# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตและการนำฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์แบบลำดับขั้น เพื่อช่วยกำหนดวัตถุประสงค์ในการจัดตารางการผลิต และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิต

Baker ได้ให้คำจำกัดความของการจัดตารางการผลิต (Scheduling) ว่าเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อทำงานที่ได้รับมอบหมายในสถานการณ์ต่างๆ โดยทั่วไปแล้วในทางทฤษฎีการจัดตารางการผลิตมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้ (Baker,1974)

### *2.1.1 ตัวแปรหรือพารามิเตอร์*

ในการจัดตารางการผลิต จะต้องมีตัวแปรหรือพารามิเตอร์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตด้วยทุกครั้ง ตัวแปรพื้นฐานมีดังต่อไปนี้

1.) เวลางานเสร็จสิ้น (Complete Time) หมายถึงเวลาเสร็จสิ้นของการทำงาน $i$ นั้นๆ ถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ $C_i$
2.) เวลาดำเนินงาน (Process Time) หมายถึงเวลาที่ใช้ในการทำงาน $i$ นั้นๆ ที่ทรัพยากร j แทนด้วยสัญลักษณ์ $T_{ij}$
3.) เวลาพร้อมทำงาน (Readiness Time) หมายถึงเวลาที่พร้อมในการทำงาน $i$ นั้นๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ $r_i$
4.) เวลากำหนดส่ง (Due Date) หมายถึงกำหนดเวลาที่เสร็จสิ้นการทำงาน $i$ นั้นๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ $D_i$

### *2.1.2 เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต*

เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตหมายถึง การจัดตารางการผลิต

นั้นๆ ว่ามีวัตถุประสงค์อย่างไร เช่น ต้องการส่งมอบงานให้ทันตามกำหนดเวลา มีอัตราการใช้งานเครื่องจักรมากที่สุด เป็นต้น วัตถุประสงค์โดยทั่วไปสำหรับการจัดตารางการผลิตสามารถจำแนกตามดัววัดผลได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.) เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาการไหลของงานในระบบสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.1

$$\overline{F} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^{n} F_j \qquad (2.1)$$

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 เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

2.) เวลาสายของงานโดยเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาสายของงานในระบบสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.2

$$\overline{L} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^{n} L_j \qquad (2.2)$$

โดยที่ $L_j = C_j - d_j$

$L_j$ หมายถึง ระยะเวลาที่งานเสร็จก่อนหรือหลังเวลากำหนดส่งงาน

$C_j$ หมายถึง เวลาเสร็จงานของงาน $j$

$d_j$ หมายถึง เวลากำหนดส่งงาน $j$

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้เวลาสายของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

3.) เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาล่าช้าของงานในระบบสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.3

$$\overline{T} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^{n} T_j \qquad (2.3)$$

โดยที่ $T_j = \max\{0, L_j\}$

$L_j$ หมายถึง ระยะเวลาที่งานเสร็จก่อนหรือหลังเวลากำหนดส่งงาน

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

4.) จำนวนงานล่าช้า หมายถึง จำนวนงานที่ส่งมอบไม่ทันเวลากำหนดส่งมอบสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.4

$$N_T = \sum_{j=1}^{n} \delta(T_j) \qquad (2.4)$$

โดยที่ $\delta(Tj) = 1$ เมื่อ $Tj > 0$

$\delta(Tj) = 0$ เมื่อ $Tj \leq 0$

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าจำนวนงานล่าช้าต่ำ

5.) อัตราการใช้งานเครื่องจักร หมายถึง สัดส่วนระหว่างเวลาที่เครื่องจักรทำงานกับเวลามากที่สุดที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.5

$$U = \frac{W}{A} \qquad (2.5)$$

โดยที่ $U$ หมายถึง อัตราการใช้งานเครื่องจักร

$W$ หมายถึง เวลาที่เครื่องจักรทำงาน

$A$ หมายถึง เวลามากที่สุดที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าอัตราการใช้งานเครื่องจักรสูง

### *2.1.3 ข้อจำกัดในการจัดตารางการผลิต (Constrain)*

ข้อจำกัดในการจัดตารางการผลิตคือเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาในการจัดตารางการผลิต มีหลายอย่างด้วยกัน เช่น

1.) ลำดับการดำเนินการ (Precedence)

งานแต่ละงานนั้นมีลำดับของขั้นตอนการทำงานอยู่ ดังนั้นในการจัดตารางการผลิต การทำงานขั้นดอนแรกต้องถูกกระทำก่อนการทำงานถัดไป โดยไม่สามารถจัดข้ามขั้นตอนได้

2.) การทดแทนกันได้ของทรัพยากร (Resource Replacement)

โดยทั่วไปในการผลิต จะมีทรัพยากรบางอย่างที่สามารถทดแทนกันได้ ดังนั้นการจัดตารางการผลิต ถ้าหากมีทรัพยากรบางตัวไม่ว่าง ก็สามารถนำทรัพยากรตัวอื่นๆ ที่สามารถทดแทนได้และว่างอยู่มาทำงานแทน ทำให้ได้ตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.) เงื่อนไขการแก้ปัญหาเมื่อเกิดการหยุดของทรัพยากรในระหว่างการดำเนินการ (Resume/Repeat)

เมื่อทรัพยากรเกิดการหยุดขึ้นมา งานที่ทรัพยากรนั้นทำอยู่ต้องเริ่มต้นทำใหม่ (Repeat) หรือไม่ หรือว่าสามารถทำต่อได้เลย (Resume)

4.) อื่นๆ เช่น การอนุญาตให้สามารถขัดจังหวะการทำงานของทรัพยากรได้หรือไม่ (Preemption) เป็นต้น

### *2.1.4 ประเภทของการผลิต*

ในอุตสาหกรรมการผลิตนั้น เราสามารถจำแนกประเภทของการผลิตได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1.) ประเภทสั่งผลิตเป็นงานๆ (Job Shop)

โรงงานประเภทนี้ จะมีความหลากหลายในตัวสินค้า ผังโรงงานจะมีการแบ่งเป็นกลุ่มการทำงาน เช่น แผนกกลึง แผนกเจาะ เป็นต้น ในการผลิตจะทำการรอรับใบสั่งการผลิตที่หลากหลายจากลูกค้า

2.) ประเภทการไหลของสายงาน (Flow Shop)

โรงงานจะมีสายการผลิตที่ค่อนข้างคงตัว มีการวางการผลิตเรียงกันดามกระบวนการ ส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตไว้เพื่อรอคำสั่งจากลูกค้า

การจัดตารางการผลิตแบบสั่งผลิตเป็นงานๆ เป็นการจัดตารางการผลิตที่ค่อนข้างยุ่งยากและครอบคลุมการจัดตารางการผลิตแบบอื่นๆ

### *2.1.5 ชนิดของตารางการผลิต*

โดยทั่วไปแล้ว การจัดตารางการผลิตสามารถแบ่งลักษณะของตารางการผลิตออกเป็น 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ก) - (ง) ซึ่งเป็นตารางการผลิตที่ได้จากการจัดโดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดของตารางการผลิตแต่ละแบบดังต่อไปนี้

1.) ตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ (Semiactive Schedules)

ตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ เป็นตารางการผลิตที่ภายหลังจากการจัดตารางการผลิตแล้ว ไม่สามารถทำการเลื่อนการทำงานให้เร็วขึ้นได้ โดยที่ไม่ทำให้ลำดับการทำงานบนเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงไป จากรูปที่ 2.1 (ก) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ จะเห็นได้ว่าไม่มีงานใดๆ แล้ว ที่สามารถทำงานได้เร็วขึ้นอีก โดยที่ไม่ทำให้ลำดับการทำงานบนเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงไป

2.) ตารางการผลิตแบบแอคทีฟ (Active Schedules)

ตารางการผลิตแบบแอคทีฟเป็นตารางการผลิตที่ภายหลังจากการจัดตารางการผลิตแล้วไม่มีการทำงานที่สามารถเลื่อนให้เร็วขึ้น โดยไม่ทำให้งานอื่นๆ ต้องช้าลง จากรูปที่ 2.1 (ข) และ 2.1 (ค) จะเห็นได้ว่าไม่มีการทำงานใดที่สามารถเลื่อนให้เร็วขึ้นโดยไม่ทำให้งานอื่นๆ ต้องช้าลง

3.) ตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์ (Nondelay Schedules)

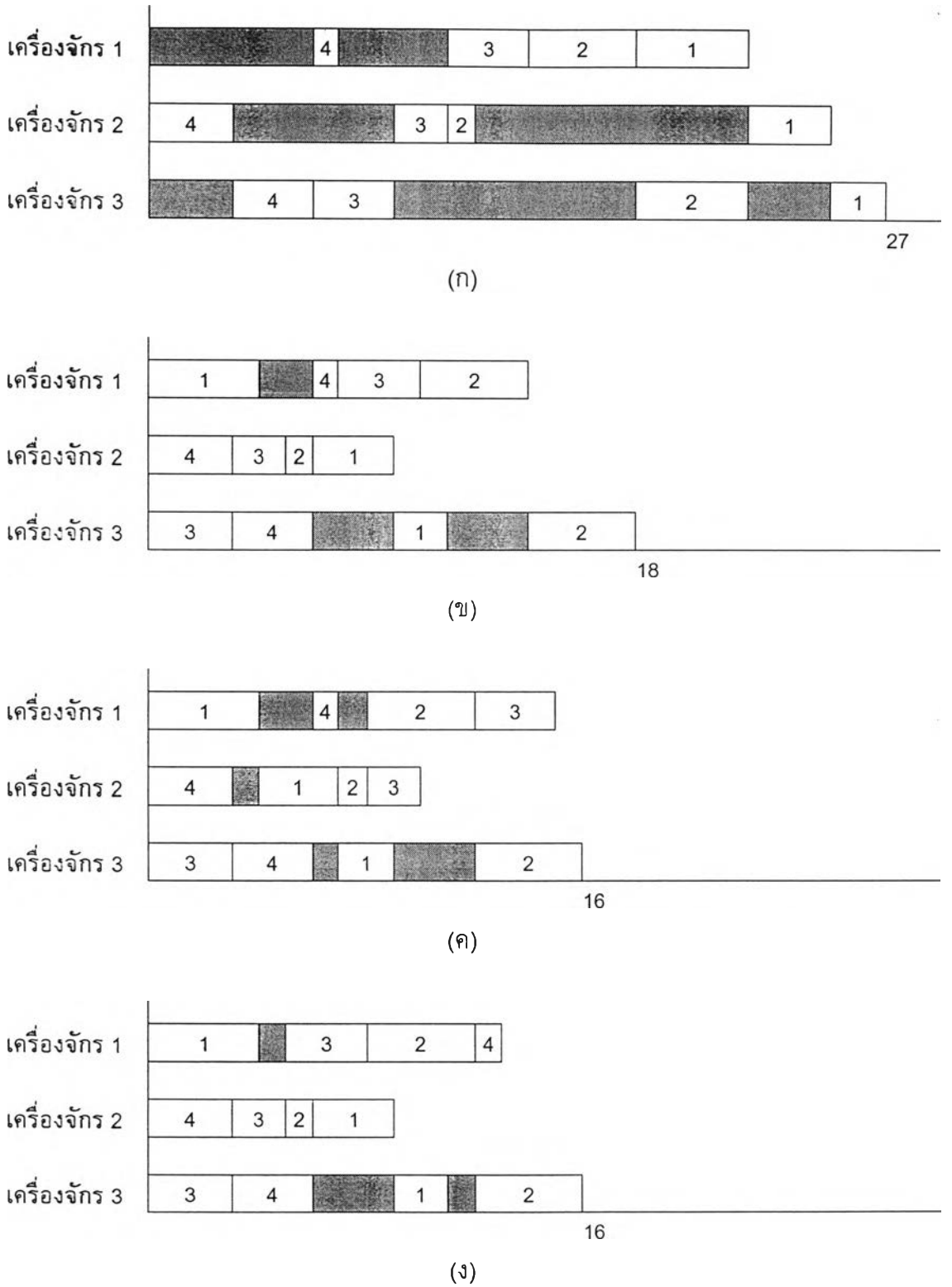
ตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์เป็นตารางการผลิตแบบแอคทีฟ แต่มีลักษณะพิเศษคือว่าไม่มีเครื่องจักรใดว่างอยู่เลย หากสามารถจัดการทำงานให้เครื่องจักรทำงานได้ จากรูปที่ 2.1 (ข) จะเห็นได้ว่า บนเครื่องจักรที่ 1 งานที่ 3 สามารถเลื่อนมาทำงานให้เร็วขึ้นได้ โดยเลื่อนให้มาทำงานก่อนงานที่ 4 และเลื่อนงานที่ 4 ไปเป็นงานสุดท้าย เมื่อเลื่อนแล้วก็จะกลายเป็นรูปที่ 2.1 (ง) ซึ่งเป็นตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์

4.) ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์ (Optimal Schedules)

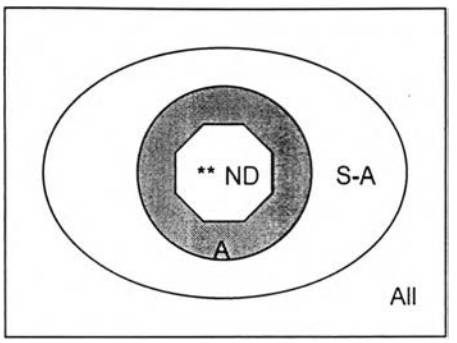
ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์เป็นตารางการผลิตที่ดีที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ในการจัดนั้นๆ ไม่มีตารางการผลิตใดที่ดีไปกว่านี้อีก

ความสัมพันธ์ของตารางการผลิตทั้ง 4 แบบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งเป็นแผนภาพเวนน์แสดงความสัมพันธ์ของตารางการผลิตทั้ง 4 แบบ จากรูปที่ 2.2 (ก) แสดงให้เห็นว่าตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์เป็นสับเซตของตารางการผลิตแบบแอคทีฟ ตารางการผลิตแบบแอคทีฟเป็นสับเซตของตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ ตามลำดับ ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์อยู่ในสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบแบบนอนดีเลย์ จากรูปที่ 2.2 (ข) แสดงให้เห็นว่าตารางการผลิตแบบออพติมอล์อยู่ในสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบแอคทีฟ แต่ไม่เป็นสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์ โดยทั่วไปแล้วตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์จะมี

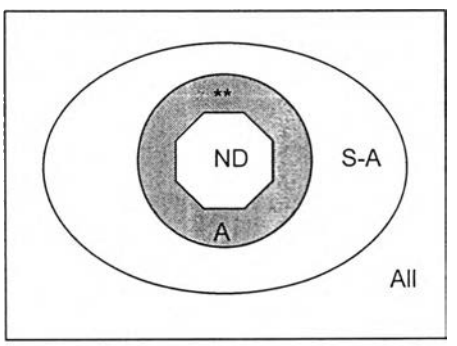
**ประสิทธิภาพของตารางดีกว่าตารางการผลิตแบบแอคทีฟ และใช้เวลาในการจัดไม่มาก**




***รูปที่ 2.1*** *แผนภูมิแกนท์แสดงตารางการผลิตชนิดต่าง ๆ*
*(ก) เซมิแอคทีฟ (ข) แอคทีฟ (ค) แอคทีฟ (ง) นอนดีเลย์*




(ก)




(ข)

หมายเหตุ S-A หมายถึง ตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ
A หมายถึง ตารางการผลิตแบบแอคทีฟ
ND หมายถึง ตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์
** หมายถึง ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์

*รูปที่ 2.2 แผนภาพเวนน์แสดงความสัมพันธ์ของตารางการผลิตทั้ง 4 แบบ*
*(ก) ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์เป็นสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์*
*(ข) ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์เป็นสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบแอคทีฟ*

### *2.1.6 วิธีการในการจัดตารางในการผลิต*

วิธีการในการจัดตารางการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากมีดังต่อไปนี้

1.) วิธีบรานช์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound)

วิธีการนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนบรานช์และบาวด์ ขั้นตอนบรานช์เป็นกระบวนการแบ่งส่วนของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ออกเป็นปัญหาย่อย ขั้นตอนบาวด์

เป็นกระบวนการของการคำนวนค่าโลเวอร์บาวด์ (Lower Bound) ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยนั้น

2.) วิธีฮิวริสติก (Heuristic Method)

วิธีการฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ใช้ฮิวริสติกมาช่วยในการจัดตารางการผลิต วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่าย ใช้เวลาไม่มาก และประสิทธิภาพของตารางการผลิตที่ดีพอสมควร ฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตมีหลายตัวด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากมีดังต่อไปนี้ (Morton,1986)

- ฮิวริสติกการกระจายแบบพื้นฐาน (Simple Dispatching Heuristic) เป็นการใช้หลักลำดับความสำคัญเป็นเกณฑ์ในการใช้จัดตารางการผลิตซึ่งจะใช้ร่วมกับวิธีการจัดตารางการผลิตแบบต่างๆ โดยสามารถจำแนกแยกย่อยตามลักษณะของลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้
  - ลำดับความสำคัญแบบสถิตย์ (Static Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะคงที่ตลอดการใช้งานเช่น ให้เลือกงานที่เข้ามาก่อน
  - ลำดับความสำคัญแบบพลวัต (Dynamic Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะเปลี่ยนแปลงไปทุกครั้งที่งานใดๆ ถูกกระทำ เช่น จำนวนงานที่เหลือ
  - ลำดับความสำคัญแบบทั้งหมด (Global Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งหรือสถานะในระบบ เช่น วันส่งมอบงานเร็วสุด
  - ลำดับความสำคัญแบบท้องถิ่น (Local Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะขึ้นอยู่กับสถานะตำแหน่งบนเครื่องจักร เช่น เวลาในการปฏิบัติงานที่สั้นที่สุด
  - ลำดับความสำคัญแบบพยากรณ์ (Forecast Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะขึ้นอยู่กับสถานะของเครื่องจักรและประสบการณ์ในการพยากรณ์งานที่เหลืออยู่ เช่น อัตราส่วนวิกฤตน้อยสุด

จากการจำแนกลำดับความสำคัญทั้งหมดในขั้นต้น สามารถแยกลงเป็นตัวอย่างของลำดับความสำคัญแบบต่างๆ เช่น

- SPT (Shortest Processing Time)
  เลือกงานที่เวลาการทำงานน้อยสุด
- LWKR (Least Work Remain)
  เลือกงานที่มีจำนวนการทำงานที่เหลืออยู่น้อยสุด

- FOFO (First of First on)
  เลือกงานที่สามารถทำงานได้ก่อนมาทำก่อน
- FASFS (First Arrival at the Shop First Serve)
  เลือกงานที่เข้ามาก่อนทำก่อน
- EDD (Earlier Due Date)
  เลือกงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วสุดทำก่อน
- MST ( Minimum Slack TIme)
  เลือกงานที่มีเวลาเหลือน้อยสุดทำก่อน
- MWKR (Most Work Remaining)
  เลือกงานที่เหลือการทำงานมากสุดทำก่อน
- Random
  เลือกงานแบบสุ่ม

- ฮิวริสติกค้นหา (Search Heuristic) เป็นการหาผลลัพธ์โดยทำการประมวลผลฮิวริสติกซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้งจนได้ผลที่ดี วิธีนี้มีข้อจำกัดคือใช้ความสามารถในการคำนวณมาก ตัวอย่างของวิธีการแบบนี้มีดังต่อไปนี้

  - ไกด์แรมดอมไมส์ดิสแพทชิ่ง (Guide Randomized Dispatch) เป็นวิธีการสุ่มเอาฮิวริสติกต่างๆ มาใช้ในการคำนวณ โดยตอนเริ่มต้นจะเริ่มต้นด้วยฮิวริสติกที่ดีที่สุด
  - ไกด์บีมเสริชซ์ (Guide Beam Search) เป็นการนำเอาฮิวริสติกไปใช้ร่วมกับวิธีบรานช์แอนด์บราวน์

3.) วิธีทางตัวเลข (Integer Programming Approch) เป็นการจัดตารางการผลิตโดยใช้วิธีการกำหนดตัวเลขจำนวนเต็มเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

4.) อื่นๆ

ผลของการจัดตารางการผลิตตามวิธีที่ 1 และวิธีที่ 3 จะให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด แต่ต้องใช้เวลาและความรู้ค่อนข้างมาก มีขั้นตอนการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน ปัญหาขนาดใหญ่บางปัญหาอาจจะหาคำตอบไม่ได้เลยเนื่องจากต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหานานมาก ส่วนผลที่ได้จากการจัดตารางตามวิธีที่ 2 นั้น อยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างดี แม้ว่าจะไม่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการจัดไม่นานและขั้นตอนไม่ยุ่งยากซับซ้อน

### *2.1.7 การสร้างตารางการผลิต (Schedule Generation)*

ในกระบวนการผลิตแบบสั่งผลิตเป็นงานๆ นั้น วิธีการสร้างตารางการผลิตที่นิยมใช้มี

อยู่ 3 วิธีด้วยกันคือ การสร้างตารางการผลิตแบบแอคทีฟ (Active Schedule Generation) การสร้างตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์ (Non Delay Schedule Generation) และการสร้างตารางการผลิตโดยใช้ฮิวริสติก โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง และขั้นตอนการสร้างของแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

$PS_t$ ตารางที่ประกอบด้วยการทำงาน $t$ การทำงาน

$S_t$ เซตของการทำงานที่ขั้นตอน $t$ ซึ่งสอดคล้องกับ $PS_t$

$\sigma_j$ เวลาเร็วสุดซึ่งการทำงาน $j \in S_t$ ที่สามารถเริ่มต้นได้

$\phi_j$ เวลาเร็วสุดซึ่งการทำงาน $j \in S_t$ ที่สามารถเสร็จสิ้นลง

1.) การสร้างตารางการผลิตแบบแอคทีฟ

มีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ $t = 0$ และเริ่มต้นด้วย $PS_t = 0$, $S_t$ เป็นเซตของการทำงานทุกการทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 กำหนด $\phi^* = \min_{j \in S_t} \{\phi_j\}$ และเครื่องจักร $m^*$ ซึ่งสามารถเริ่มได้

ขั้นตอนที่ 3 สำหรับแต่ละการทำงาน $j \in S_t$ ที่ต้องทำบนเครื่องจักร $m^*$ และสำหรับ $\sigma_j < \phi^*$ จากนั้นสร้าง $PS_t$ ซึ่งประกอบไปด้วยการทำงาน $j$ และเวลาเริ่มต้นที่ $\sigma_j$

ขั้นตอนที่ 4 สำหรับแต่ละ $PS_{t+1}$ กลับไปทำขั้นตอนที่ 3 และปรับปรุงข้อมูลดังนี้

- ย้ายการทำงาน $j$ จาก $S_t$
- จาก $S_{t+1}$ เพิ่มการทำงานที่เสร็จเรียบร้อยแล้วเข้าไปใน $S_t$
- เพิ่ม $t+1$

ขั้นตอนที่ 5 กลับไปยังขั้นตอนที่ 2 สำหรับแต่ละ $PS_{t+1}$ สร้างขั้นตอนที่ 3 และทำต่อไปจนกระทั่งเสร็จ

***ตัวอย่าง*** : จากข้อมูลการทำงานในตารางที่ 1.1 และ 1.2 สามารถสร้างตารางการผลิตได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ $t = 0$, $PS_t = 0$, $S_t = \{111, 212, 313, 413\}$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนด $\phi^* = \min_{j \in S_t} \{\phi_j\}$

$$\phi_j = \{4, 1, 3, 3\}$$

$$\phi^* = \min \{4, 1, 3, 3\} = 1$$

ขั้นตอนที่ 3 นำงาน 212 ไปทำบนเครื่องจักร 2

ขั้นตอนที่ 4 $PS_{t+1} = \{212\}$, $S_{t+1} = \{111, 224, 313, 413\}$

ขั้นตอนที่ 5 กลับไปยังขั้นตอนที่ 2 ใหม่

2.) การสร้างตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์

มีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ $t = 0$ และเริ่มต้นด้วย $PS_t = 0$, $S_t$ เป็นเซตของการทำงานทุกการทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 กำหนด $\sigma^* = \min_{j \in St} \{\sigma_j\}$ และเครื่องจักร $m^*$ ซึ่งสามารถเริ่มได้

ขั้นตอนที่ 3 สำหรับแต่ละการทำงาน $j \in S_t$ ที่ต้องทำบนเครื่องจักร $m^*$ และสำหรับ $\sigma_j = \sigma^*$ จากนั้นสร้าง $PS_t$ ซึ่งประกอบไปด้วยการทำงาน $j$ และเวลาเริ่มต้นที่ $\sigma_j$

ขั้นตอนที่ 4 สำหรับแต่ละ $PS_{t+1}$ กลับไปทำขั้นตอนที่ 3 และปรับปรุงข้อมูลดังนี้

- ย้ายการทำงาน $j$ จาก $S_t$
- จาก $S_{t+1}$ เพิ่มการทำงานที่เสร็จเรียบร้อยแล้วเข้าไปใน $S_t$
- เพิ่ม $t+1$

ขั้นตอนที่ 5 กลับไปยังขั้นตอนที่ 2 สำหรับแต่ละ $PS_{t+1}$ สร้างขั้นตอนที่ 3 และทำต่อไปจนกระทั่งเสร็จ

***ตัวอย่าง*** : จากข้อมูลการทำงานในตารางที่ 1.1 และ 1.2 สามารถสร้างตารางการผลิตได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ $t = 0$, $PS_t = 0$, $S_t = \{111, 212, 313, 413\}$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนด $\phi^* = \min_{j \in St} \{\phi j\}$

$$\phi j = \{0, 0, 0, 0\}$$

$$\phi^* = \min \{0, 0, 0, 0\} = 0$$

ขั้นตอนที่ 3 นำงานใดไปทำบนเครื่องจักรใดก็ได้ ในกรณีนี้เลือก 111

ขั้นตอนที่ 4 $PS_{t+1} = \{111\}$, $S_{t+1} = \{122, 212, 313, 413\}$

ขั้นตอนที่ 5 กลับไปยังขั้นตอนที่ 2 ใหม่

3.) การสร้างตารางการผลิตด้วยวิธีฮิวริสติก

วิธีการนี้เป็นการนำฮิวริสติกมาช่วยในการสร้างตารางการผลิตแบบแอคทีฟ และแบบ

นอนดีเลย์ โดยฮิวริสติกที่นำมาใช้จะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนที่ 3 ของการสร้างตารางการผลิตในแต่ละวิธี โดยทำการสร้างดัชนีของการทำงานจากฮิวริสติกนั้นๆ ขึ้นมาแล้วทำการคำนวณหาค่าดัชนีที่ดีที่สุดสำหรับฮิวริสติกที่ใช้ โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ฮิวริสติกประเภทกฎการจัดลำดับความสำคัญมาช่วยในการสร้างตารางการผลิตแบบแอคทีฟและแบบนอนดีเลย์

## 2.2 การประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกในการจัดตารางการผลิต

### *2.2.1 แนวคิดฟัซซี่ลอจิกกับการจัดตารางการผลิต*

ในการจัดตารางการผลิตโดยทั่วไปนั้น ผู้จัดตารางการผลิตส่วนมากมีความต้องการที่จะจัดตารางการผลิตให้สามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการมากที่สุด และโดยปกติแล้วระดับความสำคัญของแต่ละวัตถุประสงค์นั้นไม่เท่ากัน รวมทั้งมีค่าหรือหน่วยที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่ผู้จัดตารางการผลิตจะตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดตามที่ตนต้องการ วิธีการหนึ่งที่จะทำให้ได้ตารางการผลิตที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ตนเองต้อง การมากที่สุดคือการใช้วิธีที่เรียกว่ากระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับขั้น (Analytical Hierarchy Process : AHP) มาช่วยในการตัดสินใจ วิธีการวิเคราะห์แบบลำดับขั้นนี้มีหลายวิธีด้วยกัน แต่ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์ลำดับขั้นแบบฟัซซี่ (Fuzzy AHP) เป็นวิธีการในการวิเคราะห์

กรอบแนวคิดของฟัซซี่ เป็นการจำลองกระบวนการคิด ตัดสินใจ ความรู้สึกของมนุษย์ซึ่งเป็นไปในลักษณะที่มีความคลุมเคลือ เช่น เมื่อถึงถามช่วงอุณหภูมิที่คนรู้สึกหนาว อุณหภูมิที่แต่ละคนมีความรู้สึกหนาว อาจไม่สามารถระบุชัดเจนลงได้ ด้วยเหตุนี้จึงเกิดแนวความคิดแบบฟัซซี่ขึ้นมา

กระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ บ่อยครั้งที่ผู้ตัดสินใจมีความยุ่งยากในการตัดสินใจ การตัดสินใจบางคราวพบว่า ไม่สามารถคำนวณหรือคิดเป็นตัวเลขออกมาได้ บางครั้งมีหลายเกณฑ์ที่ใช้เป็นตัวเลือก บางคราวมีหลายๆ ทางเลือกที่ต้องตัดสินใจ เมื่อเป็นเช่นนี้ จึงมีการคิดวิธีการต่างๆ มาช่วยในการตัดสินใจ ให้มนุษย์สามารถตัดสินใจได้ถูกต้องตามความรู้สึกของตนเองมากที่สุด วิธีการหนึ่งที่นำมาใช้คือกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับขั้น

จากแนวคิดทั้งสองวิธี จึงได้มีการนำเอาความคิดแบบฟัซซี่และกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับขั้นมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เกิดเป็นวิธีการช่วยการตัดสินใจแบบใหม่ที่เรียกว่าการวิเคราะห์ลำดับขั้นแบบฟัซซี่

### *2.2.2 วิธีการวิเคราะห์ลำดับขั้นแบบฟัซซี่ที่ประยุกต์ใช้ในงานวิจัย*

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การวิเคราะห์ลำดับขั้นแบบฟัซซี่ โดยการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ มาช่วยในการตัดสินใจ โดยผู้จัดตารางการผลิตจะทำการพิจารณาความสำคัญของเกณฑ์แต่ละเกณฑ์ทางเลือกแต่ละทางเลือก และใช้รูปแบบของเมมเบอร์ชิฟฟังชั่นแบบสามเหลี่ยม เนื่องจากเป็นที่นิยม ค่อนข้างง่ายต่อการคำนวณ การที่ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ เนื่องจากว่าความสามารถของมนุษย์ในการเปรียบเทียบค่าใดๆ พร้อมกันหลายๆ ค่าจะลดลง ในขณะที่การเปรียบเทียบแบบเป็นคู่มนุษย์สามารถทำได้ดีและในการเปรียบเทียบได้ใช้สเกลของ Satty ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยกำหนดตัวเลขแทนความสำคัญของทางเลือกหนึ่งต่ออีกทางเลือกหนึ่ง โดยจะแบ่งลำดับความสำคัญดังกล่าวเป็นลำดับๆ ไป โดยการใช้คำบรรยาย และจากคำบรรยายดังกล่าว จะทำการเปลี่ยนเป็นตัวเลขแบบฟัซซี่ต่อไป ตัวเลขแบบฟัซซี่ที่ได้จะมี 3 ค่า คือ ค่าทางซ้าย ค่ากลาง และค่าทางขวา ผลของการเปรียบเทียบจะอยู่ในลักษณะเมตริกซ์ดังตารางที่ 2.2 (Satty,1978)

***ตารางที่ 2.1*** *ตารางแสดงสเกลของ Satty พร้อมกับสเกลตัวเลขแบบฟัซซี่*

| ตัวเลข | ตัวเลขแบบฟัซซี่ | คำจำกัดความ | คำอธิบาย |
|---|---|---|---|
| 1 | (1,1,1) | มีความสำคัญเท่ากัน | คุณลักษณะทั้งสองส่งผลต่อวัตถุประสงค์ (ในที่นี้คือดัชนีการเลือก) เท่ากัน |
| 3 | (2,3,4) | มีความสำคัญมากกว่าปานกลาง | ด้วยประสบการณ์ตัดสินใจให้คุณลักษณะหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกคุณลักษณะหนึ่งเล็กน้อย |
| 5 | (4,5,6) | มีความสำคัญมากกว่ามาก | ด้วยประสบการณ์ตัดสินใจให้คุณลักษณะหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกคุณลักษณะหนึ่งมาก |
| 7 | (6,7,8) | มีความสำคัญมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด | คุณลักษณะหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกสมบัติหนึ่งในทางปฏิบัติอย่างเห็นได้ชัด |
| 9 | (8,9,10) | มีความสำคัญมากกว่าเป็นอย่างยิ่ง | คุณลักษณะหนึ่งมีความสำคัญมากกว่าอีกสมบัติหนึ่งในทางปฏิบัติโดยสามารยืนยันได้ |
| 2,4,6,8 | (1,2,3)<br>(3,4,5)<br>(5,6,7)<br>(7,8,9) | ค่าระหว่างกลาง | ค่าระหว่างกลางของค่าประเมินเริ่มต้น |

***ตารางที่ 2.2*** *ตารางเมตริกซ์เปรียบเทียบ*

| เกณฑ์ / ทางเลือก | A | B | C |
|---|---|---|---|
| A | $(a_{11L}, a_{11M}, a_{11R})$ | ... | $(a_{13L}, a_{13M}, a_{13R})$ |
| B | : | | : |
| C | $(a_{31L}, a_{31M}, a_{31R})$ | ... | $(a_{33L}, a_{33M}, a_{33R})$ |

ในการวิเคราะห์ลำดับขั้นแบบฟัซซี่มีวิธีการคิดคำนวณซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนแรก เป็นขั้นตอนในการแปลงค่าการเปรียบเทียบเกณฑ์หรือทางเลือกที่ได้จากผู้ตัดสินใจ โดยแปลงผลการเปรียบเทียบจากคำพูดเป็นตัวเลขแบบฟัซซี่ตามตารางที่ 2.1 โดยตัวเลขแบบฟัซซี่ประกอบด้วยตัวเลข 3 ชุด คือ ตัวเลขฟัซซี่ด้านซ้าย ตัวเลขฟัซซี่ตรงกลาง และตัวเลขฟัซซี่ด้านขวา โดยที่ค่า ($a_{ijL}$, $a_{ijM}$, $a_{ijR}$) คือ ค่าตัวเลขแบบฟัซซี่ที่เกิดจากการเปรียบเทียบเกณฑ์หรือทางเลือกที่ i (แถว i ของเมตริกเปรียบเทียบ) กับเกณฑ์หรือทางเลือกที่ j (คอลัมน์ j ของเมตริกเปรียบเทียบ)

ขั้นตอนต่อไป เป็นการแปลงค่าตัวเลขแบบฟัซซี่เป็นค่าเฉลี่ยเรขาคณิต โดยมีค่าตัวเลขฟัซซี่ทางด้านซ้าย ($r_{iL}$) ตัวเลขฟัซซี่ตรงกลาง ($r_{iM}$) และตัวเลขฟัซซี่ทางด้านขวา ($r_{iR}$) ตามสมการที่ 2.5 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

$$r_{iL} = \left[\prod_{j=1}^{n} a_{ijL}\right]^{1/n} \tag{2.5}$$

$$r_{iM} = \left[\prod_{j=1}^{n} a_{ijM}\right]^{1/n} \tag{2.6}$$

$$r_{iR} = \left[\prod_{j=1}^{n} a_{ijR}\right]^{1/n} \tag{2.7}$$

หลังจากได้ค่าดังกล่าวแล้ว ในกรณีที่เป็นการเปรียบเทียบเกณฑ์หรือทางเลือก ให้นำไปหาน้ำหนักความสำคัญแบบฟัซซี่เมื่อคิดเทียบกับหนึ่ง (Normalized Weight) โดยมีน้ำหนักความสำคัญแบบฟัซซี่ทางด้านซ้าย ตรงกลาง และทางด้านขวา ตามสมการที่ 2.8 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ

$$W_{iL} = r_{iL} \Big/ \left[ \sum_{j=1}^{n} r_{jR} \right] \tag{2.8}$$

$$W_{iM} = r_{iM} \Big/ \left[ \sum_{j=1}^{n} r_{jM} \right] \tag{2.9}$$

$$W_{iR} = r_{iR} \Big/ \left[ \sum_{j=1}^{n} r_{jL} \right] \tag{2.10}$$

หลังจากได้ค่าน้ำหนักในแต่ละเกณฑ์แล้ว ทำการหาค่าผลลัพธ์ ($R_{iL}$, $R_{iM}$, $R_{iR}$) ของทางเลือกต่างๆ ตามวิธีที่อธิบายไว้ข้างต้น จากนั้นหาค่าดัชนีในการตัดสินใจของทางเลือกทางโดยใช้ สมการที่ 2.11

$$R_i = \sum_{j=1}^{m} (r_{ij} \otimes W_j) \tag{2.11}$$

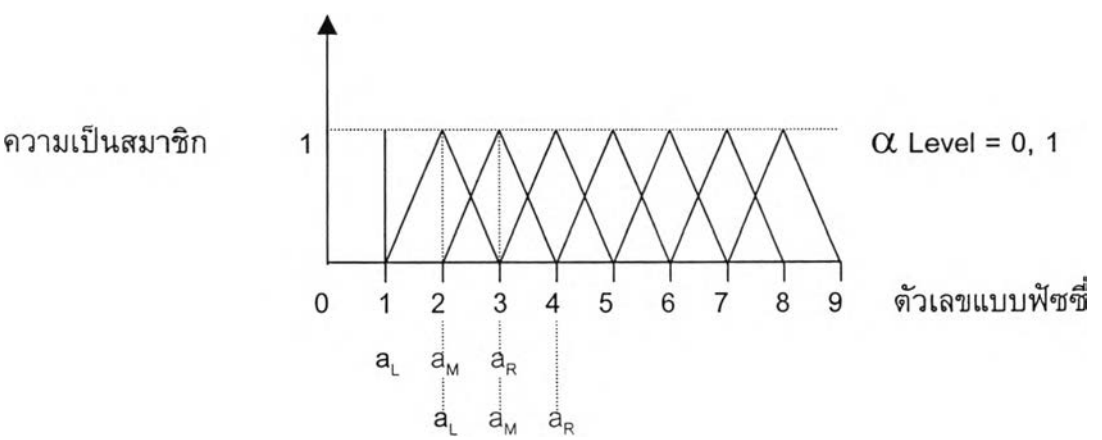
โดยที่ $r_{ij}$ = น้ำหนักของทางเลือกที่ $i$ เมื่อพิจารณาจากเกณฑ์ ที่ $j$ โดยมีค่าเป็น ($r_{ijL}$,$r_{ijM}$,$r_{ijR}$)

$W_j$ = น้ำหนักของทางเลือกที่ $j$ โดยมีค่าเป็น ($W_{jL}$,$W_{jM}$,$W_{jR}$)

$m$ = จำนวนเกณฑ์ทั้งหมด

$(a_1, a_2, a_3) \otimes (b_1, b_2, b_3) = (a_1b_1, a_2b_2, a_3b_3)$

เมื่อได้ค่าดัชนีการตัดสินใจแล้ว ก็นำค่าต่อไปนี้ไปทำการเลือกทางเลือกที่ให้ค่าดังกล่าวดีที่สุด โดยจะใช้ค่า $\alpha$ = 1 โดย $\alpha$ คือ ค่าความเป็นสมาชิก ซึ่งในกรณีนี้เมื่อ $\alpha$ = 1 คือค่ากลางนั่นเอง ($r_{iM}$)



## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

***Fox (1983)*** ได้พัฒนาระบบ ISS ซึ่งเป็นระบบการจัดตารางการผลิตแบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการผลิตแบบสั่งผลิตที่มีขนาดใหญ่ๆ ที่มีชื่อเสียงมาก กรอบของ SRL ประกอบด้วยชื่อและกลุ่มของสล็อต (Slot) ตัวอย่าง เช่น

แบบแผนการกว้านสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

(การกว้าน
ขั้นตอนก่อนหน้า คือขั้นตอนการดัด
ขั้นตอนถัดไป ขั้นตอนการเจาะ)

ในกระบวนการสร้างตาราง ข้อจำกัดต่างๆ ถูกใช้ในขั้นตอนการหาโดยตรง ข้อจำกัดต่างๆ ประกอบด้วย

1.) วันเวลาที่กำหนดส่งงาน (Due Date)
2.) ทรัพยากร (Resource)
3.) ต้นทุน (Cost)

***Fellenstien et al. (1985)*** ได้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิต ระบบวางแผนทดสอบเครื่องจักร และความต้องการต่างๆ เพื่อให้ได้ตามจุดประสงค์ในการผลิต ฐานความรู้ถูกนำเสนอในรูปแบบของความจริงและการคิดแบบตรรกะ

***Newman and Kempf (1985)*** ได้เสนอระบบฐานกฎแบบเวลาจริง (Real Time Rule Base System) เพื่อกำหนดตารางการใช้งานหุ่นยนต์ในการผลิตเซลล์ กฎของการระบุงานถูกใช้ในการจัดลำดับการทำงานของหุ่นยนต์ ผู้กำหนดตารางการผลิตแบบเวลาจริง จะสร้างคำสั่งในลำดับถัดมาก่อนที่หุ่นยนต์จะร้องขอ ผู้กำหนดตารางการผลิตจะมีเวลาเพียงพอในการตัดสินใจแบบชาญฉลาด ตั้งอยู่บนกฎ 250 กฎ ในส่วนของฐานความรู้ กฎถูกแบ่งออกเป็น 6 ระดับ กฎในระดับสูงสุดจะใช้กำหนดกระบวนการและเหตุผล กฎทั้ง 6 ระดับตั้งอยู่บนฮิวริสติก ซึ่งได้มาจากการจำลองในภาวะแวดล้อมต่างๆ

***Shaw and Whinston (1985)*** ได้ศึกษาปัญหาการวางแผนและควบคุมในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นแบบเซลล์ (Cellular Flexible Manufacturing System) ในระบบนี้เซลล์จะถูกเลือกโดยวิธีการใช้ทรัพยากรสูงสุด วิธีการแก้ปัญหาแบบ Network Wide Bidding ถูกนำมากระจายงานและเชื่อมประสานในแต่ละเซลล์

***Bensana et al. (1986)*** ได้เสนอระบบการจัดตารางการผลิตแบบสั่งผลิต ประกอบด้วยโมดูล 2 โมดูลคือ

1.) โมดูลการวิเคราะห์ข้อจำกัดพื้นฐาน (Constrain Base Module)
2.) โมดูลสนับสนุนการตัดสินใจโดยใช้กฎ (Rule Base Decision Support Module)

เมื่อใดก็ตามที่ไม่สามารถจัดลำดับโดยใช้โมดูลวิเคราะห์ข้อจำกัดพื้นฐาน และไม่มีข้อจำกัดด้านลำดับขั้นตอนก่อนหลังแล้ว โมดูลสนับสนุนการตัดสินใจของกฎจะถูกนำมาใช้เพื่อเลือกขั้นตอนคู่ใหม่ ตัวควบคุมโมดูลนี้จะต้องอยู่บนวิธีการฟัซซี่ แต่ละกฎจะถูกกำหนดเป็นค่าดรรชนีและจำนวนคุณลักษณะของงาน เช่น เวลาที่เหลืออยู่ จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณลำดับความสำคัญในการเลือกเครื่องจักร

***Bruno et al. (1986)*** ได้ทำการพัฒนาระบบการจัดตารางการผลิตแบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการจัดชิ้นส่วนในกระบวนการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยทำการแบ่งชิ้นงานเป็นแบทช์ (Batch) ประกอบด้วย 100 – 200 ชิ้นงาน เพื่อหาเวลาเสร็จของงานแต่ละแบทช์ จากนั้นใช้ Dynamic Priority Scheme ในการจัด โดยใช้ภาษาฟอร์แทน 77 และ โอพีเอส 5

***Chiodini (1986)*** ได้เสนอการวางแผนใหม่แบบเวลาจริง (A Real Time Replanning System) ระบบ SCORE (Shop Floor Contingency Rescheduling Expert) ที่ถูกสร้างขึ้นมา จะทำการติดต่อกับระบบการวางแผนความต้องการทางวัสดุ (MRP) ใบรายการวัสดุจะถูกใช้ในการสร้างแผนการผลิต เมื่อมีความยุ่งยากเกิดขึ้นในแต่ละระดับของโครงสร้าง แผนการผลิตปัจจุบันจะถูกรื้อทิ้น ระบบ SCORE จะลดผลกระทบของความยุ่งยากให้น้อยที่สุด และรักษาความคงตัวของการผลิตโดยใช้วิธีการค้นหาข้อจำกัดโดยตรง (Constrain Directed Search) ระบบการให้น้ำหนักถูกพัฒนาขึ้นสำหรับผู้กำหนดตารางเพื่อสร้างตารางการผลิตบนสถานีที่เกิดความขัดแย้ง ในกรณีที่ไม่คาดหวังเกิดขึ้นระบบจะดำเนินงานต่อไปนี้

1.) ประเมินผลของเหตุการณ์
2.) พิจารณาตารางของระดับความยุ่งยาก
3.) พิจารณาระดับของตารางที่สูงขึ้น ถึงผลกระทบที่ไม่สามารถถูกชดเชยได้ในตารางปัจจุบัน

การผ่อนคลายข้อจำกัดถูกนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดผลกระทบของเหตุการณ์ที่ผิดปกติ ซึ่งจะประกอบด้วย

1.) การเพิ่มของงานในกระบวนการ
2.) การใช้เวลาทำงานล่วงเวลา

3.) การเพิ่มกะ
4.) การใช้กำลังการผลิตแบบเต็มที่

เมื่อความพยายามในการชดเชยผลกระทบของเหตุการณ์ที่ผิดปกติบกพร่อง ตารางการผลิตหลักจะหยุด ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอเกณฑ์สำหรับการแก้ปัญหาใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียของการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่าผลของการแก้ไขใหม่จะใกล้เคียงกับตารางการผลิตปัจจุบัน

***Erschler and Esquirol (1986)*** ได้เสนอระบบการจัดตารางการผลิตแบบสั่งผลิต โดยใช้การวิเคราะห์แบบฐานข้อจำกัด ระบบพยายามจะใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เท่านั้นและจะพยายามทำให้งานเสร็จก่อนกำหนด ระบบถูกออกแบบให้แก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรและการทำงานเท่านั้น มีกฎและข้อเท็จจริงที่นำมาใช้ คือ

1.) กฎการปรับปรุงเวลา
2.) กฎลำดับขั้นตอน ซึ่งจะนำมาใช้ในการสร้างลำดับในระหว่างขั้นตอน
3.) ข้อเท็จจริงที่ไม่ใช่ตัวแปร หมายถึง ข้อมูลที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้
4.) ข้อเท็จจริงที่เปลี่ยนแปลงได้

กฎและข้อเท็จจริงทั้งหมดที่กล่าวมาจะถูกนำไปโปรแกรมในโปรแกรมโปรลอก

***Morton and Smunt (1986)*** ได้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการแก้ปัญหาในสายการผลิตแบบยืดหยุ่น รวมถึงการวางแผนและการกำหนดตารางการผลิต โครงสร้างของระบบมี 4 ระดับด้วยกัน คือ

1.) วางแผนกลยุทธ์ (Manual Decision Support System)
2.) การวางแผนกำลังการผลิต (Semi-auto Decision Support System)
3.) การจัดตารางโดยสร้างผลลัพธ์แบบฮิวริสติก (Heuristic Solution) โดยวิธีการวิจัยดำเนินงาน
4.) การกระจายงาน (Dispatching) โดยการรวมเอาระดับที่ 3 และกฎอื่นๆ เข้ามาช่วย

สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตในระดับ 3 จะพิจารณาการใช้ทรัพยากร วันเวลากำหนดส่ง โดยจะให้ความสำคัญของข้อจำกัดเป็นอันดับ 1 ในการแก้ปัญหา ระบบของลำดับความสำคัญของขั้นตอนและทรัพยากรจะถูกพัฒนา ในระดับที่ 4 จะรวมข้อจำกัดดังต่อไปนี้

1.) เวลาเมื่อมีการดำเนินการเป็นไปได้
2.) ไม่มีการขัดจังหวะแบบชั่วคราวจากเครื่องมือ
3.) การแทรกงานโดยคน

ในระดับ 4 ฮิวริสติก 3 ถูกใช้ในการตัดสินลำดับของการกระจายการทำงาน (Dispatching Operation)

***Prabhu and Baker (1986)*** ได้กล่าวถึงการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจัดตารางการผลิต และได้เสนอว่าองค์ประกอบของโปรแกรมควรมีดังต่อไปนี้

1.) แฟ้มข้อมูลหรือข้อมูลเข้า
    1.1) Work Centre / Calendar File ประกอบด้วยเวลาในการทำงานของแต่ละสถานีงาน เวลาทำงาน/สัปดาห์
    1.2) Modification File เป็นไฟล์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลด้านเวลาในการทำงาน เช่น ต้องการหยุดเครื่องจักร เป็นต้น
    1.3) Job File ประกอบด้วย ชื่อผู้ประมวลผล เลขที่คำสั่ง รายละเอียด เลขที่ผลิตภัณฑ์ วัน/เดือน/ปี ที่ส่ง และการส่งงาน
    1.4) Component File ประกอบด้วยชิ้นส่วน วัสดุที่ใช้ในงานนั้นๆ เลขที่ชิ้นส่วน รายละเอียด หน่วยวัด จำนวนชิ้นงาน เป็นต้น
    1.5) Routing File ประกอบด้วยกระบวนการผลิต ชื่อสถานีที่ทำการผลิต เวลาติดตั้งเครื่องจักร เลขที่ขั้นตอนการผลิต รายละเอียดต่างๆ เวลาที่ใช้ในการผลิต/หน่วย เวลาในการขนส่ง เป็นต้น
2.) การประมวลผล ประกอบด้วยวิธีการในการประมวลผล กฎต่างๆ ที่นำมาใช้ในการประมวลผล
3.) รายงานผลการประมวลผล ประกอบด้วยสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้
    3.1) งานที่ทำในแต่ละสถานีงานทั้งในรูปของรายงาน และแผนภูมิแกนท์
    3.2) ผลลัพธ์ของการประมวลผล

***Subramanyam and Askin (1986)*** กล่าวถึงการแก้ปัญหาสำหรับการผลิตแบบยืดหยุ่นในแต่ละวันโดยมีเงื่อนไขการทำงานวันละ 2 กะ เพื่อตอบสนองความต้องการในแต่ละสัปดาห์ ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นมี 3 องค์ประกอบคือ

1.) สถานะของระบบ (System Status)
2.) สถานะของเครื่องจักร (Machine Status)

3.) สถานะของการทำงาน ( Operation Status)

สถานะของระบบและเครื่องจักรสามารถถูกกำหนดด้วยค่าต่างๆ อยู่ 3 ระดับคือ ระดับสูง ปานกลางและต่ำ งานที่มารอเครื่องจักรมี 3 สถานะด้วยกัน คือ ช้ามาก ช้าปานกลางและปกติ ได้มีการพัฒนาโครงสร้างการตัดสินใจแบบลำดับขั้น 3 ลำดับขั้น กฎจะทำการแสดงสถานะขององค์ประกอบแต่ละระดับ ซึ่งจะถูกกำหนดในโปรแกรมโปรลอก

***YU (1986)*** ได้พัฒนา AURORA (Automatic Reasoning Operation Research Application) เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญในการวางแผนโดยวิธีการ Pattern M/C Method ในการหาแบบของปัญหาเมื่อแบบสอดคล้องโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ก็จะทำงาน ผู้วางแผนก็จะอ้างแบบกับโปรแกรมเชิงเส้นที่เกี่ยวข้องไปยังตัวโปรแกรมอัตโนมัติเพื่อป้อนโปรแกรมเพื่อประมวลผลของการแก้ปัญหา ระบบนี้ถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนทางอากาศ การพัฒนาของ AURORA เป็นการพยายามรวมเอาการวิจัยดำเนินงานและระบบผู้เชี่ยวชาญเข้าด้วยกัน

***Jackson and Browne (1989)*** โปรแกรมการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ค่อนข้างมีข้อกำหนดในการนำไปใช้งาน เนื่องจากว่ามีการตั้งสมมติฐานกันมากมายเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด โปรแกรมโดยมากไม่สามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์หรือภาวะต่างๆ เช่น การหยุดและการซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นต้น ทางผู้วิจัยจึงเสนอการจัดตารางการผลิตแบบโต้ตอบโดยนำเอาความคิด ประสบการณ์จากคนมาใช้ในการจัดตารางเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่ดีคำตอบหนึ่ง

***Kusiak (1990)*** โครงสร้างของระบบของการจัดตารางแบบฐานความรู้ (Knowledge Base Scheduling System) ในสายการผลิตอัตโนมัติประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ

1.) ฐานความรู้ (Knowledge) ประกอบไปด้วยกรอบ 4 กรอบใหญ่ๆคือ
   - 1.1) กรอบของปัญหา เช่น ลักษณะของปัญหา จำนวนคนงาน จำนวนขั้นตอน ข้อจำกัดต่างๆ
   - 1.2) กรอบของงาน เช่น วันกำหนดส่ง ขั้นตอนของกระบวนการต่างๆ เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน
   - 1.3) กรอบของกระบวนการ เช่น ลำดับของขั้นตอนต่างๆ
   - 1.4) กรอบของการสร้างตาราง เช่น วิธีการคำนวณที่ใช้ บทสรุปที่ได้
2.) ฐานการคำนวณ (Algorithm Base) ในส่วนนี้จำต้องง่ายต่อการเพิ่มเติม
3.) ฐานข้อมูล (Data Base) ในส่วนนี้จะประกอบด้วยพารามิเตอร์ของปัญหาที่ต้องนำไปใช้ในการคำนวณ

4.) เครื่องวินิจฉัย (Inference Engine) ใช้ในการวินิจฉัยและเลือกว่าจะใช้กฎไหนกับปัญหาใด

***Doctor et al. (1993)*** ได้ทำการวิจัยปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยมีลักษณะของการผลิตเป็นการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ในการผลิตแบบสั่งผลิต ผู้วิจัยได้พัฒนาหาแบบจำลอง (Model) ในการแก้ปัญหานี้โดยใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติก โดยเป้าหมายของการจัดตารางการผลิต คือ การใช้งานเครื่องจักรให้มากที่สุดโดยที่จะต้องทันกำหนดส่งงาน โดยทำการจัดงานที่มีค่าดรรชนีมากก่อน และมีข้อจำกัดในด้านลำดับก่อนหลังในการทำงาน

***Shams (1993)*** ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการปรับแก้ตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบการไหลตามสายงาน โดยวิธีการนี้จะนำการแก้ไขตารางการผลิตที่ยังไม่ดี หรือไม่เป็นไปตามตามข้อจำกัด โดยจะทำการจัดตารางการผลิตซ้ำจากตารางการผลิตที่ได้ในตอนเริ่มต้น ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้คือต้นทุนในการประมวลผลต่ำและง่ายต่อการเพิ่มขยายฮิวริสติกที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบที่ได้รับ

***Yang et al. (1994)*** ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยหาวิธีในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยมีเงื่อนไขข้อจำกัดด้านเวลาการส่งมอบ วิธีดังกล่าวนี้เรียกว่า REHA (Revised Exchange Heuristic Algorithm) ผู้วิจัยได้ทำการใช้วิธี REHA กับวิธีการต่างๆ เช่น EDD, MST, SRDT, MDD โดยแบ่งขนาดของปัญหาและระดับความยืดหยุ่นของเวลาการส่งมอบ ผลปรากฏว่าวิธีการ REHA ได้ผลค่อนข้างดีกว่าวิธีอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ

***Low (1995)*** ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยหาฮิวริสติกเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบสั่งผลิต โดยมีเงื่อนไขเวลาเซ็ตอัพที่ขึ้นต่อกัน (Dependent Set Up Time) ซึ่งในการแก้ปัญหาลักษณะนี้ ในปัจจุบันมีคนสนใจน้อย ตลอดจนวิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหายังไม่ดีเท่าที่ควร จากผลการวิจัย ผู้วิจัยได้คิดอัลกอลิทึมเพื่อนำไปใช้แก้ปัญหาลักษณะดังกล่าว ซึ่งพบว่าได้ผลดีกว่าวิธีบางวิธีที่มีใช้ในปัจจุบัน

***ปิยมาภรณ์ ชมสุวรรณ (2540)*** ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยศึกษาถึงผลกระทบของความไม่แน่นอนในกรณีเครื่องจักรเสียที่มีผลต่อการจัดตารางการผลิต พบว่าในกรณีที่เครื่องจักรเสียในช่วงเวลาเริ่มต้นทำงานและเสียเป็นเวลานาน จะส่งผลให้ การไหลของงานในระบบนานขึ้น การสายของงานและงานล่าช้าเพิ่มมากขึ้น อัตราการใช้เครื่องจักรลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรที่เสียในช่วงต้นของการทำงานและเป็นเวลาน้อยๆ เครื่องจักรที่เสียเป็นเวลานานๆ ในช่วงท้ายและเครื่องจักรที่เสีย

เป็นเวลาน้อยๆ ในช่วงท้ายๆ จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตน้อยมาก