บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.1 การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ

การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Quality Control , SQC) หมายถึง การนำหลักการและวิธีการทางสถิติต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมคุณภาพ หลักการทางสถิติมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินผลและควบคุมกระบวนการผลิตให้มีระดับคุณภาพตรงตามความต้องการ หากกล่าวถึงการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติแล้ว ความรู้พื้นฐานในแขนงนี้ ได้แก่

1. การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Quality Control)
2. การชักตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Acceptance Sampling)
3. การวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

3.1.1 การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ

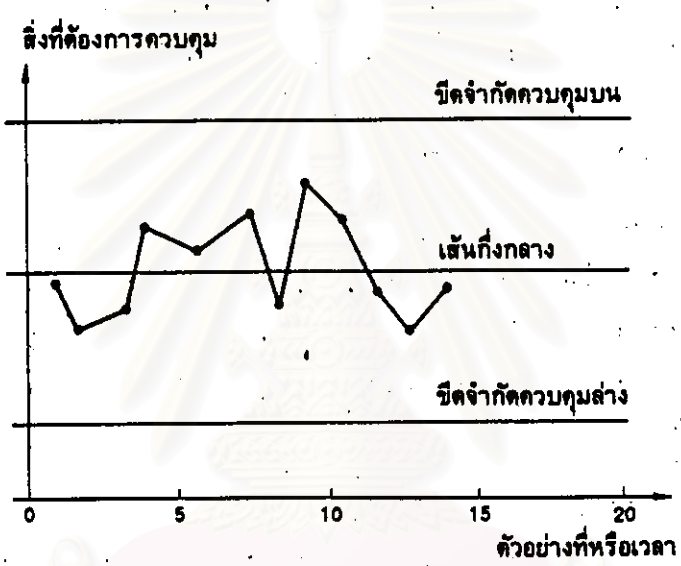
ในกระบวนการผลิตมักพบว่า ความเบี่ยงเบนหรือความแปรปรวนของกระบวนการผลิตมีโอกาสเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาไม่ว่าระบบการผลิตจะได้รับการออกแบบไว้ดีเพียงใด ความแปรปรวนต่าง ๆ มีผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ มากมาย ทั้งที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุมได้ ทั้งปัจจัยที่มีผลกระทบมากและปัจจัยที่มีผลกระทบน้อย ความแปรปรวนเหล่านี้ส่งผลกระทบถึงคุณภาพของสินค้าที่ทำการผลิต ถ้าความแปรปรวนมีน้อยและไม่ส่งผลกระทบต่อการลดลงของคุณภาพสินค้า ก็กล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตยังอยู่ภายใต้การควบคุม แต่เมื่อใดที่ความแปรปรวนเกิดขึ้นมากและส่งผลให้คุณภาพสินค้าลดลง ก็แสดงว่ากระบวนการผลิตมิได้อยู่ภายใต้การควบคุม หรืออีกนัยหนึ่งคือกระบวนการผลิตได้ผิดปกติไปจากที่ควรจะเป็น

สาเหตุที่ทำให้กระบวนการผลิตเกิดผิดปกติไป อาจเกิดจากเครื่องจักร คนทำงาน หรือวัตถุดิบ โดยทั่วไปกระบวนการผลิตจะอยู่ภายใต้การควบคุม อย่างไรก็ตามปัจจัยการผลิตอาจเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้กระบวนการผลิตเปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนด ทำให้ผลิตสินค้าหรือชิ้นงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดหรือสินค้าที่มีคุณภาพลดลงนั่นเอง เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ภายใต้การควบคุม จึงต้องมีวิธีการเชิงสถิติเพื่อให้ผู้ผลิตรู้ว่ากระบวนการผลิตได้เปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดไว้ วิธีการเชิงสถิติที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตคือ แผนภูมิควบคุม วัตถุประสงค์หลักของแผนภูมิควบคุมคือ การใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิต เพื่อการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพได้อย่างรวดเร็วและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสินค้าที่ผลิต นอกจากนี้แผนภูมิควบคุมยังสามารถใช้เป็นตัวกำหนด

ความสามารถของกระบวนการผลิต การวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมอย่างสม่ำเสมอจะทำให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงคุณภาพสินค้าที่ผลิตให้ดียิ่งขึ้นตลอดเวลา แผนภูมิควบคุมมีส่วนช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิต ซึ่งจะทำให้การผลิตสินค้ามีคุณภาพดีสม่ำเสมอ

3.1.1.1 หลักการของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมมีหลายชนิดจำแนกตามลักษณะและการใช้งาน แต่หลักการขั้นพื้นฐานของแผนภูมิควบคุมชนิดต่าง ๆ จะเหมือนกัน ตัวอย่างของแผนภูมิควบคุมแสดงอยู่ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภูมิควบคุมเชิงสถิติ

แผนภูมิควบคุมประกอบด้วยขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า UCL ขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า LCL และเส้นกึ่งกลาง (Center line) หรือที่นิยมเขียนย่อว่า CL ของสิ่งที่ต้องการควบคุม การควบคุมทำโดยวิธีสุ่มตัวอย่างและวัดผลของสิ่งที่ต้องการควบคุม แล้วเขียนจุดลงในแผนภูมิควบคุมและลากเส้นเชื่อมต่อจุดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

ขีดจำกัดควบคุมบนและล่างได้จากการคำนวณค่าโดยอาศัยตัวอย่างที่สุ่มไว้ จุดที่กระจายอยู่ในขีดจำกัดควบคุมบนและล่างแสดงถึงสภาพของกระบวนการผลิตว่ายังอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ ถ้าจุดต่าง ๆ กระจายอยู่ในช่วงขีดจำกัดควบคุมบนและล่างอย่างสม่ำเสมอก็แสดงว่า กระบวนการผลิตยังอยู่

ภายใต้การควบคุม แต่เมื่อใดที่มีจุดตกนอกขีดจำกัดควบคุมบนหรือล่าง ก็แสดงว่ากระบวนการผลิตได้ส่อถึงความผิดปกติไปจากสภาพปกติ ผู้ควบคุมการผลิตจะต้องทำการตรวจสอบกระบวนการผลิตและแก้ไขให้กระบวนการผลิตกลับสู่สภาพปกติ

ถึงแม้ว่าจุดบนแผนภูมิควบคุมจะอยู่ระหว่างขีดจำกัดบนและล่าง คือไม่มีจุดใดตกนอกขีดจำกัดควบคุม แต่ถ้าการกระจายของจุดเหล่านี้ไม่สม่ำเสมอ เช่น ถ้ามีจุด 5 จุดติดต่อกันอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลาง ก็แสดงว่ากระบวนการผลิตได้ออกนอกการควบคุมแล้ว จะต้องตรวจสอบกระบวนการผลิตและแก้ไขให้กระบวนการผลิตกลับสู่สภาพปกติต่อไป

3.1.1.2 ประเภทของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ แผนภูมิควบคุมตามลักษณะ หรือแผนภูมิควบคุมชนิดแอตตริบิวต์ (Attribute control charts) และแผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน (Variable control charts)

แผนภูมิควบคุมชนิดแอตตริบิวต์ที่สำคัญได้แก่

1. แผนภูมิ p เพื่อควบคุมสัดส่วนของเสีย
2. แผนภูมิ np เพื่อควบคุมจำนวนของเสีย
3. แผนภูมิ c เพื่อควบคุมจำนวนสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสีย
4. แผนภูมิ u เพื่อควบคุมจำนวนสาเหตุต่อหน่วยที่ทำให้เกิดของเสีย

แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผันที่สำคัญได้แก่

1. แผนภูมิ $\overline{X}$ เพื่อควบคุมค่าเฉลี่ย
2. แผนภูมิ R เพื่อควบคุมค่าพิสัย
3. แผนภูมิ S เพื่อควบคุมค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

แผนภูมิ $\overline{X}$ และแผนภูมิ R เป็นแผนภูมิชนิดแปรผันที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม แผนภูมิทั้งสองนี้จะใช้ควบคู่กันเพื่อควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการและค่าการกระจายของกระบวนการ วัตถุประสงค์และประโยชน์ที่สำคัญของแผนภูมิทั้งสองประกอบด้วย

1. แผนภูมิ $\overline{X}$ ใช้ประโยชน์เพื่อควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต
2. แผนภูมิ R ใช้ประโยชน์เพื่อควบคุมการกระจายของกระบวนการผลิต

3. แผนภูมิ $\overline{X}$ และ R สามารถใช้เพื่อประเมินสมรรถภาพกระบวนการเพื่อวิเคราะห์ถึงความสามารถในการผลิตภายใต้ข้อกำหนด และประเมินจำนวนสินค้าที่มีระดับคุณภาพต่ำกว่าที่กำหนด

การคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ

ขีดจำกัดของแผนภูมิควบคุม X และ R คำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้คือ

$$\overline{\overline{X}} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \bar{X}_i}{m} \qquad \text{..... (3.1)}$$

$$\overline{R} = \frac{\sum_{i=1}^{m} R_i}{m} \qquad \text{..... (3.2)}$$

เมื่อ $\overline{\overline{X}}$ เป็นค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

$\overline{R}$ เป็นค่าเฉลี่ยของพิสัยของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

X_i เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างที่ i ใด ๆ

R_i เป็นค่าพิสัยของกลุ่มตัวอย่างที่ i ใด ๆ

m เป็นจำนวนกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ คือ

$$\left.\begin{array}{lll} \text{ขีดจำกัดควบคุมบน} & UCL_{\overline{X}} = & \overline{\overline{X}} + 3\sigma_{\overline{X}} \\ \text{เส้นกึ่งกลาง} & CL_{\overline{X}} = & \overline{\overline{X}} \\ \text{ขีดจำกัดควบคุมกลาง} & LCL_{\overline{X}} = & \overline{\overline{X}} - 3\sigma_{\overline{X}} \end{array}\right\} \qquad \text{..... (3.3)}$$

เมื่อ $\sigma_{\overline{X}}$ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยกลุ่มตัวอย่าง

เนื่องจาก $$\sigma_{\overline{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

เมื่อ σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

n เป็นจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

และค่าของ σ สามารถประมาณได้จากความสัมพันธ์

$$\sigma = \frac{\overline{R}}{d_2}$$

เมื่อ $\overline{R}$ เป็นพิสัยเฉลี่ยของพิสัยกลุ่มตัวอย่าง

d_2 เป็นค่าคงที่ขึ้นกับจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม

ดังนั้น

$$3\sigma_{\overline{X}} = \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{3\overline{R}}{d_2\sqrt{n}}$$

$$= A_2 \overline{R}$$

เมื่อ A_2 เป็นค่าคงที่

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ X จึงกลายเป็น

$$\left.\begin{aligned} ULC_{\overline{X}} &= \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R} \\ CL_{\overline{X}} &= \overline{\overline{X}} \\ LCL_{\overline{X}} &= \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R} \end{aligned}\right\} \quad \text{..... (3.4)}$$

สำหรับแผนภูมิควบคุม R ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิคือ

$$\left.\begin{aligned} \text{ขีดจำกัดควบคุมบน} \quad UCL_R &= \overline{R} + 3\sigma_R \\ \text{เส้นกึ่งกลาง} \quad CL_R &= \overline{R} \\ \text{ขีดจำกัดควบคุมล่าง} \quad LCL_R &= \overline{R} - 3\sigma_R \end{aligned}\right\} \quad \text{..... (3.5)}$$

เมื่อ σ_R เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิสัย

เนื่องจาก $\sigma_R = d_3\sigma$

เมื่อ σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ

d_3 เป็นค่าคงที่ขึ้นกับจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม

และเนื่องจาก $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$

ดังนั้น

$$\sigma_R = d_3 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

แทนค่าของ σ_R ลงในชุดสมการที่ (5) จะได้

$$UCL_R = \bar{R} + 3 \frac{d_3}{d_2}\bar{R}$$

$$= (1 + 3 \frac{d_3}{d_2}) \bar{R}$$

$$= D_4 \bar{R}$$

$$LCL_R = \bar{R} - 3 \frac{d_3}{d_2} \bar{R}$$

$$= (1 - 3 \frac{d_3}{d_2}) \bar{R}$$

$$= D_3 \bar{R}$$

ดังนั้นขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิ R จึงกลายเป็น

$$\left.\begin{aligned} UCL_R &= D_4 \bar{R} \\ CL_R &= \bar{R} \\ LCL_R &= D_3 \bar{R} \end{aligned}\right\} \quad \text{..... (3.6)}$$

ค่าของ A_2 , D_3 และ D_4 เป็นค่าคงที่ขึ้นกับจำนวนตัวอย่างในกลุ่มข้อมูล ซึ่งอ่านได้จากตารางในหนังสือ Statistical Quality Control ทั่วไป

3.1.1.3 ประโยชน์ของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมเป็นวิธีการทางสถิติที่สำคัญในการควบคุมกระบวนการผลิต นอกจากนี้แผนภูมิควบคุมยังมีประโยชน์อื่น ๆ อีกหลายประการ ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

1. ควบคุมกระบวนการผลิตได้ทันต่อเหตุการณ์

สิ่งที่ต้องการควบคุมจะถูกสุ่มตัวอย่างและเขียนจุดลงบนแผนภูมิควบคุมเป็นระยะ ๆ ถ้าจุดมิได้แสดงความผิดปกติก็แสดงว่ากระบวนการผลิตยังอยู่ในการควบคุม เมื่อใดที่จุดแสดงความผิดปกติ ผู้ควบคุมการผลิตก็สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สภาพการผลิตกลับสู่ปกติได้ทันท่วงที นอกจากนี้สภาพการกระจายของจุดในแผนภูมิควบคุมยังสามารถใช้เพื่อคาดการณ์สภาพการของกระบวนการผลิตในอนาคตได้อีกด้วย

2. ตรวจสอบค่ามาตรฐานที่กำหนด

ประโยชน์สำคัญประการหนึ่งของแผนภูมิควบคุม คือการตรวจสอบค่าผลการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ เมื่อใดที่ตัวอย่างที่สุ่มวัดได้ตกอยู่นอกเส้นพิกัดควบคุม ย่อมแสดงว่ากระบวนการผลิตได้คลาดเคลื่อนออกจากมาตรฐานที่กำหนดแล้ว

3. รู้ถึงสมรรถภาพของกระบวนการ (process capability)

กระบวนการผลิตที่อยู่ภายใต้การควบคุมอาจอยู่ในข้อกำหนด (Specification) หรือไม่ก็ได้ กระบวนการผลิตที่แสดงว่าอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ สามารถนำไปใช้เพื่อคำนวณถึงสมรรถภาพกระบวนการ เพื่อหาความสามารถในการผลิตภายใต้ข้อกำหนด ผลของสมรรถภาพกระบวนการที่ได้จะเป็นประโยชน์อย่างสำคัญต่อผู้บริหารในการตัดสินใจในด้านต่าง ๆ เช่น การตัดสินใจเพื่อลงทุนปรับปรุงสมรรถภาพกระบวนการ การตัดสินใจรับคำสั่งผลิตจากลูกค้า เป็นต้น

4. แผนภูมิควบคุมช่วยเพิ่มผลผลิต

แผนภูมิควบคุมมีส่วนช่วยอย่างสำคัญในการลดจำนวนของเสียและการทำซ้ำ ตัวอย่างเช่นแผนภูมิควบคุมสาเหตุของเสียและแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย การลดของเสียจากการผลิตและลดการทำซ้ำก็ช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับกระบวนการ

5. แผนภูมิควบคุมช่วยป้องกันปัญหาด้านคุณภาพ

แผนภูมิควบคุมช่วยให้กระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมตลอดเวลา การใช้แผนภูมิควบคุมจะช่วยขจัดสภาพการผลิตสินค้าด้อยคุณภาพ เมื่อใดที่กระบวนการผลิตเริ่มผิดปกติแผนภูมิควบคุมจะแสดงให้รู้ ทำให้ผู้ควบคุมเครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตไม่ผลิตของเสียหรือของด้อยคุณภาพออกมา ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตได้อย่างดียิ่ง

6. แผนภูมิควบคุมช่วยป้องกันการปรับแต่งกระบวนการโดยไม่จำเป็น

แผนภูมิควบคุมสามารถแยกแยะสภาพความแปรปรวนของกระบวนการผลิต ว่าเมื่อใดเป็นความแปรปรวนตามสภาพธรรมชาติ และเมื่อใดเป็นสภาพความแปรปรวนที่เกิดจากความผิดปกติ

7. แผนภูมิควบคุมให้ข้อมูลเพื่อการแก้ไขกระบวนการผลิต

การวิเคราะห์สภาพการกระจายของจุดในแผนภูมิควบคุมอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ จะทำให้ได้ข้อมูลเพื่อการแก้ไขกระบวนการผลิต เช่น การเปลี่ยนชนิดของวัตถุดิบ การเปลี่ยนวิธีการทำงาน การเปลี่ยนแปลงรูปแบบวิศวกรรม เป็นต้น

3.1.1.4 การใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

สำหรับกรณีที่รู้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการคือ μ และรู้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ σ แผนภูมิควบคุม X และ R สามารถสร้างได้โดยตรงจากค่าของ μ และ σ ดังนี้คือ

แผนภูมิ $\overline{X}$

$$UCL_{\overline{X}} = \mu + \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$CL_{\overline{X}} = \mu$$

$$LCL_{\overline{X}} = \mu - \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

ถ้ากำหนดให้ $A = 3 / \sqrt{n}$

$$UCL_{\overline{X}} = \mu + A\sigma$$

$$CL_{\overline{X}} = \mu \qquad \text{..... (3.7)}$$

$$LCL_{\overline{X}} = \mu - A\sigma$$

แผนภูมิ R

$$UCL_R = R + 3\sigma_R$$

$$CL_R = R$$

$$LCL_R = R - 3\sigma_R$$

เนื่องจาก $\sigma = R / d_2$ และ $\sigma_R = d_3\sigma$

ดังนั้น $UCL_R = d_2\sigma + 3\, d_3\sigma = (d_2 + 3\, d_3)\,\sigma$

$$CL_R = d_2\sigma$$

$$LCL_R = d_2\sigma - 3\, d_3\sigma = (d_2 - 3\, d_3)\,\sigma$$

ถ้ากำหนดให้ $D_1 = (d2 - 3\ d3)$

และ $D_2 = (d2 + 3\ d3)$

ดังนั้น

$$\left.\begin{aligned} UCL_R &= D_2\sigma \\ CL_R &= d_2\sigma \\ LCL_R &= D_1\sigma \end{aligned}\right\} \quad \text{..... (3.8)}$$

ค่าของ A , D_1 , D_2 และ d_2 หาได้จากภาคผนวกในหนังสือ SQC ทั่วไป

การใช้แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ และแผนภูมิ R ในกรณีที่รู้ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการนั้นสามารถสร้างแผนภูมิควบคุม โดยคำนวณขีดจำกัดควบคุมจากสมการที่ (3.7) และ (3.8) ได้เลย โดยไม่ต้องเก็บรวบรวมข้อมูล

นอกจากแผนภูมิ $\overline{X}$ - R ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีแผนภูมิควบคุมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอีกหลายประเภท ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอีก 4 ประเภทคือ

1. แผนภูมิควบคุมดัดแปร (modified control charts)
2. แผนภูมิควบคุมการยอมรับ (acceptance control charts)
3. แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก (weighted average control charts)
4. แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (cumulative sum control charts)

3.1.1.5 วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม

ข้อแนะนำเกี่ยวกับ 6 ลักษณะอาการสำคัญ เพื่อการอ่านแผนภูมิควบคุม

1. จุดอยู่นอกควบคุม พบได้ชัดเจนคือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of control)

2. การเกิดรัน (Run) เมื่อมีจะปรากฏติดต่อกันบนซีกใดซีกหนึ่งของเส้นค่ากลาง เรียกว่า เกิดรัน ความยาวของรันแต่ละชุดนับจากจำนวนจุดในชุดนั้นและรันที่มีความยาวตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไป เราตีความได้ว่า "ได้เกิดความผิดปกติขึ้นแล้วในการผลิตในช่วงที่เกิดรันนั้น"

3. การเกิดแนวโน้ม การที่มีจุดต่อเนื่องกันไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการสลับฟันปลาเลย มีผลทำให้เส้นต่อจุดเหล่านั้นคล้าย ๆ เส้นตรงพาดขึ้นหรือพาดลง เรียกว่า มีการเกิดแนวโน้มขึ้นในแผนภูมิควบคุม แนวโน้มนี้บอกเราว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตกำลังมีปัญหาหรือมีแนวโน้มจะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้แต่แรก

4. การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม หากเราแบ่งระยะ 3 ซิกม่า (3S) จากเส้นค่ากลางออกเป็นเส้น 2 ซิกม่า แล้วพบว่ามีจุด 2 ใน 3 จุดที่อยู่ต่อเนื่องกันในแต่ละช่วงได้ตกไปอยู่ในพื้นที่ระหว่างเส้น 2 ซิกม่ากับเส้นขอบเขตควบคุม (3 ซิกม่า) ถือว่าได้เกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุมแล้ว และเป็นการบอกว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว

5. การเกิดการเข้าใกล้เส้นค่ากลาง หากพบว่าเส้นกราฟทั้งหมดตกอยู่ในระหว่างเส้น 1.5 ซิกม่านับจากเส้นค่ากลางขึ้นไปและลงมาแล้ว ไม่ได้หมายความว่า กระบวนการผลิตนั้นอยู่ในควบคุม แต่กลับแสดงว่าคงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการกำหนดขนาดของชุดข้อมูลย่อย ข้อมูลอาจมีการปะปนกันของข้อมูลที่นำมาจากต่างประชากรกันและเกิดปะปนกันในชุดข้อมูลย่อยก็ได้ จึงทำให้เส้น 3 ซิกม่าที่ใช้กว้างเกินไปกว่าลักษณะข้อมูลปะปนกันนั้น จะต้องตรวจสอบและทบทวนวิธีการเก็บข้อมูลใหม่ ซึ่งเราเรียกลักษณะอาการนี้ว่า เกิดการเข้าใกล้เส้นค่ากลาง

6. การเกิดวัฏจักร มีลักษณะคือค่าในเส้นกราฟจะเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ มีลักษณะเป็นวงจรหรือวัฏจักรที่เกือบจะทำนายลักษณะเส้นกราฟในช่วงต่อ ๆ ไปไม่ได้ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เกิดวัฏจักร

3.1.2 การชักตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

เทคนิคการชักตัวอย่างเพื่อการยอมรับ เป็นเทคนิคที่อาศัยการประยุกต์หลักการทางสถิติและความน่าจะเป็นในการเลือกสิ่งตัวอย่างจากสิ่งที่ต้องการตัดสินใจ (ทางสถิติเรียกว่า ประชากร) และอาศัยการอนุมานทางสถิติ (Statistical Inference) เพื่อการตัดสินใจโดยวิธีการทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis) เพื่อพิจารณาว่าคุณภาพของประชากรนั้นควรได้รับการยอมรับ (Accept) หรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

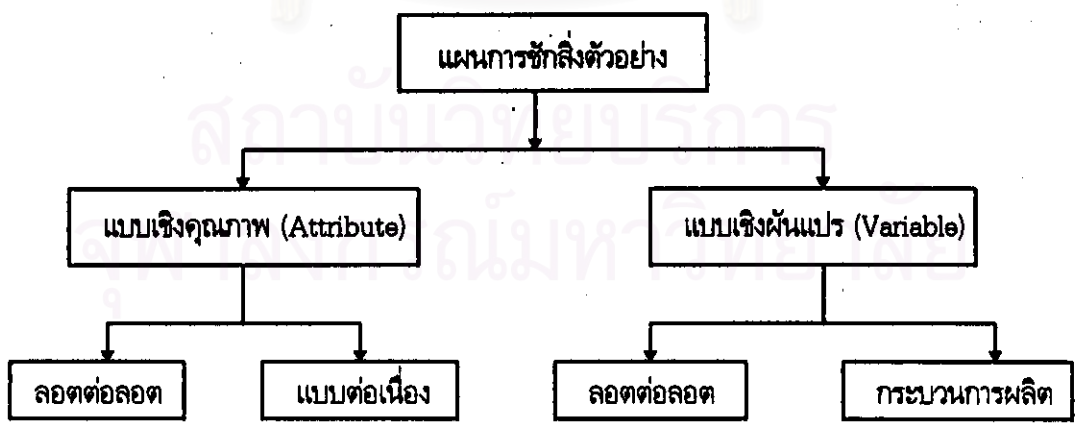
รูปที่ 3.2 กระบวนการของการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

โดยความเป็นจริงแล้ว มนุษย์เรารู้จักวิธีการตรวจสอบและการควบคุมคุณภาพมาแต่โบราณแล้ว เพียงแต่ในยุคก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรมนั้น มีการผลิตเพื่อการอุปโภคบริโภคเท่านั้น ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคที่มีความซับซ้อนมากนักสำหรับการควบคุมคุณภาพ

อย่างไรก็ดี ในยุคหลังการปฏิวัติอุตสาหกรรมได้เริ่มมีการผลิตเชิงมวล (Mass production) มากขึ้น กล่าวคือมีการผลิตซ้ำ ๆ กันคราวละมาก ๆ [เรียกว่าลอต (Lot) หรือแบช (Batch)] ดังนั้น จึงเริ่มมีการประยุกต์หลักการทางสถิติมาใช้ โดยเริ่มจาก Walter A.Shewhart ที่เสนอแนวความคิดของแผนภูมิควบคุม (Control chart) ที่ Bell Telephone เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม ปีพ.ศ. 2467 และในปีพ.ศ. 2470 H.F.Dodge ได้เสนอแผนการชักสิ่งตัวอย่างขึ้นครั้งแรกสำหรับใช้ในกิจการของ Western Electric Group โดยเป็นแผนการที่ประกันด้วยพิกัดคุณภาพจ่ายออกโดยเฉลี่ย (Average Outgoing Quality Limit ; AOQL) ต่อมาในปีพ.ศ. 2484 H.F.Dodge และ H.G.Romig ได้เสนอแผนการประกันคุณภาพขั้นต่ำโดยใช้ค่า LTPD (Lot Tolerance Percent Defective) ซึ่งต่อมาเรียกว่า แผนการ Dodge-Romig

ในยุคสงครามโลกครั้งที่ 2 ถือเป็นยุคที่มีการพัฒนาทางเทคนิคการควบคุมคุณภาพด้วยสถิติมากที่สุด เพื่อกิจการด้านการผลิตอาวุธสำหรับกองทัพพันธมิตร โดยเฉพาะประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเริ่มจากกรมสรรพาวุธของสหรัฐอเมริกาที่ได้ตีพิมพ์ตารางแผนการชักสิ่งตัวอย่างของกรมสรรพาวุธ (Ordnance Sampling Table) ขึ้นในปี พ.ศ. 2485 และเป็นแผนการแรกที่ประกันคุณภาพโดยอาศัยระดับคุณภาพที่สามารถยอมรับ (Acceptable Quality Level ; AQL) ซึ่งต่อมาพัฒนาเป็น MIL-STD-105E

จากรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงถึงกระบวนการของการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับนั้น หากจะจำแนกเทคนิคของแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ ด้วยลักษณะของประชากรและประเภทของข้อมูลแล้ว สามารถจำแนกได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ประเภทของแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

แผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับแบบเชิงคุณภาพ หมายถึง แผนการชักสิ่งตัวอย่างที่ใช้การแจงนับสิ่งตัวอย่างด้วยการจำแนก (Classification) ออกตามคุณลักษณะทางคุณภาพ ซึ่งจะมีความเหมาะสมอย่างมากต่อคุณลักษณะทางคุณภาพประเภทอาศัยความรู้สึก (Sensory) และประเภทความสวยงาม (Cosmetic) และสามารถใช้ได้กับคุณลักษณะทางคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาที่มีความประสงค์ที่ต้องการความรวดเร็วในการตรวจสอบ กล่าวคือมีการจำแนกออกเป็นผ่าน (Go) กับไม่ผ่าน (No Go) เท่านั้น อย่างไรก็ตาม แผนการชักสิ่งตัวอย่างประเภทนี้มีข้อเสียที่ไม่สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการตัดสินใจมากนัก

สำหรับแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับแบบเชิงผันแปร หมายถึง แผนการชักสิ่งตัวอย่างที่อาศัยการวัดสิ่งตัวอย่าง ดังนั้น คุณลักษณะทางคุณภาพจึงต้องเป็นคุณลักษณะทางด้านเคมี กายภาพและจุลชีววิทยา โดยแผนการชักสิ่งตัวอย่างแบบนี้จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับคุณลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการตัดสินใจได้มาก แต่ก็มีข้อเสียคือ ข้อมูลที่ใช้สำหรับแผนการชักสิ่งตัวอย่างประเภทนี้จะมีค่าใช่จ่ายและเวลาที่สูงกว่าข้อมูลประเภทเชิงคุณภาพ

Schilling (1984) ได้แนะนำการเลือกใช้แผนการต่าง ๆ ตามจุดประสงค์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คำแนะนำในการเลือกใช้มาตรฐานของแผนการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ

จุดประสงค์	แบบเชิงคุณภาพ	แบบเชิงผันแปร
(1) ประกันคุณภาพทั้งผู้ผลิตและผู้ซื้อ	แผนการแบบสองจุด (แผนการ Schilling-Johnson)	แผนการแบบสองจุด (แผนการ Sommers)
(2) การรักษาระดับคุณภาพ ณ จุดที่กำหนดหรือดีกว่า	ระบบ AQL (MIL-STD-105E)	ระบบ AQL (MIL-STD-414)
(3) การประกันคุณภาพที่ค่าโดยเฉลี่ยหลังการตรวจ	ระบบ AOQL (แผนการ Dodge-Romig)	ระบบ AOQL (แผนการ Romig)
(4) การลดจำนวนสิ่งตัวอย่างเมื่อประวัติคุณภาพดี	Dodge ChSP-1	Narrow Limit Gaging
(5) การตรวจสอบแบบเช็ก (Check) เมื่อประวัติคุณภาพดีเยี่ยม	Dodge SkSP-1	Double Sampling Plan
(6) การชักสิ่งตัวอย่างแบบอนุโลม (Compliance Sampling)	ระบบ LTPD	Grand-Lot Scheme

3.1.3 การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ

ในอุตสาหกรรมการผลิต ลำดับในการดำเนินงานที่สำคัญ 3 ประการคือ การออกแบบ การผลิต และการตรวจสอบ ข้อกำหนด (specification) ของสินค้าจะกำหนดในขั้นการออกแบบ ในขั้นการผลิต ผู้ควบคุมการผลิตจะต้องควบคุมให้สินค้าที่ผลิตตรงตามข้อกำหนด และในขั้นการตรวจสอบเป็นขั้นตอนการยืนยันให้สินค้าที่ผลิตมีลักษณะคุณภาพตามข้อกำหนด

วิธีหนึ่งที่ใช้เพื่อกำหนดความสามารถของกระบวนการผลิตว่า สามารถผลิตตามข้อกำหนดได้หรือไม่คือ การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการ (process capacity ratio) หรือ PCR PCR ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากสภาพการแข่งขันในตลาดการค้าที่นับวันจะมีการแข่งขันสูงขึ้น

3.1.3.1 อัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการ

อัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการ คำนวณได้จากความสัมพันธ์คือ

$$PCR = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad \text{..... (3.9)}$$

สำหรับกรณีที่ขีดจำกัดข้อกำหนดมีเพียงด้านเดียว อัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการคำนวณได้จากความสัมพันธ์คือ

สำหรับขีดจำกัดควบคุมบน : $PCR = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$ ..... (3.10)

สำหรับขีดจำกัดควบคุมล่าง : $PCR = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$ ..... (3.11)

เมื่อ μ เป็นค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต

σ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการผลิต

ค่า PCR มีประโยชน์อย่างมากในการช่วยประเมินความสามารถของกระบวนการผลิต เทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด นอกจากนี้ค่า PCR ยังใช้เป็นเกณฑ์ในการตั้งขีดจำกัดข้อกำหนด และความต้องการของกระบวนการ

ถ้า PCR = 1 แสดงว่าขีดจำกัดข้อกำหนดมีค่าเท่ากับขีดจำกัดกระบวนการตาม ธรรมชาติพอดี ถ้า PCR > 1 แสดงว่าขีดจำกัดข้อกำหนดมีค่ามากกว่าขีดจำกัดกระบวนการตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นสิ่งที่ดี

สำหรับผู้ผลิต ถ้า PCR มีค่ามาก เช่น PCR ≥ 2 พบว่าขีดจำกัดข้อกำหนดกว้างเกินไปอาจเกิดขึ้นได้ ถ้า PCR < 1 แสดงว่าขีดจำกัดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนกว้างเกินกว่าขีดจำกัดข้อกำหนด ค่า PCR ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 ค่าแนะนำที่กระบวนการผลิตใด ๆ ควรจะเป็น แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่า PCR ต่ำสุดที่ควรจะเป็น

	ข้อกำหนดสองด้าน	ข้อกำหนดด้านเดียว
กระบวนการผลิตที่ทำอยู่	1.33	1.25
กระบวนการใหม่	1.50	1.45
สินค้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ความแข็งแรงและลักษณะคุณภาพที่สำคัญ		
กระบวนการผลิตที่ทำอยู่	1.50	1.45
กระบวนการผลิตใหม่	1.67	1.60

3.1.3.2 การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ

สมรรถภาพกระบวนการผลิตสามารถวิเคราะห์ได้หลายวิธี ในที่นี้กล่าวถึงวิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไป เพื่อเป็นแนวทางการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการคือ

1. การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการโดยใช้ฮิสโตแกรม

ค่าการแจกแจงความถี่สามารถใช้เพื่อประมาณการค่าสมรรถภาพกระบวนการ เพื่อการนี้ข้อมูลที่ใช้อย่างน้อยควรไม่ต่ำกว่า 50 ข้อมูลถึง 100 ข้อมูล ขั้นตอนการเก็บข้อมูลควรดำเนินการดังต่อไปนี้

1.1 เลือกเครื่องจักรหรือกลุ่มเครื่องจักรที่จะวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ ถ้าเครื่องจักรที่จะเลือกใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มเครื่องจักร จะต้องเลือกเครื่องจักรหรือกลุ่มเครื่องจักรที่เป็นตัวแทนของกระบวนการผลิตทั้งหมดอย่างแท้จริง

1.2 เลือกสภาพการดำเนินการผลิต กำหนดสภาพการทำงานต่าง ๆ เช่น ความเร็วของเครื่องจักร อุณหภูมิ อัตราเร็วในการป้อนงาน และอื่น ๆ เพื่อใช้เป็นข้ออ้างอิงในอนาคต และอาจใช้เพื่อการปรับเปลี่ยนปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ เพื่อศึกษาสมรรถภาพกระบวนการ

1.3 เลือกคนคุมเครื่องที่เป็นตัวแทนของกลุ่ม ในการวิเคราะห์บางกรณีอาจจำเป็นต้องประมาณความสามารถของคนคุมเครื่องด้วย คนคุมเครื่องควรเลือกจากพนักงานที่เป็นตัวแทนของกลุ่มอย่างแท้จริง

1.4 เก็บข้อมูลอย่างละเอียด โดยบันทึกเวลาที่บันทึกข้อมูลตลอดจนสภาพการทำงานต่าง ๆ

2. การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการ โดยใช้แผนภูมิควบคุม

ฮีสโตแกรมสรุปสมรรถนะของกระบวนการผลิต โดยไม่ได้แสดงถึงศักยภาพหรือแนวโน้มของสมรรถภาพกระบวนการ ทั้งนี้เพราะฮีสโตแกรมไม่แสดงถึงสภาพการผลิตว่าอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่ อย่างไร จึงอาจมีข้อมูลบางจำนวนที่นำมาใช้ในการสร้างฮีสโตแกรม ที่ได้มาจากกระบวนการผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม เพื่อขจัดข้อมูลที่ได้จากกระบวนการผลิตที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม

แผนภูมิควบคุมที่จะใช้อาจเป็นแผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน หรือแผนภูมิควบคุมตามลักษณะก็ได้ แต่แผนภูมิ $\overline{X}$ และ R มักเป็นแผนภูมิที่นิยมใช้โดยทั่วไป อย่างไรก็ตาม ทั้งแผนภูมิ p แผนภูมิ σ และแผนภูมิ u ก็สามารถใช้เพื่อวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการได้เช่นเดียวกัน

แผนภูมิ $\overline{X}$ และแผนภูมิ R สามารถใช้เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการทั้งในระยะสั้นและระยะยาว การใช้แผนภูมิ $\overline{X}$ และแผนภูมิ R เพื่อวิเคราะห์สมรรถภาพการผลิตนั้นควรเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตจากช่วงเวลาที่ต่างกัน เช่น ต่างวัน หรือต่างกะการทำงาน

ในกรณีที่แผนภูมิควบคุมมีบางจุดที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม ต้องทำการปรับปรุงแผนภูมิควบคุมเสียก่อน จึงจะนำค่าเฉลี่ยกระบวนการและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกระบวนการมาใช้ เพื่อวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการได้

นอกจากการวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการด้วยวิธีฮีสโตแกรม และแผนภูมิควบคุมแล้ว ยังมีวิธีอื่นอีก เช่น การเขียนค่าความน่าจะเป็น (probability plot) และการใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (experimental design)

3.2 การควบคุมคุณภาพยางผสม

การผสมยางคอมเปาด์ คือการนำยางมาผสมกับสารเคมีและตัวเติมต่าง ๆ ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน การผสมส่วนใหญ่ทำเป็นครั้ง ๆ หรือแบช (Batch) ไม่ต่อเนื่องกัน จึงจำเป็นต้องควบคุมให้ยางคอมเปาด์ที่ได้ให้มีการผสมสารต่าง ๆ ครบถ้วนตามสูตรยาง และมีคุณสมบัติสม่ำเสมอเหมือนกันทุกครั้ง โดยการทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ มีดังนี้

3.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

เพื่อตรวจสอบว่า การชั่งและการผสมผิดปกติหรือไม่ การวัดความถ่วงจำเพาะเป็นการทดสอบพื้นฐานที่ทำได้ง่าย ไม่สิ้นเปลือง และมีประโยชน์ในการควบคุมวัตถุดิบและการแปรรูป ความถ่วงจำเพาะของยางคอมเปาด์ หาได้ 2 วิธี คือ

1. ใช้เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ เครื่องหาความถ่วงจำเพาะที่ใช้ในห้องทดสอบเป็นเครื่องชั่งประเภทหนึ่งที่สามารถชั่งน้ำหนักยางในอากาศและในน้ำกลั่นได้โดยตรง ยางตัวอย่างที่ใช้หนักเพียง 2 - 3 กรัมเท่านั้น คำนวณความถ่วงจำเพาะของยางตัวอย่างได้ ดังนี้

ความถ่วงจำเพาะ = (น้ำหนักในอากาศ) / (น้ำหนักที่หายไปในน้ำ)

หรือ S.G. = $W / (W - W_1)$

เมื่อ W เป็นน้ำหนักยางตัวอย่างชั่งในอากาศ (กรัม)

W_1 เป็นน้ำหนักชั่งในน้ำกลั่น (กรัม)

ถ้ายางไม่จมน้ำ แสดงว่ายางมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า 1 (น้ำกลั่นมีความถ่วงจำเพาะ = 1) จำเป็นต้องใช้ตุ้มถ่วง คำนวณความถ่วงจำเพาะ ดังนี้

$$S.G. = W / (W + W_2 - W_3)$$

เมื่อ W_2 เป็นน้ำหนักตุ้มถ่วงในน้ำ (กรัม)

W_3 เป็นน้ำหนักยางตัวอย่างกับตุ้มถ่วงในน้ำ (กรัม)

2. ใช้สารละลายมาตรฐาน สารละลายมาตรฐานเป็นของผสมของของเหลว 2 ชนิด ชนิดหนึ่งมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่ายางตัวอย่าง อีกชนิดหนึ่งมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่ายางที่ต้องการทดสอบ นำของเหลวทั้งสองมาผสมกันในอัตราส่วนที่จะให้ของผสมมีความถ่วงจำเพาะต่าง ๆ จากน้อยไปหามาก เช่น ผสมเอทานอล (ความถ่วงจำเพาะ 0.80) กับคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (ความถ่วงจำเพาะ 1.60) ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน จะได้สารละลายมาตรฐานที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 0.80 ถึง 1.60 ได้ ถ้าเตรียมของผสมนี้ใส่ภาชนะไว้ จะสามารถใช้หาความถ่วงจำเพาะของยางคอมเปาด์ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ปริมาณของเหลวที่ใช้เพื่อผสมให้ได้ความถ่วงจำเพาะหนึ่ง ๆ คำนวณได้ดังนี้

$$S.G. = (d_1V_1 + d_2V_2) / (V_1 + V_2)$$

เมื่อ S.G. เป็นความถ่วงจำเพาะของสารละลายมาตรฐาน

d_1 และ V_1 เป็นความถ่วงจำเพาะและปริมาตรของของเหลวที่หนึ่ง

d_2 และ V_2 เป็นความถ่วงจำเพาะและปริมาตรของของเหลวที่สอง ตามลำดับ

การเตรียมสารละลายมาตรฐานนี้ อาจใช้วิธีคำนวณตามสมการข้างต้นหรืออาจวัดความถ่วงจำเพาะของของผสมโดยตรงด้วยไฮโดรมิเตอร์ก็ได้

วิธีทดสอบ ทำโดยการนำตัวอย่างยางขนาดเท่าเมล็ดถั่ว มาจุ่มลงในสารละลายมาตรฐานที่ทราบความถ่วงจำเพาะแล้ว ถ้ายางไม่จมสู่ก้นภาชนะและไม่ลอยสู่ผิวของเหลวในขวดใด แสดงว่ายางมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับสารละลายในขวดนั้น ควรเก็บของเหลวไว้ที่อุณหภูมิคงที่ เช่นที่ 23 หรือ 27 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิมาตรฐาน และควรตรวจสอบความคงที่ของความถ่วงจำเพาะด้วยไฮโดรมิเตอร์ และปรับให้ความถ่วงจำเพาะตรงตามที่ผสมไว้ตลอดเวลาด้วย

สำหรับสารเคมีหรือตัวเติมที่เป็นผงเป็นเกล็ด หรือเป็นเมล็ดเล็ก ๆ นั้น สามารถนำมาหาความถ่วงจำเพาะได้ โดยใช้ขวดความถ่วงจำเพาะ ซึ่งเป็นขวดแก้วขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร มีจุกน้ำล้นปิด คำนวณความถ่วงจำเพาะได้ ดังนี้

$$S.G. = P / [(P + K) - F]$$

เมื่อ P เป็นน้ำหนักผงเคมีที่เติมเข้าไปในขวดความถ่วงจำเพาะ (กรัม)

K เป็นน้ำหนักขวด + น้ำกลั่น (กรัม)

F เป็นน้ำหนักขวด + ผงเคมี + น้ำกลั่นที่เติมจนเต็ม (กรัม)

3.2.2 ความหนืด (Viscosity) หรือความนิ่ม (Plasticity)

เป็นการทดสอบเพื่อควบคุมสมบัติการไหลของยางว่าถูกต้องหรือไม่ ความหนืดหรือความนิ่มเป็นสมบัติในการแปรรูป ผลการทดสอบจะชี้ขนาดและความสม่ำเสมอของการผสม ซึ่งจะมีต่อความยากง่ายของการแปรรูปของยางในเครื่องจักรแปรรูปประเภทใดประเภทหนึ่ง ที่อุณหภูมิและอัตราเร็วหนึ่ง และจะชี้คุณสมบัติสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ เครื่องวัดความหนืดของยางมี 3 ประเภท คือ

1. เครื่องอัดแบบแผ่นขนาน (Parallel Plate Plastimeter) วิธีทำ : นำยางที่ปริมาตรคงที่และรูปร่างแน่นอนมาวางระหว่างแผ่นขนาน อบที่อุณหภูมิหนึ่ง เช่นที่ 100 °C แล้วออกแรงอัดคงที่ให้ยางยุบตัว ขนาดการยุบตัวเป็นค่าความนิ่มของยางตัวอย่าง

2. เครื่องแบบหมุน เช่น เครื่องทดสอบมูนนี่ (Mooney viscometer) เครื่องทดสอบประเภทนี้ ประกอบด้วยโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ที่ 2 rpm อยู่ภายในตลับใส่ยางที่อบที่อุณหภูมิหนึ่งเช่น 100°C แล้ววัดทอร์คที่แกนของโรเตอร์ เป็นค่าความหนืดของยางตัวอย่าง ดังนั้น จึงสามารถวัดได้ทั้งยางดิบและยางคอมเปาด์ ถ้าทอร์คสูงแสดงว่ายางแข็ง ถ้ายางนิ่ม ทอร์คที่วัดได้จะต่ำ

ค่าความหนืดมูนนี่ เป็นทอร์คที่ 4 นาที โดยเขียนเป็นรูปแบบ ดังนี้

23 ML 1 + 4 (100 °C)

เมื่อ 23 M คือความหนืดมูนนี่ที่วัดได้เท่ากับ 23 หน่วย

L คือโรเตอร์ใหญ่ (ถ้าใช้โรเตอร์เล็กใช้สัญลักษณ์ S)

1 หมายถึงเวลาอุ่นยาง ในที่นี้คืออุ่นยาง 1 นาที

4 หมายถึงเวลาอ่านค่า ในที่นี้คืออ่านค่าเมื่อเดินเครื่องแล้ว 4 นาที

100 °C เป็นอุณหภูมิที่ทดสอบ

3. เครื่องแบบดัน (Extrusion rheometer) เป็นการนำยางตัวอย่างมาอัดให้ไหลผ่านหัวพิมพ์ (die) หรือรูเล็กๆ (capillary) ที่อุณหภูมิและแรงอัดค่าหนึ่งอัตราการไหลของยางเป็นดัชนีที่ใช้วัดความหนืด

3.2.3 การวัดการวัลคาไนซ์

การทดสอบการวัลคาไนซ์ของยาง เป็นการวัดค่าหลัก ๆ ที่แสดงสมบัติของการวัลคาไนซ์ของยาง 3 ค่า คือ

- เวลาสกอช (scorch time)
- เวลาสุก หรือเวลาวัลคาไนซ์ (cure time)
- อัตราการสุก หรืออัตราการวัลคาไนซ์ (cure rate หรือ cure index)

เครื่องทดสอบที่นิยมใช้คือรีห์โอมิเตอร์ (Monsanto rheometer) ซึ่งสามารถวัดได้ทั้ง 3 ค่า พร้อมกันในการทดสอบครั้งเดียว อาจใช้เครื่องมูนนี่หาเวลาสกอชของยางก็ได้เช่นเดียวกัน แต่เครื่องมูนนี่ไม่เหมาะที่จะใช้หาเวลาสุกของยาง

1. การทดสอบด้วยเครื่องมูนนี่ เมื่อบันทึกค่ามูนนี่กับเวลา จะพบว่าเมื่อยางเริ่มสกอชค่าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อค่ามูนนี่สูงกว่าค่าต่ำสุดประมาณ 40 หน่วย ก็หยุดการทดสอบได้ เขียนกราฟระหว่างค่ามูนนี่กับเวลา ค่าที่จะหาได้จากกราฟ นิยามไว้ดังนี้

Mooney scorch time คือเวลาที่ค่ามูนนี่เพิ่มขึ้น 5 หน่วยจากค่าต่ำสุด

Mooney cure index คือเวลาที่บอกว่ายางวัลคาไนซ์เร็วหรือช้า

Mooney cure index = $t_{35} - t_5$

เมื่อ t_{35} คือเวลาที่ความหนืด 35 หน่วย

t_5 คือเวลาที่ความหนืด 5 หน่วย

2. การทดสอบด้วยรีห์โอมิเตอร์ โรเตอร์ของเครื่องเป็นแบบขอบบางเคลื่อนที่แบบแกว่ง คือบิดไปมาเป็นมุมน้อย ๆ (1 - 3 องศา) จากรูปร่างของกราฟ สามารถหาลักษณะการวัลคาไนซ์ ซึ่งนิยามไว้ดังนี้

Scorch time (t_{s2}) เป็นเวลาที่ทอร์คเพิ่มขึ้น 1 dN.m จากค่าต่ำสุด (M_L)

95% Cure time (t_{90}) เป็นเวลาที่ทอร์ค = $M_L + 0.95 (M_H - M_L)$

เมื่อ M_H เป็นค่าทอร์คสูงสุด

Cure rate index (CRI) $CRI = 100 / (t_{90} - t_{s2})$

3.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง คือการกำหนดเงื่อนไขสำหรับการทดลองที่จะทำให้สามารถตีความหมายถึงสาเหตุและผลที่ต้องการตัดสินใจได้ หรือหมายถึง การกำหนดเงื่อนไขที่จะทำให้ข้อมูลมีความแตกต่างจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ (controllable effect) มากที่สุด หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึง การพยายามทำให้ความแตกต่างของข้อมูล มีสาเหตุมาจากสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยสิ้นเชิงเท่านั้น เพื่อให้เกิดข้อมูลที่มีสาระมากที่สุดสำหรับการตัดสินใจ [กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ , 2540]

การออกแบบการทดลอง เป็นเครื่องมือทางคุณภาพที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ เพื่อทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น มีผลิตภัณฑ์บกพร่องน้อยลง การออกแบบการทดลองเป็นการวางแผนอย่างมีระบบ ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากกระบวนการผลิตว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นและพารามิเตอร์ใดมีผลกระทบมากที่สุดต่อปัญหานั้น ๆ และจะสามารถแก้ไขปัญหาด้วยการปรับพารามิเตอร์อย่างไร การออกแบบการทดลองมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้ คือ

1. กำหนดปัญหาที่จะทำการแก้ไข

การกำหนดปัญหาอย่างชัดเจนและการทำความเข้าใจกับปัญหาอย่างถ่องแท้ จะทำให้สามารถที่จะกำหนดการทดลองได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม ในบางปัญหาอาจจะมีตัวตอบสนองทางด้านคุณภาพที่เข้ามาเกี่ยวข้องหลายอย่าง ตัวตอบสนองเหล่านี้จะต้องถูกกำหนดไว้เช่นเดียวกัน

2. กำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองจะเป็นลักษณะของประสิทธิภาพ ระดับคุณภาพ แต่สิ่งสำคัญคือสิ่งเหล่านี้สามารถที่จะวัดออกมาได้อย่างชัดเจน เพื่อที่จะสามารถพิจารณาได้ว่าวัตถุประสงค์นั้นเป็นไปตามเป้าหมายที่คาดการณ์ไว้หรือไม่

3. กำหนดวิธีการของการวัด

ต้องทำความเข้าใจว่าจะสามารถประเมินผลของการปฏิบัติการได้อย่างไร หลังจากการออกแบบการทดลองได้ถูกปฏิบัติเสร็จสิ้นไปแล้ว การวิเคราะห์ระบบการวัดอาจจะต้องถูกปฏิบัติด้วย เพื่อที่จะปรับปรุงและพัฒนาในส่วนของความเที่ยงตรงและความถูกต้องของระบบการวัด

4. การบ่งชี้พารามิเตอร์ที่คิดว่าอาจมีผลต่อผลตอบสนองทางด้านคุณภาพที่เราต้องการจะประเมิน

ในกรณีนี้เพื่อที่จะให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ผู้ปฏิบัติการควรจะทำงานกันเป็นทีม ซึ่งจะประกอบด้วยวิศวกร หัวหน้างาน ช่างเทคนิค พนักงานปฏิบัติการ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เครื่องมือที่นำมาใช้ในการนี้จะประกอบด้วย การระดมสมอง แผนภูมิการไหล แผนภูมิเหตุและผล สิ่งเหล่านี้จะช่วยในการทำให้ทีมมีความคิดสร้างสรรค์มากขึ้นในการที่จะค้นหาพารามิเตอร์ที่สำคัญ ในกรณีนี้ควรจะมีการค้นหาทุกพารามิเตอร์ที่เป็นไปได้มาศึกษาว่าแต่ละพารามิเตอร์จะมีผลต่อตัวตอบสนองทางคุณภาพที่เราสนใจอย่างไร

5. แยกพารามิเตอร์

พารามิเตอร์จะถูกแยกออกเป็น 2 ประเภทคือ พารามิเตอร์หลักและพารามิเตอร์รอง เพื่อที่จะสามารถปฏิบัติการเกี่ยวกับแต่ละพารามิเตอร์ได้ถูกต้องในขั้นตอนต่อไป

6. กำหนดจำนวนระดับและค่าของพารามิเตอร์

ระดับความอิสระ (degree of freedom) จะเป็นตัวกำหนดระดับของแต่ละพารามิเตอร์ ในกรณีที่มีพารามิเตอร์ในการศึกษามาก จำนวนระดับของพารามิเตอร์ที่จะศึกษาอาจจะใช้ในระดับต่ำ

7. บ่งชี้ถึงพารามิเตอร์หลักที่อาจจะมีการปฏิสัมพันธ์ (interaction) กัน

ปฏิสัมพันธ์ที่ทำการศึกษาจะมีการใช้ระดับความอิสระ และในขณะเดียวกันจะมีผลต่อขนาดของการทดลองด้วยการกำหนดขนาดของการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับจำนวนพารามิเตอร์ที่จะศึกษา จำนวนระดับของพารามิเตอร์ และจำนวนปฏิสัมพันธ์ที่ต้องการทราบ

8. เลือกรูปแบบการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม

การออกแบบการทดลองสามารถออกแบบได้หลากหลาย แต่ละชนิดจะมีจุดดีและจุดอ่อนแตกต่างกันไป การเลือกแบบที่เหมาะสมจะทำให้สามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักของการเลือกรูปแบบที่เหมาะสมคือ รูปแบบนั้นต้องสามารถศึกษาถึงรูปแบบต่าง ๆ ของพารามิเตอร์ที่เราต้องการได้

9. ทำการทดลอง

การทำตารางเก็บข้อมูลเป็นแนวทางที่ดีก่อนที่จะทำการทดลอง เพื่อที่จะป้องกันปัญหาของการเก็บข้อมูลผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น และป้องกันปัญหาเกี่ยวกับการกำหนดระดับของพารามิเตอร์ผิดพลาด การทำการทดลองต้องมีการวางแผนล่วงหน้าเป็นอย่างดี และต้องกำหนดหน้าที่รับผิดชอบของแต่ละบุคคลที่เกี่ยวข้อง เพราะถ้ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในระหว่างการทดลองหรือการเก็บข้อมูล จะทำให้สิ่งต่าง ๆ ที่ทำไว้ตั้งแต่ขั้นตอนแรกสูญเสียไปด้วย หรืออาจได้ข้อมูลการทดลองที่ผิดพลาดและทำให้ได้บทสรุปที่ไม่ถูกต้อง

10. การวิเคราะห์ข้อมูล

มีวิธีการอย่างหลากหลายในการใช้วิเคราะห์ข้อมูล โดยทั่วไปแล้ววิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของการออกแบบการทดลองคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และการเสนอข้อมูลในรูปแบบของกราฟ ถ้ามีข้อมูลบางส่วนที่ผิดพลาดต้องมีการเก็บข้อมูลซ้ำเพื่อทำให้การวิเคราะห์ได้ถูกต้อง

11. แปรข้อมูลจากการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ สามารถทำให้สรุปได้ว่าพารามิเตอร์ใดมีผลต่อผลตอบสนองทางด้านคุณภาพต่าง ๆ อย่างไรบ้าง

12. เลือกเอาจุดที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการผลิต

จากข้อมูลที่เก็บมาได้แล้วทำการวิเคราะห์จะทำให้ทราบว่า พารามิเตอร์มีผลต่อผลตอบสนองทางคุณภาพ สามารถที่จะปรับไปที่ระดับใดเพื่อที่จะได้ผลลัพธ์หรือผลตอบสนองที่ดีที่สุด พารามิเตอร์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ พารามิเตอร์ที่มีผลต่อผลตอบสนองที่เราศึกษา และพารามิเตอร์ที่ไม่มีผลต่อผลตอบสนอง สำหรับพารามิเตอร์ที่มีผลจะถูกปรับไปที่จุดที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด และพารามิเตอร์ที่ไม่มีผลต่อผลตอบสนองที่เราศึกษา อาจจะถูกปรับไปที่จุดที่ประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด

13. ทดลองซ้ำเพื่อยืนยัน

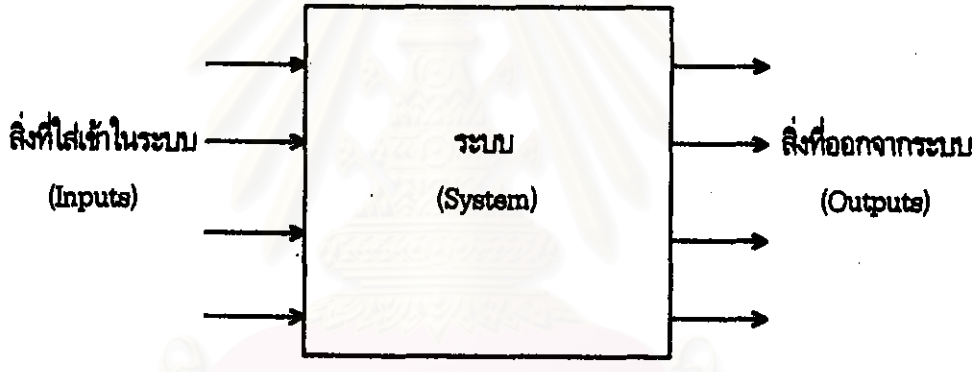
เป็นการทดลองเพื่อยืนยันว่า พารามิเตอร์ที่ถูกเลือกเป็นพารามิเตอร์ที่ดีและสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้จริง พารามิเตอร์ทุกชนิดจะถูกปรับไปที่จุดที่วิเคราะห์แล้วว่าดีที่สุด การทดลองซ้ำนี้จะใช้ตัวอย่างค่อนข้างมาก และทดลองจริงกับผู้ที่ปฏิบัติการอยู่ในกระบวนการผลิต ถ้าผลการทดลองเป็นไปตามสิ่งที่คาดการณ์ไว้ แสดงว่าสามารถที่จะใช้พารามิเตอร์เหล่านี้กับกระบวนการผลิตได้จริง แต่ถ้าผลการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันนี้ไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์เอาไว้ แสดงว่าพารามิเตอร์หลักบางตัวถูกละเลยไป จะต้องย้อนกลับไปที่ขั้นตอนที่ 4 (การบ่งชี้พารามิเตอร์) เพื่อที่จะค้นหาพารามิเตอร์หลักเพิ่มขึ้น แล้วทำการทดลองขั้นตอนต่อไป

3.4 ความแปรปรวน

ความแปรปรวนในที่นี้หมายถึง ความแปรปรวนในทางสถิติ (Statistical variation) หมายถึง การมีความแตกต่างบนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเฉพาะในตัวมันเอง หรืออธิบายได้ง่าย ๆ คือ การที่ผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน 2 หน่วย มีลักษณะที่ไม่เหมือนกันเลยทีเดียว

3.4.1 สาเหตุของความแปรปรวน

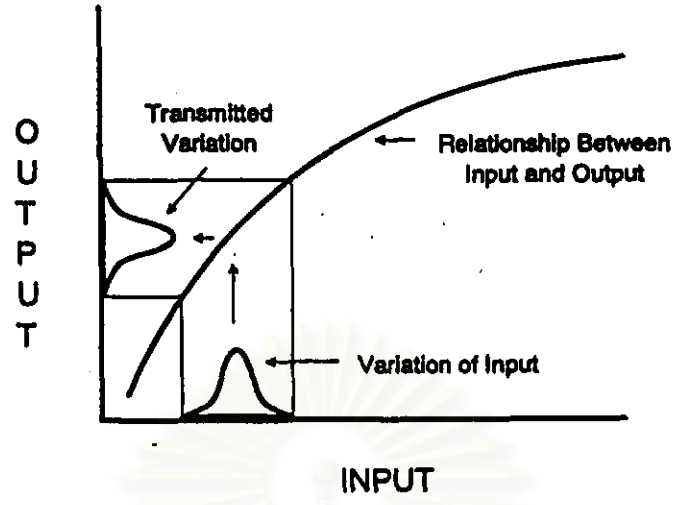
จากรูปที่ 3.4 ระบบจะผลิตสิ่งที่ต้องการเฉพาะเจาะจงออกมา (output) ในการผลิตหรือสร้างสิ่งเหล่านี้ออกมา ระบบจะต้องมีสิ่งที่ใส่เข้าไปในระบบ (input) เช่น วัตถุดิบ แรงงาน อื่น ๆ และระบบก็จะดำเนินไปเพื่อให้ได้สิ่งที่ต้องการ



รูปที่ 3.4 ตัวแบบของระบบที่มีสิ่งที่ใส่เข้าในระบบและสิ่งที่ออกจากระบบ

ในกระบวนการผลิตก็เช่นเดียวกัน สิ่งที่เราใส่เข้าไปในระบบ เช่น ตัวแปรที่ออกแบบไว้ คุณสมบัติของวัตถุดิบ ตัวแปรควบคุมของเครื่องจักร และอื่น ๆ โดยสิ่งที่ได้จากระบบคือ ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะและคุณสมบัติที่ต้องการ

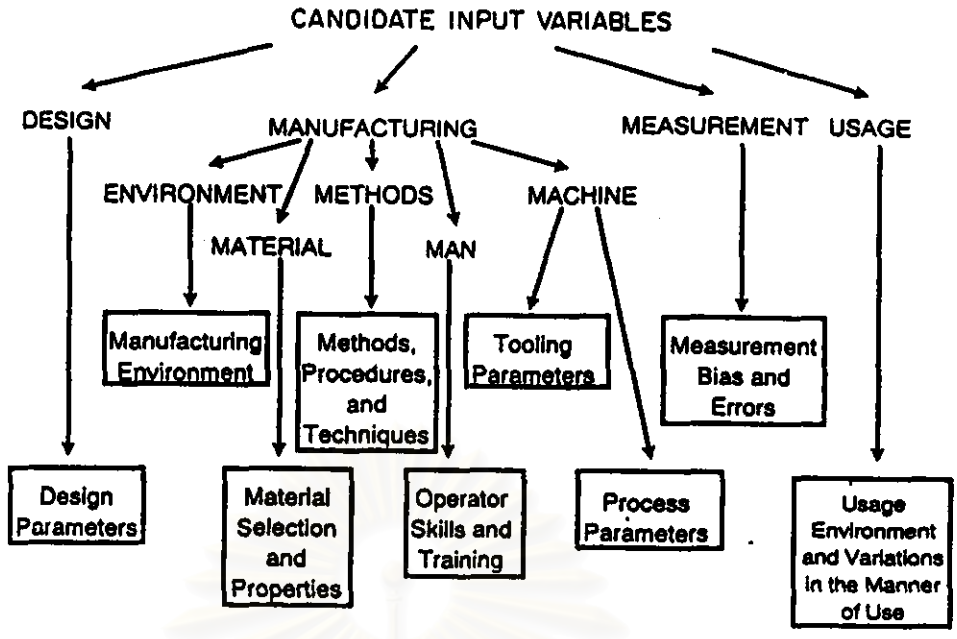
อะไรคือสาเหตุของความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ สามารถอธิบายได้ดังกล่าวข้างต้น คือ ความแปรปรวนของสิ่งที่ออกจากระบบ จะมีสาเหตุมาจากความแปรปรวนของสิ่งที่ใส่เข้าไปในระบบ ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจะเห็นว่าความแปรปรวนของสิ่งที่ออกจากระบบ จะสัมพันธ์โดยตรงกับความแปรปรวนของสิ่งที่ใส่เข้าในระบบ และความแปรปรวนนี้จะก่อให้เกิดความแปรปรวนของสิ่งที่ออกจากระบบ



รูปที่ 3.5 การส่งผ่านของความแปรปรวน

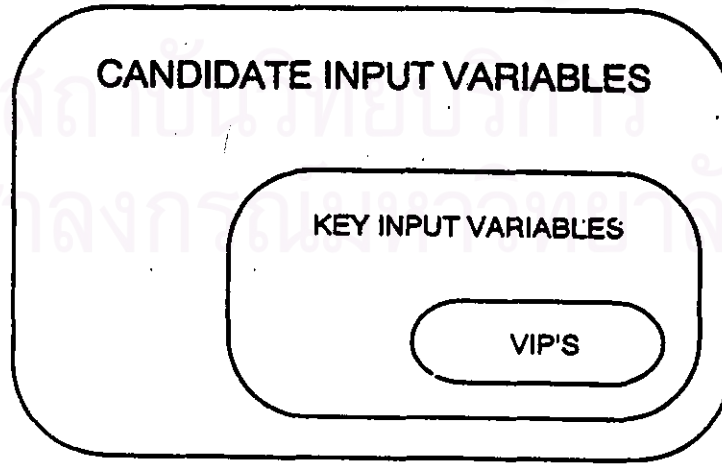
สิ่งที่ใส่เข้าไปในระบบมีอยู่หลายประเภท ได้แก่ คุณสมบัติของวัตถุดิบ ตัวแปรควบคุมในกระบวนการ ตัวแปรควบคุมของเครื่องจักร สภาวะแวดล้อม และอื่น ๆ สิ่งต่าง ๆ ที่ใส่เข้าไปในระบบดังกล่าวรวมเรียกว่าตัวแปรเข้าที่มีโอกาสทำให้เกิดความแปรปรวนในระบบ (candidate input variables) ดังรูปที่ 3.6 ได้แก่

- ตัวแปรของการออกแบบ (Design Parameters)
- การเลือกวัตถุดิบและคุณสมบัติของวัตถุดิบ (Material Selection and Properties)
- ตัวแปรของกระบวนการ (Process Parameters)
- ตัวแปรของอุปกรณ์และเครื่องจักร (Tooling Parameters)
- วิธีการ ขั้นตอนการปฏิบัติงานและเทคนิค (Methods , Procedures and Techniques)
- ทักษะความชำนาญของพนักงานปฏิบัติการและการฝึกอบรม (Operator Skill and Training)
- สภาวะแวดล้อมของการผลิต (Manufacturing Environment)
- สภาพแวดล้อมที่ใช้และความแปรปรวนที่เกิดจากการใช้งานเอง
  (Usage Environment and Variations in the Manner of use)
- ความลำเอียงและความผิดพลาดจากการวัด (Measurement Bias and Errors)



รูปที่ 3.6 ตัวแปรที่มีโอกาสทำให้เกิดความแปรปรวนในระบบ

ตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นมีส่วนทำให้เกิดความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์และกระบวนการได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรเหล่านั้นทั้งหมดมีผลต่อความแปรปรวน ตัวแปรที่มีผลหรือทำให้เกิดความแปรปรวนในผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการจะเรียกว่า ตัวแปรเข้าที่มีผลโดยตรงกับการเกิดความแปรปรวน (Key Inputs variable) ตัวแปรประเภทนี้จะส่งผลโดยตรงกับค่าเฉลี่ย (average) และจะส่งผลต่อความแปรปรวนด้วย ตัวแปรเข้าที่มีผลโดยตรงกับการเกิดความแปรปรวนนี้ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า VIPs (Variation Inducing Parameters) ซึ่ง VIPs นี้หมายถึง ตัวแปรเข้าที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดความแปรปรวน หากสามารถระบุ VIPs ได้ ก็จะสามารถลดความแปรปรวนลงได้ รูปที่ 3.7 แสดงตัวแปรประเภทต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการทำให้เกิดความแปรปรวน



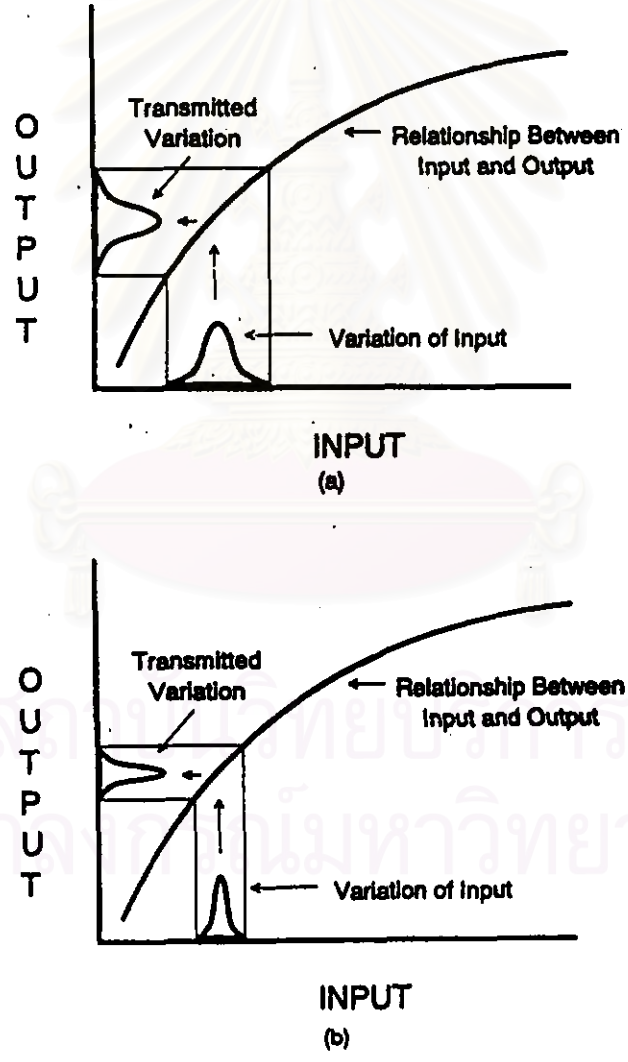
รูปที่ 3.7 ตัวแปรประเภทต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อการทำให้เกิดความแปรปรวน

3.4.2 การลดความแปรปรวน

วิธีการลดความแปรปรวนโดยทั่วไป มี 3 วิธีการ ได้แก่

1. การลดความแปรปรวนของ VIPs (Reducing the variation of the VIPs)
2. การทำให้ระบบมีความไวต่อ VIPs น้อยลง (Making the system less sensitive to VIPs)
3. การเปลี่ยนความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ใส่เข้าในระบบและสิ่งที่ออกจากระบบ (Changing the relationship between the inputs and outputs)

1. การลดความแปรปรวนของ VIPs



รูปที่ 3.8 การลดความแปรปรวนของ VIPs (ก) ก่อนลดความแปรปรวน (ข) หลังจากลดความแปรปรวน

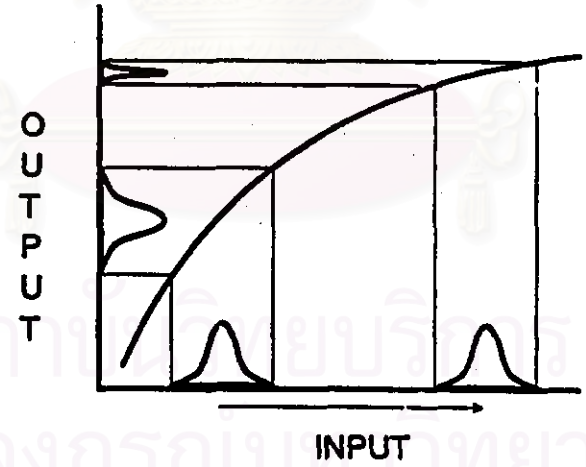
จากรูปที่ 3.8 หากต้องการลดความแปรปรวนของสิ่งที่ออกจากระบบ จะสามารถทำได้โดยการลดความแปรปรวนของ VIPs หากสามารถลดความแปรปรวนของ VIPs ได้ครึ่งหนึ่ง จะทำให้ความแปรปรวนของสิ่งที่ออกจากระบบลดลงครึ่งหนึ่งด้วย แต่การลดความแปรปรวนโดยวิธีนี้ มีข้อแนะนำ 2 ประการคือ

1.1 การลดความแปรปรวนของ VIPs หมายถึงการควบคุมที่เข้มงวด ซึ่งจะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น ตัวอย่าง ถ้า VIPs เป็นคุณสมบัติของวัตถุดิบ นั่นหมายถึง การเพิ่มคุณภาพของวัตถุดิบที่ต้องการ ซึ่งราคาจะสูงขึ้น หรือหากว่า VIPs เป็นตัวแปรของกระบวนการ (process parameter) อาจจำเป็นต้องติดตั้งระบบควบคุมใหม่ หรือถ้า VIPs เป็นตัวแปรของการออกแบบผลิตภัณฑ์ อาจจะต้องเปลี่ยนวิธีการผลิต

1.2 การลดความแปรปรวนของสิ่งที่เข้าในระบบ อาจเป็นสิ่งที่ลูกค้าไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ถ้าอุณหภูมิเป็น VIPs และต้องการลดอุณหภูมิจนถึงค่าหนึ่งซึ่งต่ำกว่าพิกัดเผื่อของอุณหภูมิที่ลูกค้ากำหนด บางครั้งในกรณีเช่นนี้ไม่อาจเปลี่ยนแปลงสิ่งที่ลูกค้าต้องการได้

2. การทำให้ระบบมีความไวต่อ VIPs น้อยลง

วิธีการนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า robustness ซึ่งจะทำให้ความแปรปรวนของสิ่งที่ออกจากระบบลดลงแต่ความแปรปรวนของ VIPs ยังมีค่าเท่าเดิม การทำให้สิ่งที่ออกจากระบบมีความไวต่อความแปรปรวนของ VIPs นี้ ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่เข้าในระบบและสิ่งที่ออกจากระบบจะต้องมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นตรง ดังรูปที่ 3.9

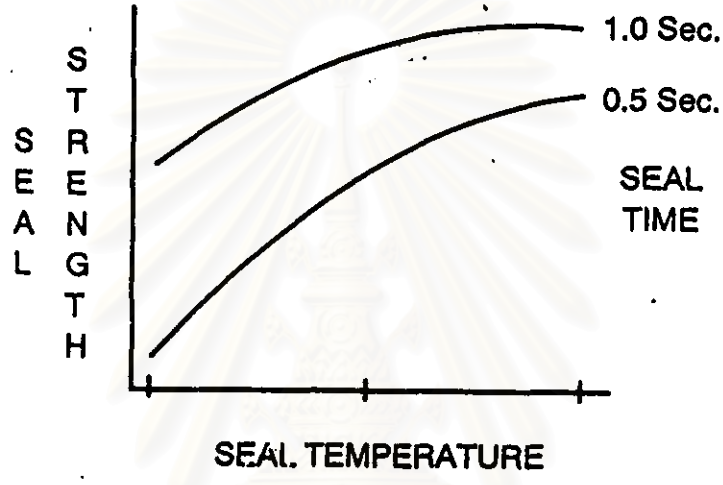


รูปที่ 3.9 ผลกระทบจากการปรับค่า VIPs

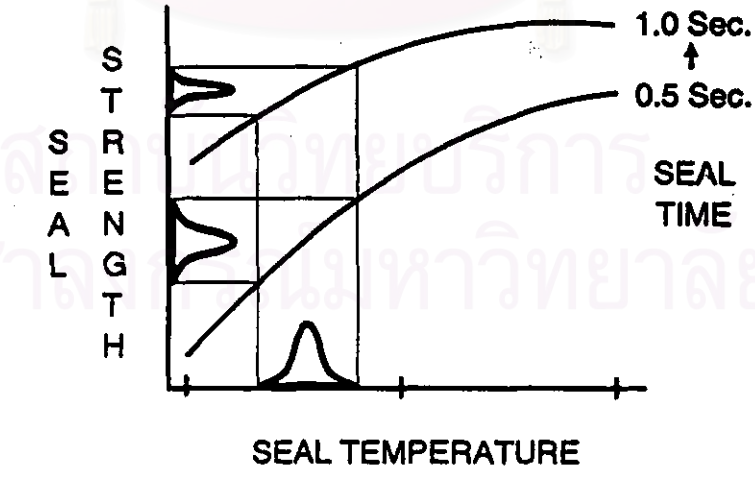
หรือแบบที่สองของความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงที่เรียกว่า แบบมีผลกระทบซึ่งกันและกัน (interaction) ดังรูปที่ 3.10 ในตัวอย่างดังรูปที่ 3.10 จะประกอบด้วย 2 ตัวแปร ตัวแปรเข้าคืออุณหภูมิในการผนึกพลาสติกและเวลาในการผนึก โดยอุณหภูมิของการผนึกเป็น VIPs การปรับตัวแปรหลักอีก

ตัวหนึ่งคือ เวลาที่ใช้ในการผนึกจะส่งผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของสิ่งที่ออกจากระบบดังรูปที่ 3.11 ตัวแปรร่วมที่ปรับแล้วส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของสิ่งที่ออกจากระบบ และตัวแปรดังกล่าวสัมพันธ์กับ VIPs เราเรียกตัวแปรนี้ใหม่ว่า Variation adjustment parameters (VAPs) ดังรูปที่ 3.12 วิธีการลดความแปรปรวนโดยวิธีนี้มีข้อดี 2 ประการ คือ

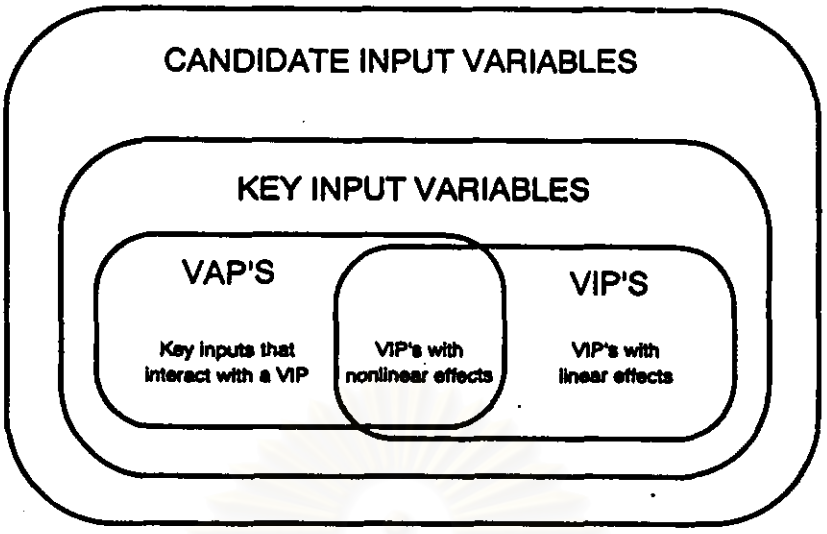
1. ต้นทุนต่ำกว่าวิธีลดความแปรปรวนของ VIPs ซึ่งต้องมีการควบคุมแบบเข้มงวด และต้องลงทุนสูง
2. สามารถใช้ลดความแปรปรวนที่เกิดจาก VIPs ได้ โดยที่ไม่ต้องมีการควบคุมแบบเข้มงวด



รูปที่ 3.10 ตัวแปรซึ่งมีผลกระทบซึ่งกันและกัน



รูปที่ 3.11 ผลของการมีผลกระทบต่อกันของตัวแปรและ VIPs



รูปที่ 3.12 ประเภทต่าง ๆ ของตัวแปรเข้าในระบบ

3. การเปลี่ยนความสัมพันธ์ของสิ่งที่เข้าในระบบและสิ่งที่ออกจากระบบ

วิธีการนี้ทำได้ง่ายและต้นทุนต่ำ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงพื้นฐาน ตัวอย่างเช่น ต้องการลดความแปรปรวนเนื่องจากความยาวของงานชิ้นหนึ่ง ซึ่งต้องการตัดให้มีความยาว 1 นิ้ว จำนวน 2 ชิ้น เพื่อประกอบต่อกัน ซึ่งการตัด 2 ชิ้น จะทำให้มีความแปรปรวนรวมมีค่ามากกว่าการตัดชิ้นงานให้ยาว 2 นิ้ว เพียงครั้งเดียว

3.5 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

3.5.1 ความหมายและหลักการ

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบหรือ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) หมายถึงการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น FMEA เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมตัวหนึ่งที่ใช้ในการนิยาม ปงชี้ และกำจัดทิ้งซึ่งสาเหตุของข้อบกพร่องทั้งที่เกิดขึ้นแล้ว (Actual Cause) และมีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้น (Potential Cause) โดยข้อบกพร่องดังกล่าวอาจจะอยู่ในรูปของปัญหาหรือความคลาดเคลื่อนก็ได้ และการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้จะต้องดำเนินการก่อนส่งมอบสินค้าหรือการบริการให้กับลูกค้า เพื่อการประกันคุณภาพที่สมบูรณ์แบบ โดยการวิเคราะห์เพื่อการประเมินผลจะดำเนินการได้ 2 แนวทาง คือ ประการแรก ใช้ข้อมูลในอดีตของผลิตภัณฑ์หรือการบริการนั้น หรือใช้ข้อมูลจากผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน หรือข้อมูลที่ได้จากฝ่ายประกันสินค้า หรือข้อมูลจากคำร้องเรียนของลูกค้า หรือข้อมูลอื่น ๆ ที่จะทำให้ระบุถึงข้อบกพร่องได้ และอีกประการหนึ่ง คือ ใช้สถิติอนุมาน (Inferential Statistics) ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ การจำลองผล

(Simulation) QFD และวิศวกรรมไว้วางใจ (Reliability Engineering) สำหรับการชี้ปงและนิยามถึงข้อบกพร่อง

FMEA จึงเป็นเทคนิคที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการดำเนินการเพื่อการป้องกันข้อบกพร่องและความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นก่อนส่งมอบสินค้าและบริการถึงมือลูกค้า และเทคนิค FMEA นี้จะทำให้เกิดการชี้ปงถึงแนวทางในการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อป้องกันข้อบกพร่องก่อนที่จะส่งมอบถึงมือลูกค้า ทั้งนี้เพื่อเป็นการทำให้เกิดความมั่นใจถึงความทนทาน (Durability) คุณภาพ และความไว้วางใจ (Reliability) ต่อผลิตภัณฑ์และการบริการ

FMEA ที่ดี จะทำให้สามารถ

- ชี้ปงถึงข้อบกพร่องทั้งที่เกิดขึ้นและมีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้น
- ชี้ปงถึงสาเหตุและผลของแต่ละข้อบกพร่อง
- จัดลำดับความสำคัญ และชี้ปงถึงข้อบกพร่องตามตัวเลขกำหนดลำดับก่อนหลังตามความเสี่ยง (Risk Priority Number - RPN) ซึ่งพิจารณาจากความถี่ในการเกิด ความรุนแรง และแนวโน้มที่ข้อบกพร่องจะเกิดขึ้นกับลูกค้า
- กำหนดถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นตามมาและการแก้ไข

3.5.2 การประเมินค่า RPN (Risk Priority Number) หรือดัชนีความเสี่ยง

สามารถประเมินได้จากสูตร $RPN = S \times O \times D$

RPN = เลขกำหนดลำดับก่อนหลังตามความเสี่ยง (Risk Priority Number)
S = ความรุนแรงของผลจากข้อบกพร่อง (Severity)
O = ความถี่ของการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence)
D = ความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องก่อนส่งมอบถึงลูกค้า (Detection)

สำหรับระดับคะแนนของแต่ละค่าในสูตร สามารถเปิดดูตารางในหนังสือของ D.H. Stamatis ปี 1996 หรือหนังสือเกี่ยวกับ FMEA นอกจากนี้แต่ละบริษัทสามารถประยุกต์สร้างตารางระดับคะแนนเองได้ตามความเหมาะสมของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์นั้น ๆ

เกณฑ์การจัดลำดับค่า RPN จะขึ้นกับช่วงความเชื่อมั่นทางสถิติ ถ้าคะแนน RPN เท่ากันให้พิจารณาลำดับก่อนหลังจาก S ถ้าคะแนน S เท่ากันอีก ให้พิจารณาลำดับก่อนหลังจาก D

3.5.3 ประเภทของ FMEA

FMEA แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. FMEA ในงานระบบ (System FMEA) ใช้ในการวิเคราะห์ระบบและระบบย่อยต่าง ๆ ในขั้นตอนการออกแบบแนวคิด (Concept Design) โดย FMEA ในงานระบบจะเน้นที่การวิเคราะห์หาข้อบกพร่องแนวโน้มที่เกิดกับการทำงาน (Function) ของระบบอันเนื่องจากความไม่มีประสิทธิภาพของระบบ ทั้งนี้จะครอบคลุมถึงการศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างระบบกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบด้วย

2. FMEA ในการออกแบบ (Design FMEA) ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบได้ก่อนให้ฝ่ายผลิตดำเนินการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป โดย FMEA ประเภทนี้จะเน้นถึงข้อบกพร่องอันเนื่องจากความไม่มีประสิทธิภาพของการออกแบบ

3. FMEA ในกระบวนการผลิต (Process FMEA) ใช้ในการวิเคราะห์การผลิตและกระบวนการประกอบ โดย FMEA ประเภทนี้จะเน้นถึงข้อบกพร่องอันเนื่องจากความไม่มีประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตและการประกอบ

4. FMEA ในงานบริการ (Service FMEA) ใช้ในการวิเคราะห์ถึงกระบวนการบริการก่อนจะส่งมอบให้กับลูกค้า โดย FMEA ประเภทนี้จะเน้นถึงข้อบกพร่อง (ความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อน) อันเนื่องจากความไม่มีประสิทธิภาพของระบบและกระบวนการ

ในการใช้ FMEA นี้ จะทำให้เกิดระบบเอกสารที่มีชีวิต ทั้งนี้เพราะว่าในขณะที่มีการใช้ FMEA นี้จะต้องมีการปรับปรุงสารสนเทศใน FMEA ให้ทันสมัยอยู่เสมอ ดังนั้น อาจจะมีผลทำให้ FMEA ไม่มีวันสิ้นสุดหรือทำเสร็จแล้วอย่างสมบูรณ์ที่หลายคนคาดหมาย เพราะหากพิจารณาในรายละเอียดแล้ว อาจจะกล่าวได้ว่า FMEA จะเสร็จสมบูรณ์เมื่อระบบ แบบ ผลิตภัณฑ์ และการบริการที่พิจารณานั้นเสร็จสมบูรณ์หรือเลิกดำเนินการเท่านั้น สำหรับ FMEA ในกระบวนการผลิตจะถือว่าเสร็จสมบูรณ์เมื่อขั้นตอนการปฏิบัติการทั้งหมดได้รับการชี้บ่งและประเมิน รวมทั้งมีการจัดทำแผนการควบคุม (Control Plan)

3.6 การประกันคุณภาพ

การประกันคุณภาพ คือ กิจกรรมต่าง ๆ ที่มีขึ้นเพื่อประเมินคุณภาพ ซึ่งทำโดยบุคคลภายนอกหรือผู้ตรวจสอบอิสระที่ไม่เกี่ยวข้องกับงานนั้น ๆ เพื่อให้เหล่าผู้บริหารเพิ่มความเชื่อมั่นว่าทุกอย่างดำเนินไปด้วยดี กล่าวอีกนัยหนึ่ง กระบวนการในการประเมินคุณภาพและการรายงานผลเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นเรียกว่า การประกันคุณภาพ และการประกันคุณภาพจะรวมถึงการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของความผิดพลาดในการควบคุม และจะมีส่วนร่วมในการแก้ไขด้วย [ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย , 2533]

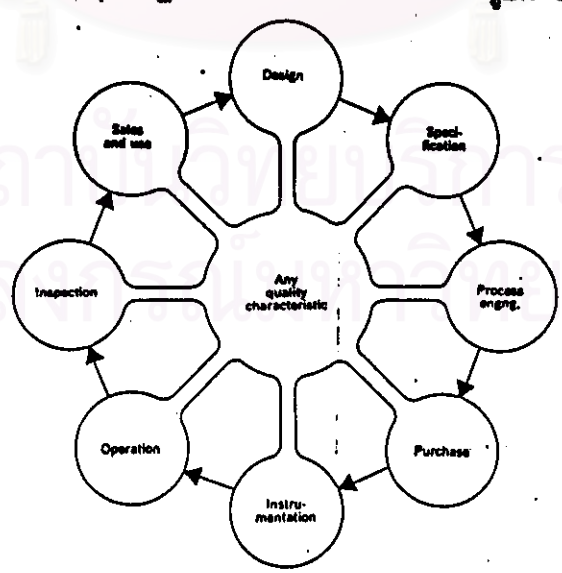
3.6.1 คุณลักษณะทางคุณภาพ (The Quality Characteristic)

คุณลักษณะทางคุณภาพ คือ คุณสมบัติทางฟิสิกส์หรือทางเคมี เช่น ขนาด , อุณหภูมิ , ความดัน หรือความต้องการอื่น ๆ ที่ต้องการให้มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ แนวคิดของคุณลักษณะทางคุณภาพจะปรากฏให้เห็นเด่นชัดในการประกันคุณภาพ เพราะทำให้สามารถระบุคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ตั้งแต่แรกเริ่ม คุณภาพของผลิตภัณฑ์เกิดจากคุณลักษณะทางคุณภาพหลาย ๆ อย่างประกอบกัน ดังนั้นคุณภาพที่ยอมรับจะหมายถึง คุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นเป็นไปตามมาตรฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งลูกค้าพอใจที่จะยอมรับผลิตภัณฑ์นั้นด้วย ขอบเขตงานประกันคุณภาพจึงรวมถึงการจัดตั้งมาตรฐานคุณภาพการประเมินผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามมาตรฐานที่ได้จัดตั้งไว้ การปฏิบัติการแก้ไขเมื่อผิดไปจากมาตรฐานและการวางแผนปรับเปลี่ยนมาตรฐาน กิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นไปตามวัฏจักรของผลิตภัณฑ์

3.6.2 วัฏจักรของผลิตภัณฑ์ (The product cycle)

วัฏจักรของผลิตภัณฑ์ เริ่มที่การออกแบบและการกำหนดคุณลักษณะทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นก็จะเข้าสู่การศึกษากระบวนการที่ต้องการ เมื่อวิเคราะห์แล้วว่ากระบวนการมีสมรรถภาพที่จะผลิตได้ก็จะเริ่มซื้อวัตถุดิบ อุปกรณ์ และพัฒนาขั้นตอนการผลิต ในส่วนของพนักงานจะได้รับการฝึกอบรมเพื่อเตรียมการผลิต หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะผ่านการตรวจสอบ และหากพบว่าคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ก็จะส่งให้ลูกค้า เมื่อลูกค้าใช้สินค้าไประยะหนึ่ง ผู้ออกแบบต้องทบทวนสิ่งที่สะท้อนกลับจากลูกค้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบใหม่ ซึ่งก็จะเข้าสู่วัฏจักร เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป

ลำดับของกิจกรรมต่าง ๆ ในวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วัฏจักรของผลิตภัณฑ์ [Juran , Quality Control Handbook , 1962]

การประกันคุณภาพ จะช่วยส่งเสริมให้เกิดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในช่วงต้นของวัฏจักรจะพบว่า เมื่อระบุคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนการออกแบบและการกำหนดมาตรฐานคุณภาพและกระบวนการผลิตได้รับการพัฒนาแล้ว ควรจะต้องมีการทบทวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกแบบไว้และรวมถึงกระบวนการผลิตด้วย นอกจากนี้ควรจัดตั้งกระบวนการตรวจสอบคุณสมบัติของผู้ส่งมอบในขั้นตอนของการตัดสินใจซื้อวัตถุดิบและอุปกรณ์ และเมื่อมีการวัดผลของการปฏิบัติการผลิต และมีการปฏิบัติการแก้ไขเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้น ก็เท่ากับว่าเป็นการเริ่มต้นที่จะประกันว่าผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่

การหาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาคุณภาพหรือปรับปรุงคุณภาพ อาจได้จากการใช้งานของลูกค้า ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นพื้นฐานในการตรวจสอบสาเหตุของปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน

การปฏิบัติการแก้ไขต่าง ๆ ที่ได้กระทำไป จะเป็นผลให้เกิดการปรับปรุงคุณลักษณะทางคุณภาพและลดต้นทุนการปฏิบัติการ (operating cost)

3.6.3 รูปลักษณะของคุณภาพผลิตภัณฑ์ (Aspect of Product Quality)

คุณภาพแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. คุณภาพของการออกแบบ (quality of design)
2. คุณภาพที่เป็นไปตามข้อกำหนด (quality of conformance)

ความแตกต่างของคุณภาพของการออกแบบในข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดที่ใช้งานเหมือนกัน เช่น รถยนต์ ซึ่งมีหน้าที่การใช้งานพื้นฐานที่เหมือนกันระหว่างรถโตโยต้าและฮอนด้า แต่แตกต่างกันที่ลักษณะเด่น (feature) ในทางตรงกันข้ามของคุณภาพที่เป็นไปตามข้อกำหนด ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นไปตามข้อกำหนดที่ออกแบบไว้

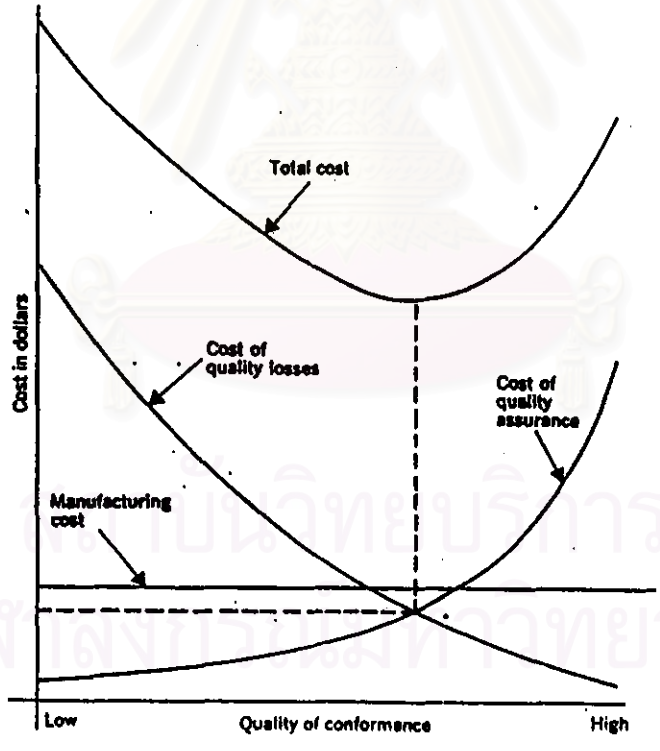
คุณภาพของการออกแบบเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุดในขั้นตอนแรกเริ่มของวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ และในขั้นตอนถัดมาด้วย

3.6.4 วัตถุประสงค์ของการประกันคุณภาพ (Quality Assurance Objectives)

เป้าหมายคุณภาพโดยรวมของการบริหารอุตสาหกรรม คือ การผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า และมีต้นทุนต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ แม้ว่าแนวคิดนี้จะถูกต้องและมีมา

นานแล้ว แต่การปฏิบัติการในปัจจุบันก็ยังมีความซับซ้อน และมีแนวโน้มซับซ้อนและละเอียดมากยิ่งขึ้น ในเรื่องความแม่นยำของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยการประกันคุณภาพที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นด้วย

วัตถุประสงค์ของการประกันคุณภาพ คือ การหาคุณค่าของคุณภาพที่ดีที่สุดสำหรับต้นทุนที่จ่ายไป หากมีการเพิ่มระดับของกิจกรรมการประกันคุณภาพมากขึ้น ต้นทุนจะเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อต้นทุนสูงถึงระดับที่ต้นทุนความสูญเสียคุณภาพลดลงจนมีค่าเท่ากัน ก็จะพบว่าคุณค่าของคุณภาพนั้นจะเพิ่มขึ้น ที่จุดนี้หมายความว่า ต้นทุนรวมทั้งหมดจะเท่ากับต้นทุนของการประกันคุณภาพ รวมกับต้นทุนของการสูญเสียคุณภาพ และรวมกับต้นทุนการผลิต ซึ่งจะเป็นจุดที่ต้นทุนรวมมีค่าต่ำที่สุด คำอธิบายดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนและคุณค่าของการประกันคุณภาพ

[J.M. Juran , Quality Control Handbook , 1962]

วัตถุประสงค์หลักโดยทั่วไปที่ต้องการมีระบบประกันคุณภาพ ได้แก่

1. การป้องกันความสูญเสียเนื่องจากการผลิตที่ผิดพลาด

การเน้นย้ำหรือการนำระบบการประกันคุณภาพมาใช้จะช่วยป้องกันข้อผิดพลาด สิ่งที่ควรกระทำด้วยคือ การพัฒนาจิตสำนึกด้านคุณภาพของพนักงานปฏิบัติการ (operator)

2. ประสิทธิภาพของการวัดคุณภาพของผลิตภัณฑ์

การวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายหลักในการประกันคุณภาพ ดังนั้น การวัดอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ

3. การตรวจจับปัญหาคุณภาพได้ตั้งแต่แรก และการแก้ไขปัญหาอย่างทันที

สภาพการผลิตที่ไม่ดีพอจะทำให้เกิดต้นทุนสูง ต้นทุนที่สะสมมากขึ้นจะสะสมจนกระทั่งเกิดสภาพที่ไม่น่าพอใจและต้องเร่งแก้ไข ปริมาณความสูญเสียด้านคุณภาพอันเนื่องมาจากสภาพการผลิต จะบอกถึงสภาพการผลิตนั้นจะได้รับการแก้ไขเร็วหรือช้าเพียงใด

4. ประสิทธิภาพในการสื่อข้อมูลที่เกี่ยวกับคุณภาพ

ข้อมูลปัญหาคุณภาพที่มี แต่ไม่ได้สื่อถึงผู้เกี่ยวข้องหรือตัวพนักงานที่เป็นผู้ผลิต ปัญหานั้น ๆ ก็จะไม่ได้รับการปฏิบัติแก้ไข

5. การจัดตั้งมาตรฐานคุณภาพที่เหมาะสม

มาตรฐานที่ต่ำเกินไป อาจทำให้ลูกค้าไม่พอใจที่จะซื้อสินค้าหรือบริการ ส่วนมาตรฐานที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดต้นทุนที่ไม่จำเป็นขึ้น วัตถุประสงค์ของการประกันคุณภาพคือ การทำให้แน่ใจว่ามาตรฐานคุณภาพนั้น ๆ ถูกกำหนดไว้อย่างมีเหตุผลและปฏิบัติได้จริง โดยทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจและต้นทุนการผลิตเหมาะสมด้วย

6. การประกันว่าคุณภาพวัตถุดิบ อุปกรณ์ เครื่องจักร เครื่องมือ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพที่กำหนด

คุณภาพของวัตถุดิบ อุปกรณ์ เครื่องจักร เครื่องมือ และสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ล้วนมีผลกระทบกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ดังนั้น การประกันคุณภาพสิ่งเหล่านี้ จึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญในการทำให้มั่นใจได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาจะเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย