด

ให้เสร็จก่อนที่งานอื่นจะเริ่มต้นได้ และงานใดที่สามารถทำไปพร้อมกันได้ ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงตัวอย่างตารางตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการจัดลำดับก่อนหลังของงาน

งาน	ด้าน	เวลามาตรฐาน		งานก่อนหน้า	งานที่ทำต่อได้ทันที
		A	B		
1	L	0.5	0.5	-	3
2	R	0.75	0.75	-	4
3	L	0.35	0.25	1	5,6
4	R	0.00	0.15	2	5,6
5	E	0.35	0.35	3,4	7
6	E	0.45	0.65	3,4	7
7	L	1.15	1.15	5,6	-

จากตารางที่ 4.1 สามารถอธิบายความหมายในแต่ละแถวได้ดังนี้

1) งาน หมายถึง งานที่ผู้จัดสมดุลสายการประกอบทำการระบุชื่องาน เช่น งานประกอบประตู แต่ในงานวิจัยนี้จะยกตัวอย่างเป็นตัวเลขซึ่งแทน ชื่องานประกอบ
2) ด้าน หมายถึง การระบุว่ากิจกรรมงานนั้นๆทำการประกอบที่ด้านใดของตัวผลิตภัณฑ์ (Left: L, Right: R, Either: E) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นเงื่อนไขในการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน
3) เวลามาตรฐาน หมายถึง เวลาที่ผู้ทำการจัดสมดุลสายการประกอบนำมาใช้ในการจัดสรรงานลงสู่สถานีงาน ซึ่งเป็นเวลามาตรฐานที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงของแต่กิจกรรมการทำงาน ตัวอย่างในตารางจะเป็นเวลามาตรฐานของรุ่น A และ B ซึ่งอาจจะมีกระบวนการที่คล้ายคลึงกันแต่ไม่เหมือนกันทั้งหมด เป็นต้น
4) งานก่อนหน้า หมายถึง งานที่ระบุว่าเป็นงานที่ต้องทำก่อน ยกตัวอย่างในตารางที่ 4.1 งานที่ 3 จะทำได้ต่อเมื่องานที่ 2 ซึ่งเป็นงานก่อนหน้าเสร็จสิ้นแล้วเท่านั้น
5) งานที่ทำต่อได้ทันที หมายถึงงานที่สามารถทำต่อได้เมื่องานที่กำลังสนใจเสร็จสิ้นแล้ว ยกตัวอย่างตามตารางที่ 4.1 งาน 3 และ 4 มีงาน 5 และ 6 ที่สามารถทำต่อได้ทันที หมายความว่างาน 5 และ 6 จะต้องมีงาน 3 และ 4 เป็นเงื่อนไขของงานก่อนหน้า สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมผู้จัดสมดุลสายการประกอบจะทำการพิจารณางานที่มี

ความสำคัญที่ต้องทำก่อนในเวลาเดียวกันงานที่สามารถทำต่อได้ทันทีก็จะถูกพิจารณาไปพร้อมๆกันซึ่งจะอธิบายในส่วนถัดไป

4.2 รวบรวมข้อมูลและจัดทำเป็นมาตรฐานของงานประกอบรถยนต์

การวัดผลงาน คือการกำหนดหาเวลาทำงานที่เป็นมาตรฐานในการทำงานของคนงานที่มีระดับการทำงานที่เหมาะสมด้วยเงื่อนไขสภาพการทำงานที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ผลงานหนึ่งหน่วย ซึ่งการวัดผลงานเป็นการสังเกตการณ์และกำจัดเวลาที่ไร้ประสิทธิภาพ การวัดผลงานเป็นเครื่องมืออันหนึ่งที่ช่วยให้ฝ่ายบริหารทราบระยะเวลาในการทำงานของงานแต่ละส่วนที่ประกอบกันเข้าเป็นผลิตภัณฑ์และสามารถทราบว่ามีเวลาที่ไม่เกิดประโยชน์อยู่ในช่วงไหนบ้าง โดยที่การวัดผลงานยังช่วยให้สามารถกำหนดเวลามาตรฐาน (Standard time) ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

1) วัดและบันทึกเวลา

การจับเวลาในการศึกษาเวลานิยมใช้นาฬิกาจับเวลา โดยใช้มาตรเวลาที่แตกต่างจากเวลาปรกติกล่าวคือ มาตรเวลาที่ใช้ในการศึกษาเวลา ได้แก่ มาตรเวลา 1/100 นาที หรือมีความละเอียดเท่ากับ 0.01 นาทีนั่นเอง ในที่นี้จะทำการจับเวลาด้วยกการจับเวลาแบบจับซ้ำ (Repetitive Timing) เป็นการจับเวลาที่ต้องหยุดเวลาเพื่ออ่านค่าและตั้งกลับไปที่ค่าศูนย์ใหม่เพื่อจับเวลางานย่อยถัดไป ดังนั้น เวลาที่เราจับได้ จะเป็นเวลาของงานย่อยนั้นเลย หรือก็คือเวลา T นั่นเอง ข้อเสียของวิธีการแบบนี้ คือผู้บันทึกจับเวลาต้องมีความชำนาญในการจับ บันทึกค่า และตั้งค่าศูนย์ ซึ่งใช้เวลาที่ค่อนข้างรวดเร็วมาก

2) กำหนดจำนวนวัฏจักร

ในการศึกษาเวลาเบื้องต้นเราอาจจะจับเวลาไป 5-10 วัฏจักรการทำงาน แล้วจึงนำมาหาค่าจำนวนวัฏจักรที่เหมาะสมในการจับเวลา ทั้งนี้เพื่อความเชื่อถือได้ทางสถิติว่า เวลาที่เราจับได้เป็นตัวแทนของเวลาการทำงานทั้งหมดจริง ในกรณีนี้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีค่าน้อยกว่า 30 จึงเลือกใช้ T-Distribution โดยจะทำการยกตัวอย่าง งานประกอบและปรับตั้งฝากระโปรง จับเวลา 10 ครั้งมีค่าดังนี้ 3.75, 3.80, 3.70, 3.68, 3.79, 3.95, 3.85, 3.80 3.86 และ 3.72 นาที ตามลำดับ โดยมีระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 90% จะได้ค่าต่างๆดังนี้

$$\sum X = 37.90 \quad \overline{X} = 3.79 \quad \sum X^2 = 70.062 \quad S_x = 0.083 \; S_{\overline{x}} = 0.026$$

จากตารางแจกแจง t เมื่อ V = N-1=9 และ $t_{0.005,9}$ = 1.833

จาก (2.7) ได้ค่าความแม่นยำสัมพัทธ์ = 1 % และน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้คือ ± 10 % ซึ่งสรุปได้ว่าค่าที่จับมาจำนวน 10 ค่านั้นมีความคลาดเคลื่อนจากค่า μ ไม่เกิน ± 10 % ภายใต้ระดับความเชื่อมั่น 90%

3) การประเมินอัตราการทำงาน

การประเมินอัตราการทำงาน (Rating) คือขบวนการซึ่งผู้ทำการศึกษาเวลาใช้เปรียบเทียบการทำงานของคนงาน ซึ่งกำลังถูกศึกษาอยู่กับระดับการทำงานปรกติในความรู้สึกของผู้ทำการศึกษาเวลา องค์ประกอบเหล่านั้นขึ้นอยู่กับบุคคลผู้ศึกษาซึ่งพบว่า ความถูกต้องจากการใช้องค์ประกอบเข้าไปปรับแต่ง จะใช้ได้สำหรับอัตราการทำงานของคนงานซึ่งใกล้เคียงกับการทำงานของคนงานที่เหมาะสมตามปรกติ ในการจับเวลาของคนงานที่มีอัตราการทำงานช้า ไม่ชำนาญหรือคนที่มีอัตราการทำงานเร็วเป็นมาตรฐาน ในที่นี้จะเป็นไปตามสมมติฐานในงานวิจัย

4) การกำหนดเวลาเผื่อ

ในงานประกอบรถยนต์นั้นจะใช้พนักงานปฏิบัติงาน ซึ่งในสภาพแวดล้อมการทำงานจริงนั้นพบว่า พนักงานจะเกิดความเมื่อยล้า หรืออาจจะต้องมีเวลาทำธุระส่วนตัว และส่งผลต่อเวลาในการปฏิบัติงาน ดังนั้นเวลาปรกติที่ได้จากการคำนวณ คือ เวลาซึ่งคนงานที่ชำนาญทำงานด้วยความเร็วปรกติ แต่การทำงานทุกอย่างไม่ใช่จะทำโดยไม่มีการหยุดพักผ่อน หรือเกิดเหตุล่าช้าเลย ดังนั้นจึงต้องมีเวลาเผื่อไว้ให้สำหรับกรณีต่างๆ จากงานวิจัยของ (Bartholdi: 1993) พบว่า ในสายงานการประกอบรถยนต์ ที่ใช้พนักงานประกอบนั้น จะมีเวลาเผื่อไว้ 20 %

5) การหาเวลามาตรฐาน

สำหรับข้อมูลในโรงงานประกอบรถยนต์มีเวลาการทำงานปรกติ 1 วันเท่ากับ 8 ชั่วโมง (480 นาที) แบ่งเป็นเวลาพักทั้งหมด 50 นาที ทั้งนี้จากการเก็บข้อมูลของเวลาในแต่ละกิจกรรมต่างๆพบว่าเวลาเผื่อจากสภาพแวดล้อมในการทำงานมีค่าประมาณ 20 % ของเวลาการทำงานปรกติ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลในงานวิจัย (Bartholdi: 1993)

ตัวอย่าง ค่าเผื่อซึ่งกำหนดเป็น 20% ของเวลาปรกติ

เวลาปรกติของงานปรับตั้งฝากระโปรง	=	3.79	นาที
กำหนดให้เวลาเผื่อทั้งหมด	=	20	%

$$\therefore \text{เวลามาตรฐานของงาน} = 3.79+\left(\frac{20}{100}*3.79\right) \text{ นาที/ชิ้น}$$

$$= 4.36 \text{ นาที/ชิ้น}$$

อย่างไรก็ตามในสภาพความเป็นจริงโดยทั่วไปนั้น ผู้ออกแบบสายการประกอบควรพิจารณาในเรื่องของเวลาของแต่ละขั้นตอนการประกอบด้วยการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงาน หรือออกแบบอุปกรณ์เครื่องมือมาเพื่อช่วยลดเวลาในการประกอบของขั้นตอนนั้นๆได้ เป็นที่ทราบกันดีว่าเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานนั้น จะประกอบไปด้วยต้นทุนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของต้นทุนทางด้านแรงงาน ต้นทุนเสียโอกาส เป็นต้น ซึ่งถ้าหากเรานำหลักการในการปรับปรุงงานเป็นเครื่องมือในการช่วยวิเคราะห์แล้ว จะส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรในการผลิตได้อย่างเหมาะสม เวลามาตรฐานนั้นสามารถพิจารณาได้จากภาคผนวก ก.

4.3 ทดลองการจัดสมดุลการประกอบแบบสองด้านเพื่อนำไปจัดทำโปรแกรม

ในส่วนของการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน จะประยุกต์วิธีการของฮิวริสติกเข้ามาอธิบายถึงวิธีการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงานซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 ฮิวริสติกสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้น จะแบ่งคุณลักษณะของกิจกรรมการประกอบออกเป็น 3 ลักษณะ (ด้านซ้าย,ด้านขวา และจากด้านใดด้านหนึ่ง) ซึ่งเงื่อนไขของงานด้านซ้าย และด้านขวานั้นจะมีความสัมพันธ์กันผ่านงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง ดังนั้นการพิจารณาเงื่อนไขงานที่ต้องทำก่อนจึงมีความจำเป็น จากนั้นกฎฮิวริสติกจะถูกนำมาใช้หลังจากที่เงื่อนไขของงานต่างๆหมดไป และจะพิจารณาว่ามีช่วงเวลาใดบ้างที่สามารถกำหนดงานเข้าสู่สถานีงาน สำหรับระเบียบวิธีการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงานนั้น จะนำเสนอฮิวริสติกฟังก์ชั่นซึ่งมีวิธีการต่างๆมากมายที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ แต่จะนำเสนอวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางซึ่งพบในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบด้านเดียวตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 กฎการจัดงานด้วยวิธีการทางฮิวริสติก

กฎ	วิธีการเลือก
Ranked Positional Weighted Technique: RPWT	เลือกโดยจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนัก
Maximum Duration Time, MAXDUR	เลือกงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน
Minimum Duration Time, MINDUR	เลือกงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน
Maximum Follower, MAXFOL	เลือกงานต่อเนื่องมากสุด
Random,RAND	เลือกงานด้วยการสุ่ม

4.3.1.1 วิธีการจัดสรรงานด้วยการถ่วงน้ำหนัก

วิธีการนี้จะถูกเรียงตามลำดับความสำคัญของแต่ละงานขึ้นอยู่กับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนัก ของแต่ละงานที่มีค่าเท่ากับ ผลรวมของเวลางานทั้งหมดที่ต้องทำต่อจากงานนั้น

4.3.1.2 วิธีการจัดสรรงานโดยเลือกงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน

วิธีการนี้จะทำการเลือกงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานใดที่จะถูกเลือกเหมือนกัน จึงจะทำการสุ่มเลือก Max$|t_{i,j}|$ เมื่อ $t_{i,j}$ เป็นเวลาของงานที่จะถูกเลือก

4.3.1.3 วิธีการจัดสรรงานโดยเลือกงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน

วิธีการนี้จะทำการเลือกงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานใดที่จะถูกเลือกเหมือนกัน จึงจะทำการสุ่มเลือก Min$|t_{i,j}|$ เมื่อ $t_{i,j}$ เป็นเวลาของงานที่จะถูกเลือก

4.3.1.4 วิธีการจัดสรรงานโดยเลือกงานต่อเนื่องมากสุด

วิธีการนี้จะทำการเลือกงานที่มีงานต่อเนื่องมากที่สุดมาทำก่อน แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานใดที่จะถูกเลือกเหมือนกัน จึงจะทำการสุ่มเลือก Max$|s_i|$ เมื่อ s เป็นจำนวนงานที่สามารถทำต่อได้ทันที

4.3.1.5 วิธีการจัดสรรงานโดยเลือกงานด้วยการสุ่ม

วิธีการนี้จะทำการเลือกงานโดยการสุ่มเลือกในกรณีคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกนั้นเท่ากัน ซึ่งมีฟังก์ชั่นคือ RAND

4.3.2 กระบวนการของฮิวริสติกและอัลกอริทึม

กระบวนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอตามรูปที่ 3.1คือ ขั้นตอนการเปิดสถานีงาน และการเรียงลำดับงานในตอนเริ่มต้น (Initial Sequence) ซึ่งจะพิจารณางานที่ต้องทำก่อน จากนั้นจึงเป็นส่วนของการประยุกต์ใช้กฎเกณฑ์ของฮิวริสติกที่ได้กำหนดไว้ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ที่เวลา t=0 เริ่มต้นการทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 เปิดสถานีงานทั้งด้านซ้ายและด้านขวาและจัดงานที่เป็นเงื่อนไขก่อนหน้าเข้าสู่สถานีงาน

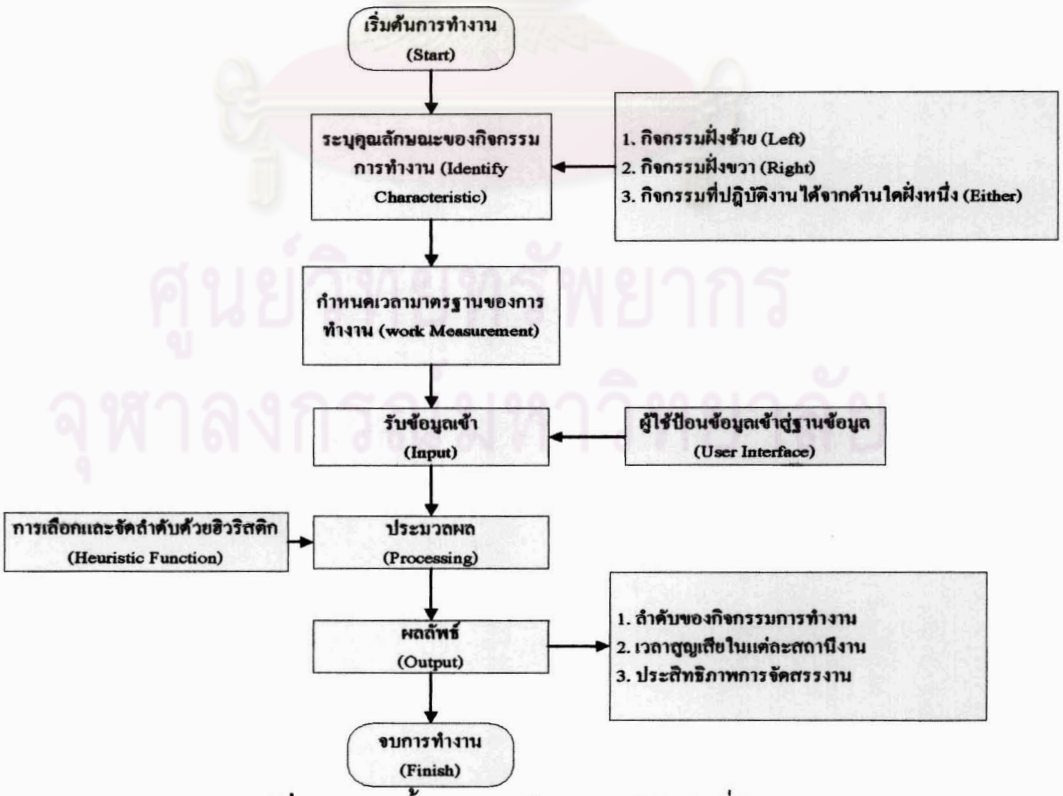
ขั้นตอนที่ 3 เลือกหรือแทรกงานที่สามารถจัดสรรได้โดยไม่ติดลำดับความสัมพันธ์ของงานเข้าสู่ด้าน *j*

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบเวลาของสถานีงานถ้า $\sum T$ >Ct ไปขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 5 เลือกหรือแทรกงานทั้งหมดที่สามารถจัดสรรได้โดยไม่ติดลำดับความสัมพันธ์ของงานเข้าสู่ด้าน *j* ด้วยฮิวริสติกที่เลือกใช้

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบรอบเวลาการผลิตหรือไม่ ถ้างานที่จัดสรรอยู่ภายใต้รอบเวลาการผลิตให้ไปขั้นตอนที่ 7 แต่ถ้าเกินรอบเวลาการผลิตไปขั้นตอนที่ 2

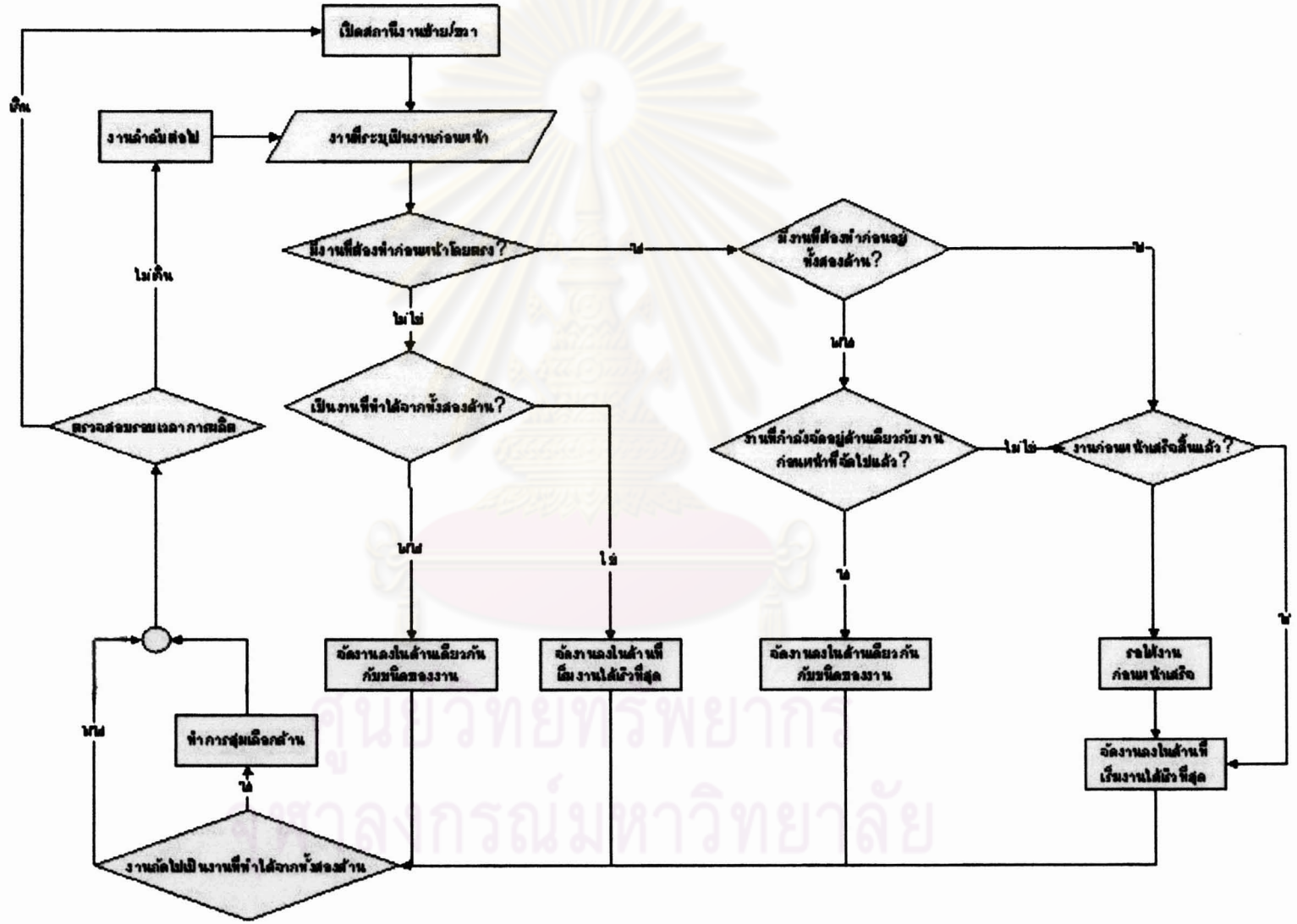
ขั้นตอนที่ 7 เมื่องานถูกจัดสรรหมดแล้ว จึงจบการทำงาน



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ลักษณะของสายการประกอบรถยนต์นั้นในบางสถานีงานจะต้องมีการทำงานทั้งสองด้านของสายการประกอบไปพร้อมๆกัน ซึ่งเรียกสายการประกอบประเภทนี้ว่า สายการประกอบแบบสองด้าน (Two-sided Assembly Line: TAL) โดยแบ่งด้านในการประกอบออกเป็นสองด้านคือ ด้านซ้ายและด้านขวา แต่ยังมีบางงานซึ่งสามารถประกอบได้จากทั้งด้านซ้ายและด้านขวาด้านใดด้านหนึ่ง (งานที่ชิ้นส่วนอยู่บริเวณตรงกลางของผลิตภัณฑ์) และสายการประกอบแบบสองด้านนั้น จะมีสถานีงานที่มีกิจกรรมร่วมเรียกว่า Mate-station ซึ่งจะมีความสัมพันธ์เชิงลำดับของงานร่วมกัน อย่างไรก็ตามการออกแบบรถยนต์นั้นต้องพยายามทำให้ชิ้นส่วนของด้านซ้ายและด้านขวากระจายน้ำหนักใกล้เคียงกัน จึงทำให้กิจกรรมการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ด้านซ้าย จะใกล้เคียงกับกิจกรรมการประกอบชิ้นส่วนด้านขวา และงานทั้งสองด้านจะมีความสัมพันธ์กันผ่านงานที่สามารถประกอบได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ หรือกล่าวได้นัยหนึ่งว่าจะไม่มีงานด้านซ้ายที่มีลำดับก่อนหลังโดยตรงกับงานด้านขวา และพนักงานสองคนควรจะทำงานกันคนละด้านโดยที่พนักงานคนใดคนหนึ่งจะไม่แยกไปทำงานอย่างอื่น

สำหรับอัลกอริที่มที่ทำการจัดสมดุลสายการประกอบจะเริ่มจากการพิจารณางานก่อนที่ต้องทำก่อนที่อยู่ในรายการของงาน ซึ่งจะถูกจัดเข้าสถานีงานตามเงื่อนไขของงานนั้นๆ ในเวลาเดียวกันงานที่ถูกจัดเข้าสถานีงานจะต้องสอดคล้องกับรอบเวลาการผลิตที่กำหนดไว้ ในส่วนนี้จำเป็นต้องมีการสุ่มงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้านของผลิตภัณฑ์ หากพบว่าทั้งสองด้านมีคุณสมบัติที่เท่ากัน ในส่วนนี้จะเป็นการพิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องถูกนำมาจัดสรรลงสู่สถานีงานก่อนซึ่งสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 4.2 เมื่อเสร็จสิ้นการพิจารณางานที่มีความสำคัญที่ต้องทำก่อนแล้ว จะมีงานที่เหลืออยู่ซึ่งงานเหล่านี้จะถูกจัดสรรโดยวิธีการของฮิวริสติก (ที่ได้กำหนดไว้) ที่จะเป็นกลไกในการพิจารณาคุณสมบัติของงานนั้น(งานซ้าย/ขวาจัดสรรลงสถานีงานด้านซ้าย/ขวา) รวมไปถึงเวลาว่างงานแต่ละสถานีงาน ถ้ามีเวลาว่างพอ จึงจัดสรรงานดังกล่าวเข้าสู่สถานีงาน แต่ถ้าช่วงของตารางงานดังกล่าว ไม่สามารถจัดสรรงานเนื่องจากเกินรอบเวลาการผลิต จึงจะทำการเปิดสถานีงานใหม่ ในทำนองเดียวกันเราจะใช้หลักเกณฑ์นี้กับงานที่สามารถประกอบได้จากทั้งสองด้านของผลิตภัณฑ์ด้วยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนวิธีที่ผสมผสานระหว่างวิธีการจัดลำดับงานแบบกฎการจัดลำดับงานแบบสองด้าน

ในส่วนถัดไปจะเป็นส่วนที่อธิบายถึงขั้นตอนในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน โดยขั้นตอนทั้งหมดจะทดลองกับตัวอย่าง 10 และ 22 งาน ที่มีรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 6 นาที ในการพัฒนาวิธีการหาคำตอบสามารถอธิบายได้จากสัญลักษณ์ "*" (ไม่มีงานก่อนหน้า) "**" (ตำแหน่งที่จัดงานลงสู่สถานีงาน) และ "-" (งานที่ไม่ต้องนำมาพิจารณาอีกต่อไป) ซึ่งจะกำหนดวิธีการเลือกด้านและการจัดสรรงานลงสู่สถานี สิ่งที่เราต้องพิจารณาก่อนที่จะลำดับงานลงสู่สถานีงานคือ การเปิดสถานีงาน เนื่องจากการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้น จะมีการทำงานทั้งด้านซ้ายและด้านขวาไปพร้อมๆกัน ดังนั้น เราจึงต้องเปิดสถานีงานด้านซ้ายและขวาก่อนดังขั้นตอนที่จะแสดงในหัวข้อที่ 4.3.3

4.3.3 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน 10 งาน

ในส่วนนี้จะยกตัวอย่างงาน 10 งาน ที่มีลักษณะการประกอบเป็นด้านซ้าย (3งาน) ด้านขวา (3 งาน) และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง (4งาน) ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างขั้นงาน10 งาน และลำดับก่อนหลังของงาน

No	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)	งานก่อนหน้าโดยตรง	จำนวนงานที่ทำต่อได้ทันที
1	L	0.5	-	3
2	R	0.75	-	4
3	L	0.25	1	5,6
4	R	0.15	2	5,6
5	E	0.35	3,4	-
6	E	0.45	3,4	-
7	L	1.15	-	9,10
8	R	1.25	-	9,10
9	E	0.5	7,8	-
10	E	1.5	7,8	-

ก. การจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธี RPWT

ทำการเรียงค่า RPW จากมากไปหาน้อย และแยกงานออกมาเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 4.4 ถึง 4.6 ตามลำดับ เพื่อเริ่มการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน

ตารางที่ 4.4 งานและ RPW ด้านซ้าย

No	RPW	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
			1	2	3	4	5	6
1	1.9	0.5	**	-	-	-	-	-
3	1.4	0.25	1	**	-	-	-	-
7	1.15	1.15	*	*	**	-	-	-

ตารางที่ 4.5 งานและ RPW สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน

No	RPW	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
			1	2	3	4	5	6
5	2.8	0.35	3,4	*	*	**	-	-
6	2.45	0.45	3,4	*	*	**	-	-
9	2	0.5	7,8	7,8	*	*	**	-
10	1.5	1.5	7,8	7,8	*	*	**	-

ตารางที่ 4.6 งานและ RPW ด้านขวา

No	RPW	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
			1	2	3	4	5	6
2	2.15	0.75	**	-	-	-	-	-
4	1.4	0.15	2	**	-	-	-	-
8	1.25	1.25	*	*	**	-	-	-

ระเบียบวิธี : การจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนัก

<u>ขั้นที่ 1:</u>

เรียงงานทั้งหมดและแยกงานออกเป็น 3 ลักษณะคือ งานด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง รวมไปถึงพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักของแต่ละงาน ยกตัวอย่างสำหรับงานทางด้านขวา RPW ของงานที่ 2 เท่ากับผลรวมของเวลางานที่ 4 และ 8 รวมกับเวลางานของตัวเองด้วย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.25+0.15+0.75=2.15 เป็นต้น

ขั้นที่ 2:

พิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาทำก่อนในตาราง ซึ่งถ้าหากเป็นงานทาง ด้านซ้าย/ขวา ให้จัดเข้าด้าน ซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากกด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า

ขั้นที่ 3:

ลบงานที่จัดสรรออกจากรายการงานโดยทำเครื่องหมาย "-"และงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจะแสดงเครื่องหมาย "*"

ขั้นที่ 4:

ในขั้นตอนนี้งานที่มีความสำคัญ(งานที่ต้องนำมาพิจารณาก่อน)จะถูกจัดสรรลงสู่สถานีงานหมดแล้ว แต่ยังพบว่ายังเหลืองานที่ไม่มีเงื่อนไขของงานก่อนหน้าอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งงานจำนวนนี้จะถูกเลือกโดยการพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักของแต่ละงาน ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากกด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกเท่ากันจะทำการสุ่มงานเพื่อจัดลงสู่สถานีงานให้ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจัดสรรงานที่เหลือจนหมดในรายการ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนัก

จากระเบียบวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้นสามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลจากการจัดด้วยวิธี RPWT 10 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	1	0.5	0.5	1	2	0.75	0.75
	3	0.25	0.75		4	0.15	0.9
	7	1.15	1.9		8	1.25	2.15
	5	0.35	2.25		6	0.45	2.6
	9	0.5	2.75		10	1.5	4.1

จากผลจากการจัดสมดุลด้วยวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักจะมีทั้งหมด 1 สถานีงาน กิจกรรมร่วมที่ประกอบไปด้วยสถานีงานทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเวลางานที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 12 นาทีซึ่ง ในที่นี้ประสิทธิภาพเท่ากับ $\left[1-\frac{(2*6)-(2.75+4.1)}{(2*6)}\right]*100$ =57.08%

ข. การจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธี MAXDUR

ทำการเรียงเวลาจากมากไปหาน้อยและแยกงานออกมาเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 4.8 ถึง 4.10 ตามลำดับ เพื่อเริ่มการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน

ตารางที่ 4.8 การจัดงานด้วย MAXDUR ของด้านซ้าย

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
		1	2	3	4	5	6
7	1.15	*	*	**	-	-	-
1	0.50	**	-	-	-	-	-
3	0.25	1	**	-	-	-	-

ตารางที่ 4.9 การจัดงานด้วย MAXDUR ของงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
		1	2	3	4	5	6
10	1.50	7,8	7,8	*	**	-	-
9	0.50	7,8	7,8	*	**	-	-
6	0.45	3,4	*	*	*	**	-
5	0.35	3,4	*	*	*	**	-

ตารางที่ 4.10 การจัดงานด้วย MAXDUR ของด้านขวา

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
		1	2	3	4	5	6
8	1.25	*	*	**	-	-	-
2	0.75	**	-	-	-	-	-
4	0.15	2	**	-	-	-	-

ระเบียบวิธี : การเลือกโดยงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน

ขั้นที่ 1:

เรียงงานทั้งหมดและแยกงานออกเป็น 3 ลักษณะคืองานด้าน ซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง รวมไปถึงพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน โดยให้เรียงงานที่ใช้เวลามากไปน้อย

ขั้นที่ 2:

พิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาทำก่อนในตาราง ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากกด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า

ขั้นที่ 3:

ลบงานที่จัดสรรออกจากรายการงานโดยทำเครื่องหมาย "-"และงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจะแสดงเครื่องหมาย "*"

ขั้นที่ 4:

ในขั้นตอนนี้งานที่มีความสำคัญ(งานที่ต้องนำมาพิจารณาก่อน)จะถูกจัดสรรลงสู่สถานีงานหมดแล้ว แต่ยังพบว่ายังเหลืองานที่ไม่มีเงื่อนไขของงานก่อนหน้าอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งงานจำนวนนี้จะถูกเลือกโดยการพิจารณาจากงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกเท่ากันจะทำการสุ่มงานเพื่อจัดลงสู่สถานีงาน ให้ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจัดสรรงานที่เหลือจนหมดในรายการ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการเลือกโดยงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน

จากระเบียบวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้นสามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXDUR 10 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	1	0.5	0.5	1	2	0.75	0.75
	3	0.25	0.75		4	0.15	0.9
	7	1.15	1.9		8	1.25	2.15

ตารางที่ 4.11(ต่อ) ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXDUR 10 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	10	1.5	3.4	1	9	0.5	2.65
					6	0.45	3.1
					5	0.35	3.45

จากผลจากการจัดสมดุลด้วยวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักจะมีทั้งหมด 1 สถานีงาน กิจกรรมร่วมที่ประกอบไปด้วยสถานีงานทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเวลางานที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 12 นาทีซึ่งในที่นี้ประสิทธิภาพเท่ากับ $\left[1-\frac{(2*6)-(3.4+3.45)}{(2*6)}\right]*100=57.08\%$

ค. การจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธี MINDUR

ทำการเรียงเวลาจากน้อยไปหามากและแยกงานออกมาเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 4.12 ถึง 4.14 ตามลำดับ เพื่อเริ่มการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน

ตารางที่ 4.12 การจัดงานด้วย MINDUR ของด้านซ้าย

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
		1	2	3	4	5	6
3	0.25	1	**	-	-	-	-
1	0.50	**	-	-	-	-	-
7	1.15	*	*	**	-	-	-

ตารางที่ 4.13 การจัดงานด้วย MINDUR ของงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
		1	2	3	4	5	6
5	0.35	3,4	*	*	**	-	-
6	0.45	3,4	*	*	**	-	-
9	0.5	7,8	7,8	*	*	**	-

ตารางที่ 4.13(ต่อ) การจัดงานด้วย MINDUR ของงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
		1	2	3	4	5	6
10	1.5	7,8	7,8	*	*	**	-

ตารางที่ 4.14 การจัดงานด้วย MINDUR ของด้านขวา

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
		1	2	3	4	5	6
4	0.15	2	**	-	-	-	-
2	0.75	**	-	-	-	-	-
8	1.25	*	*	**	-	-	-

ระเบียบวิธี : การเลือกโดยงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน

ขั้นที่ 1:

เรียงงานทั้งหมดและแยกงานออกเป็น 3 ลักษณะคือ งานด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง รวมไปถึงพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน โดยให้เรียงงานที่ใช้เวลาน้อยไปมาก

ขั้นที่ 2:

พิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาทำก่อนในตาราง ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากกด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า

ขั้นที่ 3:

ลบงานที่จัดสรรออกจากรายการงานโดยทำเครื่องหมาย "-"และงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจะแสดงเครื่องหมาย "*"

ขั้นที่ 4:

ในขั้นตอนนี้งานที่มีความสำคัญ(งานที่ต้องนำมาพิจารณาก่อน)จะถูกจัดสรรลงสู่สถานีงานหมดแล้ว แต่ยังพบว่ายังเหลืองานที่ไม่มีเงื่อนไขของงานก่อนหน้าอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งงานจำนวนนี้จะถูกเลือกโดยการพิจารณาด้วยวิธี MINDUR ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกเท่ากันจะทำ

การสุ่มงานเพื่อจัดลงสู่สถานีงาน ให้ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจัดสรรงานที่เหลือจนหมดในรายการ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการเลือกโดยงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน จากระเบียบวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้นสามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลจากการจัดด้วยวิธี MINDUR 10 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	1	0.5	0.5	1	2	0.75	0.75
	3	0.25	0.75		4	0.15	0.9
	7	1.15	1.9		8	1.25	2.15
	5	0.35	2.25		6	0.45	2.6
	9	0.5	2.75		10	1.5	4.1

จากผลจากการจัดสมดุลด้วยวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักจะมีทั้งหมด 1 สถานีงาน กิจกรรมร่วมที่ประกอบไปด้วยสถานีงานทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเวลางานที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 12 นาทีซึ่งในที่นี้ประสิทธิภาพเท่ากับ $\left[1-\frac{(2*6)-(2{,}75+4.1)}{(2*6)}\right]*100$ =57.08%

ง. การจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธี MAXFOL

ทำการเรียงค่าของงานที่มีงานทำต่อได้ (Ctn) จากมากไปหาน้อย และแยกงานออกมาเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 4.16 ถึง 4.18 ตามลำดับ เพื่อเริ่มการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน

ตารางที่4.16 งานและ MAXFOL ด้านซ้าย

No	Ctn	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
			1	2	3	4	5	6
7	2	1.15	*	*	**	-	-	-
3	2	0.25	1	**	-	-	-	-
1	1	0.50	**	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.17 งานและ MAXFOL สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติได้จากทั้งสองด้าน

No	Ctn	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
			1	2	3	4	5	6
5	2	0.35	3,4	*	*	**	-	-
6	2	0.45	3,4	*	*	**	-	-
9	1	0.5	7,8	7,8	*	*	**	-
10	0	1.5	7,8	7,8	*	*	**	-

ตารางที่ 4.18 งานและ MAXFOL ด้านขวา

No	Ctn	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า					
			1	2	3	4	5	6
8	2	1.25	*	*	**	-	-	-
4	2	0.15	2	**	-	-	-	-
2	1	0.75	**	-	-	-	-	-

ระเบียบวิธี : การเลือกงานที่มีงานทำต่อได้ทันทีมากที่สุด

ขั้นที่ 1:

เรียงงานทั้งหมดและแยกงานออกเป็น 3 ลักษณะคือ งานด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง รวมไปถึงพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน โดยให้เรียงงานที่มีงานทำต่อได้ทันทีมากที่สุด

ขั้นที่ 2:

พิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาทำก่อนในตาราง ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวา ให้จัดเข้าด้าน ซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากกด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ให้เลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า

ขั้นที่ 3:

ลบงานที่จัดสรรออกจากรายการงานโดยทำเครื่องหมาย "-"และงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจะแสดงเครื่องหมาย "*"

ขั้นที่ 4:

ในขั้นตอนนี้งานที่มีความสำคัญ(งานที่ต้องนำมาพิจารณาก่อน)จะถูกจัดสรรลงสู่สถานีงานหมดแล้ว แต่ยังพบว่ายังเหลืองานที่ไม่มีเงื่อนไขของงานก่อนหน้าอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งงานจำนวนนี้จะถูกเลือกโดยการพิจารณาจากงานที่มีงานทำต่อได้ทันทีมากที่สุดมาทำก่อน ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกเท่ากันจะทำการสุ่มงานเพื่อจัดลงสู่สถานีงาน ให้ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจัดสรรงานที่เหลือจนหมดในรายการ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการเลือกโดยงานที่มีงานทำต่อได้ทันทีมากที่สุดมาทำก่อน จากกระเบียบวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้นสามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXFOL 10 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	1	0.5	0.5	1	2	0.75	0.75
	3	0.25	0.75		4	0.15	0.9
	7	1.15	1.9		8	1.25	2.15
	5	0.35	2.25		6	0.45	2.6
	9	0.5	2.75		10	1.5	4.1

จากผลจากการจัดสมดุลด้วยวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักจะมีทั้งหมด 1 สถานีงาน กิจกรรมร่วมที่ประกอบไปด้วยสถานีงานทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเวลางานที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 12 นาทีซึ่งในที่นี้ประสิทธิภาพเท่ากับ $\left[1-\frac{(2*6)-(2.75+4.1)}{(2*6)}\right]*100=57.08\%$

4.3.4 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน 22 งาน

ในส่วนนี้จะยกตัวอย่างงาน 22 งาน ที่มีลักษณะการประกอบเป็นด้านซ้าย (8งาน) ด้านขวา (9งาน) และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง (5งาน) ตามตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ตัวอย่างขั้นงาน 22 งาน และลำดับก่อนหลังของงาน

No	ด้าน	เวลาที่ใช้ (นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า	งานที่ทำต่อได้ทันที
1	L	0.49	-	5
2	R	0.55	-	6
3	L	1.32	-	7
4	R	3.16	-	8
5	L	1.54	1	10
6	R	1.44	2	11
7	L	1.19	3	12
8	R	1.38	4	13
9	R	5.26	6	-
10	L	1.19	5	-
11	R	1.09	6	-
12	L	0.38	-	16
13	R	0.38	-	17
14	E	2.37	-	15
15	E	1.01	14	-
16	L	1.36	12	-
17	R	1.24	13	-
18	E	2.34	16,17	20
19	E	3.06	14	-
20	E	2.25	18	-
21	L	3.13	20	-
22	R	3.27	20	-

ก. การจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธี RPWT

ทำการเรียงค่า RPWT จากมากไปหาน้อย และแยกงานออกมาเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 4.21 ถึง 4.23 ตามลำดับ เพื่อเริ่มการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน

ตารางที่ 4.21 วิธีการจัดงานด้วย RPWT สำหรับงานทางด้านซ้าย

No	RPW	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	10.2	0.49	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	9.71	1.32	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	8.39	1.54	1	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	6.85	1.19	3	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-
10	5.66	1.19	5	5	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-
12	4.47	0.38	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	4.09	0.96	12	12	12	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	3.13	3.13	20	20	20	20	20	20	*	*	*	*	*	*	**	-	-

ตารางที่ 4.22 วิธีการจัดงานด้วย RPWT สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากทั้งสองด้าน

No	RPW	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14	11.03	2.37	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	8.66	1.01	14	14	14	14	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-
18	7.65	2.34	16,17	16,17	16,17	16,17	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-
19	5.31	3.06	14	14	14	14	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-
20	2.25	2.25	18	18	18	18	18	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.23 วิธีการจัดงานด้วย RPWTสำหรับงานทางด้านขวา

No	RPW	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	17.37	0.55	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	16.82	3.16	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	13.66	1.44	2	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	12.22	1.38	4	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-
9	10.84	5.26	6	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-
11	5.58	1.09	6	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-
13	4.49	0.38	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	4.11	0.84	13	13	13	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	3.27	3.27	20	20	20	20	20	20	*	*	*	*	*	*	*	**	-

ระเบียบวิธี : การจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนัก

ขั้นที่ 1:

เรียงงานทั้งหมดและแยกงานออกเป็น 3 ลักษณะคือ งานด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง รวมไปถึงพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักของแต่ละงาน ยกตัวอย่างสำหรับงานทางด้านขวา RPW ของงานที่ 17 เท่ากับผลรวมของเวลางานที่ 22 รวมกับเวลางานของตัวเองด้วย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.37+0.84=4.11 เป็นต้น

ขั้นที่ 2:

พิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาทำก่อนในตาราง ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าหากพบว่าสามารถเริ่มงานได้พร้อมกัน จึงจะใช้การสุ่มงานเข้าไปในด้านใดด้านหนึ่ง ยกตัวอย่างงาน 14 เป็นงานที่สามารถทำได้จากทั้งสองด้าน ขณะที่จะต้องจัดงาน 14 เข้าสถานีงานพบว่าเวลาที่เหลืออยู่ในแต่ละด้านไม่สามารถแทรกงานดังกล่าวลงไปได้ จึงทำการเปิดสถานีงานใหม่และทำการสุ่มเข้าที่สถานีงานด้านซ้ายของผลิตภัณฑ์

ขั้นที่ 3:

ลบงานที่จัดสรรออกจากรายการงานโดยทำเครื่องหมาย "-"และงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจะแสดงเครื่องหมาย "*"

ขั้นที่ 4:

ในขั้นตอนนี้งานที่มีความสำคัญ(งานที่ต้องนำมาพิจารณาก่อน)จะถูกจัดสรรลงสู่สถานีงานหมดแล้ว แต่ยังพบว่ายังเหลืองานที่ไม่มีเงื่อนไขของงานก่อนหน้าอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งงานจำนวนนี้จะถูกเลือกโดยการพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักของแต่ละงาน ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากกด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกเท่ากันจะทำการสุ่มงานเพื่อจัดลงสู่สถานีงานให้ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจัดสรรงานที่เหลือจนหมดในรายการ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักจากระเบียบวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้นสามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ผลจากการจัดด้วยวิธี RPWT 22 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	1	0.49	0.49	1	2	0.55	0.55
	3	1.32	1.81		4	3.16	3.71
	5	1.54	3.35		6	1.44	5.15
	12	0.38	3.73		13	0.38	5.53
	IDLE	2.27	6.0		IDLE	0.47	6.0
2	14	2.37	2.37	2	17	1.24	1.24
	16	1.36	3.73		IDLE	4.76	6.0
	IDLE	2.27	6.0	3	IDLE	2.34	2.34
3	18	2.34	2.34		20	2.25	4.59
	15	1.01	3.35		8	1.38	5.97
	7	1.19	4.54		IDLE	0.03	6.0

ตารางที่ 4.24(ต่อ) ผลจากการจัดด้วยวิธี RPWT 22 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
3	10	1.19	5.73	4	9	5.26	5.26
	IDLE	0.27	6.0		IDLE	0.74	6.0
4	19	3.06	3.06	5	11	1.09	1.09
	IDLE	2.94	6.0		22	3.27	4.36
5	21	3.13	3.13				

จากผลจากการจัดสมดุลด้วยวิธีการจัดลำดับตำแหน่งเชิงถ่วงน้ำหนักจะมีทั้งหมด 10 สถานีงาน กิจกรรมร่วมที่ประกอบไปด้วยสถานีงานทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเวลางานที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 60 นาทีซึ่ง ในที่นี้ประสิทธิภาพเท่ากับ $\left[1-\frac{(10*6)-(19.38+20.02)}{(10*6)}\right]*100=65.67\%$

ข. การจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธี MAXDUR

ทำการเรียงเวลาจากมากไปหาน้อย และแยกงานออกมาเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 4.25 ถึง 4.27 ตามลำดับ เพื่อเริ่มการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน

ตารางที่ 4.25 วิธีการจัดงานด้วย MAXDUR สำหรับงานทางด้านซ้าย

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21	3.13	20	20	20	20	20	20	*	*	**	-	-	-	-	-	-
5	1.54	1	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1.36	12	12	12	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1.32	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1.19	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-
10	1.19	5	5	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-
1	0.49	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.25(ต่อ) วิธีการจัดงานด้วย MAXDUR สำหรับงานทางด้านซ้าย

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12	0.38	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.26 วิธีการจัดงานด้วย MAXDUR สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากทั้งสองด้าน

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20	4.36	18	18	18	18	18	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-
19	3.06	14	14	14	14	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-
14	2.37	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	2.34	16,17	16,17	16,17	16,17	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-
15	1.01	14	14	14	14	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-

ตารางที่ 4.27 วิธีการจัดงานด้วย MAXDUR สำหรับงานทางด้านขวา

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9	5.26	6	6	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-
22	3.27	20	20	20	20	20	20	*	*	*	*	*	*	**	-	-
4	3.16	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1.44	2	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1.38	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-
17	1.24	13	13	13	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	1.09	6	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**
2	0.55	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	0.38	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ระเบียบวิธี : การเลือกโดยงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน

ขั้นที่ 1:

เรียงงานทั้งหมดและแยกงานออกเป็น 3 ลักษณะคือ งานด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง รวมไปถึงพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน โดยให้เรียงงานที่ใช้เวลามากไปน้อย

ขั้นที่ 2:

พิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาทำก่อนในตาราง ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากกด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า

ขั้นที่ 3:

ลบงานที่จัดสรรออกจากรายการงานโดยทำเครื่องหมาย "-"และงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจะแสดงเครื่องหมาย "*"

ขั้นที่ 4:

ในขั้นตอนนี้งานที่มีความสำคัญ(งานที่ต้องนำมาพิจารณาก่อน)จะถูกจัดสรรลงสู่สถานีงานหมดแล้ว แต่ยังพบว่ายังเหลืองานที่ไม่มีเงื่อนไขของงานก่อนหน้าอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งงานจำนวนนี้จะถูกเลือกโดยการพิจารณาจากงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อน ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกเท่ากันจะทำการสุ่มงานเพื่อจัดลงสู่สถานีงาน ให้ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจัดสรรงานที่เหลือจนหมดในรายการ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการเลือกโดยงานที่ใช้เวลามากที่สุดมาทำก่อนจากระเบียบวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้น สามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXDUR 22 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	1	0.49	0.49	1	2	0.55	0.55
	3	1.32	1.81		4	3.16	3.71
	5	1.54	3.35		6	1.44	5.15

ตารางที่ 4.28 (ต่อ) ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXDUR 22 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
2	12	0.38	3.73	2	13	0.38	5.53
	IDLE	2.27	6		IDLE	0.47	6
	14	2.37	2.37		17	1.24	1.24
	16	1.36	3.73		IDLE	4.76	6
	IDLE	2.27	6	3	IDLE	2.34	2.34
3	18	2.34	2.34		20	2.25	4.59
	21	3.13	5.47		IDLE	1.41	6
	IDLE	0.53	6	4	9	5.26	5.26
4	19	3.06	3.06		IDLE	0.74	6
	10	1.19	4.25	5	22	3.27	3.27
	7	1.19	5.44		8	1.38	4.65
	IDLE	0.56	6		11	1.09	5.74
5	15	1.01	1.01				

จากผลจากการจัดสมดุลด้วยวิธีการจัดลำดับด้วยการเลือกกิจกรรมที่ใช้เวลามากสุดมาทำก่อน จะมีทั้งหมด 10 สถานีงานกิจกรรมร่วมที่ประกอบไปด้วยสถานีงานทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเวลางานที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 60 นาทีซึ่งในที่นี้ประสิทธิภาพเท่ากับ $\left[1-\frac{(10*6)-(19.38+20.22)}{(10*6)}\right]*100=65.67\%$

ค. การจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธี MINDUR

ทำการเรียงเวลาจากมน้อยไปหามากและแยกงานออกมาเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 4.29 ถึง 4.31 ตามลำดับ เพื่อเริ่มการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน

ตารางที่ 4.29 วิธีการจัดงานด้วย MINDUR สำหรับงานทางด้านซ้าย

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12	0.38	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	0.49	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1.19	5	5	*	*	*	*	*	*	*	*	**		-	-	-
7	1.19	3	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-
3	1.32	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1.36	12	12	12	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1.54	1	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	3.13	20	20	20	20	20	20	*	*	*	*	*	*	*	**	-

ตารางที่ 4.30 วิธีการจัดงานด้วย MINDUR สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากทั้งสองด้าน

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
15	1.01	14	14	14	14	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-
18	2.34	16,17	16,17	16,17	16,17	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-
14	2.37	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	3.06	14	14	14	14	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-
20	4.36	18	18	18	18	18	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.31 วิธีการจัดงานด้วย MINDUR สำหรับงานทางด้านขวา

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
13	0.38	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.55	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	1.09	6	6	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.31(ต่อ) วิธีการจัดงานด้วย MINDUR สำหรับงานทางด้านขวา

No	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17	1.24	13	13	13	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1.38	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-
6	1.44	2	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3.16	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	3.27	20	20	20	20	20	20	*	*	*	*	*	*	**	-	-
9	5.26	6	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-

ระเบียบวิธี : การเลือกโดยงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน

ขั้นที่ 1:

เรียงงานทั้งหมดและแยกงานออกเป็น 3 ลักษณะคือ งานด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง รวมไปถึงพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน โดยให้เรียงงานที่ใช้เวลาน้อยไปมาก

ขั้นที่ 2:

พิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาทำก่อนในตาราง ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า

ขั้นที่ 3:

ลบงานที่จัดสรรออกจากรายการงานโดยทำเครื่องหมาย "-"และงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจะแสดงเครื่องหมาย "*"

ขั้นที่ 4:

ในขั้นตอนนี้งานที่มีความสำคัญ(งานที่ต้องนำมาพิจารณาก่อน)จะถูกจัดสรรลงสู่สถานีงานหมดแล้ว แต่ยังพบว่ายังเหลืองานที่ไม่มีเงื่อนไขของงานก่อนหน้าอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งงานจำนวนนี้จะถูกเลือกโดยการพิจารณาจากงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกเท่ากันจะทำการสุ่มงานเพื่อจัดลงสู่สถานีงาน ให้ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจัดสรร

งานที่เหลือจนหมดในรายการ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการเลือกโดยงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อนจากระเบียบวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้น สามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ผลจากการจัดด้วยวิธี MINDUR 22 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	1	0.49	0.49	1	2	0.55	0.55
	3	1.32	1.81		2	0.55	0.55
	5	1.54	3.35		4	3.16	3.71
	12	0.38	3.73		6	1.44	5.15
	IDLE	2.27	6		13	0.38	5.53
2	14	2.37	2.37		IDLE	0.47	6
	16	1.36	3.73	2	17	1.24	1.24
	IDLE	2.27	6		IDLE	4.76	6
3	18	2.34	2.34	3	IDLE	2.34	2.34
	20	2.25	4.59		15	1.01	3.35
	7	1.19	5.78		11	1.09	4.44
	IDLE	0.22	6		8	1.38	5.82
4	10	1.19	1.19		IDLE	0.18	6
	21	3.13	4.32	4	19	3.06	3.06
					IDLE	2.94	6
				5	22	3.27	3.27
					IDLE	2.73	6
				6	9	5.26	5.26

จากผลจากการจัดสมดุลด้วยวิธีการเลือกกิจกรรมที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน จะมีทั้งหมด 10 สถานีงานกิจกรรมร่วมที่ประกอบไปด้วยสถานีงานทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเวลางานที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 60 นาทีซึ่งในที่นี้ประสิทธิภาพเท่ากับ $\left[1-\frac{(10*6)-(17.56+21.84)}{(10*6)}\right]*100=65.67\%$

ง. การจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธี MAXFOL

ทำการเรียงค่าของงานที่มีงานทำต่อได้ (Ctn) จากมากไปหาน้อย และแยกงานออกมาเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 4.33 ถึง 4.35 ตามลำดับ เพื่อเริ่มการจัดสรรงานเข้าสู่สถานีงาน

ตารางที่ 4.33 วิธีการจัดงานด้วย MAXFOL สำหรับงานทางด้านซ้าย

No	Ctn	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0.49	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1	1.32	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1	1.54	1	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1	1.19	3	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-
12	1	0.38	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0	1.19	5	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-
16	0	1.36	12	12	12	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	0	3.13	20	20	20	20	20	20	20	*	*	**	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.34 วิธีการจัดงานด้วย MAXFOL สำหรับงานที่สามารถปฏิบัติงานได้จากทั้งสองด้าน

No	Ctn	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14	1	2.37	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1	2.34	16,17	16,17	16,17	16,17	16	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-
15	0	1.01	14	14	14	14	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-
19	0	3.06	14	14	14	14	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-
20	0	4.36	18	18	18	18	18	18	18	**	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.35 วิธีการจัดงานด้วย MAXFOL สำหรับงานทางด้านขวา

No	Ctn	Time	งานที่ต้องทำก่อนหน้า														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	1	0.55	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1	3.16	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1	1.44	2	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1	1.38	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-
13	1	0.38	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0	1.09	6	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-
9	0	5.26	6	6	*	*	*	*	*	*	**	-	-	-	-	-	-
17	0	0.84	13	13	13	*	**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0	3.27	20	20	20	20	20	20	20	*	*	*	**	-	-	-	-

ระเบียบวิธี : การเลือกงานที่มีงานทำต่อได้ทันทีมากที่สุด

ขั้นที่ 1:

เรียงงานทั้งหมดและแยกงานออกเป็น 3 ลักษณะคือ งานด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง รวมไปถึงพิจารณาลำดับตามความสำคัญของงาน โดยให้เรียงงานที่มีงานทำต่อได้ทันทีมากที่สุด

ขั้นที่ 2:

พิจารณางานที่มีความสำคัญที่จะต้องนำมาทำก่อนในตาราง ซึ่งถ้าหากเป็นงานทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากกด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า

ขั้นที่ 3:

ลบงานที่จัดสรรออกจากรายการงานโดยทำเครื่องหมาย "-"และงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจะแสดงเครื่องหมาย "*"

ขั้นที่ 4:

ในขั้นตอนนี้งานที่มีความสำคัญ(งานที่ต้องนำมาพิจารณาก่อน)จะถูกจัดสรรลงสู่สถานีงานหมดแล้ว แต่ยังพบว่ายังเหลืองานที่ไม่มีเงื่อนไขของงานก่อนหน้าอยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งงานจำนวนนี้จะถูกเลือกโดยการพิจารณาจากงานที่มีงานทำต่อได้ทันทีมากที่สุดมาทำก่อน ซึ่งถ้าหากเป็นงาน

ทางด้านซ้าย/ขวาให้จัดเข้าด้านซ้าย/ขวา และงานที่สามารถปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่งของผลิตภัณฑ์ ในเลือกจัดสรรงานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่า แต่ถ้าพบว่าคุณสมบัติของงานที่จะถูกเลือกเท่ากันจะทำการสุ่มงานเพื่อจัดลงสู่สถานีงาน ให้ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวจัดสรรงานที่เหลือจนหมดในรายการ จึงเสร็จสิ้นกระบวนการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยวิธีการเลือกโดยงานที่มีงานทำต่อได้ทันทีมากที่สุดมาทำก่อนจากระเบียบวิธีการที่ได้อธิบายข้างต้นสามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบตามตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 ผลจากการจัดด้วยวิธี MAXFOL 22 งาน

ซ้าย				ขวา			
สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม	สถานีงาน	งานที่จัดสรร	เวลางาน	เวลาสะสม
1	1	0.49	0.49	1	2	0.55	0.55
	3	1.32	1.81		4	3.16	3.71
	5	1.54	3.35		6	1.44	5.15
	12	0.38	3.73		13	0.38	5.53
	IDLE	2.27	6		IDLE	0.47	6
2	14	2.37	2.37	2	17	1.24	1.24
	16	1.36	3.73		IDLE	4.76	6
	IDLE	2.27	6	3	IDLE	2.34	2.34
3	18	2.34	2.34		20	2.25	4.59
	7	1.19	3.53		8	1.38	5.97
	IDLE	1.06	4.59		IDLE	0.03	6
	IDLE	1.41	6	4	9	5.26	5.26
4	21	3.13	3.13		IDLE	0.74	6
	IDLE	2.87	6	5	22	3.27	3.27
5	19	3.06	3.06		11	1.09	4.36
	10	1.19	4.25				
	15	1.01	5.26				

จากผลจากการจัดสมดุลด้วยวิธีการการเลือกงานที่มีงานต่อมากสุดมาทำก่อนจะมีทั้งหมด 10 สถานีงานกิจกรรมร่วมที่ประกอบไปด้วยสถานีงานทั้ง 2 ด้าน ดังนั้นเวลางานที่ต้องการทั้งหมดเท่ากับ 60 นาทีซึ่งในที่นี้ประสิทธิภาพเท่ากับ $\left[1-\frac{(10*6)-(19.38+20.02)}{(10*6)}\right]*100$ =65.67%

4.4 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

ในการพัฒนาโปรแกรมได้เลือก ใช้ภาษา Java และใช้ไลบรารี JFreeChart และ JCommon เพื่อนำเสนอข้อมูลแบบกราฟแท่ง สำหรับ Java นั้นมีข้อดีดังนี้

1) มีโครงสร้างทางภาษาที่ชัดเจน และสนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object-Oriented Programming) ที่ง่ายต่อการพัฒนา
2) มีโครงสร้างของข้อมูลที่เหมาะสมกับสามารถรองรับรูปแบบของข้อมูลในงานวิจัยนี้ และสามารถใช้งานได้ทันที
3) ภาษา Java นั้นเป็นภาษาที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายในการใช้พัฒนา กล่าวคือ โปรแกรมที่ใช้พัฒนา (Integrated Development Editor), ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม (Programming Language), การแปลงเป็นโปรแกรมพร้อมใช้งาน (Compiler) และส่วนสนับสนุนการเรียกใช้งาน (Runtime Environment) เหล่านี้ไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ จึงไม่มีปัญหาเรื่องลิขสิทธิ์
4) สามารถใช้งานได้ในหลายระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows และ Unix-based โดยไม่ต้องนำ Source Code มา Compile ใหม่

สำหรับการพัฒนาโปรแกรมการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนอง 1) จำนวนสถานีงานที่เหมาะสมโดยที่กำหนดรอบเวลาการผลิตมาให้ 2) สามารถจัดสรรงานได้ทั้งด้านซ้าย/ด้านขวา และงานที่สามารถทำได้จากทั้งสองด้านของผลิตภัณฑ์ 3) สามารถทราบถึงเวลาว่างงานของแต่ละสถานีงานได้

4.4.1 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

ขั้นตอนการใช้งานประกอบด้วย

1) การเตรียมการใช้งานโปรแกรม โดยการติดตั้งโปรแกรม JAVA JDK ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำตั้งแต่ 64MB ขึ้นไป
2) ในการประมวลผลโปรแกรมให้เปิด เพื่อเริ่มต้นใช้งาน

4.4.2 คุณสมบัติของโปรแกรมที่ใช้จัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

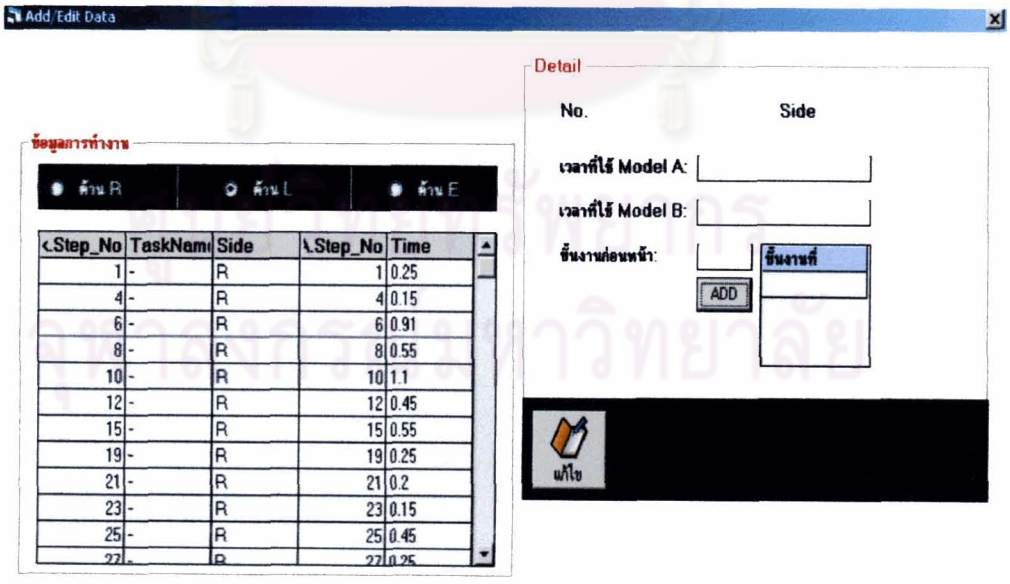
1) ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลของแต่ละกิจกรรมงานได้
2) สามารถจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่สอดคล้องกับเวลาการทำงานจริง
3) สามารถทราบถึงประสิทธิภาพในการจัดสรรงานได้
4) สามารถทราบถึงเวลาว่างงานในแต่ละสถานีงานได้
5) ผู้ใช้งานสามารถทราบได้ทันทีว่าเกิดเวลาสูญเสียที่ช่วงใดของการประกอบซึ่งง่ายต่อการพิจารณาเพื่อปรับปรุงที่นำไปสู่ประสิทธิภาพสายการประกอบเพิ่มขึ้น

4.4.3 โครงสร้างของโปรแกรม

โปรแกรมการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่พัฒนาขึ้นจะแบ่งออกเป็นโมดูลต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

4.4.3.1 โมดูลการรับข้อมูลเข้า

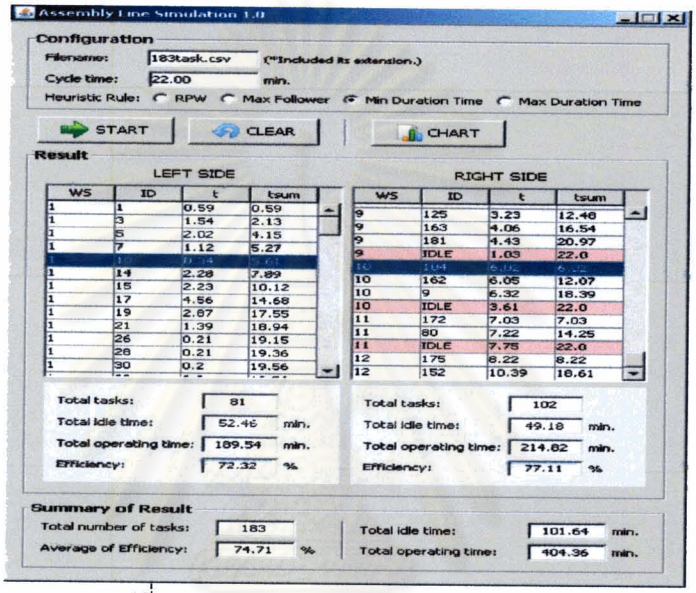
จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากผู้ใช้งาน โดยที่ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลของแต่ละกิจกรรมงานได้โดยการคลิ๊กที่ปุ่มแก้ไข เช่น เวลาที่ใช้ในการผลิต ลำดับงานก่อนและหลัง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ส่วนของการปรับเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในการผลิต

4.4.3.2 โมดูลการประมวลผล

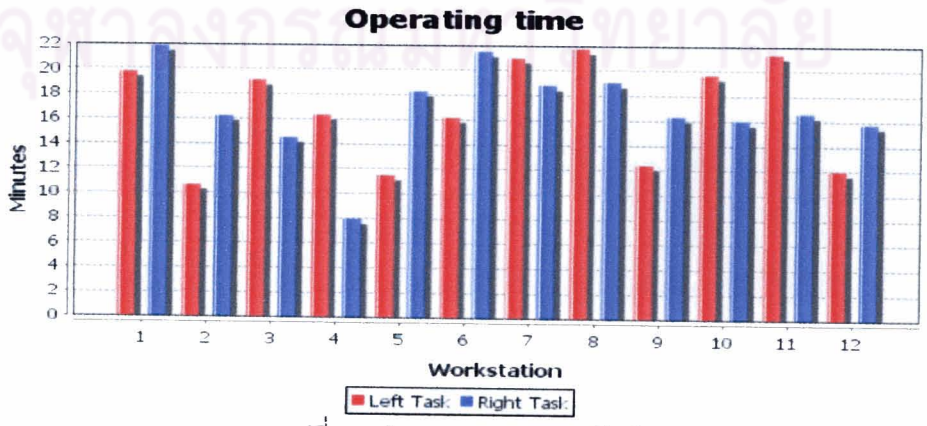
เป็นโมดูลที่ผู้ใช้งานจะทำการเลือกกฎใดกฎหนึ่งจากทั้ง 4 กฎและสามารถปรับเปลี่ยนรอบเวลาการผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งโมดูลนี้ถือได้ว่าเป็นส่วนที่สำคัญของการทำงานของโปรแกรม เพราะว่าโมดูลนี้จะมีหนาที่คำนวณเพื่อหาลำดับของงานที่เกิดขึ้นโดยไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขทั้งทางด้านกำลังการผลิต และลำดับก่อนหลังของกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับงานใดงานหนึ่ง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ส่วนของการประมวลผลของโปรแกรม

4.4.3.3 โมดูลการแสดงผลลัพธ์

เป็นโมดูลที่ใช้ในการแสดงผลลัพธ์ที่ได้รับจากโมดูลการจัดตารางการผลิต โดยจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟประสิทธิภาพของการจัดสรรงานดังรูปที่ 4.5



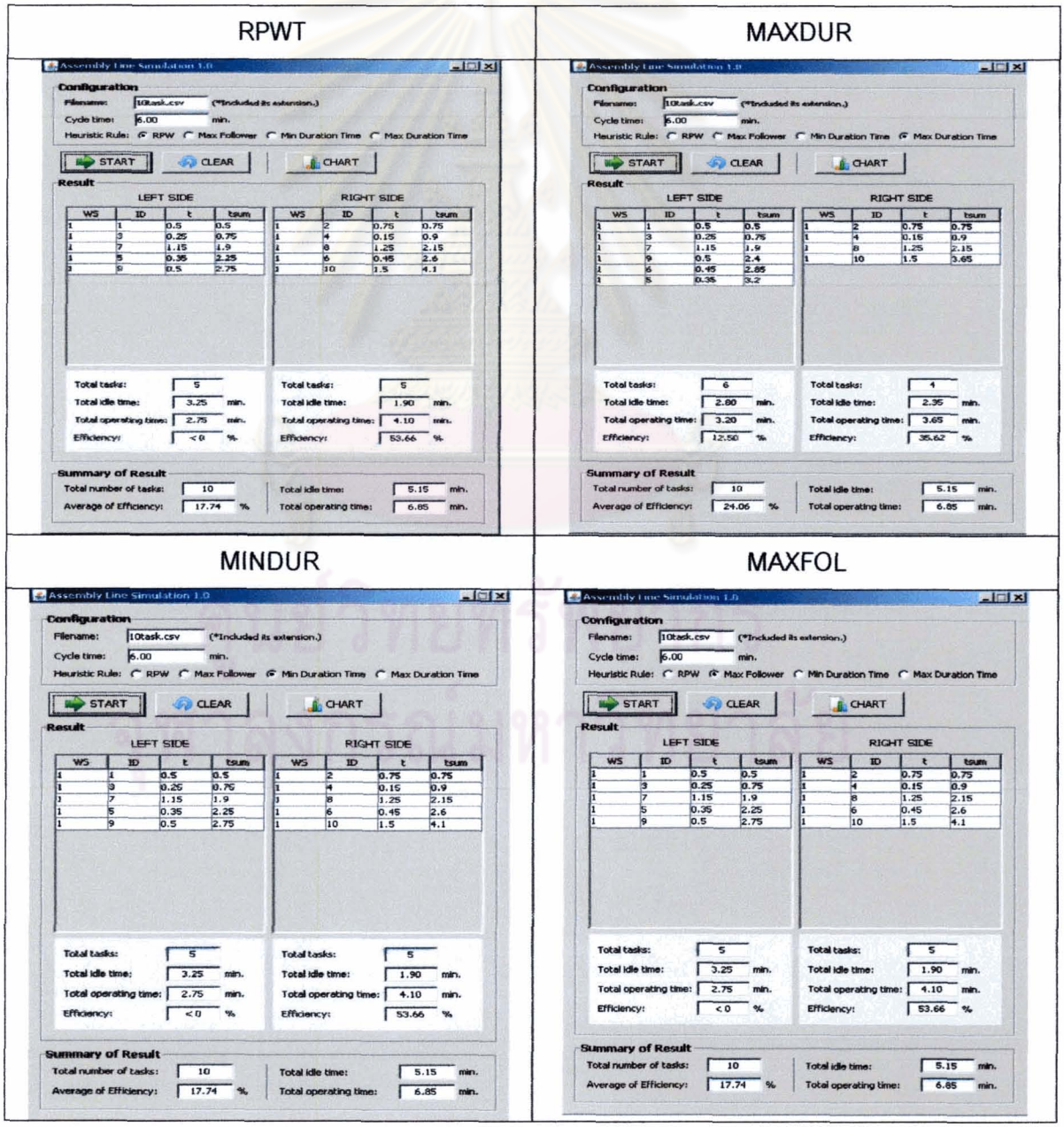
รูปที่ 4.5 ส่วนของการแสดงผลลัพธ์

4.4.4 การทดสอบโปรแกรม

การทดสอบโปรแกรมจำทำการใส่ข้อมูลจำนวน 10 และ 22 งาน โดยทั้งสองตัวอย่างจะกำหนดรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 6 นาที (หากเป็นช่วงเวลาว่างงานจะเป็นแถบสีแดง) จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลระหว่างผลที่ได้จากโปรแกรมกับการคำนวณมือ ซึ่งผลที่ได้จากโปรแกรมจะแสดงในส่วนถัดไป

ก. การทดสอบด้วยโปรแกรม 10 งาน

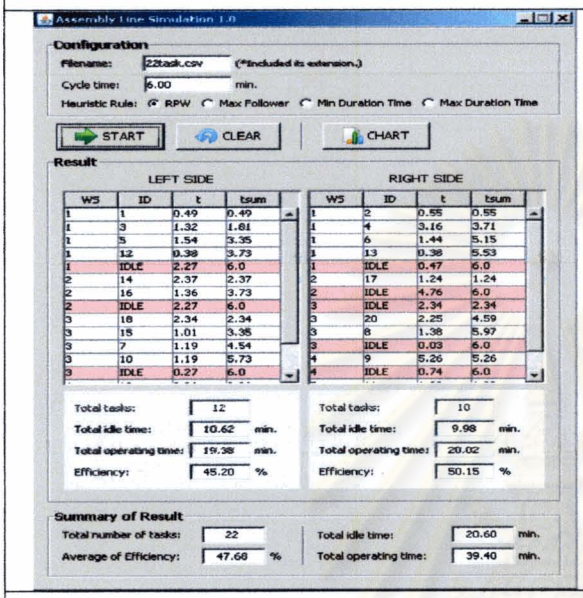
ตารางที่ 4.37 การทดสอบโปรแกรม 10 งาน



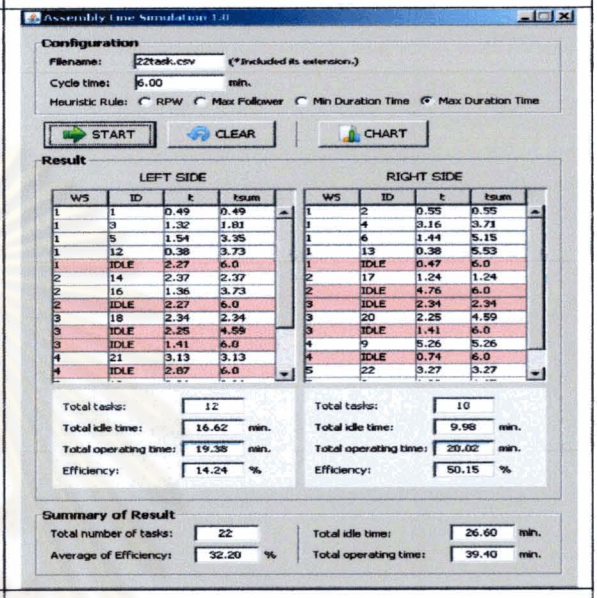
ข. การทดสอบด้วยโปรแกรม 22 งาน

ตารางที่ 4.38 การทดสอบโปรแกรม 22 งาน

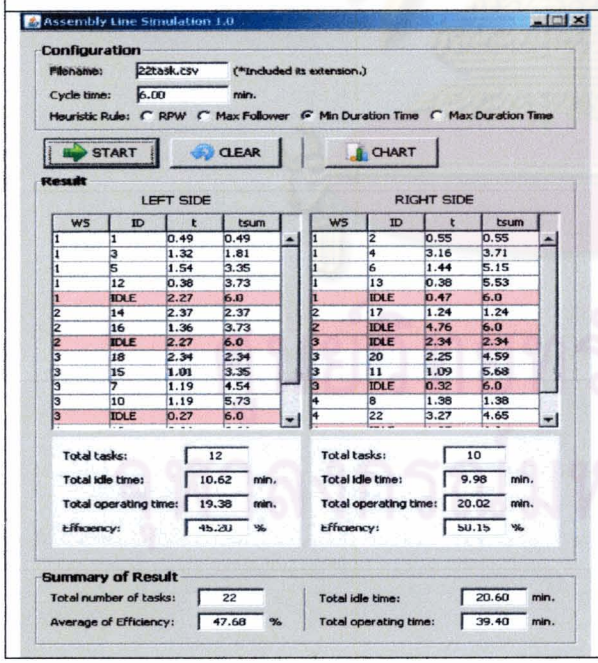
RPWT



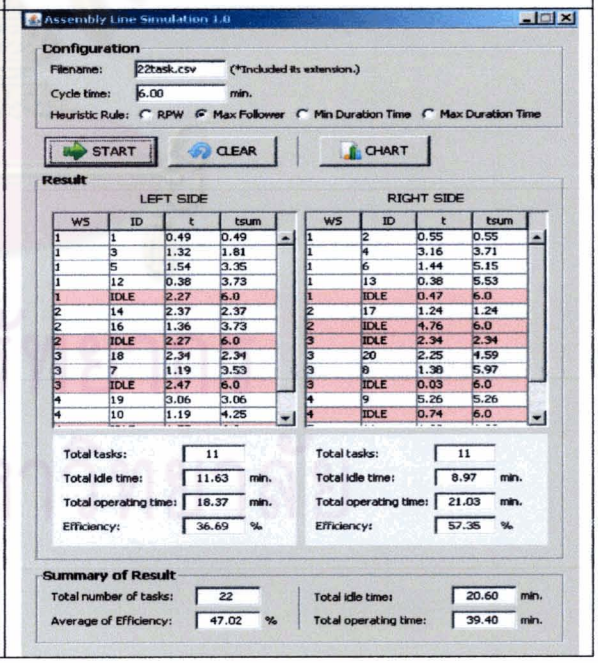
MAXDUR



MINDUR



MAXFOL



4.5 การสรุปผลการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านในงานวิจัยที่ประยุกต์วิธีการฮิวริสติกเข้ามาใช้ในกระบวนการค้นหาและลดปริมาณการคำนวณให้น้อยลง ฮิวริสติกเป็นกฎในการตัดสินใจที่พิจารณาว่าปัญหาหนึ่งๆ ควรจะถูกแก้อย่างไร โดยฮิวริสติกจะทำการวิเคราะห์ปัญหาอย่างมีระเบียบและเป็น

ขั้นตอน ซึ่งการค้นหาด้วยวิธีนี้จะถูกทำซ้ำๆ จนกระทั่งพบทางแก้ปัญหาที่น่าพอใจ ในทางปฏิบัติการค้นหาแบบนี้จะเร็วและ ถูกกว่าแบบเดา และทางแก้ปัญหาที่ได้จะใกล้เคียงทางแก้ที่ดีที่สุดมากกว่า การค้นหาคำตอบอาศัยวิธีการทางฮิวริสติก มีความความแตกต่างจากการค้นหาข้อมูลแบบธรรมดาซึ่งผู้ที่ทำการค้นข้อมูล จะต้องตรวจสอบข้อมูลทีละตัวทุกตัวจนครบแต่ฮิวริสติกจะไม่ลงไปดูข้อมูลทุกตัว วิธีการนี้จะเลือกได้คำตอบที่เหมาะสมให้กับการค้นหา ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถทำการ ค้นหาคำตอบจากข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ได้ แต่มีข้อเสียคือคำตอบที่ได้เป็นเพียงคำตอบที่ดี (งานที่ถูกจัดสรรจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด) เท่านั้นแต่ไม่แน่ว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด และอาจจะใช้ได้กับปัญหาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันเท่านั้น เช่นฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบรถยนต์ อาจจะใช้ไม่ได้กับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวพบว่า เมื่อมีการผลิตรถยนต์รุ่นใหม่ การปรับปรุงกิจกรรมการประกอบ หรือแม้แต่การปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงาน จะส่งผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ในการออกแบบสายการประกอบ ด้วยเหตุนี้เองจึงทำการกำหนดแนวทางในการแก้ปัญหา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบสายการประกอบจึงต้องคำนึงถึงภาระงานในแต่ละสถานีงานให้เกิดความสมดุลกันมากที่สุด โดยประยุกต์ใช้ฮิวริสติกและสร้างอัลกอริทึ่มและจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ประยุกต์วิธีการทางฮิวริสติกของการจัดสมดุลสายการประกอบแบบด้านเดียวมาใช้กับสายการประกอบแบบสองด้าน โดยฮิวริสติกที่เลือกมาพัฒนาเป็นโปรแกรมนี้ เป็นฮิวริสติกที่ใช้งานง่าย และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

ผลการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้นสอดคล้องกับรอบเวลาการผลิต ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านของงาน 10 และ 22 งานเข้าสถานีงานโดยกำหนดรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 6 นาที จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่พัฒนาขึ้น พบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นให้ผลคำตอบที่ตรงกันกับวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบที่ได้แสดงและอธิบายระเบียบวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบด้วยกฎฮิวริสติกในแต่ละวิธี

สำหรับในตัวอย่างการจัดสมดุลสายการประกอบ 10 งาน พบว่าประสิทธิภาพสายการประกอบนั้นจะไม่แตกต่างกัน เนื่องจากรอบเวลาการผลิตที่กำหนดนั้น มีค่ามากกว่าเวลารวมทั้งหมดของแต่ละกิจกรรม อย่างไรก็ตามให้ตระหนักว่า ประสิทธิภาพสายการประกอบที่เท่ากันเช่นนี้ ไม่จำเป็นจะต้องเกิดขึ้นกับทุกตัวอย่าง

บทที่ 5
วิเคราะห์ผลงานวิจัย

หลังจากที่ได้แสดงวิธีการหาคำตอบแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลงานวิจัยซึ่งจะนำข้อมูลงานมาจากบทที่ 4 (10 และ 22 งาน) มาทดลองเพื่อพิจารณาว่าวิธีการใดเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ และในส่วนถัดไปจะเป็นการทดสอบหาความแตกต่างของฮิวริสติกแต่ละวิธี โดยทำการวิเคราะห์เพื่อพิจารณาว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกันหรือไม่ถ้ามีพบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันจึงทำการทดสอบเชิงเปรียบเทียบ ซึ่งการทดลองทั้งหมดนี้จะปรับเปลี่ยนรอบเวลาการผลิตไปจำนวน 30 ครั้ง และทดสอบที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95 % จากนั้นจะนำการระเบียบวิธีการจัดสรรงานไปประมวลผลกับข้อมูลจริงจากงานประกอบรถยนต์ (183 งาน 429 เงื่อนไข) ที่แสดงในภาคผนวก ข ในส่วนสุดท้ายจะอธิบายความไว (Sensitivity Analysis) ของผลลัพธ์ต่างๆเมื่อมีตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น รอบเวลาการผลิต ซึ่งส่งผลต่อลำดับงานที่เปลี่ยนแปลง หรือมีสถานีงานที่มากขึ้นหรือน้อยลง เป็นต้น

5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อทราบว่าแหล่งที่ทำให้เกิดความผันแปรมีเพียง 1 แหล่ง ในงานวิจัยนี้สิ่งที่ทำให้เกิดความผันแปรคือรอบเวลาการผลิตที่มีการสุ่มมาจำนวน 30 ครั้งโดยมีสมมติฐานว่าความแปรปรวนของทุกประชากรไม่แตกต่างกันและมีการแจกแจงแบบปกติ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทำให้เราทราบว่ามีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่แตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

1) การกำหนดสมมติฐาน

H_0 : ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพสายการประกอบไม่แตกต่างกัน (5.1)

H_1 : ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพสายการประกอบอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน (5.2)

H_0 : ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานรวมไม่แตกต่างกัน (5.3)

H_1 : ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานรวมอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน (5.4)

H_0 : ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานไม่แตกต่างกัน (5.5)

H_1 : ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน (5.6)

คำนวณหาค่าต่าง ๆเมื่อ

$$\text{Correction Term: CT} = \frac{T^2}{N}, N = \sum_{i=1}^{k} n_i \quad (5.7)$$

2) ผลรวมกำลังสอง

$$SST = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - CT \quad (5.8)$$

$$SSA = \sum_{i=1}^{k} \frac{T_i^2}{n_i} - CT \quad (5.9)$$

$$SSW = SST - SSA \quad (5.10)$$

3) หาค่าเฉลี่ยกำลังสอง(MS)

$$MSA = \frac{SSA}{df_A}, \; MSW = \frac{SSW}{df_w} \quad (5.11)$$

4) หาค่าที่ได้จากการคำนวณ F

$$F_{cal} = \frac{MSA}{MSW} \quad (5.12)$$

5) สร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความผันแปร(SOV)	df	SS	MS	F
ระหว่างกลุ่ม	df_A	SSA	MSA	$\frac{MSA}{MSW}$
ภายในกลุ่ม	df_W	SSW	MSW	
รวม	df_T	SST		

6) เปรียบเทียบ F_{cal} กับค่าจากตาราง f ที่ระดับนัยสำคัญ α , (df_A, df_W) หรือ $f_{\alpha,(df_A,df_W)}$

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ถ้าปฏิเสธ H_0 แสดงว่ามีค่าเฉลี่ยของประชากรอย่างน้อยหนึ่งคู่ที่แตกต่างกัน จึงควรที่จะทำการวิเคราะห์ต่อเพื่อหาว่ามีค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน การทดสอบหลังจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเรียกว่า การเปรียบเทียบเชิงซ้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการทดสอบโดยการจับคู่ (Pair t-Test)

5.2 การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ในแต่ละวิธีจากข้อมูลตัวอย่าง

วิธีการวิเคราะห์คำตอบนั้นจะพิจารณาจากตัวอย่างในบทที่ 4 (10และ 22 งาน) โดยจะทำการ

ปรับเปลี่ยนรอบเวลาการผลิต จำนวน 30 ค่า สำหรับค่าเริ่มต้นจะกำหนดที่รอบเวลาการผลิตที่น้อยที่สุดที่สามารถกำหนดให้ได้ และจะปรับเปลี่ยนรอบเวลาการผลิตโดยการสุ่มจากคอมพิวเตอร์จำนวน 30 ค่า ซึ่งข้อมูลที่สุ่มมาจะมีการกระจายตัวปกติ และจะทำการทดสอบที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95% เพื่อทำการเปรียบเทียบ

ในการเปรียบเทียบความสามารถของฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้น จะใช้การเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ (Pair-t) เพื่อทดสอบเชิงเปรียบเทียบในแต่ละวิธีที่มีรอบเวลาการผลิตแตกต่างกันสามารถแสดงการคำนวณและแสดงการเปรียบเทียบคำตอบในเรื่องประสิทธิภาพ และ เวลาว่างงาน

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ

$$H_0 : U_D = \Delta_0 \quad (5.13)$$

$$H_1 : U_D > \Delta_0 \quad (5.14)$$

$$H_1 : U_D < \Delta_0 \quad (5.15)$$

$$H_1 : U_D \neq \Delta_0 \quad (5.16)$$

ตัวทดสอบสถิติ

$$T_0 = \frac{\bar{D} - \Delta_0}{S_D / \sqrt{n}} \quad (5.17)$$

เมื่อ

$$\bar{d} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} d_i \quad (5.18)$$

และ

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} d_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} d_i\right)^2}{n-1}} \quad (5.19)$$

สำหรับสมมติฐานรอง (7.2) จะปฏิเสธ H_1 ต่อเมื่อ $t_0 > t_{\alpha,n-1}$

สำหรับสมมติฐานรอง (7.3) จะปฏิเสธ H_1 ต่อเมื่อ $t_0 < t_{\alpha,n-1}$

สำหรับสมมติฐานรอง (7.4) จะปฏิเสธ H_1 ต่อเมื่อ $t_0 > t_{\alpha/2,n-1}$ หรือ $t_0 < -t_{\alpha/2,n-1}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.1 การวิเคราะห์ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบ 10 งาน

สำหรับตัวอย่าง 10 งานรอบเวลาการผลิตจะทำการสุ่มเลือกมาโดยคอมพิวเตอร์ 30 ค่า และเวลาจะต้องไม่ต่ำกว่า 1.25 นาที การวิเคราะห์ผลงานวิจัยจะแสดงตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลที่ได้จากการจัดสมดุลสายการประกอบ 10 งานที่เปลี่ยนรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	RPWT			MAXDUR			MINDUR			MAXFOL		
		Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St
1	1.62	32.610	4.490	7.000	58.095	2.870	6.000	32.610	4.490	6.000	53.985	2.870	6.000
2	2.32	59.050	2.430	4.000	64.520	2.430	4.000	59.060	2.430	4.000	61.905	2.430	4.000
3	1.98	56.755	3.050	5.000	49.570	3.050	5.000	56.755	3.050	5.000	56.755	3.050	5.000
4	1.95	58.925	2.900	5.000	51.850	2.900	5.000	58.925	2.900	5.000	58.925	2.900	5.000
5	1.66	28.480	4.770	7.000	55.590	3.110	6.000	28.480	4.770	7.000	50.480	3.110	6.000
6	1.58	36.745	4.210	7.000	61.600	2.630	6.000	36.745	4.210	7.000	38.920	4.210	7.000
7	2.19	66.950	1.910	4.000	72.110	1.910	4.000	66.950	1.910	4.000	70.115	1.910	4.000
8	2.02	53.860	3.250	5.000	47.530	3.250	5.000	53.860	3.250	5.000	53.860	3.250	5.000
9	2.40	54.190	2.750	4.000	59.845	2.750	2.000	54.190	2.750	4.000	55.790	2.750	4.000
10	2.18	67.555	1.870	4.000	72.690	1.870	4.000	67.555	1.870	4.000	70.710	1.870	4.000
11	1.95	58.925	2.900	5.000	51.950	2.900	5.000	58.925	2.900	5.000	58.925	2.900	5.000
12	1.59	35.715	4.280	7.000	60.725	2.690	6.000	35.715	4.280	7.000	37.905	4.280	7.000
13	1.64	30.545	4.650	7.000	56.340	2.990	6.000	30.545	4.630	7.000	54.105	2.990	6.000
14	2.44	51.765	2.910	4.000	57.510	2.910	4.000	51.765	2.910	4.000	53.385	2.940	4.000
15	1.65	29.510	4.700	7.000	55.465	3.050	6.000	29.510	4.700	7.000	51.285	3.050	6.000
16	2.45	51.155	2.950	4.000	56.925	2.950	4.000	51.155	2.950	4.000	52.785	2.950	4.000
17	1.56	38.810	4.070	7.000	63.350	2.510	6.000	38.810	4.070	7.000	40.960	4.070	7.000
18	1.61	33.645	4.420	7.000	58.970	2.810	6.000	33.645	4.510	7.000	54.890	2.810	6.000
19	2.33	58.445	2.470	4.000	63.935	2.470	4.000	58.445	2.470	4.000	61.815	2.470	4.000
20	2.14	45.180	3.850	5.000	73.065	1.710	4.000	45.180	3.850	5.000	45.180	3.850	5.000
21	2.22	65.130	2.030	2.000	70.355	2.030	4.000	65.130	2.030	4.000	65.130	2.030	4.000
22	1.86	31.950	4.310	6.000	37.070	4.310	6.000	31.950	4.310	6.000	32.355	4.310	6.000

ตารางที่ 5.1(ต่อ) ผลที่ได้จากการจัดสมดุลสายการประกอบ 10 งานที่เปลี่ยนรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	RPWT			MAXDUR			MINDUR			MAXFOL		
		Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St
23	1.76	39.610	3.710	6.000	45.835	3.710	6.000	39.610	3.710	6.000	43.430	3.710	6.000
24	2.41	53.585	2.790	4.000	59.265	2.790	4.000	53.585	2.790	4.000	55.190	2.790	4.000
25	2.06	50.965	3.450	5.000	46.495	3.450	5.000	50.965	3.450	5.000	50.965	3.450	5.000
26	2.44	51.765	2.910	4.000	57.510	2.910	4.000	51.765	2.910	4.000	53.385	2.910	4.000
27	2.11	47.350	3.700	5.000	74.860	1.590	4.000	47.350	3.700	5.000	47.350	3.700	5.000
28	2.32	59.050	2.430	4.000	64.520	2.430	4.000	59.050	2.430	4.000	62.405	2.430	4.000
29	1.52	42.945	3.790	7.000	66.855	2.270	7.000	42.945	3.790	7.000	45.040	3.790	7.000
30	1.52	42.945	3.790	7.000	66.855	2.270	7.000	42.945	3.790	7.000	45.040	3.790	7.000
$\bar{x}$		47.804	3.391	5.300	59.375	2.717	4.967	47.804	3.394	5.333	52.766	3.119	5.200
S_d		11.852	0.872	1.418	8.991	0.582	1.159	11.852	0.875	1.269	9.141	0.678	1.126

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของตัวอย่าง 10 งาน

ก. ประสิทธิภาพสายการประกอบ

สำหรับค่า $f_{\alpha,(df_A,df_W)}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อทำการเปิดค่าจากตารางพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.69 จากนั้นจึงทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab V15 สามารถแสดงตาราง ANOVA ได้ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตาราง ANOVA ของประสิทธิภาพสายการประกอบ 10 งาน

แหล่งความผันแปร(SOV)	df	SS	MS	F
ระหว่างกฎฮิวริสติก	3	2705	902	8.10
รอบเวลาการผลิตภายในกลุ่ม	116	12915	111	
รวม	119	15620		

สรุปผล: เนื่องจากค่า $F_{cal} > f_{0.05,(3,116)}$ **จึงปฏิเสธ** H_0 **นั่นคือประสิทธิภาพสายการประกอบมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน**

ข. เวลาว่างงาน

สำหรับค่า $f_{\alpha,(df_A,df_W)}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อทำการเปิดค่าจากตารางพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.69 จากนั้นจึงทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab V15 สามารถแสดงตาราง ANOVA ได้ตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตาราง ANOVA ของเวลาว่างงาน 10 งาน

แหล่งความผันแปร(SOV)	df	SS	MS	F
ระหว่างกฎฮิวริสติก	3	9.170	3.057	5.26
รอบเวลาการผลิตภายในกลุ่ม	116	67.421	0.581	
รวม	119	76.591		

สรุปผล: เนื่องจากค่า $F_{cal} > f_{0.05,(3,116)}$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือเวลาว่างงานมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน

ค. จำนวนสถานีงาน

สำหรับค่า $f_{\alpha,(df_A,df_W)}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อทำการเปิดค่าจากตารางพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.69 จากนั้นจึงทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab V15 สามารถแสดงตาราง ANOVA ได้ตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ตาราง ANOVA ของจำนวนสถานีงาน 10 งาน

แหล่งความผันแปร(SOV)	df	SS	MS	F
ระหว่างกฎฮิวริสติก	3	2.47	0.82	0.53
รอบเวลาการผลิตภายในกลุ่ม	116	180.73	1.56	
รวม	119	183.20		

สรุปผล: เนื่องจากค่า $F_{cal} < f_{0.05,(3,116)}$ จึงปฏิเสธ H_1 นั่นคือจำนวนสถานีงานมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวพบว่ากฎฮิวริสติกทั้ง 4 กฎให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานไม่แตกต่างกัน ในทำนองเดียวกันพบว่ากฎฮิวริสติกทั้ง 4 กฎให้ประสิทธิภาพสายการประกอบและเวลาว่างงานที่แตกกต่างกัน ดังนั้นเราจึงต้องทำการเปรียบเทียบในแต่ละคู่เพื่อพิจารณาว่าคู่ใดบ้างที่แตกต่างกันซึ่งพิจารณาได้จากตารางที่ 5.5 ถึง 5.6

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการประกอบ 10 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	d_i (ประสิทธิภาพสายการประกอบ)					
		RPWT, MAXDUR	RPWT, MINDUR	RPWT, MAXFOL	MAXDUR, MINDUR	MAXDUR , MAXFOL	MINDUR, MAXFOL
1	1.62	-25.485	0.000	-21.375	25.485	-21.375	-21.375
2	2.32	-5.470	-0.010	-2.855	5.460	-2.845	-2.845
3	1.98	7.185	0.000	0.000	-7.185	0.000	0.000
4	1.95	7.075	0.000	0.000	-7.075	0.000	0.000
5	1.66	-27.110	0.000	-22.000	27.110	-22.000	-22.000
6	1.58	-24.855	0.000	-2.175	24.855	-2.175	-2.175
7	2.19	-5.160	0.000	-3.165	5.160	-3.165	-3.165
8	2.02	6.330	0.000	0.000	-6.330	0.000	0.000
9	2.40	-5.655	0.000	-1.600	5.655	-1.600	-1.600
10	2.18	-5.135	0.000	-3.155	5.135	-3.155	-3.155
11	1.95	6.975	0.000	0.000	-6.975	0.000	0.000
12	1.59	-25.010	0.000	-2.190	25.010	-2.190	-2.190
13	1.64	-25.795	0.000	-23.560	25.795	-23.560	-23.560
14	2.44	-5.745	0.000	-1.620	5.745	-1.620	-1.620
15	1.65	-25.955	0.000	-21.775	25.955	-21.775	-21.775
16	2.45	-5.770	0.000	-1.630	5.770	-1.630	-1.630
17	1.56	-24.540	0.000	-2.150	24.540	-2.150	-2.150
18	1.61	-25.325	0.000	-21.245	25.325	-21.245	-21.245
19	2.33	-5.490	0.000	-3.370	5.490	-3.370	-3.370
20	2.14	-27.885	0.000	0.000	27.885	0.000	0.000
21	2.22	-5.225	0.000	0.000	5.225	0.000	0.000
22	1.86	-5.120	0.000	-0.405	5.120	-0.405	-0.405
23	1.76	-6.225	0.000	-3.820	6.225	-3.820	-3.820
24	2.41	-5.680	0.000	-1.605	5.680	-1.605	-1.605
25	2.06	4.470	0.000	0.000	-4.470	0.000	0.000
26	2.44	-5.745	0.000	-1.620	5.745	-1.620	-1.620
27	2.11	-27.510	0.000	0.000	27.510	0.000	0.000

ตารางที่ 5.5(**ต่อ**) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการประกอบ 10 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	d_i (ประสิทธิภาพสายการประกอบ)					
		RPWT, MAXDUR	RPWT, MINDUR	RPWT, MAXFOL	MAXDUR, MINDUR	MAXDUR , MAXFOL	MINDUR, MAXFOL
28	2.32	-5.470	0.000	-3.355	5.470	-3.355	-3.355
29	1.52	-23.910	0.000	-2.095	23.910	-2.095	-2.095
30	1.52	-23.910	0.000	-2.095	23.910	-2.095	-2.095
$\bar{d}$		-11.572	0.000	-4.962	11.571	-4.962	-4.962
S_d		12.429	0.002	7.844	12.430	7.844	7.844

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบเวลาว่างงานสำหรับ 10 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	d_i (เวลาว่างงาน)					
		RPWT, MAXDUR	RPWT, MINDUR	RPWT, MAXFOL	MAXDUR, MINDUR	MAXDUR , MAXFOL	MINDUR, MAXFOL
1	1.62	1.620	0.000	1.620	-1.620	0.000	1.620
2	2.32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	1.98	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	1.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	1.66	1.660	0.000	1.660	-1.660	0.000	1.660
6	1.58	1.580	0.000	0.000	-1.580	-1.580	0.000
7	2.19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	2.02	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	2.40	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	2.18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	1.95	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	1.59	1.590	0.000	0.000	-1.590	-1.590	0.000
13	1.64	1.660	0.020	1.660	-1.640	0.000	1.640
14	2.44	0.000	0.000	-0.030	0.000	-0.030	-0.030
15	1.65	1.650	0.000	1.650	-1.650	0.000	1.650
16	2.45	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	1.56	1.560	0.000	0.000	-1.560	-1.560	0.000

ตารางที่ 5.6**(ต่อ)** การเปรียบเทียบเวลาว่างงานสำหรับ 10 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	d_i (เวลาว่างงาน)					
		RPWT, MAXDUR	RPWT, MINDUR	RPWT, MAXFOL	MAXDUR, MINDUR	MAXDUR , MAXFOL	MINDUR, MAXFOL
18	1.61	1.610	-0.090	1.610	-1.700	0.000	1.700
19	2.33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	2.14	2.140	0.000	0.000	-2.140	-2.140	0.000
21	2.22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	1.86	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	1.76	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	2.41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	2.06	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	2.44	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
27	2.11	2.110	0.000	0.000	-2.110	-2.110	0.000
28	2.32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	1.52	1.520	0.000	0.000	-1.520	-1.520	0.000
30	1.52	1.520	0.000	0.000	-1.520	-1.520	0.000
$\bar{d}$		0.67	0.00	0.27	-0.68	-0.40	0.27
S_d		0.85	0.02	0.62	0.85	0.75	0.63

จากการทดสอบเชิงเปรียบเทียบในแต่ละวิธีที่มีรอบเวลาการผลิตแตกต่างกันนั้นสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการประกอบ

ก. ระหว่าง RPWT กับ MAXDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \dfrac{-11.57}{12.43/\sqrt{30}} = -5.1$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการ

ประกอบระหว่าง RPWT กับ MAXDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ RPWT

ข. ระหว่าง RPWT กับ MINDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-0.00033}{0.0018/\sqrt{30}} = -1$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} =$ -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29} =$ 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง RPWT กับ MINDUR ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค. ระหว่าง RPWT กับ MAXFOL

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-4.96}{7.84/\sqrt{30}} =$ -3.46

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} =$ -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29} =$ 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง RPWT กับ MAXFOL แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ RPWT

ง. ระหว่าง MAXDUR กับ MINDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{11.57}{12.43/\sqrt{30}} =$ 5.1

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} =$ -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29} =$ 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง MAXDUR กับ MINDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ MINDUR

จ. *ระหว่าง MAXDUR กับ MAXFOL*

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{6.61}{10.45/\sqrt{30}} = 3.46$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง MAXDUR กับ MAXFOL แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ MAXFOL

ฉ. *ระหว่าง MNDUR กับ MAXFOL*

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-4.96}{7.84/\sqrt{30}} = -3.46$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง MINDUR กับ MAXFOL แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ MINDUR

2) การเปรียบเทียบเวลาว่างงาน

ก. ระหว่าง RPWT กับ MAXDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{0.674}{0.85/\sqrt{30}} = 4.35$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง RPWT กับ MAXDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานของวิธีการ MAXDUR ให้

ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ RPWT

ข. ระหว่าง RPWT กับ MINDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-0.002}{0.0169/\sqrt{30}} = -0.75$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง RPWT กับ MINDUR ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค. ระหว่าง RPWT กับ MAXFOL

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{0.272}{0.622/\sqrt{30}} = 2.40$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง RPWT กับ MAXFOL แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานวิธีการ MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ RPWT

ง. ระหว่าง MAXDUR กับ MINDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-0.676}{0.852/\sqrt{30}} = -4.35$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง MAXDUR กับ MINDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานของวิธีการ MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ MINDUR

จ. *ระหว่าง MAXDUR กับ MAXFOL*

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-0.402}{0.749/\sqrt{30}} = -2.94$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง RPWT กับ MAXDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานของวิธีการ MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ MAXFOL

ฉ. *ระหว่าง MNDUR กับ MAXFOL*

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{0.275}{0.628/\sqrt{30}} = 2.4$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง MAXFOL กับ MINDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานของวิธีการ MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ MINDUR

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2 การวิเคราะห์ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบ 22 งาน

สำหรับตัวอย่าง 22 งานรอบเวลาการผลิตจะทำการสุ่มเลือกมาโดยคอมพิวเตอร์ 30 ค่า และจะต้องไม่ต่ำกว่า 5.26 นาที ตามที่แสดงในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลที่ได้จากการจัดสมดุลสายการประกอบ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	RPWT			MAXDUR			MINDUR			MAXFOL		
		Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St
1	5.92	34.925	25.720	11.000	49.710	19.800	10.000	51.255	19.800	9.000	48.290	19.800	9.000
2	5.33	51.090	19.230	10.000	36.920	24.560	10.000	51.375	19.230	11.000	38.685	24.560	11.000
3	5.30	51.925	18.900	11.000	38.225	24.200	10.000	38.225	24.200	12.000	38.225	24.200	12.000
4	5.49	46.910	20.990	11.000	31.170	26.480	12.000	46.910	20.990	11.000	46.970	20.990	11.000
5	6.03	46.915	20.900	10.000	46.915	20.900	10.000	46.915	20.900	10.000	30.305	26.930	11.000
6	6.13	60.190	15.770	9.000	60.155	15.770	9.000	75.500	9.640	8.000	60.190	15.770	9.000
7	5.29	52.490	18.790	11.000	38.145	24.080	12.000	52.490	18.790	11.000	50.205	18.790	11.000
8	5.60	40.735	22.200	11.000	27.790	27.800	12.000	42.650	22.200	11.000	43.955	22.200	11.000
9	5.73	53.160	17.900	10.000	40.220	23.630	11.000	56.030	17.900	10.000	54.090	17.900	10.000
10	5.34	51.095	19.340	11.000	36.620	24.680	12.000	51.095	19.340	11.000	48.130	19.340	11.000
11	6.23	72.275	10.440	8.000	73.465	10.440	8.000	75.465	10.440	8.000	75.465	10.440	8.000
12	5.57	44.385	21.870	11.000	28.710	27.440	12.000	44.685	21.870	11.000	44.685	21.870	11.000
13	6.15	59.700	15.950	9.000	59.225	15.950	9.000	77.065	9.800	8.000	58.015	15.950	9.000
14	5.46	47.745	20.660	11.000	32.090	26.120	12.000	47.745	20.660	11.000	47.745	20.660	11.000
15	5.37	49.970	19.670	11.000	51.085	25.150	12.000	50.260	19.670	11.000	34.860	25.040	12.000
16	5.37	49.970	19.670	11.000	35.700	25.040	12.000	49.785	19.670	11.000	34.860	25.040	12.000
17	5.63	43.010	22.530	11.000	43.010	22.530	11.000	43.010	22.530	11.000	39.880	22.530	11.000
18	5.39	49.415	19.890	11.000	35.480	25.280	12.000	35.480	25.280	12.000	34.250	25.280	11.000
19	5.69	41.335	23.190	11.000	25.020	28.880	12.000	57.035	17.500	10.000	41.335	23.190	11.000
20	5.47	47.180	20.770	11.000	31.790	26.240	12.000	46.300	20.770	11.000	59.825	15.300	10.000
21	5.78	51.880	18.400	10.000	53.260	18.400	10.000	53.260	18.400	10.000	53.260	18.400	10.000
22	5.73	40.220	23.630	11.000	40.220	23.630	11.000	53.530	17.900	10.000	40.280	23.630	11.000
23	5.62	43.290	22.420	11.000	43.290	22.420	11.000	43.290	28.420	11.000	57.045	16.800	10.000
24	5.65	42.450	22.750	11.000	26.250	28.400	12.000	58.040	17.100	10.000	41.490	22.750	11.000
25	5.32	51.370	19.120	11.000	37.615	24.440	12.000	51.185	19.120	11.000	51.370	19.120	11.000
26	6.24	72.070	10.520	8.000	72.070	10.520	8.000	73.265	10.520	8.000	55.940	16.760	9.000
27	5.80	38.265	24.400	11.000	52.750	18.600	10.000	52.750	18.600	10.000	51.365	18.600	10.000
28	5.59	44.125	22.090	11.000	44.125	22.090	11.000	59.550	16.500	10.000	44.125	22.090	11.000

ตารางที่ 5.7**(ต่อ)** ผลที่ได้จากการจัดสมดุลสายการประกอบ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	RPWT			MAXDUR			MINDUR			MAXFOL		
		Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St	Eff	Idle	No. St
29	5.68	38.460	23.080	11.000	25.310	28.760	12.000	40.400	23.080	11.000	55.525	17.400	10.000
30	5.56	29.020	27.320	12.000	29.020	27.320	12.000	43.770	21.760	11.000	29.020	27.320	12.000
$\bar{x}$		48.19	20.27	10.57	41.51	22.99	10.97	52.28	19.09	10.33	46.98	20.62	10.57
S_d		9.39	3.71	0.94	12.87	4.87	1.27	10.82	4.39	1.12	10.26	3.92	1.01

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวของตัวอย่าง 22 งาน

ก. ประสิทธิภาพสายการประกอบ

สำหรับค่า $f_{\alpha,(df_A,df_W)}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อทำการเปิดค่าจากตารางพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.69 จากนั้นจึงทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab V15 สามารถแสดงตาราง ANOVA ได้ตามตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ตาราง ANOVA ของประสิทธิภาพสายการประกอบ 22 งาน

แหล่งความผันแปร(SOV)	df	SS	MS	F
ระหว่างกฎฮิวริสติก	3	1774	591	4.97
รอบเวลาการผลิตภายในกลุ่ม	116	13804	119	
รวม	119	15579		

สรุปผล: เนื่องจากค่า $F_{cal} > f_{0.05,(3,116)}$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือประสิทธิภาพสายการประกอบมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน

ข. เวลาว่างงาน

สำหรับค่า $f_{\alpha,(df_A,df_W)}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อทำการเปิดค่าจากตารางพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.69 จากนั้นจึงทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab V15 สามารถแสดงตาราง ANOVA ได้ตามตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ตาราง ANOVA ของเวลาว่างงาน 22 งาน

แหล่งความผันแปร(SOV)	df	SS	MS	F
ระหว่างกฎฮิวริสติก	3	240.3	80.1	4.45
รอบเวลาการผลิตภายในกลุ่ม	116	2089.7	18	
รวม	119	2330		

สรุปผล: เนื่องจากค่า $F_{cal} > f_{0.05,(3,116)}$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือเวลาว่างงานมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกัน

ค. จำนวนสถานีงาน

สำหรับค่า $f_{\alpha,(df_A,df_W)}$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อทำการเปิดค่าจากตารางพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.69 จากนั้นจึงทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab V15 สามารถแสดงตาราง ANOVA ได้ตามตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ตาราง ANOVA ของจำนวนสถานีงาน 22 งาน

แหล่งความผันแปร(SOV)	df	SS	MS	F
ระหว่างกฎฮิวริสติก	3	6.22	2.07	1.74
รอบเวลาการผลิตภายในกลุ่ม	116	138.37	1.19	
รวม	119	144.59		

สรุปผล: เนื่องจากค่า $F_{cal} < f_{0.05,(3,116)}$ จึงปฏิเสธ H_1 นั่นคือจำนวนสถานีงานมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียวพบว่ากฎฮิวริสติกทั้ง 4 กฎให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานีงานไม่แตกต่างกัน ในทำนองเดียวกันพบว่ากฎฮิวริสติกทั้ง 4 กฎให้ประสิทธิภาพสายการประกอบและเวลาว่างงานที่แตกกต่างกัน ดังนั้นเราจึงต้องทำการเปรียบเทียบในแต่ละคู่เพื่อพิจารณาว่าคู่ใดบ้างที่แตกต่างกันซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 5.11 ถึง 5.12

ตารางที่ 5.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการประกอบ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	d_i (ประสิทธิภาพสายการประกอบ)					
		RPWT, MAXDUR	RPWT, MINDUR	RPWT, MAXFOL	MAXDUR, MINDUR	MAXDUR , MAXFOL	MINDUR, MAXFOL
1	5.92	-14.785	-16.330	-13.365	-1.545	1.420	2.965
2	5.33	14.170	-0.285	12.405	-14.455	-1.765	12.690
3	5.30	13.700	13.700	13.700	0.000	0.000	0.000
4	5.49	15.740	0.000	-0.060	-15.740	-15.800	-0.060
5	6.03	0.000	0.000	16.610	0.000	16.610	16.610
6	6.13	0.035	-15.310	0.000	-15.345	-0.035	15.310
7	5.29	14.345	0.000	2.285	-14.345	-12.060	2.285
8	5.60	12.945	-1.915	-3.220	-14.860	-16.165	-1.305
9	5.73	12.940	-2.870	-0.930	-15.810	-13.870	1.940
10	5.34	14.475	0.000	2.965	-14.475	-11.510	2.965
11	6.23	-1.190	-3.190	-3.190	-2.000	-2.000	0.000
12	5.57	15.675	-0.300	-0.300	-15.975	-15.975	0.000
13	6.15	0.475	-17.365	1.685	-17.840	1.210	19.050
14	5.46	15.655	0.000	0.000	-15.655	-15.655	0.000
15	5.37	-1.115	-0.290	15.110	0.825	16.225	15.400
16	5.37	14.270	0.185	15.110	-14.085	0.840	14.925
17	5.63	0.000	0.000	3.130	0.000	3.130	3.130
18	5.39	13.935	13.935	15.165	0.000	1.230	1.230
19	5.69	16.315	-15.700	0.000	-32.015	-16.315	15.700
20	5.47	15.390	0.880	-12.645	-14.510	-28.035	-13.525
21	5.78	-1.380	-1.380	-1.380	0.000	0.000	0.000
22	5.73	0.000	-13.310	-0.060	-13.310	-0.060	13.250
23	5.62	0.000	0.000	-13.755	0.000	-13.755	-13.755
24	5.65	16.200	-15.590	0.960	-31.790	-15.240	16.550
25	5.32	13.755	0.185	0.000	-13.570	-13.755	-0.185
26	6.24	0.000	-1.195	16.130	-1.195	16.130	17.325
27	5.80	-14.485	-14.485	-13.100	0.000	1.385	1.385

ตารางที่ 5.11**(ต่อ)** การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการประกอบ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	d_i (ประสิทธิภาพสายการประกอบ)					
		RPWT, MAXDUR	RPWT, MINDUR	RPWT, MAXFOL	MAXDUR, MINDUR	MAXDUR , MAXFOL	MINDUR, MAXFOL
28	5.59	0.000	-15.425	0.000	-15.425	0.000	15.425
29	5.68	13.150	-1.940	-17.065	-15.090	-30.215	-15.125
30	5.56	0.000	-14.750	0.000	-14.750	0.000	14.750
$\overline{d}$		6.67	-4.09	1.21	-10.77	-5.47	5.30
S_d		9.28	8.40	9.40	9.13	11.72	9.73

ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบเวลาว่างงานสำหรับ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	d_i (เวลาว่างงาน)					
		RPWT, MAXDUR	RPWT, MINDUR	RPWT, MAXFOL	MAXDUR, MINDUR	MAXDUR , MAXFOL	MINDUR, MAXFOL
1	5.92	5.920	5.920	5.920	0.000	0.000	0.000
2	5.33	-5.330	0.000	-5.330	5.330	0.000	-5.330
3	5.30	-5.300	-5.300	-5.300	0.000	0.000	0.000
4	5.49	-5.490	0.000	0.000	5.490	5.490	0.000
5	6.03	0.000	0.000	-6.030	0.000	-6.030	-6.030
6	6.13	0.000	6.130	0.000	6.130	0.000	-6.130
7	5.29	-5.290	0.000	0.000	5.290	5.290	0.000
8	5.60	-5.600	0.000	0.000	5.600	5.600	0.000
9	5.73	-5.730	0.000	0.000	5.730	5.730	0.000
10	5.34	-5.340	0.000	0.000	5.340	5.340	0.000
11	6.23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	5.57	-5.570	0.000	0.000	5.570	5.570	0.000
13	6.15	0.000	6.150	0.000	6.150	0.000	-6.150
14	5.46	-5.460	0.000	0.000	5.460	5.460	0.000
15	5.37	-5.480	0.000	-5.370	5.480	0.110	-5.370
16	5.37	-5.370	0.000	-5.370	5.370	0.000	-5.370
17	5.63	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 5.12**(ต่อ)** การเปรียบเทียบเวลาว่างงานสำหรับ 22 งานที่สุ่มรอบเวลาการผลิต 30 ครั้ง

No.	Cycle Time	d_i (เวลาว่างงาน)					
		RPWT, MAXDUR	RPWT, MINDUR	RPWT, MAXFOL	MAXDUR, MINDUR	MAXDUR , MAXFOL	MINDUR, MAXFOL
18	5.39	-5.390	-5.390	-5.390	0.000	0.000	0.000
19	5.69	-5.690	5.690	0.000	11.380	5.690	-5.690
20	5.47	-5.470	0.000	5.470	5.470	10.940	5.470
21	5.78	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22	5.73	0.000	5.730	0.000	5.730	0.000	-5.730
23	5.62	0.000	-6.000	5.620	-6.000	5.620	11.620
24	5.65	-5.650	5.650	0.000	11.300	5.650	-5.650
25	5.32	-5.320	0.000	0.000	5.320	5.320	0.000
26	6.24	0.000	0.000	-6.240	0.000	-6.240	-6.240
27	5.80	5.800	5.800	5.800	0.000	0.000	0.000
28	5.59	0.000	5.590	0.000	5.590	0.000	-5.590
29	5.68	-5.680	0.000	5.680	5.680	11.360	5.680
30	5.56	0.000	5.560	0.000	5.560	0.000	-5.560
$\bar{d}$		-2.71	1.18	-0.35	3.90	2.36	-1.54
S_d		3.52	3.50	3.61	3.70	4.12	4.24

จากการทดสอบเชิงเปรียบเทียบในแต่ละวิธีที่มีรอบเวลาการผลิตแตกต่างกันนั้นสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพสายการประกอบ

ก. ระหว่าง RPWT กับ MAXDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \dfrac{6.67}{9.28/\sqrt{30}} = 3.94$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการ

ประกอบระหว่าง RPWT กับ MAXDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ RPWT ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ MAXDUR

ข. ระหว่าง RPWT กับ MINDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-4.09}{8.40/\sqrt{30}}$ =-2.67

ที่ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง RPWT กับ MINDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ RPWT

ค. ระหว่าง RPWT กับ MAXFOL

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{1.21}{9.40/\sqrt{30}}$ = 0.7

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง RPWT กับ MAXFOL ไม่ แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ง. ระหว่าง MAXDUR กับ MINDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-10.77}{9.13/\sqrt{30}}$ = -6.46

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง MAXDUR กับ MINDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพ

ของวิธีการ MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ MAXDUR

จ. *ระหว่าง MAXDUR กับ MAXFOL*

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-5.47}{11.72/\sqrt{30}} = -2.55$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง MAXDUR กับ MAXFOL แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ MAXDUR

ฉ. *ระหว่าง MNDUR กับ MAXFOL*

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{5.32}{9.73/\sqrt{30}} = 2.98$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพสายการประกอบระหว่าง MINDUR กับ MAXFOL แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ประสิทธิภาพของวิธีการ MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่มากกว่าวิธีการของ MAXFOL

2) **การเปรียบเทียบเวลาว่างงาน**

ก. ระหว่าง RPWT กับ MAXDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-2.715}{3.516/\sqrt{30}} = -4.23$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % $\alpha =$ 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0

ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง RPWT กับ MAXDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานของวิธีการ RPWT ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ MAXDUR

ข. ระหว่าง RPWT กับ MINDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \dfrac{1.18}{3.50/\sqrt{30}} = 1.86$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง RPWT กับ MINDUR ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ค. ระหว่าง RPWT กับ MAXFOL

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \dfrac{-0.351}{3.607/\sqrt{30}} = -0.53$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง RPWT กับ MAXFOL ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง. ระหว่าง MAXDUR กับ MINDUR

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \dfrac{3.899}{3.7/\sqrt{30}} = 5.77$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29} = -2.045$ หรือ $t_0 > t_{0.025,29} = 2.045$ ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง

MAXDUR กับ MINDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานของวิธีการ MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ MAXDUR

จ. *ระหว่าง MAXDUR กับ MAXFOL*

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{2.363}{4.12/\sqrt{30}} = 3.14$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง MAXDUR กับ MAXFOL แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานของวิธีการ MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ MAXDUR

ฉ. *ระหว่าง MNDUR กับ MAXFOL*

สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ $H_0: U_D = \Delta_0$

$H_1: U_D \neq \Delta_0$

ตัวทดสอบสถิติ $t_0 = \frac{-1.536}{4.245/\sqrt{30}} = -1.98$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % α = 0.05 เมื่อเปิดตารางจากภาคผนวก จ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_0 < -t_{0.025,29}$ = -2.045 หรือ $t_0 > t_{0.025,29}$ = 2.045 ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาว่างงานระหว่าง MAXFOL กับ MINDUR แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยที่เวลาว่างงานของวิธีการ MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีการของ MIAXFOL

5.2.3 การสรุปผลการทดสอบเชิงเปรียบเทียบ

ภายใต้เงื่อนไขของเวลาในแต่ละขั้นตอนและรอบเวลาการผลิตที่ทดสอบด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% เราสามารถสรุปผลได้ตามตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 สรุปผลการเปรียบเทียบตัวชี้วัดต่างๆที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95%

งาน	ตัวชี้วัด	ฮิวริสติก	ผลสรุป
10	ประสิทธิภาพสายการประกอบ	RPWT/MAXDUR	MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
		RPWT/MINDUR	ไม่แตกต่างกัน
		RPWT/MAXFOL	MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
		MAXDUR/MINDUR	MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
		MAXDUR/MAXFOL	MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
		MINDUR/MAXFOL	MAXFOLให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
	เวลาว่างงาน	RPWT/MAXDUR	MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า
		RPWT/MINDUR	ไม่แตกต่างกัน
		RPWT/MAXFOL	MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า
		MAXDUR/MINDUR	MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า
		MAXDUR/MAXFOL	MAXDUR ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า
		MINDUR/MAXFOL	MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า
22	ประสิทธิภาพสายการประกอบ	RPWT/MAXDUR	RPWT ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
		RPWT/MINDUR	MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
		RPWT/MAXFOL	ไม่แตกต่างกัน
		MAXDUR/MINDUR	MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
		MAXDUR/MAXFOL	MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
		MINDUR/MAXFOL	MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยดีกว่า
	เวลาว่างงาน	RPWT/MAXDUR	RPWT ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า
		RPWT/MINDUR	ไม่แตกต่างกัน
		RPWT/MAXFOL	ไม่แตกต่างกัน
		MAXDUR/MINDUR	MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า
		MAXDUR/MAXFOL	MAXFOL ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า
		MINDUR/MAXFOL	MINDUR ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาว่างงานน้อยกว่า

จากข้อมูลการสรุปผลในตารางที่ 5.13 พบว่าที่ 10 งาน วิธีการจัดด้วยกฎ MAXDUR จะให้ผลคำตอบที่ดีที่สุด แต่เมื่อพิจารณา 22 งานพบว่าวิธีการจัดด้วยกฎ MINDUR จะให้ผลคำตอบโดยรวมได้ดีที่สุด กล่าวได้ว่าการนำไปใช้งานจริงนั้นมีแนวโน้มที่จะใช้การตัดสินใจมากกว่ากฎเกณฑ์ที่เคร่งครัด จำนวนของงานที่จัดสรรให้กับสถานีงานหนึ่งอาจมีข้อจำกัด และข้อจำกัดนี้โดยมากจะต้องอาศัยความเข้าใจและการตัดสินใจของผู้ออกแบบสายการประกอบควบคู่กันไป

5.3 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านโดยใช้ข้อมูลจากงานประกอบจริง

ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสายการประกอบแบบสองด้านแบบหลายผลิตภัณฑ์เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า1 อย่างขึ้นไปโดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นเป็นค่าแน่นอนโดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตในสายงานการประกอบแบบแบบหลายผลิตภัณฑ์มักจะมีขั้นงานและลำดับก่อนหลังของงานที่คล้ายกัน ดังนั้นเราจึงมักออกแบบสายงานการประกอบเพียงแบบเดียวเพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยทั่วไปจะนำเวลาเฉลี่ยของแต่ละผลิตภัณฑ์หรือใช้เวลาในผลิตภัณฑ์ที่มากที่สุด มาเป็นเวลาในการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งต้องการผลการจัดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Optimum Solution) และอยู่ภายใต้สมมติฐานดังต่อไปนี้

1) ปัญหาการจัดสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ของงานประกอบรถยนต์ที่สนใจเป็นปัญหาการ กำหนดลำดับงาน (Work Element) ภายในสถานีงานต่างๆที่เหมาะสม
2) ทราบข้อมูลเข้า (Input) ซึ่งได้แก่ ระยะเวลาในการผลิต (Takt Time) และวิธีการประกอบ
3) เวลาการทำงานคงที่ ไม่ขึ้นกับลำดับการจัดงาน และไม่ขึ้นกับสถานีการทำงานนั้นๆ
4) เวลาปรับเปลี่ยนรุ่นการผลิตสำหรับรถยนต์แต่ละรุ่น จะไม่ขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า และถูกรวมไว้แล้วกับเวลาดำเนินงาน
5) ไม่มีการแทรกงานในระหว่างการทำงาน
6) ชิ้นส่วนสำหรับการประกอบไม่มีการขาดแคลนและมารอพร้อมประกอบเสมอ
7) พิจารณาว่าเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในการประกอบไม่มีการเสียระหว่างการดำเนินงาน
8) ในแต่ละสถานีงานสามารถทำงานได้หลายงาน แต่เวลารวมของการทำงานในสถานีงานนั้นๆต้องไม่เกินระยะรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time: CT)
9) พนักงานที่ทำการประกอบมีความสามารถทำงานได้มากกว่า 1 งาน

10) ขณะทำการจับเวลาพนักงานมีอัตราการทำงานปรกติ โดยที่ไม่มีการเร่งงานหรือหน่วงงาน

11) การจัดงานเข้าสถานีงานนั้นจะรวมไปถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานในสถานีงานนั้นๆด้วย

จากข้อมูลในภาคผนวก ข. ที่แสดงลำดับก่อนหลังของงานประกอบรถยนต์จริงจะถูกนำมาจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่มีรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 22 นาที/คัน โดยใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นพบว่าวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านจากกฎ MINDUR ให้ผลคำตอบโดยรวมดีกว่าวิธีการอื่นๆ ดังนั้นเราสามารถพิจารณาผลได้จากตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบ 183 งานที่มีรอบเวลาการผลิต 22 นาที

สถานีกิจกรรมร่วม	ด้าน		งาน	เวลารวม (นาที)	เวลาว่างงาน (นาที)
	L	R			
1	√		1,3,5,7,10,14,15,17,19,21,26,28,30,32	19.76	2.24
		√	2,4,6,8,11,16,18,20,25,29,31,35	21.83	0.17
2	√		37,39,41,49,53,57,59,63,66,69,74	12.05	9.95
		√	36,38,40,42,44,50,52,56,60,61,65,67	16.36	5.64
3	√		79,83,84,89,91	19.10	2.9
		√	78,85,86,87,99	12.94	9.06
4	√		92	6.02	15.98
		√	102,103,105,106	14.16	7.84
5	√		108,110,115,119,121,128	18.68	3.32
		√	116,117,120,122,123	12.58	9.42
6	√		132,134,144,145,155,158,171	17.54	4.46
		√	133,135,137,166,173,177,34,23,27,46,143,146,70,58,118,130,62,73,114 95,101,100,129	21.79	0.21
7	√		174,178,182,43,33,24,45,47,94,148,151,176,142,136,112,153	20.76	1.24
		√	90,150,180,147,48,127,107,64,93,154,167,141,165,131,113,22,159,72	21.57	0.43
8	√		164,71,55,75,138,51,76,169,140,97	20.00	2.00
		√	88,68,179,160,98,170,139,81,168,54	21.37	0.63

ตารางที่ 5.14**(ต่อ)** ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบ 183 งานที่มีรอบเวลาการผลิต 22 นาที

สถานีกิจกรรมร่วม	ด้าน		งาน	เวลารวม (นาที)	เวลาว่างงาน (นาที)
9	√		126,124,12,82,111,183	21.75	0.25
		√	109,156,13,125,163,181	20.97	1.03
10	√		77,96,161,	16.5	5.50
		√	104,162,9	18.39	3.61
11	√		157,149	17.3	4.70
		√	172,80	14.25	7.75
12	√			0	0
		√	175,152	18.61	3.39

5.4 การวิเคราะห์ความไว

จากการวิเคราะห์พบว่าโปรแกรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบที่ได้พัฒนาขึ้นนั้น จะตอบสนองต่อปัจจัยในการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่ว่าจะเป็นแผนการผลิตที่เพิ่มขึ้น หรือลดลงซึ่งส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต เมื่อเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว โปรแกรมจะทำการคำนวณหาลำดับของงานที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพต่างๆ สามารถสรุปได้ 2 กรณีดังนี้

ก. เมื่อจำนวนขั้นงานเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้จำนวนสถานีงานที่ใช้แตกต่างกัน ซึ่งได้ทำการทดลองกับ 10 กับ 22 งาน โดยกำหนดรอบเวลาการผลิตไว้เท่ากับ 6 นาที ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนขั้นงานที่ใช้ในการปฏิบัติงานเพิ่มมากขึ้น จำนวนสถานีงานก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

ข. เมื่อรอบเวลาการผลิตเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้ผลที่ได้ออกมานั้นแตกต่างกัน ซึ่งหมายความลำดับงานและจำนวนสถานีงาน ก็จะแตกต่างกันด้วย หรือแม้แต่เวลาในการประกอบของกิจกรรมใดๆถูกปรับปรุงจนสามารถลดเวลามาตรฐานลงได้ ผลที่ได้ออกมานั้นก็จะแตกต่างเช่นเดียวกัน ซึ่งที่กล่าวมานี้เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเป็นประจำในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง นั้นหมายความว่าโปรแกรมสามารถทำการวิเคราะห์ความไวได้จากปัจจัยในการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งนำไปสู่การจัดสรรทรัพยากรในการผลิตได้อย่างเหมาะสม

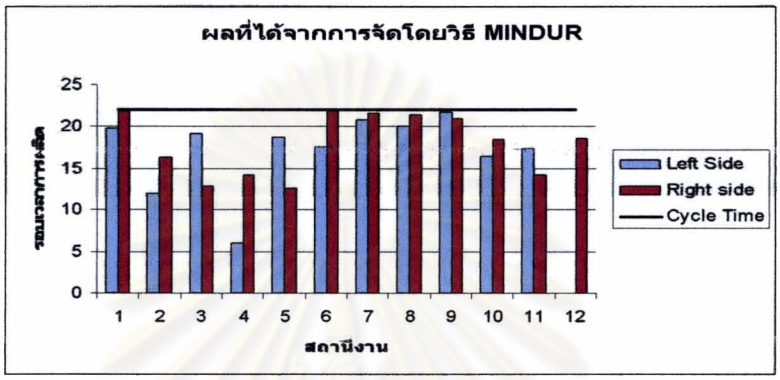
บทที่ 6
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันต้องการของลูกค้ามีแนวโน้มที่มีความหลากหลายมากขึ้น ส่งผลให้ผู้ผลิตหันมามองในเรื่องของการจัดการและการบริหารการผลิต ดังนั้นเพื่อที่จะตอบสนองความต้องการดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะผลิตสินค้าหรือบริการตามคุณลักษณะเฉพาะที่กำหนดในปริมาณที่ต้องการ ภายในระยะเวลาที่กำหนด เพื่อที่จะให้มีประสิทธิภาพในการผลิต การบริการหรือแปรสภาพสูงที่สุด โดยมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม โดยเริ่มจากการศึกษาและกำหนดเวลามาตรฐานรวมไปถึงพิจาราณาลำดับก่อนหลังของแต่ละกิจกรรมการประกอบ สิ่งต่างๆเหล่านี้จะนำไปสู่การจัดสมดุลสายการประกอบที่จะนำมาแทนที่วิธีการในอดีต ซึ่งเวลามาตรฐานของขั้นตอนการประกอบจะเป็นค่าประมาณรวมไปถึงการออกแบบสายการประกอบได้อาศัยประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเป็นส่วนใหญ่ สิ่งต่างๆเหล่านี้เป็นสาเหตุของการเกิดคอขวดในกระบวนการผลิต สาเหตุเนื่องจากมีภาระงานในแต่ละสถานีงานที่แตกต่างกันมากทำให้จัดการกับทรัพยากรได้ลำบาก ดังนั้นการกระจายภาระงานเพื่อสร้างสมดุลในแต่ละสถานีงานประกอบ จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ ซึ่งงานวิจัยนี้จะอธิบายระเบียบวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบเพื่อลดจำนวนสถานีงานและนำไปสู่การใช้ทรัพยากรในการผลิตได้อย่างเหมาะสม

การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านด้วยฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ง่ายไม่ซับซ้อนและเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้สำหรับปัญหาการจัดอย่างไรก็ตาม ปัญหาในงานอุตสาหกรรม สิ่งที่ละเลยไม่ได้คือการศึกษาการทำงาน การกำหนดเวลามาตรฐาน และลำดับความสัมพันธ์ของงานแผนการผลิตทั้งหมดในแต่ละวัน (Daily Basis) หรือในช่วงเวลากะ (Shiftily Basis) รวมไปถึงรอบเวลาการผลิต เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาการทำงานซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญที่จะประยุกต์ใช้เข้ากับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบซึ่งในการผลิตรถยนต์ในแต่ละรุ่นนั้น การออกแบบสถานีงานและการกำหนดกิจกรรมต่างๆ ในการประกอบนั้น เป็นสิ่งจำเป็น หากผู้มีอำนาจในการตัดสินใจอาศัยเพียงประสบการณ์ โดยไม่มีเครื่องมือในการช่วยวัดประสิทธิภาพของการทำงานของระบบ ปัญหาที่พบคือ การเกิดคอขวดระหว่างสถานีการประกอบ ซึ่งส่งผลต่อรอบเวลาการผลิตและการใช้ทรัพยากรที่ใช้ในการประกอบโดยตรง

ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่ถูกประมวลผลโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น พบว่าผู้ออกแบบสายการประกอบจะทราบเวลาว่างงานอยู่ในส่วนไหนของแต่ละสถานีงานได้และสามารถนำผลดังกล่าวมาปรับปรุงคำตอบ โดยอาจจะใช้วิธีการ ECRS ที่แสดงตัวอย่างตามภาคผนวก จ มาลดเวลาว่างงานดังกล่าวจนกว่าจะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ยิ่งไปกว่านั้นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลคำตอบที่รวดเร็วกว่าแบบเดิมที่มีการออกแบบสายการประกอบโดยอาศัยประสบการณ์จากผู้

ปฏิบัติงาน และยังสามารถอธิบายขั้นตอนที่ได้จากการจัดอย่างมีแบบแผน จากข้อมูลของงานประกอบ 183 งานที่ถูกจัดสรรด้วยโปรแกรมสามารถสร้างสถานีงานกิจกรรมร่วมได้ 23 สถานีงานดังที่แสดงในรูปที่ 6.1 ซึ่งผู้จัดสายการประกอบสามารถลดจำนวนสถานีงานได้ 2 สถานีงานด้วยการสลับตำแหน่งของงานตามตารางที่ 6.1

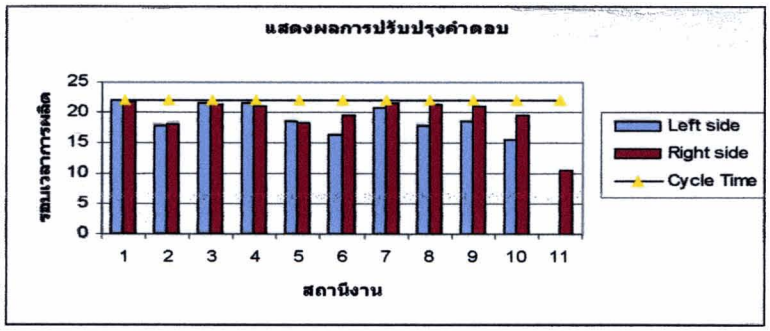


รูปที่ 6.1 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบที่ได้จากฮิวริสติก

ตารางที่ 6.1 งานที่ย้ายเพื่อปรับปรุงคำตอบ

สถานีงานด้านซ้าย			สถานีงานด้านขวา		
งาน	ย้ายจาก	ไป	งาน	ย้ายจาก	ไป
169	8L	1L	175	12R	3R
161	10L	2L	172	11R	4R
12	9L	3L	162	10R	4R
77	10L	4L	80	11R	10R
157	11L	5L			
149	11L	10L			

ผู้ที่ออกแบบสายการประกอบสามารถพิจารณาช่วงที่ว่างงานได้อย่างรวดเร็วและสามารถทำการสลับตำแหน่งงานในตารางที่ 6.1 ไปยังช่วงที่เกิดเวลาว่างงานในแต่ละสถานีงาน พบว่าเวลาของแต่ละสถานีงานมีค่าใกล้เคียงกับรอบเวลาการผลิตมากขึ้นยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถลดจำนวนสถานีงานกิจกรรมร่วมลงได้อีกดังที่แสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ผลการปรับปรุงคำตอบที่ได้จากฮิวริสติก

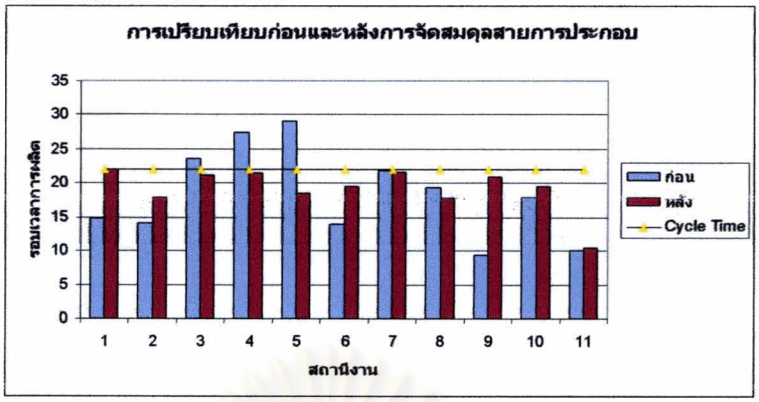
6.1 สรุปผลการวิจัย

เดิมทีการจัดสายการประกอบรถยนต์ที่สนใจศึกษานั้น ได้อาศัยประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน จึงส่งผลให้เกิดอัตราการใช้ทรัพยากรต่างๆที่ไม่เหมาะสม และต้องอาศัยเวลามากในการจัดสายการประกอบ งานวิจัยนี้จะได้เสนอโปรแกรมสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน ที่อธิบายตั้งแต่การประยุกต์ใช้เทคนิคการวัดผลงานของแต่ละงานการประกอบ การปรับปรุงงาน การหาและกำหนดลำดับความสัมพันธ์ของงาน โดยมีขอบเขตของงานที่ศึกษาทั้งหมด 183 งาน โดยแบ่งเป็นงานทางด้านซ้าย (61 งาน) ด้านขวา (66 งาน) งานที่ปฏิบัติได้จากด้านใดด้านหนึ่ง (56 งาน) ทั้งนี้การจัดสมดุลสายการประกอบของรถยนต์ทั้ง 2 รุ่นจะประยุกต์ใช้วิธีการทางฮิวริสติกในการแก้ปัญหา ซึ่งมีการกำหนดรอบเวลาการผลิตมาให้ (Type I) เพื่อหาจำนวนสถานีกิจกรรมร่วมที่น้อยที่สุด สำหรับรถยนต์รุ่น A และ B ที่มีลักษณะการประกอบที่คล้ายกัน สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 การสรุปผลการวิจัย

หัวข้อการเปรียบเทียบ	การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน	
	ก่อน	หลัง
ประสิทธิภาพการสายการประกอบ (%)	58.5	87.64
จำนวนสถานีกิจกรรมร่วม (สถานี)	31	21

สำหรับเวลาในแต่ละสถานีงานเราสามารถพิจารณาผลจากแผนภูมิแท่งที่แสดงในรูปที่ 6.3 และงานที่จัดลงในแต่ละสถานีงานสามารถพิจารณาได้จากภาคผนวก ค.



รูปที่ 6.3 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังจัดสมดุลสายการประกอบ

ข้อดีของการพัฒนาโปรแกรมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนี้คือสามารถลดเวลาการจัดแบบเดิมที่อาศัยประสบการณ์ โดยให้คำตอบในเบื้องต้น (Initial Solution) ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งผู้ออกแบบสายการประกอบสามารถนำคำตอบในเบื้องต้นไปทำการปรับปรุง โดยใช้หลักการ ECRS ได้ รวมไปถึงสามารถแสดงผลได้ตามที่ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น รอบเวลาการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ของงาน รวมไปถึงเวลาที่ใช้ในแต่ละงานย่อย

6.2 ผลการทดสอบเชิงเปรียบเทียบของวิธีการค้นหาคำตอบด้วยฮิวริสติก

เนื่องจากปัญหาในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านซึ่งเป็นปัญหาประเภทที่ 1 โดยต้องการจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเมื่อกำหนดรอบเวลาการผลิตมาให้ เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบเชิงเปรียบเทียบสำหรับคำตอบของ ประสิทธิภาพสายการประกอบ เวลาว่างงาน และจำนวนสถานีงาน สำหรับปัญหา 10 งานในเบื้องต้นพบว่าวิธีการของ MAXDUR ให้ผลคำตอบที่ดีที่สุดแต่เมื่อพิจารณาปัญหา 22 งานพบว่าวิธีการของ MINDUR ให้ผลคำตอบโดยรวมดีที่สุด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นการนำไปใช้งานจริงนั้นมีแนวโน้มที่จะใช้การตัดสินใจมากกว่ากฎเกณฑ์ที่เคร่งครัด จำนวนของงานที่จัดสรรให้กับสถานีงานหนึ่งอาจมีข้อจำกัด และข้อจำกัดนี้โดยมากจะต้องอาศัยความเข้าใจและการตัดสินใจของผู้ออกแบบสายการประกอบควบคู่กันไป

6.3 ประโยชน์ที่ได้รับและแนวทางในการประยุกต์ใช้

ผลจากการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้น ให้แนวทางในเบื้องต้นสำหรับการจัดสรรทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะกับสายการประกอบที่ส่วนใหญ่ใช้แรงงานใน

การประกอบ ซึ่งผลคำตอบได้แสดงถึงจำนวนสถานีงานและลำดับการทำงานภายในสถานีนั้นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้ผู้จัดสมดุลสายการประกอบนั้นทราบถึงปัจจัยที่ใช้ในการประกอบแต่ละด้าน ทำให้สามารถบริหารจัดการได้อย่างเหมาะสมอีกด้วย

สำหรับข้อดีของโปรแกรมการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่พัฒนาขึ้นมานั้น สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลของแต่ละกิจกรรมงานได้
2) สามารถจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านที่สอดคล้องกับเวลาการทำงานจริง
3) สามารถทราบถึงประสิทธิภาพสายการประกอบได้
4) สามารถทราบถึงเวลาว่างงานในแต่ละสถานีงานได้
5) ผู้ใช้งานสามารถทราบได้ทันทีว่าจุดไหนหากได้รับการปรับปรุงจะทำให้ประสิทธิภาพสายการประกอบเพิ่มขึ้น

6.4 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้น สิ่งที่สำคัญมากที่สุดคือผู้ใช้งานต้องลำดับขั้นงาน จัดกลุ่มของงานรวมไปถึงกำหนดเวลามาตรฐานให้ถูกต้องและสอดคล้องเสียก่อน เพื่อที่จะนำข้อมูลต่างๆ มาจัดสมดุลสายการประกอบ และจะทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงหรือสลับตำแหน่งของงาน และการพัฒนางานวิจัยยังสามารถพิจารณาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านโดยที่เป็นปัญหาประเภทที่ 2 รวมไปถึงลักษณะการผลิตเป็นแบบผลิตภัณฑ์ผสม ซึ่งจะต้องพัฒนาอัลกอริทึ่มสำหรับปัญหาดังกล่าวต่อไป

วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านนั้น แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ 1)ฮิวริสติกที่ทำให้เกิดลำดับ (Constructive Heuristic) 2) ฮิวริสติกประเภทปรับปรุงคำตอบ (Improvement Heuristic) ซึ่งฮิวริสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นฮิวริสติกที่ทำให้เกิดลำดับ ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้ในการหาคำตอบที่สถานะเริ่มต้น (Initial Solution) ซึ่งต่อไปมีแนวโน้มที่จะใช้ฮิวริสติกประเภทปรับปรุงคำตอบ เช่น Genetic Algorithm, Simulate Annealing หรือ Ant Algorithm เป็นต้น และที่สำคัญภายใต้สมมติฐานในงานวิจัยได้กำหนดปัญหาที่สนใจเป็นประเภท SALB ซึ่งการวิจัยในอนาคตควรจะนำปัญหาประเภท GALB มาวิจัยต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จงกล เอี่ยมมิ. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึ่มในการจัดสมดุลสายประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2543.

ฐิติพร สังข์สัมฤทธิ์. การลดความสูญเสียในกระบวนการพิมพ์หนังสือ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2544

นิสา ชัยนภาพร. การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในโรงงานเก้าอี้ทันตกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2545.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมกรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545

ปารเมศ ชุติมา. การประยุกต์เทคนิคการจัดตารางในอุตสาหกรรม.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, เนื้อโสม ติงสัญชลี.การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา .กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2538.

วิจิตร ตัณฑสุทธ์, วันชัย ริจิรวนิช, จรูญ มหิทธาฟองกุล, ชูเวช ชาญสง่าเวช.การศึกษาการทำงาน . กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

วันชัย ริจิรวนิช.การศึกษาการทำงานหลักการและกรณีศึกษา.กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ศรันยา อุดมศรี. การจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนโดยไม่มีบัฟเฟอร์ โดยวิธีฮิวริสติก กรณีศึกษา: โรงงานประกอบรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2547.

อภิชาติ ลิลิตการตกุล. การลดและขจัดความสูญเสียในอุตสาหกรรมสบู่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2540.

อัจฉรา วัฒนานนท์. การวิเคราะห์มาตรฐานการทำงานการผลิตฝาสูบยานยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2543.

ภาษาอังกฤษ

Bautista,J.,Pereira.,,Ant algorithms for a time and space constrained assembly line balancing problem. European Journal of Operation Research.2006: 2016-2032

Becker,C.,Scholl,A., A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. European Journal of Operation Research.2004: 694-715

Boysen,N.,Fliedner,M.,Scholl,A., Assembly line balancing: Which model to use when. International Journal of Production Economics.2007: 509-528

Boysen,N.,Fliedner,M.,Scholl,A., A classification of assembly line balancing problem .European Journal of Operation Research.2006: 674-693

Erel,E.,Gokcen.,Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem. European Journal of Operation Research.1998: 194-204

Jin,M.,Wu,D.S., A new heuristic method for mixed model assembly line balancing problem . Computer and Industrial Engineering.2002: 159-169

Khan,A.,Day,A.j.,A Knowledge Base Design Methodology for manufacturing assembly lines. Computer and Industrial Engineering.2001: 441-467

Kim,Y.K.,Song W.S.,Kim,J.H., A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing. Computer & Operation Research.2008: 853-865

Lapierre,S.D.,Ruiz,A.B.,Balancing assembly lines:an industrial case study. Journal of the Operation Research Society.2004: 589-597

Lapierre,S.D.,Ruiz,A.,Soriano,P.,Balancing assembly lines with tabu search. European Journal of Operation Research.2006: 826-837

Lee,T.O.,Kim,Y.,Kim,Y.O., Two-Sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness. Computer and Industrial Engineering.2001: 500-757

Nakade,K.,Ohno.,An optimal worker allocation problem for a U-Shaped production line. International Journal of Production Economics.1999: 353-358

Ozan,U.,Toklu,B., Multilple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models. Computer & Operation Research.2008

Ozan,U.,Toklu,B., Balancing of mixed-model two-sided assembly lines. Computer & Industrial Engineering.2009

Simaria,A.S.,Vilarinho,P.M.,A genetic algorithm based approach to the mixed-model assembly line balancing problem of type II. Computer and Industrial Engineering.2004: 391-407

Simaria,S.A.,Vilarinho,M.P.,2-ANTBAL:An ant colony optimization algorithm for balancing two-sided assembly lines. Computer & Industrial Engineering.2007

Xiaobo,Z.,Zhou,Z.,Asres,A.,A note on Toyota's goal of sequencing mixed models on an assembly line. Computer and Industrial Engineering.1999: 57-65

Xiaofeng,H.,Erfei,W.,Ye,J., A Station-oriented enumerative algorithm for two-sided assembly line balancing. European Journal Of Operation Research.2008:435-440

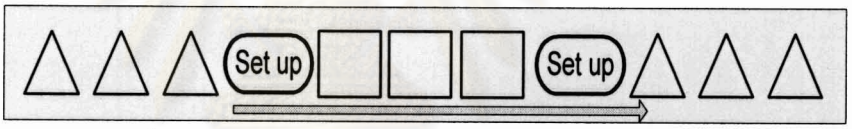
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ข้อมูลการศึกษาเวลา

การศึกษาการทำงาน (Work study) เป็นคำที่ใช้แทนถึงวิธีการต่างๆจากการศึกษาวิธีการทำงาน (Method study) และการวัดผลงาน (Work Measurement) ซึ่งใช้ในการศึกษา อย่างมีระเบียบถึงการทำงานของคนและพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ และมีผลต่อประสิทธิภาพและสภาวะของการทำงาน การศึกษางานวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้เก็บข้อมูลในงานประกอบรถยนต์ ทั้งนี้เพื่อความสอดคล้องกับความต้องการในการใช้ข้อมูลโดยมีขั้นตอนการศึกษาดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 และสายงานการประกอบรถยนต์ที่สนใจมีลักษณะการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Batch-Model Assembly Line) ซึ่งเป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดขึ้นไปที่ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีกระบวนการประกอบที่ใกล้เคียงกันสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ โดยในการประกอบจะทำทีละชุด (Batch) ผลิตภัณฑ์ ในช่วงที่จะเปลี่ยนการประกอบชนิดของผลิตภัณฑ์ ต้องมีการปรับสายการประกอบใหม่ (Set up) ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 สายงานการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์

ในขณะที่ผู้ทำการศึกษางานทำการเก็บข้อมูลเพื่อหาเวลามาตรฐานนั้น จะต้องทำการตรวจสอบลำดับความก่อนหลังของงานไปพร้อมๆกัน

งานวิจัยฉบับนี้ได้มีการกลั่นกรองข้อมูลของเวลาในการปฏิบัติงานในแต่ละขั้นตอนของการประกอบรถยนต์ และได้ทำการทดสอบทางสถิติ โดยเลือกใช้ระดับความเชื่อมั่นของข้อมูลที่ 90% ซึ่งขนาดของตัวอย่างที่เก็บข้อมูลนั้นจะเก็บทั้งหมดเท่ากับ 10 ครั้งซึ่งสามารถพิจารณาได้จากภาคผนวก ก ในส่วนต่อไปจะแสดงลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานจากข้อมูลการประกอบรถยนต์จะประกอบไปด้วยงาน183 งาน ดังที่แสดงตัวอย่างตามตารางที่ ก1 และ ก2

ตารางภาคผนวก ก.1 เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
1	0.42	0.44	0.43	0.43	0.45	0.39	0.48	0.41	0.43	0.42	4.267	0.427	200.939	0.024	3	0.09	0.51
2	0.47	0.52	0.42	0.39	0.51	0.48	0.46	0.52	0.58	0.44	4.762	0.476	201.048	0.055	7	0.10	0.57
3	1.12	1.13	1.18	1.14	1.22	1.10	1.07	1.18	1.17	1.22	11.497	1.150	202.529	0.050	3	0.23	1.38
4	2.28	3.32	2.30	2.68	2.26	2.26	1.98	2.24	2.29	2.33	23.973	2.397	205.274	0.366	9	0.48	2.88
5	1.25	1.31	1.33	1.73	1.24	1.28	1.28	1.21	1.45	1.34	13.420	1.342	202.952	0.152	7	0.27	1.61
6	1.25	1.26	1.26	1.25	1.25	1.25	1.25	1.21	1.25	1.25	12.480	1.248	202.746	0.014	1	0.25	1.50
7	1.00	1.01	1.06	1.02	1.10	0.98	0.95	1.06	1.05	1.10	10.330	1.033	202.273	0.050	3	0.21	1.24
8	1.20	1.21	1.21	1.20	1.20	1.20	1.20	1.16	1.20	1.20	11.980	1.198	202.636	0.014	1	0.24	1.44
9	3.83	4.13	4.53	4.33	4.35	4.11	4.19	4.23	4.24	4.33	42.303	4.230	209.307	0.186	3	0.85	5.08
10	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.29	0.33	0.33	3.313	0.331	200.729	0.014	2	0.07	0.40
11	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.29	0.33	0.33	3.313	0.331	200.729	0.014	2	0.07	0.40

130

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
12	1.70	1.74	1.72	2.10	1.68	1.68	1.40	1.66	1.71	1.75	17.140	1.714	203.771	0.168	6	0.34	2.06
13	1.70	1.74	1.72	2.10	1.68	1.68	1.40	1.66	1.71	1.75	17.140	1.714	203.771	0.168	6	0.34	2.06
14	0.83	0.84	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83	0.79	0.83	0.83	8.313	0.831	201.829	0.014	1	0.17	1.00
15	0.70	0.71	0.76	0.72	0.80	0.68	0.65	0.76	0.75	0.80	7.330	0.733	201.613	0.050	4	0.15	0.88
16	2.00	2.01	2.06	2.02	2.10	1.98	1.95	2.06	2.05	2.10	20.330	2.033	204.473	0.050	1	0.41	2.44
17	2.28	2.29	2.34	2.30	2.38	2.26	2.23	2.34	2.33	2.38	23.163	2.316	205.096	0.050	1	0.46	2.78
18	3.75	3.80	3.70	3.68	3.79	3.95	3.85	3.80	3.86	3.72	37.895	3.790	208.337	0.083	1	0.76	4.55
19	2.67	2.68	2.73	2.87	2.77	2.65	2.62	2.73	2.72	2.77	27.177	2.718	205.979	0.072	2	0.54	3.26
20	2.83	2.87	2.85	3.23	2.81	2.81	2.53	2.79	2.84	2.88	28.473	2.847	206.264	0.168	3	0.57	3.42
21	1.00	1.01	1.06	1.02	1.10	0.98	0.95	1.06	1.05	1.10	10.330	1.033	202.273	0.050	3	0.21	1.24
22	0.92	0.93	0.98	0.94	1.02	0.90	0.87	0.98	0.97	1.02	9.497	0.950	202.089	0.050	3	0.19	1.14

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
23	2.83	2.63	2.53	2.43	3.03	2.93	2.98	2.88	3.13	3.03	28.433	2.843	206.255	0.234	5	0.57	3.41
24	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20
25	0.17	0.16	0.16	0.19	0.18	0.15	0.22	0.21	0.20	0.18	1.787	0.179	200.393	0.023	7	0.04	0.21
26	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20
27	0.17	0.18	0.18	0.22	0.18	0.15	0.22	0.13	0.22	0.18	1.797	0.180	200.395	0.030	10	0.04	0.22
28	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20
29	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20
30	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20
31	1.00	0.80	0.70	0.96	1.20	1.10	1.15	1.05	1.30	1.20	10.460	1.046	202.301	0.187	10	0.21	1.26
32	0.17	0.18	0.14	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.607	0.161	200.353	0.016	6	0.03	0.19
33	0.17	0.18	0.18	0.15	0.18	0.15	0.22	0.23	0.22	0.16	1.807	0.181	200.397	0.030	9	0.04	0.22

132

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
34	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20
35	0.17	0.16	0.16	0.19	0.18	0.15	0.22	0.21	0.20	0.18	1.787	0.179	200.393	0.023	7	0.04	0.21
36	0.50	0.51	0.56	0.52	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.330	0.533	201.173	0.050	5	0.11	0.64
37	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
38	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
39	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
40	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
41	0.50	0.51	0.56	0.52	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.330	0.533	201.173	0.050	5	0.11	0.64
42	0.50	0.51	0.56	0.52	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.330	0.533	201.173	0.050	5	0.11	0.64
43	0.17	0.18	0.18	0.19	0.18	0.15	0.22	0.23	0.22	0.18	1.867	0.187	200.411	0.025	8	0.04	0.22
44	0.17	0.15	0.19	0.19	0.18	0.17	0.21	0.20	0.19	0.23	1.847	0.185	200.406	0.023	7	0.04	0.22

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
45	0.17	0.16	0.15	0.19	0.18	0.17	0.21	0.20	0.19	0.23	1.817	0.182	200.400	0.024	8	0.04	0.22
46	0.17	0.15	0.15	0.19	0.18	0.17	0.21	0.20	0.19	0.23	1.807	0.181	200.397	0.025	8	0.04	0.22
47	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
48	0.70	0.71	0.76	0.72	0.80	0.68	0.65	0.76	0.75	0.80	7.330	0.733	201.613	0.050	4	0.15	0.88
49	0.75	1.05	1.45	1.25	1.27	1.03	1.11	1.15	1.16	1.25	11.470	1.147	202.523	0.186	9	0.23	1.38
50	1.27	1.32	1.22	1.19	1.31	1.47	1.37	1.32	1.38	1.24	13.062	1.306	202.874	0.083	4	0.26	1.57
51	1.33	1.34	1.39	1.53	1.43	1.31	1.28	1.39	1.38	1.43	13.843	1.384	203.046	0.072	3	0.28	1.66
52	1.58	1.62	1.60	1.98	1.56	1.56	1.28	1.54	1.59	1.63	15.973	1.597	203.514	0.168	6	0.32	1.92
53	1.53	1.54	1.59	1.55	1.63	1.51	1.48	1.59	1.58	1.63	15.663	1.566	203.446	0.050	2	0.31	1.88
54	1.55	1.56	1.61	1.57	1.65	1.53	1.50	1.61	1.60	1.65	15.830	1.583	203.483	0.050	2	0.32	1.90
55	1.70	1.50	1.40	1.30	1.90	1.80	1.85	1.75	2.00	1.90	17.100	1.710	203.762	0.234	8	0.34	2.05

134

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
56	0.58	0.59	0.64	0.60	0.68	0.56	0.53	0.64	0.63	0.68	6.163	0.616	201.356	0.050	5	0.12	0.74
57	0.17	0.18	0.18	0.19	0.18	0.15	0.22	0.23	0.22	0.18	1.867	0.187	200.411	0.025	8	0.04	0.22
58	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
59	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
60	1.00	1.04	1.02	1.40	0.98	0.98	0.70	0.96	1.01	1.05	10.140	1.014	202.231	0.168	10	0.20	1.22
61	0.50	0.51	0.56	0.52	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.330	0.533	201.173	0.050	5	0.11	0.64
62	0.42	0.43	0.48	0.44	0.52	0.40	0.37	0.48	0.47	0.52	4.497	0.450	200.989	0.050	6	0.09	0.54
63	0.50	0.51	0.56	0.52	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.330	0.533	201.173	0.050	5	0.11	0.64
64	0.67	0.68	0.73	0.69	0.77	0.65	0.62	0.73	0.72	0.77	6.997	0.700	201.539	0.050	4	0.14	0.84
65	6.35	6.65	7.05	6.85	6.87	6.63	6.71	6.75	6.76	6.85	67.470	6.747	214.843	0.186	2	1.35	8.10
66	0.75	0.80	0.70	0.68	0.79	0.95	0.85	0.80	0.86	0.72	7.895	0.790	201.737	0.083	6	0.16	0.95

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
67	0.45	0.46	0.51	0.65	0.55	0.43	0.40	0.51	0.50	0.55	5.010	0.501	201.102	0.072	8	0.10	0.60
68	1.28	1.32	1.30	1.68	1.26	1.26	0.98	1.24	1.29	1.33	12.973	1.297	202.854	0.168	8	0.26	1.56
69	0.25	0.26	0.31	0.27	0.35	0.23	0.20	0.31	0.30	0.35	2.830	0.283	200.623	0.050	10	0.06	0.34
70	0.25	0.26	0.31	0.27	0.35	0.23	0.20	0.31	0.30	0.35	2.830	0.283	200.623	0.050	10	0.06	0.34
71	0.75	0.76	0.81	0.77	0.85	0.73	0.70	0.81	0.80	0.85	7.830	0.783	201.723	0.050	4	0.16	0.94
72	0.75	0.76	0.81	0.77	0.85	0.73	0.70	0.81	0.80	0.85	7.830	0.783	201.723	0.050	4	0.16	0.94
73	0.45	0.46	0.51	0.47	0.55	0.43	0.40	0.51	0.50	0.55	4.830	0.483	201.063	0.050	6	0.10	0.58
74	1.15	1.20	1.10	1.08	1.19	1.35	1.25	1.20	1.26	1.12	11.895	1.190	202.617	0.083	4	0.24	1.43
75	1.33	1.34	1.39	1.53	1.43	1.31	1.28	1.39	1.38	1.43	13.843	1.384	203.046	0.072	3	0.28	1.66
76	1.33	1.37	1.35	1.73	1.31	1.31	1.03	1.29	1.34	1.38	13.473	1.347	202.964	0.168	7	0.27	1.62
77	3.33	3.39	3.83	4.23	3.13	3.63	3.43	3.29	3.53	3.42	35.243	3.524	207.754	0.314	5	0.70	4.23

136

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
78	5.00	5.06	5.46	4.50	4.60	5.30	4.90	4.60	4.70	5.20	49.320	4.932	210.850	0.328	4	0.99	5.92
79	0.50	0.51	0.56	0.52	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.330	0.533	201.173	0.050	5	0.11	0.64
80	5.50	6.00	6.50	6.40	5.90	6.40	4.60	5.90	6.50	6.50	60.200	6.020	213.244	0.605	6	1.20	7.22
81	1.12	1.42	1.82	1.62	1.64	1.40	1.48	1.52	1.53	1.62	15.137	1.514	203.330	0.186	7	0.30	1.82
82	3.93	3.98	3.88	3.86	3.97	4.13	4.03	3.98	4.04	3.90	39.728	3.973	208.740	0.083	1	0.79	4.77
83	0.83	0.84	0.89	1.03	0.93	0.81	0.78	0.89	0.88	0.93	8.843	0.884	201.946	0.072	5	0.18	1.06
84	1.25	1.29	1.27	1.65	1.23	1.23	0.95	1.21	1.26	1.30	12.640	1.264	202.781	0.168	8	0.25	1.52
85	1.25	1.29	1.27	1.65	1.23	1.23	0.95	1.21	1.26	1.30	12.640	1.264	202.781	0.168	8	0.25	1.52
86	1.25	1.26	1.31	1.27	1.35	1.23	1.20	1.31	1.30	1.35	12.830	1.283	202.823	0.050	2	0.26	1.54
87	1.25	1.29	1.27	1.65	1.23	1.23	0.95	1.21	1.26	1.30	12.640	1.264	202.781	0.168	8	0.25	1.52
88	1.25	1.29	1.27	1.65	1.23	1.23	0.95	1.21	1.26	1.30	12.640	1.264	202.781	0.168	8	0.25	1.52

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
89	9.35	9.65	10.05	9.85	9.87	9.63	9.71	9.75	9.76	9.85	97.470	9.747	221.443	0.186	1	1.95	11.70
90	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
91	1.42	1.43	1.48	1.62	1.52	1.40	1.37	1.48	1.47	1.52	14.677	1.468	203.229	0.072	3	0.29	1.76
92	7.00	7.04	7.02	7.40	6.98	6.98	6.70	6.96	7.01	7.05	70.140	7.014	215.431	0.168	1	1.40	8.42
93	0.83	0.84	0.89	0.85	0.93	0.81	0.78	0.89	0.88	0.93	8.663	0.866	201.906	0.050	3	0.17	1.04
94	0.50	0.51	0.56	0.52	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.330	0.533	201.173	0.050	5	0.11	0.64
95	0.42	0.43	0.48	0.44	0.52	0.40	0.37	0.48	0.47	0.52	4.497	0.450	200.989	0.050	6	0.09	0.54
96	4.17	4.67	5.17	5.07	4.57	5.07	3.27	4.57	5.17	5.17	46.867	4.687	210.311	0.605	7	0.94	5.62
97	2.17	2.47	2.87	2.67	2.69	2.45	2.53	2.57	2.58	2.67	25.637	2.564	205.640	0.186	4	0.51	3.08
98	1.75	1.80	1.70	1.68	1.79	1.95	1.85	1.80	1.86	1.72	17.895	1.790	203.937	0.083	3	0.36	2.15
99	1.50	1.51	1.56	1.70	1.60	1.48	1.45	1.56	1.55	1.60	15.510	1.551	203.412	0.072	3	0.31	1.86

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
100	0.78	0.79	0.84	0.80	0.88	0.76	0.73	0.84	0.83	0.88	8.163	0.816	201.796	0.050	4	0.16	0.98
101	0.78	0.79	0.84	0.80	0.88	0.76	0.73	0.84	0.83	0.88	8.163	0.816	201.796	0.050	4	0.16	0.98
102	0.85	0.86	0.91	0.87	0.95	0.83	0.80	0.91	0.90	0.95	8.830	0.883	201.943	0.050	3	0.18	1.06
103	1.67	1.47	1.37	1.27	1.87	1.77	1.82	1.72	1.97	1.87	16.767	1.677	203.689	0.234	8	0.34	2.01
104	5.00	5.50	6.00	5.90	5.40	5.90	4.10	5.40	6.00	6.00	55.200	5.520	212.144	0.605	6	1.10	6.62
105	4.42	4.72	5.12	4.92	4.94	4.70	4.78	4.82	4.83	4.92	48.137	4.814	210.590	0.186	2	0.96	5.78
106	4.42	4.47	4.37	4.34	4.46	4.62	4.52	4.47	4.53	4.39	44.562	4.456	209.804	0.083	1	0.89	5.35
107	0.67	0.68	0.73	0.87	0.77	0.65	0.62	0.73	0.72	0.77	7.177	0.718	201.579	0.072	6	0.14	0.86
108	0.83	0.84	0.89	0.85	0.93	0.81	0.78	0.89	0.88	0.93	8.663	0.866	201.906	0.050	3	0.17	1.04
109	2.33	2.39	2.83	3.23	2.13	2.63	2.43	2.29	2.53	2.42	25.243	2.524	205.554	0.314	7	0.50	3.03
110	4.08	4.14	4.54	3.58	3.68	4.38	3.98	3.68	3.78	4.28	40.153	4.015	208.834	0.328	5	0.80	4.82

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
111	3.00	2.80	2.70	2.60	3.20	3.10	3.15	3.05	3.30	3.20	30.100	3.010	206.622	0.234	5	0.60	3.61
112	0.62	0.63	0.68	0.64	0.72	0.60	0.57	0.68	0.67	0.72	6.497	0.650	201.429	0.050	4	0.13	0.78
113	0.62	0.63	0.68	0.64	0.72	0.60	0.57	0.68	0.67	0.72	6.497	0.650	201.429	0.050	4	0.13	0.78
114	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
115	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
116	0.45	0.46	0.51	0.47	0.55	0.43	0.40	0.51	0.50	0.55	4.830	0.483	201.063	0.050	6	0.10	0.58
117	0.45	0.46	0.51	0.47	0.55	0.43	0.40	0.51	0.50	0.55	4.830	0.483	201.063	0.050	6	0.10	0.58
118	0.58	0.59	0.64	0.60	0.68	0.56	0.53	0.64	0.63	0.68	6.163	0.616	201.356	0.050	5	0.12	0.74
119	2.33	2.13	2.03	1.93	2.53	2.43	2.48	2.38	2.63	2.53	23.433	2.343	205.155	0.234	6	0.47	2.81
120	2.33	2.13	2.03	1.93	2.53	2.43	2.48	2.38	2.63	2.53	23.433	2.343	205.155	0.234	6	0.47	2.81
121	3.00	3.30	3.70	3.50	3.52	3.28	3.36	3.40	3.41	3.50	33.970	3.397	207.473	0.186	3	0.68	4.08

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
122	5.75	5.80	5.70	5.68	5.79	5.95	5.85	5.80	5.86	5.72	57.895	5.790	212.737	0.083	1	1.16	6.95
123	1.58	1.59	1.64	1.78	1.68	1.56	1.53	1.64	1.63	1.68	16.343	1.634	203.596	0.072	3	0.33	1.96
124	1.83	1.87	1.85	2.23	1.81	1.81	1.53	1.79	1.84	1.88	18.473	1.847	204.064	0.168	5	0.37	2.22
125	1.75	1.81	2.25	2.65	1.55	2.05	1.85	1.71	1.95	1.84	19.410	1.941	204.270	0.314	9	0.39	2.33
126	1.75	1.76	1.81	1.77	1.85	1.73	1.70	1.81	1.80	1.85	17.830	1.783	203.923	0.050	2	0.36	2.14
127	0.58	0.59	0.64	0.60	0.68	0.56	0.53	0.64	0.63	0.68	6.163	0.616	201.356	0.050	5	0.12	0.74
128	0.83	0.84	0.89	0.85	0.93	0.81	0.78	0.89	0.88	0.93	8.663	0.866	201.906	0.050	3	0.17	1.04
129	0.42	0.43	0.48	0.44	0.52	0.40	0.37	0.48	0.47	0.52	4.497	0.450	200.989	0.050	6	0.09	0.54
130	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
131	0.50	0.51	0.56	0.70	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.510	0.551	201.212	0.072	8	0.11	0.66
132	0.45	0.46	0.51	0.47	0.55	0.43	0.40	0.51	0.50	0.55	4.830	0.483	201.063	0.050	6	0.10	0.58

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
133	1.00	1.01	1.06	1.02	1.10	0.98	0.95	1.06	1.05	1.10	10.330	1.033	202.273	0.050	3	0.21	1.24
134	0.92	0.93	0.98	0.94	1.02	0.90	0.87	0.98	0.97	1.02	9.497	0.950	202.089	0.050	3	0.19	1.14
135	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
136	0.58	0.59	0.64	0.60	0.68	0.56	0.53	0.64	0.63	0.68	6.163	0.616	201.356	0.050	5	0.12	0.74
137	0.83	1.13	1.53	1.33	1.35	1.11	1.19	1.23	1.24	1.33	12.303	1.230	202.707	0.186	9	0.25	1.48
138	0.58	0.59	0.64	0.60	0.68	0.56	0.53	0.64	0.63	0.68	6.163	0.616	201.356	0.050	5	0.12	0.74
139	0.83	1.13	1.53	1.33	1.35	1.11	1.19	1.23	1.24	1.33	12.303	1.230	202.707	0.186	9	0.25	1.48
140	1.83	1.87	1.85	2.23	1.81	1.81	1.53	1.79	1.84	1.88	18.473	1.847	204.064	0.168	5	0.37	2.22
141	0.55	0.56	0.61	0.57	0.65	0.53	0.50	0.61	0.60	0.65	5.830	0.583	201.283	0.050	5	0.12	0.70
142	0.38	0.39	0.44	0.40	0.48	0.36	0.33	0.44	0.43	0.48	4.163	0.416	200.916	0.050	7	0.08	0.50
143	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20

142

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
144	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20
145	0.17	0.18	0.18	0.19	0.18	0.15	0.22	0.23	0.22	0.18	1.867	0.187	200.411	0.025	8	0.04	0.22
146	0.17	0.18	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.687	0.169	200.371	0.021	7	0.03	0.20
147	0.67	0.68	0.73	0.87	0.77	0.65	0.62	0.73	0.72	0.77	7.177	0.718	201.579	0.072	6	0.14	0.86
148	0.67	0.68	0.68	0.69	0.68	0.65	0.72	0.73	0.72	0.68	6.867	0.687	201.511	0.025	2	0.14	0.82
149	8.05	8.11	8.55	8.95	7.85	8.35	8.15	8.01	8.25	8.14	82.410	8.241	218.130	0.314	2	1.65	9.89
150	0.75	0.76	0.81	0.77	0.85	0.73	0.70	0.81	0.80	0.85	7.830	0.783	201.723	0.050	4	0.16	0.94
151	0.58	0.59	0.64	0.60	0.68	0.56	0.53	0.64	0.63	0.68	6.163	0.616	201.356	0.050	5	0.12	0.74
152	8.05	8.55	9.05	8.95	8.45	8.95	8.05	8.45	9.05	9.05	86.600	8.660	219.052	0.404	3	1.73	10.39
153	0.55	0.56	0.61	0.57	0.65	0.53	0.50	0.61	0.60	0.65	5.830	0.583	201.283	0.050	5	0.12	0.70
154	0.55	0.60	0.50	0.48	0.59	0.75	0.65	0.60	0.66	0.52	5.895	0.590	201.297	0.083	8	0.12	0.71

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
155	1.25	1.26	1.31	1.45	1.35	1.23	1.20	1.31	1.30	1.35	13.010	1.301	202.862	0.072	3	0.26	1.56
156	4.57	4.61	4.59	4.97	4.55	4.55	4.27	4.53	4.58	4.62	45.807	4.581	210.077	0.168	2	0.92	5.50
157	5.75	5.81	6.25	6.65	5.55	6.05	5.85	5.71	5.95	5.84	59.410	5.941	213.070	0.314	3	1.19	7.13
158	5.00	5.06	5.46	4.50	4.60	5.30	4.90	4.60	4.70	5.20	49.320	4.932	210.850	0.328	4	0.99	5.92
159	1.03	1.04	1.09	1.05	1.13	1.01	0.98	1.09	1.08	1.13	10.663	1.066	202.346	0.050	3	0.21	1.28
160	1.25	1.26	1.31	1.27	1.35	1.23	1.20	1.31	1.30	1.35	12.830	1.283	202.823	0.050	2	0.26	1.54
161	4.17	4.47	4.87	4.67	4.69	4.45	4.53	4.57	4.58	4.67	45.637	4.564	210.040	0.186	2	0.91	5.48
162	5.67	5.72	5.62	5.59	5.71	5.87	5.77	5.72	5.78	5.64	57.062	5.706	212.554	0.083	1	1.14	6.85
163	1.50	1.51	1.56	1.70	1.60	1.48	1.45	1.56	1.55	1.60	15.510	1.551	203.412	0.072	3	0.31	1.86
164	3.33	3.34	3.39	3.53	3.43	3.31	3.28	3.39	3.38	3.43	33.843	3.384	207.446	0.072	1	0.68	4.06
165	0.70	0.71	0.76	0.90	0.80	0.68	0.65	0.76	0.75	0.80	7.510	0.751	201.652	0.072	6	0.15	0.90

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
166	1.00	1.01	1.06	1.02	1.10	0.98	0.95	1.06	1.05	1.10	10.330	1.033	202.273	0.050	3	0.21	1.24
167	1.00	1.30	1.70	1.50	1.52	1.28	1.36	1.40	1.41	1.50	13.970	1.397	203.073	0.186	8	0.28	1.68
168	1.00	1.01	1.06	1.02	1.10	0.98	0.95	1.06	1.05	1.10	10.330	1.033	202.273	0.050	3	0.21	1.24
169	1.00	1.30	1.70	1.50	1.52	1.28	1.36	1.40	1.41	1.50	13.970	1.397	203.073	0.186	8	0.28	1.68
170	1.47	1.52	1.42	1.39	1.51	1.67	1.57	1.52	1.58	1.44	15.062	1.506	203.314	0.083	3	0.30	1.81
171	1.67	1.68	1.73	1.87	1.77	1.65	1.62	1.73	1.72	1.77	17.177	1.718	203.779	0.072	2	0.34	2.06
172	1.67	1.71	1.69	2.07	1.65	1.65	1.37	1.63	1.68	1.72	16.807	1.681	203.697	0.168	6	0.34	2.02
173	5.83	5.89	6.33	6.73	5.63	6.13	5.93	5.79	6.03	5.92	60.243	6.024	213.254	0.314	3	1.20	7.23
174	3.67	3.73	4.13	3.17	3.27	3.97	3.57	3.27	3.37	3.87	35.987	3.599	207.917	0.328	5	0.72	4.32
175	3.83	3.63	3.53	3.43	4.03	3.93	3.98	3.88	4.13	4.03	38.433	3.843	208.455	0.234	4	0.77	4.61
176	5.00	5.50	6.00	5.90	5.40	5.90	4.10	5.40	6.00	6.00	55.200	5.520	212.144	0.605	6	1.10	6.62

ตารางภาคผนวก ก.1(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น A

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
177	0.43	0.44	0.49	0.45	0.53	0.41	0.38	0.49	0.48	0.53	4.663	0.466	201.026	0.050	6	0.09	0.56
178	0.42	0.43	0.48	0.44	0.52	0.40	0.37	0.48	0.47	0.52	4.497	0.450	200.989	0.050	6	0.09	0.54
179	0.53	0.54	0.59	0.73	0.63	0.51	0.48	0.59	0.58	0.63	5.843	0.584	201.286	0.072	7	0.12	0.70
180	0.42	0.43	0.48	0.44	0.52	0.40	0.37	0.48	0.47	0.52	4.497	0.450	200.989	0.050	6	0.09	0.54
181	3.67	3.73	4.17	4.57	3.47	3.97	3.77	3.63	3.87	3.76	38.577	3.858	208.487	0.314	5	0.77	4.63
182	4.33	4.39	4.79	3.83	3.93	4.63	4.23	3.93	4.03	4.53	42.653	4.265	209.384	0.328	4	0.85	5.12
183	3.33	3.13	3.03	2.93	3.53	3.43	3.48	3.38	3.63	3.53	33.433	3.343	207.355	0.234	4	0.67	4.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ก.2 เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
1	0.48	0.50	0.49	0.49	0.51	0.45	0.54	0.47	0.49	0.48	4.933	0.493	201.085	0.024	3	0.10	0.59
2	0.52	0.57	0.47	0.44	0.56	0.53	0.51	0.57	0.63	0.49	5.262	0.526	201.158	0.055	6	0.11	0.63
3	1.25	1.26	1.31	1.27	1.35	1.23	1.20	1.31	1.30	1.35	12.830	1.283	202.823	0.050	2	0.26	1.54
4	2.47	2.52	2.42	2.39	2.51	2.67	2.57	2.52	2.58	2.52	25.142	2.514	205.531	0.079	2	0.50	3.02
5	1.30	1.35	1.25	1.23	1.34	1.50	1.40	1.35	1.41	1.38	13.505	1.351	202.971	0.080	3	0.27	1.62
6	1.53	1.58	1.48	1.46	1.57	1.73	1.63	1.58	1.64	1.73	15.958	1.596	203.511	0.093	3	0.32	1.92
7	0.87	0.92	0.82	0.79	0.91	1.07	0.97	0.92	0.98	1.07	9.292	0.929	202.044	0.093	6	0.19	1.12
8	1.05	1.35	1.75	1.55	1.57	1.33	1.41	1.45	1.46	1.55	14.470	1.447	203.183	0.186	7	0.29	1.74
9	4.53	4.83	5.23	5.03	5.05	4.81	4.89	4.93	4.94	5.03	49.303	4.930	210.847	0.186	2	0.99	5.92
10	0.27	0.28	0.33	0.27	0.28	0.27	0.27	0.33	0.32	0.27	2.857	0.286	200.628	0.026	5	0.06	0.34
11	0.37	0.38	0.43	0.37	0.38	0.37	0.37	0.43	0.42	0.37	3.857	0.386	200.848	0.026	4	0.08	0.46

147

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
12	2.43	2.47	2.45	2.83	2.41	2.41	2.13	2.39	2.44	2.48	24.473	2.447	205.384	0.168	4	0.49	2.94
13	2.28	2.32	2.30	2.68	2.26	2.26	1.98	2.24	2.29	2.33	22.973	2.297	205.054	0.168	4	0.46	2.76
14	1.70	1.76	1.80	1.20	1.30	1.73	1.60	1.30	1.40	1.90	15.690	1.569	203.452	0.248	9	0.31	1.88
15	1.52	1.32	1.22	1.12	1.72	1.62	1.67	1.57	1.82	1.72	15.267	1.527	203.359	0.234	9	0.31	1.83
16	2.32	2.82	2.32	2.32	2.72	2.33	2.31	2.36	2.32	3.32	25.107	2.511	205.523	0.339	8	0.50	3.01
17	3.40	3.70	4.10	3.90	3.92	3.68	3.76	3.80	3.81	3.90	37.970	3.797	208.353	0.186	3	0.76	4.56
18	4.00	4.05	3.95	3.93	4.04	4.20	4.10	4.05	4.11	3.97	40.395	4.040	208.887	0.083	1	0.81	4.85
19	2.35	2.40	2.30	2.28	2.39	2.55	2.45	2.40	2.46	2.32	23.895	2.390	205.257	0.083	2	0.48	2.87
20	2.70	2.75	2.65	2.63	2.74	2.90	2.80	2.75	2.81	2.67	27.395	2.740	206.027	0.083	2	0.55	3.29
21	1.12	1.17	1.07	1.04	1.16	1.32	1.22	1.17	1.23	1.09	11.562	1.156	202.544	0.083	4	0.23	1.39
22	1.03	1.08	0.98	0.96	1.07	1.23	1.13	1.08	1.14	1.00	10.728	1.073	202.360	0.083	4	0.21	1.29

148

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
23	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
24	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
25	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
26	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
27	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
28	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
29	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
30	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
31	0.92	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.88	0.92	0.92	9.147	0.915	202.012	0.014	1	0.18	1.10
32	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
33	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20

149

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
34	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
35	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
36	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
37	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
38	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
39	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
40	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
41	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
42	0.17	0.18	0.23	0.18	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18	0.17	1.777	0.178	200.391	0.019	6	0.04	0.21
43	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17	0.13	0.17	0.17	1.647	0.165	200.362	0.014	5	0.03	0.20
44	0.17	0.15	0.19	0.19	0.18	0.17	0.21	0.20	0.19	0.23	1.847	0.185	200.406	0.023	7	0.04	0.22

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
45	0.17	0.16	0.15	0.19	0.18	0.17	0.21	0.20	0.19	0.23	1.817	0.182	200.400	0.024	8	0.04	0.22
46	0.17	0.15	0.15	0.19	0.18	0.17	0.21	0.20	0.19	0.23	1.807	0.181	200.397	0.025	8	0.04	0.22
47	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.29	0.33	0.33	3.313	0.331	200.729	0.014	2	0.07	0.40
48	0.95	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.91	0.95	0.95	9.480	0.948	202.086	0.014	1	0.19	1.14
49	0.92	1.22	1.62	1.42	1.44	1.20	1.28	1.32	1.33	1.42	13.137	1.314	202.890	0.186	8	0.26	1.58
50	1.45	1.50	1.40	1.38	1.49	1.65	1.55	1.50	1.56	1.42	14.895	1.490	203.277	0.083	3	0.30	1.79
51	1.42	1.43	1.48	1.62	1.52	1.40	1.37	1.48	1.47	1.52	14.677	1.468	203.229	0.072	3	0.29	1.76
52	1.70	1.74	1.72	2.10	1.68	1.68	1.40	1.66	1.71	1.75	17.140	1.714	203.771	0.168	6	0.34	2.06
53	2.42	2.48	2.92	3.32	2.22	2.72	2.52	2.38	2.62	2.51	26.077	2.608	205.737	0.314	7	0.52	3.13
54	2.07	2.13	2.53	1.57	1.67	2.37	1.97	1.67	1.77	2.27	19.987	1.999	204.397	0.328	10	0.40	2.40
55	1.70	1.50	1.40	1.30	1.90	1.80	1.85	1.75	2.00	1.90	17.100	1.710	203.762	0.234	8	0.34	2.05

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
56	0.70	0.71	0.76	0.71	0.70	0.70	0.70	0.72	0.71	0.70	7.110	0.711	201.564	0.019	2	0.14	0.85
57	1.00	1.30	1.70	1.50	1.52	1.28	1.36	1.40	1.41	1.50	13.970	1.397	203.073	0.186	8	0.28	1.68
58	0.33	0.34	0.39	0.34	0.33	0.33	0.33	0.35	0.34	0.33	3.443	0.344	200.758	0.019	3	0.07	0.41
59	0.33	0.34	0.39	0.34	0.33	0.33	0.33	0.35	0.34	0.33	3.443	0.344	200.758	0.019	3	0.07	0.41
60	1.00	1.04	1.02	1.40	0.98	0.98	0.70	0.96	1.01	1.05	10.140	1.014	202.231	0.168	10	0.20	1.22
61	0.50	0.51	0.56	0.51	0.50	0.50	0.50	0.52	0.51	0.50	5.110	0.511	201.124	0.019	2	0.10	0.61
62	0.45	0.46	0.51	0.46	0.45	0.45	0.45	0.47	0.46	0.45	4.610	0.461	201.014	0.019	2	0.09	0.55
63	0.50	0.51	0.56	0.51	0.50	0.50	0.50	0.52	0.51	0.50	5.110	0.511	201.124	0.019	2	0.10	0.61
64	0.67	0.68	0.73	0.68	0.67	0.67	0.67	0.69	0.68	0.67	6.777	0.678	201.491	0.019	2	0.14	0.81
65	5.45	5.75	6.15	5.95	5.97	5.73	5.81	5.85	5.86	5.95	58.470	5.847	212.863	0.186	2	1.17	7.02
66	0.75	0.80	0.70	0.68	0.79	0.95	0.85	0.80	0.86	0.72	7.895	0.790	201.737	0.083	6	0.16	0.95

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
67	0.42	0.43	0.48	0.62	0.52	0.40	0.37	0.48	0.47	0.52	4.677	0.468	201.029	0.072	9	0.09	0.56
68	1.33	1.37	1.35	1.73	1.31	1.31	1.03	1.29	1.34	1.38	13.473	1.347	202.964	0.168	7	0.27	1.62
69	0.25	0.26	0.31	0.26	0.25	0.25	0.25	0.27	0.26	0.25	2.610	0.261	200.574	0.019	4	0.05	0.31
70	0.25	0.26	0.31	0.26	0.25	0.25	0.25	0.27	0.26	0.25	2.610	0.261	200.574	0.019	4	0.05	0.31
71	0.75	0.76	0.81	0.76	0.75	0.75	0.75	0.77	0.76	0.75	7.610	0.761	201.674	0.019	1	0.15	0.91
72	0.75	0.76	0.81	0.76	0.75	0.75	0.75	0.77	0.76	0.75	7.610	0.761	201.674	0.019	1	0.15	0.91
73	0.45	0.46	0.51	0.46	0.45	0.45	0.45	0.47	0.46	0.45	4.610	0.461	201.014	0.019	2	0.09	0.55
74	1.28	1.29	1.34	1.29	1.28	1.28	1.28	1.30	1.29	1.28	12.943	1.294	202.848	0.019	1	0.26	1.55
75	1.67	1.68	1.73	1.87	1.77	1.65	1.62	1.73	1.72	1.77	17.177	1.718	203.779	0.072	2	0.34	2.06
76	1.50	1.54	1.52	1.90	1.48	1.48	1.20	1.46	1.51	1.55	15.140	1.514	203.331	0.168	6	0.30	1.82
77	4.00	4.06	4.50	4.90	3.80	4.30	4.10	3.96	4.20	4.09	41.910	4.191	209.220	0.314	4	0.84	5.03

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
78	4.83	4.89	5.29	4.33	4.43	5.13	4.73	4.43	4.53	5.03	47.653	4.765	210.484	0.328	4	0.95	5.72
79	0.50	0.51	0.51	0.52	0.51	0.48	0.55	0.56	0.55	0.51	5.200	0.520	201.144	0.025	3	0.10	0.62
80	5.17	5.67	6.17	6.07	5.57	6.07	4.27	5.57	6.17	6.17	56.867	5.687	212.511	0.605	6	1.14	6.82
81	1.17	1.47	1.87	1.67	1.69	1.45	1.53	1.57	1.58	1.67	15.637	1.564	203.440	0.186	7	0.31	1.88
82	3.00	3.05	2.95	2.93	3.04	3.20	3.10	3.05	3.11	2.97	30.395	3.040	206.687	0.083	2	0.61	3.65
83	0.67	0.68	0.73	0.87	0.77	0.65	0.62	0.73	0.72	0.77	7.177	0.718	201.579	0.072	6	0.14	0.86
84	1.17	1.21	1.19	1.57	1.15	1.15	0.87	1.13	1.18	1.22	11.807	1.181	202.597	0.168	8	0.24	1.42
85	1.17	1.21	1.19	1.57	1.15	1.15	0.87	1.13	1.18	1.22	11.807	1.181	202.597	0.168	8	0.24	1.42
86	2.00	2.06	2.46	1.50	1.60	2.30	1.90	1.60	1.70	2.20	19.320	1.932	204.250	0.328	10	0.39	2.32
87	1.17	1.21	1.19	1.57	1.15	1.15	0.87	1.13	1.18	1.22	11.807	1.181	202.597	0.168	8	0.24	1.42
88	1.17	1.21	1.19	1.57	1.15	1.15	0.87	1.13	1.18	1.22	11.807	1.181	202.597	0.168	8	0.24	1.42

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
89	10.28	10.58	10.98	10.78	10.80	10.56	10.64	10.68	10.69	10.78	106.803	10.680	223.497	0.186	1	2.14	12.82
90	0.83	0.88	0.78	0.76	0.87	1.03	0.93	0.88	0.94	0.80	8.728	0.873	201.920	0.083	6	0.17	1.05
91	1.78	1.79	1.84	1.98	1.88	1.76	1.73	1.84	1.83	1.88	18.343	1.834	204.036	0.072	2	0.37	2.20
92	5.00	5.04	5.02	5.40	4.98	4.98	4.70	4.96	5.01	5.05	50.140	5.014	211.031	0.168	2	1.00	6.02
93	1.00	1.01	1.06	1.02	1.10	0.98	0.95	1.06	1.05	1.10	10.330	1.033	202.273	0.050	3	0.21	1.24
94	0.42	0.43	0.48	0.44	0.52	0.40	0.37	0.48	0.47	0.52	4.497	0.450	200.989	0.050	6	0.09	0.54
95	0.67	0.68	0.73	0.69	0.77	0.65	0.62	0.73	0.72	0.77	6.997	0.700	201.539	0.050	4	0.14	0.84
96	3.83	4.33	4.83	4.73	4.23	4.73	2.93	4.23	4.83	4.83	43.533	4.353	209.577	0.605	8	0.87	5.22
97	2.00	2.30	2.70	2.50	2.52	2.28	2.36	2.40	2.41	2.50	23.970	2.397	205.273	0.186	4	0.48	2.88
98	1.83	1.88	1.78	1.76	1.87	2.03	1.93	1.88	1.94	1.80	18.728	1.873	204.120	0.083	3	0.37	2.25
99	1.33	1.34	1.39	1.53	1.43	1.31	1.28	1.39	1.38	1.43	13.843	1.384	203.046	0.072	3	0.28	1.66

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
100	0.82	0.83	0.88	0.84	0.92	0.80	0.77	0.88	0.87	0.92	8.497	0.850	201.869	0.050	3	0.17	1.02
101	0.82	0.83	0.88	0.84	0.92	0.80	0.77	0.88	0.87	0.92	8.497	0.850	201.869	0.050	3	0.17	1.02
102	0.92	0.93	0.98	0.94	1.02	0.90	0.87	0.98	0.97	1.02	9.497	0.950	202.089	0.050	3	0.19	1.14
103	2.00	1.80	1.70	1.60	2.20	2.10	2.15	2.05	2.30	2.20	20.100	2.010	204.422	0.234	7	0.40	2.41
104	4.50	5.00	5.50	5.40	4.90	5.40	3.60	4.90	5.50	5.50	50.200	5.020	211.044	0.605	7	1.00	6.02
105	4.20	4.50	4.90	4.70	4.72	4.48	4.56	4.60	4.61	4.70	45.970	4.597	210.113	0.186	2	0.92	5.52
106	4.20	4.25	4.15	4.13	4.24	4.40	4.30	4.25	4.31	4.17	42.395	4.240	209.327	0.083	1	0.85	5.09
107	0.95	0.96	1.01	1.15	1.05	0.93	0.90	1.01	1.00	1.05	10.010	1.001	202.202	0.072	4	0.20	1.20
108	1.67	1.71	1.69	2.07	1.65	1.65	1.37	1.63	1.68	1.72	16.807	1.681	203.697	0.168	6	0.34	2.02
109	2.33	2.39	2.83	3.23	2.13	2.63	2.43	2.29	2.53	2.42	25.243	2.524	205.554	0.314	7	0.50	3.03
110	4.17	4.23	4.63	3.67	3.77	4.47	4.07	3.77	3.87	4.37	40.987	4.099	209.017	0.328	5	0.82	4.92

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
111	3.17	2.97	2.87	2.77	3.37	3.27	3.32	3.22	3.47	3.37	31.767	3.177	206.989	0.234	4	0.64	3.81
112	0.70	0.71	0.76	0.72	0.80	0.68	0.65	0.76	0.75	0.80	7.330	0.733	201.613	0.050	4	0.15	0.88
113	0.70	0.71	0.76	0.72	0.80	0.68	0.65	0.76	0.75	0.80	7.330	0.733	201.613	0.050	4	0.15	0.88
114	0.45	0.46	0.51	0.47	0.55	0.43	0.40	0.51	0.50	0.55	4.830	0.483	201.063	0.050	6	0.10	0.58
115	0.45	0.46	0.51	0.65	0.55	0.43	0.40	0.51	0.50	0.55	5.010	0.501	201.102	0.072	8	0.10	0.60
116	0.53	0.54	0.59	0.55	0.63	0.51	0.48	0.59	0.58	0.63	5.663	0.566	201.246	0.050	5	0.11	0.68
117	0.53	0.54	0.59	0.55	0.63	0.51	0.48	0.59	0.58	0.63	5.663	0.566	201.246	0.050	5	0.11	0.68
118	0.33	0.34	0.39	0.35	0.43	0.31	0.28	0.39	0.38	0.43	3.663	0.366	200.806	0.050	8	0.07	0.44
119	2.17	1.97	1.87	1.77	2.37	2.27	2.32	2.22	2.47	2.37	21.767	2.177	204.789	0.234	6	0.44	2.61
120	2.17	1.97	1.87	1.77	2.37	2.27	2.32	2.22	2.47	2.37	21.767	2.177	204.789	0.234	6	0.44	2.61
121	4.50	4.80	5.20	5.00	5.02	4.78	4.86	4.90	4.91	5.00	48.970	4.897	210.773	0.186	2	0.98	5.88

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
122	3.50	3.55	3.45	3.43	3.54	3.70	3.60	3.55	3.61	3.47	35.395	3.540	207.787	0.083	1	0.71	4.25
123	2.58	2.59	2.64	2.78	2.68	2.56	2.53	2.64	2.63	2.68	26.343	2.634	205.796	0.072	2	0.53	3.16
124	2.33	2.37	2.35	2.73	2.31	2.31	2.03	2.29	2.34	2.38	23.473	2.347	205.164	0.168	4	0.47	2.82
125	2.50	2.56	3.00	3.40	2.30	2.80	2.60	2.46	2.70	2.59	26.910	2.691	205.920	0.314	7	0.54	3.23
126	2.17	2.23	2.63	1.67	1.77	2.47	2.07	1.77	1.87	2.37	20.987	2.099	204.617	0.328	9	0.42	2.52
127	0.58	0.60	0.55	0.54	0.60	0.68	0.63	0.85	0.61	0.60	6.273	0.627	201.380	0.089	8	0.13	0.75
128	0.83	0.85	0.80	0.79	0.85	0.93	0.88	1.10	0.86	0.85	8.773	0.877	201.930	0.089	6	0.18	1.05
129	0.50	0.52	0.47	0.46	0.52	0.60	0.55	0.77	0.53	0.52	5.440	0.544	201.197	0.089	9	0.11	0.65
130	0.42	0.43	0.48	0.42	0.43	0.42	0.42	0.48	0.47	0.42	4.357	0.436	200.958	0.026	4	0.09	0.52
131	0.67	0.69	0.64	0.63	0.69	0.77	0.72	0.94	0.70	0.69	7.107	0.711	201.563	0.089	7	0.14	0.85
132	0.58	0.60	0.55	0.54	0.60	0.68	0.63	0.85	0.61	0.60	6.273	0.627	201.380	0.089	8	0.13	0.75

158

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
133	1.17	1.19	1.14	1.13	1.19	1.27	1.22	1.44	1.20	1.19	12.107	1.211	202.663	0.089	4	0.24	1.45
134	1.25	1.27	1.22	1.21	1.27	1.35	1.30	1.52	1.28	1.27	12.940	1.294	202.847	0.089	4	0.26	1.55
135	0.83	0.85	0.80	0.79	0.85	0.93	0.88	1.10	0.86	0.85	8.773	0.877	201.930	0.089	6	0.18	1.05
136	0.67	0.69	0.64	0.63	0.69	0.77	0.72	0.94	0.70	0.69	7.107	0.711	201.563	0.089	7	0.14	0.85
137	1.00	1.30	1.70	1.50	1.52	1.28	1.36	1.40	1.41	1.50	13.970	1.397	203.073	0.186	8	0.28	1.68
138	1.37	1.39	1.34	1.33	1.39	1.47	1.42	1.64	1.40	1.39	14.107	1.411	203.103	0.089	4	0.28	1.69
139	1.52	1.54	1.49	1.48	1.54	1.62	1.57	1.79	1.55	1.54	15.607	1.561	203.433	0.089	3	0.31	1.87
140	1.52	1.54	1.49	1.48	1.54	1.62	1.57	1.79	1.55	1.54	15.607	1.561	203.433	0.089	3	0.31	1.87
141	0.67	0.69	0.64	0.63	0.69	0.77	0.72	0.94	0.70	0.69	7.107	0.711	201.563	0.089	7	0.14	0.85
142	0.58	0.60	0.55	0.54	0.60	0.68	0.63	0.85	0.61	0.60	6.273	0.627	201.380	0.089	8	0.13	0.75
143	0.17	0.18	0.23	0.17	0.18	0.17	0.17	0.23	0.22	0.17	1.857	0.186	200.408	0.026	8	0.04	0.22

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
144	0.17	0.18	0.23	0.17	0.18	0.17	0.17	0.23	0.22	0.17	1.857	0.186	200.408	0.026	8	0.04	0.22
145	0.17	0.18	0.23	0.17	0.18	0.17	0.17	0.23	0.22	0.17	1.857	0.186	200.408	0.026	8	0.04	0.22
146	0.17	0.18	0.23	0.17	0.18	0.17	0.17	0.23	0.22	0.17	1.857	0.186	200.408	0.026	8	0.04	0.22
147	0.50	0.51	0.56	0.70	0.60	0.48	0.45	0.56	0.55	0.60	5.510	0.551	201.212	0.072	8	0.11	0.66
148	0.50	0.52	0.47	0.46	0.52	0.60	0.55	0.77	0.53	0.52	5.440	0.544	201.197	0.089	9	0.11	0.65
149	8.05	8.11	8.55	8.95	7.85	8.35	8.15	8.01	8.25	8.14	82.410	8.241	218.130	0.314	2	1.65	9.89
150	0.83	0.85	0.80	0.79	0.85	0.93	0.88	1.10	0.86	0.85	8.773	0.877	201.930	0.089	6	0.18	1.05
151	0.50	0.52	0.47	0.46	0.52	0.60	0.55	0.77	0.53	0.52	5.440	0.544	201.197	0.089	9	0.11	0.65
152	8.05	8.55	9.05	8.95	8.45	8.95	8.05	8.45	9.05	9.05	86.600	8.660	219.052	0.404	3	1.73	10.39
153	0.67	0.97	1.37	1.17	1.19	0.95	1.03	1.07	1.08	1.17	10.637	1.064	202.340	0.186	10	0.21	1.28
154	0.67	0.72	0.62	0.59	0.71	0.87	0.77	0.72	0.78	0.64	7.062	0.706	201.554	0.083	7	0.14	0.85

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
155	2.17	2.18	2.23	2.37	2.27	2.15	2.12	2.23	2.22	2.27	22.177	2.218	204.879	0.072	2	0.44	2.66
156	2.17	2.18	2.23	2.37	2.27	2.15	2.12	2.23	2.22	2.27	22.177	2.218	204.879	0.072	2	0.44	2.66
157	5.35	5.41	5.85	6.25	5.15	5.65	5.45	5.31	5.55	5.44	55.410	5.541	212.190	0.314	3	1.11	6.65
158	6.67	6.73	7.13	6.17	6.27	6.97	6.57	6.27	6.37	6.87	65.987	6.599	214.517	0.328	3	1.32	7.92
159	1.03	1.05	1.00	0.99	1.05	1.13	1.08	1.30	1.06	1.05	10.773	1.077	202.370	0.089	5	0.22	1.29
160	1.40	1.42	1.37	1.36	1.42	1.50	1.45	1.67	1.43	1.42	14.440	1.444	203.177	0.089	4	0.29	1.73
161	4.83	5.13	5.53	5.33	5.35	5.11	5.19	5.23	5.24	5.33	52.303	5.230	211.507	0.186	2	1.05	6.28
162	5.00	5.05	4.95	4.93	5.04	5.20	5.10	5.05	5.11	4.97	50.395	5.040	211.087	0.083	1	1.01	6.05
163	1.67	1.68	1.73	1.87	1.77	1.65	1.62	1.73	1.72	1.77	17.177	1.718	203.779	0.072	2	0.34	2.06
164	3.00	3.01	3.06	3.20	3.10	2.98	2.95	3.06	3.05	3.10	30.510	3.051	206.712	0.072	1	0.61	3.66
165	0.70	0.71	0.76	0.90	0.80	0.68	0.65	0.76	0.75	0.80	7.510	0.751	201.652	0.072	6	0.15	0.90

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
166	1.00	1.02	0.97	0.96	1.02	1.10	1.05	1.27	1.03	1.02	10.440	1.044	202.297	0.089	5	0.21	1.25
167	1.00	1.30	1.70	1.50	1.52	1.28	1.36	1.40	1.41	1.50	13.970	1.397	203.073	0.186	8	0.28	1.68
168	1.00	1.02	0.97	0.96	1.02	1.10	1.05	1.27	1.03	1.02	10.440	1.044	202.297	0.089	5	0.21	1.25
169	1.00	1.30	1.70	1.50	1.52	1.28	1.36	1.40	1.41	1.50	13.970	1.397	203.073	0.186	8	0.28	1.68
170	1.50	1.55	1.45	1.43	1.54	1.70	1.60	1.55	1.61	1.47	15.395	1.540	203.387	0.083	3	0.31	1.85
171	1.83	1.84	1.89	2.03	1.93	1.81	1.78	1.89	1.88	1.93	18.843	1.884	204.146	0.072	2	0.38	2.26
172	2.17	2.21	2.19	2.57	2.15	2.15	1.87	2.13	2.18	2.22	21.807	2.181	204.797	0.168	4	0.44	2.62
173	5.50	5.56	6.00	6.40	5.30	5.80	5.60	5.46	5.70	5.59	56.910	5.691	212.520	0.314	3	1.14	6.83
174	4.08	4.14	4.54	3.58	3.68	4.38	3.98	3.68	3.78	4.28	40.153	4.015	208.834	0.328	5	0.80	4.82
175	4.00	3.80	3.70	3.60	4.20	4.10	4.15	4.05	4.30	4.20	40.100	4.010	208.822	0.234	3	0.80	4.81
176	6.00	6.50	7.00	6.90	6.40	6.90	5.10	6.40	7.00	7.00	65.200	6.520	214.344	0.605	5	1.30	7.82

162

ตารางภาคผนวก ก.2(ต่อ) เอกสารการศึกษาเวลาทำงานของรถยนต์รุ่น B

งาน	จำนวนครั้งที่จับเวลา										$\sum x$	$\bar{x}$	$\sum x^2$	Stdev	Real Acc	เวลาเผื่อ	เวลามาตรฐาน
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10							
177	0.50	0.52	0.47	0.46	0.52	0.60	0.55	0.77	0.53	0.52	5.440	0.544	201.197	0.089	9	0.11	0.65
178	0.58	0.63	0.53	0.51	0.62	0.78	0.68	0.63	0.69	0.55	6.228	0.623	201.370	0.083	8	0.12	0.75
179	0.42	0.43	0.48	0.62	0.52	0.40	0.37	0.48	0.47	0.52	4.677	0.468	201.029	0.072	9	0.09	0.56
180	0.50	0.52	0.47	0.46	0.52	0.60	0.55	0.77	0.53	0.52	5.440	0.544	201.197	0.089	9	0.11	0.65
181	3.50	3.56	4.00	4.40	3.30	3.80	3.60	3.46	3.70	3.59	36.910	3.691	208.120	0.314	5	0.74	4.43
182	4.00	4.06	4.46	3.50	3.60	4.30	3.90	3.60	3.70	4.20	39.320	3.932	208.650	0.328	5	0.79	4.72
183	3.67	3.47	3.37	3.27	3.87	3.77	3.82	3.72	3.97	3.87	36.767	3.677	208.089	0.234	4	0.74	4.41

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ลำดับก่อนหลังและเวลาของงานประกอบรถยนต์

การจัดสมดุลสายงานประกอบ (Assembly Line Balancing: ALB) เป็นหนึ่งในปัญหาการจัดตารางในอุตสาหกรรม ซึ่งความสัมพันธ์ด้านลำดับก่อนหลังของงานมีความสำคัญอย่างมาก ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้จะแสดงได้โดยง่ายโดยอาศัยข่ายงานหรือตาราง สายงานประกอบเป็นวิธีหนึ่งของกระบวนการผลิต ซึ่งชิ้นงานจะถูกนำเข้ามาประกอบกันขึ้นจนเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ในขณะที่ชิ้นงานจะผ่านจากสถานีงานหนึ่งไปสู่อีกสถานีงานเพื่อที่จะจัดสมดุลสายงาน เราจำเป็นจะต้องกระจายเนื้องาน (Work content) ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ไปสู่สถานีงานทั้งหมด โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ทุกสถานีงานสามารถทำงานที่ได้รับมอบหมายให้เสร็จได้ภายในเวลาเดียวกัน ถ้าสายงานมีความสมดุลอย่างแท้จริงแล้ว แต่ละสถานีงานจะใช้เวลาเท่ากันในการทำงานทั้งหมดที่ได้รับมอบหมาย อย่างไรก็ตามความสมดุลอย่างแท้จริงเกิดขึ้นได้ยากมากในชีวิตจริง และสถานีงานที่ใช้เวลามากที่สุดจะเป็นสถานีงานที่กำหนดรอบเวลา (Cycle time: Ct) ของสายงานประกอบ

สำหรับการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบสองด้านสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า1 อย่างขึ้นไป ที่มีการกำหนดเวลาทำงานมาตรฐานของในแต่ละกิจกรรมตามภาคผนวก ก. โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตในสายงานการประกอบแบบผสมมักจะมีขั้นงานและลำดับก่อนหลังที่คล้ายกันดังนั้นเราจึงมักออกแบบสายงานการประกอบเพียงแบบเดียวเพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ซึ่งในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบเช่นนี้ ต้องการผลการจัดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Optimum Solution)

ข้อมูลในตารางภาคผนวก ค เป็นข้อมูลงานประกอบจริงของการประกอบรถยนต์ ซึ่งได้มาจากการจับเวลาและกำหนดลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน ปัจจุบันสายการประกอบรถยนต์ดังกล่าวมีจำนวนสถานีงานหลักเท่ากับ 11 สถานีงาน และได้จัดสรรกำลังคนไว้จำนวน 41 คนเพื่อทำการประกอบรถยนต์ทั้งสองรุ่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ข.1 แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
1	L	0.51	0.59	-				5				
2	R	0.57	0.63	-				6				
3	L	1.38	1.54	-				7				
4	R	3.28	3.02	-				8				
5	L	2.01	2.02	1				12	28	36		
6	R	1.5	2.32	2				9	13	29	36	
7	L	1.24	1.12	3				19	30	36		
8	R	1.44	2.14	4				20	31	36		
9	R	5.08	6.32	6				29				
10	L	0.4	0.34	-				21				
11	R	0.4	0.46	-				21				
12	L	2.06	3.34	5				43				
13	R	2.06	3.16	6				44				
14	E	1	2.28	10				56				
15	L	1.28	2.23	5				37				
16	R	2.44	3.01	6				38				
17	L	3.18	4.56	5				39				
18	R	4.55	5.25	6				40				

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
19	L	3.26	2.87	7				41				
20	R	3.42	3.29	8				42				
21	E	1.24	1.39	10	11							
22	E	1.14	1.29	-				49	50			
23	R	3.41	0.2	-								
24	L	0.2	0.2	-								
25	R	0.21	0.2	-				52				
26	L	0.2	0.21	-				51				
27	E	0.22	0.21	-				49	50			
28	L	0.2	0.21	5				45				
29	R	0.2	0.21	6				46				
30	L	0.2	0.2	7				47				
31	R	1.26	1.1	8				48				
32	E	0.19	0.2	-								
33	L	0.22	0.2	-				57				
34	R	0.2	0.2	-				58				
35	E	0.21	0.2	-				59				
36	E	1.04	0.21	-				53				

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
37	L	0.44	0.21	15				124				
38	R	0.44	0.2	16				125				
39	L	0.44	0.21	17				126				
40	R	0.44	0.21	18				127				
41	L	1.04	0.21	19				128				
42	R	1.04	0.21	20				129				
43	L	0.22	0.2	21				92				
44	R	0.22	0.22	21				73				
45	L	0.22	0.22	28				85	86	87	84	
46	R	0.22	0.22	29				85	86	87	84	
47	L	0.44	0.4	30				88	89	83		
48	R	1.28	1.14	31				83	88	89		
49	E	1.38	1.58	30	31	32	35	83	88	89		
50	E	1.57	2.19	28	29	30	31	54				
51	L	2.06	2.16	26				155				
52	R	2.32	2.06	25				156				
53	E	2.28	3.13	36				99				
54	E	2.3	2.4	30	31	32	35	59				

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
55	E	2.05	2.05	28	29			91				
56	E	1.14	1.25	14				77	78	79		
57	L	0.22	2.08	49				70				
58	R	0.44	0.41	49				70				
59	E	0.44	0.41	57				60	61			
60	E	1.22	1.22	59				61	62	66	67	68
61	E	1.04	1.01	60				63	64			
62	E	0.54	0.55	61				67				
63	L	1.04	1.01	60				65				
64	R	1.24	1.21	60				65				
65	E	8.1	7.02	63								
66	E	1.35	1.35	65								
67	E	1	0.56	66								
68	E	1.56	2.02	67				69				
69	E	0.34	0.31					70				
70	E	0.34	0.31	69								
71	L	1.34	1.31	50				71				
72	R	1.34	1.31	50				71				

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
73	R	0.58	0.55	44				76				
74	E	1.43	1.55	50				75				
75	L	2.06	2.06	74								
76	L	2.02	2.22	50								
77	L	4.23	5.03	56								
78	R	6.32	6.12									
79	E	1.04	1.02									
80	E	7.22	7.22	69				81				
81	E	2.22	2.28	49				82				
82	E	4.17	4.05	69								
83	L	1.06	1.26	69				85	88	89		
84	L	1.52	1.42	79				86	87	90	91	
85	R	1.52	1.42	78				86	87	90		
86	R	1.54	2.32	85				87	90			
87	R	1.52	1.42	86				91	93	94	98	
88	R	1.52	1.42	87				95	96	97		
89	E	11.7	13.22	83				94	95	96		
90	R	0.44	1.05	86				92	93	97		

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
91	L	1.76	2.2	83				97	98			
92	L	8.42	6.02	91				111				
93	E	1.04	1.24	84								
94	L	0.64	0.54	83								
95	E	0.54	0.84	83								
96	L	6.02	5.22	89								
97	E	3.08	2.28	83								
98	R	2.15	2.25	85				102				
99	E	1.86	1.66	53				100	101			
100	E	1.38	1.02	99				149	150	151	152	
101	E	1.38	1.02	99				153	154			
102	B	1.06	1.14	89				103	104	105		
103	R	2.01	2.41	102				104	105			
104	E	7.02	6.02	102				105	106	107	108	
105	R	6.18	5.52	102				106	107	108	109	
106	E	5.35	5.09	102				107	108	109		
107	R	1.26	1.2	102				110				
108	E	1.04	2.02	102								

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
109	R	3.03	3.03	102								
110	E	5.22	5.32	108								
111	L	4.01	4.21	92				112				
112	L	1.18	1.28					113				
113	R	1.18	1.28	110								
114	E	0.44	0.58	99				115				
115	L	0.44	1	39				116				
116	R	0.58	1.08	40				127				
117	E	0.58	1.08	108				163				
118	E	1.14	0.44	103				120				
119	E	3.21	3.01	106				121	122	123		
120	E	3.21	3.01	119				157	160			
121	L	4.08	6.28	120				164				
122	R	7.35	4.25	120				165				
123	E	2.36	3.16	120				166				
124	L	2.22	3.22	37				140				
125	R	2.33	3.23	38				141				
126	L	2.14	2.52	39								

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
127	R	1.14	1.15	40								
128	L	1.04	1.05	41				142				
129	R	0.54	1.05	42				143				
130	R	0.44	0.52	85								
131	R	1.06	1.25	105								
132	L	0.58	1.15	115				142				
133	R	1.24	1.45	116				141				
134	L	1.14	1.55	41				142				
135	R	0.44	1.05	42				143				
136	L	1.14	1.25	133								
137	R	1.48	2.08									
138	L	1.14	2.09	135								
139	R	1.48	2.27	137								
140	L	2.22	2.27	133				144	145	146	147	148
141	R	1.1	1.25	132				144	145	146	147	148
142	L	0.5	1.15	135				144	145	146	147	148
143	R	0.2	0.22	135				144	145	146	147	148
144	E	0.2	0.22					145				

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
145	E	0.22	0.22	144				146				
146	E	0.2	0.22	145				147				
147	E	1.26	1.06	83								
148	L	1.22	1.05	84								
149	L	10.29	10.29	99								
150	R	1.43	1.05	99								
151	L	1.14	1.05	99								
152	R	10.39	10.39	99								
153	L	1.1	1.28	99								
154	R	1.11	1.25	99								
155	L	1.56	3.06	52								
156	R	5.5	3.06	52								
157	E	7.13	7.05	99				158	159			
158	L	6.32	8.32	155								
159	R	1.28	1.29	158								
160	E	1.54	2.13	99				161	162			
161	L	5.48	6.28									
162	R	7.25	6.05									

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
163	E	4.06	4.06	117								
164	L	1.3	1.3	121				165				
165	R	1.24	1.25	122				166				
166	E	2.28	2.28	123				167				
167	E	1.24	1.25	166				168				
168	E	2.28	2.28	166				169				
169	L	2.21	2.25					171	172	173	174	
170	R	2.06	2.26					171	172	173	174	
171	L	2.02	3.02					172	173	174		
172	R	7.23	7.03					173	174			
173	R	4.32	5.22					174				
174	L	5.01	5.21					175	176	177	178	
175	R	7.02	8.22					176	177	178	179	
176	L	0.56	1.05					177	178	180		
177	R	0.54	1.15					178	181			
178	L	1.1	0.56					182				
179	R	2.26	2.06	171								

ตารางภาคผนวก ข.1(ต่อ) แสดงลำดับก่อนหลัง 183 งาน

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาที่ใช้(นาที)		ขั้นงานก่อนหน้า				งานที่สามารถทำต่อได้ทันที				
		A	B	1	2	3	4	1	2	3	4	5
180	R	0.54	1.05	177								
181	R	5.03	4.43	173								
182	L	5.12	5.12	174	178							
183	L	4.01	4.41	182								

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.
แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุลสายการประกอบ

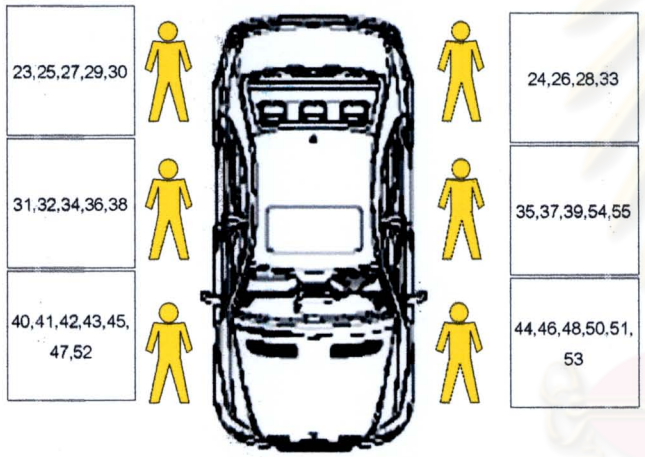
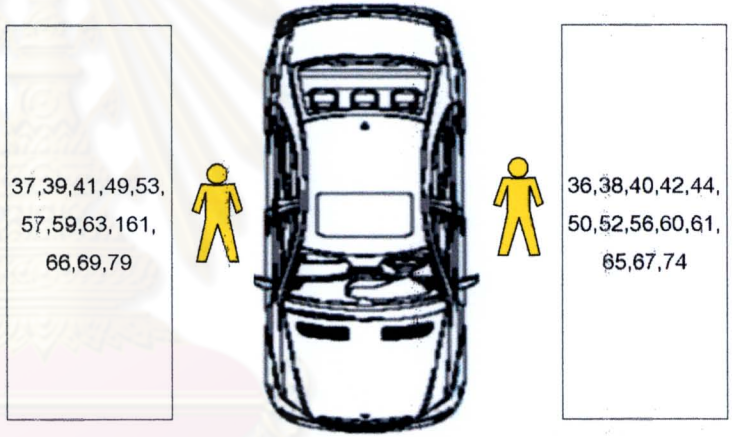
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค.1 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 1 12,13,16,17,18 6,8,9,11,15,20,22 7,10,14,19,21 1,2,3,4,5	1,3,5,7,10,14,15,17,19,21,26,28,30,32,169 2,4,6,8,11,16,18,20,25,29,31,35

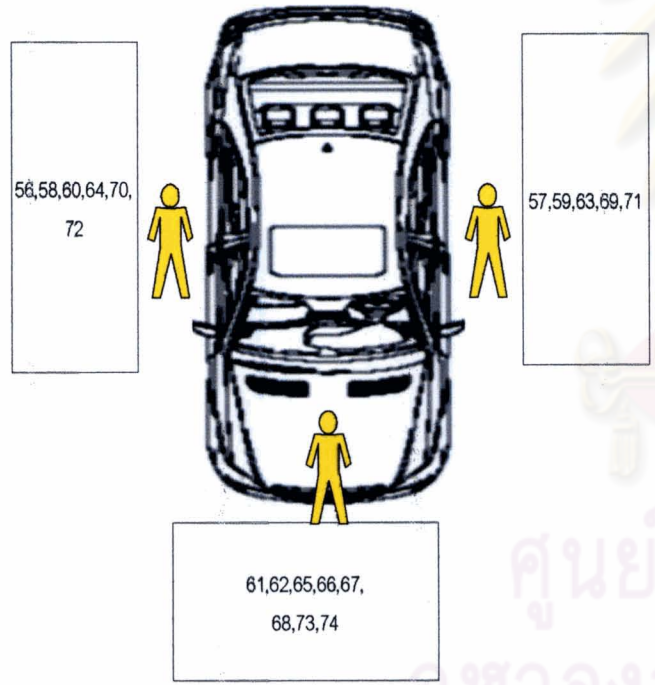
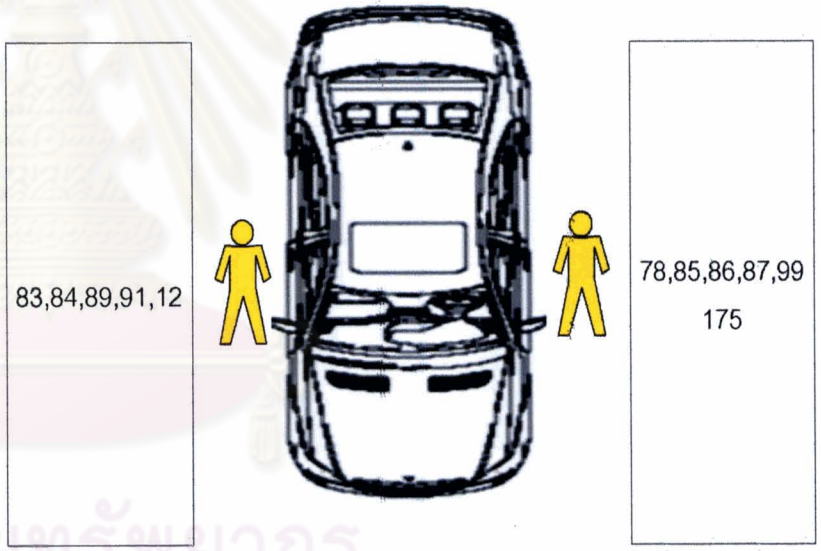
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค.2 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 2	
	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

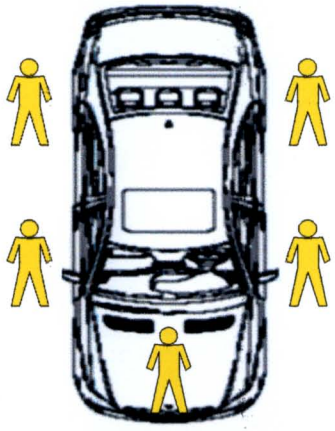
ตารางภาคผนวก ค.3 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

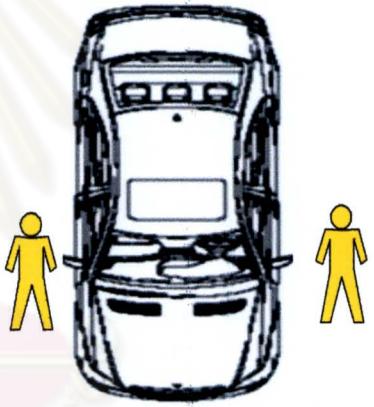
ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 3 	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค.4 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

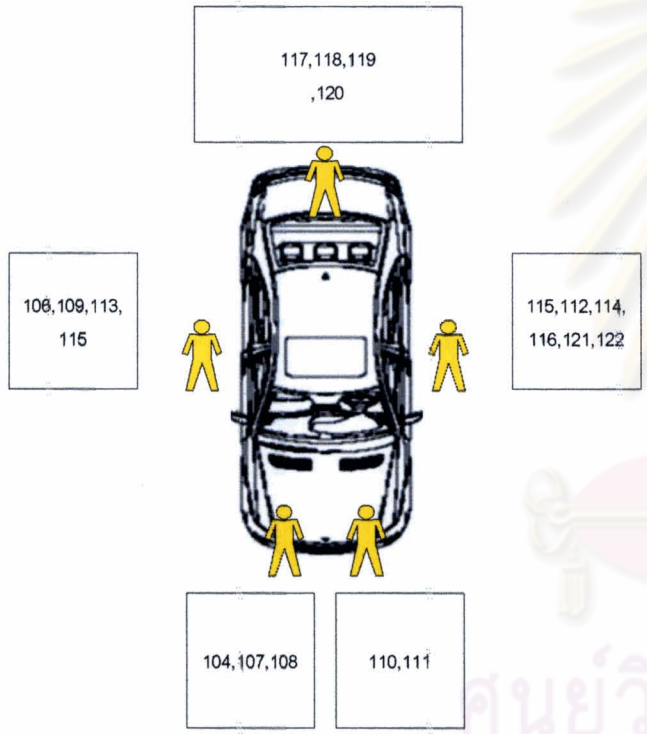
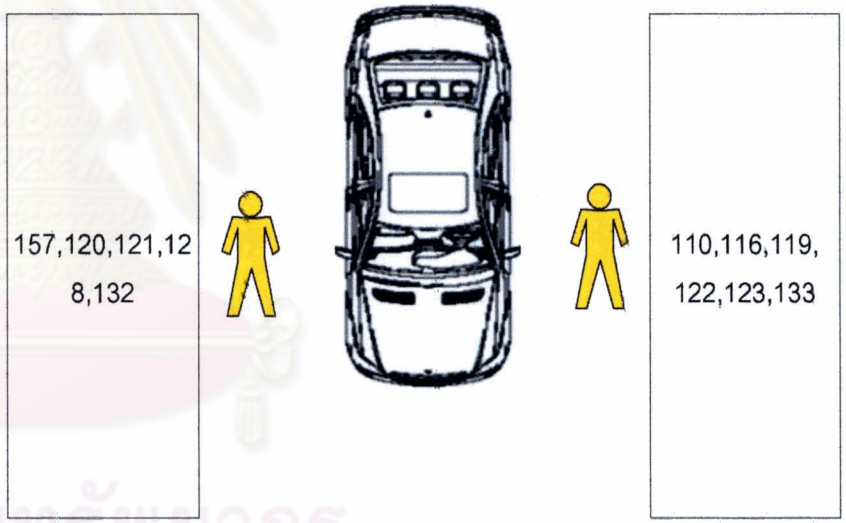
ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 4	
94,95,96,98, 103	92,102,106,77, 108,115,117
86,101,102	172,103,105, 162,
77,78,79,80,90, 92	
81,82,84,99, 100	
75,76,83,85,87, 88,89,91,93,97,	





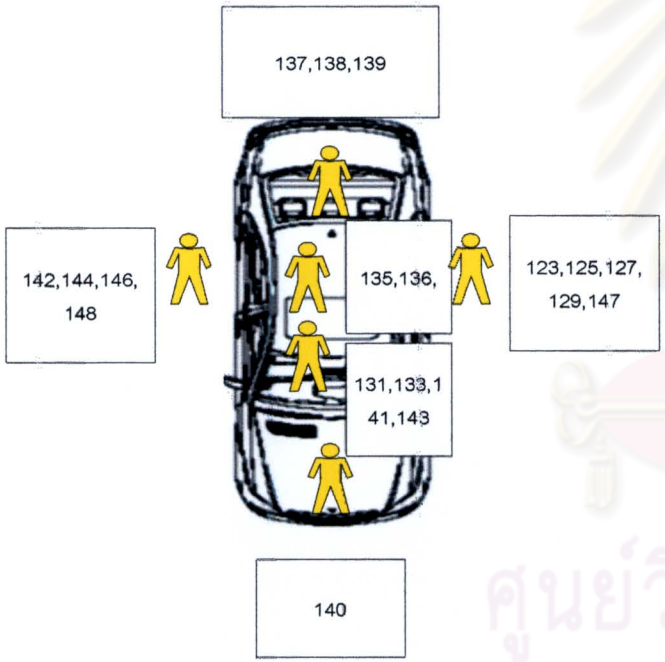
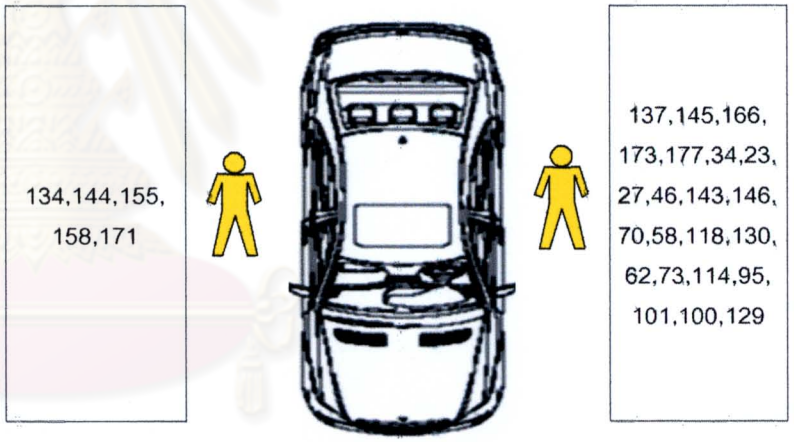
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค.5 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 5 	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

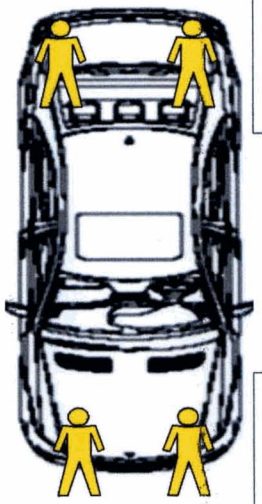
ตารางภาคผนวก ค.6 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

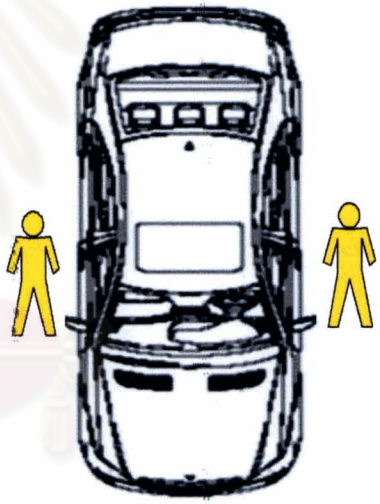
ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 6 	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค.7 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

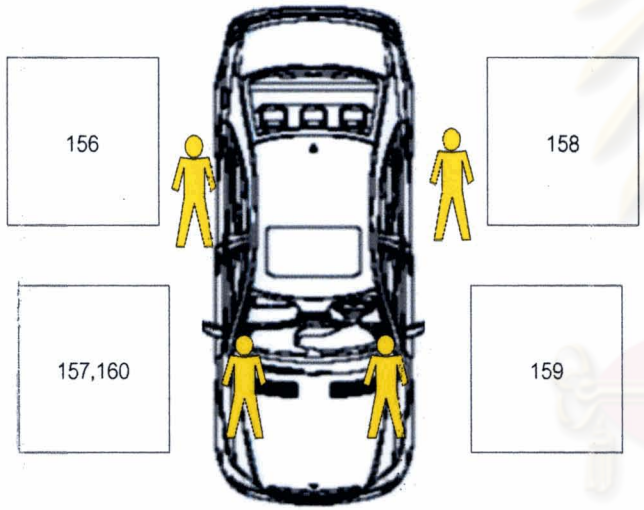
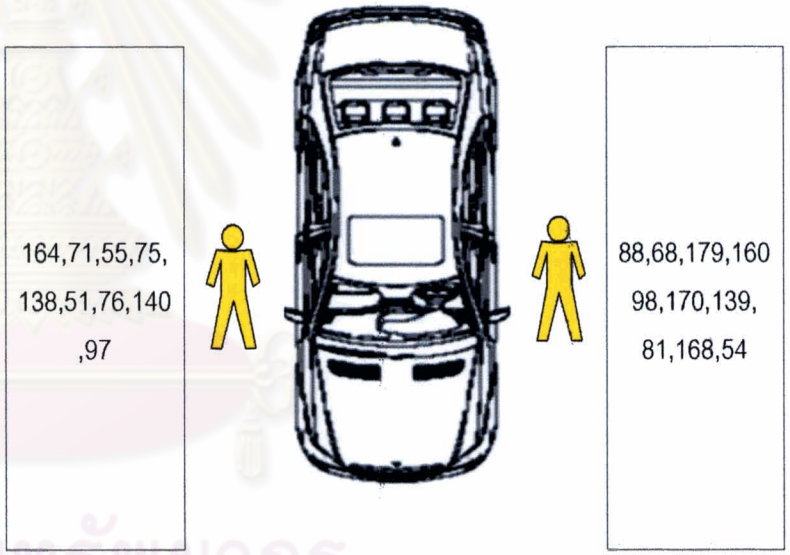
ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 7	
151,152	174,178,182, 43,33,24,45,47 ,94,148,151, 176,142,136, 112,153
153	90,150,180, 147,48,127, 107,64,93,154 ,167,141,165, 131,113,22, 159,72
154,155	
149,150	





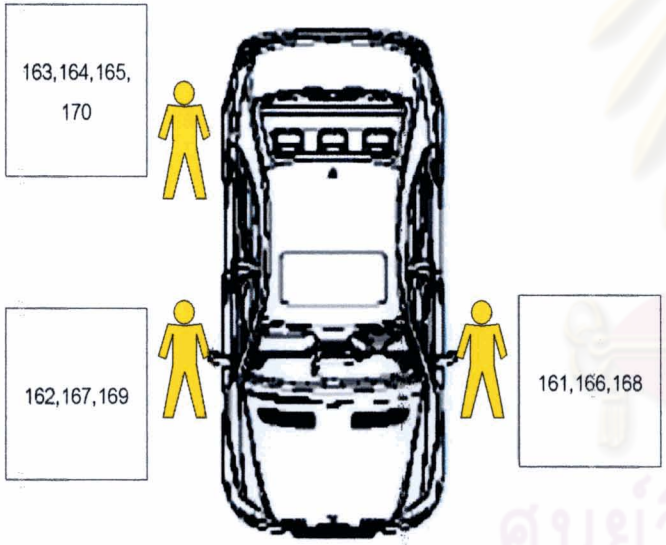
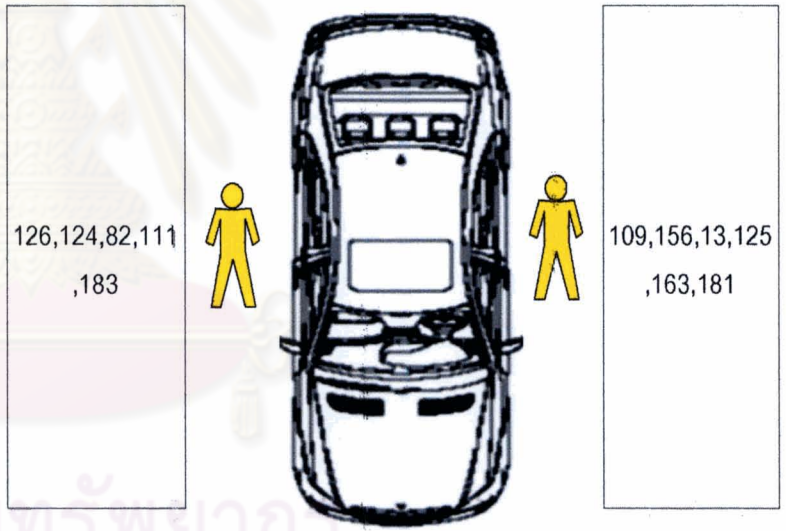
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค.8 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 8	
	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

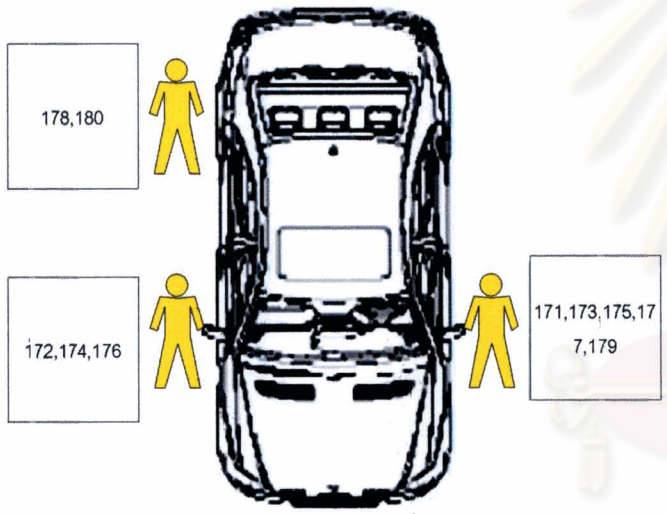
ตารางภาคผนวก ค.9 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

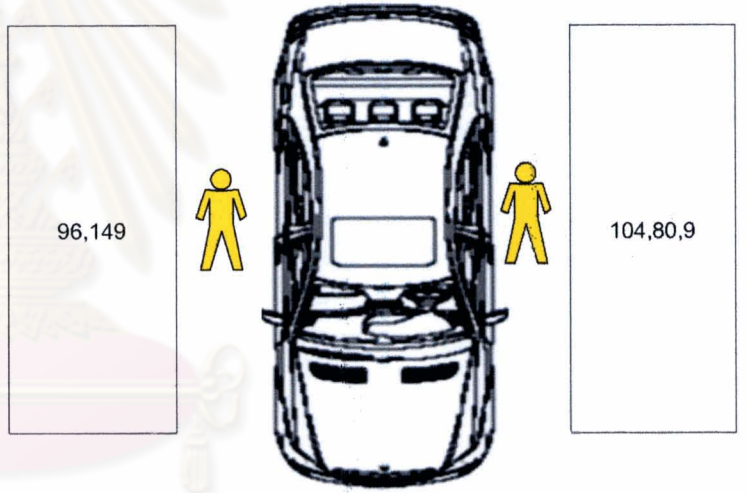
ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 9	
	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค.10 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

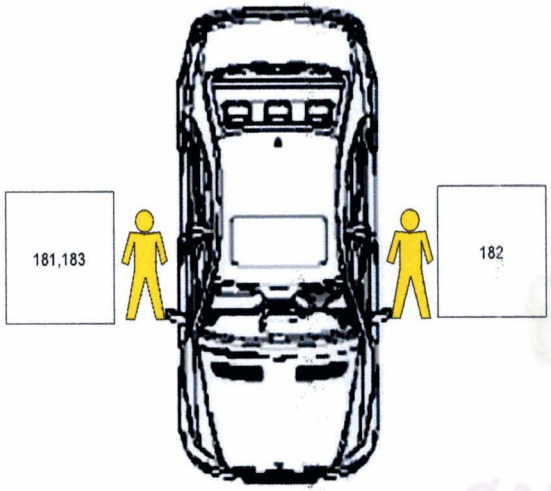
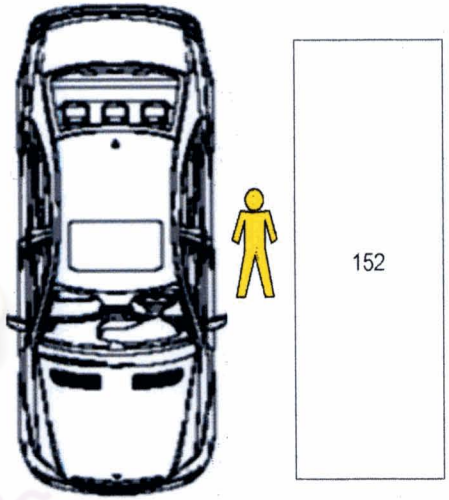
ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 10	





ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ค.11 แสดงการเปรียบเทียบก่อนและหลังการจัดสมดุล

ก่อนจัดสมดุลสายการประกอบ	หลังจัดสมดุลสายการประกอบ
สถานีงานที่ 11 	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

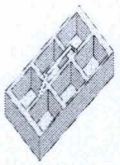
แสดงวิธีการปรับปรุงงาน

ตารางภาคผนวก ง.1 แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงานปัจจุบันของกระบวนการ A

Flow Process Chart										
Chart No. Sheet No.			Summary							
Work flow of process A			Activity		Accumulate Time					
Method ประกอบทีละ 1 ชิ้น			Operation		20					
Present/Propose			Transport		12.6					
Location			Delay		-					
สถานีงานที่ 2			Inspection		-					
Chart by			Storage		-					
Approve by			Distance(m)		4.5					
Description		QTY	Distance (m)	Time (s)	Symbol					Remark
					○	⇨	D	□	▽	
1	เดินไปหยิบชิ้นส่วน A	1	0.5	2						
2	หาชิ้นส่วนในกล่อง	1	-	5						
3	เดินกลับมาพร้อมชิ้นส่วน A	1	0.5	2						
4	ทำการประกอบชิ้นส่วน A เข้ากับตัวถัง	1	-	3						
5	เดินไปหยิบชิ้นส่วน B	1	1	2.2						
6	หาชิ้นส่วนในกล่อง	1	-	3						
7	เดินกลับมาพร้อมชิ้นส่วน B	1	1	2.2						
8	ทำการประกอบชิ้นส่วน B เข้ากับตัวถัง	1	-	3						
9	เดินไปหยิบชิ้นส่วน C	1	0.75	2.1						
10	หาชิ้นส่วนในกล่อง	1	-	3						
11	เดินกลับมาพร้อมชิ้นส่วน C	1	0.75	2.1						
12	ทำการประกอบชิ้นส่วน C เข้ากับตัวถัง	1	-	3						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ง.2 แสดงขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ปรับปรุงของกระบวนการ A

Flow Process Chart										
Chart No. Sheet No.			Summary							
Work flow of process A			Activity		Accumulate Time					
Method ประกอบทีละ 3 ชิ้น			Operation		13					
Present/Propose			Transport		4					
Location			Delay		-					
สถานีงานที่ 2			Inspection		3					
Chart by			Storage		-					
Approve by			Distance(m)		1					
	Description	QTY	Distance (m)	Time (s)	Symbol					Remark
					○	⇨	D	□	▽	
1	เดินไปหยิบชิ้นส่วน A,B,C	1	0.5	2						ออกแบบอุปกรณ์สำหรับใส่และพกพาเข้าไปในสายการประกอบ 
2	หาชิ้นส่วนในกล่อง	1	-	6						
3	เดินกลับมาพร้อมชิ้นส่วน A,B,C	1	0.5	2						
4	ทำการประกอบชิ้นส่วน A,B,C เข้ากับตัวถัง	1	-	7						
5	ทำการตรวจสอบชิ้นส่วนที่ประกอบเข้าไปแล้ว	1	-	3						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

ตารางความน่าจะเป็นแบบ t

ตารางภาคผนวก จ.1 ตารางความน่าจะเป็นแบบ t

ν \ α	0.4	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001	0.0005
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.320	318.310	636.620
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326	31.598
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.730	5.893	6.869
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	0.176	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	6.880	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.100	3.485	3.767
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646

ภาคผนวก ฉ.

ค่าวิกฤติของการแจกแจงเอฟ

ตารางภาคผนวก ฉ.1 ค่าวิกฤติของการแจกแจง $f_{0.05(\nu_1,\nu_2)}$

ν_2	ν_1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	6.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.40	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.40	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพันรวี ทรัพย์อุดม เกิดเมื่อวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2525 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ใน พ.ศ. 2548 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย