บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตและโปรแกรมที่นำมาใช้ในการประมวลผล และระบบฐานข้อมูลที่เลือกใช้ในการเก็บข้อมูล

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิต

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

2.1.1 ตัวแปรหรือพารามิเตอร์

ในการจัดตารางการผลิต จะต้องมีตัวแปรหรือพารามิเตอร์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตด้วยทุกครั้ง ตัวแปรพื้นฐานมีดังต่อไปนี้

1. เวลางานเสร็จสิ้น (Complete Time) หมายถึงเวลาเสร็จสิ้นของการทำงาน i นั้นๆถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ C_i
2. เวลาดำเนินงาน (Processing 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

เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต อาจมีได้หลายแบบ เช่น ต้องการส่งมอบงานให้ทันตามกำหนดเวลา มีอัตราการ ใช้งานเครื่องจักรมากที่สุด

เป็นต้น วัตถุประสงค์โดยทั่วไปสำหรับการจัดตารางการผลิต สามารถจำแนกตามตัววัดผลได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาการไหลของงานในระบบสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.1

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

โดยที่ $F_j = C_j - r_j$

F_j หมายถึง เวลาการไหลของงาน j

C_j หมายถึง เวลาที่การทำงาน j เสร็จสิ้น

r_j หมายถึง เวลาที่การทำงาน j พร้อมที่จะทำงาน

n หมายถึง จำนวนงานทั้งหมด

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

2. เวลาสายของงานโดยเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาสายของงานในระบบสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.2

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

โดยที่ $L_j = C_j - d_j$

L_j หมายถึง ระยะเวลาที่งานเสร็จก่อนหรือหลังเวลากำหนดส่งงาน

C_j หมายถึง เวลาเสร็จงานของงาน j

d_j หมายถึง เวลากำหนดส่งงาน j

n หมายถึง จำนวนงานทั้งหมด

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้เวลาสายของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

3. เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาล่าช้าของงานในระบบสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.3

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

โดยที่ $T_j = \max\{0, L_j\}$

L_j หมายถึง ระยะเวลาที่งานเสร็จก่อนหรือหลังเวลากำหนดส่งงาน

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

4. จำนวนงานล่าช้า หมายถึง จำนวนงานที่ส่งมอบไม่ทันเวลากำหนดส่งมอบ สามารถ หาค่าได้ตามสมการที่ 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. เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) หมายถึง เวลาสิ้นสุดของงานในระบบ สามารถ หาค่าได้ตามสมการที่ 2.5

$$M^* = \max\left\{\frac{1}{m}\sum t_j, \max_{j=1}^{n}[t_j]\right\} \qquad (2.5)$$

โดยที่ M^* หมายถึง เวลาปิดงานของระบบ

m หมายถึง จำนวนเครื่องจักร

t_j หมายถึง เวลาการทำงานของขั้นตอนการทำงาน

n หมายถึง จำนวนขั้นตอนการทำงานทั้งหมด

j หมายถึง ขั้นตอนการทำงาน

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าเวลาการปิดงานของระบบมีค่าต่ำสุด

6. เวลาล่าช้าสูงสุด (Maximum tardiness) หมายถึง เวลาที่ส่งมอบไม่ทันกำหนดสูงสุดของงานในระบบ หาค่าได้ตามสมการที่ 2.6

$$T_{\max} = \max_{1 \le j \le n} \{T_j\} \qquad (2.6)$$

โดยที่ U หมายถึง อัตราการใช้งานเครื่องจักร

W หมายถึง เวลาที่เครื่องจักรทำงาน

A หมายถึง เวลามากที่สุดที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้เวลาล่าช้าสูงสุดที่ค่าน้อยที่สุด

2.1.3 ข้อจำกัดในการจัดตารางการผลิต (Constraints)

ข้อจำกัดในการจัดตารางการผลิตคือเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาในการจัดตารางการผลิต มีหลายอย่างด้วยกัน เช่น

1. ลำดับการดำเนินการ (Precedence)

งานแต่ละงานนั้นมีลำดับของขั้นตอนการทำงานอยู่ ดังนั้นในการจัดตารางการผลิต การทำงานขั้นตอนแรกต้องถูกกระทำก่อนการทำงานถัดไป โดยไม่สามารถจัดข้ามขั้นตอนได้

2. การทดแทนกันได้ของทรัพยากร (Resource Replacement)

โดยทั่วไปในการผลิต จะมีทรัพยากรบางอย่างที่สามารถทดแทนกันได้ ดังนั้นการจัดตารางการผลิต ถ้าหากมีทรัพยากรบางตัวไม่ว่าง ก็สามารถนำทรัพยากรตัวอื่นๆ ที่สามารถทดแทนได้และว่างอยู่มาทำงานแทน ทำให้ได้ตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. เงื่อนไขการแก้ปัญหาเมื่อเกิดการหยุดของทรัพยากรในระหว่างการดำเนินการ (Resume/Repeat)

เมื่อทรัพยากรเกิดการหยุดขึ้นมา งานที่ทรัพยากรนั้นทำอยู่ต้องเริ่มต้นทำใหม่(Repeat) หรือไม่ หรือว่าสามารถทำต่อได้เลย (Resume)

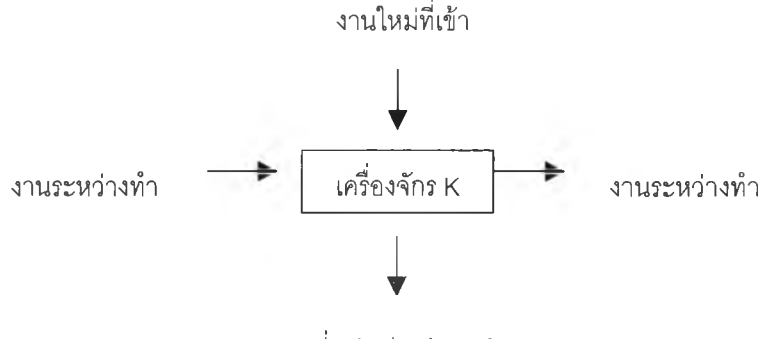
4. อื่นๆ เช่น การอนุญาตให้สามารถขัดจังหวะการทำงานของทรัพยากรได้หรือไม่ (Preemption) เป็นต้น

2.1.4 ประเภทของการผลิต

ในอุตสาหกรรมการผลิตนั้น เราสามารถจำแนกประเภทของการผลิตได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

1. ประเภทสั่งผลิตเป็นงานๆ (Job Shop)

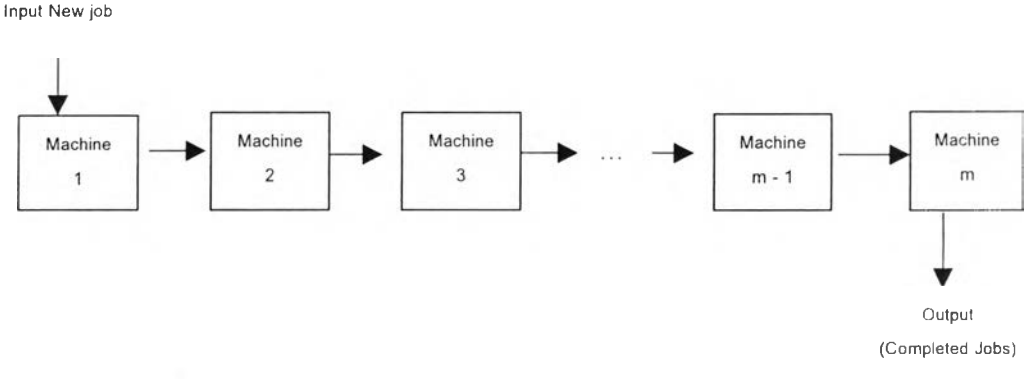
ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบสั่งผลิตเป็นงานๆ มีลักษณะแ1ตกต่างจากปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบการไหลของสายงานคือ เส้นทางการไหลของงานมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของงาน ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบสั่งผลิตเป็นงานๆประกอบไปด้วยเครื่องจักรจำนวนหนึ่งและงานหลายๆประเภท โดยงานแต่ละงานประกอบไปด้วยขั้นตอนการทำงานหลายๆขั้นตอนซึ่งมีลำดับก่อน – หลัง ในการผลิตที่แน่นอน (Baker, 1974:178) ดังรายละเอียดในรูป 2.1



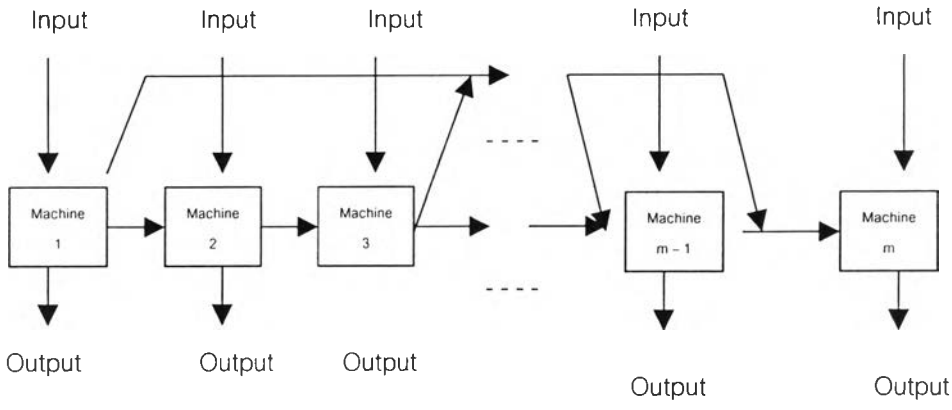
รูปที่ 2.1 *รูปแสดงการผลิตแบบ Job shop (Baker, 1974: 178)*

2. ประเภทการไหลของสายงาน (Flow Shop)

ลักษณะการผลิตแบบการไหลของสายงาน ประกอบด้วยเครื่องจักรหรือสถานีงานหลายสถานีงานที่ทำงานต่อเนื่องกันโดยลำดับขั้นตอนการทำงานของทุกงานเหมือนกัน ซึ่งหมายความว่างานเหล่านี้มีเส้นทางการไหลเหมือนกัน ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบการไหลของสายงานประกอบด้วยเครื่องจักรที่ต่างกัน m ขั้นตอน (Operation) โดยในแต่ละขั้นตอนการทำงานใช้เครื่องจักรที่แตกต่างกัน (Baker,1974:136) ดังแสดงรายละเอียดรูปที่ 2.2 – 2.3



รูปที่ 2.2 *รูปแสดงการผลิตแบบ Pure flow shop (Baker, 1974: 137)*



รูปที่ 2.3 *รูปแสดงการผลิตแบบ Pure flow shop (Baker, 1974: 137)*

2.1.5 ชนิดของตารางการผลิต

โดยทั่วไปแล้ว การจัดตารางการผลิตสามารถแบ่งลักษณะของตารางการผลิตออกเป็น 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) - (ง) ซึ่งเป็นตารางการผลิตที่ได้จากการจัดโดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดของตารางการผลิตแต่ละแบบดังต่อไปนี้

1. ตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ (Semiactive Schedules)

ตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ เป็นตารางการผลิตที่ภายหลังจากการจัดตารางการผลิตแล้ว ไม่สามารถทำการเลื่อนการทำงานให้เร็วขึ้นได้ โดยที่ไม่ทำให้ลำดับการทำงานบนเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงไป จากรูปที่ 2.4 (ก) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของ ตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ จะเห็นได้ว่าไม่มีงานใดๆ แล้ว ที่สามารถทำงานได้เร็วขึ้นอีก โดยที่ไม่ทำให้ลำดับการทำงานบนเครื่องจักรเปลี่ยนแปลงไป

2. ตารางการผลิตแบบแอคทีฟ (Active Schedules)

ตารางการผลิตแบบแอคทีฟเป็นตารางการผลิตที่ภายหลังจากการจัดตารางการผลิตแล้วไม่มีการทำงานที่สามารถเลื่อนให้เร็วขึ้น โดยไม่ทำให้งานอื่นๆ ต้องช้าลง จากรูปที่ 2.4 (ข) และ 2.4 (ค) จะเห็นได้ว่าไม่มีการทำงานใดที่สามารถเลื่อนให้เร็วขึ้นโดยไม่ทำให้งานอื่นๆ ต้องช้าลง ซึ่งจะบรรยายขั้นตอนการจัดตารางการผลิตยกตัวอย่างในหัวข้อ 2.1.7

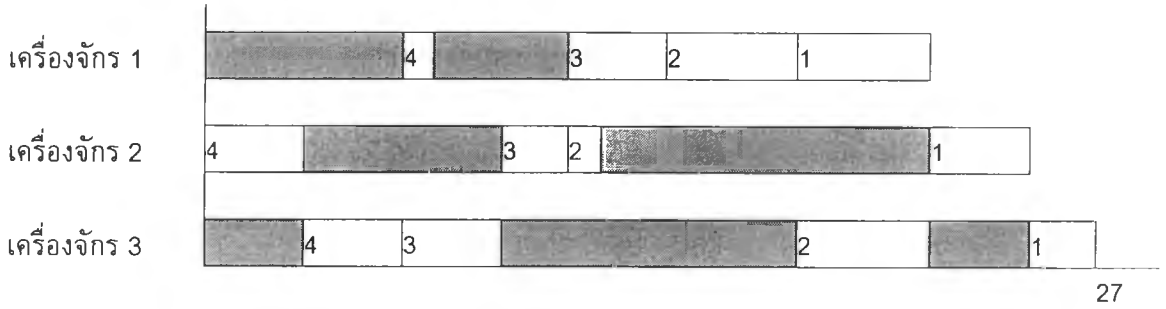
3. ตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์ (Nondelay Schedules)

ตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์เป็นตารางการผลิตแบบแอคทีฟ แต่มีลักษณะพิเศษคือว่าไม่มีเครื่องจักรใดว่างอยู่เลย หากสามารถจัดการทำงานให้เครื่องจักรทำงานได้ จากรูปที่ 2.4 (ข) จะเห็นได้ว่า บนเครื่องจักรที่ 1 งานที่ 3 สามารถเลื่อนมาทำงานให้เร็วขึ้นได้ โดยเลื่อนให้มาทำงานก่อนงานที่ 4 และเลื่อนงานที่ 4 ไปเป็นงานสุดท้าย เมื่อเลื่อนแล้วก็จะกลายเป็นรูปที่ 2.4(ง) ซึ่งเป็นตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์ ซึ่งจะบรรยายขั้นตอนการจัดตารางการผลิต ยกตัวอย่างในหัวข้อ 2.1.7

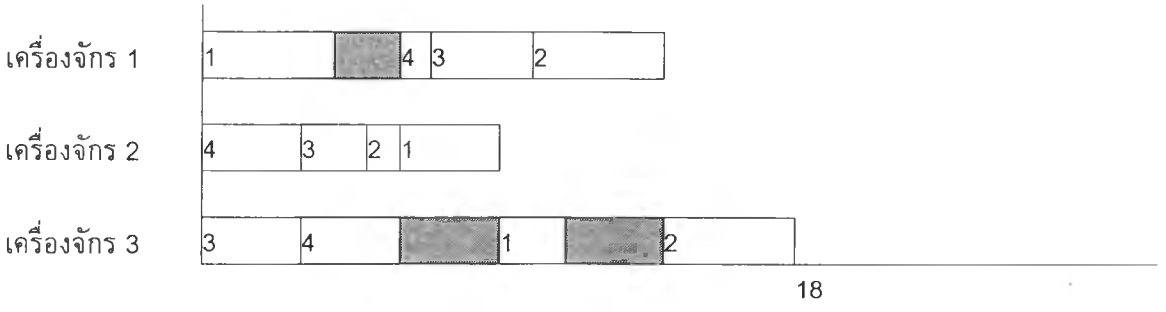
4. ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์ (Optimal Schedules)

ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์เป็นตารางการผลิตที่ดีที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์ในการจัดนั้นๆ ไม่มีตารางการผลิตใดที่ดีไปกว่านี้อีก

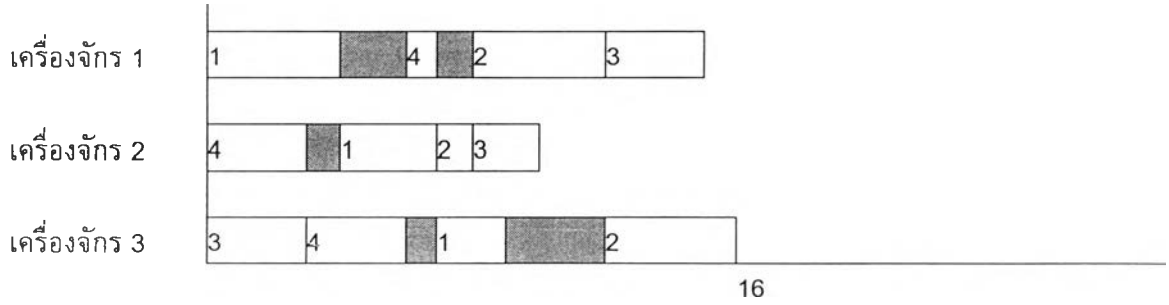
ความสัมพันธ์ของตารางการผลิตทั้ง 4 แบบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นแผนภาพเวนน์แสดงความสัมพันธ์ของตารางการผลิตทั้ง 4 แบบ จากรูปที่ 2.5 (ก) แสดงให้เห็นว่า ตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์เป็นสับเซตของตารางการผลิตแบบแอคทีฟ ตารางการผลิตแบบแอคทีฟเป็นสับเซตของตารางการผลิตแบบเซมิแอคทีฟ ตามลำดับ ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์อยู่ในสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบแบบนอนดีเลย์ จากรูปที่ 2.5 (ข) แสดงให้เห็นว่าตารางการผลิตแบบออพติมอล์อยู่ในสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบแอคทีฟ แต่ไม่เป็นสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์ โดยทั่วไปแล้วตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์จะมีประสิทธิภาพของตารางดีกว่าตารางการผลิตแบบแอคทีฟและใช้เวลาในการจัดไม่มาก



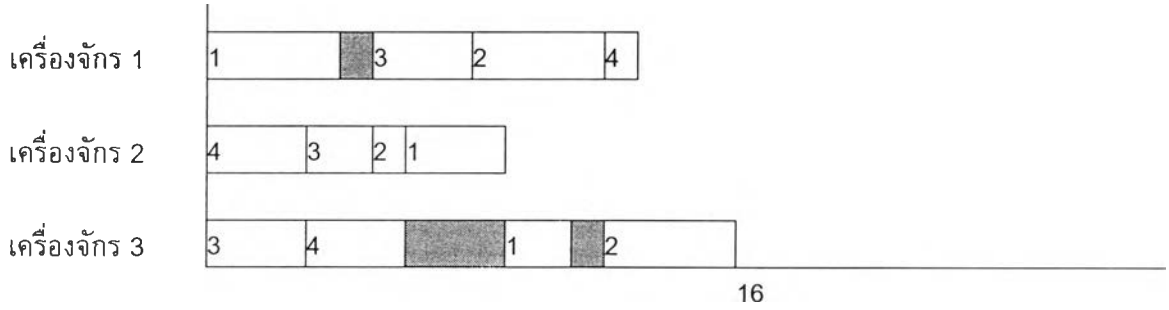
(ก) เซมิแอคทีฟ



(ข) แอคทีฟ

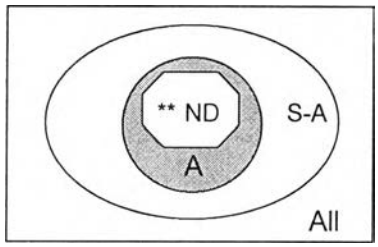


(ค) แอคทีฟ

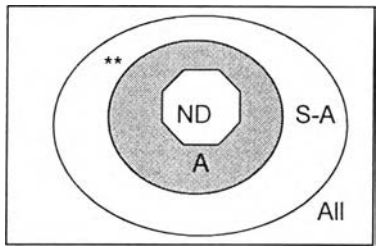


(ง) นอนดีเลย์

รูปที่ 2.4 *แผนภูมิแกนท์แสดงตารางการผลิตชนิดต่าง ๆ*



(ก) *ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์เป็นสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์*



(ข) *ตารางการผลิตแบบออพติมอลล์เป็นสับเซ็ตของตารางการผลิตแบบแอคทีฟ*

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

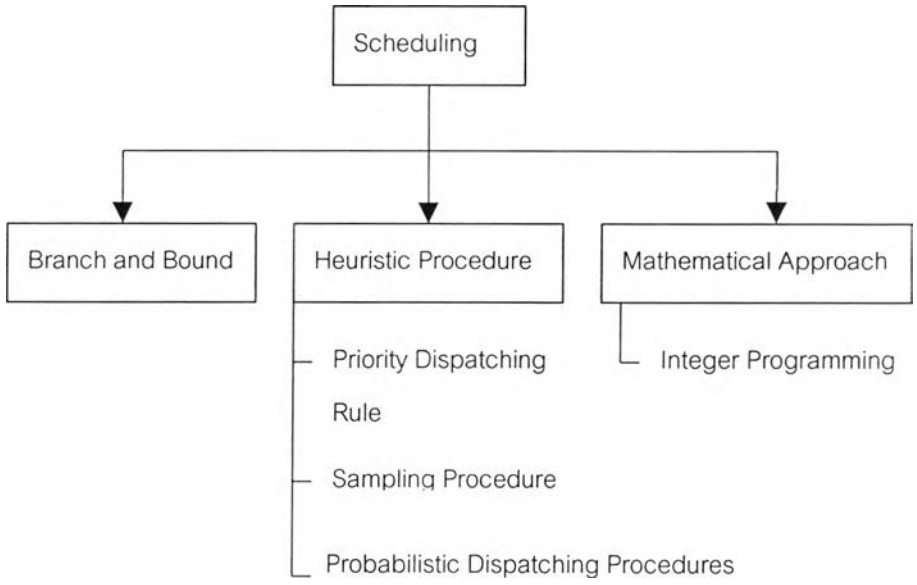
รูปที่ 2.5 *แผนภาพเวนน์แสดงความสัมพันธ์ของตารางการผลิตทั้ง 4 แบบ*

2.1.6 กฎและวิธีการในการจัดตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิตพิจารณากฎและวิธีการจัดตารางการผลิตดังนี้ วิธีการในการจัดตารางการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายวิธีด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากมีดังต่อไปนี้

1. วิธีบรานช์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound)

วิธีการนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนบรานช์และบาวด์ ขั้นตอนบรานช์เป็นกระบวนการแบ่งส่วนของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ออกเป็นปัญหาย่อย ขั้นตอนบาวด์เป็นกระบวนการของการคำนวนค่าโลเวอร์บาวด์ (Lower Bound) ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยนั้น



***รูปที่ 2.6** รูปแสดงวิธีการในการจัดตารางการผลิตแบบต่างๆ*

2. วิธีฮิวริสติก (Heuristic Method)

วิธีการฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ใช้ฮิวริสติกมาช่วยในการจัดตารางการผลิต วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่าย ใช้เวลาไม่มาก และประสิทธิภาพของตารางการผลิตที่ดีพอสมควร ฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตมีหลายตัวด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากมีดังต่อไป นี้ (Morton,1986)

- ฮิวริสติกการกระจายแบบพื้นฐาน (Simple Dispatching Heuristic) เป็นการใช้หลักลำดับความสำคัญเป็นเกณฑ์ในการใช้จัดตารางการผลิตซึ่ง

จะใช้ร่วมกับวิธีการจัดตารางการผลิตแบบต่างๆ โดยสามารถจำแนกแยกย่อยตามลักษณะของลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้

- ลำดับความสำคัญแบบสถิตย์ (Static Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะคงที่ตลอดการใช้งาน เช่น ให้เลือกงานที่เข้ามาก่อน
- ลำดับความสำคัญแบบพลวัต (Dynamic Priority) ลำดับความสำคัญแบบนี้จะเปลี่ยนแปลงไปทุกครั้งที่งานใดๆ ถูกกระทำ เช่นจำนวนงานที่เหลือ
- 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) เป็นการหาผลลัพธ์โดยทำการประมวลผล ฮิวริสติกซ้ำๆ กันหลายๆ ครั้งจนได้ผลที่ดี วิธีนี้มีข้อจำกัดคือใช้ความสามารถในการคำนวณมาก ตัวอย่างของวิธีการแบบนี้มีดังต่อไปนี้

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

3. วิธีทางตัวเลข (Integer Programming Approch) เป็นการจัดตารางการผลิตโดยใช้วิธีการกำหนดตัวเลขจำนวนเต็มเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด
4. อื่นๆ เช่น GA

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

2.1.7 การสร้างตารางการผลิต

ในกระบวนการผลิตแบบสั่งผลิตเป็นงานๆ นั้น วิธีการสร้างตารางการผลิตที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธีด้วยกันคือ การสร้างตารางการผลิตแบบแอคทีฟ (Active Schedule Generation) การสร้างตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์ (Non Delay Schedule Generation) และการสร้าง ตารางการผลิตโดยใช้ฮิวริสติก โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและขั้นตอนการสร้างของแต่ละวิธีดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

PS_t ตารางที่ประกอบด้วยการทำงาน t การทำงาน

S_t เซตของการทำงานที่ขั้นตอน t ซึ่งสอดคล้องกับ PS_t

σ_j เวลาเร็วสุดซึ่งการทำงาน $j \in S_t$ ที่สามารถเริ่มต้นได้

ϕ_j เวลาเร็วสุดซึ่งการทำงาน $j \in S_t$ ที่สามารถเสร็จสิ้นลง

1. การสร้างตารางการผลิตแบบแอคทีฟ

มีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

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

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

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

ตารางที่ 2.1 *ตารางการแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตในแต่ละขั้นตอนของงาน*

งานที่	ขั้นตอนการผลิต		
	1	2	3
1	4	3	2
2	1	4	4
3	3	2	3
4	3	3	1

ตารางที่ 2.2 *ตารางการแสดงเส้นทางผลิตในแต่ละขั้นตอนของงาน*

งานที่	ขั้นตอน		
	1	2	3
1	1	2	3
2	2	1	3
3	3	2	1
4	2	3	1

ตัวอย่าง : จากข้อมูลการทำงานในตารางที่ 2.1 และ 2.2 สามารถสร้างตารางการผลิตได้ดังนี้

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

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

$$\phi j = \{4, 1, 3, 3\}$$

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

ขั้นตอนที่ 3 นำงาน 212 ไปทำบนเครื่องจักร 2

ขั้นตอนที่ 4 $PSt_{+1} = \{212\}$, $St_{+1} = \{111, 224, 313, 413\}$

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 ซึ่งประกอบไปด้วยการ ทำงาน j *และเวลาเริ่มต้นที่* σ_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 2.1 และ 2.2 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 และแบบนอนดีเลย์ โดยฮิวริสติกที่นำมาใช้จะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนที่ 3 ของการสร้างตารางการผลิตในแต่ละวิธี โดยทำการสร้างดัชนีของการทำงานจากฮิวริสติกนั้นๆ ขึ้นมาแล้วทำการคำนวณหาค่าดัชนีที่ดีที่สุดสำหรับฮิวริสติกที่ใช้ โดยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ฮิวริสติกประเภทกฎการจัดลำดับความสำคัญมาช่วยในการสร้างตารางการผลิตแบบแอคทีฟและแบบนอนดีเลย์

2.2 โปรแกรมประมวลผล

น.ต. ไพศาล โมลิสกุลมงคล และ นายนิรุธ อำนวยศิลป์ ได้อธิบายโปรแกรม PHP ไว้ดังต่อไปนี้

2.2.1 โปรแกรม PHP

PHP ในอดีตหมายถึง Professional Home Page แต่ในปัจจุบัน หมายถึง PHP Hypertext Preprocessor ซึ่งเป็นภาษาสคริปแบบหนึ่งที่เรียกว่า Server Side Script ที่ประมวลผลฝั่งเซิร์ฟ แล้วส่งผลลัพธ์ไปฝั่งไคลเอ็นต์ผ่านเว็บบราวเซอร์เช่นเดียวกับ ASP (Active Server Pages) ปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการนำมาช่วยพัฒนา

งานบนเว็บที่เรียกว่า Web Development หรือ Web Programming เนื่องจากมีจุดเด่นหลายประการ รูปแบบของภาษา PHP มีเค้าโครงมาจากภาษา C และ Perl ที่นำมาปรับปรุงทำให้มีประสิทธิภาพ และทำงานได้เร็วขึ้น

2.2.2 ประวัติความเป็นมาของ PHP

PHP เกิดขึ้นในปี 1994 โดยโปรแกรมเมอร์ชาวสหรัฐอเมริกาชื่อ Rasmus Lerdorf ได้พัฒนาเครื่องมือใช้สำหรับการสร้างเว็บเพจข้อมูลส่วนตัวของเขา โดยตอนแรกใช้ภาษา Perl แต่เกิดอุปสรรคในเรื่องความเร็ว เขาจึงพัฒนาเครื่องมือใหม่นี้ขึ้นมาโดยใช้ไวยกรณ์ภาษา C และเรียกว่า Personal Home Page ในขณะเดียวกันก็พัฒนาส่วนที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูลที่เรียกว่า Form Interpreter (FI) ทั้งสองส่วนรวมกันเป็น PHP/FI ตรงนี้เองที่เป็นจุดเริ่มต้นของ PHP เนื่องจากเมื่อมีผู้เข้าชมเว็บเพจของเขาต่างนิยมจึงติดต่อขอโค้ดเพื่อนำไปพัฒนาต่อในลักษณะที่เรียกว่า Open Source ด้วยเหตุนี้ในปี 1997 เว็บไซต์มากกว่า 50,000 แห่งที่ใช้ PHP/FI เพื่องานในด้านต่างๆทั้ง การติดต่อฐานข้อมูล, การติดต่อฐานข้อมูล, การแสดงข้อมูลแบบไดนามิกและอื่นๆ

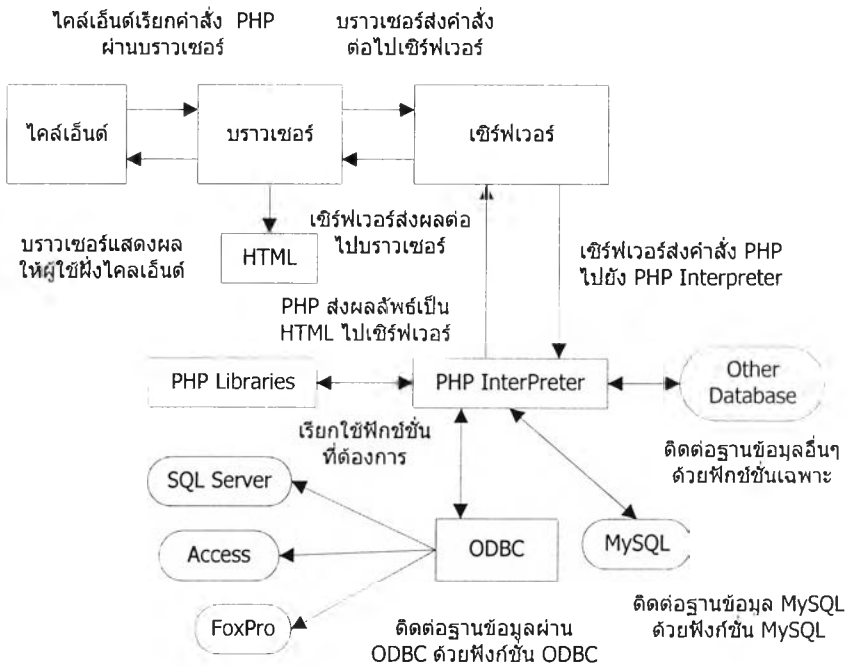
เมื่อมีผู้ใช้มากขึ้นก็มีคำร้องขอให้พัฒนาประสิทธิภาพของ PHP/FI ให้สูงยิ่งขึ้น การพัฒนาด้วยตนเองของ Rasmus Lerdorf ไม่เพียงพอ จึงมีผู้ช่วยเหลือ 2 คน ที่ชื่อ Zeev Suraski กับ Andi Gutmuns ชาวอิสราเอล เข้ามาปรับปรุงโค้ดเดิมของ Lerdorf โดยใช้ C++ และมีทีมงานเพิ่มเติมอีก 3 คน คือ Stig Bakken, Shane Caraveo และ Jim Winstead โดยนาย Stig Bakken รับผิดชอบเกี่ยวกับความสามารถในการสนับสนุน Oracle, Shane Caraveo ดูแล PHP บน Windows 9x/NT และ Jim Winstead คอยตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ อีกครั้ง และได้ชื่อเป็น Professional Home Pages สำหรับ PHP3 ที่ออกมาเมื่อ มิ.ย.1998 ที่ผ่านมา มีคุณสมบัติที่เด่นคือการสนับบสนุนหลายแพ็ตฟอร์มของระบบปฏิบัติการ เช่น Windows 95/98/ME/NT และ เว็บเซิร์ฟเวอร์ เช่น IIS, PWS, Apache, OmniHTTPd นอกจากนี้ยังสนับสนุนระบบฐานข้อมูลหลายแบบ เช่น SQL Server, MYSQL, mSQL, Oracle Informix, ODBC เป็นต้น สนับสนุน SNMP (Simple Network Management Protocol) และ IMAP (Internet Message Access Protocol)

ปัจจุบัน Zeev และ Andi Gutmans ได้ร่วมกันพัฒนาต่อเป็น PHP4 โดยตั้งชื่อว่า Zend ซึ่งเป็นเป้าหมายคือประสิทธิภาพที่เหนือกว่า ASP โดย Zend จะเป็น Compile script ซึ่งต่างจากเดิมที่เป็น Embed Script Interpreter ซึ่งจะทำให้ทำงานได้เร็วขึ้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

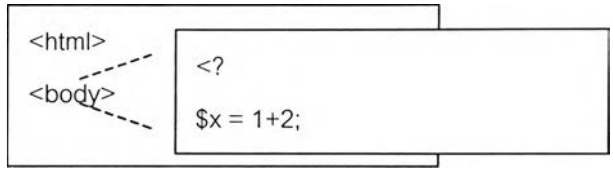
2.2.3 หลักการทำงานของ PHP

PHP จะทำงานโดยมีตัวแปลและเอ็กซิคิวต์ที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ อาจจะเรียกการทำงานว่าเป็นเซิร์ฟเวอร์ไซด์(Server Side) ส่วนการทำงานของบราวเซอร์ของผู้ใช้เรียกว่าไคลเอ็นต์ไซด์ (Client Side) โดยการทำงานจะเริ่มต้นที่ผู้ใช้ส่งความต้องการผ่านเว็บบราวเซอร์ทาง HTTP ไปยังเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งมีส่วนขยายเอกสารเป็น php หรือ php3 เมื่อเอกสาร PHP เข้ามาถึงเว็บเซิร์ฟเวอร์ก็จะถูกส่งไปให้ PHP เพื่อทำหน้าที่แปลคำสั่งแล้วเอ็กซิคิวต์คำสั่งเหล่านั้น หลังจากนั้น PHP จะสร้างผลลัพธ์ในรูปแบบเอกสาร HTML ส่งกลับไปให้เว็บเซิร์ฟเวอร์ เพื่อส่งต่อไปให้บราวเซอร์แสดงผลทางฝั่งผู้ใช้ ซึ่งลักษณะการทำงานแบบนี้คล้ายกับการทำงาน CGI (Common Gateway Interface) หรืออาจจะกล่าวได้ว่า PHP ก็คือโปรแกรม CGI ประเภทหนึ่งก็ได้ซึ่งทำงานคล้ายกับ ASP นั่นเอง ลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.7



***รูปที่ 2.7** รูปแสดงหลักการทำงานของ PHP*

การเขียนโปรแกรมโดย PHP สามารถเขียนคำสั่งของ PHP แทรกในแท็ก HTML โดยใส่เอาไว้ภายในเครื่องหมาย <? ...?> ซึ่งทำให้สามารถประมวลผลที่ Server ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปแสดงไฟล์ HTML ที่บรรจุคำสั่ง PHP

2.2.4 PHP กับ Database

PHP ใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระบบฐานข้อมูลได้หลายระบบ ดังนี้

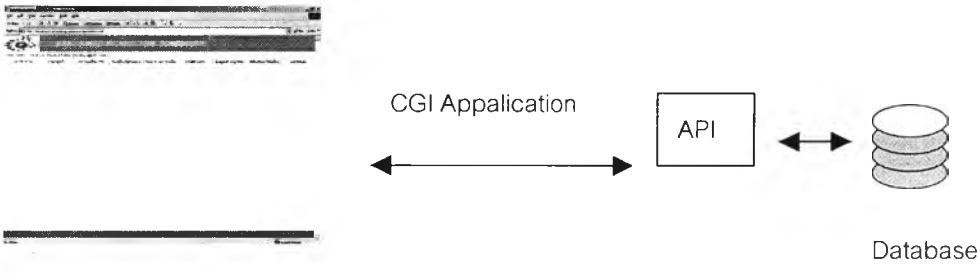
Adabas D	InterBase Solod	Dbase	mSQL
Sybase	Empress	MySQL	Velocis
FilePro	Oracle	Unix	dbm
Informix	PostgreSQL		

2.3 ระบบฐานข้อมูลบนเว็บไซต์

นายนิรุธ อำนวยศิลป์ ได้อธิบายระบบฐานข้อมูลบนเว็บไซต์ไว้ดังต่อไปนี้

โปรแกรมที่จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเรียกใช้ฐานข้อมูล และนำข้อมูลมาแสดงบนเว็บไซต์ ก็คือ CGI (Common Gateway Interface) โดยโปรแกรม CGI จะเป็นตัวติดต่อสื่อสารกับบราวเซอร์ ในการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับมาจากฐานข้อมูลผ่านทาง API (Application Programming Interface) ของระบบฐานข้อมูลนั้นๆ

ในการเขียนโปรแกรมให้เชื่อมต่อไปยัง API ของระบบฐานข้อมูลนั้น จะต้องศึกษาด้วยว่า จะใช้ภาษาหรือเครื่องมืออะไรในการเขียน โดยเราจะต้องดูถึงระบบฐานข้อมูลด้วยว่าทำงานอยู่ในระบบใด ถ้าเป็นฐานข้อมูลที่ทำงานบนระบบ WindowsNT ต้องใช้โปรแกรม ASP (Active Server Page) ทำหน้าที่เป็น CGI ที่ใช้การเชื่อมต่อไปยังฐานข้อมูล แต่ถ้าเป็นฐานข้อมูลที่ทำงานบน UNIX เช่น mySQL, mSQL ก็สามารถใช้ PHP หรือ Perl ในการเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล" ซึ่งหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงการเชื่อมโยงระหว่างบราวเซอร์กับระบบฐานข้อมูล

2.3.1 ระบบฐานข้อมูล MySQL

MySQL เป็นระบบฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสิ่งหนึ่งที่ PHP สามารถเชื่อมต่อได้ mySQL เป็นระบบฐานข้อมูลขนาดเล็กและง่ายต่อการจัดการ เหมาะสำหรับการทำ Database Server ที่สามารถทำงานได้ในระดับหนึ่ง และรองรับทั้งบน Windows, Unix และ Linux

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gere (1966) ได้ศึกษาทั้งปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบสถิต (Static) และแบบพลวัต (Dynamic) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาว่า มีการลดผลรวมของเวลาสายของงาน (Sum of Lateness) หรือไม่ เพื่อให้บรรลุจุดประสงค์นี้จึงทำการจำลองแบบปัญหาขั้นตอนของการผลิตแบบ Job shop โดยใช้ภาษา Fortran ผู้วิจัยใช้โปรแกรมที่ทดสอบกฎการจัดลำดับความสำคัญ (Priority Rule) แปดกฎ ผลงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพของฮิวริสติกในการรวมกฎการจัดลำดับความสำคัญสามารถปรับปรุงตารางการผลิตอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้กฎการจัดลำดับความสำคัญที่สมเหตุสมผล

Hershauer และคณะ (1975) เสนอวิธีการมาตรฐานสำหรับการเลือกการจัดลำดับในการผลิตแบบ Job Shop กฎการจัดลำดับเป็นการรวมเชิงเส้นของตัวแปรตัดสินใจหลายตัวโดยมีการให้น้ำหนักตัวแปรตัดสินในแต่ละตัว กฎที่เสนอนี้ใช้เพื่อหาลำดับความสำคัญของงานแต่ละงานในแถวคอยและมีการหาต้นทุนการผลิตจากการจำลองแบบปัญหาโดยใช้คอมพิวเตอร์มีการปรับสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันลำดับความสำคัญโดยวิธีการหาแบบแผนเพื่อหาสัมประสิทธิ์ที่ทำให้ต้นทุนคาดหมายต่อการสั่งซื้อน้อยที่สุดสำหรับโครงสร้างต้นทุนที่กำหนด โดยโครงสร้างต้นทุนเป็นการรวมของตัววัดผลที่ได้หลายๆตัว วิธีการที่ Hershauer และคณะเสนอเป็นวิธีการสำหรับหากฎการจัดลำดับที่ได้ผลดีในการผลิตแบบ Job Shop

Buzacott (1976) ได้คำนวณกำลังการผลิตของการผลิตแบบ Job Shop ในกรณีที่มีพื้นที่เก็บที่จำกัดโดยสมมติว่า จำนวนของงานที่รออยู่หน้าเครื่องจักรถูกจำกัด ดังนั้นงานที่เข้ามาขณะที่ไม่มีพื้นที่เหลือใน Shop ทำให้เกิดแถวคอยใน shop กำลังการผลิตหรืออัตราที่มากที่สุดที่ชิ้นงานออกจาก shop ขึ้นอยู่กับวิธีในการเลือกงานจากแถวคอยใน shop เข้าสู่แถวคอยของเครื่องจักร สำหรับกรณีของการผลิตแบบ Job shop ที่มีเครื่องจักรที่เหมือนกันและใช้งานแทนกันได้สองเครื่องและมีเส้นทางการไหลของงานแบบสุ่ม มีการเปรียบเทียบกฎในการเลือกงานจากแถวคอย จากงานวิจัยพบว่า กำลังการผลิตสูงขึ้นเมื่อจำนวนของงานใน Shop น้อยกว่าพื้นที่มีอยู่

Rochette and Sadowski (1976) ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพคือเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ผลการวิจัยพบว่ากฎ SPT เป็นกฎที่ดีที่สุดในเกือบทุกสถานและความยืดหยุ่นของการจัดกำลังคนมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการปรับปรุงเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพดังกล่าว

Blackstone และคณะ (1982) ได้ศึกษาทบทวนเกี่ยวกับการเร่งงาน (Dispatching Rule) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่ออธิบายเกี่ยวกับการเร่งงาน รวมถึงวิธีการเชิงวิเคราะห์ (Analytical Approach) เทคนิคการจำลองแบบปัญหา (Simulation Technique) และเกณฑ์การซึ่งใช้ข้อมูลจากผลการศึกษาที่ตีพิมพ์ในช่วงเวลานั้น Blackstone สรุปว่าไม่มีกฎการเร่งงานกฎใดเพียงกฎเดียวที่สามารถลดค่าใช้จ่ายจากงานล่าช้าได้น้อยที่สุดในการผลิตแบบ Job Shop กฎ IS อาจเป็นกฎที่ดีที่สุดในกรณี 1. ไม่มีการกำหนดวันส่งมอบ (Due Date) 2. มีการกำหนดวันส่งมอบที่เข้มงวด 3. มีการกำหนดวันส่งมอบอย่างหลวมๆในช่วงเวลาที่มีงานในการผลิตมาก

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

Prabhu and Baker (1986) ได้กล่าวถึงการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจัด ตารางการผลิต 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 เวลา ติดตั้งเครื่องจักร เลขที่ขั้นตอนการผลิต รายละเอียดต่างๆ เวลาที่ใช้ใน การผลิต/หน่วย เวลาในการขนส่ง เป็นต้น
2. การประมวลผล ประกอบด้วยวิธีการในการประมวลผล กฎต่างๆ ที่นำมาใช้ในการประมวลผล

3. รายงานผลการประมวลผล ประกอบด้วยสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้

3.1 งานที่ทำในแต่ละสถานีงานทั้งในรูปของรายงาน และแผนภูมิแกนท์

3.2 ผลลัพธ์ของการประมวลผล

Bruno, Elia , and Laface (1986) ได้ทำการพัฒนาระบบการจัดตารางการผลิตแบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการจัดชิ้นส่วนในกระบวนการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยทำการแบ่งชิ้นงานเป็นแบทช์ (Batch) ประกอบด้วย 100 – 200 ชิ้นงาน เพื่อหาเวลาเสร็จของงานแต่ละแบทช์ จากนั้นใช้ Dynamic Priority Scheme ในการจัด โดยใช้ภาษาฟอร์แทน 77 และ โอพีเอส

Russell และคณะ (1987) เสนอการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบของกฎการจัดลำดับงาน COVERT ซึ่งเป็น Job Shop Dispatching Rule ที่จัดลำดับความสำคัญของงานในแถวคอยตามอัตราส่วนระหว่างเวลาที่คาดว่างานจะล่าช้ากับเวลาการทำงานขั้นตอนการทำงานนั้น มีการทดสอบกฎการจัดลำดับ COVERT กว่า 20 ปีที่ผ่านมาด้วยผลที่น่าพึงพอใจ อย่างไรก็ตามหลังจากนั้นกฎ COVERT ก็ถูกรวมอยู่เป็นเพียงกฎหนึ่งที่มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกฎการจัดตารางการผลิตแบบอื่น ในงานวิจัยนี้มีการทดสอบกฎ COVERT ในส่วนรายละเอียดเมื่อเปรียบเทียบกับความสะดวกในการใช้งาน ความไวต่อพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลเข้า และตัววัดประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับกฎการจัดตารางการผลิตแบบอื่น เช่น Truncated SPT Dynamic Slack และ Modified Due date มีการทดสอบประสิทธิภาพของกฎ COVERT โดยใช้แบบจำลองในการจำลองแบบปัญหาของการผลิตแบบ Job shop โดยที่มีงานและเส้นทางการไหลของงานที่ได้จากการสุ่ม ผลการทดสอบพบว่า กฎ COVERT เป็นกฎการจัดลำดับที่ดีและในหลายกรณีพบว่า กฎ COVERT มีประสิทธิภาพที่ดีกว่ากฎการจัดตารางการผลิตแบบอื่น

Jackson and Browne (1989) โปรแกรมการจัดตารางการผลิตในปัจจุบัน ส่วนใหญ่ค่อนข้างมีข้อกำหนดในการนำไปใช้งาน เนื่องจากว่ามีการตั้งสมมติฐานกันมากมายเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด โปรแกรมโดยมากไม่สามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์หรือภาวะต่างๆ เช่น การหยุดและการซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นต้น ทางผู้วิจัยจึงเสนอการจัดตารางการผลิตแบบโต้ตอบ โดยนำเอาความคิด ประสบการณ์จากคนมาใช้ในการจัดตารางเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นเป็นคำตอบที่ดีคำตอบหนึ่ง

Anderson และคณะ (1990) เสนอกฎการเร่งงาน (Dispatching Rule) ซึ่งเป็นกฎใหม่จำนวนสองกฎเพื่อลดเวลาล่าช้าของงาน (Tardiness) ในการผลิตแบบ Job shop กฎทั้งสองกฎมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับกฎ Modified Operation Due Date (MOD) กฎแรกที่เสนอคือ กฎที่เกิดจากการรวมกันของกฎ Shortest Process Time (SPT) และกฎ Critical Ratio (CR) และกฎที่สองที่เสนอคือกฎที่เกิดจากการรวมกันของกฎ SPT และกฎ Slack per Remaining Work (S/RPT) กฎใหม่ทั้งสองกฎสามารถนำไปใช้ได้ง่ายและสามารถดัดแปลงเพื่อ

ลด Weighted Tardiness นอกจากนั้นกฎทั้งสองไม่จำเป็นต้องมีการประมาณค่าพารามิเตอร์ในการนำไปใช้ซึ่งดีกว่ากฎที่คิดค้นก่อนหน้านี้คือ กฎ CONVERT ผลจากการจำลองแบบปัญหาแสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของกฎใหม่ทั้งสองกฎดีกว่ากฎอื่นๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลด Total Weighted Tardiness และ Unweighted Tardiness ในลักษณะการผลิตแบบ Job Shop และกฎทั้งสองนี้มีประสิทธิผลในการลดจำนวนงานที่ล่าช้า

Ulrich และ Durig (1992) ออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผน ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สร้างขึ้นเกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตซึ่งได้พัฒนาเครื่องมือในการวางแผนการผลิตที่มีลักษณะเป็นเมนูแบบไมโครซอฟต์วินโดว์ สำหรับการดำเนินการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just – In – time, JIT) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้ใช้การโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในลักษณะ Object – oriented (Object Oriented Programming , OOP) โดยใช้ smaltalk-80

HE และคณะ (1993) เสนอฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพสำหรับกรณีของ Multiple – Pass สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตของการแบบ Job Shop โดยที่จุดประสงค์เพื่อลดผลรวมของเวลาล่าช้าทั้งหมด(Total Job Tardiness)

Doctor et al. (1993) ได้ทำการวิจัยปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยมีลักษณะของการผลิตเป็นการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ในการผลิตแบบสั่งผลิต ผู้วิจัยได้พัฒนาหาแบบจำลอง (Model) ในการแก้ปัญหานี้โดยใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติก โดยเป้าหมายของการจัดตารางการผลิตคือ การใช้งานเครื่องจักรให้มากที่สุดโดยที่จะต้องทันกำหนดส่งงาน โดยทำการจัดงานที่มีค่าดรรชนีมากก่อน และมีข้อจำกัดในด้านลำดับก่อนหลังในการทำงาน

Shams (1993) ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการปรับแก้ตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบการไหลตามสายงาน โดยวิธีการนี้จะนำการแก้ไขตารางการผลิตที่ยังไม่ดี หรือไม่เป็นไปตามตามข้อจำกัด โดยจะทำการจัดตารางการผลิตซ้ำจากตารางการผลิตที่ได้ในตอนเริ่มต้น ซึ่งข้อดีของวิธีการนี้คือต้นทุนในการประมวลผลต่ำและง่ายต่อการเพิ่มขยายฮิวริสติกที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบที่ได้รับ

Doctor et al. (1993) ได้ทำการวิจัยปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยมีลักษณะของการผลิตเป็นการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ในการผลิตแบบสั่งผลิต ผู้วิจัยได้พัฒนาหาแบบจำลอง (Model) ในการแก้ปัญหานี้โดยใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติก โดยเป้าหมายของการจัดตารางการผลิตคือ 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) ซึ่งในการ แก้ปัญหาลักษณะนี้ ในปัจจุบันมีคนสนใจน้อย ตลอดจนวิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหายังไม่ดีเท่าที่ควร จากผลการวิจัย ผู้วิจัยได้คิดอัลกอลิทึมเพื่อนำไปใช้แก้ปัญหาลักษณะดังกล่าว ซึ่งพบว่าได้ผลดีกว่าวิธีบางวิธีที่มีใช้ในปัจจุบัน

Brown Randall และ Ceyhun (1997) เสนอกรอบในการจัดตารางการผลิตแบบใหม่ (Priority Class Scheduling) ซึ่งมีประโยชน์ต่อผู้ผลิตในหลายๆด้าน ประการแรกช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต ประการที่สองช่วยฝ่ายการตลาดในการจัดลำดับความสำคัญของการผลิต ประการที่สามช่วยฝ่ายบริการลูกค้าโดยการจัดตารางการผลิตที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ประการที่สี่ช่วยให้ผู้ผลิตเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตและคุณภาพของสินค้า ประการสุดท้ายช่วยให้เกิดความร่วมมือระหว่างฝ่ายผลิต ฝ่ายการตลาด และฝ่ายบริการลูกค้า งานทุกๆ งานมีการจัดเรียงตามลำดับความสำคัญโดยมีกำหนดวันส่งมอบและความสำคัญของงานเป็นเกณฑ์ในช่วงเวลาที่วางแผนการผลิตช่วงหนึ่ง เพื่อผลิตสินค้าให้ได้มากที่สุดและสอดคล้องกับเงื่อนไขลำดับความสำคัญของงาน

ปิยมาภรณ์ ชมสุวรรณ (1997) ,ปารเมศ ชุติมา และ ปิยมาภรณ์ ชมสุวรรณ(2000) (a,b)ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยศึกษาถึงผลกระทบของความไม่แน่นอนในกรณีเครื่องจักรเสียที่มีผลต่อการจัดตารางการผลิต พบว่าในกรณีที่เครื่องจักรเสียในช่วงเวลาเริ่มต้นทำงานและเสียเป็นเวลานาน จะส่งผลให้ การไหลของงานในระบบนานขึ้น การสายของงานและงานล่าช้าเพิ่มมากขึ้น อัตราการใช้เครื่องจักรลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรที่เสียในช่วงต้นของการทำงานและเป็นเวลาน้อยๆ เครื่องจักรที่เสียเป็นเวลานานๆ ในช่วงท้ายและเครื่องจักรที่เสียเป็นเวลาน้อยๆ ในช่วงท้ายๆ จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตน้อยมาก

สมโภชน์ แช่น้ำ (1999), ปารเมศ ชุติมา และ สมโภชน์ แช่น้ำ (1999)(a)(2000)(b) ผู้วิจัยได้เสนอการจัดตารางการผลิตแบบตอบโต้ภายใต้เงื่อนไขการผลิตที่ไม่แน่นอน โดยศึกษาถึงผลกระทบของความไม่แน่นอนและหาวิธีจัดการกับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองพร้อมผลการวิจัยดังต่อไปนี้

1. การจัดตารางการผลิตโดยปราศจากความไม่แน่นอน พบว่ากฎและวิธีการจัดตารางการผลิตเป็นปัจจัยมีผลต่อประสิทธิภาพของตารางการผลิต โดยกฎและวิธีการจัดตารางการผลิตที่ให้ประสิทธิภาพของตารางการผลิตโดยรวมที่ดี คือ กฎ SMT ด้วยวิธีการจัดตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์
2. การศึกษาถึงผลกระทบของความไม่แน่นอน 8 ประเภท คือ การเพิ่มงาน การเพิ่มจำนวนการผลิต การขาดแคลนวัตถุดิบ พนักงานหยุด และเลื่อนเวลาการส่งมอบให้เร็วขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพดารางการผลิตโดยรวมเลวลง ส่วนการยกเลิกงาน การลดจำนวนการผลิต และการเลื่อนเวลาส่งมอบให้ช้าลง จะส่งผลกระทบให้ประสิทธิภาพตารางการผลิตโดยรวมดีขึ้น
3. การศึกษาหาวิธีจัดการกับความไม่แน่นอน ทำการพิจารณาวิธีการจัดการกับความไม่แน่นอน 4 วิธี คือ กฎ SMT, LWKR, STPT ด้วยวิธีการผลิตแบบนอนดีเลย์ และการจัดตารางการผลิตแบบตอบโต้ พบว่าทั้ง 4 วิธี ให้ประสิทธิภาพในการจัดการกับความไม่แน่นอนไม่ต่างกัน และให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีขึ้น

สุรสิทธิ์ โสภณชัย (2000), ปารเมศ ชุติมา และ สุรสิทธิ์ โสภณชัย(2000) ผู้วิจัยได้เสนอการจัดตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจัดตารางการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยพิจารณาประสิทธิภาพของตารางการผลิตจากค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด ได้นำทฤษฎีการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งมาประยุกต์ใช้ด้วยวิธีการสร้างตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์ร่วมกับวิธีการเชิงฮิวริสติก โดยนำเอากฎเกณฑ์ฮิวริสติก 5 วิธี ได้แก่ EDD, SLACK, SLACK/RO, SMT, SPT มาทำการทดสอบกับข้อมูลการผลิตจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลการทดลองพบว่ากฎเกณฑ์ฮิวริสติกแบบ EDD ด้วยวิธีการสร้างตารางการผลิตแบบนอนดีเลย์เป็นวิธีการจัดตารางการผลิตที่ดีที่สุด

ชัชพล มงคลิก (2000) ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการจัดตารางการผลิตแบบโต้ตอบและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้วิธีการจัดตารางการผลิตแบบแอคทีฟโดยใช้วิธีบรานช์แอนด์บาวด์โดยไม่มีการคำนวณย้อนกลับด้วยวิธีการหาโลเวอร์บาวด์แบบใหม่ที่เสนอ (Branch and Bound without Backtracking - Propose Lower Bound) วิธีการหาโลเวอร์บาวด์แบบใหม่

พัฒนามาจากวิธีการหาโลเวอร์บาวด์แบบเดิมเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของอุคสาหกรรมที่เป็นกรณีศึกษาคือ การลดปัญหาการส่งมอบงานล่าช้า จากการทดลองพบว่า

1. กฎ วิธีการจัดตารางการผลิต และปัจจัยร่วมระหว่างกฎและวิธีการจัดตารางการผลิต เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตารางการผลิต
2. กฎและวิธีการจัดตารางการผลิตที่ให้ประสิทธิภาพของตารางการผลิตโดยเฉพาะวัตถุประสงค์ในการลดจำนวนงานล่าช้าและเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย คือ วิธีการจัดตารางการผลิตแบบแอคทีฟโดยใช้วิธีวิธีบรานช์แอนด์บาวด์โดยไม่มีการคำนวณย้อนกลับด้วยวิธีการหาโลเวอร์แบบใหม่ที่เสนอ
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาในการจัดตารางการผลิตโดยใช้โปรแกรมการจัดตารางการผลิตที่ได้จัดทำพบว่า กฎและวิธีการจัดตารางการผลิต จำนวนขั้นตอนการทำงาน และปัจจัยร่วม เป็นปัจจัยร่วม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อเวลาเวลาในการจัดตารางการผลิต
4. การวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในการจัดตารางการผลิตพบว่าเวลาในการจัดตารางการผลิตมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้นตอนการทำงาน