# การออกแบบการวางผังเครื่องจักรด้วยส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้

**Machine Layout Design with GUI**

นายทำนุ ร้อยกรอง รหัสนิสิต 49360648
นายอำนาจ น้อยพงษ์ รหัสนิสิต 49362550

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 17 พ.ย. 2554
เลขทะเบียน 15705770
เลขเรียกหนังสือ วส
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว422ก
2552

**ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**
**สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์**
**คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**
**ปีการศึกษา 2552**

15705770
วส
ว422ก
2552

# ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **หัวข้อโครงงาน** | การออกแบบการวางผังเครื่องจักรด้วยส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้ | | | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายทำนุ | ร้อยกรอง | รหัส | 49360648 |
| | นายอำนาจ | น้อยพงษ์ | รหัส | 49362550 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต มาลากร | | | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ | | | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ | | | |
| **ปีการศึกษา** | 2552 | | | |

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วน**หนึ่งของ**การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ

( ผศ.ดร.ธนิต มาลากร )

.....กรรมการ

( ดร.วรลักษณ์ คงเค่นฟ้า )

.....กรรมการ

( อาจารย์ภาณุพงศ์ สอนคม )

| | |
|---|---|
| **หัวข้อโครงงาน** | การออกแบบการวางผังเครื่องจักรด้วยส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายทำนุ ร้อยกรอง รหัส 49360648 |
| | นายอำนาจ น้อยพงษ์ รหัส 49362550 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต มาลากร |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ |
| **ปีการศึกษา** | 2552 |

.....

## บทคัดย่อ


การจัดเรียงเครื่องจักรมีบทบาทสำคัญอย่างมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรม การจัดเรียงเครื่องจักรอย่างมีประสิทธิภาพสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการส่งถ่ายวัสดุและความสูญเสียในเรื่องของเวลาลงได้ 10 – 30% ขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ได้ถูกนำเสนอขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อาทิ เช่น การวิเคราะห์อัตราการไหลตามเส้น (FLA) ซิมูเล็ทเต็ด แอนนิลลิง (SA) ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม (GA) หรือ การหาค่าเหมาะที่สุดของกลุ่มมด (ACO) ซึ่งขั้นตอนวิธีส่วนมากมีความยุ่งยากซับซ้อนและยากต่อการทำความเข้าใจ

วัตถุประสงค์หลักของโครงงานนี้คือการพัฒนาโปรแกรมส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (GUI) ในโปรแกรมแมทแลป เพื่อช่วยในการคำนวณของปัญหาการจัดเรียงผังเครื่องจักร—นั่นคือ ปัญหาในการค้นหาการวางผังเครื่องจักรเพื่อที่ระยะทางรวมของการส่งผ่านผลิตภัณฑ์ไปตามเครื่องจักรที่ถูกเรียงไว้มีค่าน้อยที่สุด ตัวอย่างเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าผลเฉลยที่ได้จากโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นตรงกับผลเฉลยที่ได้จากการวิเคราะห์

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Project Title** | Machine Layout Design with GUI | | |
| **Name** | Mr.Tumnu | Roikrong | ID 49360648 |
| | Mr.Amnad | Noipong | ID 49362550 |
| **Project Advisor** | Asst. Prof. Tanit | Malakorn,Ph.D. | |
| **Major** | Computer Engineering | | |
| **Department** | Electrical and Computer Engineering | | |
| **Academic Year** | 2009 | | |


## Abstract

The arrangement of machines in a layout plays an important role in manufacturing processes in terms of cost and time. Having an effective layout can reduce the material handling cost and time-consuming by 10 – 30%. Various algorithms for machine layout design have been proposed in the literature—namely, Flow Line Analysis (FLA), Simulated Annealing (SA), Genetic Algorithm (GA), or Ant Colony Optimization (ACO); most of which are considered to be complicated and difficult to comprehend.

The primary goal of this project is to develop a MATLAB GUI-based program for the computational aids in the machine layout design problem—the problem of finding the layout of machines so that the total distance of all product flows moving through machines is minimized. Numerical examples illustrate that the results obtained by the developed program and by analysis are identical.

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเรื่องการออกแบบการวางผังเครื่องจักรด้วยส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนิต มาลากร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงงานนี้ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษา และช่วยแนะนำวิธีการสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้(GUI) โดยใช้โปรแกรมแมทแลป ตลอดจนสละเวลาอันมีค่าเพื่อตรวจสอบและแก้ไขจุดบกพร่องต่าง ๆ และอนุญาตให้เข้าพบเพื่อขอรับคำปรึกษาด้วยความเต็มใจโดยเสมอมา ทำให้โครงงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงงานใคร่ขอกราบขอบคุณ ดร.วรลักษณ์ ดงเด่นฟ้า และอาจารย์ภาณุพงศ์ สอนคม ซึ่งได้สละเวลามาเป็นคณะกรรมการในการสอบ รวมทั้งให้คำแนะนำและตรวจสอบข้อบกพร่องต่าง ๆ ของโครงงานนี้ นอกจากนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบคุณบิดามารดา ผู้มีพระคุณที่ให้การสนับสนุนในเรื่องต่าง ๆ ให้กำลังใจและคอยชี้แนะอยู่โดยตลอด ขอขอบคุณ รุ่นพี่ และเพื่อนๆ ผู้ที่มีส่วนร่วมให้คำแนะนำและให้กำลังใจอย่างต่อเนื่องเสมอมาจนทำให้การทำโครงงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายทำนุ ร้อยกรอง

นายอำนาจ น้อยพงษ์

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน ..... 2

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน ..... 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 3

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ ..... 3

1.6 งบประมาณของโครงงาน ..... 3

บทที่ 2 รูปแบบในการวางผังเครื่องจักร

2.1 ปัญหาและการควบคุมการทำงานในการวางผังเครื่องจักร ..... 4

- ปัญหาในการวางผังเครื่องจักร ..... 4

- ระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ..... 5

2.2 รูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังเครื่องจักร ..... 7

- รูปแบบโครงสร้างที่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ..... 8

- รูปแบบโครงสร้างที่ไม่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ..... 9

บทที่ 3 ขั้นตอนวิธีแบบ KBML

3.1 นิยามและคำจำกัดความที่เกี่ยวข้อง ..... 13

3.2 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว ..... 15

- แผนผังการทำงานการวางผังเครื่องจักรแบบแถวเดียว ..... 19

- ตัวอย่างการทำงานของ KBML ในการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว ..... 20

3.3 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่ ..... 25

- แผนผังการทำงานการวางผังเครื่องจักรแบบแถวคู่ ..... 29

- ตัวอย่างการทำงานของ KBML ในการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่ ..... 30

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการ

4.1 การออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้โดยใช้โปรแกรม MATLAB ..... 43

- แผนผังการทำงานในการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิก ..... 44

- การจัดทำส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้โดยใช้โปรแกรม MATLAB ..... 46

4.2 การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม ..... 50

- การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมในกรณี Single-row ..... 50

- การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมในกรณี Double-row ..... 57

บทที่ 5 สรุปและแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลดำเนินงาน ..... 66

5.2 แนวทางการพัฒนา ..... 66

เอกสารอ้างอิง ..... 67

ประวัติผู้เขียนโครงงาน ..... 68

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | แผนการดำเนินงานโครงงาน | 3 |
| 3.1 | กระบวนการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว | 18 |
| 3.2 | กระบวนการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่ | 27 |
| 4.1 | เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 1 | 50 |
| 4.2 | เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 2 | 53 |
| 4.3 | เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 3 | 58 |
| 4.4 | เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 4 | 61 |

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | Circular Layout | 5 |
| 2.2 | Single Row Layout | 6 |
| 2.3 | Double Row Layout | 6 |
| 2.4 | Multi Row Layout | 7 |
| 2.5 | Cluster Row Layout | 7 |
| 2.6 | แสดงรูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังเครื่องจักร | 7 |
| 2.7 | ลักษณะการหาอาหารของฝูงกบ | 12 |
| 3.1(a) | การหาระยะทางสำหรับตัวอย่างที่ 3.1 | 14 |
| 3.1(b) | การหาระยะทางสำหรับตัวอย่างที่ 3.1 | 14 |
| 3.1(c) | การหาระยะทางสำหรับตัวอย่างที่ 3.1 | 14 |
| 3.2 | แสดงการขนส่งผลิตภัณฑ์สำหรับตัวอย่างที่ 3.1 | 15 |
| 3.3 | Single Row Layout | 15 |
| 3.4 | แสดงตัวอย่างการจัดเรียงเครื่องจักร | 16 |
| 3.5 | แสดงการวางเครื่องจักรไว้ทางด้านซ้าย | 16 |
| 3.6 | แสดงการวางเครื่องจักรไว้ทางด้านขวา | 17 |
| 3.7 | Flowchart แสดงการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว | 19 |
| 3.8 | แสดงการจัดเรียงเครื่องจักร | 21 |
| 3.9 | แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 1 | 21 |
| 3.10 | แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 2 | 22 |
| 3.11 | แสดงการจัดเรียงรอบที่ 1 | 22 |
| 3.12 | แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 1 | 23 |
| 3.13 | แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 2 | 23 |
| 3.14 | แสดงการจัดเรียงรอบที่ 2 | 24 |
| 3.15 | แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว | 24 |
| 3.16 | Double Row Layout | 27 |
| 3.17 | แสดงการพิจารณาระยะทาง | 27 |
| 3.18 | Flowchart แสดงการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่ | 29 |
| 3.19 | รูปแบบการจัดเรียงขั้นเริ่มต้น | 27 |

# สารบัญรูป (ต่อ)


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3.20 | แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 1 | 32 |
| 3.21 | แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 2 | 32 |
| 3.22 | แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 3 | 33 |
| 3.23 | แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 4 | 33 |
| 3.24 | แสดงการจัดเรียงรอบที่ 1 | 34 |
| 3.25 | แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 1 | 35 |
| 3.26 | แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 2 | 35 |
| 3.27 | แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 3 | 36 |
| 3.28 | แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 4 | 37 |
| 3.29 | แสดงการจัดเรียงรอบที่ 2 | 37 |
| 3.30 | แสดงการคำนวณรอบที่ 3 กรณีที่ 1 | 38 |
| 3.31 | แสดงการคำนวณรอบที่ 3 กรณีที่ 2 | 39 |
| 3.32 | แสดงการคำนวณรอบที่ 3 กรณีที่ 3 | 40 |
| 3.33 | แสดงการคำนวณรอบที่ 3 กรณีที่ 4 | 41 |
| 3.34 | แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่ | 42 |
| 4.1 | Flowchart แสดงการทำงานของ GUI | 44 |
| 4.2 | แสดงหน้า GUI โดยรวม | 46 |
| 4.3 | แสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 1 | 51 |
| 4.4 | แสดงค่าการทำงานของ GUI จากตัวอย่างที่ 1 | 52 |
| 4.5 | แสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 2 | 56 |
| 4.6 | แสดงค่าการทำงานของ GUI จากตัวอย่างที่ 2 | 57 |
| 4.7 | แสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 3 | 59 |
| 4.8 | แสดงค่าการทำงานของ GUI จากตัวอย่างที่ 3 | 59 |
| 4.9 | แสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 4 | 64 |
| 4.10 | แสดงค่าการทำงานของ GUI จากตัวอย่างที่ 4 | 64 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังก้าวสู่สังคมอุตสาหกรรมที่ซึ่งมีอัตราการขยายตัวค่อนข้างสูง จึงจำเป็นที่ต้องมีการพัฒนาและควบคุมให้กิจการอุตสาหกรรมภายในประเทศนั้นได้มาตรฐานและมีประสิทธิภาพเทียบเท่านานาประเทศที่มีความเจริญทางด้านอุตสาหกรรมในระดับแนวหน้าของโลก เช่น ญี่ปุ่น อเมริกา เป็นต้น ในการประกอบกิจการอุตสาหกรรมจำเป็นต้องตระหนักถึงความสำคัญในด้านการออกแบบและการวางผังโรงงาน เนื่องจากเจ้าของกิจการมีความมุ่งหวังที่จะใช้ทรัพยากรและปัจจัยในการผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ "การวางผังโรงงาน" หมายถึง การจัดเตรียมสถานที่สำหรับการวางเครื่องจักร วัตถุดิบ คน สถานที่ทำงาน พร้อมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกและสนับสนุนการผลิตในตำแหน่งที่เหมาะสม จะเห็นว่าการวางผังโรงงานนั้นเป็นศิลปะอย่างหนึ่งในการออกแบบจัดสรรทรัพยากรต่างๆ ภายในโรงงานนั้นเอง

การวางผังของเครื่องจักรภายในโรงงานจัดเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของการออกแบบและการวางผังโรงงานเช่นกัน ในทางอุตสาหกรรมพบว่าการใช้เครื่องจักรในการควบคุมการผลิตนั้นส่งผลต่อต้นทุนการผลิตได้ถึง 30-75% ของต้นทุนในการผลิตทั้งหมด ดังนั้น หากมีการจัดระเบียบการวางผังเครื่องจักรหรือมีระบบการวางผังที่มีมาตรฐานย่อมสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตอีกทั้งประหยัดเวลาในกระบวนการการผลิตได้ถึง 15-30 % เช่นกัน ทั้งนี้การวางผังเครื่องจักร(Machine Layout) นั้นจัดอยู่ในส่วนของขั้นตอนการออกแบบในกระบวนการการวางผังโรงงาน ซึ่งวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังเครื่องจักรมีอยู่หลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีล้วนมีขั้นตอนวิธี(Algorithms) การทำงานอย่างหลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ประกอบการว่าจะเลือกใช้วิธีหรือขั้นตอนวิธีแบบใดมาใช้ในการวางผังเครื่องจักรภายในสถานประกอบการที่เป็นเจ้าของอยู่เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

ในโครงงานนี้ทางผู้จัดทำมีแนวคิดที่จะนำขั้นตอนวิธีในการวางผังเครื่องจักรแบบ KBML หรือ Knowledge Based Systems Algorithm for Machine Layout [1, 2] มาออกแบบและจัดทำอยู่ในรูปของโปรแกรมประยุกต์และส่วนต่อประสานกราฟิกต่อผู้ใช้ เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำโปรแกรมที่ได้มาใช้ประโยชน์ในการออกแบบการวางผังเครื่องจักรได้อย่างสะดวกสบายและง่ายต่อการใช้งาน ช่วยลดต้นทุนในการผลิต เพื่อให้กิจการอุตสาหกรรมนั้นๆ เติบโตอย่างเข้มแข็งและมีประสิทธิภาพ อันเป็น

ประโยชน์ต่อผู้ที่มีความสนใจและต้องการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการในการวางผังเครื่องจักรและรูปแบบโครงสร้างขั้นตอนวิธีต่างๆที่ใช้อีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการและวิธีการที่ใช้ในการออกแบบการวางผังเครื่องจักร

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาการใช้งานในส่วนประสานกราฟิกสำหรับผู้ใช้งานด้วยโปรแกรม MATLAB

1.2.3 เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่สะดวกและง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้ทั่วไป ที่มีความสนใจในการใช้งานเกี่ยวกับกระบวนการการวางผังเครื่องจักรภายในโรงงาน

## 1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.3.1 ระบบที่ทำการศึกษาต้องเป็นรูปแบบการทำงานแบบ Single-Row Machine Layout หรือ Double-Row Machine Layout

1.3.2 การทำงานของขั้นตอนวิธีที่ทำการศึกษาจะให้ผลลัพธ์เฉพาะลำดับที่เหมาะสมของการวางเครื่องจักร

1.3.3 โปรแกรมที่ได้ต้องเป็นส่วนต่อประสานกราฟิกต่อผู้ใช้ในโปรแกรม MATLAB ที่ง่ายและสะดวกต่อผู้ใช้งานทั่วไป

1.3.4 โปรแกรมต้องสามารถตอบสนองต่อจำนวนของเครื่องจักรได้ไม่เกิน 10 เครื่อง และตอบสนองต่อจำนวนผลิตภัณฑ์ได้ไม่เกิน 30 ผลิตภัณฑ์

1.3.5 เครื่องจักรที่พิจารณา มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก

1.3.6 ในการวัดระยะห่างระหว่างเครื่องจักรหรือค่า Distance ให้วัดจากกึ่งกลางของเครื่องจักรหนึ่งไปยังอีกเครื่องจักรหนึ่ง

1.3.7 ระยะห่างระหว่างเครื่องจักรทุกเครื่องต้องเท่ากันทั้งหมด

1.3.8 AGV ที่ใช้ในกระบวนการทำงานมีจำนวน 1 เครื่อง โดยไม่คำนึงถึงขนาดและความจุในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์

1.3.9 ในกระบวนการผลิต สมมติให้ผลิตผลิตภัณฑ์ใดผลิตภัณฑ์หนึ่งจนแล้วเสร็จ จึงเริ่มผลิตผลิตภัณฑ์อันต่อไป

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงงาน

| ลำดับ | การดำเนินการ | ปี 2552 | | | | | | | ปี 2553 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. |
| 1 | รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและจำเป็น | ← | — | — | → | | | | | | |
| 2 | ศึกษารูปแบบโครงสร้างรวมถึงอัลกอริทึมในการวางผังเครื่องจักร | | ← | — | — | → | | | | | |
| 3 | ศึกษาการใช้งาน GUI ด้วยโปรแกรม MATLAB | | | ← | — | — | → | | | | |
| 4 | ออกแบบและจัดทำโปรแกรมการวางผังเครื่องจักรในรูปแบบที่มีโครงสร้างและจัดทำแบบจำลองระบบด้วย GUI ของ MATLAB | | | | ← | — | — | → | | | |
| 5 | จัดพิมพ์รูปเล่มโครงงาน | | | | | | ← | — | — | — | → |

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพิ่มความสะดวกในการจัดการวางผังเครื่องจักรภายในโรงงาน

1.5.2 เป็นแบบแผนแก่ผู้ที่สนใจในการพัฒนาวิธีการวางผังเครื่องจักร (Machine Layout) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.5.3 ใช้ประกอบการเรียนการสอนสำหรับบุคลากรและนักศึกษาสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมอุตสาหการ

## 1.6 งบประมาณ

| | | |
|---|---|---|
| 1.6.1 ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์ | 500 | บาท |
| 1.6.2 ค่าวัสดุสำนักงาน | 800 | บาท |
| 1.6.3 ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มวิทยานิพนธ์ | 700 | บาท |
| รวมเป็นเงินทั้งสิ้น | 2,000 | บาท |
| หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ | (สองพันบาทถ้วน) | |

# บทที่ 2
# รูปแบบในการวางผังเครื่องจักร

โรงงาน (Plant) คือสถานที่ซึ่งรวมเอาปัจจัยการผลิต (Input) เข้าด้วยกันเพื่อทำให้เกิดผลผลิต (Output) ที่อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ (Products) หรือบริการ (Services) โดยปัจจัยการผลิต ได้แก่ วัตถุดิบ คน เครื่องจักร อุปกรณ์ ตลอดจนสิ่งสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการผลิต

หลังจากที่ได้มีการออกแบบการวางผังโรงงาน จัดตำแหน่งของสถานที่ทำงาน เครื่องจักร อุปกรณ์ และปัจจัยการผลิตอื่น ๆ โดยมุ่งหวังที่จะให้เกิดความประหยัดของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และให้การทำงานมีความปลอดภัยตลอดจนเป็นที่พึงพอใจของผู้ประกอบการ หากมองถึงระบบของการผลิต อันประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ เช่น การกำหนดตำแหน่งของ คน เครื่องจักร วัสดุ และสิ่งสนับสนุนการผลิตให้เหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะให้เกิดเวลาว่างเปล่าในสายการผลิตที่น้อย และใช้เวลาในการผลิตที่สั้นที่สุด ยังส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลงและเป็นข้อได้เปรียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในตลาดที่มีการแข่งขัน

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าการออกแบบการวางผังโรงงานให้เหมาะสมนั้นเป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมต่าง ๆ จำเป็นต้องตระหนักและให้ความสำคัญอีกทั้งยังมีส่วนช่วยให้ระบบการผลิตมีประสิทธิภาพและเกิดความคุ้มค่าในการลงทุนอีกด้วย

## 2.1 ปัญหาและการควบคุมการทำงานในการวางผังเครื่องจักร (The Machine Layout Problem and Machine handling system)

### 2.1.1 ปัญหาในการวางผังเครื่องจักร

ปัญหาในการวางผังเครื่องจักรนั้นเป็นปัญหาซึ่งกล่าวถึงการจัดวางเครื่องจักรในพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อลดต้นทุนในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิต เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้ในสถานประกอบการมีขนาดแตกต่างเกินไปตามลักษณะความต้องการในการใช้งาน จึงทำให้เกิดอุปสรรคในการจัดวางเครื่องจักรในพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดในสถานประกอบการ

การใช้ขั้นตอนวิธี (Algorithms) มาแก้ไขปัญหาการจัดวางเครื่องจักรเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยให้การจัดวางเครื่องจักรที่มีรูปร่างแตกต่างกันมีความเหมาะสม กล่าวคือมีการใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่าและช่วยลดต้นทุนในการวางผังในสถานประกอบการหรือโรงงานนั้นอีกด้วย

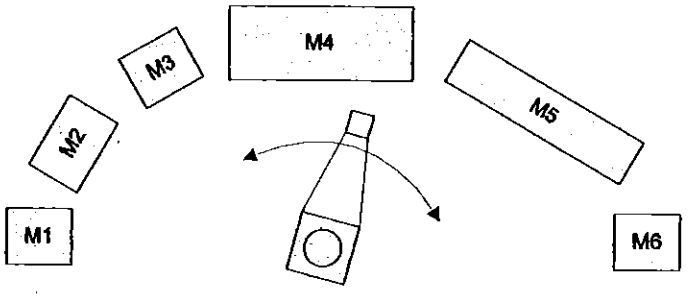
**2.1.2 ระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร**

แบบพื้นฐานของการวางผังเครื่องจักรเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญเมื่อมีการสร้างหรือวางผังเครื่องจักร เพราะการออกแบบระบบควบคุมการวางผังของเครื่องจักรนั้นเป็นข้อจำกัดและเป็นสิ่งจำเป็นของผู้ประกอบการในการใช้หรือจัดการกับเครื่องจักร ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการที่ใช้ในการควบคุมระบบการขนส่งของเครื่องจักรต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. กลุ่มที่ใช้การควบคุมโดยแขนของหุ่นยนต์ (Handling robot )
   - การวางผังเครื่องจักรแบบวงกลม (Circular Machine Layout)
2. กลุ่มที่ใช้รถขนส่งอัตโนมัติ (Automated guided vehicle : AGV)
   - การวางผังเครื่องจักรแบบแถวเดียว (Single-row Machine Layout)
   - การวางผังเครื่องจักรแบบแถวคู่ (Double-row Machine Layout)
3. กลุ่มที่ใช้การควบคุมโดยกลไกหุ่นยนต์แบบอิสระ (Gantry robot )
   - การวางผังเครื่องจักรแบบหลายแถว (Multi-row Machine Layout , Cluster Machine Layout)

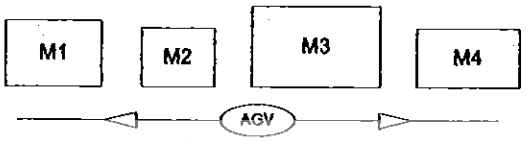
โดยที่แต่ละรูปแบบมีรายละเอียดการทำงานแบบสังเขป ดังนี้

1. การวางผังเครื่องจักรแบบวงกลม (Circular Machine Layout) แขนของหุ่นยนต์นั้นจะทำงานระหว่างเครื่องจักรที่มีการจำกัดการทำงานไว้เป็นแบบวงกลมดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งวิธีนี้มีข้อจำกัดในเรื่องสถานที่ที่มีการรับค่า input และ output ของระยะทางค่อนข้างแน่นอนตายตัว โดยปกติแขนของหุ่นนั้นจะสามารถยืดหดได้ โดยผู้ประกอบการอาจทำการวางเครื่องจักรไว้ในสถานที่ที่แตกต่างกัน แต่ในกรณีนี้อาจทำให้หุ่นยนต์มีการจดจำสถานที่ผิดจากตำแหน่งของเครื่องจักรที่วางไว้ส่งผลให้แขนของเครื่องจักรอาจทำงานผิดพลาดโดยไปทำงานที่เครื่องจักรอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง



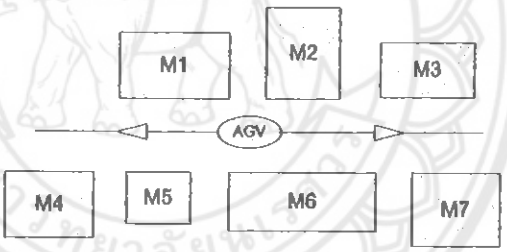

**รูปที่ 2.1** Circular Layout

2. การวางผังเครื่องจักรแบบแถวเดียว (Single-Row Machine Layout) วิธีนี้เป็นการขนถ่ายโดยผ่านรถขนส่งอัตโนมัติที่ไม่ต้องมีคนควบคุม ทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปนิยมเรียกรถขนส่งชนิดนี้ว่า AGV (Automated Guided Vehicle)* ซึ่งเป็นการทำงานแบบกระจายกันของเครื่องจักร โดยที่เครื่องจักรจะถูกวางหรือจัดไว้ตามแนวเส้นทางการขนส่งของ AGV ดังแสดงในรูปที่ 2.2




รูปที่ 2.2 Single Row Layout

3. การวางผังเครื่องจักรแบบแถวคู่ (Double-Row Machine Layout) วิธีนี้ก็เป็นการขนส่งผ่านรถขนส่งอัตโนมัติหรือ AGV เช่นกัน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแบบแถวเดียวแต่มีความต่างกันตรงที่เครื่องจักรถูกจัดวางทั้งสองด้านของแนวเส้นทางการขนส่งของ AGV ดังแสดงในรูปที่ 2.3

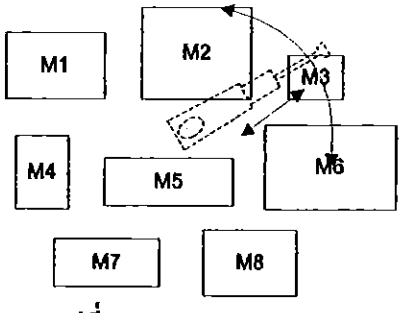



รูปที่ 2.3 Double Row Layout

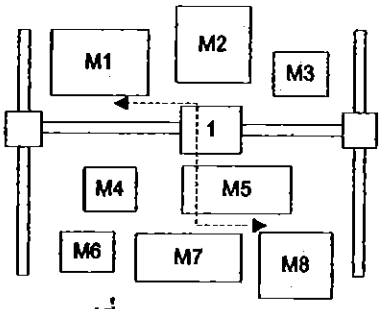
4. การวางผังเครื่องจักรแบบหลายแถว (Multi-row Machine Layout) เป็นการทำงานของแขนควบคุมหุ่นยนต์โดยการจัดการวัตถุแบบกระจาย เครื่องจักรสามารถถูกจัดวางในสถานที่ต่าง ๆ ได้ โดยที่แขนควบคุมของหุ่นยนต์นั้นจะทำงานในรูปแบบของสองมิติ หรือแบบอิสระไม่จำกัดการควบคุมเหมือนแบบวงกลม และสามารถเก็บหรือทำการขนถ่ายวัตถุในพื้นที่ใด ๆ ที่ต้องการในระยะการควบคุมได้ ตัวอย่างของการวางผังเครื่องจักรแบบหลายแถวแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5

---

*Automated guided vehicle systems (AGV) หมายถึง อุปกรณ์ที่มีลักษณะคล้ายอุปกรณ์ประเภท Industrial Truck แตกต่างที่ AGV ถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ และถูกกำหนดเส้นทางการเดินทางที่ชัดเจนโดยไม่อาศัยคนขับ การควบคุมอุปกรณ์ประเภท AGV สามารถควบคุมได้หลายคันโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมเพียงชุดเดียว และ AGV แต่ละคันสามารถสื่อสารถึงกันได้ เช่น เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันเองหรือเพื่อป้องกันการกีดขวางการจราจรหากอีกคันยังอยู่ในจุดรับส่งวัสดุ



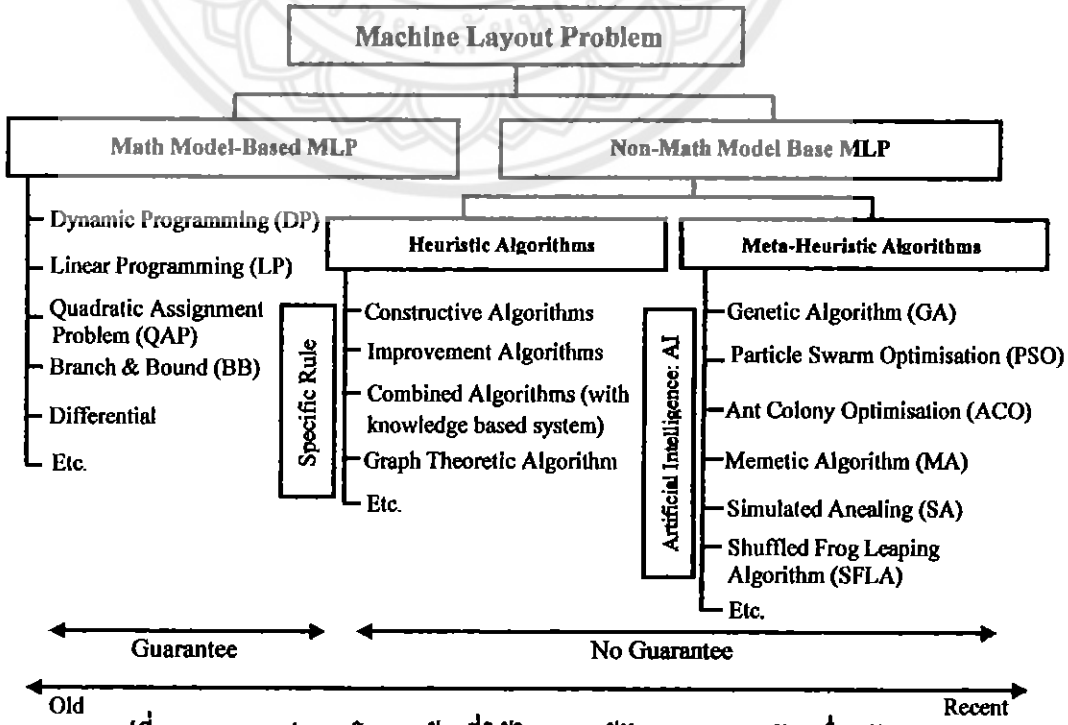

**รูปที่ 2.4** Multi Row Layout




**รูปที่ 2.5** Cluster Layout

## 2.2 รูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังเครื่องจักร

รูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังเครื่องจักรสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รูปแบบโครงสร้างที่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model based MLP) และรูปแบบโครงสร้างที่ไม่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Non- mathematical Model based MLP) โดยลักษณะของรูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังเครื่องจักรนั้นเกี่ยวข้องกับการค้นหาผลเฉลยค่าเหมาะที่สุด (Optimum) โดยคุณภาพของผลเฉลยนั้นจะวัดค่าจากฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) นอกจากนี้อาจมีการกำหนดข้อบังคับ (Constraints) ต่างๆ โดยผลเฉลยที่ได้ต้องไม่ละเมิดข้อบังคับที่ถูกตั้งขึ้นไว้ ซึ่งผลเฉลยที่สอดคล้องเงื่อนไขข้างต้นถูกเรียกว่าผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible solution) สำหรับโครงสร้างปัญหาและขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการค้นหาผลเฉลยมีลักษณะที่แตกต่างกันไปดังแสดงในรูปที่ 2.6




**รูปที่ 2.6** แสดงรูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังเครื่องจักร

**2.2.1 รูปแบบโครงสร้างที่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

หลักการหาผลเฉลยของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดที่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้น คือ การหาค่าสูงสุด หรือค่าต่ำสุดของฟังก์ชันค่าจริง โดยการวิเคราะห์หาค่าของตัวแปรที่เหมาะสมจากเซตที่กำหนดให้ หรือกล่าวในเชิงคณิตศาสตร์ได้ว่า กำหนดให้ ฟังก์ชันเป้าหมาย (objective function) ของการหาค่าเหมาะที่สุด เป็น $f$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันจากเซต $A$ ไปยังเซตของจำนวนจริงแล้ว ปัญหาการหาค่าต่ำสุดคือ การค้นหาค่าของ $x_0$ ใน $A$ ที่ทำให้ $f(x_0) \le f(x)$ สำหรับทุกค่า $x$ ใน $A$ ในขณะที่ปัญหาการหาค่าสูงสุดคือ การค้นหาค่าของ $x_0$ ใน $A$ ที่ทำให้ $f(x_0) \ge f(x)$ สำหรับทุกค่า $x$ ใน $A$ ซึ่งโดยทั่วไป $A$ เป็นเซตย่อย (subset) ของปริภูมิยุคลิด $\mathbb{R}^n$ หรือโครงร่างจำนวนเต็ม (integer lattice) $\mathbb{Z}^n$ บ่อยครั้งเซตดังกล่าวมักถูกกำหนดจากเซตของเงื่อนไข (set of constraints) ซึ่งมีทั้งแบบสมการเงื่อนไข และ อสมการเงื่อนไข ที่ซึ่งสมาชิกใน $A$ ต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องเงื่อนไขที่โจทย์ระบุ โดเมน $A$ ของฟังก์ชัน $f$ นิยมเรียกว่า ปริภูมิค้นหา (Search space) ในขณะที่สมาชิกในเซต $A$ เรียกว่า ผลเฉลยที่เป็นไปได้ (feasible solutions) หากผลเฉลยที่เป็นไปได้ตัวใดใน $A$ ทำให้ฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าต่ำสุด หรือสูงสุด ผลเฉลยที่เป็นไปได้ตัวนั้น ถูกเรียกว่า "จุดต่ำสุด" หรือ "จุดสูงสุด" ตามลำดับ นอกจากนี้ จุดต่ำสุด สามารถจำแนกได้เป็น จุดต่ำสุดแบบจุลภาค (local minimum) และจุดต่ำสุดแบบมหภาค (Global minimum) ซึ่งมีนิยามดังนี้ จุด $x_0$ ถูกกล่าวว่าเป็น*จุดต่ำสุดแบบจุลภาค* หากสามารถหาค่าจริง $\delta > 0$ ที่ซึ่งทุกค่า $x$ ใน $A$ สอดคล้องกับเงื่อนไข
$\|x - x_0\| < \delta$ แล้วทำให้ $f(x_0) \le f(x)$
หรือกล่าวได้ว่า ทุก ๆ จุดภายในย่านรอบ ๆ จุด $x_0$ ทำให้ค่าของฟังก์ชัน $f(x)$ มีค่าสูงกว่าหรือเท่ากับค่าที่จุด $x_0$ และหาก เงื่อนไข (3.1) เป็นจริงทุกค่า $x$ ใน $A$ แล้ว จุด $x_0$ ถูกกล่าวว่าเป็น*จุดต่ำสุดแบบมหภาค* สำหรับนิยามของจุดสูงสุดทั้งแบบจุลภาคและแบบมหภาค สามารถนิยามได้ในลักษณะคล้ายคลึงกันกับนิยามของจุดต่ำสุดที่กล่าวมาข้างต้น

ดังนั้น หลักการวิเคราะห์หาค่าเหมาะที่สุดของฟังก์ชัน สามารถเขียนอยู่ในรูปทั่วไปคือ

$$\text{Minimize (หรือ Maximum)} \quad f(x)$$

ภายใต้อสมการเงื่อนไข และสมการเงื่อนไข ดังนี้

$$g_i(x) < a_i, i = 1, 2, \ldots, m$$
$$h_j(x) = b_j, j = 1, 2, \ldots, p$$

โดยที่ $x$ เป็นเวกเตอร์ขนาด $n$ มิติ และให้ $a_i$ และ $b_j$ เป็นค่าคงที่

ในการจำแนกปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด สามารถพิจารณาจากโครงสร้างของฟังก์ชันและเงื่อนไขได้เป็น โปรแกรมมิ่งแบบเชิงเส้น (Linear Programming: LP) โปรแกรมมิ่งแบบกำลังสอง (Quadratic programming:QP) โปรแกรมมิ่งแบบคอนเวกซ์ (Convex programming:CP) โปรแกรมมิ่งแบบ Semidefinite (Semidefinite programming:SDP) และ โปรแกรมมิ่งแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear programming) เป็นต้น

เนื่องจากในแต่ละปัญหาดังกล่าวมาข้างต้นนั้นต้องอาศัยขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการหาผลเฉลยที่แตกต่างกัน โดยขั้นตอนวิธีที่นิยมเลือกใช้ในแต่ละโปรแกรมมิ่ง มีดังนี้ เช่น

1. ขั้นตอนวิธีแบบซิมเพล็กซ์ ซึ่งเป็นการหาผลเฉลยเชิงตัวเลขของปัญหาโปรแกรมมิ่งแบบเชิงเส้น
2. ขั้นตอนวิธี Ellipsoid และขั้นตอนวิธี Interior point เป็นขั้นตอนวิธีสำหรับแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดแบบคอนเวกซ์หรือแบบ Semidefinite
3. ขั้นตอนวิธี Branch and Bound (BB) เป็นขั้นตอนวิธีที่เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดที่ซึ่งต้องการให้มีผลเฉลยบางตัวหรือทุกตัวเป็นจำนวนเต็ม โดยทั่วไป ขั้นตอนวิธี BB ช่วยเสริมการทำงานของขั้นตอนวิธี Ellipsoid หรือวิธี Interior point

**2.2.2 รูปแบบโครงสร้างที่ไม่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

วิธีการหาผลเฉลยของปัญหาค่าเหมาะที่สุดโดยไม่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้มีรูปแบบการค้นหาแบบสุ่ม (Heuristic method) ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ มีความซับซ้อนสูง แต่ใช้เวลาในการค้นหาผลเฉลยไม่นานนัก ถึงแม้ผลเฉลยที่ได้จากวิธีการนี้นั้นอาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดแต่เป็นผลเฉลยที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเหมาะที่สุด (Near Optimum Solutions) โดยลักษณะการทำงานของวิธีนี้จะอาศัยหลักเกณฑ์ในการค้นหาและพยายามหลีกเลี่ยงผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยเหมาะที่สุด โดยมีการทำงานแบบวนซ้ำและจะหยุดทำงานเมื่อถึงเงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ ตัวอย่างของวิธีการประเภทนี้ ได้แก่ Constructive Algorithms, Improvement Algorithms, Combined Algorithms (with knowledge based systems), Graph Theoretic Algorithm หรือพวกที่ใช้รูปแบบการค้นหาแบบ Meta-Heuristic เช่น Genetic Algorithm (GA), Ant Colony Optimisation (ACO), Simulated Annealing (SA), Memetic Algorithm (MA), Particle Swarm Optimisation (PSO) และ Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA) เป็นต้น

**1) ขั้นตอนวิธีที่อาศัยองค์ความรู้เกี่ยวกับระบบมาร่วมในการพิจารณา (Combined Algorithms (with knowledge based systems))**

ขั้นตอนวิธีดังกล่าว ได้มีการพัฒนาโดยอาศัยหลักการของทั้ง Constructive Algorithms และ Improvement Algorithms โดยมีรูปแบบการทำงานเป็นแบบสุ่ม (Heuristic method) ตัวอย่างของขั้นตอนวิธีที่ทำงานแบบ Combined Algorithm เช่น

1.1) FADES (Fisher and Nof, 1984) เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการออกแบบปัญหาในการจัดวางโดยใช้ First-order predicate logic และ Prolog interpreter ซึ่งขั้นตอนวิธีดังกล่าวไม่จำกัดอยู่แค่การออกแบบการจัดวางเพียงเท่านั้น แต่ยังไว้สำหรับทำการเลือกรูปแบบของวิธีการจัดวาง และการวิเคราะห์การลงทุนในการประกอบการอีกด้วย

1.2) IFLAPS (Tirupatikumara et al., 1985) เป็นระบบในการออกแบบการจัดวางเบื้องต้นโดยใช้ รูปแบบการจัดวางแบบลูกโซ่แบบถอยหลัง (backward chaining strategy) โดยใช้ตัวแปรควบคุมแบบทวีคูณจำพวกต้นทุน (cost), สัญญาณรบกวน (noise) และ ความปลอดภัย (safety) เป็นต้น

1.3) KBML (Kusiak, 1990) ใช้พื้นฐานข้อมูลที่มีอยู่ของระบบมาใช้ในการกำหนดการวางผังเครื่องจักร ซึ่งข้อมูลพื้นฐานดังกล่าว ได้แก่ จำนวนเครื่องจักร ขนาดความกว้างและความยาวของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง จำนวนผลิตภัณฑ์และลำดับของเครื่องจักรที่แต่ละผลิตภัณฑ์ต้องใช้ในการผลิต เป็นต้น

อย่างไรก็ตามรูปแบบของขั้นตอนวิธีต่างๆนั้น ส่วนใหญ่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการจัดวางผังภายในห้องเท่านั้นโดยไม่เกี่ยวกับรูปแบบการวางผังเครื่องจักรภายในสถานประกอบการ เนื่องจากการนำขั้นตอนวิธีดังกล่าวมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดวางผังเครื่องจักรเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยาก ซับซ้อนในการหาค่าผลรวมของต้นทุนที่สูญเสีย หรือ ข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ของระบบ เช่น เวลาความถี่ในการทำงาน เป็นต้น ซึ่งผู้ประกอบการอาจเลือกปฏิบัติหรือใช้ขั้นตอนวิธีอื่นในการจัดวางผังเครื่องจักรซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมหรือดีที่สุดแต่สามารถช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนและเวลาที่จะใช้ในการจัดวางผังเครื่องจักรภายในสถานประกอบการได้

**2) ขั้นตอนวิธีแบบเจเนติก (Genetic Algorithms : GA)**

GA คือ วิธีการค้นหาคำตอบโดยใช้กลไกที่เลียนแบบการคัดเลือกพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในธรรมชาตินั้น พันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีการพัฒนาการโดยการคัดสรรสิ่งที่ดีที่สุดในสายพันธุ์เพื่อสืบทอดไปยังรุ่นต่อไป ซึ่งในส่วนการคำนวณจะใช้ประสบการณ์ที่มีมาในขั้นตอนการคำนวณก่อนหน้าเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีกว่าในขั้นต่อไป โดยหลักการทำงานของ GA ประกอบไปด้วยการกำหนดรูปแบบโครโมโซม (Chromosome Representation) การสร้างประชากรเริ่มต้น

(Population Initialisation) การครอสโอเวอร์ (Crossover) การมิวเตชัน (Mutation) การประเมินค่าความเหมาะสม (Evaluate Fitness) และการคัดเลือกประชากรในรุ่นถัดไป (Selection)

**3) พาร์ทิคิล สวอร์ม ออพติไมเซชัน (Particle Swarm Optimisation: PSO)**

การทำงานของ PSO ประกอบไปด้วยกลุ่มประชากรซึ่งเรียกว่า Particle โดยจะมีการสำรวจความเป็นไปได้ของปัญหา และมีการค้นหาค่าคำตอบกันเป็นกลุ่ม ซึ่งเกิดจากการเรียนรู้ซึ่งกันและกันภายในกลุ่ม กล่าวคือ ในแต่ละ Particle จะประกอบไปด้วยตำแหน่งของตนเอง (Position) และอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ (Velocity) โดยในแต่ละรอบของการค้นหา ค่าคำตอบจะเกิดการปรับปรุงอัตราเร็ว (Update Velocity) และปรับปรุงค่าตำแหน่ง (Update Position) เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ดีที่สุดหรือค่าคำตอบที่ดีที่สุดนั่นเอง

**4) แอนท์ โคโลนี ออพติไมเซชัน (Ant Colony Optimisation: ACO)**

วิธีการของ ACO อาศัยการเลียนแบบพฤติกรรมทางธรรมชาติของมดในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดจากแหล่งอาหารสู่รัง ซึ่งเป็นพฤติกรรมการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพของมด เช่น พฤติกรรมการหาอาหาร (Foraging), การแบ่งประเภทงาน (Division of Labor), การช่วยกันขนถ่าย (Cooperative Transport) เป็นต้น โดยมดจะใช้การติดต่อสื่อสารระหว่างกันโดยใช้สารเคมีชนิดหนึ่ง ที่เรียกกันว่า ฟีโรโมน (Pheromone) ซึ่งทั่วไป เมื่อกลุ่มมดเริ่มเดินหาอาหารในตอนแรกจะมีการกระจัดกระจายของเส้นทางเดินของมด แต่เมื่อเวลาผ่านไปเส้นทางของมดที่เดินหาอาหารสู่รังจะเหลืออยู่เพียงเส้นทางเดียว และเส้นทางนั้นจะมีมดเดินเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้น

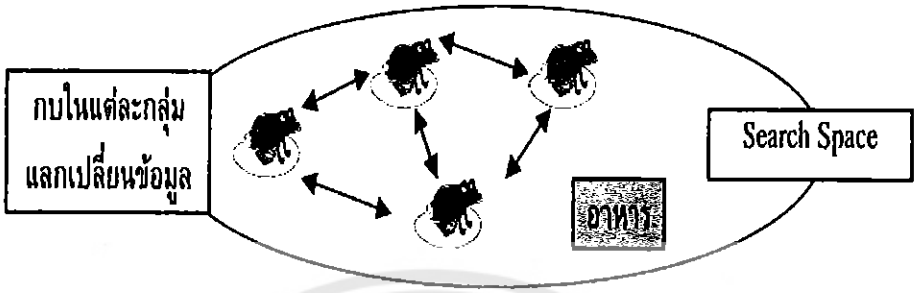
**5) ขั้นตอนวิธีแบบมีเมติก (Memetic Algorithm: MA)**

ขั้นตอนวิธีนี้ถูกคิดค้นโดย Merz และ Freisleben ในปี 1997 โดยมีลักษณะคล้ายกับ GA เพียงแต่ยีนส์ของโครโมโซมถูกเรียกว่า มีมี (Meme) และมีลักษณะพิเศษกว่า GA ตรงที่โครโมโซมสามารถเพิ่มประสบการณ์ผ่านการค้นหาแบบจุลภาค (Local Search) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพก่อนที่จะผ่านขบวนการทางพันธุกรรม (Crossover and Mutation) ขั้นตอนของ MA จะเริ่มต้นคล้าย GA โดยสร้างประชากรมาแบบสุ่มหลังจากนั้นจะทำการค้นหาแบบจุลภาคของประชากรทุกตัวเพื่อเพิ่มประสบการณ์ หลังจากนั้น ทำการ Crossover และ Mutation เพื่อหาโครโมโซมลูกหลานใหม่ต่อไป

**6) ขั้นตอนวิธีแบบชัฟเฟิลฟอร์กลิปปิ้ง (Shuffled Frog Leaping Algorithm: SFLA)**

ลักษณะการทำงานของวิธีนี้จะมีการวนซ้ำของรอบการทำงาน (Iteration) ในการค้นหาค่าคำตอบ และจะหยุดทำงานเมื่อถึงเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งวิธีการนี้ถูกพัฒนาโดย Eusuff, M. M. และคณะในปี 2003 และยังถูกนำไปใช้กับทั้งปัญหาตัวแปรแบบต่อเนื่อง (Continuous Decision Variables)

และตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Decision Variables) โดยกลไกการทำงานของ SFLA นี้ได้เลียนแบบพฤติกรรมทางธรรมชาติของฝูงกบในการหาอาหาร




รูปที่ 2.7 ลักษณะการหาอาหารของฝูงกบ

**7) ซีมิวเลท์ด แอนเนลิ่ง (Simulated Annealing :SA)**

Simulated Annealing หรือ SA นั้นเป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาในการวางผังเครื่องจักร ซึ่งมีรูปแบบที่ปรับปรุงและพัฒนาขึ้นจากกระบวนการ Heuristic โดยการทำงานจะเป็นการค้นหาผลเฉลยในย่านใกล้เคียง (Neighboring Solution) กับผลเฉลยตั้งต้นเพื่อค้นหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุด การค้นหาผลเฉลยในย่านใกล้เคียงนั้นเป็นรูปแบบเปรียบเทียบแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ซึ่งรูปแบบการทำงานนั้นจะทำการเลือกสุ่มจากผลเฉลยที่มีกระบวนการที่ใกล้เคียงกัน ถ้าผลเฉลยใดมีแนวโน้มในการทำงานที่ดีกว่า จะถูกเลือกใช้และถูกนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรกในการเปรียบเทียบกับผลเฉลยถัดไป

จากรูปแบบโครงสร้างและขั้นตอนวิธีที่กล่าวมาทั้งหมด ทางผู้จัดทำได้ให้ความสำคัญกับรูปแบบโครงสร้างที่ไม่อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Non-mathematical Model based MLP) เพราะเป็นวิธีที่ไม่มีข้อจำกัดทางจำนวนทรัพยากรที่ใช้ในการคำนวณและสามารถลดระยะเวลาและความซับซ้อนในการทำงานในกรณีที่ข้อมูลมีขนาดใหญ่ได้ถึงแม้ว่าผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดแต่จัดว่าเป็นผลเฉลยที่ใกล้กับผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดโดยทางผู้จัดทำได้เลือกศึกษารูปแบบการทำงานของ **KBML** (Knowledge Based Systems Algorithm for Machine Layout) ซึ่งเป็นการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบ Combined (knowledge based systems) โดยอาศัยวิธีการแบบ Heuristic Search

# บทที่ 3
# ขั้นตอนวิธีแบบ KBML

จากโครงสร้างรูปแบบวิธีการทำงานที่กล่าวมาในบทที่ 2 ทางผู้จัดทำได้ให้ความสำคัญกับโครงสร้างการทำงานแบบ Non-Model ซึ่งเป็นโครงสร้างการทำงานที่พัฒนามาจากโครงสร้างแบบ Model โดยเลือกศึกษาขั้นตอนวิธีการทำงานแบบ **KBML (Kusiak, 1990)** หรือ Knowledge Based Systems Algorithm for Machine Layout โดยขั้นตอนวิธีดังกล่าวนั้นใช้หลักการทำงานแบบ Heuristic ที่อาศัยข้อมูลพื้นฐานในระบบ อาทิ เช่น ความกว้างและความยาวของเครื่องจักร ระยะห่างระหว่างเครื่องจักร รวมทั้งความถี่ในการทำงานของเครื่องจักรนั้น ๆ ในทุกผลิตภัณฑ์ที่ผลิต มาใช้วิเคราะห์หาวิธีที่เหมาะสมในการจัดวางผังเครื่องจักร

ในบทนี้ เน้นศึกษาโครงสร้างการทำงานของขั้นตอนวิธี KBML สำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว (Single-row layout) และแบบแถวคู่ (Double-row layout) โดยมีรายละเอียดดังนี้

## 3.1 นิยามและคำจัดกัดความที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษารูปแบบและวิธีการทำงานในการจัดวางเครื่องจักรแบบทั้งแบบแถวเดียวและแบบแถวคู่ โดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบ KBML จำเป็นต้องศึกษาถึงนิยาม และคำจำกัดความที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

นิยามที่ 1 ให้ $\{M_k\}_{k=1}^{n}$ แทนเซตของเครื่องจักร โดยที่เครื่องจักร $M_i$ มีขนาดกว้าง $W_i$ และยาว $L_i$ แล้ว ระยะห่างระหว่างเครื่องจักรที่วางอยู่ติดกัน $M_i$ และ $M_j$ ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย $d_{i,j}$ คือ ระยะทางที่วัดจากจุดกึ่งกลางของ $M_i$ ไปยังจุดกึ่งกลางของ $M_j$ นั่นคือ

$$d_{i,j} = \begin{cases} \frac{1}{2}(L_i + L_j) + C_{i,j} & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{if } i = j \end{cases}$$

โดยที่ $C_{i,j}$ คือช่องว่างระหว่างเครื่องจักร $M_i$ และ $M_j$

หากกำหนดให้ $D = [d_{ij}]_{(1 \le i,j \le n)}$ แทนเมทริกซ์ของระยะทางที่นิยามไว้ข้างต้น แล้วเมทริกซ์ D ถูกเรียกว่า **เมทริกซ์ระยะทาง**

นิยามที่ 2 ให้ $\{P_l\}_{l=1}^{n_r}$ แทนเซตของผลิตภัณฑ์ โดยที่ผลิตภัณฑ์ $P_m$ ใช้ลำดับในการผลิตผ่านเซตของเครื่องจักร $[M_{i_k}]_{i_k=1}^{p_m}$ เมื่อ $i_k \in \{1,2,...,n\}$ ให้ $f_{i,j}^{m}$ แทนจำนวนซ้ำที่เครื่องจักร $M_i$ อยู่ติดกับ

เครื่องจักร $M_j$ ที่ผลิตภัณฑ์ $P_m$ ใช้ในการผลิต แล้ว เมทริกซ์ความถี่ คือเมทริกซ์ $F=[f_{i,j}]_{(i\le i,j\le n)}$

โดยที่ $f_{i,j}=\sum_{m=1}^{m_p}\{f_{i,j}^m+f_{i,j}^m\}$

เพื่อให้ผู้อ่านเกิดความเข้าใจในนิยามข้างต้น ให้ศึกษาจากตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 3.1

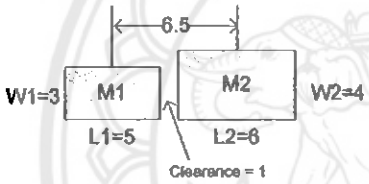
โรงงานแห่งหนึ่งมีเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต 3 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องมีขนาดดังนี้

เครื่องจักรที่ 1 ($M_1$) ขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 5 เมตร

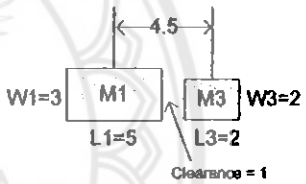
เครื่องจักรที่ 2 ($M_2$) ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร

เครื่องจักรที่ 3 ($M_3$) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร

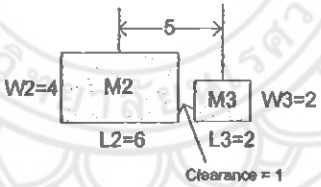
โดยสมมติให้ระยะห่างระหว่างเครื่องจักรที่วางติดกันเท่ากับ 1 เมตร สามารถพิจารณาระยะทางระหว่างเครื่องจักรแต่ละคู่ที่วางอยู่ติดกันได้ดังนี้




**รูปที่ 3.1**(a) การหาระยะทางสำหรับตัวอย่างที่ 3.1




**รูปที่ 3.1**(b) การหาระยะทางสำหรับตัวอย่างที่ 3.1




**รูปที่ 3.1**(c) การหาระยะทางสำหรับตัวอย่างที่ 3.1

$$d_{12}=2.5+1+3=6.5=d_{21}$$
$$d_{13}=2.5+1+1=4.5=d_{31}$$
$$d_{23}=3+1+1=5=d_{32}$$

จากระยะทางที่ได้นั้น นำมาเขียนเป็นเมทริกซ์ระยะทางได้เป็น

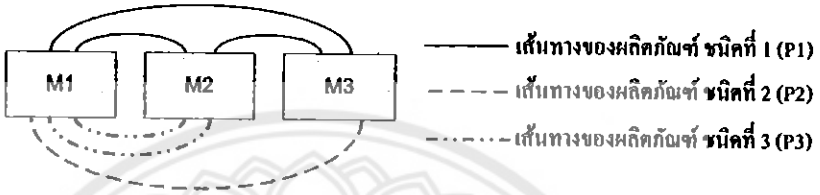
$$D=[d_{ij}]=\begin{array}{c}\\1\\2\\3\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{ccc}1&2&3\end{array}\\\begin{bmatrix}0&6.5&4.5\\6.5&0&5\\4.5&5&0\end{bmatrix}\end{array}$$

หากโรงงานแห่งนี้ผลิต 3 ผลิตภัณฑ์โดยที่แต่ละผลิตภัณฑ์ต้องใช้ลำดับในการผลิตผ่านเซตของเครื่องจักร ดังนี้

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 (P1) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_2, M_3, M_1$ และ $M_2$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 (P2) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_1$ และ $M_3$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3 (P3) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_2, M_1$ และ $M_2$

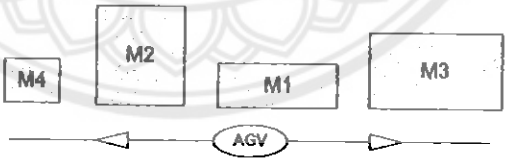



รูปที่ 3.2 แสดงการขนส่งผลิตภัณฑ์ สำหรับตัวอย่างที่ 3.1

แล้ว เมทริกซ์ความถี่คือ

$$F=[f_{ij}]=\begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 1 & 2 & 3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 3 & 2 \\ 3 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

## 3.2 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว




**รูปที่ 3.3** Single Row Layout

สำหรับหลักการในการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียวเพื่อให้ระยะทางขนส่งรวมของทุกผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยนั้น ควรเริ่มจากการวางเครื่องจักรสองเครื่องที่มีการใช้งานมากที่สุดเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงเลือกเครื่องจักรที่เหลือที่ซึ่งมีการใช้งานมากในอันดับถัดมาแล้วพิจารณาว่าควรจัดเรียงเครื่องจักรดังกล่าวไว้ทางด้านซ้าย หรือด้านขวาของเครื่องจักรที่จัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องทำการคำนวณหาระยะทางรวมทั้งหมดจากสูตร

ระยะทางรวมของเครื่องจักรที่ต้องการนำมาจัดเรียง = ผลรวมของผลคูณระหว่างความถี่และระยะทางไปทางเดียวจากเครื่องจักรดังกล่าวไปยังแต่ละเครื่องจักรที่ถูกจัดเรียงแล้ว

โดยที่ ระยะทางไปทางเดียว (Unidirection distance) มีนิยามดังต่อไปนี้

<u>นิยามที่ 3</u> ให้ $[M_{i_k}]_{k=0}^{m}$ แทนลำดับการเรียงของเครื่องจักร แล้ว ระยะทางไปทางเดียวจากเครื่องจักร $M_{i_0}$ ไปยังเครื่องจักร $M_{i_m}$ ใช้สัญลักษณ์ว่า $r_{i_0,i_m}$ คือผลรวมของระยะทางระหว่างเครื่องจักร $M_{i_0}$ ไปยังเครื่องจักร $M_{i_k}$ สำหรับทุกค่า $k = 1,2,...,m$ หรือนั่นคือ

$$r_{i_0,i_m} = \sum_{k=1}^{m} \{d_{i_0,i_k}\}$$

ดังนั้น หากกำหนดให้ $[M_{j_l}]_{l=0}^{i}$ แทนการเรียงลำดับของเครื่องจักร และให้ $Dist_p^R$ แทนระยะทางรวมในการวางเครื่องจักร $M_p$ ทางด้านขวามือของเครื่องจักรที่เรียงก่อนหน้านี้แล้ว จะได้ว่า

$$Dist_p^R = \sum_{l=0}^{i} \{f_{j_l,p} \times r_{j_l,p}\}$$

ในทำนองเดียวกัน หากกำหนดให้ $Dist_p^L$ แทนระยะทางรวมในการวางเครื่องจักร $M_p$ ทางด้านซ้ายมือของเครื่องจักรที่เรียงก่อนหน้านี้แล้ว จะได้ว่า

$$Dist_p^L = \sum_{l=0}^{i} \{f_{p,j_l} \times r_{p,j_l}\}$$

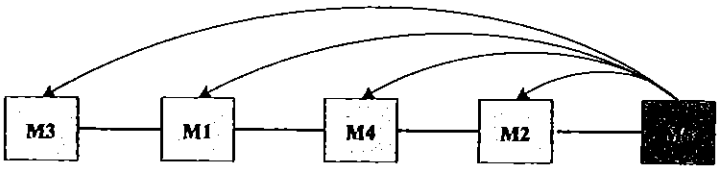
ยกตัวอย่างเช่น หากเครื่องจักรที่ถูกเรียงลำดับไว้แล้วคือ

รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการจัดเรียงเครื่องจักร

ในที่นี้ จะได้ว่า

$$j_0 = 3, j_1 = 1, j_2 = 4, j_3 = 2$$

ดังนั้น หากต้องการวางเครื่องจักร $M_5$ ทางด้านขวามือ ดังรูป




รูปที่ 3.5 แสดงการวางเครื่องจักรไว้ทางด้านซ้าย

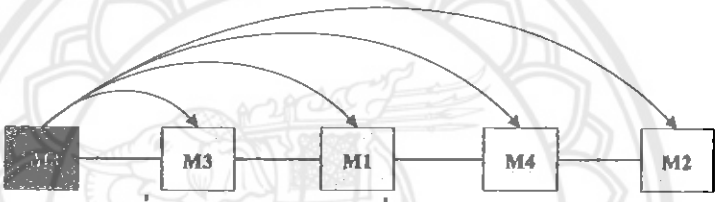
จะได้ว่า

$$Dist_5^R = \sum_{l=0}^{l=4} \{f_{j_l,5} \times r_{j_l,5}\}$$
$$= (f_{j_0,5} \times r_{j_0,5}) + (f_{j_1,5} \times r_{j_1,5}) + (f_{j_2,5} \times r_{j_2,5}) + (f_{j_3,5} \times r_{j_3,5})$$

โดยที่

$$r_{j_0,5} = d_{j_0,j_1} + d_{j_1,j_2} + d_{j_2,j_3} + d_{j_3,5} = d_{3,1} + d_{1,4} + d_{4,2} + d_{2,5}$$
$$r_{j_1,5} = d_{j_1,j_2} + d_{j_2,j_3} + d_{j_3,5} = d_{1,4} + d_{4,2} + d_{2,5}$$
$$r_{j_2,5} = d_{j_2,j_3} + d_{j_3,5} = d_{4,2} + d_{2,5}$$
$$r_{j_3,5} = d_{j_3,5} = d_{2,5}$$

และหากต้องการวางเครื่องจักร $M_5$ ทางด้านซ้ายมือ ดังรูป




รูปที่ 3.6 แสดงการวางเครื่องจักรไว้ทางด้านขวา

จะได้ว่า

$$Dist_5^L = \sum_{l=0}^{l=4} \{f_{5,j_l} \times r_{5,j_l}\}$$
$$= (f_{5,j_0} \times r_{5,j_0}) + (f_{5,j_1} \times r_{5,j_1}) + (f_{5,j_2} \times r_{5,j_2}) + (f_{5,j_3} \times r_{5,j_3})$$

โดยที่

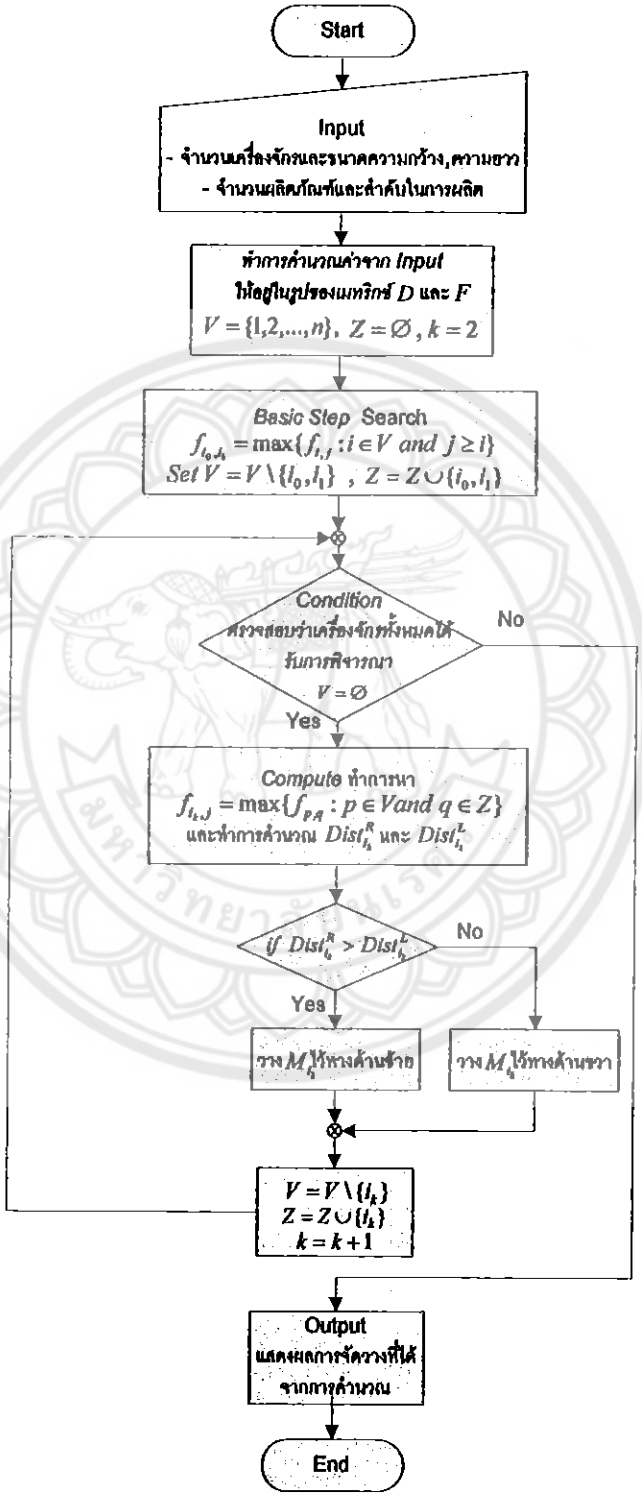
$$r_{5,j_0} = d_{5,j_0} = d_{5,3}$$
$$r_{5,j_1} = d_{5,j_0} + d_{j_0,j_1} = d_{5,3} + d_{3,1}$$
$$r_{5,j_2} = d_{5,j_0} + d_{j_0,j_1} + d_{j_1,j_2} = d_{5,3} + d_{3,1} + d_{1,4}$$
$$r_{5,j_3} = d_{5,j_0} + d_{j_0,j_1} + d_{j_1,j_2} + d_{j_2,j_3} = d_{5,3} + d_{3,1} + d_{1,4} + d_{4,2}$$

เมื่อได้ระยะทาง $Dist_p^R$ และ $Dist_p^L$ แล้ว ให้พิจารณาว่าระยะทางใดมีค่าน้อยที่สุด แล้วจึงเลือกวางเครื่องจักร $M_p$ ทางด้านนั้น ทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งเครื่องจักรถูกนำมาจัดเรียงทั้งหมด จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

**ตารางที่ 3.1** กระบวนการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว

| ขั้นตอน | กระบวนการทำงาน |
|---|---|
| กำหนดให้ | ➢ $\{M_k\}_{k=1}^{n}$ แทนเซตของเครื่องจักร $n$ เครื่อง $(n \geq 2)$ โดยที่เครื่องจักร $M_i$ มีขนาดความกว้าง $W_i$ และความยาว $L_i$<br>➢ $\{P_l\}_{l=1}^{n_r}$ แทนเซตของผลิตภัณฑ์ โดยที่ผลิตภัณฑ์ $P_m$ มีลำดับในการผลิตผ่านเซตของเครื่องจักร $[M_{i_k}]_{i_k=1}^{P_m}$ ที่ซึ่ง $i_k \in \{1,2,...,n\}$ |
| ขั้นเริ่มต้น | ➢ คำนวณหาเมทริกซ์ระยะทาง $D=[d_{i,j}]_{\{1\leq i,j\leq n\}}$<br>➢ คำนวณหาเมทริกซ์ความถี่ $F=[f_{i,j}]_{\{1\leq i,j\leq n\}}$<br>➢ ให้ $V=\{1,2,...,n\}$ และ $Z=\varnothing$<br>➢ ให้ $k=2$ |
| ขั้นพื้นฐาน | ➢ หา $f_{i_0,i_1}=\max\limits_{\substack{i\in V\\ j\geq i}}\{f_{i,j}\}$<br>➢ ถ้ามีตำแหน่งในเมทริกซ์ $F$ ที่ซึ่งเกิดค่ามากที่สุดมากกว่า 1 ตำแหน่งนั้นคือ $\{f_{k_i,l_i}\}_{i=1}^{q}$ ให้พิจารณาเมทริกซ์ $D$ โดยเลือก $(k_{i^*},l_{i^*})$ ที่ซึ่ง $D_{k_{i^*},l_{i^*}}=\max\limits_{1\leq i\leq q}\{d_{k_i,l_i}\}$ แล้วเลือกให้ $i_0=k_{i^*}$ และ $i_1=l_{i^*}$<br>➢ ทำการจัดเรียงเครื่องจักร $M_{i_0}$ ติดกับเครื่องจักร $M_{i_1}$<br>➢ ปรับ $V=V\setminus\{i_0,i_1\}$ และ $Z=Z\cup\{i_0,i_1\}$ |
| ขั้นวนซ้ำ | ขณะที่ $V\neq\varnothing$<br>➢ หา $f_{i_k,j}=\max\limits_{\substack{p\in V\\ q\in Z}}\{f_{p,q}\}$<br>➢ เลือกเครื่องจักร $M_{i_k}$ มาใช้ในการจัดเรียง<br>➢ คำนวณ $Dist_{i_k}^{R}$ และ $Dist_{i_k}^{L}$<br>➢ ถ้า $Dist_{i_k}^{R}<Dist_{i_k}^{L}$ ให้วางเครื่องจักร $M_{i_k}$ ทางด้านขวามือของเครื่องจักรที่จัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ แต่ถ้า $Dist_{i_k}^{R}\geq Dist_{i_k}^{L}$ ให้วางเครื่องจักร $M_{i_k}$ ทางด้านซ้ายมือแทน<br>➢ ปรับ $V=V\setminus\{i_k\}$ และ $Z=Z\cup\{i_k\}$<br>➢ ปรับ $k=k+1$ |

แผนผังการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว




**รูปที่ 3.7** Flowchart แสดงการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว

**ตัวอย่างการทำงานของ KBML ในการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว**

สมมติให้โรงงานแห่งหนึ่งผลิตสินค้า 5 ชนิด โดยที่สินค้าแต่ละชนิดต้องส่งผ่านผลิตภัณฑ์ไปตามลำดับของเครื่องจักร ดังนี้

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 ( $P_1$ ) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_4, M_3, M_1$ และ $M_4$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 ( $P_2$ ) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_1, M_2$ และ $M_4$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3 ( $P_3$ ) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_1, M_3, M_1$ และ $M_4$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 4 ( $P_4$ ) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_3, M_4$ และ $M_3$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 5 ( $P_5$ ) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_2, M_1, M_4$ และ $M_3$

โดยที่เครื่องจักรทั้ง 4 เครื่องนั้น มีขนาดความกว้างและความยาว ดังนี้

เครื่องจักรที่ 1 ( $M_1$ ) ขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 2 เมตร

เครื่องจักรที่ 2 ( $M_2$ ) ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 4 เมตร

เครื่องจักรที่ 3 ( $M_3$ ) ขนาด กว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร

เครื่องจักรที่ 4 ( $M_4$ ) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร

โดยที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีระยะห่างระหว่างเครื่องเท่ากับ 1 เมตร

**ขั้นเริ่มต้น** จากข้อมูลที่กำหนดให้มานั้น สามารถคำนวณหาเมทริกซ์ระยะทาง ( $D$ ) และเมทริกซ์ความถี่ ( $F$ ) ได้ ดังนี้

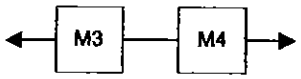
$$D=[D_{ij}]=\begin{array}{c} \\ 1\\2\\3\\4\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{cccc}1&2&3&4\end{array}\\\begin{bmatrix}0&4&5&3\\4&0&6&4\\5&6&0&5\\3&4&5&0\end{bmatrix}\end{array} \qquad F=[f_{ij}]=\begin{array}{c} \\ 1\\2\\3\\4\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{cccc}1&2&3&4\end{array}\\\begin{bmatrix}0&2&3&3\\2&0&0&1\\3&0&0&4\\3&1&4&0\end{bmatrix}\end{array}$$

เนื่องจากมีเครื่องจักรทั้งหมด 4 เครื่อง จึงได้ว่า $V=\{1,2,3,4\}$ และให้ $Z=\varnothing$

กำหนดให้ $k=2$

**ขั้นพื้นฐาน** จากเมทริกซ์ความถี่ ( $F$ ) ที่ได้ พบว่า $f_{i_0,i_1}=f_{3,4}=4$ ซึ่งมีค่ามากที่สุด ดังนั้น จึงจัดเรียงเครื่องจักร $M_3$ ติดกับเครื่องจักร $M_4$ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 พร้อมทั้งปรับเซต $V$ เป็น $V=\{1,2,3,4\}\setminus\{3,4\}=\{1,2\}$ และปรับเซต $Z$ เป็น $Z=\varnothing\cup\{3,4\}=\{3,4\}$

$$F=[f_{ij}]=\begin{array}{c} \\ \\ \rightarrow 3 \\ \\ \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 1 & 2 & 3 & \downarrow 4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 3 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 & \textcircled{4} \\ 3 & 1 & 4 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$




**รูปที่ 3.8 แสดงการจัดเรียงเครื่องจักร**

**ขั้นวนซ้ำ** เนื่องจาก $V=\{1,2\}\neq\varnothing$ จึงเริ่มคำนวณต่อ ดังนี้

รอบที่ 1 พิจารณา $f_{p,q}$ สำหรับทุกค่า $p\in V=\{1,2\}$ และ $q\in Z=\{3,4\}$ ซึ่งพบว่า

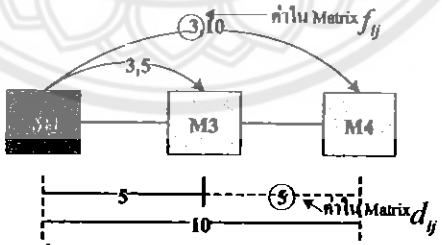
$$f_{1,3}=3\,,f_{1,4}=3\,,f_{2,3}=0 \text{ และ } f_{2,4}=1$$

เนื่องจาก $f_{1,3}$ เกิดค่าสูงสุด ดังนั้น จึงให้ $f_{i_2,3}=f_{1,3}=3$

$$[f_{ij}]=\begin{array}{c} \\ \rightarrow 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 1 & 2 & \downarrow 3 & 4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 2 & \textcircled{3} & 3 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 & 4 \\ 3 & 1 & 4 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

ดังนั้น จึงเลือกเครื่องจักร $M_1$ มาใช้ในการจัดเรียง ซึ่งต้องพิจารณาว่า จะนำเครื่องจักร $M_1$ มาเรียงทางด้านซ้ายมือของ $M_3,M_4$ หรือเรียงไว้ทางขวามือ โดยทำการคำนวณหาระยะทางรวม ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> เรียง $M_1$ ทางซ้ายมือของ $M_3,M_4$



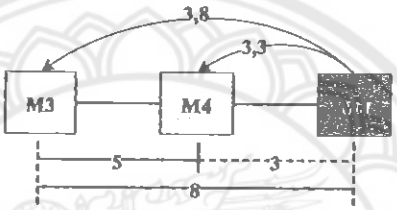

**รูปที่ 3.9 แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 1**

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ $Dist_{i_2}^{L}=\sum_{l=0}^{1}\{f_{i_2,J_l}\times r_{i_2,J_l}\}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_1^L &= (f_{1,j_0} \times r_{1,j_0}) + (f_{1,j_1} \times r_{1,j_1}) \\ &= (f_{1,3} \times r_{1,3}) + (f_{1,4} \times r_{1,4}) \\ &= (f_{1,3} \times d_{1,3}) + (f_{1,4} \times (d_{1,3} + d_{3,4})) \\ &= (3 \times 5) + (3 \times (5+5)) \\ &= 45 \end{aligned}$$

<u>กรณีที่ 2</u> เรียง $M_1$ ทางขวามือของ $M_3, M_4$




รูปที่ 3.10 แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 2

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ $Dist_{i_2}^R = \sum_{l=0}^{1} \{f_{j_l,j_2} \times r_{j_l,j_2}\}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_1^R &= (f_{j_0,1} \times r_{j_0,1}) + (f_{j_1,1} \times r_{j_1,1}) \\ &= (f_{3,1} \times r_{3,1}) + (f_{4,1} \times r_{4,1}) \\ &= (f_{3,1} \times (d_{3,4} + d_{4,1})) + (f_{4,1} \times d_{4,1}) \\ &= (3 \times (5+3)) + (3 \times 3) \\ &= 33 \end{aligned}$$

เนื่องจาก $Dist_{i_2}^R < Dist_{i_2}^L$ จึงวางเครื่องจักร $M_{i_2} = M_1$ ทางด้านขวามือของเครื่องจักรที่จัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 พร้อมทั้งปรับเซต $V$ เป็น $V = \{1,2\} \setminus \{1\} = \{2\}$ และปรับเซต $Z$ เป็น $Z = \{3,4\} \cup \{1\} = \{1,3,4\}$ ปรับ $k = 3$

รูปที่ 3.11 แสดงการจัดเรียงรอบที่ 1

เนื่องจาก $V = \{2\} \neq \varnothing$ จึงเริ่มคำนวณรอบถัดไป ดังนี้

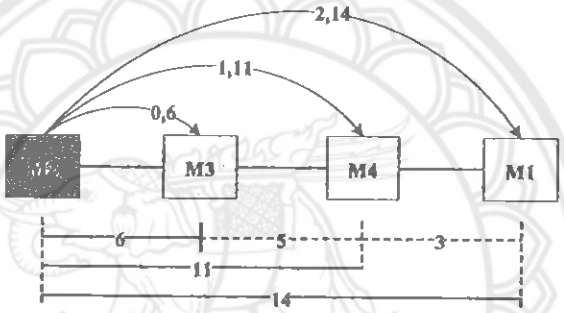
**รอบที่ 2** พิจารณา $f_{p,q}$ สำหรับทุกค่า $p \in V = \{2\}$ และ $q \in Z = \{1,3,4\}$ ซึ่งพบว่า

$$f_{2,1} = 2, f_{2,3} = 0 \text{ และ } f_{2,4} = 1$$

เนื่องจาก $f_{2,1}$ เกิดค่าสูงสุด ดังนั้น จึงให้ $f_{i_3,1} = f_{2,1} = 2$

ดังนั้น จึงเลือกเครื่องจักร $M_2$ มาใช้ในการจัดเรียง ซึ่งต้องพิจารณาว่า จะนำเครื่องจักร $M_2$ มาเรียงทางด้านซ้ายมือของ $M_3, M_4, M_1$ หรือเรียงไว้ทางขวามือ โดยทำการคำนวณหาระยะทางรวม ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> เรียง $M_2$ ทางซ้ายมือของ $M_3, M_4, M_1$



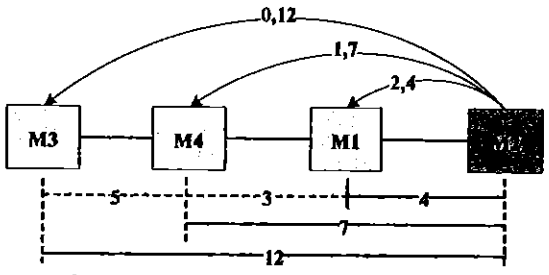

**รูปที่ 3.12** แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 1

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ $Dist_{i_3}^{L} = \sum_{l=0}^{2} \{f_{i_3,j_l} \times r_{i_3,j_l}\}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_2^L &= (f_{2,j_0} \times r_{2,j_0}) + (f_{2,j_1} \times r_{2,j_1}) + (f_{2,j_2} \times r_{2,j_2}) \\ &= (f_{2,3} \times r_{2,3}) + (f_{2,4} \times r_{2,4}) + (f_{2,1} \times r_{2,1}) \\ &= (f_{2,3} \times d_{2,3}) + (f_{2,4} \times (d_{2,3} + d_{3,4})) + (f_{2,1} \times (d_{2,3} + d_{3,4} + d_{4,1})) \\ &= (0 \times 6) + (1 \times (6+5)) + (2 \times (6+5+3)) \\ &= 39 \end{aligned}$$

<u>กรณีที่ 2</u> เรียง $M_2$ ทางขวามือของ $M_3, M_4, M_1$




**รูปที่ 3.13** แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 2

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ $Dist_{i_3}^R = \sum_{l=0}^{2} \{f_{j_l,j_3} \times r_{j_l,j_3}\}$

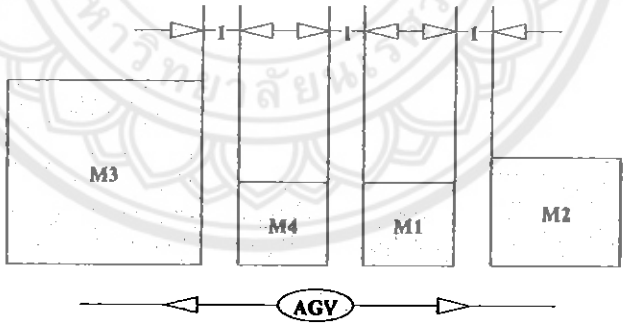
ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_2^R &= (f_{j_0,2} \times r_{j_0,2}) + (f_{j_1,2} \times r_{j_1,2}) + (f_{j_2,2} \times r_{j_2,2}) \\ &= (f_{3,2} \times r_{3,2}) + (f_{4,2} \times r_{4,2}) + (f_{1,2} \times r_{1,2}) \\ &= (f_{3,2} \times (d_{3,4} + d_{4,1} + d_{1,2}) + (f_{4,2} \times (d_{4,1} + d_{1,2})) + (f_{1,2} \times d_{1,2}) \\ &= (0 \times (5+3+4) + (1 \times (3+4)) + (2 \times 4) \\ &= 15 \end{aligned}$$

เนื่องจาก $Dist_{i_3}^R < Dist_{i_3}^L$ จึงวางเครื่องจักร $M_{i_3} = M_2$ ทางด้านขวามือของเครื่องจักรที่จัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 พร้อมทั้งปรับเซต $V$ เป็น $V = \{2\} \setminus \{2\} = \varnothing$ และปรับเซต $Z$ เป็น $Z = \{1,3,4\} \cup \{2\} = \{1,2,3,4\}$ ปรับ $k = 4$

**รูปที่ 3.14** แสดงการจัดเรียงรอบที่ 2

เนื่องจาก $V = \varnothing$ จึงสิ้นสุดการทำงานและได้รูปแบบการวางผังเครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 3.15




**รูปที่ 3.15** แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



### 3.3 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่

สำหรับหลักการในการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่เพื่อให้ระยะทางขนส่งรวมของทุกผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยนั้น ควรเริ่มจากการวางเครื่องจักรสองเครื่องที่มีการใช้งานมากที่สุดเป็นอันดับแรก โดยกำหนดให้มีการจัดวางในลักษณะที่จุดกึ่งกลางตรงกัน จากนั้นจึงเลือกเครื่องจักรที่เหลือที่ซึ่งมีการใช้งานมากในอันดับถัดมาแล้วพิจารณาว่าควรจัดเรียงเครื่องจักรดังกล่าวไว้ทางด้านบนขวา ด้านล่างขวา ด้านบนซ้าย หรือด้านล่างซ้ายของเครื่องจักรที่จัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งในขั้นตอนนี้ ต้องทำการคำนวณหาระยะทางรวมทั้งหมดจากสูตร

ระยะทางรวมของเครื่องจักรที่ต้องการนำมาจัดเรียง = ผลรวมของผลคูณระหว่างความถี่และระยะทางขนส่งในแถวคู่ของเครื่องจักรดังกล่าวไปยังแต่ละเครื่องจักรที่ถูกจัดเรียงแล้ว

โดยที่ ระยะทางขนส่งในแถวคู่ มีนิยามดังต่อไปนี้

นิยามที่ 4 ให้ $\{M_k\}_{k=1}^{n}$ แทนเซตของเครื่องจักรและกำหนดให้

$Z^{UL}$ แทนเซตของดัชนี(Index) ของเครื่องจักรที่ถูกเรียงในตำแหน่งด้านบนซ้าย

$Z^{UR}$ แทนเซตของดัชนี(Index) ของเครื่องจักรที่ถูกเรียงในตำแหน่งด้านบนขวา

$Z^{DL}$ แทนเซตของดัชนี(Index) ของเครื่องจักรที่ถูกเรียงในตำแหน่งด้านล่างซ้าย

$Z^{DR}$ แทนเซตของดัชนี(Index) ของเครื่องจักรที่ถูกเรียงในตำแหน่งด้านล่างขวา

และให้ $Z^{UC}=\{i_0\}$ และ $Z^{DC}=\{i_1\}$ หากให้เครื่องจักรที่เรียงอยู่เรียบร้อยแล้ว $t+1$ เครื่อง แล้วระยะทางรวมในการวางเครื่องจักร $M_p$ ที่ตำแหน่งด้านบนซ้าย บนขวา ล่างซ้ายและล่างขวาของเครื่องจักรที่เรียงก่อนหน้านี้ ซึ่งใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ $Dist_p^{UL}, Dist_p^{UR}, Dist_p^{DL}$ และ $Dist_p^{DR}$ ตามลำดับ โดยมีนิยามดังต่อไปนี้

1) $$Dist_p^{UL}=\sum_{l=0}^{t}\{f_{p,j_l}\times s_{p,j_l}\}$$

$$\text{โดยที่ } s_{p,j_l}=\begin{cases}\left|r_{p,i_0}-r_{j_l,i_0}\right| & \text{if } j_l\in Z^{UL}\cup Z^{UC}\\ r_{p,i_0}+r_{j_l,i_0} & \text{if } j_l\in Z^{UR}\cup Z^{UC}\\ \left|r_{p,i_0}-r_{j_l,i_1}\right| & \text{if } j_l\in Z^{DL}\cup Z^{DC}\\ r_{p,i_0}+r_{j_l,i_1} & \text{if } j_l\in Z^{DR}\cup Z^{DC}\end{cases}$$

i5705770
ล.ร.
74227
2552

2) $Dist_p^{UR} = \sum_{l=0}^{i} \{f_{p,j_l} \times s_{p,j_l}\}$

โดยที่ $s_{p,j_l} = \begin{cases} \left| r_{p,i_0} - r_{j_l,i_0} \right| & if\ j_l \in Z^{UR} \cup Z^{UC} \\ r_{p,i_0} + r_{j_l,i_0} & if\ j_l \in Z^{UL} \cup Z^{UC} \\ \left| r_{p,j_0} - r_{j_l,j_1} \right| & if\ j_l \in Z^{DR} \cup Z^{DC} \\ r_{p,j_0} + r_{j_l,j_1} & if\ j_l \in Z^{DL} \cup Z^{DC} \end{cases}$

3) $Dist_p^{DL} = \sum_{l=0}^{i} \{f_{p,j_l} \times s_{p,j_l}\}$

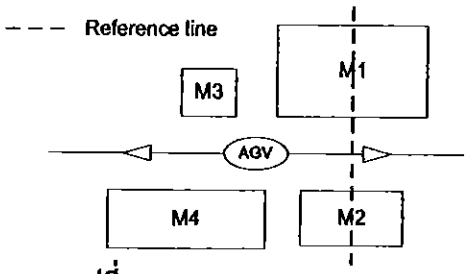
โดยที่ $s_{p,j_l} = \begin{cases} \left| r_{p,j_1} - r_{j_l,j_1} \right| & if\ j_l \in Z^{DL} \cup Z^{UC} \\ r_{p,j_1} + r_{j_l,j_1} & if\ j_l \in Z^{DR} \cup Z^{UC} \\ \left| r_{p,j_1} - r_{j_l,i_0} \right| & if\ j_l \in Z^{UL} \cup Z^{DC} \\ r_{p,j_1} + r_{j_l,i_0} & if\ j_l \in Z^{UR} \cup Z^{DC} \end{cases}$

4) $Dist_p^{DR} = \sum_{l=0}^{i} \{f_{p,j_l} \times s_{p,j_l}\}$

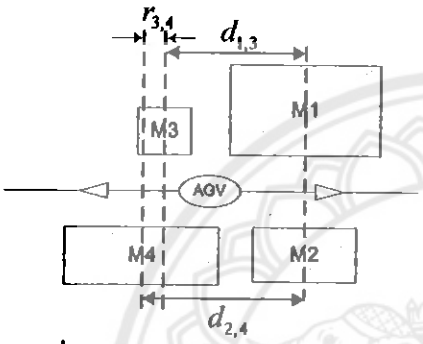
โดยที่ $s_{p,j_l} = \begin{cases} \left| r_{p,j_1} - r_{j_l,j_1} \right| & if\ j_l \in Z^{DR} \cup Z^{UC} \\ r_{p,j_1} + r_{j_l,j_1} & if\ j_l \in Z^{DL} \cup Z^{UC} \\ \left| r_{p,j_1} - r_{j_l,i_0} \right| & if\ j_l \in Z^{UR} \cup Z^{DC} \\ r_{p,j_1} + r_{j_l,i_0} & if\ j_l \in Z^{UL} \cup Z^{DC} \end{cases}$

<u>หมายเหตุ</u> เนื่องจาก $M_{i_0}$ และ $M_{j_1}$ ถูกจัดเรียงให้มีจุดกึ่งกลางตรงกัน ดังนั้นระยะทางไปทางเดียว $(r_{i_0,j_1}) = 0$

เมื่อได้ระยะทาง $Dist_p^{UL}, Dist_p^{UR}, Dist_p^{DL}$ และ $Dist_p^{DR}$ แล้ว ให้พิจารณาว่าระยะทางใดมีค่าน้อยที่สุด แล้วจึงเลือกวางเครื่องจักร $M_p$ ในลักษณะข้างต้น ทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งเครื่องจักรถูกนำมาจัดเรียงทั้งหมด เพื่อให้เกิดความเข้าใจยิ่งขึ้น ให้ผู้อ่านพิจารณาการวางเครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 3.16 ซึ่งแสดงเครื่องจักร 4 เครื่อง โดยให้เครื่องจักร $M_1$ และ $M_2$ วางในตำแหน่งที่มีจุดกึ่งกลางตรงกัน และให้เครื่องจักร $M_3$ และ $M_4$ วางอยู่ทางด้านซ้ายของเครื่องจักรคู่แรก




**รูปที่ 3.16** Double Row Layout




จากรูปที่ 3.17 ผู้อ่านสามารถตรวจสอบโดยไม่ยากว่า

1) ระยะทางรวมจาก $M_1$ ไปยัง $M_2$ $r_{1,2}=0$

2) ระยะทางรวมจาก $M_1$ ไปยัง $M_3$ $r_{1,3}=d_{1,3}=r_{2,3}$

3) ระยะทางรวมจาก $M_2$ ไปยัง $M_4$ $r_{2,4}=d_{2,4}=r_{1,4}$

4) ระยะทางรวมจาก $M_3$ ไปยัง $M_4$ $r_{3,4}=\left|d_{3,1}-d_{4,2}\right|$

**รูปที่ 3.17** แสดงการพิจารณาระยะทาง

ขั้นตอนวิธีแบบ KBML สำหรับการออกแบบการวางผังเครื่องจักรแบบแถวคู่จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

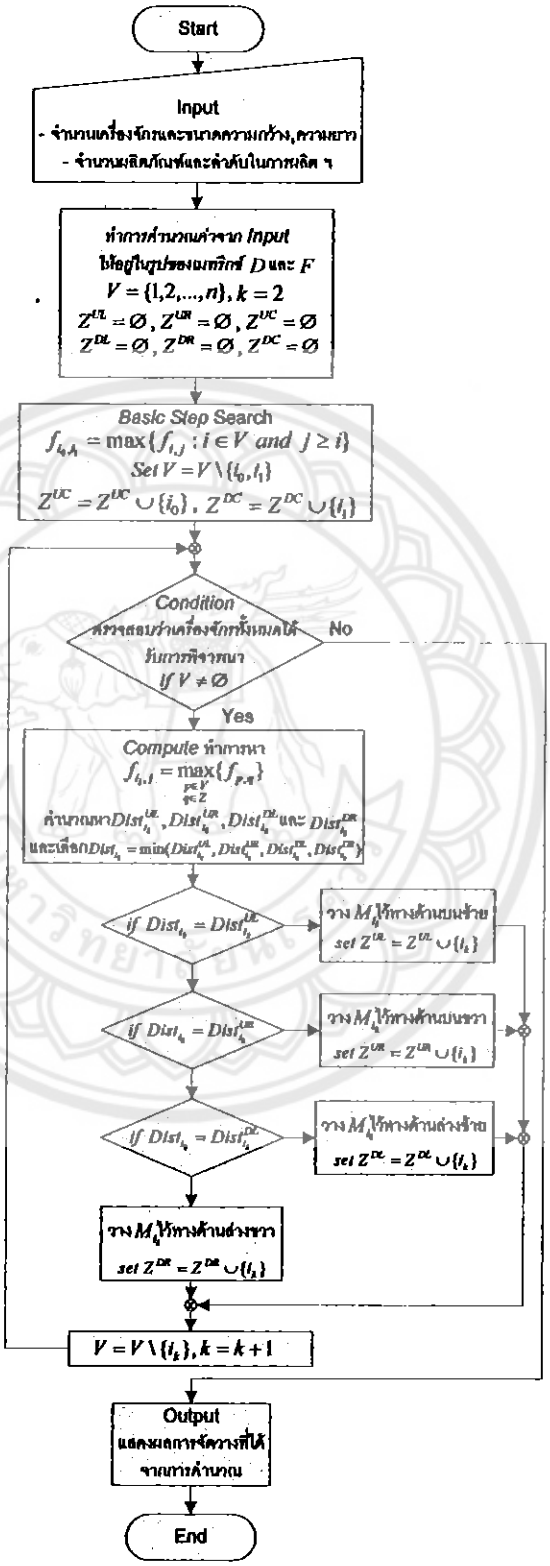
**ตารางที่ 3.2** กระบวนการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่

| ขั้นตอน | กระบวนการทำงาน |
|---|---|
| กำหนดให้ | ➢ $\{M_k\}_{k=1}^{n}$ แทนเซตของเครื่องจักร $n$ เครื่อง $(n\geq 2)$ โดยที่เครื่องจักร $M_i$ มีขนาดความกว้าง $W_i$ และความยาว $L_i$<br>➢ $\{P_l\}_{l=1}^{n_p}$ แทนเซตของผลิตภัณฑ์ โดยที่ผลิตภัณฑ์ $P_m$ มีลำดับในการผลิตผ่านเซตของเครื่องจักร $[M_{i_k}]_{i_k=1}^{n_m}$ ที่ซึ่ง $i_k\in\{1,2,...,n\}$ |
| ขั้นเริ่มต้น | ➢ คำนวณหาเมทริกซ์ระยะทาง $D=[d_{i,j}]_{\{1\leq i,j\leq n\}}$<br>➢ คำนวณหาเมทริกซ์ความถี่ $F=[f_{i,j}]_{\{1\leq i,j\leq n\}}$<br>➢ ให้ $V=\{1,2,...,n\}$<br>➢ ให้ $Z^{UL}=\varnothing, Z^{UR}=\varnothing, Z^{UC}=\varnothing, Z^{DL}=\varnothing, Z^{DR}=\varnothing, Z^{DC}=\varnothing$ และ $k=2$<br>➢ $Z=Z^{UL}\cup Z^{UR}\cup Z^{UC}\cup Z^{DL}\cup Z^{DR}\cup Z^{DC}$ |

**ตารางที่ 2.2 (ต่อ) กระบวนการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่**

| ขั้นตอน | กระบวนการทำงาน |
|---|---|
| ขั้นพื้นฐาน | ➢ หา $f_{i_0,i_1} = \max_{\substack{i\in V \\ j\geq i}}\{f_{i,j}\}$<br>➢ ถ้ามีตำแหน่งในเมทริกซ์ $F$ ที่ซึ่งเกิดค่ามากที่สุดมากกว่า 1 ตำแหน่งนั้นคือ $\{f_{k_i,l_i}\}_{i=1}^{q}$ ให้พิจารณาเมทริกซ์ $D$ โดยเลือก $(k_{i^*},l_{i^*})$ ที่ซึ่ง $D_{k_{i^*},l_{i^*}} = \max_{1\leq i\leq q}\{d_{k_i,l_i}\}$ แล้วเลือกให้ $i_0 = k_{i^*}$ และ $i_1 = l_{i^*}$<br>➢ จัดเรียงเครื่องจักร $M_{i_0}$ ให้มีจุดกึ่งกลางตรงกับเครื่องจักร $M_{i_1}$<br>➢ ปรับ $V = V\setminus\{i_0,i_1\}$ , $Z^{UC} = Z^{UC}\cup\{i_0\}$ และ $Z^{DC} = Z^{DC}\cup\{i_1\}$ |
| ขั้นวนซ้ำ | ขณะที่ $V \neq \varnothing$<br>➢ หา $f_{i_k,j} = \max_{\substack{p\in V \\ q\in Z}}\{f_{p,q}\}$<br>➢ เลือกเครื่องจักร $M_{i_k}$ มาใช้ในการจัดเรียง<br>➢ คำนวณ $Dist_{i_k}^{UL}, Dist_{i_k}^{UR}, Dist_{i_k}^{DL}$ และ $Dist_{i_k}^{DR}$<br>➢ เลือกการจัดวางของ $i_k$ ที่ซึ่ง $Dist_{i_k} = \min\{Dist_{i_k}^{UL}, Dist_{i_k}^{UR}, Dist_{i_k}^{DL}, Dist_{i_k}^{DR}\}$<br>ถ้า a) $Dist_{i_k} = Dist_{i_k}^{UL}$ ให้เรียงเครื่องจักร $M_{i_k}$ ไว้ทางด้านบนซ้ายของเครื่องจักรที่ถูกจัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ปรับ $Z^{UL} = Z^{UL}\cup\{i_k\}$<br>b) $Dist_{i_k} = Dist_{i_k}^{UR}$ ให้เรียงเครื่องจักร $M_{i_k}$ ไว้ทางด้านบนขวาของเครื่องจักรที่ถูกจัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ปรับ $Z^{UR} = Z^{UR}\cup\{i_k\}$<br>c) $Dist_{i_k} = Dist_{i_k}^{DL}$ ให้เรียงเครื่องจักร $M_{i_k}$ ไว้ทางด้านล่างซ้ายของเครื่องจักรที่ถูกจัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ปรับ $Z^{DL} = Z^{DL}\cup\{i_k\}$<br>d) $Dist_{i_k} = Dist_{i_k}^{DR}$ ให้เรียงเครื่องจักร $M_{i_k}$ ไว้ทางด้านล่างขวาของเครื่องจักรที่ถูกจัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ปรับ $Z^{DR} = Z^{DR}\cup\{i_k\}$<br>➢ ปรับ $V = V\setminus\{i_k\}$ และ $k = k+1$ |

## แผนผังแสดงการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่




**รูปที่ 3.18** Flowchart แสดงการทำงานการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่

**ตัวอย่างการทำงานของ KBML ในการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่**

สมมุติให้โรงงานแห่งหนึ่งผลิตสินค้า 5 ชนิด โดยสินค้าแต่ละชนิดต้องส่งผ่านผลิตภัณฑ์ไปตามลำดับของเครื่องจักรดังนี้

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 ($P_1$) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_3, M_1, M_4, M_1$ และ $M_2$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 ($P_2$) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_1, M_2, M_5, M_2$ และ $M_3$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3 ($P_3$) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_4, M_5, M_4, M_1, M_4$ และ $M_5$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 4 ($P_4$) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_3, M_2, M_1, M_5, M_4$ และ $M_5$

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 5 ($P_5$) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น $M_3, M_2, M_1$ และ $M_2$

โดยที่เครื่องจักรทั้ง 5 เครื่องนั้น มีขนาดความกว้างและความยาว ดังนี้

เครื่องจักรที่ 1 ($M_1$) ขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 5 เมตร

เครื่องจักรที่ 2 ($M_2$) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร

เครื่องจักรที่ 3 ($M_3$) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร

เครื่องจักรที่ 4 ($M_4$) ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร

เครื่องจักรที่ 5 ($M_5$) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร

โดยที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องมีระยะห่างระหว่างเครื่องเท่ากับ 1 เมตร

**ขั้นเริ่มต้น** จากข้อมูลที่กำหนดให้มานั้น สามารถคำนวณหาเมทริกซ์ระยะทาง ($D$) และเมทริกซ์ความถี่ ($F$) ได้ ดังนี้

$$D=[d_{ij}]=\begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 4.5 & 5 & 6.5 & 5.5 \\ 4.5 & 0 & 3.5 & 5 & 4 \\ 5 & 3.5 & 0 & 5.5 & 4.5 \\ 6.5 & 5 & 5.5 & 0 & 6 \\ 5.5 & 4 & 4.5 & 6 & 0 \end{bmatrix} \end{array} \qquad F=[f_{ij}]=\begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 5 & 1 & 4 & 1 \\ 5 & 0 & 3 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 1 & 2 & 0 & 5 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

เนื่องจากมีเครื่องจักรทั้งหมด 5 เครื่อง จึงได้ว่า $V=\{1,2,3,4,5\}$ และกำหนดให้

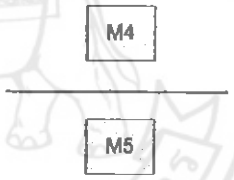
$$Z^{UL}=\varnothing \qquad Z^{DL}=\varnothing$$
$$Z^{UR}=\varnothing \qquad Z^{DR}=\varnothing$$
$$Z^{UC}=\varnothing \qquad Z^{DC}=\varnothing$$

ให้ $k=2$

**ขั้นพื้นฐาน** จากเมทริกซ์ความถี่ ($F$) ที่ได้ พบว่า $f_{1,2}=5=f_{4,5}$ ซึ่งเป็นค่ามากที่สุด ดังนั้นในการเลือก $f_{i_0,j_1}$ จึงต้องนำค่าในเมทริกซ์ระยะทาง($D$) มาพิจารณาประกอบ

$$F=[f_{ij}]=\begin{array}{c} \\ \rightarrow 1 \\ 2 \\ 3 \\ \rightarrow 4 \\ 5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & \downarrow 2 & 3 & 4 & \downarrow 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & (5) & 1 & 4 & 1 \\ 5 & 0 & 3 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & (5) \\ 1 & 2 & 0 & 5 & 0 \end{bmatrix} \end{array} \qquad D=[d_{ij}]=\begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & (4.5) & 5 & 6.5 & 5.5 \\ 4.5 & 0 & 3.5 & 5 & 4 \\ 5 & 3.5 & 0 & 5.5 & 4.5 \\ 6.5 & 5 & 5.5 & 0 & (6) \\ 5.5 & 4 & 4.5 & 6 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

เนื่องจาก $d_{1,2}=4.5$ แต่ $d_{4,5}=6$ ดังนั้นจึงเลือก $f_{i_0,j_1}=f_{4,5}$ และจัดเรียงเครื่องจักร $M_4$ ให้จุดกึ่งกลางตรงกับเครื่องจักร $M_5$ ดังแสดงในรูปที่ 3.19 พร้อมทั้งปรับเซต $V$ เป็น $V=\{1,2,3,4,5\}\setminus\{4,5\}=\{1,2,3\}$ ปรับเซต $Z^{UC}$ เป็น $Z^{UC}=\varnothing\cup\{4\}=\{4\}$ และปรับเซต $Z^{DC}$ เป็น $Z^{DC}=\varnothing\cup\{5\}=\{5\}$




**รูปที่ 3.19 รูปแบบการจัดเรียงขั้นเริ่มต้น**

**ขั้นวนซ้ำ** เนื่องจาก $V=\{1,2,3\}\neq\varnothing$ จึงเริ่มคำนวณต่อ ดังนี้

**<u>รอบที่ 1</u>** พิจารณา $f_{p,q}$ สำหรับทุกค่า $p\in V=\{1,2,3\}$ และ $q\in Z=\{4,5\}$ ซึ่งพบว่า

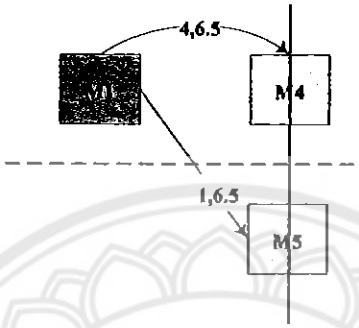
$$f_{1,4}=4, f_{1,5}=1, f_{2,4}=0, f_{2,5}=2, f_{3,4}=0 \text{ และ } f_{3,5}=0$$

เนื่องจาก $f_{1,4}$ เกิดค่าสูงสุด ดังนั้น จึงให้ $f_{i_2,4}=f_{1,4}=4$

$$F=[f_{ij}]=\begin{array}{c} \\ \rightarrow 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & \downarrow 4 & 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 5 & 1 & (4) & 1 \\ 5 & 0 & 3 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 1 & 2 & 0 & 5 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

ดังนั้น จึงเลือกเครื่องจักร $M_{i_2} = M_1$ มาใช้ในการจัดเรียง ซึ่งต้องพิจารณาว่า จะนำเครื่องจักร $M_1$ มาเรียงทางด้านบนซ้าย, บนขวา, ล่างซ้าย หรือล่างขวา ของ $M_4, M_5$ ที่ถูกจัดเรียงไว้ข้างต้น โดยทำการคำนวณหาระยะทางรวม ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> เรียง $M_1$ ไว้ทางด้านบนซ้าย




ตัวเลขหน้าคือค่าในเมทริกซ์ความถี่ ( $F$ )
ตัวเลขหลังคือระยะทางในการขนส่งของเครื่องจักร

รูปที่ 3.20 แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 1

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ $Dist_{i_2}^{UL} = \sum_{l=0}^{1}\{f_{i_2,j_l} \times s_{i_2,j_l}\} = (f_{i_2,j_0} \times s_{i_2,j_0}) + (f_{i_2,j_1} \times s_{i_2,j_1})$

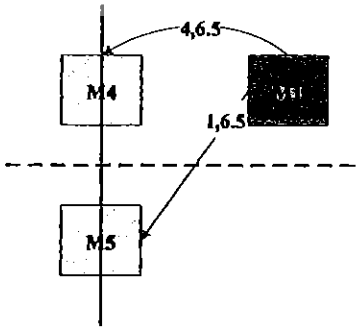
เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_2,j_0} = \left| r_{i_2,i_0} - r_{j_0,i_0} \right| = r_{i_2,i_0}$ และ

เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_2,j_1} = \left| r_{i_2,i_0} - r_{j_1,i_1} \right| = r_{i_2,i_0}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_1^{UL} &= (f_{1,4} \times r_{1,4}) + (f_{1,5} \times r_{1,5}) \\ &= (f_{1,4} \times d_{1,4}) + (f_{1,5} \times d_{1,5}) \\ &= (4 \times 6.5) + (1 \times 6.5) \\ &= 32.5 \end{aligned}$$

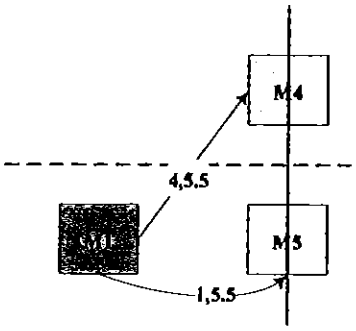
<u>กรณีที่ 2</u> เรียง $M_1$ ไว้ทางด้านบนขวา




**รูปที่ 3.21 แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 2**

จากรูปที่ 3.19 จะเห็นได้ว่าระยะทางรวม $Dist_{i_2}^{UR}$ มีค่าเท่ากับ 32.5 เช่นเดียวกับในกรณีที่ 1

<u>กรณีที่ 3</u> เรียง $M_1$ ไว้ทางด้านล่างซ้าย




**รูปที่ 3.22** แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 3

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ $Dist_{i_2}^{DL} = \sum_{l=0}^{1}\{f_{i_2,j_l} \times s_{i_2,j_l}\} = (f_{i_2,j_0} \times s_{i_2,j_0}) + (f_{i_2,j_1} \times s_{i_2,j_1})$

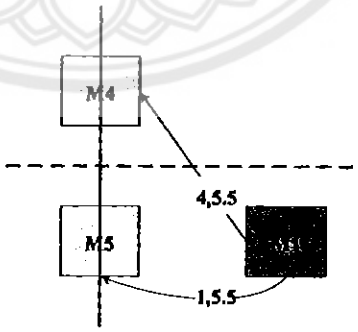
เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_2,j_0} = \left| r_{i_2,i_1} - r_{j_0,i_0} \right| = r_{i_2,i_1}$ และ

เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_2,j_1} = \left| r_{i_2,i_1} - r_{j_1,i_1} \right| = r_{i_2,i_1}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_1^{DL} &= (f_{1,4} \times r_{1,5}) + (f_{1,5} \times r_{1,5}) \\ &= (f_{1,4} \times d_{1,5}) + (f_{1,5} \times d_{1,5}) \\ &= (4 \times 5.5) + (1 \times 5.5) \\ &= 27.5 \end{aligned}$$

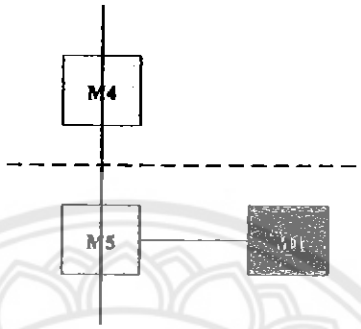
<u>กรณีที่ 4</u> เรียง $M_1$ ไว้ทางด้านล่างขวา




**รูปที่ 3.23** แสดงการคำนวณรอบที่ 1 กรณีที่ 4

จากรูปที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าระยะทางรวม $Dist_{i_2}^{DR}$ มีค่าเท่ากับ 27.5 เช่นเดียวกับในกรณีที่ 3

เนื่องจาก $Dist_{i_2}^{DL} = \min\{Dist_{i_2}^{UL}, Dist_{i_2}^{UR}, Dist_{i_2}^{DL}, Dist_{i_2}^{DR}\} = Dist_{i_2}^{DR}$ จึงวางเครื่องจักร $M_{i_2} = M_1$ ทางด้านล่างขวา หรือด้านล่างซ้ายของเครื่องจักรที่จัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ในที่นี้เลือกวาง $M_1$ ทางด้านล่างขวา ดังแสดงในรูปที่ 3.24 พร้อมทั้งปรับเซต $V$ เป็น $V = \{1,2,3\} \setminus \{1\} = \{2,3\}$ และปรับเซต $Z^{DR}$ เป็น $Z^{DR} = \varnothing \cup \{1\} = \{1\}$ ปรับ $k = 3$




รูปที่ 3.24 แสดงการจัดเรียงในรอบที่ 1

**<u>รอบที่ 2</u>** เนื่องจาก $V = \{2,3\} \neq \varnothing$ จึงเริ่มคำนวณรอบถัดไป ดังนี้

พิจารณา $f_{p,q}$ สำหรับทุกค่า $p \in V = \{2,3\}$ และ $q \in Z = \{1,4,5\}$ ซึ่งพบว่า

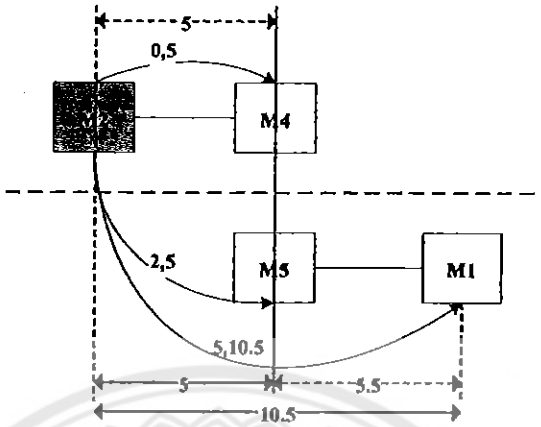
$$f_{2,1} = 5, f_{2,4} = 0, f_{2,5} = 2, f_{3,4} = 1, f_{3,4} = 0 \text{ และ } f_{3,5} = 0$$

เนื่องจาก $f_{2,1}$ เกิดค่าสูงสุด ดังนั้น จึงให้ $f_{i_3,1} = f_{2,1} = 5$

$$F = [f_{ij}] = \begin{array}{c} \\ 1 \\ \rightarrow 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 5 & 1 & 4 & 1 \\ (5) & 0 & 3 & 0 & 2 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 5 \\ 1 & 2 & 0 & 5 & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

ดังนั้น จึงเลือกเครื่องจักร $M_{i_3} = M_2$ มาใช้ในการจัดเรียง ซึ่งต้องพิจารณาว่า จะนำเครื่องจักร $M_2$ มาเรียงทางด้านบนซ้าย, บนขวา, ล่างซ้าย หรือล่างขวา ของ $M_1, M_4, M_5$ ที่ถูกจัดเรียงไว้ข้างต้น โดยทำการคำนวณหาระยะทางรวม ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> เรียง $M_2$ ไว้ทางด้านบนซ้าย




**รูปที่ 3.25** แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 1

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ

$$Dist_{i_3}^{UL} = \sum_{l=0}^{2}\{f_{i_3,j_l} \times s_{i_3,j_l}\} = (f_{i_3,j_0} \times s_{i_3,j_0}) + (f_{i_3,j_1} \times s_{i_3,j_1}) + (f_{i_3,j_2} \times s_{i_3,j_2})$$

เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_0} = \left| r_{i_3,i_0} - r_{j_0,i_0} \right| = r_{i_3,i_0}$

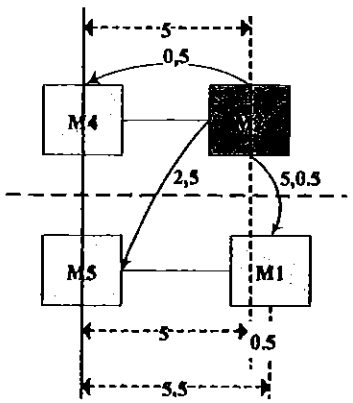
เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_1} = \left| r_{i_3,i_0} - r_{j_1,i_1} \right| = r_{i_3,i_0}$ และ

เนื่องจาก $j_2 = 1 \in Z^{DR}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_2} = r_{i_3,i_0} + r_{j_2,i_1}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_2^{UL} &= (f_{2,4} \times r_{2,4}) + (f_{2,5} \times r_{2,4}) + (f_{2,1} \times (r_{2,4} + r_{1,5})) \\ &= (f_{2,4} \times d_{2,4}) + (f_{2,5} \times d_{2,4}) + (f_{2,1} \times (d_{2,4} + d_{1,5})) \\ &= (0 \times 5) + (2 \times 5) + (5 \times (5 + 5.5)) \\ &= 62.5 \end{aligned}$$

<u>กรณีที่ 2</u> เรียง $M_2$ ไว้ทางด้านบนขวา




**รูปที่ 3.26** แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 2

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ

$$Dist_{i_3}^{UR} = \sum_{l=0}^{2} \{f_{i_3,j_l} \times s_{i_3,j_l}\} = (f_{i_3,j_0} \times s_{i_3,j_0}) + (f_{i_3,j_1} \times s_{i_3,j_1}) + (f_{i_3,j_2} \times s_{i_3,j_2})$$

เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_0} = \left| r_{i_3,i_0} - r_{j_0,i_0} \right| = r_{i_3,i_0}$

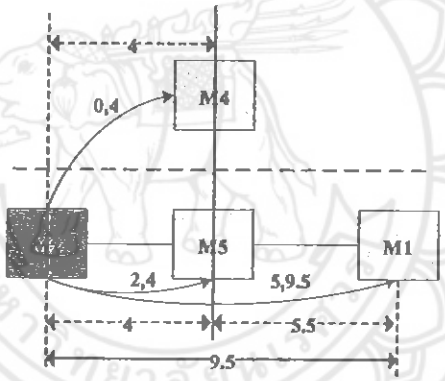
เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_1} = \left| r_{i_3,i_0} - r_{j_1,i_1} \right| = r_{i_3,i_0}$ และ

เนื่องจาก $j_2 = 1 \in Z^{DR}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_2} = \left| r_{i_3,i_0} - r_{j_2,i_1} \right|$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_2^{UR} &= (f_{2,4} \times r_{2,4}) + (f_{2,5} \times r_{2,4}) + (f_{2,1} \times \left| r_{2,4} - r_{1,5} \right|) \\ &= (f_{2,4} \times d_{2,4}) + (f_{2,5} \times d_{2,4}) + (f_{2,1} \times \left| d_{2,4} - d_{1,5} \right|) \\ &= (0 \times 5) + (2 \times 5) + (5 \times \left| 5 - 5.5 \right|) = 12.5 \end{aligned}$$

<u>กรณีที่ 3</u> เรียง $M_2$ ไว้ทางด้านล่างซ้าย




รูปที่ 3.27 แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 3

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ

$$Dist_{i_3}^{DL} = \sum_{l=0}^{2} \{f_{i_3,j_l} \times s_{i_3,j_l}\} = (f_{i_3,j_0} \times s_{i_3,j_0}) + (f_{i_3,j_1} \times s_{i_3,j_1}) + (f_{i_3,j_2} \times s_{i_3,j_2})$$

เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_0} = \left| r_{i_3,i_1} - r_{j_0,i_1} \right| = r_{i_3,i_1}$

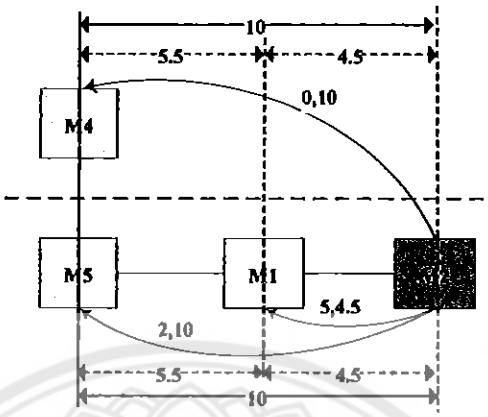
เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_1} = \left| r_{i_3,i_1} - r_{j_1,i_0} \right| = r_{i_3,i_1}$ และ

เนื่องจาก $j_2 = 1 \in Z^{DR}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_2} = r_{i_3,i_1} + r_{j_2,i_1}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_2^{DL} &= (f_{2,4} \times r_{2,5}) + (f_{2,5} \times r_{2,5}) + (f_{2,1} \times (r_{2,5} + r_{1,5})) \\ &= (f_{2,4} \times d_{2,5}) + (f_{2,5} \times d_{2,5}) + (f_{2,1} \times (d_{2,5} + d_{1,5})) \\ &= (0 \times 4) + (2 \times 4)) + (5 \times (4 + 5.5)) \\ &= 0 + 8 + (5 \times 9.5) = 55.5 \end{aligned}$$

<u>กรณีที่ 4</u> เรียง $M_2$ ไว้ทางด้านล่างขวา




รูปที่ 3.28 แสดงการคำนวณรอบที่ 2 กรณีที่ 4

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ

$$Dist_{i_3}^{DR} = \sum_{l=0}^{2}\{f_{i_3,j_l} \times s_{i_3,j_l}\} = (f_{i_3,j_0} \times s_{i_3,j_0}) + (f_{i_3,j_1} \times s_{i_3,j_1}) + (f_{i_3,j_2} \times s_{i_3,j_2})$$

เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_0} = \left| r_{i_3,i_1} - r_{j_0,i_1} \right| = r_{i_3,i_1}$

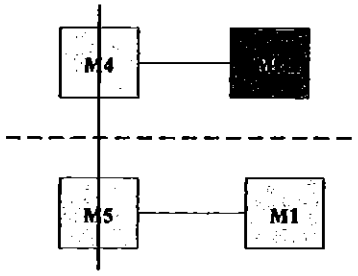
เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_1} = \left| r_{i_3,i_1} - r_{j_1,i_0} \right| = r_{i_3,i_1}$ และ

เนื่องจาก $j_2 = 1 \in Z^{DR}$ ดังนั้น $s_{i_3,j_2} = \left| r_{i_3,i_1} - r_{j_2,i_1} \right|$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_2^{DR} &= (f_{2,4} \times r_{2,5}) + (f_{2,5} \times r_{2,5}) + (f_{2,1} \times \left| r_{2,5} - r_{1,5} \right|) \\ &= (f_{2,4} \times (d_{2,1} + d_{1,5})) + (f_{2,5} \times (d_{2,1} + d_{1,5})) + (f_{2,1} \times \left| (d_{2,1} + d_{1,5}) - d_{1,5} \right|) \\ &= (0 \times (4.5 + 5.5)) + (2 \times (4.5 + 5.5)) + (5 \times \left| (4.5 + 5.5) - 5.5 \right|) \\ &= (0 \times 10) + (2 \times 10) + (5 \times 4.5) = 42.5 \end{aligned}$$

เนื่องจาก $Dist_{i_3}^{UR} = \min\{Dist_{i_3}^{UL}, Dist_{i_3}^{UR}, Dist_{i_3}^{DL}, Dist_{i_3}^{DR}\}$ จึงวางเครื่องจักร $M_{i_3} = M_2$ ทางด้านบนขวาของเครื่องจักรที่จัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.29 พร้อมทั้งปรับเซต $V$ เป็น $V = \{2,3\} \setminus \{2\} = \{3\}$ และปรับเซต $Z^{UR}$ เป็น $Z^{UR} = \varnothing \cup \{2\} = \{2\}$ ปรับ $k = 4$




รูปที่ 3.29 แสดงการจัดเรียงในรอบที่ 2

เนื่องจาก $V=\{3\}\neq\varnothing$ จึงเริ่มคำนวณรอบถัดไป ดังนี้

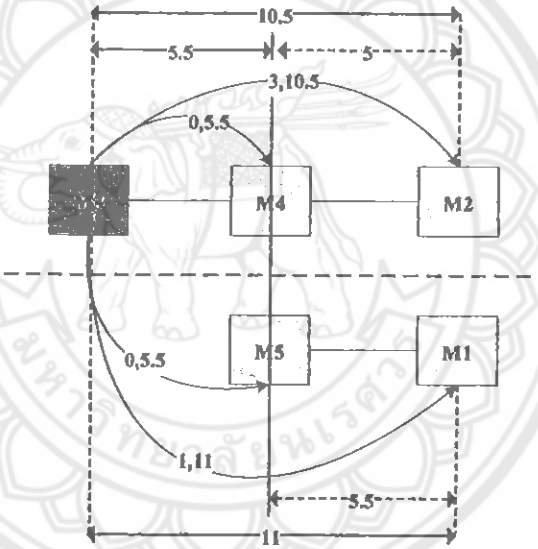
**<u>รอบที่ 4</u>** พิจารณา $f_{p,q}$ สำหรับทุกค่า $p\in V=\{3\}$ และ $q\in Z=\{1,2,4,5\}$ ซึ่งพบว่า

$$f_{3,1}=1, f_{3,2}=3, f_{3,4}=0 \text{ และ } f_{3,5}=0$$

เนื่องจาก $f_{3,2}$ ทำให้เกิดค่าสูงสุด ดังนั้น จึงให้ $f_{i_4,2}=f_{3,2}=3$

ดังนั้น จึงเลือกเครื่องจักร $M_{i_4}=M_3$ มาใช้ในการจัดเรียง ซึ่งต้องพิจารณาว่า จะนำเครื่องจักร $M_3$ มาเรียงทางด้านบนซ้าย, บนขวา, ล่างซ้าย หรือล่างขวา ของ $M_1, M_2, M_4, M_5$ ที่ถูกจัดเรียงไว้ข้างต้น โดยทำการคำนวณหาระยะทางรวม ดังนี้

<u>กรณีที่ 1</u> เรียง $M_3$ ไว้ทางด้านบนซ้าย




**รูปที่ 3.30** แสดงการคำนวณรอบที่ 3 กรณีที่ 1

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ

$$Dist_{i_4}^{UL}=\sum_{l=0}^{3}\{f_{i_4,j_l}\times s_{i_4,j_l}\}=(f_{i_4,j_0}\times s_{i_4,j_0})+(f_{i_4,j_1}\times s_{i_4,j_1})+(f_{i_4,j_2}\times s_{i_4,j_2})+(f_{i_4,j_3}\times s_{i_4,j_3})$$

เนื่องจาก $j_0=4\in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_0}=\left|r_{i_4,i_0}-r_{j_0,i_0}\right|=r_{i_4,i_0}$

เนื่องจาก $j_1=5\in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_1}=\left|r_{i_4,i_0}-r_{j_1,i_1}\right|=r_{i_4,i_0}$

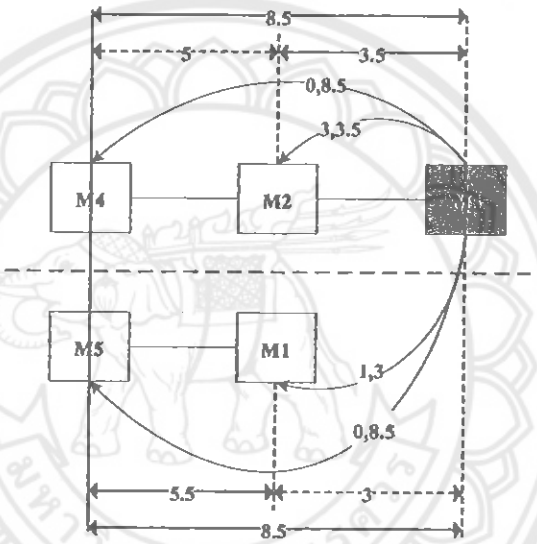
เนื่องจาก $j_2=1\in Z^{DR}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_2}=r_{i_4,i_0}+r_{j_2,i_1}$ และ

เนื่องจาก $j_3=2\in Z^{UR}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_3}=r_{i_4,i_0}+r_{j_2,i_0}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_3^{UL} &= (f_{3,4} \times r_{3,4}) + (f_{3,5} \times r_{3,4}) + (f_{3,1} \times (r_{3,4} + r_{1,5})) + (f_{3,2} \times (r_{3,4} + r_{2,4})) \\ &= (f_{3,4} \times d_{3,4}) + (f_{3,5} \times d_{3,4}) + (f_{3,1} \times (d_{3,4} + d_{1,5})) + (f_{3,2} \times (d_{3,4} + d_{2,4})) \\ &= (0 \times 5.5) + (0 \times 5.5) + (1 \times (5.5 + 5.5)) + (3 \times (5.5 + 5)) \\ &= 0 + 0 + 11 + (3 \times 10.5) \\ &= 42.5 \end{aligned}$$

<u>กรณีที่ 2</u> เรียง $M_3$ ไว้ทางด้านบนขวา




รูปที่ 3.31 แสดงการคำนวณรอบที่ 3 กรณีที่ 2

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ

$$Dist_{i_4}^{UR} = \sum_{l=0}^{3} \{f_{i_4,j_l} \times s_{i_4,j_l}\} = (f_{i_4,j_0} \times s_{i_4,j_0}) + (f_{i_4,j_1} \times s_{i_4,j_1}) + (f_{i_4,j_2} \times s_{i_4,j_2}) + (f_{i_4,j_3} \times s_{i_4,j_3})$$

เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_0} = \left| r_{i_4,i_0} - r_{j_0,i_0} \right| = r_{i_4,i_0}$

เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_1} = \left| r_{i_4,i_0} - r_{j_1,i_1} \right| = r_{i_4,i_0}$

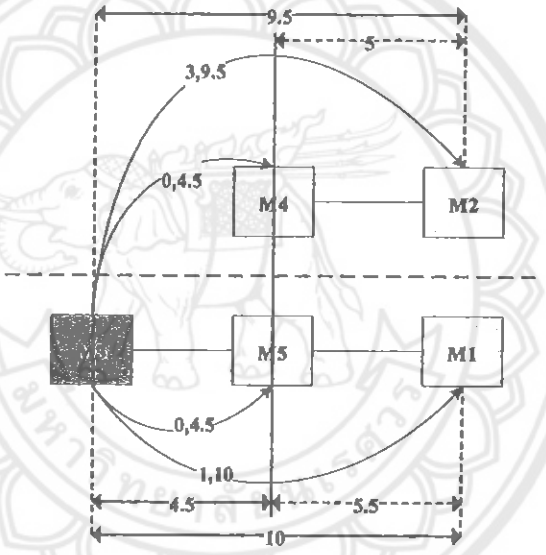
เนื่องจาก $j_2 = 1 \in Z^{DR}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_2} = \left| r_{i_4,i_0} - r_{j_2,i_1} \right|$ และ

เนื่องจาก $j_3 = 2 \in Z^{UR}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_3} = \left| r_{i_4,i_0} - r_{j_3,i_0} \right|$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_3^{UR} &= (f_{3,4} \times r_{3,4}) + (f_{3,5} \times r_{3,4}) + (f_{3,1} \times |r_{3,4} - r_{1,5}|) + (f_{3,2} \times |r_{3,4} - r_{2,4}|) \\ &= (f_{3,4} \times (d_{3,2} + d_{2,4})) + (f_{3,5} \times (d_{3,2} + d_{2,4})) + (f_{3,1} \times |(d_{3,2} + d_{2,4}) - d_{1,5}| \\ &\quad + (f_{3,2} \times |(d_{3,2} + d_{2,4}) - d_{2,4}|) \\ &= (0 \times 8.5) + (0 \times 8.5) + (1 \times |8.5 - 5.5|) + (3 \times |8.5 - 5|) \\ &= 0 + 0 + 3 + (3 \times 3.5) \\ &= 13.5 \end{aligned}$$

<u>กรณีที่ 3</u> เรียง $M_3$ ไว้ทางด้านล่างซ้าย




รูปที่ 3.32 แสดงการคำนวณรอบที่ 3 กรณีที่ 3

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ

$$Dist_{i_4}^{DL} = \sum_{l=0}^{3} \{f_{i_4,j_l} \times s_{i_4,j_l}\} = (f_{i_4,j_0} \times s_{i_4,j_0}) + (f_{i_4,j_1} \times s_{i_4,j_1}) + (f_{i_4,j_2} \times s_{i_4,j_2}) + (f_{i_4,j_3} \times s_{i_4,j_3})$$

เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_0} = |r_{i_4,i_1} - r_{j_0,i_0}| = r_{i_4,i_1}$

เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_1} = |r_{i_4,i_1} - r_{j_1,i_1}| = r_{i_4,i_1}$

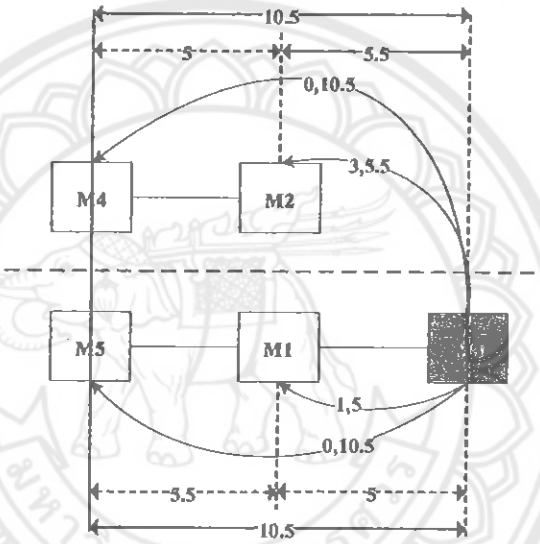
เนื่องจาก $j_2 = 1 \in Z^{DR}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_2} = r_{i_4,i_1} + r_{j_2,i_1}$ และ

เนื่องจาก $j_3 = 2 \in Z^{UR}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_3} = r_{i_4,i_1} + r_{j_3,i_0}$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_3^{DL} &= (f_{3,4} \times r_{3,5}) + (f_{3,5} \times r_{3,5}) + (f_{3,1} \times (r_{3,5} + r_{1,5})) + (f_{3,2} \times (r_{3,5} + r_{2,4})) \\ &= (f_{3,4} \times d_{3,5}) + (f_{3,5} \times d_{3,5}) + (f_{3,1} \times (d_{3,5} + d_{1,5})) + (f_{3,2} \times (d_{3,5} + d_{2,4})) \\ &= (0 \times 4.5) + (0 \times 4.5) + (1 \times (4.5 + 5.5)) + (3 \times (4.5 + 5)) \\ &= 0 + 0 + 10 + (3 \times 9.5) \\ &= 38.5 \end{aligned}$$

<u>กรณีที่ 4</u> เรียง $M_3$ ไว้ทางด้านล่างขวา




รูปที่ 3.33 แสดงการคำนวณรอบที่ 3 กรณีที่ 4

ระยะทางรวมในกรณีนี้คือ

$$Dist_{i_4}^{DR} = \sum_{l=0}^{3} \{f_{i_4,j_l} \times s_{i_4,j_l}\} = (f_{i_4,j_0} \times s_{i_4,j_0}) + (f_{i_4,j_1} \times s_{i_4,j_1}) + (f_{i_4,j_2} \times s_{i_4,j_2}) + (f_{i_4,j_3} \times s_{i_4,j_3})$$

เนื่องจาก $j_0 = 4 \in Z^{UC}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_0} = \left| r_{i_4,i_1} - r_{j_0,j_0} \right| = r_{i_4,i_1}$

เนื่องจาก $j_1 = 5 \in Z^{DC}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_1} = \left| r_{i_4,i_1} - r_{j_1,i_1} \right| = r_{i_4,i_1}$

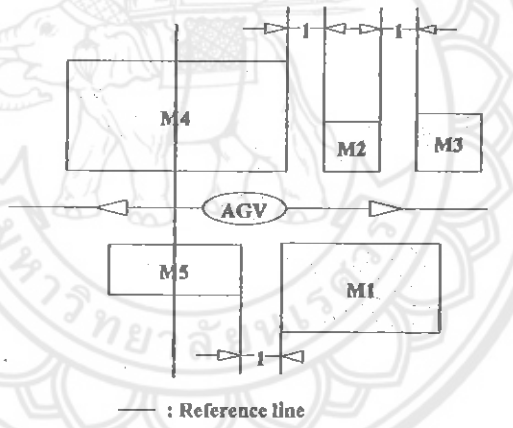
เนื่องจาก $j_2 = 1 \in Z^{DR}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_2} = \left| r_{i_4,i_1} - r_{j_2,i_1} \right|$ และ

เนื่องจาก $j_3 = 2 \in Z^{UR}$ ดังนั้น $s_{i_4,j_3} = \left| r_{i_4,i_1} - r_{j_3,i_0} \right|$

ซึ่งเมื่อแทนค่าแล้ว จะได้

$$\begin{aligned} Dist_3^{DR} &= (f_{3,4} \times r_{3,5}) + (f_{3,5} \times r_{3,5}) + (f_{3,1} \times |r_{3,5} - r_{1,5}|) + (f_{3,2} \times |r_{3,5} - r_{2,4}|) \\ &= (f_{3,4} \times (d_{3,1} + d_{1,5})) + (f_{3,5} \times (d_{3,1} + d_{1,5})) + (f_{3,1} \times |(d_{3,1} + d_{1,5}) - d_{1,5}|) \\ &\quad + (f_{3,2} \times |(d_{3,1} + d_{1,5}) - d_{2,4}|) \\ &= (0 \times 10.5) + (0 \times 10.5) + (1 \times |10.5 - 5.5|) + (3 \times |10.5 - 5|) \\ &= 0 + 0 + 5 + (3 \times 5.5) = 21.5 \end{aligned}$$

เนื่องจาก $Dist_{i_4}^{UR} = \min\{Dist_{i_4}^{UL}, Dist_{i_4}^{UR}, Dist_{i_4}^{DL}, Dist_{i_4}^{DR}\}$ จึงวางเครื่องจักร $M_{i_4} = M_3$ ทางด้านบนขวาของเครื่องจักรที่จัดเรียงไว้ก่อนหน้านี้ พร้อมทั้งปรับเซต $V$ เป็น $V = \{3\} \setminus \{3\} = \varnothing$ และปรับเซต $Z^{UR}$ เป็น $Z^{UR} = \{2\} \cup \{3\} = \{2,3\}$ ปรับ $k = 5$ และเนื่องจาก $V = \varnothing$ จึงสิ้นสุดการทำงาน และได้รูปแบบการวางผังเครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 3.34




รูปที่ 3.34 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวคู่

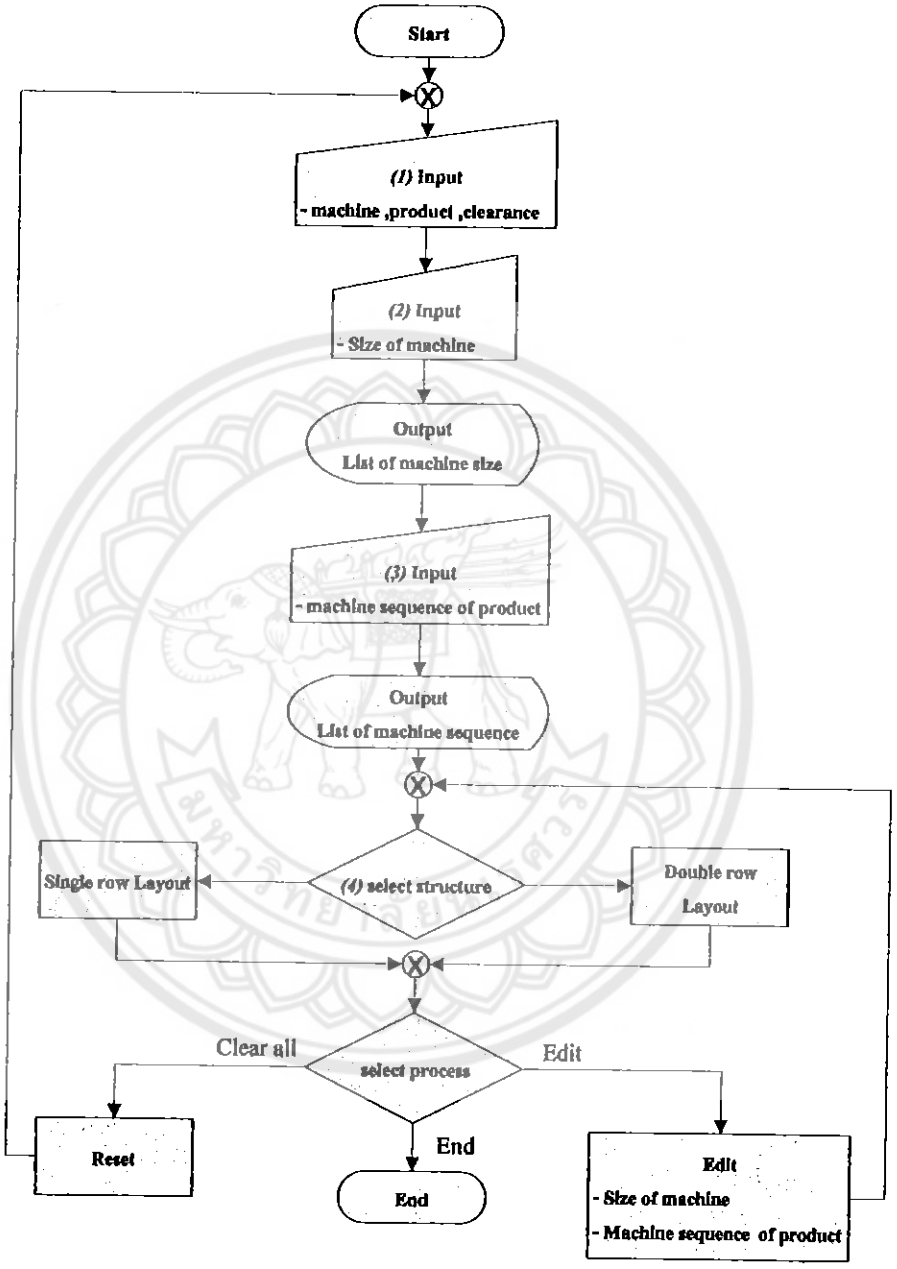
# บทที่ 4
# ผลการดำเนินโครงการ

หลังจากที่ได้ทำการศึกษารูปแบบโครงสร้างวิธีการทำงานของขั้นตอนวิธีแบบ KBML และได้ทำการออกแบบโปรแกรมแสดงรูปแบบการทำงานเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำโปรแกรมที่ได้ทำการศึกษาและออกแบบดังกล่าวมาจัดทำให้อยู่ในรูปของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่ออำนวยความสะดวกต่อกลุ่มของผู้ใช้ทั่วไป โดยส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ดังกล่าวต้องมีโครงสร้างการทำงานรวมถึงรูปลักษณ์ภายนอกที่ง่ายต่อการใช้งาน ไม่ยุ่งยากหรือซับซ้อนจนเกินไป เมื่อจัดทำส่วนต่อประสานกราฟิกเสร็จสิ้นแล้ว ต้องมีการทดสอบการทำงานเพื่อให้แน่ใจว่าส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ที่จัดทำขึ้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

## 4.1 การออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้โดยใช้โปรแกรม MATLAB

หลังจากได้ศึกษาและจัดทำโปรแกรมที่สามารถทำงานได้ตามขั้นตอนวิธีแบบ KBML แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้โดยอาศัยรูปแบบของ Flowchart ในการแสดงรายละเอียดของการทำงานต่างๆ จากนั้นเป็นการออกแบบหน้าตาของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ โดยเริ่มจากส่วนรับค่าจากผู้ใช้งานและส่วนการแสดงผล ท้ายที่สุดคือการนำโปรแกรมที่ได้จัดทำขึ้น มาประยุกต์ใช้ร่วมกับส่วนต่อประสานกราฟิกที่ทำการออกแบบไว้ข้างต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 4.1.1 แผนผังแสดงการทำงานของส่วนต่อประสานกราฟิก




**รูปที่ 4.1** Flowchart แสดงการทำงานของ GUI

(1) Input [1]

ในส่วนนี้เป็นส่วนรับค่าจากผู้ใช้อันได้แก่

- จำนวนเครื่องจักร (Machines) ซึ่งต้องเป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 1 ถึง 10 เครื่อง
- จำนวนผลิตภัณฑ์ (Products) ซึ่งต้องเป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 1 ถึง 30 ผลิตภัณฑ์
- ระยะห่างระหว่างเครื่องจักร (Clearance) ซึ่งเป็นเลขจำนวนจริง

หมายเหตุ : ค่าต่าง ๆ ที่ป้อนในส่วนนี้จะไม่สามารถแก้ไขได้ในภายหลังนอกจากกดปุ่ม Reset เพื่อเริ่มการทำงานใหม่ทั้งหมด

(2) Input [2]

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ต่อจากข้อที่ (1) โดยเป็นการกรอกขนาดความกว้างและความยาวของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ค่าต่างๆที่ป้อนในขั้นตอนนี้สามารถแก้ไข (Edit) ได้หากต้องการปรับเปลี่ยนแก้ไขรายละเอียดเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ซึ่งสามารถดูผลการแสดงข้อมูลในระหว่างขั้นตอนการกรอกรายละเอียดของโปรแกรมได้

(3) Input[3]

ส่วนนี้เป็นส่วนของการรับค่าลำดับของเครื่องจักรที่ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดต้องใช้เช่นเดียวกันกับในขั้นตอนที่(2) ค่าต่างๆที่ป้อนในขั้นตอนนี้สามารถทำการแก้ไขได้หากลำดับในการทำงานของเครื่องจักรผิด รวมถึงสามารถดูรายละเอียดในการทำงานหรือการแสดงผลของโปรแกรมในส่วนนี้ได้อีกด้วย

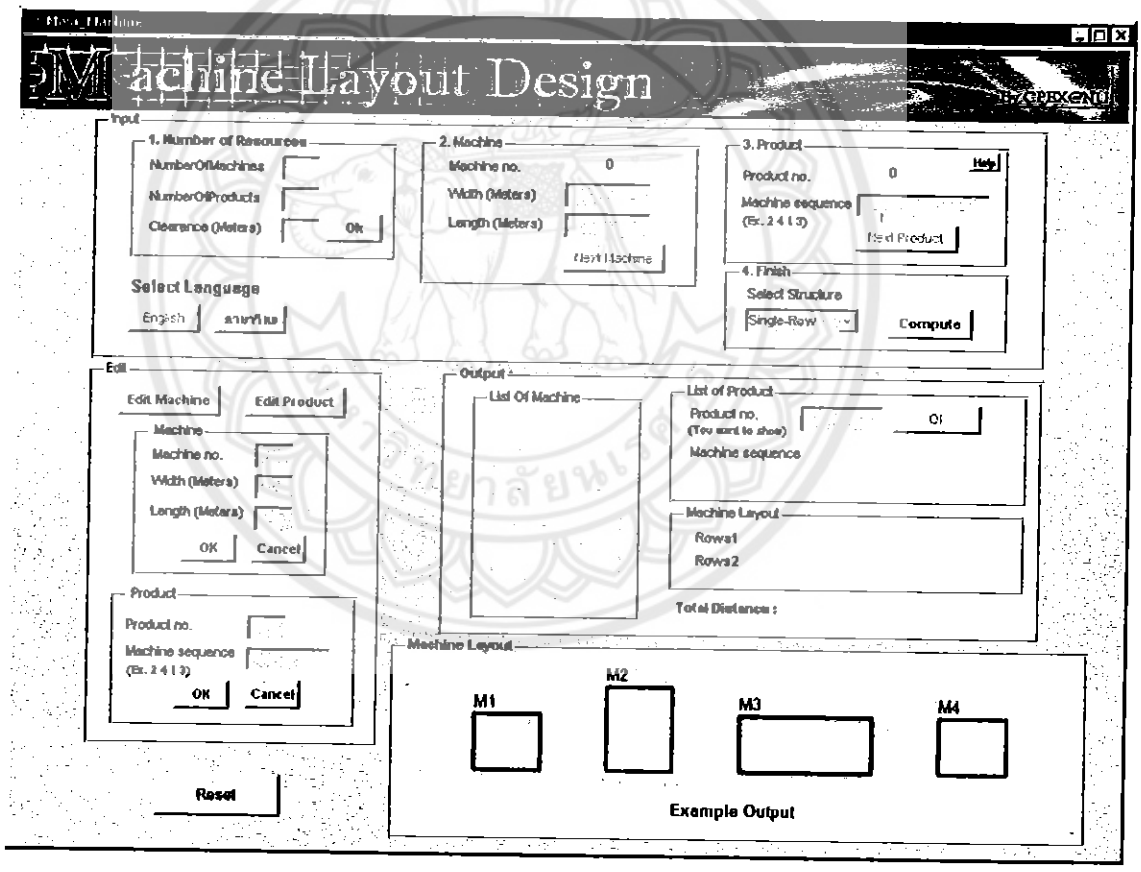
(4) Select Structure

ส่วนนี้เป็นส่วนของการเลือกรูปแบบการทำงาน ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าจะจัดวางเครื่องจักรในรูปแบบโครงสร้างแบบ Single-row หรือ Double-row โดยโปรแกรมกำหนดให้โครงสร้างแบบ Single-row เป็นโครงสร้างหลักที่ใช้ในการคำนวณ

หลังจากจบขั้นตอนการรับค่าจากผู้ใช้ข้างต้นแล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณหาลำดับในการจัดวางเครื่องจักร โดยจะทำการแสดงผลทั้งในรูปแบบของตัวเลขลำดับของเครื่องจักรและเป็นแผนภาพกล่อง นอกจากนี้ ผู้ใช้งานสามารถเลือกที่จะทำการแก้ไขขนาดของเครื่องจักรหรือลำดับของเครื่องจักรในแต่ละผลิตภัณฑ์ได้ตามต้องการหรือจะทำการเริ่มการทำงานใหม่ทั้งหมดได้ด้วยเช่นกัน

### 4.1.2 การจัดทำส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้โดยใช้โปรแกรม MATLAB

ในการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้นั้น ผู้ทำโครงงานได้แบ่งส่วนการทำงานออกเป็น 4 ส่วนคือ ส่วน Input ส่วน Output ส่วน Machine Layout และส่วน Edit ดังแสดงในรูปที่ 4.2



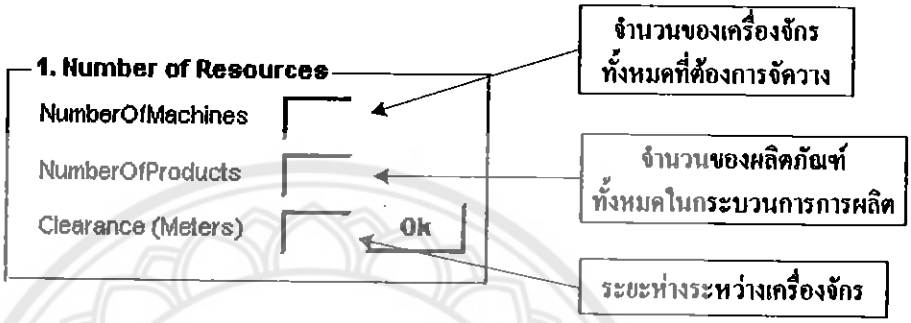

**รูปที่ 4.2** แสดงหน้า GUI โดยรวม

รูปที่ 4.2 เป็นการออกแบบหน้าตาของส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้โดยรวม ซึ่งมีการจัดแบ่งส่วนการทำงานออกเป็นสี่ส่วนดังที่กล่าวมาข้างต้น โดยแต่ละส่วนนั้นมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

1. <u>การออกแบบและการทำงานในส่วน Input</u>

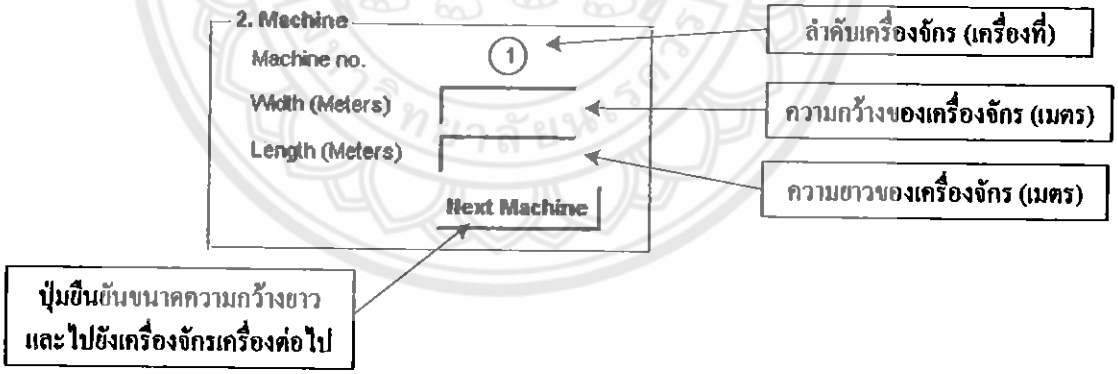
ในส่วนแรกนี้ เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานต้องป้อนรายละเอียดต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณ ดังนี้

1) Input ส่วนที่ 1 เป็นการรับค่ารายละเอียดเกี่ยวกับจำนวนทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการการผลิตและระยะห่างระหว่างเครื่องจักร

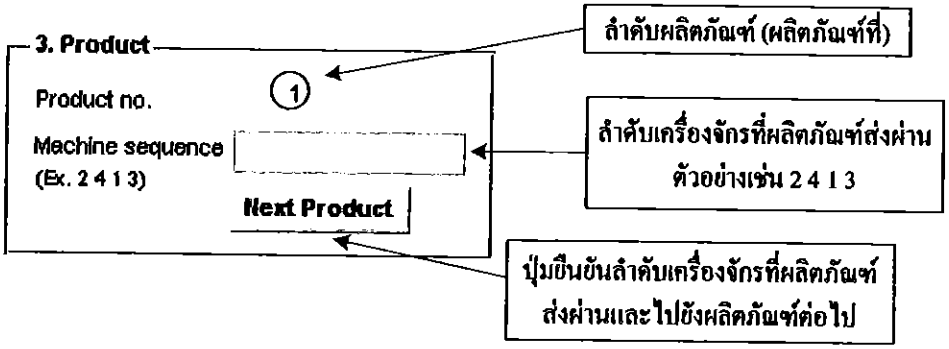



<u>หมายเหตุ</u> : - Clearance หรือระยะห่างระหว่างเครื่องจักรต้องเท่ากันทุกเครื่อง
- เมื่อทำการยืนยันหรือกด OK ในส่วนนี้จะไม่สามารถกลับมาแก้ไขข้อมูลใดๆ ในขั้นตอนนี้ได้อีก

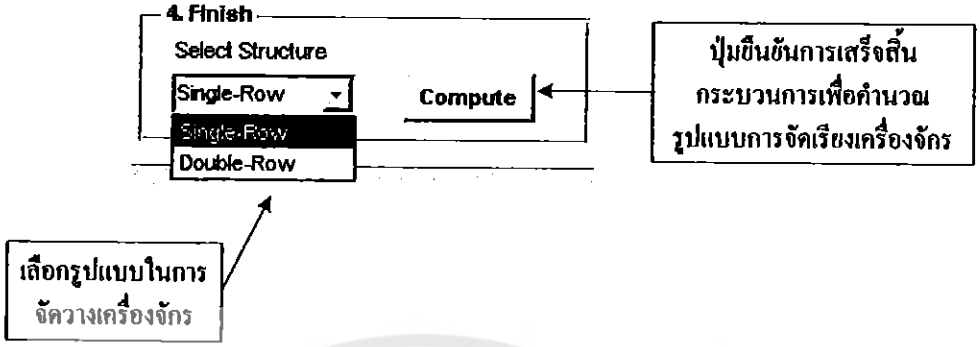
2) Input ส่วนที่ 2 เป็นการกรอกขนาดของเครื่องจักร




3) Input ส่วนที่ 3 กรอกลำดับของเครื่องจักรที่ใช้งานในแต่ละผลิตภัณฑ์



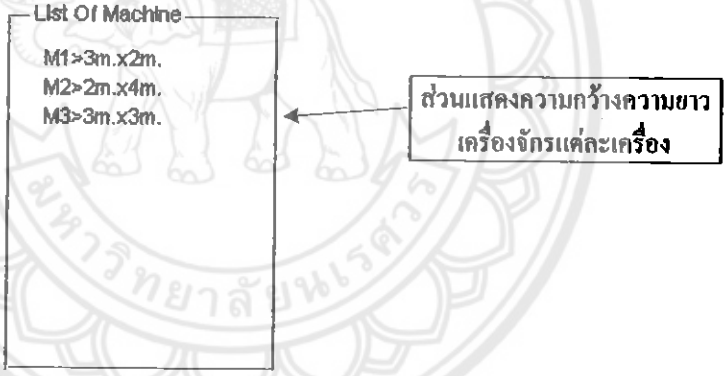
4) Input ส่วนที่ 4 เป็นการเลือกรูปแบบโครงสร้างแบบ Single-row หรือ Double-row



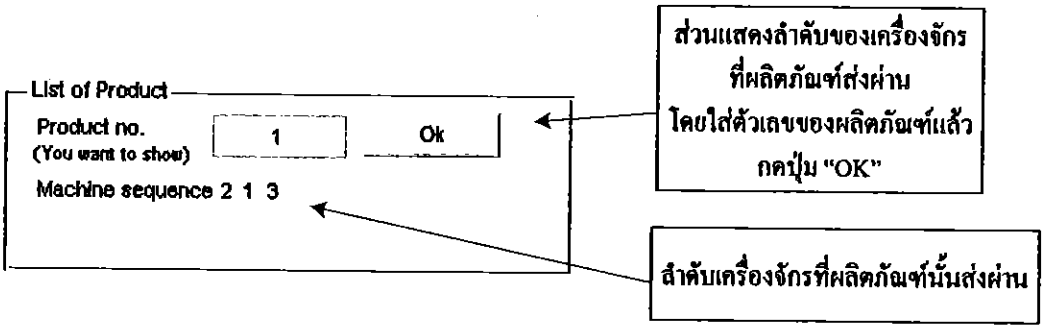

2. <u>การออกแบบและการทำงานในส่วน Output</u>

ในส่วนนี้เป็นส่วนของการแสดงผลการคำนวณและค่าต่าง ๆ ที่ผู้ใช้ได้ป้อนเข้าสู่ระบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

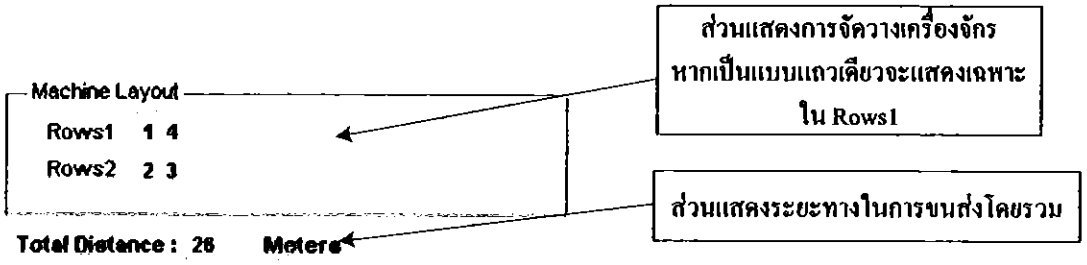
1) Output ส่วนที่ 1 แสดงขนาดของเครื่องจักร




2) Output ส่วนที่ 2 แสดงลำดับของเครื่องจักรที่ใช้งานของแต่ละผลิตภัณฑ์

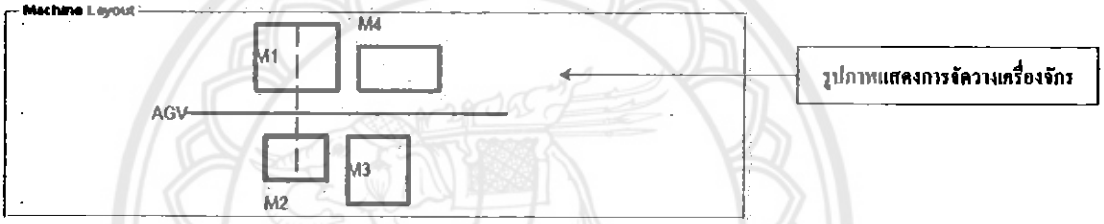


3) Output ส่วนที่ 3 แสดงลำดับของเครื่องจักรที่เหมาะสมและระยะทางขนส่งโดยรวม



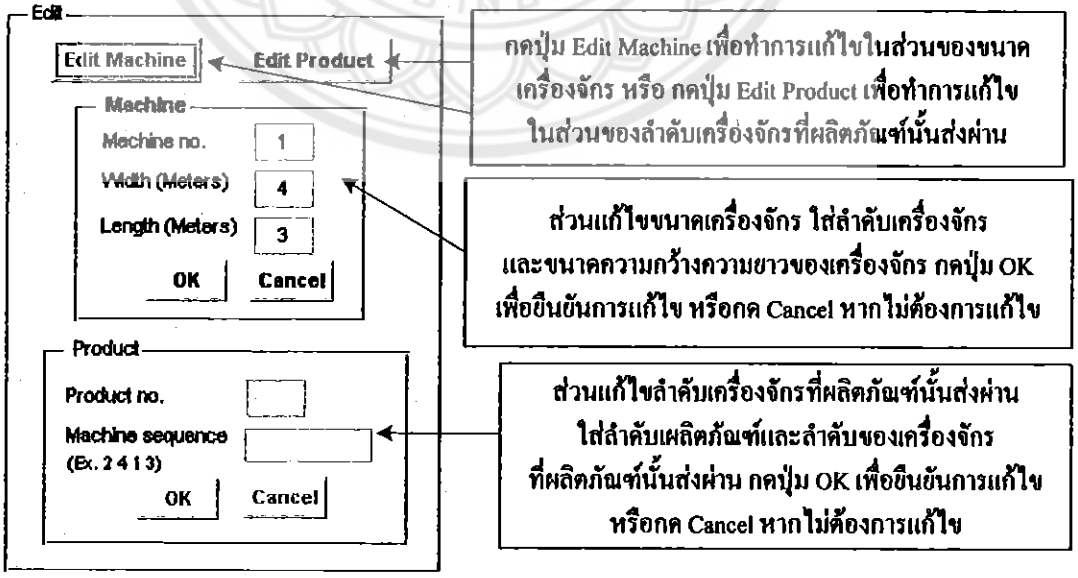

3. <u>การแสดงผลในเชิงกราฟิก</u>

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการคำนวณหาผังในการวางเครื่องจักรโดยแสดงในรูปแบบของแผนภาพกล่อง




4. <u>การออกแบบและการทำงานในส่วน Edit และส่วนเริ่มต้นใหม่</u>

ในส่วนนี้เป็นส่วนของการแก้ไขข้อมูลของเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์ โดยผู้ใช้สามารถกรอกข้อมูลใหม่ที่ต้องการลงไปแล้วกด ปุ่ม "OK" โดยมีรายละเอียดดังนี้



## 4.2 การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรม

ในหัวข้อนี้เป็นการตรวจสอบผลการคำนวณด้วยโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นกับการคำนวณเชิงวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 วิธีเหมือนกัน

### 4.2.1 การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมในกรณี Single Row

ตัวอย่างที่ 1 Single Row

สมมติให้มีเครื่องจักร 3 เครื่องซึ่งมีขนาดดังนี้

เครื่องจักรที่ 1 (M1) ขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 5 เมตร

เครื่องจักรที่ 2 (M2) ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 6 เมตร

เครื่องจักรที่ 3 (M3) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 2 เมตร

ซึ่งเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีระยะห่างระหว่างเครื่องเท่ากับ 1 เมตร

ถ้าโรงงานผลิตสินค้า 2 ชนิด โดยที่

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 (P1) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M2,M3 และ M1

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 (P2) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M1 และ M3

จากข้อมูลข้างต้นสามารถจัดอยู่ในรูปของเมทริกซ์ความถี่ในการทำงาน ( $F$ ) และเมทริกซ์ระยะห่างระหว่างเครื่องจักร ( $D$ ) ได้ดังนี้

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 \\ 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \qquad D = \begin{bmatrix} 0 & 6.5 & 4.5 \\ 6.5 & 0 & 5 \\ 4.5 & 5 & 0 \end{bmatrix}$$

*ตารางเปรียบเทียบกรณีที่เป็นไปได้ในการเรียงเครื่องจักร*

เนื่องจากเครื่องจักรทั้งหมด 3 เครื่อง จึงมีความเป็นไปได้ในการเรียงเครื่องจักรเป็น 3!= 6 กรณี

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 1

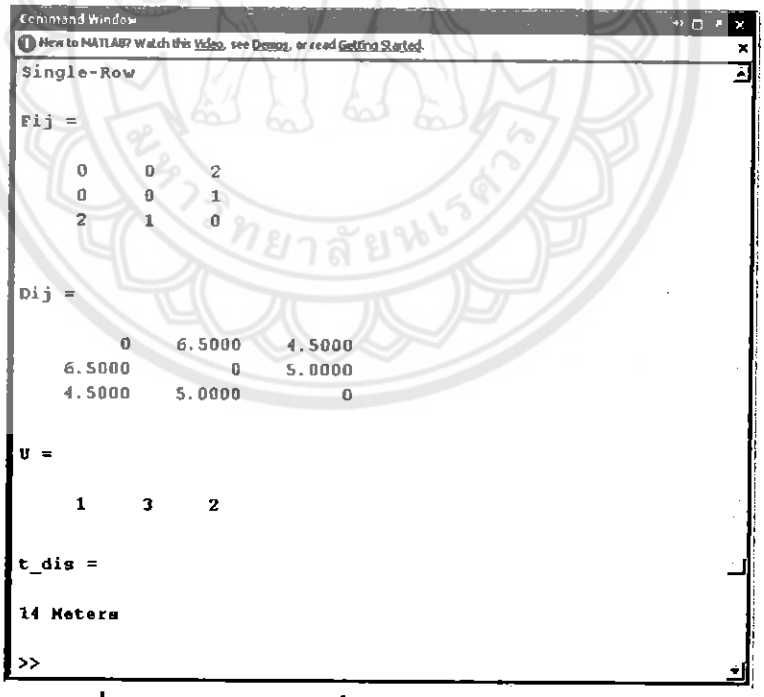
| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 1 | M1 – M2 – M3 | M1>M2 = 6.5<br>M2>M3 = 5<br>M1>M3 = 6.5+5 = 11.5 | P1 5+11.5 = 16.5<br>P2 11.5 | 16.5+11.5 = 28 |
| 2 | M1 – M3 – M2 | M1>M3 = 4.5<br>M3>M2 = 5<br>M1>M2 = 4.5+5 = 9.5 | P1 5+4.5 = 9.5<br>P2 4.5 | 9.5+4.5 = 14 |

**ตารางที่ 4.1 (ต่อ) เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 1**

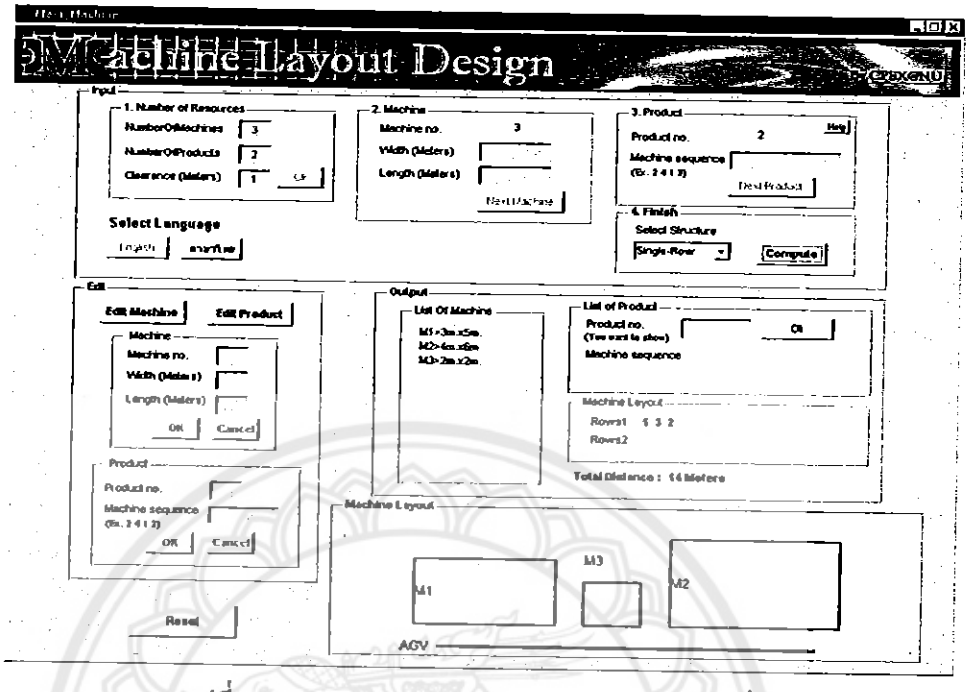
| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 3 | M2 – M1 – M3 | M2>M1 = 6.5<br>M1>M3 = 4.5<br>M2>M3 = 6.5+4.5 = 11 | P1 11+4.5 = 15.5<br>P2 4.5 | 15.5+4.5 = 20 |
| 4 | M2 – M3 – M1 | M2>M3 = 5<br>M3>M1 = 4.5<br>M2>M1 = 5+4.5 = 9.5 | P1 5+4.5 = 9.5<br>P2 4.5 | 9.5+4.5 = 14 |
| 5 | M3 – M1 – M2 | M3>M1 = 4.5<br>M1>M2 = 6.5<br>M3>M2 = 4.5+6.5 = 11 | P1 11+4.5 = 15.5<br>P2 4.5 | 15.5+4.5 = 20 |
| 6 | M3 – M2 – M1 | M3>M2 = 5<br>M2>M1 = 6.5<br>M3>M1 = 5+6.5 = 11.5 | P1 5+11.5 = 16.5<br>P2 11.5 | 16.5+11.5 = 28 |

จะเห็นได้ว่า วิธีที่ 2 และวิธีที่ 4 เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการจัดวางเครื่องจักรซึ่งทำให้ระยะทางในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยที่สุดนั้นคือ 14 เมตร เท่ากัน โดยการจัดเรียงแบบ M1 – M3 – M2 และ M2 – M3 – M1

แสดงการทำงานของโปรแกรมตามตัวอย่างที่ 1




**รูปที่ 4.3 แสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 1**




รูปที่ 4.4 แสดงผลการทำงานของ GUI ของตัวอย่างที่ 1

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงผลการทำงานของโปรแกรม ผู้อ่านสามารถสังเกตได้ว่าค่าของเมทริกซ์ $F$ และ $D$ รวมถึงวิธีในการวางผังเครื่องจักรมีค่าสอดคล้องกับกรณีตัวอย่างที่ทำการคำนวณไว้ในตารางที่ 4.1

**ตัวอย่างที่** 2 Single Row

สมมติให้มีเครื่องจักร 4 เครื่องซึ่งมีขนาดดังนี้

เครื่องจักรที่ 1 (M1) ขนาด กว้าง 7 เมตร ยาว 4 เมตร

เครื่องจักรที่ 2 (M2) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 3 เมตร

เครื่องจักรที่ 3 (M3) ขนาด กว้าง 5 เมตร ยาว 6 เมตร

เครื่องจักรที่ 4 (M4) ขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 5 เมตร

ซึ่งเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีระยะห่างระหว่างเครื่องเท่ากับ 1 เมตร

ถ้าโรงงานผลิตสินค้า 3 ชนิด โดยที่

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 (P1) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M1,M3,M4 และ M2

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 (P2) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M2,M1 และ M4

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3 (P3) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M4,M2 และ M3

จากข้อมูลข้างต้นสามารถจัดอยู่ในรูปของเมทริกซ์ความถี่ในการทำงาน ( $F$ ) และเมทริกซ์ระยะห่างระหว่างเครื่องจักร ( $D$) ได้ดังนี้

$$F=\begin{bmatrix}0 & 1 & 1 & 1\\ 1 & 0 & 1 & 2\\ 1 & 1 & 0 & 1\\ 1 & 2 & 1 & 0\end{bmatrix} \qquad D=\begin{bmatrix}0 & 4.5 & 6 & 5.5\\ 4.5 & 0 & 5.5 & 5\\ 6 & 5.5 & 0 & 6.5\\ 5.5 & 5 & 6.5 & 0\end{bmatrix}$$

*ตารางเปรียบเทียบกรณีที่เป็นไปได้ในการเรียงเครื่องจักร*

เนื่องจากเครื่องจักรทั้งหมด 4 เครื่อง จึงมีความเป็นไปได้ในการเรียงเครื่องจักรทั้งสิ้น 4!= 24 กรณี ดังนี้

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 2

| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 1 | M1 – M2 – M3 – M4 | M1>M2 = 4.5<br>M2>M3 = 5.5<br>M3>M4 = 6.5<br>M1>M3 = 4.5+5.5 = 10<br>M1>M4 = 4.5+5.5+6.5 = 16.5<br>M2>M4 = 5.5+6.5 = 12 | P1 10+6.5+12 = 28.5<br>P2 4.5+16.5=21<br>P3 12+5.5=17.5 | 28.5+21+17.5 = 67 |
| 2 | M1 – M2 – M4 – M3 | M1>M2 = 4.5<br>M2>M4 = 5<br>M4>M3 = 6.5<br>M1>M4 = 4.5+5 = 9.5<br>M1>M3 = 4.5+5+6.5 = 16<br>M2>M3 = 5+6.5 = 11.5 | P1 16+6.5+5 = 27.5<br>P2 4.5+9.5 = 14<br>P3 5+11.5 = 16.5 | 27.5+14+16.5 = 58 |
| 3 | M1 – M3 – M2 – M4 | M1>M3 = 6<br>M3>M2 = 5.5<br>M2>M4 = 5<br>M1>M2 = 6+5.5 = 11.5<br>M1>M4 = 6+5.5+5 = 16.5<br>M3>M4 = 5.5+5 = 10.5 | P1 6+10.5+5 = 21.5<br>P2 11.5+16.5 = 28<br>P3 5+5.5 = 10.5 | 21.5+28+10.5 = 60 |
| 4 | M1 – M3 – M4 – M2 | M1>M3 = 6<br>M3>M4 = 6.5<br>M4>M2 = 5<br>M1>M4 = 6+6.5 = 12.5<br>M1>M2 = 6+6.5+5 = 17.5<br>M3>M2 = 6.5+5 = 11.5 | P1 6+6.5+5 = 17.5<br>P2 17.5+12.5= 30<br>P3 5+11.5 = 16.5 | 17.5+30+16.5 = 64 |
| 5 | M1 – M4 – M2 – M3 | M1>M4 = 5.5<br>M4>M2 = 5<br>M2>M3 = 5.5<br>M1>M2 = 5.5+5 = 10.5<br>M1>M3 = 5.5+5+5.5 = 16<br>M4>M3 = 5+5.5 = 10.5 | P1 16+10.5+5 = 31.5<br>P2 10.5+5.5 = 16<br>P3 5+5.5 = 10.5 | 31.5+16+10.5 = 58 |
| 6 | M1 – M4 – M3 – M2 | M1>M4 = 5.5<br>M4>M3 = 6.5<br>M3>M2 = 5.5<br>M1>M3 = 5.5+6.5 = 12<br>M1>M2 = 5.5+6.5+5.5 = 17.5<br>M4>M2 = 6.5+5.5 = 12 | P1 12+6.5+12 = 30.5<br>P2 17.5+5.5 = 23<br>P3 12+5.5 = 17.5 | 30.5+23+17.5 = 71 |

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 2

| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 7 | M2 – M1 – M3 – M4 | M2>M1 = 4.5<br>M1>M3 = 6<br>M3>M4 = 6.5<br>M2>M3 = 4.5+6 = 10.5<br>M2>M4 = 4.5+6+6.5 = 17<br>M1>M4 = 6+6.5 = 12.5 | P1 6+6.5+17 = 29.5<br>P2 4.5+12.5 = 17<br>P3 17+10.5 = 27.5 | 29.5+17+27.5 = 74 |
| 8 | M2 – M1 – M4 – M3 | M2>M1 = 4.5<br>M1>M4 = 5.5<br>M4>M3 = 6.5<br>M2>M4 = 4.5+5.5 = 10<br>M2>M3 = 4.5+5.5+6.5 = 16.5<br>M1>M3 = 5.5+6.5 = 12 | P1 12+6.5+10 = 28.5<br>P2 4.5+5.5 = 10<br>P3 10+16.5 = 26.5 | 28.5+10+26.5 = 65 |
| 9 | M2 – M3 – M1 – M4 | M2>M3 = 5.5<br>M3>M1 = 6<br>M1>M4 = 5.5<br>M2>M1 = 5.5+6 = 11.5<br>M2>M4 = 5.5+6+5.5 = 17<br>M3>M4 = 6+5.5 = 11.5 | P1 6+11.5+17 = 34.5<br>P2 11.5+5.5 = 17<br>P3 17+5.5 = 22.5 | 34.5+17+22.5 = 74 |
| 10 | M2 – M3 – M4 – M1 | M2>M3 = 5.5<br>M3>M4 = 6.5<br>M4>M1 = 5.5<br>M2>M4 = 5.5+6.5 = 12<br>M2>M1 = 5.5+6.5+5.5 = 17.5<br>M3>M1 = 6.5+5.5 = 12 | P1 12+6.5+12 = 30.5<br>P2 17.5+5.5 = 23<br>P3 12+5.5 = 17.5 | 30.5+23+17.5 = 71 |
| 11 | M2 – M4 – M1 – M3 | M2>M4 = 5<br>M4>M1 = 5.5<br>M1>M3 = 6<br>M2>M1 = 5+5.5 = 10.5<br>M2>M3 = 5+5.5+6 = 16.5<br>M4>M3 = 5.5+6 = 11.5 | P1 6+11.5+5 = 22.5<br>P2 10.5+5.5 = 16<br>P3 5+16.5 = 21.5 | 22.5+16+21.5 = 60 |
| 12 | M2 – M4 – M3 – M1 | M2>M4 = 5<br>M4>M3 = 6.5<br>M3>M1 = 6<br>M2>M3 = 5+6.5 = 11.5<br>M2>M1 = 5+6.5+6 = 17.5<br>M4>M1 = 6.5+6 = 12.5 | P1 6+6.5+5 = 17.5<br>P2 17.5+12.5 = 30<br>P3 5+11.5 = 16.5 | 17.5+30+16.5 = 64 |
| 13 | M3 – M1 – M2 – M4 | M3>M1 = 6<br>M1>M2 = 4.5<br>M2>M4 = 5<br>M3>M2 = 6+4.5 = 10.5<br>M3>M4 = 6+4.5+5 = 15.5<br>M1>M4 = 4.5+5 = 9.5 | P1 6+15.5+5 = 26.5<br>P2 4.5+9.5 = 14<br>P3 5+10.5 = 15.5 | **26.5+14+15.5 = 56** |
| 14 | M3 – M1 – M4 – M2 | M3>M1 = 6<br>M1>M4 = 5.5<br>M4>M2 = 5<br>M3>M4 = 6+5.5 = 11.5<br>M3>M2 = 6+5.5+5 = 16.5<br>M1>M2 = 5.5+5 = 10.5 | P1 6+11.5+5 = 22.5<br>P2 10.5+5.5 = 16<br>P3 5+16.5 = 21.5 | 22.5+16+21.5 = 60 |

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 2

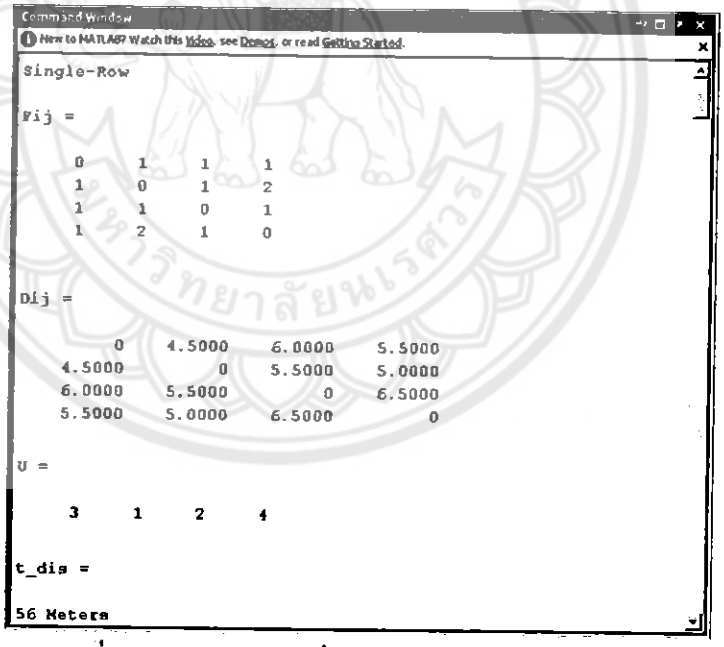
| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 15 | M3 – M2 – M1 – M4 | M3>M2 = 5.5<br>M2>M1 = 4.5<br>M1>M4 = 5.5<br>M3>M1 = 4.5+5.5 = 10<br>M3>M4 = 5.5+4.5+5.5=15.5<br>M2>M4 = 4.5+5.5= 10 | P1 10 + 15.5+10 = 35.5<br>P2 4.5+5.5 = 10<br>P3 10+5.5 = 15.5 | 35.5+10.15.5 = 61 |
| 16 | M3 – M2 – M4 – M1 | M1>M2 = 4.5+5= 9.5<br>M1>M3 = 5.5+5+5.5 = 16<br>M1>M4 = 5.5<br>M2>M3 = 5.5<br>M2>M4 = 5<br>M3>M4 = 5.5+5 = 10.5 | P1 16 + 10.5 +5 = 31.5<br>P2 9.5+5.5 = 16<br>P3 5+5.5 = 10.5 | 31.5+16+10.5 = 58 |
| 17 | M3 – M4 – M1 – M2 | M1>M2 = 4.5<br>M1>M3 = 5.5+6.5 = 12<br>M1>M4 = 5.5<br>M2>M3 = 4.5+5.5+6.5= 16.5<br>M2>M4 = 4.5+5.5= 10<br>M3>M4 = 6.5 | P1 12 + 6.5 +10 = 28.5<br>P2 4.5+5.5 = 10<br>P3 10+16.5 = 26.5 | 28.5+10.26.5 = 65 |
| 18 | M3 – M4 – M2 – M1 | M1>M2 = 4.5<br>M1>M3 = 4.5+5+6.5 = 16<br>M1>M4 = 4.5+5= 9.5<br>M2>M3 = 5+6.5= 11.5<br>M2>M4 = 5<br>M3>M4 = 6.5 | P1 16 + 6.5 +5 = 27.5<br>P2 4.5+9.5 = 14<br>P3 5+11.5 = 16.5 | 27.5+14+16.5 = 58 |
| 19 | M4 – M1 – M2 – M3 | M1>M2 = 4.5<br>M1>M3 = 4.5+5.5 = 10<br>M1>M4 = 5.5<br>M2>M3 = 5.5<br>M2>M4 = 4.5+5.5= 10<br>M3>M4 = 5.5+4.5+5.5= 15.5 | P1 10+ 15.5 +10 = 35.5<br>P2 4.5+5.5 = 10<br>P3 10+5.5 = 15.5 | 35.5+10.15.5 = 61 |
| 20 | M4 – M1 – M3 – M2 | M1>M2 = 6+5.5 = 11.5<br>M1>M3 = 6<br>M1>M4 = 5.5<br>M2>M3 = 5.5<br>M2>M4 = 5.5+6+5.5= 17<br>M3>M4 = 6+5.5= 11.5 | P1 6+ 11.5 +17 = 34.5<br>P2 11.5+5.5 = 17<br>P3 17+5.5 = 22.5 | 34.5+17.22.5 = 74 |
| 21 | M4 – M2 – M1 – M3 | M1>M2 = 4.5<br>M1>M3 = 6<br>M1>M4 = 4.5+5= 9.5<br>M2>M3 = 4.5+6 = 10.5<br>M2>M4 = 5<br>M3>M4 = 6+4.5+5 = 15.5 | P1 6+ 15.5 +5 = 26.5<br>P2 4.5+9.5 = 14<br>P3 5+10.5 = 15.5 | **26.5+14+15.5 = 56** |
| 22 | M4 – M2 – M3 – M1 | M1>M2 = 6+5.5= 11.5<br>M1>M3 = 6<br>M1>M4 = 6+5.5+5= 16.5<br>M2>M3 = 5.5<br>M2>M4 = 5<br>M3>M4 = 5.5+5 = 10.5 | P1 6+ 10.5 +5 = 21.5<br>P2 11.5+16.5 = 18<br>P3 5+5.5 = 10.5 | 21.5+18+10.5 = 60 |

**ตารางที่ 4.2(ต่อ)** เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 2

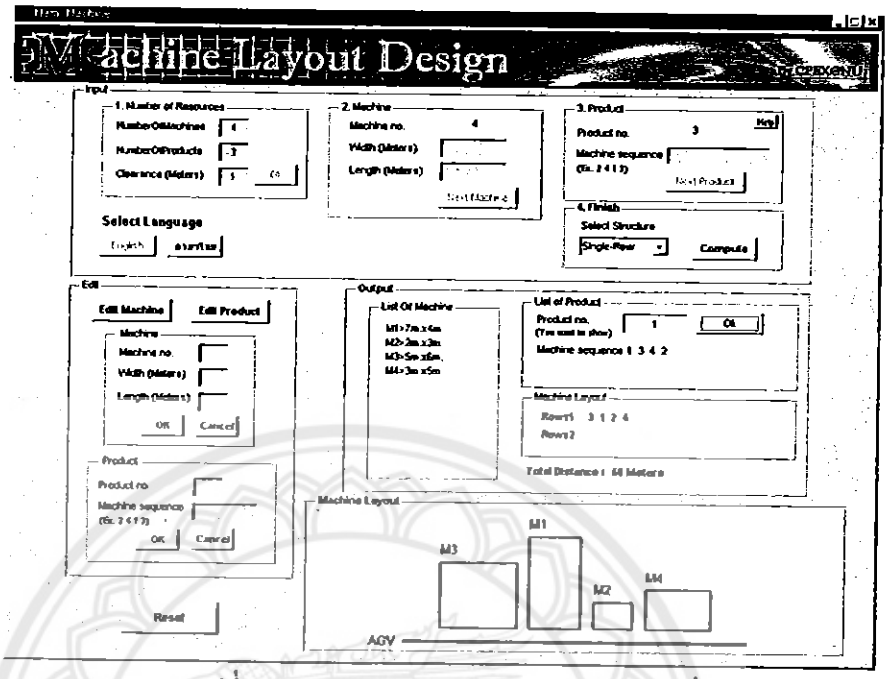
| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 23 | M4 – M3 – M1 – M2 | M1>M2 = 4.5<br>M1>M3 = 6<br>M1>M4 = 6+6.5= 12.5<br>M2>M3 = 4.5+6= 10.5<br>M2>M4 = 4.5+6+6.5= 17<br>M3>M4 = 6.5 | P1 6+ 6.5 +17 = 29.5<br>P2 4.5+12.5 = 17<br>P3 17+10.5 = 27.5 | 29.5+17.27.5 = 74 |
| 24 | M4 – M3 – M2 – M1 | M1>M2 = 4.5<br>M1>M3 = 4.5+5.5= 10<br>M1>M4 = 4.5+5.5+6.5= 16.5<br>M2>M3 = 5.5<br>M2>M4 = 5.5+6.5= 12<br>M3>M4 = 6.5 | P1 10+ 6.5 +12= 28.5<br>P2 4.5+16.5 = 21<br>P3 12+5.5 = 17.5 | 28.5+21+17.5 = 67 |

จะเห็นได้ว่า วิธีที่ 13 และวิธีที่ 21 เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการจัดวางเครื่องจักรซึ่งทำให้ระยะทางในการขนถ่ายผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยที่สุดนั้นคือ 56 เมตรเท่ากัน โดยการจัดเรียงแบบ M3 – M1 – M2 – M4 และ M4 – M2 – M1 – M3

<u>แสดงการทำงานของโปรแกรมตามตัวอย่างที่ 2</u>




**รูปที่ 4.5** แสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 2




รูปที่ 4.6 แสดงผลการทำงานของ GUI จากตัวอย่างที่ 2

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงผลการทำงานของโปรแกรม ผู้อ่านสามารถสังเกตได้ว่าค่าของเมทริกซ์ $F$ และ $D$ รวมถึงวิธีในการวางผังเครื่องจักรมีค่าสอดคล้องกับกรณีตัวอย่างที่ทำการคำนวณไว้ในตารางที่ 4.2 ข้างต้น

**4.2.2 การตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมในกรณี Double Row**

**ตัวอย่างที่** 3 Double Row

สมมติให้มีเครื่องจักร 3 เครื่องซึ่งมีขนาดดังนี้

เครื่องจักรที่ 1 (M1) ขนาด กว้าง 3 เมตร ยาว 4 เมตร

เครื่องจักรที่ 2 (M2) ขนาด กว้าง 6 เมตร ยาว 6 เมตร

เครื่องจักรที่ 3 (M3) ขนาด กว้าง 5 เมตร ยาว 2 เมตร

ซึ่งเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีระยะห่างระหว่างเครื่องเท่ากับ 1 เมตร

ถ้าโรงงานผลิตสินค้า 3 ชนิด โดยที่

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 (P1) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M2 และ M3

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 (P2) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M1,M3 และ M2

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3 (P3) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M1 และ M2

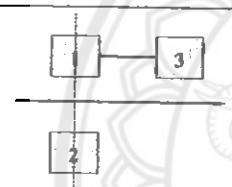
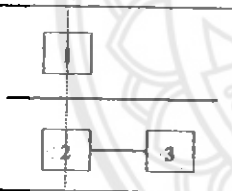
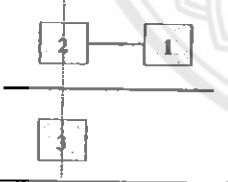
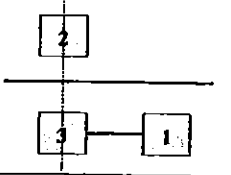
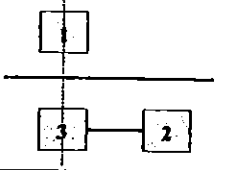
จากข้อมูลข้างต้นสามารถจัดอยู่ในรูปของเมทริกซ์ความถี่ในการทำงาน ( $F$ ) และเมทริกซ์ระยะห่างระหว่างเครื่องจักร ( $D$) ได้ดังนี้

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 0 \end{bmatrix} \qquad D = \begin{bmatrix} 0 & 6 & 4 \\ 6 & 0 & 5 \\ 4 & 5 & 0 \end{bmatrix}$$

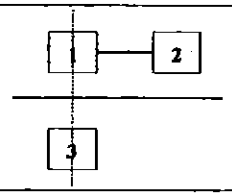
*ตารางเปรียบเทียบกรณีที่เป็นไปได้ในการเรียงเครื่องจักร*

มีวิธีการจัดเรียงทั้งหมด 6 วิธี เนื่องจากตัดวิธีที่ซ้ำกันออกดังนี้

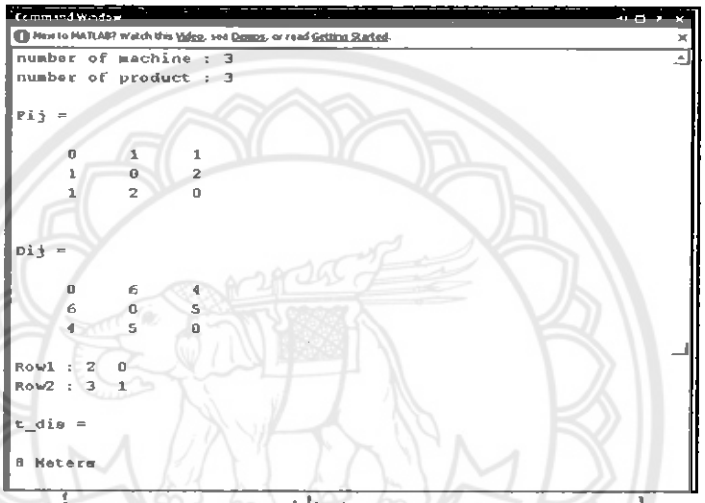
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 3

| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 1 |  | M1>M2 = 0<br>M1>M3 = 2+1+1 = 4<br>M2>M3 = 2+1+1 = 4 | P1 4<br>P2 4+4 = 8<br>P3 0 | 4+8 = 12 |
| 2 |  | M1>M2 = 0<br>M1>M3 = 3+1+1 = 5<br>M2>M3 = 3+1+1 = 5 | P1 5<br>P2 5+5 = 10<br>P3 0 | 5+10 = 15 |
| 3 |  | M1>M2 = 3+1+2 = 6<br>M1>M3 = 3+1+2 = 6<br>M2>M3 = 0 | P1 0<br>P2 6+0 = 6<br>P3 6 | 6+6 = 12 |
| 4 |  | M1>M2 = 1+1+2 = 4<br>M1>M3 = 1+1+2 = 4<br>M2>M3 = 0 | P1 0<br>P2 4+0 = 4<br>P3 4 | **4+4 = 8** |
| 5 |  | M1>M2 = 1+1+3 = 5<br>M1>M3 = 0<br>M2>M3 = 1+1+3 = 5 | P1 5<br>P2 0+5 = 5<br>P3 5 | 5+5+5 = 15 |

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 3

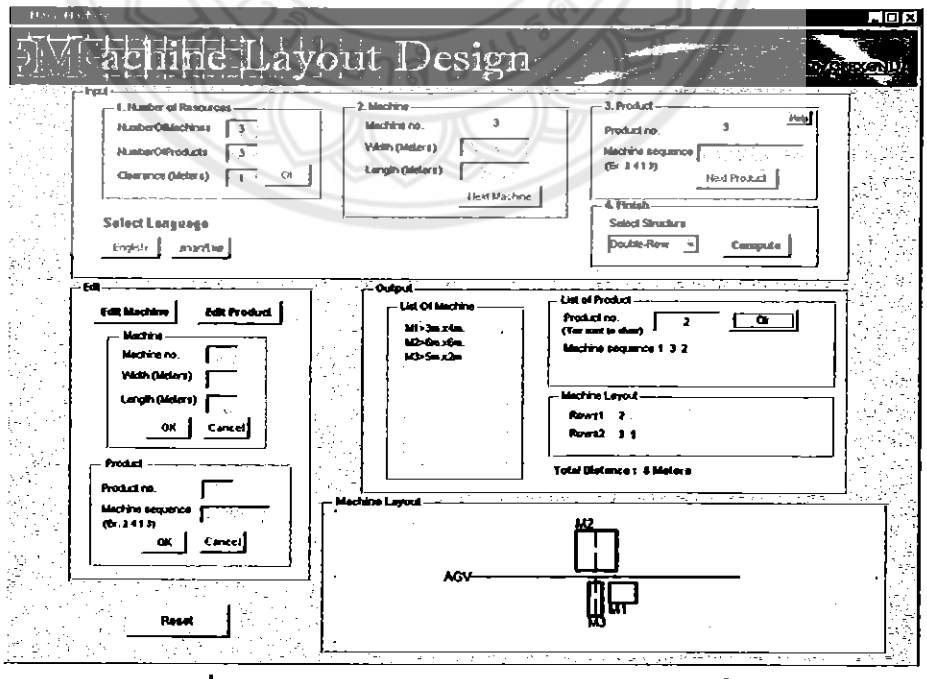
| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 6 |   | M1>M2 = 2+1+3 = 6<br>M1>M3 = 0<br>M2>M3 = 2+1+3 = 6 | P1 6<br>P2 0+6 = 6<br>P3 6 | 6+6+6 = 18 |

<u>แสดงการทำงานของโปรแกรมตามตัวอย่างที่ 3</u>



```
number of machine : 3
number of product : 3

Pij =

     0     1     1
     1     0     2
     1     2     0


Dij =

     0     6     4
     6     0     5
     4     5     0

Row1 : 2  0
Row2 : 3  1

t_dis =

8 Meters
```

รูปที่ 4.7 แสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 3




รูปที่ 4.8 แสดงผลการทำงานของ GUI จากตัวอย่างที่ 3

รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการทำงานของโปรแกรมที่จัดทำขึ้น ผู้อ่านสามารถสังเกตได้ว่าค่าของเมทริกซ์ F และ D รวมถึงผลของการจัดเรียงเครื่องจักรมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.3 กล่าวคือเครื่องจักรที่ 2 และ 3 วางในตำแหน่งที่จุดกึ่งกลางตรงกัน และเครื่องจักรที่ 1 วางทางด้านขาวของเครื่องจักรที่ 3

ตัวอย่างที่ 4 Double Row

สมมติให้มีเครื่องจักร 4 เครื่องซึ่งมีขนาดดังนี้

เครื่องจักรที่ 1 (M1) ขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 2 เมตร

เครื่องจักรที่ 2 (M2) ขนาด กว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร

เครื่องจักรที่ 3 (M3) ขนาด กว้าง 5 เมตร ยาว 6 เมตร

เครื่องจักรที่ 4 (M4) ขนาด กว้าง 6 เมตร ยาว 8 เมตร

ซึ่งเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีระยะห่างระหว่างเครื่องเท่ากับ 1 เมตร

ถ้าโรงงานผลิตสินค้า 3 ชนิด โดยที่

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 (P1) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M2,M3 และ M4

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 (P2) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M1,M3,M4 และ M2

ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3 (P3) ต้องใช้ลำดับการผลิตของเครื่องจักรเป็น M1,M2,M4 และ M3

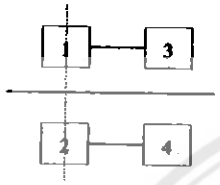
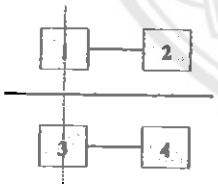
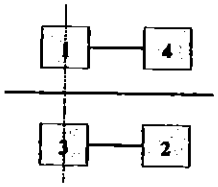
จากข้อมูลข้างต้นสามารถจัดอยู่ในรูปของเมทริกซ์ความถี่ในการทำงาน ( $F$ ) และเมทริกซ์ระยะห่างระหว่างเครื่องจักร ( $D$) ได้ดังนี้

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 2 & 3 & 0 \end{bmatrix} \qquad D = \begin{bmatrix} 0 & 4 & 5 & 6 \\ 4 & 0 & 6 & 7 \\ 5 & 6 & 0 & 8 \\ 6 & 7 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

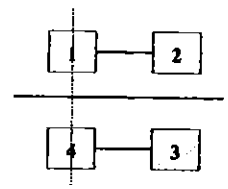
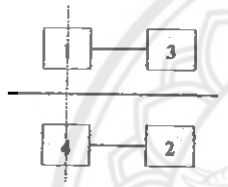
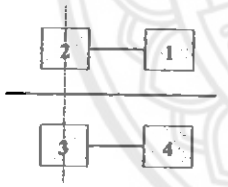
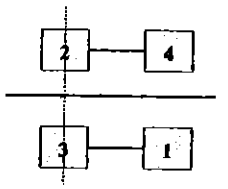
*ตารางเปรียบเทียบกรณีที่เป็นไปได้ในการเรียงเครื่องจักร*

มีวิธีการจัดเรียงทั้งหมด 12 วิธี เนื่องจากตัดวิธีที่ซ้ำกันออกดังนี้

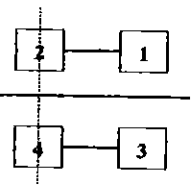
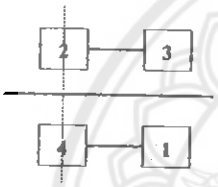
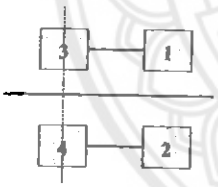
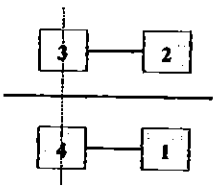
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 4

| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 1 |  | M1>M2 = 0<br>M1>M3 = 1+1+3 = 5<br>M1>M4 = 2+1+4 = 7<br>M2>M3 = 1+1+3 = 5<br>M2>M4 =2+1+4 = 7<br>M3>M4 =\|5-7\| = 2 | P1 5+2 = 7<br>P2 5+2+7 = 14<br>P3 0+7+2 = 9 | 7+14+9 = 30 |
| 2 | | M1>M2 = 0<br>M1>M3 = 2+1+3 = 6<br>M1>M4 = 1+1+4 = 6<br>M2>M3 = 2+1+3 = 6<br>M2>M4 =1+1+4 = 6<br>M3>M4 =\|6-6\| = 0 | P1 6+0 = 6<br>P2 6+0+6 = 12<br>P3 0+6+0 = 6 | 6+12+6 = 24 |
| 3 |  | M1>M2 = 1+1+2 = 4<br>M1>M3 = 0<br>M1>M4 = 3+1+4 = 8<br>M2>M3 = 1+1+2 = 4<br>M2>M4 =\|4-8\| = 4<br>M3>M4 =3+1+4 = 8 | P1 4+8 = 12<br>P2 0+8+4 = 12<br>P3 4+4+8 = 16 | 12+12+16 = 40 |
| 4 |  | M1>M2 = 2+1+3 = 6<br>M1>M3 = 0<br>M1>M4 = 1+1+4 = 6<br>M2>M3 = 2+1+3 = 6<br>M2>M4 =\|6-6\| = 0<br>M3>M4 =1+1+4 = 6 | P1 6+6 = 12<br>P2 0+6+0 = 6<br>P3 6+0+6 = 12 | 12+6+12 = 30 |

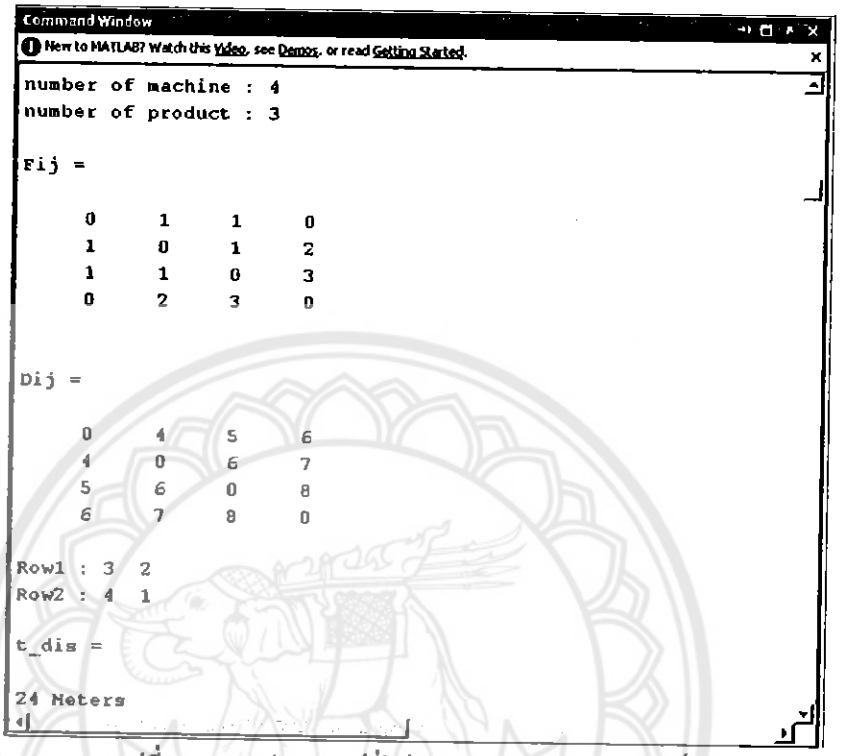
ตารางที่ 4.4 (ต่อ) เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 4

| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 5 |  | M1>M2 = 1+1+2 = 4<br>M1>M3 = 3+1+4 = 8<br>M1>M4 = 0<br>M2>M3 = \|4-8\| = 4<br>M2>M4 =1+1+2 = 4<br>M3>M4 =3+1+4 = 8 | P1 4+8 = 12<br>P2 8+8+4 = 20<br>P3 4+4+8 = 16 | 12+20+14 = 48 |
| 6 |  | M1>M2 = 2+1+4 = 7<br>M1>M3 = 1+1+3 = 5<br>M1>M4 = 0<br>M2>M3 = \|5-7\| = 2<br>M2>M4 =2+1+4 = 7<br>M3>M4 =1+1+3 = 5 | P1 2+5 = 7<br>P2 5+5+7 = 17<br>P3 7+7+5 = 19 | 7+17+19 = 43 |
| 7 |  | M1>M2 = 1+1+2 = 4<br>M1>M3 = 1+1+2 = 4<br>M1>M4 = \|4-8\| = 4<br>M2>M3 = 0<br>M2>M4 =3+1+4 = 8<br>M3>M4 =3+1+4 = 8 | P1 0+8 = 8<br>P2 4+8+8 = 20<br>P3 4+8+8 = 20 | 8+20+20 = 48 |
| 8 |  | M1>M2 =1+1+3 = 5<br>M1>M3 = 1+1+3 = 5<br>M1>M4 = \|7-5\| = 2<br>M2>M3 = 0<br>M2>M4 =2+1+4 = 7<br>M3>M4 =2+1+4 = 7 | P1 0+7 = 7<br>P2 5+7+7 = 19<br>P3 5+7+7 = 19 | 7+19+19 = 45 |

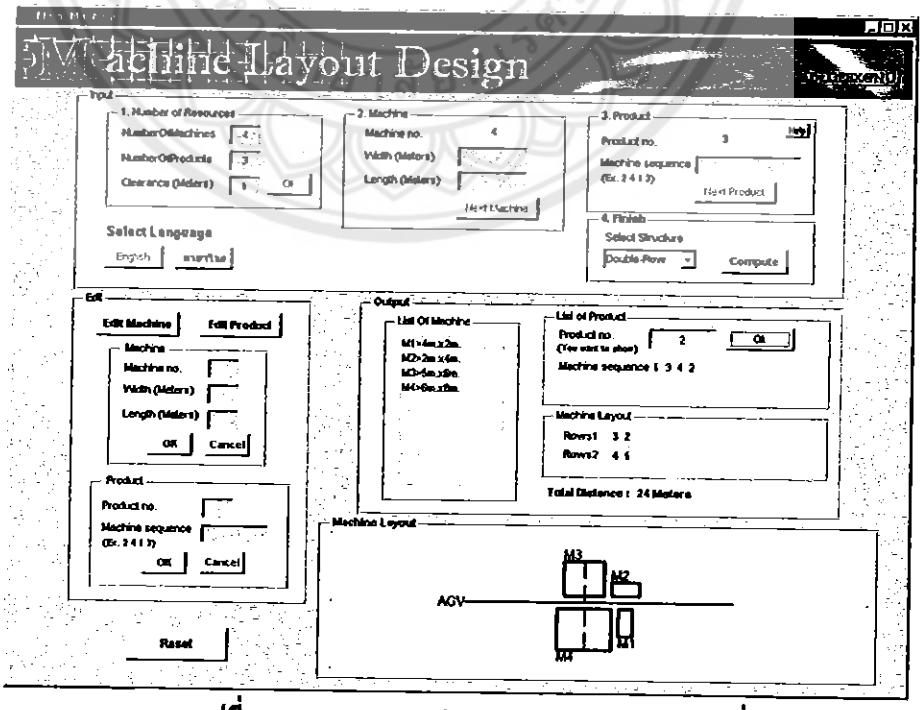
ตารางที่ 4.4 (ต่อ) เปรียบเทียบระยะทางกรณีที่เป็นไปได้ในการขนส่งของตัวอย่างที่ 4

| N | Machine | Calculate distance | Distance to Carry | Total distance |
|---|---|---|---|---|
| 9 |  | M1>M2 =1+1+2 = 4<br>M1>M3 = \|4-8\| = 4<br>M1>M4 = 1+1+2 = 4<br>M2>M3 = 3+1+4 = 8<br>M2>M4 =0<br>M3>M4 =3+1+4 = 8 | P1 8+8 = 16<br>P2 4+8+0 = 12<br>P3 4+0+8 = 12 | 16+12+12 = 40 |
| 10 |  | M1>M2 =1+1+4 = 6<br>M1>M3 = \|6-6\| = 0<br>M1>M4 = 1+1+4 = 6<br>M2>M3 = 2+1+3 = 6<br>M2>M4 =0<br>M3>M4 =2+1+3 = 6 | P1 6+6 = 12<br>P2 0+6+0 = 6<br>P3 6+0+6 = 12 | 12+6+12 = 30 |
| 11 |  | M1>M2 =\|5-7\| = 2<br>M1>M3 = 1+1+3 = 5<br>M1>M4 = 1+1+3 = 5<br>M2>M3 = 2+1+4 = 7<br>M2>M4 =2+1+4 = 7<br>M3>M4 =0 | P1 7+0 = 7<br>P2 5+0+7 = 12<br>P3 2+7+0 = 9 | 7+12+9 = 28 |
| 12 |  | M1>M2 =\|6-6\| = 0<br>M1>M3 = 1+1+4 = 6<br>M1>M4 = 1+1+4 = 6<br>M2>M3 = 2+1+3 = 6<br>M2>M4 =2+1+3 = 6<br>M3>M4 =0 | P1 6+0 = 6<br>P2 6+0+6 = 12<br>P3 0+6+0 = 6 | **6+12+6 = 24** |

## แสดงการทำงานของโปรแกรมตามตัวอย่างที่ 4




รูปที่ 4.9 แสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 4




รูปที่ 4.10 แสดงผลการทำงานของ GUI จากตัวอย่างที่ 4

รูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงการทำงานของโปรแกรม ผู้อ่านสามารถสังเกตได้ว่าผลที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 4.4 นั้นคือเครื่องจักรที่ 3 และเครื่องจักรที่ 4 ถูกจัดวางไว้ตรงข้ามกันโดยจัดให้มีจุดกึ่งกลางตรงกัน เครื่องจักรที่ 2 วางทางด้านขวาของเครื่องจักรที่ 3 และเครื่องจักรที่ 1 วางทางด้านขวาของเครื่องจักรที่ 4 ตามรูปที่ 4.10

จากตัวอย่างทั้งสี่ข้างต้นพบว่าโปรแกรมที่จัดทำขึ้นนั้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยที่ผลของการเรียงเครื่องจักรที่ได้สอดคล้องกับผลที่ได้โดยการคำนวณ

# บทที่ 5

# สรุปและแนวทางการพัฒนา

## 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในโครงงานนี้ได้พัฒนาโปรแกรมส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้งานทั่วไปในการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรทั้งแบบแถวเดียว (Single-row Layout) และแบบสองแถว (Double-row Layout) โดยส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้นอกจากจะแสดงลำดับของเครื่องจักรในการจัดวางแล้ว โปรแกรมสามารถแสดงผลรวมของระยะทางที่ได้รวมทั้งแสดงผังการจัดเรียงเครื่องจักรในรูปแบบของแผนภาพในสองมิติอีกด้วย

## 5.2 แนวทางการพัฒนา

1. ควรศึกษารูปแบบการวางผังเครื่องจักรแบบหลายแถว (Multi-Row Layout) และขั้นตอนวิธีในการวางผังเครื่องจักรในแบบอื่นๆ เช่น GA ACO RIP หรือแบบโครงสร้างที่มีโมเดล เป็นต้น

2. ในส่วนของผังการจัดเรียงเครื่องจักรในรูปแบบของแผนภาพที่ได้จัดทำขึ้นในโครงงานนี้มีข้อจำกัด กล่าวคือ สามารถแสดงผลของการจัดเรียงเครื่องจักรได้ไม่เกิน 10 เครื่อง นอกจากนี้ ยังพบว่าขนาดของแผนภาพในส่วนการแสดงผลมีขนาดไม่ได้สัดส่วนที่เหมาะสมหากมีจำนวนเครื่องจักรมากขึ้น ดังนั้นผู้สนใจสามารถนำโครงงานนี้มาพัฒนาส่วนของการแสดงผลเพื่อให้ได้แผนภาพที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับเครื่องจักรที่มีจำนวนมากขึ้น

3. เนื่องจากขั้นตอนวิธีที่ใช้ในโครงงานนี้อาศัยปัจจัยเกี่ยวกับระยะห่างระหว่างเครื่องจักร ขนาดของเครื่องจักร รวมถึงความถี่ในการทำงาน โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยด้านอื่น อาทิ เช่น เวลาในการผลิต ขนาดพื้นที่ห้อง หรือลักษณะรูปทรงของเครื่องจักร เป็นต้น ดังนั้น ผู้ที่มีความสนใจสามารถนำปัจจัยอื่น ๆ มาใช้ประกอบในการคำนวณ เพื่อให้ผลที่ได้มีความถูกต้องเหมาะสมยิ่งขึ้น

4. ในกรณีมีการจัดวางเครื่องจักรเป็นที่เรียบร้อยแล้ว หากผู้ใช้งานต้องการเพิ่มเครื่องจักรเข้าไป ควรเลือกใช้ขั้นตอนวิธีอื่น ยกตัวอย่างเช่น Minimum tree Algorithm มาใช้ในการออกแบบตำแหน่งที่วางของเครื่องจักรนั้น เพื่อไม่ให้กระทบกระเทือนต่อผังของเครื่องจักรที่จัดวางไว้แล้ว

# เอกสารอ้างอิง

[1] Andrew Kusiak, "**COMPUTATIONAL INTELLIGENCE in DESIGN and MANUFACTURING**", John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA, 2000.

[2] Andrew Kusiak, "**LAYOUT OF MACHINES AND FACILITIES**".[Online].Available : http://www.icaen.uiowa.edu/~ie166/Private/Lecture/Ch12.pdf

[3] Rasmus Andersen, "**Solution methods to the machine layout problem**", Technical University of Denmark, 2006.

[4] Thomas HAMANN and Francois VERNADAT (1992), "**The intra-cell Layout Problem in automated Manufacturing systems**".[Online].Available : http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/07/49/57/PDF/RR-1603.pdf.