บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของ คำว่า คุณภาพ (Quality)

นิยามของคำว่า คุณภาพ มีผู้ให้ไว้แตกต่างกันดังต่อไปนี้

2.1.1 ได้มาตรฐานตามข้อกำหนด (Crosby, 1979)

2.1.2 เหมาะสมกับการใช้งาน (Juran, 1998)

2.1.3 คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ซึ่งคนจะซื้อด้วยความพึงพอใจ (Ishikawa)

2.1.4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์และบริการโดยรวม ทั้งในด้านตลาดวิศวกรรม, การผลิต และบำรุงรักษา ซึ่งเมื่อใช้งานแล้วเป็นไปตามที่ลูกค้าต้องการ (Feigenbaum, 1961)

2.1.5 ระดับของคุณลักษณะประจำตัวที่สามารถตอบสนองความต้องการ (ISO 9000 ปี 2000)

2.1.6 สร้างความพึงพอใจที่เกินกว่าธรรมดาแก่ลูกค้า (บริษัทญี่ปุ่น)

โดยส่วนใหญ่แล้วนิยามของคำว่าคุณภาพจะมีส่วนใดส่วนหนึ่ง พูดถึงคำต่อไปนี้ ตอบสนองความต้องการของลูกค้า, ได้มาตรฐานและตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งจะเห็นได้ว่า ลูกค้าถือเป็นปัจจัยสำคัญที่อยู่ในนิยามของคำว่า คุณภาพ โดยส่วนใหญ่

2.2 นิยามของคำว่าต้นทุนคุณภาพ (Quality Cost)

นิยามของคำว่า ต้นทุนคุณภาพ (Quality Cost) มีผู้ให้นิยามไว้ดังต่อไปนี้

2.2.1 หมายถึง ต้นทุนของคุณภาพที่ไม่ได้ มาตรฐาน (Cost of poor quality) (Juran and Gryna,1998)

2.2.2 หมายถึง ต้นทุนใดๆ ที่ไม่จำเป็นจะต้องใช้จ่ายถ้าคุณภาพอยู่ในระดับที่ดีเลิศ (Campanula,1999)

2.2.3 หมายถึง ต้นทุนรวมที่ใช้จ่ายไปในการ ลงทุน เพื่อป้องกันปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนด เพื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ และเพื่อเป็นต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้นและไม่ได้ตามข้อกำหนด (Hagan, 1986)2.2.4 หมายถึงต้นทุนรวมของคุณภาพที่ใช้เป็นเครื่องมือที่ดีในการบริหารและส่งเสริมการปรับปรุงคุณภาพ (Oliver, 1999)

2.2.5 หมายถึงเครื่องมือที่จำเป็นในการประยุกต์ใช้แนวคิด TQM ให้สำเร็จ บรรลุผลด้วยการสนับสนุนอย่างเต็มที่จากผู้บริหารระดับสูงเนื่องจากผู้บริหารตระหนักถึงผลที่จะได้รับในด้านการเงิน (Financial) (George ,1997)

ในกรณีของคำว่า เศรษฐศาสตร์คุณภาพ (Quality Economics) นิยามของคำดังกล่าว จะมีการพิจารณาทั้งในส่วนของ ผลกำไร และต้นทุน ที่มีผลกระทบจากการปรับปรุงคุณภาพ (Quality)

2.3 ประเภทของ ต้นทุนคุณภาพ (Quality Cost)

ต้นทุนคุณภาพ (Quality Cost) ถูกแบ่งประเภทเป็นหัวข้อใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท ตาม PAF model ของ (Feigenbuum) ประกอบไปด้วย (Prevention, Appraisal และ Failure cost) โดย Failure cost สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ข้อคือ Internal และ External failure cost ส่วนการแบ่งตามแนวคิดของ Oaklan จะแบ่งได้ 4 ประเภท กล่าวคือ ต้นทุนในการป้องกัน (Prevention cost), ต้นทุนในการตรวจสอบ (Appraisal cost), ต้นทุนความเสียหายภายใน (Infernal failure cost) และต้นทุนของความเสียหายภายนอก (External failure cost)

2.3.1 ต้นทุนความเสียหายภายใน

คือ ต้นทุนของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า และพบก่อนที่ผลิตภัณฑ์หรือบริการจะถูกส่งถึงมือลูกค้า โดยต้นทุนดังกล่าวจะแบ่งย่อยออกเป็น (1) ต้นทุนจากความเสียหายที่เกิดจากการที่ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า (2) ต้นทุนของกระบวนการที่ไม่มีประสิทธิภาพ

2.3.1.1 ต้นทุนของการที่ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถตอบสนองลูกค้า

- Scrap คือ แรงงาน, วัตถุดิบ, และค่าโสหุ้ยที่เกิดโดย ผลิตภัณฑ์ที่เสียและไม่สามารถ ทำการซ่อมแซมได้
- Rework คือ ต้นทุนในการแก้ไขงานเสีย ให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่
- Failure analysis คือ ต้นทุนในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความเสียหายที่เกิดต่อผลิตภัณฑ์นั้นๆ
- Re-inspection คือ ต้นทุนในการทำการตรวจสอบซ้ำ ในกรณี พบงานเสีย
- Changing process คือ การปรับเปลี่ยนกระบวนการเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหางานเสียที่เกิดขึ้น
- Downgrading คือ ต้นทุนของราคาขายที่แตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดกับผลิตภัณฑ์ที่ดี

2.3.1.2 ต้นทุนของการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ

ยกตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

- ความผันแปรของลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น ความสูญเสียที่เกิดจากการบรรจุ ผลิตภัณฑ์เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้
- ความสูญเสียจากการหยุดเครื่องเนื่องจากงานเสีย
- ความสูญเสียจากกระบวนการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม เช่น การขนส่งและการตรวจสอบซ้ำ

2.3.2 ต้นทุนความเสียหายภายนอก (External Failure Cost)

คือ ต้นทุนของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า และพบหลังจากที่สินค้าดังกล่าวได้ถูกส่งถึงลูกค้าเรียบร้อยแล้ว โดยต้นทุนดังกล่าวประกอบไปด้วย

- Warranty charge คือ ต้นทุนในการจัดหาผลิตภัณฑ์ทดแทน หรือซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ที่ยังอยู่ในช่วงระยะเวลาประกันคุณภาพ
- Complain Adjustment คือ ต้นทุนในการค้นหาและปรับปรุง เพื่อตอบสนองการร้องเรียนจากลูกค้า
- Return Material คือ ต้นทุนที่เกี่ยวข้องในการส่งคืนผลิตภัณฑ์จากลูกค้าเพื่อทำการหาผลิตภัณฑ์ใหม่ทดแทน
- Penalty due to poor Quality คือ ต้นทุนจากาการถูกลงโทษที่ส่งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานให้กับลูกค้า

2.3.3 ต้นทุนของการตรวจสอบ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้า (Appraisal Cost)

ต้นทุนดังกล่าวประกอบได้ด้วย

- Incoming inspection and test คือ ต้นทุนที่ใช้ในการตัดสินใจว่าระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ซื้อมาอยู่ในระดับใด
- In process inspection and test คือ ต้นทุนที่ใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ว่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดได้ หรือไม่
- Final inspection and test คือ ต้นทุนที่ใช้ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ขั้นตอนสุดท้ายก่อนส่งลูกค้า
- Maintaining accuracy of test equipment คือ ต้นทุนในการรักษาความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดรวมถึงการสอบเทียบ

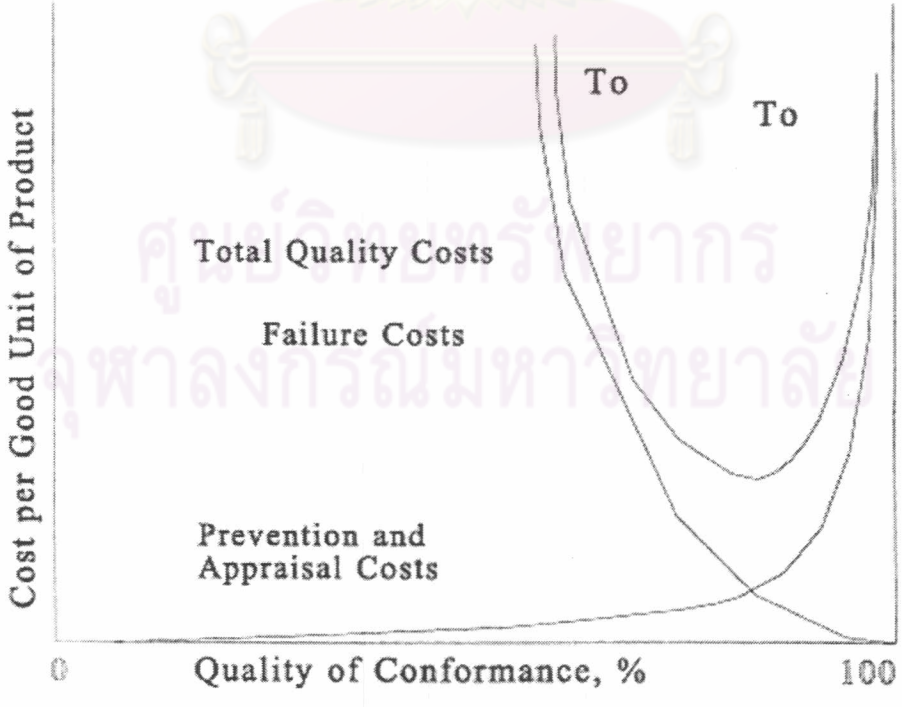
2.3.4 ต้นทุนในการป้องกันสาเหตุของปัญหา (Prevention Cost.)

คือ ต้นทุนที่ใช้ไปในการป้องกันสาเหตุของปัญหาเพื่อไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นและเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหาย ประกอบด้วย

- Quality planning คือ ต้นทุนในการวางแผนคุณภาพ
- Process planning คือ ต้นทุนในการวางแผนกระบวนการ, การศึกษาความสามารถกระบวนการ, การวางแผนการตรวจสอบ
- Process control คือ ต้นทุนในการตรวจสอบเพื่อให้ทราบถึงสภาวะของกระบวนการว่าอยู่ภายในการควบคุม หรือไม่
- Training คือ ต้นทุนที่ใช้ในการอบรม พนักงานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ

2.4 ตัวแบบของเศรษฐศาสตร์คุณภาพ (Economic quality model).

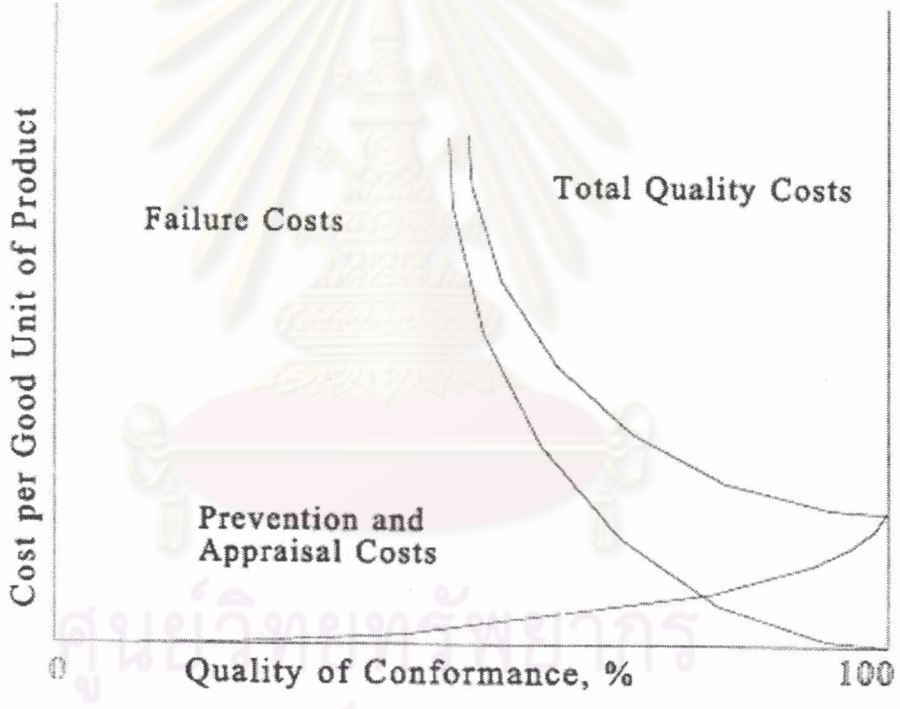
เนื่องจากต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังกล่าวมาข้างต้น ระดับของต้นทุนในประเภทต่างๆ ที่เหมาะสมเป็นที่ถกเถียงกัน ในหมู่ผู้ที่เกี่ยวข้องโดยต้นแบบของ เศรษฐศาสตร์คุณภาพ (Economic quality model) ที่เกิดขึ้นเริ่มแรกประกอบไปด้วย PAF Model ของ Juranในปี 1950.



รูปที่ 2.1 : The economic balance model (Juran, 1951)

ใน Model ดังกล่าวจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับคุณภาพ (Quality level) และต้นทุน (Cost) โดยแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการปรับปรุงโดยการเพิ่มต้นทุนในด้านมีการป้องกันปัญหาและการตรวจจับปัญหา จะทำให้ต้นทุนความเสียหายค่อยๆ ลดลง ในทางกลับกันโดยที่เมื่อเพิ่มต้นทุนการป้องกันปัญหา และตรวจจับปัญหาไปจนถึงระดับหนึ่ง ระดับคุณภาพที่เพิ่มขึ้น (ต้นทุนความเสียหายต่ำลง) เมื่อนำมาพิจารณารวมกับต้นทุนของการป้องกันและตรวจจับ จะมีจุดที่ไม่ทำให้ต้นทุนรวม ลดลงไปมากกว่านี้ จุดดังกล่าวคือ จุด Economic balance

ในปี 1986 Schneiderman ได้พัฒนา Model Zero defect economic quality ไว้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 : The zero defect economic quality model (Schneiderman 1986)

Schneiderman เสนอว่าจุดเหมาะสมที่สุดของต้นทุนคุณภาพ (Quality Cost) ควรอยู่ที่ Zero defects ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.2 : The zero defect economic quality models.

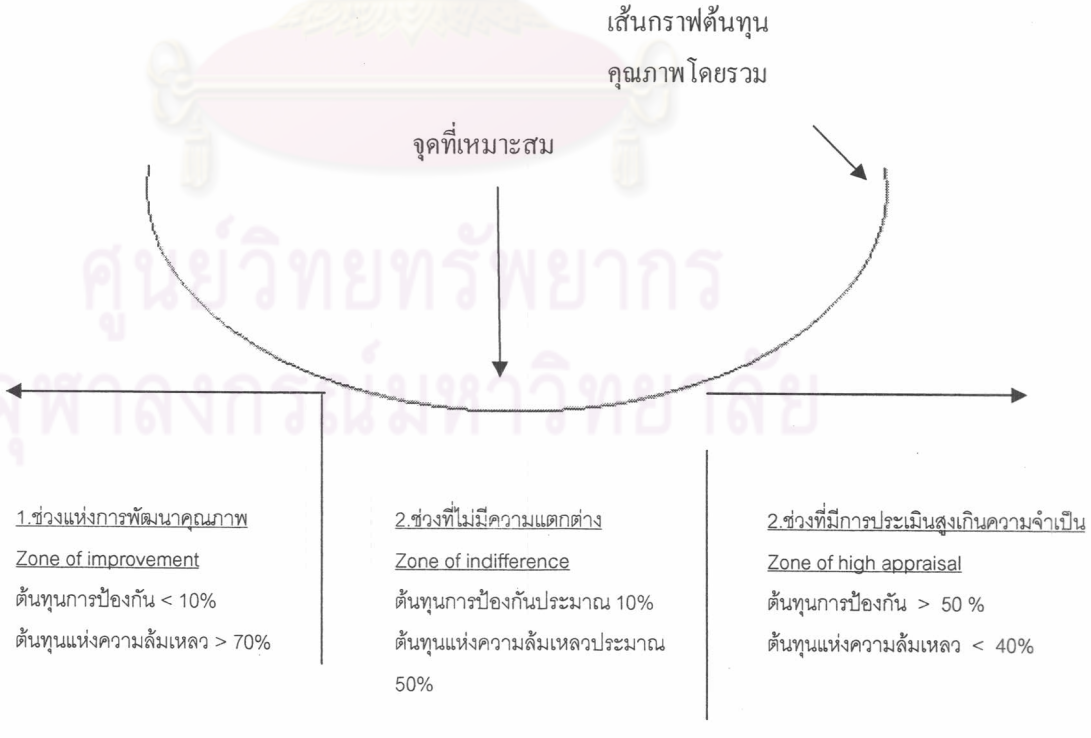
Schneider man (1986) เสนอแนวคิดที่ว่าในบางสถานการณ์ถ้ามีการลงทุนและพยายามปรับปรุงในด้านการป้องกันปัญหา (Prevention) ที่เพียงพอ การลงทุนในด้านการตรวจจับปัญหา (Appraisal) ก็ไม่จำเป็นที่ต้องมีอีกต่อไป

ในปี 2000 Juran และ Gryna เสนอ model ใหม่โดยกล่าวว่า ความเหมาะสมของระดับคุณภาพที่น้อยกว่า 100% นั้นไม่เพียงพอสำหรับ ทศวรรษที่ 20 แล้วดังนั้น 100% ของระดับคุณภาพสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมได้โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยและอาหาร

ในปี 2001 Claude R. และ Sanjay G. ได้เสนอแนวคิดที่ว่าไม่มี ตัวแบบของเศรษฐศาสตร์คุณภาพ (Economic of Quality model) ใดถูกต้องเนื่องจากต้นทุนคุณภาพ (Cost of Quality) มีรูปแบบที่เป็นพลวัตถ์ (เปลี่ยนแปลงตามกาลเวลา) ดังนั้นจุดที่เหมาะสมที่สุดในขณะนี้อาจเปลี่ยนไปเมื่อเวลาผ่านไปซึ่งองค์กรจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ระดับคุณภาพเข้าใกล้กับจุดที่เหมาะสมที่สุดอยู่ตลอดเวลารวมถึงยังเสนอว่าการลงทุนในการป้องกันปัญหา (Prevention) จะนำมาซึ่งผลตอบแทนที่คุ้มค่าดังนั้นองค์กรควรเลือกที่จะลงทุนในด้านนี้ให้มากกว่าด้านอื่นๆโดยการลงทุนในด้านการตรวจจับปัญหา (Appraisal) หลังจากที่ได้เกิดขันมาแล้วจะเป็นทางเลือกในลำดับต่อมา

2.5 วิธีการในการลดต้นทุนคุณภาพและประโยชน์ของการใช้แนวคิดทางด้านต้นทุนคุณภาพ

2.5.1วิธีการในการลดต้นทุนคุณภาพ



รูปที่ 2.3 Optimum segment of quality cost model (Gryna F.M.,1988)

- บริเวณที่ 1 ช่วงแห่งการการพัฒนาคุณภาพ ควรปรับปรุงกิจกรรมต่างๆ ที่ทำให้เกิดคุณภาพแก่ผลิตภัณฑ์เช่น เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบ เพิ่มการบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นต้น

- บริเวณที่ 2 ช่วงไม่มีความแตกต่าง ควรควบคุมกระบวนการให้อยู่ในช่วงนี้ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีต้นทุนคุณภาพต่ำที่สุด

- บริเวณที่ 3 ช่วงที่มีการประเมินสูงเกินความเป็นจริง

2.5.2 ประโยชน์ของการใช้แนวคิดทางด้านต้นทุนคุณภาพ (Quality Cost Concepts)

2.5.2.1 เพื่อแสดงขนาดของปัญหาทางด้านคุณภาพในรูปแบบของภาษาทางการเงิน เพื่อให้สามารถสื่อสารกับผู้บริหารระดับสูงได้

2.5.2.2 เพื่อแสดงถึงโอกาสในความสำเร็จที่จะดำเนินการลดต้นทุนดังกล่าว ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ

2.5.2.3 เพื่อแสดงให้เห็นถึงโอกาสในการที่จะลดความไม่พอใจในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของลูกค้า

2.5.2.4 ใช้เป็นตัววัดความสำเร็จหรือล้มเหลวของกิจกรรมการพัฒนาคุณภาพ (Quality improvement) และติดตามผลอย่างต่อเนื่อง

2.5.2.5 ใช้ในการวางแผน กลยุทธ์ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ

2.5.2.6 ใช้แสดงให้เห็นภาพรวมของต้นทุนด้านคุณภาพโดยรวมที่องค์กรต้องใช้ไปในการผลิตสินค้าที่ไม่ได้ตามข้อกำหนด (Oliver J,1999)

2.5.2.7 เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแง่คิดในด้านคุณภาพของบุคลากรในองค์กร (Crosby,1980)

2.5.2.8 ใช้เป็นประโยชน์ทั้งในระดับ Corporate และ Operation โดยในระดับ Corporate ใช้เพื่อจูงใจที่จะจัดทำการปรับปรุงคุณภาพเพื่อผลทางด้านการเงินที่ดีขึ้นตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไปและในระดับปฏิบัติการ (Operation) ที่จะช่วยในการแสดงให้เห็นลำดับความสำคัญและเลือกโครงการณ์ที่จะนำมาซึ่งการพัฒนาในด้านการเงินและการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง (Gray,1995)

2.5.2.9 เพื่อเพิ่มพูนขีดความสามารถในการแข่งขันเพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ในสถานะการกดดันในด้านการตลาดเช่นในปัจจุบัน (Oliver J.,1999)

2.6 ความหมายและประวัติความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา คือระบบที่จะทำให้องค์กรสามารถที่จะนำความรู้และประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สำเร็จมีคุณภาพ

ตามที่ลูกค้าต้องการ ซิกซ์ ซิกมาได้ถูกเริ่มใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1980 โดยบริษัทโมโตโรล่า นำเสนอโดย Robert W. Galvin เพื่อที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตโทรศัพท์เคลื่อนที่และเพจเจอร์ และในปี ค.ศ. 1986 วิธีการทางซิกซ์ ซิกมาก็ได้ถูกพัฒนาโดย Dr. Mikel J. Harry ซึ่งเป็นพนักงานของบริษัทโมโตโรล่าเช่นเดียวกัน จนในปี ค.ศ. 1988 หลังจากที่บริษัทโมโตโรล่าได้ใช้ปรัชญาทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กร ทำให้บริษัทโมโตโรล่าได้รับรางวัลชนะเลิศทางด้านคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award

กลยุทธ์ในการปรับปรุงคุณภาพของโมโตโรล่าได้กลายเป็นจุดสนใจขององค์กรต่างๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเกี่ยวกับยานยนต์ และอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์ องค์กรต่างๆได้มีความสนใจที่จะนำวิธีการนี้มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ตรงตามเป้าหมาย หนึ่งในนั้นคือบริษัทไอบีเอ็ม ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่นำวิธีการนี้มาใช้ในองค์กร โดยประยุกต์ใช้กับหน่วยงาน Application Business Systems Division ซึ่งหลังจากประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้วิธีการทางซิกซ์ ซิกมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้บริษัทไอบีเอ็มได้รับรางวัลชนะเลิศทางคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award ในปี 1990

2.7 ตัววัดระดับของคุณภาพ

ในการเลือกตัววัดระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของกระบวน การนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายทางเลือก เช่น Yield, Rolled throughput yield, ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ Cp, Cpk, อัตราของของเสียที่เกิดขึ้นต่อล้านหน่วย (Part Per Million: PPM) หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากคุณภาพที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ (Cost of poor quality) และค่า Sigma Quality Level เป็นต้น

ในแนวคิดทางซิกซ์ ซิกมานี้มักจะอ้างอิงถึงค่า Sigma Quality Level เพื่อบ่งบอกถึงระดับของคุณภาพของกระบวนการ ซึ่งต่างจากคำว่า Sigma ที่หมายถึงค่าของความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการกระจายตัวของข้อมูลในทางสถิติ กล่าวคือค่าระดับ Sigma Quality Level นี้ยิ่งมีค่าที่มากขึ้น จะบ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดของของเสียในกระบวนการผลิตที่มีน้อยลง โดยที่ระดับคุณภาพ ที่ 6 Sigma จะมีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเป็นจำนวนเท่ากับ 0.002 ชิ้นต่อหนึ่งล้านหน่วยผลิตเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง และเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$ จะมีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวน

3.4 ชิ้นต่อหนึ่งล้านหน่วยผลิต รายละเอียดจำนวนของเสียที่ เกิดขึ้นเทียบกับค่า Sigma quality level แสดงดังตารางที่ 2.1

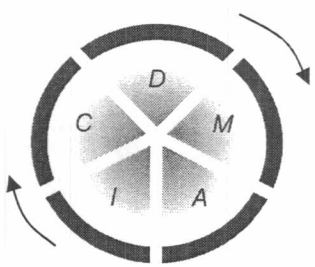
ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนของของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma quality level

Sigma quality level	Mean at Center		Mean shifted 1.5s	
	Percentage	DPPM	Percentage	DPPM
1	68.27	317300	30.23	697700
2	95.45	45500	69.13	308700
3	99.73	2700	93.32	66810
4	99.9937	63	99.379	6210
5	99.999943	0.57	99.9767	233
6	99.9999998	0.002	99.99966	3.4

หรือหากคำนวณเป็นค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการจะได้ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการที่ 6 Sigma มีค่าเท่ากับ Cp = 2.0 และ Cpk = 1.5 (คิดที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางของการกระจายเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$) ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณค่า Cp และ Cpk ที่ระดับคุณภาพเท่ากับ 6 Sigma

2.8 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา

ในการที่จะบรรลุวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกมา จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในทุกๆ จุดของการปฏิบัติงาน ซึ่งจะต้องอาศัยกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้วิธีการต่างๆ ในวิชาสถิติ ซึ่งในวิธีการทางซิกซ์ ซิกมานี้ จะประยุกต์ใช้กลยุทธ์ทั้ง 5 ขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Five-phase Improvement Model) คือ Define phase, Measure phase, Analyze phase, Improve phase และ Control phase ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Five-phase improvement model cycle

ทั้ง 5 ขั้นตอนสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิตนี้ มีพื้นฐานมาจากขั้นตอนที่เสนอโดย W. Edwards Deming คือ Plan, Do, Check และ Act (P-D-C-A) แต่มีข้อแตกต่างกันคือขั้นตอนต่างๆ ใน D-M-A-I-C เหล่านี้ไม่ได้เป็นรูปแบบที่เรียงตัวกันอย่างเส้นตรงโดยแท้จริง กล่าวคือเมื่อกลุ่มสมาชิกเริ่มทำการทดลอง, เก็บรวบรวมข้อมูล ฯลฯ อาจทำให้สามารถค้นพบกับปัญหาและกระบวนการต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของปัญหาที่ไม่ได้คาดคิดว่าจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต สิ่งที่ค้นพบนี้จะทำให้เราสามารถที่จะพิจารณาแก้ไขเป้าหมายของโครงงานใหม่ได้ แม้ว่าการทดลองจะได้ผลลัพธ์ออกมาแล้วก็ตาม หรือหลังจากที่ทำการทดสอบผลลัพธ์แล้วก็ตาม ทางกลุ่มผู้ทดลองควรที่จะทำการวิเคราะห์ผลเพิ่มต่อไป

โดยทั่วไปกลุ่มผู้ทำการทดลองสามารถที่จะบันทึกความก้าวหน้าของโครงงาน โดยอ้างอิงกับวงล้อ D-M-A-I-C ได้ แต่ในแต่ละขั้นตอนจะเป็นกิจกรรมที่สามารถทำซ้ำภายในตัวเองได้ โดยรายละเอียดและเครื่องมือทางสถิติที่นำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละกิจกรรมทั้ง 5 ขั้นตอนมีดังนี้คือ

2.8.1 DEFINE PHASE (การนิยามปัญหา)

การนิยามปัญหา เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการทางซิกซ์ ซิกมา และเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางของการวิจัย โดยในขั้นตอนการนิยามนี้จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตเทียบกับความต้องการของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ของบริษัท ซึ่งทำให้บริษัททราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และได้ข้อมูลสนับสนุนในการพิจารณาคัดเลือกถึงปัญหาที่จะทำการแก้ไขและขีดความสามารถในการปรับปรุงกระบวนการที่สามารถปฏิบัติได้จริง

นอกจากนี้ยังเป็นการกำหนดภาพรวมของการทำวิจัยอื่นๆ คือ วัตถุประสงค์หรือเป้าหมาย, แนวทางและวิธีการในการปฏิบัติ, ระยะเวลาในการทำการวิจัย, การกำหนดสมาชิกและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

2.8.2 MEASURE PHASE (การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา)

เป็นขั้นตอนถัดจากการนิยามปัญหา ซึ่งจะศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกๆ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการวิจัย จากนั้นจะทำการศึกษาแหล่งที่มาของสาเหตุของปัญหารวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในสาเหตุต่างๆ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญในแต่ละสาเหตุที่เป็นไปได้เพื่อที่จะเลือกสาเหตุที่คาดว่าจะมีผลกระทบรุนแรงต่อกระบวนการผลิตมาทำการแก้ไขต่อไป

นอกจากนี้จะทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด เพื่อลดความผิดพลาดจากการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ได้จากการวัดในการเก็บข้อมูลและจากการทดลองต่างๆ ซึ่งความรู้และเครื่องมือทางสถิติที่เกี่ยวข้องในการศึกษากระบวนการในขั้นตอนนี้มีรายละเอียดดังนี้คือ

2.8.2.1 การระดมความคิด (Brainstorming Session)

เป็นวิธีในการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยระดมความคิดจากบุคคลที่มีความรู้ ความชำนาญในแต่ละจุดการทำงานต่างๆ ภายในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษา ซึ่งในขั้นตอนนี้จุดมุ่งหมายอยู่ที่ปริมาณของความคิดเห็นที่ได้รับ เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ความสำคัญด้วยเครื่องมืออื่นๆ ในขั้นตอนต่อไป

2.8.2.2 แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Flowcharting)

คือแผนภาพที่แสดงโครงสร้างและความสัมพันธ์ของขั้นตอนในกระบวนการผลิต ซึ่งจะบอกถึงลำดับของกิจกรรมแรกที่เริ่มต้นจนถึงกิจกรรมสุดท้ายตามลำดับ เพื่อประโยชน์ในการศึกษาถึงกระบวนการผลิต ทำให้สมาชิกในกลุ่มมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตที่ทำการศึกษาโดยละเอียดและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน, นอกจากนี้ประโยชน์ของแผนภาพกระบวนการผลิตจะช่วยในการประเมินความสามารถของกระบวนการในแต่ละขั้นตอน , ชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนที่เป็นคอขวดของกระบวนการผลิต, ชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนหรือกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่ากับผลิตภัณฑ์ (non-value added activities) ซึ่งสามารถที่จะทำการพิจารณากำจัดออกหรือทำการเปลี่ยนแปลงแก้ไข และอธิบายถึงกิจกรรมในการตรวจสอบ ทำให้การวางแผนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง ไม่เกิดข้อผิดพลาด

2.8.2.3 แผนภาพอิชิกาวา (Ishikawa or Cause-and-Effect Diagram)

เป็นแผนภาพที่ประกอบไปด้วยผลกระทบของปัญหาและกลุ่มของสาเหตุต่างๆ ที่เป็นไปได้ของปัญหาที่ทำการศึกษา เป็นเครื่องมือหนึ่งในระบบการควบคุมคุณภาพที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการแก้ไขปัญหา (Problem-solving process) แผนภาพนี้ได้ถูกคิดค้นและใช้โดย ดร. อิชิกาวา (Dr. K. Ishikawa) ณ มหาวิทยาลัยโตเกียว ในกลางปี 1940 โดยทั่วไปจะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลัก 6 กลุ่มเพื่อให้ง่าย และเกิดประสิทธิภาพในการระดมความคิดเกี่ยวกับสาเหตุของปัญหาที่มาจากแหล่งที่มาต่างๆ ดังนี้คือ

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)
- สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)
- สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement) และ
- สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงลักษณะของสาเหตุต่างๆ ว่าเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้, ตัวแปรที่เป็นสิ่งรบกวน และตัวแปรที่มีความสำคัญต้องทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริง (C = Controllable factors, N = Noise factors และ X = Experimental factors) ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพอิชิกาวา มีรายละเอียดดังนี้คือ

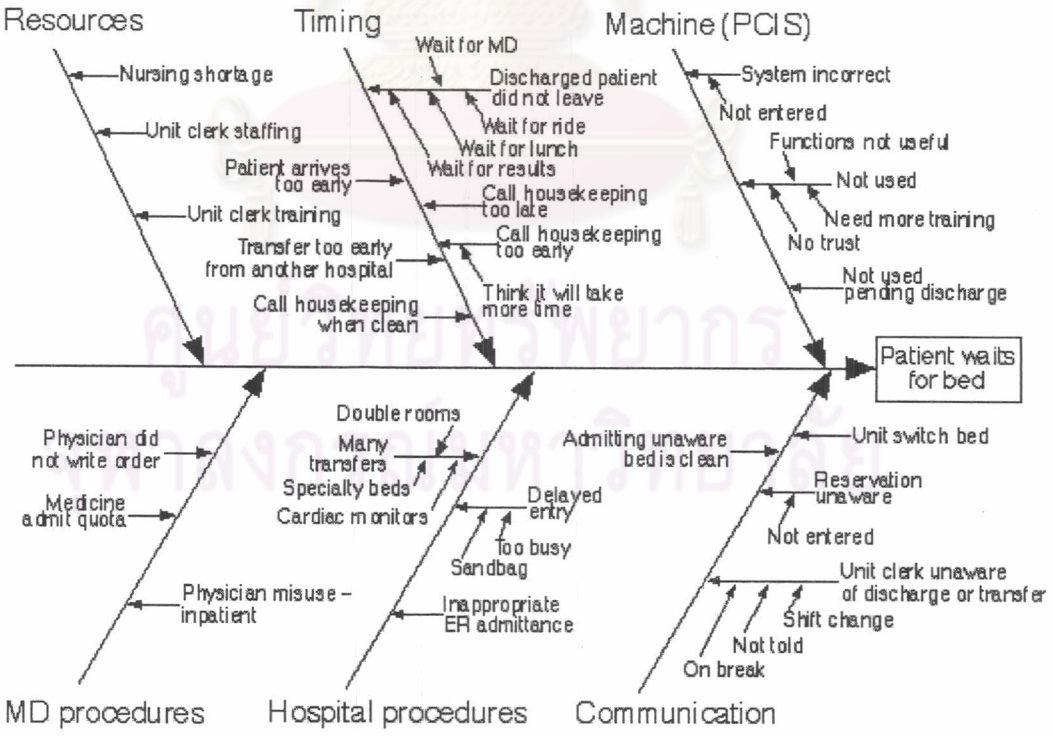
- พิจารณาลักษณะทางคุณภาพ หรือผลกระทบของปัญหาที่ทำการพิจารณาโดยใส่ไว้ในช่องขวาสุดของแกนในแนวนอน

- ทำการระดมความคิด เพื่อกำหนดสาเหตุหลักของปัญหาออกเป็นหมวดหมู่ คือ สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน, เครื่องจักร, วัตถุดิบ, วิธีการทำงาน, ระบบการวัด และสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต และอื่นๆ โดยเขียนหมวดหมู่ของสาเหตุต่างๆ นี้ในช่องสี่เหลี่ยมที่ต่อออกมาจากเส้นแกนหลักในแนวนอน

- ในแต่ละหมวดหมู่ ให้ระดมความคิดแจกแจงปัจจัยหรือสาเหตุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในหมวดหมู่ที่กำหนดไว้

- ทบทวนกระบวนการผลิตด้วยแผนภาพกระบวนการผลิต เพื่อให้แน่ใจว่าได้พิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดแล้ว

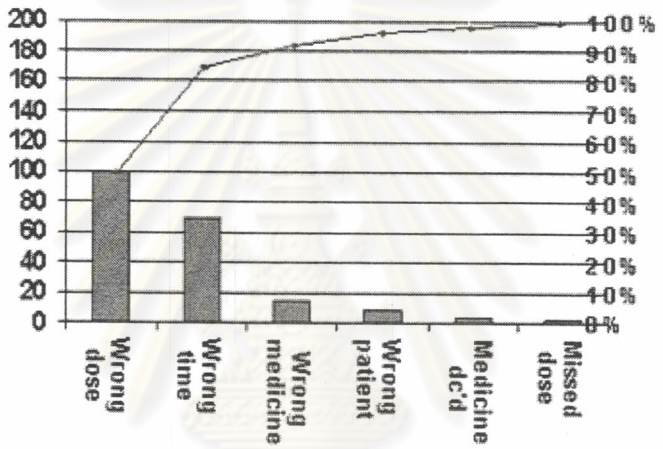
ตัวอย่างแผนภูมิอิชิกาวาแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนภูมิอิชิกาวาของปัญหาการรอคอยเตียงรักษาของคนไข้ในโรงพยาบาล

2.8.2.4 แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart)

คือแผนภูมิแท่งที่แสดงถึงระดับความสำคัญของแหล่งที่มาของปัญหาในกระบวนการผลิต โดยหลักในการพิจารณาระดับผลกระทบของแหล่งที่มาของปัญหาคือ หลัก 20 : 80 หมายถึงลักษณะปัญหาของกระบวนการผลิตจะมีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (Vital Few) ที่เป็นแหล่งที่มาของปัญหาที่มีผลกระทบเป็นส่วนมากต่อปัญหาทางคุณภาพที่ทำการศึกษา ในขณะที่จำนวนลักษณะปัญหาของกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จำนวน 80 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ (Trivial Many) จะเป็นแหล่งที่มาของปัญหาที่มีผลกระทบเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าต่อปัญหาที่ทำการศึกษา ตัวอย่างของแผนภูมิพาเรโตแสดงดังแผนภาพที่ 2.1



แผนภาพที่ 2.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงข้อบกพร่องในการใช้ยา

ขั้นตอนในการสร้างแผนภูมิพาเรโต มีวิธีการดังต่อไปนี้

- กำหนดปัญหาและคุณลักษณะของกระบวนการที่จะทำการศึกษาให้ชัดเจน
- กำหนดช่วงระยะเวลาสำหรับการเก็บข้อมูลการศึกษา
- นับจำนวนความถี่ในการเกิดปัญหาคุณลักษณะของกระบวนการ
- ทำการจัดลำดับคุณลักษณะดังกล่าว โดยเรียงลำดับจากคุณลักษณะที่มีจำนวนความถี่มากไปน้อย
- พล็อตกราฟแต่ละคุณลักษณะดังกล่าวตามความถี่ในการเกิดขึ้นจากมากไปน้อย
- วิเคราะห์ผลจากแผนภูมิพาเรโต โดยพิจารณาถึงคุณลักษณะหรือปัญหาที่มีความถี่มากตามลำดับในการแก้ปัญหา แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่มีความถี่ไม่มากแต่อาจจะมีความสำคัญก็ควรที่จะพิจารณาด้วย

2.8.2.5 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA เป็นเครื่องมือหนึ่ง ในระบบการวางแผนการควบคุมคุณภาพ ซึ่งเป็นกลุ่มกิจกรรมเพื่อใช้ในการศึกษาและวินิจฉัยลักษณะข้อบกพร่องของสาเหตุต่างๆ (Potential Failure Mode) ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตอย่างมีระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า หรือกระบวนการไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดของทั้งลูกค้าภายในและลูกค้าภายนอก

โดยทั่วไป FMEA มักจะนำมาประยุกต์ใช้ในระหว่างขั้นตอนการออกแบบกระบวนการหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยผ่านกระบวนการระดมความคิดของกลุ่มสมาชิกที่ได้จัดตั้งขึ้น และรวมถึงใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการกิจกรรมในการลดของเสียหรือข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ แต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้ FMEA ในการการวิเคราะห์ปัญหาและหาตัวแปรควบคุมในระบบการควบคุมกระบวนการโดยวิธีทางสถิติ

2.8.2.5.1 จุดประสงค์ในการทำ FMEA มีดังนี้

- เพื่อที่จะทำการวินิจฉัย, วิเคราะห์, จัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้อย่างมีระบบเกี่ยวกับชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต
- พิจารณาวิธีการป้องกันและแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านี้เพื่อกำจัด หรือลดโอกาสในการเกิดของข้อบกพร่องเหล่านี้ในอนาคต
- จัดทำเอกสารเพื่อใช้ในการอ้างอิง ในแผนการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ในอนาคต

2.8.2.5.2 ขั้นตอนการปฏิบัติ แบ่งเป็น 2 ระดับคือ

ก่อนเริ่มทำ FMEA ควรปฏิบัติดังนี้คือ

- รวบรวมกลุ่มสมาชิกที่จะร่วมกันทำการศึกษา FMEA ซึ่งควรจะประกอบด้วยสมาชิกจากหลายหน่วยงานที่แตกต่างกัน และทำการเลือกผู้ที่จะเป็นหัวหน้ากลุ่ม
- กำหนดกระบวนการ หรือผลิตภัณฑ์ หรือตัวแปรตอบสนองที่จะทำการศึกษาให้ชัดเจน
- กำหนดขอบเขตของการศึกษาให้ชัดเจน ได้แก่ ระยะเวลาในการศึกษา, ข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์, รายจ่ายต่างๆที่เกิดขึ้น, ทรัพยากรที่จะต้องใช้สนับสนุน, รูปแบบการรายงานผลรวมทั้งวิธีการเผยแพร่ข้อมูลการวิเคราะห์ที่ได้ และข้อจำกัดอื่นๆ ที่ต้องการ
- ควรพิจารณาขนาดของปัญหาที่ทำการศึกษา หากมีขนาดที่ใหญ่สำหรับการทำ FMEA 1 โครงการ ควรจะแยกให้เป็นปัญหาย่อยๆ และทำการศึกษา FMEA แยกในแต่ละปัญหาย่อยนี้

ขั้นตอนการปฏิบัติ FMEA

ขั้นตอนการปฏิบัติ FMEA จะกระทำโดยการระดมความคิดเห็นของกลุ่มสมาชิกที่ได้จัดตั้งขึ้น ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนเสร็จสิ้นขั้นตอน และมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้คือ

- ศึกษากระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการทำ FMEA สำหรับกระบวนการผลิตจะใช้เครื่องมือช่วยในการศึกษาคือ แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Flow Diagram) ส่วนผลิตภัณฑ์มักจะใช้ตัวต้นแบบหรือภาพการออกแบบของตัวผลิตภัณฑ์นั้นช่วยในการศึกษา เพื่อให้กลุ่มสมาชิกได้ทราบถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิต หรือผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

- พิจารณาแจกแจงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ หรือ "KPIV" ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหาในแต่ละกระบวนการย่อย หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดยอาศัยเครื่องมือช่วยในการศึกษาได้แก่ แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ซึ่งจะพิจารณา PIVs จากแหล่งที่มาทั้ง 6 แหล่ง ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงาน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการทำงาน (Method) ระบบการวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment)

ซึ่งหากเป็นกระบวนการผลิต KPIV อาจกำหนดเป็นกระบวนการย่อยในขั้นตอนต่างๆ ที่อาจจะมีผลต่อปัญหาที่เป็นหัวข้อของ FMEA ที่ศึกษาอยู่ แต่ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ KPIV อาจกำหนดเป็นชิ้นส่วนย่อยของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะมีผลต่อปัญหาดังกล่าว

- พิจารณาแจกแจง Potential Failure Mode หรือ "PFM" สำหรับแต่ละ KPIV ที่ได้พิจารณาจากขั้นตอนที่แล้ว โดยอธิบายลักษณะของความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งควรที่จะพิจารณาถึงลักษณะความผิดปกติดังกล่าวของกระบวนการในขั้นตอนหรือชิ้นส่วนย่อยที่กำลังพิจารณานี้ ที่อาจเป็นสาเหตุของลักษณะความผิดปกติในกระบวนการถัดไปด้วย รวมทั้งพิจารณาลักษณะความผิดปกติในระดับนี้ ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากกระบวนการก่อนหน้า PFMs ที่พิจารณาเป็นได้ทั้งลักษณะความผิดปกติทั้งทางกายภาพและทางเทคนิค

ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาค่อนข้างมาก วิธีหนึ่งที่จะช่วยให้การระดมความคิดในขั้นตอนนี้เกิดประสิทธิภาพคือ หัวหน้ากลุ่มควรจะให้สมาชิกทุกคนได้คิดถึงลักษณะของข้อบกพร่องตามความคิดของแต่ละคนที่มี ก่อนทำการประชุมเพื่อทำการระดมความคิด ซึ่งจะทำให้ได้จำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับ PFMs หรือลักษณะของข้อบกพร่องที่มากกว่า และรวดเร็วกว่า

แนวทางหนึ่งที่ใช้พิจารณาลักษณะของข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต คือ การศึกษาผลลัพธ์ (Output) ของแต่ละขั้นตอนย่อยในกระบวนการผลิต (จากแผนภาพกระบวนการผลิต) และพิจารณาว่ากระบวนการจะทำให้ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่ได้ตามต้องการ หรือ

ข้อกำหนดอย่างไร สำหรับผลิตภัณฑ์ จะแยกออกเป็นส่วนประกอบหลักๆ และพิจารณาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนหลักดังกล่าว

เมื่อจบขั้นตอนนี้แล้ว จะได้ตาราง FMEA ที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต หรือส่วนประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา รวมถึงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและ Potential Failure Modes ที่สัมพันธ์กับกระบวนการผลิตหรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

- พิจารณาแจกแจง Potential Failure Effects ของ Potential Failure Mode แต่ละตัวที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว โดยจะเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ที่มีผลต่อการทำงานของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาที่ทำการศึกษา โดย PFMs แต่ละตัวอาจจะทำให้เกิดผลกระทบขึ้นจำนวน 1 ผลกระทบหรือมากกว่าหนึ่งก็ได้

- การให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score: SEV) เป็นการประเมินความร้ายแรงที่เกิดขึ้นของผลกระทบในแต่ละ Potential Failure Modes ที่มีต่อชิ้นส่วน ระบบหรือกระบวนการถัดไป ซึ่งอาจจะมาจากการประเมินผลจากข้อมูลที่มีอยู่ หรือหากเป็นผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตใหม่ จะต้องอาศัยความรู้และความชำนาญทางวิศวกรรมช่วยในการวิเคราะห์

โดยทั่วไปการประเมินคะแนนของความร้ายแรงที่มีของแต่ละผลกระทบดังกล่าว มักจะอยู่ในช่วงคะแนน 1 ถึง 10 ซึ่งขึ้นกับการประยุกต์ใช้ในแต่ละลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษา วิธีการสร้างช่วงของคะแนนความร้ายแรงสามารถอ้างอิงจากตารางที่ 3.3 ซึ่งคะแนนที่มีค่ามาก จะบอกถึงลักษณะของผลกระทบที่มีความรุนแรงมากตามลำดับคะแนน โดยทั่วไปการแก้ไขเพื่อลดระดับความรุนแรงของผลกระทบสามารถทำได้โดยการแก้ไขการออกแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

- พิจารณาสาเหตุของแต่ละ Potential Failure Mode (Potential Cause of Failure) เป็นการบอกถึงจุดด้อยของการออกแบบที่เป็นสาเหตุของการเกิดลักษณะข้อบกพร่องนั้น จะต้องประกอบด้วยรายละเอียดที่บ่งบอกถึงสาเหตุที่แท้จริงอย่างรัดกุมและสมบูรณ์ เครื่องมือหนึ่งที่นำมาใช้พิจารณาสาเหตุของปัญหาคือ Fault Tree Analysis (FTA) ซึ่งจะมุ่งพิจารณาที่สาเหตุโดยการหาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันในกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เครื่องมือที่ช่วยในการพิจารณาสาเหตุของปัญหาคือ แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ซึ่งในกรณีนี้จะกำหนดว่า Potential Failure Mode หรือลักษณะของข้อบกพร่องเป็นผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้น (หัวของแผนภูมิก้างปลา) และ Potential Cause หรือสาเหตุของปัญหาก็คือสิ่งที่ทำให้ลักษณะข้อบกพร่องเหล่านี้เกิดขึ้น

- ศึกษากระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกสำหรับการทำ FMEA สำหรับกระบวนการผลิตจะใช้เครื่องมือช่วยในการศึกษาคือ แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Flow Diagram) ส่วนผลิตภัณฑ์มักจะใช้ตัวต้นแบบหรือภาพการ

ออกแบบของตัวผลิตภัณฑ์นั้นช่วยในการศึกษา เพื่อให้กลุ่มสมาชิกได้ทราบถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิต หรือผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

- พิจารณาแจกแจงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ หรือ "KPIV" ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหาในแต่ละกระบวนการย่อย หรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา โดยอาศัยเครื่องมือช่วยในการศึกษาได้แก่ แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ซึ่งจะพิจารณา PIVs จากแหล่งที่มาทั้ง 6 แหล่ง ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงาน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการทำงาน (Method) ระบบการวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment)

ซึ่งหากเป็นกระบวนการผลิต KPIV อาจกำหนดเป็นกระบวนการย่อยในขั้นตอนต่างๆ ที่อาจจะมีผลต่อปัญหาที่เป็นหัวข้อของ FMEA ที่ศึกษาอยู่ แต่ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ KPIV อาจกำหนดเป็นชิ้นส่วนย่อยของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะมีผลต่อปัญหาดังกล่าว

- พิจารณาแจกแจง Potential Failure Mode หรือ "PFM" สำหรับแต่ละ KPIV ที่ได้พิจารณาจากขั้นตอนที่แล้ว โดยอธิบายลักษณะของความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งควรที่จะพิจารณาถึงลักษณะความผิดปกติดังกล่าวของกระบวนการในขั้นตอนหรือชิ้นส่วนย่อยที่กำลังพิจารณานี้ ที่อาจเป็นสาเหตุของลักษณะความผิดปกติในกระบวนการถัดไปด้วย รวมทั้งพิจารณาลักษณะความผิดปกติในระดับนี้ ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากกระบวนการก่อนหน้า PFMs ที่พิจารณาเป็นได้ทั้งลักษณะความผิดปกติทั้งทางกายภาพและทางเทคนิค

ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาค่อนข้างมาก วิธีหนึ่งที่จะช่วยให้การระดมความคิดในขั้นตอนนี้เกิดประสิทธิภาพคือ หัวหน้ากลุ่มควรจะให้สมาชิกทุกคนได้คิดถึงลักษณะของข้อบกพร่องตามความคิดของแต่ละคนที่มี ก่อนทำการประชุมเพื่อทำการระดมความคิด ซึ่งจะทำให้ได้จำนวนความคิดเห็นเกี่ยวกับ PFMs หรือลักษณะของข้อบกพร่องที่มากกว่า และรวดเร็วกว่า

แนวทางหนึ่งที่ใช้พิจารณาลักษณะของข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต คือ การศึกษาผลลัพธ์ (Output) ของแต่ละขั้นตอนย่อยในกระบวนการผลิต (จากแผนภาพกระบวนการผลิต) และพิจารณาว่ากระบวนการจะทำให้ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่ได้ตามต้องการ หรือข้อกำหนดอย่างไร สำหรับผลิตภัณฑ์ จะแยกออกเป็นส่วนประกอบหลักๆ และพิจารณาข้อ บกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนหลักดังกล่าว

เมื่อจบขั้นตอนนี้แล้ว จะได้ตาราง FMEA ที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิต หรือส่วนประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา รวมถึงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและ Potential Failure Modes ที่สัมพันธ์กับกระบวนการผลิตหรือส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

- พิจารณาแจกแจง Potential Failure Effects ของ Potential Failure Mode แต่ละตัวที่ได้จากขั้นตอนที่แล้ว โดยจะเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ที่มี

ผลต่อการทำงานของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาที่ทำการศึกษา โดย PFMs แต่ละตัวอาจจะทำให้เกิดผลกระทบขึ้นจำนวน 1 ผลกระทบหรือมากกว่าหนึ่งก็ได้

- การให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score : SEV) เป็นการประเมินความร้ายแรงที่เกิดขึ้นของผลกระทบในแต่ละ Potential Failure Modes ที่มีต่อชิ้นส่วน ระบบ หรือกระบวนการถัดไป ซึ่งอาจจะมาจากการประเมินผลจากข้อมูลที่มีอยู่ หรือหากเป็นผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตใหม่ จะต้องอาศัยความรู้และความชำนาญทางวิศวกรรมช่วยในการวิเคราะห์

โดยทั่วไปการประเมินคะแนนของความร้ายแรงที่มีของแต่ละผลกระทบดังกล่าว มักจะอยู่ในช่วงคะแนน 1 ถึง 10 ซึ่งขึ้นกับการประยุกต์ใช้ในแต่ละลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษา วิธีการสร้างช่วงของคะแนนความร้ายแรงสามารถอ้างอิงจากตารางที่ 2.2 ซึ่งคะแนนที่มีค่ามาก จะบอกถึงลักษณะของผลกระทบที่มีความรุนแรงมากตามลำดับคะแนน โดยทั่วไปการแก้ไขเพื่อลดระดับความรุนแรงของผลกระทบสามารถทำได้โดยการแก้ไขการออกแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.2 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score)

Rating	Severity of Effect	Likelihood of Occurrence	Ability to Detect
10	Hazardous without warning	Very high: Failure is almost inevitable	Can not detect
9	Hazardous with warning		Very remote chance of detection
8	Loss of primary function	High: Repeated failures	Remote chance of detection
7	Reduced primary function performance		Very low chance of detection
6	Loss of secondary function	Moderate: Occasional failures	Low chance of detection
5	Reduced secondary function performance		Moderate chance of detection
4	Minor defect noticed by most customers		Moderately high chance of detection
3	Minor defect noticed by some customers	Low: Relatively few failures	High chance of detection
2	Minor defect noticed by discriminating customers		Very high chance of detection
1	No effect	Remote: Failure is unlikely	Almost certain detection

- พิจารณาสาเหตุของแต่ละ Potential Failure Mode (Potential Cause of Failure) เป็นการบอกถึงจุดด้อยของการออกแบบที่เป็นสาเหตุของการเกิดลักษณะข้อบกพร่องนั้น จะต้องประกอบด้วยรายละเอียดที่บ่งบอกถึงสาเหตุที่แท้จริงอย่างรัดกุมและสมบูรณ์ เครื่องมือหนึ่งที่นำมาใช้พิจารณาสาเหตุของปัญหาคือ Fault Tree Analysis (FTA) ซึ่ง

จะมุ่งพิจารณาที่สาเหตุโดยการหาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันในกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เครื่องมือที่ช่วยในการพิจารณาสาเหตุของปัญหาคือ แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ซึ่งในกรณีนี้จะกำหนดว่า Potential Failure Mode หรือลักษณะของข้อบกพร่องเป็นผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้น (หัวของแผนภูมิก้างปลา) และ Potential Cause หรือสาเหตุของปัญหาก็คือสิ่งที่ทำให้ลักษณะข้อบกพร่องเหล่านี้เกิดขึ้น

ข้อสังเกตคือ Potential Failure Mode แต่ละตัวสามารถที่จะมาจากสาเหตุที่มากกว่าหนึ่งสาเหตุได้ และจากตาราง FMEA จะได้ว่าคอลัมน์ของ Potential Cause of Failure นี้จะเป็นอิสระจากคอลัมน์ของ Potential Failure Effect และคะแนนของความรุนแรง (SEV) นั่นคือ Potential Failure Effect และ SEV สามารถที่จะพิจารณาหลังจากที่ได้ใส่สาเหตุของปัญหาแล้ว

- การให้คะแนนความถี่ในการเกิด (Occurrence Score : OCC) เป็นการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุของปัญหาที่ระบุจะเกิดขึ้น ซึ่งควรที่จะมาจากข้อมูลในอดีตที่เป็นจริง แต่หากเป็นการศึกษา FMEA สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ จะต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรม, การคาดคะเน หรือถ้าเป็นไปได้อาจมาจากผลการทดลอง (Design of Experiment) แต่ไม่ว่าจะใช้วิธีการใดในการพิจารณาก็ตาม ช่วงของคะแนนความถี่นี้ควรที่จะเป็นช่วงของตัวเลขที่เหมือนกับการสร้างช่วงคะแนนของความร้ายแรง ดังตัวอย่างในตารางที่ 10.3

- พิจารณาระบบการตรวจจับในปัจจุบัน (Current Design Control) เป็นการอธิบายการควบคุมที่สามารถจะป้องกันไม่ให้ Potential Failure Mode เกิดขึ้นหรือตรวจจับการเกิดขึ้นของ Potential Failure Mode เพื่อที่จะพิจารณาหรือกำจัดสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากหน่วยการผลิตไปสู่ลูกค้า ซึ่งเครื่องมือที่ใช้มีอยู่หลายชนิด เช่น ใบตรวจสอบ, แผนภูมิควบคุมและ Poke-Yoke เป็นต้น

- การให้คะแนนการตรวจจับ (Detection Score : DET) เป็นการประเมินคะแนนของความสามารถของการหลุดลอดจากการตรวจจับ Potential Failure Mode ของระบบการควบคุมที่ได้ระบุไว้ คะแนนนี้จะทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันในการตรวจจับข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากหน่วยการผลิต ตัวอย่างการกำหนดช่วงคะแนนการตรวจจับแสดงดังในตารางที่ 10.3

- คำนวณคะแนน RPN (Risk Priority Number) ในแต่ละแถวของตาราง FMEA ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างคะแนน SEV, OCC และ DET ในแต่ละแถว

RPN = SEV * OCC * DET

เมื่อได้คะแนน RPN ในแต่ละแถวแล้ว ให้ทำการรวมคะแนนทั้งหมดเป็นคะแนน RPN รวม ซึ่งจะนำไปใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

- จัดเรียงลำดับ Potential Failure Mode และ Potential Cause of Failure ตามคะแนน RPN ที่ได้ คะแนน RPN ที่มีค่ามากจะบอกถึง Failure Mode และ Cause

ที่มีความวิกฤตมาก และเนื่องจาก RPN เป็นการวัดค่าความวิกฤตรวมของขั้นตอนการผลิตหรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ จึงได้ว่าคะแนน RPN ที่มีค่ามาก ลำดับความสำคัญในการแก้ไขจะต้องมาก่อนขั้นตอนการผลิตหรือชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีคะแนน RPN ที่น้อยกว่า เครื่องมือที่นำมาใช้ช่วยในการพิจารณาลำดับ Failure Mode/Cause ด้วยคะแนน RPN จะใช้แผนภูมิพาเรโตช่วยในการพิจารณา

- กำหนดกิจกรรมเพื่อทำการลดระดับค่าคะแนนของ SEV, OCC และ/หรือ DET ของ Failure Mode โดยเริ่มจากค่า RPN สูงสุดจากแผนภูมิพาเรโต ซึ่งจากหลักการของพาเรโตคือจะเลือกจำนวน Failure Mode/Cause ที่มีค่าคะแนน RPN เป็น 80 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับคะแนน RPN รวมของทั้งหมด ตัวอย่างเช่น การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ Failure Mode ต่างๆ ซึ่งสามารถนำผลไปทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อที่จะลดผลกระทบหรือโอกาสในการเกิดของ Failure Mode เหล่านี้ได้ ดังนั้นกลุ่มสมาชิกจึงควรที่จะพิจารณาเลือกกิจกรรมที่จะนำไปสู่การป้องกันข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (หรือลดคะแนน OCC) มากกว่าที่จะปรับปรุงระบบการควบคุมเพื่อตรวจจับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (หรือลดคะแนน DET)

- หลังจากที่ได้กำหนดกิจกรรมในการลดค่าคะแนนทั้งสามแล้ว ให้จัดทำเอกสารสำหรับกิจกรรมเหล่านี้ในรูปแบบของ FMEA และพิจารณาแผนในการนำกิจกรรมเหล่านี้ไปใช้ รวมทั้งคำนวณค่าของคะแนน RPN ใหม่ตามแผนการแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งทำให้สามารถที่จะประเมินผลการปรับปรุงได้จากการหาค่าความแตกต่างระหว่างคะแนน RPN เดิมและคะแนน RPN ตามแผนการแก้ไขที่วางไว้

นอกจากนี้ยังรวมถึงการกำหนดผู้ที่รับผิดชอบในแต่ละกิจกรรมรวมถึงระยะเวลาในการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงด้วย

2.8.2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

การวิเคราะห์ระบบการวัด มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลอง โดยทั่วไปจะทดสอบความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธีการที่เรียกว่า เกจรีพีททะบิลิตี้ และเกจรีโปรดิวซิบิลิตี้ (Gage Repeatability and Reproducibility : GR&R) โดยพิจารณาความผันแปรใน 2 ลักษณะคือ

- รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) ซึ่งหมายถึงความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยเป็นความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน และด้วยพนักงานคนเดียวกัน

- รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) ซึ่งหมายถึงความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยเป็นค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการวัดกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน

แต่เนื่องงานวิจัยฉบับนี้ต้องการศึกษาเกี่ยวกับต้นทุนคุณภาพดังนั้นจึงไม่การนำการวิเคราะห์ระบบการวัดมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

2.8.3 ANALYZE PHASE (การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา)

ในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนในการทดลองเพื่อหาผลสรุปในปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่างๆ ที่ได้เรียบเรียงจากการระดมความคิด โดยใช้ Cause and Effect Matrix และ FMEA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ตามลำดับ เพื่อเป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ เหล่านี้กับลักษณะทางคุณภาพที่เป็นเป้าหมายของการวิจัย

ข้อมูลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ต่างๆในขั้นตอนนี้จะทำให้ทราบถึงแหล่งที่มาของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและสามารถที่จะคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะทำการศึกษาต่อไป ซึ่งเป็นประโยชน์ในการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงกระบวนผลิตตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ ความรู้และเครื่องมือต่างๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ การทดสอบสมมติฐาน, การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอยเชิงเส้น

2.8.3.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

เป็นวิธีในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งสามารถที่จะทดสอบในระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่นำมาพิจารณา ซึ่งตัวสถิติที่ทำการเปรียบเทียบสามารถเป็นได้ทั้ง ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่มเทียบกับค่าเฉลี่ยที่กำหนด, ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม, ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างหนึ่งกลุ่มเทียบกับค่าความแปรปรวนที่กำหนด และค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม นอกจากนี้ยังมีการทดสอบสมมติฐานของสัดส่วนของเสียอีกด้วย ซึ่งในแต่ละการทดสอบจะใช้ตัวสถิติสำหรับการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบนั้นๆ ในการตัดสินใจด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานนี้ จะดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังนี้คือ

-ตั้งสมมติฐานหลักตามสิ่งที่ต้องการจะทดสอบ (Null Hypothesis : H_0) ซึ่งอาจจะเป็นสมมติฐานแบบสองด้าน หรือสมมติฐานแบบด้านเดียว

-ตั้งสมมติฐานรองหรือสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis : H_a)

-กำหนดค่าความเสี่ยง α (โดยทั่วไปจะกำหนดที่ค่า 0.05)

-กำหนดวิธีการตัดสินใจ ด้วยการพิจารณาถึงตัวสถิติสำหรับการทดสอบ (Test Statistic) ตัวพารามิเตอร์ แล้วพิจารณาถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวสถิติดังกล่าวด้วย

ทฤษฎีของการแจกแจงสิ่งตัวอย่าง ซึ่งอธิบายถึงขนาดความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขของการทดลองหรือ Reproducibility จากนั้นให้กำหนดช่วงแห่งการปฏิเสธและช่วงแห่งการยอมรับของตัวสถิติภายใต้ค่าความเสี่ยง (α) ที่กำหนด

-ออกแบบการทดลอง ด้วยการกำหนดค่าขนาดของสิ่งตัวอย่างจากเส้นโค้งโอซีเมื่อทราบความเสี่ยง β (θ_1)

-ดำเนินการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ได้ออกแบบไว้

-ตัดสินใจตามวิธีการตัดสินใจที่กำหนด กล่าวคือ ถ้าหากตัวสถิติสำหรับการทดสอบที่ได้จากการคำนวณอยู่ในบริเวณแห่งการยอมรับ ให้ทำการยอมรับสมมติฐานหลัก หรือสรุปว่าไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมติฐานหลัก เนื่องจากข้อมูลอยู่ภายในช่วงความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุด้าน Reproducibility ของการทดลอง แต่ถ้าหากตัวสถิติสำหรับการทดสอบ อยู่ในบริเวณแห่งการปฏิเสธให้ทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก

2.8.3.1.1 Two-Sample t-test and Confidence Interval

เป็นการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากรสองชุด เมื่อไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร โดยสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \delta_0$ กรณีทดสอบแบบสองด้าน

$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq \delta_0$

$H_0: \mu_1 - \mu_2 \geq \delta_0$ หรือ $H_0: \mu_1 - \mu_2 \leq \delta_0$ กรณีทดสอบแบบด้านเดียว

$H_a: \mu_1 - \mu_2 < \delta_0$ $H_a: \mu_1 - \mu_2 > \delta_0$

ตัวสถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$t = ((\overline{x_1} - \overline{x_2}) - \delta_0) / S$$

ตัวแจกแจงทางสถิติคือ

$t_{\alpha/2,\upsilon}$ สำหรับการทดสอบแบบสองด้าน

$t_{\alpha,\upsilon}$ สำหรับการทดสอบแบบด้านเดียว

ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย

$(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - t_{\alpha/2}\ s$ ถึง $(\overline{x_1} - \overline{x_2}) + t_{\alpha/2}\ s$ กรณีสองด้าน

$(\overline{x_1} - \overline{x_2}) - t_{\alpha}\ s$ หรือ $(\overline{x_1} - \overline{x_2}) + t_{\alpha}\ s$ กรณีด้านเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8.3.1.2 Paired t-test and Confidence Interval

เป็นการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน คู่ต่อคู่ ตัวอย่างเช่น การทดสอบสมมติฐานของความแตกต่างระหว่างเครื่องวัด 2 เครื่องด้วยสิ่งตัวอย่างเดียวกันที่เลือกมา ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานแบบนี้จะให้ผลที่มีความแม่นยำกว่า เพราะได้ควบคุมอิทธิพลจากสาเหตุอื่นๆ ที่สามารถควบคุมได้ เช่น ชิ้นงานเดียวกันและสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่เหมือนกัน โดย สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \quad \mu_d = \mu_0$$
$$H_a : \quad \mu_d \neq \mu_0$$

ตัวสถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_0}{(s_d / \sqrt{n})}$$

ตัวแจกแจงทางสถิติคือ

$$t_{\alpha/2,\upsilon}$$

ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย

$$\bar{d} - t_{\alpha/2}(s_d / \sqrt{n}) \quad \text{ถึง} \quad \bar{d} + t_{\alpha/2}(s_d / \sqrt{n})$$

โดย $$s_d = \sqrt{\frac{\sum (d - \bar{d})^2}{(n-1)}}$$

2.8.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ในหัวข้อที่แล้วเป็นการทดสอบสมมติฐานของประชากรหนึ่งกลุ่มกับค่าคงที่ที่กำหนด หรือระหว่างประชากร 2 กลุ่มเท่านั้น หากต้องการทดสอบความแตกต่างของกลุ่มประชากรที่มีมากกว่า 2 กลุ่มขึ้นไปในค่าตัวแปรตอบสนองที่สนใจ จะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน หรือ “ANOVA” เพื่อทำการทดสอบ

หลักการของ ANOVA คือเป็นการหาความแปรปรวนโดยรวม แล้วทำการพิจารณาแยกความแปรปรวนดังกล่าวนี้ออกเป็นสาเหตุย่อยๆ เนื่องจากระดับของปัจจัยที่ควบคุมได้ หรือ “ทรีทเมนต์” และความแปรปรวนจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ แล้วทำการเทียบความแปรปรวนจากแหล่งทั้งสองนี้

2.8.3.2.1 One-Way Analysis of Variance

เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว กล่าวคือมีปัจจัยที่ต้องการจะศึกษาเพียงตัวเดียว แสดงได้ด้วยตัวแบบทางสถิติเชิงเส้นตรง (Linear Statistical Model) คือ

$$Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}$$

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \; ; \; i = 1,2,3,....a \; ; \; j = 1,2,3,...n$$

โดยที่

Y_{ij} = ผลจากการทดลองของทรีทเมนต์ i ในการทำซ้ำครั้งที่ j

μ = พารามิเตอร์ร่วมสำหรับทุกทรีทเมนต์ หรือค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i = ผลจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} = ความคลาดเคลื่อน

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ สามารถกำหนดได้ดังนี้

H_0 = $\mu_1 = \mu_2 = ... = \mu_a$

H_a = $\mu_1 \neq \mu_j$ อย่างน้อยหนึ่งค่าของ (i,j) ที่ $i \neq j$

สมการในการคำนวณ

$$Y_{..} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n} Y_{ij} \quad \text{และ} \quad \frac{Y_{..}}{an} = \bar{Y}_{..}$$

$$Y_{.j} = \sum_{i=1}^{a} Y_{ij} \quad \text{และ} \quad \frac{Y_{.j}}{a} = \bar{Y}_{.j}$$

$$Y_{i.} = \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} \quad \text{และ} \quad \frac{Y_{i.}}{n} = \bar{Y}_{i.}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}\left(Y_{ij} - \bar{Y}_{..}\right)^2$$

$$SS_{Tr} = n\sum_{i=1}^{a}\left(\bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{..}\right)^2$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n}\left(Y_{ij} - \bar{Y}_{i.}\right)^2$$

จะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$F_0 = \frac{MS_{Tr}}{MS_E} > F_{\alpha;a-1,a(n-1)}$$

สามารถสรุปเป็นตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตาราง One-way ANOVA

Source of Variation	Sum of Square	Degrees of Freedom	Mean Square	F0
Treatment	SS_{Tr}	a-1	$\frac{SS_{Tr}}{a-1}$	$\frac{MS_{Tr}}{MS_E}$
Error	SS_E	N-a	$\frac{SS_E}{N-a}$	
Total	SS_T	N-1		

2.8.3.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอยเชิงเส้น (Correlation and Simple Linear Regression)

2.8.3.3.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามใดๆ คือการพิสูจน์และหาว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง 2 ตัวแปรนั้นมีมากน้อยเพียงใด เรียกว่า "Correlation Coefficient" (r) ซึ่งหาได้จากสมการคือ

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง –1, 1 จะหมายถึงตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางบวกอย่างสมบูรณ์ –1 จะหมายถึงตัวแปรมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในทางลบอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัวแสดงดังแผนภาพที่ 2.2 ส่วนสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบนี้จะกำหนดเป็น

$$H_0 : \rho = 0$$

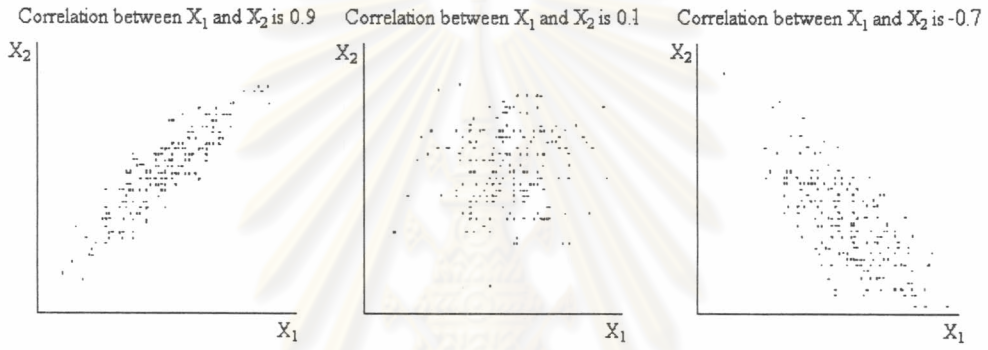
$$H_a : \rho \neq 0$$

และตัวสถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$t_0 = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

จะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ

$$|t_0| > t_{\alpha/2,n-2}$$



แผนภาพที่ 2.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร

2.8.3.3.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น เป็นการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงและสร้างตัวแบบสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ทำการศึกษา ซึ่งหากเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวและตัวแปรตาม จะเรียกว่า "Simple Linear Regression" แต่ถ้าหากเป็นความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว จะเรียกว่า "Multiple Regression"

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของความสัมพันธ์คือ

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon \qquad \text{โดยที่ i} = 1,2,....n$$

และสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบได้ตามสมการดังนี้คือ

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 \quad \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}{n}$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^{n} y_i\left(x_i - \bar{x}\right) = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{n}$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}\ ; \qquad \hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

- การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย โดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบ ซึ่งจะทำให้สามารถแยกความแปรปรวนออกเป็นความผันแปรของตัวแบบถดถอยและความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุโดยธรรมชาติ ดังสมการ

$$SS_{total} = SS_{regrssion} + SS_{error}$$

$$SS_{total} = \sum\left(y_i - \bar{y}\right)^2$$

$$SS_{regression} = \sum\left(\hat{y}_i - \bar{y}\right)^2 = \hat{\beta}_1 S_{xy}$$

$$SS_{error} = \sum\left(y_i - \hat{y}_i\right)^2$$

และตัวสถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$F_0 = \frac{MS_{regreesion}}{MS_{error}}$$

จะปฏิเสธสมมติฐานเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณามีผลอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ

$$F_0 > F_{\alpha,1,n-2}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การทดสอบความไม่สมรูปของตัวแบบกับข้อมูล เพื่อเป็นการทดสอบว่าตัวแบบถดถอยดังกล่าวมีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ จึงมีความจำเป็นต้องทดสอบเทียบความกลมกลืนกันของตัวแบบถดถอยดังกล่าว ด้วยการพิจารณาจากค่าเศษเหลือของข้อมูลที่เกิดจากตัวแบบถดถอยว่ามีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งสมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

H_0 : ตัวแบบถดถอยมีความสมรูป (Fit) กับข้อมูล

H_a : ตัวแบบถดถอยไม่มีความสมรูปกับข้อมูล

และใช้ตัวสถิติสำหรับการทดสอบคือ

$$F_0 = \frac{SS_{LOF} / (m-2)}{SS_{PE} / (n-m)} = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \sim F_{m-2;n-m}$$

- การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบถดถอย เพื่อเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการคือ

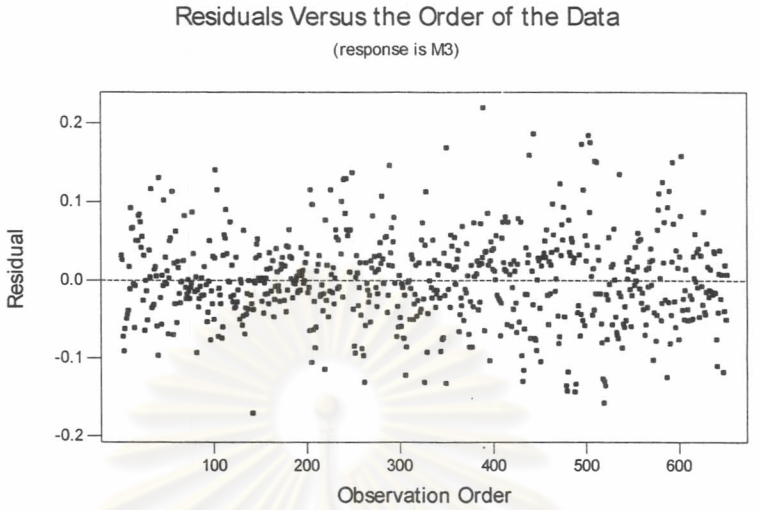
ประการที่ 1 : ความเป็นอิสระ (Time Sequence) หมายความว่า ข้อมูลทุกจุดในการทดลอง จะต้องเป็นอิสระต่อกันโดยสุ่ม

ประการที่ 2 : ความเป็นปกติ (Normality Assumption) หมายความว่า ข้อมูลทุกจุดในการทดลองจะต้องเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ นั่นคือจะมีแนวโน้มเข้าหาค่าค่าหนึ่งที่คงที่ และมีการกระจายรอบค่าคงที่ดังกล่าวอย่างสมมาตร

ประการที่ 3 : ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) หมายความว่า ความแตกต่างของข้อมูลทุกจุดในการทดลองจะต้องเกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติในระบบที่ทำการทดลองเท่านั้น

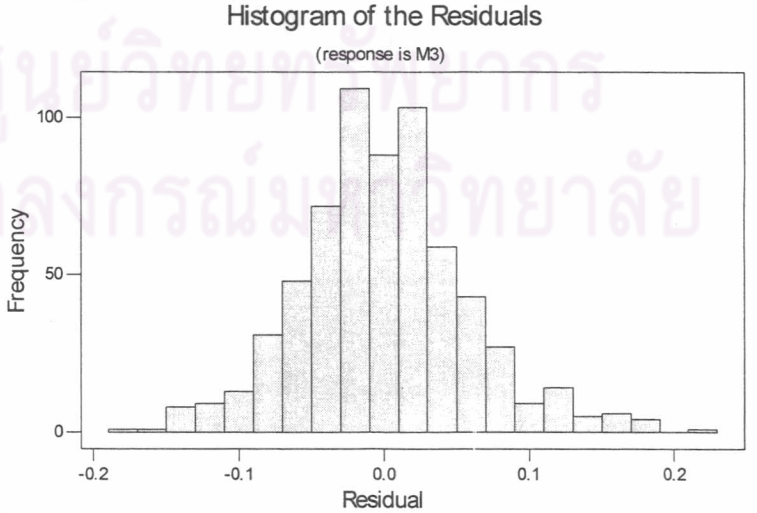
การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบถดถอยตามสมมติฐานทั้ง 3 ประการนี้จะใช้วิธีในการวิเคราะห์คือ การวิเคราะห์เศษเหลือ (Residual Analysis) ดังมีรายละเอียดวิธีการพิจารณาดังนี้คือ

- การวิเคราะห์เศษเหลือสำหรับความเป็นอิสระของข้อมูล (Time Sequence) โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล ซึ่งแผนภาพไม่ควรที่จะมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังแผนภาพที่ 2.3

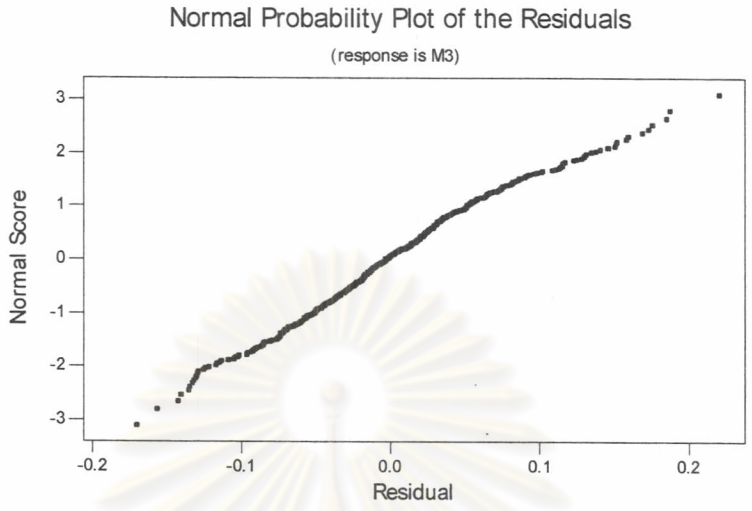


แผนภาพที่ 2.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและลำดับของข้อมูล

- การวิเคราะห์เศษเหลือสำหรับความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Assumption) โดยวิธีการสร้างแผนภาพฮีสโตแกรมของค่าเศษเหลือ ซึ่งควรที่จะมีการกระจายตัวเป็นรูประฆังคว่ำแบบสมมาตร หรือใช้วิธีการพล็อตค่าเศษเหลือในกระดาษ NOPP (Normality Paper Plot) ซึ่งหากค่าเศษเหลือมีการกระจายแบบปกติ จะได้กราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ตัวอย่างของฮีสโตแกรมและการพล็อตค่าเศษเหลือ แสดงในแผนภาพที่ 2.4 ก และ ข ตามลำดับ



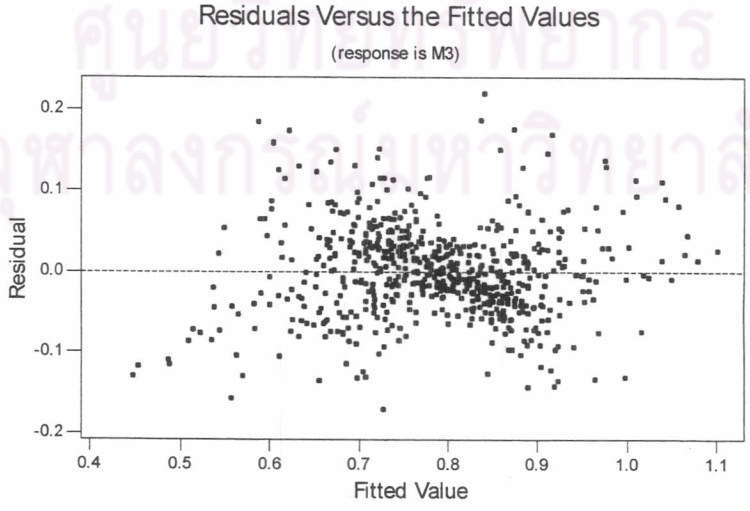
ก) ฮีสโตแกรม



ข) Normal Probability Plot

แผนภาพที่ 2.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและลำดับของข้อมูล
ก) ฮีสโตแกรม ข) Normal Probability Plot

- การวิเคราะห์เศษเหลือสำหรับความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือกับค่าตัวแปรตามที่ได้จากสมการตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพไม่ควรที่จะมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงดังตัวอย่างในแผนภาพที่ 2.5



แผนภาพที่ 2.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและค่า Fitted value

- สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) เป็นการพิจารณาว่าตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ สามารถที่จะอธิบายสัดส่วนความผันแปรที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งมีสมการดังนี้

$$R^2 = \frac{SS_{regression}}{SS_{total}} = 1 - \frac{SS_{error}}{SS_{total}}$$

เช่น R^2 มีค่าเท่ากับ 0.80 นั่นหมายถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของความผันแปรในตัวแปรตอบสนองที่สามารถที่จะอธิบายได้จากตัวแบบถดถอย

2.8.4 IMPROVE PHASE (การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ)

ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อลักษณะทางคุณภาพของลูกค้าที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้ว มาทำการศึกษาถึงความสามารถของกระบวนการที่ค่าต่างๆ ของตัวแปรเหล่านี้ ซึ่งสามารถที่จะทำการกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลทำให้กระบวนการผลิตสามารถที่จะผลิตงานที่มีค่าของลักษณะทางคุณภาพได้ตรงตามเป้าหมายที่ลูกค้ากำหนด, มีความเบี่ยงเบนที่น้อยที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงสุด

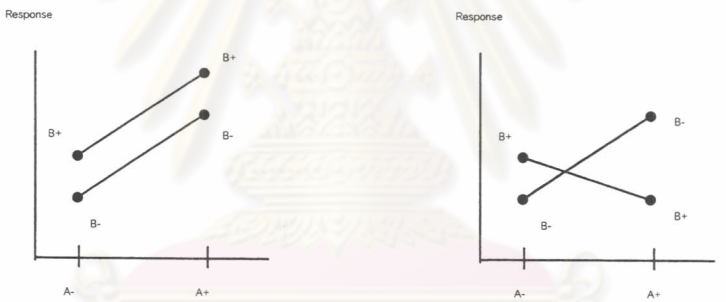
ความรู้และเครื่องมือต่างๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ของขั้นตอนนี้จะเกี่ยวข้องกับความรู้ในเรื่องของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) โดยการออกแบบการทดลองเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตามที่สนใจในสภาวะต่างๆ ของระบบหรือของตัวแปรอิสระต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามที่ได้กำหนดไว้ (Treatment Combination) ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินการทดลองมีดังนี้

- นิยามปัญหา
- กำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่จะใช้ในการทดลอง รวมทั้งการพิจารณาระดับของค่าของปัจจัยต่างๆ ดังกล่าว
- กำหนดเลือกตัวแปรตอบสนองที่ต้องการศึกษา (KPOV)
- เลือกแบบของการทดลอง ซึ่งรวมถึงการพิจารณาขนาดของสิ่งตัวอย่างที่ใช้ (Replication), ลำดับการทดลอง และตัวแปรอื่นๆ ที่ต้องควบคุม
- ทำการทดลองตามแผนที่ได้วางไว้
- วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีการทางสถิติ
- สรุปผลการทดลอง

2.8.4.1 แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุกๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีจำนวน 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุกๆ Treatment combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัว จะได้รับการศึกษาไปพร้อมๆ กัน

ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้าจะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า "อิทธิพลหลัก (Main Effect)" ส่วนอิทธิพลร่วม (Interaction) จะหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองในระดับของปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่างๆ ของปัจจัยนำเข้าตัวอื่นๆ ซึ่งแสดงได้โดยพิจารณาจากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองในแผนภาพที่ 2.6



ก) ข)

แผนภาพที่ 2.6 แผนภาพแสดงปัจจัยร่วมในการทดลอง ก) ปัจจัยร่วมไม่มีผล ข) ปัจจัยร่วมมีผล

ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

- ในกรณีที่ต้องการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าจำนวนหลายตัว จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองจำนวนที่น้อยกว่าการทดลองทีละ 1 ปัจจัย (One-factor-at-a-time)

- ใช้เวลาการทดลองที่น้อยกว่า เนื่องจากเป็นการศึกษาปัจจัยหลายตัวพร้อมๆ กัน

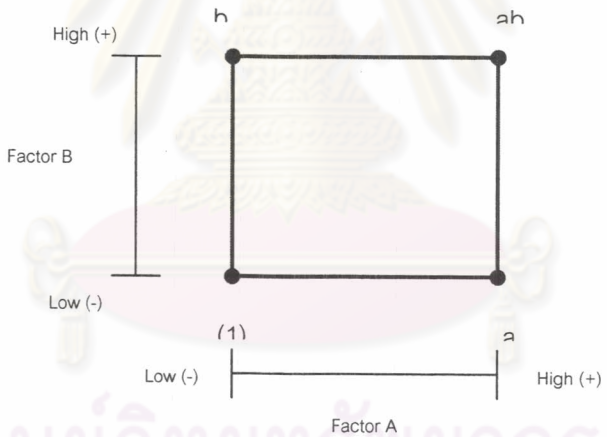
- ผลสรุปจากการทดลองแบบแฟคทอเรียล สามารถที่จะสรุปผลได้ครอบคลุมมากกว่า เนื่องจากสามารถพิจารณาในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองด้วยการทดลองแบบแฟคทอเรียล

แบบต่างๆ ของการทดลอง มีดังนี้

- General Full Factorial Designs : จะกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าในระดับต่างๆ ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง และทำการทดลองในทุกๆ Treatment Combination.

- Fractional Factorial Designs : เป็นสับเซตของการทดลอง General Full Factorial Design คือจะลดจำนวนของการทดลองลง โดยพิจารณาเลือกจำนวนการทดลองจาก Treatment Combination ในผลกระทบที่ระดับสูงของตัวแปรซึ่งเรียกว่า " Generator "

- 2^k Factorial Designs : เป็นการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นแบบ Full Factorial หรือเป็นแบบ Fractional Factorial Design โดยในแต่ละปัจจัยนำเข้าจะกำหนดค่าเพียง 2 ระดับในการทดลอง และทำการทดลองในทุกๆ Treatment Combination เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของตัวแปรตอบสนองในการวิจัย ตัวอย่างภาพแสดง Treatment combination ของการทดลองแบบ 2^k Factorial Designs ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดง Treatment Combination ใน 2^k Factorial Design

โดยสามารถคำนวณอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยนำเข้าได้ดังนี้คือ

อิทธิพลหลักของปัจจัย A = $\frac{1}{2n}\{[ab-b]+[a-(1)]\}$

อิทธิพลหลักของปัจจัย B = $\frac{1}{2n}\{[ab-a]+[b-(1)]\}$

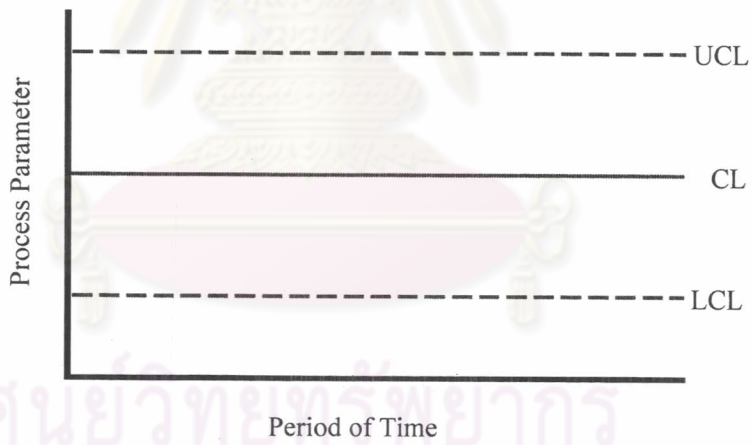
อิทธิพลร่วมของปัจจัย AB = $\frac{1}{2n}\{[ab-b]-[a-(1)]\}$

การทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้า สามารถพิจารณาด้วยหลักการการวิเคราะห์ความแปรปรวน

2.8.5 CONTROL PHASE (การควบคุมกระบวนการผลิต)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการซิกซ์ ซิกมา เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้ว และได้ทดสอบเพื่อยืนยันผลการสรุปเรียบร้อยแล้ว โดยการนำความรู้และเครื่องมือเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งประเภทของแผนภูมิควบคุม (Control Chart) มีรายละเอียดดังนี้คือ

แผนภูมิควบคุมใช้ในการตรวจสอบกระบวนการ สร้างโดยการนำข้อมูลมาพล็อตตามเวลาที่เก็บ ซึ่งกลุ่มของข้อมูลโดยทั่วไปจะใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างจำนวน 5 ข้อมูลต่อกลุ่ม (Subgroup) ทั้งนี้ขึ้นกับประเภทของแผนภูมิควบคุมที่นำมาประยุกต์ใช้และลักษณะตัวแปรที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาเส้นกลาง (Center line), เส้นควบคุมล่าง (Lower control limit : LCL) และเส้นควบคุมบน (Upper control limit : UCL) โครงสร้างโดยทั่วไปของแผนภูมิควบคุมแสดงดังแผนภาพที่ 2.7 และจำนวนข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณเส้นควบคุมจะต้องมีไม่ต่ำกว่า 20 จุด



แผนภาพที่ 2.7 รูปแบบทั่วไปของแผนภูมิควบคุม

2.8.5.1 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R Chart และ $\overline{X}$ - S Chart

เป็นแผนภูมิควบคุมของข้อมูลเชิงผันแปร โดยแยกออกเป็นแผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูลซึ่งจะแสดงความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม และแผนภูมิที่แสดงค่าพิสัยของข้อมูลซึ่งจะแสดงความแปรปรวนภายในกลุ่ม โดยเส้นควบคุมต่างๆ สามารถที่จะคำนวณได้ดังสมการ

$\overline{X}$: CL = $\overline{\overline{X}}$ UCL = $\overline{\overline{X}} + A2\overline{R}$ LCL = $\overline{\overline{X}} - A2\overline{R}$

UCL = $\overline{\overline{X}} + A3\overline{S}$ LCL = $\overline{\overline{X}} - A3\overline{S}$

R : CL = $\overline{R}$ UCL = $D4\overline{R}$ LCL = $D3\overline{R}$

S : CL = $\overline{S}$ UCL = B4$\overline{S}$ LCL = B3$\overline{S}$

2.8.5.2 แผนภูมิควบคุม XmR Chart หรือ ImR Chart

เป็นแผนภูมิควบคุมที่ประกอบด้วยแผนภูมิที่แสดงถึงข้อมูลแต่ละตัว (Individual) และค่า moving Range (mR) เป็นแผนควบคุมที่เหมาะกับกระบวนการทางเคมีที่มีการผลิตแบบ Batch หรือกระบวนการทางเคมีที่มีความต่อเนื่องหรือกระบวนการแบบอัดขึ้นรูป (Extrusion) โดยเส้นควบคุมต่างๆ สามารถที่จะคำนวณได้ดังสมการ

แผนภูมิ X หรือ I

$$LCL = \overline{X} - E_2\overline{R}$$
$$CL = \overline{X}$$
$$UCL = \overline{X} + E_2\overline{R}$$

แผนภูมิ mR

$$LCL = D_3\overline{R}$$
$$CL = \overline{R}$$
$$UCL = D_4\overline{R}$$

เมื่อ

$$\hat{\sigma} = \overline{R}/d_2$$

2.9 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการหาหาจุดเหมาะสม

เนื่องจากในการหาจุดเหมาะสมของค่า Abnormal yield target ต้องใช้ทฤษฎีจุดเหมาะสม (Optimization theorem) ของ คาร์รัชและคุนทัคเกอร์ (The Karush and Kuhn tucker condition) ซึ่งใช้สำหรับตัวแบบถดถอยมีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการกำลังสอง (Second order) หรือควอดราติก (Quadratic) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$
\begin{aligned}
\text{Min} \quad & f(x_1,x_2,.....,x_n) \\
\text{st.} \quad & g_1(x_1,x_2,.....,x_n) \le b_1 \\
& g_2(x_1,x_2,.....,x_n) \le b_2 \qquad (1) \\
& \vdots \\
& g_m(x_1,x_2,.....,x_n) \le b_m
\end{aligned}
$$

กำหนดให้ (1) กำหนดเป็นการค่าต่ำสุดของสมการ ถ้า $x = (x_1,x_2,.....,x_n)$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดของสมการ (1) ,โดย $x = (x_1,x_2,.....,x_n)$ สามารถแทนค่า m constraints ของสมการ (1), และให้ค่า $I_1, I_2, ...I_m$ .. เป็นจริง

ทฤษฎี

$$
\frac{\partial f\left(\bar{x}\right)}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^{i=m} \bar{\lambda}_i \frac{\partial g_i\left(\bar{x}\right)}{\partial x_j} = 0 \qquad (j = 1,2,.....,n)
$$

$$
\bar{\lambda}_i \left[b_i - g_i\left(\bar{x}\right) \right] = 0 \qquad (i = 1,2,.....,m)
$$

$$
\bar{\lambda}_i \ge 0 \qquad (i = 1,2,.....,m)
$$

2.10 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนคุณภาพ

2.10.1 กังวาน ชยุติมันติกุลม . "การวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพสำหรับโรงงานหล่อโลหะ" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545

เป็นงานวิจัยที่ศึกษาและจัดตั้งระบบต้นทุนคุณภาพของโรงงานหล่อโลหะที่ใช้เตาไฟฟ้าและทำการวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพโดยเริ่มจากทำการวิเคราะห์กิจกรรมและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งจัดทำระบบต้นทุนคุณภาพที่ประกอบไปด้วยการจัดทำแบบฟอร์มเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับใช้ในการคำนวน, การจัดอบรมพนักงานในการบันทึกข้อมูล, การคำนวณต้นทุนคุณภาพ, และรายงานผลที่เกิดขึ้นและนำไปสู่การวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพที่เกิดขึ้นตามแต่ละประเภทของต้นทุนคุณภาพ

จากการวิจัยพบว่าทางโรงงานสามารถจัดตั้งระบบต้นทุนคุณภาพและควบคุมคุณภาพให้เป็นระบบและสามารถวัดผลได้โดยใช้ต้นคุณภาพเป็นตัวชี้วัดซึ่งพบว่าจากชิ้นงาน

ตัวอย่างมีต้นทุนอยู่ที่ 35.82 บาท/กก. จะมีต้นทุนคุณภาพอยู่ที่ 8.22 บาท/กก. คิดเป็น 22.95% และพบต้นทุนที่ซ่อนเร้นอยู่ 3.06 บาทคิดเป็น 8.54 %

2.10.2 กำพล กิจชระภูมิ และ สุชาติ ยุวรี "ลดต้นทุนไม่ลดคุณภาพ" สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2546

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับหลักการ แนวคิด รวมถึงวิธีการของต้นทุนคุณภาพที่จะนำไปปฏิบัติและประยุกต์ใช้โดยอธิบายถึงขั้นตอนในการจัดทำต้นทุนคุณภาพ หลักการและวิธีการในการวิเคราะห์ต้นทุนคุณภาพ

ในการศึกษามีการยกตัวอย่างกรณีศึกษาในการปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนคุณภาพของบริษัทกระเบื้องดีดี จำกัด สำหรับกรณีศึกษานี้มีการรวบรวมต้นทุนคุณภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงต้นทุนคุณภาพ โดยสามารถลดปัญหาเกี่ยวกับกระเบื้องแตกมุม และจากการปรับปรุงทำให้บริษัทลดรายจ่ายเกี่ยวกับของเสียได้ปีละ 232,000 บาท

2.10.3 ณัฐกา โยคะกุล " การหาจุดเหมาะสมด้านต้นทุนคุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546

เป็นงานวิจัยที่นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนคุณภาพ และการลดต้นทุนคุณภาพโดยรวมลงงโดยที่ระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์คงเดิม รวมทั้งหาจุดเหมาะสมของต้นทุนคุณภาพ บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทประกอบธุรกิจเกี่ยวกับของขบเคี้ยวสุนัขจากหนังสัตว์

จากงานวิจัยพบว่าจุดเหมาะสมต่อการพัฒนาเพื่อลดต้นทุนคุณภาพคือ P + A เท่ากับ 855 และ F เท่ากับ 1,384 บาทต่อตันการผลิต

2.10.4 วัสชัย ลิมปนวาร " ต้นทุนคุณภาพในการผลิตเครื่องครัว " วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

เป็นงานวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาและเสนอแนะขั้นตอนการจัดทำระบบต้นทุนคุณภาพภายในกระบวนการผลิตเครื่องครัว เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพของการผลิตให้ดียิ่งขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กับต้นทุนที่ลดลงและเป็นจุดเริ่มต้นในการบรรลุ การปรับปรุงคุณภาพโดยรวม สำหรับขั้นตอนในการจัดทำระบบต้นทุนคุณภาพเริ่มจากการจัดทำระบบคุณภาพ หลังจากนั้นจึงจัดทำระบบต้นทุนคุณภาพ ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดต้นทุนคุณภาพได้ถึง 12% ภายในระยะเวลา 1 เดือนหลังจากการทดลองใช้ระบบต้นทุนคุณภาพ

2.10.5 George P. Laszlo, "The role of quality cost in TQM", The TQM magazine volume 9 number 9, pp 410-413. 1997

เป็นบทความที่พูดถึงความสัมพันธ์ของระบบต้นทุนคุณภาพต่อความสำเร็จของการนำ TQM ไปปฏิบัติใช้จริง โดยชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของต้นทุนคุณภาพในด้านการเงิน ที่ช่วยให้โครงการ TQM ได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง รวมถึงการชี้ให้เห็นถึงโครงการที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพที่จะถูกริเริ่ม และนำไปปฏิบัติอย่างสอดคล้องกับกลยุทธ์โดยรวมขององค์กรซึ่งส่วนใหญ่จะเน้นหนักทางด้านการเงิน อาจกล่าวได้ว่าแนวคิดของต้นทุนคุณภาพภายใต้กรอบการทำงานของ TQM จะนำมาซึ่งการวิเคราะห์และเฝ้าติดตามการดำเนินงานขององค์กรด้วยดัชนีชี้วัดทางด้านคุณภาพที่สามารถระบุได้ในแง่ของการเงิน ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ทั่วไปในธุรกิจต่าง ๆ รวมถึงสามารถสื่อสารกับผู้บริหารได้ด้วยภาษาทางการเงิน ในการที่จะได้รับการสนับสนุน โครงการที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพ ให้ประสบผลสำเร็จลุล่วง

2.11 การศึกษาตัวอย่างการประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกมาจากบทความหรืองานวิจัยอื่น

2.11.1 นวลพรรณ ใจงาม "การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตในกระบวนการประกอบหัวอ่านและบันทึก โดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

เป็นการวิจัยเกี่ยวกับการลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าอัตราส่วนข้อบกพร่องจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตสามารถลดลงจาก 31,600 PPM หรือเมื่อเทียบในค่าของ Sigma Quality level สามารถปรับปรุงจากระดับ 3.36 เป็นที่ระดับ 3.91 และสามารถลดค่าความเสียหายและได้รับผลประโยชน์ตอบแทนจากการปรับปรุงคุณภาพได้ถึง 163,999 ดอลลาร์สหรัฐภายในระยะเวลาสองไตรมาส

2.11.2 ชาญชัย บวรโชคชัย " การลดปริมาณของเสียที่เกิดจาดค่า Pitch Static Attitude (PSA) ของแขนจับหัวอ่านโดยวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545

เป็นงานวิจัยที่ศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของ PSA และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ค่าความแปรปรวนลดลงได้ ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 4,456 PPM จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นประมาณ 997 PPM ซึ่งคิดเป็น 77.63

เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียที่ลดได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต และสามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 2,750,580 บาท โดยประมาณจากปริมาณการขายที่พยากรณ์ไว้ของบริษัทจากเดือนกรกฎาคม 2545 ถึงเดือนมีนาคม 2546

2.11.3 ธีรยุทธ มัดจุปะ "การปรับปรุงคุณภาพความหนาทองแดงในรูของกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์โดยประยุกต์วิธีซิกซ์ ซิกมา" วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546

เป็นงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากค่าความหนาทองแดงในรู (Copper-in-Hole thickness) ของแผ่นวงจรพิมพ์ออกนอกข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า โดยนำวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามวิธีซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของความหนาทองแดงในรู และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ค่าความหนาทองแดงในรูมีค่าเฉลี่ยเข้าสู่ค่าเป้าหมายและของเสียลดลงได้ โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย Part Per Million (PPM) ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 14,872 PPM และหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นประมาณ 77 PPM ซึ่งคิดเป็น 99.5 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียที่ลดได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต และสามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 839,837 บาทต่อปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย