บทที่ 5

ทฤษฎีการจัดลำดับงานของสายการผลิตแบบลื่นไหล และสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

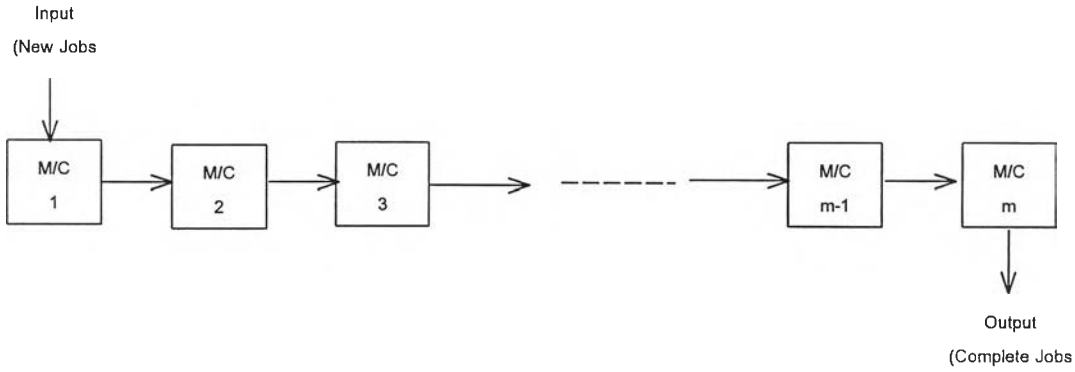
เนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับทฤษฎีการจัดลำดับงานของสายการผลิตแบบลื่นไหล และสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ซึ่งเป็นลักษณะสายการผลิตที่ทำการศึกษาของงานวิจัย โดยเนื้อหาจะกล่าวถึง ลักษณะของสายการผลิตแบบ Flow Shop และวิธีการฮิวริสติกต่างๆ ในการจัดลำดับงานเข้าสายการผลิตแบบ Flow Shop เพื่อคัดเลือกวิธีฮิวริสติกที่ดีที่สุดสำหรับเปรียบเทียบผลคำตอบกับวิธีฟัซซี่เจนเนติกอัลกอริทึม และส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงลักษณะและประเภทของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

5.1 สายการผลิตแบบลื่นไหล

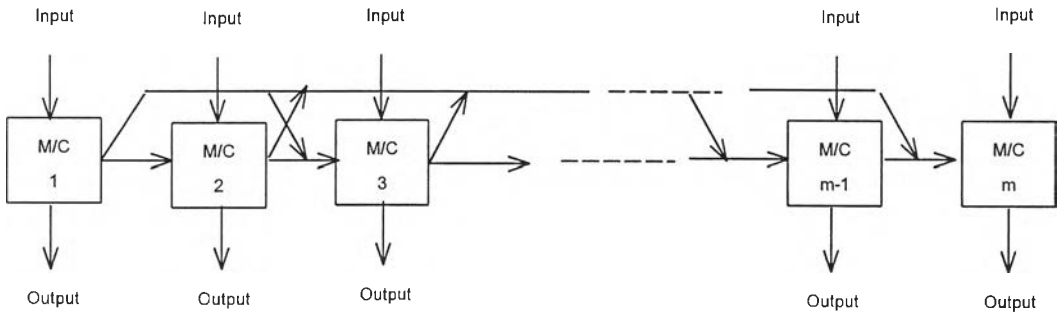
5.1.1 ลักษณะของสายการผลิตแบบลื่นไหล

สายการผลิตแบบลื่นไหล (Flow Shop) เป็นสายการผลิตที่มีเครื่องจักร m เครื่อง และงาน n งาน แต่ละงานมี m ขั้นงาน โดยลักษณะของสายการผลิตแบบ Flow Shop มีดังนี้ (Kenneth R.Baker,1974)

- งานทุกงานจะเข้าทำการผลิตในทุกเครื่องจักรเรียงตามลำดับ 1, 2, 3,...m ซึ่งจะเรียกว่า Pure Flow Shop แต่หากมีงานใดที่มีขั้นงานอย่างน้อย 1 ขั้นงานที่มีเวลาการทำงานเท่ากับ 0 จะเรียกว่าเป็น General Flow Shop (ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2)
- เครื่องจักรทุกเครื่องจะทำงานเพียงงานเดียวเท่านั้นในขณะเวลาหนึ่ง
- งานทุกงานจะถูกผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวในขณะเวลาหนึ่ง
- ไม่มีการแทรกงานขณะมีการผลิตงานใดๆ อยู่
- เวลาการปรับตั้งของแต่ละขั้นงานจะมีค่าคงที่ไม่ว่าการจัดลำดับงานการผลิตจะเป็นเช่นไร (Sequence-independence Setup times) และถูกรวมอยู่ในเวลาการทำงาน (processing times)
- ลำดับงานที่เข้าทำการผลิตบนเครื่องจักรทุกเครื่องจะมีลำดับที่เหมือนกัน



รูปที่ 5.1 สายการผลิตแบบ Pure Flow Shop



รูปที่ 5.2 สายการผลิตแบบ General Flow Shop

5.1.2 การจัดลำดับงานของสายการผลิตแบบลื่นไหล

การจัดลำดับงานของสายการผลิตแบบลื่นไหล เป็นการจัดลำดับงาน n งาน เข้าทำการผลิตบนเครื่องจักร m เครื่อง โดยลำดับงานที่เข้าทำการผลิตบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะเหมือนกัน จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) จะเท่ากับ $(n!)^m$ วัตถุประสงค์ของการจัดลำดับงานเข้าสายการผลิตแบบลื่นไหลเพื่อให้เวลาการทำงานเสร็จสิ้น (Makespan) น้อยที่สุด

ปัญหาการจัดลำดับงานของสายการผลิตแบบ Flow Shop สามารถแบ่งตามลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการจัดลำดับงานได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Deterministic Flow Shop Problem เป็นปัญหาที่มีการตั้งสมมติฐานว่าทราบค่าเวลาการทำงาน (processing times) ที่แน่นอนเป็นค่าคงที่

2. Stochastic Flow Shop Problem เป็นปัญหาที่ตั้งสมมติฐานว่าเวลาการทำงาน (processing times) มีการแปรผันตามลักษณะการกระจายแบบต่างๆ

3. Fuzzy Flow Shop Problem เป็นปัญหาที่มีการกำหนด due date ที่มีลักษณะเป็นแบบ fuzzy ซึ่งไม่เป็นค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง ดังนั้นการจัดลำดับงานสำหรับปัญหาประเภทนี้จะวัดจากค่าความพึงพอใจของผู้ทำการตัดสินใจ

ปัญหาการจัดลำดับงานของสายการผลิตแบบ Flow Shop แบ่งตามจำนวนของเครื่องจักรในสายการผลิต ได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ปัญหาการจัดลำดับงานกรณีมีเครื่องจักร 2 เครื่อง (Two-Machines Flow Shop Problm)
2. ปัญหาการจัดลำดับงานกรณีมีเครื่องจักร m เครื่อง (m-Machines Flow Shop Problm)

มีวิธีการต่างๆที่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาทั้ง 2 ประเภทนี้ดังนี้

5.1.2.1 ปัญหาการจัดลำดับงานกรณีมีเครื่องจักร 2 เครื่อง (Two-Machines Flow Shop Problem)

ลักษณะของปัญหาสำหรับกรณีนี้ คือ มีงาน n งาน เข้าทำการผลิตในเครื่องจักร 2 เครื่องที่วางเรียงกัน โดยต้องผ่านเครื่องที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการจัดลำดับงานเพื่อให้เวลาการทำงานเสร็จสิ้น (Makespan) น้อยที่สุด โดยกรณีที่มีเครื่องจักร 2 เครื่องจะใช้กฎของจอห์นสัน (Johnson's rule) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยจอห์นสันในปี 1954 เป็นวิธีที่ทำให้ได้คำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution)

กฎของจอห์นสัน (Johnson's rule) มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : หาค่าเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด (Min$\{t_{i1}, t_{i2}\}$)ของแต่ละงาน

ขั้นตอนที่ 2 : พิจารณางานที่มีเวลาการทำงานที่น้อยที่สุดมาทำการจัดเรียงบนตาราง โดย

- ถ้าเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด คืองานที่ต้องทำบนเครื่องจักรที่1 ให้จัดงานนั้นลงในตำแหน่งแรกของตาราง
- ถ้าเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด คืองานที่ต้องทำบนเครื่องจักรที่ 2 ให้จัดงานนั้นลงในตำแหน่งสุดท้ายของตาราง

ขั้นตอนที่ 3 : นำงานที่จัดแล้วออกจากรายการ แล้วพิจารณาจัดลำดับงานที่เหลือ โดย

- ถ้าเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด คืองานที่ต้องทำบนเครื่องจักรที่1 ให้จัดงานนั้นลงในตำแหน่งถัดจากงานที่ 1 ในลักษณะเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา
- ถ้าเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด คืองานที่ต้องทำบนเครื่องจักรที่ 2 ให้จัดงานนั้นลงในตำแหน่งถัดจากงานสุดท้าย ในลักษณะเรียงลำดับจากขวามาซ้าย

ขั้นตอนที่ 4 : พิจารณาจัดลำดับงานตามขั้นตอนที่ 3 จนครบทุกงาน

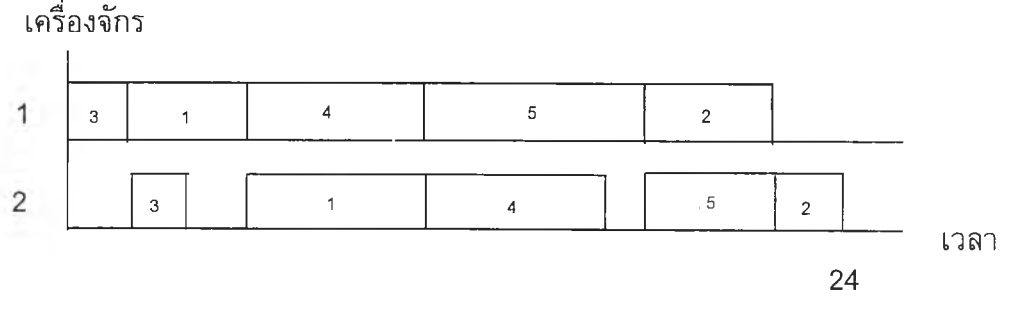
ตัวอย่าง การจัดลำดับผลิตภัณฑ์โดยใช้กฎของจอห์นสัน โดยมีเวลาการทำงานของแต่ละงานในเครื่องจักรแต่ละเครื่อง ดังนี้

งานที่ / สถานีงาน	1	2	3	4	5
1	3	5	1	6	7
2	6	2	2	6	5

ผลการจัดลำดับงานโดยใช้กฎของจอนห์สัน ดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ รูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.1 *ตัวอย่างการจัดลำดับงานเข้าสายการผลิตแบบ Flow Shop โดยกฎของจอนห์นสัน*

ขั้นตอนที่	งานที่ไม่ได้มีการจัดลำดับ	ค่าเวลาการทำงานต่ำสุด	งานที่ทำการจัด [ตำแหน่ง]	ลำดับของงานที่ได้หลังการจัด
1	1,2,3,4,5	t_{31} = 1	3 = [1]	3 x x x x
2	1,2,4,5	t_{22} = 2	2 = [5]	3 x x x 2
3	1,4,5	t_{11} = 3	1 = [2]	3 1 x x 2
4	4,5	t_{52} = 5	5 = [4]	3 1 x 5 2
5	4	t_{41} = t_{42}	4 =[3]	3 1 4 5 2



รูปที่ 5.3 *ตัวอย่างผลการจัดลำดับงานโดยกฎของจอห์นสัน*

5.1.2.2 ปัญหาการจัดลำดับงานกรณีมีเครื่องจักร m เครื่อง (m-Machines Flow Shop Problem)

ปัญหาการจัดลำดับงานกรณีมีเครื่องจักร m เครื่อง เป็นปัญหาที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimum Solution) โดยใช้วิธีการ Integer programming และวิธีการ Branch-and-Bound ซึ่งจะใช้ได้ดีเมื่อปัญหามีขนาดเล็ก แต่พบว่าหากเป็นปัญหาขนาดกลางหรือขนาดใหญ่วิธีการทั้ง 2 นี้จะเกิดความยุ่งยากเนื่องจากปัญหาประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นปัญหาแบบ NP-Hard ทำให้ต้องใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนาน ดังนั้นมีผู้พยายามพัฒนาและเสนอวิธีการทางฮิวริสติกเพื่อใช้ในการหาคำตอบที่ดีและใช้เวลาในการหาคำตอบอย่างเหมาะสม โดยวิธีที่เป็นที่รู้จักมีดังนี้ (Mitsuo Gen, and Runwei Cheng,1997)

- ***Palmer 's Heuristic Algorithm***

วิธีการของ Palmer เสนอการจัดลำดับงานโดยพิจารณางานที่มีเวลาการทำงานเพิ่มขึ้นตามลำดับของเครื่องจักรที่เข้าทำงานจะถูกพิจารณาจัดเข้าสู่ลำดับการผลิตก่อน และงานที่มีเวลาการทำงานลดลงตามลำดับของเครื่องจักรที่เข้าทำงานจะถูกจัดเข้าสู่ลำดับการผลิตหลัง โดยมีการพิจารณาการจัดลำดับจากค่า Slope Order Index (S_i) นั่นคือ เรียงลำดับงานเข้าสายการผลิตตามลำดับค่า S_i จากมากไปหาน้อย

คำนวนค่า Slope order index (S_i) ได้จากสมการที่ 5.1

$$S_i = \Sigma^{m}_{j=1}(2j - m - 1)t_{ij} \qquad i = 1,2,\ldots n \tag{5.1}$$

เมื่อ n = จำนวนงาน

m = จำนวนเครื่องจักร

- ***Gupta 's Heuristic Algorithm***

วิธีการของ Gupta มีหลักการที่เหมือนกับ Palmer นั่นคือพิจารณาจากค่า Slope Index แต่มีความแตกต่างกันโดยมีการนำเอาหลักการของ Johnson's rule มาประยุกต์ใช้ในการหาค่า Slope Index ด้วย

คำนวณค่า Slope order index (S_i) ได้จากสมการที่ 5.2

$$S_i = e_i / min_{1 \le k \le m-1} \{ t_{I,k} + t_{I.k+1} \} \tag{5.2}$$

เมื่อ $e_i = 1$ ถ้า $t_{i1} < t_{im}$

$e_i = -1$ ถ้า $t_{i1} \geq t_{im}$

m = จำนวนเครื่องจักร

จากนั้นทำการเรียงลำดับงานตามค่า Slope Index ที่คำนวณได้ตามสมการที่ 5.2

- ***CDS Heuristic Algorithm***

วิธีการนี้นำเสนอโดย Campbell, Dudek และ Smith เป็นวิธีที่ประยุกต์มาจากวิธีการของ Johnson's rule วิธีการของ CDS เป็นวิธีที่ดี โดยมีแนวโน้มที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีฮิวริสติกวิธีอื่นๆ มักใช้ในการศึกษาและเป็นมาตรฐานในการนำไปเปรียบเทียบ โดยมีคุณสมบัติ 2 ข้อคือ

1. เป็นวิธีการที่นำเอาวิธีการของ Johnson's rule มาประยุกต์ใช้
2. มีการสร้างตารางลำดับงานที่เป็นไปได้ m-1 ทางเลือก (m=จำนวนเครื่องจักร) และเลือกทางที่ดีที่สุด โดยแต่ละแผนตารางการผลิตที่สร้างขึ้นมา จะประกอบด้วยหน่วยผลิต คือที่หน่วยผลิตที่ 1 และหน่วยผลิตที่ 2 (หน่วยผลิตเปรียบเหมือนเครื่องจักรเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 เพื่อนำไปพิจารณาตามกฎของ Johnson's rule)

ลักษณะของแผนตารางการผลิต เป็นดังนี้

- แผนตารางการผลิตที่ 1

เวลาที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ 1 ของแผน = เวลาที่ใช้ในเครื่องจักรตัวที่ 1

เวลาที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ 2 ของแผน = เวลาที่ใช้ในเครื่องจักรตัวที่ m

นั่นคือ

$$t_{i,1}^{*} = t_{i,1}$$
$$t_{i,2}^{*} = t_{i,2}$$

- แผนตารางการผลิตที่ 2

เวลาที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ 1 ของแผน = เวลาที่ใช้ในเครื่องจักรตัวที่ 1+เครื่องจักรตัวที่ 2

เวลาที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ 2 ของแผน = เวลาที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ m + เครื่องจักรตัวที่ m-1

นั่นคือ

$$t_{i,1}^{*} = t_{i,1} + t_{i,2}$$
$$t_{i,2}^{*} = t_{i,m} + t_{i,m-1}$$

- แผนตารางการผลิตที่ k ใดๆ

เวลาที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ 1 ของแผน = เวลาที่ใช้ในเครื่องจักรตัวที่ 1 ถึงตัวที่ k

เวลาที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ 2 ของแผน = เวลาที่ใช้ในหน่วยผลิตที่ m–k+1 ถึงตัวที่ m

นั่นคือ

$$t_{i,1}^{*} = \Sigma^{k}_{k=1}\, t_{i,k} \qquad (5.3)$$

$$t_{i,2}^{*} = \Sigma^{k}_{k=1}\, t_{i,m-k+1} \qquad (5.4)$$

วิธีการของ CDS มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ k=1 แล้วทำการคำนวณหาค่า $t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2}^{*}$ โดยใช้สมการที่ 5.3 และ 5.4

ขั้นตอนที่ 2 จัดตารางเวลางาน n ชนิดโดยใช้กฎของจอห์นสัน เมื่อ $t_{i,1} = t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2} = t_{i,2}^{*}$ ดูได้จากขั้นตอนที่ 1 บันทึกการจัดลำดับที่จัดได้ แล้วคำนวณค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้น (Makespan) ถ้ามีค่าที่ต่ำสุดตั้งแต่หามาได้ให้เก็บผลการจัดลำดับและค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้นนั้นไว้

ขั้นตอนที่ 3 ถ้า $k=m-1$ ให้หยุด และดูบันทึกจากการจัดลำดับงานที่แล้วมา เลือกผลการจัดลำดับที่ให้ค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้นน้อยที่สุดเป็นแผนตารางการผลิตที่จะนำไปใช้ต่อไป แต่ถ้า $k \neq m-1$ ให้เพิ่มค่า k ขึ้น 1 หน่วยแล้วกลับไปยังขั้นตอนที่ 1

- ***RA Heuristic Algorithm***

เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดย Dannenbring ซึ่งพัฒนาวิธีการที่เรียกว่า Rapid Access (RA) ซึ่งเป็นการพยายามนำเอาข้อดีของวิธีการ Palmer และ CDS มารวมกัน เพื่อทำให้ได้คำตอบที่ดีในเวลาอันรวดเร็ว โดยจะมีการให้น้ำหนักของเวลาการทำงานแต่ละขั้นงาน และรวมเวลาการทำงานเหมือนมี 2 เครื่องจักร จากนั้นทำการจัดลำดับงานตามกฎของจอนห์สัน สมการการรวมเวลาดังแสดงในสมการที่ 5.5

และ (5.5)

เมื่อ

$$w_1 = \{ w_{j1} \mid j=1,2,\ldots,m\} = \{m,m\text{-}1,\ldots,2,1\}$$

$$w_2 = \{ w_{j2} \mid j=1,2,\ldots,m\} = \{1,2,\ldots,m\text{-}1,m\}$$

- ***NEH Heuristic Algorithm***

เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดย Nawaz, Enscore and Ham วิธีการนี้จะพิจารณาจากเวลาการทำงานรวมในทุกเครื่องจักรของแต่ละงาน โดยงานที่มีเวลาการทำงานรวมสูงจะได้รับการพิจารณาในการจัดลำดับงานก่อนงานที่มีเวลาการทำงานรวมต่ำ วิธีการนี้จะไม่ได้มีการเปลี่ยนจำนวนเครื่องจักร m เครื่องเป็น 2 เครื่อง เหมือนวิธีการอื่นๆ

วิธีการ NEH มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เรียงลำดับงาน โดยพิจารณาจากเวลาการทำงานรวมมากไปหาน้อยจนครบ n งาน

ขั้นตอนที่ 2 นำงาน 2 ลำดับแรกที่ได้จากการเรียงในขั้นตอนที่ 1 มาทำการจัดลำดับงาน โดยเลือกลำดับที่ทำให้เวลาการทำงานเสร็จสิ้น (Makespan) น้อยที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 สำหรับค่า k=3 ถึง n ทำการแทรกงานจำนวน k งาน ลงในตารางงานที่ทำการจัด โดยจัดให้มีค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้น (Makespan) น้อยที่สุด

จากวิธีการจัดลำดับงานที่กล่าวข้างต้น วิธีการของ CDS เป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด เนื่องจากพบว่ามักให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับ Optimal Solution

หลังจากทำการจัดลำดับงานโดยวิธีการต่างๆ แล้ว ได้ว่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้นจะเท่ากับเวลาที่งานสุดท้ายที่ทำเสร็จบนเครื่องจักรเครื่องสุดท้าย ซึ่งเวลาที่ทำงานสุดท้ายเสร็จ จะเท่ากับผลบวกของเวลาในการทำงานของทุกๆ งาน บนเครื่องจักรเครื่องสุดท้าย

โดยทั่วไปแล้ว สำหรับในระบบการประกอบหรือการผลิตที่มีเครื่องจักร j จำนวน m เครื่องจะมีสูตรการหาดังนี้

$$t^{New}_{[i]j-1} = t_{[i]j-1} + I_{[i]j-1} \quad (5.6)$$

$$I_{[i]j} = Max\ \{0, (\Sigma^{i}_{k=1} t^{New}_{[k]j-1} - \Sigma^{i=1}_{k=1} t^{New}_{[k]j} - \Sigma^{i=1}_{k=1} I_{[k]j})\} \quad (5.7)$$

$$F_{[n]j} = \Sigma^{n}_{i=1} t_{[i]j} + \Sigma^{n}_{i=1} I_{[i]j} \quad (5.8)$$

$$M = F_{[n]m} = \Sigma^{n}_{i=1} t_{[i]m} + \Sigma^{n}_{i=1} I_{[i]m} \quad (5.9)$$

เมื่อ

$t_{[i]j}$ คือ เวลาการทำงานของงาน i บนเครื่องจักร j

$I_{[i]j}$ คือ เวลาว่างของงาน i บนเครื่องจักร j

$F_{[n]j}$ คือ ช่วงเวลาการทำงาน i บนเครื่องจักร j

M คือ เวลาการทำงานเสร็จสิ้น

5.1.3 การจัดลำดับงานเข้าสายการผลิตแบบลื่นไหลกรณีเวลาการทำงานแบบฟัซซี่

โดยทั่วไปการจัดลำดับงานเข้าสายการผลิตแบบ Flow Shop จะมีเวลาการทำงานแบบคงที่ แต่ในความเป็นจริงแล้ว เวลาการทำงานมีค่าที่ไม่แน่นอน ดังนั้นจึงมีการประยุกต์เอาหลักการทางฟัซซี่มาใช้ในการหาคำตอบร่วมกับกฎของจอนห์นสัน กรณีเครื่องจักร 2 เครื่องและใช้ร่วมกับวิธีฮิวริสติกของ CDS (Hong, T.P., Chung, T.N.,1996) และ วิธีฮิวริสติกของ Palmer (Hong, T.P., Wang,T.T.,1999) ในกรณีเครื่องจักร m เครื่อง

ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้หลักการฟัซซี่ร่วมกับวิธีฮิวริสติกของ CDS เนื่องจากเป็นวิธีการเลือกนำมาใช้ในงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ***Fuzzy CDS Schuduling Algorithm***

เป็นวิธีการที่นำเอาหลักการทางฟัซซี่มาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีฮิวริสติกของ CDS ในการจัดลำดับงาน n งาน เข้าสายการประกอบแบบ Flow Shop ที่มีเครื่องจักร m เครื่อง และมีเวลาการทำงานเป็นแบบฟัซซี่ ซึ่งเป็นลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นในความเป็นจริง การหาคำตอบยังคงทำตามขั้นตอนของวิธีฮิวริสติกของ CDS แต่มีการนำหลักการทางฟัซซี่มาใช้ในการคำนวณค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้นและเปรียบเทียบผลที่ได้มาทั้งหมด k ทางเลือก (เมื่อ $k=m-1$) เพื่อเลือกลำดับงานที่ให้ค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้นที่น้อยที่สุด

วิธีการของ Fuzzy CDS มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้ k=1 แล้วทำการคำนวณหาค่า $t_{i,1}^{*} = \Sigma^{k}_{k=1} t_{i,k}$ และ $t_{i,2}^{*} = \Sigma^{k}_{k=1} t_{i,m-k+1}$ โดยใช้การรวมแบบฟัซซี่ (ดังที่กล่าวในบทที่ 4)

ขั้นตอนที่ 2 จัดลำดับงาน n ชนิด โดยใช้กฎของจอห์นสัน เมื่อ $t_{i,1} = t_{i,1}^{*}$ และ $t_{i,2} = t_{i,2}^{*}$ ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดเวลาการทำงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง $P_1, P_2, \ldots, P_m$=0 ซึ่งอยู่ในรูปของฟัซซี่ นั่นคือ เริ่มต้นไม่มีงานที่ทำการผลิตอยู่บนเครื่องจักรทั้ง m เครื่อง

ขั้นตอนที่ 4 เริ่มจัดงานตามลำดับที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 ลงในตารางเวลา โดยเริ่มจากงาน i ที่เป็นงานลำดับที่ 1 ได้ว่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้นของงานที่ 1 บนเครื่องจักร 1

เท่ากับเวลา P_1 ในขั้นตอนที่ 3 บวกด้วยเวลาการทำงานของงานที่ i บนเครื่องจักร1 โดยใช้การบวกแบบฟัซซี่ นั่นคือ

$$P_1 = P_1 + t_{1i} \tag{5.10}$$

ขั้นตอนที่5 คำนวณเวลาเริ่มต้นงานในเครื่องจักรถัดไป โดยเปรียบเทียบเวลาที่มากที่สุดระหว่างเวลาการทำงานที่ทำเสร็จสิ้นของงาน i ในสถานีก่อนหน้ากับเวลาการทำงานเสร็จสิ้นของงานก่อนหน้าในเครื่องจักรนั้นๆ นั่นคือ หาค่า $max\{P_j, P_{(j+1)}\}$ เมื่อ j คือเครื่องจักรเครื่องที่ j (j=1,...,m) โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบแบบ Average Ranking Method ดังแสดงในสมการที่ (5.11)

$$p_j^{ave}{}_j = \frac{\sum_{k=1}^{\sup p(pj)} \left(\mu(p_{jk}) \times p_{jk}\right)}{\sum_{k=1}^{\sup p(p_j)} \mu(p_{jk})} \tag{5.11}$$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้นในเครื่องจักร ($P_{(j+1)}$) คือ นำเวลาการเริ่มต้นทำงาน คือ $max\{P_j, P_{(j+1)}\}$ ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 5 บวกกับเวลาการทำงานบนเครื่องจักร ($t_{(j+1)}$) โดยการบวกแบบฟัซซี่ นั่นคือ

$$P_{(j+1)} = max\{P_j, P_{(j+1)}\} + t_{(j+1)} \tag{5.12}$$

ขั้นตอนที่ 7 ทำตามขั้นตอนที่ 4-6 จนสามารถจัดงานที่ i ลงตารางเวลาจนครบทั้ง m เครื่อง

ขั้นตอนที่ 8 ทำตามขั้นตอนที่ 5-7 จนครบ n งาน แล้วบันทึกการจัดลำดับที่จัดได้ และคำนวณค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้น (f_i) ซึ่งได้แก่เวลาการทำงานเสร็จสิ้นบนเครื่องจักรสุดท้าย (P_m) นั่นคือ $f_i = P_m$

ขั้นตอนที่ 9 ถ้า $k \neq m-1$ให้เพิ่มค่า k ขึ้น 1 หน่วยแล้วกลับไปยังขั้นตอนที่ 1 แต่ถ้า $k=m-1$ ให้หยุด และดูบันทึกจากการจัดลำดับงานที่แล้วมาทั้งหมด k แผน เลือกแผนการจัดลำดับงานที่ให้ค่าเวลาการทำงานเสร็จสิ้นเฉลี่ย (f_i) ที่น้อยที่สุด เป็นแผนตารางการผลิตที่จะนำไปใช้ต่อไป

5.2 สายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

สายการประกอบแบบผสม (Mix-Model Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่า โดยผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่สายงานการประกอบปะปนกัน ไม่มีการแบ่งว่าต้องทำผลิตภัณฑ์ชุดไหนก่อน โดยในระหว่างการผลิตจะไม่มีการปรับสายการประกอบ ซึ่งสายการประกอบแบบนี้จะมีประโยชน์ในการตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของผู้บริโภค โดยไม่มีสินค้าคงคลังที่มากเกินไป

การจัดลำดับผลิตภัณฑ์เข้าทำการประกอบในสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความยาวรวมของสายการประกอบ (Minimize the overall line length) และลดเวลาการทำงานเสร็จสิ้น (Minimize the throughput time) (Ezey M Dar-El,1978)

การแบ่งประเภทของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม พิจารณาจากลักษณะ 4 ประการ ดังนี้

1. ระบบการลำเลียง (Conveyor System) แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

1.1 Conveyor Movement System : ระบบการลำเลียงโดยเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ไปบนสายพานที่มีอัตราเร็วคงที่

1.2 Stationary System : ผลิตภัณฑ์จะทำการประกอบอยู่กับที่บนสถานีงาน และทำการเคลื่อนย้ายไปบนสถานีงานถัดไปเมื่อทำการประกอบในสถานีงานนั้นๆ เสร็จสิ้นแล้ว มักใช้กับกรณีการประกอบชิ้นส่วนมีขนาดใหญ่ เช่น การประกอบเครื่องบิน เรือ ฯลฯ

2. การเชื่อมโยงระหว่างผลิตภัณฑ์กับระบบการลำเลียง (The Product's link to the Conveying System) แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

2.1 Product Fixed : ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถเคลื่อนย้ายอย่างเป็นอิสระจากตำแหน่งที่อยู่บนสายพานลำเลียง แต่สามารถหมุนไปในทิศทางต่างๆ เพื่อทำการประกอบ โดยผู้ทำการประกอบจะทำงานเป็นจังหวะที่สม่ำเสมอ จึงไม่มี Buffer Stock สำหรับรองรับผลิตภัณฑ์จากสถานีก่อนหน้าเพื่อรอทำการผลิต สายการประกอบที่มีลักษณะเช่นนี้มักใช้กับกรณีผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น ตู้เย็น เครื่องซักผ้า ฯลฯ

2.2 Product Movable : ผลิตภัณฑ์สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างอิสระจากตำแหน่งที่อยู่บนสายพาน ผู้ทำการประกอบจะทำงานภายใต้สภาวะที่ไม่เป็นจังหวะสม่ำเสมอ จึงต้องมี Buffer Stock สำหรับรองรับผลิตภัณฑ์จากสถานีก่อนหน้า

3. สถานีงาน (Station) ลักษณะของสถานีงาน แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

3.1 Closed Station : สถานีงานแบบปิด คือ สถานีงานที่แบ่งแยกจากกันอย่างชัดเจน ผู้ทำการประกอบในสถานีงานที่แตกต่างกัน ไม่สามารถเข้ามาในเขตสถานีงานอื่นได้ เช่น สถานีงานที่ทำการพ่นสี ห้องร้อน ฯลฯ

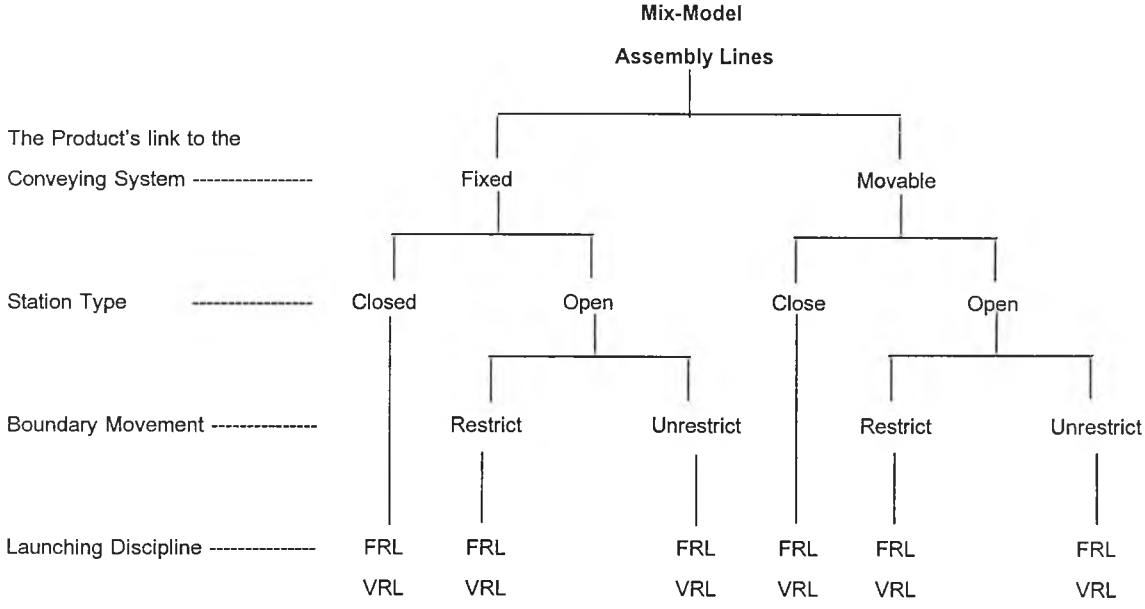
3.2 Open Station : สถานีงานแบบเปิด คือสถานีงานที่ยอมให้ผู้ทำการประกอบในสถานีงานที่อยู่ติดกันเข้ามาทำงานร่วมกันได้ โดยต้องไม่ทำให้เกิดการรบกวนหรือสอดแทรกการทำงาน ซึ่งขอบเขตในการทำงานร่วมกันอาจเกิดจากข้อจำกัดของกำลังเครื่อง อุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุ หรืออาจไม่มีข้อจำกัดใดๆ

4. เวลาการเข้าทำงานในสถานีงาน (The Launching Discipline) แบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ

4.1 Fixed Rate Launching Discipline (FRL) : การกำหนดอัตราการเข้าทำงานในสถานีงาน โดยกำหนดจากค่าเฉลี่ยของเวลาการประกอบทุกผลิตภัณฑ์เสร็จสิ้น นั่นคือ ผลิตภัณฑ์จะถูกป้อนเข้าทำงานในสถานีงานถัดไปตามระยะเวลาที่กำหนด

4.2 Variable Rate Launching Discipline (VRL) : ไม่มีการกำหนดเวลาในการป้อนผลิตภัณฑ์เพื่อเริ่มทำการประกอบ แต่ผู้ทำการประกอบสามารถเริ่มทำการประกอบผลิตภัณฑ์ชุดต่อไปทันทีเมื่อประกอบผลิตภัณฑ์ชุดก่อนหน้าเสร็จสิ้น

ประเภทของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมแสดงได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ประเภทของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

5.3 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึง 2 เรื่อง คือ สายการผลิตแบบ Flow Shop และสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยสรุปใจความสำคัญได้ดังนี้

สายการผลิตแบบ Flow Shop เป็นสายการผลิตที่มีเครื่องจักร m เครื่องและงาน n งาน แต่ละงานมี m ขั้นงาน โดยปัญหาในการจัดลำดับงานเข้าสายการผลิตแบบ Flow Shop แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามจำนวนของเครื่องจักร คือ กรณีมีเครื่องจักร 2 เครื่องสามารถหาคำตอบที่เป็น Optimal Solution ได้โดยใช้กฎของจอห์นสัน และกรณีมีเครื่องจักร m เครื่อง มีวิธีฮิวริสติกหลายวิธี โดยวิธีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ วิธีฮิวริสติกของ CDS เนื่องจากพบว่ามักให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับ Optimal Solution ซึ่งโดยทั่วไปการจัดลำดับงานจะมีข้อมูลเวลาการทำงานเป็นค่าคงที่ แต่ในความเป็นจริงเวลาการทำงานจะมีค่าที่ไม่แน่นอน จึงมีการประยุกต์ใช้หลักการทางฟัซซี่ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กับปัญหาที่ข้อมูลมีค่าที่ไม่แน่นอน มาใช้ร่วมกับกฎของจอห์นสัน วิธีฮิวริสติกของ CDS และวิธีของ Palmer ในการจัดลำดับงาน เพื่อให้ได้คำตอบที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

สายการประกอบแบบผสม (Mixed-Model Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่า โดยผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่สายงานการประกอบปะปนกัน ไม่มีการแบ่งว่าต้องทำผลิตภัณฑ์ชุดไหนก่อน โดยในระหว่างการผลิตจะไม่มีการปรับสายการประกอบ ซึ่งสายการประกอบแบบนี้จะมีประโยชน์ในการตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของผู้บริโภค โดยไม่มีสินค้าคงคลังที่มากเกินไป ประเภทของสายการประกอบแบบผสมแบ่งตามลักษณะ 4 ประการ คือ ระบบการลำเลียง การเชื่อมโยงระหว่างผลิตภัณฑ์กับระบบการลำเลียง ลักษณะของสถานีงาน และเวลาการเข้าทำงานในสถานีงาน