# บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มอัตราการผลิต

### 2.1.1 การวางแผนการผลิต (Production Planning)

พื้นฐานของงานด้านการวางแผนการผลิตนั้น มีโครงสร้างที่สามารถพิจารณาได้เป็นระบบ ระบบงานนี้จะมีการไหลเวียนของข้อมูลด้านการผลิตเกิดขึ้น โดยที่ข้อมูลดังกล่าวนี้จะมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับทุกหน่วยงานในองค์การและเป็นกลไกสำคัญ สำหรับการควบคุมการดำเนินงานด้านการผลิต ระบบการวางแผนการผลิต

#### 2.1.1.1 การวางแผนการผลิตระยะยาว (Long-term Production Planning)

การวางแผนการผลิตระยะยาว หมายถึง การวางแผนการผลิตในช่วงเวลามากกว่า 1 ปี ขึ้นไป โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ระหว่าง 3-5 ปี ซึ่งเป็นการวางแผนระดับกลยุทธ์ (Strategic Level) โดยมีจุดประสงค์เพื่อการตัดสินใจในการเตรียมความพร้อมด้านกำลังการผลิตสำหรับการดำเนินการในอนาคต เช่น อาคาร สถานที่ เครื่องจักรหลัก หรือสาธารณูปโภคของโรงงาน เป็นต้น

#### 2.1.1.2 การวางแผนการผลิตระยะกลาง (Mid-term Production Planning)

การวางแผนการผลิตระยะกลาง หมายถึง การวางแผนการผลิตในช่วงเวลาระหว่าง 1-12 เดือนข้างหน้า ซึ่ง เป็นการวางแผนระดับการจัดการ (Managerial Level) มีจุดประสงค์เพื่อจัดสรรการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้สามารถเกิดผลอย่างเต็มที่ในกระบวนการผลิต คำว่าทรัพยากรในที่นี้หมายถึงสิ่งที่เป็นปัจจัยสำหรับการผลิต เช่นวัตถุดิบ แรงงาน เครื่องจักรและเครื่องมือ เป็นต้น

#### 2.1.1.3 การวางแผนการผลิตระยะสั้น (Short-Term Production Planning)

การวางแผนการผลิตระยะสั้น หมายถึง การวางแผนการผลิตที่มีช่วงเวลาเป็นรายสัปดาห์หรือรายวัน ขึ้นอยู่กับปริมาณงานและความซับซ้อนของกระบวนการผลิต เป็นการวางแผนระดับปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์เพื่อจัดเตรียมกำหนดเวลาในการทำงานให้กับทรัพยากรการผลิตที่เกี่ยวข้อง เช่น แรงงาน เครื่องจักร เครื่องมือ รวมทั้งช่วงเวลาในการปฏิบัติงานของแต่ละสถานีงานด้วย การวางแผนการผลิตระยะสั้นนี้จะมุ่งเน้นเรื่องการจัดตารางการผลิต (Production Scheduling) เป็นหลัก ซึ่งถือเป็นลำดับขั้นสุดท้ายของระบบการวางแผนการผลิตโดยจะต้องมีความยืดหยุ่นตัวได้ค่อนข้างสูง เพื่อให้สอดคล้องกับสถานภาพของกระบวนการผลิต

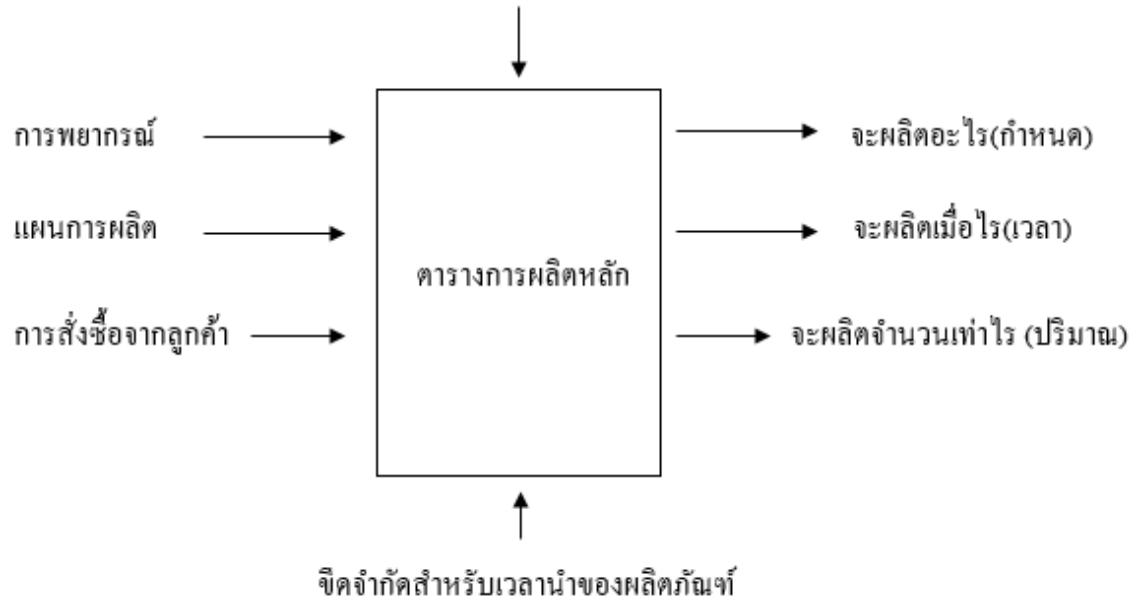
### 2.1.1.4 การวางแผนการผลิตรวม (Aggregate Planning)

การวางแผนการผลิตรวมเป็นลำดับขั้นแรกของการวางแผนการผลิตระยะกลาง ซึ่งแผนการผลิตรวมเป็นแผน ที่สร้างขึ้นเพื่อเชื่อมโยงความสามารถในการผลิตทั้งหมดที่มีอยู่ ให้สอดคล้องกับความต้องการในตัวสินค้าทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ ทั้งนี้จะยังไม่เจาะจงรายละเอียดว่าสินค้ารุ่นใดหรือชนิดใดจะต้องมีระดับของปัจจัยการผลิตเท่าใด แต่จะเป็นการกำหนดในลักษณะการพิจารณาโดยรวมทั้งหมด ตัวอย่างเช่นในช่วงเวลาหนึ่งจะสามารถทำการผลิตเหล็กรูปพรรณได้กี่ตัน โดยไม่แยกพิจารณาว่าจะต้องใช้ปัจจัยการผลิตเพื่อผลิตเป็น H-Beam เท่าใด I-Beam เท่าใด หรือ C-Beam เท่าใด การวางแผนขั้นนี้จะยังเป็นภาพรวมอยู่ใช้ชื่อเรียกว่า Aggregate Planning ความสำคัญของการวางแผนในหัวข้อนี้คือ เป็นการจัดเตรียมทรัพยากรการผลิตในระยะกลางให้สอดคล้องกับแผนการผลิตที่จะเกิดขึ้น ภายใต้กำลังการผลิตที่ได้กำหนดไว้ รวมทั้งมุ่งเน้นในเรื่องต้นทุนการผลิตที่จะเกิดขึ้นให้อยู่ในระดับที่ต่ำที่สุด

### 2.1.1.5 การจัดตารางการผลิตหลัก (Master Production Scheduling; MPS)

ตารางการผลิตหลักจะแสดงถึงชนิดและจำนวนของผลิต หรือผลิตภัณฑ์ที่จะต้องจัดหามาในแต่ละช่วงเวลาในอนาคต หรือเป็นการแปลความจากแผนการผลิตว่าจะต้องผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดบ้างผลิตเมื่อไรและจะเสร็จเมื่อไร นอกจากนั้นยังอาจจะบอกรายละเอียดของวัสดุที่ต้องการใช้ และข้อมูลเกี่ยวกับการวางแผนกำลังการผลิต เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างอุปสงค์กับทรัพยากรที่มีอยู่ หน้าที่ของตารางการผลิตหลักจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.1

ข้อจำกัดของกำลังการผลิต

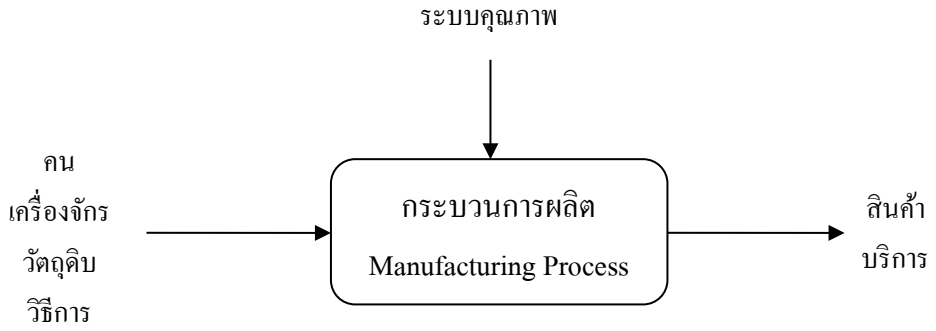



**รูปที่ 2.1** หน้าที่ของตารางการผลิตหลัก

การจัดลำดับงานและกำลังการผลิตของเครื่องจักร นับว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการจัดตารางการผลิตหลักทั้งนี้เพราะการจัดลำดับงาน ทำอะไร เมื่อไหร่ จะเป็นตัวกำหนดถึงผลิตภัณฑ์ที่จะมีจำหน่ายในขณะที่กำลังการผลิต (อัตราการผลิต/ช่วงเวลา) จะชี้ถึงความสามารถของเครื่องจักรที่จะผลิตได้ การผลิตหลักจะต้องทำให้เกิดความสมดุลระหว่างความต้องการผลิตภัณฑ์กับความสามารถของเครื่องจักรและแรงงาน

### 2.1.2 ระบบการผลิต

กระบวนการแปรรูปและเพิ่มมูลค่าให้แก่ปัจจัยนำเข้ากระบวนการผลิต(Manufacturing Process) เพื่อผลิตเป็นสินค้าหรือบริการที่พร้อมต่อการส่งมอบให้แก่ลูกค้า ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีกระบวนการผลิตในขั้นของรายละเอียดต่างๆ แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วปัจจัยนำเข้าได้แก่ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการ และอื่นๆ ส่วนผลผลิตคือ สินค้าและบริการ




**รูปที่ 2.2** ภาพระบบการผลิต

### 2.1.3 การเพิ่มอัตราผลิตภาพ

คำว่า “อัตราผลิตภาพ” หมายถึง การใช้ทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุดซึ่งเป็นดัชนีแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตต่อทัพยากรที่ใช้ในการผลิตสินค้านั้นๆ โดยการผลิตหรือการบริการ เกิดจากการนำสิ่งที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตมาผ่านกระบวนการใดๆในการผลิตเพื่อให้ได้ผลลัพธ์หรือผลผลิตตามที่ลูกค้าต้องการ ดังนั้น “การเพิ่มอัตราผลิตภาพ” จึงหมายถึง การเพิ่มผลการผลิตโดยใช้ทรัพยากรในการผลิตเท่าเดิมหรือลดการใช้ทรัพยากรในการผลิตโดยให้ผลผลิตเท่าเดิม ดังนี้

$$\text{การเพิ่มผลผลิต (Productivity)} = \frac{\text{ผลิตผล (Output)}}{\text{ปัจจัยการผลิต (Input)}} \qquad (2.1)$$

อัตราการเพิ่มผลผลิตสามารถทำให้เราทราบได้ว่าสายการผลิตของเรานั้นเป็นเช่นไร การผลิตหรือการทำงานต่างๆ สามารถดูได้จากอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอัตราผลิตภาพ ก็จะสามารถทราบการ

ทำงานของกระบวนการนั้นๆว่าดีขึ้นหรือว่าแย่ลงอย่างไร โดยการเปรียบเทียบปัจจุบันกับที่ควรจะเป็นเท่าใด เพื่อให้สามารถทราบว่ากระบวนการอยู่ระดับใด จากระบบการผลิตจะเห็นได้ว่า การเพิ่มอัตราการผลิตสามารถทำได้โดยการการลดปัจจัยนำเข้าอันได้แก่ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ ที่มีผลต่อผลผลิตที่เพิ่มขึ้น ทำให้สัดส่วนผลิตภาพเพิ่มขึ้นเนื่องจากการปรับปรุงผลิตภาพจากปัจจัยนำเข้า การศึกษางานจึงเป็นเทคนิคการวิเคราะห์

### 2.1.4 สาเหตุที่ต้องมีการเพิ่มอัตราผลิตภาพ

**2.1.4.1** ทรัพยากรที่จำกัด การเพิ่มผลผลิตเป็นเครื่องมือที่ทำให้เราใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่จำกัดและนับวันยิ่งจะน้อยลงให้เกิดประโยชน์สูงสุดและสูญเสียน้อยที่สุด

**2.1.4.2** การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวางแผนทั้งในปัจจุบันและอนาคต

**2.1.4.3** การแข่งขัน บริษัทที่สามารถอยู่รอดในการแข่งขันได้ต้องมีการปรับปรุงตัวเองอยู่เสมอและการเพิ่มผลผลิตเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการการผลิต ลดต้นทุนการผลิต ซึ่งทำให้สามารถสู้กับคู่แข่งได้

**2.1.4.4** กำไร การเพิ่มผลผลิตเป็นการลดต้นทุน เพิ่มผลกำไร เพื่อจะนำไปแบ่งปันให้กับทุกคน ทั้งเจ้าของกิจการ ผู้ถือหุ้นและพนักงานทุกคน

### 2.1.5 แนวทางการเพิ่มผลผลิต

**2.1.5.1** ปัจจัยการผลิตเท่าเดิมแต่ทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น เช่น การปรับปรุงกระบวนการทำงานด้วยวิธีการใหม่ๆ ปรับปรุงการไม่ผลิตไม่ให้ผลิตของเสีย เท่านี้ก็จะสามารถเพิ่มอัตราผลิตภาพโดยไม่ต้องเพิ่มปัจจัยการผลิตเลย

**2.1.5.2** ปัจจัยการผลิตน้อยลงแต่ทำให้ผลผลิตเท่า จะเป็นวิธีที่มุ่งเน้นการลดปัจจัยการผลิต โดยการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า เช่น การลดการใช้ไฟฟ้า การรอคอยชิ้นส่วน

**2.1.5.3** ปัจจัยการผลิตน้อยลงแต่ทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น อาจจะเป็นวิธีการที่ค่อนข้างยาก แต่เป็นวิธีที่เพิ่มผลผลิตมากกว่าวิธีอื่น โดยการนำทั้ง 2 วิธีรวมกัน (การลดปัจจัยการผลิตและการเพิ่มผลผลิต) จึงเป็นวิธีที่ต้องการความพยายามอย่างสูง

**2.1.5.4** ปัจจัยการผลิตเพิ่มขึ้นแต่ให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่า เป็นวิธีการที่ใช้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มกำลังการผลิตในช่วงเศรษฐกิจเจริญเติบโต เมื่อเพิ่มปัจจัยการผลิตแล้วให้อัตราการเพิ่มผลิตภาพที่สูงขึ้นกว่าเดิม

**2.1.5.5** ปัจจัยการผลิตลดลงมากกว่าผลผลิตก็ลดลงแต่น้อยกว่า เป็นแนวทางในการเพิ่มอัตราผลิตภาพ ในกรณีที่เศรษฐกิจถดถอยหรือความต้องการของตลาดน้อยลง

### 2.1.6 การศึกษางาน(Work Study)

การศึกษางาน(Work Study) คือ การศึกษาวิธี(Method Study) และการวัดผลงาน(Work Measurement) ซึ่งใช้ศึกษาในกระบวนการทำงานและองค์ประกอบต่างๆ เพื่อปรับปรุงงานให้ดีขึ้นและใช้ประโยชน์ด้านการปรับปรุงมาตรฐานของการทำงานและเวลาการทำงาน รวมไปถึงการใช้เครื่องมือในการพัฒนาส่งเสริมแรงจูงใจบุคลากร นำไปสู่การเพิ่มผลผลิต

**ขั้นตอนการศึกษาวิธีการทำงาน (Method study) และการวัดผลงาน (Work Measurement)**

1) เลือกงานที่จะทำการศึกษา (Select) เช่น งานที่มีปัญหาหรืองานใหม่ๆ
2) บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับงานที่เลือก ( Record)
3) ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์อย่างละเอียด ( Examine)
4) พัฒนาและกำหนดวิธีการใหม่ๆ ( Develop new method)
5) วัดงานพร้อมทั้งคำนวณเวลามาตรฐานของงานโดยรวมเวลาเผื่อ เข้าไปด้วย เช่น เวลาทำธุระส่วนตัว (Measure Compile)
6) กำหนดขอบเขตของงานให้ชัดเจนและเก็บข้อมูลไว้ (Define)
7) นำไปใช้เมื่อได้ผลแล้วให้ รักษาสภาพไว้ (Maintain)

### 2.1.6.1 การศึกษาวิธีการทำงาน

การศึกษาวิธีการทำงานมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาวิธีการทำงานที่ดีขึ้น รูปแบบวิธีการของการศึกษาวิธีการทำงานจะเป็นการค้นหาวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนวิธีการที่ดีกว่าเดิม

**วัตถุประสงค์ของการศึกษาวิธีการทำงาน (Method study)**

1) เพื่อปรับปรุงกระบวนการและวิธีการทำงาน

2) เพื่อปรับปรุงการปฏิบัติงาน วางแผนผังโรงงาน สถานที่ตั้งใน การทำงาน ตลอดจนแบบโรงงาน และเครื่องจักรเครื่องมือต่างๆ

3) เพื่อเพิ่มความสะดวกและง่ายต่อการทำงาน พร้อมทั้งขจัดความเมื่อยล้าในการทำงาน

4) เพื่อปรับปรุงการใช้เครื่องจักร วัสดุ และแรงงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5) เพื่อกำหนดวิธีการเคลื่อนย้ายวัสดุในกระบวนการผลิตให้เหมาะสมและเกิดต้นทุนต่ำ

6) เพื่อกำหนดมาตรฐานวิธีการทำงาน

## 2.1.7 การสูญเสีย (Wastes) 7 ประการ

1) ความสูญเสียเนื่องมาจากการรองาน (Idle Time / Delay) เป็นความสูญเสียในการรอคอยหรือรองานซึ่งทำให้สูญเสียเวลาและประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

2) ความสูญเสียเนื่องมาจากการเคลื่อนย้ายงาน (Transportation) เป็นความสูญเสียในการเคลื่อนย้ายงานจากจุดหนึ่งไปสู่จุดหนึ่งด้วยความจำเป็นหรือด้วยความไม่จำเป็น

3) ความสูญเสียเนื่องมาจาการผลิตของเสียและแก้ไขข้อผิดพลาด (Defects and Reworks) เป็นความสูญเสียจากการปฏิบัติงานที่ผิดพลาด ส่งผลเสียต่องานที่ทำและต้องนำมาสู่การแก้ไข

4) ความสูญเสียเนื่องมาจากการทำงานซ้ำซ้อน (Over processing) เป็นความสูญเสียจากการทำงาน ซ้ำซ้อน ที่ทำแล้วทำอีก ตรวจสอบแล้วตรวจสอบอีก การทำงานให้ถูกต้องตั้งแต่แรก (Do it right the first-time)

5) การเก็บวัตถุดิบคงคลังที่ไม่จำเป็น (Unnecessary Stock) เป็นความสูญเสียจากการที่ผู้ปฏิบัติงานเก็บงานไว้ทำในภายหลัง ซึ่งส่งผลเสียต่องานที่ไม่สามารถเสร็จสิ้นได้อย่างรวดเร็ว

7) ความสูญเสียเนื่องมาจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นของผู้ปฏิบัติงาน (Unnecessary Motion) เป็นความสูญเสียอันเนื่องมาจากผู้ปฏิบัติงานมีการเคลื่อนไหวหรือเคลื่อนที่โดยเปล่าประโยชน์ สามารถแก้ไข ได้โดยการจัดผังการทำงานใหม่ (Layout)

8) ความสูญเสียเนื่องมาจากการทำงานมากเกินไป (Overproduction) เป็นความสูญเสียเนื่องจากการทำงานมากเกินไป แต่งานที่ทำมากเป็นงานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ เช่นการที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน นอกเหนือจากงานที่รับผิดชอบในขณะที่งานที่ตนเองรับผิดชอบยังรอให้ทำอยู่ ซึ่งถือเป็นการทำงาน ที่มากเกินความจำเป็นและไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ จะต้องมีการศึกษาการแบ่งภาระงานให้เกิดความสมดุล

### 2.1.8 ทฤษฎีการจัดส่งผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการผลิตแบบหลายรุ่นผลิตภัณฑ์ผสมผสาน (Model Launching in Mixed Model Line)

สายการผลิตแบบ Manual Assembly มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับการจัดส่วนของหน่วยผลิตเข้าสู่สายการผลิตตามเวลาที่ผ่านล่วงไปตามปกติในกรณีของการผลิต ในกรณีการผลิตแบบมีเพียง 1 รุ่นของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ล่วงผ่านไปนี้จะเป็นค่าคงที่ซึ่งถูกกำหนดโดยรอบเวลาการผลิต(Cycle Time) ซึ่งเหมือนกันกับสายการผลิตแบบตะกร้า(Batch) สำหรับสายการผลิตแบบหลายรุ่นผสมผสาน(Mix Model) การจัดส่งผลิตภัณฑ์ในแต่ละรุ่นการผลิตจะมีความซับซ้อนมากเนื่องจากในแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันของเวลาการทำงานและลงไปสู่เวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานซึ่งมีความแตกต่างกันฉะนั้นเวลาที่ล่วงผ่านไประหว่างการจัดส่งผลิตภัณฑ์และการจัดส่งรุ่นผลิตภัณฑ์จะต้องสัมพันธ์กัน ตัวอย่างเช่น รุ่นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการทำงานมากได้ถูกจัดส่งลงสู่สายการผลิตโดยมีเวลาล่วงผ่านไปสั้นจากสายการผลิตที่อาจเคยมีความรวดเร็วก็จะกลายเป็นความคับคั่งเนื่องจากมีงานมาก ในอีกด้านหนึ่งถ้ารุ่นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการทำงานน้อยถูกส่งลงสู่สายการผลิต โดยมีเวลาล่วงผ่านไปมากสถานีงานก็จะเกิดมีการรอคอยงาน การคำนวณหาเวลาที่ล่วงไประหว่างรุ่นผลิตภัณฑ์ที่จัดส่งสู่สายการผลิตไปแล้ว สำหรับสายการผลิตแบบมีหลายรุ่นผลิตภัณฑ์จะมีอยู่ 2 ลักษณะดังนี้

1) การจัดส่งแบบอัตราแปรผัน (Variable rate launching)
2) การจัดส่งแบบอัตรากำหนดคงที่ (Fixed rate launching)

#### 2.1.8.1 การจัดส่งผลิตภัณฑ์แบบอัตราแปรผัน (Variable rate launching)

การการจัดส่งแบบอัตราแปรผัน (Variable rate launching) นี้ระยะห่างของเวลาในการจัดส่งหน่วยผลิตภัณฑ์จนกระทั่งหน่วยผลิตภัณฑ์ถัดไป ถูกกำหนดให้เท่ากันด้วยจำนวนหน่วยสั่งผลิตแต่ด้วยเหตุที่มีความแตกต่างกันของรุ่นผลิตภัณฑ์ทำให้มีความแตกต่างกันในเรื่องของเวลาการทำงานและความแตกต่างกันในภาระของสถานีงาน รอบเวลาในการผลิต(Cycle Time) และช่วงเวลาในการจัดส่งผลิตภัณฑ์จึงเปลี่ยนแปลงไป ระยะเวลาที่ล่วงผ่านไปสามารถคำนวณหาได้โดยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$T_{cv(j)} = \frac{T_{wcj}}{wE_rE_b} \qquad (2.2)$$

จากสมการกำหนดให้

$T_{cv(j)}$ = ระยะห่างของเวลาก่อนส่งผลิตภัณฑ์ถัดไป (นาที)

$T_{wcj}$ = เวลาการทำงานรวมของผลิตภัณฑ์ที่ถูกจัดส่งเข้าไปของรุ่น j (นาที)

w = จำนวนสถานีงาน

$E_r$ = ประสิทธิภาพของการเคลื่อนตำแหน่งของชิ้นงาน (Repositioning Efficiency)

และ $E_b$ = ประสิทธิภาพการจัดการสมดุลของสายการผลิต (Line Balance Efficiency) สำหรับกรณีที่จำนวนพนักงานกับสถานีงานเท่ากัน จำนวนสถานีงานสามารถแทนได้ด้วยจำนวนพนักงาน(w) จากสมการคำนวณนี้ ผลิตภัณฑ์สามารถจัดส่งลงสู่สายการผลิตได้หลากหลายรูปแบบของลำดับการจัดส่งตามต้องการ

**ตัวอย่างการคำนวณ**

ให้การคำนวณหาหาเวลาล่วงไปสำหรับผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B กำหนดให้ค่า $E_r$= 0.9823 และ $E_b$ = 0.8796 เวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A = 27.0 นาที เวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B = 25.0 นาที จำนวนพนักงานในสายการผลิตทั้งหมด 4 คน จากสมการอัตราแปรผัน (Variable rate launching) แสดงการคำนวณได้ดังนี้

สำหรับผลิตภัณฑ์ A

$$T_{cv(A)} = \frac{T_{wcA}}{wE_rE_b} = \frac{26.0}{5(0.9688)\,(0.9498)} = 5.651 \text{ นาที}$$

สำหรับผลิตภัณฑ์ **B**

$$T_{cv(B)} = \frac{T_{wcB}}{wE_rE_b} = \frac{28.0}{5(0.9688)\,(0.9498)} = 6.086 \text{ นาที}$$

จะได้ว่าเมื่อผลิตภัณฑ์ A ถูกจัดส่งเข้าสู่สายการผลิตจะต้องผ่านไป 5.434 นาทีจึงจะสามารถจัดส่งผลิตภัณฑ์ถัดไป และเมื่อผลิตภัณฑ์ B ถูกจัดส่งเข้าสู่สายการผลิตจะต้องผ่านไป 6.086 นาทีจึงจะสามารถจัดส่งผลิตภัณฑ์ถัดไป ข้อดีคือ หน่วยของผลิตภัณฑ์สามารถจัดส่งเข้าสู่สายการผลิตในท่ามกลางความแตกต่างของอัตราสั่งผลิตโดยปราศจากเวลาสูญเสียหรือเกิดภาวะคอขวดในจุดปฏิบัติงานซึ่งสามารถทำให้บรรลุเป้าหมายโดยตลอดกระทั่งสิ้นสุดคาบเวลาที่ได้กำหนดการจัดส่งผลิตภัณฑ์แบบคละรุ่นไว้ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราการสั่งผลิตที่ต้องการ อย่างไรก็ดีเทคนิคอันหนึ่งซึ่งมีความแน่นอนลดความผิดพลาดในทางปฏิบัติและมักจะถูกนำมาใช้คือ การนำสายพานการผลิต(Conveyer) มาใช้ในการกำหนดเวลาการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ซึ่งวิธีการนี้จะไม่สามารถใช้ได้กับการที่มีการจัดส่งผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการผลิตในหลายๆตำแหน่งที่ไม่ใช่ต้นสายการผลิต

**2.1.8.2 การจัดส่งผลิตภัณฑ์แบบอัตราคงที่ (Fixed rate launching) สำหรับ 2 รุ่นผลิตภัณฑ์**

เวลาที่ล่วงผ่านไประหว่างผลิตภัณฑ์ 2 หน่วยที่จัดส่งติดต่อกันเป็นเวลาคงที่ในการปฏิบัติมักจะใช้การปรับตั้งความเร็วของสายพานและระยะช่วงห่างระหว่างชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ เวลาที่ล่วงผ่านไปในรูปแบบการจัดส่งแบบกำหนดอัตราคงที่นี้ขึ้นอยู่กับจำนวนผลิตภัณฑ์และอัตราสั่งผลิตรุ่นนั้นๆ ซึ่งแน่นอนว่าจะต้องเกี่ยวข้องกับจำนวนพนักงาน เวลาที่จะสามารถจะปฏิบัติงานได้ ดังนั้นประสิทธิภาพของการเคลื่อนตำแหน่งและประสิทธิภาพของการจัดสมดุลสายการผลิตจะต้องนำมาเกี่ยวข้องด้วย จากสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$T_{cf} = \frac{\left(\frac{1}{R_p}\right)\sum_{j=1}^{p} R_{pj} T_{wcj}}{wE_r E_b} \qquad (2.3)$$

จากสมการกำหนดให้

$T_{cf}$ = เวลาล่วงไประหว่างการจัดส่ง (นาที)

$R_{pj}$ = อัตราการผลิตของรุ่น j (ชิ้นต่อชั่วโมง)

$T_{wcj}$ = เวลาการทำงานของรุ่น j (นาทีต่อชิ้น)

$R_p$ = อัตราผลิตรวมทุกรุ่น

และ P = จำนวนของรุ่นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตใช้ช่วงเวลา (j=1, 2, 3…, P)

สำหรับการจัดส่งผลิตภัณฑ์ประเภทอัตราการจัดส่งคงที่ รุ่นของผลิตภัณฑ์จะต้องถูกส่งลงสู่สายการผลิตโดยระบุถึงการเรียงลำดับเวลาของการคับคั่งและการเกิดเวลารอคอยสามารถบ่งชี้ในแต่ละการจัดส่งที่ต่อเนื่องกันถึงความแตกต่างระหว่างผลรวมของเวลาที่ล่วงผ่านไปของการจัดส่งสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ซึ่งผ่านการจัดส่งลงสู่สายการผลิต ความแตกต่างนี้สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

เวลาการคับคั่ง(Congestion Time) หรือเวลาการรอคอย (Idle Time) = $\sum_{h=1}^{m} T_{cjh} - mT_{cf}$ (2.4)

จากสมการกำหนดให้

m = ลำดับขั้นระหว่างช่วงเวลาที่สนใจ

$T_{cjh}$ = รอบเวลาการทำงานเมื่อรุ่น j ด้วยการที่รุ่น j มีตำแหน่งการจัดส่งที่ h (นาที)

ดังสมการ $T_{cjh} = \frac{T_{wcj}}{wE_r E_b}$ (2.5)

สัญลักษณ์อื่นๆ แทนได้ดังข้อกำหนดที่กล่าวไว้แล้ว

จากการคับคั่งตามสมการผลลัพธ์ความแตกต่างที่ได้เป็นค่าบวก(+) บ่งชี้ว่าผลรวมเวลาของงานสำหรับรุ่นผลิตภัณฑ์นี้ยังมีค่าไกลกว่าแผนรวมของงานจากเวลาการรอคอย(Idle Time) ถูกบ่งชี้ในสมการที่ 3 ค่าผลลัพธ์เป็นลบ(-) บ่งชี้ว่าเวลารวมของงานน้อยกว่าแผนของเวลาซึ่งสามารถทำให้เกิดการคับคั่งหรือเวลาการรอคอยที่น้อยกว่า จากกระบวนการนี้การจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่ถูกเลือกจึงได้จากสมการกำลังสองของค่าความแตกต่างระหว่างเวลาล่วงไปสะสมในการจัดส่งผลิตภัณฑ์แบบอัตราคงที่ (Fixed rate launching) และผลรวมสะสมของเวลาล่วงไปแต่ละรุ่นที่น้อยที่สุดซึ่งได้รับเลือกการจัดส่งสามารถกำหนดเป็นรูปแบบสมการตามกระบวนการได้ดังนี้

สำหรับแต่ละลำดับของการจัดส่ง m, เลือกรุ่น j เป็นค่าที่น้อยที่สุด

$$\left( \sum_{h=1}^{m} T_{cjh} - mT_{cf} \right)^2 \qquad (2.6)$$

จากความหมายของสัญลักษณ์ต่างๆที่ได้อธิบายไว้แล้ว

**ตัวอย่างการคำนวณ**

การจัดส่งผลิตภัณฑ์แบบอัตราคงที่ (Fixed rate launching) ในสายการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ สำหรับ 2 ผลิตภัณฑ์

จงคำนวณหา

(a) เวลาที่ล่วงไปในการจัดส่งผลิตภัณฑ์แบบอัตราคงที่ (Fixed rate launching)

(b) ลำดับของการจัดส่งผลิตภัณฑ์ของรุ่น A และรุ่น B ระหว่างชั่วโมงกำหนดค่า $E_r = 0.9823$ และ $E_b = 0.8796$

วิธีการคำนวณ

(a) กำหนดให้ผลรวมอัตราการผลิตของรุ่น A และรุ่น B คือ $R_p = 3+7 = 10$ ชิ้นต่อชั่วโมง เวลาของการล่วงผ่านไปที่กำหนดโดยใช้สมการที่ 2.3

$$T_{cf} = \frac{\frac{1}{10}( 3(26)+ 7(28) )}{5(0.9688)\ (0.9498)} = 5.955 \text{ นาที}$$

(b) ใช้กฎในการการจัดลำดับผลิตภัณฑ์จากสมการที่ 5 ซึ่งจำเป็นต้องคำนวณค่า $T_{cjh}$ สำหรับแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ โดยสมการที่ 4 ซึ่งได้ค่าที่เหมือนกันกับการคำนวณก่อนหน้านี้ สำหรับกรณีการจัดส่งผลิตภัณฑ์แบบอัตราแปรผัน (Variable rate launching) สำหรับรุ่น A ; $T_{cAh}$ = 5.651 นาที และสำหรับรุ่น B ; $T_{cBh}$ = 6.086 นาที

เพื่อทำการเลือกการจัดส่งผลิตภัณฑ์ขั้นแรก (โดยการเปรียบเทียบรุ่น A และรุ่น B)

สำหรับรุ่น A: $(5.651 - 1(5.955))^2$ = 0.0924

สำหรับรุ่น B: $(6.086 - 1(5.955))^2$ = 0.0172 ได้ค่าน้อยที่สุด

ค่าน้อยที่สุดที่คำนวณได้คือค่าของรุ่น B ฉะนั้นส่วนผลิตภัณฑ์ B จะถูกเลือกจัดส่งเป็นลำดับแรก(m-1)

สำหรับทำการเลือกการจัดส่งผลิตภัณฑ์ขั้นถัดไป (โดยการเปรียบเทียบรุ่น A และรุ่น B)

สำหรับรุ่น A: $(6.086 + 5.651 - 2(5.955))^2$ = 0.0299 ได้ค่าน้อยที่สุด

สำหรับรุ่น B: $(6.086 + 6.086 - 2(5.955))^2$ = 0.0686

ค่าน้อยที่สุดที่คำนวณได้คือ ค่าของรุ่น A ฉะนั้นส่วนผลิตภัณฑ์ A จะถูกเลือกจัดส่งเป็นลำดับที่สอง (m-2) จากแนวทางนี้มีกระบวนการคำนวณอย่างต่อเนื่องซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

**ตารางที่ 2.1** ลำดับการกำหนดการจัดส่งผลิตภัณฑ์ 2 รุ่นผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการผลิต

| Launch m | $mT_{cf}$ | $\left(\sum_{h=1}^{m} T_{cjh}+T_{cAm} -mT_{cf}\right)^2$ | $\left(\sum_{h=1}^{m} T_{cjh}+T_{cBm} -mT_{cf}\right)^2$ | Model |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 5.955 | 0.0924 | **0.0172** | B |
| 2 | 11.910 | **0.0299** | 0.0686 | A |
| 3 | 17.865 | 0.2275 | **0.0018** | B |
| 4 | 23.820 | 0.1197 | **0.0079** | B |
| 5 | 29.775 | **0.0462** | 0.0484 | A |
| 6 | 35.730 | 0.2694 | **0.0071** | B |
| 7 | 41.685 | 0.1505 | **0.0022** | B |
| 8 | 47.640 | 0.0660 | **0.0317** | B |
| 9 | 53.595 | **0.0159** | 0.0955 | A |
| 10 | 59.550 | 0.1849 | **0.0000** | B |

ที่มา : P.Groover

จากตารางที่ 2.1 แสดงค่าตัวเลขซึ่งได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่าง ผลิตภัณฑ์ A และผลิตภัณฑ์ B แสดงถึงค่าน้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบ โดยแสดงตัวเลขเข้ม ซึ่งจะเป็นตัวที่จะถูกเลือกในการจัดส่งผลิตภัณฑ์

### 2.1.8.3 การจัดส่งผลิตภัณฑ์แบบอัตราคงที่ (Fixed rate launching) สำหรับ 3 รุ่นผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 2.1 ซึ่งพบว่า 3 หน่วยผลิตภัณฑ์ของ A และ 7 หน่วยผลิตภัณฑ์ของ B ได้ถูกวางแผนการจัดส่งตามลำดับดังตาราง ซึ่งได้จากข้อมูลอัตราการผลิตซึ่งได้จากตัวอย่างในตอนต้น ตารางแผนลำดับการผลิตนี้จะถูกปฏิบัติซ้ำๆ ในแต่ละชั่วโมงการทำงานอย่างต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นกรณี 2 รุ่นผลิตภัณฑ์ที่จะถูกส่งลงสู่สายการผลิตเท่านั้นตามสมการที่ 5 ผลลัพธ์จากลำดับซึ่งตรงกับความต้องการถูกคำนวณโดย $T_{cf}$ และ $T_{cjh}$ อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการจัดส่ง 3 รุ่นผลิตภัณฑ์หรือมากกว่าลงสู่สายการผลิตสมการที่ 5 ไม่สามารถคำนวณได้ตามต้องการ จากผลลัพธ์ในตารางดังสมการที่ 5 สิ่งที่เกิดขึ้นคือ รุ่นผลิตภัณฑ์ที่มีค่า $T_{cjh}$ ใกล้เคียงกับค่า $T_{cf}$ ซึ่งได้รับการผลิตไปแล้ว ในขณะที่รุ่นที่มีค่า $T_{cjh}$ มีความแตกต่างจาก $T_{cf}$ อยู่ภายใต้การผลิตหรือถูกละเลยไปจากแผนการจัดส่งผลิตภัณฑ์ ลำดับการจัดส่งสามารถดัดแปลงไปสำหรับกรณีมี 3 รุ่นผลิตภัณฑ์หรือมากกว่า โดยการเพิ่มเทอมลงในสมการซึ่งจะทำให้สามารถได้รับการคำนวณตามต้องการ เทอมที่ได้รับการเพิ่มเข้าไปนี้เป็นสัดส่วนของจำนวนของรุ่น j ที่ได้รับการผลิตในระหว่างช่วงระยะที่พิจารณาอยู่นั้นซึ่งจะถูกแบ่งออกโดยจำนวนของรุ่น j ซึ่งยังไม่ถูกจัดส่งลงในสายการผลิตในช่วงเวลานั้น ซึ่งได้ว่า

$$\text{เทอมที่เพิ่มขึ้นสำหรับ 3 รุ่นผลิตภัณฑ์หรือมากกว่า} = \frac{R_{pj}}{Q_{jm}} \qquad (2.7)$$

จากสมการกำหนดให้ $R_{pj}$ = จำนวนของรุ่น j ที่ถูกผลิตระหว่างช่วงเวลา ซึ่งเป็นอัตราการผลิตของรุ่น j (ชิ้นต่อชั่วโมง)

$Q_{jm}$ = จำนวนของรุ่น j ที่ยังคงค้างการจัดส่งเพื่อทำการจัดส่งในช่วงเวลานั้นๆ ดังที่ m (หมายเลขลำดับการจัดส่ง) เพิ่มเติม (ชิ้นต่อชั่วโมง)

ดังนั้นแล้วกระบวนการกำหนดอัตราการจัดส่งผลิตภัณฑ์ลงสู่สายการผลิตสำหรับ 3 รุ่นผลิตภัณฑ์หรือมากกว่าสามารถแสดงได้ดังสมการ

สำหรับแต่ละการจัดส่งที่ m เลือก j ดังนั้นเพื่อทำให้น้อยที่สุดได้

$$\left(\sum_{h=1}^{m} T_{cjh} - mT_{cf}\right)^2 + \frac{R_{pj}}{Q_{jm}} \qquad (2.8)$$

จากเทอมต่างๆที่ได้กำหนดความหมายไว้แล้ว

ผลที่ได้มีการเพิ่มเทอมเข้าไปก็เพื่อลดโอกาสซึ่งหน่วยของรุ่น j จะถูกเลือกซ้ำหลายครั้ง สำหรับการจัดส่งที่จำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์นั้น ได้ถูกจัดส่งไปครบถ้วนเรียบร้อยแล้วในระหว่างช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนผลิตภัณฑ์ชิ้นสุดท้ายของรุ่น j ได้ถูกจัดส่งลงไปครบแล้วในช่วงเวลาตามแผนการจัดส่งนั้นๆ โอกาสของการจัดส่งผลิตภัณฑ์ j ในลำดับถัดไปจะเป็นศูนย์ การเลือกลำดับในการระบุอัตราการจัดส่ง(Fixed Rate Launching) บางครั้งสามารถทำให้อยู่ในรูปอย่างง่ายโดยการแบ่งค่าอัตราการผลิตของรุ่น j ทั้งหมด ($R_{pj}$) ในแผนการจัดส่งเช่น ตามชั่วโมงการทำงานของรุ่น A = 4 หน่วย และรุ่น B = 8 หน่วย จำนวนทั้งสองรุ่นนี้สามารถที่จะแบ่งครึ่งเป็น 2 หน่วยสำหรับรุ่น Aและเป็น 3 หน่วยของรุ่น B ต่อแต่ละครั้งของชั่วโมงงานตามค่าสัดส่วนนี้สามารถใช้ได้ในสมการที่ 6 แล้วใช้เหมือนๆกัน โดยการทำแบบซ้ำๆต่อกันไปให้ได้ตามแต่ละชั่วโมงหรือกะงานที่ต้องการ

**ตัวอย่างการคำนวณ**

จากตัวอย่างที่ผ่านมาซึ่งมี 2 รุ่นผลิตภัณฑ์คือ รุ่น A และรุ่น B ถ้าเพิ่มรุ่น C เข้าไปในสายการผลิตรวมเป็น 3 รุ่นซึ่งมีอัตราการผลิตต่อชั่วโมง = 2 รุ่นและเวลาทำงาน = 30 นาที สัดส่วนของเวลาที่พร้อมทำงาน (Uptime) = 0.96

**แสดงการคำนวณ**

คำนวณอัตราการผลิตรวมต่อชั่วโมง

จากสมการ $R_p = \sum_{j=1}^{p} R_p$ (2.9)

$= 3 + 7 + 2 = 12$ หน่วยต่อชั่วโมง

คำนวณรอบเวลาการผลิต(Cycle Time) ได้ดังนี้

$$T_p = \frac{60(0.96)}{12} = 4.80 \text{ นาที}$$

กำหนดให้เวลาการเคลื่อนตำแหน่งเฉลี่ย 0.15 นาที

ดังนั้น $T_s = 4.80 - 0.15 = 4.65$ นาที

ประสิทธิภาพการเคลื่อนตำแหน่ง : $E_r = \frac{4.65}{4.80} = 0.96875$

เพื่อทำการคำนวณหาประสิทธิภาพการจัดสมดุลสายการผลิตจำเป็นต้องแบ่งภาระงานโดยหาเวลาที่สามารถใช้งานได้ในสายการผลิต( Available Time : AT ) โดยที่ค่า AT จะเปลี่ยนไปตามประสิทธิภาพสายการผลิต( E ) และประสิทธิภาพในการเคลื่อนตำแหน่ง( $E_r$ ) ภาระงานรวม ( Work Load : WL ) สามารถคำนวณได้ดังนี้

Work Load: WL = 3(26) + 7(28) + 2(30) = 334 นาที

ค่าของ Available Time ซึ่งได้จากการจัดสมดุลสายการผลิตเป็นดังนี้

Available Time: AT = 60(0.96)(0.96875) = 55.80 นาที

หาจำนวนพนักงานโดย 1 คนต่อ 1 สถานีงาน

$$\text{จำนวนพนักงาน (w)} = \frac{WL}{AT} \quad (2.10)$$

$$= \text{ค่าจำนวนเต็มที่น้อยที่สุด} \geq \frac{334}{55.8}$$

$$= 5.99 \approx 6 \text{ คน (สถานีงาน)}$$

สำหรับตัวอย่างนี้ สมมติว่าสายการผลิตสามารถจัดสมดุลได้ด้วยพนักงาน 6 คน(สถานีงาน)

ประสิทธิภาพการจัดสมดุลสายการผลิต $(E_b) = \frac{334}{6(55.8)} = 0.9976$

ใช้ค่าของ $E_r$ และ $E_b$ ลงในสมการที่ 2 การคำนวณการกำหนดเวลาที่ล่วงไปในการจัดส่งผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

$$T_{cf} = \frac{\frac{1}{12}(3(26) + 7(28) + 2(30))}{6(0.9688)(0.9976)} = 4.80 \text{ นาที}$$

ค่า $T_{cjh}$ ของแต่ละรุ่นได้ดังนี้

รุ่นผลิตภัณฑ์ A : $T_{cAh} = \frac{26.0}{6(0.9688)(0.9976)} = 4.484$ นาที

รุ่นผลิตภัณฑ์ B : $T_{cBh} = \frac{28.0}{6(0.9688)(0.9976)} = 4.829$ นาที

รุ่นผลิตภัณฑ์ C : $T_{cCh} = \frac{30.0}{6(0.9688)(0.9976)} = 5.173$ นาที

เพื่อทำการเลือกการจัดส่งผลิตภัณฑ์ขั้นแรก (โดยการเปรียบเทียบรุ่น A, รุ่น B และรุ่น C)

สำหรับรุ่น A : $(4.484 - 1(4.80))^2 + \frac{3}{3} = 1.0999$

สำหรับรุ่น B : $(4.829 - 1(4.80))^2 + \frac{7}{7} = 1.0008$ ได้ค่าน้อยที่สุด

สำหรับรุ่น C : $(5.173 - 1(4.80))^2 + \frac{2}{2} = 1.1391$

ค่าน้อยที่สุดที่คำนวณได้คือ ค่าของรุ่น B ฉะนั้น ส่วนผลิตภัณฑ์ B ถูกเลือกจัดส่งเป็นลำดับแรก (m-1)

สำหรับทำการเลือกการจัดส่งผลิตภัณฑ์ขั้นถัดไป (โดยการเปรียบเทียบรุ่น A และรุ่น B)

สำหรับรุ่น A: $(4.829 + 4.484 - 2(4.80))^2 + \frac{3}{3} = 1.0824$ ได้ค่าน้อยที่สุด

สำหรับรุ่น B: $(4.829 + 4.829 - 2(4.80))^2 + \frac{7}{6} = 1.1700$

สำหรับรุ่น C: $(4.829 + 5.173 - 2(4.80))^2 + \frac{2}{2} = 1.1616$

ค่าน้อยที่สุดที่คำนวณได้คือ ค่าของรุ่น A ฉะนั้นส่วนผลิตภัณฑ์ A จะถูกเลือกจัดส่งเป็นลำดับที่สอง (m-2) จากแนวทางนี้มีกระบวนการคำนวณอย่างต่อเนื่องซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

**ตารางที่ 2.2** ลำดับการกำหนดการจัดส่งผลิตภัณฑ์ 3 รุ่นผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการผลิต

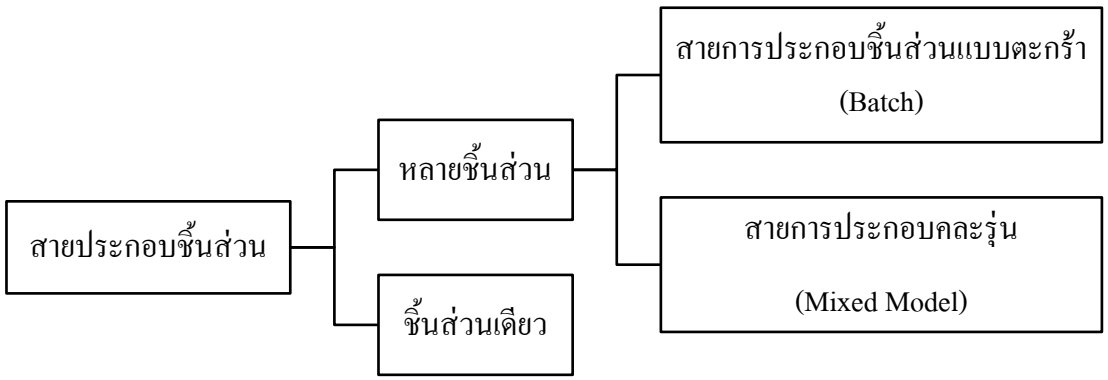
| Launch m | $mT_{cf}$ | $\left(\sum_{h=1}^{m} T_{cjh}+T_{cAm} -mT_{cf}\right)^2 + \frac{R_{pA}}{Q_{Am}}$ | $\left(\sum_{h=1}^{m} T_{cjh}+T_{cBm} -mT_{cf}\right)^2 + \frac{R_{pB}}{Q_{Bm}}$ | $\left(\sum_{h=1}^{m} T_{cjh}+T_{cCm} -mT_{cf}\right)^2 + \frac{R_{pC}}{Q_{Cm}}$ | Model |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.80 | 1.0999 | **1.0008** | 1.1391 | B |
| 2 | 9.60 | **1.0824** | 1.1700 | 1.1616 | A |
| 3 | 14.40 | 1.8636 | 1.2332 | **1.0074** | C |
| 4 | 19.20 | 1.5529 | **1.1799** | 2.2107 | B |
| 5 | 24.00 | 1.5404 | **1.4207** | 2.2381 | B |
| 6 | 28.80 | **1.5296** | 1.7799 | 2.2673 | A |
| 7 | 33.60 | 3.2381 | **1.7704** | 2.0404 | B |
| 8 | 38.40 | 3.2107 | 2.3463 | **2.0529** | C |
| 9 | 43.20 | 3.0074 | **2.4004** | ∞ | B |
| 10 | 48.00 | **3.0032** | 3.5829 | ∞ | A |
| 11 | 52.80 | ∞ | **3.5008** | ∞ | B |
| 12 | 57.60 | ∞ | **7.0000** | ∞ | B |

ที่มา : P.Groover

### 2.1.8.4 การจัดสมดุลสายการผลิต

การจัดกระบวนการของสายการประกอบชิ้นส่วน

การแบ่งการทำงานที่จำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์หนึ่งออกเป็นหลายกระบวนการและให้ผู้ปฏิบัติงานหลายคนรับผิดชอบนั้น โดยผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนจะทำงานซ้ำกันไปมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เรียกว่า “การแบ่งงาน” ส่วนการเคลื่อนที่ชิ้นงานที่จะทำงานให้ไหลจากกระบวนการต้นน้ำมาสู่กระบวนการปลายน้ำด้วยความเร็วคงที่ และปฏิบัติงาน(ผลิต)พร้อมกันทุกกระบวนการเรียกว่า “วิธีการผลิตแบบไหล” วิธีการผลิตแบบไหลเหมาะกับการผลิตในปริมาณมากสามารถดำเนินการผลิตได้อย่างราบรื่นโดยมีการขจัดการสูญเสียจากการขนส่งและการหยุดคอย ส่วนการแบ่งงานก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้โดยการปฏิบัติ 3S (Simple : ทำให้ง่าย, Standard : จัดมาตรฐาน, Specialty : ทำให้มีความสามารถเฉพาะทาง) เนื่องจากเวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการแตกต่างกัน กระบวนการที่มีเวลานานจะทำให้มีงานระหว่างผลิตจากกระบวนการก่อนหน้านั้นค้างอยู่มาก และทำให้กระบวนการถัดไปไม่มีงานส่งมาถึงเกิดปัญหาเวลาว่างเปล่าโดยณัฏฐพงศ์ สอนสุวิทย์ สายการประกอบชิ้นส่วนแบ่งตามประเภทผลิตภัณฑ์จะได้ดังนี้




**รูปที่ 2.3** ประเภทของสายการประกอบผลิตภัณฑ์

#### 2.1.8.4.1 วิธีหาคำตอบสำหรับการจัดสมดุลสายการผลิต

##### 2.1.8.4.1.1 วิธีของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ (Kilbridge and Wester)

กิลบริดจ์และเวสเตอร์ ได้เสนอวิธีการเพื่อการจัดสมดุลสายการผลิตโดยเป็นการลองผิดลองถูกให้เป็นระบบ คุณลักษณะพิเศษของวิธีการนี้คือการใช้ประโยชน์จากแผนภาพลำดับการให้ความสำคัญอย่างเต็มที่ การจัดสรรงานองค์ประกอบโดยจะทำให้เวลารวมในการทำงานขององค์ในแต่ละสถานที่ทำงาน ใกล้เคียงกับรอบระยะเวลาการผลิตมากที่สุด

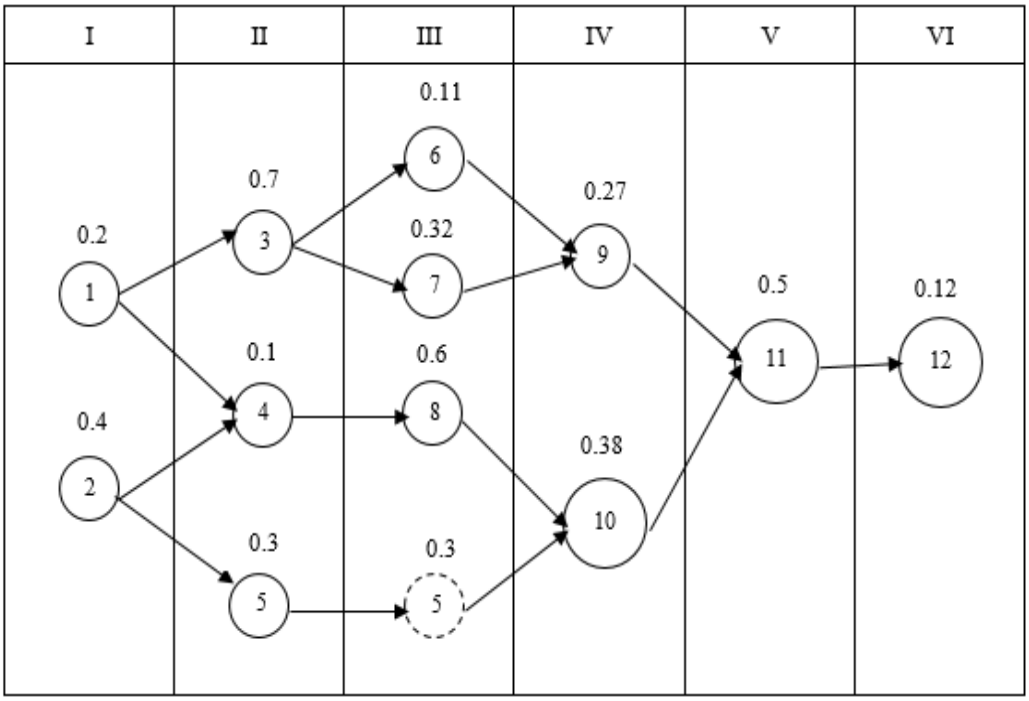
ลำดับขั้นตอนในการจัดสมดุลสายการผลิตวิธีนี้มีดังนี้

1) แบ่งงานออกเป็นงานย่อยๆ

2) เขียนแผนภาพลำดับ(Precedence diagram) เพื่อให้ทราบลำดับขั้นตอนในการทำงานแล้วแบ่งแผนภาพลำดับ(Precedence diagram) ออกเป็นสดมภ์(Column) ตามรูปที่ 2.4 โดยต้องพิจารณาด้วยว่าขั้นตอนงานย่อยใด สามารถอยู่ในสดมภ์(Column) ใดบ้าง ซึ่งงานย่อยบางงานในบางครั้งจะสามารถอยู่ได้ทั้ง 2 สดมภ์(Column) เนื่องจากเป็นงานย่อยเดียวกันในสดมภ์(Column) ที่ต้องทำต่อเนื่องกันถัดไป

3) เรียงงานย่อยตามลำดับสดมภ์(Column) โดยสดมภ์(Column) แรกอยู่เป็นลำดับที่หนึ่งไล่ลำดับไปจนถึงสดมภ์(Column) สุดท้าย และในแต่ละสดมภ์(Column) จะเรียงลำดับงานย่อยจากเวลามากไปยังเวลาน้อย

4) ทำการจัดสถานีงาน โดยเลือกงานย่อยเรียงตามลำดับสดมภ์ (Column) ที่ได้จัดไว้ในขั้นตอนที่ 3




**รูปที่ 2.4** แผนภาพลำดับงาน

ที่มา : P.Groover

**ตารางที่ 2.3** รายละเอียดด้านเวลาของสายการผลิต

| Station | Work Element | Column | $T_{ek}$ (min) | Station Time (min) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | I | 0.4 | |
| | 1 | I | 0.2 | |
| | 5 | II | 0.3 | |
| | 4 | II | 0.1 | 1.0 |
| 2 | 3 | II | 0.7 | |
| | 6 | III | 0.11 | 0.81 |
| 3 | 8 | III | 0.6 | |
| | 7 | III | 0.32 | 0.92 |
| 4 | 10 | IV | 0.38 | |
| | 9 | IV | 0.27 | 0.65 |
| 5 | 11 | V | 0.6 | |
| | 12 | VI | 0.12 | 0.72 |

ที่มา : P.Groover

** โดยผลรวมของเวลาในแต่ละสถานีงาน ต้องมีค่าไม่เกินเวลาที่ใช้ในการทำงานจริง (Service time ;$T_S$)

**2.1.8.4.1.2 วิธีให้ค่าน้ำหนักเชิงตำแหน่งเฮลก์สันและเบอร์นี (Helgson and Birnie)**

วิธีนี้เป็นการจัดสรรงานองค์ประกอบโดยใช้ความสำคัญของงานแต่ละตำแหน่งของงานองค์ประกอบในแผนภาพลำดับงานและการให้ค่าน้ำหนักถูกกำหนดโดยตำแหน่งในลำดับความสำคัญของแต่ละองค์ประกอบของงานพร้อมกับคำนึงถึงเวลาการทำงานด้วย

ตัวอย่างลำดับขั้นตอนในการจัดสมดุลสายการผลิตวิธีนี้มีดังนี้

1) แบ่งงานออกเป็นงานย่อยๆ
2) เขียนแผนภาพลำดับ (Precedence diagram) เพื่อให้ทราบลำดับขั้นตอนในการทำงาน
3) หาค่า RPW โดยนำเวลาของแต่ละงานย่อยมาบวกกันตามลำดับเส้นทางการไหลของภาระงาน

ตัวอย่างจากรูปที่ 2.4 ; $RPW_1$ = 0.2 + 0.7 + 0.11 + 0.27 + 0.5 + 0.12 + 0.1 + 0.6 + 0.38 + 0.32

= 3.3

4) นำค่า RPW ของแต่ละงานย่อย ที่คำนวณได้ มาเรียงตามลำดับจากมากไปน้อย

5) ทำการจัดสถานีงาน โดยเลือกงานย่อยเรียงตามลำดับค่า RPW จากมากไปน้อยตามที่คำนวณไว้

**ตารางที่ 2.4** การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก

| Station | Work Element | RPW | $T_{ek}$ (min) | Station Time (min) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 3.30 | 0.2 | |
| | 3 | 3.00 | 0.7 | 0.90 |
| | 2 | 2.67 | 0.4 | |
| | 4 | 1.97 | 0.1 | |
| 2 | 5 | 1.87 | 0.3 | |
| | 6 | 1.30 | 0.11 | 0.91 |
| 3 | 8 | 1.21 | 0.6 | |
| | 7 | 1.00 | 0.32 | 0.92 |
| 4 | 10 | 1.00 | 0.38 | |
| | 9 | 0.89 | 0.27 | 0.65 |
| 5 | 11 | 0.62 | 0.5 | |
| | 12 | 0.12 | 0.12 | |

ที่มา : P.Groover

** โดยผลรวมของเวลาในแต่ละสถานีงาน ต้องมีค่าไม่เกินเวลาที่ใช้ในการทำงานจริง (Service time ;$T_S$)

**2.1.8.4.1.3 วิธีเรียงตามเวลาการทำงานที่มากที่สุด (Largest Candidate Rule)**

วิธีนี้เป็นการจัดสรรงานงานองค์ประกอบที่ได้รับเลือกที่ใหญ่ที่สุดของเวลาการทำงาน องค์ประกอบที่ได้รับเลือก หมายถึงไม่มีงานองค์ประกอบที่ให้ความสำคัญก่อน หรือถึงแม้จะมีก็เป็นงานองค์ประกอบที่ได้รับการจัดสรรเรียบร้อยแล้ว

**ตัวอย่างลำดับขั้นตอนในการจัดสมดุลสายการผลิตวิธีนี้มีดังนี้**

1) แบ่งงานออกเป็นงานย่อยๆ

2) เขียนแผนภาพลำดับความสำคัญ (Precedence diagram) เพื่อให้ทราบลำดับขั้นตอนในการทำงาน

3) ทำการจัดเรียงงานย่อยตามลำดับ โดยเรียงลำดับตามเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละงานย่อย โดยให้งานย่อยที่ใช้เวลามากที่สุดอยู่เป็นลำดับแรก แล้วเรียงลำดับไปยังงานย่อยที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

4) ทำการจัดสถานีงาน โดยเลือกงานย่อยที่มีเวลามากที่สุดมาจัดวางก่อนโดยต้องคำนึงถึงลำดับขั้นตอนการทำงานก่อนหลังด้วย

## 2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรม

### 2.1.2 แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)

ในช่วงปี 1848-1923 พาเรโต นักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาเลี่ยน ผู้ค้นพบหลักการ 80-20 ได้กล่าวว่า 80% ของรายได้ประชาชาติของประเทศในยุโรป มาจากกลุ่มคนเพียง 20% และในปี 1925 ดร. โจเซฟ จูราน ผู้เชี่ยวชาญด้านคุณภาพชาวอเมริกัน ได้ทำการวิจัยและพบว่า หากข้อมูลที่เก็บได้มานั้นมีความเสถียรภาพ (Stability) แล้วนั้น ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีเพียงเล็กน้อย และข้อมูลที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยมีจำนวนมาก และเรียกหลักการนี้ว่า “หลักการพาเรโต” และได้เรียกการแยกแยะของข้อมูลในกราฟแท่งโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยว่า แผนผังพาเรโตโดยณัฏฐพงศ์ สอนสุวิทย์

โครงสร้างของแผนผังพาเรโต

1) แกนแนวนอน ใช้สำหรับแสดงประเภทของข้อมูล

2) แกนแนวตั้งด้านซ้าย ใช้แสดงความถี่ ค่าใช้จ่าย ต้นทุน

3) แกนแนวตั้งด้านขวา ใช้แสดง % สะสม โดยมีจุดสูงสุดเท่ากับ 100% ซึ่งเท่ากับความถี่สะสมรวมของข้อมูล

วิธีการสร้างแผนผังพาเรโต ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ

1) ขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูล

ในการจัดเตรียมข้อมูลจะแบ่งการเตรียมข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆด้วยกัน ส่วนแรกคือการเตรียมแผ่นการบันทึกข้อมูล และเมื่อได้ข้อมูลมาเรียบร้อยแล้ว ให้นำข้อมูลดังกล่าวมาแปลงเป็นสารสนเทศโดยการสร้างแผนผังพาเรโต

2) ขั้นตอนการวาดแผนผัง (Pareto Diagram)

หลังจากที่เราได้เตรียมข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นเรามาทำการสร้างแผนผังพาเรโตดังรูปที่ 2.4 โดยขั้นตอนต่อไปนี้

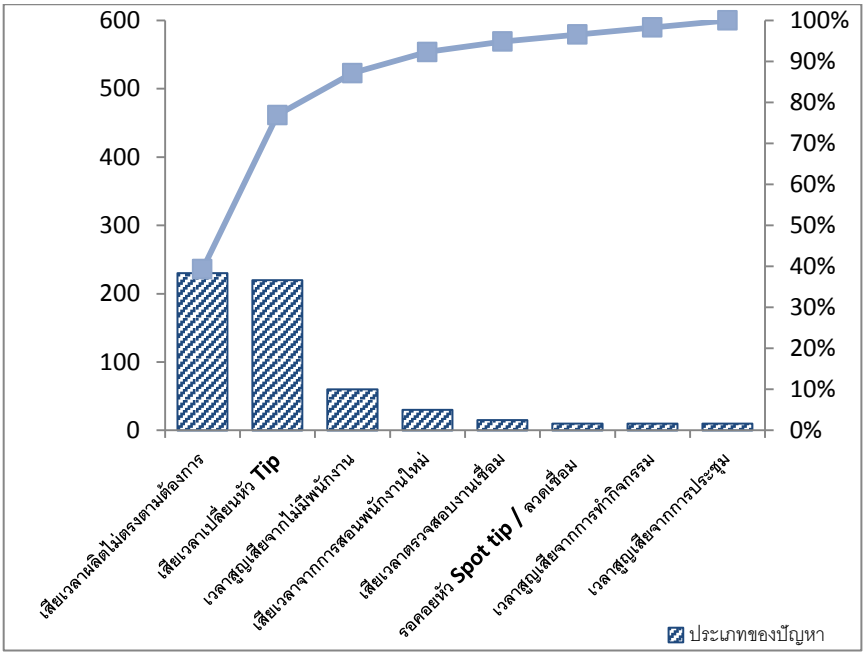
(1) วาดแกนแนวนอน (แกน X) และแกนแนวตั้ง (แกน Y)

(2) วาดกราฟแท่ง

(3) วาดกราฟสะสมของข้อมูล

(4) กำหนดจุดของร้อยละสะสม และลากเส้นเชื่อมต่อ เรียงลำดับตามข้อมูล

(5) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแผนผังที่เสร็จสมบูรณ์




**รูปที่ 2.5** รูปแบบแผนผังพาเรโต

### 2.1.3 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับ สาเหตุทั้งหมดที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น เราอาจคุ้นเคยกับแผนผังสาเหตุและผลในชื่อของผังก้างปลา สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้นิยามความหมายของผังก้างปลานี้ว่า “เป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างหลายๆสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบให้เกิดปัญหาหนึ่งปัญหา”

#### 2.2.2.1 ส่วนประกอบต่างๆของแผนผังก้างปลา

1) การกำหนดส่วนปัญหา หรือผลลัพธ์ (หัวข้อปัญหาที่หัวปลา)

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรที่จะกำหนดแบบชัดเจนและเป็นไปได้ ซึ่งถ้าหากเรากำหนดประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรก จะทำให้เวลามากในการค้นหาสาเหตุ และจะใช้เวลานานในการทำผังก้างปลา

การกำหนดประโยคที่หัวปลา ควรกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบเช่น อัตราของเสียสูง คนมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ เป็นต้น และจะดียิ่งขึ้นถ้าสามารถกำหนดตัวเลขที่ชัดเจน เทคนิคการระดมความคิด เพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียด คือการถามทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้างปลา

2) การกำหนดส่วนสาเหตุ

เมื่อเราได้ปัญหาที่หัวปลาแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือเราต้องกำหนดหาสาเหตุหลัก สาเหตุรอง สาเหตุย่อย ซึ่งจะระบุไว้บนก้างหลัก ก้างรอง ก้างย่อยตามลำดับ เริ่มจากก้างหลักเราต้องกำหนดกลุ่มปัจจัยที่มีความสอดคล้องกับปัญหาที่หัวปลา เพื่อให้มั่นใจได้ว่ากลุ่มที่เรากำหนดนั้นสามารถแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผลซึ่งกันและกัน โดยส่วนมากจะใช้หลักการ 4M 1E (man, machine, material, method, environment) เป็นก้างหลัก

3) การกำหนดความสัมพันธ์ของก้างปลา

“ลูกศร หรือก้างปลา” เป็นตัวเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุ โดยที่หางลูกศรหมายถึง สาเหตุ และหัวลูกศร หมายถึง ผล

### 2.1.4 ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness)

บริษัทส่วนใหญ่ใช้เครื่องจักรในการเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์และเพื่อที่จะสามารถเพิ่มคุณค่าได้อย่างมีประสิทธิผล การเดินเครื่องจักรได้มีประสิทธิผลพร้อมๆ กับมีความสูญเปล่าเกิดขึ้นน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ด้วยจึงเป็นสิ่งสำคัญ จึงใช้ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร(OEE) เป็นตัววัดผลเพื่อชี้ให้เห็นว่าเครื่องจักรสามารถทำงานได้มีประสิทธิผลโดยพรเทพ เหลือทรัพย์สุขและคณะ

ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร(OEE) ไม่ได้สนใจเฉพาะปริมาณชิ้นงานที่ผลิตได้ในระยะเวลากะหนึ่งๆเท่านั้น ประสิทธิภาพไม่ได้เป็นปัจจัยหนึ่งเท่านั้น ซึ่งค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) เกิดจากการคูณกันของสมรรถนะ ความพร้อมใช้งาน และคุณภาพ ซึ่งจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อเราวัดประสิทธิผลจะต้องประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

1) ความพร้อมใช้งาน (Availability) คือการเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานที่เป็นไปได้ กับเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง

2) สมรรถนะ (Performance) คือการเปรียบเทียบระหว่างผลผลิตจริงที่ทำได้ กับผลผลิตที่เครื่องจักรควรที่จะผลิตได้ในช่วงเวลาเดียวกัน

3) คุณภาพ (Quality) คือการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า

สรุปได้ตามสมการดังนี้

$$\text{OEE} = \left(\frac{\text{เวลาเดินเครื่อง}}{\text{เวลาปฏิบัติงานสุทธิ}}\right) \times \left(\frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตเป้าหมาย}}\right) \times \left(\frac{\text{ผลผลิตที่เป็นของดี}}{\text{ผลผลิตจริง}}\right) \quad (2.8)$$