บทที่ 2
ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นจะกล่าวถึงการศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งมีทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา ดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิตคือการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับงานการผลิต มีหลายปัจจัยที่ต้องทำการพิจารณา เครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตที่ไม่สัมพันธ์กัน (Unrelated machine) คือกำลังการผลิตของแต่ละเครื่องจักรสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ก่อให้เกิดความซับซ้อนในการจัดตารางการผลิตมากกว่าการดำเนินการผลิตบนเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพการผลิตเหมือนกัน (Identical machine) โดยวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตมีเป้าหมายอย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งโดยปกติแล้วได้แก่ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด เวลารวมของการทำงานน้อยที่สุด เป็นต้น โดยลักษณะการจัดตารางการผลิตจะแตกต่างกันตามลักษณะของกระบวนการการผลิตที่แตกต่างกัน

การจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel machines) เป็นส่วนขยายของการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว (Single machine) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรจำนวนหลาย ๆเครื่อง โดยเครื่องจักรมีคุณสมบัติเหมือนหรือแตกต่างกัน วัตถุประสงค์เพื่อจัดสรรงานจำนวน n งานให้กับเครื่องจักรจำนวน m เครื่องจักรเพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดตามวัตถุเป้าหมายที่พิจารณา โดยเครื่องจักรแบบขนาน (Parallel machines) สามารถแบ่งได้เป็นเครื่องจักรที่มีแบบขนานที่ประสิทธิภาพเหมือนกัน (Identical parallel machines) และเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่มีความเกี่ยวพันกัน (Unrelated parallel machines) โดยงานต่าง ๆสามารถผ่านกระบวนการในเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งก็ได้ ซึ่งในกลุ่มเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่มีความเกี่ยวพันกัน เวลาที่ใช้ในการดำเนินงานก็จะต่างกันไปในแต่ละเครื่องจักร

เวลาการเตรียมงาน (Setup time) คือเวลาที่ใช้ในการเตรียมเครื่องจักร กระบวนการ หรือชิ้นส่วน หลายครั้งที่เวลาการเตรียมงานถูกมองข้ามหรือถูกรวมเข้ากับเวลาในการผลิต (Processing time) แต่ในหลายสถานการณ์เวลาเตรียมงานถูกแยกออกมาพิจารณาโดยเฉพาะ ซึ่งลักษณะของปัญหาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกันคือ ขึ้นกับลำดับของงาน (Sequence-dependent) และเป็นอิสระ (Sequence-independent) ในการจัดตารางการผลิตอาจถูกแบ่งเป็นกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Non-batch) โดยการเปลี่ยนแปลงชนิดงานก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเวลาการเตรียมงานขึ้น (Allahverdi et al., 1998)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

2.1 โครงสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วย

2.1.1 ตัวแปรตัดสินใจและพารามิเตอร์ (Decision variables and parameters) ตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรที่ยังไม่รู้ค่า แต่จะหาได้จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น เช่น จำนวนสินค้าที่สั่งซื้อ เป็นต้น ส่วนค่าพารามิเตอร์คือตัวแปรที่ควบคุมได้ของระบบหรือกำหนดได้ อาจจะเป็นค่าแน่นอน (Deterministic) หรืออาจเป็นค่าความน่าจะเป็น เช่น ความต้องการซื้อสินค้า เป็นต้น

2.1.2 ข้อจำกัดหรือขอบข่าย (Constrains or restrictions) รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะต้องมีขอบข่ายซึ่งจำกัดค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เป็นไปได้ เช่น ถ้ากำหนด x_1, x_2 แทนจำนวนหน่วยของสินค้า 2 ชนิดที่จะผลิต ให้ a_1, a_2 เป็นจำนวนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแต่ละหน่วยของสินค้าแต่ละชนิด ถ้าวัตถุดิบมีทั้งหมด A จะได้ข้อจำกัดของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ คือ

$$a_1x_1 + a_2x_2 \leq A$$

2.1.3 ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) เป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจ เช่น เป้าหมายของระบบ คือ หากำไรสูงสุด ฟังก์ชันเป้าหมายจะเขียนกำไรเป็นฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจ

คำตอบที่เหมาะสมของตัวแปรที่สร้างขึ้น คือค่าตัวแปรตัดสินใจที่ให้ค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่ดีที่สุดและสอดคล้องกับข้อจำกัดทุกข้อ

2.2 กำหนดการเชิงเส้น (Linear programming)

กำหนดการเชิงเส้นเป็นรูปแบบคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพมากที่สุด เช่น การตั้งเป้าหมายเพื่อให้ได้กำไรสูงสุดหรือเพื่อให้เกิดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด กำหนดการเชิงเส้นนี้โดยมากใช้แก้ปัญหาในด้านอุตสาหกรรมที่มีทรัพยากรอย่างจำกัด การเก็บรักษาคงคลังหรืออื่น ๆ สำหรับทรัพยากรที่มีจำกัด เช่น กำลังคนจำกัด จำนวนเครื่องจักรจำกัด เงิน สถานที่ และเวลาจำกัด เป็นต้น (วิภาวรรณ สิงห์พริ้ง, 2543)

2.2.1 รูปแบบทั่วไปของกำหนดเชิงเส้น

ปัญหากำหนดการเชิงเส้นเป็นปัญหาการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของฟังก์ชันแบบเชิงเส้น รูปแบบโดยทั่วไปของการกำหนดการเชิงเส้น ดังนี้

(1) สมการเป้าหมาย

หาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของสมการ

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + ... + c_nx_n \qquad (2.1)$$

(2) สมการข้อจำกัด

$$\begin{array}{l} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \end{array} \left\{ \begin{array}{c} \\ \\ \\ \leq, =, \geq \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_m \end{array} \qquad (2.2)$$

$$x_i \geq 0, i = 1,2,\ldots,n \qquad (2.3)$$

(3) สมการ (2.1) แทนสมการเป้าหมาย สำหรับชุดของ m สมการหรือ m อสมการเชิงเส้น (2.2) ซึ่งมีตัวแปร n ตัว จะแทนข้อจำกัดของปัญหา โดยปัญหานี้จะต้องหา $x_1, x_2, \ldots, x_n$ ที่สอดคล้องทั้งสมการและอสมการ (2.1), (2.2) และ (2.3) โดยค่า a_{ij}, b_i, c_j เป็นค่าคงที่ที่รู้จักหรือเป็นค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบนี้สมการและอสมการ (2.1), (2.2) และ (2.3) นี้เมื่อเขียนโดยใช้สัญลักษณ์การบวกคือ $\sum$ จะได้ดังนี้

สมการเป้าสมหมาย

หาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของสมการ $\quad Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (2.4)$

สมการข้อจำกัด $\quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \left\{ \begin{array}{c} \leq \\ = \\ \geq \end{array} \right\} b_i \quad , i = 1,2,\ldots,m \qquad (2.5)$

$$x_j \geq 0 \quad , j = 1,2,\ldots,n \qquad (2.6)$$

โดยที่ตัวแปร x_j เป็นตัวแปรตัดสินใจ

2.3 กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming)

ปัญหากำหนดการเชิงเส้นหลาย ๆปัญหา ค่าตัวแปรตัดสินใจจะมีความหมายก็ต่อเมื่อต้องมีเป็นจำนวนเต็ม เช่น ปัญหาเกี่ยวกับจำนวนคน เครื่องจักร เป็นต้น การแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นลักษณะนี้จะต้องเพิ่มข้อจำกัดที่ว่า ตัวแปรตัดสินใจต้องมีค่าเป็นจำนวนเต็มทั้งสมการ (2.7) สำหรับจำนวนแบบทั่วไปและสมการ (2.8) สำหรับปัญหากำหนดเชิงจำนวนเต็มแบบทวิภาค (Binary programming) และปัญหากำหนดการจำนวนเต็มจะเป็นแบบแท้ (Pure) ถ้าทุกตัวแปรมีข้อจำกัดเป็นจำนวนเต็ม และเป็นแบบผสม (Mixed) ถ้าตัวแปรบางตัวมีข้อจำกัดเป็นจำนวนเต็ม

x_j เป็นจำนวนเต็ม (2.7)

$x_j \in \{0,1\}$ (2.8)

โดยสมการ (2.7) จะใช้สำหรับตัวแปรตัดสินที่ต้องการค่าเป็นจำนวนเต็ม เช่น จำนวนคน เครื่องจักร ส่วนสมการ (2.8) จะใช้สำหรับตังแปรตัดสินใจที่ต้องการค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น เช่นปัญหาการเลือกที่ตั้งคลังสินค้า เมื่อ x_j เท่ากับ 1 จะหมายถึงตำแหน่ง x_j ถูกเลือก และถ้า x_j เท่ากับ 0 จะหมายถึงตำแหน่ง x_j ไม่ถูกเลือก

3. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการจัดตารางการผลิตเป็นหัวข้อซึ่งเป็นที่สนใจในสาขาการบริหารจัดการการผลิต ซึ่งสามารถสะท้อนถึงความสามารถทางการแข่งขันของอุตสาหกรรม ตารางการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจก่อให้เกิดปัญหาของธุรกิจ เช่น การส่งมอบสินค้าล่าช้า ต้นทุนด้านพัสดุคงคลังสูง การใช้เครื่องจักรไม่เต็มประสิทธิภาพ และเกิดการขาดแคลนสินค้า สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตแล้ว การจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรแบบขนานคือเป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไปในอุตสาหกรรม ซึ่งในทางวิชาการถือเป็นประเภทปัญหาการจัดตารางการผลิตที่ยาก และปัญหาการจัดตารางการผลิตรูปแบบนี้เป็นที่รู้กันดีว่าเป็นปัญหาประเภท NP-hard (Ying และ Cheng, 2010) โดยสามารถแบ่งลักษณะการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรแบบขนานออกได้เป็น 3 ลักษณะ (Chen et al., 1990) คือ 1) เครื่องจักรแบบขนานที่อิสระต่อกัน (Identical parallel machines) 2) เครื่องจักรแบบขนานที่ประสิทธิภาพเหมือนกัน (Uniform parallel machines) 3) เครื่องจักรแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน (Unrelated parallel machines) และการจัดตารางการผลิตโดยพิจารณาเวลาการเตรียมงานมีวรรณกรรมที่ศึกษารวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตโดยมีเวลาเตรียมงานเข้ามาเกี่ยวข้อง โดย Allahverdi et al. (1998, 2006)

ถึงแม้ว่าจะมีวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรแบบขนานอยู่มากมาย แต่ยังไม่มีวรรณกรรมที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กันและมีเวลาเตรียมงานไม่เป็นอิสระต่อกัน ในงานวรรณกรรมมีเป้าหมายในการจัดตารางการผลิตที่หลากหลาย เช่น ทำให้เกิดเวลาแล้วเสร็จงานรวมที่น้อยที่สุด (Minimizing makspan) ทำให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดน้อยที่สุด (Minimizing maximum lateness) ทำให้เกิดความล่าช้าแบบมีการถ่วงน้ำหนักรวมน้อยที่สุด (Minimizing total weight tardiness) ทำให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด (Minimizing cost) เป็นต้น วิธีในการแก้ปัญหามีทั้งวิธีเอ็กแซ็กท์อัลกอริทึม (Exact algorithm) และวิธีฮิวริสติก (Heuristic) โดยสำหรับปัญหาการหาเวลาแล้วเสร็จงานรวมน้อยที่สุด Suresh et al. (1996) ได้นำเสนอวิธีทาบูเซิร์ทในการแก้ปัญหา Rocha et al. (2008) ได้นำเสนอวิธีบรานช์แอนด์บาวด์ (Branch and bound) และวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบผสม (Mixed integer programming) วิธีคัตติ้งแพลนอัลกอริทึม (Cutting plan algorithm) ถูกนำเสนอโดย Mokotoff et al. (2002) และ Ghirardi et al. (2005) ได้นำเสนอวิธีรีโคเวอร์ริ่งบีม เซิร์ท (Recovering beam search) ในการแก้ปัญหาให้เกิดความล่าช้าแบบมีการถ่วงน้ำหนัก

รวมน้อยที่สุด Kim et al. (2002) ได้พัฒนาวิธีอัลกอริทึมโดยใช้วิธีซิมมูเลดเทดแอลนีลลิ่ง (Simulated annealing) และต่อมาได้นำเสนอ 4 วิธีฮิวริสติกในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบแบทช์ (Batch scheduling) Liaw et al. (2003) นำเสนอวิธีฮิวริสติกซึ่งแยกการหาคำตอบออกเป็น 2 ส่วนเพื่อแก้ปัญหา และ Logrendran et al. (2007) นำเสนอ 7 วิธีค้นหาคำตอบจากแนวคิดของวิธีทาบูเซิร์ท เพื่อใช้แก้ปัญหา

ในส่วนการจัดตารางการผลิตโดยเป้าหมายคือ ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำที่สุด ต้นทุนในการผลิตเร็วกว่ากำหนดและต้นทุนการผลิตล่าช้าได้ถูกพิจารณาเพื่อหาเวลาส่งมอบของแก่ลูกค้าถูกนำเสนอโดย Adamofoulos และ Pappis (1998) ส่วนวิธีเอ็กซ์แซ็กอัลกอริทึม เช่น วิธีบรานช์แอนด์บาวด์และวิธีโปรแกรมเชิงเส้นแบบผสมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตบนเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กันให้เกิดต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุดถูกนำเสนอโดย Rocha et al. (2008) Silva และ Magalhaes (2006) นำเสนอฮิวริสติกในการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม (Optimal lot size) ของโรงงานผลิตสิ่งทอ ซึ่งผลิตบนเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน เพื่อเป้าหมายในการทำให้เกิดเวลาสูญเสียจากการเปลี่ยนเครื่องมือในการผลิตน้อยที่สุด Meyr (2001) ได้นำเสนอวิธีการหาขนาดการผลิตและจัดตารางการผลิตควบคู่กันเพื่อให้เกิดต้นทุนรวมในการผลิตน้อยที่สุด โดยพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ และพัฒนาฮิวริสติกอัลกอริทึมโดยประยุกต์ใช้วิธีการยอมรับค่าเทร์ชโฮลด์ (Threshold accepting) และวิธีซิมมูเลดเทดแอลนีลลิ่ง

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นพบว่า มีวรรณกรรมที่ศึกษาปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่มีวรรณกรรมที่นำเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตที่มีลักษณะเหมือนกับลักษณะการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา คือ ผลิตบนเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน เวลาเตรียมงานไม่เป็นอิสระต่อกัน มีเป้าหมายเพื่อให้เกิดต้นทุนการผลิตรวมที่น้อยที่สุด และต้องดำเนินการผลิตตามข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา คือ ผลิตได้ 1 ชนิดผลิตภัณฑ์ต่อ 1 คาบเวลาการผลิต ในแต่ละรอบเวลาการผลิตต้องทำการผลิตแบบต่อเนื่อง

ทางผู้วิจัยกำหนดแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็ก และการพัฒนาวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึมสำหรับแก้ปัญหาขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อไป