

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ทางผู้วิจัยจะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้กับการจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิต (Scheduling) รวมทั้งงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิต

การจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิตเป็นวิธีการแยกประเภทและปริมาณสินค้าให้ชัดเจนว่า ใครจะเป็นผู้ทำ จะใช้เครื่องจักรเครื่องใดผลิต จะเริ่มทำงานวันไหน ตั้งแต่เวลาใด ถึงเวลาใด และผลิตเป็นจำนวนเท่าใด กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เป็นการเตรียมตารางเวลาการทำงานให้กับทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจจะเป็นคนงานหรือเครื่องจักรอุปกรณ์ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิตมีความเกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต รวมถึงเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้อง โดยจะเน้นการวิเคราะห์ในเชิงปริมาณ การวิเคราะห์เชิงปริมาณเริ่มตั้งแต่การแปลงเป้าหมายในการตัดสินใจไปเป็น ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) และการแปลงข้อจำกัดต่างๆ ในการตัดสินใจไปเป็น ข้อจำกัดในแบบจำลอง (Explicit Constraints) โดยทั่วไปเป้าหมายในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องในการจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิตที่สำคัญมีดังนี้

1. การตอบสนองที่รวดเร็วต่อความต้องการของลูกค้า
2. การส่งมอบผลิตภัณฑ์ทันตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด
3. ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ได้แก่ คนและเครื่องจักร เป็นต้น

Baker (1974) ได้ให้คำจำกัดความของการจัดตารางการผลิต (Scheduling) ว่าเป็นการจัดสรรทรัพยากรภายในเวลาที่มีอยู่ เพื่อดำเนินงานที่ได้รับมอบหมายในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งทฤษฎีในการจัดตารางการผลิตมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ต้องนำมาพิจารณาดังต่อไปนี้

2.1.1 ตัวแปรหรือพารามิเตอร์พื้นฐาน

ในการจัดตารางการผลิต จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีตัวแปรหรือพารามิเตอร์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตด้วยทุกครั้ง ตัวแปรพื้นฐานมีดังต่อไปนี้

1. เวลากำหนดงานเสร็จ (Completion Time) หมายถึง เวลาเสร็จสิ้นของการทำงาน i แทนด้วยสัญลักษณ์ C_i
2. เวลาปฏิบัติงานบนหน่วยผลิต (Processing Time) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานของงาน i ที่ทรัพยากร j แทนด้วยสัญลักษณ์ T_{ij}
3. เวลาพร้อมทำงาน (Readiness Time) หมายถึง เวลาที่พร้อมในการทำงาน i แทนด้วยสัญลักษณ์ r_i
4. เวลากำหนดส่งงาน (Due Date) หมายถึง กำหนดเวลาที่เสร็จสิ้นของการทำงาน แทนด้วยสัญลักษณ์ d_i

2.1.2 วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตคือ การกำหนดว่าในการจัดตารางการผลิตนั้น ๆ ต้องการเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์อย่างไร เช่น การส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้ทันตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด การตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า อัตราการใช้งานของเครื่องจักรมากที่สุด เป็นต้น โดยทั่วไปการจัดตารางการผลิตสามารถจำแนกตามตัววัดผลต่าง ๆ ได้ ดังต่อไปนี้

1. จำนวนงานล่าช้า (Number of Tardy Jobs) หมายถึง จำนวนงานที่ส่งมอบไม่ทันเวลากำหนดส่งมอบงาน สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ (2.1)

$$N_T = \sum_{j=1}^n \delta(T_j) \quad (2.1)$$

โดยที่ $T_j = \max\{0, L_j\}$
 L_j หมายถึง ระยะเวลาที่งานเสร็จก่อนหรือหลังเวลา
กำหนดส่งงาน

$$\delta(T_j) = 1 \text{ เมื่อ } T_j > 0$$

$$\delta(T_j) = 0 \text{ เมื่อ } T_j \leq 0$$

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิต เพื่อให้ได้จำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด

2. เวลารวมของงานที่ล่าช้า (Total Tardiness) หมายถึง ค่าเวลารวมของงานที่ ล่าช้าในระบบ สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ (2.2)

$$T = \sum_{j=1}^n T_j \quad (2.2)$$

โดยที่ $T_j = \max\{0, L_j\}$
 L_j หมายถึง ระยะเวลาที่งานเสร็จก่อนหรือหลังเวลา
กำหนดส่งงาน

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิต เพื่อให้ได้ค่า
เวลารวมของงานล่าช้าน้อยที่สุด

3. เวลารวมที่งานเสร็จก่อนกำหนด (Total Earliness) หมายถึง ค่าเวลารวมของงานที่
เสร็จก่อนกำหนดส่งงาน สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ (2.4)

$$E = \sum_{j=1}^n E_j \quad (2.4)$$

โดยที่ $E_j = \max\{0, d_j - C_j\}$
 d_j หมายถึง เวลาที่กำหนดส่งงาน j
 C_j หมายถึง เวลาเสร็จงานของงาน j

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิต เพื่อให้ได้ค่า
เวลารวมของงานที่เสร็จก่อนกำหนดน้อยที่สุด

4. เวลารวมที่งานอยู่ในระบบ (Total Flow Time) หมายถึง ค่าเวลารวมของการผลิต
ทั้งหมดในสายการผลิต สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ (2.5)

$$F = \sum_{j=1}^n F_j \quad (2.5)$$

โดยที่ $F_j = C_j - r_j$
 F_j หมายถึง เวลาการไหลของงาน j
 C_j หมายถึง เวลาที่การทำงาน j เสร็จสิ้น
 r_j หมายถึง เวลาที่การทำงาน j พร้อมที่จะทำงาน

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิต เพื่อให้ได้ค่าเวลารวมของการผลิตทั้งหมดในสายการผลิตมีค่าน้อยที่สุด

2.1.3 ข้อจำกัดในการจัดตารางการผลิต (Constraint)

ข้อจำกัดในการจัดตารางการผลิตคือ เงื่อนไขที่ต้องพิจารณาในการจัดตารางการผลิตมีดังต่อไปนี้

2.1.3.1 ลำดับการดำเนินการ (Precedence Constraint)

งานแต่ละงานนั้นจะมีลำดับขั้นตอนของการทำงานอยู่ ดังนั้นในการจัดตารางการผลิตการทำงานขั้นตอนแรกต้องถูกกระทำก่อนการทำงานขั้นตอนถัดไป โดยไม่สามารถจัดตารางการผลิตข้ามขั้นตอนได้

2.1.3.2 การทดแทนกันได้ของทรัพยากร (Resource Replacement)

โดยทั่วไปในการผลิตจะมีทรัพยากรบางอย่างที่สามารถทดแทนกันได้ ดังนั้นการจัดตารางการผลิต ถ้าหากมีทรัพยากรบางตัวไม่ว่าง ก็สามารถนำทรัพยากรตัวอื่น ๆ ที่สามารถทดแทนได้และว่างอยู่มาทำงานแทน ทำให้ได้ตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.1.3.3 เงื่อนไขการแก้ปัญหาเมื่อเกิดการหยุดของทรัพยากรในระหว่างการดำเนินการ (Resume/Repeat) เมื่อทรัพยากรเกิดการหยุดขึ้นมา งานที่ทรัพยากรนั้นทำอยู่ต้องเริ่มต้นทำใหม่ (Repeat) หรือไม่ หรือว่าสามารถทำต่อได้เลย (Resume)

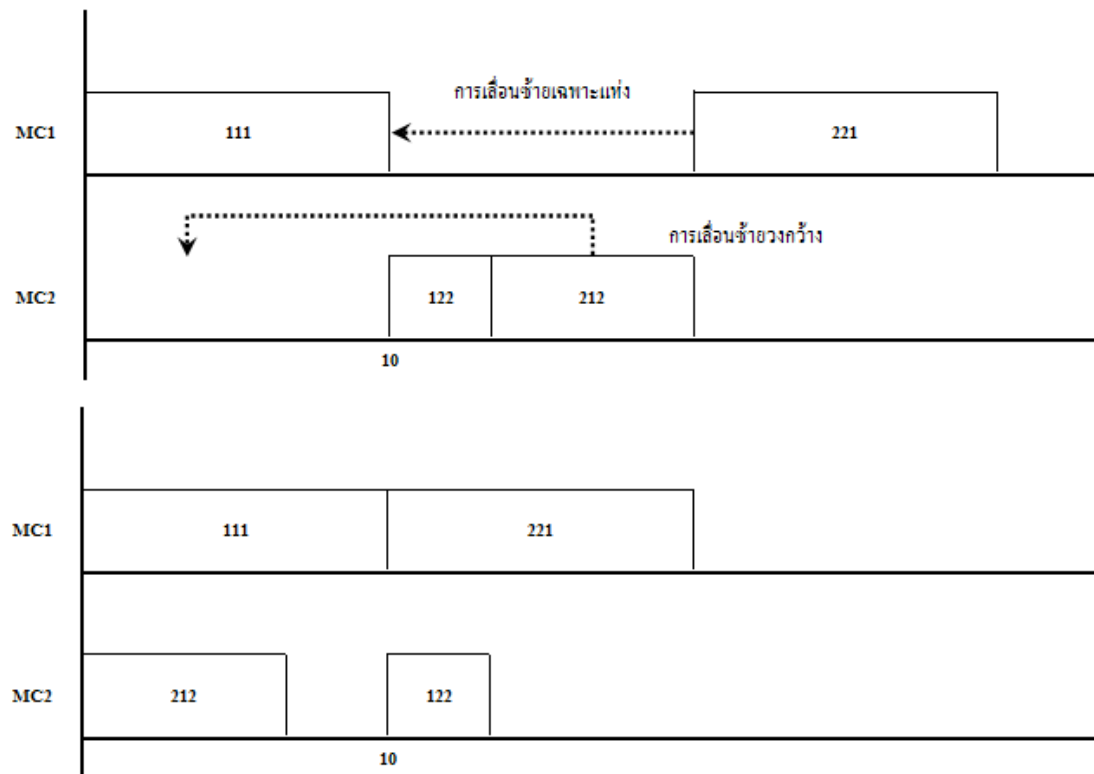
2.1.3.4 อื่น ๆ เช่น การอนุญาตให้สามารถขัดจังหวะการทำงานของทรัพยากรได้หรือไม่ (Preemption) เป็นต้น

2.1.4 ชนิดของการจัดตารางการผลิต

โดยในการจัดตารางการผลิตแต่ละชนิด จะมีวิธีการและขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการจัดตารางการผลิตแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

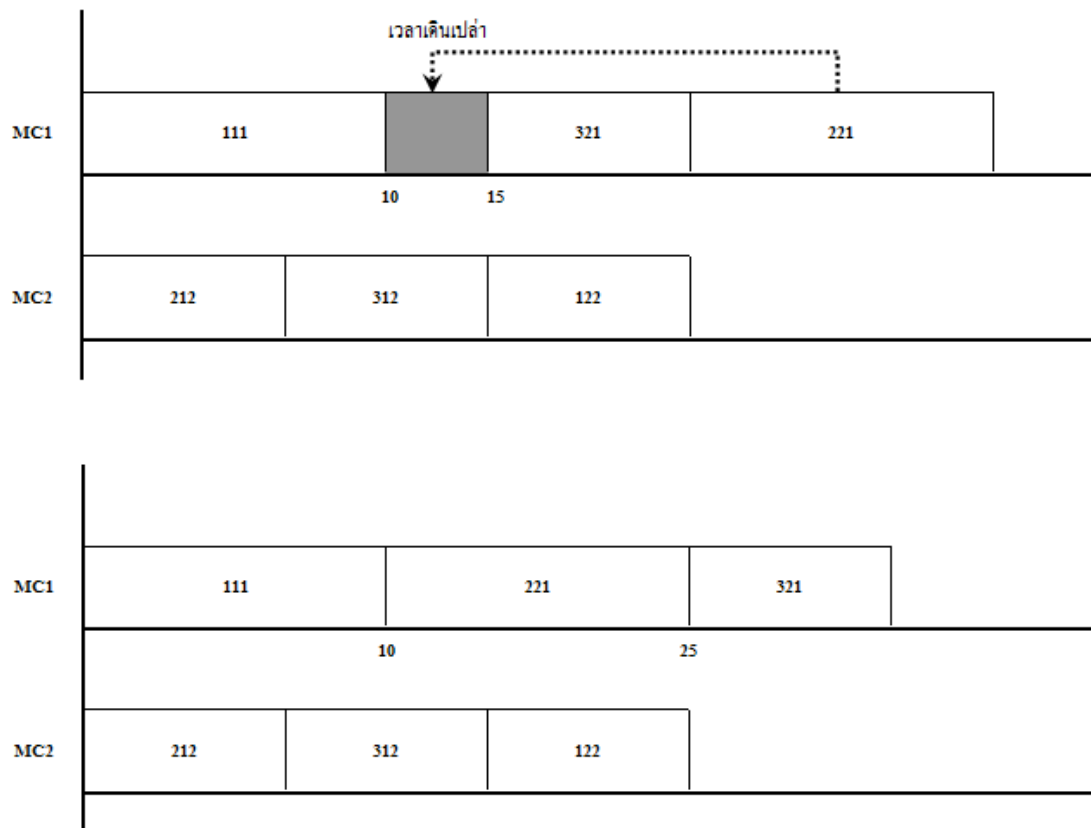
2.1.4.1 ตารางเชิงกึ่งกำลังใช้งาน (Semi-Active Schedule) เป็นการจัดตารางการผลิตที่เกิดจาก “การเลื่อนซ้ายเฉพาะแห่ง (Local Left-Shift)” คือ การเลื่อนการดำเนินงาน ให้มาทางซ้ายมากที่สุด โดยไม่มีการสลับข้ามการดำเนินงานอื่น ผลที่ได้จากการจัดตารางการผลิตชนิดนี้ ไม่ใช่เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

2.1.4.2 ตารางเชิงกำลังใช้งาน (Active Schedule) เป็นการจัดตารางการผลิตที่เกิดจาก “การเลื่อนซ้ายวงกว้าง (Global Left-Shift)” คือ การสลับข้ามการดำเนินงาน ให้มาอยู่ก่อนหน้าการดำเนินงานอื่น โดยไม่ทำให้เวลาเริ่มต้นของการดำเนินงานอื่นเปลี่ยนแปลง ผลที่ได้จากการจัดตารางการผลิตชนิดนี้ อาจจะเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้



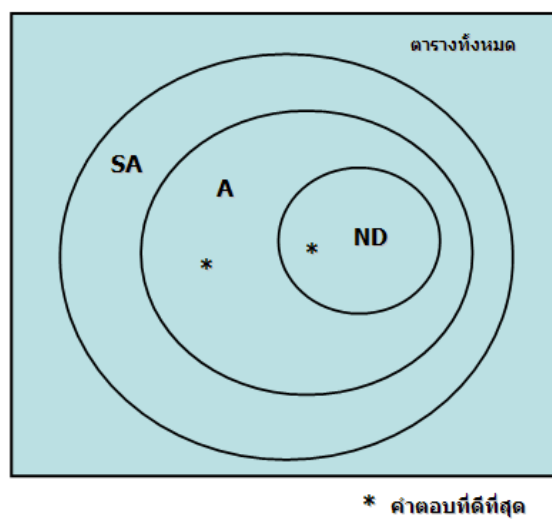
ภาพที่ 2.1 แสดงการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงกึ่งกำลังใช้งานและเชิงกำลังใช้งาน

2.1.4.3 ตารางเชิงไม่หน่วงเหนี่ยว (Non-Delay Schedule) เป็นการ จัดตารางการผลิต เพื่อให้เกิดเวลาเดินเปล่า (Idle Time) ในตารางการผลิตน้อยที่สุด โดยเกิดจากการสับการดำเนินงาน ซึ่งมีผลทำให้เวลาเริ่มต้นของการดำเนินงานอื่นเปลี่ยนแปลงได้ โดยผลที่ได้จากการจัดตารางการผลิตนี้ อาจจะเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้



ภาพที่ 2.2 แสดงการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงไม่หน่วยงานเดียว

จากลักษณะของการจัดตารางการผลิตแต่ละชนิด จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถแสดงได้จาก VENN diagram ดังรูป



ภาพที่ 2.3 VENN Diagram

จากภาพที่ 2.3 สามารถสรุปได้ว่า ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการจัดตารางการผลิต จะอยู่ในเซตของการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงกำลังใช้งาน (Active Schedule : A) และการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงไม่หน่วงเหนี่ยว (Non-Delay Schedule : ND) เท่านั้น จะไม่อยู่ในเซตของการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงกึ่งกำลังใช้งาน (Semi-Active Schedule : SA) ดังนั้น ในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการจัดตารางการผลิต จะพิจารณาเฉพาะการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงกำลังใช้งาน (Active Schedule : A) และการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงไม่หน่วงเหนี่ยว (Non-Delay Schedule : ND) เท่านั้น โดยสามารถแสดงรายละเอียดขั้นตอนของการจัดตารางการผลิตทั้งสองชนิดได้ ดังนี้

ขั้นตอนการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงกำลังใช้งาน (Active Schedule)

1. เริ่มต้นที่เวลา $t = 0$ หา PS_i (Partial Schedule) - เซตของการดำเนินงาน (Operation) ที่ถูกจัดลงตารางการผลิตไปแล้วบางส่วน ซึ่งเมื่อเริ่มต้น จะมีค่าเป็น 0 (เซตว่าง) เพราะยังไม่มีจัดการดำเนินงานใดๆ ลงในตารางการผลิต

2. หา S_i (Schedulable Operation) - เซตของการดำเนินงาน (Operation) ในแต่ละงานที่พร้อมจะถูกจัดลงในตารางการผลิตได้

3. หา Φ^* (Phi Star) = $\min \{\Phi_j\}$ คือ การหาเวลาแล้วเสร็จเร็วที่สุด (Earliest Finish) ของแต่ละการดำเนินงาน (Operation) ที่พร้อมจะถูกจัดลงในตารางการผลิต โดย $\Phi_j = \delta_j$ (เวลาเริ่มต้นเร็วที่สุด) + t_j (Processing time) โดยในการหาเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุด (Earliest Start : δ_j) ของแต่ละการดำเนินงาน (Operation) จะพิจารณาจากข้อจำกัด (Constraint) ต่าง ๆ ในแต่ละการดำเนินงาน โดยข้อจำกัดหลัก ๆ ได้แก่

- 3.1 ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลังของงาน (Precedence Constraint) คือ การดำเนินงานใดๆ จะสามารถเริ่มต้นทำงานได้ ก็ต่อเมื่อการดำเนินงานที่อยู่ก่อนหน้าทั้งหมด ได้ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้ว

- 3.2 ข้อจำกัดด้านความสามารถในการผลิต (Capacity Constraint) คือ ที่เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน จะไม่สามารถทำงาน 2 งานในเวลาเดียวกันพร้อมๆ กันได้

- 3.3 ข้อจำกัดด้านความพร้อมของการรับวัตถุดิบ (Non-Simultaneous Arrival Constraint) คือ เวลาในการได้รับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตของแต่ละงาน จะได้รับไม่พร้อมกัน บางงานอาจจะได้รับวัตถุดิบล่าช้าออกไป

โดยต้องพิจารณาเพื่อหาค่า Max จากข้อจำกัดทั้งหมดของแต่ละการดำเนินงาน เพื่อนำมากำหนด เวลาเริ่มต้นเร็วที่สุด (δ_j) ของการดำเนินงานนั้นๆ โดย

$$\delta_j = \text{Max} \{ \text{Precedence Constraint, Capacity Constraint, Non-simultaneous Arrival Constraint} \}$$

4. จากนั้นทำการเลือกการดำเนินงาน (Operation) ตามเงื่อนไข 2 ข้อนี้
 - 4.1 เลือกการดำเนินงานที่ใช้เครื่องจักร ที่ทำให้ δ^* เป็นจริงได้ หรือ m^*
 - 4.2 เลือกการดำเนินงาน ที่มีเวลาเริ่มต้น (δ_j) น้อยที่สุด โดยต้องมิต่าน้อยกว่าค่า δ^* หรือ $\delta_j < \delta^*$
5. การดำเนินงานที่ถูกเลือกตามเงื่อนไขของขั้นตอนที่ 4 จะเป็น Active Schedule ที่จะถูกจัดลงในตารางการผลิต ซึ่งถ้าหากการดำเนินงานที่ถูกเลือก มีมากกว่า 1 การดำเนินงานจะต้องใช้กฎในการจัดตารางการผลิตต่างๆ มาใช้ตัดสินเลือกอีกที เช่น กฎ SPT, EDD, MWKR เป็นต้น
6. ย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1- 5 จนครบ loop ในการจัดตารางการผลิตทั้งหมด

ขั้นตอนการจัดตารางการผลิตชนิดเชิงไม่หน่วงเหนี่ยว (Non-Delay Schedule)

1. เริ่มต้นที่เวลา $t = 0$ หา PS_i (Partial Schedule) - เซตของการดำเนินงาน (Operation) ที่ถูกจัดลงในตารางการผลิตไปแล้วบางส่วน ซึ่งเมื่อเริ่มต้น จะมีค่าเป็น 0 (เซตว่าง) เพราะยังไม่มีจัดการดำเนินงานใดๆ ลงในตารางการผลิต
2. หา S_i (Schedulable Operation) - เซตของการดำเนินงาน (Operation) ในแต่ละงานที่พร้อมจะถูกจัดลงในตารางการผลิตได้
3. หา δ^* (Zigma Star) = $\min \{ \delta_j \}$ คือ การหาเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุด (Earliest Start) ของแต่ละการดำเนินงาน (Operation) ที่พร้อมจะถูกจัดลงในตารางการผลิต เพื่อให้เกิดเวลาเดินเปล่า (Idle Time) น้อยที่สุดในการจัดตารางการผลิต โดยในการหาเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุด (Earliest Start : δ_j) ของแต่ละการดำเนินงาน (Operation) จะพิจารณาจากข้อจำกัด (Constraint) ต่างๆ ในแต่ละการดำเนินงาน โดยข้อจำกัดหลักๆ ได้แก่
 - 3.1 ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลังของงาน (Precedence Constraint) คือ การดำเนินงานใด ๆ จะสามารถเริ่มต้นทำงานได้ ก็ต่อเมื่อการดำเนินงานที่อยู่ก่อนหน้าทั้งหมด ได้ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้ว
 - 3.2 ข้อจำกัดด้านความสามารถในการผลิต (Capacity Constraint) คือ ที่เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน จะไม่สามารถทำงาน 2 งานในเวลาเดียวกันพร้อมๆ กันได้

3.3 ข้อจำกัดด้านความพร้อมของการรับวัตถุดิบ (Non-Simultaneous Arrival Constraint) คือ เวลาในการได้รับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตของแต่ละงาน จะได้รับไม่พร้อมกัน บางงานอาจจะได้รับวัตถุดิบล่าช้าออกไป

โดยต้องพิจารณาเพื่อหาค่า Max จากข้อจำกัดทั้งหมดของแต่ละการดำเนินงาน เพื่อนำมากำหนด เวลาเริ่มต้นเร็วสุด (δ_j) ของการดำเนินงานนั้นๆ โดย

$$\delta_j = \text{Max} \{ \text{Precedence Constraint, Capacity Constraint, Non-simultaneous Arrival Constraint} \}$$

4. จากนั้นทำการเลือกการดำเนินงาน (Operation) ตามเงื่อนไข 2 ข้อนี้

4.1 เลือกการดำเนินงานที่ใช้เครื่องจักร ที่ทำให้ δ^* เป็นจริงได้ หรือ m^*

4.2 เลือกการดำเนินงานที่มีเวลาเริ่มต้น (δ_j) น้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ δ^* หรือ $\delta_j = \delta^*$

5. การดำเนินงานที่ถูกเลือกตามเงื่อนไขของขั้นตอนที่ 4 จะเป็น Non-Delay Schedule ที่จะถูกจัดลงในตารางการผลิต ซึ่งถ้าหากการดำเนินงานที่ถูกเลือก มีมากกว่า 1 การดำเนินงาน จะต้องใช้ กฎในการจัดตารางการผลิตต่าง ๆ มาใช้ตัดสินเลือกอีกที ตัวอย่างเช่น กฎ SPT, EDD, MWKR เป็นต้น

6. ย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1- 5 จนครบ loop ในการจัดตารางการผลิตทั้งหมด

2.1.5 กฎและวิธีการจัดตารางการผลิต

กฎและวิธีการจัดตารางการผลิตมีหลายวิธีการในการจัดลำดับของขั้นตอนการทำงาน ดังต่อไปนี้

2.1.5.1 วิธีฮิวริสติก (Heuristic Method)

Morton (1986) วิธีการฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ใช้ฮิวริสติกมาช่วยในการจัดตารางการผลิต วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายใช้เวลาไม่มากและได้ประสิทธิภาพของตารางการผลิตที่ดีพอสมควร ฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตมีหลายตัวด้วยกันแต่ที่นิยมใช้กันมากมีดังต่อไปนี้

1) ฮิวริสติกการกระจายแบบพื้นฐาน (Simple Dispatching Heuristic)

วิธีการนี้เป็นการใช้หลักลำดับความสำคัญเป็นเกณฑ์ในการจัดตารางการผลิต โดยจะใช้ร่วมกับวิธีการจัดตารางการผลิตแบบต่างๆ โดยสามารถจำแนกแยกย่อยตามลักษณะของลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้

(1) ลำดับความสำคัญแบบสถิตย์ (Static Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยลำดับความสำคัญจะคงที่ตลอดการใช้งาน เช่น ให้เลือกงานที่เข้ามาก่อน

(2) ลำดับความสำคัญแบบพลวัต (Dynamic Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะเปลี่ยนแปลงไปทุกครั้งที่งานใดๆ ถูกกระทำ เช่น จำนวนงานที่เหลือ

(3) ลำดับความสำคัญแบบทั้งหมด (Global Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งหรือสถานะในระบบ เช่น วันส่งมอบงานเร็วสุด

(4) ลำดับความสำคัญแบบเฉพาะ (Local Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้ขึ้นอยู่กับสถานะตำแหน่งบนเครื่องจักร เช่น เวลาในการปฏิบัติงานที่สั้นที่สุด

(5) ลำดับความสำคัญแบบพยากรณ์ (Forecast Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะขึ้นอยู่กับสถานะของเครื่องจักรและประสิทธิภาพในการพยากรณ์งานที่เหลืออยู่ เช่น อัตราส่วนวิกฤตน้อยสุด

จากการจำแนกลำดับความสำคัญทั้งหมดในขั้นต้น สามารถแยกย่อยเป็นลำดับความสำคัญแบบต่างๆ ดังนี้

(1) EDD (Earliest Due Date) กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการทำงานที่จะถึงกำหนดส่งงานเร็วที่สุดทำก่อน ซึ่งเป็นวิธีที่ดีที่สุดในด้านลดค่าเฉลี่ยของวันที่ล่าช้าจากกำหนดส่งมอบงาน เพื่อป้องกันการโดนปรับจากส่งงานล่าช้า

(2) LWKR (Least Work Remaining) กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับงานที่มีภาระงานน้อยที่สุดก่อน (นับการดำเนินงานปัจจุบันด้วย) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของการผลิตที่ทำการผลิตทั้งหมดในระบบ (Total Flow Time)

(3) MWKR (Most Work Remaining) กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับงานที่มีภาระงานที่เหลืออยู่มากที่สุดก่อน (นับการดำเนินงานปัจจุบันด้วย) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลาที่ระบบทำงานขึ้นสุดท้ายเสร็จสิ้น (Makespan)

(4) MOPNR (Most Operation Remaining) กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับงานที่มีจำนวนของการดำเนินงานที่เหลืออยู่มากที่สุดก่อน (นับการดำเนินงานปัจจุบันด้วย) ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลาที่ระบบทำงานขึ้นสุดท้ายเสร็จสิ้น (Makespan)

(5) SMT (Smallest Value Obtained by Multiplying Processing Time with Total Processing Time) กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่มีค่าผลคูณของค่าเวลาการทำงานของขั้นตอนการทำงานที่พิจารณากับค่าเวลาการทำงานทั้งหมดของงานน้อยที่สุดก่อน ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของการผลิตที่ทำการผลิตทั้งหมดในระบบ (Total Flow Time)

(6) SPT (Shortest Processing Time) กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่มีค่าเวลาการทำงานของขั้นตอนน้อยที่สุด ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของงานที่ล่าช้า (Total Tardiness) และตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของการผลิตที่ทำการผลิตทั้งหมดในระบบ (Total Flow Time)

(7) STPT (Shortest Total Processing Time) กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่มีค่าผลรวมของเวลาการทำงานทั้งหมดของงานน้อยที่สุด ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของงานที่ล่าช้า (Total Tardiness) และตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของการผลิตที่ทำการผลิตทั้งหมดในระบบ (Total Flow Time)

(8) LWKR With Setup Time กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับงานที่มีภาระงานน้อยที่สุดก่อน (นับการดำเนินงานปัจจุบันด้วย) โดยนำเวลาของการตั้งเครื่องมาคำนวณด้วย ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของการผลิตที่ทำการผลิตทั้งหมดในระบบ (Total Flow Time)

(9) MWKR With Setup Time กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับงานที่มีภาระงานที่เหลืออยู่มากที่สุดก่อน (นับการดำเนินงานปัจจุบันด้วย) โดยนำเวลาของการตั้งเครื่องมาคำนวณด้วย ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลาที่ระบบทำงานสิ้นสุดท้ายเสร็จสิ้น (Makespan)

(10) SMT With Setup Time กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่มีค่าผลคูณของค่าเวลาการทำงานของขั้นตอนการทำงานที่พิจารณากับค่าเวลาการทำงานทั้งหมดของงานน้อยที่สุดก่อน โดยนำเวลาของการตั้งเครื่องมาคำนวณด้วย ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของการผลิตที่ทำการผลิตทั้งหมดในระบบ (Total Flow Time)

(11) SPT With Setup Time กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่มีค่าเวลาการทำงานของขั้นตอนน้อยที่สุด โดยนำเวลาของการตั้งเครื่องมาคำนวณด้วย ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของงานที่ล่าช้า (Total Tardiness) และตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของการผลิตที่ทำการผลิตทั้งหมดในระบบ (Total Flow Time)

(12) STPT With Setup Time กฎนี้เป็นการเลือกขั้นตอนการดำเนินงานที่มีค่าผลรวมของเวลาการทำงานทั้งหมดของงานน้อยที่สุด โดยนำเวลาของการตั้งเครื่องมาคำนวณด้วย ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของงานที่ล่าช้า (Total Tardiness) และตัววัดผลที่เกี่ยวกับเวลารวมของการผลิตที่ทำการผลิตทั้งหมดในระบบ (Total Flow Time)

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของกฎการจัดลำดับความสำคัญของงาน

Job	Routing			Process time (t_i)			Due Date
	Op1	Op2	Op3	Op1	Op2	Op3	
<u>1</u>	<u>MC1</u>	MC2	MC3	50	60	70	200
<u>2</u>	MC2	<u>MC1</u>	MC3	90	80	40	220
<u>3</u>	<u>MC3</u>	MC2	MC1	60	50	30	190

จากข้อมูลข้างต้น ให้หาผลลัพธ์จากการใช้กฎการจัดลำดับความสำคัญต่างๆ ในการตัดสินใจ โดยสมมติว่าเป็นการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี Non Delay Schedules ที่งาน $\{(1,1,1), (2,2,1), (3,1,3)\}$ โดยใช้สัญลักษณ์แทน (i, j, k) ซึ่งหมายถึง การดำเนินงานของงานที่ i , ขั้นตอนที่ j , โดยใช้เครื่องจักรเครื่องที่ k แล้วใช้กฎต่างๆ ในการตัดสินใจ ดังนี้

(1) กฎ EDD (Earliest Due Date) เลือกงานที่มี Due Date เร็วสุด จากข้อมูลในตาราง

Due Date ของงาน $(1,1,1)$ คือ 200

Due Date ของงาน $(2,2,1)$ คือ 220

Due Date ของงาน $(3,1,3)$ คือ 190

ดังนั้น ถ้าใช้กฎ EDD เลือกงาน $(3,1,3)$ เนื่องจากมี Due Date เร็วสุด $= 190$ ($d_{(3,1,3)} = 190 < d_{(1,1,1)} = 200 < d_{(2,2,1)} = 220$)

(2) กฎ LWKR (Least Work Remaining) เลือกงานที่มีผลรวมของ Processing Time ของขั้นตอนที่เหลืออยู่ ที่มีค่าน้อยที่สุด (โดยต้องรวม Processing Time ของขั้นตอนปัจจุบันที่พิจารณาอยู่ด้วย) จากข้อมูลในตาราง

Work Remaining Time ของงาน $(1,1,1)$ คือ $50 + 60 + 70 = 180$

($t_{(1,1,1)} = 50, t_{(1,2,2)} = 60, t_{(1,3,3)} = 70$)

Work Remaining Time ของงาน $(2,2,1)$ คือ $80 + 40 = 120$

($t_{(2,2,1)} = 80, t_{(2,3,3)} = 40$)

Work Remaining Time ของงาน $(3,1,3)$ คือ $60 + 50 + 30 = 140$

($t_{(3,1,3)} = 60, t_{(3,2,2)} = 50, t_{(3,3,1)} = 30$)

ดังนั้น ถ้าใช้กฎ LWKR เลือกงาน (2,2,1) เนื่องจากมี Work Remaining Time น้อยที่สุด = 120

(3) กฎ MWKR (Most Work Remaining) เลือกงานที่มีผลรวมของ Processing Time ของขั้นตอนที่เหลืออยู่ ที่มีค่ามากที่สุด (โดยต้องรวม Processing Time ของขั้นตอนปัจจุบันที่พิจารณาอยู่ด้วย) จากข้อมูลในตาราง

Work Remaining Time ของงาน (1,1,1) คือ $50 + 60 + 70 = 180$

$(t_{(1,1,1)} = 50, t_{(1,2,2)} = 60, t_{(1,3,3)} = 70)$

Work Remaining Time ของงาน (2,2,1) คือ $80 + 40 = 120$

$(t_{(2,2,1)} = 80, t_{(2,3,3)} = 40)$

Work Remaining Time ของงาน (3,1,3) คือ $60 + 50 + 30 = 140$

$(t_{(3,1,3)} = 60, t_{(3,2,2)} = 50, t_{(3,3,1)} = 30)$

ดังนั้น ถ้าใช้กฎ MWKR เลือกงาน (1,1,1) เนื่องจากมี Work Remaining Time มากที่สุด = 180

(4) กฎ MOPNR (Most Operation Remaining) เลือกงานที่มีจำนวนขั้นตอนการดำเนินงาน (Operation) คงเหลือ มากที่สุด (โดยต้องรวมขั้นตอนการดำเนินงาน (Operation) ปัจจุบันที่พิจารณาอยู่ด้วย) จากข้อมูลในตาราง

Operation Remaining ของงาน (1,1,1) เท่ากับ 3 ขั้นตอนคือ (1,1,1) , (1,2,2) , (1,3,3)

Operation Remaining ของงาน (2,2,1) เท่ากับ 2 ขั้นตอนคือ (2,2,1) , (2,3,3)

Operation Remaining ของงาน (3,1,3) เท่ากับ 3 ขั้นตอนคือ (3,1,3) , (3,2,2) , (3,3,1)

ดังนั้น ถ้าใช้กฎ MOPNR จะมี 2 งานให้เลือกคือ (1,1,1) , (3,1,3) เนื่องจากมีจำนวนขั้นตอนการดำเนินงาน (Operation) คงเหลือ มากที่สุด เท่ากัน คือ 3 ขั้นตอน โดยให้เลือกงาน (1,1,1) เนื่องจาก การประมวลผลตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ถ้ามีงาน 2 งานให้เลือก โปรแกรมจะเลือกงานแรกๆ ก่อนเสมอ

(5) กฎ SMT (Smallest Value Obtained by Multiplying Processing Time with Total Processing Time) เลือกงานที่มีค่าผลลัพธ์ จากการนำ Processing Time ของการดำเนินงานปัจจุบันที่พิจารณาอยู่ (t_j) คูณกับ ยอดรวมของ Processing Time ของงานนั้น ($t_j \times \text{Total Processing Time}$) โดยเลือกงานที่มีค่าผลลัพธ์น้อยที่สุด จากข้อมูลในตาราง Processing Time ของงาน (1,1,1) $(t_{(1,1,1)} = 50)$, Total Processing Time ของงานที่ 1 = $180 (50 + 60 + 70)$

ดังนั้น $t_{(1,1,1)} \times \text{Total Processing Time}$ ของงานที่ 1 = $50 \times 180 = 9000$ Processing Time ของงาน (2,2,1) $(t_{(2,2,1)} = 80)$, Total Processing Time ของงานที่ 2 = $210 (90 + 80 + 40)$

ดังนั้น $t_{(2,2,1)} \times \text{Total Processing Time ของงานที่ 2} = 80 \times 210 = 16800$ Processing Time ของงาน

$(3,1,3) (t_{(3,1,3)}) = 60$, Total Processing Time ของงานที่ 3 = 140 (60 + 50 + 30)

ดังนั้น $t_{(3,1,3)} \times \text{Total Processing Time ของงานที่ 3} = 60 \times 140 = 8400$

ดังนั้น ถ้าใช้กฎ SMT เลือกงาน (3,1,3) เนื่องจากมีค่าผลลัพธ์ของ $t_j \times \text{Total Processing Time}$ น้อยที่สุด เท่ากับ 8400

(6) กฎ SPT (Shortest Processing Time) เลือกงานที่มี Processing Time สั้นที่สุด จากข้อมูลในตาราง

Processing Time ของงาน (1,1,1) คือ 50

Processing Time ของงาน (2,2,1) คือ 80

Processing Time ของงาน (3,1,3) คือ 60

ดังนั้น ถ้าใช้กฎ SPT เลือกงาน (1,1,1) เนื่องจากมี Processing Time สั้นที่สุด = 50 ($t_{(1,1,1)} = 50 < t_{(3,1,3)} = 60 < t_{(2,2,1)} = 80$)

(7) กฎ STPT (Shortest Total Processing Time) เลือกงานที่มี Total Processing Time (ผลรวมของ Processing Time ของทุกขั้นตอนในงานนั้นๆ ไม่ใช่เฉพาะของขั้นตอนที่เหลืออยู่ (Remaining) เท่านั้น) ที่สั้นที่สุด จากข้อมูลในตาราง

Total Processing Time ของงาน (1,1,1) คือ $50 + 60 + 70 = 180$

($t_{(1,1,1)} = 50, t_{(1,2,2)} = 60, t_{(1,3,3)} = 70$)

Total Processing Time ของงาน (2,2,1) คือ $90 + 80 + 40 = 210$

($t_{(2,1,2)} = 90, t_{(2,2,1)} = 80, t_{(2,3,3)} = 40$)

Total Processing Time ของงาน (3,1,3) คือ $60 + 50 + 30 = 140$

($t_{(3,1,3)} = 60, t_{(3,2,2)} = 50, t_{(3,3,1)} = 30$)

ดังนั้น ถ้าใช้กฎ STPT เลือกงาน (3,1,3) เนื่องจากมี Total Processing Time สั้นที่สุด = 140 ($t_{(3,1,3)} = 60 + t_{(3,2,2)} = 50 + t_{(3,3,1)} = 30$)

2) ฮิวริสติกค้นหา (Search Heuristic)

เป็นการหาผลลัพธ์โดยทำการประมวลผลฮิวริสติกซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้งจนได้ผลที่ดี วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ใช้ความสามารถในการคำนวณมาก ตัวอย่างของวิธีการแบบนี้มีดังต่อไปนี้

(1) Guide Randomized Dispatching เป็นวิธีการสุ่มเอาฮิวริสติกต่างๆ มาใช้ในการคำนวณ โดยตอน เริ่มต้นจะเริ่มต้นด้วยฮิวริสติกที่ดีที่สุด

(2) Guide Beam Search เป็นการนำฮิวริสติกไปใช้ร่วมกับวิธีเบรอันซ์แอนด์บาวด์

2.1.5.2 วิธีbranซ์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound Algorithm)

Baker (1974) วิธีการนี้ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนคือ การbranซ์ (branching) เป็นกระบวนการแบ่งส่วนของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ออกเป็น ปัญหาย่อยซึ่งมากกว่า 2 ปัญหาย่อยขึ้นไป และการบาวด์ (bounding) เป็นกระบวนการของการคำนวณโลเวอร์บาวด์ (lower bound) ที่ดีที่สุดของปัญหาย่อยนั้น ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับโลเวอร์บาวด์ที่ดี ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

1) กระบวนการbranซ์ (branching) เป็นกระบวนการแทนที่ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ด้วย ปัญหาย่อยซึ่งมีลักษณะดังนี้

- (1) ปัญหาย่อยมีหลายลักษณะเมื่อรวมปัญหาย่อยทุกกรณีแล้วจะได้ปัญหาเดิม (exhaustive) และเป็นปัญหาที่ไม่เกิดร่วมกัน (mutually exclusive)
- (2) เมื่อเราแก้ปัญหาย่อยจะเป็นการแก้ปัญหาคเดิมบางส่วนด้วย
- (3) ปัญหาย่อยมีขนาดเล็กกว่าปัญหาคเดิม

หลังจากผ่านกระบวนการbranซ์แล้วจะได้โครงสร้างของปัญหาที่มีลักษณะเหมือน โครงสร้างของต้นไม้ โดยประกอบไปด้วยเซตของการจัดการตารางการผลิตชนิดเชิงกำลังใช้งาน (Active Schedule) หรือการจัดการตารางชนิดเชิงไม่หน่วงเหนี่ยว (Non-Delay Schedule)

2) วิธีการหาโลเวอร์บาวด์ (lower bound)

วิธีการหาโลเวอร์บาวด์เป็นการประมาณค่าตัววัดผลที่สามารถใช้ในการประเมินปัญหา เกี่ยวกับการส่งมอบสินค้าไม่ทันกำหนดเวลา ได้แก่ จำนวนงานล่าช้า เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย โดยทำการเปรียบเทียบและเลือก node ที่มีค่าโลเวอร์บาวด์น้อยที่สุด ตามลำดับความสำคัญของตัววัดผลดังนี้ จำนวนงานล่าช้า เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ตามลำดับ

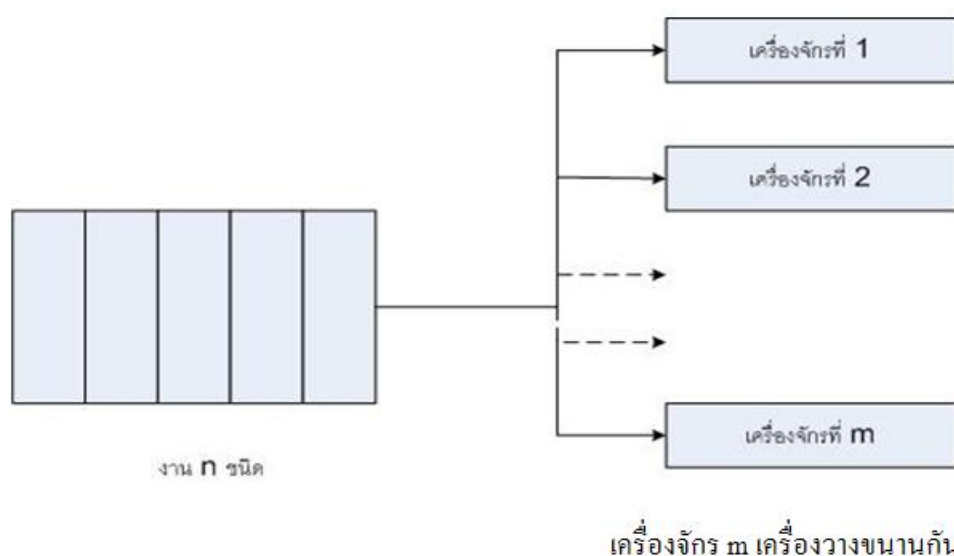
2.1.6 รูปแบบปัญหาการจัดการตารางการผลิตตามการจัดเรียงของเครื่องจักร

2.1.6.1 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบเดี่ยว (Single Machine)

ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว ซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดในรูปแบบ การจัดเรียงเครื่องจักรที่เป็นไปได้ทั้งหมด นอกจากนั้นแล้วระบบนี้ยังอาจจะเป็นรูปแบบในกรณี พิเศษของการจัดเรียงเครื่องจักรแบบซับซ้อนได้ เช่น ในระบบผลิตที่มีหลายเครื่องจักรและมี เครื่องจักรเครื่องหนึ่งที่เป็นคอขวดของระบบ ดังนั้นการจัดลำดับงานที่เหมาะสมให้กับเครื่องจักรนี้ จะเป็นตัวกำหนดสมรรถนะของระบบ นอกจากนี้แบบจำลองสำหรับเครื่องจักรเดียวยังสามารถ นำไปใช้ในการแก้ปัญหาแบบแยกส่วน (Decompose) ได้ ซึ่งในกรณีนี้ ปัญหาการจัดการตารางของ ระบบผลิตที่ซับซ้อนจะถูกแยกออกเป็นปัญหาการจัดการตารางเครื่องจักรเดี่ยวๆ จำนวนหนึ่ง

2.1.6.2 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine)

โดยวิธีการนี้ จะพิจารณาถึงการใช้เครื่องจักรหลายเครื่อง โดยที่เครื่องจักรเหล่านี้วางขนานกัน ซึ่งกำหนดให้มีจำนวนเครื่องจักร m เครื่อง และในกรณีนี้จะอนุญาตให้งานใดก็ตามสามารถเข้าไปยังเครื่องจักรได้เพียงเครื่องเดียวเท่านั้น โดยจะไม่สามารถย้ายไปเครื่องอื่นได้ ระบบผลิตจำนวนมากมีการทำงานแบบนี้ ตัวอย่างเช่น ในโรงงานแห่งหนึ่งมีสายการผลิตที่ประกอบด้วยหลายสถานีงาน ซึ่งแต่ละสถานีงานอาจจะประกอบด้วยเครื่องจักรที่ขนานกันอยู่จำนวนหลายเครื่อง เมื่องาน j มาถึงยังแต่ละสถานีงานที่มีเครื่องจักรขนานกันอยู่นั้น งาน j สามารถเลือกที่จะทำงานบนเครื่องจักรเครื่องใดก็ได้ใน m เครื่องเหล่านี้ หรืออาจจะทำงานบนเครื่องจักรเครื่องใดก็ได้ที่อยู่ในเซตย่อยของ m เครื่องที่กำหนดให้ โดยสามารถแสดงได้ดังรูป



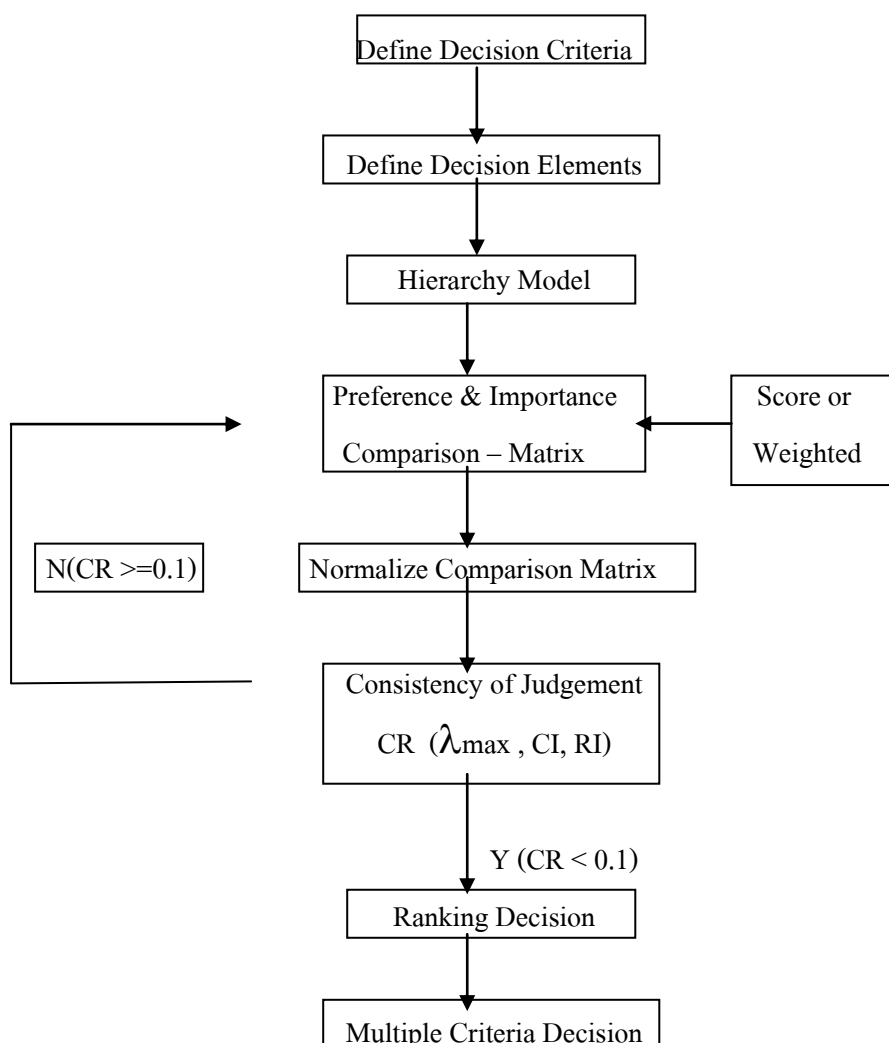
ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะการจัดเรียงเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel Machine)

2.1.6.3 การจัดเรียงเครื่องจักรสำหรับการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop)

ระบบนี้ประกอบด้วยเครื่องจักร m เครื่อง งานทั้งหมดจะมีเส้นทางไหลของงานเป็นรูปแบบเดียวกัน การดำเนินงานทั้งหมดที่อยู่ในลำดับเดียวกันจะต้องถูกดำเนินการโดยเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน นั่นคือ ในแต่ละงาน การดำเนินงานที่ 1 จะต้องทำบนเครื่องจักรเครื่องที่ 1 การดำเนินงานที่ 2 จะต้องทำบนเครื่องจักรเครื่องที่ 2 และเป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งถึงเครื่องจักร

เทคนิค AHP (Analytical Hierarchy Process) เป็นวิธีที่นำมาใช้วิเคราะห์ผลในการจัดตารางการผลิตแต่ละวิธีเพื่อตัดสินใจเลือกกฎและวิธีการจัดตารางการผลิตที่มีผลลัพธ์โดยรวมเหมาะสมที่สุด หรือมีน้ำหนักของปัจจัยโดยรวมมากที่สุด

แผนภูมิขั้นตอนเทคนิค AHP



ภาพที่ 2.6 ภาพแสดงแผนภูมิขั้นตอนเทคนิค AHP

ทฤษฎี AHP พัฒนาขึ้นมาโดย Thomas L. Satty ในการวิเคราะห์การตัดสินใจในปัญหาที่มีตัววัดผลหรือเกณฑ์การตัดสินใจหลายเกณฑ์ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ

1. การสร้างแบบจำลองของปัญหาการตัดสินใจ (Modeling the Decision Problem) เป็นการสร้างแบบจำลองของปัญหาการตัดสินใจด้วยการแบ่งลำดับชั้น (hierarchy) ของความสัมพันธ์ของการตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ (criteria) และทางเลือกในแต่ละ ทางเลือก (alternative)

2. การเปรียบเทียบลำดับความสำคัญ (Preference and Importance Comparison) เป็นการพัฒนาการตัดสินใจเลือกทางเลือกเพื่อให้ได้ความสำคัญของเกณฑ์การ ตัดสินใจแต่ละเกณฑ์โดยวิธีการเปรียบเทียบเป็นคู่ (pairwise comparison)

3. การคำนวณลำดับความสำคัญสัมพัทธ์ (Computing Relative Priority) เป็นการคำนวณและประเมินความสำคัญของทางเลือกแต่ละทางเลือก (decision element) ในแต่ละเกณฑ์ การตัดสินใจ โดยการเปรียบเทียบกันในรูปแบบของตัวเลข (numerical)

4. การพิจารณาความสอดคล้องในการเปรียบเทียบ (Consistency of Judgement) เป็นการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) จากการคำนวณเพื่อแสดงว่า การเปรียบเทียบและการจัดลำดับความสำคัญของทางเลือก แต่ละทางเลือก ในแต่ละเกณฑ์การ ตัดสินใจมีค่าอัตราส่วน CR โดยปกติหรือไม่ ถ้าปกติจะมีค่าไม่เกิน 0.1 หรือ 10%

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\left(\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \right)}{RI} \quad (2.11)$$

5. การจัดลำดับทางเลือกในการตัดสินใจ (Ranking Decision Alternative) เป็นการเลือก ลำดับความสำคัญจากตัวเลขน้าหนักที่คำนวณได้ในทางเลือกแต่ละทางเลือก เพื่อตัด สินใจ

2.1.7.1 การสร้างแบบจำลองปัญหาการตัดสินใจ (Modeling the Decision Problem)

กระบวนการ AHP ทำการแตกปัญหาที่มีตัววัดผลหรือเกณฑ์การตัดสินใจหลายเกณฑ์ ในรูปแบบของลำดับชั้น (hierarchy level) ดังนี้

Top level เป็น Overall Objective

2nd level เป็นเกณฑ์การตัดสินใจหลัก (major criteria)

3rd level เป็นการแบ่งลำดับความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจสู่เกณฑ์การตัดสินใจย่อย (sub criteria) Last level เป็นทางเลือกในการตัดสินใจ (decision alternative)

2.1.7.2 การเปรียบเทียบลำดับความสำคัญ (Preference and Importance Comparison)

ผู้ตัดสินใจต้องทำการสร้างเมตริกการเปรียบเทียบ (comparison matrices) โดยการกำหนดความสำคัญเป็นตัวเลขของทางเลือกแต่ละทางเลือก การเปรียบเทียบจะทำได้โดยการจัดอันดับของทางเลือกที่ต้องการเลือกแล้วให้คะแนนความสำคัญว่า ทางเลือกใดมีความสำคัญหรือเป็นไปตามวัตถุประสงค์มากกว่า ดังสเกล (scale) ต่อไปนี้

<u>Preference</u>	<u>Definition</u>
1	มีความสำคัญเท่ากัน
3	มีความสำคัญมากกว่าปานกลาง
5	มีความสำคัญมากกว่ามาก
7	มีความสำคัญมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด
9	มีความสำคัญมากกว่าเป็นอย่างมาก

ส่วนตัวเลขอยู่ในระหว่างตัวเลขของความสำคัญ อาจจะใช้เมื่อผู้ตัดสินใจ เปรียบเทียบแล้วรู้สึกเป็นกลางๆ ในระหว่างค่าลำดับความสำคัญ 2 ลำดับ

2.1.7.3 การคำนวณลำดับความสำคัญสัมพัทธ์ (Computing Relative Priority)

ขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณลำดับความสำคัญของทางเลือกแต่ละทางเลือก โดยใช้การเปรียบเทียบเป็นคู่ (pairwise comparison) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. รวมค่าของคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ของเมตริกการเปรียบเทียบเป็นคู่ (pairwise comparison matrix) แล้วเอาไปหารจำนวนตัวเลข (scores) ที่อยู่ใน pairwise matrix เรียกว่า “Normalized Comparison Matrix”

2. คำนวณค่าเฉลี่ยของ Normalized Comparison Matrix (NCM) ของ แถวแต่ละแถว (ROW) เป็นค่าลำดับความสำคัญสัมพัทธ์ (relative priority) ของทางเลือกแต่ละทางเลือกที่ตรงกับทางเลือกนั้นในเมตริก

2.1.7.4 การพิจารณาความสอดคล้องการเปรียบเทียบ (Consistency of Judgement)

ขั้นตอนนี้เป็นส่วนสำคัญอีกอย่างหนึ่งของ AHP ในการตัดสินใจจากเมตริกการเปรียบเทียบเป็นคู่ (pairwise comparison matrix) ยกตัวอย่างเช่น ถ้าให้ A สำคัญมากกว่า B (5) มาก และ B สำคัญมากกว่า C (3) ปานกลาง แล้วเราควรทราบว่า A สำคัญมากกว่า C (7) อย่างเห็นได้ชัด หรือ มากกว่า 7 โดยปกติในการเปรียบเทียบบ่อยครั้งพบว่าผู้ตัดสินใจกำหนด preference score ไม่สอดคล้องกัน ดังนั้น AHP จะคำนึงถึงความสอดคล้องของการเปรียบเทียบ (consistency) ในเมตริกการเปรียบเทียบ (comparison matrix) ว่ามีความเชื่อมั่นได้หรือไม่ว่าสอดคล้องกัน โดยพิจารณาจาก

อัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio) โดยปกติจะยอมรับค่าที่มี CR ไม่เกิน 0.1 ซึ่งใช้เป็นดัชนีในการพิจารณาและแก้ไขการเปรียบเทียบและตัดสินใจในเมตริกการเปรียบเทียบ

อัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio) คำนวณได้โดย

1. คำนวณค่า weighted sum โดยเอาค่าของทางเลือกในเมตริกการเปรียบเทียบเป็นคู่ (pairwise comparison matrix) แต่ละคอลัมน์ (column) ของแต่ละแถว (row) คูณกับ weighted relative priorities

2. นำค่าที่ได้จากข้อ 2.3.4.1 แต่ละแถวหารด้วย weighted priorities value ของทางเลือกในการตัดสินใจ

3. คำนวณค่า $\lambda_{\max}$ จากการเฉลี่ยค่าในข้อ 2.3.4.2

4. คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, CI) จาก

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.5)$$

โดยที่ n = จำนวนทางเลือกในการตัดสินใจ

ถ้าค่า $\lambda_{\max} = n$ จะทำให้ค่า $CI = 0$ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด

5. คำนวณค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio, CR) จาก

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\left(\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \right)}{RI} \quad (2.6)$$

2.1.7.4 การจัดลำดับทางเลือกในการตัดสินใจ (Ranking Decision Alternative)

ขั้นตอนสุดท้ายในการจัดลำดับทางเลือกในการตัดสินใจจากความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบเป็นคู่ (pairwise comparison) ในแต่ละทางเลือกของลำดับชั้น (hierarchy) โดยคำนวณจากความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจแต่ละเกณฑ์และลำดับความสำคัญของทางเลือกแต่ละทางเลือก แล้วนำมาบวกกันในแต่ละทางเลือกในการตัดสินใจ (decision elements) ถ้าทางเลือกใดมีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด ทางเลือกนั้นจะถูกเลือกตัดสินใจ และมีลำดับความสำคัญสูงสุดในเมตริกการเปรียบเทียบเป็นคู่ (pairwise comparison matrix)

AHP เป็นการตัดสินใจเลือกทางเลือกด้วยตัววัดผลหรือเกณฑ์การตัดสินใจหลายเกณฑ์ ทำให้มีการตัดสินใจตามขั้นตอนของแบบจำลองที่ทำให้แน่ใจยิ่งขึ้นว่า การตัดสินใจเลือกทางเลือกใดทางเลือกหนึ่งไม่ได้ตัดสินใจตามตัววัดผลหรือเกณฑ์การตัดสินใจเพียงเกณฑ์เดียวเท่านั้น ด้วยวิธีการใช้เมตริกการเปรียบเทียบ (comparison matrix) ในแบบจำลองในลักษณะที่เป็นลำดับชั้น (hierarchy model) การตัดสินใจว่าทางเลือกใดดีกว่าในแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ และเกณฑ์การตัดสินใจในแต่ละเกณฑ์ เกณฑ์ใดสำคัญกว่าโดยการให้คะแนนตามลำดับความสำคัญ 1-9 และวิธีการ AHP ยังตรวจสอบความสอดคล้องในการเปรียบเทียบของเมตริกได้โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio) ซึ่งจะยอมรับเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0.1 และสุดท้ายจะเลือกทางเลือกใดอันขึ้นกับค่า ranking weighted ของทางเลือกแต่ละ ทางเลือกโดยเลือกทางเลือกที่มีค่า ranking weighted มากที่สุด

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

R. B. Heady and Z. Zhu (1998) ได้ทำการวิจัยโดยใช้วิธีการฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหางานล่าช้าและงานที่เสร็จก่อนกำหนด โดยทำการหาวิธีการใหม่ที่จะช่วยต่อการจัดการตารางการผลิต โดยได้ทำการทดลองแก้ปัญหากับเครื่องจักร 10 เครื่องและงาน 100 งาน ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองวิธีการใหม่นี้มีความถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าวิธีการฮิวริสติกอื่นๆ และผลที่ได้มีค่าเบี่ยงเบนเพียง 10% เมื่อเทียบกับวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

F. D. Croce and M. Trubian (2002) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่จะช่วยลดเวลาเดินเปล่า (Idle Time) ที่เกิดในระบบ และลดค่าปรับที่เกิดจากงานที่ล่าช้าและงานที่เสร็จก่อนกำหนด โดยทำการพิจารณาบนงาน n งานและเครื่องจักรแบบ Parallel ทั้งหมด m เครื่อง บนข้อจำกัดในการจัดการตารางการผลิตตามลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraint) เป็นหลัก

Patcharavalai Sangarun (2002) ได้ทำการวิจัยเพื่อหาวิธีการจัดการตารางการผลิตที่เหมาะสม สำหรับโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนงานปั๊มขึ้นรูป (Press Part) โดยวิธีการทางฮิวริสติกส์ พร้อมทั้งได้จัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการจัดลำดับการผลิตและการจัดการตารางการผลิต เพื่อเป็นระบบการจัดการฐานข้อมูลพื้นฐานในการจัดการและควบคุมการผลิต โดยโปรแกรมที่จัดทำขึ้นสามารถใช้บันทึกผลการผลิตรายวัน เพื่อเป็นการติดตามผลผลิตและเพื่อการพิจารณาปรับแผนการผลิตอย่างเหมาะสม อีกทั้งตัวโปรแกรมยังสามารถจัดการตารางการผลิตแบบได้อีกด้วย

ในการทดลองเพื่อหาวิธีการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมได้นำฮิวริสติกส์ 7 วิธีคือ SPT, LPT, WSPT, SDT, LDT, SMT และ LMT นำมาทดสอบกับข้อมูลการผลิตจริง พบว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบ LPT มีค่าประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตดีที่สุด ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยเวลางานในระบบลดลง 11.5 เปอร์เซ็นต์ และให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 23 เปอร์เซ็นต์

Y. Fathi and K. W. Barnette (2002) ได้ทำการวิจัย เพื่อหาวิธีการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสม (Heuristic Procedures) โดยพิจารณาบนกลุ่มของงานและเครื่องจักรทั้งหมด m เครื่อง โดยวิเคราะห์ถึงการจัดสรรการใช้เครื่องจักร, วิธีการจัดลำดับของงานที่จะเข้าเครื่องจักรแต่ละเครื่อง รวมถึงการวางแผนการผลิตที่เหมาะสม เพื่อให้เวลาทำงานสิ้นสุดท้ายแล้วเสร็จ (Makespan) มีค่าน้อยที่สุด

Chatpon Mongkalig (2005) ได้ทำการวิจัยโดยออกแบบและสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิตแบบโต้ตอบ (Interactive Production Scheduling and Sequencing) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้ทฤษฎีของการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบตั้งเป็นงานๆ (Job Shop Scheduling) และมีส่วนของโปรแกรมการจัดตารางการผลิตที่สามารถใช้วิธีการจัดตารางการผลิตแบบโต้ตอบได้ โดยโปรแกรมการจัดตารางการผลิตมีกฎและวิธีการจัดตารางการผลิตที่ใช้ในโปรแกรมทั้งหมด 28 วิธี

จากการทดลองจัดตารางการผลิตโดยมีงาน 10 งาน ขั้นตอนการทำงาน 5 ขั้นตอน และเครื่องจักร 10 เครื่อง จำนวน 10 ชุดการทดลอง โดยใช้กฎและวิธีการจัดตารางการผลิตแบบต่างๆ จำนวน 18 วิธี เมื่อพิจารณาจากตัววัดผลทั้ง 4 ตัว อันได้แก่ จำนวนงานล่าช้า เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย เวลาสายของงานโดยเฉลี่ย และเวลาที่งานที่เสร็จช้าที่สุดในการจัดตารางการผลิตแต่ละรอบแล้วเสร็จ (Makespan) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตคือ วิธีการจัดตารางการผลิต กฎที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต และปัจจัยร่วมของทั้งสองปัจจัย กฎและวิธีการจัดตารางการผลิตที่ทำให้ได้ตารางการผลิตที่มีจำนวนงานล่าช้าน้อยที่สุด เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด และเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ วิธีการจัดตารางการผลิตแบบแอกทีฟโดยใช้วิธีบรันช์แอนด์บาวด์โดยไม่มีการคำนวณย้อนกลับด้วยวิธีการหาโลเวอร์บาวด์แบบใหม่ที่เสนอ