บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการปรับปรุงคุณภาพ

Juran J.M. (1993) [1] ได้ให้ความหมายของการบริหารคุณภาพไว้ดังนี้ว่า หมายถึง กระบวนการของการชี้บ่งและการบริหารกิจกรรมต่าง ๆ ที่ซึ่งมีความจำเป็นต่อการดำเนินการให้บรรลุจุดประสงค์ด้านคุณภาพขององค์กร (Quality management is the process of identifying and administering the activities needed to achieve the quality objectives of an organization) โดยกระบวนการในการชี้บ่งและการบริหารกิจกรรมประกอบด้วย 3 กระบวนการหลัก คือ การวางแผนคุณภาพ (Quality Planning) การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) และการปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement)

2.1.1 การวางแผนคุณภาพ (Quality Planning) หมายถึง การกำหนดไว้ซึ่งเป้าหมายที่จะบรรลุสู่ความคาดหมายของลูกค้าที่กำหนด แล้วทำการจัดสรรทรัพยากรที่มีจำกัดต่อวิธีการที่จะทำให้เกิดความมั่นใจว่า ผลจากวิธีการดังกล่าวทำให้ลูกค้ามีความพึงพอใจ โดยมีขั้นตอนทั่วไปของการวางแผนคุณภาพ ประกอบด้วย [2]

1. การชี้บ่งลูกค้าซึ่งโดยปกติแล้วจะหมายถึงลูกค้าภายนอก
2. พิจารณาถึงความต้องการของลูกค้าโดยประเมินจากผลิตภัณฑ์ใหม่ที่จะตอบสนองความจำเป็น (Need) ของลูกค้าและความคาดหมาย (ที่ครอบคลุม Quality, Cost และ Service) ของลูกค้าดังกล่าว
3. กำหนดคุณภาพในการออกแบบหรือลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยผ่านการแปรความต้องการของลูกค้า (อาจเรียกกระบวนการนี้ว่า การแปรหน้าที่ด้านคุณภาพ : Quality Function Deployment – QFD)
4. การกำหนดเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะได้มาจากนโยบายของผู้บริหารและเป้าหมายคุณภาพ (Quality Target) ประกอบกับคุณภาพในการออกแบบขั้นตอนที่ 3
5. ทำการออกแบบและพัฒนากระบวนการ (กำหนดวิธีการภายใต้ทรัพยากรที่จำกัด) ที่จะทำให้คุณลักษณะที่เกิดขึ้นจริงของผลิตภัณฑ์ บรรลุตามเป้าหมายของผลิตภัณฑ์

การวางแผนคุณภาพนี้ถือเป็นกระบวนการต้นน้ำ (Upstream Process) ของกระบวนการบริหารคุณภาพ ดังนั้น ถ้าหากการวางแผนคุณภาพได้รับการดำเนินการอย่างไม่สมบูรณ์จะทำให้เป็นสาเหตุสำคัญของความไม่มีคุณภาพด้านความถูกต้องในการผลิต หรือความไร้ประสิทธิภาพด้านคุณภาพ (Quality Deficiencies) นอกจากนี้จะพบว่ามาตรฐานต่างๆ ในการปรับปรุงคุณภาพ (Quality improvement) มักจะเป็นการวางแผนใหม่ (Preplanning) เกี่ยวกับคุณภาพเสมอ [1]

2.1.2 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) หมายถึง การเฝ้าพินิจผลจากกระบวนการเพื่อเปรียบเทียบกับความคาดหมายของลูกค้า ถ้าหากพบว่า ผลการดำเนินการตามกระบวนการมิได้เป็นไปตามความคาดหมายที่ส่งผลให้ลูกค้าเกิดความไม่พอใจ แล้วต้องค้นหาสาเหตุของความไม่พอใจดังกล่าวเพื่อจะแก้ไขให้ถูกต้อง โดยมีขั้นตอนทั่วไปของการควบคุมคุณภาพประกอบด้วย [2]

1. การเลือก “หัวข้อควบคุม” เพื่อจะได้รับทราบถึงประเด็นที่จะควบคุม ซึ่งหมายถึงความคาดหมายของลูกค้า
2. การเลือกหน่วยที่ใช้วัดหรือประเมินหัวข้อควบคุมดังกล่าว
3. จัดระบบการวัดหรือประเมินผล
4. จัดทำมาตรฐานของตัววัดผลงาน หรือมาตรฐานของสมรรถนะ (Standards of Performance)
5. ทำการวัดหรือประเมินผลงาน หรือสมรรถนะที่เกิดขึ้นจริง (Actual Performance) แล้วเปรียบเทียบกับมาตรฐานของสมรรถนะ
6. ในกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างสมรรถนะที่เกิดขึ้นจริงกับมาตรฐานของสมรรถนะจะถือว่าเป็น “ปัญหาด้านคุณภาพ”
7. ให้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้านคุณภาพ เพื่อกำจัดทิ้งต่อไป

2.1.3 การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement) มีความหมายเท่ากับการคาดการณ์ “ใหม่” ของลูกค้าสำหรับผลิตภัณฑ์เดิมหรือการค้นหา “ความจำเป็น” ของลูกค้าสำหรับการพิจารณาผลิตภัณฑ์ใหม่ แล้วทำการวางแผนใหม่ ตลอดจนควบคุมใหม่เพื่อให้บรรลุเป้าหมายใหม่ หรืออาจกล่าวได้ว่า ในขณะที่ “การควบคุมคุณภาพ” เป็นการ “รักษา” สภาพเดิมให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด แต่ “การปรับปรุงคุณภาพ” เป็นการ “ทำลาย” สภาพเดิมและสร้างระบบใหม่ขึ้นมาเพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายใหม่ของคุณภาพ โดยมีขั้นตอนทั่วไปของการปรับปรุงคุณภาพประกอบด้วย [3]

1. การชี้บ่งโครงการเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ โดยทั่วไปแล้วจะได้มาจากการสำรวจความจำเป็นของลูกค้าภายนอก
2. การจัดคณะทำงานเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement Team) โดยทั่วไปจะกำหนดให้คณะทำงานประกอบด้วยพนักงานระดับจัดการขององค์กรและมักเป็นการบริหารแบบข้ามสายงาน (Cross Function Team)
3. การวินิจฉัยสาเหตุจากระบบ
4. พัฒนาวิธีการแก้ไขสาเหตุจากระบบ
5. ทวนสอบถึงความมีประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขสาเหตุจากระบบ
6. ทำการประเมินถึงแรงต่อต้อนการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปประกอบด้วยแรงต่อต้าน 2 ประการ คือ แรงต่อต้านทางสังคม (Social Resistance) และแรงต่อต้านทางเทคโนโลยี (Technological Resistance) แล้วหาหนทางการแก้ไขเพื่อเอาชนะแรงต่อต้านดังกล่าว
7. จัดทำระบบควบคุมขึ้นใหม่ และพิจารณาถึงประโยชน์ที่พึงได้รับ

2.1.4 ข้อแตกต่างระหว่างการวางแผนคุณภาพ การควบคุมคุณภาพ และการปรับปรุงคุณภาพ

1. การวางแผนคุณภาพ เป็นการวางเป้าหมายที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตและพยายามค้นหาแนวทางหรือวิธีการในการดำเนินการให้บรรลุเป้าหมายนั้น ๆ ซึ่งผลมาจากการวางแผนมี 2 ทาง คือ

1.1 แผนนั้นสามารถใช้ได้ดีในแนวทางปฏิบัติ

1.2 จากแผนที่ได้วางไว้เมื่อนำไปใช้งานอาจทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นในกระบวนการผลิตได้เช่นกัน ดังนั้นจึงต้องดำเนินการหาวิธีการแก้ไขโดยการทบทวน และทำการวางแผนใหม่

2. การควบคุมคุณภาพ เป็นการดำเนินการผลิตให้ตรงกับเป้าหมายที่ได้ตั้งปรากฏไว้อยู่แล้ว รวมไปถึงการตรวจติดตามกระบวนการผลิต เพื่อตรวจจับความแตกต่างระหว่างกระบวนการจริงกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ รวมถึงการแก้ไขเพื่อรักษาสถานะของระบบไว้ไม่ให้เกิดความเปลี่ยนแปลงไปจากเป้าหมายเดิมที่ได้ตั้งไว้ [1]

3. การปรับปรุงคุณภาพ เป็นการพิจารณาปรับปรุงกระบวนการผลิตที่มีอยู่เดิมโดยมุ่งความสนใจไปยังปัญหาของความบกพร่อง ขณะที่การวางแผนคุณภาพมุ่งเป้าหมายความสนใจไปยังการค้นหาความต้องการของลูกค้าและดำเนินการโดยมุ่งตอบสนองความต้องการนั้น ๆ การปรับปรุงคุณภาพ มีการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุและหาแนวทางในการกำจัดสาเหตุของปัญหาที่ปรากฏมีอยู่ในกระบวนการผลิตเดิม ในบางครั้งการปรับปรุงคุณภาพอาจจะต้องมีการดำเนินการวางแผนคุณภาพใหม่ด้วย [3]

3.1 ความหมายของการปรับปรุงคุณภาพ การปรับปรุง (Improvement) หมายถึง การยกระดับเป้าหมายให้สูงขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปจะได้มาจากการทบทวนผลการปฏิบัติงานเดิมแล้วดำเนินการวางแผนใหม่ (Preplanning) และการควบคุมใหม่ (Decontrol) เพื่อให้ผลงานเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด [1]

การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement) คือ กิจกรรมเป็นวิธีการ เป็นระบบและกระทำอย่างต่อเนื่องในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับความบกพร่องทางคุณภาพมีการตั้งเป้าหมายและมีการชี้แจงอย่างชัดเจนถึงเป้าหมายนั้น มีการวางแผนงานเพื่อให้ไปถึงเป้าหมายที่วางไว้ มีการนำแผนงานมาปฏิบัติ มีการตรวจสอบผลลัพธ์ และมีการปฏิบัติการแก้ไขเมื่อจำเป็น [3]

กิจกรรมการปรับปรุงที่เป็นระบบซึ่งเป็นไปตามวงจร PDCA จะประกอบด้วย การวางแผน การนำไปปฏิบัติ การตรวจสอบ และการปฏิบัติการแก้ไข ซึ่งเริ่มจากการทำการวางแผนการนำแผนที่วางไว้มาปฏิบัติ ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้และถ้าผลลัพธ์ไม่ได้ตามคาดหมายไว้จะมีการทบทวนแผนการเริ่มต้นใหม่อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้น การปรับปรุงสามารถอธิบายได้อีกแบบหนึ่งคือ

ทำการวางแผน กระทำการตรวจสอบ และการแก้ไขซ้ำอีก (PDCA) การทำตามวงจร PDCA อย่างตั้งใจและถูกต้องจะช่วยให้เกิดความเชื่อมั่นในการทำงาน เมื่อหมุนวงจร PDCA ซ้ำ ๆ จะทำให้เห็นการปรับปรุงและทำให้ระดับของผลลัพธ์สูงขึ้นเรื่อย ๆ การกระทำตามวงจร PDCA นี้จะสร้างคุณภาพที่น่าเชื่อถือให้เกิดขึ้น

3.2 วัตถุประสงค์ของการปรับปรุงคุณภาพ

1. เพื่อทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองต่อความถึงพอใจและความต้องการของลูกค้า

2. ขยายส่วนแบ่งทางการตลาดในตลาดเดิมและสร้างตลาดใหม่

3. แก้ไข ปรับปรุง และป้องกันข้อผิดพลาดในระยะสั้นโดยมุ่งความสนใจในการหาทางลดอัตราข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต

4. ภายหลังจากการดำเนินการในระยะสั้นแล้ว ทำการพิจารณาปรับปรุงในระยะยาว โดยมุ่งความสนใจไปยังการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าโดยไม่ให้มีข้อบกพร่อง (Zero defect)

5. การลดต้นทุน

2.2 เครื่องมือเบื้องต้นแห่งคุณภาพ (Basic Quality Tools) [1]

เครื่องมือ 7 แบบของ QC (QC 7 TOOLS)

2.2.1 ใบตรวจสอบ (CHECK-SHEETS)

1. ความหมาย ใบตรวจสอบหรือรายการตรวจหรือตารางตรวจสอบ คือ ตารางวางแผนผัง หรือรายการที่มีการออกแบบไว้ล่วงหน้า เพื่อความสะดวกในการบันทึกข้อมูลหรือตัวเลข แต่ความสะดวก มักจะออกแบบไว้เพื่อให้สามารถใช้การ “ขีด” (✓) ลงในแบบการตรวจสอบได้เลย ใบตรวจสอบ (CHECK SHEET) บางแห่งเรียกว่า TALLY-SHEET

2. วัตถุประสงค์

- เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลหรือตัวเลขได้ง่ายและถูกต้อง
- เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ง่าย และนำไปใช้เป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจได้ถูกต้อง

ตารางที่ 2.1 แสดงรายการตรวจสอบ : จำนวนของเสีย

วันที่ผลิต	จำนวนของเสีย
1	~~IIII~~
2	II
3	IIII
4	III
5	~~IIII~~ I

ตารางที่ 2.2 รายการตรวจสอบ : จำนวนของเสียแยกตามสาเหตุ [2]

สาเหตุ	จำนวนของเสีย
- สีถลอก	II
- วัตถุดิบไม่ดี	~~IIII~~ III
- พนักงานทำผิด	IIII
- อุปกรณ์ชำรุด	~~IIII~~ I

จากตารางที่ 2.1 และ2.2 ตารางหรือหรือแบบฟอร์มที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเพื่อตรวจสอบข้อบกพร่อง สาเหตุ การกระจายของข้อมูล หรือตำแหน่งของเสียที่เกิดจากการปฏิบัติงานมี 2 ประเภท ใบตรวจสอบที่ใช้บันทึก ใช้ตรวจสอบสำรวจหัวข้อของเสีย หรือข้อบกพร่อง บันทึกใบตรวจสอบด้วยรอยขีดตัวอย่างเช่น การตรวจสอบข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์มีประเภทข้อบกพร่องหลายอย่าง รอยต่อแยก ฟองอากาศ ใบตรวจสอบที่ใช้ยืนยันใบตรวจสอบยืนยันการทำงานของเครื่องจักร มีลักษณะคล้าย Check List เช่น การตรวจสอบขั้นสุดท้ายก่อนนำรถยนต์ออกจำหน่าย เพื่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่

- รายการตรวจสอบ : ความปลอดภัยของเครื่องจักร

ก. ฝาครอบส่วนที่เคลื่อนไหวได้

○ มี ○ ไม่มี

ข. ฐานยึดเครื่องจักร

○ ปลอดภัย ○ ไม่ปลอดภัย

2.2.2 ผังแสดงเหตุและผล (CASE AND EFFECT DIAGRAMS) [3]

1. ความหมาย ผังแสดงเหตุและผล คือ แผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ (EFFECT) กับสาเหตุ (CASE) ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์นั้น ๆ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ผังก้างปลา (FISH BONE DIAGRAMS) หรือผังอิชิกาว่า (ISHIGAWA DIAGRAM)

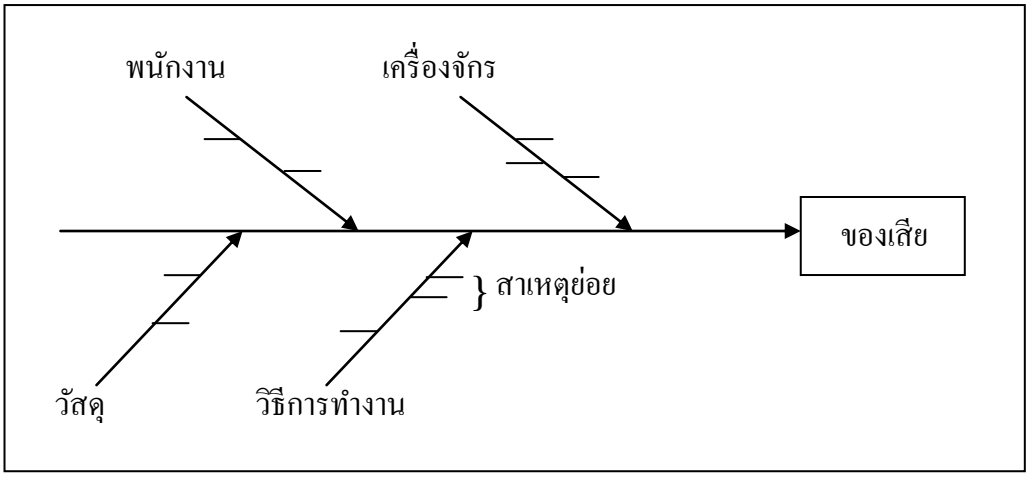
2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุหรือองค์ประกอบต่างๆ ที่ทำให้เกิดผลลัพธ์นั้น ๆ (มักจะเป็น “ผลลัพธ์ที่ไม่พึงปรารถนา” หรือผลลัพธ์ที่ไม่อยากให้เกิดขึ้น

2. เพื่อกำหนดแนวทางแก้ปัญหาที่สาเหตุ

3. วิธีการ

1. ระบุผลลัพธ์ที่ไม่ต้องการ หรือผลลัพธ์ที่ต้องการให้บรรลุอยู่ปลายสุดของลูกศร
2. ระบุสาเหตุหรือองค์ประกอบที่ทำให้เกิดผลลัพธ์นั้น ๆ เป็นกิ่งที่พุ่งเข้าลูกศรหลัก
   - องค์ประกอบหลักหรือสาเหตุหลักที่นิยมใช้ในในแผนผังแสดงเหตุและผล คือ 4M
   - MAN : คน
   - MCANINE : เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์
   - MATERIAL : วัตถุดิบ หรือวัสดุ
   - METHOD : วิธีการทำงาน
3. ระบุสาเหตุย่อยลงให้กิ่งสาเหตุหลัก
4. กำหนดความสำคัญของสาเหตุหลักต่าง ๆ และหามาตรการแก้ไข



รูปที่ 2.1 แสดงผังแสดงเหตุและผล [3]

จากรูปที่ 2.1 ผังแสดงเหตุและผลผังก้างปลา คือ ผังที่ใช้แสดงให้เห็นสาเหตุที่แท้จริงในการทำให้เกิดปัญหา โดยพิจารณาทุกปัจจัยที่จะมีผลต่อคุณลักษณะทางคุณภาพส่วนที่เป็นตัวปลาจะเป็นส่วนที่รวบรวมปัจจัยทั้งหมดที่อาจจะส่งผลกระทบต่อประเด็นปันหาในหัวปลา โดยการนำสาเหตุมาใส่ในตัวปลานี้จะต้องแยกออกเป็นระดับ เพื่อที่ติดตามดูปัญหาที่รองลงไปจนกระทั้งถึงต้นเหตุที่แท้จริง สาเหตุหลัก จะมาจากสิ่งที่เป็นองค์ประกอบหลักในการทำงานที่คาดว่าจะเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาเช่น พนักงาน เครื่องจักร สิ่งแวดล้อม สาเหตุรองเป็นสาเหตุที่ทำให้สาเหตุหลักมีความผิดปกติส่งผลให้เกิดปัญหา และสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดปัญหาในสาเหตุรอง

2.2.3 ผังพาเรโต (PARATO DIAGRAMS) [4]

1. ความหมาย ผังพาเรโต คือ แผนภูมิที่ใช้สำหรับตรวจสอบปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสถานที่ทำงานหรือโรงงานว่า ปัญหาใดเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุด และรอง ๆ ลงไปตามลำดับ โดยนำปัญหาหรือสาเหตุเหล่านั้นมาจัดหมวดหมู่ หรือแบ่งแยกประเภทแล้วเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย โดยการแสดงขนาดความสำคัญมากน้อยด้วยกราฟแท่ง และแสดงค่าสะสมด้วยกราฟเส้น

2. วัตถุประสงค์

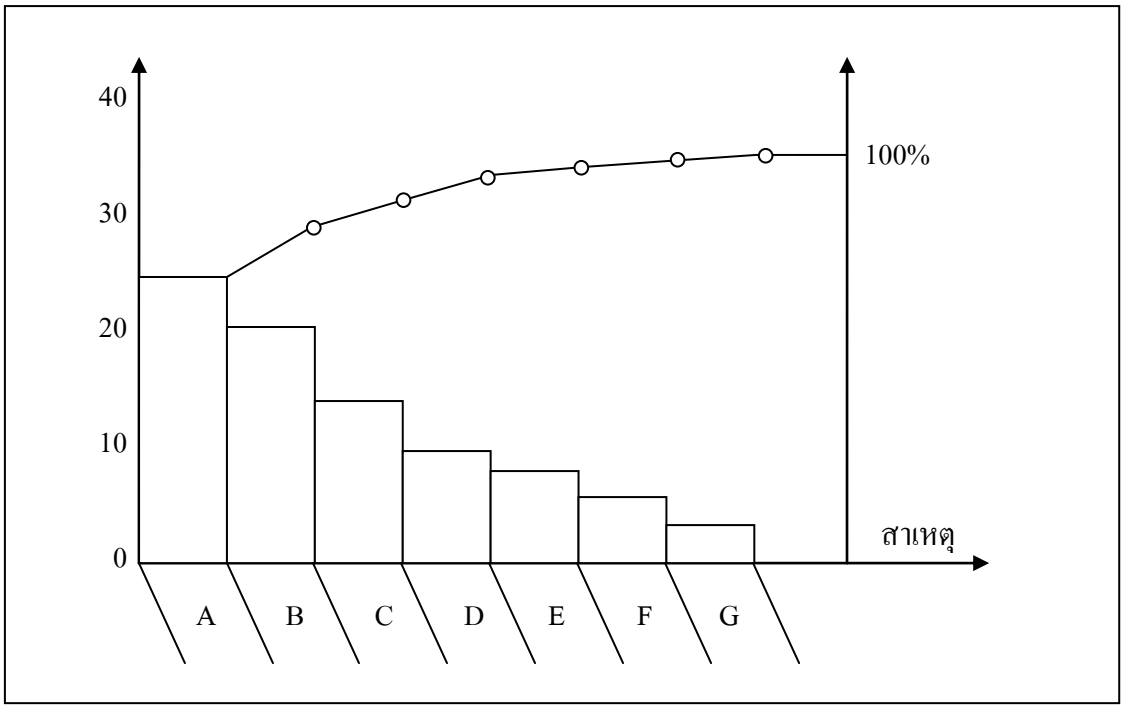
1. เพื่อแสดงให้เห็นถึงลำดับความสำคัญของปัญหาต่าง ๆ ว่า มีมากน้อยเพียงใดเพื่อการเลือกแก้ปัญหาก่อน-หลัง

2. เพื่อแสดงให้เห็นว่า แต่ละปัญหามีอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งหมด

3. วิธีการ

1. หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาโดยจัดหมวดหมู่ หรือแยกเป็นประเภท ๆ

2. เก็บข้อมูลตามสาเหตุในข้อ 1 ตามระยะเวลาที่กำหนด คำนวณข้อมูลในแต่ละสาเหตุที่ได้ในข้อ 2 ออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยการเทียบกับข้อมูลทั้งหมด เขียนกราฟแท่ง โดยใช้แกนนอนแสดงสาเหตุ แกนตั้งเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเขียนกราฟแท่งเรียงจากสาเหตุที่มีเปอร์เซ็นต์สูงก่อน แล้วลดหลั่นลงตามลำดับ ลงมือแก้ปัญหาโดยพิจารณาแก้ที่สาเหตุหลักไม่กี่ประการ (VITAL VIEW)



รูปที่ 2.2 แสดงผังพาเรโต [4]

จากรูปที่ 2.2 แผนภูมิพาเรโตเป็นเครื่องมือสำหรับที่จะตรวจสอบปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในสถานประกอบการ เช่น จำนวนสินค้า คุณภาพไม่ดี มีข้อปกพร่อง คำร้องเรียนจากลูกค้า อุบัติเหตุ เป็นต้น โดยการนำปรากฏการณ์ หรือสาเหตุเหล่านั้นมาแยกเป็นประเภท แล้วเรียงลำดับความสำคัญของข้อมูลจากมากมาน้อย โดยแสดงความมากน้อยด้วยกราฟแท่งและแสดงค่าสะสมด้วยกราฟเส้น ข้อดีทำปัญหาใหญ่ 1 ปัญหาให้กลายเป็นปัญหาเล็กๆน้อยๆ ช่วยหาปัจจัยที่มีความสำคัญ ลดการทำงานที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพต่ำ ช่วยเรียงลำดับความสำคัญของงานประโยชน์ของPARETO เป็นการรวบรวมข้อมูลจากสาเหตุต่างๆไว้ในที่เดียวกัน มองเห็นสาเหตุปัญหาที่สำคัญได้อย่างชัดจนในการตัดสินว่า การแก้ปัญหาควรเน้นที่สาเหตุใดก่อน ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูล ก่อน-หลังการปรับปรุง

2.2.4 กราฟ (GRAPH) [5]

1. ความหมาย กราฟ คือ เครื่องมือที่ใช้ในการแสดง หรือแปลงข้อมูลเป็นภาพที่เห็นได้ชัดและเข้าใจง่าย อาจเป็นกราฟแท่ง กราฟเส้น กราฟวงกลม เป็นต้น เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ขั้นสูงต่อไป

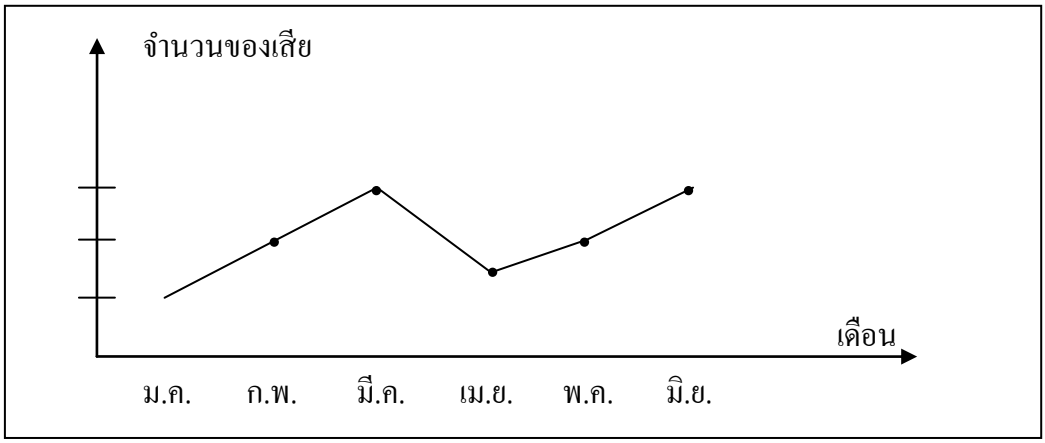
2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้อธิบายผลหรือสิ่งต่าง ๆ ด้วยกราฟที่สามารถเข้าใจได้ง่าย
2. เพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูล

3. เพื่อใช้ในการควบคุม
4. เพื่อใช้บันทึกข้อมูลที่เก็บได้

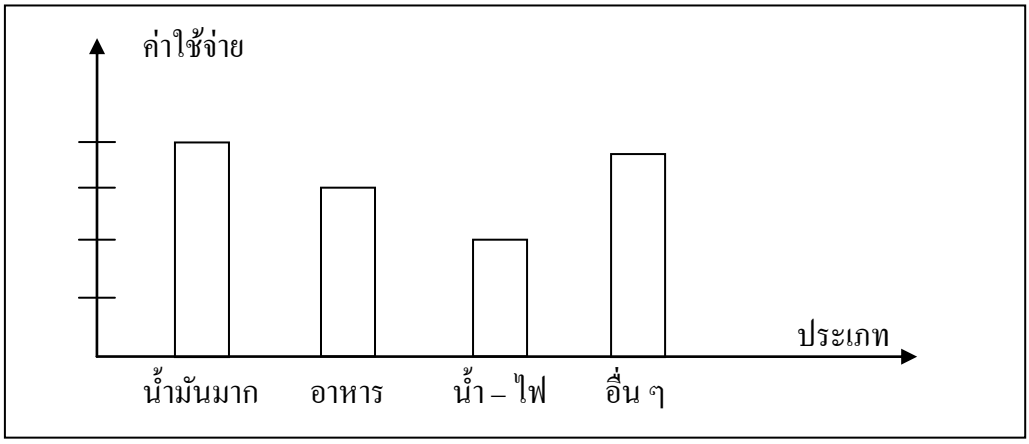
3. วิธีการ

1. กราฟเส้น (LINE GRAPH)



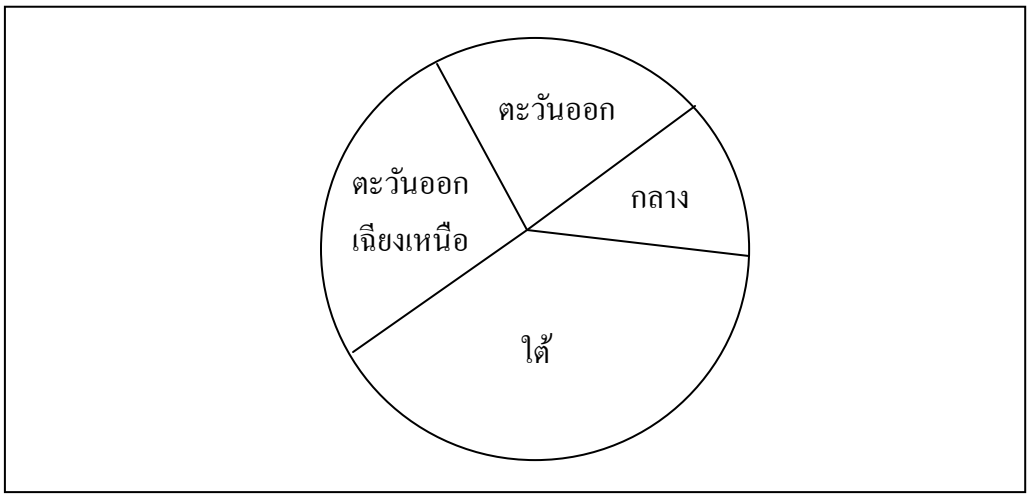
รูปที่ 2.3 แสดงกราฟเส้น [5]

2. กราฟแท่ง (BAR GRAPH)



รูปที่ 2.4 แสดงกราฟแท่ง

3. กราฟวงกลม (PIE GRAPH)



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟวงกลม

จากรูปที่ 2.3 - 2.5 แสดงกราฟ (Graphs)ต่างๆเช่นกราฟ แท่ง วงกลม หรือจุดเพื่อใช้แสดงค่าของข้อมูล ว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล หรือแสดงองค์ประกอบต่าง ๆกราฟเส้น เป็นกราฟที่ใช้แสดงการเคลื่อนไหว หรือการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมีแกน 2 แกน (coordinate) ที่เกี่ยวข้องคือ แกนนอน (X Coordinate) จะแสดงระยะเวลาหรือจำนวนหน่วยที่เปลี่ยนแปลงของแต่ละช่วงเวลา แกนตั้ง (Y Coordinate) ใช้แสดงมูลค่า หรืออัตราส่วนเป็นร้อยละ เพื่อแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีมูลค่าสูงขึ้น หรือมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้น จะแสดงให้เห็นความแตกต่างของข้อมูล ภาพแสดงให้เห็นลักษณะของกราฟเส้น ประเภทหนึ่ง ที่แสดงให้เห็นการเปรียบเทียบอัตราดอกเบี้ยเงินฝากโดยใช้กราฟเส้นประโยชน์ของกราฟเส้นอีกลักษณะหนึ่งก็คือ สามารถนำมาเปรียบเทียบผลการดำเนินการของหน่วยงานแต่ละแห่งได้

2.2.5 ฮิสโตแกรม (HISTOGRAMS) [6]

1. ความเหมาย ฮิสโตแกรม คือ กราฟแท่งชนิดหนึ่ง ซึ่งแดสงถึงการกระจายความถี่ของข้อมูล (แสดงข้อมูลเป็นหมวดหมู่) ซึ่งมีแนวโน้มสู่ศูนย์กลางที่เป็นค่าสูงสุด แล้วกระจายลดหลั่นลงไปตามลำดับ

2. วัตถุประสงค์

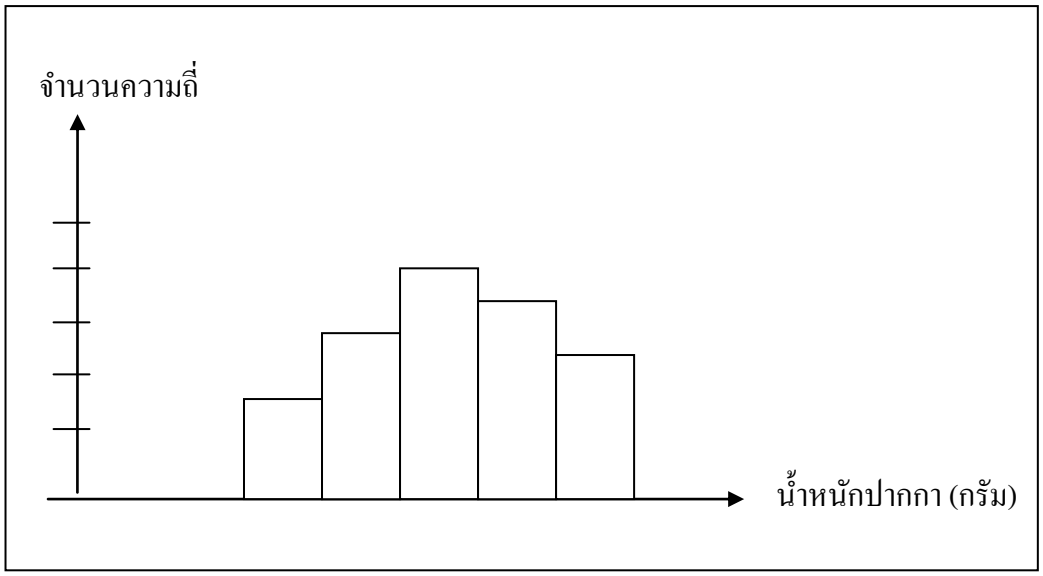
1. เพื่อให้เข้าใจถึงรูปแบบของการกระจายของข้อมูลและแนวโน้ม
2. เพื่อแสดงความถี่ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามตัวแปรตัวหนึ่ง
3. เพื่อให้เปรียบเทียบกับเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนดไว้

3. วิธีการ

1. เก็บรวบรวมข้อมูลอย่างน้อย 50 ข้อมูล (ยิ่งเก็บได้มากยิ่งดี) จำนวนข้อมูลทั้งหมด คือ N

2. หาค่ามากที่สุด (L) และค่าน้อยที่สุด (S) ของข้อมูลทั้งหมดแยกตามกลุ่ม

3. หาค่าพิสัย (RANGE : R) และค่าความกว้างของชั้น



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างฮิสโตแกรมแสดงการกระจายน้ำหนักของปากกา[6]

จากรูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างฮิสโตแกรมแสดงการกระจายน้ำหนักของปากกาแสดงการกระจายของข้อมูล ทำให้ทราบความถี่ของข้อมูลแต่ล่ะช่วงต่างๆ แสดงการกระจายและการแจกแจงของข้อมูลใช้เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด ให้ทราบว่าข้อมูลนั้นได้ตามเกณฑ์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่เก็บมากับค่าเฉลี่ยของเกณฑ์ที่กำหนดใช้ดูจำนวนข้อมูลที่มีค่ามากกว่าหรือมีค่าน้อยกว่าขอบเขตกำหนด สามารถนำเอากราฟฮีสโตแกรมช่วยในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ในการเหตุสาเหตุความผันแปรของการผลิตจากสายการผลิตต่างๆได้

2.2.6 ผังการกระจาย (SCATTER DIAGRAMS) [7]

1. ความหมาย ผังการกระจาย คือ แผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการผลิต ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไรในเชิงสถิติ จึงสามารถหาสหสัมพันธ์ (CORRELATION) ของตัวแปรทั้งสองได้จากแผนผังการกระจายนี้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ

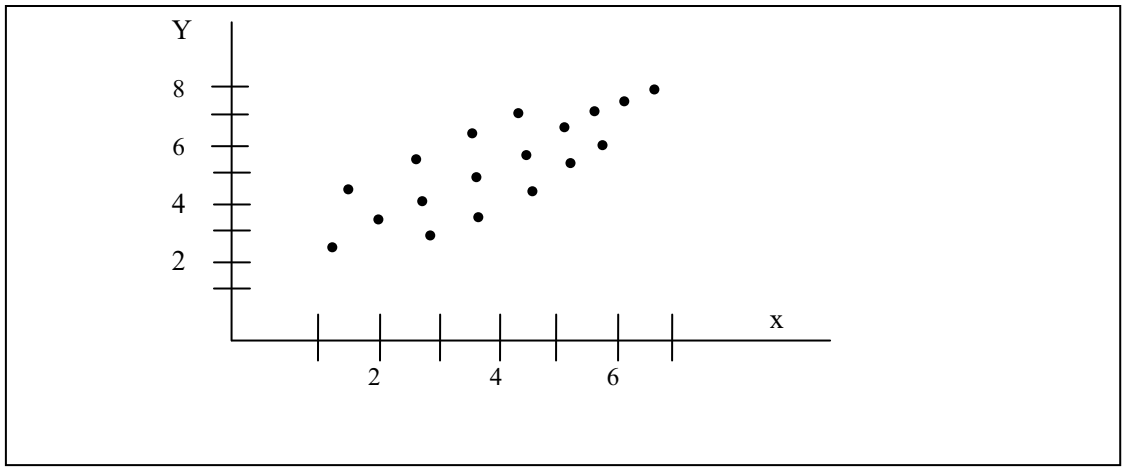
2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด

3. วิธีการ

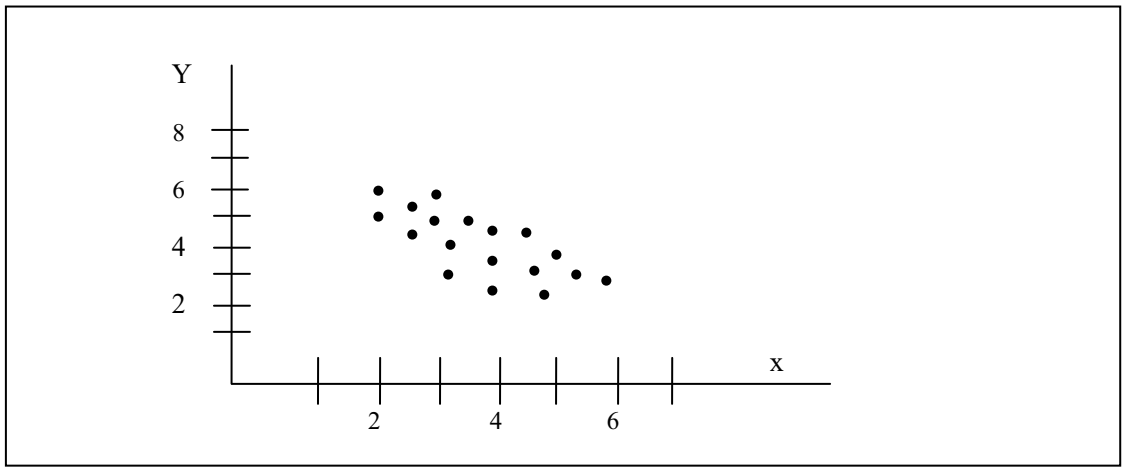
1. เก็บรวบรวมข้อมูลให้ได้ประมาณ 30 คู่
2. กำหนดค่าตัวแปรสำหรับแกน X และแกน Y
3. เขียนกราฟ โดยการพล๊อตข้อมูลทั้ง 30 คู่ลงไปบนกราฟ
4. เขียนรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องลงบนกราฟ
5. อ่านแผนผังการกระจาย เพื่อดูว่าแผนผังการกระจายมีลักษณะเช่นใด

- แผนผังการกระจายชนิดสหสัมพันธ์แบบบวก คือ ข้อมูลหรือตัวแปรมีความ สัมพันธ์เป็นสัดส่วนแปรผันโดยตรงต่อกัน (ไปทางเดียวกัน) หรือ

- แผนผังการกระจายชนิดสหสัมพันธ์แบบลบ คือ ข้อมูลหรือตัวแปรมีความ สัมพันธ์เป็นสัดส่วนแปรผกผันต่อกัน (ไปตรงข้ามกัน)



รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังการกระจายชนิดสหสัมพันธ์แบบบวก [7]



รูปที่ 2.8 แสดงแผนผังการกระจายชนิดสหสัมพันธ์แบบลบ [7]

จากรูปที่ 2.7 และ2.8 แสดงแผนผังการกระจายชนิดสหสัมพันธ์แบบบวกและแบบลบผังการกระจาย (Scatter Diagram) คือผังที่ใช้แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัวว่ามีแนวโน้มไปในทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริง

2.2.7 แผนภูมิควบคุม (CONTROL CHARTS) [8]

1. ความหมาย แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิที่เขียนขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากข้อกำหนดทางด้านเทคนิคที่ระบุถึงคุณสมบัติหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามกำหนด

วัตถุประสงค์

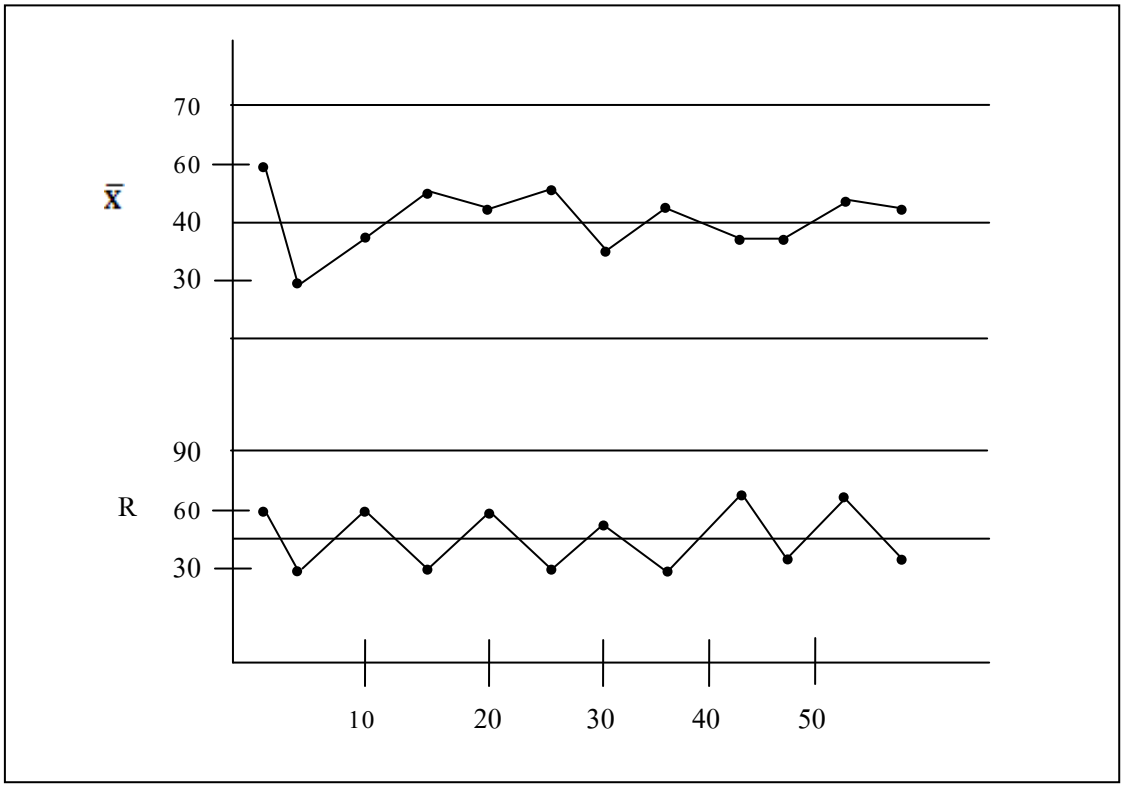
1. เพื่อแสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตมีเสถียรภาพหรือไม่ (อยู่ในการควบคุมหรือไม่)
2. เพื่อแสดงให้เห็นถึงขอบเขตในการควบคุมทั้งขอบเขตบน และขอบเขตล่าง
3. เพื่อแสดงให้เห็นถึงจุดที่มีปัญหาหรือมีข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต $\overline{X}$ – R CHART

2. วิธีการ

1. เก็บรวบรวมข้อมูลประมาณ 100 ข้อมูล
2. คำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$)
3. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ย ($\overline{\overline{X}}$)
4. คำนวณหาค่าพิสัย (R)
5. คำนวณหาค่าเฉลี่ยของพิสัย ($\overline{R}$)

คำนวณหาค่าเส้นขอบเขตควบคุมค่าสูง หรือขอบเขตบน (UPPER CONTROL LIMIT, UCL), เส้นขอบเขตควบคุมค่าต่ำ หรือขอบเขตล่าง (LOWER CONTROL LIMIT, LCL) และเส้นค่ากลาง (CENTER LINE : CL) เพื่อสร้างแผนภูมิ $\overline{X}$ และแผนภูมิ R

1. ระบุข้อมูลลงในกราฟ



รูปที่ 2.9 แสดงรูปภาพแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$, R-CHART[8]

จากรูปที่ 2.9 แสดงแผนภูมิคุม(Control Chart) คือแผนภูมิที่มีการเขียนขอบเขตที่ยอมรับได้ของคุณลักษณะตามข้อกำหนดทางเทคนิค(Specification)เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการควบกระบวนการผลิต โดยการติดตามและตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกขอบเขต (Control limit)

2.2.8 แผนภูมิควบคุมอัตราการเกิดของดี-ของเสีย (P-CHART) [9]

1. การเขียน P-CHART (ขนาดของสิ่งตัวอย่างไม่คงที่) การดำเนินการเหมือนกับการจัดทำ PN CHART แต่แตกต่างกัน คือ จำนวนการชักตัวอย่าง (N) จะไม่คงที่ ดังนั้น เส้นขอบเขตการควบคุม (UCL และ LCL) จะไม่เท่ากันตลอด

1.1 ขั้นที่ 1 : เก็บรวบรวมข้อมูล

ดังนั้น $$PI = \frac{\text{จำนวนของเสียในกรุ๊ปย่อยที่ (ชิ้น)}}{Ni}$$

นั่นคือ จำนวนชิ้นงานของเสียในกรุ๊ปย่อยที่ $E = NPI$

1.2 ขั้นที่ 2 : หาค่าเฉลี่ยของค่าสัดส่วนของเสีย (P)

$$\bar{P} = \frac{\text{จำนวนของเสียทั้งหมด}}{\text{จำนวนสิ่งตัวอย่างทั้งหมด}}$$

$$\bar{P} = (PN)\ N$$

เมื่อ K คือ จำนวนกรุ๊ปย่อยซึ่งแต่ละกรุ๊ปมีขนาด N สิ่งตัวอย่างและมีของเสียเท่ากับ PN ชิ้นต่อกรุ๊ป

$$\bar{P} = (PN)\ N$$

1.3 ขั้นที่ 3 : คำนวณหาเส้นขอบเขตควบคุม

สูตรสำคัญ

- เส้นค่ากลาง (CL)

$$CL = \bar{P}$$

หมายเหตุ สำหรับการควบคุมของเดือนที่สองและเดือนต่อ ๆ ไปกำหนดให้ใช้ค่า P ของเดือนที่ผ่านมา

- เส้นขอบเขตควบคุมค่าสูง (UCL)

$$UCL = \bar{P} + 3\sqrt{\bar{P}(1-\bar{P})/N}$$

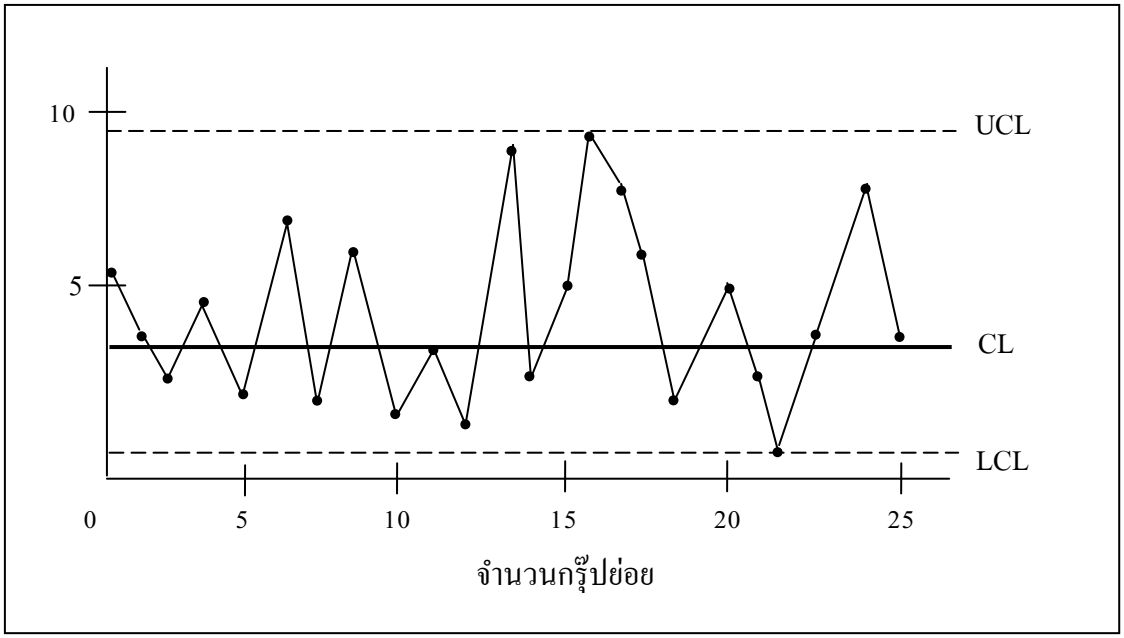
- เส้นขอบเขตควบคุมค่าต่ำ (LCL)

$$LCL = \bar{P} - 3\sqrt{\bar{P}(1-\bar{P})/N}$$

หมายเหตุ กรณีค่า LCL เป็นค่าลบกำหนดให้คิดที่ค่าศูนย์เท่านั้น เพราะว่าจำนวนชิ้นของเสียนั้นค่าน้อยที่สุดคือ ศูนย์ หมายความว่าไม่พบแม้แต่ 1 ชิ้น คือ ค่าที่ดีที่สุด (ZERO DEFECT คือไม่มีของเสียเลย) ค่าติดลบจึงเป็นไปไม่ได้จึงไม่ใช้

1.4 ขั้นที่ 4 : สร้างแผนภูมิควบคุม

- แกนนอนเป็นตัวเลขแสดงจำนวนกรุ๊ปย่อย
- แกนตั้งเป็นตัวเลขแสดงสัดส่วนของเสีย
- เขียนเส้นเต็มแทนเส้นค่ากลาง (CL)
- เขียนเส้นประ 1 หรือ 2 เส้น แทน UCL และ LCL
- พล๊อตจำนวนสัดส่วนของเสียลงในกราฟแล้วลากเส้นต่อจุดที่พล๊อต



รูปที่ 2.10 แสดงแผนภูมิควบคุมจำนวนของเสีย (P-CHART) [9]

จากรูปที่ 2.10 แสดงภาพแผนภูมิคุม (Control Chart) คือแผนภูมิที่มีการเขียนขอบเขตที่ยอมรับได้ของคุณลักษณะตามข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการผลิต โดยการติดตามและตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกขอบเขต (Control limit)

2. การแปลความหมาย P-CHART

2.1 จุดอยู่นอก CONTROL LIMITS ถ้าจุดอยู่นอก UCL อาจเกิดจาก

- การคำนวณ / บันทึกผิดพลาด
- สมรรถนะของกระบวนการแย่ลง
- ระบบการประเมินเปลี่ยนไป เช่น คนวัด เครื่องมือวัด

ถ้าจุดอยู่นอก LCL อาจเกิดจาก

- การคำนวณ / บันทึกผิดพลาด
- สมรรถนะของกระบวนการได้รับการปรับปรุง

- ระบบการวัดเปลี่ยนแปลง

2.2 รูปแบบที่ผิดปกติ/แนวโน้ม

- 7 จุดอยู่เหนือหรือใต้เส้น CENTER LINE
- 7 จุดแนวโน้มขึ้นหรือลง

ถ้าอยู่เหนือ CENTER LINE หรือแนวโน้มขึ้น

- สมรรถนะของกระบวนการแย่ลง
- ระบบการประเมินเปลี่ยนไป

ถ้าอยู่ใต้ CENTER LINE หรือแนวโน้มลง

- สมรรถนะของกระบวนการได้รับการปรับปรุง
- ระบบการประเมินเปลี่ยนไป

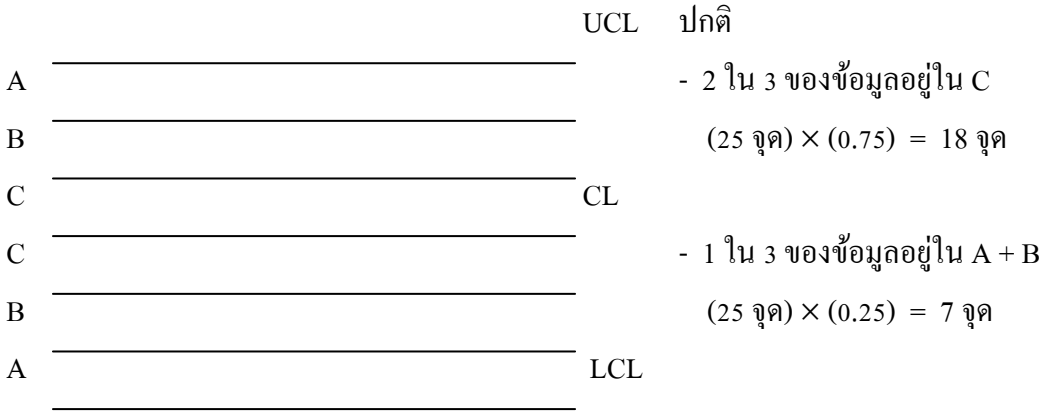
2.3 รูปแบบที่ไม่เป็นอย่างเดาสุ่มมากกว่า 2 ใน 3 ของข้อมูลที่อยู่ใน C

- การคำนวณ / บันทึกผิดพลาด
- ตัวอย่างที่สุ่มคิดกันมากเกินไป
- แก้ไขข้อมูล

มากกว่า 1 ใน 3 ของข้อมูลอยู่ใน A + B

- การคำนวณ/บันทึกผิดพลาด
- ตัวอย่างที่สุ่มห่างมากเกินไป เช่น เป็นชิ้นงานคนละกะ

หมายเหตุ รูปแบบที่ไม่เป็นอย่างเดาสุ่ม (NONRANDOM PATTERNS) แบ่งระยะจาก CL ถึง UCL หรือ LCL เป็น 3 ส่วน



การแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการ

คำนวณใหม่

- สืบสวน/ขจัดความผันแปรพิเศษ
- จุดที่ผิดปกติถูกตัดทิ้งไป แล้วคำนวณใหม่ (N ใหม่)

การนำไปใช้งาน

- นำค่า CONTROL LIMIT ไปใช้งาน
- เปลี่ยนแปลงถ้ามีการปรับปรุงพบว่า ความสามารถของกระบวนการดีขึ้น

2.3 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว [10]

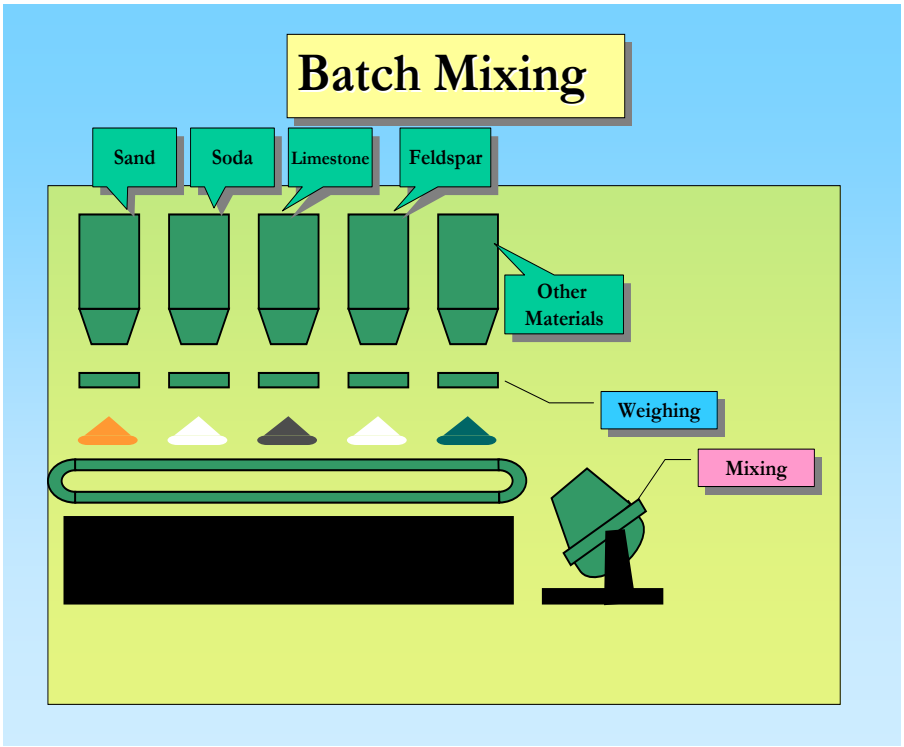
2.3.1 การเตรียม และการผสมวัตถุดิบ (Batch Mixing)

2.3.1.1 การเตรียมและการผสมวัตถุดิบ

จัดเก็บวัตถุดิบต่าง ๆ และเศษแก้วที่ผ่านการตรวจรับและตรวจสอบคุณภาพแล้วไว้ในคอกและถังพัก โดยแยกตามชนิดของวัตถุดิบ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้มีอยู่ 2 ประเภท [10]

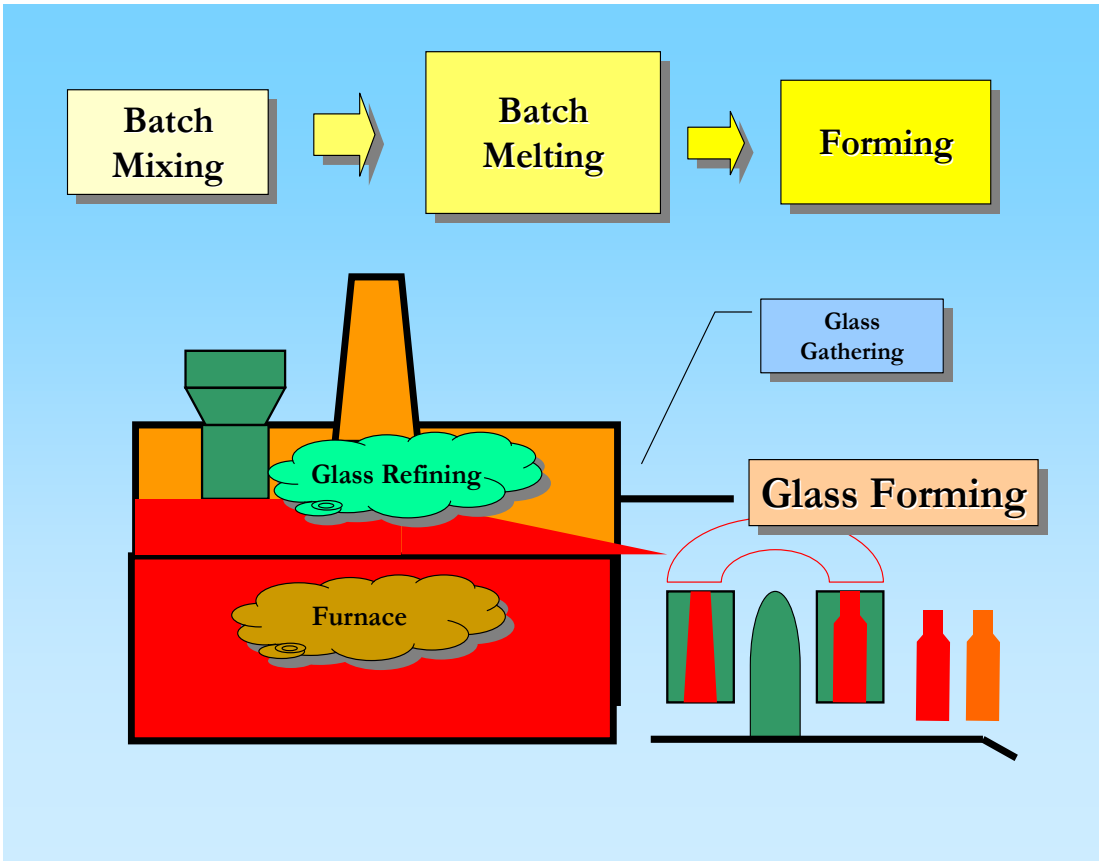
- วัตถุดิบหลัก
- วัตถุดิบรอง

ชั่งเพื่อเตรียมการผสมวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ตามสูตรการผลิต โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมผสมวัตถุต่าง ๆ ให้เข้ากันในโม่ผสม (Batch Mixer) โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม วัตถุดิบที่ผสมเข้ากันดีแล้ว เรียกว่า “ส่วนผสม” (Batch) จะถูกลำเลียงพร้อมด้วย “เศษแก้ว” (Cullet) เพื่อป้อนเข้าไปในเตาหลอม (Furnace)



รูปที่ 2.11 กระบวนการเตรียมและการผสมวัตถุดิบ

2.3.1.2 การหลอมแก้ว (Melting) ส่วนผสมวัตถุดิบจะถูกหลอมละลาย และเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้เป็นเนื้อแก้ว โดยใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันเตา/NG และไฟฟ้า (ถ้าใช้) ที่อุณหภูมิประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส น้ำแก้วจะไหลออกจากเตาหลอมผ่านคอเตาหลอมไปยังรางป้อนน้ำแก้ว (Fore hearth) ของสายการผลิตแต่ละเครื่องและการควบคุมปรับแต่งอุณหภูมิน้ำแก้วให้ร้อนสม่ำเสมอและเหมาะสมกับบรรจุภัณฑ์แก้วแต่ละชนิดที่ต้องการจะผลิต มีการควบคุมปรับแต่งอุณหภูมิน้ำแก้วให้ร้อน สม่ำเสมอ และเหมาะสมกับบรรจุภัณฑ์แก้วแต่ละชนิดที่ต้องการจะผลิต

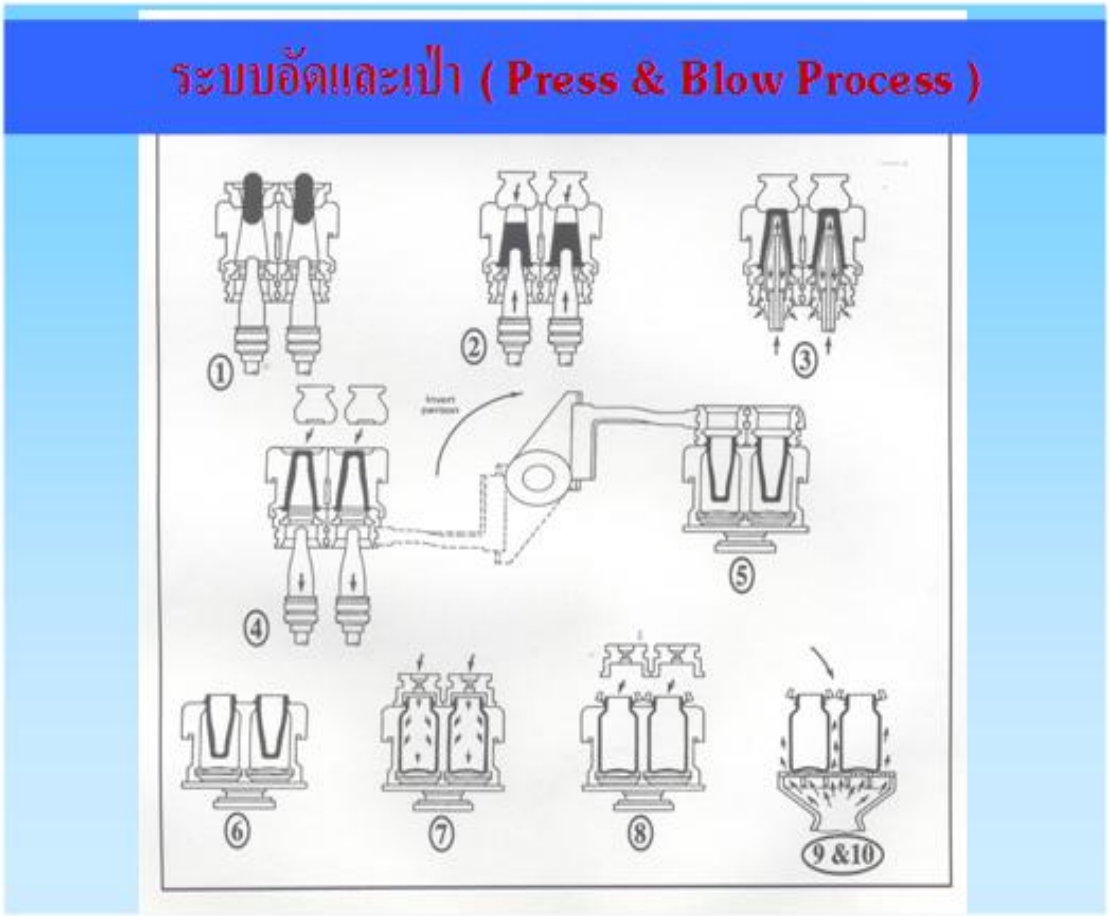


รูปที่ 2.12 กระบวนการหลอม

2.3.1.3 การขึ้นรูป (Forming)

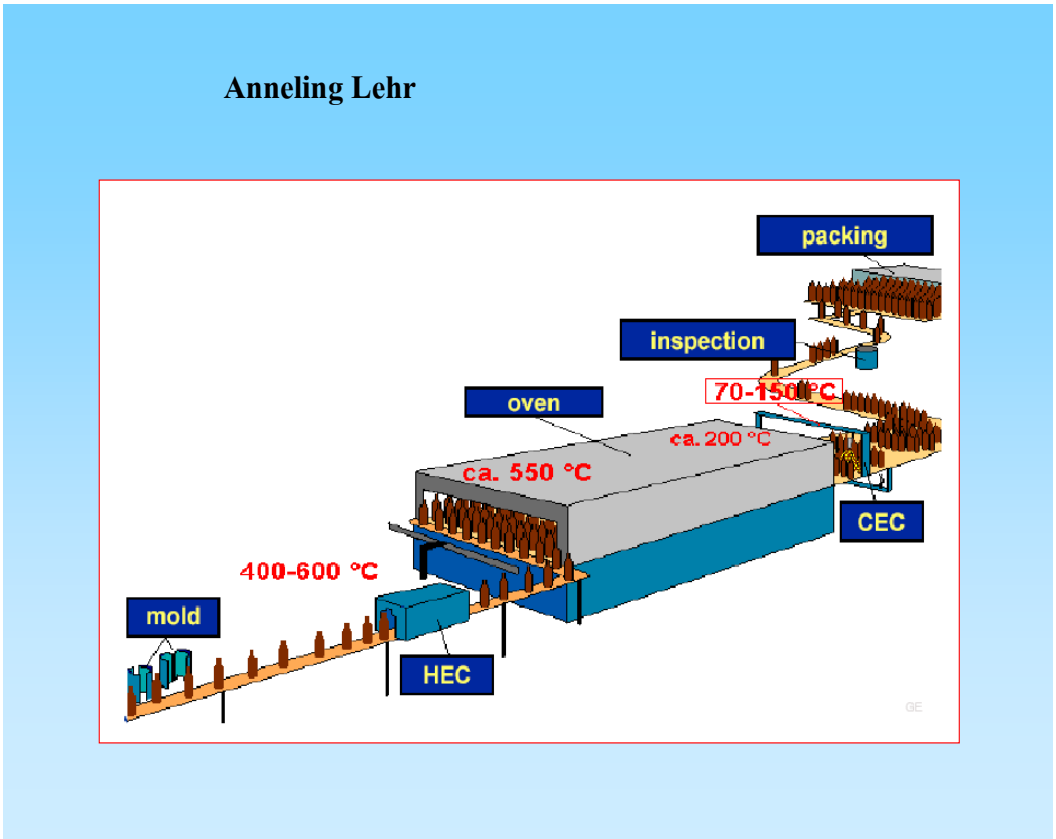
น้ำแก้วจะถูกตัดให้เป็นหยดแก้ว (Gob) ตามขนาดและน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ หยดแก้วนี้จะไหลผ่านเข้าไปในแม่พิมพ์ (Mould) แล้วจะถูกเป่าขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์แก้ว โดยเครื่องขึ้นรูปขวด (Forming Machine) กรรมวิธีการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แก้วที่นิยมใช้กันทั่วไปมีอยู่ 2 ระบบ คือ

- ระบบเป่าและเป่า (Blow & Blow) ใช้ในการผลิตขวดปากแคบ
- ระบบอัดและเป่า (Press & Blow) ใช้ในการผลิตขวดปากกว้าง (ปากขวดขนาดเกินกว่า 38 ม.ม.)



รูปที่ 2.13 การขึ้นรูป

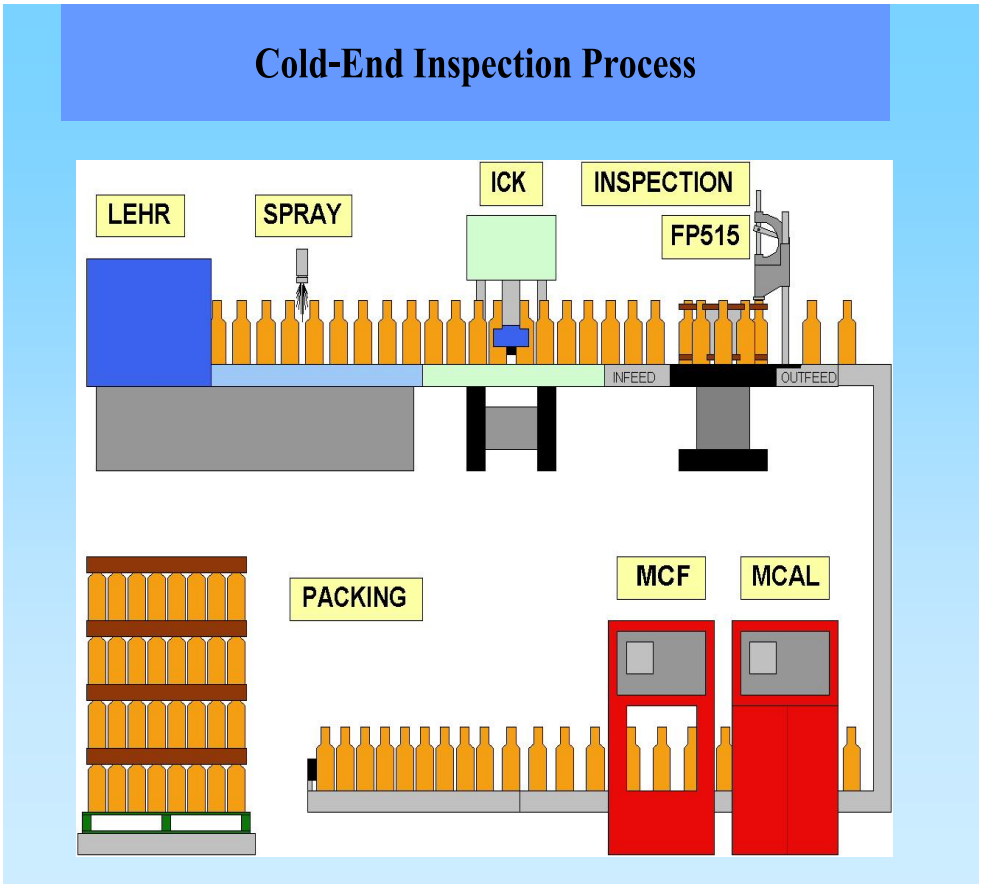
2.3.1.4 การอบ (Annealing) บรรจุภัณฑ์แก้วที่ขึ้นรูปแล้ว จะถูกเคลื่อนย้ายเข้ารางอบ(Annealing Lehr) อย่างอัตโนมัติด้วยระบบสายพานลำเลียง เพื่อคลายความเครียดในเนื้อแก้ว และทำให้บรรจุภัณฑ์แก้วแข็งแรงด้วยการค่อย ๆ ปรับลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ จากประมาณ 500 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิปกติ หลังจากออกจากรางอบแล้ว บรรจุภัณฑ์แก้วจะถูกลำเลียงเข้าสู่สายพานหน้าราง เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการตรวจสอบและคัดเลือกบรรจุ



รูปที่ 2.14 การอบ

2.3.1.5 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ (Inspection)

ขั้นตอนการตรวจสอบจะมี 3 ลักษณะพร้อมกัน คือใช้เครื่องจักรตรวจสอบอิเล็กทรอนิกส์ ตรวจสอบด้วยสายตา และการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ ในเรื่อง ขนาด และรูปร่างน้ำหนัก และปริมาตรความแข็งแรง ฯลฯ



รูปที่ 2.15 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพ

2.3.1.6 การพิมพ์สี (Applied Color Labeling)

สีที่ใช้ในการพิมพ์บรรจุภัณฑ์แก้วเป็น “สีเทอร์โมพลาสติก” บรรจุภัณฑ์ที่พิมพ์สีแล้ว จะต้องผ่านการอบที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส และค่อย ๆ ปรับลดลงจนถึงอุณหภูมิปกติ กระบวนการนี้จะทำให้สีติดเนื้อแก้วอย่างถาวร

2.3.1.7 การบรรจุหีบห่อ (Packaging)

ใช้เครื่องอัตโนมัติ (Palletize) ในการบรรจุบรรจุภัณฑ์แก้วลงบนถาดกระดาษเรียงซ้อนบนกระบะ (Bulk-Palletized) แล้วจะถูกลำเลียงด้วยรถขนขวด (Shuttle Car) ไปยังเครื่องพันฟิล์ม ก่อนที่จะนำไปเก็บในคลังสินค้าเพื่อรอการจำหน่าย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทรงพล พิเชฐวัฒนา [11] ได้ทำการวิจัยโดยใช้หลักการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัย 4 ปัจจัย คือ อัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว และอุณหภูมิในการอบ เวลาในการอบและชนิดของน้ำหนักกดที่มีผลต่อแรงดึงระหว่าง Slider และ Hexode ของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ทดิสก์ โดยใช้ผ่านการทดลอง แบบแฟคทอเรียล ซึ่งพบว่ามีปัจจัยเพียง 3 ชนิดที่มีผลต่อแรงดึงคืออัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว อุณหภูมิในการอบและเวลาในการอบ จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ หัวอ่านมีค่าแรงดึงสูงที่สุดคือ อัตราส่วนผสม 4 : 1 อุณหภูมิในการอบอยู่ในระหว่าง 300 องศาฟาเรนไฮต์และเวลาในการอบ 16 นาที และเมื่อนำค่าแรงดึงที่ได้ไปเปรียบเทียบในเชิงสถิติกับค่าแรงดึงหัวอ่านเขียนในปัจจุบัน พบว่า ค่าแรงดึงเฉลี่ยที่สภาวะใหม่มีค่าสูงกว่าแรงดึงที่เป็นอยู่ในสภาวะปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ศักรินทร์ อินทปัญญ์ [12] ได้ทำการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาถึงปัจจัย คือ อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน ปริมาณของเหลวบนกระจกซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console และความดันน้ำเข้า Rinse bar โดยใช้แผนการทดลองแบบ แฟคทอเรียล ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงิน การทดลองแฟคทอเรียล ถูกนำมาใช้อีกครั้งโดยมีการทำซ้ำ (Replication) ของแต่ละปัจจัยเพิ่มขึ้นจากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพการเคลือบเงินมีค่าสูงสุด คือ อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน 95 องศาฟาเรนไฮต์ของดันน้ำDid เข้า Consol40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเมื่อนำประสิทธิภาพการเคลือบเงินที่ได้ ไปเปรียบเทียบทางสถิติ กับประสิทธิภาพการเคลือบเงินปัจจุบันพบว่า ค่าประสิทธิภาพการเคลือบเงิน โดยเฉลี่ยที่สภาวะใหม่ที่มีค่าสูงกว่าแรงดึงที่เป็นอยู่ในสภาวะปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สุทธิวัฒน์ มหัคฆปกรณ์ [13] ได้ทำการศึกษาปัจจัยของวิธีการเชื่อมระบบ TIG ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของระบบเชื่อมสำหรับ เหล็กเกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก ชนิด SUS 436L โดยการทดลองเชื่อมตาม หลักการออกแบบการทดลองกำหนดค่าของปัจจัยที่ระดับสูงและระดับต่ำลงในเงื่อนไขการทดลอง จำนวน 8 เงื่อนไขทำการทดลองเชื่อมตายมใช้ค่าของปัจจัย ตามที่กำหนดไว้นำท่อที่ได้จากการทดลองเชื่อมมาทำการทดลองทางกล วัดค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของตะเข็บเชื่อมและเส้นผ่านกลางขยายของชิ้นงานทดลองการบานของท่อ ประกอบกับการดูภาพโครงสร้าง ทางโลหะบริเวณแนวเชื่อม จากนั้นนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์พร้อมกับนำค่าปัจจัย มาทดลองใช้งาน

สมโภช กูลศิริศรีตระกูล [14] ได้ทำการศึกษาวิจัยการเพิ่มผลผลิตของสายการประกอบโครงเสริมกันชนหน้ารถ กระบะเพื่อต้องการเพิ่มผลผลิต โดยการใช้เทคนิควิศวกรรมอุตสาหการ จากการศึกษากระบวนการ พบปัญหาที่เกิดขึ้นในสาย การประกอบดังนั้นปัญหาเกี่ยวกับเทคนิคการทำงาน การขน

ถ่ายวัสดุและการจัดสมดุล ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงเทคนิคการทำงาน รวมทั้งจัดสมดุลในสายการประกอบที่จะเพิ่มผลิตได้ถึงร้อยละ 22.70 และเวลาในการทำงานลดลง ร้อยละ 18.70 และลดต้นทุนในการผลิตลงได้ร้อยละ 1.68

ณัฐพล สินตระการผล [15] ได้ทำการศึกษาปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่อง จากกระบวนการการตีขึ้นรูปของหน้าแปลนในการผลิตเพลาข้างรถยนต์โดยได้ทำการวิเคราะห์กระบวนการเพื่อหาพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องซึ่งก็ให้ได้ความสนใจในเรื่องของเครื่องจักรที่ส่งผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์ บกพร่องโดยตรงโดยขั้นแรกทำการเก็บข้อมูลของแต่ละเครื่อง แล้วนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติหาสาเหตุในการเกิดของเสีย ลำดับต่อมาทำ การแยกพารามิเตอร์ที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ออกจากันแล้วทำการควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ออกจากกันแล้วทำการควบคุมพารามิเตอร์ที่ควบคุมได้พบว่า Spindle pressure Upsetting Temperature และ Forging Force มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง จึงออกแบบ ทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ บกพร่องน้อยที่สุด โดยใช้หลักการสถิติในเรื่องของ ANOVA เข้ามาวิเคราะห์

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว [16] งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพ โดยใช้แนวทางของ Six Sigma เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องซึ่งขั้นแรกวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA เมื่อระบุสาเหตุของปัญหาได้แล้ว ต่อมาก็ทำการปรับปรุงเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นโดยอาศัยหลักการทางสถิติวิศวกรรมและสุดท้ายคือ การวัดมาตรฐานการควบคุมและการป้องกันปัญหาช่วง 4 เดือนหลังดำเนินการพบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิด ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบในระดับ S สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.85 เป็นที่ระดับ 2.986 ทั้งนี้ ในแต่ละวันมีของเสียที่เกิดขึ้นจากการตรวจสอบเฉลี่ย 1200 DPM ซึ่งหากลดการตรวจสอบที่ไม่จำเป็นลงจะสามารถ ลดของเสียได้ 50% หรือระดับอยู่ที่ 3.092 และหากทำการควบคุมอีก 6 เดือนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ความผันแปรในกระบวนการผลิตลดลงอีก 1.5 S สัดส่วน ของเสียลดลง อยู่ที่ระดับ 4.592 S