สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การลดเวลาล่าช้ารวมในเครื่องจักรแบบขนานด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู

REDUCING TOTAL TARDINESS TIME IN PARALLEL MACHINES WITH TABU SEARCH

T117916

อาคม เหลืองวิทยากร

ARKOM LUENGWITHAYAKORN

วพ.
อ591ก
2554

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....117916
วัน,เดือน,ปี.....22 มิ.ย. 2554

b.....12319185
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2554

KMITL-2011-EN-M-217-059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REDUCING TOTAL TARDINESS TIME IN PARALLEL MACHINES WITH TABU SEARCH

ARKOM LUENGWITHAYAKORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2011

KMITL-2011-EN-M-217-059

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2011

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดเวลาล่าช้ารวมในเครื่องจักรแบบขนานด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู
นักศึกษา	นาย อาคม เหลืองวิทยากร
รหัสนักศึกษา	51061805
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2554
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต

บทคัดย่อ

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่มักจะพบในโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิดด้วยเครื่องจักรทำงานแบบขนาน คือการทำงานเสร็จช้ากว่ากำหนด ด้วยเหตุที่มีจำนวนเครื่องจักรน้อย และการที่ต้องปรับตั้งเครื่องจักรจำเป็นต้องใช้เวลา เพื่อที่จะแก้ปัญหานี้ การจัดลำดับงานเพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องจักรแต่ละเครื่องจึงเข้ามามีบทบาทในการลดเวลาความสูญเสียที่เกิดจากการปรับตั้งเครื่องจักรให้น้อยลง ในงานศึกษานี้ได้นำวิธีการค้นหาแบบตาบูเข้ามาช่วยในการจัดลำดับงาน ซึ่งผลการคำนวณทำให้สามารถลดเวลาล่าช้ารวมลงเหลือเพียง 7.02 % เมื่อเทียบกับวิธีเดิมที่ใช้อยู่ (EDD-SPT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Reducing Total Tardiness Time in Parallel Machine with Tabu Search
Student	Mr.Arkom Luengwithayakorn
Student ID.	51061805
Degree	Master of Engineering
Program	Industrial Engineering
Year	2011
Thesis Advisor	Asst. Prof.Dr. Sakon Klongboonjit

ABSTRACT

One of the important problems that is always found in the Industrial factory producing many products with parallel machine is sending the product after due date. The main causes are less of machine and high setup time. To solve this problem, the sequence of jobs is needed to organize to reduce the wasting time during set up machines. In this study, method of Tabu Search is used to schedule the job for each machine. The results show that total tardiness time is reduced to 7.02% comparing with that of original method (EDD-SPT).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ เพื่อนๆที่ให้กำลังใจและคำปรึกษา ขอบคุณโรงงานผลิตภัณฑ์ถุงพลาสติกตัวอย่างที่ให้การสนับสนุนการวิจัยนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทประสาทวิชาความรู้และถ่านทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อาคม เหลืองวิทยากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป XII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 บทนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานศึกษา 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ความสำคัญของการวางแผนการผลิต 4

2.2 การวางแผนการผลิต 4

2.3 การจัดตารางการผลิต 5

2.4 การจัดลำดับงาน 8

2.5 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิต 16

2.6 วิธีแก้ปัญหาการจัดลำดับงาน 16

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.8 วิธีการค้นหาที่เลือกใช้ 20

บทที่ 3 การจัดตารางการผลิตด้วยการค้นหาแบบตาบู 22

3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการจัดตารางการผลิต 22

3.2 ทฤษฎีตาบูเบื้องต้น 24

3.3 การนำตาบูมาใช้กับการจัดตารางการผลิต 30

บทที่ 4 กระบวนการศึกษา 32

4.1 ขั้นตอนการศึกษา 34

4.2 ข้อมูลจากโรงงาน 34

4.3 การนำข้อมูบที่เก็บได้มาหาคำตอบ 35

4.4 สร้างโปรแกรมเพื่อหาคำตอบ 36

4.5 การออกแบบการทดลอง 36

4.6 การเก็บรวบรวมผลการทดลอง 37

บทที่ 5 ผลการศึกษา 39

5.1 รูปแบบข้อมูลที่ใส่ในโปรแกรม 39

5.2 ผลการทดลอง 39

5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 59

6.1 ข้อเสนอแนะ 50

บรรณานุกรม 51

ภาคผนวก ก รายละเอียดโปรแกรม 54

ภาคผนวก ข รายละเอียดวิธีสลับหาคำตอบข้างเคียง 79

ภาคผนวก ค การใช้งานโปรแกรม 80

ภาคผนวก ง รวมผลการทดลอง 83

ประวัติผู้เขียน 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บมาจากโรงงาน 38
5.1 ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 ที่จำนวนงาน 20 งาน 40
5.2 ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 ที่จำนวนงาน 40 งาน 40
5.3 ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 ที่จำนวนงาน 60 งาน 41
5.4 ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 ที่จำนวนงาน 80 งาน 41
5.5 เปรียบเทียบเวลาล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่จำนวนงาน 20 งาน กับข้อมูลทั้ง 10 ชุด 42
5.6 เปรียบเทียบเวลาล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่จำนวนงาน 40 งาน กับข้อมูลทั้ง 10 ชุด 43
5.7 เปรียบเทียบเวลาล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่จำนวนงาน 60 งาน กับข้อมูลทั้ง 10 ชุด 44
5.8 เปรียบเทียบเวลาล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่จำนวนงาน 80 งาน กับข้อมูลทั้ง 10 ชุด 45
5.9 ผลการเปรียบเทียบการจัดตารางการผลิตแบบใหม่กับแบบเดิม 46
ง.1 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นชั่วโมง 83
ง.2 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 83
ง.3 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นชั่วโมง 84
ง.4 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 84
ง.5 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นชั่วโมง 85
ง.6 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง.7 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่1 หน่วยเป็นชั่วโมง....86
ง.8 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่1 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....86
ง.9 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นชั่วโมง....87
ง.10 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....87
ง.11 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นชั่วโมง....87
ง.12 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....87
ง.13 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นชั่วโมง....89
ง.14 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....89
ง.15 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นชั่วโมง....90
ง.16 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....90
ง.17 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นชั่วโมง....91
ง.18 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....91
ง.19 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นชั่วโมง....92
ง.20 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....92
ง.21 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นชั่วโมง....93
ง.22 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....93
ง.23 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นชั่วโมง....94
ง.24 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นมิลลิวินาที....94
ง.25 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นชั่วโมง....95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง.26 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 95
ง.27 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นชั่วโมง 96
ง.28 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 96
ง.29 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นชั่วโมง 97
ง.30 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 97
ง.31 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นชั่วโมง 98
ง.32 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 98
ง.33 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นชั่วโมง 99
ง.34 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 99
ง.35 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นชั่วโมง 100
ง.36 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 100
ง.37 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นชั่วโมง 101
ง.38 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 101
ง.39 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นชั่วโมง 102
ง.40 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 102
ง.41 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นชั่วโมง 103
ง.42 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 103
ง.43 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นชั่วโมง 104
ง.44 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง.45 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นชั่วโมง 105
ง.46 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 105
ง.47 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นชั่วโมง 106
ง.48 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 106
ง.49 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นชั่วโมง 107
ง.50 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 107
ง.51 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นชั่วโมง 108
ง.52 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 108
ง.53 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นชั่วโมง 109
ง.54 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 109
ง.55 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นชั่วโมง 110
ง.56 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 110
ง.57 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นชั่วโมง 111
ง.58 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 111
ง.59 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นชั่วโมง 112
ง.60 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 112
ง.61 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นชั่วโมง 113
ง.62 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 113
ง.63 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นชั่วโมง 114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ง.64 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 114
ง.65 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นชั่วโมง 115
ง.66 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 115
ง.67 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นชั่วโมง 116
ง.68 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 116
ง.69 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นชั่วโมง 117
ง.70 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 117
ง.71 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นชั่วโมง 118
ง.72 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 118
ง.73 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นชั่วโมง 119
ง.74 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 119
ง.75 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นชั่วโมง 120
ง.76 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 120
ง.77 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นชั่วโมง 121
ง.78 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่10หน่วยเป็นมิลลิวินาที 121
ง.79 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นชั่วโมง 122
ง.80 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นมิลลิวินาที 122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 วิธีการค้นหาคำตอบแบบต่างๆ 17

3.1 แบบแผนการทำงานของการค้นหาแบบตาบู 27

3.2 แบบแผนการทำงานโดยรวมของโรงงาน 30

4.1 ขั้นตอนการจัดลำดับงานแบบเดิม 32

5.1 เวลาที่ใช้ในการค้นหาที่ 20 รอบ ของชุดข้อมูลที่ 1 47

5.2 เวลาล่าช้ารวมในการค้นหาที่ 20 รอบ ของชุดข้อมูลที่ 1 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ความต้องการที่ไม่มีที่สิ้นสุดของผู้บริโภค เป็นตัวผลักดันที่สำคัญในการสร้างความเจริญก้าวหน้าให้แก่วงการอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการแข่งขันที่จะสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความต้องการเหล่านั้นให้ได้มากที่สุด อย่างไรก็ดีผู้บริโภคในปัจจุบันมีความต้องการที่หลากหลายมากขึ้นตามทฤษฎี Long Tail ซึ่งกล่าวไว้ว่า ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อสินค้าที่ตรงกับความต้องการได้มากขึ้นซึ่งในอดีตสินค้าเหล่านั้นอาจมีอยู่แต่ไม่เป็นที่รู้จัก ด้วยเหตุนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ในอดีตจำหน่ายได้น้อยก็จำหน่ายได้มากขึ้น และผลิตภัณฑ์ที่ในอดีตจำหน่ายได้มาก กลับจำหน่ายได้ในอัตราน้อยลง ซึ่งต่างจากทฤษฎีของ Pareto[1] ที่กล่าวว่า ประเภทสินค้าเพียงร้อยละ 20 จะสร้างยอดขายได้ร้อยละ 80 เมื่อพิจารณาตามหลักการผลิตขนาดประหยัด (Economy of Scale) แล้ว ปริมาณการผลิตที่น้อยลง เป็นสาเหตุของต้นทุนทางการผลิตที่สูงขึ้น จึงมีการนำทฤษฎีการบริหารการผลิตเข้ามาใช้ ไม่ว่าจะเป็นการบริหารห่วงโซ่อุปาทาน หรือ การผลิตแบบทันเวลาพอดี ซึ่งทฤษฎีที่ยกตัวอย่างมานี้ ล้วนแล้วแต่ต้องใช้การวางแผนการผลิตเข้ามาช่วยทั้งสิ้น

ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติก ด้วยเหตุที่ความต้องการของผู้บริโภคมีความหลากหลาย ไม่แน่นอน และเปลี่ยนอยู่เสมอ ความคล่องตัวในการผลิต เช่น การผลิตได้ในจำนวนที่น้อย การใช้เตรียมการผลิตที่สั้นจึงมีความสำคัญ ในการศึกษานี้จะมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าด้วยการลดเวลาล่าช้ารวมในการผลิต โดยความสำคัญของการลดเวลาล่าช้ารวมคือการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ใกล้กับเวลาส่งมอบที่ลูกค้ากำหนดให้มากที่สุด เพื่อลดภาระของลูกค้าในการจัดเก็บในกรณีส่งมอบสินค้าก่อนเวลาที่กำหนด และลดความสูญเสียโอกาสในการแข่งขันในกรณีที่ส่งมอบสินค้าล่าช้า โดยจะนำเสนอวิธีการลดเวลาล่าช้ารวมในการผลิตด้วยวิธีการค้นหาคำตอบด้วยวิธีตาบูซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการหาคำตอบ

การค้นหาคำตอบด้วยคอมพิวเตอร์นั้นมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากปัญหาที่ต้องการหาคำตอบนั้นเป็นวิธีที่ไม่สามารถหาคำตอบด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ทั่วไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ต้องใช้วิธีสุ่มหาชุดคำตอบและตรวจสอบชุดคำตอบที่ได้ว่าเหมาะสมหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ว่าคำตอบใดให้ผลลัพธ์ดีที่สุด วิธีที่ใช้ในการคำนวณก็มีอยู่หลายวิธีดังจะกล่าวอย่างละเอียดในบทที่ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

- ศึกษาการนำวิธีการค้นหาคำตอบแบบตาบูมาใช้กับการจัดตารางการผลิตในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกแผนกพิมพ์ลาย
- พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการจัดตารางการผลิตให้แก่แผนกพิมพ์ลายของโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติก
- ลดเวลาล่าช้ารวมสำหรับกระบวนการผลิต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- การศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นไปที่การจัดลำดับงานเข้าสู่เครื่องจักรในแผนกพิมพ์ลายในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกตัวอย่างเท่านั้น
- เครื่องจักรที่ใช้ในการศึกษาเป็นเครื่องจักรที่มีการทำงานแบบขนานจำนวน 2 เครื่อง
- เวลาปรับตั้งเครื่องที่นำมาคำนวณเป็นเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเฉลี่ยเท่านั้น (ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วอาจจะเร็วหรือช้ากว่านี้ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ควบคุมเครื่องจักร)
- โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นอยู่บนพื้นฐานของการค้นหาคำตอบแบบ ตาบู

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- สามารถใช้วิธีการศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางในการจัดลำดับงานที่เหมาะสมในพื้นที่อื่นๆของการผลิต
- สามารถลดเวลาล่าช้ารวมในการผลิตให้แก่โรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกในแผนกพิมพ์ลาย
- เป็นแนวทางในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนลำดับการผลิตว่าจะกระทบต่อเวลาล่าช้ารวมหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆที่มีรูปแบบใกล้เคียงกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการรวบรวมทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับงาน และรวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับงานเข้าสู่เครื่องจักรในแบบต่างๆซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของ งาน n งานจัดลำดับการผลิตเพื่อเข้าสู่เครื่องจักร m เครื่อง เพื่อเป้าหมายที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการลดเวลาทำงานรวม หรือลดเวลาล่าช้ารวม ตามแต่นโยบายของบริษัท

2.1 ความสำคัญของการวางแผนการผลิต

ในการแข่งขันที่รุนแรงในปัจจุบัน การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำให้ได้ จึงต้องมีการวางแผนจัดการที่ดี การวางแผนการผลิตเป็นวิธีการหนึ่งในการจัดการทรัพยากรเครื่องจักรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้สามารถผลิตสินค้าส่งมอบได้ตามเวลาที่กำหนด หรือให้มีเวลาล่าช้าน้อยที่สุด ผู้บริหารจึงควรให้ความสำคัญกับการวางแผนการผลิต และเมื่อมีการรวมเข้ากับระบบวางแผนห่วงโซ่อุปาทานที่มีประสิทธิภาพแล้วก็จะเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้องค์กรสืบไป

2.2 การวางแผนการผลิต

พื้นฐานของงานด้านการวางแผนการผลิตนั้นมีโครงสร้างที่สามารถพิจารณาได้อย่างเป็นระบบโดยจะมีการไหลเวียนของข้อมูลตั้งแต่การรับคำสั่งซื้อ การสั่งซื้อวัตถุดิบ ไปจนถึงการสั่งให้หน่วยผลิตเตรียมพร้อมทรัพยากรสำหรับการผลิต โดยการวางแผนการผลิต สามารถแบ่งประเภทตามเกณฑ์ช่วงเวลาได้ต่างๆกันดังต่อไปนี้

1. การวางแผนการผลิตระยะยาว (Long-Term Production Planning) เป็นการวางแผนระยะยาวมากกว่า 1 ปีขึ้นไป โดยการวางแผนประเภทนี้เป็นการวางแผนระกับกลยุทธ์ เพื่อจุดประสงค์ในการเตรียมองค์กรให้พร้อมสำหรับการผลิตในอนาคต เช่นการเตรียมพื้นที่ปฏิบัติงานเพิ่มเติมจากที่มีอยู่เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวางแผนการผลิตระยะกลาง (Mid-Term Production Planning) จะเป็นการวางแผนการผลิตในช่วงระยะเวลาประมาณ 1-12 เดือนข้างหน้า โดยทั่วไปมักจะเป็นการเตรียมเครื่องจักร หรือการเตรียมทรัพยากรสำหรับการผลิตที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ เช่นการประกาศรับพนักงานใหม่ การสั่งซื้อเครื่องจักรใหม่หรือ รวมไปถึงการเตรียมการ และปรับปรุงเครื่องจักรเดิมให้สามารถผลิตสินค้าที่ต้องการผลิตในอนาคตได้

3. การวางแผนการผลิตในระยะสั้น (Short-Tem Production Planning) เป็นการวางแผนระยะสั้นซึ่งมักจะเป็นการวางแผนว่าจะต้องผลิตอะไรที่เครื่องจักรใด เป็นเวลานานเท่าไร โดยมักจะมีการวางแผนเป็นรายวันหรือรายสัปดาห์โดยขึ้นอยู่กับปริมาณงานและความซับซ้อนของการผลิตโดยการผลิตระยะสั้นจะมุ่งเน้นไปที่การจัดตารางการผลิต (Production Scheduling) เป็นหลัก ซึ่งถือเป็นลำดับขั้นสุดท้ายของระบบการวางแผนการผลิต โดยจะต้องมีความยืดหยุ่นตัวได้ค่อนข้างสูงเพื่อให้สอนคล้องกับสถานภาพของกระบวนการผลิต

2.3 การจัดตารางการผลิต

เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันแล้ว การจัดตารางการผลิตจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการกำหนดว่า งานใดควรให้ทำที่เครื่องจักรใด ในเวลาใด สิ้นสุดเมื่อใด และจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนเท่าใด โดยทั่วไปแล้วการจัดตารางการผลิตมักจะทำการจัดทุกวันเนื่องจากงานจะมีความเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอเช่นการขอเลื่อนเวลารับของ หรือมีงานด่วนแทรกเข้ามา งานที่ไม่มีความซับซ้อนมาก มีความเฉพาะเจาะจงไม่มาก สามารถปรับเปลี่ยนตารางการผลิตได้ง่าย แต่งานที่มีความเฉพาะเจาะจงมากๆ เช่นงานที่จะต้องใช้เวลาปรับตั้งเครื่องจักรมากเพื่อที่จะผลิตงานนั้นๆ ออกมาได้ การวางแผนการผลิตจะเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับงานเหล่านั้น โดยการจัดตารางการผลิตนั้นต้องมีความเหมาะสมเพราะอาจจะทำให้เกิดปัญหาการผลิตไม่ทัน หรือการทำให้เครื่องจักรว่าง ไม่มีงานเพื่อทำการผลิต ก็นับเป็นการสูญเสียเนื่องจากเกิดการใช้ทรัพยากรไม่คุ้มค่า

หลักการจัดตารางการผลิต มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รับก่อนทำก่อน (First Come – First Serve) จะทำงานที่เข้ามาก่อนในแถวคอย และค่อยๆทำงานในลำดับต่อไปเรื่อยๆ โดยเรียงตามลำดับก่อนหลัง

2. ทำงานที่ใช้เวลาทำงานน้อยที่สุดก่อน (Shortest Process Time) คือการจัดลำดับงานโดยจะวัดว่างานที่มีอยู่ทั้งหมดในรายการงาน งานใดที่มีเวลาในการทำงานสั้นที่สุดก่อน จากนั้นจึงทำงานที่มีระยะเวลาในการทำงานสั้นที่สุดของงานที่เหลือในรายการต่อไป

3. การทำงานที่ใช้เวลาทำงานนานที่สุดก่อน (Longest Process Time) จะเป็นการทำงานที่ตรงกันข้ามกับวิธี Shortest Process Time คือจะทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานที่มากที่สุดก่อน แล้วค่อยทำงานที่มีระยะเวลามากที่สุดที่เหลืออยู่ในรายการไปเรื่อยๆ

4. งานที่จะถึงกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อน (Earliest Due Date) จะทำงานที่มีวันกำหนดส่งใกล้ที่สุดก่อน

5. ทำชิ้นงานที่มีเวลาเหลือสำหรับการทำงานน้อยที่สุดก่อน (Minimum Slack Time) เนื่องจากงานแต่ละงานต้องการเวลาการทำงานไม่เท่ากัน การจัดลำดับงานแบบนี้จะเป็นการเลือกเอางานที่มีเวลาเหลือสำหรับการทำงานน้อยที่สุดมาทำก่อน

6. เข้าทีหลังทำก่อน (Last Come First Serve) การจัดลำดับงานแบบนี้สามารถเรียกได้อีกอย่างว่า Stack คือเป็นการเอางานที่รับคำสั่งงานเข้ามาหลังสุดมาทำก่อน จากนั้นจะทำงานที่มีลำดับงานถัดมา

หลักเกณฑ์และวิธีการจัดลำดับงานที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น แต่ละวิธีก็มีจุดเด่นและจุดด้อยที่มีความเหมาะสมกับอุตสาหกรรมในแบบต่างๆ ไม่เหมือนกัน วิธีการที่ใช้ได้ดีในอุตสาหกรรมแบบหนึ่งอาจจะใช้ไม่ได้ในอุตสาหกรรมอีกแบบหนึ่งก็ได้ หรือแม้แต่ในอุตสาหกรรมแบบเดียวกันแต่มีการบริหารจัดการองค์กรภายในไม่เหมือนกัน ถ้าหากใช้วิธีเดียวกันก็ไม่อาจรับประกันได้ว่าผลจะออกมาดีเหมือนกับระบบที่นำมาเป็นตัวอย่างได้ โดยผู้วิจัยส่วนใหญ่มักใช้วิธีการสุ่มเพื่อหาลำดับงานที่ทำให้ได้เป้าหมายตามที่ต้องการ ไม่ว่าจะเป็นเวลาล่าช้ารวมน้อยที่สุด หรือ เวลาทำงานน้อยที่สุด เป็นต้น แต่การสุ่มนั้น ถ้าสุ่มแบบไม่มีทิศทางก็อาจทำให้ได้ผลที่ไม่ดีเท่าที่ควรจึงได้มีการสุ่มอย่างมีเหตุผล (Heuristic) ขึ้น ซึ่งจะมีประโยชน์ในการสุ่มเลือกไปในทิศทางที่มีแนวโน้มของคำตอบดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองการจัดตารางการผลิตสามารถแยกตามลักษณะการจัดเรียงของเครื่องจักรและการไหลของชิ้นงานในระบบออกเป็นประเภทต่างๆดังนี้

1. แบบจำลองเครื่องจักรเดี่ยว (Single Machine) ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว โดยทุกงานที่เข้ามาในระบบจะต้องทำงานกับเครื่องจักรนี้ แต่ละงานจะมีเวลาปฏิบัติบนหน่วยผลิตและเวลากำหนดส่ง วัตถุประสงค์ในการจัดตารางการผลิตโดยทั่วไปคือ การจัดลำดับงานให้กับเครื่องจักรเพื่อให้มีค่าปรับของงานล่าช้าน้อยที่สุด

2. แบบจำลองเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine) ระบบนี้ประกอบไปด้วยเครื่องจักร m เครื่องซึ่งสามารถทำงานที่เหมือนกันได้และมีการจัดวางแบบขนานกัน งานที่เข้ามาในระบบสามารถที่จะเลือกทำได้ที่เครื่องจักรเครื่องใดก็ได้ใน m เครื่องเหล่านี้ แบบจำลองเครื่องจักรขนานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ เครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน (Identical Parallel Machine) เครื่องจักรขนานที่เหมือนกันแต่มีอัตราการผลิตต่างกัน (Uniform Parallel Machine) และเครื่องจักรขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน (Unrelated Parallel Machine)

3. แบบจำลองการผลิตแบบไหล (Flow Shop) ระบบประกอบไปด้วยเครื่องจักรจำนวน m เครื่องที่แตกต่างกันวางต่อกันแบบอนุกรม งานทั้งหมดจะมีเสนทางการไหลของงานไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด (Unidirectional Flow) ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ระบบการผลิตแบบไหลบริสุทธิ์ (Pure Flow Shop) และระบบการผลิตแบบไหลทั่วไป (General Flow Shop)

4. แบบจำลองการผลิตแบบตามสั่ง (Job shop) จะมีระบบที่ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่อง ในแต่ละหน่วยงานจะมีเส้นทางการไหลของงานเฉพาะของตนเอง ตามที่ผู้งานแผนกระบวนการกำหนดให้เท่านั้น ทิศทางการไหลของงานมีได้หลายทิศทาง (Non-Unidirectional Flow) แต่ละงานสามารถที่จะดำเนินงานบนเครื่องจักรใดๆก็ตามที่อยู่บนเส้นทางงานของตนได้เพียงแค่ 1 ครั้งเท่านั้น

5. แบบจำลองการผลิตแบบเปิด (Open Shop) ระบบการผลิตแบบเปิดจะคล้ายกับระบบการผลิตแบบตามสั่ง ยกเว้นงานจะมีการดำเนินงานแบบเวียนซ้ำที่เครื่องจักรใดๆก็ได้ขึ้นอยู่กับเส้นทางงานของงานนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การจัดลำดับงาน

ปัญหาการจัดลำดับงาน เราสามารถแยะย่อยออกได้เป็น 3 รูปแบบคือ

1) การจัดลำดับงาน n งาน ให้กับเครื่องจักร 1 เครื่อง

2) การจัดลำดับงาน n งานให้กับเครื่องจักร m เครื่อง

3) การจัดลำดับงาน n งานแบบตามสั่งทั่วไป

ซึ่งอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้

2.4.1 การจัดตารางการผลิตของงาน n งานให้กับหน่วยผลิต 1 หน่วย (Scheduling n Tasks on One Processor)

ปัญหาแบบนี้เป็นปัญหาที่ง่ายที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่อมีงานกลุ่มหนึ่งคอยรับบริการจากเครื่องจักรและมีเครื่องจักรที่ให้บริการอยู่เครื่องเดียวโดยจะต้องรู้เวลาที่ใช้ทำงานในแต่ละงานและเวลากำหนดส่งงานของแต่ละงานด้วย โดยไม่ว่าลำดับของงานจะเป็นเช่นไร เวลาทำงานรวมทั้งหมดจะต้องคงที่โดยวิธีแก้ปัญหาจะแบ่งย่อยได้ดังนี้

ทฤษฎีที่ 1 ถ้าจัดลำดับงานโดยทำงานที่มีเวลาทำงานน้อยที่สุดก่อน จะทำให้จำนวนงานเฉลี่ยที่อยู่ในระบบน้อยที่สุด เมื่อต้องการจัดตารางการผลิตให้กับงาน n งานบนหน่วยผลิตหน่วยเดียว เวลาเฉลี่ยชิ้นงานอยู่ในระบบจะน้อยที่สุดก็ต่อเมื่อทำการจัดลำดับงานที่ใช้เวลาในการปฏิบัติงานน้อยที่สุดก่อน(Shortest Process Time: SPT)

ทฤษฎีที่ 2 จัดตารางการผลิตโดยใช้หลักเกณฑ์ของ (Weight Shortest Process Time: WSPT) จะทำให้เวลาเฉลี่ยงานอยู่ในระบบต่อหน่วยน้ำหนักน้อยที่สุด เมื่อต้องการจัดตารางการผลิตให้กับงาน n งานบนหน่วยผลิต 1 หน่วยเมื่อ i แต่ละงานมีน้ำหนักค่าความสำคัญหนึ่ง (W_i) เวลาเฉลี่ยงานอยู่ในระบบต่อหน่วยน้ำหนักจะน้อยที่สุด

ทฤษฎีที่ 3 ถ้าจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต 1 หน่วยโดยใช้หลักเกณฑ์ของ SPT จะทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาเบี่ยงเบนน้อยที่สุด เมื่อทำการจัดตารางการผลิตให้กับงาน n งานบนหน่วยผลิต 1 หน่วย ค่าเฉลี่ยของเวลาเบี่ยงเบนสามารถจะทำให้น้อยที่สุดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่ 4 ถ้าจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต 1 หน่วยโดยใช้หลักเกณฑ์ของ (Earliest Due Date: EDD) จะทำให้ค่าเวลาเบี่ยงเบนสูงสุดของงานน้อยที่สุด เมื่อต้องการจัดตารางการผลิตของงาน n งานบนหน่วยผลิต 1 หน่วยเพื่อให้ค่าเวลาเบี่ยงเบนสูงสุดของงานน้อยที่สุด หรือเพื่อให้เวลาส่งงานไม่ทันกำหนดสูงสุดของงานน้อยที่สุดสามารถจะทำได้โดยการจัดลำดับงานตามหลักเกณฑ์ของ EDD

ทฤษฎีที่ 5 ถ้าต้องการจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต 1 หน่วยเพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาส่งงานไม่ทันกำหนดน้อยที่สุด วิธีการหรือหลักเกณฑ์ EDD สมารถจะให้ผลลัพธ์ดังกล่าวได้ ถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดลำดับงานไม่มีงานที่ส่งไม่ทันกำหนดหรือมีเพียงงานเดียว

ทฤษฎีที่ 6 ถ้าต้องการจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต 1 หน่วยเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของเวลาส่งงานไม่ทันกำหนดน้อยที่สุด วิธีการหรือหลักเกณฑ์ SPT สามารถจะให้ผลลัพธ์ดังกล่าวได้ ถ้างานทุกงานมีเวลากำหนดส่งงานเหมือนกัน หรือถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดลำดับงานชี้ให้เห็นงานทุกงานส่งไม่ทันตามกำหนด

2.4.1.1 วิธีของ Hodgson [2] การจัดลำดับงานบนหน่วยผลิต 1 หน่วย เพื่อให้จำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนดเกินขึ้นน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 จัดลำดับงานทั้งหมดตามหลักเกณฑ์ของ EDD ถ้ามีงานที่ส่งไม่ทันกำหนดเพียง 1 หรือ 0 งาน ให้ยุติการจัดลำดับเพียงขั้นตอนที่ 1 ในกรณีอื่นๆ ให้ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 เริ่มค้นจากการนำผลลัพธ์การจัดลำดับงาน ตามหนักเกณฑ์ของ EDD หลังจากนั้นให้พิจารณางานลำดับที่ 1 ไปเรื่อยๆจนถึงงานลำดับสุดท้าย แล้วชี้ให้เห็นว่างานใดส่งงานไม่ทันกำหนด ให้ข้ามไปทำขั้นตอนที่ 4 สำหรับกรณีอื่นๆให้ข้ามไปทำในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 สมมติว่างานที่ส่งไม่ทันกำหนดอยู่ในตำแหนงที่ i ของการจัดลำดับให้ตรวจสอบจำนวนงาน i งานแรกในการจัดลำดับ และชี้ให้เห็นว่างานใดมีเวลาปฏิบัติงานบนหน่วยผลิตยาวนานมากที่สุด จากนั้นจึงดึงงานนั้นออกมาแล้วจัดไว้อีกที่หนึ่ง หลังจากนั้นจึงกลับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทบทวนเวลากำหนดเสร็จของงานอื่นๆที่เปลี่ยนไปอันเนื่องมาจากการดึงงานนั้นออก แล้วย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 4 วางงานทั้งหมดที่ถูกดึงออกไปไว้อีกที่หนึ่งในลำดับใดๆก็ได้ต่อท้ายจากการจัดลำดับงานที่ได้

2.4.1.2 การจัดลำดับงานบนหน่วยผลิต 1 หน่วยเพื่อลดหรือทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาส่งงานไม่ทันกำหนดน้อยสุด

กระบวนการนี้ไม่ใช่เป็นวิธีที่ทำให้เวลาเฉลี่ยของงานที่ส่งไม่ทันกำหนดน้อยที่สุดเสมอไป ช่วงเวลาที่ล่าช้าของงานแต่ละงานที่ส่งไม่ทันกำหนดจะพบว่าช่วงเวลาดังกล่าวไม่ได้ซ้อนทับกันอยู่ (Overlap) คำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด นั้นคือไม่มีงาน 2 งานที่สายในเวลาเดียวกัน คำตอบที่ได้จะทำให้ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาส่งงานไม่ทันกำหนดโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด

2.4.2 การจัดตารางการผลิตของงาน *n* งานให้กับหน่วยผลิต *m* หน่วย (Scheduling *n* Tasks on *m* Processor)

การพิจารณาหน่วยผลิตหลายๆหน่วยในส่วนแรกจะเป็นการพิจารณาปัญหาของหน่วยผลิต m หน่วยที่ขนานกัน (*m* parallel process) ในกรณีนี้แต่ละงานจะถูกมอบให้หน่วยผลิตใดหน่วยหนึ่งเพียงหน่วยเดียว หลังจากนั้นก็จะเป็นการพิจารณาปัญหาของหน่วยผลิต *m* หน่วยที่อนุกรมกัน ในกรณีนี้แต่ละงานจะเข้าสู่หน่วยผลิตแต่ละหน่วยตามลำดับที่เหมือนกัน ทั้ง 2สถานการณ์ที่กล่าวมานี้แม้ว่าความยุ่งยากซับซ้อนจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้การหาคำตอบทำได้ยากขึ้นมาก เรียกได้ว่าปัญหาแบบ NP Hard

การจัดลำดับงานในลักษณะหน่วยผลิตขนานกันนี้ หมายความว่า มีหน่วยผลิต 2 หน่วยขึ้นไปที่เหมือนกันและประสิทธิภาพในการทำงานของแต่ละหน่วยงานเท่ากัน เมื่อมีงานหลายงานเข้ามาในระบบ เราจะเลือกหน่วยผลิตทุกหน่วยมาใช้แล้วทำการจัดลำดับงานบนหน่วยผลิตแต่ละหน่วย งานแต่ละงานนั้นไม่ว่าจะถูกจัดให้ทำงานบนหน่วยผลิตหน่วยใดก็จะให้เวลาเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวัตถุประสงค์ที่ต้องการคือให้เวลาเฉลี่ยชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยที่สุด กฎเกณฑ์การจัดตารางการผลิตโดยแบบ SPT สามารถจะนำมาใช้เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้ ดังกระบวนการต่อไปนี้

ตัวออย่างกระบวนการที่ได้ทำทฤษฎีการจัดลำดับตารางการผลิตของงาน n งานให้กับหน่วยการผลิต m หน่วย มีดังต่อไปนี้

2.4.2.1 การจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต m หน่วยที่ขนานกัน เพื่อให้เวลาเฉลี่ยชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 จัดลำดับงานทุกๆงานตามลำดับ SPT

ขั้นตอนที่ 2 ดึงงานที่ได้จากการจัดลำดับในขั้นตอนที่ 1 ออกมาตามลำดับ กำหนดงานเหล่านั้นให้กับหน่วยผลิตที่พร้อมที่สุดก่อน

2.4.2.2 การจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต m หน่วยที่ขนานกันเพื่อลดช่วงกว้างของเวลาการทำงาน พร้อมทั้งลดเวลาเฉลี่ยชิ้นงานที่อยู่ในระบบ

ขั้นตอนที่ 1 จัดลพกับงาน n งานโดยเรียงลำดับตาม LPT

ขั้นตอนที่ 2 จัดตารางการผลิตแต่ละงานตามลำดับ LPT ที่จัดไว้ในขั้นตอนที่ 1 ให้กับหน่วยผลิตที่พร้อมที่สุดก่อน

ขั้นตอนที่ 3 หลังจากงานทุกงานได้ถูกจัดให้กับหน่วยผลิตแล้ว ให้จัดลำดับบนหน่วยผลิตแต่ละหน่วยใหม่ โดยใช้หลักเกณฑ์การจัดลำดับด้วย SPT

2.4.2.3 การจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต m หน่วยที่ขนานกันเพื่อลดค่าสูงสุดของเวลาส่งไม่ทันกำหนด โดยใช้หลักเกณฑ์ของ EDD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 จัดลำดับงาน n งานโดยเรียงลำดับด้วย EDD

ขั้นตอนที่ 2 นำเอางานมาทีละงานตามที่ได้จัดลำดับตาม EDD ในขั้นตอนที่ 1 แล้วจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิตที่พร้อมที่สุดในขณะนั้นก่อน ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 นี้กับงานในลำดับต่อไปที่ได้จัดโดย EDD จนกระทั่งงานหมด

2.4.2.4 การจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต m หน่วยที่ขนานกัน เพื่อลดเวลาส่งงานไม่ทันกำหนด โดยใช้หลักเกณฑ์ของ Slack

ขั้นตอนที่ 1 จัดลำดับงาน n งานโดยเรียงลำดับตามค่า Slack ที่น้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 นำเอางานมาทีละงานตามที่ได้จัดลำดับด้วยหลักเกณฑ์ Slack ในขั้นตอนที่ 1 แล้วจัดตารางการผลิตลงบนหน่วยผลิตที่พร้อมที่สุดในขณะนั้นก่อน ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 นี้กับงานในลำดับต่อไปที่ได้จัดลำดับ โดยหลักเกณฑ์ของ Slack จนกระทั้งหมดงาน

2.4.2.5 การจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต m หน่วย เพื่อลดเวลาเฉลี่ยส่งงานไม่ทันกำหนด

ตามกระบวนการนี้จะต้องดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1-3 ที่กล่าวถึงต่อไปนี้ 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะใช้หลักเกณฑ์จอง SPT, EDD และ Slack เป็นหลักเกณฑ์ในการเริ่มต้นในการจัดตารางการผลิตตามลำดับ หลังจากนั้นเลือกตารางการผลิตจากผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งมีเวลาเฉลี่ยส่งงานไม่ทันกำหนดน้อยที่สุดสำหรับขั้นตอนทั้ง 3 สรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จัดงานที่ยังไม่ได้จัดตารางการผลิตโดยใช้หลักเกณฑ์เริ่มต้นในการจัดลำดับงาน (SPT, EDD และ Slack)

ขั้นตอนที่ 2 นำเอางานที่ได้จากการจัดลำดับมาครั้งละ 1 งานกำหนดให้กับหน่วยผลิตที่พร้อมที่สุดก่อน ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั้งงานหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 นำแต่ละหน่วยผลิตแยกออกมาแล้วทำการจัดตารางการผลิตงานเหล่านั้นเพื่อทำให้ค่าเฉลี่ยส่งงานไม่ทันกำหนดน้อยที่สุด ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการใช้กระบวนการที่ 2 ที่กล่าวมาแล้ว

2.4.2.6 การจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต *m* หน่วย เพื่อลดจำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนด

ขั้นตอนที่ 1 จัดตารางการผลิตให้กับงานทั้งหมดโดยใช้กระบวนการที่ 5

ขั้นตอนที่ 2 ในแต่ละหน่วยผลิต ให้พิจารณางานเริ่มแรกสุดของการจัดลำดับงานบนหน่วยผลิตนั้น จนกระทั่งพบงานที่ส่งไม่ทันกำหนด สมมติว่าเป็นงานในหน่วยผลิต j ในตำแหน่งที่ i

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบงานจำนวน i งานแรกบนหน่วยผลิต j และพิจารณางานดูว่างานใดใช้เวลาปฏิบัติยาวนานที่สุด ดึงงานนั้นออกมาและวางไว้ในลำดับสุดท้ายของหน่วยผลิต j และพิจารณางานดูว่างานใดใช้เวลาปฏิบัติยาวนานที่สุด ดึงงานนั้นออกมาและวางไว้ในลำดับสุดท้ายของหน่วยผลิต j กลับไปทบทวนเวลากำหนดเสร็จของงานทุกงานใหม่อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงนี้แล้วย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 2

เมื่อพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของช่วงกว้างเวลาการทำงานทั้งหมด จะสามารถหาวิธีการจัดลำดับงานที่ดีที่สุดได้ ในกรณีของหน่วยผลิต 2 หน่วยที่ต่ออนุกรมกัน กระบวนการที่สามารถทำให้ช่วงกว้างของเวลาการทำงานทั้งหมดน้อยที่สุด คือ หลักเกณฑ์ของ จอห์นสัน (Johnson's Rule) [3] ที่กล่าวไว้ว่า ถ้างาน n งานถูกนำมาจัดลำดับงานบนหน่วยผลิต 2 หน่วยงาน แต่ละงานดังกล่าวนั้นจะต้องผ่านหน่วยผลิตแต่ละหน่วยในลำดับที่เหมือนกัน

2.4.2.7 การจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต 2 หน่วยที่ต่ออนุกรมกันโดยหลักเกณฑ์จองจอห์นสัน เพื่อให้ช่วงกว้างของเวลาทำงานทั้งหมดน้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 สำหรับทุกๆงาน I หาค่าที่ต้อยที่สุดของ $t_{i,1}$ และ $t_{i,2}$ ซึ่งเป็นเวลาปฏิบัติงานบนหน่วยผลิตหน่วยที่หนึ่งและหน่วยผลิตหน่วยที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ถ้าเวลาที่น้อยที่สุดอยู่บนหน่วยผลิตหน่วยที่ 1 ($t_{i,1}$) งานนั้นจะถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งแรกสุดของตำแหน่งที่มีอยู่ทั้งหมดในการจัดลำดับงานขณะนั้น แล้วข้ามไปขั้นตอนที่ 3 ถ้าหากว่าเวลาที่น้อยที่สุดนั้นอยู่บนหน่วยที่ 2 ($t_{i,2}$) งานนั้นจะถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งสุดท้ายของตำแหนงที่มีอยู่ทั้งหมดในการจัดลำดับของงานขณะนั้น แล้วข้ามไปขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 ขจัดงานที่ได้จัดตำแหน่งไว้แล้วออกจากรายการ ถ้ายังมีงานเหลืออยู่ให้ย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 1 ถ้าไม่มีงานเหลือให้ยุติกระบวนการเพียงแค่นี้

2.4.2.8 การจัดตารางการผลิตบนหน่วยผลิต *m* หน่วยที่ต่ออนุกรมกัน เพื่อลดช่องกว้างของการทำงานทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 1 ให้ $k = 1$ คำนวณค่า $t^*_{i,1}$ และ $t^*_{i,2}$

ขั้นตอนที่ 2 จัดตารางการผลิตให้กับงาน n งานโดยใช้กระบวนการที่ 9 ซึ่ง $t_{i,1} = t^*_{i,1}$ และ $t_{i,2} = t^*_{i,2}$ ตามที่หาได้ในขั้นตอนที่ 1 บันทึกการจัดลำดับที่จัดได้ แล้วคำนวณช่วงกว้างของการทำงานทั้งหมด ถ้าช่วงกว้างของการทำงานทั้งหมดนั้นน้อยที่สุดตั้งแต่ที่หามาได้ ให้เก็บผลลัพธ์การจัดลำดับและช่วงกว้างของเวลาการทำงานทั้งหมดนั้นไว้

ขั้นตอนที่ 3 ถ้า $k=(m-1)$ ให้หยุดผลการจัดลำดับงานและช่วงกว้างของกรทำงานทั้งหมดที่ได้เก็บบันทึกไว้ครั้งล่าสุด คือแผนตารางการผลิตที่จะนำไปใช้ต่อไป แต่ถ้า $k<(m-1)$ ให้เพิ่มค่า k ขึ้นอีก 1 แล้วย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 1

2.4.3 การจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งทั่วไป (General Job Shop Scheduling)

ในการจัดตารางการผลิตที่ผ่านมา งานต่างๆจะมีรูปแบบการไหลของงานบนหน่วยผลิตในทิศทางเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นการผลิตบนหน่วยผลิตหน่วยเดียว หรือหลายหน่วยที่ขนานกัน หรือหลายหน่วยที่ต่ออนุกรมกัน ปัญหาในการจัดตารางการผลิตดังกล่าวก็ค่อนข้างจะยุ่งยากอยู่แล้ว แต่สำหรับในกรณีที่รูปแบบการไหลของงานแต่ละงานไม่เหมือนกันก็ยิ่งจะทำให้ปัญหาการจัดตารางการผลิตมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้นไปอีก และเช่นเดียวกัน คงไม่มีกฎเกณฑ์หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการใดๆที่สามารถจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการง่ายๆที่เคยได้กล่าวถึงมาแล้วในหัวข้อก่อนๆ ก็สามารถจะนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งทั่วไปได้ สำหรับในที่นี้เราจะเน้นถึงกฎเกณฑ์การจัดตารางการผลิตบางกฎเกณฑ์ที่สามารถจะให้คำตอบที่ค่อนข้างจะดี ตลอดจนถึงวิธีการที่ใช้ในการเตรียมการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งทั่วไป

กฎเกณฑ์ง่ายๆ หลายๆกฎเกณฑ์สามารถจะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในการเลือกงานใดๆ จากกลุ่มของงานที่กำลังคอยการผลิตบนหน่วยผลิตเดียวกันตามจุดของเวลาที่หน่วยผลิต พร้อมสำหรับการผลิตงานต่อไป ดังที่ได้กล่าวไว้ตอนเริ่มต้นของบทนี้คือ

1. เวลากำหนดส่งงานเร็วที่สุดก่อน (Earliest Due Date)
2. งานเข้ามาในระบบก่อน บริการก่อน (First in system Served) สำหรับกฎเกณฑ์นี้จะให้ความสำคัญกับงานที่เข้ามาในโรงงานก่อน(ไม่ใช่เข้ามาที่หน่วยผลิตก่อน)
3. งานใดมาก่อนทำก่อน (First Come First Served) ในที่นี้จะให้ความสำคัญกับงานที่เข้ามาถึงหน่วยผลิตก่อน
4. งานที่มี Slack น้อยที่สุดก่อน (Least Slack First) ค่า Slack ในที่นี้สามารถคำนวณหาได้จากคำแตกต่างระหว่างเวลากำหนดส่งและปริมาณงานที่เหลือค้างอยู่ของแต่ละงาน ณ ที่เวลาศูนย์
5. งานที่มีเวลาปฏิบัติงานน้อยที่สุดก่อน (Shortest Process Time)
6. งานที่มีเวลาเหลือในการปฏิบัติงานน้อยที่สุดก่อน (Least Work Remaining)

แต่สำหรับในสภาพของสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เมื่องานเข้ามาในช่วงเวลาที่ผ่านเลยการดำเนินการจัดตารางการผลิตไปแล้ว และมีงานเป็นจำนวนมากอยู่ในระบบและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่อย่างต่อเนื่อง ความรู้ก่อนหน้าเกี่ยวกับกฎเกณฑ์ต่างๆ ซึ่งสามารถให้ผลการดำเนินการที่ดี เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยของการปฏิบัติงานอย่างที่เรานำมาวัดก็จะมีประโยชน์มาก

สำหรับโรงงานผลิตแบบตามสั่งที่มีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การศึกษาการจัดตารางการผลิตหลายๆวิธี ได้ถูกนำมาดำเนินการเพื่อประเมินผลถึงการปฏิบัติงานของการใช้กฎเกณฑ์ต่างๆ การศึกษาเหล่านี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาจำลองรูปแบบของสถานการณ์ เพื่อหาผลลัพธ์ที่จะนำมาประกอบการตัดสินใจดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิตต้องมีเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งปกติในกระบวนการผลิตจะมีเงื่อนไขต่างๆเกิดขึ้นตามความแตกต่างของแต่ละโรงงาน โดยส่วนใหญ่ เป้าหมายที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิต คือระยะเวลาการผลิตทุกงานจะต้องสอดคล้องกับกำหนดส่งงาน(Due date) ของลูกค้า

ในกรณีศึกษาพบว่าอีกเป้าหมายหนึ่งคือ เพื่อลดเวลางานที่อยู่ในระบบหรือลดการคอยงานในกระบวนการผลิตนั้นเอง จะเห็นไว้ว่าเป้าหมายสำหรับการจัดตารางการผลิตแบ่งออกเป็น 2 เกณฑ์ คือ Time Base และ Due Date Base ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

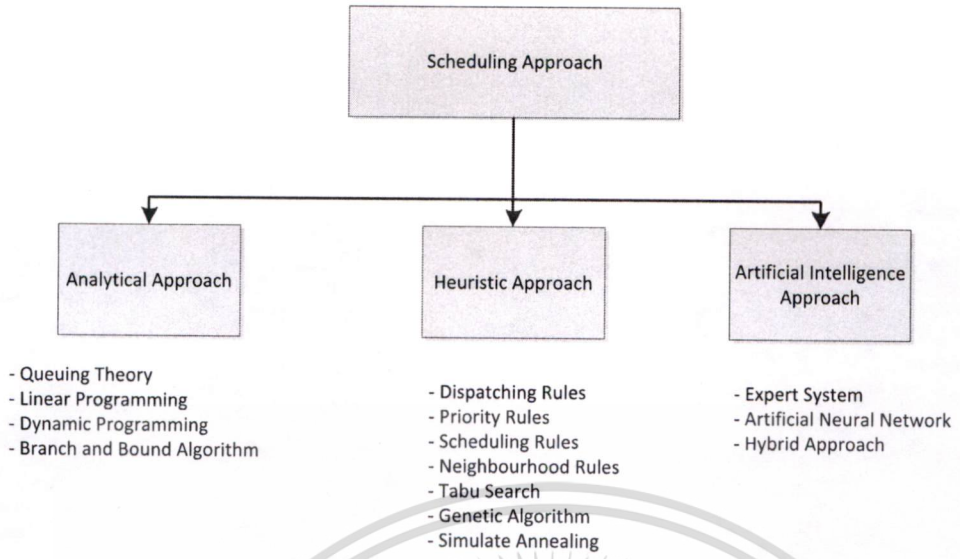
1. Time Base หมายถึง เกณฑ์วัดผลที่ใช้เวลาเป็นตัววัดประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์ดังต่อไปนี้ ช่วงกว้างของเวลาในการทำงาน (Make Span), เวลาของงานที่อยู่ในระบบ (Flow Time), เวลาของงานที่อยู่ในระบบเฉลี่ย (Mean Flow) เป็นต้น
2. Due Date Base หมายถึงเกณฑ์วัดผลที่ใช้กำหนดการส่งมอบสินค้า ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์ดังต่อไปนี้ จำนวนงานที่ล่าช้า (Number of Job Late), เวลาล่าช้าสูงสุด (Max Tardiness), เวลาล่าช้าเฉลี่ย(Mean Tardiness), เวลางานสายเฉลี่ย(Mean tardiness)

2.6 วิธีแก้ปัญหาการจัดลำดับงาน (Sequencing)

ในปัจจุบันมีวิธีการจัดตารางการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่ง Geyik และ Cedimogul [4] ได้จำแนกวิธีการที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตออกเป็น 3 วิธีการใหญ่ๆ คือวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytic Approaches) วิธีเชิงฮิวรีสติกส์ (Heuristic Approaches) และวิธีการเชิงปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) ภายหลังจากกระบวนการแบ่งงานไปยังหน่วยผลิตเสร็จสิ้น ในขั้นตอนของการแบ่งกลุ่มงาน (Allocation) จะพิจารณาถึงการปรับปรุงคำตอบหรือลำดับงานโดยพยายามทำให้เวลาล่าช้าเฉลี่ยมีค่าต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.1 วิธีการค้นหาคำตอบแบบต่างๆ

การใช้แนวทางของฮิวรีสติกส์ นอกจากสามารถแก้ปัญหาเล็กๆได้เป็นอย่างดีแล้วยังสามารถตอบสนองต่อปัญหาขนาดใหญ่ได้เป็นที่น่าพอใจเมื่อการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการสร้างตัวแบบออปติไมเซชั้นมีความซับซ้อนต้องใช้เวลามากและผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบนี้อาจไม่คุ้มค่ากับทรัพยากรที่ใช้ลงไป วิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวรีสติกส์ หรือที่มีการเรียกให้เข้าใจได้ง่ายๆว่า "การสุ่มแบบมีหลักการ" กล่าวคือ ระหว่างขั้นตอนการสุ่มนั้น จะมีบางชุดคำตอบ ที่เป็นที่แน่ชัดว่าไม่ใช่คำตอบที่ดีแน่ๆ ทำให้เราสามารถข้ามคำตอบเหล่านั้นไปได้ แต่ข้อเสียของวิธีนี้ก็คือ การที่เราข้ามการค้นหาบางช่วงไป คำตอบที่ดีที่สุดอาจจะอยู่ในช่วงนั้นก็เป็นได้ดังงานวิจัยของ Tariq Aldowaisan และ Ali Allahverdi [5] และ Chryssi Malandraki และ Robert B. Dial [6] ซึ่งใช้ Heuristic ในการหาคำตอบของปัญหาการออกแบบเส้นทางการวิ่งของรถขนส่ง หรือจเป็นการใช้ Heuristic ในการลด Flow time ในสายการผลิตดังงานวิจัยของ Dipak Lahaa และ Subhash C. Sarin [7] และ Yuichi Nagata และ Olli Bräysy [8] และในงานวิจัยของ Paul Dolan และ Peep Stalmeier [9] ยังนำมาใช้กับการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าที่ได้จากการทำงานให้เสร็จเร็วขึ้นที่มีมูลค่าเพิ่มต่างกันตามชนิดของสินค้าอีกด้วย การค้นหาด้วยวิธีแบบฮิวรีสติกส์สามารถแบ่งได้เป็นวิธีหลักๆ 7 วิธี ดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
117916

1. Neighbourhood Search คือเป็นการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัด (Combination Optimization Problem) ซึ่งเป็นปัญหาแบบ NP-Hard โดยอาศัยการค่อยๆเปลี่ยนคำตอบจากที่มีอยู่ไปเรื่อยๆจนกว่าจะเป็นที่พอใจ โดยมีการหาคำตอบที่ปรับปรุงขึ้นจะมีโอกาสเป็นหรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด

2. Tabu Search คือการค้นหาคำตอบที่เป็นไปได้ โดยการเก็บข้อมูลที่เคยค้นหาไว้ในรายการตาบูและคำตอบที่ได้ในรอบการค้นหาใหม่ๆ จะไม่ถูกวนซ้ำในขณะรายชื่อที่กำลังทำงานอยู่ คือ มันเคลื่อนที่เพิ่มค่าไปสู่เป้าหมาย หรือเกิดผลเสียน้อยที่สุด คำตอบที่ดีที่สุดถูกเก็บไว้ในกรณีที่ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าได้และจะไม่วนซ้ำไปมาเมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดเหมือนกับของ Neighbourhood Search โดยตัวอย่างที่น่าสนใจของการนำ Tabu Search ไปใช้เช่น U.P. Wen และ A.D. Huang [10] ได้นำ Tabu search ไปใช้ในการหาคำตอบของ Mixed Integer Linear Programming Said Hanafi I และ Arnaud Freville [11] นำไปใช้ในการแก้ปัญหา Knapsack และงานวิจัยของ B. Lin และ D. C. Miller [12] ยังนำไปช่วยในการหาคำตอบในการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ส่วนผสมของสารเคมีที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมปริโตเคมีอีกด้วย

3. Simulate Annealing วิธีการลองเลียนแบบอุณหพลศาสตร์ของกระบวนการอบเหนียว (Annealing) ซึ่งเป็นขั้นตอนการลดอุณหภูมิระหว่างการหลอมเพื่อให้ได้โลหะที่อยู่ในสภาพที่เหมาะที่สุด (โดยจะลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ เพื่อให้ได้โลหะที่เหนียวและไม่เปราะ) วิธีนี้เปรียบเทียบกับผลเฉลยก็เปรียบเสมือนพลังงานของสถานะและการทำงานแบบวนซ้ำเปรียบเสมือนกับการค่อยๆลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆ

4. Genetic Algorithm วิธีล้อเลียนการพัฒนาพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตของธรรมชาติว่าสิ่งมีชีวิตที่แข็งแกร่ง จะอยู่รอด จุดเด่นของวิธีที่ต่างจากวิธีอื่นๆ อยู่ตรงที่ว่าวิธีนี้ไม่ได้เก็บและเปลี่ยนแปลงที่ผลเฉลย แต่ละเก็บเป็นเซตของผลเฉลยที่ดี เปรียบได้กับประชากรที่แข็งแกร่งซึ่งยังมีชีวิตอยู่ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของผลเฉลยในกระบวนการวนซ้ำในแต่ละรอบนั้นเป็นการเปลี่ยนเซตของผลเฉลย ในแต่ละผลเฉลยถูกเข้ารหัสเป็นลำดับของสัญลักษณ์เปรียบได้กับยีนของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นเซตของผลเฉลยจึงเปรียบได้กับประชากรในรุ่นต่อไป ย่อมเกิดมาจากประชากรในปัจจุบัน โดยอาศัยแนวคิดของการสืบพันธุ์และการกลายพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตโดยมีงานวิจัยมากมายที่ได้ใช้วิธี Genetic Algorithm ในการแก้ปัญหา เช่นงานวิจัยของ M. K. MAYER [13] ที่ใช้Genetic Algorithm แบบขนานเพื่อช่วยในการจัดลำดับงานเข้าเครื่องจักร, งานวิจัยของ Hongmei Hea, Ondrej Sýkoraa และ Ana Salageana, Erkki Mäkinen [14] ใช้ GA แบบขนานเพื่อช่วยในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ปัญหา Crossing Number หรือแม้แต่ในวิศวกรรมแขนงอื่นๆ ที่ใช้ GA ในการช่วยหาคำตอบในการวิจัยการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ

5. Beam Search เป็นวิธีหนึ่งที่ถูกพัฒนาโดย Artificial Intelligent Software Engineers สำหรับค้นหาการตัดสินใจแบบต้นไม้ในบางส่วน วิธีการนี้เคยถูกใช้ในโปรแกรมเล่นหมากรุก ซึ่งใช้เล่ห์เหลี่ยมโดยการผสมผสารของกลยุทธ์ Intensification และ Diversification วิธี Beam Search คล้ายกับวิธี Branch and Bound แต่แทนด้วยการหาคำตอบตลอดกิ่งของแผนภูมิต้นไม้ซึ่งจะได้รับประกันได้ว่าอาจหาคำตอบส่วนหนึ่งของกิ่งซึ่งอาจเป็นมีประโยชน์เลย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีตัววัดผลที่ดีซึ่งใกล้เคียงค่าเฉลี่ย ซึ่งมันจะช่วยป้องกันผลกระทบของความเสี่ยงที่สูง

6. Neural Network เป็นการพัฒนาวิธีการ AI ที่พยายามให้มีกระบวนการเรียนรู้คล้ายกับสมองมนุษย์พิจารณากระบวนการ Neural Network เป็นกล่องดำสำหรับเซตของตัวป้อนเข้า กล่องดำจะให้เซตผลเฉลย ซึ่งถูกนำนำในการแก้ปัญหาที่สามารถเลียนแบบเพื่อให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายสามารถเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดโดยวิธีอื่น

7. Dispatching Rules กฎการจ่ายงานเป็นวิธีการเชิงฮิวรีสติกส์วิธีหนึ่ง ที่นิยมใช้การจัดตารางการผลิต เนื่องจากผู้จัดตารางการผลิตสามารถทำความเข้าใจแนวคิดของกฎจ่ายงาน และสามารถนำกฎการจ่ายงานมาประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิตได้ง่าย เพราะกฎการจ่ายงานสามารถมีรูปแบบการคำนวณหาคำตอบได้ไม่ยาก แต่ทั้งนี้ไม่สามารถรับประกันได้ว่าคำตอบที่คำนวณได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal Solutions)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพล พุทธิพงษ์[15] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตที่มีลักษณะเป็นเครื่องจักรแบบขนานที่เหมือนกันและเครื่องจักรที่มีความเร็วเท่ากัน โดยนำวิธีค้นหาแบบตาบู (Tabu Search) มาทำการช่วยในการจัดตาราง โดยใช้เครื่องจักร 20 เครื่องกับผลิตภัณฑ์ 34 รายการ โดยที่มีเป้าหมายในการลดเวลาล่าช้ารวม (Total Tardiness) จากการดำเนินการสารถที่นำการจัดตารางด้วยคอมพิวเตอร์โดยแนวทางการค้นหาแบบตาบู โดยทำการจัดตารางแล้วช่วยลดจำนวนงานล่าช้าและเวลาล่าช้ารวม ได้เวลาที่ล่าช้ารวมที่น้อยกว่าการจัดตารางแบบเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Paulo [16] ได้ทำการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต สำหรับหน่วยผลิตแบบขนานในสายการผลิตกระบอกโช้ครถจักรยานยนตร์ โดยคำนึงถึงเวลาปรับตั้งเครื่องและวันกำหนดส่ง โดยที่จุดประสงค์เพื่อทำให้ค่าเฉลี่ยของงานที่ส่งมอบไม่ทันกำหนดและเวลาปรับตั้งเครื่องจักรรวมให้มีค่าน้อยที่สุด โดยใช้วิธีทางฮิวรีสติกส์ 4 วิธีคือ MST (Minimum Slack Time), CR (Critical Ratio) และ LPT (Longest Process Time) โดยผลที่ได้สามารถที่จะลดเวลาเฉลี่ยของงานส่งมอบไม่ทันกำหนดและเวลาปรับตั้งเครื่องจักรให้มีค่าลดลง

Franca [17] ได้นำวิธี Tabu Heuristic เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตบนหน่วยงานผลิตแบบขนาน ซึ่งเวลาในการตั้งเครื่องขึ้นกับลำดับของงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ Make Span มีค่าต่ำที่สุด โดยที่ใช้แนวทาง 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจัดตารางการผลิตสร้างคำตอบเบื้องต้นก่อน ขั้นตอนต่อมาปรับปรุงคำตอบโดยใช้วิธีการค้นหาแบบตาบู ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการปรับปรุงคำตอบเพื่อให้ Make Span ให้มีค่าน้อยที่สุด

Schutten [18] ทำกา.รแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตบนหน่วยงานแบบขนาน โดยวัตถุประสงค์คือพิจารณาถึงเวลาล่าช้าและวันกำหนดส่งของแต่ละงาน รวมถึงพิจารฯ Family Setup Time ซึ่งเป็นการคำนึงถึงการรวมงานหลายงาน ได้ใช้วิธีการ Branch and Bound งานที่เหมือนกันเข้าด้วยกันเพื่อผลิตพร้อมๆกันเพื่อที่จะสามารถลดเวลาในการตั้งเครื่อง โดยวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในงานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการลดความเบี่ยงเบนสูงสุด (Maximum Lateness) ให้มีค่าน้อยสุด

Wen-Chiung Lee [19] การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนาน โดยที่เวลาตั้งเครื่องขึ้นกับลำดับงาน จุดประสงค์เพื่อให้เวลาล่าช้ามีค่าต่ำสุด โดยใช้ Simulate Annealing ใช้วิธีนำเสนอ 6 วิธี ในการจัดเรียงงานแล้วทำการเปรียบเทียบผลกับ Neighbourhood Search

2.8 วิธีการค้นหาที่เลือกใช้

หลังจากได้ทำการวิเคราะห์ถึงปัญหาและวิธีการทางฮิวรีสติกส์ต่างๆที่ใช้ในการหาคำตอบแล้ว ด้วยวิธีตาบูดังในงานวิจัยของ S. C. Chu และ H. L. Fang [20] ซึ่งได้ทำการจำลองผลเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการจัดลำดับด้วยอัลกอริทึมพันธุกรรมและวิธีการค้นหาด้วยตาบู โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้นหาคำตอบด้วยวิธีตาบูจะให้ผลที่ดีกว่าในเวลาที่สั้นกว่าอย่างมีนัยสำคัญ แต่อัลกอริทึมพันธุกรรมก็มีข้อดีตรงที่ให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดได้เป็นจำนวนที่มากกว่าการค้นหาคำตอบด้วยวิธีตาบูซึ่งจำนวนของคำตอบที่ดีที่มากกว่าไม่มีความสำคัญเท่ากับคำตอบที่ดีกว่าเพียงไม่กี่คำตอบ เมื่อมีการใช้เวลาในการค้นหาที่ใกล้เคียงกันโดยได้อธิบายวิธีการค้นหาแบบตาบูอย่างละเอียดไว้แล้วในบทที่ 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การจัดตารางการผลิตด้วยการค้นหาแบบตาบู

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายถึงการจัดตารางการผลิตถุงพลาสติกในโรงงานตัวอย่าง และรวมไปถึงทฤษฎีการค้นหาคำตอบแบบตาบู

3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของการจัดตารางการผลิต

ในสายการผลิตใดๆ จะต้องประกอบไปด้วยหน่วยผลิตต่างๆ ที่ทำหน้าที่ไม่เหมือนกัน โดยแต่ละหน่วยผลิตอาจประกอบไปด้วยหน่วยย่อยๆ ในการผลิตแบบดึงนั้น หน่วยการผลิตจะสั่งของจากหน่วยการผลิตก่อนหน้า ยิ่งหน่วยการผลิตที่ถูกร้องขอส่งของให้ได้ตรงตามเวลามากเท่าใด ก็ยิ่งประสิทธิภาพในการทำงานขององค์กรที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น แต่การที่ผลิตภัณฑ์มีหลายชนิดการที่เครื่องจักรสามารถที่จะทาการผลิตสินค้าได้หลากหลายรูปแบบนั้นเป็นสิ่งที่ดี แต่การปรับตั้งเครื่องจักรให้สามารถผลิตได้ตามความต้องการที่เปลี่ยนไปนั้นย่อมต้องใช้เวลา ซึ่งขัดแย้งกับความต้องการที่จะเพิ่มผลิตภาพของแผนก การจัดตารางการผลิตจึงเป็นการจัดลำดับงาน ตามความเหมาะสม เพื่อให้สามารถส่งงานได้ตรงตามเวลามากที่สุด โดยที่ยังคงความสามารถในการผลิตที่หลากหลายเอาไว้ได้

การจัดลำดับงานเข้าสู่เครื่องจักร สามารถเขียนเป็นรูปแบบได้ดังนี้: เซตงาน N = {1,2,3,… n} ที่ต้องการจัดลำดับเพื่อใส่ในเครื่องจักร M = {1,2,3,…,m} เครื่อง และสามารถอธิบายเป็น Mixed Integer Linear Programming (MILP) ได้ดังนี้ :

สมการเป้าหมาย

$$\min \quad Z = \sum_{h=1}^{n} T_h \tag{3.1}$$

กลุ่มสมการข้อจำกัด

$$\sum_{h=1}^{n} y_h \leq m \tag{3.2}$$

$$y_h + \sum_{i=1, i\neq h}^{n} x_{ih} = 1 \; \forall h = 1, \ldots, n \tag{3.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=1,i\neq h}^{n} x_{hi} = 1 \; \forall h = 1, \dots, n \tag{3.4}$$

$$C_h \geq P_h \cdot y_h \;\; \forall h = 1, \dots, n \tag{3.5}$$

$$C_h \geq C_i + P_h - R(1 - x_{ih}) \forall i, h = 1, \dots, n, i \neq h \tag{3.6}$$

$$T_h \geq C_h - d_h \; \forall h = 1, \dots, n \tag{3.7}$$

$$x_{ih} + x_{hi} \leq 1 \; \forall i, h = 1, \dots, n, i \neq h \tag{3.8}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{in+1} \leq m \tag{3.9}$$

$$y_i + \sum_{h=1,i\neq h}^{n+1} x_{ih} \leq 2 \; \forall i = 1, \dots, n \tag{3.10}$$

$$x_{ih} \in \{0,1\} \forall i = 1, \dots, n, h = 1, \dots, n+1, i \neq h \tag{3.11}$$

$$y_h \in \{0,1\} \; \forall h = 1, \dots, n \tag{3.12}$$

$$T_h, C_h \geq 0 \; \forall h = 1, \dots, n \tag{3.13}$$

โดยที่

C_h เวลาเสร็จงานของงาน h (h=1, …, n)

p_h เวลาที่ใช้ในการทำงานของงาน h (h=1, …, n)

T_h เวลาล่าช้าของงาน h (h=1, …, n)

d_h เวลากำหนดเสร็จของงาน h (h=1, …, n)

y_h ตัวแปรทวินาม ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 เมื่องาน h เป็นงานแรกของเครื่อง m (h = 1, …, m)

x_{ih} ตัวแปรทวินาม ซึ่งมีค่าเป็น 1 เมื่องาน i ถูกเรียงให้ต่อจากงาน h โดยตรง ในเครื่องเดียวกัน โดย(i, h = 1, …,n)

$x_{i,n+1}$ ตัวแปรทวินาม ซึ่งมีค่าเป็น 1 เมื่องาน i เป็นงานสุดท้ายของเครื่อง โดย(i, h = 1, …,n)

R ตัวแปรที่ใช้ในการปรับค่า

โดยความหมายของสมการต่างๆเป็นดังนี้ สมการเป้าหมาย (3.1) แสดงถึงค่าเวลาล่าช้ารวมน้อยที่สุด สมการข้อจำกัด (3.2) เพื่อแสดงความมั่นใจว่ามีงานได้อย่างมากที่สุด m งาน ที่จะเป็นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มแรกของเครื่องจักรได้ สมการข้อจำกัด (3.3) เพื่อแสดงว่างานทุกงานถ้าไม่เป็นงานที่ถูกทำเริ่มต้นเป็นงานแรกของแต่ละเครื่องก็จะเป็นงานที่ถูกทำหลังจากงานอื่น ซึ่งคล้ายกับ สมการข้อจำกัด (3.4) ที่บอกว่า งานทุกงานถ้าไม่เป็นงานที่ทำก่อนงานอื่นก็เป็นงานสุด ท้าย สมการข้อจำกัด (3.5) รับประกันว่า เวลาทำงานของงานชิ้นแรกในเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักรจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาทั้งหมดที่เครื่องจักรเครื่องนั้นทำงาน สำหรับงาน h งานที่ยังเหลืออยู่, เวลาเสร็จงาน C_h จะต้องเท่ากับหรือมากกว่าเวลาทำงาน p_h ของงานนั้น รวมกับเวลาเสร็จสิ้นของงานก่อนหน้า C_i ถ้าหาก i ไม่ใช่งานก่อนหน้าของงาน h การลบด้วย R แสดงไว้ในสมการข้อจำกัด (3.6) เวลาล่าช้า ถูกคิดจากเวลาที่งานเสร็จลบด้วยเวลากำหนดเสร็จของงาน ดังแสดงไว้ในสมการข้อจำกัด (3.7) สมการข้อจำกัด (3.8) กำหนดว่า ถ้างาน i เป็นงานที่ต้องทำก่อนงาน h แล้ว งาน h จะวางหน้างาน i ไม่ได้ สมการข้อจำกัด (3.9) กำหนดว่า มีได้อย่างมากแค่ m งาน ที่จะเป็นงานสุดท้ายของแต่ละเครื่องได้ สมการข้อจำกัด (3.10) กำหนดว่า อาจจะมีงานแค่งานเดียวที่ถูกทำต่อจากงานแรกของทุกๆเครื่อง และสม-การข้อจำกัด (3.11), (3.12) และ (3.13) จะกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรทั้งหมด

3.2 ทฤษฎีตาบูเบื้องต้น

การจัดตารางการผลิตเพื่อที่จะให้ได้เวลาส่งงานล่าช้าน้อยที่สุดนั้น จัดเป็นปัญหาแบบ NP-Hard กล่าวคือเมื่อมีการเพิ่มตัวแปรต้น ไม่ว่าจะเป็นจำนวนงาน, จำนวนเครื่องจักร หรือจำนวนสีที่ใช้พิมพ์ลงไป จะเป็นการเพิ่มภาระให้แก่การคำนวณเป็นอย่างมาก การที่จะหาคำตอบให้แม่นตรงโดยการแทนค่าทีละตัวนั้นแทบจะเป็นไปไม่ได้เลยภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาและทรัพยากร ด้วยเหตุนี้ การค้นหาด้วยวิธีการทางฮิวรีสติก จึงเข้ามาเป็นการเลือก หากต้องการอธิบายให้เข้าใจได้ง่าย วิธีการค้นหาแบบฮิวรีสติกส์ก็คือการสุ่มแบบมีหลักการ การค้นหาแบบตาบูก็นับเป็นวิธีการค้นหาแบบฮิวรีสติกส์แบบหนึ่งซึ่งได้ถูกอธิบายไว้ครั้งแรกโดย Fred W. Glover [21]

การค้นหาแบบตาบู เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาแบบไม่ต่อเนื่องเชิงผสมผสาน การค้นหาแบบตาบูอาศัยกระบวนการค้นหาค่าใกล้เคียง (Neighborhood Search) และรายชื่อตาบู (Tabu List: TL) ซึ่งจะทำหน้าที่เก็บค่าคำตอบในอดีต คำตอบใน TL สามารถใช้ประโยชน์ในกรณีการค้นหาเกิดการล็อกโดยคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่น (Local Solution) โดยอาศกเกณฑ์ปรารถนา (Aspiration Criteria: AC) กระบวนการค้นหาจะเครื่องที่แบบดีเทอร์มินิสติก ซึ่งถูกกำหนดไว้อย่างมีระเบียบแบบแผน โดยทั่วไปจะถูกกำกับไว้ด้วยเงื่อนไขความคงอยู่ล่าสุด (Recency) และเงื่อนไขความซ้ำ (Frequency)

หลักการพื้นฐานที่ต้องการค้นหาแบบตาบูแตกต่างไปจากวิธีการค้นหาแบบธรรมชาติคือ มีการเพิ่มรายการตาบู (Tabu List) และเกณฑ์ความปรารถนา (Aspiration Criteria) โดยมีคำอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **รายการตาบู** เป็นส่วนที่คอยเก็บข้อมูลของคำตอบในอดีตของกระบวนการค้นหานั้นๆเพื่อเป็นตัวกำหนดการค้นหาคำตอบไม่ให้กลับไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่เคยผ่านมาก่อนหน้านี้แล้ว โดยที่หลักการออกแบบเกณฑ์ของรายการตาบูจะขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหา
- **เกณฑ์ความปรารถนา** เป็นเงื่อนไขที่จะใช้ในบางครั้งที่จำเป็นจะต้องเลือกคำตอบที่อยู่ในรายการตาบู งานบางชนิดที่มีลักษณะปัญหาไม่ซับซ้อนไม่จำเป็นต้องใช้ส่วนนี้ก็ได้ รายการตาบูเพียงอย่างเดียวก็พอที่จะค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

เงื่อนไขความคงอยู่ล่าสุดคือเงื่อนไขที่ใช้พิจารณาทิศทางกาค้นหาคำตอบในช่วงเวลาที่ผ่านมา เมื่อกลไกการค้นหาพบคำตอบด้วยทิศทางการค้นหานั้นๆ เงื่อนไขความคงอยู่ล่าสุดจะกำหนดให้ทิศทางดังกล่าวมีสถานะต้องห้าม (Tabu) ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ต่อเมื่อเวลาผ่านไปมากเพียงพอจนมั่นใจได้ว่าการค้นหาจะไม่วนกลับไปพบคำตอบเดิมอีกแล้ว เงื่อนไขความคงอยู่ล่าสุดจะยกเลิกสถานะต้องห้ามของทิศทางการค้นหาดังกล่าว ด้วยเงื่อนไขความคงอยู่ล่าสุดนี้จะเป็นการประกันว่ากลไกการค้นหาจะไม่เข้าไปทำการค้นหาในทิศทางเดิมหรือพื้นที่เดิมที่ได้ดำเนินการค้นหาผ่านมาแล้ว เงื่อนไขนี้จะช่วยให้การค้นหาสามารถพบคำตอบที่ดีอื่นๆ แม้ว่าในจำนวนตำตอบเหล่านั้นอาจเป็นคำตอบที่ไม่ดีกว่าคำตอบเดิมที่เคยพบมาแล้วก็ตาม

สำหรับเงื่อนไขความซ้ำ คือเงื่อนไขที่ใช้พิจารณาจำนวนการเคลื่อนที่เข้าหาคำตอบของกลไลการค้นหาด้วยทิศทางเดิม กล่าวคือเมื่อทิศทางการเคลื่อนที่เข้าหาคำตอบใดๆถูกเรียกใช้ด้วยจำนวนครั้งที่มากเกินกำหนด เงื่อนไขความซ้ำจะกำหนดให้ทิศทางการเคลื่อนที่ดังกล่าวนั้นมีสถานะต้องห้ามในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เพื่อเป็นการประกันว่ากลไกการค้นหาจะไม่ดำเนินการค้าหาในลักษณะวนรอบอยู่กับที่ อันจะส่งผลทำให้เกิดการล็อกของค่าคอตอบ

เงื่อนไขความคงอยู่ล่าสุด และเงื่อนไขความซ้ำจะถูกประยุกต์ใช้งานร่วมกันเสมอในลักษณะการดำเนินงานด้วยหน้าที่ตรงกันข้ามอย่างสัมพันธ์กัน กล่าวคือเมื่อเงื่อนไขหนึ่งทำหน้าที่กำหนดสถานะต้องห้ามให้กับกลไกการค้นหา อีกเงื่อนไขหนึ่งจะทำหน้าที่ยกเลิกสถานะต้องห้ามนั้นอย่างสอดคล้องและสัมพันธ์กัน อีกทั้งยังต้องสัมพันธ์กับ TL ด้วย

อัลกอริทึมของการค้นหาแบบตาบูแบบดั้งเดิม จะเป็นพื้นฐานในการพัฒนาไปสู่การค้นหาแบบใหม่ๆต่อไป โดยการค้นหาแบบดั้งเดิม มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. กำหนดขอบเขตปริภูมิการค้นหา (Search Space), รัศมีการค้นหา (R), จำนวนค่าใกล้เคียง(N), จำนวนรอบการค้นหา($count$), และเกณฑ์การยุติการค้นหา (Termination Criteria :TC) (ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะกำหนดให้เป็นค่าจำนวนรอบสูงสุด)

ขั้นตอนที่ 2. สุ่มคำตอบเริ่มต้น X_0 ภายในปริภูมิการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3. ประเมินคำนอบเริ่มต้น X_0 ด้วยฟังก์ชั้นวัตถุประสงค์ (Objective Function) $f(X_0)$

ขั้นตอนที่ 4. ผลิตค่าใกล้เคียงแบบสุ่มรอบคำตอบเริ่มต้น X_0 ภายในปริภูมิการค้นหารัศมี R จำนวน N ตัว แล้วเก็บไว้ในเซต X

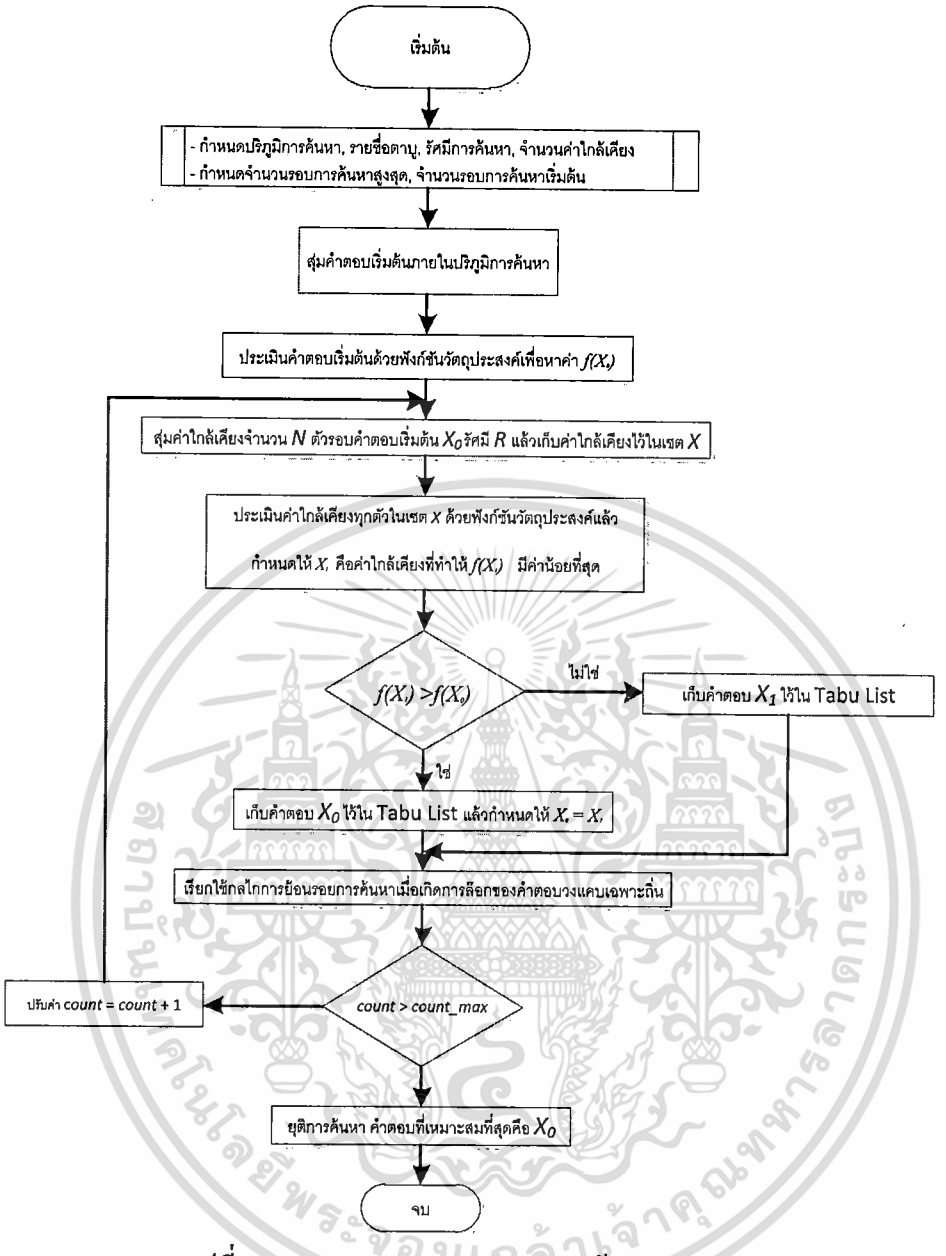
ขั้นตอนที่ 5. ประเมินค่าใกล้เคียงด้วยฟังก์ชั้นวัตถุประสงค์ โดยกำหนดให้ X_1 คือค่าใกล้เคียงที่ทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(X_1)$ มีค่าน้อยที่สุดในบรรดาค่าใกล้เคียงในเซต X

ขั้นตอนที่ 6. ถ้า $f(X_1) > f(X_0)$ แล้วทำการเก็บ X_0 ไว้ใน TL จากนั้นปรับค่า $X_0 = X_1$ ไม่เช่นนั้นแล้วให้ทำการเก็บ X_1 ไว้ใน TL แทน และเกิดทิศทางการค้นหาขึ้นก่อนจะก่อให้เกิดรอบการค้นหาถัดไป

ขั้นตอนที่ 7. เรียกใช้กลไกย้อนรอยการค้นหา เมื่อเกิดการล็อกของคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่นขึ้น

ขั้นตอนที่ 8. ตรวจสอบ TC ถ้า TC สอดคล้อง ให้ยุติกระบวนการค้นหา ค่า X_0 คือคำตอบที่ดีที่สุด ไม่เช่นนั้นให้เพิ่มค่า count แล้ววนกลับไปยังขั้นตอนที่ 3 เพื่อดำเนินกระบวนการค้นหาในรอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แบบแผนการทำงานของการค้นหาแบบตาบู

3.2.1 กลไกการย้อนรอย

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในขั้นตอนที่ 7 ที่ได้กล่าวถึงกลไกการย้อนรอย ซึ่งกลไกการย้อนรอยถึงเป็นเกณฑ์ปรารถนา (Aspiration Criteria: AC) รูปแบบหนึ่ง กลไกจะมีกระบวนการเรียกใช้คำตอบเก่าที่บันทึกไว้ใน TL เมื่อพบว่าคำตอบที่ได้จากการค้นหาเกินการล็อกโดยคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่น ดังภาพ3.1 เมื่อกระบวนการค้นหาเกิดการล็อกโดยคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่นขึ้น กลไกการย้อนรอยค้นหาจุดอนะฐาตให้ใช้คำตอบที่ได้มีการค้นหาไว้แล้วซึ่งบรรจุอยู่ใน TL เพื่อใช้เป็นคอตอบเริ่มต้นสำหรับการค้นหาในรอบต่อไป ซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่การค้นหาใหม่เป็นการเปิดโอกาสให้กระบวนการค้นหาเปลี่ยนทิศทางและสามารถหลุดออกจากการล็อกโดยคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นกระบวนการค้นหาจะดำเนินต่อไปจนพบกับคำตอบวงแคบเฉพาะถิ่นอื่นๆและในที่สุดก็จะพบกับคำตอบวงกว้าง

3.2.2 การหาคำตอบข้างเคียง

ในการค้นหาแบบตาบูเพื่อที่ให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุดนั้น การนำวิธีการหาคำตอบข้างเคียง (Neighborhood List) ช่วยลดเวลาในการประเมินผลและช่วยในการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธีการหาคำตอบข้างเคียงที่มีการใช้กันมากและเป็นการค้นหาแบบพื้นฐานมี 4 วิธีคือ

1. Single Adjacent Pairwise Interchange วิธีนี้จะทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง 2 ตำแหน่งที่อยู่ติดกันได้แก่ตำแหน่งที่ i และ i+1 การย้ายถูกกำหนดโดย i และขนาดของ Neighbourhood ที่ได้คือ n-1 โดยที่ n เท่ากับขนาดของปัญหา ดังในภาคผนวก ข.

วิธีการนี้ใช้การและเปลี่ยน 2 ตำแหน่งที่อยู่ติดกัน ยกตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนตำแหน่งที่ 3 กับ 4 จะได้ว่า ตำแหน่งที่ i คือ 3 และตำแหน่งที่ i+1 คือ 4 ดังนั้นค่าที่ตำแหน่งที่ 3 จะสลับกับตำแหน่งที่ 4 ซึ่งเท่ากับ {1,2,4,3,5,6} ขนาดของ Neighbourhood List สามารถคำนวณได้เท่ากับ 6-1 ซึ่งเท่ากับ 5

2. Swap Pairwise Interchange วิธีนี้จะทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง 2 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ i และตำแหน่งที่ k การย้ายถูกกำหนดโดย i และ k ขนาดของ Neighbourhood ที่ได้คือ $\frac{n(n-1)}{2}$ ดังในภาคผนวก ข.

วิธีการนี้เป็นการย้ายโดยการสลับตำแหน่งที่ i กับตำแหน่งที่ k ยกตัวอย่างเช่น ต้องการสลับค่าจากตำแหน่งที่ 3 ไปยังตำแหน่งที่ 5 จะได้ว่า i เท่ากับ 3 และ k เท่ากับ 5 ดังนั้นค่าในตำแหน่งที่ 3 จะสลับกับตำแหน่งที่ 5 ซึ่งจะได้ค่าดังนี้ {1,2,5,4,3,6} ขนาดของ Neighbourhood List สามารถคำนวณได้เท่ากับ $\frac{6(6-1)}{2}$ ซึ่งเท่ากับ 15

3. Insertion Interchange ในวิธีนี้จะเอาค่าในตำแหน่งที่ i ไปใส่ในตำแหน่งที่ k การย้ายถูกกำหนดโดย i แล k ขนาดของ Neighbourhood เท่ากับ $(n-1)^2$ ดังในภาคผนวก ข.

วิธีนี้เป็นการนำเอาตำแหน่งที่ i ไปแทรกในตำแหน่งที่ k ยกตัวอย่างเช่น ต้องการย้ายตำแหน่งที่ 6 ไปตำแหน่งที่ 3 จะได้ว่าค่า i เท่ากับ 6 และค่า k เท่ากับ 3 ซึ่งคำตอบคือ {1,2,6,3,4,5} ขนาดของ Neighbourhood List สามารถคำนวณได้เท่ากับ $(6-1)^2$ ซึ่งเท่ากับ 25

4. Reeves Algorithm ถ้าปัญหาที่มีอยู่ค่อนข้างใหญ่ จะทำให้มี Neighbourhood ค่อนข้างมาก ทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำในการจัดเก็บ Reeves จึงได้ลดขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

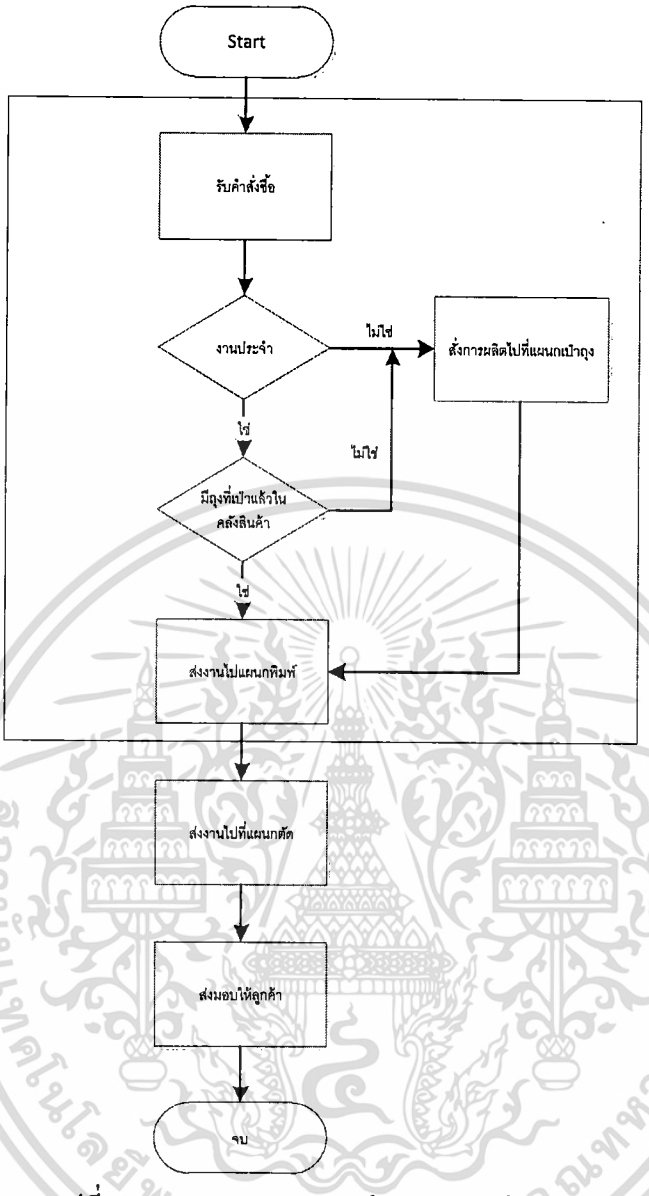
Neighbourhood ลงโดยเราสามารถตรวจสอบผลของการ remove และ reinsert ของแต่ละงาน ในวิธีนี้จะมีวิธีการย้ายเหมือนกับวิธี Insertion Interchange ที่กล่าวแล้วข้างต้น ส่วนที่แตกต่างกันก็คือ การย้ายแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยแบ่งจากขนาดของปัญหา หลังจากแบ่งแล้วจึงทำการย้ายตามวิธีของ Neighbourhood ต่างๆ

โดยวิธีหาคำตอบข้างเคียงที่กล่าวมานี้ มีงานวิจัยที่เกียวข้องกับการจัดลำดับงานได้ใช้วิธีเหล่านี้แล้ว เช่นในงานวิจัยของ Özlem Ergun และ James B. Orlin [22] ที่ใช้วิธีนี้ในการหาคำตอบข้างเคียงเพื่อแก้ปัญหาการจัดลำดับงานในเครื่องจักรเครื่องเดียว, Yann Hendel และ Francis Sourd [23] ที่ใช้วิธีนี้ในการหาคำตอบข้างเคียงการจัดลำดับงานเข้าสู่เครื่องจักรเดียวเพื่อลดเวลา เสร็จก่อนและเวลาล่าช้ารวม, A. Grosso, F. Della Croce และ R. Tadei[24] นำไปใช้กับการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรเดียวเพื่อลดเวลาล่าช้ารวมแบบมีการถ่วงน้ำหนักความสำคัญของงาน, R. Bryan Kethley และ Bahram Aldidaee [25] เพื่อนำไปลดเวลาการส่งงานล่าช้าของเครื่องจักรเดียว และงานวิจัยของ Ümit Bilge, Furkan Kıraç [26] ได้นำไปใช้กับการลดเวลาล่าช้ารวมในเครื่องจักรแบบขนาน

3.3 การนำตาบูมาใช้กับการจัดตารางการผลิต

เมื่อพิจารณาดูแล้ว หากต้องการนำวิธีการค้นหาแบบตาบูมาใช้ทำการค้นหาคำตอบของการจัดตารางการผลิตแล้ว จะต้องมีการประยุกต์เล็กน้อยเพื่อให้เข้ากับธรรมชาติของอุตสาหกรรมเป็นหมายซึ่งในที่นี้ก็คือแผนกพิมพ์ลายถุงพลาสติก เมื่อพิจารณาจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องของแต่ละแผนกแล้ว แผนกพิมพ์ลายจะใช้เวลามากที่สุด ในการปรับตั้งเครื่องให้เข้ากับงานที่รับเข้ามาใหม่ โดยจะต้องมีการเปลี่ยนแม่พิมพ์, เปลี่ยนสีที่พิมพ์, เปลี่ยนลูกยางที่ใช้ในการกดถุงลงบนแม่พิมพ์ และลำดับของสีที่ต้องพิมพ์ ทุกอย่างที่ได้กล่าวมาแล้วนี้ จะแปลเปลี่ยนไปตามรูปแบบอันหลากหลายของงานที่ได้รับเข้ามา โดยขั้นตอนการทำงานในปัจจุบันของโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกตัวอย่าง เป็นดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แบบแผนการทำงานโดยรวมของโรงงาน

โดยรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการตั้งแต่การรับคำสั่งซื้อไปสิ้นสุดที่การส่งมอบไปยังลูกค้า โดยหลังจากรับคำสั่งซื้อแล้ว จะพิจารณาว่าเป็นงานที่ผลิตเป็นประจำหรือไม่เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่ต้องการสินค้าอย่างรวดเร็ว งานที่มีคำสั่งซื้อเป็นประจำ ทางโรงงานจะมีการเป่าถุงเตรียมไว้เป็นจำนวนหนึ่งซึ่งถ้าหากคำสั่งซื้อที่รับเข้ามา ตรงกับรูปแบบถุงที่มีการเป่าเตรียมเอาไว้แล้วก็สามารถเริ่มผลิตในแผนกพิมพ์ได้ทันที แต่ถ้าหากเป็นงานที่ไม่ได้สั่งซื้อเป็นประจำและไม่มีการเป่าถุงเตรียมเอาไว้ก็จะต้องส่งคำสั่งซื้อนั้นไปยังแผนกเป่าเพื่อทำการเป่าถุงมาให้แผนกพิมพ์ต่อไป จากนั้นเมื่อแผนกพิมพ์เสร็จสิ้นกระบวนการแล้วก็จะส่งงานเหล่านั้นไปยังแผนกตัดทำการตัดถุงออกเป็นใบๆต่อไป โดยจุดที่น่าสนใจจะอยู่ตรงที่กรอบสี่เหลี่ยมในรูปที่ 3.2 ในกรอบสี่เหลี่ยมนี้จะแสดงถึงส่วนของการตัดสินใจที่จะส่งผลไปสู่แผนกพิมพ์ว่าจะผลิตงานใดก่อน โดยวิธีการจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการผลิตในปัจจุบันของโรงงานจะทำโดยการเลือกงานที่ใกล้เวลาส่งงานที่สุด Earliest Due Date: EDD) มาผลิตก่อนเนื่องจากต้องการส่งงานให้ทันต่อความต้องการของลูกค้าได้พอดีและไม่ต้องมีการเก็บสินค้าที่ผลิตเสร็จแล้วแต่ยังไม่ถึงเวลาส่งเอาไว้ ซึ่งวิธีที่โรงงานใช้ในการเลือกงานที่ใกล้เวลาส่งงานมากที่สุดมาทำก่อน ซึ่งสามารถอธิบายเพิ่มเติมจากสมการ 1 ได้ดังนี้

$$\min \quad V = \sum_{h=1}^{n}(W_i - (X_i + Y_i + Z_i)) \tag{3.14}$$

โดยที่

V = เวลาที่เหลือก่อนถึงกำหนดส่งงานหลังจากการผลิตเสร็จสิ้น

W = เวลาที่เหลือให้ทำงาน (กำหนดส่งงาน – เวลาปัจจุบัน – เวลาที่จะใช้ในการขนส่ง)

X = เวลาที่ใช้ในการเป่า

Y = เวลาที่ใช้ในการพิมพ์

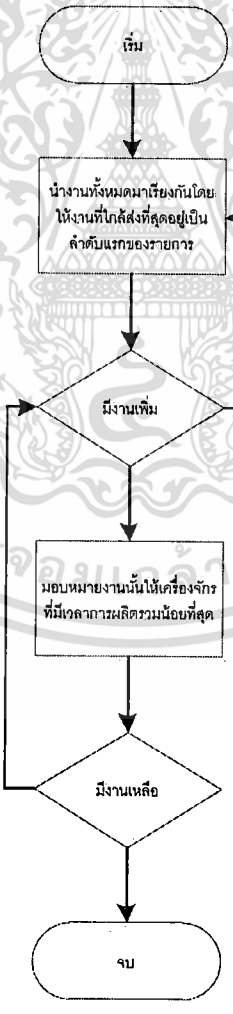
Z = เวลาที่ใช้ในการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

กระบวนการศึกษา

หลังจากที่ได้เข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีการจัดลำดับงาน รวมไปถึงทฤษฎีตาบูที่จะนำมาช่วยในการหาคำตอบของการจัดลำดับงานแล้ว ในบทนี้จะนำเสนอถึงขั้นตอนและกระบวนการที่ได้ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ วิธีการดั้งเดิมที่โรงงานนี้ได้ใช้อยู่ คือการจัดลำดับงานโดยจัดลำดับงานที่วันส่งใกล้ที่สุดก่อน หรือที่เรียกว่า Earliest Due Date (EDD) เมื่อจัดลำดับเรียบร้อยแล้ว จึงทำการจัดงานเหล่านั้นใส่เครื่องจักรที่มีเวลาทำงานรวมน้อยที่สุดในขณะนั้น หรือที่เรียกว่า Shortest Process Time (SPT) ทีละงานโดยสามารถอธิบายได้ตามแผนภาพข่างล่างนี้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการจัดจัดลำดับงานแบบเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเริ่มแรกจะนำรายการงานทั้งหมดที่มีอยู่มาทำการเรียงลำดับกำหนดเวลาส่งงาน งานใดใกล้กำหนดส่งงานมากที่สุดก็จะนำงานนั้นเข้ามาใส่ไว้ในลำดับ และเมื่อเครื่องพิมพ์ทำงานพิมพ์ปัจจุบันเสร็จสิ้นแล้วก็จะนำงานในลำดับนี้ออกไปทำต่อ

การจัดตารางการผลิตนี้ จะจัดงานทั้ง 80 งาน ลงบนเครื่องจักรที่มีลักษณะความสามารถทางการผลิตเหมือนกันจำนวน 2 เครื่อง โดยที่แต่ละเครื่องมีความเป็นอิสระต่อกัน กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่เครื่องใดๆผลิตได้ จะไม่มีความเกี่ยวข้องทำให้เครื่องจักรอื่นๆมีกำลังการผลิตเปลี่ยนไป จากลักษณะของการค้นหาคำตอบแบบตาบูยิ่งจำนวนรอบการค้นหามากขึ้นจะทำให้ได้คำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดมากขึ้น ในการศึกษานี้จึงได้ทำการทดลองโดยแบ่งตามจำนวนรอบการค้นหาและวิธีการย่อยทางตาบู (วิธีในการสลับตำแหน่งของลำดับงาน)

โดยทั่วไปขั้นตอนการทำงานในโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกจะมีแผนกที่สำคัญสามแผนกคือ แผนกเป่า แผนกพิมพ์ และแผนกตัด เริ่มจากแผนกเป่าจะนำเม็ดพลาสติกมาผสมให้ได้สีที่ต้องการแล้วทำการหลอมและเป่าให้เป็นท่อ ผ่านน้ำเย็น จากนั้นจะมีลมเป่าให้ท่อพลาสติกเหล่านั้นแห้งและทำการม้วนเพื่อสะดวกในการเก็บและส่งต่อไปยังแผนกพิมพ์ลายหรือนำไปตัดได้ทันที สำหรับกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการพิมพ์ลาย แผนกพิมพ์ลายจะนำถุงที่เป่าไว้เรียบร้อยแล้วมาทำการพิมพ์ลายตามจำนวนสีและจำนวนหน้าที่ลูกค้ากำหนด และสุดท้ายที่แผนกตัดจะนำถุงที่พิมพ์ลายแล้วมาตัดให้ได้ตามขนาดที่กำหนด หรือถ้าหากถุงนั้นไม่ต้องพิมพ์ลายก็จะนำถุงจากแผนกเป่ามาตัดได้เลย เมื่อพิจารณาดูแล้วแผนกที่มีจำนวนรูปแบบการทำงานและเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อรองรับรูปแบบงานที่แตกต่างกันที่สุดคือแผนกพิมพ์ลาย โดยระยะเวลาปรับตั้งเครื่องจักรที่ใช้จะขึ้นอยู่กับจำนวนสีที่ต้องการพิมพ์ จำนวนหน้าที่ต้องการพิมพ์ สีที่ต้องการพิมพ์ และขนาดความกว้างของถุง กล่าวคือยิ่งงานที่อยู่ติดกันมีความใกล้เคียงกันมากก็ยิ่งใช้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรน้อย แต่ถ้าหากทำการเรียงจัดลำดับงานโดยเลือกเอางานที่ใกล้เคียงกันไว้ต่อกัน ก็อาจมีผลทำให้ส่งงานได้ไม่ทันตามกำหนดเวลา เนื่องจากปัญหามีความซับซ้อน และการทดลองแก้ปัญหาจริง อาจเกิดความเสียหายกับธุรกิจในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงจะเริ่มด้วยการเก็บข้อมูลจริงของโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกแห่งหนึ่งในระยะเวลา 1 สัปดาห์ ต่อจากนั้นทำการจำลองเหตุการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยข้อมูลจริงที่ได้รับ เพื่อทำการจัดลำดับงานที่เหมาะสมแล้วนำผลที่ได้รับไปเปรียบเทียบผลกับวิธีดั้งเดิมที่โรงงานใช้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีต่างๆ
2. ศึกษาการทำงานของโรงงานและทำการเก็บข้อมูล
3. นำข้อมูลที่เก็บได้จากโรงงานมาทำการออกแบบวิธีการค้นหาคำตอบ
4. สร้างโปรแกรมการหาคำตอบโดยสร้าง Algorithm ก่อน
5. ออกแบบการทดลอง
6. เก็บรวบรวมผลการทดลอง
7. หาวิธีการค้นหาคำตอบการจัดลำดับงานที่เหมาะสมกับแผนกพิมพ์ลายมากที่สุด

4.2 ข้อมูลจากโรงงาน

1. เครื่องจักร เครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์มีทั้งหมด 2 เครื่อง มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ โดยข้อมูลที่นำมาเป็นข้อกำหนดในการจัดตารางพิมพ์คือ

- จำนวนสีที่พิมพ์ เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีจำนวนสีที่พิมพ์ได้เหมือนและแตกต่างกันตั้งแต่ 1 จนถึง 8 สี โดยหากเป็นสีเดียวกัน แต่คนละหน้าจะถือว่าเป็นสองสี
- เวลาในการตั้งเครื่อง จะเป็นเวลามาตราฐานที่ใช้ในการตั้งเครื่อง คือจะประกอบไปด้วยเวลาในการเปลี่ยนลูกยางที่ใช้กด เวลาในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ และเวลาที่ใช้ในการผสมสี

2. ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่โรงงานทำการผลิตจะมีหลากหลายรูปแบบ โดยข้อมูลที่รับมาจากลูกค้าคือ

- รายการสินค้า (หน้ากว้าง, จำนวนหน้า, จำนวนสี)
- จำนวนที่ต้องการ
- เวลากำหนดส่ง

จารการรวบรวมถึงข้อมูลในการจัดตารางการผลิต ข้อมูลที่เรานำมาพิจารณาเป็นข้อมูลที่เป็นความสามารถของเครื่องจักร และข้อจำกัดที่เกิดจากตัวสินค้านั้น เช่น ขนาดหน้ากว้างที่ต้องนำมาพิจารณาว่าจะต้องเปลี่ยนลูกยางหรือไม่ สีที่พิมพ์ ต้องผสมสีเพิ่มและติดตั้งเข้าไปในเครื่องหรือไม่ โดยข้อมูลสำคัญที่เก็บมาเพื่อเป็นตัวอย่างในการทดสอบวิธีการที่ใช้หาคำตอบคือ

1. หมายเลขงาน
2. จำนวนสีที่ต้องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สีที่ต้องพิมพ์
4. ลำดับของสี (ต้องมีลำดับว่า สีใด ต้องพิมพ์ก่อนสีใด)
5. ขนาดหน้ากว้างของถุง
6. เวลาที่ต้องใช้ในการผลิตให้เสร็จตามยอดที่สั่ง
7. กำหนดเวลาส่งงาน

4.3 การนำข้อมูลที่เก็บได้มาหาคำตอบ

ในการจัดตารางการผลิตนั้นควรจะมีการวัดผลของการผลิตว่ามีประสิทธิภาพดีหรือไม่ โดยมีตัวชี้วัดผลการจัดตารางการผลิตในงานศึกษานี้คือ ค่าเวลาล่าช้ารวม ซึ่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพเนื่องจากในการจัดตารางการผลิตลูกค้าจะไม่ยินยอมให้สินค้าล่าช้ากว่ากำหนด ดังนั้นแล้ว โรงงานจึงใช้วิธีเรียงลำดับงานที่มีระยะเวลาเหลือในการผลิตที่ใกล้เวลาส่งงานมากที่สุดมาผลิตก่อน (Earliest Due Date) ซึ่งเป็นวิธีที่โรงงานใช้ในการวางแผนการผลิตอยู่ในปัจจุบัน

ข้อมูลที่เก็บได้มาจากโรงงานนั้นได้ทำการเก็บข้อมูลการผลิต ณ วันที่ 1 และ 15 ของทุกเดือนโดยนับจากงานแรกที่เข้ามา เป็นจำนวน 80 งาน โดยข้อมูลที่เก็บได้นั้นมีลักษณะที่เป็นตัวเลขชุดจำนวนมาก การที่จะมากรอกข้อมูลใส่ลงไปในโปรแกรมคำนวนเพื่อหาคำตอบนั้นเป็นเรื่องที่เสียเวลามาก หากทำด้วยวิธีการใส่ข้อมูลทีละตัว การศึกษานี้จึงได้ทำการแปลงผลข้อมูลที่เก็บมาจากโรงงานมาให้อยู่ในรูปแบบของ text file ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อหาคำตอบให้แบบอื่นๆ ได้อีกในอนาคต และเพื่อเพิ่มระดับความมั่นใจในผลที่ได้ การทำการทดลองซ้ำ เป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการจำลองผล การหาคำตอบนี้ จึงได้ทำการแบ่งระดับโดยเลือกแบ่งที่จำนวนของงานที่จะนำมาหาค่าออกเป็น 4 ระดับคือ 20 งาน 40 งาน 60 งาน และ 80 งาน โดยจะทำการทดลองซ้ำ 10 ชุดข้อมูล กล่าวคือ ที่ 20 งาน จำนวน 10 ชุดข้อมูล ที่ 40 งาน จำนวน 10 ชุดข้อมูล ที่ 60 งาน จำนวน 10 ชุดข้อมูลและ ที่ 80 งาน จำนวน 10 ชุดข้อมูลตามลำดับ โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำไปคำนวนหาคำตอบด้วยวิธีการทั้ง 4 แบบ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.2.2 จำนวน 3 วิธี และจากวิธีดั้งเดิมที่โรงงานใช้อีก 1 วิธี

ข้อมูลที่เก็บมาได้ในเบื่องต้นจะนำมาเรียงใส่ในตารางโดยได้แสดงตัวอย่างไว้ในตารางที่ 4.1 โดยในหัวข้อ “งานที่” คือลำดับของใบสั่งซื้อที่เข้ามา, “เครื่องที่” คือตัวที่กำหนดว่า จะต้องผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเครื่องจักรหมายเลขที่ระบุไว้เท่านั้นซึ่งถ้าหากเป็น 0 หมายความว่าจะผลิตโดยเครื่องจักรเครื่องใดก็ได้, "รหัสสินค้า" คือรหัสของสินค้าที่ได้รับคำสั่งซื้อเข้ามา, "หน้ากว้าง" คือหน้ากว้างของสินค้า โดยขนาดหน้ากว้างนั้นจะมีผลต่อการตัดสินใจว่าจะต้องเปลี่ยนลูกยางที่ใช้ในการกดตัวชิ้นงานเข้ากับแม่พิมพ์หรือไม่, "จำนวนที่จะทำงานเสร็จ" เป็นระยะเวลาที่ต้องการในการผลิตงานให้เสร็จโดยยังไม่รวมเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเข้าไว้, "ชั่วโมงที่จะต้องส่ง" คือระยะเวลากำหนดส่งหรือ Due Date และสุดท้าย "สีที่1" – "สีที่8" เป็นตัวบอกว่าชิ้นงานนั้นต้องใช้สีอะไรในการพิมพ์

4.4 สร้างโปรแกรมเพื่อหาคำตอบ

หลังจากที่ได้ทำการสร้างชุดข้อมูลเพื่อมาทำการจำลองผลการทดลองแล้ว สิ่งต่อมาที่ต้องทำก็คือการออกแบบโปรแกรมที่จะนำมาคำนวนหาคำตอบของปัญหาการจัดลำดับงานเข้าเครื่องจักรแบบขนานที่มีลักษณะเหมือนกัน โดยการศึกษานี้ เลือกใช้การพัฒนาโปรแกรมบนพื้นฐานของภาษา Visual Basic .net เนื่องจากข้อดีดังต่อไปนี้

1. มีความยืดหยุ่นในการออกแบบหน้าจอให้เป็น Windows Application
2. สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ง่าย
3. มีนักพัฒนาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย
4. สามารถนำไปพัฒนาเชื่อมต่อกับระบบอื่นๆได้ในอนาคต

เพื่อทำให้การศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาได้ การออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมจึงแบ่งออกเป็นหน่วยย่อยๆ โดยแต่ละหน่วยย่อยมีการทำงานกันอย่างอิสระไม่ขึ้นต่อกัน สามารถนำไปเชื่อมต่อได้สะดวกในกรณีที่การศึกษาชิ้นอื่นต้องการทำไปต่อยอด

4.5 การออกแบบการทดลอง

ดังที่ได้เกริ่นนำไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.3 งานเพื่อการเพิ่มความเชื่อมั่นของผลที่ได้ การศึกษานี้ได้ทำการออกแบบการจำลองผลโดยการใช้ข้อมูลที่หลายระดับจำนวน(งาน) และชุดข้อมูลที่ต่างกันมาค้นหาคำตอบ และจากที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 4.2 ว่าการศึกษาชิ้นนี้จะทำการใช้ข้อมูลที่เก็บมาจากข้อมูลจริงในช่วงวันแรกของทุกๆสัปดาห์(วันจันทร์) เป็นจำนวน 80 งาน โดยทำเช่นนี้จนได้ข้อมูล 10 ชุดข้อมูล เพื่อเป็นข้อมูลในการทำการจำลองผล โดยในตารางที่ 4.1 ในส่วนของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานรวม จะเห็นได้ว่าเมื่อทำงานไปเรื่อยๆ เวลาทำงานรวมจะค่อยๆมากกว่าจำนวนชั่วโมงที่ต้องส่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดการส่งงานล่าช้า

เมื่อทำการเก็บข้อมูลจริงจากโรงงานมาแล้วจะทำการแปลงรูปแบบข้อมูลให้สามารถเข้าใจได้ง่าย โดยรูปแบบการเก็บได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 4.1 โดยสังเกตได้จาก จากนั้นเมื่อต้องการนำข้อมูลเข้าไปประมวลผลในโปรแกรมจะต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนดไว้ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในภาคผนวก ค.

4.6 การเก็บรวบรวมผลการทดลอง

การเก็บรวบรวมผลการทดลองของการศึกษาครั้งนี้จากที่ได้ทำการทดสอบต้นแบบของโปรแกรมในช่วงแรกนั้น การค้นหาคำตอบสำหรับงานจำนวนน้อยๆนั้นจะใช้เวลาในการหาคำตอบที่สั้น (ไม่เกิน 1 นาทีต่อ 1 การจำลองผล) แต่ถ้าเป็นชุดข้อมูลที่มีจำนวนงานมากๆ การจำลองผลอาจต้องใช้เวลาถึงกว่าครึ่งชั่วโมง ซึ่งเฝ้ารอผลการทดลองอยู่หน้าเครื่องนั้นเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงได้โดยการออกแบบโปรแกรมให้ทำการเก็บผลการจำลองผล และทำการทำซ้ำจนครบตามจำนวนชุดปัญหาที่ได้ออกแบบไว้ โดยโปรแกรมจะทำงานอย่างต่อเนื่องทำให้ผู้ศึกษาสามารถตั้งค่าโปรแกรมให้เหมาะสมและปล่อยให้โปรแกรมทำงานด้วยตัวเอง เมื่อถึงเวลาที่คาดการณ์ไว้ ผู้ศึกษาเพียงแค่มาเก็บข้อมูลที่บันทึกอยู่ในโปรแกรมไปใช้งาน โดยสามารถศึกษาวิธีใช้งานโปรแกรมเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บมาจากโรงงาน

งานที่	เครื่องที่	รหัสสินค้า	หน้ากว้าง	จำนวนชั่วโมงที่จะทำงานให้เสร็จ	จำนวนชั่วโมงที่จะต้องส่ง	เวลาทำงานรวม	สีที่1	สีที่2	สีที่3	สีที่4	สีที่5	สีที่6	สีที่7	สีที่8
6	0	4	4.65	2.367	4.243	2.367	5	6	5	6	0	0	0	0
5	0	23	10	2.500	5.055	4.867	5	2	0	0	0	0	0	0
7	0	38	16	4.167	6.768	9.034	5	0	0	0	0	0	0	0
4	0	22	9.5	3.417	7.435	12.451	9	0	0	0	0	0	0	0
2	0	44	6	3.083	7.556	15.534	1	2	3	4	3	4	0	0
3	0	44	6	7.583	11.795	23.117	1	2	3	4	3	4	0	0
1	0	44	6	7.583	13.450	30.7	1	2	3	4	3	4	0	0
13	0	22	9.5	0.833	25.901	31.533	9	0	0	0	0	0	0	0
8	0	39	9.125	1.317	26.407	32.85	2	0	0	0	0	0	0	0
15	0	41	6.75	1.083	26.466	33.933	3	0	0	0	0	0	0	0
10	0	44	6	2.083	29.049	36.016	1	2	3	4	3	4	0	0
11	0	40	1.4375	3.000	29.230	39.016	5	3	6	0	0	0	0	0
14	0	29	6	2.583	29.952	41.599	7	0	0	0	0	0	0	0
9	0	39	11.125	2.833	30.518	44.432	2	0	0	0	0	0	0	0
12	0	40	1.4375	11.500	47.384	55.932	5	3	6	0	0	0	0	0
17	0	40	1.4375	0.500	48.864	56.432	5	3	6	0	0	0	0	0
20	0	41	6.75	1.000	49.717	57.432	3	0	0	0	0	0	0	0
18	0	40	1.44	3.083	54.435	60.515	5	3	6	0	0	0	0	0
16	0	19	6.25	5.533	61.348	66.048	3	1	5	10	12	0	0	0
19	0	40	1.44	12.000	68.688	78.048	5	3	6	0	0	0	0	0

บทที่ 5

ผลการศึกษา

เนื้อหาของบทที่5นี้จะแสดงผลการจำลองผลจากที่ได้ทำการจำลองผลตามข้อจำกัดทางกายภาพต่างๆของโรงงาน ที่ได้อธิบายไว้เป็น MILP ไว้ในบทที่ 3 จากนั้นใช้ข้อมูลที่สร้างขึ้นจากพื้นฐานการทำงานจริงของโรงงาน นำมาจำลองผลเพื่อหาค่าด้วยโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาโดยเฉพาะ

5.1 รูปแบบข้อมูลที่ใส่ในโปรแกรม

ข้อมูลที่ใส่จะใส่ในรูปแบบของ text file เพื่อความง่ายในการศึกษาและความสะดวกในการทำไปใช้กับงานอื่นๆในอนาคต

โดยโปรแกรมที่คำนวน มีค่าคงที่ที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้นดังต่อไปนี้

1. เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนลูกยางที่ใช้ในการกดให้ชิ้นงานติดแนบไปกับแม่พิมพ์ การเปลี่ยน 1 ชิ้น ใช้เวลา 10 นาที
2. เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสีและผสมสี ใช้เวลา 20 นาทีต่อสี
3. เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ ใช้เวลา 45 นาที ต่อสี
4. ถ้าหากความกว้างของงานปัจจุบันกับงานถัดไป มีความกว้างต่างจากค่าที่กำหนดไว้ จะต้องทำการเปลี่ยนลูกยางที่ใช้ในการกด โดยในงานการศึกษานี้กำหนดไว้ที่ 5 มิลลิเมตร

5.2 ผลการทดลอง

จากการจำลองด้วยข้อมูลดิบจำนวน 10 ชุดการทดลอง สามารถแสดงให้เห็นดังในตารางที่ 5.1 ถึงตารางที่ 5.4 โดยจะสังเกตได้ว่าไม่ว่าจะเป็นชุดที่มีจำนวนงานเท่าใด หรือไม่ว่ารอบการค้นหาจะเป็นเท่าใด วิธีการค้นหาคำตอบข้างเคียงด้วย Insertion Interchange จะให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยค่าที่ดีที่สุดจะเป็นค่าที่มีการขีดเส้นใต้ไว้ในตารางที่ 5.1 ถึงตารางที่ 5.4 และผลของการหาคำตอบทั้งหมดจะอยู่ในภาคผนวก ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 ที่จำนวนงาน 20 งาน

ชุด1	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Insertion	Swap pair
1	22.23	16.116	9.631	9.631
2	22.23	11.014	4.995	7.735
3	22.23	7.313	4.519	5.685
4	22.23	6.313	3.113	5.045
5	22.23	5.238	2.543	4.23
6	22.23	5.238	2.543	4.213
7	22.23	5.238	2.543	4.213
8	22.23	4.213	2.543	4.213
9	22.23	4.213	2.543	4.213
10	22.23	4.213	2.543	4.213
20	22.23	4.213	2.543	4.213
30	22.23	4.023	2.543	4.213
40	22.23	4.023	2.543	4.213
50	22.23	4.023	2.543	4.213

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 ที่จำนวนงาน 40 งาน

ชุด1	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	24.79	16.545	9.827	9.827
2	24.79	11.1	4.995	7.735
3	24.79	7.313	3.728	5.685
4	24.79	6.313	3.113	5.045
5	24.79	5.238	2.67	4.23
6	24.79	5.238	2.543	4.213
7	24.79	5.238	2.543	4.213
8	24.79	4.213	2.543	4.213
9	24.79	4.213	2.543	4.213
10	24.79	4.213	2.543	4.213
20	24.79	4.213	2.543	4.213
30	24.79	4.213	2.543	4.213
40	24.79	4.213	2.543	4.213
50	24.79	4.213	2.543	4.213

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 ที่จำนวนงาน 60 งาน

ชุด1		60งาน		
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	36.1	21.997	14.813	14.813
2	36.1	15.866	5.394	8.17
3	36.1	7.313	3.728	5.685
4	36.1	6.313	3.113	5.045
5	36.1	5.238	2.67	4.495
6	36.1	5.238	2.543	4.213
7	36.1	5.238	2.543	4.213
8	36.1	4.213	2.543	4.213
9	36.1	4.213	2.543	4.213
10	36.1	4.213	2.543	4.213
20	36.1	4.213	2.543	4.213
30	36.1	4.213	2.543	4.213
40	36.1	4.213	2.543	4.213
50	36.1	4.213	2.543	4.213

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองชุดข้อมูลที่ 1 ที่จำนวนงาน 80 งาน

ชุด1		80งาน		
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	106.67	66.499	34.995	45.639
2	106.67	37.901	18.072	27.427
3	106.67	21.044	13.99	20.56
4	106.67	16.188	12.739	15.796
5	106.67	11.313	6.068	12.885
6	106.67	7.313	3.809	11.419
7	106.67	6.313	2.946	8.784
8	106.67	5.238	2.946	8.784
9	106.67	5.238	2.946	8.784
10	106.67	5.238	2.946	8.784
20	106.67	4.213	2.503	8.784
30	106.67	4.213	2.376	8.784
40	106.67	4.213	2.376	8.784
50	106.67	4.213	2.376	8.784

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 เปรียบเทียบเวลาล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่จำนวนงาน 20 งาน กับข้อมูลทั้ง 10 ชุด

จำนวนงาน	ชุดตัวอย่าง	แบบใหม่						แบบเดิม		ผลต่าง					
		Single Adj		Inserting		Swap pair				Single Adj - แบบเดิม		Inserting - แบบเดิม		Swap pair - แบบเดิม	
		เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า(ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า(%)	เวลาค้นหา (เท่า)	เวลาล่าช้า(%)	เวลาค้นหา (เท่า)	เวลาล่าช้า(%)	เวลาค้นหา (เท่า)
20	1	4.023	420	2.543	10985	4.213	3995	22.23	5	18.09717	84	11.4395	2197	18.95187	799
	2	1.391	470	2.068	7731	1.319	5868	22.23	5	6.25731	94	9.302744	1546.2	5.933423	1173.6
	3	13.735	430	8.164	8211	12.913	5077	22.23	5	61.78587	86	36.72515	1642.2	58.08817	1015.4
	4	5.86	420	5.426	7270	5.86	4947	22.23	5	26.36077	84	24.40846	1454	26.36077	989.4
	5	8.879	490	15.324	8642	16.179	3695	22.23	5	39.94152	98	68.93387	1728.4	72.78003	739
	6	1.007	500	1.007	8281	1.007	4075	22.23	5	4.529915	100	4.529915	1656.2	4.529915	815
	7	2.858	500	2.858	8281	2.858	4075	22.23	5	12.8565	100	12.8565	1656.2	12.8565	815
	8	3.28	440	3.28	6799	3.28	4306	22.23	5	14.75484	88	14.75484	1359.8	14.75484	861.2
	9	1.373	460	1.373	6909	1.373	4656	22.23	5	6.176338	92	6.176338	1381.8	6.176338	931.2
	10	1.953	440	1.953	8021	1.953	4766	22.23	5	8.785425	88	8.785425	1604.2	8.785425	953.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 5.6 เปรียบเทียบเวลาล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่จำนวนงาน 40 งาน กับข้อมูลทั้ง 10 ชุด

จำนวนงาน	ชุดตัวอย่าง	แบบใหม่						แบบเดิม		ผลต่าง					
		Single Adj		Inserting		Swap pair				Single Adj - แบบเดิม		Inserting - แบบเดิม		Swap pair - แบบเดิม	
		เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า(%)	เวลาค้นหา (เท่า)	เวลาล่าช้า(%)	เวลาค้นหา (เท่า)	เวลาล่าช้า(%)	เวลาค้นหา (เท่า)
40	1	4.213	2713	2.543	130367	4.213	41730	24.79	10	16.99476	271.3	10.25817	13036.7	16.99476	4173
	2	11.882	2573	6.006	86073	9.61	61258	24.79	10	47.93062	257.3	24.22751	8607.3	38.76563	6125.8
	3	21.874	2393	13.465	75869	13.735	50011	24.79	10	88.23719	239.3	54.31626	7586.9	55.40541	5001.1
	4	19.409	2703	5.426	85032	7.916	46987	24.79	10	78.29367	270.3	21.88786	8503.2	31.93223	4698.7
	5	40.272	2513	27.686	84010	38.599	46046	24.79	10	162.4526	251.3	111.6821	8401	155.7039	4604.6
	6	1.007	2283	1.007	96959	1.007	45485	24.79	10	4.062122	228.3	4.062122	9695.9	4.062122	4548.5
	7	2.858	2283	2.858	96959	3.739	45485	24.79	10	11.52884	228.3	11.52884	9695.9	15.08269	4548.5
	8	12.099	1902	3.28	74937	12.099	45104	24.79	10	48.80597	190.2	13.23114	7493.7	48.80597	4510.4
	9	1.373	2183	1.373	77681	1.373	47798	24.79	10	5.538524	218.3	5.538524	7768.1	5.538524	4779.8
	10	1.953	2894	1.953	84100	1.953	50021	24.79	10	7.878177	289.4	7.878177	8410	7.878177	5002.1

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบเวลาล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่จำนวนงาน 60 งาน กับข้อมูลทั้ง 10 ชุด

จำนวนงาน	ชุดตัวอย่าง	แบบใหม่						แบบเดิม		ผลต่าง					
		Single Adj		Inserting		Swap pair				Single Adj - แบบเดิม		Inserting - แบบเดิม		Swap pair - แบบเดิม	
		เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (%)	เวลาค้นหา (เท่า)	เวลาล่าช้า(%)	เวลาค้นหา (เท่า)	เวลาล่าช้า (%)	เวลาค้นหา(เท่า)
60	1	4.213	10615	2.543	397531	4.213	188080	36.1	15	11.670	707.66	7.044321	26502.06	11.670	12538.667
	2	11.882	7931	23.99	423158	13.217	279321	36.1	15	32.914	528.73	66.45429	28210.53	36.612	18621.4
	3	20.438	6429	12.448	402628	13.735	237501	36.1	15	56.614	428.6	34.48199	26841.86	38.047	15833.4
	4	34.153	6619	5.876	418221	11.423	204353	36.1	15	94.606	441.26	16.27701	27881.4	31.642	13623.533
	5	47.836	8482	32.616	399784	32.191	199607	36.1	15	132.50	565.46	90.34903	26652.26	89.171	13307.133
	6	1.007	8101	0.908	469134	1.007	206827	36.1	15	2.789	540.06	2.515235	31275.6	2.7894	13788.467
	7	16.587	8101	3.739	469134	3.739	206827	36.1	15	45.947	540.06	10.35734	31275.6	10.357	13788.467
	8	12.864	6018	5.821	388248	3.6	201019	36.1	15	35.634	401.2	16.12465	25883.2	9.9722	13401.267
	9	5.079	7300	1.373	400185	5.079	211043	36.1	15	14.069	486.66	3.803324	26679	14.069	14069.533
	10	1.953	6960	1.953	427855	1.953	211944	36.1	15	5.4099	464	5.409972	28523.66	5.4099	14129.6

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบเวลาล่าช้าและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาแบบต่างๆ ที่จำนวนงาน 80 งาน กับข้อมูลทั้ง 10 ชุด

จำนวนงาน	ชุดตัวอย่าง	แบบใหม่						แบบเดิม		ผลต่าง					
		Single Adj		Inserting		Swap pair				Single Adj - แบบเดิม		Inserting - แบบเดิม		Swap pair - แบบเดิม	
		เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	เวลาค้นหา (มิลลิวินาที)	เวลาล่าช้า (%)	เวลาค้นหา (เท่า)	เวลาล่าช้า(%)	เวลาค้นหา (เท่า)	เวลาล่าช้า (%)	เวลาค้นหา (เท่า)
80	1	4.213	19608	2.376	1186005	8.784	623586	106.67	20	3.9495	980.4	2.227	59300.25	8.2347	31179.3
	2	21.306	17505	1.59	1669530	4.422	875599	106.67	20	19.973	875.25	1.4905	83476.5	4.1454	43779.95
	3	20.438	14771	12.448	1394795	13.735	626210	106.67	20	19.160	738.55	11.669	69739.75	12.876	31310.5
	4	33.824	18446	5.976	1245360	24.577	649614	106.67	20	31.709	922.3	5.6023	62268	23.040	32480.7
	5	47.836	17905	31.336	1230629	21.04	618339	106.67	20	44.844	895.25	29.376	61531.45	19.724	30916.95
	6	1.007	23603	0.908	1235406	0.908	647060	106.67	20	0.9440	1180.15	0.8512	61770.3	0.8512	32353
	7	22.702	23603	10.011	1235406	3.106	647060	106.67	20	21.282	1180.15	9.3850	61770.3	2.9117	32353
	8	13.305	13889	3.28	1219663	3.769	604779	106.67	20	12.473	694.45	3.0749	60983.15	3.5333	30238.95
	9	5.079	15722	5.079	1285047	5.079	647991	106.67	20	4.7614	786.1	4.7614	64252.35	4.7614	32399.55
	10	1.953	15241	1.953	1343832	1.953	676542	106.67	20	1.830	762.05	1.8308	67191.6	1.830	33827.1

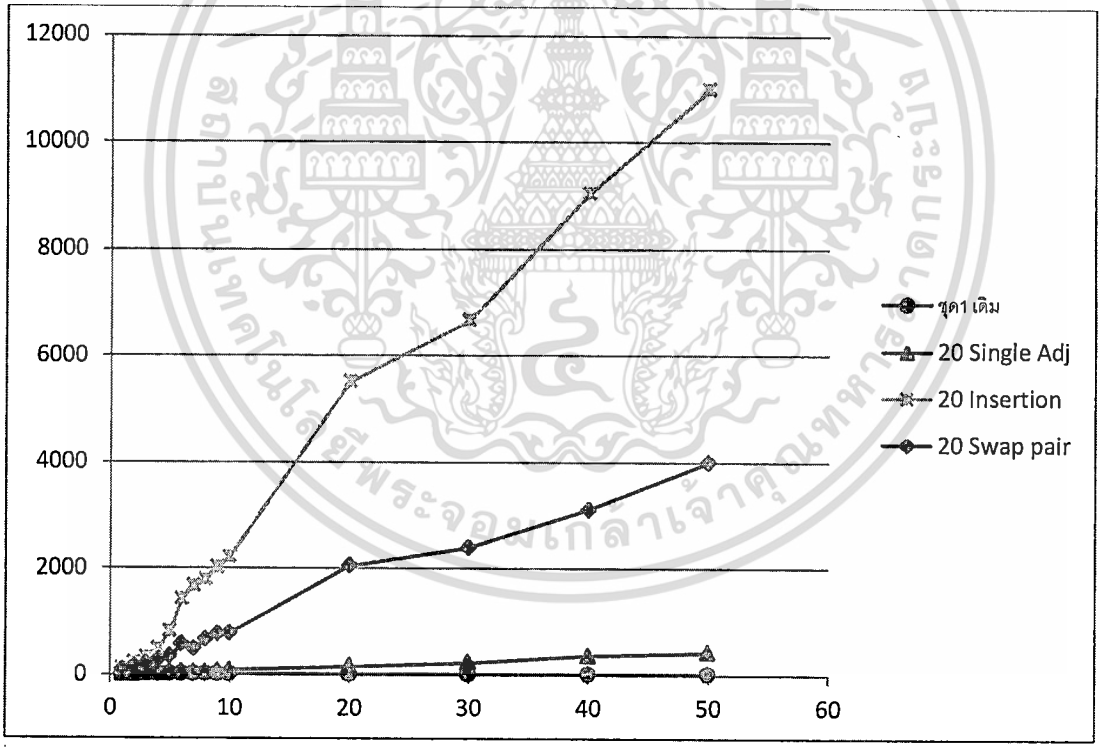
ตารางที่ 5.9 ผลการเปรียบเทียบการจัดตารางการผลิตแบบใหม่กับแบบเดิม

จำนวนงาน	Single Adjacent/แบบเดิม				Insertion/แบบเดิม				Swap Pairwise/แบบเดิม			
	ค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้า(ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้า(%)	ค่าเฉลี่ยเวลารันโปรแกรม (มิลลิวินาที)	ค่าเฉลี่ยเวลารันโปรแกรม (เท่า)	ค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้า(%)	ค่าเฉลี่ยเวลารันโปรแกรม (มิลลิวินาที)	ค่าเฉลี่ยเวลารันโปรแกรม (เท่า)	ค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้า (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้า(%)	ค่าเฉลี่ยเวลารันโปรแกรม (มิลลิวินาที)	ค่าเฉลี่ยเวลารันโปรแกรม (เท่า)
20	4.4359	19.95457	457	91.4	4.3996	19.79127	8113	1622.6	5.0955	22.92173	4546	909.2
40	11.694	47.17225	2444	244.4	6.5597	26.46107	89198.7	8919.87	9.4244	38.01694	47992.5	4799.25
60	15.6012	43.21662	7655.6	510.3733	9.1267	25.28172	419587.8	27972.52	9.0157	24.97424	214652.2	14310.15
80	17.1663	16.0929	18029.3	901.465	7.4957	7.026999	1304567	65228.37	8.7373	8.190963	661678	33083.9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

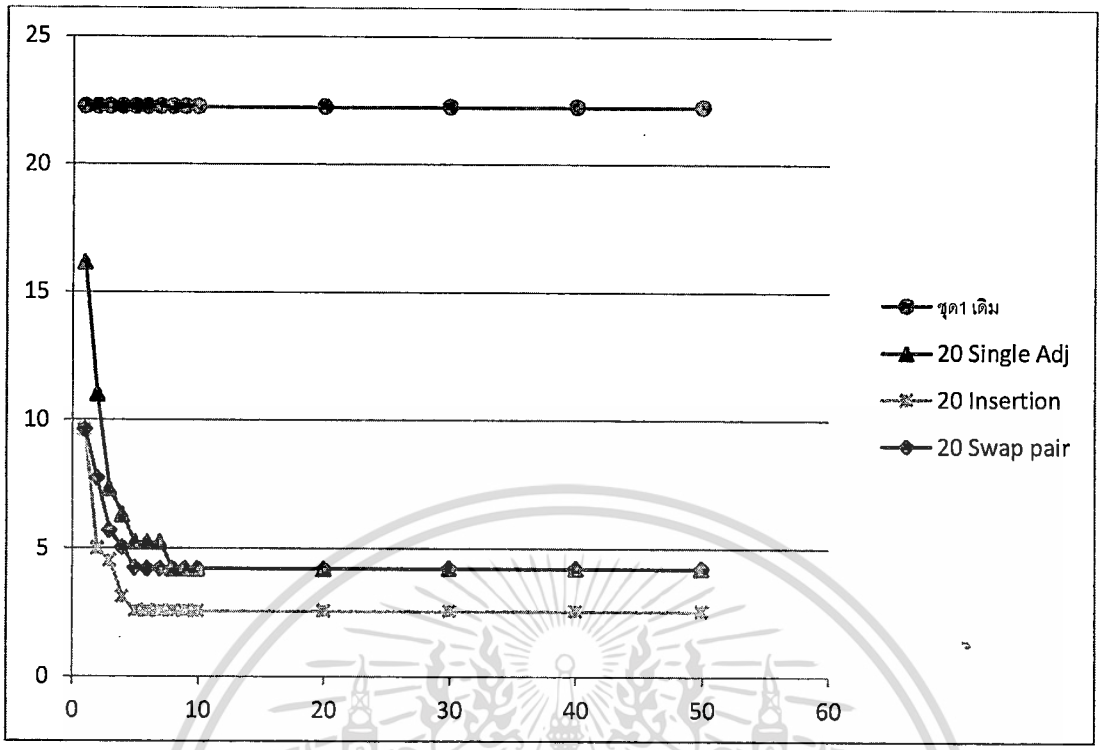
5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากการจำลองผล เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเวลาล่าช้ารวมภายในชุดข้อมูลเดียวกันด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบู โดยใช้วิธีการสลับตำแหน่งทั้งสามวิธีเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนในทุกๆชุดข้อมูลว่า วิธี Tabu Insertion Interchange ให้คำตอบซึ่งในที่นี้คือเวลาล่าช้ารวมน้อยกว่าวิธี Tabu Swap Pairwise Interchange และวิธี Tabu Single Adjacent ตามลำดับ แต่ก็นำมาซึ่งเวลาในการหาคำตอบที่นานกว่า และนอกจากนี้แล้ว จำนวนรอบการค้นหาที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น แต่ก็นำมาซึ่งเวลาที่ใช้ในการค้นหาที่มากขึ้นอีกด้วย โดยในทุกชุดข้อมูลจะให้กราฟออกมาในรูปแบบเดียวกัน คือเวลาที่ใช้ในการค้นหาจะเพิ่มขึ้นในลักษณะกราฟเส้นตรง โดยเวลาในการค้นหาจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบในการค้นหาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.1 เวลาที่ใช้ในการค้นหาที่ 20 รอบ ของชุดข้อมูลที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 เวลาล่าช้ารวมในการค้นหาที่ 20 รอบ ของชุดข้อมูลที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ความต้องการในการบริโภคที่มีขึ้นอย่างสูงตามการเจริญเติมโตทางเศรษฐกิจ ทำให้มีความต้องการบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพ มีความสวยงาม และมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ การที่ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นนี้ทำให้ความต้องการบรรจุภัณฑ์เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว ผู้ผลิตจำเป็นที่จะต้องปรับตัวให้ทันต่อความต้องการที่เปลี่ยนอยู่เสมอของตลาด กล่าวคือการสั่งสินค้าในปริมาณที่น้อยลงแตกมีระยะเวลาให้ผลิตสินค้าจำกัดมากขึ้น ผู้ผลิตจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ทันต่อเหตุการณ์นี้ โดยการศึกษานี้ได้กล่าวเน้นไปที่การวางแผนการผลิต โดยนำข้อมูลการผลิตจริงมาจากโรงงานผลิตบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติก แล้วนำมาทำการจำลองผล(Simulation) โดยผลที่จำลองออกมานั้นได้ค่าออกมาเป็นที่น่าพอใจโดยสามารถลดเวลาล่าช้าลงได้มาก มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้งานจริงในระบบการผลิต แต่เป็นที่น่าเสียดายว่างานการศึกษาชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของแผนกพิมพ์ลายเท่านั้น ซึ่งการที่จะทำให้ได้ผลอย่างเป็นรูปธรรมนั้นจำเป็นที่จะต้องทำทั้งระบบ กล่าวคือทั้งแผนกเป่าขึ้นรูปถุงและแผนกตัดถุง ก็ควรที่จะเข้ามาอยู่ในกระบวนการจำลองผลเพื่อหาวิธีการจัดลำดับงานให้มีเวลาส่งงานล่าช้ารวมน้อยที่สุดได้

การศึกษานี้หลังจากทำการจำลองผลแล้วทำให้สามารถสรุปได้ว่า การจัดตารางการผลิตสำหรับสินค้าระหว่าง 20-80 งานด้วยวิธี Insertion Interchange จะให้ค่าเวลาล่าช้ารวมลงได้เฉลี่ยเหลือเพียง 7.02% ของเวลาล่าช้าเดิม

การศึกษาชิ้นนี้จึงได้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการผลิต ของแผนกพิมพ์ในโรงงานบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกโดยกำหนดจำนวนงานระหว่าง 20 – 80 งาน รอบการค้นหาระหว่าง 1 – 50 รอบ และมีวิธีที่ใช้สลับตำแหน่งของงานในกระบวนการสลับตำแหน่งของตาบู จำนวน 3 วิธี คือ Tabu Insertion Interchange วิธี Tabu Swap Pairwise Interchange และวิธี Tabu Single Adjacent โดยผู้ศึกษาได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษาโดยเฉพาะ เพื่อความสะดวกในการคำนวนและได้มีการอธิบายการทำงานของโปรแกรมไว้ในตัวโปรแกรมด้วยแล้วเพื่อให้ผู้ที่สนใจ สามารถนำไปพัฒนาเพื่ออุตสาหกรรมอื่นได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยความต้องการที่จะให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ผู้วิศึกษาจึงได้ทำการรวมเอา Source Code เข้าไว้ด้วย เพื่อให้ผู้สนใจสามารถทำการต่อยอดการศึกษานี้ให้เกิดประโยชน์ต่อไปได้อย่างไม่สิ้นสุดในภาคผนวก ก.

6.1 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาชิ้นนี้ทำขึ้นโดยสมมุติฐานที่ว่า งานที่ต่างกัน ต้องการสีในการพิมพ์ที่ต่างกัน อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรที่ต่างกัน ซึ่งน่าจะส่งผลต่อการจัดตารางการผลิต ทำให้เกิดการศึกษาชิ้นนี้ขึ้นมา โดยการศึกษานี้มีจุดเด่นที่น่าสนใจตรงที่ได้มีการนำเอาสีที่ใช้ และลำดับการพิมพ์ของสีนำมาคำนวนด้วย โดยส่วนการประมวลผลในโครงสร้างของโปรแกรมมีการแยกส่วนการทำงานอย่างเป็นระบบทำให้ผู้ที่ต้องการพัฒนาต่อสามารถนำไปใช้งานในด้านอื่นๆที่ต้องการได้ง่าย

สิ่งที่การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ก็คือ ด้วยวิธีการทำการจำลองผลการทดลองในการศึกษานี้ทำการกำหนดจำนวนรอบการค้นหาและจำนวนงานที่ใช้ในการจำลองผลนั้น ผู้ศึกษาเป็นผู้กำหนดขึ้นมาเอง และหากดูในผลการทดลองแล้ว ยังมีจุดที่น่าสนใจคือจุดที่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้จากการทดลอง กล่าวคือ ถ้าหากนำข้อมูลเวลาล่าช้ารวมที่ลดได้ มาพิจารณาร่วมกันกับเวลาที่ต้องเสียไปในการค้นหาคำตอบ อาจทำให้พิจารณาได้ว่าควรจะต้องใช้จำนวนรอบการค้นหาเท่าใดจึงจะทำให้ได้ความคุ้มค่าสูงสุด ซึ่งการศึกษานี้ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงเนื่องจากเวลาในการค้นหาคำตอบไม่ว่าจะด้วยวิธีการค้นหาแบบใดก็ตาม จะมีเวลาในการค้นหาน้อยกว่าเวลาล่าช้ารวมในทุกกรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] **"Pareto Principle."** [Online].Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_principle. 2011.

[2] Thom J. Hodgson. "Ready-Time Scheduling with Stochastic Service Times" **OPERATIONS RESEARCH** Vol. 45, No. 5, September-October 1997, pp. 779-783

[3] **"Johnson' Rule"** [Online].Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%27s_Rule. 2011.

[4] Geyik F., Cedimoglu, I.H. "A Review of the Production Scheduling Approach Base-on Artificial Intelligent and the Integration if Process Planning and Scheduling", **Proceeding in Swiss Conference of CAD/CAM'99,** Neuchatel University, Switzerland, Vol. 22-24, pp. 167-174.

[5] Tariq Aldowaisan., Ali Allahverdi. "New Heuristics for m-Machine no-Wait Flowshop to Minimize Total Completion Time", **Omega** 32 (2004) 345 – 352

[6] Chryssi Malandraki., Robert B. Dial. "A Restricted Dynamic Programming Heuristic Algorithm for the Time Dependent Traveling Salesman Problem", **European Journal of Operational Research** 90 (1996) 45-55.

[7] Dipak Lahaa., Subhash C. Sarin. "A Heuristic to Minimize Total Flowtime in Permutation Flowshop", **Omega** 37 (2009) 734–739.

[8] Yuichi Nagata., Olli Bräysy. "A Powerful Route Minimization Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Time Windows", **Operations Research Letters** 37 (2009) 333-338.

[9] Paul Dolan., Peep Stalmeier. "The Validity of Time Trade-off Values in Calculating QALYs: Constant Proportional Time Trade-off Versus the Proportional Heuristic", **Journal of Health Economics** 22 (2003) 445–458.

[10] U.P. Wen., A.D. Huang. "A simple Tabu Search Method to Solve the Mixed-Integer Linear Bi-Level Programming Problem". **European Journal of Operational Research** 88 (1996) 563-571.

[11] Said Hanafi I., Arnaud Freville. "An Efficient Tabu Search Approach for the O-l Multidimensional Knapsack Problem", **European Journal of Operational Research** 106 (1998) 659-675.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Said Hanafi I., Arnaud Freville. "An Efficient Tabu Search Approach for the O-l Multidimensional Knapsack Problem", **European Journal of Operational Research** 106 (1998) 659-675.

[12] B. Lin., D. C. Miller. "Tabu Search Algorithm for Chemical Process Optimization", **Computers and Chemical Engineering** 28 (2004) 2287–2306.

[13] M. K. MAYER. "Network Parallel Genetic Algorithm for the One Machine Sequencing Problem", **Computers and Mathematics with Applications** 37 (1999) 71-78.

[14] Hongmei Hea., Ondrej Sýkoraa., Ana Salageana., Erkki Mäkinen., "Parallelization of Genetic Algorithms for the 2-Page Crossing Number Problem". **J. Parallel Distrib. Comput**, 67 (2007) 229 – 241.

[15] ณัฐพล พุทธิพงษ์. **"การประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาแบบตาบูในการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานกรณีศึกษา โรงงานท่อยาง"**, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2546, หน้า 70-78.

[16] Paulo, M.F. "A Tabu Search Heuristic for the Multiprocessor Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Time", **Institute Journal Production Economic**, Vol. 43, pp.79-89.

[17] Pureza, V. M., P. M. Franca. "Vehicle Routing Problems via Tabu Search Meta-heuristic", **Publication CRT**-747, Centre de recherché sur les transports, Montreal, 1991

[18] Schutten. "Parallel Machine Scheduling with Release Date Due Date and Family Setup Time", **J. Production Economic**, Vol. 46, pp. 119-125.

[19] Wen-Chiung Lee, "A Simulated Annealing Approach to Makespan Minimization on Identical Parallel Machines", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** Volume 31, Numbers 3-4, 328-334.

[20] S. C. Chu, H. L. Fang. "Genetic Algorithms vs. Tabu Search in Timetable Scheduling", **3th international Conference on Knowledge-Base Intelligent Information Engineering** System, 31st Aug-1st Sept 1999.

[21] Fred W. Glover. "Tabu Search Applications in Engineering", **Industrial Engineering/Operations Research** Seminar, University of California, Berkeley, March 12, 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[22] Özlem Erguna., James B. Orlin. "Fast Neighborhood Search for the Single Machine Total Weighted Tardiness Problem", **Operations Research Letters** Volume 34, Issue 1, January 2006, Pages 41-45

[23] Yann Hendel., Francis Sourd. "Efficient Neighborhood Search for the One-Machine Earliness–Tardiness Scheduling Problem", **European Journal of Operational Research** Volume 173, Issue 1, 16 August 2006, Pages 108-119

[24] A. Gross, F. Della Croce., R. Tadei. "An Enhanced Dynasearch Neighborhood for the Single-Machine Total Weighted Tardiness Scheduling Problem", **Operations Research Letters** Volume 32, Issue 1, January 2004, Pages 68-72

[25] Kethley R.B., Alidaee B. "Single Machine Scheduling to Minimize Total Weighted Late Work: a Comparison of Scheduling Rules and Search Algorithms", **Computers and Industrial Engineering**, Volume 43, Number 3, September 2002 , pp. 509-528

[26] Umit Bilge., Furkan Kuraac., Muujde Kurtulan., Pelin Pekgun. "A Tabu Search Algorithm for Parallel Machine Total Tardiness Problem", **Computers & Operations Research** 31 (2004) 397–414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

รายละเอียดโปรแกรม

ซอสโคด

```
Imports System.IO
Imports System.Math
Imports System.DateTime
Public Class Form1
    Dim allResult(14, 4, 4, 4) As String '(`round for search, type of search,number of problem,time and result)
    Dim fileName(4) As String 'file name for open

    Dim roundForSearch As Integer = 0
    Dim typeOfSearch As Integer = 0
    Dim numberOfProblem As Integer = 0
    Dim timeAndResult As Integer = 0

    Private strData(200, 14) As Double
    Private schedule(200) As Integer
    Private job_in_machine(20, 200) As Integer 'ตัวแรกจะบอกขนาด

    Private tabu_list(20000, 201) As Integer 'เก็บลำดับงานที่เคยหาไปแล้ว
    Private tabu_list_size As Integer = 0 '.....เก็บขนาดของตาบู

    Private search_list(10000, 200) As Integer 'เก็บลำดับงานที่สลับได้ออกมา
    Private tradiness_value_in_search(10000, 2) As Double  'ค่าเวลาล่าช้ารวมในตารางที่หา 0 = ลำดับขอลลำดับ
ในตาราง search 1 = ค่าความล่าช้า

    Private complete_time(20, 200) As Double 'บอกเวลาเสร็จงาน
    Private each_machine(200) As Integer '..... ใส่งานเข้าไปใน array เพื่อเอาไปหา process time

    Private current_s0_index As Integer = 0 '.....ชี้ไปยัง tabu list ว่า ตอนนี้อยู่ที่ s0 ตัวไหน.....

    Private tardiness_each_machine(20) As Double  '... เวลาล่าช้ารวมของแต่ละเครื่อง (จะมีการเริ่มใหม่หลาย
รอบ)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private tardiness_value_in_tabu(10000) As Double 'ค่าเวลาล่าช้ารวมในตาราง tabu
Private waste_time_each_machine(20) As Double

Private numberOfJob As Integer
Private numberOfMachine As Integer

'.....ข้อกำหนด tabu
Private search_round As Long = 10


'.....เวลาในการตั้งเครื่องต่างๆ หน่วยเป็นชั่วโมง.....
Private each_block As Double = 0.16      '....เปลี่ยนลูกยาง
Private each_color As Double = 0.3       '.....เปลี่ยนสี
Private mold_diff As Double = 5          '.....ค่าที่กำหนดไว้ว่าถ้าลูกยากเดิมใหญ่กว่าลูกยางใหม่กี่ mm ถึงต้องเปลี่ยนลูกยาง
Private set_mold As Double = 0.75        '.....เปลี่ยนแม่พิมพ์
Private start_time, end_time As DateTime
Dim runLength As Global.System.TimeSpan
Private time_diff As String


Private Sub browse_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles browse.Click
    Dim result As DialogResult = OpenFileDialog1.ShowDialog
    reset_array()
    reset(schedule, 200)
    '.....reset strdata.....
    Dim i1, i2 As Integer
    For i1 = 0 To 200
      For i2 = 0 To 14
        strData(i1, i2) = 0
      Next
    Next
    If result = Windows.Forms.DialogResult.Cancel Then
      Return
    End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Dim strFileName As String = OpenFileDialog1.FileName
        If CheckValidity(strFileName) = True Then
            TextBox1.Text = strFileName
        End If
        Try
            Dim objInput As StreamReader = New StreamReader(strFileName)
            numberOfJob = objInput.ReadLine
            Dim i As Integer
            For i = 0 To numberOfJob - 1
                strData(i, 0) = objInput.ReadLine
                strData(i, 1) = objInput.ReadLine
                strData(i, 2) = objInput.ReadLine
                strData(i, 3) = objInput.ReadLine
                strData(i, 4) = objInput.ReadLine
                strData(i, 5) = objInput.ReadLine
                strData(i, 6) = objInput.ReadLine
                strData(i, 7) = objInput.ReadLine
                strData(i, 8) = objInput.ReadLine
                strData(i, 9) = objInput.ReadLine
                strData(i, 10) = objInput.ReadLine
                strData(i, 11) = objInput.ReadLine
                strData(i, 12) = objInput.ReadLine
                strData(i, 13) = objInput.ReadLine
            Next
            objInput.Close()
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(Str(ex))
        End Try
        numberOfMachine = Convert.ToInt32(TextBox2.Text)
    End Sub
    Private Function CheckValidity(ByVal strName As String) As Boolean
        If strName.EndsWith(".txt") = True Then
            Return True
        Else
            MessageBox.Show("File type miss match", "Invalid File Type", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Return False
      End If
    End Function
    Function process_time(ByRef schedule_func() As Integer, ByRef NoOfJob As Integer, ByVal machine As
Integer) As Double
      '.....machine is amount of machine.....
      Dim waste As Double = 0.0
      Dim tot_waste As Double = 0
      Dim setup_time As Double = 0.0
      Dim test As String = ""
      Dim i1, i2, sc1, sc2 As Integer

      For i1 = 1 To NoOfJob
        waste = 0
        If i1 > 1 And NoOfJob > 1 Then
          sc1 = schedule_func(i1 - 1)
          sc2 = schedule_func(i1 - 2)

          If strData(sc1, 3) - strData(sc2, 3) > mold_diff Then
            waste = waste + each_block
          End If
          For i2 = 6 To 13
            If strData(sc1, i2) > 0 And strData(sc2, i2) > 0 And (strData(sc2, i2) <> strData(sc1, i2)) Then
              waste = waste + each_color
              waste = waste + set_mold
            ElseIf strData(sc1, i2) > 0 And strData(sc2, i2) > 0 And (strData(sc2, 2) <> strData(sc1, 2)) Then
              waste = waste + each_color
              waste = waste + set_mold
            End If
          Next
        End If

        setup_time = setup_time + waste + strData(schedule_func(i1 - 1), 4)
        tot_waste += waste
        waste_time_each_machine(machine) = tot_waste
        complete_time(machine, 0) = NoOfJob
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        complete_time(machine, i1) = setup_time
    Next
    Return setup_time
End Function
Sub s0_schedule(ByRef schedule_func() As Integer)
    earliest_due_date()

    show_sequence(schedule)
    start_time = Now
    shortest_process_time(schedule)
    end_time = Now

    Dim x As String
    x = (end_time - start_time).Milliseconds.ToString
    time_diff = ""
    time_diff += x
    time_diff += " millisecounds "

    allResult(roundForSearch, 4, numberOfProblem, 0) = time_diff
    allResult(roundForSearch, 4, numberOfProblem, 2) = tardiness_value_in_tabu(tabu_list_size - 1)
End Sub
Sub min_tardiness(ByRef schedule_in_min_tardiness() As Integer, ByVal search_list_index As Integer)
    Dim schedule_for_find_tardiness(200) As Integer
    Dim round_of_search_tardiness As Integer = 0

    Dim i1, i2, i3 As Integer
    Dim temp As Double
    '.....หาเวลาล่าช้ารวมของการสลับแบบต่างๆ.....
    For i1 = 0 To search_list_index - 1

        For i2 = 0 To numberOfJob - 1 '.....เรียงลำดับงานโดย copy จาก search list
            schedule_for_find_tardiness(i2) = search_list(i1, i2)
        Next
        reset_array()
        shortest_process_time(schedule_for_find_tardiness)
        tradiness_value_in_search(i1, 1) = tardiness(schedule_for_find_tardiness)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    tradiness_value_in_search(i1, 0) = i1
    round_of_search_tardiness = round_of_search_tardiness + 1
  Next
  '.....sort tardiness value and sequence.....
  For i2 = 0 To search_list_index - 1
    For i3 = i2 + 1 To search_list_index - 1
      If tradiness_value_in_search(i2, 1) > tradiness_value_in_search(i3, 1) Then
        temp = tradiness_value_in_search(i2, 1)
        tradiness_value_in_search(i2, 1) = tradiness_value_in_search(i3, 1)
        tradiness_value_in_search(i3, 1) = temp

        temp = tradiness_value_in_search(i2, 0)
        tradiness_value_in_search(i2, 0) = tradiness_value_in_search(i3, 0)
        tradiness_value_in_search(i3, 0) = temp
      End If
    Next
  Next
  '.....end sort
End Sub
Sub earliest_due_date()
  Dim i1, i2, i3, temp As Integer
  For i1 = 0 To numberOfJob - 1
    '.....ให้ลำดับเริ่มต้น ก่อนการเรียง.....
    schedule(i1) = i1
  Next
  '.....EDD.....
  For i2 = 0 To numberOfJob - 1
    For i3 = i2 + 1 To numberOfJob - 1
      If strData(schedule(i2), 5) > strData(schedule(i3), 5) Then
        temp = schedule(i2)
        schedule(i2) = schedule(i3)
        schedule(i3) = temp
      End If
    Next
  Next
  '.....end EDD.....
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Sub
Function tardiness(ByVal schedule_in_function() As Integer)
'.....ไว้หาเวลาล่าช้ารวม ของเครื่องต่างๆ.....
reset_double(tardiness_each_machine, 20)
Dim tot_tardiness As Double = 0
Dim i1 As Integer
Dim i2 As Integer = 0
For i1 = 0 To numberOfMachine - 1
  For i3 = 1 To job_in_machine(i1, 0)
    If (strData(job_in_machine(i1, i3), 5) < complete_time(i1, i3)) Then
      tardiness_each_machine(i1) = tardiness_each_machine(i1) + (complete_time(i1, i3) -
strData(job_in_machine(i1, i3), 5))
      i2 = i2 + 1
    End If
  Next
  tot_tardiness = tot_tardiness + tardiness_each_machine(i1)
Next
'.....หา min tardiness.....
Return tot_tardiness
End Function
Sub show_sequence(ByVal sc() As Integer)
Dim i1 As Integer
Dim s1 As String = ""
For i1 = 0 To numberOfJob - 1
  s1 += sc(i1).ToString & " "
Next
End Sub
Sub shortest_process_time(ByRef schedule() As Integer)
Dim i1, i2, i3, i4 As Integer

reset(each_machine, 200)
Dim process_time_each_machine(20) As Double '....เก็บ process time ในแต่ละเครื่อง.....
Dim shortest_process_time_machine As Integer
Dim each_machine_job_string As String
'.....เริ่มทำที่งาน 1 เพราะงาน 0 บังคับใส่ไปแล้ว
For i1 = 0 To numberOfJob - 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        shortest_process_time_machine = 0
        For i4 = 1 To numberOfMachine - 1
          If process_time_each_machine(shortest_process_time_machine) > process_time_each_machine(i4)
Then
            shortest_process_time_machine = i4
            Exit For
          End If
        Next
        '..... ใส่งานเข้าเครื่องที่ pt น้อยสุด
        '....ใส่จำนวนงาน
        job_in_machine(shortest_process_time_machine, 0) = job_in_machine(shortest_process_time_machine,
0) + 1
        '....ใส่หมายเลขงาน.....
        job_in_machine(shortest_process_time_machine, job_in_machine(shortest_process_time_machine, 0))
= schedule(i1)
        For i2 = 0 To numberOfMachine - 1
          reset(each_machine, 200)
          '.....ใส่ค่าเพื่อเอาไปหา process time.....
          For i3 = 0 To job_in_machine(i2, 0) - 1
            each_machine(i3) = job_in_machine(i2, i3 + 1)
          Next
          '.....เก็บ process time.....
          process_time_each_machine(i2) = process_time(each_machine, job_in_machine(i2, 0), i2)
        Next
      Next

      For i1 = 0 To numberOfMachine - 1
        each_machine_job_string = ""
        each_machine_job_string += "job_in_machine " & i1 & " has : "
        For i2 = 1 To job_in_machine(i1, 0)
          each_machine_job_string += job_in_machine(i1, i2) & " "

        Next
      Next
    End Sub
    Sub reset(ByRef arr() As Integer, ByVal round As Integer)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        '.....Reset.....
        Dim i1 As Integer
        For i1 = 0 To round - 1
            arr(i1) = 0
        Next
    End Sub
    Sub reset_double(ByRef arr() As Double, ByVal round As Integer)
        '.....Reset.....
        Dim i1 As Integer
        For i1 = 0 To round
            arr(i1) = 0
        Next
    End Sub
    Sub reset_array()
        Dim i1, i2 As Integer

        '.....reset job_in_machine
        For i1 = 0 To 20
            For i2 = 0 To 200
                job_in_machine(i1, i2) = 0
            Next
        Next
    End Sub
    Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button5.Click
        s0_schedule(schedule)

    End Sub
    Private Sub tabu_swap_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
tabu_swap.Click
        reset_all()
        Dim number_of_search_loop As Integer = 0
        Dim i1 As Integer = 0
        earliest_due_date()
        show_sequence(schedule)
        start_time = Now
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        While i1 < search_round
            swap_pairwise_tabu(schedule)
            min_tardiness(schedule, (numberOfJob * (numberOfJob - 1) / 2) - 1) '.....เรียงค่า tardiness จากน้อยไปมาก
            tabu_list_sub((numberOfJob * (numberOfJob - 1) / 2) - 1)
            i1 = i1 + 1
            Beep()
        End While
        end_time = Now
        Dim tabu As String = ""
        For i1 = 0 To tabu_list_size - 1
            For i2 = 0 To numberOfJob - 1
                tabu += tabu_list(i1, i2).ToString & " "
            Next
            tabu += " = " & tardiness_value_in_tabu(i1)
            tabu += vbCrLf
        Next

        Dim x As String
        x = (end_time - start_time).Milliseconds.ToString
        time_diff = ""
        x = ((Convert.ToDouble((end_time - start_time).Minutes.ToString) * 60000) + (Convert.ToDouble((end_time - start_time).Seconds.ToString) * 1000) + Convert.ToDouble((end_time - start_time).Milliseconds.ToString)).ToString
        time_diff += x
        allResult(roundForSearch, 2, numberOfProblem, 0) = (end_time - start_time).Minutes.ToString
        allResult(roundForSearch, 2, numberOfProblem, 1) = (end_time - start_time).Seconds.ToString
        allResult(roundForSearch, 2, numberOfProblem, 2) = time_diff
        allResult(roundForSearch, 2, numberOfProblem, 3) = (end_time - start_time).Milliseconds.ToString
        allResult(roundForSearch, 2, numberOfProblem, 4) = tardiness_value_in_tabu(tabu_list_size - 1)

    End Sub
    Sub tabu_list_sub(ByVal member_of_search As Integer)
        Dim in_tabu As Boolean = False
        Dim in_tabu_count As Integer = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Dim insert_to_tabu As Boolean = False
Dim i1, i2, i3, i4 As Integer
Dim s1 As String = ""
'.....ตรวจสอบค่าในตาราง tabu ว่ามีหรือยัง.....
i1 = 0
i2 = 0
i3 = 0
'.....ใส่ ลำดับงานแรกในตาราง tabu
If tabu_list_size = 0 Then
   '.....ใส่ลำดับงานเข้าไปใน tabu.....
   current_s0_index = 0
   For i1 = 0 To numberOfJob - 1
      tabu_list(0, i1) = search_list(Convert.ToInt32(tradiness_value_in_search(0, 0)), i1)
   Next
   tabu_list_size = tabu_list_size + 1
   tardiness_value_in_tabu(current_s0_index) = tradiness_value_in_search(0, 1)
   s1 += "first insert "
   For i2 = 0 To numberOfJob - 1
      s1 += tabu_list(0, i2).ToString & " - "
   Next
Else
   insert_to_tabu = False
   in_tabu = False
   'i1 = 1
   Do Until ((insert_to_tabu = True) Or (i1 = member_of_search))
      i2 = 0
      in_tabu_count = 0
      in_tabu = False
      Do Until ((in_tabu = True) Or (i2 = tabu_list_size) Or (in_tabu_count = numberOfJob))
         in_tabu = True
         in_tabu_count = 0
         i3 = 0
         s1 = "best list from nebor is "
         For i4 = 0 To numberOfJob - 1
            s1 += search_list(Convert.ToInt32(tradiness_value_in_search(i1, 0)), i4) & " "
         Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        s1 += "tardiness is " & tradiness_value_in_search(i1, 1)
        Do Until ((i3 = numberOfJob - 1) Or (in_tabu = False))
          If search_list(Convert.ToInt32(tradiness_value_in_search(i1, 0)), i3) = tabu_list(i2, i3) Then
            in_tabu = True
            in_tabu_count = in_tabu_count + 1  '... นับจำนวนหลักที่ซ้ำกัน
          Else
            in_tabu = False  '...เลื่อนไปลำดับถัดไป
          End If
          i3 = i3 + 1
        Loop
        i2 = i2 + 1
        If (in_tabu_count = numberOfJob - 1) Then
          in_tabu = True
        End If

      Loop
      If in_tabu = False Then
        '....insert to tabu
        Dim tabu As String = "Insert " & i1 & " lower "
        For i2 = 0 To numberOfJob - 1
          tabu_list(tabu_list_size, i2) = search_list(Convert.ToInt32(tradiness_value_in_search(i1, 0)), i2)
          tabu += tabu_list(tabu_list_size, i2) & " "
        Next
        tabu += " to tabu list " & tabu_list_size
        current_s0_index = tabu_list_size
        insert_to_tabu = True
        tardiness_value_in_tabu(tabu_list_size) = tradiness_value_in_search(i1, 1)
        tabu_list_size = tabu_list_size + 1
      ElseIf in_tabu = True Then
        If tardiness_value_in_tabu(current_s0_index) > tradiness_value_in_search(i1, 1) Then
          current_s0_index = i1
        End If
      End If
      i1 = i1 + 1
    Loop
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If in_tabu = False Then
          '...ถ้ายังไม่มี ให้ใส่.....
        ElseIf in_tabu = True Then
          '...ถ้ามีแล้ว ให้ทำอย่างอื่น
        End If


    End If

    For i1 = 0 To numberOfJob - 1
      schedule(i1) = tabu_list(current_s0_index, i1)
    Next
    '.............จบการตรวจสอบค่าในตาราง tabu

End Sub
Sub single_adjacent_tabu(ByRef schedule() As Integer)
    Dim i1, i3 As Integer
    Dim search_list_index As Integer = 0
    Dim number_of_search_list As Integer = 0
    For i1 = 0 To numberOfJob - 2
      swap(schedule(i1), schedule(i1 + 1))
      For i3 = 0 To numberOfJob - 1
        search_list(search_list_index, i3) = schedule(i3)
      Next
      search_list_index = search_list_index + 1
      '.........สลับกลับที่เดิม.....
      swap(schedule(i1), schedule(i1 + 1))
    Next

End Sub
Sub swap_pairwise_tabu(ByRef schedule() As Integer)
    Dim i1, i2, i3 As Integer
    Dim search_list_index As Integer = 0
    Dim number_of_search_list As Integer = 0
    For i1 = 0 To numberOfJob - 2
      For i2 = i1 + 1 To numberOfJob - 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        swap(schedule(i1), schedule(i2))
        For i3 = 0 To numberOfJob - 1
          search_list(search_list_index, i3) = schedule(i3)
        Next
        search_list_index = search_list_index + 1
        '.....สลับกลับที่เดิม.....
        swap(schedule(i1), schedule(i2))
      Next
    Next
End Sub
Sub swap_interchange_tabu(ByRef schedule() As Integer)
    Dim i1, i2, i3 As Integer
    Dim search_list_index As Integer = 0
    Dim schedule_in_swap(200) As Integer
    Dim number_of_search_list As Integer = 0
    '.....สลับรอบแรก.....
    For i1 = 0 To numberOfJob - 1
      schedule_in_swap(i1) = schedule(i1)
    Next
    For i1 = 0 To numberOfJob - 2
      swap(schedule_in_swap(i1), schedule_in_swap(i1 + 1))
      For i3 = 0 To numberOfJob - 1
        search_list(search_list_index, i3) = schedule_in_swap(i3)
      Next
      search_list_index = search_list_index + 1
    Next
    '.....สลับรอบต่อๆไป.....
    For i1 = 1 To numberOfJob - 1
      '.....ใส่ค่าเริ่มต้น.....
      Dim insert_count As Integer = 1
      schedule_in_swap(0) = schedule(i1)
      For i2 = 0 To numberOfJob - 1
        If i2 <> i1 Then
          schedule_in_swap(insert_count) = schedule(i2)
          insert_count = insert_count + 1
        End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Next
        '.....สินสุดการใส่ค่าเริ่มต้นของแต่ละแถว

        '.....สลับในแต่ละอัน.....
        For i2 = 0 To numberOfJob - 1
          If (i2 = i1 - 1 Or i2 = i1) Then
          Else
            For i3 = 0 To numberOfJob - 1
              search_list(search_list_index, i3) = schedule_in_swap(i3)
            Next
            search_list_index = search_list_index + 1
          End If
          swap(schedule_in_swap(i2), schedule_in_swap(i2 + 1))
        Next
      Next

    End Sub
    Sub swap(ByRef a As Integer, ByRef b As Integer)
      '..... สำหรับสลับตำแหน่ง
      Dim temp As Integer
      temp = a
      a = b
      b = temp
    End Sub
    Private Sub test_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles test.Click
      Dim i1 As Integer = 0
      For i1 = 0 To 5
        schedule(i1) = i1 + 1
      Next
      numberOfJob = 6
    End Sub
    Private Sub tabu_insert_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
tabu_insert.Click
      reset_all()
      Dim number_of_search_loop As Integer = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Dim i1 As Integer = 0
        earliest_due_date()
        show_sequence(schedule)
        start_time = Now

        While i1 < search_round
            swap_interchange_tabu(schedule)
            min_tardiness(schedule, (numberOfJob - 1) ^ 2) '.....เรียงค่า tardiness จากน้อยไปมาก
            tabu_list_sub((numberOfJob - 1) ^ 2)
            i1 = i1 + 1
            Beep()
        End While
        end_time = Now
        Dim tabu As String = ""
        For i1 = 0 To tabu_list_size - 1
            For i2 = 0 To numberOfJob - 1
                tabu += tabu_list(i1, i2).ToString & " "
            Next
            tabu += " = " & tardiness_value_in_tabu(i1)
            tabu += vbCrLf
        Next

        Dim x As String
        x = ((Convert.ToDouble((end_time - start_time).Minutes.ToString) * 60000) +
(Convert.ToDouble((end_time - start_time).Seconds.ToString) * 1000) + Convert.ToDouble((end_time -
start_time).Milliseconds.ToString)).ToString
        time_diff = ""
        time_diff += x

        allResult(roundForSearch, 1, numberOfProblem, 0) = (end_time - start_time).Minutes.ToString
        allResult(roundForSearch, 1, numberOfProblem, 1) = (end_time - start_time).Seconds.ToString
        allResult(roundForSearch, 1, numberOfProblem, 2) = time_diff
        allResult(roundForSearch, 1, numberOfProblem, 3) = (end_time - start_time).Milliseconds.ToString
        allResult(roundForSearch, 1, numberOfProblem, 4) = tardiness_value_in_tabu(tabu_list_size - 1)

    End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub SetConstantsToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles SetConstantsToolStripMenuItem.Click


End Sub
Private Sub AboutProgramToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles AboutProgramToolStripMenuItem.Click
    MessageBox.Show("Program นี้ เป็นโปรแกรมทำการจำลองเพื่อหาลำดับงานที่ให้เวลาล่าช้ารวมน้อยที่สุด"
& vbCrLf & "จัดทำโดย นายอาคม เหลืองวิทยากร " & vbCrLf & "ภายใต้การดูแลของ รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญ
จิต" & vbCrLf & "ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  คณะวิศวกรรมศาสตร์ " & vbCrLf & "สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง")
End Sub
Sub reset_all()
  Dim i1, i2 As Integer
  '.....reset schedule.....
  For i1 = 0 To 199
    schedule(i1) = 0
  Next
  '.....reset job in machine.....
  reset_array()
  '.....reset tabu list.....
  tabu_list_size = 0
  '.....reset search list and tardiness value
  For i1 = 0 To 9999
    For i2 = 0 To 199
      search_list(i1, i2) = 0
    Next
    For i2 = 0 To 1
      tradiness_value_in_search(i1, i2) = 0
    Next
  Next
  '.....reset complete time
  For i1 = 0 To 19
    For i2 = 0 To 199
      complete_time(i1, i2) = 0
    Next
  Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        For i1 = 0 To 199
            each_machine(i1) = 0
        Next
        current_s0_index = 0
        For i1 = 0 To 19
            tardiness_each_machine(i1) = 0
        Next
        For i1 = 0 To 9999
            tardiness_value_in_tabu(i1) = 0
        Next
        For i1 = 0 To 19
            waste_time_each_machine(i1) = 0
        Next
        numberOfMachine = Convert.ToInt32(TextBox2.Text)
        search_round = Convert.ToInt32(TextBox3.Text)
    End Sub


    Private Sub tabu_single_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
tabu_single.Click
        'start_time = Now
        reset_all()
        Dim number_of_search_loop As Integer = 0
        Dim i1 As Integer = 0
        earliest_due_date()
        show_sequence(schedule)
        start_time = Now


        While i1 < search_round
            single_adjacent_tabu(schedule)
            min_tardiness(schedule, (numberOfJob - 1)) '.....เรียงค่า tardiness จากน้อยไปมาก
            tabu_list_sub((numberOfJob - 1) ^ 2)
            i1 = i1 + 1
            Beep()
        End While
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        end_time = Now
        Dim tabu As String = ""
        For i1 = 0 To tabu_list_size - 1
            For i2 = 0 To numberOfJob - 1
                tabu += tabu_list(i1, i2).ToString & " "
            Next
            tabu += " = " & tardiness_value_in_tabu(i1)
            tabu += vbCrLf
        Next
        Dim x As String
        x = (end_time - start_time).Milliseconds.ToString
        time_diff = ""
        x = ((Convert.ToDouble((end_time - start_time).Minutes.ToString) * 60000) +
(Convert.ToDouble((end_time - start_time).Seconds.ToString) * 1000) + Convert.ToDouble((end_time -
start_time).Milliseconds.ToString)).ToString
        time_diff += x
        allResult(roundForSearch, 0, numberOfProblem, 0) = (end_time - start_time).Minutes.ToString
        allResult(roundForSearch, 0, numberOfProblem, 1) = (end_time - start_time).Seconds.ToString
        allResult(roundForSearch, 0, numberOfProblem, 2) = time_diff
        allResult(roundForSearch, 0, numberOfProblem, 3) = (end_time - start_time).Milliseconds.ToString
        allResult(roundForSearch, 0, numberOfProblem, 4) = tardiness_value_in_tabu(tabu_list_size - 1)

    End Sub


    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
Button1.Click

        fileName(0) = "C:\Documents and Settings\yoong\Desktop\set5\20-1.txt"
        fileName(1) = "C:\Documents and Settings\yoong\Desktop\set5\40-1.txt"
        fileName(2) = "C:\Documents and Settings\yoong\Desktop\set5\60-1.txt"
        fileName(3) = "C:\Documents and Settings\yoong\Desktop\set5\80-1.txt"

        Dim searchingRound() As Integer = {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50}
        Dim a1, a2, a3, a4 As Integer
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'11111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111
numberOfProblem = 0
For a2 = 0 To 3
  roundForSearch = 0
  For a1 = 0 To 13


    timeAndResult = 0
    reset_array()
    reset(schedule, 200)
    '.....reset strdata.....
    Dim i1, i2 As Integer
    For i1 = 0 To 200
      For i2 = 0 To 14
        strData(i1, i2) = 0
      Next
    Next
    If CheckValidity(fileName(a2)) = True Then
      TextBox1.Text = fileName(a2)
    End If
    Try
      Dim objInput As StreamReader = New StreamReader(fileName(a2))
      numberOfJob = objInput.ReadLine
      Dim i As Integer
      For i = 0 To numberOfJob - 1
        strData(i, 0) = objInput.ReadLine
        strData(i, 1) = objInput.ReadLine
        strData(i, 2) = objInput.ReadLine
        strData(i, 3) = objInput.ReadLine
        strData(i, 4) = objInput.ReadLine
        strData(i, 5) = objInput.ReadLine
        strData(i, 6) = objInput.ReadLine
        strData(i, 7) = objInput.ReadLine
        strData(i, 8) = objInput.ReadLine
        strData(i, 9) = objInput.ReadLine
        strData(i, 10) = objInput.ReadLine
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            strData(i, 11) = objInput.ReadLine
            strData(i, 12) = objInput.ReadLine
            strData(i, 13) = objInput.ReadLine
          Next
          objInput.Close()
        Catch ex As Exception
          MessageBox.Show(Str(ex))
        End Try
        TextBox3.Text = searchingRound(a1).ToString
        numberOfMachine = Convert.ToInt32(TextBox2.Text)
        TextBox1.Text = fileName(a2).ToString
        tabu_single_Click(sender, e)
        roundForSearch = roundForSearch + 1
      Next
      numberOfProblem = numberOfProblem + 1
    Next
    '1111111111111111111111111111111111111111111111111111111111111 111111


    '22222222222222222222222222222222222222222222222222222222222222222
    reset_all()
    numberOfProblem = 0
    For a2 = 0 To 3
      roundForSearch = 0
      For a1 = 0 To 13


        timeAndResult = 0
        reset_array()
        reset(schedule, 200)
        '.......reset strdata.....
        Dim i1, i2 As Integer
        For i1 = 0 To 200
          For i2 = 0 To 14
            strData(i1, i2) = 0
          Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Next
        If CheckValidity(fileName(a2)) = True Then
            TextBox1.Text = fileName(a2)
        End If
        Try
            Dim objInput As StreamReader = New StreamReader(fileName(a2))
            numberOfJob = objInput.ReadLine
            Dim i As Integer
            For i = 0 To numberOfJob - 1
                strData(i, 0) = objInput.ReadLine
                strData(i, 1) = objInput.ReadLine
                strData(i, 2) = objInput.ReadLine
                strData(i, 3) = objInput.ReadLine
                strData(i, 4) = objInput.ReadLine
                strData(i, 5) = objInput.ReadLine
                strData(i, 6) = objInput.ReadLine
                strData(i, 7) = objInput.ReadLine
                strData(i, 8) = objInput.ReadLine
                strData(i, 9) = objInput.ReadLine
                strData(i, 10) = objInput.ReadLine
                strData(i, 11) = objInput.ReadLine
                strData(i, 12) = objInput.ReadLine
                strData(i, 13) = objInput.ReadLine
            Next
            objInput.Close()
        Catch ex As Exception
            MessageBox.Show(Str(ex))
        End Try
        TextBox3.Text = searchingRound(a1).ToString
        numberOfMachine = Convert.ToInt32(TextBox2.Text)
        TextBox1.Text = fileName(a2).ToString
        tabu_insert_Click(sender, e)
        roundForSearch = roundForSearch + 1
    Next
    numberOfProblem = numberOfProblem + 1
Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'22222222222222222222222222222222222222222222222222222222222222222222222222

'33333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333
reset_all()
numberOfProblem = 0
For a2 = 0 To 3
  roundForSearch = 0
  For a1 = 0 To 13


    timeAndResult = 0
    reset_array()
    reset(schedule, 200)
    '.....reset strdata.....
    Dim i1, i2 As Integer
    For i1 = 0 To 200
      For i2 = 0 To 14
        strData(i1, i2) = 0
      Next
    Next
    If CheckValidity(fileName(a2)) = True Then
      TextBox1.Text = fileName(a2)
    End If
    Try
      Dim objInput As StreamReader = New StreamReader(fileName(a2))
      numberOfJob = objInput.ReadLine
      Dim i As Integer
      For i = 0 To numberOfJob - 1
        strData(i, 0) = objInput.ReadLine
        strData(i, 1) = objInput.ReadLine
        strData(i, 2) = objInput.ReadLine
        strData(i, 3) = objInput.ReadLine
        strData(i, 4) = objInput.ReadLine
        strData(i, 5) = objInput.ReadLine
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            strData(i, 6) = objInput.ReadLine
            strData(i, 7) = objInput.ReadLine
            strData(i, 8) = objInput.ReadLine
            strData(i, 9) = objInput.ReadLine
            strData(i, 10) = objInput.ReadLine
            strData(i, 11) = objInput.ReadLine
            strData(i, 12) = objInput.ReadLine
            strData(i, 13) = objInput.ReadLine
          Next
          objInput.Close()
        Catch ex As Exception
          MessageBox.Show(Str(ex))
        End Try
        TextBox3.Text = searchingRound(a1).ToString
        numberOfMachine = Convert.ToInt32(TextBox2.Text)
        TextBox1.Text = fileName(a2).ToString
        tabu_swap_Click(sender, e)
        roundForSearch = roundForSearch + 1
      Next
      numberOfProblem = numberOfProblem + 1
    Next
    '333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333333
    Dim stringResult As String = ""
    For a1 = 0 To 3
      stringResult += "Method " & a1 & "" & vbCrLf
      For a2 = 0 To 3
        stringResult += "Number of jobs " & a2 & "" & vbCrLf
        For a3 = 0 To 13
          For a4 = 0 To 4
            stringResult += allResult(a3, a1, a2, a4)
            stringResult += vbTab
          Next
          stringResult += vbCrLf
        Next
        stringResult += vbCrLf
      Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            stringResult += vbCrLf
        Next
        TextBox4.Text = stringResult.ToString
    End Sub
End Class
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รายละเอียดวิธีการสลับหาคำตอบข้างเคียง

1. Single Adjacent Pairwise Interchange

ปัญหา : {1, 2, 3, 4, 5, 6}

วิธีการย้าย :{**2, 1**, 3, 4, 5, 6}, {1, **3, 2**, 4, 5, 6}, {1, 2, **4, 3**, 5, 6}, {1, 2, 3, **5, 4**, 6}, {1, 2, 3, 4, **6, 5**}

2. Swap Pairwise Interchange

ปัญหา : {1, 2, 3, 4, 5, 6}

วิธีการย้าย : {**2**, **1**, 3, 4, 5, 6}, {**3**, 2, **1**, 4, 5, 6}, {**4**, 2, 3, **1**, 5, 6}, {**5**, 2, 3, 4, **1**, 6}, {**6**, 2, 3, 4, 5, **1**}

{1, **3**, **2**, 4, 5, 6}, {1, **4**, 3, **2**, 5, 6}, {1, **5**, 3, 4, **2**, 6}, {1, **6**, 3, 4, 5, **2**}

{1, 2, **4**, **3**, 5, 6}, {1, 2, **5**, **4**, **3**, 6}, {1, 2, **6**, 4, 5, **3**}

{1, 2, 3, **5**, **4**, 6}, {1, 2, 3, **6**, 5, **4**}

{1, 2, 3, 4, **6**, **5**}

3. Insertion Interchange

ปัญหา : {1, 2, 3, 4, 5, 6}

วิธีการย้าย : { 2, **1**, 3, 4, 5, 6},{2, 3, **1**, 4, 5, 6},{2, 3, 4, **1**, 5, 6},{2, 3, 4, 5 , **1**, 6},{2, 3, 4, 5, 6 , **1**},

{1, 3, **2**, 4, 5, 6},{1, 3, 4, **2**, 5, 6},{1, 3, 4, 5, **2**, 6},{1, 3, 4, 5, 6, **2**},

{**3**, 1, 2, 4, 5, 6},{1, **3**, 2, 4, 5, 6},{1, 2, 4, 5, **3**, 6},{1, 2, 4, 5, 6, **3**},

{**4**, 1, 2, 3, 5, 6},{1, **4**, 2, 3, 5, 6},{1, 2, 3, 5, **4**, 6},{1, 2, 3, 5, 6, **4**},

{**5**, 1, 2, 3, 4, 6},{1, **5**, 2, 3, 4, 6},{1, 2, **5**, 3, 4, 6},{1, 2, 3, 4, 6, **5**},

{**6**, 1, 2, 3, 4, 5},{1, **6**, 2, 3, 4, 5},{1, 2, **6**, 3, 4, 5},{1, 2, 3, **6**, 4, 5}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

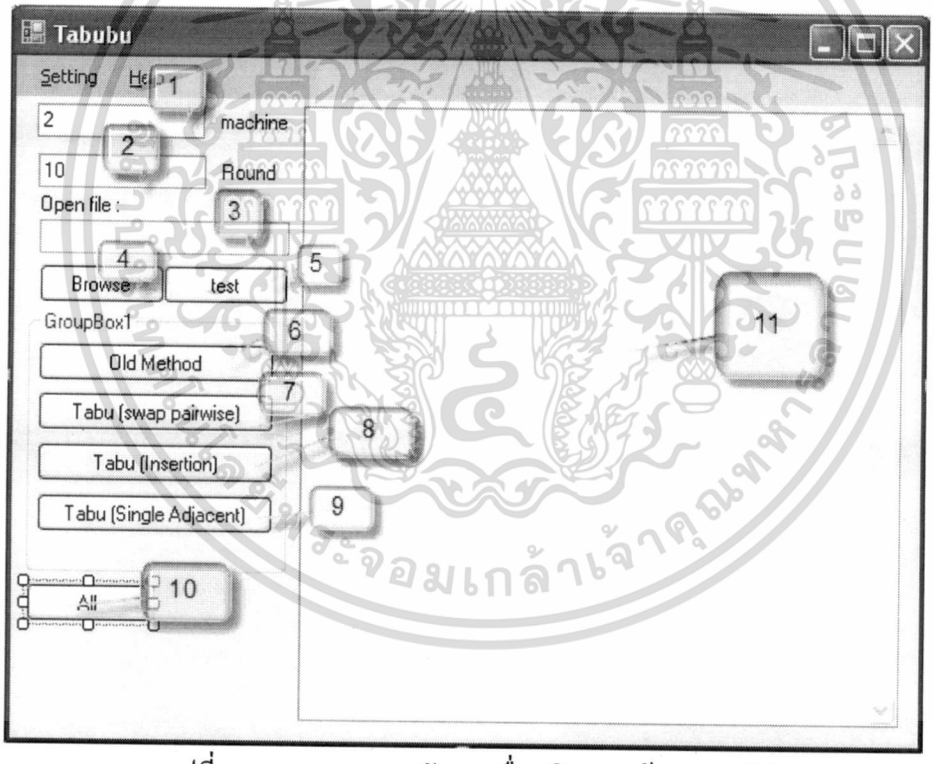
ภาคผนวก ค

การใช้งานโปรแกรม

เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบของการจัดลำดับงานเข้าสู่เครื่องจักรแบบขนานด้วยวิธีการค้นหาแบบตาบูนี้ เป็นการจัดทำขึ้นโดยเฉพาะจึงทำให้ไม่สามารถนำไปใช้หาคำตอบในรูปแบบอื่นๆได้ในทันที แต่ผู้จัดทำโปรแกรมได้คำนึงถึงประโยชน์จากการนำโปรแกรมนี้ไปต่อยอดในการพัฒนาในด้านอื่นๆต่อไป จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมนี้ในลักษณะที่สามารถนำไปปรับปรุงใช้ในวัตถุประสงค์อื่นๆได้ โดยวิธีการใช้งานโปรแกรมจะทำการอธิบายไว้ในภาคผนวกนี้

1. การใช้งานโปรแกรม

เพื่อการใช้งานโปรแกรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผู้ใช้งานสามารถศึกษาขั้นตอนการใช้งานได้ดังนี้



รูปที่ 9.1 แสดงรายการตัวเลขเพื่ออธิบายหน้าจอของโปรแกรม

1. ช่องใส่จำนวนเครื่องจักรในสายการผลิตที่ต้องการนำมาคำนวน
2. ช่องใส่จำนวนรอบการค้นหาแบบตาบูที่ต้องการให้โปรแกรมทำ
3. ช่องแสดงชื่อ file ที่เปิด
4. ปุ่มเพื่อกดค้นหาไฟล์ข้อมูลตั้งต้นที่ต้องการนำมาคำนวน
5. ปุ่มเพื่อทดสอบว่าไฟล์ข้อมูลที่เปิดขึ้นมาถูกต้องตามกระบวนการหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปุ่มเพื่อทำการหาคำตอบแบบดั้งเดิมที่โรงงานใช้ (Earliest Due Date แล้วตามด้วย Shortest Process Time)
7. ปุ่มเพื่อทำการหาคำตอบด้วยการค้นหาแบบตาบู โดยใช้การสลับตำแหน่งแบบ Swap Pairwise Interchange
8. ปุ่มเพื่อทำการหาคำตอบด้วยการค้นหาแบบตาบู โดยใช้การสลับตำแหน่งแบบ Insertion Interchange
9. ปุ่มเพื่อทำการหาคำตอบด้วยการค้นหาแบบตาบู โดยใช้การสลับตำแหน่งแบบ Single Adjacent
10. ปุ่มเพื่อทำการค้นหาทั้งหมดทั้ 4 วิธี ตั้งแต่ข้อ 6-9
11. ช่องแสดงคำตอบ

2. รูปแบบของข้อมูลที่โปรแกรมต้องการ

เนื่องจากโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่จัดทำขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะ ทางผู้สร้างโปรแกรมจึงได้ออกแบบรูปแบบการเก็บข้อมูลลงในไฟล์เพื่อป้อนเข้าสู่โปรแกรมเป็นรูปแบบเฉพาะโดยสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 9.2 โดยชุดตัวเลขในด้านซ้ายจะแสดงถึงเลขบรรทัด และชุดตัวเลขด้านขวา จะแสดงถึงค่าของข้อมูลที่อยู่ในไฟล์ (โดยในการใช้งานจริงๆ ไม่ต้องใส่เลขบรรทัด)

```
 1  20
 2  68
 3  0
 4  45
 5  5
 6  10.500
 7  11.348
 8  1
 9  2
10  3
11  4
12  3
13  4
14  0
15  0
16  65
17  0
18  9
19  6
20  2.333
21  10.083
22  11
23  0
24  0
25  0
26  0
27  0
28  0
29  0
```

รูปที่ 9.2 รูปแบบการเรียงข้อมูลในไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดที่ 1 แสดงถึงจำนวนงานทั้งหมดที่มีอยู่ในไฟล์นี้. บรรทัดที่2 คือหมายเลขของงาน. บรรทัดที่ 3 คืองานที่ต้องกำหนดว่าต้องใช้เครื่องจักรเครื่องใดในการผลิต. บรรทัดที่ 4 คือ รหัสสินค้า. บรรทัดที่ 5 คือหน้ากว่างของงาน. บรรทัดที่ 6 คือเวลาทำงานที่ต้องการในการทำงานนี้ ให้เสร็จโดยยังไม่รวมเวลาปรับตั้งเครื่อง มีหน่วยเป็นชั่วโมง. บรรทัดที่ 7 คือ กำหนดส่งงานมีหน่วย เป็นชั้วโมง. บรรทัดที่ 8-15 จะเป็นลำดับของสีที่ต้องพิมพ์ลงบนเครื่องจักร โดยตัวเลขที่ต่างกัน แสดงถึงสีที่ต่างกัน. โดยในบรรทัดที่ 16-29 จะเป็นการเรียงลำดับของข้อมูลเหมือนในบรรทัดที่ 2-15 และจะต้องทำแบบนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจำนวนงานจะครบตามในบรรทัดที่ 1 ระบุไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รวมผลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด1	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Insertion	Swap pair
1	22.23	16.116	9.631	9.631
2	22.23	11.014	4.995	7.735
3	22.23	7.313	4.519	5.685
4	22.23	6.313	3.113	5.045
5	22.23	5.238	2.543	4.23
6	22.23	5.238	2.543	4.213
7	22.23	5.238	2.543	4.213
8	22.23	4.213	2.543	4.213
9	22.23	4.213	2.543	4.213
10	22.23	4.213	2.543	4.213
20	22.23	4.213	2.543	4.213
30	22.23	4.023	2.543	4.213
40	22.23	4.023	2.543	4.213
50	22.23	4.023	2.543	4.213

ตารางที่ ง.2 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด1	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Insertion	Swap pair
1	5	5	110	70
2	5	10	210	140
3	5	20	320	190
4	5	30	480	260
5	5	35	811	330
6	5	37	1422	410
7	5	40	1662	570
8	5	45	1792	650
9	5	50	2012	761
10	5	80	2213	781
20	5	160	5507	2042
30	5	230	6659	2383
40	5	360	9032	3104
50	5	420	10985	3995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด1	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	24.79	16.545	9.827	9.827
2	24.79	11.1	4.995	7.735
3	24.79	7.313	3.728	5.685
4	24.79	6.313	3.113	5.045
5	24.79	5.238	2.67	4.23
6	24.79	5.238	2.543	4.213
7	24.79	5.238	2.543	4.213
8	24.79	4.213	2.543	4.213
9	24.79	4.213	2.543	4.213
10	24.79	4.213	2.543	4.213
20	24.79	4.213	2.543	4.213
30	24.79	4.213	2.543	4.213
40	24.79	4.213	2.543	4.213
50	24.79	4.213	2.543	4.213

ตารางที่ ง.4 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด1	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	30	2313	801
2	10	100	4907	1792
3	10	200	7180	2633
4	10	214	9103	3364
5	10	270	13299	4105
6	10	340	15071	5017
7	10	350	17555	5868
8	10	430	21290	7080
9	10	490	22542	7520
10	10	570	24855	8442
20	10	971	51844	17374
30	10	1113	77601	25116
40	10	2012	104039	34008
50	10	2713	130367	41730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด1	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	36.1	21.997	14.813	14.813
2	36.1	15.866	5.394	8.17
3	36.1	7.313	3.728	5.685
4	36.1	6.313	3.113	5.045
5	36.1	5.238	2.67	4.495
6	36.1	5.238	2.543	4.213
7	36.1	5.238	2.543	4.213
8	36.1	4.213	2.543	4.213
9	36.1	4.213	2.543	4.213
10	36.1	4.213	2.543	4.213
20	36.1	4.213	2.543	4.213
30	36.1	4.213	2.543	4.213
40	36.1	4.213	2.543	4.213
50	36.1	4.213	2.543	4.213

ตารางที่ ง.6 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่ 1 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด1	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	140	12828	3785
2	15	311	24134	7651
3	15	550	34970	11125
4	15	630	50442	14761
5	15	731	64642	18496
6	15	1241	73505	22983
7	15	1502	75552	25696
8	15	1572	98561	30033
9	15	1792	109277	33077
10	15	1852	123607	37413
20	15	4085	243209	73776
30	15	6499	366416	112221
40	15	8382	376302	149514
50	15	10615	397531	188080

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่1 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด1	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	106.67	66.499	34.995	45.639
2	106.67	37.901	18.072	27.427
3	106.67	21.044	13.99	20.56
4	106.67	16.188	12.739	15.796
5	106.67	11.313	6.068	12.885
6	106.67	7.313	3.809	11.419
7	106.67	6.313	2.946	8.784
8	106.67	5.238	2.946	8.784
9	106.67	5.238	2.946	8.784
10	106.67	5.238	2.946	8.784
20	106.67	4.213	2.503	8.784
30	106.67	4.213	2.376	8.784
40	106.67	4.213	2.376	8.784
50	106.67	4.213	2.376	8.784

ตารางที่ ง.8 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่1 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด1	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	500	24665	11115
2	20	891	49030	22272
3	20	1321	74066	33738
4	20	1832	100754	44213
5	20	2163	131999	56661
6	20	2804	166910	68488
7	20	3194	195491	78252
8	20	3765	227497	89628
9	20	3915	254766	101706
10	20	4135	264830	113553
20	20	9453	501621	225734
30	20	14941	785249	338997
40	20	19548	1033025	455184
50	20	19608	1186005	623586

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.9 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด2	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	17.42	4.781	4.394	4.781
2	17.42	2.307	4.086	2.307
3	17.42	1.679	2.958	1.679
4	17.42	1.563	2.705	1.563
5	17.42	1.563	2.511	1.563
6	17.42	1.563	2.511	1.563
7	17.42	1.563	2.51	1.563
8	17.42	1.563	2.51	1.563
9	17.42	1.563	2.51	1.563
10	17.42	1.563	2.51	1.563
20	17.42	1.563	2.51	1.563
30	17.42	1.563	2.068	1.391
40	17.42	1.517	2.068	1.319
50	17.42	1.391	2.068	1.319

ตารางที่ ง.10 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด2	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	40	130	100
2	5	45	290	180
3	5	50	540	340
4	5	54	630	450
5	5	57	751	510
6	5	60	1031	670
7	5	80	1091	881
8	5	90	1231	1111
9	5	100	1431	1161
10	5	120	1562	2081
20	5	250	3044	2313
30	5	280	4596	3174
40	5	390	6299	4706
50	5	470	7731	5868

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.11 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด2	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	103.04	67.546	44.413	48.063
2	103.04	36.71	17.861	31.125
3	103.04	22.641	10.012	23.953
4	103.04	14.869	6.415	17.707
5	103.04	13.28	6.144	12.89
6	103.04	12.448	6.144	10.79
7	103.04	11.915	6.144	9.993
8	103.04	11.891	6.006	9.675
9	103.04	11.882	6.006	9.675
10	103.04	11.882	6.006	9.675
20	103.04	11.882	6.006	9.61
30	103.04	11.882	6.006	9.61
40	103.04	11.882	6.006	9.61
50	103.04	11.882	6.006	9.61

ตารางที่ ง.12 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด2	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	40	1562	1071
2	10	80	3935	2213
3	10	220	5457	4576
4	10	290	6749	5047
5	10	300	9153	5918
6	10	360	10515	7220
7	10	365	12387	8311
8	10	370	14330	9964
9	10	390	16704	10715
10	10	450	17895	12938
20	10	851	34840	23824
30	10	1311	49991	36662
40	10	1992	69750	47888
50	10	2573	86073	61258

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.13 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด2	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	179.73	122.304	69.11	72.39
2	179.73	61.338	47.741	49.035
3	179.73	39.772	34.374	40.376
4	179.73	27.067	26.939	36.171
5	179.73	20.891	25.055	33.443
6	179.73	17.178	23.99	30.657
7	179.73	14.268	23.99	29.824
8	179.73	12.678	23.99	27.726
9	179.73	12.448	23.99	23.92
10	179.73	11.915	23.99	23.92
20	179.73	11.882	23.99	13.328
30	179.73	11.882	23.99	13.217
40	179.73	11.882	23.99	13.217
50	179.73	11.882	23.99	13.217

ตารางที่ ง.14 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด2	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	170	7651	5978
2	15	230	16774	10224
3	15	470	23904	16103
4	15	480	30974	21360
5	15	690	40648	27589
6	15	911	47548	31805
7	15	1011	56421	38054
8	15	1251	66816	43342
9	15	1311	75118	47838
10	15	1511	84852	55219
20	15	3034	185216	110208
30	15	4396	247966	168972
40	15	6259	337565	225253
50	15	7931	423158	279321

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.15 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด2	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	281.29	194.752	105.008	113.512
2	281.29	107.308	70.979	71.389
3	281.29	71.54	46.125	53.288
4	281.29	64.846	36.781	42.224
5	281.29	60.052	34.485	38.364
6	281.29	54.876	34.051	27.534
7	281.29	40.871	32.395	26.422
8	281.29	38.078	29.644	23.301
9	281.29	36.004	27.129	21.351
10	281.29	32.279	23.69	20.53
20	281.29	21.306	10.64	4.422
30	281.29	21.306	1.59	4.422
40	281.29	21.306	1.59	4.422
50	281.29	21.306	1.59	4.422

ตารางที่ ง.6 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่2 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด2	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	280	26387	16413
2	20	711	53577	32927
3	20	981	79294	49381
4	20	1361	107184	67046
5	20	1592	134693	83079
6	20	1862	163505	99983
7	20	2503	192206	119782
8	20	2663	221869	137637
9	20	3214	269637	151507
10	20	3234	293592	185947
20	20	7801	600813	344014
30	20	10525	918590	507669
40	20	14350	1219253	764412
50	20	17505	1669530	875599

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.17 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด3	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	55.305	32.048	25.399	19.602
2	55.305	25.399	14.248	13.902
3	55.305	19.849	8.164	13.735
4	55.305	18.799	8.139	13.735
5	55.305	18.799	8.139	13.902
6	55.305	13.968	8.139	13.902
7	55.305	13.735	8.139	13.902
8	55.305	13.735	8.164	13.902
9	55.305	13.735	8.164	13.902
10	55.305	13.735	8.164	13.902
20	55.305	13.735	8.164	12.913
30	55.305	13.735	8.164	12.913
40	55.305	13.735	8.164	12.913
50	55.305	13.735	8.164	12.913

ตารางที่ ง.18 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด3	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	5	140	90
2	5	10	230	250
3	5	20	360	430
4	5	30	580	450
5	5	40	761	480
6	5	45	861	650
7	5	50	1161	731
8	5	60	1311	821
9	5	70	1392	911
10	5	90	1412	951
20	5	220	2874	1882
30	5	280	4456	3034
40	5	410	5748	4165
50	5	430	8211	5077

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.19 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด3	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	100.089	52.418	42.935	37.335
2	100.089	42.935	19.653	19.874
3	100.089	33.783	16.28	15.699
4	100.089	29.058	14.407	14.005
5	100.089	25.455	13.625	13.772
6	100.089	25.348	13.625	13.772
7	100.089	24.214	13.625	13.772
8	100.089	24.214	13.625	13.735
9	100.089	24.214	13.625	13.735
10	100.089	24.214	13.625	13.735
20	100.089	21.874	13.465	13.735
30	100.089	21.874	13.465	13.735
40	100.089	21.874	13.465	13.735
50	100.089	21.874	13.465	13.735

ตารางที่ ง.20 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด3	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	30	1512	921
2	10	70	3094	2052
3	10	120	4566	3344
4	10	200	6188	3975
5	10	220	7701	5077
6	10	280	8752	6148
7	10	305	10575	7180
8	10	380	12257	8261
9	10	402	13789	9233
10	10	500	14731	9974
20	10	891	30333	21540
30	10	1402	45265	30944
40	10	2223	60356	41669
50	10	2393	75869	50011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.21 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด3	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	201.445	124.05	106.435	100.497
2	201.445	83.061	59.399	47.761
3	201.445	64.786	28.193	23.069
4	201.445	53.419	16.227	18.519
5	201.445	39.73	13.497	17.028
6	201.445	34.186	12.798	17.028
7	201.445	31.772	12.448	17.028
8	201.445	31.612	12.448	17.028
9	201.445	30.562	12.448	17.028
10	201.445	20.438	12.448	17.028
20	201.445	20.438	12.448	13.735
30	201.445	20.438	12.448	13.735
40	201.445	20.438	12.448	13.735
50	201.445	20.438	12.448	13.735

ตารางที่ ง.22 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด3	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	120	6949	4356
2	15	250	13910	9373
3	15	340	20179	13128
4	15	450	27980	18797
5	15	741	34629	22452
6	15	821	44073	27429
7	15	1011	51994	31635
8	15	1111	60176	36762
9	15	1231	67617	40548
10	15	1402	75178	47107
20	15	3094	152579	93784
30	15	3875	235668	141233
40	15	5117	317586	187459
50	15	6429	402628	237501

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.23 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด3	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	254.236	151.151	126.423	121.671
2	254.236	84.415	62.823	48.232
3	254.236	64.786	28.193	23.069
4	254.236	53.419	16.227	18.519
5	254.236	39.73	13.497	17.028
6	254.236	34.186	12.798	17.028
7	254.236	31.772	12.448	17.028
8	254.236	31.612	12.448	17.028
9	254.236	30.562	12.448	17.028
10	254.236	30.562	12.448	17.028
20	254.236	20.438	12.448	13.735
30	254.236	20.438	12.448	13.735
40	254.236	20.438	12.448	13.735
50	254.236	20.438	12.448	13.735

ตารางที่ ง.24 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่3 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด3	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	290	23804	13920
2	20	630	48249	29212
3	20	931	72173	41870
4	20	1351	98992	56791
5	20	1722	125600	72544
6	20	1982	145409	87395
7	20	2002	169413	100164
8	20	2463	199947	111960
9	20	2623	225123	129676
10	20	2874	253935	148413
20	20	6208	523142	293041
30	20	9443	798758	422116
40	20	12277	1091359	515070
50	20	14771	1394795	626210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.25 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด4	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	9.76	6.81	6.449	6.81
2	9.76	6.449	5.798	6.449
3	9.76	5.86	5.426	5.86
4	9.76	5.86	5.426	5.86
5	9.76	5.86	5.426	5.86
6	9.76	5.86	5.426	5.86
7	9.76	5.86	5.426	5.86
8	9.76	5.86	5.426	5.86
9	9.76	5.86	5.426	5.86
10	9.76	5.86	5.426	5.86
20	9.76	5.86	5.426	5.86
30	9.76	5.86	5.426	5.86
40	9.76	5.86	5.426	5.86
50	9.76	5.86	5.426	5.86

ตารางที่ ง.26 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด4	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	20	190	90
2	5	25	260	170
3	5	30	430	330
4	5	35	570	360
5	5	40	771	420
6	5	55	861	550
7	5	60	1021	670
8	5	70	1221	751
9	5	100	1412	871
10	5	150	1972	971
20	5	190	2573	2052
30	5	210	3975	2864
40	5	300	6138	3565
50	5	420	7270	4947

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.27 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด4	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	54.2	33.543	31.496	33.543
2	54.2	26.564	17.095	24.948
3	54.2	23.548	12.857	22.01
4	54.2	21.328	10.9	21.32
5	54.2	20.665	10.653	20.39
6	54.2	19.842	6.569	17.511
7	54.2	19.303	5.86	17.008
8	54.2	19.303	5.426	16.263
9	54.2	19.409	5.426	16.263
10	54.2	19.409	5.426	16.263
20	54.2	19.409	5.426	7.916
30	54.2	19.409	5.426	7.916
40	54.2	19.409	5.426	7.916
50	54.2	19.409	5.426	7.916

ตารางที่ ง.28 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด4	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	40	1472	881
2	10	90	2894	1832
3	10	140	4646	2663
4	10	150	6439	3625
5	10	220	8191	4626
6	10	240	9884	5237
7	10	300	11566	6419
8	10	360	12908	7280
9	10	402	14370	7821
10	10	430	16163	9383
20	10	941	33628	18616
30	10	1512	49290	27699
40	10	2022	66755	37543
50	10	2703	85032	46987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.29 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด4	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	103.141	68.176	63.116	68.176
2	103.141	56.24	34.289	48.078
3	103.141	49.302	16.927	33.807
4	103.141	44.256	14.39	29.364
5	103.141	41.556	13.012	26.485
6	103.141	39.839	10.11	25.152
7	103.141	38.49	10.11	18.698
8	103.141	37.86	7.864	12.635
9	103.141	34.153	7.441	11.784
10	103.141	34.153	7.396	11.459
20	103.141	34.153	5.876	11.423
30	103.141	34.153	5.876	11.423
40	103.141	34.153	5.876	11.423
50	103.141	34.153	5.876	11.423

ตารางที่ ง.30 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด4	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	460	8041	3875
2	15	490	15972	8021
3	15	500	23123	11816
4	15	510	30984	16533
5	15	660	38505	20859
6	15	751	45986	24224
7	15	861	54878	28280
8	15	931	63801	32987
9	15	1151	72744	37604
10	15	1351	80846	41229
20	15	3404	159869	84471
30	15	5197	250039	125881
40	15	5437	342312	167290
50	15	6619	418221	204353

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.31 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด4	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	138.428	89.781	83.373	89.781
2	138.428	74.072	44.012	58.71
3	138.428	59.485	17.747	51.242
4	138.428	50.586	14.39	45.48
5	138.428	46.798	13.095	44.09
6	138.428	44.352	10.276	43.93
7	138.428	40.913	10.276	43.29
8	138.428	36.652	7.781	43.29
9	138.428	33.824	7.781	43.29
10	138.428	33.824	7.781	33.997
20	138.428	33.824	6.136	24.756
30	138.428	33.824	5.976	24.577
40	138.428	33.824	5.976	24.577
50	138.428	33.824	5.976	24.577

ตารางที่ ง.32 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด4	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	270	24324	12317
2	20	620	50332	24425
3	20	941	74887	36182
4	20	1321	98501	49120
5	20	1612	121634	62369
6	20	1902	149655	73756
7	20	2082	175612	87435
8	20	2683	200338	99302
9	20	3124	228528	113232
10	20	4804	253424	128755
20	20	6279	507599	255297
30	20	9884	771950	383551
40	20	13259	1023001	513408
50	20	18446	1245360	649614

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.33 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด5	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	34.879	24.082	27.59	29.259
2	34.879	18.2065	23.945	27.599
3	34.879	13.581	23.945	21.1
4	34.879	12.556	19.926	16.852
5	34.879	12.0185	15.324	16.179
6	34.879	9.603	15.324	16.179
7	34.879	9.4865	15.324	16.179
8	34.879	8.974	15.324	16.179
9	34.879	8.974	15.324	16.179
10	34.879	8.974	15.324	16.179
20	34.879	8.974	15.324	16.179
30	34.879	8.879	15.324	16.179
40	34.879	8.879	15.324	16.179
50	34.879	8.879	15.324	16.179

ตารางที่ ง.34 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด5	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	10	140	70
2	5	20	260	140
3	5	30	410	220
4	5	35	640	310
5	5	47	680	430
6	5	51	871	450
7	5	53	961	660
8	5	60	1151	723
9	5	100	1301	751
10	5	120	1422	871
20	5	150	2884	1862
30	5	300	4766	2333
40	5	370	6379	2994
50	5	490	8642	3695

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.35 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด5	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	64.319	50.461	46.256	50.461
2	64.319	48.115	34.632	44.556
3	64.319	44.733	30.575	43.06
4	64.319	44.576	29.324	42.583
5	64.319	40.272	27.686	38.599
6	64.319	40.272	27.686	38.599
7	64.319	40.272	27.686	38.599
8	64.319	40.272	27.686	38.599
9	64.319	40.272	27.686	38.599
10	64.319	40.272	27.686	38.599
20	64.319	40.272	27.686	38.599
30	64.319	40.272	27.686	38.599
40	64.319	40.272	27.686	38.599
50	64.319	40.272	27.686	38.599

ตารางที่ ง.36 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด5	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	40	1802	991
2	10	100	3695	1612
3	10	140	4696	2343
4	10	180	7110	3454
5	10	250	8932	4476
6	10	270	10204	5678
7	10	320	12407	6559
8	10	390	14871	7200
9	10	490	15772	8772
10	10	543	17244	9372
20	10	851	35921	17775
30	10	1361	52555	27068
40	10	1732	69790	36292
50	10	2513	84010	46046

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.37 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด5	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	86.146	56.208	52.64	56.208
2	86.146	49.066	48.195	46.905
3	86.146	47.954	37.018	35.115
4	86.146	47.836	35.263	32.694
5	86.146	47.836	32.866	32.191
6	86.146	47.836	32.616	32.191
7	86.146	47.836	32.616	32.191
8	86.146	47.836	32.616	32.191
9	86.146	47.836	32.616	32.191
10	86.146	47.836	32.616	32.191
20	86.146	47.836	32.616	32.191
30	86.146	47.836	32.616	32.191
40	86.146	47.836	32.616	32.191
50	86.146	47.836	32.616	32.191

ตารางที่ ง.38 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด5	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	140	6970	4075
2	15	320	14991	7971
3	15	420	23403	11316
4	15	680	31955	16533
5	15	911	37373	20239
6	15	953	48159	23573
7	15	991	54378	28861
8	15	1211	61989	31274
9	15	1412	69119	36873
10	15	1542	76880	39997
20	15	3194	151227	81757
30	15	4206	241877	120833
40	15	6058	304708	171957
50	15	8482	399784	199607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.39 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด5	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	129.86	70.189	63.323	70.189
2	129.86	57.16	54.918	56.158
3	129.86	52.39	51.211	47.738
4	129.86	50.121	48.167	36.599
5	129.86	48.14	44.228	33.864
6	129.86	47.871	40.393	32.87
7	129.86	47.836	40.274	30.493
8	129.86	47.836	35.138	26.428
9	129.86	47.836	32.42	21.697
10	129.86	47.836	31.912	21.263
20	129.86	47.836	31.336	21.04
30	129.86	47.836	31.336	21.04
40	129.86	47.836	31.336	21.04
50	129.86	47.836	31.336	21.04

ตารางที่ ง.40 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่5 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด5	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	310	22722	11907
2	20	680	45725	24605
3	20	1141	70891	35280
4	20	1281	93634	48820
5	20	1582	117849	68879
6	20	1792	141072	74256
7	20	2133	176363	85252
8	20	2743	185026	96118
9	20	3264	211484	117559
10	20	3655	241707	121765
20	20	6970	482043	252503
30	20	11045	723680	365295
40	20	14020	985947	488322
50	20	17905	1230629	618339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.41 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด6	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	4.76	1.169	1.169	1.169
2	4.76	1.007	1.007	1.007
3	4.76	1.007	1.007	1.007
4	4.76	1.007	1.007	1.007
5	4.76	1.007	1.007	1.007
6	4.76	1.007	1.007	1.007
7	4.76	1.007	1.007	1.007
8	4.76	1.007	1.007	1.007
9	4.76	1.007	1.007	1.007
10	4.76	1.007	1.007	1.007
20	4.76	1.007	1.007	1.007
30	4.76	1.007	1.007	1.007
40	4.76	1.007	1.007	1.007
50	4.76	1.007	1.007	1.007

ตารางที่ ง.42 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด6	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	10	160	80
2	5	16	470	170
3	5	20	520	310
4	5	30	601	320
5	5	35	761	380
6	5	40	1041	470
7	5	45	1472	620
8	5	50	1682	670
9	5	70	1962	721
10	5	80	2092	841
20	5	220	3745	1712
30	5	330	6078	2583
40	5	350	7310	3075
50	5	500	8281	4075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.43 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด6	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	4.76	1.169	1.169	1.169
2	4.76	1.007	1.007	1.007
3	4.76	1.007	1.007	1.007
4	4.76	1.007	1.007	1.007
5	4.76	1.007	1.007	1.007
6	4.76	1.007	1.007	1.007
7	4.76	1.007	1.007	1.007
8	4.76	1.007	1.007	1.007
9	4.76	1.007	1.007	1.007
10	4.76	1.007	1.007	1.007
20	4.76	1.007	1.007	1.007
30	4.76	1.007	1.007	1.007
40	4.76	1.007	1.007	1.007
50	4.76	1.007	1.007	1.007

ตารางที่ ง.44 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด6	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	50	1732	851
2	10	90	3605	1722
3	10	130	5628	2623
4	10	190	7080	3995
5	10	200	8882	4516
6	10	250	11236	5197
7	10	390	12738	5708
8	10	460	14580	7360
9	10	510	16433	7671
10	10	660	17975	8622
20	10	1091	36652	18797
30	10	1632	55489	26187
40	10	2082	73806	36051
50	10	2283	96959	45485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.45 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด6	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	22.93	10.494	6.079	6.079
2	22.93	4.697	1.923	2.328
3	22.93	1.484	0.908	1.007
4	22.93	1.007	0.908	1.007
5	22.93	1.007	0.908	1.007
6	22.93	1.007	0.908	1.007
7	22.93	1.007	0.908	1.007
8	22.93	1.007	0.908	1.007
9	22.93	1.007	0.908	1.007
10	22.93	1.007	0.908	1.007
20	22.93	1.007	0.908	1.007
30	22.93	1.007	0.908	1.007
40	22.93	1.007	0.908	1.007
50	22.93	1.007	0.908	1.007

ตารางที่ ง.46 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด6	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	150	8291	4015
2	15	330	17815	8001
3	15	390	27159	12357
4	15	470	33988	15792
5	15	751	43813	22432
6	15	931	53737	26347
7	15	1091	63641	27759
8	15	1161	71653	32466
9	15	1201	83770	39927
10	15	1922	90149	41649
20	15	3004	180189	77511
30	15	4826	279031	141823
40	15	5628	374448	169403
50	15	8101	469134	206827

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.47 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด6	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	59.835	32.248	13.253	17.947
2	59.835	17.583	6.095	8.682
3	59.835	12.36	2.085	4.587
4	59.835	9.941	1.923	2.987
5	59.835	6.54	1.096	1.988
6	59.835	4.44	0.908	1.923
7	59.835	2.475	0.908	1.923
8	59.835	1.698	0.908	1.923
9	59.835	1.007	0.908	1.923
10	59.835	1.007	0.908	1.923
20	59.835	1.007	0.908	0.908
30	59.835	1.007	0.908	0.908
40	59.835	1.007	0.908	0.908
50	59.835	1.007	0.908	0.908

ตารางที่ ง.48 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่6 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด6	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	380	27980	11776
2	20	821	54608	25176
3	20	1161	82138	37443
4	20	1502	111129	49821
5	20	1673	136396	62299
6	20	2032	166399	74467
7	20	2153	190423	87455
8	20	2683	216030	98241
9	20	3845	247425	112802
10	20	4373	276036	124659
20	20	7450	541919	251752
30	20	10905	792219	492688
40	20	14070	1069097	593553
50	20	23603	1235406	647060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.49 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด7	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	7.03	3.739	3.739	3.739
2	7.03	3.739	3.739	3.739
3	7.03	3.739	3.739	3.739
4	7.03	2.858	2.858	2.858
5	7.03	2.858	2.858	2.858
6	7.03	2.858	2.858	2.858
7	7.03	2.858	2.858	2.858
8	7.03	2.858	2.858	2.858
9	7.03	2.858	2.858	2.858
10	7.03	2.858	2.858	2.858
20	7.03	2.858	2.858	2.858
30	7.03	2.858	2.858	2.858
40	7.03	2.858	2.858	2.858
50	7.03	2.858	2.858	2.858

ตารางที่ ง.50 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด7	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	4	160	80
2	5	12	470	170
3	5	20	520	310
4	5	30	600	320
5	5	37	761	380
6	5	40	1041	470
7	5	45	1472	620
8	5	50	1682	750
9	5	70	1962	821
10	5	80	2092	841
20	5	220	3745	1712
30	5	330	6078	2583
40	5	350	7310	3075
50	5	500	8281	4075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.51 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด7	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	9.66	3.739	3.739	3.739
2	9.66	3.739	3.739	3.739
3	9.66	3.739	3.739	3.739
4	9.66	3.739	3.739	3.739
5	9.66	3.739	3.739	3.739
6	9.66	3.739	3.739	3.739
7	9.66	3.739	3.739	3.739
8	9.66	3.739	3.739	3.739
9	9.66	3.739	3.739	3.739
10	9.66	3.739	3.225	3.739
20	9.66	2.858	2.858	3.739
30	9.66	2.858	2.858	3.739
40	9.66	2.858	2.858	3.739
50	9.66	2.858	2.858	3.739

ตารางที่ ง.52 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด7	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	50	1732	851
2	10	90	3605	1722
3	10	130	5628	2623
4	10	190	7080	3995
5	10	200	8882	4516
6	10	250	11236	5197
7	10	390	12738	5708
8	10	460	14580	7360
9	10	510	16433	7671
10	10	660	17975	8622
20	10	1091	36652	18797
30	10	1632	55489	26187
40	10	2082	73806	36051
50	10	2283	96959	45485

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.53 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด7	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	110.259	49.591	37.428	34.892
2	110.259	42.336	21.155	22.311
3	110.259	17.895	16.385	16.194
4	110.259	16.727	12.787	11.18
5	110.259	16.687	9.781	7.371
6	110.259	16.587	9.536	4.598
7	110.259	16.587	7.724	3.739
8	110.259	16.587	4.278	3.739
9	110.259	16.587	3.739	3.739
10	110.259	16.587	3.739	3.739
20	110.259	16.587	3.739	3.739
30	110.259	16.587	3.739	3.739
40	110.259	16.587	3.739	3.739
50	110.259	16.587	3.739	3.739

ตารางที่ ง.54 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด7	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	150	8291	4015
2	15	330	17815	8001
3	15	390	27159	12357
4	15	470	33988	15792
5	15	751	43813	22432
6	15	931	53737	26347
7	15	1091	63641	27759
8	15	1161	71653	32466
9	15	1201	83770	39927
10	15	1922	90149	41649
20	15	3004	180189	77511
30	15	4826	279031	141823
40	15	5628	374448	169403
50	15	8101	469134	206827

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.55 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด7	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	237.732	120.567	85.483	85.307
2	237.732	84.271	46.51	55.906
3	237.732	79.165	29.88	37.588
4	237.732	35.056	21.407	30.107
5	237.732	32.827	18.765	23.341
6	237.732	28.627	17.192	17.887
7	237.732	26.872	15.689	16.288
8	237.732	24.835	14.618	16.172
9	237.732	23.976	10.471	16.172
10	237.732	23.976	10.061	16.172
20	237.732	23.976	10.011	3.106
30	237.732	22.702	10.011	3.106
40	237.732	22.702	10.011	3.106
50	237.732	22.702	10.011	3.106

ตารางที่ ง.56 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่7 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด7	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	380	27980	11776
2	20	821	54608	25176
3	20	1161	82138	37443
4	20	1502	111129	49821
5	20	1873	136396	62299
6	20	2032	166399	74467
7	20	2153	190423	87455
8	20	2683	216030	98241
9	20	3845	247425	112802
10	20	4373	276036	124659
20	20	7450	541919	251752
30	20	10905	792219	492688
40	20	14070	1069097	593553
50	20	23603	1235406	647060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.57 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด8	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5.806	5.222	5.222	5.222
2	5.806	3.622	3.622	3.622
3	5.806	3.28	3.28	3.28
4	5.806	3.28	3.28	3.28
5	5.806	3.28	3.28	3.28
6	5.806	3.28	3.28	3.28
7	5.806	3.28	3.28	3.28
8	5.806	3.28	3.28	3.28
9	5.806	3.28	3.28	3.28
10	5.806	3.28	3.28	3.28
20	5.806	3.28	3.28	3.28
30	5.806	3.28	3.28	3.28
40	5.806	3.28	3.28	3.28
50	5.806	3.28	3.28	3.28

ตารางที่ ง.58 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด8	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	7	120	70
2	5	16	290	160
3	5	20	330	280
4	5	30	480	570
5	5	34	660	610
6	5	40	721	615
7	5	42	941	620
8	5	54	991	721
9	5	60	1251	740
10	5	70	1301	821
20	5	140	2503	1732
30	5	210	4326	2593
40	5	350	5818	3414
50	5	440	6799	4306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.59 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด8	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	19.163	14.082	12.37	14.082
2	19.163	12.864	9.302	12.864
3	19.163	12.099	6.547	12.099
4	19.163	12.099	5.983	12.099
5	19.163	12.099	5.983	12.099
6	19.163	12.099	5.983	12.099
7	19.163	12.099	3.561	12.099
8	19.163	12.099	3.28	12.099
9	19.163	12.099	3.28	12.099
10	19.163	12.099	3.28	12.099
20	19.163	12.099	3.28	12.099
30	19.163	12.099	3.28	12.099
40	19.163	12.099	3.28	12.099
50	19.163	12.099	3.28	12.099

ตารางที่ ง.60 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่4 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด8	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	40	1392	881
2	10	70	2753	1692
3	10	100	4336	2784
4	10	150	5568	3485
5	10	220	6929	4356
6	10	240	8221	5317
7	10	270	9954	6559
8	10	285	11616	7050
9	10	290	12678	8081
10	10	340	13960	9243
20	10	851	28961	17955
30	10	1151	44053	27319
40	10	1572	58834	35601
50	10	1902	74937	45104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.61 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด8	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	44.866	24.443	24.443	24.443
2	44.866	18.883	17.231	18.883
3	44.866	17.356	15.644	16.003
4	44.866	14.93	13.19	14.93
5	44.866	14.568	7.847	14.871
6	44.866	12.864	6.752	14.871
7	44.866	12.864	6.145	14.871
8	44.866	12.864	6.115	14.011
9	44.866	12.864	6.115	14.011
10	44.866	12.864	6.115	14.011
20	44.866	12.864	5.821	6.242
30	44.866	12.864	5.821	3.6
40	44.866	12.864	5.821	3.6
50	44.866	12.864	5.821	3.6

ตารางที่ ง.62 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด8	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	150	7190	3845
2	15	230	13319	7691
3	15	280	20549	11706
4	15	390	27659	15672
5	15	650	34589	20148
6	15	680	42330	23183
7	15	731	49451	27910
8	15	911	57462	31415
9	15	1071	64773	36472
10	15	1131	72073	39156
20	15	2433	147401	79524
30	15	3665	225664	119952
40	15	5267	310176	158728
50	15	6018	388248	201019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.63 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด8	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	95.449	47.595	44.843	47.058
2	95.449	36.715	22.492	29.156
3	95.449	28.909	18.628	27.34
4	95.449	26.107	11.702	25.921
5	95.449	17.359	9.236	25.878
6	95.449	16.302	7.335	25.878
7	95.449	16.184	6.449	25.878
8	95.449	13.305	6.278	25.775
9	95.449	13.305	6.278	20.84
10	95.449	13.305	6.278	13.446
20	95.449	13.305	4.58	7.192
30	95.449	13.305	3.742	3.769
40	95.449	13.305	3.28	3.769
50	95.449	13.305	3.28	3.769

ตารางที่ ง.64 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่8 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด8	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	240	23213	11536
2	20	480	46536	24254
3	20	861	69970	35821
4	20	1271	94656	48139
5	20	1392	119261	59545
6	20	1602	142585	71793
7	20	1912	166970	84161
8	20	2173	190684	96008
9	20	2363	211253	107554
10	20	3054	238262	118880
20	20	5928	480400	241707
30	20	8291	725262	369170
40	20	11025	966029	491646
50	20	13889	1219663	604779

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.65 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด9	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	6.111	2.423	2.423	2.423
2	6.111	2.423	1.373	1.373
3	6.111	1.373	1.373	1.373
4	6.111	1.373	1.373	1.373
5	6.111	1.373	1.373	1.373
6	6.111	1.373	1.373	1.373
7	6.111	1.373	1.373	1.373
8	6.111	1.373	1.373	1.373
9	6.111	1.373	1.373	1.373
10	6.111	1.373	1.373	1.373
20	6.111	1.373	1.373	1.373
30	6.111	1.373	1.373	1.373
40	6.111	1.373	1.373	1.373
50	6.111	1.373	1.373	1.373

ตารางที่ ง.66 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด9	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	9	130	80
2	5	20	240	250
3	5	26	370	280
4	5	30	610	360
5	5	42	711	470
6	5	50	921	520
7	5	54	1021	631
8	5	61	1111	721
9	5	80	1201	1141
10	5	94	1291	1921
20	5	130	3174	1942
30	5	240	4045	2733
40	5	450	5858	3965
50	5	460	6909	4656

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.67 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด9	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	6.517	4.779	4.029	4.029
2	6.517	2.764	2.591	2.591
3	6.517	2.423	1.373	1.629
4	6.517	2.423	1.373	1.373
5	6.517	1.373	1.373	1.373
6	6.517	1.373	1.373	1.373
7	6.517	1.373	1.373	1.373
8	6.517	1.373	1.373	1.373
9	6.517	1.373	1.373	1.373
10	6.517	1.373	1.373	1.373
20	6.517	1.373	1.373	1.373
30	6.517	1.373	1.373	1.373
40	6.517	1.373	1.373	1.373
50	6.517	1.373	1.373	1.373

ตารางที่ ง.68 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด9	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	40	1381	981
2	10	70	2884	1762
3	10	100	4286	2713
4	10	150	5888	3655
5	10	190	7891	4536
6	10	230	9293	5618
7	10	245	10104	6980
8	10	280	11636	7390
9	10	330	13529	10044
10	10	450	14891	10503
20	10	891	30093	18847
30	10	1301	45295	29852
40	10	1652	63931	37614
50	10	2183	77681	47798

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.69 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด9	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	7.707	5.468	5.468	5.468
2	7.707	5.079	5.079	5.079
3	7.707	5.079	5.079	5.079
4	7.707	5.079	5.079	5.079
5	7.707	5.079	5.079	5.079
6	7.707	5.079	5.079	5.079
7	7.707	5.079	5.079	5.079
8	7.707	5.079	5.079	5.079
9	7.707	5.079	5.079	5.079
10	7.707	5.079	5.079	5.079
20	7.707	5.079	5.079	5.079
30	7.707	5.079	5.079	5.079
40	7.707	5.079	2.423	5.079
50	7.707	5.079	1.373	5.079

ตารางที่ ง.70 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด9	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	120	7510	4105
2	15	250	14060	8682
3	15	370	22251	12497
4	15	741	29532	16623
5	15	840	37864	20539
6	15	901	44954	26247
7	15	1051	53336	29131
8	15	1131	59795	34359
9	15	1311	68378	37804
10	15	1582	77090	42651
20	15	2824	156535	86544
30	15	4216	232604	127333
40	15	5547	312289	169423
50	15	7300	400185	211043

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.71 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด9	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	11.535	6.128	6.128	6.128
2	11.535	5.468	5.079	5.468
3	11.535	5.079	5.079	5.079
4	11.535	5.079	5.079	5.079
5	11.535	5.079	5.079	5.079
6	11.535	5.079	5.079	5.079
7	11.535	5.079	5.079	5.079
8	11.535	5.079	5.079	5.079
9	11.535	5.079	5.079	5.079
10	11.535	5.079	5.079	5.079
20	11.535	5.079	5.079	5.079
30	11.535	5.079	5.079	5.079
40	11.535	5.079	5.079	5.079
50	11.535	5.079	5.079	5.079

ตารางที่ ง.72 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่9 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด9	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	380	24014	12618
2	20	520	48069	25797
3	20	921	72844	38905
4	20	1121	96769	51784
5	20	1542	122736	66034
6	20	1742	147702	76870
7	20	1992	174991	88637
8	20	2363	201780	101686
9	20	2743	229640	115405
10	20	3194	254455	127323
20	20	6299	501120	257470
30	20	8782	750218	386966
40	20	12898	1022199	519086
50	20	15722	1285047	647991

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.73 เวลาล่าช้ารวมที่ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด10	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	2.715	2.715	2.053	2.555
2	2.715	2.555	2.053	2.053
3	2.715	2.555	2.053	2.053
4	2.715	2.555	2.041	2.053
5	2.715	2.053	1.953	2.041
6	2.715	2.053	1.953	1.953
7	2.715	2.053	1.953	1.953
8	2.715	2.041	1.953	1.953
9	2.715	2.041	1.953	1.953
10	2.715	2.041	1.953	1.953
20	2.715	2.041	1.953	1.953
30	2.715	1.953	1.953	1.953
40	2.715	1.953	1.953	1.953
50	2.715	1.953	1.953	1.953

ตารางที่ ง.74 เวลาในการค้นหาคำตอบ 20 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด10	20งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	5	3	150	90
2	5	12	340	210
3	5	17	430	270
4	5	30	520	400
5	5	34	711	510
6	5	40	791	570
7	5	60	1001	670
8	5	65	1141	741
9	5	73	1281	891
10	5	89	1301	921
20	5	180	4095	1972
30	5	280	5794	3525
40	5	410	7502	3725
50	5	440	8021	4766

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.75 เวลาล่าช้ารวมที่ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่ 10 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด10	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	9.462	2.715	2.715	2.715
2	9.462	2.715	2.498	2.555
3	9.462	2.555	2.498	2.555
4	9.462	2.555	2.498	2.555
5	9.462	2.555	2.498	2.555
6	9.462	2.555	2.498	2.555
7	9.462	2.555	2.498	2.555
8	9.462	2.053	2.498	2.555
9	9.462	1.953	2.498	2.053
10	9.462	1.953	2.498	2.053
20	9.462	1.953	2.338	1.953
30	9.462	1.953	1.953	1.953
40	9.462	1.953	1.953	1.953
50	9.462	1.953	1.953	1.953

ตารางที่ ง.76 เวลาในการค้นหาคำตอบ 40 งาน จากข้อมูลชุดที่ 10 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด10	40งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	10	50	2082	961
2	10	70	3084	1872
3	10	140	5147	2924
4	10	170	6339	4296
5	10	250	7761	4856
6	10	360	9673	5768
7	10	410	11356	6679
8	10	425	12778	8081
9	10	440	14450	9413
10	10	480	16704	10725
20	10	1251	32026	20960
30	10	1832	49521	29933
40	10	2213	67497	40478
50	10	2894	84100	50021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.77 เวลาล่าช้ารวมที่ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่ 10 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด10	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	9.462	2.715	2.715	2.715
2	9.462	2.715	2.498	2.555
3	9.462	2.555	2.498	2.555
4	9.462	2.555	2.498	2.555
5	9.462	2.555	2.498	2.555
6	9.462	2.555	2.498	2.555
7	9.462	2.555	2.498	2.555
8	9.462	2.053	2.498	2.555
9	9.462	1.953	2.498	2.053
10	9.462	1.953	2.498	2.053
20	9.462	1.953	2.338	1.953
30	9.462	1.953	1.953	1.953
40	9.462	1.953	1.953	1.953
50	9.462	1.953	1.953	1.953

ตารางที่ ง.78 เวลาในการค้นหาคำตอบ 60 งาน จากข้อมูลชุดที่ 10 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด10	60งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	15	110	7550	4446
2	15	290	15852	8762
3	15	480	23083	12728
4	15	560	31705	17575
5	15	590	39556	20970
6	15	841	47558	25346
7	15	921	56250	30073
8	15	1011	64442	34209
9	15	1171	72003	38255
10	15	1351	80405	42671
20	15	2894	164867	85022
30	15	4216	251671	129676
40	15	5818	334851	169493
50	15	6960	427855	211944

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.79 เวลาล่าช้ารวมที่ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นชั่วโมง

ชุด10	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	13.941	2.782	2.782	2.782
2	13.941	2.715	2.498	2.555
3	13.941	2.555	2.498	2.555
4	13.941	2.555	2.498	2.555
5	13.941	2.555	2.498	2.555
6	13.941	2.555	2.498	2.555
7	13.941	2.555	2.498	2.555
8	13.941	2.053	2.498	2.555
9	13.941	1.953	2.498	2.053
10	13.941	1.953	2.498	2.053
20	13.941	1.953	2.338	1.953
30	13.941	1.953	1.953	1.953
40	13.941	1.953	1.953	1.953
50	13.941	1.953	1.953	1.953

ตารางที่ ง.80 เวลาในการค้นหาคำตอบ 80 งาน จากข้อมูลชุดที่10 หน่วยเป็นมิลลิวินาที

ชุด10	80งาน			
	วิธีดั้งเดิม	Single Adj	Inserting	Swap pair
1	20	310	25706	12548
2	20	590	50712	26067
3	20	841	75909	37483
4	20	1211	103058	50773
5	20	1422	128164	63000
6	20	1702	154952	74086
7	20	2093	181851	86644
8	20	2343	209581	99533
9	20	2673	234427	110779
10	20	4716	261906	122225
20	20	6399	527708	250770
30	20	9663	804777	383120
40	20	12447	1050330	543040
50	20	15241	1343832	676542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	อาคม เหลืองวิทยากร
วัน เดือน ปีเกิด	5 ตุลาคม พ.ศ.2527 กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	145/26 เทอดไท49 ปากคลองภาษีเจริญ ภาษีเจริญ กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การเก็บข้อมูลด้านทรัพยากรบุคคลในองกรและนำมาประเมินผล 2.) ทฤษฎีการบริหารโครงการ

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2553-ปัจจุบัน	บริษัท Teamwork Solution ตำแหน่งเจ้าหน้าที่วางแผนด้านทรัพยากรบุคคล และเป็นทีมงานผู้ออกแบบกระบวนการเพื่อลดความสูญเปล่าในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้