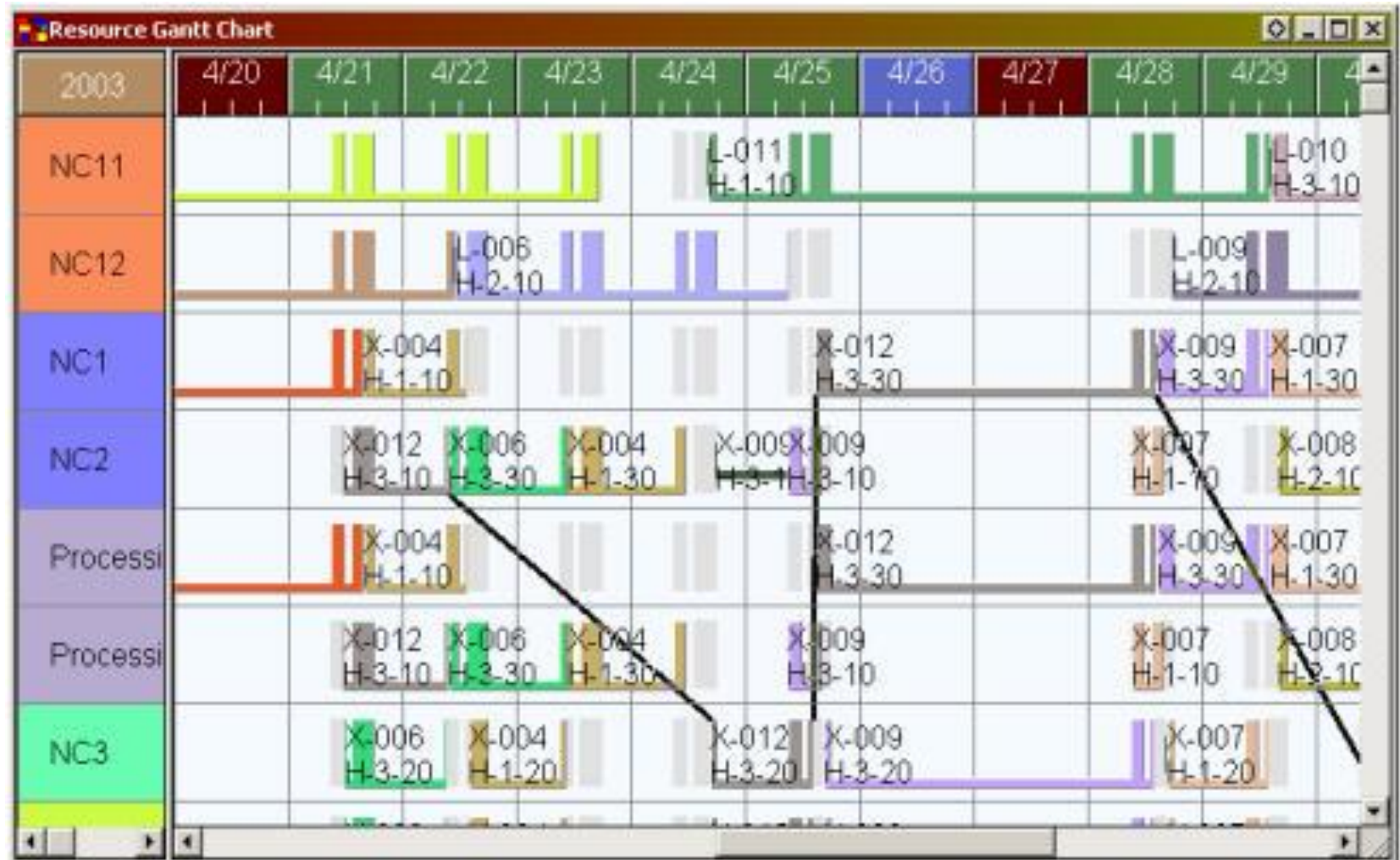


# การจัดลำดับงาน (Scheduling)



# คำจำกัดความ

2

- การกำหนดความสำคัญ หรือการจัดเรียงกิจกรรมเพื่อให้ได้ตามความต้องการ หรือเงื่อนไข หรือวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ โดยส่วนมากแล้วเงื่อนไขหลักของการจัดลำดับงานก็คือ**เวลา** กล่าวคือโดยทั่วไปคนงานจะถูกจัดตามกิจกรรมที่จะต้องทำ **ดังนั้นงาน (Jobs) ที่ต้องทำจะต้องถูกทำให้สำเร็จภายใต้เวลาที่มีอยู่**

## 6.1 การจัดลำดับงานสำหรับสถานที่ปฏิบัติการ (Scheduling on the Shop Floor)

3

- ตารางเวลาที่ได้จากการจัดลำดับงาน จะแสดงถึงเวลาตามแผนที่ได้มีการกำหนดไว้ที่มีการทำตามขั้นตอนที่จำเป็นของงานแต่ละงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง นอกจากนั้นยังแสดงถึงจุดของเวลาว่าเมื่อใดที่งานแต่ละงานจะเสร็จสิ้นบนเครื่องจักรทุกๆเครื่อง ดังนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าเป็น**ตารางเวลาสำหรับงานที่ทำ และเวลาบนเครื่องจักรนั่นเอง**
- เวลากำหนดเสร็จ (Completion time) ของงานแต่ละงาน คือเวลาที่งานแต่ละงานเสร็จจากเครื่องจักรตัวหลังสุดภายในลำดับขั้นตอนการทำงาน

## 6.2 คำศัพท์ทางการวางแผนการผลิต

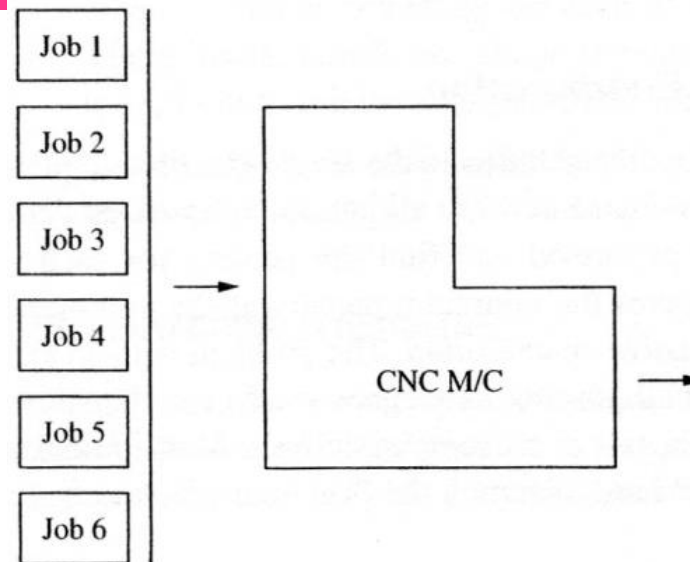
### (Production planning terminology)

4

- หน่วยผลิต 1 หน่วย (Single machine)
- การผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow shop)
- เครื่องจักรที่ต่อขนานกัน (Parallel machine)
- การผลิตแบบตามสั่ง (Job shop)
- การผลิตแบบเปิด (Open shop)
- การผลิตแบบไม่เป็นอิสระ (Dependent shop)
- การผลิตเป็นรุ่น (Batch processing)
- การผลิตแบบที่ต้องการเวลาในการติดตั้ง (Sequence-dependent setup time)
- สายการประกอบ (Assembly line)
- สายการประกอบแบบผสม (Mixed-mode assembly line)

## 6.3 การจัดลำดับงานบนเครื่องจักรเครื่องเดียว (A single-machine scheduling)

5



- มีจำนวนงาน (Jobs) ที่ต้องการที่กระทำบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ดังนั้นจึงต้องการที่จะได้ตารางการจัดลำดับของงานให้มีความเหมาะสมที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
- โดยทางปฏิบัติแล้วสามารถที่กำหนดวัตถุประสงค์ได้หลากหลาย แต่อย่างไรก็ตาม มักจะมีเพียงวัตถุประสงค์เดียวที่จะใช้เป็นหลักในการจัดลำดับ

# ปัญหาเนื่องจากความล่าช้า (The tardiness problem)

6

สมมติว่ามีงานจำนวน  $n$  งานที่จะต้องจัดลำดับบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว สำหรับงานแต่ละงานมีค่าที่ทราบล่วงหน้าคือ **เวลาปฏิบัติงานบนเครื่องจักรเท่ากับ**  $P_i$  **วันกำหนดส่ง**  $D_i$  และ**ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเวลาที่ส่งไม่ทันกำหนด**  $L_i$  โดยที่ค่าใช้จ่ายที่ส่งไม่ทันกำหนดสำหรับงานใดๆ สมมติให้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (Linear) นั่นก็คือถ้างาน  $i$  เสร็จสิ้นในเวลา  $t$  หน่วยเวลาซึ่งเป็นวันหลังจากวันกำหนดส่งจะทำให้มีค่าปรับเนื่องจากส่งไม่ทันกำหนดเท่ากับ  $L_i \times t$  แต่ถ้าหากว่างานสามารถทำเสร็จก่อนวันกำหนดส่งก็จะมีค่าปรับเกิดขึ้น

**วัตถุประสงค์**คือทำให้ค่าปรับอันเนื่องมาจากส่งงานไม่ทันกำหนดน้อยที่สุด (Tardiness penalty) ซึ่งก็คือผลรวมของค่าปรับของงานแต่ละงานที่ส่งไม่ทันกำหนดมีค่าน้อยที่สุด

ในการแก้ปัญหาดังกล่าวจะมีการตั้งสมมุติฐานดังนี้คือ

- 1) งานทุกงานพร้อมที่จะเข้าสู่ลำดับทันที (เวลาเริ่มต้นเท่ากับศูนย์)
- 2) เวลาในการติดตั้งเครื่องจักรสำหรับทุกงานเป็นอิสระต่อกันซึ่งอาจจะคิดรวมอยู่ในเวลาปฏิบัติงาน (Processing time) ก็ได้
- 3) งานที่เข้าสู่ขั้นตอนจะต้องมีการกระทำต่อเนื่องจนเสร็จโดยไม่มีการหยุด หรือเครื่องจักรเสีย (เครื่องจักรจะต้องมีจำนวนเพียงพอสำหรับการปฏิบัติของงานทุกงานตลอดเวลา)

# วิธีการ Branch and Bound

## (Branch and Bound Algorithm)

8

- จะหาแนวทางในการที่จะลดจำนวนของการจัดลำดับที่ทำการตรวจสอบจาก  $n!$  เพื่อให้สามารถอยู่ในระดับที่สามารถควบคุมได้ ซึ่งขั้นตอนในการทำวิธีการ Branch and Bound ในการแก้ปัญหาในการจัดลำดับงานมีขั้นตอนดังนี้
- ขั้นตอนที่ 1 กำหนดงานที่จะทำหลังสุด ซึ่งในการจัดลำดับงานทุกๆ ไปแล้วก็ต้องมีงานที่จะต้องทำหลังสุด ซึ่งถ้าหากไม่มีเงื่อนไขหรือข้อกำหนดใดๆ งานใดๆ ก็จะสามารถถูกกำหนดให้เป็นงานที่จะทำหลังสุดได้ จากนั้นก็ทำการวาดแผนภาพต้นไม้ (Tree diagram) ซึ่งจะแสดงโหนด (Node) ของงานที่เป็นไปได้ที่จะทำหลังสุด
- ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าขอบเขตต่ำ (Lower bound) ของผลรวมของค่าปรับ (Penalty :  $W$ ) ที่รวมกันกับโหนดในขั้นตอนที่ 1 โดยที่ผลรวมค่าปรับก็คือค่าที่กำหนดส่งลบออกด้วยผลรวมของเวลาปฏิบัติงานของงานที่เหลืออยู่ คูณด้วยน้ำหนักของค่าปรับ (Penalty weight :  $L$ ) ของแต่ละงาน
- ขั้นตอนที่ 3 เลือกโหนดที่มีขอบเขตล่างของค่าปรับน้อยที่สุดซึ่งจะเป็นโหนดหลัก (Parent node) สำหรับสาขา (Branch) โดยที่แต่ละงานที่เหลือสามารถที่จะกระทำในตำแหน่งถัดไปได้ จากนั้นก็ทำการสร้างโหนดของแต่ละงานที่เหลืออยู่โดยการเชื่อมต่อกับโหนดหลัก
- ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าปรับสำหรับแต่ละงานบนโหนดที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 โดยที่ค่าปรับสามารถหาได้เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 แต่จะต้องทำการบวกเพิ่มค่าของค่าขอบเขตล่างของโหนดหลักเพื่อที่จะได้ค่าขอบเขตล่างของโหนดปัจจุบัน



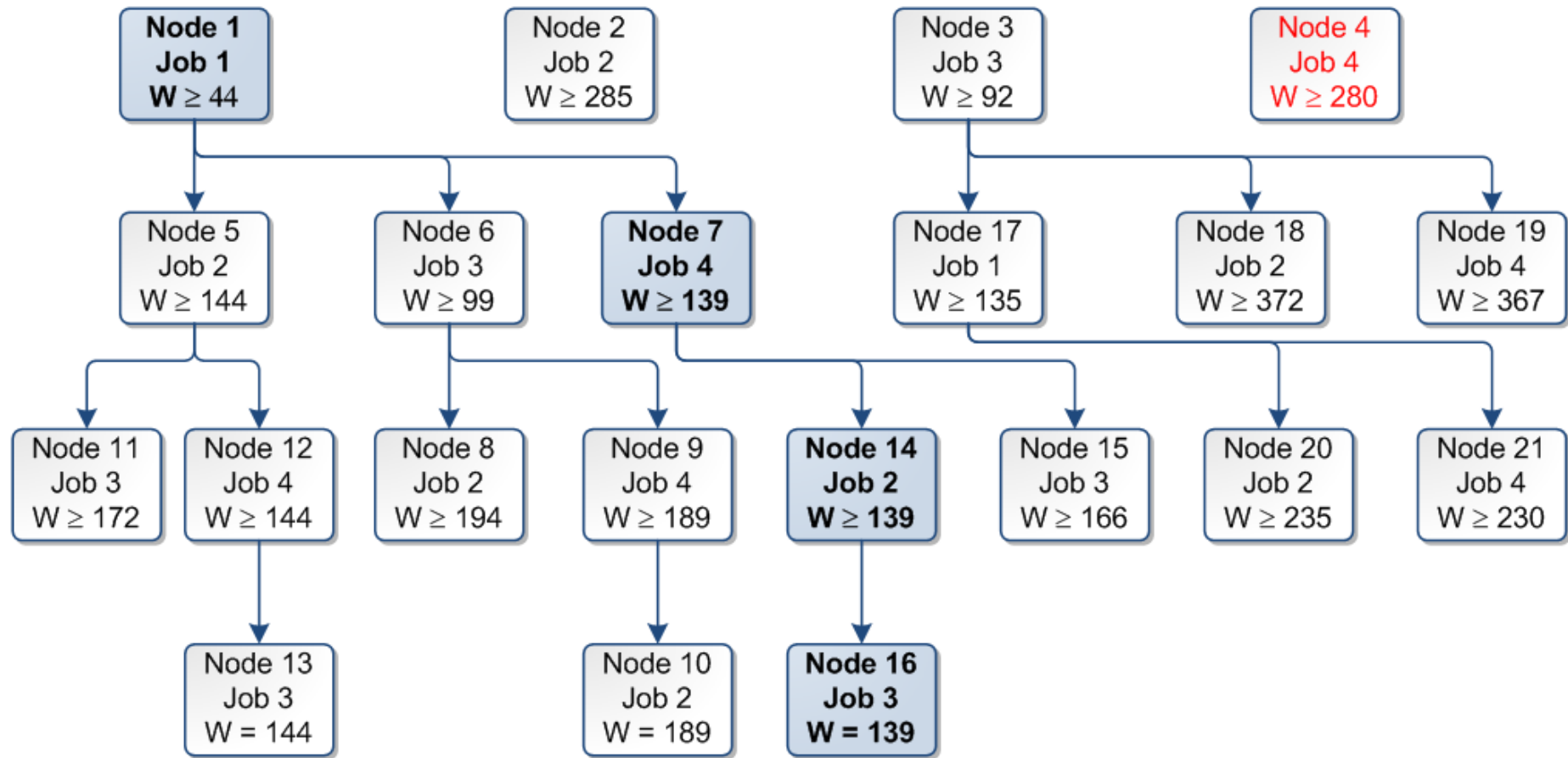
- ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนกว่าจะสามารถจัดลำดับได้ โดยที่ค่าปรับที่ได้ของการจัดลำดับนั้นก็จะกลายมาเป็นค่าเริ่มต้นของค่าปรับที่ต่ำที่สุด (Initial minimum penalty value)
- ขั้นตอนที่ 6 ทำการค้นหาจากแผนภาพต้นไม้ จากนั้นก็ทำการตัดโหนดที่มีค่าขอบเขตล่างมีค่าที่สูงกว่าค่าที่กำหนดเริ่มต้นที่ได้จากขั้นตอนที่ 5
- ขั้นตอนที่ 7 เริ่มดำเนินการต่อจากสาขาของแต่ละโหนดที่เหลืออยู่ โดยก็ทำการตัดโหนดที่มีค่าขอบเขตล่างมีค่าที่สูงกว่าค่าปัจจุบัน จากนั้นก็แทนค่าปัจจุบันของขอบเขตล่างที่ต่ำที่สุดด้วยค่าใหม่ที่ต่ำที่สุดที่หาได้
- ขั้นตอนที่ 8 หลังจากทีโหนดต่างๆโดนตัดออกจนหมดแล้ว ค่าปัจจุบันของขอบเขตล่างจะเป็นผลรวมของค่าปรับสำหรับการจัดลำดับงาน

## ตัวอย่างที่ 6-1 การจัดลำดับงานบนเครื่องจักรเครื่องเดียว

10

ตารางที่ 6-1 เวลาปฏิบัติงาน วันกำหนดส่ง และน้ำหนักของงาน

| Job Number | Processing<br>Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|---------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                        | 49              | 1             |
| 2          | 27                        | 36              | 5             |
| 3          | 1                         | 1               | 1             |
| 4          | 28                        | 37              | 5             |



ภาพที่ 6-2 วิธีการ Branch and Bound สำหรับการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรเครื่องเดียว

## 6.4 การแก้ปัญหาโดยวิธีฮิวริสติกส์ทั่วไป

12

Earliest Due Date (EDD) Rule

Cost Over Time (COVERT) Rule

Shortest Processing Time (SPT) Rule

Largest Penalty per Unit Length (LPUL) Rule

Shortest Processing Time and LPUL Rule

Shortest Weighted Processing Time (SWPT) Rule

Largest Weight (WT) and LPUL Rule

Critical Ratio (CR) Rule

## ตัวอย่างที่ 6-2 Single-machine scheduling with heuristic rules

13

| Job Number | Processing<br>Time, $P_i$ | Due Date,<br>$D_i$ | Weight,<br>$L_i$ |
|------------|---------------------------|--------------------|------------------|
| 1          | 37                        | 49                 | 1                |
| 2          | 27                        | 36                 | 5                |
| 3          | 1                         | 1                  | 1                |
| 4          | 28                        | 37                 | 5                |

# EDD Rule

14

| Job Number | Processing Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                     | 49              | 1             |
| 2          | 27                     | 36              | 5             |
| 3          | 1                      | 1               | 1             |
| 4          | 28                     | 37              | 5             |

## 1) EDD Rule

|                |   |    |    |    |     |
|----------------|---|----|----|----|-----|
| ลำดับงาน       | 3 | 2  | 4  | 1  |     |
| เวลาปฏิบัติงาน | 1 | 27 | 28 | 37 |     |
| วันกำหนดส่ง    | 1 | 36 | 37 | 49 |     |
| วันกำหนดเสร็จ  | 1 | 28 | 56 | 93 |     |
| ค่าเบี่ยงเบน   | 0 | -8 | 19 | 44 |     |
| ค่าปรับ        | 0 | 0  | 95 | 44 | 139 |

ผลจากการจัดลำดับงานคือ **3-2-4-1**

# COVERT

15

| Job Number | Processing Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                     | 49              | 1             |
| 2          | 27                     | 36              | 5             |
| 3          | 1                      | 1               | 1             |
| 4          | 28                     | 37              | 5             |

## Iteration 1: $TT = 93$ , $RT = 93$ และ $ST = 0$

งานทุกงานเป็นงานที่ยังไม่ได้จัดในลำดับงาน ดังนั้นทำการคำนวณค่า PR และ CF ของงานที่ยังไม่ได้ถูกจัดลำดับงาน

งาน 1:  $49 > (0 + 37)$  ดังนั้น  $PR_1 = (93 - 49)/(93 - 37) = 0.786$

$CF_1 = 0.786 \times 1/37 = 0.0212$

งาน 2:  $36 > (0 + 27)$  ดังนั้น  $PR_2 = (93 - 36)/(93 - 27) = 0.864$ ,  $CF_2 = 0.864 \times 5/27 = 0.16$

งาน 3:  $1 = (0 + 1)$  ดังนั้น  $PR_3 = 1$ ,  $CF_3 = 1 \times 1/1 = 1$

งาน 4:  $37 > (0 + 28)$  ดังนั้น  $PR_4 = (93 - 37)/(93 - 28) = 0.862$ ,  $CF_4 = 0.862 \times 5/28 = 0.154$

เนื่องจากงาน 3 มีค่า CF ที่มากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกงาน 3 เป็นงานแรกในการจัดลำดับงาน

Iteration 2:  $TT = 93$ ,  $RT = (93 - \text{เวลาปฏิบัติงานของงาน 3}) = 93 - 1 = 92$ ,  $ST = 1$

ดังนั้นเหลืองาน 1, 2 และ 4 ยังไม่ได้ถูกจัดเข้าลำดับงาน คำนวณค่า PR และ CF ดังนี้

งาน 1:  $49 > (1 + 37)$  ดังนั้น  $PR_1 = (93 - 49)/(92 - 37) = 0.800$ ,  $CF_1 = 0.800 \times 1/37 = 0.022$

งาน 2:  $36 > (1 + 27)$  ดังนั้น  $PR_2 = (93 - 36)/(92 - 27) = 0.877$ ,  $CF_2 = 0.877 \times 5/27 = \mathbf{0.162}$

งาน 4:  $37 > (1 + 28)$  ดังนั้น  $PR_4 = (93 - 37)/(92 - 28) = 0.875$ ,  $CF_4 = 0.875 \times 5/28 = 0.156$

ดังนั้นงาน 2 มีค่า CF มากที่สุด เลือกงาน 2 ในการจัดลำดับงานถัดไป



Iteration 3:  $TT = 93$ ,  $RT = (92 - 27) = 65$ ,  $ST = 1 + 27 = 28$

ดังนั้นเหลืองาน 1 และ 4 ยังไม่ได้ถูกจัดเข้าลำดับงาน คำนวณค่า PR และ CF ดังนี้

งาน 1:  $49 < (28 + 37)$  ดังนั้น  $PR_1 = 1$ ,  $CF_1 = 1 \times 1/37 = 0.027$

งาน 4:  $37 < (28 + 28)$  ดังนั้น  $PR_4 = 1$ ,  $CF_4 = 1 \times 5/28 = 0.178$

ดังนั้นงาน 4 มีค่า CF มากที่สุด เลือกงาน 4 ในการจัดลำดับงานถัดไป

ดังนั้นโดยสรุปลำดับงานมีการจัดลำดับดังนี้ 3-2-4-1 ซึ่งผลจากการจัดลำดับงานจะเหมือนกับการจัดโดยวิธี EDD และมีค่าปรับเนื่องจากส่งไม่ทันกำหนดเท่ากับ 139

# SPT Rule

18

| Job Number | Processing<br>Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|---------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                        | 49              | 1             |
| 2          | 27                        | 36              | 5             |
| 3          | 1                         | 1               | 1             |
| 4          | 28                        | 37              | 5             |

เป็นการจัดลำดับโดยเรียงลำดับงานจากน้อยไปหามากของเวลาปฏิบัติงานจะ  
ได้ว่า 3-2-4-1 ซึ่งผลของการจัดลำดับงานจะเหมือนกับวิธี EDD และ  
COVERT

# LPUL

19

| Job Number | Processing Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                     | 49              | 1             |
| 2          | 27                     | 36              | 5             |
| 3          | 1                      | 1               | 1             |
| 4          | 28                     | 37              | 5             |

ทำการคำนวณหาค่า  $U_i$  ดังนี้

งาน 1:  $U_1 = 1/37 = 0.027$

งาน 2:  $U_2 = 5/27 = 0.185$

งาน 3:  $U_3 = 1/1 = 1.0$

งาน 4:  $U_4 = 5/28 = 0.178$

ดังนั้นในการจัดลำดับงานจะเรียงตามค่าอัตราส่วน  $U_i$  โดยเรียงจากค่ามากไปหาน้อย ซึ่งจะได้ผลการจัดลำดับงานดังนี้ **3-2-4-1** ซึ่งเหมือนกันกับวิธีอื่นๆที่กล่าวมาข้างต้น

# SPT and LPUL Rule

20

| Job Number | Processing<br>Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|---------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                        | 49              | 1             |
| 2          | 27                        | 36              | 5             |
| 3          | 1                         | 1               | 1             |
| 4          | 28                        | 37              | 5             |

- เนื่องจากว่าไม่มีค่าใดในการจัดลำดับด้วยวิธี SPT ที่เท่ากันดังนั้นจึงไม่ได้  
นำเอาวิธี LPUL มาใช้ในการจัดลำดับงาน

# SWPT

21

| Job Number | Processing Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                     | 49              | 1             |
| 2          | 27                     | 36              | 5             |
| 3          | 1                      | 1               | 1             |
| 4          | 28                     | 37              | 5             |

คำนวณหาค่า  $S_i$  ของงานแต่ละงานจะได้ว่า  $S_1 = 37/1 = 37$ ,  $S_2 = 27/5 = 5.4$ ,  $S_3 = 1/1 = 1$  และ  $S_4 = 28/5 = 5.6$  ดังนั้นเมื่อทำการเรียงลำดับของ  $S_i$  จากค่าน้อยไปหามากสามารถเรียงลำดับงานได้ดังนี้ **3-2-4-1**

# Largest WT and LPUL

22

| Job Number | Processing Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                     | 49              | 1             |
| 2          | 27                     | 36              | 5             |
| 3          | 1                      | 1               | 1             |
| 4          | 28                     | 37              | 5             |

- จากข้อมูลในตารางจะพบว่างาน 2 และ 4 มีน้ำหนักที่เท่ากันคือ 5 ดังนั้นเมื่อคำนวณหา  $U_2 = 5/27 = 0.185$  และ  $U_4 = 5/28 = 0.178$  จะได้ว่าค่า  $U_2$  มีค่ามากกว่าค่า  $U_4$  ดังนั้นในการจัดลำดับงานจะได้ว่างาน 2 จะถูกจัดลำดับเป็นงานแรก และตามด้วยงาน 4 นอกจากนั้นงาน 1 และงาน 3 มีน้ำหนักที่เท่ากันคือเท่ากับ 1 ซึ่งจะได้ว่า  $U_1 = 0.027$  และ  $U_3 = 1$  ดังนั้นงาน 3 จะถูกวางในลำดับที่ 3 และงาน 1 จะเป็นงานในลำดับสุดท้าย ซึ่งโดยสรุปลำดับงานจะเป็นดังนี้ **2-4-3-1**

| ลำดับงาน       | 2  | 4  | 3  | 1  |     |
|----------------|----|----|----|----|-----|
| เวลาปฏิบัติงาน | 27 | 28 | 1  | 37 |     |
| วันกำหนดส่ง    | 36 | 37 | 1  | 49 |     |
| วันกำหนดเสร็จ  | 27 | 55 | 56 | 93 |     |
| ค่าเบี่ยงเบน   | -9 | 18 | 55 | 44 |     |
| ค่าปรับ        | 0  | 72 | 55 | 44 | 171 |

# Critical Ratio Rule

24

$$CR = (D_i - T)/P_i$$

เริ่มต้นด้วย Iteration 1,  $T = 0$  คือ งานทุกงานยังไม่ได้ถูกจัดลำดับงาน

$$CR_1 = (49 - 0)/37 = 1.324$$

$$CR_2 = (36 - 0)/27 = 1.333$$

$$CR_3 = (1 - 0)/1 = 1.0$$

$$CR_4 = (37 - 0)/28 = 1.321$$

โดยค่าที่มีอัตราส่วน CR ต่ำที่สุดคืองาน 3 ดังนั้นงาน 3 เป็นงานแรกของการจัดลำดับงาน



Iteration 2:  $T = 1$

$$CR_1 = (49 - 1)/37 = 1.297$$

$$CR_2 = (36 - 1)/27 = 1.296$$

$$CR_4 = (37 - 1)/28 = 1.285$$

งาน 4 มีค่าอัตราส่วน CR น้อยที่สุด และงาน 2 มีค่า CR น้อยเป็นลำดับที่ 2  
ดังนั้นการจัดลำดับในขั้นตอนนี้เท่ากับ 3-4

Iteration 3:  $T = 1 + 28 = 29$

$$CR_1 = (49 - 29)/37 = 0.540$$

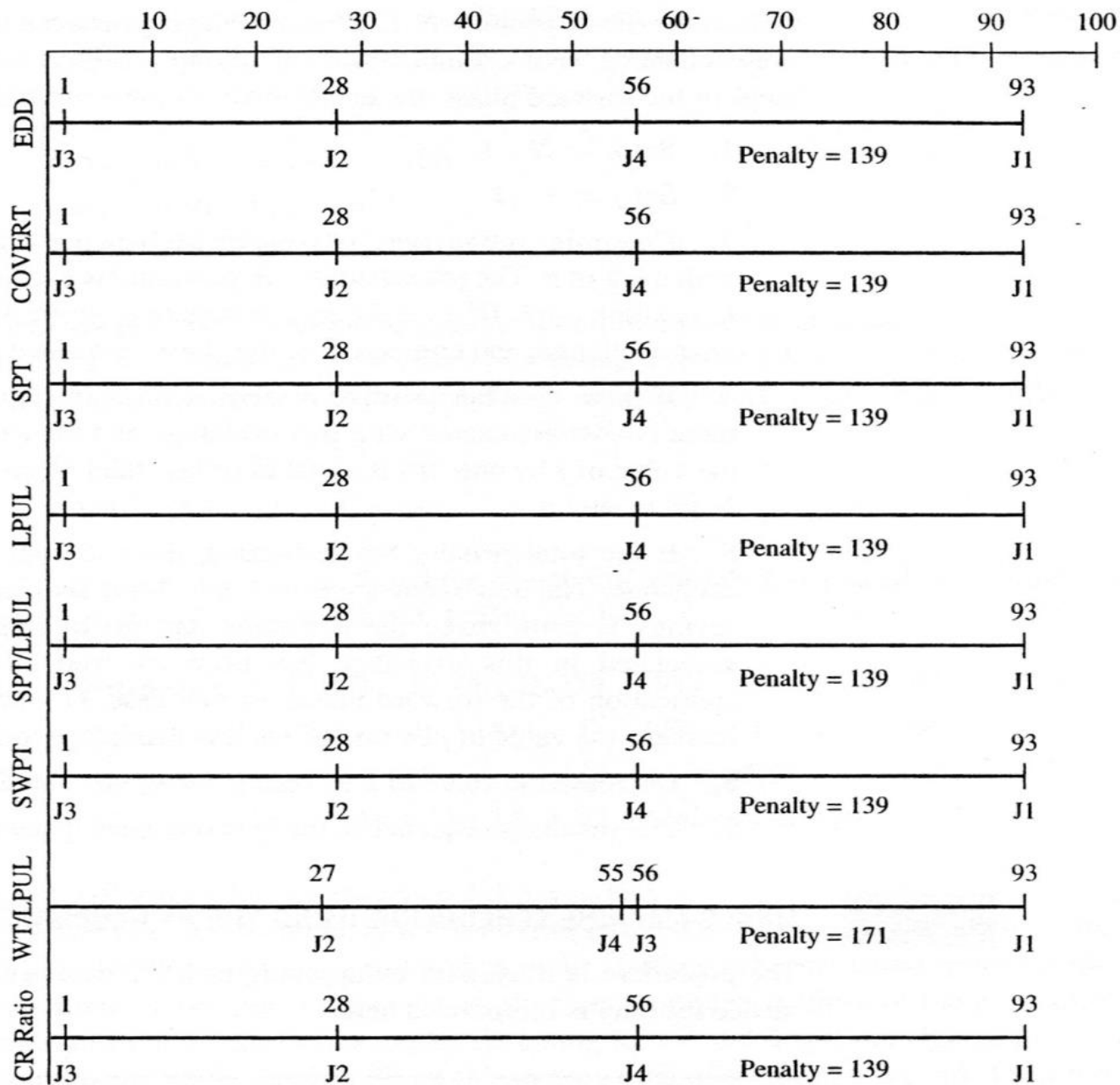
$$CR_2 = (36 - 29)/27 = 0.259$$

งาน 2 ก็จะถูกจัดให้อยู่ในลำดับที่ 3 และงาน 1 จะถูกจัดลำดับงานให้อยู่ในลำดับสุดท้าย ดังนั้นผลการจัดลำดับงานจะได้ว่า **3-4-2-1**

| ลำดับงาน       | 3 | 4  | 2   | 1  |            |
|----------------|---|----|-----|----|------------|
| เวลาปฏิบัติงาน | 1 | 28 | 27  | 37 |            |
| วันกำหนดส่ง    | 1 | 37 | 36  | 49 |            |
| วันกำหนดเสร็จ  | 1 | 29 | 56  | 93 |            |
| ค่าเบี่ยงเบน   | 0 | -8 | 20  | 44 |            |
| ค่าปรับ        | 0 | 0  | 100 | 44 | <b>144</b> |

# สรุป

27



## 6.5 วิธีการแก้ปัญหาโดย Backward-Forward (BF) Heuristic

28

จากวิธีทั้ง 8 กฎเกณฑ์ที่อธิบายในหัวข้อข้างต้นเป็นวิธีที่ไม่ยาก และผลลัพธ์ที่ได้อาจจะไม่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด เนื่องจากว่าบางกฎเกณฑ์ไม่ได้ใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในการลำดับงาน เช่น จากกฎเกณฑ์ SPT จะพิจารณาเฉพาะเวลาปฏิบัติงาน (Processing time) และ EDD ก็พิจารณาเฉพาะวันกำหนดส่ง (Due date) เท่านั้น

ดังนั้น ในวิธีการฮิวริสติกส์ที่ถูกประยุกต์เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ก็คือใช้วิธีขั้นตอนย้อนกลับ (Backward) ในขั้นตอนแรกเพื่อใช้ในการจัดลำดับงานเริ่มต้น จากนั้นก็ใช้วิธีขั้นตอนไปข้างหน้า (Forward) เพื่อใช้ในการปรับปรุงการจัดลำดับงาน

# ขั้นตอนย้อนกลับ (Backward phase)

29

- ในขั้นตอนย้อนกลับเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจัดลำดับงานขั้นต้น โดยที่ในการมอบหมายงานจะเริ่มต้นจากตำแหน่งหลังสุดก่อน และดำเนินการย้อนกลับไปยังตำแหน่งแรกสุด ซึ่งการมอบหมายงานจะเสร็จสิ้นก็ต่อเมื่องานที่อยู่ในตำแหน่งแรกถูกจัดเข้าลำดับงานแล้ว (กำหนดให้จำนวนงาน  $n$  งาน ณ ที่นี้จะกำหนดให้เท่ากับ  $N$ ) ในขั้นตอนการทำขั้นตอนย้อนกลับมีขั้นตอนดังนี้
- 1) ตำแหน่งในลำดับงานที่จะถูกมอบหมายในลำดับงานถัดไปจะเริ่มต้นจากตำแหน่ง  $N$  และย้อนกลับไปยังตำแหน่งที่ 1 ดังนั้นค่าเริ่มต้นของตำแหน่งลำดับจะเริ่มจากตำแหน่ง  $N$
- 2) คำนวณค่า  $T$  ซึ่งก็คือผลรวมของเวลาปฏิบัติงานที่ยังไม่ได้ถูกจัดเข้าสู่ลำดับงาน
- 3) คำนวณค่าปรับ (Penalty) สำหรับงาน  $i$  แต่ละงานที่ยังไม่ได้ถูกจัดเข้าสู่ลำดับงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $(T - D_i)L_i$  ถ้าหากว่า  $D_i > T$  ค่าปรับจะมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากการพิจารณาในขั้นตอนนี้จะพิจารณาเฉพาะค่าปรับเนื่องจากส่งงานไม่ทันกำหนดเท่านั้น
- 4) งานถัดไปที่จะถูกจัดเข้าสู่ลำดับงานในตำแหน่งที่กำหนดไว้ก็คืองานที่มีค่าปรับน้อยที่สุด แต่ถ้ามีกรณีที่มีค่าปรับเท่ากับจะเลือกงานที่มีเวลาปฏิบัติงานที่มากที่สุดก่อน
- 5) ลดหมายเลขตำแหน่งลง 1 ตำแหน่ง
- จากนั้นก็ดำเนินการซ้ำจากขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 จนกระทั่งงานทุกงานเข้าสู่ลำดับงาน

# ขั้นตอนไปข้างหน้า (Forward Phase)

30

- หลังจากที่ทำ การจัดลำดับงานได้จากขั้นตอนย้อนหลัง (Backward phase) แล้ว ซึ่งจะถือว่าลำดับงานที่จัดได้ในขั้นตอนย้อนกลับเป็นลำดับงานที่ดีที่สุด (Best sequence) ในขั้นตอนต่อไปก็คือขั้นตอนไปข้างหน้า (Forward phase) ซึ่งจะเริ่มจากงานที่อยู่ในตำแหน่งที่ 1 จนกระทั่งไปถึงตำแหน่งที่  $N$  ในขั้นตอนนี้จะกำหนดค่า  $k$  ก็คือค่าล้าหลัง (Lag) ระหว่างงาน 2 งานในลำดับงานที่จะทำการสับเปลี่ยน (Exchange) ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการสับเปลี่ยนงานระหว่างตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 3 จะได้ค่าล้าหลัง ( $k$ ) เท่ากับ 2 ขั้นตอนไปข้างหน้าซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้
- 1) กำหนดให้  $k = N - 1$
- 2) กำหนดให้  $j = k + 1$
- 3) หาค่าที่ประหยัด (Saving) หรือต้นทุน (Cost) ได้จากการสับเปลี่ยนลำดับงาน 2 งานในลำดับงานที่ดีที่สุด โดยงานที่ถูกจัดลำดับในตำแหน่ง  $j$  ที่ถูกสับเปลี่ยนกับงานที่ถูกจัดลำดับในตำแหน่ง  $j - k$  (ถ้าค่า  $j - k$  มีค่าเท่ากับ 0 หรือมีค่าติดลบ ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 6 จากนั้นทำการคำนวณหาค่าปรับหลังจากการสับเปลี่ยนงาน และทำการเปรียบเทียบกับค่าปรับที่ได้จากการจัดลำดับงานที่ดีที่สุด (Best sequence)

- 4) ถ้าค่า  $j - k$  ที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 มีค่าเป็นบวก หรือเท่ากับ 0 ให้ไปทำในขั้นตอนที่ 5 ไม่เช่นนั้นแล้วต้นทุนที่ได้จากความสัมพันธ์ของการสับเปลี่ยนงาน และการสับเปลี่ยนนั้นจะถูกปฏิเสธ ต่อจากนั้นทำการเพิ่มค่า  $j$  ถ้าหากว่าค่า  $j$  มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ  $N$  ให้ไปทำขั้นตอนที่ 3 แต่ถ้าหากค่า  $j$  มีค่ามากกว่า  $N$  ให้ไปทำขั้นตอนที่ 6
- 5) ถ้าผลรวมของค่าปรับมีค่าลดลงแสดงว่าการสับเปลี่ยนงานนั้นสามารถยอมรับได้ (Accept) ซึ่งลำดับงานใหม่ที่ได้ก็จะกลายมาเป็นลำดับงานที่ดีที่สุด จากนั้นกลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ถ้าหากว่าค่าที่ประหยัคมีค่าเท่ากับ 0 ก็ทำการสับเปลี่ยนงาน และกลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ในกรณีที่ไม่มีกรสับเปลี่ยนงานก็ให้ทำการเพิ่มค่า  $j$  ถ้าค่า  $j$  น้อยกว่า  $N$  ให้ไปทำในขั้นตอนที่ 3 แต่ถ้า  $j = N$  ไปยังขั้นตอนที่ 6
- 6) ลดค่า  $k$  ลง 1 ค่า ถ้าค่า  $k > 0$  กลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าค่า  $k = 0$  ให้ไปทำในขั้นตอนที่ 7
- 7) ผลของการจัดลำดับงานก็คือการจัดลำดับงานที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธีการนี้

## ตัวอย่างที่ 6-2 Single-machine scheduling using the BF heuristic algorithm

32

| Job Number | Processing Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Weight, $L_i$ |
|------------|------------------------|-----------------|---------------|
| 1          | 37                     | 49              | 1             |
| 2          | 27                     | 36              | 5             |
| 3          | 1                      | 1               | 1             |
| 4          | 28                     | 37              | 5             |

เริ่มต้นขั้นตอนด้วยขั้นตอนย้อนกลับ (Backward phase)

เนื่องจากว่างานทุกงานยังไม่ได้ถูกจัดเข้าสู่ลำดับงานในขณะนี้ ดังนั้นผลรวมเวลาปฏิบัติงานของงานทุกงานที่ยังไม่ได้ถูกจัดเข้าสู่ลำดับงานซึ่งมีค่าเท่ากับ  $T = 37 + 27 + 1 + 28 = 93$  จากนั้นคำนวณค่าปรับของงานแต่ละงานโดยที่กำหนดว่างานแต่ละงานจะเสร็จสิ้นเมื่อเวลา  $T = 93$

$$\text{งานที่ 1: } (93 - 49) \times 1 = 44$$

$$\text{งานที่ 2: } (93 - 36) \times 5 = 285$$

$$\text{งานที่ 3: } (93 - 1) \times 1 = 92$$

$$\text{งานที่ 4: } (93 - 37) \times 5 = 280$$

งาน 1 มีค่าปรับที่น้อยที่สุด ดังนั้นงาน 1 จะถูกจัดลำดับในตำแหน่งสุดท้ายคือตำแหน่งที่ 4



□ เนื่องจากว่างาน 1 ได้ถูกจัดเข้าสู่ลำดับงานแล้ว ดังนั้นค่า T มีค่าเท่ากับ  $93 - 37 = 56$  ดังนั้นค่าปรับใหม่สำหรับงานที่เหลืออยู่มีค่าเท่ากับ

□ งานที่ 2:  $(56 - 36) \times 5 = 100$                       งานที่ 3:  $(56 - 1) \times 1 = 55$

□ งานที่ 4:  $(56 - 37) \times 5 = 95$

**งานที่มีค่าปรับน้อยที่สุดคืองาน 3 และงาน 3 ถูกจัดในตำแหน่งที่ 3**

□ จากนั้นค่า T ของการจัดลำดับงานถัดไปเท่ากับ  $56 - 1 = 55$  โดยที่ค่าปรับของงาน 2 และงาน 4 มีค่าเท่ากับ

□ งานที่ 2:  $(55 - 36) \times 5 = 95$                       งานที่ 4:  $(55 - 37) \times 5 = 90$

- ดังนั้นงาน 4 จะถูกมอบหมายให้อยู่ในตำแหน่งที่ 2 และงาน 2 อยู่ในตำแหน่งที่ 1 และผลจากการจัดลำดับงานคือ **2-4-3-1** จะได้ว่า

| ลำดับงาน       | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>3</b> | <b>1</b>   |
|----------------|----------|----------|----------|------------|
| เวลาปฏิบัติงาน | 27       | 28       | 1        | 37         |
| วันกำหนดส่ง    | 36       | 37       | 1        | 49         |
| วันกำหนดเสร็จ  | 27       | 55       | 56       | 93         |
| ค่าเบี่ยงเบน   | -9       | 18       | 55       | 44         |
| ค่าปรับ        | 0        | 90       | 55       | <b>189</b> |

## ขั้นตอนถัดไปก็จะทำขั้นตอนไปข้างหน้า (Forward phase)

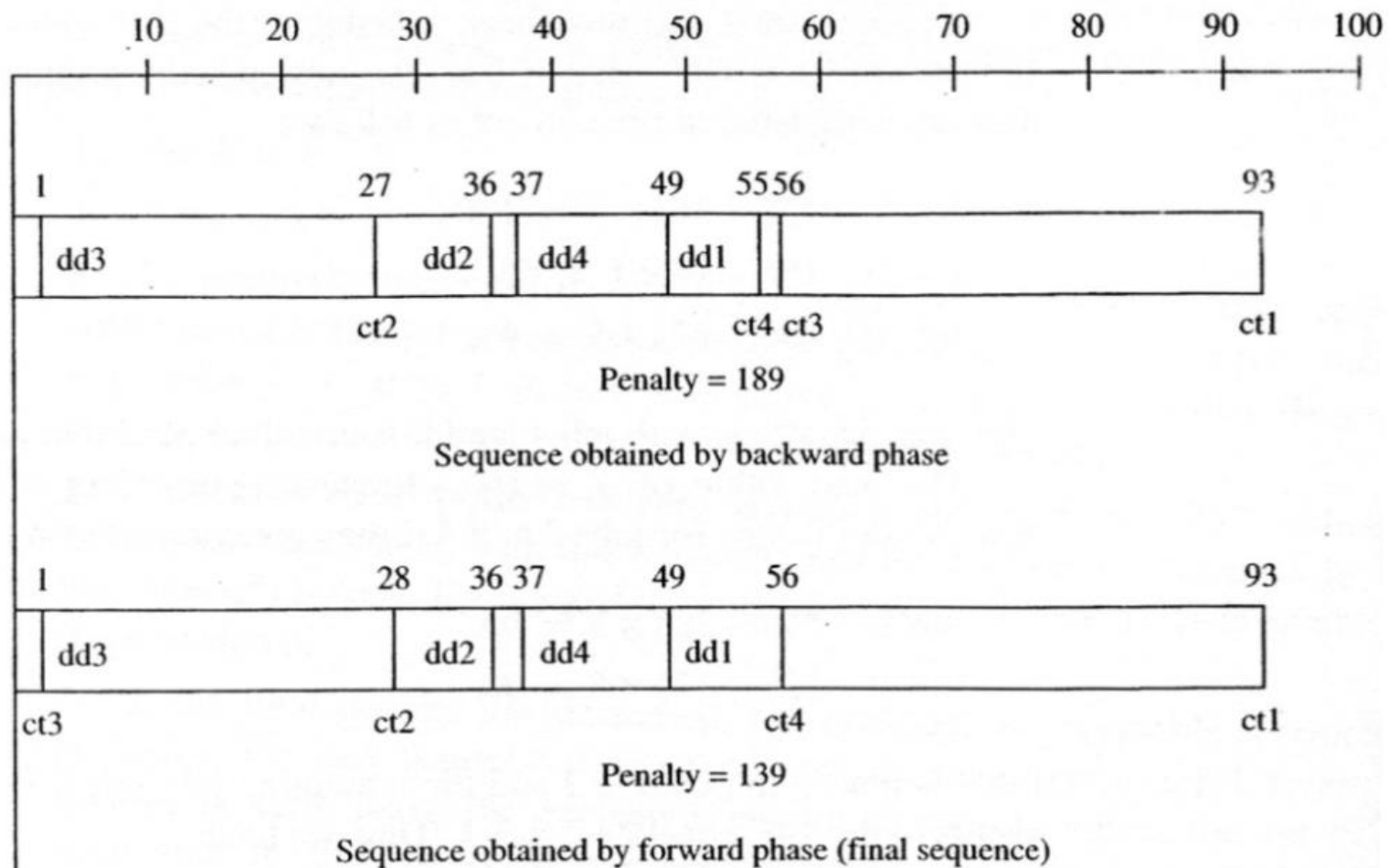
35

- ในขั้นตอนนี้จะมีการสับเปลี่ยนงานในตำแหน่ง  $j$  และ  $j + k$  โดยที่จะไม่มีการเปลี่ยนค่าเวลาเริ่มต้น และเวลาที่เสร็จสิ้นของการจัดลำดับงานก่อนงานในตำแหน่ง  $j$  หรือเปลี่ยนค่าเวลาเริ่มต้น (Starting time) และเวลายำหนดเสร็จ (Completion time) ของการจัดลำดับงานหลังงานในตำแหน่ง  $j + k$  ตัวอย่างเช่น มีการสับเปลี่ยนงานระหว่างงาน 4 และงาน 3 ดังนั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเวลายำหนดเสร็จของงาน 2 ซึ่งก็คือ 27 หรือเวลาเริ่มต้นของงาน 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 56 เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการคำนวณเฉพาะค่าปรับที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงที่สัมพันธ์กับเวลายำหนดเสร็จของงานที่ถูกสับเปลี่ยน เพื่อที่จะได้ทำการวัดผลรวมของค่าปรับที่เปลี่ยนแปลงของลำดับงานทั้งหมดหลังจากการสับเปลี่ยนงาน

- กำหนดให้  $k = N - 1$  ผลก็คือ  $k = 3$  มีการสลับค่า (Switching) โดยที่มีค่าล่าหลัง (Lag) เท่ากับ 3 (เช่น งาน 2 และงาน 1) ผลจากการจัดลำดับคือ **1-4-3-2** ทำให้มีค่าปรับเท่ากับ **490** ดังนั้นค่าปรับที่ได้จากการสลับค่ามีค่าสูงกว่าลำดับงานเริ่มต้นที่ได้จากขั้นตอนย้อนกลับ ผลก็คือจะไม่มี การสับเปลี่ยนค่า และลำดับงานที่ดีที่สุดยังคงเป็น **2-4-3-1**
- เนื่องจากไม่มีงานใดที่สามารถสลับค่าได้ด้วยค่า  $k$  เท่ากับ 3 จึงทำการลดค่า  $k$  ให้มีค่าเท่ากับ 2
- เมื่อ  $k = 2$  ทำการสับเปลี่ยนงาน 2 และงาน 3 ผลจากการสับเปลี่ยนงานจะได้ลำดับงานคือ **3-4-2-1** โดยมีค่าปรับรวมเท่ากับ 144 เนื่องจากว่าค่าปรับมีค่าน้อยกว่าค่าปรับที่ได้จากลำดับงานเริ่มต้นคือ 2-4-3-1 ดังนั้นลำดับงานที่ดีที่สุดจะเป็น **3-4-2-1**

- ทำการวิเคราะห์ต่อเนื่องโดยเริ่มต้นจากงานแรกสุดในการจัดลำดับงานที่ดีที่สุด และกำหนดให้ค่า  $k$  กลับไปมีค่าเท่ากับ 3 จากนั้นทำการสลับงาน 3 และงาน 1 ผลก็คือ **1-4-2-3** และค่าปรับเท่ากับ **512** ซึ่งการสลับงานนี้ถูกยกเลิก และลำดับงานที่ดีที่สุดยังคงเป็น **3-4-2-1**
- กำหนดให้ค่า  $k = 2$  จากนั้นทำการสลับงาน 3 และงาน 2 จะได้ลำดับงานเป็น **2-4-3-1** และค่าปรับเท่ากับ 189 ซึ่งการสลับงานนี้ถูกยกเลิก จากนั้นทำการสลับงาน 4 และงาน 1 ผลก็คือ **3-1-2-4** (415) ซึ่งมีค่าปรับมากกว่า 144 ก็ถูกยกเลิกเช่นกัน เนื่องจากว่าไม่สามารถสลับงานอื่นๆได้อีกที่  $k = 2$  ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่า  $k$  มีค่าเท่ากับ 1 และผลลัพธ์ที่ได้จาก  $k = 2$  นี้ ลำดับงานที่ดีที่สุดยังคงเป็น **3-4-2-1**

- เมื่อค่า  $k = 1$  ทำการสลับงาน 3 และ 4 จะได้ว่า **4-3-2-1** ซึ่งจะได้ค่าปรับเท่ากับ 172 และสำหรับการสลับงานถัดไปซึ่งก็คือ **3-2-4-1** ซึ่งมีค่าปรับเท่ากับ 139 ดังนั้นจะได้ว่าลำดับงานใหม่ที่ดีที่สุดคือ **3-2-4-1**
- จากขั้นตอนในการสับเปลี่ยนงานทั้งหมดจะได้ว่าลำดับงาน **3-2-4-1** เป็นลำดับงานที่มีลำดับที่ดีที่สุด



ภาพที่ 6-4 ขั้นตอนย้อนกลับ (BF Heuristic) (หมายเหตุ: ct = Completion time, dd = Due date)

## 6.6 การจัดลำดับงานบนเครื่องจักรเครื่องเดียวโดยมีค่าปรับส่งก่อน และส่งหลังกำหนด (A Single-Machine Problem with Early and Late Penalties)

40

วิธีการนี้เป็นการเพิ่มแนวทางในการแก้ปัญหาของการจัดลำดับงาน โดยที่เพิ่มเงื่อนไขในกรณีที่วันกำหนดเสร็จของงาน (Completion time) ได้เสร็จก่อนวันกำหนดส่ง (Due date) ซึ่งกำหนดให้  $E_i$  คือค่าปรับต่อหน่วยเวลาอันเนื่องมาจากวันกำหนดเสร็จของงานแต่ละงานเร็วกว่าวันกำหนดส่ง และค่าใช้จ่ายในการที่งานเสร็จก่อน (Earliest cost) และเสร็จหลังวันกำหนดส่ง (Tardiness cost) กับหน่วยของเวลามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง นั่นก็คือ ค่าปรับจากการที่งานเสร็จก่อนกำหนดเท่ากับ  $E_i \times t$  และค่าปรับจากการที่ส่งไม่ทันกำหนดเท่ากับ  $L_i \times t$

โดยทั่วไปแล้วค่าใช้จ่ายจากการที่งานเสร็จก่อนก็คือ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาสินค้าคงคลัง (Holding cost) ของสินค้าสำเร็จรูป และค่าใช้จ่ายจากการที่ส่งสินค้าไม่ทันกำหนด ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการที่ส่งของล่าช้า (Backlog cost) เป็นต้น



ในขั้นตอนการจัดลำดับงานโดยวิธีนี้ก็จะทำการปรับปรุงจากในหัวข้อ 6.5 แต่ในขั้นตอนที่ 3 ของขั้นตอนย้อนกลับ จะมีการคำนวณทั้งค่าปรับทั้ง 2 ชนิด และงานที่จะถูกเลือกในขั้นตอนที่ 4 ก็ยังคงเป็นผลรวมของค่าปรับที่มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นในขั้นตอนที่ 3 ในการคำนวณค่าปรับของงาน  $i$  ที่ยังไม่ได้ถูกจัดลำดับงานคือ  $(T - D_i) \times L_i$  ถ้า  $T > D_i$  หรือ  $(D_i - T) \times E_i$  ถ้า  $T < D_i$

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการจัดลำดับในกรณีนี้ก็คือทำให้ค่าปรับโดยรวมมีค่าน้อยที่สุด

## ตัวอย่างที่ 6-3 ค่าปรับต่อหน่วยเวลาอันเนื่องมาจากวันกำหนดเสร็จของงานแต่ละงานเร็วกว่าวันกำหนดส่ง

42

ตารางที่ 6-2 (เพิ่มเติม) ข้อมูลค่าปรับส่งก่อน และหลังกำหนด (Early and Late Penalties)

| Job Number | Processing Time, $P_i$ | Due Date, $D_i$ | Early Penalty, $E_i$ | Late Penalty, $L_i$ |
|------------|------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| 1          | 1                      | 3               | 2                    | 3                   |
| 2          | 49                     | 176             | 0                    | 9                   |
| 3          | 10                     | 35              | 3                    | 5                   |
| 4          | 27                     | 97              | 2                    | 3                   |

□ เริ่มต้นด้วยขั้นตอนย้อนกลับ (Backward phase) เนื่องจากว่างานทุกงานยังไม่ได้ถูกจัดลำดับงาน ดังนั้นผลรวมของเวลาปฏิบัติงานที่ยังไม่ได้ถูกจัดลำดับงาน เท่ากับผลรวมของเวลาปฏิบัติงานของงานทั้งหมด นั่นก็คือ  $T = 1 + 49 + 10 + 27 = 87$  และคำนวณค่าปรับสำหรับงานแต่ละงานถ้ากำหนดงานเสร็จของงานทุกงานเท่ากับ  $T = 87$

□ งานที่ 1:  $(87 - 3) \times 3 = 252$

งานที่ 2:  $(176 - 87) \times 0 = 0$

□ งานที่ 3:  $(87 - 35) \times 5 = 260$

งานที่ 4:  $(97 - 87) \times 2 = 20$

- เนื่องจากงาน 2 มีค่าปรับน้อยที่สุด จึงกำหนดให้งาน 2 อยู่ในตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 4 จากนั้น  $T = 87 - 49 = 38$  จะได้ว่า
- งานที่ 1:  $(38 - 3) \times 3 = 105$                       งานที่ 3:  $(38 - 35) \times 5 = 15$
- งานที่ 4:  $(97 - 38) \times 2 = 118$
- และงาน 3 มีค่าปรับน้อยที่สุด ดังนั้นจึงกำหนดในตำแหน่งที่ 3 ในขั้นตอนถัดไป จะได้ว่า  $T = 38 - 10 = 28$  และค่าปรับของงาน 1 และงาน 4 เท่ากับ
- งานที่ 1:  $(28 - 3) \times 3 = 75$                       งานที่ 4:  $(97 - 28) \times 2 = 138$
- ดังนั้นงาน 1 จะถูกกำหนดในตำแหน่งที่ 2 และงาน 4 ในตำแหน่งที่ 1 ผลลัพธ์ของการจัดลำดับงานโดยขั้นตอนย้อนกลับคือ **4-1-3-2** และมีค่าปรับเท่ากับ **230**

- สำหรับในขั้นตอนไปข้างหน้า (Forward phase) ก็จะมีการสับเปลี่ยนตำแหน่งในตำแหน่ง  $j$  และ  $j + k$  ตามตัวอย่างที่ 3 เริ่มต้นที่  $k = N - 1$  ผลลัพธ์ก็คือ 3 จากนั้นก็มีสลับตำแหน่งของงาน 4 และงาน 2 ผลก็คือได้ลำดับงาน **2-1-3-4** และมีค่าปรับเท่ากับ 286 เนื่องจากว่ามีค่าปรับมากกว่าค่าปรับที่ได้จากการจัดลำดับของขั้นตอนย้อนกลับ ดังนั้นจึงไม่มีการสับเปลี่ยนตำแหน่ง และลำดับงานที่ดีที่สุดยังคงเป็น **4-1-3-2**

- เนื่องจากไม่มีการสับเปลี่ยนงานในกรณี  $k = 3$  จึงลดค่า  $k = 2$  จากนั้นมีการสลับงานระหว่างงาน 4 และงาน 3 จะได้ว่า **3-1-4-2** และค่าปรับเท่ากับ 217 เนื่องจากค่าปรับใหม่ที่ได้จากการจัดลำดับใหม่มีค่าน้อยกว่าในการจัดลำดับเริ่มต้น ดังนั้นลำดับงานที่ดีที่สุดคือ **3-1-4-2**
- จากนั้นทำการกำหนดค่า  $k$  โดยกำหนดให้  $k = 3$  และทำการสลับตำแหน่งงาน 3 และงาน 2 จะได้ลำดับงานคือ **2-1-4-3** และมีค่าปรับเท่ากับ 441 ซึ่งการสับเปลี่ยนงานนี้ถูกยกเลิก จากนั้นกำหนดให้ค่า  $k = 2$  และทำการสลับงาน 4 และงาน 3 จะได้ **4-1-3-2** ซึ่งมีค่าปรับมากกว่า 217 ลำดับงานถัดไปคือ **3-2-4-1** มีค่าปรับเท่ากับ 349 ก็ยังคงมีค่าปรับมากกว่า 217 จากกรณี  $k = 2$  ไม่มีการสับเปลี่ยนงานได้อีก
- ทำการลดค่า  $k = 1$  และลำดับงานที่ดีที่สุดยังคงเป็น **3-1-4-2** จากนั้นทำการสลับงาน 3 และงาน 1 จะได้ **1-3-4-2** ซึ่งมีค่าปรับเท่ากับ 172 ซึ่งกลายมาเป็นลำดับงานใหม่ที่ดีที่สุด และทำการกำหนดค่า  $k$  ใหม่ โดยกำหนดให้มีค่า  $k = 3$  หลังจากที่ได้มีการสลับงาน และจัดลำดับงานใหม่ตามขั้นตอนแล้ว ผลลัพธ์ของการจัดลำดับที่เหมาะสมที่สุดคือ **1-3-2-4** ซึ่งมีค่าปรับต่ำที่สุดคือ 96

## 6.7 วัตถุประสงค์อื่นๆในการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรเครื่องเดียว (Other objectives in a single-machine scheduling)

47

- วันกำหนดส่งร่วม (Common Due Date)
- เป็นการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรเครื่องเดียว โดยที่งานทุกงานจะต้องถูกส่งให้กับลูกค้าในช่วงเวลาเดียวกัน (Same time) ซึ่งเรียกการจัดลำดับงานแบบนี้ว่า **ปัญหาของวันกำหนดส่งร่วมกัน (Common due date problem)** ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อลูกค้ามีการสั่งซื้อสินค้ามากกว่า 1 ชนิด และสินค้าแต่ละชนิดก็ต้องถูกผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว

ขั้นตอนที่ 1: กำหนดให้  $T$  คือวันกำหนดส่งของงานทุกงานร่วมกัน (Common due date) ดังนั้นค่าเริ่มต้นของ  $T$  คือผลรวมของเวลาปฏิบัติงานของงานทุกงาน ถ้าวันกำหนดส่งของงานมีค่ามากกว่า  $T$  แสดงว่าจะต้องมีค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานที่มีวันกำหนดเสร็จเร็วกว่าวันกำหนดส่ง จากนั้นหาลำดับงานที่ดีที่สุดโดยสัมพันธ์กับค่าปรับโดยใช้  $T$  เท่ากับวันกำหนดส่ง

ขั้นตอนที่ 2: ลดค่าวันกำหนดส่งร่วมกัน 1 หน่วยเวลา จากนั้นก็ทำตามขั้นตอนในหัวข้อ 6.6 A Single-Machine Problem with Early and Late Penalties เพื่อให้ได้คำตอบของการจัดลำดับงานที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 3: เปรียบเทียบค่าปรับที่ได้จาก 2 คำตอบ ถ้าค่าปรับที่ได้จากคำตอบหลังมีค่าน้อยกว่าค่าปรับที่ได้จากคำตอบแรก ก็ดำเนินการย้อนกลับในขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าไม่ใช่ให้ทำในขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4: วันกำหนดส่งที่เหมาะสมที่ได้จากคำตอบก็จะทำให้มีค่าปรับน้อยที่สุด



## ตัวอย่างที่ 6-4 วันกำหนดส่งร่วม (Common Due Date)

49

| Job Number | Processing Time,<br>$P_i$ | Due Date, $D_i$ | Early<br>Penalty, $E_i$ | Late<br>Penalty, $L_i$ |
|------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|
| 1          | 1                         | common          | 2                       | 3                      |
| 2          | 49                        | common          | 0                       | 9                      |
| 3          | 10                        | common          | 3                       | 5                      |
| 4          | 27                        | common          | 2                       | 3                      |

- กำหนดให้ T เท่ากับผลรวมของเวลาปฏิบัติงาน (Processing time) คือ 87 ดังนั้นใช้ค่า 87 เป็นวันกำหนดส่งของงานทุกงาน และดำเนินขั้นตอนตามหัวข้อ 6.6 จะได้ว่าลำดับงานที่ดีที่สุดคือ **2-4-3-1** ซึ่งมีค่าปรับเท่ากับ 25 จากนั้นทำการลดค่าวันกำหนดส่งลง 1 วัน แล้วดำเนินขั้นตอนซ้ำเดิม จะได้ผลดังนี้

| วันกำหนดส่ง<br>รวม | ลำดับงานที่เหมาะสมที่สุด | ค่าปรับ |
|--------------------|--------------------------|---------|
| 87                 | 2-4-3-1                  | 25      |
| 86                 | 2-4-3-1                  | 23      |
| 85                 | 2-4-3-1                  | 29      |

- เนื่องจากว่าค่าปรับมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากที่วันกำหนดส่งร่วมกันมีค่า 85 วัน จากนั้นจึงหยุดกระบวนการ จะได้ว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของวันกำหนดส่งเท่ากับ 86 วัน โดยมีค่าปรับรวมทั้งสิ้น 23 และค่าปรับที่ดีที่สุด (Best penalties) ของวันกำหนดส่งอื่นๆแสดงดังตารางข้างล่างนี้

| วันกำหนดส่ง | ลำดับงานที่เหมาะสมที่สุด | ค่าปรับ |
|-------------|--------------------------|---------|
| 60          | 2-3-1-4                  | 84      |
| 78          | 2-4-1-3                  | 51      |
| 88          | 2-4-3-1                  | 32      |

## วันกำหนดส่งร่วมกันที่กำหนดโดยลูกค้า (Common Due Date Specified by a Customer)

52

ในกรณีที่วันกำหนดส่งร่วมกันมีการกำหนดโดยลูกค้า จะหมายความว่างานทุกงานจะต้องถูกส่งตามกำหนดวันที่แน่นอน ถ้าหากว่างานทั้งหมดไม่สามารถผลิตได้ทันตามกำหนด ลูกค้าอาจจะยังคงยอมรับงานนั้นจนกว่าจะทำการผลิตจนเสร็จทุกงาน แต่จะมีค่าปรับอันเนื่องมาจากส่งของไม่ทันกำหนดที่กำหนดไว้ ซึ่งค่าปรับของงานนั้นอาจจะมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสำคัญของงาน หรือบางครั้งก็ขึ้นอยู่กับความลำดับความสำคัญของลูกค้า

ทั้งค่าปรับในส่วนค่าปรับที่เสร็จก่อนกำหนด หรือหลังกำหนดจะต้องถูกกำหนดให้กับงานแต่ละงาน ซึ่งค่าปรับจากการที่ส่งไม่ทันกำหนดมักจะถูกกำหนดโดยลูกค้า แต่สำหรับค่าปรับจากการที่เสร็จก่อนกำหนดอาจจะมีผลมาจากค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษาของคงคลังจนกว่าจะมีการจัดส่งให้กับลูกค้า

## วันก่อนหน้า และหลังวันกำหนดส่ง (Early and Late Due Date)

53

- ในปัญหาดังกล่าวนี้อาจจะมีการใช้วิธี BF Heuristic ในการแก้ปัญหา เมื่องานได้ถูกจัดลำดับแล้วก็จะมีการหาค่าวันกำหนดเสร็จของงาน,  $C_i$  ถ้า  $C_i$  มีค่าน้อยกว่าวันก่อนหน้าวันกำหนดส่ง (ถ้าวันกำหนดเสร็จของงานใดอยู่ในช่วงเวลาของวันกำหนดส่งจะแสดงด้วยตัวอักษร W) หรือมีค่ามากกว่าวันหลังกำหนดส่ง
- สำหรับในการหาค่าปรับจะสามารถทำได้ตามขั้นตอนที่ 3 จากวิธี BF Heuristic ดังนี้
  - 1. ถ้า  $C_i < DE_i$  ค่าปรับมีค่าเท่ากับ  $(DE_i - C_i) \times E_i$
  - 2. ถ้า  $DE_i < C_i < DL_i$  (ถ้า  $C_i = W$ ) ค่าปรับจะมีค่าเท่ากับ 0
  - 3. ถ้า  $C_i > DL_i$  ค่าปรับเท่ากับ  $(C_i - DL_i) \times L_i$
- สำหรับการเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนย้อนกลับ (Backward phase) **ถ้างานใดที่มีค่าปรับที่เท่ากันในการจะกำหนดงานลงในลำดับงาน จะทำการเลือกงานโดยใช้เวลาปฏิบัติงานที่มากที่สุดเข้าสู่ลำดับก่อน** และในขั้นตอนอื่นๆนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงในหลักการ

## ตัวอย่างที่ 6-5 Early and Late Due Date

54

ตารางที่ 6-4 ข้อมูลของวันกำหนดส่งก่อน และหลัง

| งาน | $P_i$ | $DE_i$ | $DL_i$ | $E_i$ | $L_i$ |
|-----|-------|--------|--------|-------|-------|
| 1   | 10    | 20     | 25     | 2     | 3     |
| 2   | 15    | 25     | 33     | 1     | 4     |
| 3   | 5     | 30     | 35     | 1     | 3     |
| 4   | 20    | 40     | 50     | 3     | 5     |

- ใช้วิธีขั้นตอนย้อนกลับ (Backward phase) เริ่มต้นกำหนดให้  $T = 10 + 15 + 5 + 20 = 50$  ซึ่ง ณ ที่นี้  $T$  ก็คือความเป็นไปได้ที่งานสามารถทำได้เสร็จได้,  $C_i$  จากนั้นหางานที่ที่จะถูกกำหนดในตำแหน่งที่ 4 ได้โดยคำนวณจากค่าปรับ
- งานที่ 1:  $L (50 - 25) \times 3 = 75$                       งานที่ 2:  $L (50 - 33) \times 4 = 68$
- งานที่ 3:  $L (50 - 35) \times 3 = 45$                       งานที่ 4:  $W = 0$
- ค่าต่ำที่สุดของค่าปรับคืองาน 4 ดังนั้นงาน 4 จะถูกกำหนดในตำแหน่งที่ 4 ของลำดับงาน ดังนั้นปรับค่า  $T$  ใหม่จะได้  $T = 50 - 20 = 30$  และคำนวณค่าปรับใหม่
- งานที่ 1:  $L (30 - 25) \times 3 = 15$                       งานที่ 2:  $W = 0$
- งานที่ 3:  $W = 0$

- เนื่องจากงาน 2 และงาน 3 มีค่าปรับที่เท่ากัน ดังนั้นงานที่มีเวลาปฏิบัติงานมากที่สุดจะถูกกำหนดให้เข้าสู่ลำดับงานก่อน ดังนั้นงาน 2 จะถูกกำหนดในตำแหน่งที่ 3 และลำดับงานจะเป็นดังนี้ -, -, 2, 4 จากนั้นค่า T จะมีค่าเท่ากับ  $30 - 15 = 15$  จะได้ว่าค่าปรับสำหรับงาน 1 และงาน 3 เป็นดังนี้
- งานที่ 1:  $E (20 - 15) \times 2 = 10$                       งานที่ 3:  $E (30 - 15) \times 1 = 15$
- งาน 1 มีค่าปรับที่ต่ำที่สุด ดังนั้นงาน 1 ถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ 2 และงาน 3 ถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ 1 ดังนั้นจะได้ลำดับงานเป็น **3-1-2-4**



| ลำดับงาน       | 3   | 1  | 2  | 4  |    |
|----------------|-----|----|----|----|----|
| เวลาปฏิบัติงาน | 5   | 10 | 15 | 20 |    |
| วันกำหนดส่ง    | 30  | 20 | W  | W  |    |
| วันกำหนดเสร็จ  | 5   | 15 | 30 | 50 |    |
| ค่าเบี่ยงเบน   | -25 | -5 | -  | -  |    |
| ค่าปรับ        | 25  | 10 | -  | -  | 35 |

- จากนั้นใช้วิธีขั้นตอนไปข้างหน้า (Forward phase)
- รอบที่ 1: วนซ้ำที่ 1 จากลำดับที่ดีที่สุด **3-1-2-4** และ  $k = 3$  สลับงาน 3 และงาน 4 ลำดับงานจะเป็น **4-1-2-3** จะได้ว่า

|                  |          |          |          |           |
|------------------|----------|----------|----------|-----------|
| □ ลำดับงาน       | <b>4</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b>  |
| □ เวลาปฏิบัติงาน | 20       | 10       | 15       | 5         |
| □ วันกำหนดส่ง    | 40       | 25       | 33       | 35        |
| □ วันกำหนดเสร็จ  | 20       | 30       | 45       | 50        |
| □ ค่าเพียงเบน    | -20      | 5        | 12       | 15        |
| □ ค่าปรับ        | 60       | 15       | 48       | <b>45</b> |

$$168 > 35$$

ไม่เปลี่ยนแปลง

□ รอบที่ 1: วนซ้ำที่ 2 จากลำดับที่ดีที่สุด **3-1-2-4** และ  $k = 2$  สลับงาน 3 และงาน 2 ลำดับงานจะเป็น **2-1-3-4** จะได้ว่า

|                  |     |    |    |    |
|------------------|-----|----|----|----|
| □ ลำดับงาน       | 2   | 1  | 3  | 4  |
| □ เวลาปฏิบัติงาน | 15  | 10 | 5  | 20 |
| □ วันกำหนดส่ง    | 25  | W  | W  | W  |
| □ วันกำหนดเสร็จ  | 15  | 25 | 30 | 50 |
| □ ค่าเบี่ยงเบน   | -10 | -  | -  | -  |
| □ ค่าปรับ        | 10  | -  | -  | -  |

$10 < 35$   
เปลี่ยนแปลง

□ ดังนั้นลำดับงานที่ดีที่สุดคือ **2-1-3-4**

□ รอบที่ 2: วนซ้ำที่ 1 จากลำดับที่ดีที่สุด **2-1-3-4** และ  $k = 3$  สลับงาน 2 และงาน 4 ลำดับงานจะเป็น **4-1-3-2** จะได้ว่า

|                  |            |          |          |          |
|------------------|------------|----------|----------|----------|
| □ ลำดับงาน       | <b>4</b>   | <b>1</b> | <b>3</b> | <b>2</b> |
| □ เวลาปฏิบัติงาน | 20         | 10       | 5        | 15       |
| □ วันกำหนดส่ง    | <b>40</b>  | 25       | W        | 33       |
| □ วันกำหนดเสร็จ  | 20         | 30       | 35       | 50       |
| □ ค่าเบี่ยงเบน   | <b>-20</b> | 5        | -        | 17       |
| □ ค่าปรับ        | <b>60</b>  | 15       | -        | 68       |

$$\mathbf{143} > 10$$

ไม่เปลี่ยนแปลง

- รอบที่ 2: วนซ้ำที่ 2 จากลำดับที่ดีที่สุด **2-1-3-4** และ  $k = 2$  สลับงาน 2 และงาน 3 ลำดับงานจะเป็น **3-1-2-4** จะได้ว่าค่าปรับเท่ากับ 35 และไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- รอบที่ 2: วนซ้ำที่ 3 จากลำดับที่ดีที่สุด **2-1-3-4** และ  $k = 2$  สลับงาน 1 และงาน 4 ลำดับงานจะเป็น **2-4-3-1** จะได้ว่า

|                  |          |          |          |           |
|------------------|----------|----------|----------|-----------|
| □ ลำดับงาน       | <b>2</b> | <b>4</b> | <b>3</b> | <b>1</b>  |
| □ เวลาปฏิบัติงาน | 15       | 20       | 5        | 10        |
| □ วันกำหนดส่ง    | 25       | 40       | 35       | <b>25</b> |
| □ วันกำหนดเสร็จ  | 15       | 35       | 40       | 50        |
| □ ค่าเบี่ยงเบน   | -10      | -5       | 5        | 25        |
| □ ค่าปรับ        | 10       | 15       | 15       | 75        |

$$115 > 10$$

ไม่เปลี่ยนแปลง

□ รอบที่ 2: วนซ้ำที่ 4 จากลำดับที่ดีที่สุด **2-1-3-4** และ  $k = 1$  สลับงาน 2 และงาน 1 ลำดับงานจะเป็น **1-2-3-4** จะได้ว่า

|                  |     |    |    |    |
|------------------|-----|----|----|----|
| □ ลำดับงาน       | 1   | 2  | 3  | 4  |
| □ เวลาปฏิบัติงาน | 10  | 15 | 5  | 20 |
| □ วันกำหนดส่ง    | 20  | W  | W  | W  |
| □ วันกำหนดเสร็จ  | 10  | 25 | 30 | 50 |
| □ ค่าเบี่ยงเบน   | -10 | -  | -  | -  |
| □ ค่าปรับ        | 20  | -  | -  | -  |

$$20 > 10$$

ไม่เปลี่ยนแปลง

□ รอบที่ 2: วนซ้ำที่ 5 จากลำดับที่ดีที่สุด **2-1-3-4** และ  $k = 1$  สลับงาน 1 และงาน 3 ลำดับงานจะเป็น **2-3-1-4** จะได้ว่า

|                  |          |          |          |          |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| □ ลำดับงาน       | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>1</b> | <b>4</b> |
| □ เวลาปฏิบัติงาน | 15       | 5        | 10       | 20       |
| □ วันกำหนดส่ง    | 25       | 30       | 25       | W        |
| □ วันกำหนดเสร็จ  | 15       | 20       | 30       | 50       |
| □ ค่าเบี่ยงเบน   | -10      | -10      | 5        | -        |
| □ ค่าปรับ        | 10       | 10       | 15       | -        |

$$35 > 10$$

ไม่เปลี่ยนแปลง

- รอบที่ 2: วนซ้ำที่ 6 จากลำดับที่ดีที่สุด **2-1-3-4** และ  $k = 1$  สลับงาน 3 และงาน 4 ลำดับงานจะเป็น **2-1-4-3** จะได้ว่า

|                  |     |    |    |    |
|------------------|-----|----|----|----|
| □ ลำดับงาน       | 2   | 1  | 4  | 3  |
| □ เวลาปฏิบัติงาน | 15  | 10 | 20 | 5  |
| □ วันกำหนดส่ง    | 25  | W  | W  | 35 |
| □ วันกำหนดเสร็จ  | 15  | 25 | 45 | 50 |
| □ ค่าเบี่ยงเบน   | -10 | -  | -  | 15 |
| □ ค่าปรับ        | 10  | -  | -  | 45 |

$$55 > 10$$

ไม่เปลี่ยนแปลง

- จากการสลับงานต่างๆข้างต้นจะได้ว่าลำดับงานที่ดีที่สุดคือ **2-1-3-4** ซึ่งมีค่าปรับเท่ากับ **10** หน่วย



# ค่าเฉลี่ยของการล่าช้ามีค่าน้อยที่สุด

## (Minimization of the Average Delay)

65

- การที่จะทำให้ค่าเฉลี่ยของการล่าช้ามีค่าน้อยที่สุด (Minimization of the average delay) โดยที่งานแต่ละงานที่พิจารณามีความสำคัญที่เท่ากันและแต่ละงานก็มีการกำหนดวันกำหนดส่งให้ นอกจากนั้นงานทุกงานก็สามารถส่งได้ภายในวันกำหนดส่ง อย่างไรก็ตาม **ถ้าหากว่ามีบางงานที่ส่งไม่ทันกำหนดก็ต้องทำการแก้ปัญหาเพื่อให้ค่าเฉลี่ยของงานที่ล่าช้ามีค่าน้อยที่สุด**
- **BF Heuristic** โดยกำหนดให้ทุกงานมีค่าความสำคัญที่เท่ากัน และมีน้ำหนักความสำคัญที่เท่ากันด้วย และจากที่วิธี BF Heuristic เป็นวิธีที่นำไปสู่ค่าปรับโดยรวมน้อยที่สุด ก็จะปรับเปลี่ยนไปเป็นผลรวมของเวลาที่ล่าช้ามีค่าน้อยที่สุด และจากที่จำนวนงานมีจำนวนที่คงที่ ดังนั้นก็สามารถเทียบเคียงไปเป็นค่าเฉลี่ยของความล่าช้ามีค่าน้อยที่สุดได้

## ค่าสูงสุดที่ส่งไม่ทันกำหนดมีค่าน้อยที่สุด (Minimization of the Maximum Delay)

66

- จากวัตถุประสงค์ในการให้ค่าสูงสุดที่ส่งไม่ทันกำหนดมีค่าน้อยที่สุดสามารถทำได้โดยใช้ **กฎเกณฑ์ EDD (Earliest Due Date)** ในการจัดลำดับงานซึ่งจะนำไปสู่วัตถุประสงค์ที่ต้องการได้

# จำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนดมีค่าน้อยที่สุด (Minimizing the Number of Jobs Delayed)

67

- วัตถุประสงค์ของการจัดลำดับงานก็คือ ทำให้จำนวนงานที่สามารถส่งได้ทันตามวันกำหนดส่งให้มีจำนวนมากที่สุด
- 1. จัดลำดับงานโดยเรียงลำดับจากวันกำหนดส่งจากค่าน้อยไปหามาก (EDD) กำหนดให้  $T$  คือ เวลากำหนดเสร็จของงานทุกงานของกลุ่มงานที่ถูกเลือก (Select set) ในการเริ่มต้นถ้ายังไม่มีงานใดๆ อยู่กลุ่มงานที่ถูกเลือก ดังนั้นค่า  $T$  จึงมีค่าเท่ากับ 0
- 2. ถ้างานทุกงานได้รับการตรวจสอบแล้ว ให้ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 6 ถ้างานทุกงานยังไม่ได้ทำการตรวจสอบให้ทำการเลือกงานอันดับแรกสุดจากขั้นตอนที่ 1 ซึ่งก็คืองาน  $i$  จากนั้นเพิ่มค่าเวลาปฏิบัติงานของงาน  $i$  ด้วยเวลาปัจจุบัน (Current value),  $T$  ในที่นี้ค่าที่ได้หลังจากเพิ่มค่าเวลาปฏิบัติงานของงาน  $i$  แล้วจะกำหนดให้เป็น  $T_{temp}$  ซึ่งหมายถึงเวลากำหนดเสร็จของงาน  $i$  จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่า  $T_{temp}$  กับค่าวันกำหนดส่ง ถ้าค่า  $T_{temp}$  มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับวันกำหนดส่งของงาน  $i$  ให้ไปทำในขั้นตอนที่ 3 ถ้าหากว่าค่า  $T_{temp}$  ค่ามากกว่าวันกำหนดส่งให้ทำในขั้นตอนที่ 4

- 3. เพิ่มงาน  $i$  เข้าในกลุ่มงานที่ถูกเลือก จากนั้นกำหนดให้  $T$  มีค่าเท่ากับ  $T_{temp}$  แล้วทำในขั้นตอนที่ 2
- 4. ทำการเลือกงานที่มีค่าเวลาปฏิบัติงานมากที่สุดกลุ่มงานที่ถูกเลือก ซึ่งจะเรียกว่างาน  $j$  และทำการเปรียบเทียบเวลาปฏิบัติงานด้วยงาน  $i$  ถ้าหากว่าเวลาปฏิบัติงานของงาน  $i$  มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเวลาปฏิบัติงานของงาน  $j$  แล้ว จะได้ว่างาน  $i$  จะยังไม่ถูกเลือกเข้าลำดับงาน และให้กลับไปขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าหากว่าเวลาปฏิบัติงานของงาน  $i$  มีค่าน้อยกว่างาน  $j$  ให้ไปทำในขั้นตอนที่ 5
- 5. จากกลุ่มงานที่ถูกเลือก ให้ทำการเลือกงานที่มีเวลาปฏิบัติงานมากที่สุดออกจากกลุ่มงานที่ถูกเลือกซึ่งจะถูกแทนที่ด้วยงานที่กำลังถูกพิจารณา และถ้าสามารถเสร็จงานตามวันกำหนดส่ง ให้ทำการเปลี่ยนค่า  $T$  ด้วยค่า  $T_{temp}$  และนำไปลบออกด้วยค่าความแตกต่างระหว่างเวลาปฏิบัติงานของงาน  $j$  และงาน  $i$  จากนั้นไปทำในขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้างาน  $i$  ไม่สามารถเสร็จได้ทันวันกำหนดส่งได้งาน  $i$  จะไม่ถูกเลือกเข้าลำดับงาน และค่า  $T$  ก็ยังคงมีค่าเท่าเดิม จากนั้นกลับไปขั้นตอนที่ 2
- 6. เมื่องานทุกงานได้รับการตรวจสอบแล้ว ในกลุ่มงานที่ถูกเลือกจะได้จำนวนงานที่มากที่สุดที่สามารถแล้วเสร็จภายในวันกำหนดส่งที่กำหนด

## ตัวอย่างที่ 6-6 จำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนดน้อยที่สุด (Minimizing the Number of Jobs Delayed)

69

ตารางที่ 6-5 ข้อมูลเวลาปฏิบัติงาน และวันกำหนดส่ง

| งาน            | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
|----------------|----|----|----|----|----|
| เวลาปฏิบัติงาน | 10 | 15 | 8  | 12 | 22 |
| วันกำหนดส่ง    | 15 | 25 | 27 | 32 | 40 |

# จำนวนงานเสร็จมากที่สุดตามจำนวนเวลาที่มี มีค่าน้อยกว่าผลรวมของ เวลาปฏิบัติงาน

70

- ถ้าหากว่ามีกลุ่มงานที่ไม่สามารถทำได้ทันตามเวลาที่มีอยู่ได้ ซึ่งหมายถึงผลรวมของเวลาปฏิบัติงานของทุกงานมีค่ามากกว่าเวลาที่มีอยู่ ดังนั้นจะต้องทำการกำหนดน้ำหนักของงานแต่ละงานซึ่งเป็นการกำหนดจากปัจจัยที่มีต่อลูกค้า หรืองานที่ทำเสร็จก่อนหรือหลังวันกำหนดส่งที่สัมพันธ์กับค่าปรับ ดังนั้นจะต้องทำการเลือกว่างานใดที่ควรที่จะเลือกทำจนเสร็จสิ้น หรืองานใดควรจะถูกยกเลิก โดยมีขั้นตอนในการพิจารณาดังนี้
- 1. สำหรับงานแต่ละงาน ทำการคำนวณหาค่าอัตราส่วน  $M_i = L_i/P_i$  สำหรับค่าปรับอันเนื่องมาจากส่งของไม่ทันกำหนด,  $L_i$  จะถูกกำหนดให้เป็นความสำคัญของงานแต่ละงาน กล่าวคือถ้างานใดมีค่าปรับที่สูงแสดงว่างานนั้นมีความสำคัญมาก ดังนั้นอัตราส่วน  $M_i$  ที่ได้จะแสดงถึงความสำคัญของงานต่อหน่วยเวลา

- 2. พิจารณาถึงผลรวมของเวลาปฏิบัติงานที่ต้องการ ณ เวลาปัจจุบันว่ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาที่มีอยู่ ถ้าหากเป็นจริง ไปทำขั้นตอนที่ 3 แต่ถ้าไม่เป็นจริงให้ทำการตัดงานที่มีค่า  $M_i$  ที่มีค่าน้อยที่สุดออก แต่ถ้าค่า  $M_i$  มีค่าเท่ากัน ก็อาจจะใช้กฎเกณฑ์ดังต่อไปนี้ในการพิจารณาต่อไป
  - ให้ทำการเลือกงานที่มีเวลาปฏิบัติงานมากที่สุดมาพิจารณาก่อน จากนั้นคำนวณค่าเวลาปัจจุบันที่ต้องการ – เวลาปฏิบัติงานของงาน ถ้าหากว่าผลจากคำนวณที่ได้มีค่ามากกว่าผลรวมของเวลาที่มีอยู่ให้ทำการตัดงานที่มีเวลาปฏิบัติงานมากที่สุดออก แต่ถ้าผลจากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าผลรวมของเวลาที่มีอยู่ให้ทำในขั้นตอนที่ 2.2
  - ถ้าหากว่าค่าเวลาปัจจุบันที่ต้องการ – เวลาปฏิบัติงานของงานใดๆที่พิจารณา แล้วทำให้มีค่าใกล้เคียงกับผลรวมของเวลาที่มีอยู่ ให้ทำการตัดงานนั้นก่อน
- 3. จากนั้นให้ทำตามวิธีวันก่อนหน้า และหลังวันกำหนดส่ง (Early and Late Due Date) กับงานที่เหลืออยู่เพื่อที่จะให้ได้ลำดับงานที่ดีที่สุด

## ตัวอย่างที่ 6-7 จำนวนงานเสร็จมากที่สุด

72

ตารางที่ 6-6 จำนวนงานที่เสร็จมากที่สุด

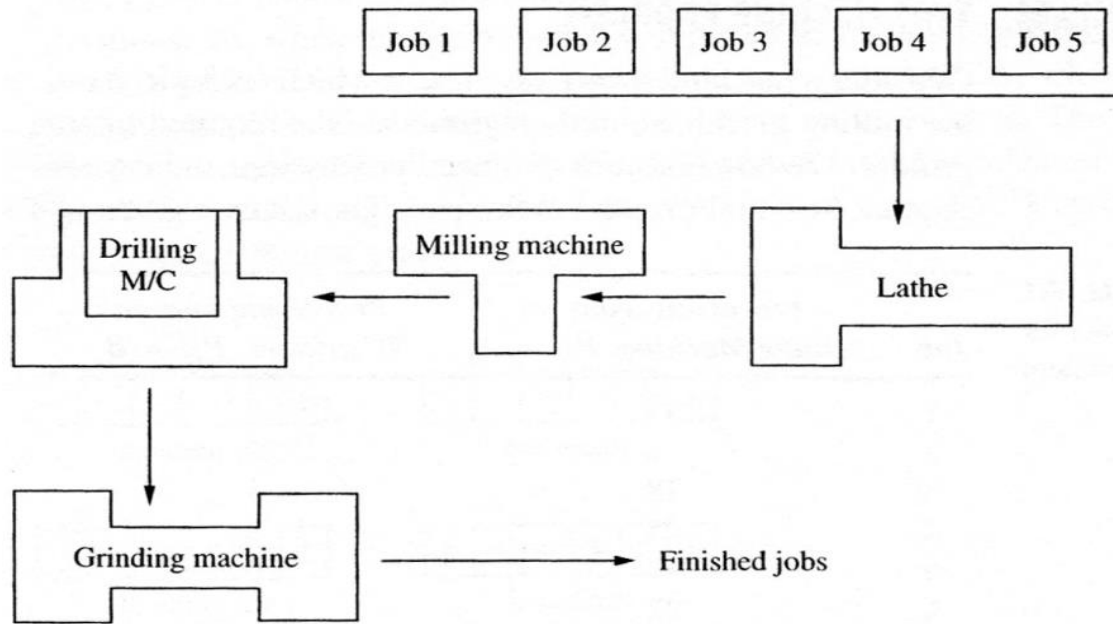
| Job | Processing Time | Early Due Date | Late Due Date | Early Penalty | Late Penalty | Mi   |
|-----|-----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|------|
| 1   | 10              | 15             | 17            | 1             | 2            | 0.20 |
| 2   | 13              | 20             | 24            | 1             | 1            | 0.08 |
| 3   | 5               | 25             | 27            | 2             | 3            | 0.60 |
| 4   | 8               | 10             | 11            | 2             | 5            | 0.62 |
| 5   | 7               | 15             | 16            | 2             | 6            | 0.85 |
| 6   | 3               | 17             | 19            | 1             | 2            | 0.66 |
| 7   | 5               | 13             | 17            | 0             | 1            | 0.20 |
| 8   | 16              | 30             | 32            | 1             | 3.2          | 0.20 |
| 9   | 12              | 50             | 51            | 2             | 5            | 0.41 |

ดังนั้นในขั้นตอนที่ 3 จะได้ว่าลำดับงานที่ดีที่สุดจากงานที่เหลืออยู่คือ 4-5-6-7-3-1-9



## 6.8 ปัญหาของการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flowshop Problem)

73



ภาพที่ 6-5 การจัดลำดับงานของการผลิตแบบต่อเนื่อง

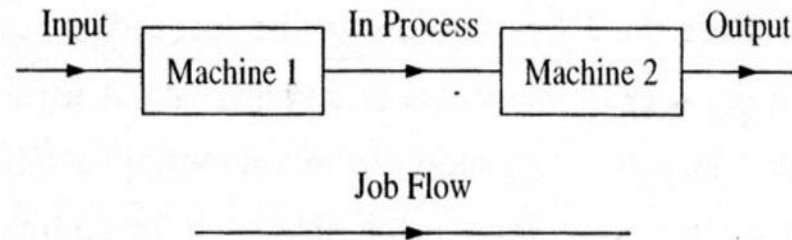
ในการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow shop) จะมีเครื่องจักรหรือหน่วยผลิต  $m$  เครื่องที่ใช้ในการผลิต และงานทุกงานจะต้องผ่านเครื่องจักรทุกเครื่อง ในลักษณะที่มีลำดับในการผ่านเครื่องจักรที่เหมือนกัน สำหรับเวลาเวลาปฏิบัติงานของงานแต่ละงานบนแต่ละเครื่องจักรอาจจะมีค่าแตกต่างกัน

วัตถุประสงค์โดยทั่วไปของการจัดลำดับงานก็คือ จะทำให้ช่วงกว้างของเวลาทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด (Minimizing makespan)

# ปัญหาของการจัดลำดับงานบนเครื่องจักร 2 เครื่อง

## (The Two-Machine Problem)

74



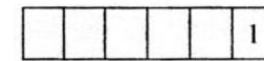
- ในการแก้ปัญหาของการจัดลำดับงานบนเครื่องจักร 2 เครื่องสามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้กฎเกณฑ์จอห์นสัน (Johnson's Rule) โดยที่เริ่มต้นกำหนดให้  $A_i = P_{i1}$  และ  $B_i = P_{i2}$  โดยขั้นตอนมีดังนี้คือ
- 1. สำหรับงานที่ถูกเรียงลำดับแล้ว ให้ทำการหาเวลาปฏิบัติงานที่น้อยที่สุดของแถว  $A_i$  และ  $B_i$
- 2. ถ้าเวลาปฏิบัติงานที่น้อยที่สุดอยู่ในแถว  $A_i$ ให้นำเอางานนั้นออกไปเป็นงานแรกของลำดับงาน แต่ถ้าอยู่ในแถว  $B_i$ ให้นำงานนั้นออกไปอยู่ในลำดับสุดท้ายของลำดับงาน
- 3. จากนั้นก็ทำการเรียงลำดับงาน และตัดงานที่ถูกเลือกออกจาก  $A_i$  และ  $B_i$
- 4. ถ้างานทุกงานได้รับการจัดลำดับงานแล้ว ให้ทำในขั้นตอนที่ 5
- 5. งานที่ได้จากการจัดลำดับงานก็จะมีลำดับที่เหมาะสมที่สุด

## ตัวอย่างที่ 6-8 ปัญหาการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรจำนวน 2 เครื่อง

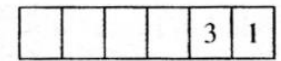
75

□ ตารางที่ 6-7 ข้อมูลสำหรับปัญหาการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรจำนวน 2 เครื่อง

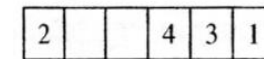
| งาน | เวลาปฏิบัติงานบน<br>เครื่องกัด, $P_{i1} = A_i$ | เวลาปฏิบัติงานบนเครื่อง<br>เจียรระไน, $P_{i2} = B_i$ |
|-----|------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1   | 15                                             | 3                                                    |
| 2   | 8                                              | 20                                                   |
| 3   | 18                                             | 5                                                    |
| 4   | 25                                             | 8                                                    |
| 5   | 17                                             | 20                                                   |
| 6   | 22                                             | 30                                                   |



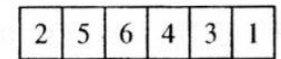
Iteration 1



Iteration 2



Iteration 3



Iteration 4  
Final Sequence

|       |     |        |       |        |       |        |       |        |       |        |        |        |     |
|-------|-----|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-----|
| $M_1$ | 0   | (2/8)  | 8     | (5/17) | 25    | (6/22) | 47    | (4/25) | 72    | (3/18) | 90     | (1/15) | 105 |
| $M_2$ | 0/8 | (2/20) | 28/25 | (5/20) | 48/47 | (6/30) | 78/72 | (4/8)  | 86/90 | (3/5)  | 95/105 | (1/3)  | 108 |

# ปัญหาของการจัดลำดับงานบนเครื่องจักร 3 เครื่อง

## (The Three-Machine Problem)

76

- เนื่องจากกฎของจอห์นสันไม่สามารถที่จะขยายไปสู่ปัญหาของการจัดลำดับงานบนเครื่องจักร  $n$  เครื่องได้ แต่สามารถที่จะขยายความสามารถไปสู่การจัดลำดับงานบนเครื่องจักร 3 เครื่องได้โดยที่เครื่องจักร 2 นั้นจะต้องไม่มีคอขวด (Bottleneck) เกิดขึ้น สำหรับเครื่องจักรที่ไม่เกิดคอขวดแสดงว่าจะไม่มีงานที่ล่าช้า นั่นก็คืองานที่ผ่านจากเครื่องจักร 1 ก็สามารถเข้าสู่เครื่องจักร 2 ได้ทันที ในกรณีนี้จะมีการกำหนดปัจจัย 2 ปัจจัยของงานแต่ละงานคือ  $A_i = P_{i1} + P_{i2}$  และ  $B_i = P_{i2} + P_{i3}$  จากนั้นก็จะกฎของจอห์นสันในการจัดลำดับงานต่อไป

## ตัวอย่างที่ 6-9 ปัญหาการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง

77

□ ตารางที่ 6-8 ข้อมูลสำหรับปัญหาการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง

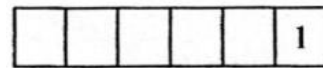
| งาน | เวลาปฏิบัติงานบน<br>เครื่องกัด | เวลาปฏิบัติงานบน<br>เครื่องเจียระไน | เวลาปฏิบัติงานบน<br>เครื่องขัด |
|-----|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 1   | 15                             | 2                                   | 1                              |
| 2   | 8                              | 6                                   | 14                             |
| 3   | 18                             | 2                                   | 3                              |
| 4   | 25                             | 5                                   | 5                              |
| 5   | 17                             | 10                                  | 10                             |
| 6   | 22                             | 10                                  | 20                             |

□ ตารางที่ 6-9 ปัจจัยของ  $A_i$  และ  $B_i$  ของตารางที่ 8

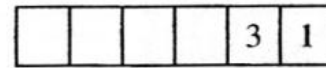
| งาน | $A_i = P_{i1} + P_{i2}$ | $B_i = P_{i2} + P_{i3}$ |
|-----|-------------------------|-------------------------|
| 1   | 17                      | 3                       |
| 2   | 14                      | 20                      |
| 3   | 20                      | 5                       |
| 4   | 30                      | 10                      |
| 5   | 27                      | 20                      |
| 6   | 32                      | 30                      |

□ การจัดลำดับงานโดยใช้กฎของจอห์นสัน จะได้ลำดับงานดังนี้ **2-6-5-4-3-1**

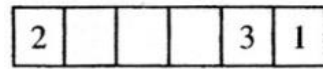
|       |      |        |       |        |       |        |       |        |       |        |        |        |     |
|-------|------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-----|
| $M_1$ | 0    | (2/8)  | 8     | (6/22) | 30    | (5/17) | 47    | (4/25) | 72    | (3/18) | 90     | (1/15) | 105 |
| $M_2$ | 0/8  | (2/6)  | 14/30 | (6/10) | 40/47 | (5/10) | 57/72 | (4/5)  | 77/90 | (3/2)  | 92/105 | (1/2)  | 107 |
| $M_3$ | 0/14 | (2/14) | 28/40 | (6/20) | 60/57 | (5/10) | 70/77 | (4/5)  | 82/92 | (3/3)  | 95/107 | (1/1)  | 108 |



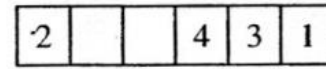
Iteration 1



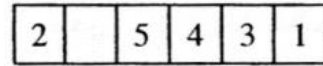
Iteration 2



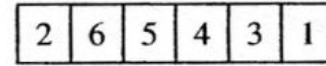
Iteration 3



Iteration 4



Iteration 5

Iteration 6  
Final Sequence

ภาพที่ 6-8 คำตอบของการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง

- ถ้าหากตัวเลขในลำดับแรกมีค่ามากกว่าในลำดับที่สอง แสดงว่างานนั้นจะต้องรอคอยเครื่องจักรในขั้นตอนถัดไป เนื่องจากเครื่องจักรยังคงค้างการทำงานของงานก่อนหน้านี้ อยู่ แต่ถ้าตัวเลขในลำดับแรกมีค่าน้อยกว่าในลำดับที่สองแสดงว่าเครื่องจักรจะต้องรอคอยงาน (เครื่องจักรว่างงาน) ดังนั้นจากกรณีดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้
- **เวลาว่างงานบนเครื่องจักร  $k = \sum (C_{i-1,k} - C_{i,k-1})$  for  $C_{i-1,k} - C_{i,k-1} < 0$**
- **เวลารอคอยรวมบนเครื่องจักร  $k = \sum (C_{i-1,k} - C_{i,k-1})$  for  $C_{i-1,k} - C_{i,k-1} \geq 0$**
- จากสมการข้างต้น แสดงว่าเครื่องจักร 2 มีเวลาว่างงานรวมทั้งสิ้น  $(30 - 14) + (47 - 40) + (72 - 57) + (90 - 77) + (105 - 92) = 64$  และเวลาที่งานต้องรอคอยเครื่องจักร 2 นั้นมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าไม่เกิดคอขวดบนเครื่องจักร 2 และกฎเกณฑ์ จอห์นสันที่นำมาใช้ได้ลำดับงานที่เหมาะสมที่สุด



□ ตารางที่ 6-10 ผลการคำนวณเวลาเริ่มต้น และเวลาเสร็จสิ้น

| ลำดับงาน | เครื่องจักร 1      |                   | เครื่องจักร 2      |                   | เครื่องจักร 3      |                   |
|----------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|          | เวลา<br>ปฏิบัติงาน | เวลาเสร็จ<br>สิ้น | เวลา<br>ปฏิบัติงาน | เวลาเสร็จ<br>สิ้น | เวลา<br>ปฏิบัติงาน | เวลาเสร็จ<br>สิ้น |
| 2        | 8                  | 8                 | 6                  | 14                | 14                 | 28                |
| 6        | 22                 | 30                | 10                 | 40                | 20                 | 60                |
| 5        | 17                 | 47                | 10                 | 57                | 10                 | 70                |
| 4        | 25                 | 72                | 5                  | 77                | 5                  | 82                |
| 3        | 18                 | 90                | 2                  | 92                | 3                  | 95                |
| 1        | 15                 | 105               | 2                  | 107               | 1                  | 108               |

## การขนถ่ายระหว่างเครื่องจักร 2 เครื่อง และเวลาในการขนถ่าย

### (Two-machine Flowshop with Travel Time between Machines)

82

- สมมติว่ามีหน่วยขนถ่ายในระบบ อาทิเช่น AGV (Automatic Guided Vehicle) ที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องจักร 1 และเครื่องจักร 2 โดยที่จะนำเอางานจากเครื่องที่ 1 ไปยังเครื่องที่ 2 และจากนั้นก็กลับไปยังเครื่องที่ 1 โดยที่กำหนดให้เวลาในการขนย้ายจากเครื่องที่ 1 ไปยังเครื่องที่ 2 คือ  $T_f$  (Forward) และเวลาในการขนย้ายจากเครื่องที่ 2 กลับมายังเครื่องที่ 1 คือ  $T_b$  (Backward) โดยที่เวลาที่นำงานเข้า (Load) และนำงานออก (Unload) จาก AGV ได้รวมอยู่ในเวลาในการขนย้ายแล้ว

- ดังนั้นในการที่จะได้ลำดับงานที่เหมาะสมที่สุดก็จะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย ดังสมการ
- 
- $A_i = \max([T_f + T_b], [S_{i1} - S_{i2} + P_{i1}])$
- $B_i = P_{i2} + R_{i2} - R_{i1}$

โดยที่  $S_{ik}$  = เวลาในการติดตั้งเครื่องจักรของงาน i บนเครื่องจักร k

$P_{ik}$  = เวลาปฏิบัติงานของงาน i บนเครื่องจักร k

$R_{ik}$  = เวลาในการขนย้ายงาน i บนเครื่องจักร k

ขั้นตอนที่ 1: ทำการใช้กฎเกณฑ์จอห์นสันสันโดยใช้ปัจจัย  $A_i$  และ  $B_i$  และคำนวณหาช่วงกว้างของเวลาทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2: สำหรับงาน  $k$  แต่ละงาน ถ้าอยู่ภายใต้เงื่อนไข  $(T_f + T_b) > (S_{k1} - S_{k2} + P_{k1})$  ก็จะเอางาน  $k$  นั้นไปอยู่ในลำดับแรกสุดของลำดับงาน จากนั้นก็ทำการตัดงานนั้นออก และทำตามกฎเกณฑ์จอห์นสันสันกับปัจจัยอื่นที่เหลืออยู่เพื่อทำการหาลำดับงานต่างๆ เช่น  $M_2, M_3, \dots$  จากนั้นก็ทำการหาช่วงกว้างของเวลาทั้งหมดของลำดับงานต่างๆ

ขั้นตอนที่ 3: จากลำดับงานต่างๆ เช่น  $M_1, M_2, M_3$  เลือกลำดับงานที่ให้ช่วงกว้างของเวลาทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด

# การคำนวณหาค่าช่วงกว้างของเวลาทั้งหมด

## (Terminology for Makespan Calculations)

85

- สำหรับเครื่องจักร 1
- เวลาเริ่มต้นในการติดตั้งเครื่องจักร 1,  $C_{i-1,1}$  (สำหรับ  $i = 1$ ,  $C_{01} = 0$ )
- เวลาแล้วเสร็จในการตั้งเครื่องจักร 1,  $CS_{i1} = C_{i-1,1} + S_{i1}$
- เวลาเริ่มต้นในการปฏิบัติงานบนเครื่องจักร 1,  $SP_{i1} = CS_{i1}$
- เวลาแล้วเสร็จในการปฏิบัติงานบนเครื่องจักร 1,  $CP_{i1} = SP_{i1} + P_{i1}$
- เวลาเริ่มต้นในการขนย้ายงานบนเครื่องจักร 1,  $SR_{i1} = \max(CP_{i1}, CTB_{i-1})$ 
  - \*CTB คือเวลาที่เคลื่อนที่กลับของ AGV แล้วเสร็จ (สำหรับงาน 1,  $CTB_0 = 0$ )
- เวลาที่งานแล้วเสร็จบนเครื่องจักร 1,  $C_{i1} = CP_{i1} + R_{i1}$

## □ สำหรับ AGV

- เวลาเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward),  $STF_i = SR_{i1}$
- เวลาเสร็จสิ้นของการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า,  $CTF_i = STF_i + T_f$
- เวลาเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ย้อนกลับ (Backward),  $STB_i = CTF_i$
- เวลาเสร็จสิ้นของการเคลื่อนที่ย้อนกลับ,  $CTB_i = STB_i + T_b$

## □ สำหรับเครื่องจักร 2

- เวลาเริ่มต้นในการติดตั้งเครื่องจักร 2,  $C_{i-1,2}$  (สำหรับ  $i = 1, C_{02} = 0$ )
- เวลาแล้วเสร็จในการตั้งเครื่องจักร 2,  $CS_{i2} = C_{i-1,2} + S_{i2}$
- เวลาเริ่มต้นของการปฏิบัติงานบนเครื่องจักร 2,  $SP_{i2} = \max(CS_{i2}, CTF_i)$
- เวลาแล้วเสร็จของการปฏิบัติงานบนเครื่องจักร 2,  $CP_{i2} = SP_{i2} + P_{i2}$
- เวลาเริ่มต้นของการขนย้ายงานบนเครื่องจักร 2,  $SR_{i2} = CP_{i2}$
- เวลาเสร็จสิ้นของการขนย้ายงาน และเสร็จสิ้นงานบนเครื่องจักร 2,  $C_{i2} = SR_{i2} + R_{i2}$

## ตัวอย่างที่ 6-10 การขนถ่ายระหว่างเครื่องจักร 2 เครื่อง และเวลาในการขนถ่าย

88

- จากตารางที่ 6-11 แสดงงานจำนวน 5 งานที่ต้องผ่านขั้นตอนบนเครื่องจักร 2 เครื่อง โดยเวลาที่ในการขนย้ายของอุปกรณ์ขนย้าย (Transporter) จากเครื่องจักร 1 ไปยังเครื่องจักร 2 เท่ากับ 15 หน่วยเวลา ส่วนการขนย้ายย้อนกลับจะใช้เวลาเท่ากับ 12 หน่วยเวลา ที่มีความแตกต่างกันก็เนื่องจากว่าในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอุปกรณ์ขนย้ายจะทำการนำงานเข้า และนำงานออกเพิ่มด้วย ดังนั้นจะได้ว่า  $T_f = 15$  และ  $T_b = 12$  โดยที่เวลารวมของการขนย้ายเท่ากับ  $T_f + T_b = 27$

| Job | $ST_{i1}$ | $PT_{i1}$ | $RT_{i1}$ | $ST_{i2}$ | $PT_{i2}$ | $RT_{i2}$ |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1   | 10        | 27        | 17        | 17        | 46        | 15        |
| 2   | 22        | 52        | 8         | 5         | 45        | 19        |
| 3   | 8         | 26        | 9         | 15        | 35        | 11        |
| 4   | 23        | 70        | 9         | 5         | 12        | 9         |
| 5   | 3         | 60        | 11        | 22        | 48        | 1         |



□ ในขั้นตอนแรกทำการหาค่าปัจจัยของ  $A_i$  และ  $B_i$  โดยสามารถหาได้จาก

$$\square \quad A_i = \max([T_f + T_b], [ST_{i1} - ST_{i2} + PT_{i1}]) \quad B_i = PT_{i2} + RT_{i2} - RT_{i1}$$

$$\square \text{ งาน 1 } \max(27, 10 - 17 + 27 = 20) = 27 \quad 46 + 15 - 17 = 44$$

$$\square \text{ งาน 2 } \max(27, 22 - 5 + 52 = 69) = 69 \quad 45 + 19 - 9 = 55$$

$$\square \text{ งาน 3 } \max(27, 8 - 15 + 26 = 19) = 27 \quad 35 + 11 - 9 = 37$$

$$\square \text{ งาน 4 } \max(27, 23 - 5 + 70 = 88) = 88 \quad 12 + 9 - 9 = 12$$

$$\square \text{ งาน 5 } \max(27, 3 - 22 + 69 = 50) = 50 \quad 48 + 1 - 11 = 38$$

| งาน | $A_i$ | $B_i$ |
|-----|-------|-------|
| 1   | 27    | 44    |
| 2   | 69    | 55    |
| 3   | 27    | 37    |
| 4   | 88    | 12    |
| 5   | 50    | 38    |

จะได้ลำดับงานดังนี้ **1-3-2-5-4** เนื่องจากงาน 3 อยู่ในเงื่อนไขที่ว่า  $(T_f + T_b) > (ST_{i1} - ST_{i2} + PT_{i1})$  ดังนั้นงาน 3 จึงถูกเปลี่ยนลำดับมายังตำแหน่งที่ 1 ดังนั้นจะได้ว่าลำดับใหม่จะเป็นดังนี้ **3-1-2-5-4**

หลังจากนั้นคำนวณหาช่วงกว้างของเวลาทั้งหมดของลำดับงานทั้งสองจะได้เท่ากับ **391**

ตารางที่ 6-12 ผลของการคำนวณ Makespan สำหรับลำดับงาน 1-3-2-5-4

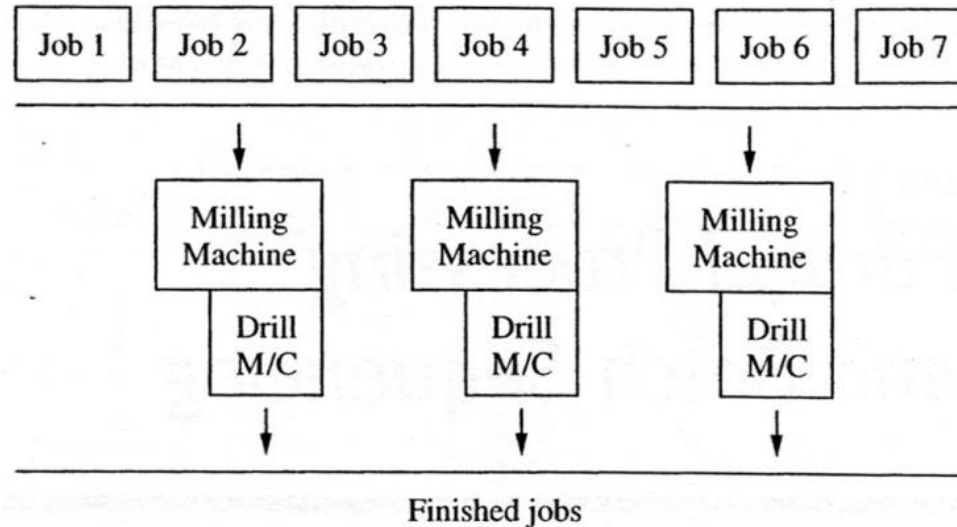
|     | เครื่องจักร 1 |           |           |           |           |          |
|-----|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| งาน | $C_{i-1,1}$   | $CS_{i1}$ | $SP_{i1}$ | $CP_{i1}$ | $SR_{i1}$ | $C_{i1}$ |
| 1   | 0             | 10        | 10        | 37        | 37        | 54       |
| 3   | 54            | 62        | 62        | 88        | 88        | 97       |
| 2   | 97            | 119       | 119       | 171       | 171       | 179      |
| 5   | 179           | 182       | 182       | 251       | 251       | 262      |
| 4   | 262           | 285       | 285       | 355       | 355       | 364      |

|     | อุปกรณ์ขนย้าย |         |         |         |
|-----|---------------|---------|---------|---------|
| งาน | $STF_i$       | $CTF_i$ | $STB_i$ | $CTB_i$ |
| 1   | 37            | 52      | 52      | 64      |
| 3   | 88            | 103     | 103     | 115     |
| 2   | 171           | 186     | 186     | 198     |
| 5   | 251           | 266     | 266     | 278     |
| 4   | 355           | 370     | 370     | 382     |

|     | เครื่องจักร 2 |           |           |           |           |          |
|-----|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| งาน | $C_{i-1,2}$   | $CS_{i2}$ | $SP_{i2}$ | $CP_{i2}$ | $SR_{i2}$ | $C_{i2}$ |
| 1   | 0             | 17        | 52        | 98        | 98        | 113      |
| 3   | 113           | 128       | 128       | 163       | 163       | 174      |
| 2   | 174           | 179       | 186       | 231       | 231       | 250      |
| 5   | 250           | 272       | 272       | 320       | 320       | 321      |
| 4   | 321           | 326       | 370       | 382       | 382       | 391      |

## 6.10 การจัดลำดับงานบนเครื่องจักรที่ขนานกัน (Parallel Processing)

93



ภาพที่ 6-9 Parallel Processing Setup

## งานแต่ละงานมีน้ำหนักที่เท่ากัน และไม่กำหนดวันกำหนดส่ง (Jobs with Equal Weight and No Due Dates)

94

- ในการจัดลำดับงานจำนวน  $n$  งานที่สามารถดำเนินการบนเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งที่ขนานกันจำนวน  $m$  เครื่อง โดยที่มีวัตถุประสงค์ของการจัดลำดับงานนี้คือ **ทำการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักรโดยที่ทำให้ช่วงกว้างของเวลาทั้งหมดของงานทุกงานมีค่าน้อยที่สุด**

## ตัวอย่างที่ 6-13 การจัดลำดับงานที่เครื่องจักรขนานกัน – งานมีน้ำหนักที่เท่ากัน

95

- จากข้อมูลของงานที่กำหนดให้จำนวน 9 งาน ให้ทำการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรที่ขนานกันจำนวน 3 เครื่องโดยให้มีช่วงกว้างของเวลาทั้งหมดของงานทุกงานมีค่าน้อยที่สุด
- เริ่มต้นทำการเรียงลำดับงานจากเวลาปฏิบัติงานจากค่ามากไปค่าน้อย

| งาน            | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  |
|----------------|----|----|---|---|---|---|---|----|----|
| เวลาปฏิบัติงาน | 10 | 12 | 5 | 8 | 7 | 3 | 5 | 15 | 12 |

| งาน            | 8  | 2  | 9  | 1  | 4 | 5 | 3 | 7 | 6 |
|----------------|----|----|----|----|---|---|---|---|---|
| เวลาปฏิบัติงาน | 15 | 12 | 12 | 10 | 8 | 7 | 5 | 5 | 3 |

ตารางที่ 6-22 ผลของการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

| เครื่องจักร 1 |                    |          | เครื่องจักร 2 |                    |          | เครื่องจักร 3 |                    |          |
|---------------|--------------------|----------|---------------|--------------------|----------|---------------|--------------------|----------|
| งาน           | เวลา<br>ปฏิบัติงาน | RTC = 26 | งาน           | เวลา<br>ปฏิบัติงาน | RTC = 26 | งาน           | เวลา<br>ปฏิบัติงาน | RTC = 26 |
| 8             | 15                 | 11       | 2             | 12                 | 14       | 4             | 8                  | 18       |
| 1             | 10                 | 1        | 9             | 12                 | 2        | 5             | 7                  | 11       |
|               |                    |          |               |                    |          | 3             | 5                  | 6        |
|               |                    |          |               |                    |          | 7             | 5                  | 1        |



# งานที่มีการกำหนดความสำคัญโดยใช้น้ำหนัก

## (Jobs with Priorities Ranked by Weights)

97

| งาน            | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8  | 9  |
|----------------|----|----|---|---|---|---|---|----|----|
| เวลาปฏิบัติงาน | 10 | 12 | 5 | 8 | 7 | 3 | 5 | 15 | 12 |
| น้ำหนัก        | 2  | 2  | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1  | 1  |

สมมุติว่ามีเครื่องจักรจำนวน 2 เครื่อง และมีการกำหนดความสำคัญเพียง 2 กลุ่ม ดังนั้นจึงทำการเรียงลำดับงานโดยใช้เวลาปฏิบัติงานในแต่ละกลุ่มงานดังนี้

| งาน            | 2  | 1  | 5 | 3 | 7 | 8  | 9  | 4 | 6 |
|----------------|----|----|---|---|---|----|----|---|---|
| เวลาปฏิบัติงาน | 12 | 10 | 7 | 5 | 5 | 15 | 12 | 8 | 3 |
| น้ำหนัก        | 2  | 2  | 2 | 2 | 2 | 1  | 1  | 1 | 1 |

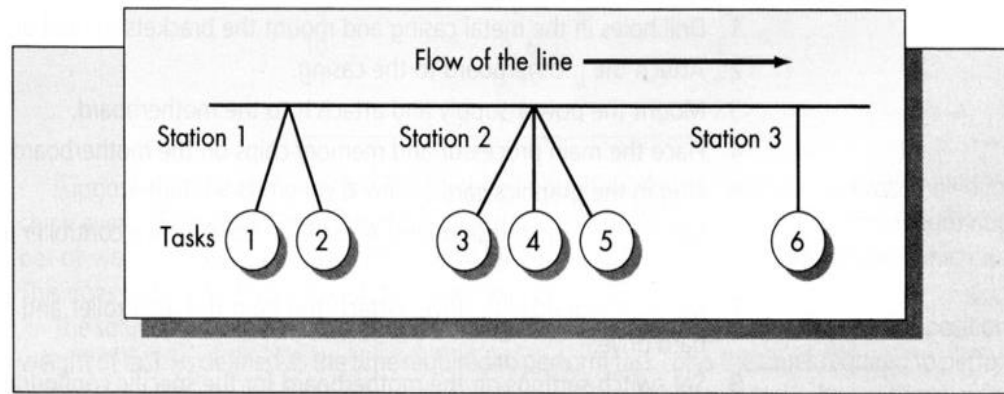
- ค่าช่วงกว้างของเวลาทั้งหมดที่ต่ำที่สุดของแต่ละกลุ่มงาน หรือกลุ่มน้ำหนักรเท่ากับ  $(12 + 10 + 7 + 5 + 5)/2 = 20$  สำหรับน้ำหนักของกลุ่มงานเท่ากับ 2 และค่าช่วงกว้างของเวลาทั้งหมดที่ต่ำที่สุดเท่ากับ  $(15 + 12 + 8 + 3)/2 = 19$  สำหรับน้ำหนักของกลุ่มงานเท่ากับ 1

## ตารางที่ 6-23 ผลสรุปของการจัดลำดับงาน

| เครื่องจักร 1 |     |                |                                  | เครื่องจักร 2 |     |                |                                  |
|---------------|-----|----------------|----------------------------------|---------------|-----|----------------|----------------------------------|
| น้ำหนัก       | งาน | เวลาปฏิบัติงาน | RCT สำหรับ W2 =<br>20            | น้ำหนัก       | งาน | เวลาปฏิบัติงาน | RCT สำหรับ W2 =<br>20            |
| 2             | 2   | 12             | 8                                | 2             | 1   | 10             | 10                               |
|               | 5   | 7              | 1                                |               | 3   | 5              | 5                                |
|               |     |                |                                  |               | 7   | 5              | 0                                |
|               |     |                | RCT สำหรับ W1 =<br>$1 + 19 = 20$ |               |     |                | RCT สำหรับ W1 =<br>$0 + 19 = 19$ |
| 1             | 8   | 15             | 5                                | 1             | 9   | 12             | 7                                |
|               | 6   | 3              | 2                                |               | 4   | 8              | -1                               |

## 6.11 การจัดสมดุลสายการผลิต (Assembly Line Balancing)

100



- เป้าหมายของการจัดการก็คือการจัดงานต่างๆเข้าเป็นกลุ่มงาน และในแต่ละกลุ่มงานนั้นมีการดำเนินงานบนสถานีงาน (Workstation) เพียงสถานีงานเดียว ในกรณีทั่วไป ช่วงระยะเวลาที่มีการกำหนดลงไปในแต่ละสถานีงานจะต้องทำการหาในระดับที่สูงขึ้น โดยที่อาจจะมีการกำหนดจากอัตราการผลิตที่ต้องการของสายการผลิต เช่น สมมติว่ารอบเวลาของการผลิต (Cycle time) นั้นทราบค่าโดยกำหนดให้เท่ากับค่า  $C$  เป็นต้น

- ในปัญหาเกี่ยวกับการจัดสมดุลสายการผลิตมีปัจจัยหลายๆอย่างที่มีส่วนเกี่ยวข้อง อาจจะมีส่วนทำให้การแก้ปัญหายากขึ้น เช่น เงื่อนไขของงานหรือกิจกรรมที่ต้องทำก่อน (Precedence constraint) กล่าวคือในการที่จะทำให้สำเร็จของงานบางงานอาจจะต้องมีลำดับการทำงานที่กำหนดเฉพาะเจาะจง หรือในกรณีอื่นเช่นงาน 2 งานไม่สามารถดำเนินงานบนสถานีงานเดียวกันได้ จะต้องแยกออกจากกัน หรือกรณีที่งาน 2 งานอาจจะสามารถทำจนเสร็จได้ภายในสถานีงานเดียวกัน แต่ว่ามีอยู่งาน 1 งานที่ต้องการคนงานมากกว่า 1 คน เป็นต้น

- กำหนดให้  $t_1, t_2, \dots, t_n$  เป็นเวลาที่ต้องการของงานตามลำดับ และงานทุกงานถูกเชื่อมโยงกับการผลิตชิ้นส่วนซึ่งกำหนดด้วยตัวแปร  $T$  จะได้ว่า

$$T = \sum_{i=1}^n t_i$$

- สำหรับรอบเวลาการผลิต (Cycle time) มีค่าเท่ากับ  $C$  ดังนั้นเวลาที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้สำหรับสถานีงานมีค่าเท่ากับ  $[T/C]$  โดยจะมีค่าเป็นจำนวนเต็มแบบปัดจุดทศนิยมขึ้น

# วิธีการจัดสมดุลสายการผลิต (Method of Line balancing)

103

1. วิธี Largest-Candidate Rule (LCR)

2. วิธี Kilbride and Wester

3. วิธีการจัดลำดับตามตำแหน่งของน้ำหนัก (Ranked positional weight technique)

4. วิธีอื่นๆในการจัดสมดุลสายการผลิต

## วิธี Largest-Candidate Rule (LCR)

104

ขั้นตอนที่ 1 จากรายการงานทั้งหมดทำการเรียงงานทั้งหมดโดยจากค่า  $t_i$  มากไปหาน้อย

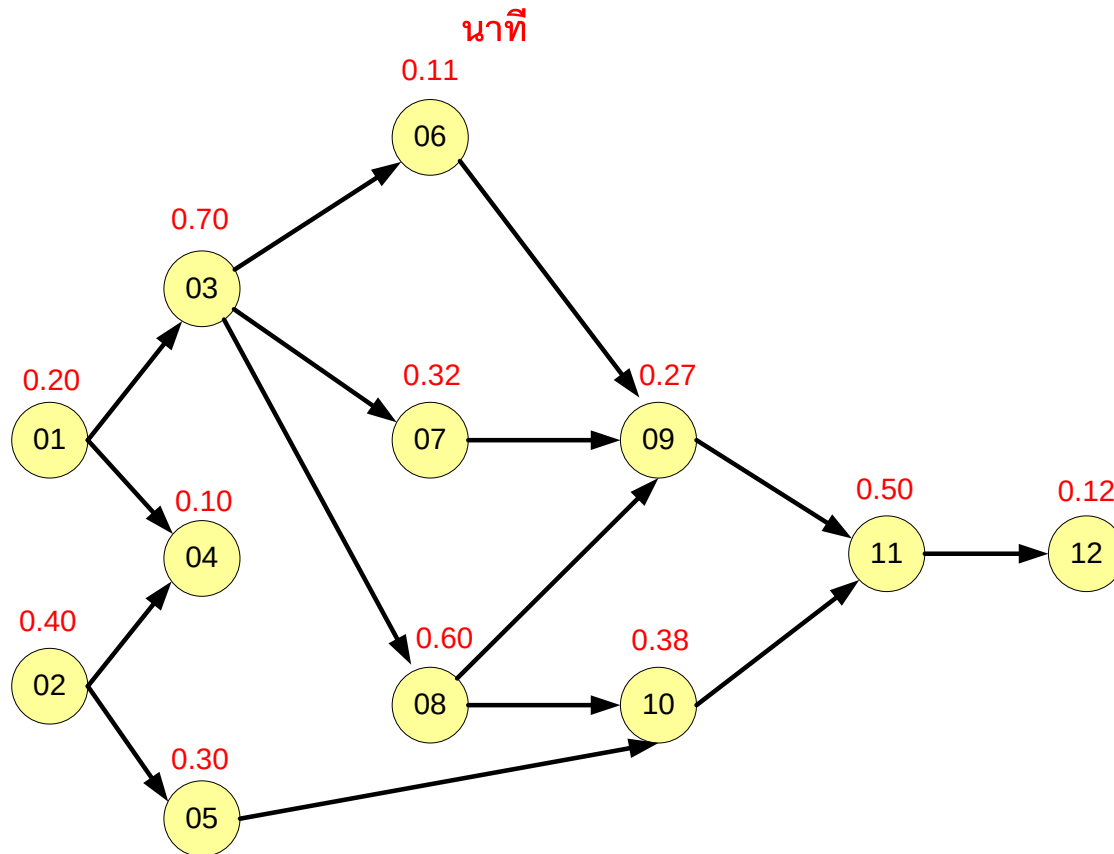
ขั้นตอนที่ 2 ในการกำหนดงานลงบนสถานีงานแรก จะเริ่มต้นจากงานที่อยู่ในลำดับบนสุดโดยทำการเลือกงานที่เป็นไปได้มากที่สุดลงในสถานีงาน ซึ่งงานที่เลือกจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของงานที่ต้องทำก่อน (Precedence) และจะต้องไม่ทำให้ค่าผลรวมของ  $t_i$  จะต้องไม่มากกว่าค่ารอบการผลิต,  $C$

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2



## ตารางที่ 6-27 ขั้นตอนการทำงานในการประกอบจำนวน 12 ขั้นตอน

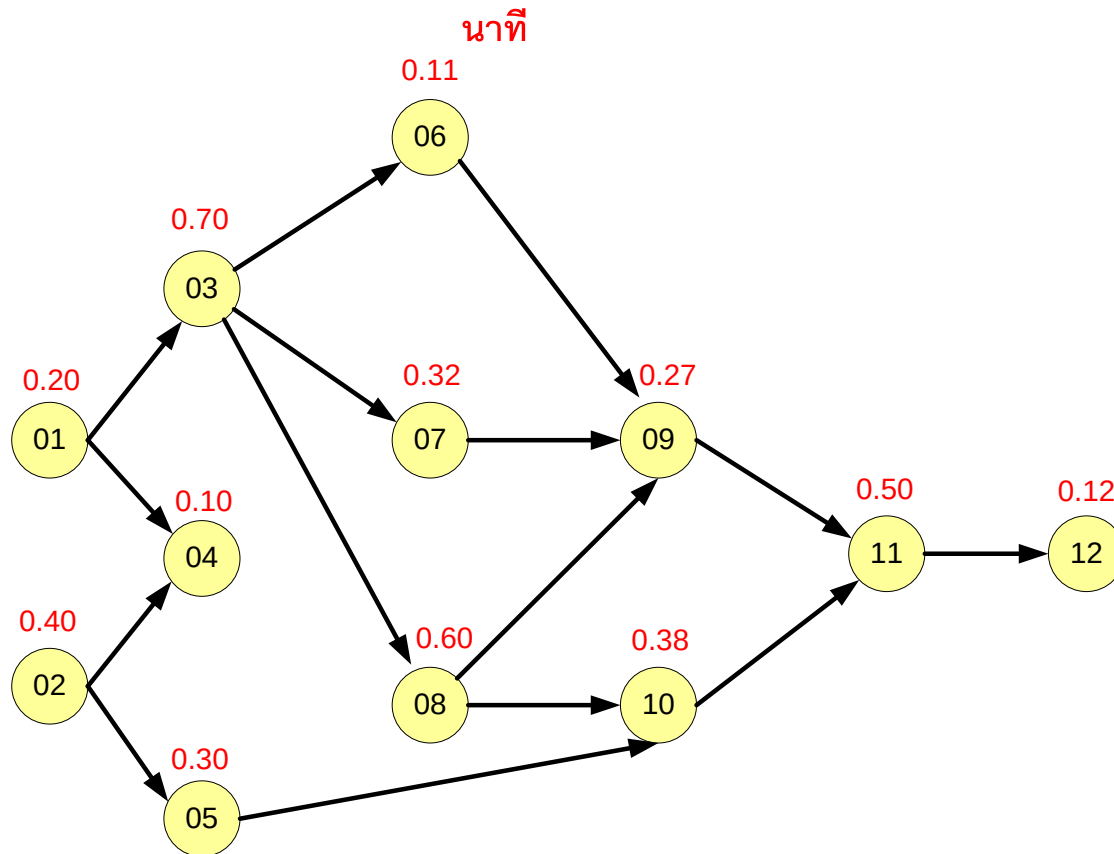
| ขั้นตอน | รายละเอียดงาน               | เวลาที่ต้องการ (นาที) | งานที่ต้องทำก่อนหน้าทันที |
|---------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1       | วางเฟรมลงในที่ยึด           | 0.20                  | -                         |
| 2       | ประกอบตัวปลั๊ก และสายไฟ     | 0.40                  | -                         |
| 3       | ประกอบฉากยึดลงบนเฟรม        | 0.70                  | 1                         |
| 4       | เชื่อมสายไฟไปยังมอเตอร์     | 0.10                  | 1, 2                      |
| 5       | เชื่อมสายไฟไปยังสวิตช์      | 0.30                  | 2                         |
| 6       | ประกอบกลไกลงบนฉากยึด        | 0.11                  | 3                         |
| 7       | ประกอบใบพัดลงบนฉากยึด       | 0.32                  | 3                         |
| 8       | ประกอบมอเตอร์ลงบนฉากยึด     | 0.60                  | 3, 4                      |
| 9       | ทำการปรับใบพัดบนมอเตอร์     | 0.27                  | 6, 7, 8                   |
| 10      | ประกอบสวิตช์บนตัวยึดมอเตอร์ | 0.38                  | 5, 8                      |
| 11      | ประกอบตัวครอบ และตรวจสอบ    | 0.50                  | 9, 10                     |
| 12      | วางบนแผ่นยกสำหรับการขนส่ง   | 0.12                  | 11                        |



ภาพที่ 6-14 ความสัมพันธ์ของงานต่างๆจากตารางที่ 6-27

- ขั้นตอนที่ 1 ทำการเรียงลำดับจากเวลาที่ต้องการจะได้ดังตารางข้างล่างนี้

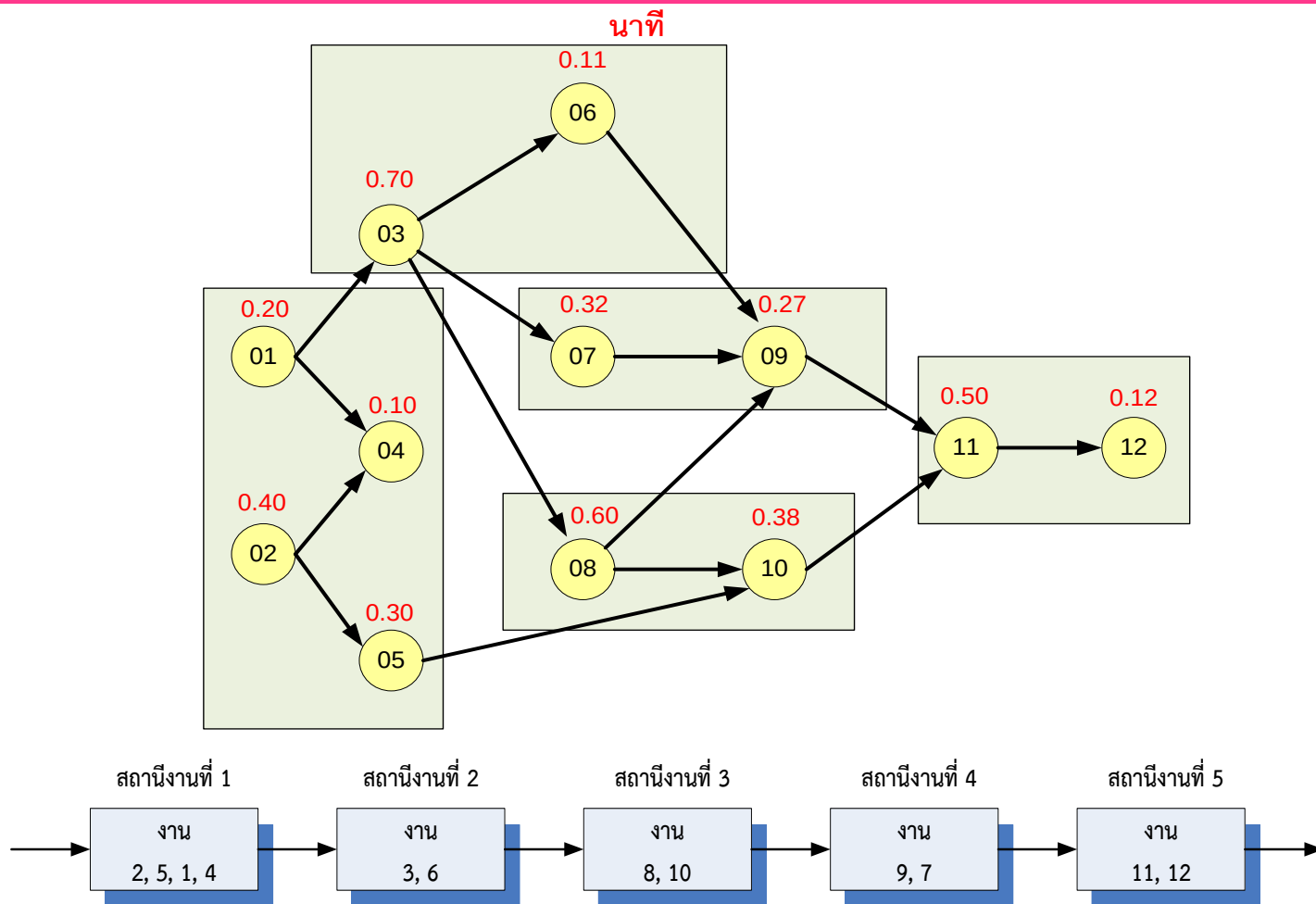
| ขั้นตอน | เวลาที่ต้องการ (นาทีก) | งานที่ต้องทำก่อนหน้าทันที |
|---------|------------------------|---------------------------|
| 3       | 0.70                   | 1                         |
| 8       | 0.60                   | 3, 4                      |
| 11      | 0.50                   | 9, 10                     |
| 2       | 0.40                   | -                         |
| 10      | 0.38                   | 5, 8                      |
| 7       | 0.32                   | 3                         |
| 5       | 0.30                   | 2                         |
| 9       | 0.27                   | 6, 7, 8                   |
| 1       | 0.20                   | -                         |
| 12      | 0.12                   | 11                        |
| 6       | 0.11                   | 3                         |
| 4       | 0.10                   | 1, 2                      |



ภาพที่ 6-14 ความสัมพันธ์ของงานต่างๆจากตารางที่ 6-27

- ขั้นตอนที่ 2 และ 3 ถ้ากำหนดให้รอบเวลาการผลิต, C เท่ากับ 1.00 นาที จะได้การกำหนดงานลงบนสถานีงานได้ดังตาราง และภาพที่ 6-15

| สถานีงาน | งาน | เวลา | ผลรวมของเวลา<br>แต่ละสถานีงาน |
|----------|-----|------|-------------------------------|
| 1        | 2   | 0.40 | 1.00                          |
|          | 5   | 0.30 |                               |
|          | 1   | 0.20 |                               |
|          | 4   | 0.10 |                               |
| 2        | 3   | 0.70 | 0.81                          |
|          | 6   | 0.11 |                               |
| 3        | 8   | 0.60 | 0.98                          |
|          | 10  | 0.38 |                               |
| 4        | 7   | 0.32 | 0.59                          |
|          | 9   | 0.27 |                               |
| 5        | 11  | 0.50 | 0.62                          |
|          | 12  | 0.12 |                               |



ภาพที่ 6-15 ผลการกำหนดงานลงในสถานีงานโดยวิธี LCR

# การวัดประสิทธิภาพของการจัดสมดุลการผลิต

111

| สถานีงาน | งาน | เวลา | ผลรวมของเวลา<br>แต่ละสถานีงาน | ประสิทธิภาพของ<br>แต่ละสถานีงาน |
|----------|-----|------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1        | 2   | 0.40 | 1.00                          | 100%                            |
|          | 5   | 0.30 |                               |                                 |
|          | 1   | 0.20 |                               |                                 |
|          | 4   | 0.10 |                               |                                 |
| 2        | 3   | 0.70 | 0.81                          | 81%                             |
|          | 6   | 0.11 |                               |                                 |
| 3        | 8   | 0.60 | 0.98                          | 98%                             |
|          | 10  | 0.38 |                               |                                 |
| 4        | 7   | 0.32 | 0.59                          | 59%                             |
|          | 9   | 0.27 |                               |                                 |
| 5        | 11  | 0.50 | 0.62                          | 62%                             |
|          | 12  | 0.12 |                               |                                 |

- ประสิทธิภาพของการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธี LCR เท่ากับ

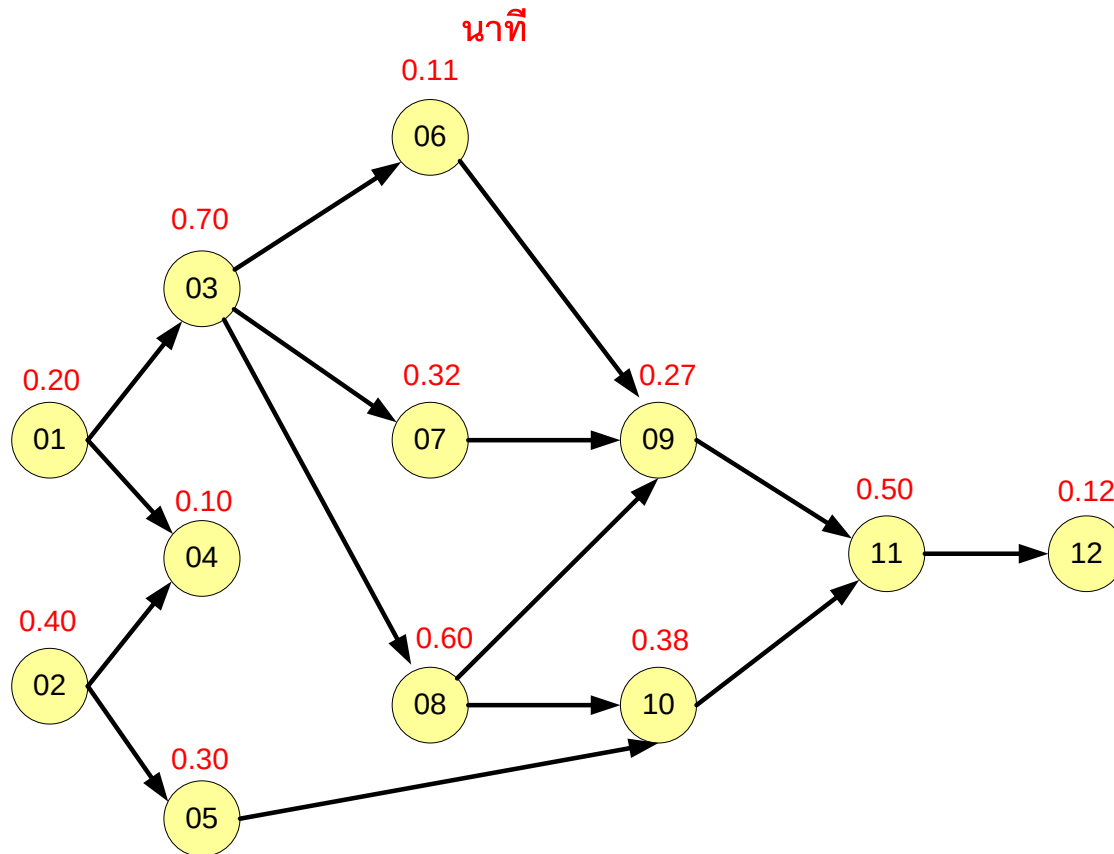
$$\frac{100 + 81 + 98 + 59 + 62}{5} = 80\%$$



## 2. วิธี Kilbride and Wester

113

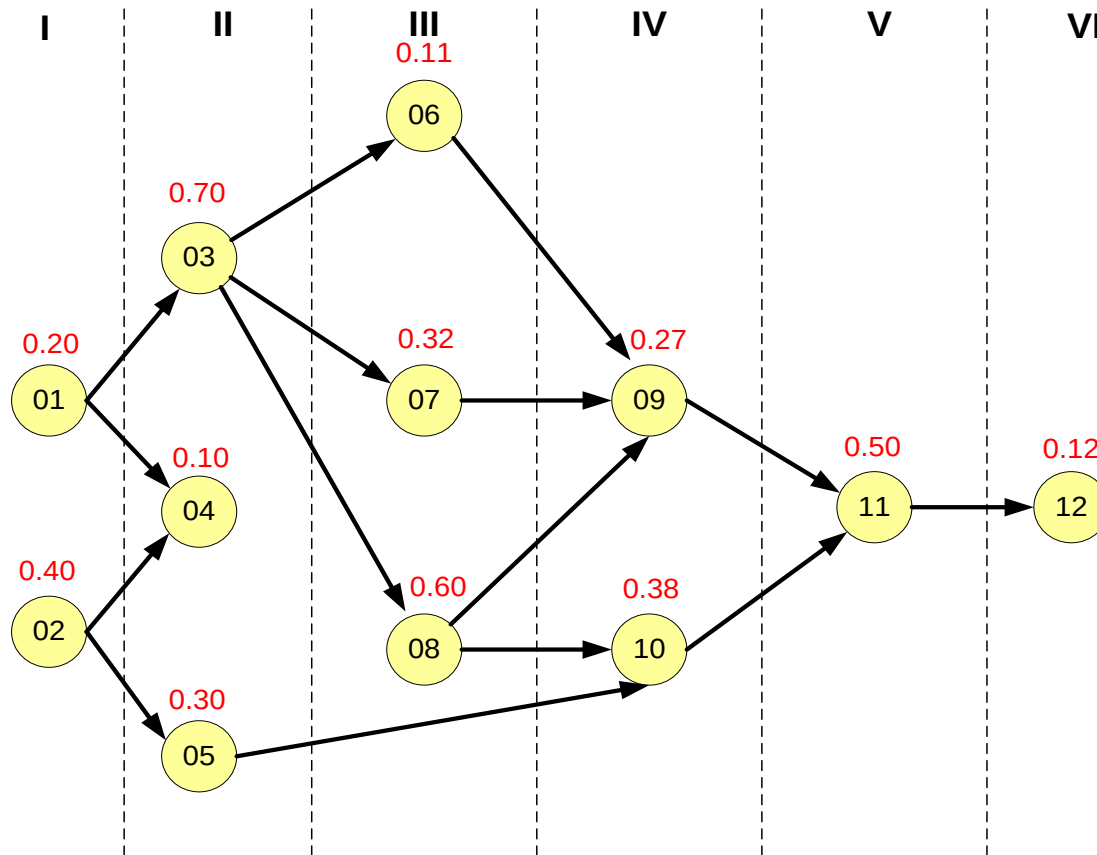
- เป็นวิธีฮิวริสติกส์ที่เป็นการเลือกงานลงในสถานีนางานโดยที่มีการใช้ตำแหน่งของงานในแผนภาพงานที่ต้องทำก่อนร่วมในการพิจารณา มีขั้นตอนดังนี้
- ขั้นตอนที่ 1 สร้างแผนภาพความสัมพันธ์ของงานก่อนหน้า (Precedence diagram) และทำการแบ่งกลุ่มงานตามงานที่ต้องทำก่อนหน้าโดยใช้เส้นแนวตั้ง (Vertical line)
- ขั้นตอนที่ 2 ทำการแสดงรายการงานในแต่ละคอลัมน์ โดยที่คอลัมน์ที่ 1 เป็นรายการงานที่อยู่บนสุด ถ้าหากว่างานนั้นสามารถถูกกำหนดลงได้มากกว่า 1 คอลัมน์ ให้ทำการแสดงคอลัมน์ทั้งหมดที่งานนั้นสามารถกำหนดได้ทั้งหมด
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการกำหนดงานลงบนสถานีนางาน เริ่มต้นจากคอลัมน์ที่ 1 จากนั้นก็ทำการทำต่อเนื่องในคอลัมน์ถัดไปจนกระทั่งระยะเวลาของสถานีนางานเข้าใกล้รอบเวลาการผลิต



ภาพที่ 6-14 ความสัมพันธ์ของงานต่างๆจากตารางที่ 6-27

## ตัวอย่างที่ 6-17 วิธี Kilbride and Wester

115



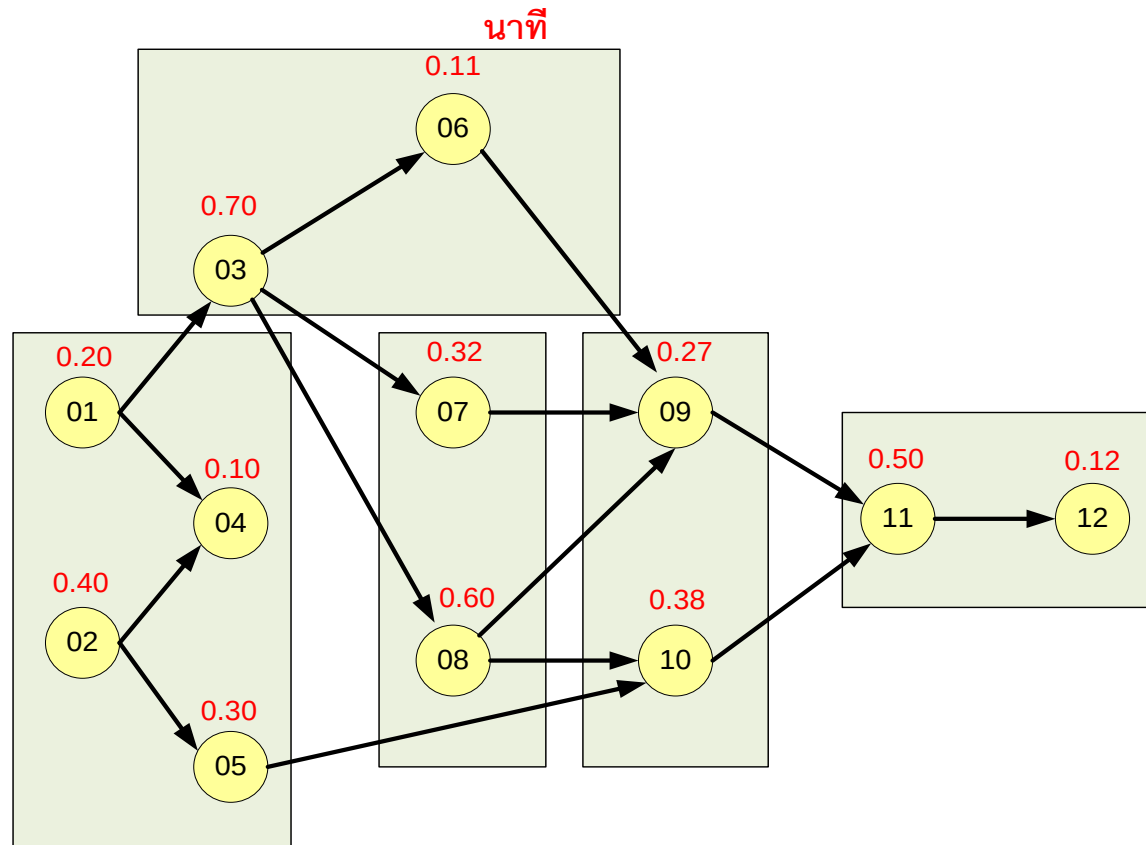
ภาพที่ 6-16 การแบ่งกลุ่มของงานต่างๆ

□ ขั้นตอนที่ 2 เรียงลำดับงานตามคอลัมน์

| งาน | คอลัมน์ | เวลา | ผลรวมของเวลา<br>แต่ละคอลัมน์ |
|-----|---------|------|------------------------------|
| 1   | I       | 0.20 | 0.60                         |
| 2   | I       | 0.40 |                              |
| 3   | II      | 0.70 | 1.10                         |
| 4   | II      | 0.10 |                              |
| 5   | II, III | 0.30 |                              |
| 6   | III     | 0.11 | 1.03                         |
| 7   | III     | 0.32 |                              |
| 8   | III     | 0.60 |                              |
| 9   | IV      | 0.27 | 0.65                         |
| 10  | IV      | 0.38 |                              |
| 11  | V       | 0.50 | 0.62                         |
| 12  | VI      | 0.12 |                              |

□ ขั้นตอนที่ 3 ทำการกำหนดงานลงบนสถานงาน

| สถานงาน | งาน | เวลา | ผลรวมของเวลา<br>แต่ละสถานงาน | ประสิทธิภาพของ<br>แต่ละสถานงาน |
|---------|-----|------|------------------------------|--------------------------------|
| 1       | 1   | 0.20 | 1.00                         | 100%                           |
|         | 2   | 0.40 |                              |                                |
|         | 4   | 0.10 |                              |                                |
|         | 5   | 0.30 |                              |                                |
| 2       | 3   | 0.70 | 0.81                         | 81%                            |
|         | 6   | 0.11 |                              |                                |
| 3       | 7   | 0.32 | 0.92                         | 92%                            |
|         | 8   | 0.60 |                              |                                |
| 4       | 9   | 0.27 | 0.65                         | 65%                            |
|         | 10  | 0.38 |                              |                                |
| 5       | 11  | 0.50 | 0.62                         | 62%                            |
|         | 12  | 0.12 |                              |                                |



ภาพที่ 6-17 ผลการกำหนดงานลงในสถานี่งานโดยวิธี Kilbride and Wester

- ประสิทธิภาพของการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธี Kilbride and Wester เท่ากับ

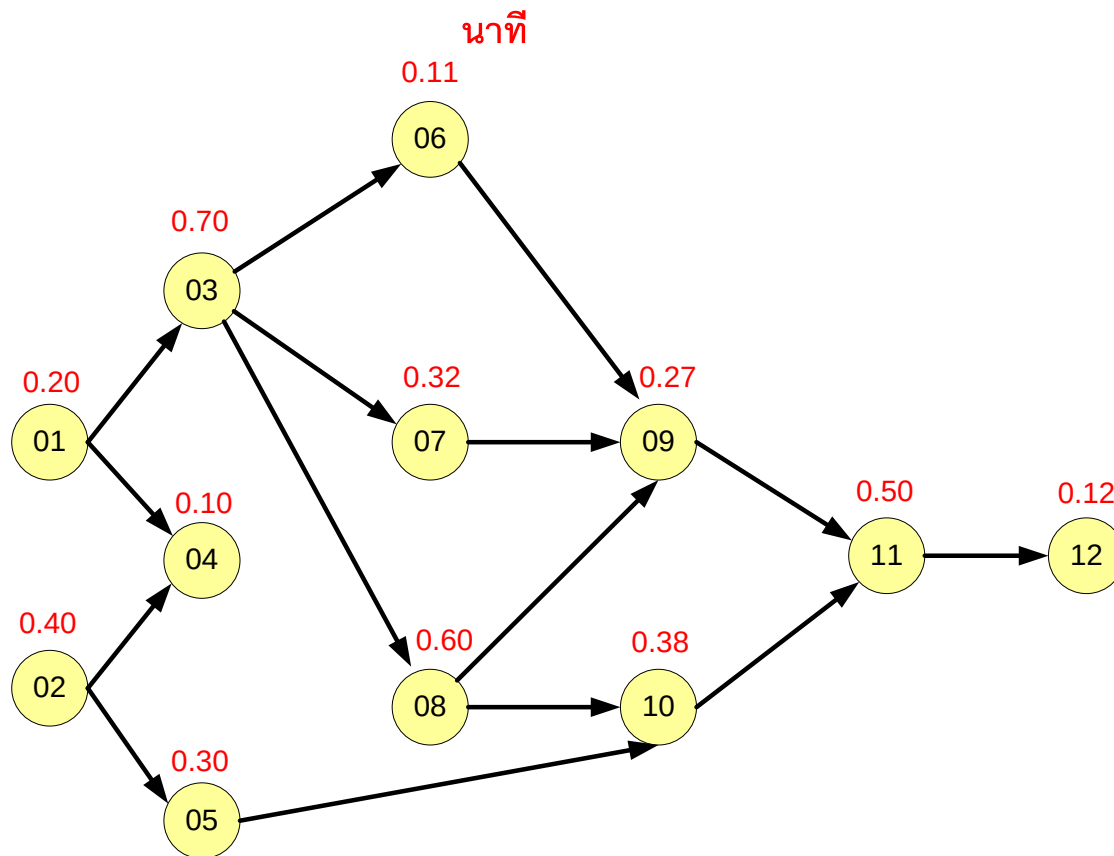
$$\frac{100 + 81 + 92 + 65 + 62}{5} = 80\%$$

### 3. วิธีการจัดลำดับตามตำแหน่งของน้ำหนัก (Ranked positional weight technique)

120

- เป็นวิธีฮิวริสติกจาก Helgeson and Birnie (1961) หรือเรียกว่า เทคนิคในการจัดลำดับตามตำแหน่งของน้ำหนัก (Ranked positional weight technique) โดยเป็นวิธีที่มีการกำหนดน้ำหนักของงานแต่ละงาน (RPW) โดยใช้เวลาที่ต้องการทั้งหมดของงานที่กำลังพิจารณาไปจนกระทั่งงานสุดท้ายของสายการผลิต จากนั้นในการกำหนดงานลงในสถานีงานก็จะเป็นการเรียงตามน้ำหนักที่ให้จากมากไปหาน้อย

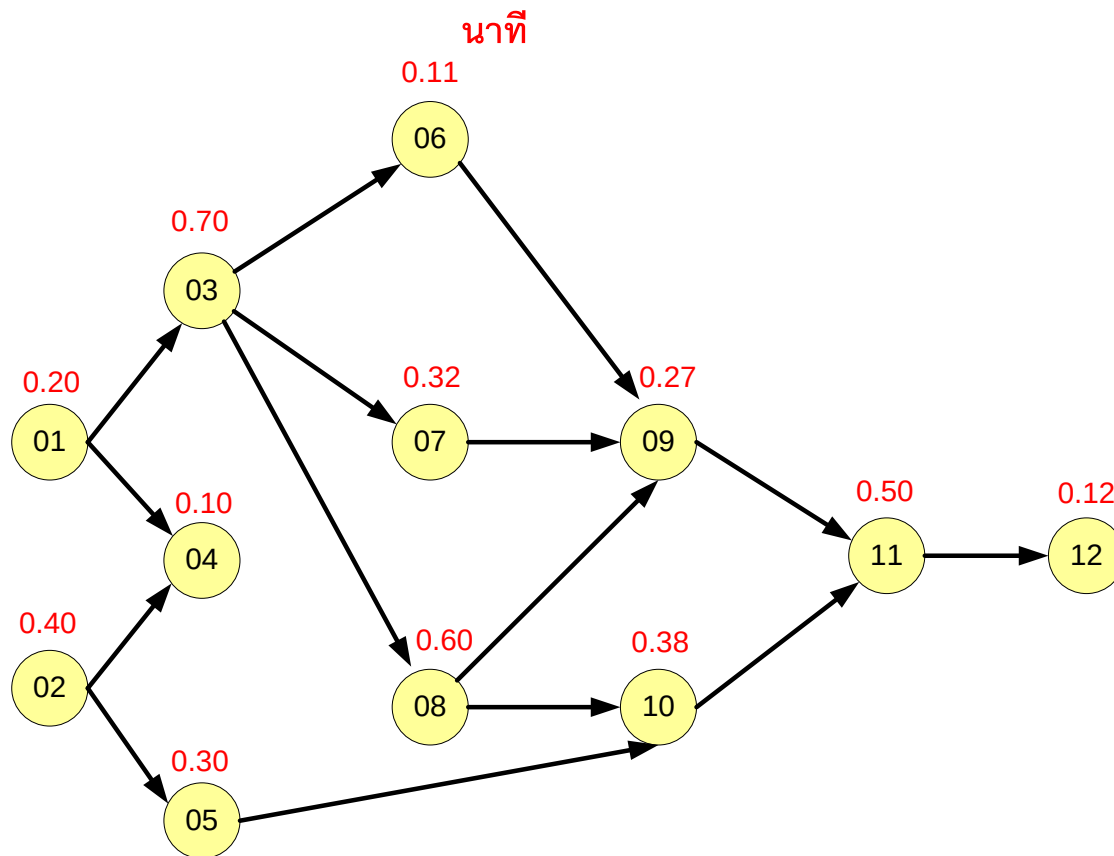




ภาพที่ 6-14 ความสัมพันธ์ของงานต่างๆจากตารางที่ 6-27

- ขั้นตอนที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณสำหรับงานที่ 1
  - สำหรับงาน 1 มีงานที่ต้องทำหลังต่อเนื่องไปจนถึงงานสุดท้ายตามลำดับดังนี้ 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ดังนั้นผลรวมของเวลาทั้งหมดเท่ากับ 3.30 นาที
- ขั้นตอนที่ 2 เรียงลำดับงานตามน้ำหนักของงาน (RPW)

| งาน | ตำแหน่งของ<br>น้ำหนัก (RPW) | เวลา | งานที่ต้องทำ<br>ก่อนทันที |
|-----|-----------------------------|------|---------------------------|
| 1   | 3.30                        | 0.20 | -                         |
| 3   | 3.00                        | 0.70 | 1                         |
| 2   | 2.67                        | 0.40 | -                         |
| 4   | 1.97                        | 0.10 | 1, 2                      |
| 8   | 1.87                        | 0.60 | 3, 4                      |
| 5   | 1.30                        | 0.30 | 2                         |
| 7   | 1.21                        | 0.32 | 3                         |
| 6   | 1.00                        | 0.11 | 3                         |
| 10  | 1.00                        | 0.38 | 5, 8                      |
| 9   | 0.89                        | 0.27 | 6, 7, 8                   |
| 11  | 0.62                        | 0.50 | 9, 10                     |
| 12  | 0.12                        | 0.12 | 11                        |



ภาพที่ 6-14 ความสัมพันธ์ของงานต่างๆจากตารางที่ 6-27

□ ขั้นตอนที่ 3 ทำการกำหนดงานลงบนสถานีงานจะได้ดังตาราง

| สถานีงาน | งาน | เวลา | ผลรวมของเวลา<br>แต่ละสถานีงาน | ประสิทธิภาพของ<br>แต่ละสถานีงาน |
|----------|-----|------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1        | 1   | 0.20 | 0.90                          | 98%                             |
|          | 3   | 0.70 |                               |                                 |
| 2        | 2   | 0.40 | 0.91                          | 99%                             |
|          | 4   | 0.10 |                               |                                 |
|          | 5   | 0.30 |                               |                                 |
|          | 6   | 0.11 |                               |                                 |
| 3        | 8   | 0.60 | 0.92                          | 100%                            |
|          | 7   | 0.32 |                               |                                 |
| 4        | 10  | 0.38 | 0.65                          | 71%                             |
|          | 9   | 0.27 |                               |                                 |
| 5        | 11  | 0.50 | 0.62                          | 67%                             |
|          | 12  | 0.12 |                               |                                 |

- จากการจัดสมมูลงานโดยใช้วิธี RPW จะพบว่าเวลาในสถานี่งานสูงสุดเท่ากับ 0.92 แสดงว่าสามารถที่จะกำหนดรอบเวลาการผลิตสำหรับตัวอย่างนี้เท่ากับ 0.92 นาที่มากกว่าที่จะกำหนดเท่ากับ 1 นาที่
- ประสิทธิภาพของการจัดสมมูลสายการผลิตด้วยวิธี RPW เท่ากับ

$$\frac{98 + 99 + 100 + 71 + 67}{5} = 87\%$$

และเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการทั้งหมดทั้ง LCR, K-W และ RPW จะพบว่าวิธี RPW จะเป็นวิธีการจัดสมมูลสายการผลิตที่มีประสิทธิภาพที่สุดมากกว่า 2 วิธีที่นำเสนอโดยที่มีประสิทธิภาพของการจัดสมมูลสายการผลิตเท่ากับ 87%

## 4. วิธีอื่นๆในการจัดสมดุลสายการผลิต

127

- สำหรับวิธีการอื่นๆที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิต เช่น 1) การแบ่งงาน 2) การปรับความเร็วของงานในสถานีงานอัตโนมัติ 3) การวิเคราะห์วิธีการ 4) การประกอบชิ้นส่วนโดยใช้หน่วยงานอื่น 5) การจัดให้มีของคงคลังระหว่างทำระหว่างสถานีงาน และ 6) การจัดสถานีงานแบบขนาน

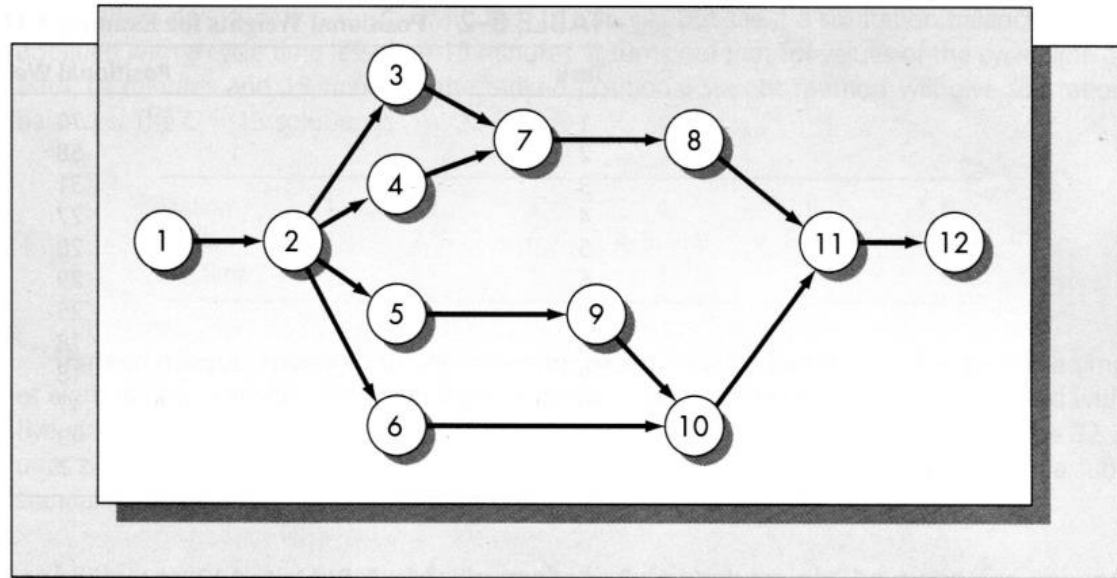
## ตัวอย่างที่ 6-19 วิธีการจัดลำดับตามตำแหน่งของน้ำหนั (เพิ่มเติม)

128

ตารางที่ 6-28 แสดงงานที่ต้องทำก่อนหน้า

ทันที และเวลาของแต่ละงาน

| งาน | งานที่ต้องทำ<br>ก่อนหน้าทันที | เวลาที่<br>ต้องการ |
|-----|-------------------------------|--------------------|
| 1   | -                             | 12                 |
| 2   | 1                             | 6                  |
| 3   | 2                             | 6                  |
| 4   | 2                             | 2                  |
| 5   | 2                             | 2                  |
| 6   | 2                             | 12                 |
| 7   | 3, 4                          | 7                  |
| 8   | 7                             | 5                  |
| 9   | 5                             | 1                  |
| 10  | 9, 6                          | 4                  |
| 11  | 8, 10                         | 6                  |
| 12  | 11                            | 7                  |



ภาพที่ 6-18 ขั้นตอนการประกอบคอมพิวเตอร์



- ตารางที่ 6-29 แสดงค่าตำแหน่งของน้ำหนักรองงานในตัวอย่างที่ 6-17

| งาน | ตำแหน่งของน้ำหนัก |
|-----|-------------------|
| 1   | 70                |
| 2   | 58                |
| 3   | 31                |
| 4   | 27                |
| 5   | 20                |
| 6   | 29                |
| 7   | 25                |
| 8   | 18                |
| 9   | 18                |
| 10  | 17                |
| 11  | 13                |
| 12  | 7                 |

- ในขั้นตอนต่อไปก็คือ การจัดเรียงลำดับตามตำแหน่งของน้ำหนักจากค่าที่มากที่สุดไปยังค่าที่น้อยที่สุด ซึ่งจะได้ตามลำดับดังนี้ 1, 2, 3, 6, 4, 7, 5, 8, 9, 10, 11, 12 และขั้นตอนสุดท้ายก็คือการจัดงานเข้าสู่สถานีนงานโดยการเรียงลำดับงานตามลำดับ ซึ่งในการจัดลำดับงานจะต้องจัดงานโดยที่ไม่ผิดเงื่อนไขของลำดับงานก่อนหน้านี้ด้วย
- จากที่**กำหนดให้รอบเวลาเท่ากับ 15 นาที** จะได้ว่างาน 1 ก็จะถูกจัดลงในสถานีนงานที่ 1 ซึ่งจะทำให้สถานีนงานที่ 1 มีเวลาเหลืออยู่ 3 นาที เนื่องจากว่างาน 2 จะต้องถูกจัดในลำดับถัดไป ( $t_2 = 6$ ) และไม่ผิดเงื่อนไขของลำดับก่อนหน้านี้ แต่เนื่องจากว่าทำให้เกินกว่ารอบเวลาที่กำหนดคือ 15 นาที ทำให้ไม่สามารถจัดลำดับลงในสถานีนงานที่ 1 ได้ ดังนั้นจึงทำการปิดสถานีนงานที่ 1 จะได้ว่า งาน 2, 3 และ 4 ถูกกำหนดลงบนสถานีนงานที่ 2 ซึ่งผลก็คือทำให้มีเวลาเหลือเท่ากับ 1 นาที เมื่อทำต่อจะสามารถได้จำนวนสถานี และงานที่อยู่ภายในสถานีนงานแสดงดังตารางที่ 6-30

□ ตารางที่ 6-30 ผลของการจัดสมดุลสายการผลิต ( $C = 15$  นาที)

| สถานีงาน | 1 | 2       | 3       | 4    | 5      | 6  |
|----------|---|---------|---------|------|--------|----|
| งาน      | 1 | 2, 3, 4 | 5, 6, 9 | 7, 8 | 10, 11 | 12 |
| เวลาว่าง | 3 | 1       | 0       | 3    | 5      | 8  |

ตารางที่ 6-31 ผลของการจัดสมดุลสายการผลิต ( $C = 16$  นาที)

| สถานีงาน | 1 | 2          | 3    | 4        | 5      |
|----------|---|------------|------|----------|--------|
| งาน      | 1 | 2, 3, 4, 5 | 6, 9 | 7, 8, 10 | 11, 12 |
| เวลาว่าง | 4 | 0          | 3    | 0        | 3      |

- สำหรับทางเลือกอื่นในการที่จะคงสถานีนงานไว้เท่ากับ 6 สถานีนงานก็คือ ในการจัดสมดุลจำนวน 6 สถานีนงานโดยกำหนดให้มีรอบเวลาน้อยกว่า 15 นาที เช่น 14 นาที หรือ 13 นาที ก็จะได้ผลการจัดสมดุลสายการผลิตดังตารางที่ 6-32

ตารางที่ 6-32 ผลของการจัดสมดุลสายการผลิต (C = 13 นาที)

| สถานีนงาน | 1 | 2    | 3 | 4          | 5     | 6      |
|-----------|---|------|---|------------|-------|--------|
| งาน       | 1 | 2, 3 | 6 | 4, 5, 7, 9 | 8, 10 | 11, 12 |
| เวลาว่าง  | 1 | 1    | 1 | 1          | 4     | 0      |