บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผสมสีในการผลิตสีผง ดังนี้

1) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสีผง

2) ทฤษฎีระบบการวัดสีแบบ CIE

3) ทฤษฎีการปรับปรุงคุณภาพ (Quality improvement)

4) เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

5) เทคนิคการวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis: FTA)

6) เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tools)

7) การออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment: DOE)

8) การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

9) การประเมินความสามารถของกระบวนการ

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสีผง

สีผงเป็นสีอบอุตสาหกรรมที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่เพื่อแทนที่สีอบน้ำมันที่ใช้อยู่เดิม โดยสีผงมีข้อได้เปรียบสีน้ำมันในแง่ของการไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สุขภาพและความปลอดภัยในนสถานที่ทำงาน และสีผงที่ใช้แล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย ทั้งนี้สีผงส่วนมากนิยมพ่นบนผิวโลหะ เช่น เหล็ก และอลูมิเนียม เป็นต้น เพื่อป้องกันพื้นผิวจากสภาพแวดล้อมและเพื่อความสวยงามของชิ้นงาน

ความหมายของสีผง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสีผงเคลือบเครื่องเหล็ก (มอก. 1098-2552) ได้ให้ความหมายของสีผง หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง ประกอบด้วยผงสี เรซิน และสารเติมแต่งอื่นๆ เรซินที่ใช้ เช่น อีพ็อกซีเรซิน โพลิเอสเทอร์เรซิน เรซินผสมของอีพ็อกซีเรซินกับโพลิเอสเทอร์เรซิน เป็นต้น ใช้เคลือบชิ้นงานเหล็ก แล้วทำให้สีผงหลอมเคลือบติดผิวเหล็กด้วยความร้อน ขณะที่อรอุษา สรวารี (2544) ได้ให้ความหมายว่า สีผงใช้กันมากในการเคลือบโลหะ สีผง

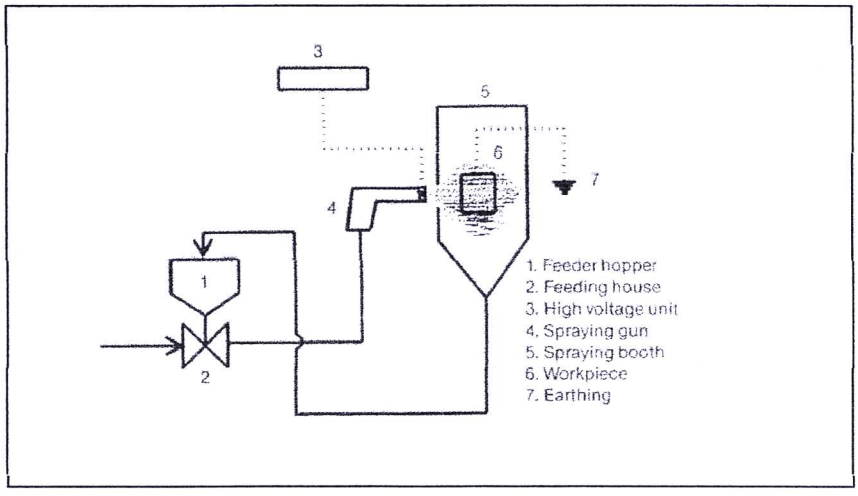
ประกอบด้วยของแข็ง 100 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ สารยึด ผงสี เอ็กซ์เทนเดอร์(extender) สารควบคุมการไหล ตัวเร่งปฏิกิริยา และไม่มีตัวทำละลาย

สำหรับวิธีการใช้สีผง มี 2 วิธี คือ

1) กระบวนการอ่างฟลูอิดไดซ์ (Fluidized bed process)

2) กระบวนการพ่นด้วยกำลังไฟฟ้าสถิต (Electrostatic spraying process)

สำหรับโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตสีผงสำหรับวิธีการใช้ด้วยกระบวนการพ่นด้วยกำลังไฟฟ้าสถิตย์ โดยวิธีการนี้สีผงจะถูกทำให้มีประจุไฟฟ้าที่บริเวณหัวปืนพ่นซึ่งบรรจุสีผงอยู่ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปบริเวณระหว่างหัวปืนพ่น และวัสดุที่ต้องการเคลือบซึ่งถูกต่อสายดินไว้ สีผงจะวิ่งไปเกาะอยู่บนผิวน้ำของวัสดุที่ต้องการเคลือบ



รูปที่ 2.1 กระบวนการพ่นสีด้วยกำลังไฟฟ้าสถิต (Electrostatic spraying process)
ที่มา: Misev (1990)

ประเภทของสีผง (Misev, 1990)

ประเภทของสีผงแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามประเภทของพลาสติก คือ

1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

2) เทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

สำหรับการผลิตสีผงเคลือบผิวของโรงงานตัวอย่างเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง จึงได้ทำการศึกษารายละเอียดของเทอร์โมเซตติง ดังนี้

เทอร์โมเซตติง จัดเป็นพอลิเมอร์ประเภทพลาสติกที่เป็นของแข็งสามารถคงรูปได้ภายใต้สภาวะที่มีแรงกดและที่อุณหภูมิการใช้งาน แต่จะเป็นของไหลหนืด (viscous flow) ที่อุณหภูมิทำการแปรรูป พอลิเมอร์ที่หลังจากผ่านการแปรรูปแล้วจะแข็งตัวอย่างถาวร เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล (cross-linking reaction) ทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุล การให้ความร้อนหลังการแปรรูปจะไม่มีผลทำให้เกิดการหลอม แต่จะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและปฏิกิริยาออกซิเดชัน หากให้ความร้อนสูงมากจะได้ถ่านสีดำเป็นผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเทอร์โมเซทติงจึงไม่สามารถไม่สามารถนำเศษพลาสติกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไปทำรีไซเคิลและนำไปใช้ใหม่ได้ (เจริญ นาคะสรรค์, 2545)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสีผง

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตสีผง แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1) ผงสี (Pigment)

คือ สารที่ปรากฏเป็นสีสันต่าง ๆ กับสิ่งที่นำมาเคลือบ มีลักษณะเป็นผงละเอียด โดยทั่วไปมีหน้าที่ให้ความสวยงาม เนื่องจากเป็นตัวทำให้เกิดเฉดสี และความทึบแสง ช่วยในการปิดบังพื้นผิว (RPSC Intertrade Co.,Ltd, 2007)

ประเภทของผงสีแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ (เจริญ นาคะสรรค์, 2545)

1.1) ผงสีอนินทรีย์ (Inorganic Pigment)

จะให้สีค่อนข้างทึบ แต่จะให้สีใสที่ระดับความเข้มข้นต่ำ

เช่นTitanium, Oxides, Carbon, Sulfide Silicates และ Chromates เป็นต้น

1.2) ผงสีอินทรีย์ (Organic Pigment)

เป็นสีที่ให้มีความใสสูงกว่าผงสีอนินทรีย์ และมีหลากสีมาก แต่มีข้อเสียคือมักจะเกิดการเคลื่อนย้าย (migration) ได้ง่าย ทนต่อความร้อนต่ำกว่าสีผงอนินทรีย์ นอกจากนี้กระจายตัวในเรซินได้ยาก มักจะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน (agglomeration) ซึ่งเป็นจุดอ่อนต่อการสูญเสียคุณสมบัติเชิงกล เช่น

- สีเหลือง ได้จาก monoazo pigment, diazo pigment เป็นต้น
- สีแดง ได้จาก monoazo napthol และ quinacridone เป็นต้น
- สีน้ำเงินและเขียว ได้จาก cu-phthalocyanide เป็นต้น

2) เรซิน (Resin Binder หรืออาจเรียกว่า Binder หรือ Film former)

หมายถึง วัสดุสังเคราะห์ชนิดเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ (Plastic) มีหน้าที่ในการยึดประสานระหว่างส่วนประกอบอื่นๆ ของสีเข้าไปด้วยกัน พร้อมกับการยึดเกาะระหว่างชั้นของสีกับพื้นผิวที่เคลือบเกิดเป็นเนื้อฟิล์มขึ้น (อรอุษา, 2544) สำหรับเรซินที่ใช้กันอยู่ในอุตสาหกรรมสีผง เช่น Epoxy, Polyester เป็นต้น

3) ตัวทำแข็ง (Hardener)

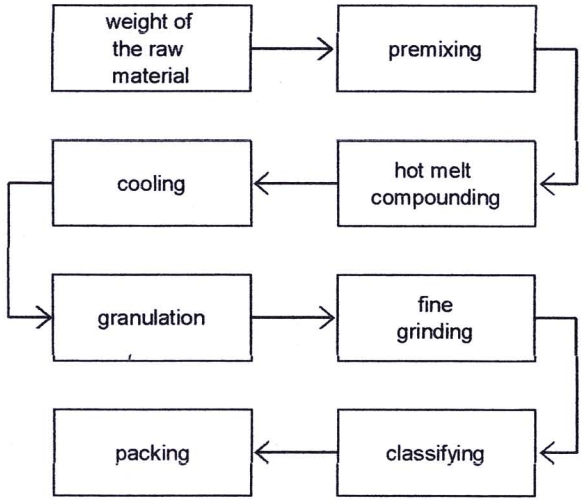
เป็นสารเคมีใช้ผสมกับเรซินแล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่นให้สีแข็งตัวเร็วขึ้น และให้ความด้าน

4) สารปรับแต่งคุณภาพ (Additive)

เป็นสารเคมีที่เติมผสมลงไปในเพื่อปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามต้องการ (RPSC Intertrade Co.,Ltd, 2007) ทั้งในด้านกระบวนการผลิต และการปรับปรุงคุณสมบัติของสี เช่น สารเพิ่มการยึดเกาะกันของสี (Binder), สารที่ทำให้แห้ง (Drier) สารป้องกันการแข็งตัว (Anti Setting) เป็นต้น

กระบวนการผลิตสีผง

กระบวนการผลิตสีผงเคลือบผิว เป็นการนำเทคโนโลยีของพลาสติกมาใช้ในกระบวนการผลิตมากกว่าสี เทคนิคในการผลิตขึ้นกับอุปกรณ์การใช้งานของอุตสาหกรรมพลาสติกและการทำให้เป็นผง (Misev, 1990) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.2 แผนผังกระบวนการผลิตสีผง

ที่มา: Misev (1990)

1) การผสมเบื้องต้น (Premixing)

การผสมส่วนผสมเบื้องต้นโดยเป็นการกวนวัตถุดิบซึ่งเป็นของแข็งหลายชนิดคลุกเคล้าเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสม (Mixer) ผลของการผสมทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคของวัสดุต่างชนิดกันเข้ากันอย่างทั่วถึง แต่ยังคงแยกอนุภาคของสารแต่ละชนิดให้เห็นอย่างชัดเจน (เจริญ นาคะสรรค์, 2545) การผสมส่วนผสมที่ไม่เพียงพอนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมที่ใช้ในปริมาณเล็กน้อย เช่น สารเติมแต่ง (Additive) และผงสี (Tinting Pigment) อาจนำไปสู่ส่วนผสมที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติการไหลที่ด้อยลง, คุณสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี, สีของผิวเคลือบที่ไม่สม่ำเสมอกัน, ความเงาลดลง, ตำหนิบนพื้นผิว ฯลฯ วัตถุดิบที่ผ่านการผสมเสร็จแล้วจะมีขนาดลดลง เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติก่อนการแปรรูปด้วยการหลอมละลายด้วยความร้อนในกระบวนการถัดไป โดยส่วนผสมที่ได้ควรมีขนาดอนุภาคระหว่าง 2-4 มิลลิเมตร (Misev,1990)

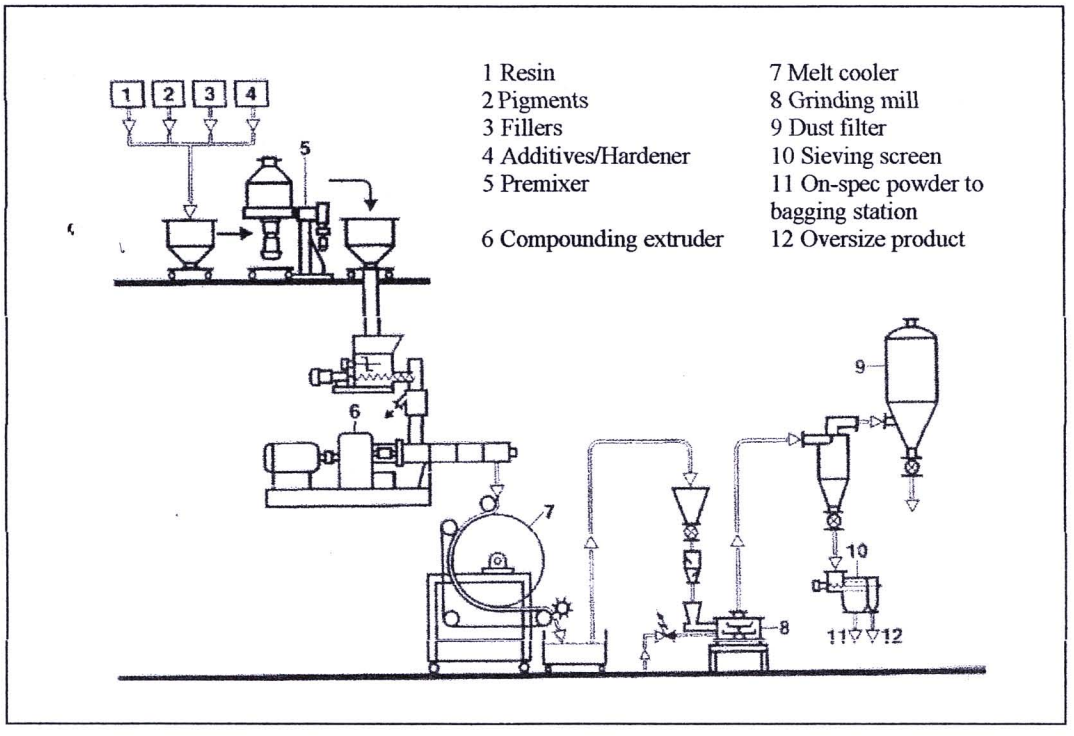
2) การหลอมละลายด้วยความร้อน (Hot melt compounding of powder coating)

เครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์ (extruder) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการหลอมละลายส่วนผสมด้วยความร้อนให้เข้ากัน โดยจะรักษาอุณหภูมิของบาเรลไว้ก่อนระหว่าง 70 ถึง 120 ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิของบาเรลที่ตั้งขึ้นนี้เพื่อให้เรซินเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวเท่านั้น ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการหลอมละลายเรซินจะอาศัยการส่งผ่านความร้อนระหว่างผนังของเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ไปยังวัตถุดิบ และความร้อนอีกส่วนหนึ่งยังมาจากการเกิดแรงเฉือนที่สูงภายในเครื่องจักรด้วย และส่วนผสมที่อยู่ภายในเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์จะถูกผสมให้เข้ากันโดยใช้สกรูที่อยู่ในบาเรล โดยความความเร็วรอบของสกรูและอัตราการป้อนของส่วนผสมเข้าเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ต้องสมดุลกัน เพื่อให้แน่ใจว่าสกรูยังคงรักษาแรงภายในบาเรลของเครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์ได้ ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการกระจายตัวของผงสี(pigment) ในกระบวนการยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องฉีด และปริมาณการไหลของส่วนผสมผ่านเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการเฉือน (shear rate) และเวลาที่ส่วนผสมอยู่ในบาเรล (residence time) หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจากเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์จะถูกทำให้เย็นลงด้วยลูกกลิ้ง และสายพานเย็นที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำเย็น และลดขนาดของวัสดุให้มีขนาด 5-10 มิลลิเมตรโดยผ่านเครื่องตัด (crusher) และส่งต่อไปยังกระบวนการบด (grinding) (Misev,1990)

3) การบดให้เป็นผงและการคัดขนาดของเม็ดสีผง (Fine grinding and Classifying)

ชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่ได้จากกระบวนการหลอมละลายด้วยความร้อนจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องบดเพื่อทำให้เป็นผง ผงที่ได้จะถูกแยกอีกครั้งที่ระบบไซโคลนเพื่อปั่นแยกสีผงออกเป็นขนาดต่าง ๆ กัน สีผงที่ยังไม่ได้ขนาดจะถูกส่งกลับไปยังเครื่องบดเพื่อบดใหม่อีกครั้ง ส่วนสีผงที่ได้ขนาดแล้วจะ

ส่งไปบรรจุลงภาชนะบรรจุ ขนาดของอนุภาคที่เหมาะสม (particle size distribution, psd) โดยทั่วไปควรอยู่ระว่าง 10 – 100 ไมครอน ซึ่งการเบี่ยงเบนจากค่า psd นี้ มีผลต่อคุณภาพ ประสิทธิภาพ และลักษณะปรากฏของผิวเคลือบ ทั้งนี้ Malvern Instruments Ltd (2010) กล่าวว่า ค่า psd นี้มีผลกระทบต่อคุณภาพของสีผง ได้แก่ ความเรียบและลักษณะปรากฏ ความหนาของผิว เคลือบ ประสิทธิภาพระหว่างการใช้งาน



รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตสีผงอย่างต่อเนื่อง
ที่มา: Misev (1990)

2.1.2 ระบบการวัดสีแบบ CIE (ภัคนัย ทองทิอัมพร, 2550)

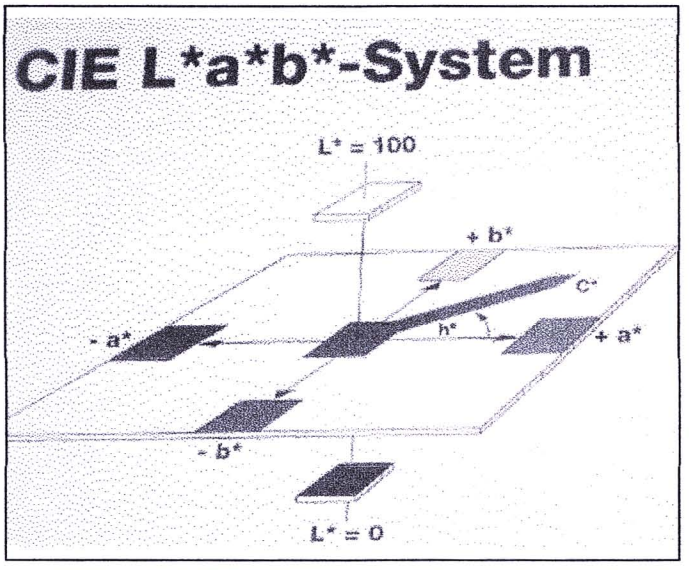
ระบบ CIE เป็นระบบที่ Commission International de l' Eclairage (CIE) ได้พัฒนา ระบบของการวัดสีในรูปของ Objective ที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ หรือความคิดของมนุษย์ใน การวัดสี ข้อดี คือ เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคล เป็นระบบที่วัดสีออกมาเป็น ตัวเลขและสามารที่จะนำไปคำนวณ และทำนายสูตรสีผสมได้ด้วย

ในการวัดสีของวัตถุจากเครื่องวัดสีต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่เมื่อให้แสงออก มาแล้วสามารถที่จะวัดการกระจายพลังงานที่แต่ละความยาวคลื่นได้ด้วยเครื่อง Spectroradiometer และจากผลของแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกันจะมีผลให้การมองเห็นสีที่ต่างกัน

ดังนั้นระบบ CIE จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงขึ้น โดยแหล่งกำเนิดแสงที่นิยมใช้ คือ D65 ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้แทนแสงแดดตอนกลางวันที่มี Color temperature 6500K

เครื่องมือที่ใช้วัดสี เรียกว่าเครื่อง Spectrophotometer ที่สามารถวัดสีของวัตถุออกมาเป็นตัวเลขได้ ซึ่งจะวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเทียบกับมาตราฐานอ้างอิงที่เป็น reflectance curve วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี reflectance curve ต่างกัน วัตถุที่มีสีต่างกันเมื่อสะท้อนแสงของสีนั้นออกมาก็จะมีความยาวคลื่นต่างกัน

สำหรับระบบการวัดสีของโรงงานตัวอย่างเป็นแบบ CIE $L^* a^* b^*$ เป็นวิธีการวัดสีที่ใช้ลักษณะของ color space ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ระบบการวัดสีแบบ CIE $L^* a^* b^*$
ที่มา: ภัคนัย ทองทิอัมพร (2550)

โดยกำหนดให้ L* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 100
แกน a* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง
แกน a* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว
แกน b* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง
แกน b* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน

และในการหาค่าความแตกต่างของสีที่เป็นตัวเลขนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.4 จะพบว่าจุดๆ หนึ่งใน Space นั้นเป็น $L_1^* a_1^* b_1^*$ และเมื่อสีมีการเปลี่ยนเฉดสีไปจะได้อีกจุดใน Space เป็น $L_2^* a_2^* b_2^*$

ซึ่ง 2 จุดนี้จะมีระยะห่างกันใน Space เท่าไร ก็จะเป็นตัวบ่งบอกถึงความแตกต่างของสีดังสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*) + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

โดย ΔE คือค่าความแตกต่างของสี

การวัดสีด้วยเครื่องวัดสีทำให้สามารถที่จะวัดค่าความแตกต่างของสีที่มีเฉดสีต่างออกไปเพียงเล็กน้อยได้ ซึ่งใช้ในการกำหนดให้ค่าความแตกต่างของสีเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

2.1.3 ทฤษฎีการปรับปรุงคุณภาพ (Quality improvement)

ธัญญาภรณ์ ธนบุญสมบัติ (2546) กล่าวถึง การปรับปรุงคุณภาพว่าเป็นการพิจารณาการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่มีอยู่เดิมโดยมุ่งความสนใจไปยังปัญหาของความบกพร่องทางคุณภาพ โดยมีการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุ และหาแนวทางในการกำจัดสาเหตุของปัญหาที่ปรากฏมีอยู่ในกระบวนการผลิตเดิม และมีการวางแผนเพื่อให้ไปถึงเป้าหมายที่วางไว้ มีการนำแผนงานมาปฏิบัติ ตรวจสอบผลลัพธ์ และการปฏิบัติการแก้ไขเมื่อจำเป็น โดยมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1) การชี้บ่งโครงการเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ
2) การจัดคณะทำงานเพื่อการปรับปรุงคุณภาพโดยทั่วไปจะกำหนดให้คณะทำงานประกอบด้วยพนักงานระดับจัดการขององค์กรและมักเป็นการบริหารแบบข้ามสายงาน
3) การวินิจฉัยสาเหตุจากระบบ
4) พัฒนาวิธีการแก้ไขสาเหตุจากระบบ
5) ทวนสอบถึงความมีประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขสาเหตุจากระบบ
6) ทำการประเมินถึงแรงต่อต้านการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปประกอบด้วยแรงต่อต้าน 2 ประการ คือ แรงต่อต้นทางสังคม และแรงต่อต้านทางเทคโนโลยี แล้วหาทางแก้ไขเพื่อเอาชนะแรงต่อต้านดังกล่าว
7) จัดทำระบบควบคุมขึ้นใหม่ และพิจารณาถึงประโยชน์ที่พึงได้รับ

2.1.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

ASQC (1983, อ้างถึงใน ธนากร เกียรติบรรลือ, 2551) กล่าวว่า เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำหนด การบ่งชี้ และการขจัดปัญหา ความล้มเหลว และความผิดพลาด ต่างๆ ที่อาจ

เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นมาแล้วในระบบงานของการออกแบบ ของกระบวนการ และการบริการ ก่อนที่จะถึงลูกค้า ขณะที่ AIAG (2001, อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551) ได้ให้นิยามว่า เป็นกลุ่มของกิจกรรมเชิงระบบประการหนึ่ง (a systematic group of activities) ที่มีจุดมุ่งหมาย

1) รับรู้และประเมินถึงแนวโน้มของข้อบกพร่อง (Potential Failure) ของผลิตภัณฑ์/กระบวนการหนึ่งและผลกระทบ (effect) จากข้อบกพร่องดังกล่าว

2) การบ่งชี้ถึงการปฏิบัติการที่สามารถกำจัดทิ้งหรือลดโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง

3) การดำเนินการจัดทำกระบวนการทั้งหมดให้อยู่ในรูปเอกสาร

ประเภทของ FMEA

โดยทั่วไปการจำแนกประเภทของ FMEA จะมีการจำแนกตามสิ่งที่มีการนำเอา FMEA ไปวิเคราะห์ความล้มเหลว ซึ่งตามข้อกำหนดของ ISO/TS 16949 จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) FMEA ในการออกแบบ (Design FMEA)

2) FMEA ในกระบวนการผลิต (Process FMEA)

ในการวิจัยนี้จะใช้ FMEA เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบของการเกิดข้อบกพร่องจากกระบวนการผสมสีโดยใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตเท่านั้น รายละเอียดของ FMEA ในกระบวนการผลิตดังนี้

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต (Process Failure Mode and Effect Analysis: PFMEA)

ธนากร เกียรติบันลือ (2551) กล่าวว่า FMEA สำหรับกระบวนการผลิตมักจะพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญ คือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการ การวัด และสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด ขณะที่กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2551) กล่าวว่า ในการวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการนี้ จะถือว่าผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตเป็นไปตามที่ได้มีการออกแบบไว้ และถ้ามีข้อบกพร่องในการออกแบบแล้ว จะถือเป็นลักษณะของข้อบกพร่องใน FMEA สำหรับกระบวนการ และจะไม่มีการแก้ไขแบบที่ได้จากการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของกระบวนการ

ขั้นตอนการจัดทำ FMEA (กิติศักดิ์ พลอยเจริญ, 2551)

1) จัดตั้งคณะทำงาน FMEA ซึ่งประกอบด้วยบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการที่ทำการวิจัย ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ และความชำนาญเกี่ยวกับเรื่องที่ทำการวิจัย โดยคณะทำงานควร

ประกอบด้วยบุคลากรประมาณ 6-8 คน และมีสมาชิกในลักษณะแบบข้ามสายงาน (cross functional team)

2) กำหนดขอบเขตของกระบวนการที่จะทำการศึกษา รวมทั้งทำการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการ

3) การระดมสมองค้นหาแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง โดยให้สมาชิกทุกคนในคณะทำงานมีอิสระในการใช้ความคิดผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการเพื่อการกำหนดแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง

4) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ โดยเริ่มจากพิจารณาถึงความต้องการของลูกค้าที่หมายถึงกระบวนการถัดไปจนกระทั่งถึงผู้ใช้คนสุดท้าย แล้วพิจารณาแนวโน้มของผลกระทบของข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบต่อลูกค้า และประเมินความรุนแรง (Severity: S) จากผลกระทบที่พิจารณา จากนั้นพิจารณาแนวโน้มของสาเหตุการเกิดลักษณะข้อบกพร่องที่พิจาณาและเมื่อทราบสาเหตุแล้วจะพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงโอกาสการเกิด (Occurrence: O) จากความเป็นไปได้ (likelihood) ที่สาเหตุดังกล่าวจะเกิดขึ้น ซึ่งอาจผ่านการวิเคราะห์ความผันแปรเชิงสถิติหรือการอาศัยประสบการณ์และความรู้สึกจากผู้มีประสบการณ์ สุดท้ายพิจาณาถึงระบบการควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน และพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงความสามารถในการตรวจจับ (Detection: D) ของระบบ

5) การประเมินตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) โดยพิจารณาจากความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (S) โอกาสในการเกิดสาเหตุ (O) และความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D) และนำตัวเลขจากการประเมินทั้งสามนี้มาคูณกัน ซึ่งจะได้ค่า RPN จากนั้นจัดลำดับค่า RPN โดยข้อบกพร่องที่มีความเสี่ยงสูงจะมีค่า RPN สูง

6) การกำหนดมาตรการตอบโต้เพื่อลดความเสี่ยง โดยเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีความรุนแรง และ/หรือความเสี่ยงมากขึ้นมาพิจารณามาตรการตอบโต้ และเมื่อกำหนดมาตรการตอบโต้แล้วให้ดำเนินการปฏิบัติการโดยการดำเนินการให้อยู่ในรูปแบบคณะทำงานที่มีการมอบหมายอย่างเป็นทางการ

7) การประเมินผลความเสี่ยงภายหลังการปฏิบัติการตอบโต้ ทำการประเมินความเสี่ยงในรูป RPN โดยอาศัยกฎเกณฑ์เดิมอีกครั้ง เพื่อพิจาณาความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่องที่พิจารณาได้ลดลงหรือไม่

8) การติดตามผลและจัดทำมาตรฐาน เมื่อมาตรการตอบโต้ที่กำหนดไว้ได้รับการนำไปปฏิบัติและมีประสิทธิผลดีแล้วก็ดำเนินการจัดทำเป็นมาตรฐานต่อไป

สำหรับเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความรุนของลักษณะข้อบกพร่อง โอกาสในการเกิดสาเหตุ และความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องที่แสดงโดย Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation (2008) ดังตารางที่ 2.1 ถึง 2.3

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การพิจารณาระดับความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (Severity: S)

ผล	เกณฑ์- ระดับความรุนแรงของผลต่อผลิตภัณฑ์(ผลต่อลูกค้า)	คะแนน	ผล	เกณฑ์- ระดับความรุนแรงของผลต่อผลิตภัณฑ์ (ผลต่อการผลิต/ประกอบส่วน)
ไม่สามารถตอบสนองความปลอดภัยและ/หรือข้อกำหนดทางกฎหมาย	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นมีผลต่อการขับขี่รถอย่างปลอดภัยและ/หรือเกี่ยวข้องกับการฝ่าฝืนระเบียบของทางราชการโดยปราศจากการเตือน	10	ไม่สามารถตอบสนองความปลอดภัยและ/หรือข้อกำหนดทางกฎหมาย	อาจเป็นอันตรายต่อพนักงาน (เครื่องจักรหรือประกอบส่วน) โดยไม่ต้องเตือน
	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นมีผลต่อการขับขี่รถอย่างปลอดภัยและ/หรือเกี่ยวข้องกับการฝ่าฝืนระเบียบของทางราชการโดยมีการเตือน	9		อาจเป็นอันตรายต่อพนักงาน (เครื่องจักรหรือประกอบส่วน) โดยต้องเตือน
สูญเสียหรือลดหน้าที่หลัก	สูญเสียหน้าที่หลัก (ขับรถไม่ได้ แต่ไม่มีผลต่อการขับรถอย่างปลอดภัย)	8	มีอุปสรรคอย่างรุนแรง	ต้องทำลายผลิตภัณฑ์ทั้ง 100% ไลน์หยุดหรือหยุดส่งมอบ
	สูญเสียหน้าที่หลัก (ขับรถได้แต่ลดระดับสมรรถนะ)	7	มีอุปสรรคมาก	อาจต้องทำลายผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่ง ความเบี่ยงเบนจากกระบวนการหลักจะรวมการลดความเร็วของไลน์หรือต้องใช้แรงงานมากขึ้น
สูญเสียหรือลดหน้าที่รอง	สูญเสียหน้าที่รอง (ขับรถได้แต่หน้าที่ความสะดวก/สบายไม่ได้สมรรถนะ)	6	มีอุปสรรคปานกลาง	อาจต้องซ่อมผลิตภัณฑ์ทั้ง 100% ที่นอกไลน์และยอมรับอีกครั้ง
	สูญเสียหน้าที่รอง (ขับรถได้แต่หน้าที่ความสะดวก/สบายทำงานในสมรรถนะที่ลดลง)	5		อาจต้องซ่อมผลิตภัณฑ์บางส่วนที่นอกไลน์และยอมรับอีกครั้ง
ความรำคาญ	รูปภายนอก เสียง ขับรถได้ หรือรายการความไม่สบายที่ผู้ใช้ส่วนมากสังเกตได้ (มากกว่า 75%)	4	มีอุปสรรคปานกลาง	อาจต้องซ่อมผลิตภัณฑ์ทั้ง 100% ที่ไลน์และยอมรับอีกครั้ง
	รูปภายนอก เสียง ขับรถได้ หรือรายการความไม่สบายที่ผู้ใช้ส่วนใหญ่สังเกตได้ (50%)	3		อาจต้องซ่อมผลิตภัณฑ์บางส่วนที่ไลน์และยอมรับอีกครั้ง
	รูปภายนอก เสียง ขับรถได้ หรือรายการความไม่สบายที่ผู้ใช้ที่ช่างสังเกตจะรู้ได้ (น้อยกว่า 25%)	2	มีอุปสรรคน้อย	ไม่สะดวกเล็กน้อยในกระบวนการปฏิบัติการ หรือต่อพนักงาน
ไม่มีผล	ไม่มีผลที่สังเกตได้	1	ไม่มีผล	ไม่มีผลที่สังเกตได้

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมินความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection: D)

โอกาสที่จะตรวจพบ	เกณฑ์โอกาสที่จะตรวจพบโดยควบคุมการออกแบบ	คะแนน	ความน่าจะเป็นที่จะตรวจพบ
ไม่มีโอกาสตรวจพบ	ไม่ควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน: ไม่วิเคราะห์หรือตรวจไม่พบ	10	แทบเป็นไปไม่ได้
ไม่น่าจะตรวจพบในแต่ละขั้น	ตรวจไม่พบลักษณะความล้มเหลวและ/หรือความผิดพลาด(สาเหตุ) ได้โดยง่าย(เช่น สุ่มตรวจกำกับ)	9	น้อยมาก
ปัญหาที่ตรวจพบหลังการแปรรูป	พนักงานตรวจพบลักษณะความล้มเหลวหลังจากแปรรูปด้วยการใช้สายตา/สัมผัส/เครื่องเสียง	8	น้อย
ปัญหาที่ตรวจพบในแหล่ง	พนักงานตรวจพบลักษณะความล้มเหลวในสถานีด้วยการใช้สายตา สัมผัส/เครื่องเสียง หรือหลังจากแปรรูปโดยใช้เกจคุณสมบัติ (ผ่าน/ไม่ผ่าน, ตรวจทอร์คด้วยมือ, ประแจคลิกเกอร์ เป็นต้น)	7	ต่ำมาก
ปัญหาที่ตรวจพบหลังการแปรรูป	พนักงานตรวจพบลักษณะความล้มเหลวในสถานีด้วยการใช้เกจผันแปรหรือพนักงานตรวจในสถานีโดยใช้เกจคุณสมบัติ (ผ่าน/ไม่ผ่าน, ตรวจทอร์คด้วยมือ, ประแจคลิกเกอร์ เป็นต้น)	6	ต่ำ
ปัญหาที่ตรวจพบในแหล่ง	พนักงานตรวจหาลักษณะความล้มเหลว หรือความผิดพลาด (สาเหตุ) ในสถานีโดยใช้เกจผันแปรหรือควบคุมอัตโนมัติในสถานีที่จะตรวจหาชิ้นส่วนผิดปกติและแจ้งพนักงาน (ไซ้แสง, ออด เป็นต้น) ใช้เกจเมื่อตั้งค่าและตรวจชิ้นงานเริ่มแรก(เฉพาะสาเหตุที่ตั้งค่าเท่านั้น)	5	ปานกลาง
ปัญหาที่ตรวจพบหลังการแปรรูป	ตรวจหาลักษณะความล้มเหลวหลังการแปรรูปด้วยการควบคุมอัตโนมัติที่จะตรวจพบชิ้นส่วนผิดปกติและล็อกชิ้นส่วนเพื่อไม่ให้แปรรูปอีกต่อไป	4	ค่อนข้างสูง
ปัญหาที่ตรวจพบในแหล่ง	ตรวจหาลักษณะความล้มเหลวหลังการแปรรูปด้วยการควบคุมอัตโนมัติที่จะตรวจพบชิ้นส่วนผิดปกติและล็อกชิ้นส่วนโดยอัตโนมัติในสถานีเพื่อไม่ให้แปรรูปอีกต่อไป	3	สูง
ตรวจหาความผิดพลาดและ/หรือป้องกันปัญหา	ตรวจหาความผิดพลาด (สาเหตุ) ในสถานีด้วยการควบคุมอัตโนมัติที่จะตรวจพบความผิดพลาดและไม่ให้ทำชิ้นส่วนที่ผิดพลาด	2	สูงมาก
ตรวจหาไม่ได้, ป้องกันความล้มเหลว	ป้องกันความผิดพลาด (สาเหตุ) จากผลของการออกแบบตัวยึดออกแบบเครื่องจักรหรือชิ้นส่วน ไม่อาจทำชิ้นส่วนผิดปกติเพราะรายการนั้นถูกป้องกันไว้โดยการออกแบบกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์	1	แทบแน่นอน

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิดสาเหตุ (Occurrence: O)

โอกาสเกิดความล้มเหลว	เกณฑ์: สาเหตุของการเกิด- PFMEA (อุบัติการณ์ต่อรายการ/ยานยนต์)	คะแนน
โอกาสสูงมาก	≥100 ต่อพัน ≥1 ใน 10	10
โอกาสสูง	50 ต่อพัน 1 ใน 20	9
	20 ต่อพัน 1 ใน 50	8
	10 ต่อพัน 1 ใน 100	7
โอกาสปานกลาง	2 ต่อพัน 1 ใน 500	6
	0.5 ต่อพัน 1 ใน 2,000	5
	0.1 ต่อพัน 1 ใน 10,000	4
โอกาสต่ำ	0.01 ต่อพัน 1ใน 100,000	3
	< 0.001ต่อ พัน 1 ใน 1,000,000	2
โอกาสต่ำมาก	ความล้มเหลวถูกตัดออกจากการควบคุมการป้องกัน	1

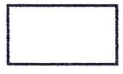
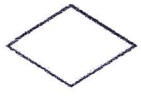
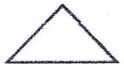
2.1.5 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis: FTA)

การวิเคราะห์แขนงความบกพร่องเป็นการวิเคราะห์จากบนลงล่าง (Top Down Approach) เริ่มจากการนำเหตุการณ์ที่เป็นจุดบกพร่องสุดท้ายมาอยู่ในระดับบนสุด แล้วเชื่อมจุดบกพร่องที่เป็นสาเหตุของจุดบกพร่องสุดท้ายโดยใช้เกตุแสดงตรรก (Logic gate) เนื่องจาก FTA เป็นการวิเคราะห์แบบปลายเปิดจึงสามารถขยายการวิเคราะห์หาสาเหตุไปได้เรื่อยๆ จนกระทั่งสิ้นสุดที่สาเหตุพื้นฐานของจุดบกพร่องซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์จุดบกพร่องในระบบที่ซับซ้อนทั้งในเชิงคุณภาพ และปริมาณ (Henley, Bentley และ Priest อ้างถึงใน นิพนธ์ ชวนะปราณี, 2543)

สัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในการวิเคราะห์ FTA

FTA เป็นการวิเคราะห์ด้วยแผนผังซึ่งจะใช้สัญลักษณ์รูปภาพต่าง ๆ แทนเหตุการณ์และความเชื่อมโยงของแต่ละเหตุการณ์เข้าด้วยกัน สัญลักษณ์ที่ใช้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ สัญลักษณ์ที่ใช้กับเหตุการณ์ (Event Symbol) และสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความเป็นเหตุเป็นผลกัน (Logic gate) รูปร่างและความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ทั้ง 2 ประเภท แสดงดังตาราง 2.4

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ FTA

ประเภท	สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
Event Symbol		Fault Event	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์
		Basic Fault Event	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติ ซึ่งทราบสาเหตุชัดเจน โดยไม่มีความจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป ถือเป็นสาเหตุแรกของการเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์
		Undeveloped Event	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องทำการวิเคราะห์ต่อไป เนื่องจากไม่มีข้อมูลเพียงพอในขณะนั้นที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไปได้ หรือเหตุการณ์นั้นไม่มีความสำคัญที่จะวิเคราะห์ต่อไป
		Tree Transfer	ใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการต้องทำการวิเคราะห์ซ้ำในเมื่อเหตุการณ์นั้นๆ ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ในส่วนอื่นแล้ว
		Or Gate	แสดงความสัมพันธ์ว่าเหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีสาเหตุมาจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของเหตุการณ์ย่อยหรือมากกว่านั้น
		And Gate	แสดงความสัมพันธ์ว่าเหตุการณ์หนึ่งจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ย่อยทุกๆ เหตุการณ์เกิดขึ้นพร้อมกัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก สราวุธ สุธรรมมาสา (2527)

ขั้นตอนการวิเคราะห์ FTA

1) กำหนดเลือกเหตุการณ์ที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบ (Top Event)

2) หาสาเหตุจาก Top Event ที่เลือกมาโดยพิจารณาในลักษณะการสืบหาเหตุผล (Deductive) โดยที่เหตุการณ์ที่อยู่บนเป็นผล และเหตุการณ์ที่อยู่ล่างเป็นเหตุ

3) พิจารณาความสัมพันธ์ในของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ได้มาจากข้อ 2) ว่าแต่ละเหตุการณ์นั้นมีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างไรในแต่ละสายความสัมพันธ์ในรูปของ And Gate หรือ Or Gate อย่างใดอย่างหนึ่ง

4) ระดับสุดท้ายหรือระดับล่างสุดของแต่ละสายของโครงสร้างของ FTA จะต้องเป็นสาเหตุหรือเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Fault Event) หรือเหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไม่ได้ (Undeveloped Event)

2.1.6 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tools)

เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตเพื่อการพัฒนาและการปรับปรุงกระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องมือดังกล่าวในการเก็บข้อมูล วิเคราะห์ และแยกแยะสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อให้สามารถแก้ไขได้ถูกต้อง ควบคุมคุณภาพของผลผลิตให้มีความสม่ำเสมอ ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐานและควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่อง และป้องกันการเกิดปัญหาในอนาคต (ปัญญา คำพยา, 2550)

เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง ได้แก่

1) ใบตรวจสอบ (Check Sheet)
2) แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)
3) กราฟ (Graph)
4) แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)
5) แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)
6) แผนภูมิควบคุม (Control Chart)
7) ฮิสโตแกรม (Histogram)

1) ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

คือ แบบฟอร์มที่มีการออกแบบให้มีช่องว่างเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลได้ง่าย สะดวก และไม่ยุ่งยาก ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลได้อย่างชัดเจน เครื่องมือนี้ใช้ในขั้นเริ่มต้นเพื่อเก็บข้อมูล เมื่อกระบวนการทำงานได้ผลผลิตที่แปรเปลี่ยนผู้ใช้จะสังเกตผลจากข้อมูลที่เก็บในช่วงเวลาหนึ่ง และใช้เครื่องมือในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อติดตามผล

2) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

เป็นแผนภูมิแท่งที่นำข้อมูลการแจกแจงของปัญหามาแสดงโดยเรียงลำดับความสำคัญจากความถี่มากไปหาความถี่น้อย เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกหัวข้อเรื่องที่สำคัญมาแก้ไขก่อนหลังตามลำดับ ในการใช้แผนภูมิเพื่อเลือกแก้ปัญหาอาจเลือกแก้ปัญหาที่สำคัญที่สุดหรือลำดับรองลงมาก็ได้ตามความเหมาะสมเพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์มากที่สุด

3) กราฟ (Graph)

คือ แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล ใช้ในการนำเสนอข้อมูลและวิเคราะห์ผลของข้อมูลดังกล่าว เป็นเครื่องมือที่ง่ายและสะดวกต่อการสื่อความหมาย และความเข้าใจ การแสดงข้อมูลด้วยกราฟมีหลายวิธี เช่น กราฟแท่ง กราฟเส้น และกราฟวงกลม

4) แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

เป็นแผนภูมิแสดงรายการสาเหตุของปัญหา ส่วนเส้นที่แยกจากเส้นแกน แสดงสาเหตุย่อยที่เกิดขึ้น ใช้เพื่อการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหาหรือสิ่งที่สนใจโดยวิธีการระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการแยกแยะ ตรวจสอบสาเหตุของปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

5) แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

คือ แผนภาพที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล 2 ชุด ที่มีจำนวนมาก เพื่อดูว่ามีแนวโน้มของความสัมพันธ์ไปในทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริง โดยที่

ตัวแปร X คือ ตัวแปรอิสระ หรือค่าที่ปรับเปลี่ยนไป

ตัวแปร Y คือ ตัวแปรตาม หรือผลที่เกิดขึ้นในแต่ละค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวแปร X

6) แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

คือ แผนภูมิประเภทกราฟเส้นที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณที่วัดกับเวลา มีเส้นควบคุมซึ่งใช้กลวิธีทางสถิติในการสร้างแผนภูมิประกอบด้วยเส้นกลางหาได้จากค่าเฉลี่ย มีเส้นควบคุมทั้งควบคุมขอบเขตบนและขอบเขตล่าง แผนภูมิควบคุมนำไปเป็นเครื่องมือในการควบคุมกระบวนการโดยการติดตามในช่วงเวลาต่าง ๆ ทั้งสามารถดูแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่กำลังจะเกิดขึ้นได้

7) ฮิสโตแกรม (Histrogram)

คือ กราฟแท่งแสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูล โดยแกนตั้งจะเป็นตัวเลขแสดงความถี่และมีแกนนอนเป็นข้อมูลของคุณสมบัติของสิ่งที่เราสนใจ เพื่อใช้ดูความแปรปรวนของ

กระบวนการโดยสังเกตรูปร่างของฮิสโตแกรมที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้มา ทำการสุ่มตัวอย่างและติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในระยะยาว หรือมีข้อมูลมีจำนวนมากๆ ใช้แผนภูมินี้ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในกระบวนการทำงาน

2.1.7 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design Of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ เป็นการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งทำให้ได้ข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองคือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้ (Montgomery, 2005)

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

1) การนิยามปัญหาเพื่อระบุความต้องการในการศึกษาการผลิต ซึ่งจะเกี่ยวโยงไปยังวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย โดยใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง ต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย

4) การเลือกแบบการทดลอง เป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดการทดลอง ซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง ข้อจำกัดในการสุ่มและการบล็อกที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

4.1) แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design)

เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่แยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุความผันแปรผันของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุของปัจจัยอื่นอีก จึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

4.2) การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design)

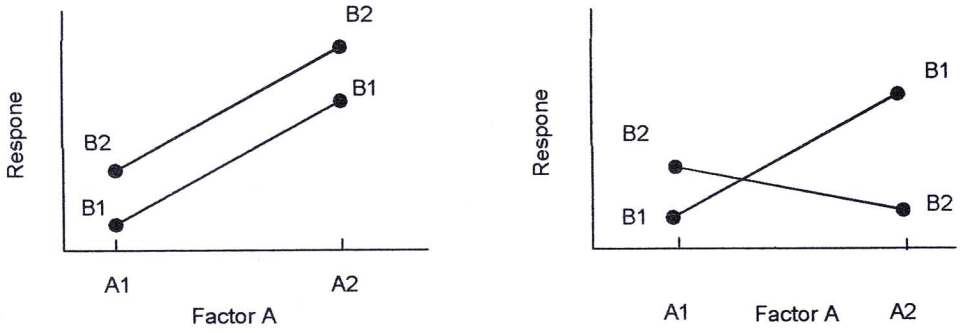
ในบางการทดลองอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียวแต่อาจมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วยซึ่งความแปรผันส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์เป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

4.3) แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

เป็นการทดลองที่ศึกษาถึงผลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อมๆ กัน การวิเคราะห์จะให้ความสนใจที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยซึ่งมีอิทธิพลและส่งผลกับตัวแปรตอบสนอง การทดลองแบบแฟคทอเรียลนี้มีการใช้ระดับของปัจจัยต่างๆ ร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่างๆ ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ ได้พร้อมกัน เช่น ถ้าปัจจัย A มี a ระดับ, ปัจจัย B มี b ระดับ แต่ละซ้ำจะมี ab Treatment Combination แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

4.3.1) อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเกิดขึ้น

4.3.2) อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน



(1) อิทธิพลของปัจจัยร่วมไม่มีผล (2) อิทธิพลของปัจจัยร่วมมีผล

รูปที่ 2.5 แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลแสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมไม่มีผล และมีผล

ที่มา: ดัดแปลงจาก Montgomery (2005)

5) ดำเนินการทดลอง ในระหว่างดำเนินการทดลองจะต้องศึกษาและดูแลอย่างใกล้ชิด ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

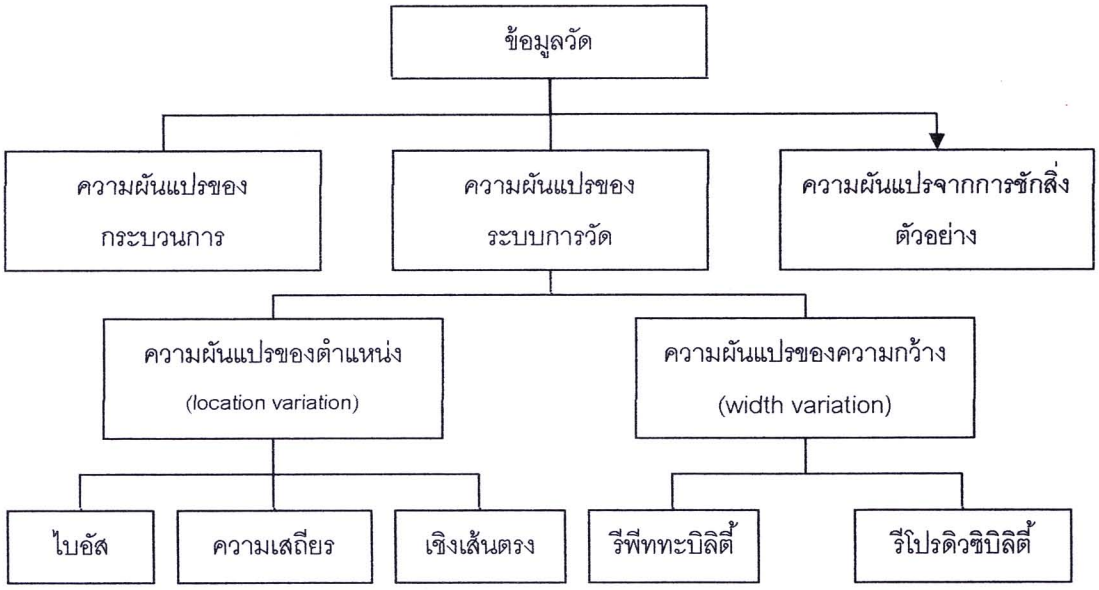
6) การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ความรู้ทางด้านสถิติ

7) สรุปผลและข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

2.1.8 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

ระบบการวัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมและการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ ทั้งนี้เพื่อเป็นการประกันคุณภาพของผลการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ว่ามีความถูกต้องก่อนที่จะส่งไปยังลูกค้า สำหรับความผันแปรของค่าวัดนั้นมาจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พนักงานวัด วิธีการวัด เครื่องมือวัด ตลอดจนสิ่งแวดล้อมในการวัด ฯลฯ

ประเภทของความผันแปรของระบบการวัด (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549)



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด
ที่มา: กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549)

จากรูปที่ 2.6 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด พบว่า ความผันแปรในระบบการวัด จะเป็นส่วนหนึ่งของความผันแปรในข้อมูลที่ใช้ตัดสินใจเกี่ยวกับกระบวนการ โดยความผันแปรของตำแหน่ง หมายถึง ความผันแปรของตำแหน่ง คือคุณสมบัติของการเข้าใกล้ของค่าเฉลี่ยจากผลจากการวัดหลายๆ ครั้งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง และจะกำหนดด้วยปริมาณความเอนเอียง หรือ ไบอัส ส่วนความเสถียร เป็นความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากระบบการวัดหนึ่ง

โดยอาศัยชิ้นงานรือค่ามาสเตอร์เดียวกันในการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่ยาวขึ้น และคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เป็นความแตกต่างของค่าไปอัสตลอดช่วงการใช้งานของอุปกรณ์วัด สำหรับความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดว่าความแม่นยำ (precision) ซึ่งประกอบด้วย ความสามารถในการทำซ้ำ (reparability) หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยใช้พนักงานคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำ ๆ และรีโปรดิวซิบิลิตี้(Reproducibility)ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปหมายถึง ความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด แต่บางครั้งความผันแปรนี้อาจมากจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่พนักงานวัด เช่น ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ความผันแปรระหว่างสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

การประเมินผลระบบการวัดจากความผันแปรรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ (Gauge Repeatability and Reproducibility: GR&R) ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธี คือ วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method) และวิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

เมื่อประเมินค่าความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ ซึ่งอาจเป็นค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Precision to Tolerance Ratio: P/T) สำหรับระบบการวัดที่ใช้ทำการวัดเพื่อแยกแยะผลิตภัณฑ์ดีเสีย หรืออาจจะเทียบความผันแปรจากกระบวนการ (เรียกว่า Precision to Total Variation: P/TV) สำหรับกระบวนการวัดที่ใช้ทำการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

โดยที่ $$P/T = \frac{GR\&R}{USL - LSL} \times 100\%$$

และ P/TV = (GR&R / ความผันแปรของกระบวนการ) x 100%

โดยทั่วไปจะกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ ดังนี้

P/T หรือ P/TV<10%	สามารถยอมรับความสามารถระบบการวัดได้
10%≤ P/T หรือ P/TV < 30%	อาจจะยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ฯลฯ
P/T หรือ P/TV ≥ 30%	ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุของความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

2.1.9 การประเมินความสามารถของกระบวนการ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550) กล่าวว่า ความสามารถของกระบวนการเป็นความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่ศึกษา การศึกษาความสามารถของกระบวนการมีความสำคัญต่อการปรับปรุงคุณภาพ โดยประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาความสามารถของกระบวนการ ได้แก่

1) ใช้ในการคาดการณ์ว่ากระบวนการความผันแปรที่จะสามารถผลิตได้ตามข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้าได้ดีเพียงไร

2) ให้นักออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้เข้าใจในความผันแปรเพื่อการตัดสินใจเลือกหรือปรับแต่งกระบวนการ

3) ใช้ในการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธกระบวนการที่ได้รับการติดตั้งใหม่

4) ใช้ในการระบุความผันแปรสำหรับเป็นเกณฑ์ในการกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างและช่วงเวลาในการชักสิ่งตัวอย่างสำหรับการเฝ้าพินิจเพื่อการควบคุมกระบวนการ

5) ใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินความสามารถความสามารถและการคัดเลือกผู้ส่งมอบหรือผู้รับเหมา

6) ใช้เป็นฐานข้อมูลในการกำหนดกลยุทธ์ที่สำคัญต่อการลดความผันแปรของเป้าหมายกระบวนการผลิต

การวัดความสามารถของกระบวนการโดยใช้ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ C_{pk} และ P_{pk} ซึ่ง Montgomery (1996 อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550) ได้แนะนำถึงค่าที่เหมาะสมในแต่ละกรณี ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คำแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของดัชนี C_{pk}

ประเภทของกระบวนการ	ค่าดัชนี Cpk ที่ต่ำที่สุด	
	ข้อกำหนดเฉพาะแบบสองด้าน	ข้อกำหนดเฉพาะแบบด้านเดียว
กระบวนการทั่วไป (ใช้งานอยู่)	1.33	1.25
กระบวนการทั่วไป (ใหม่)	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤต (ใช้งานอยู่)	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤต (ใหม่)	1.67	1.60

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ การลดของเสีย และการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต

ปิยวัฒน์ รัตนสุภา (2545) ได้ทำการจัดทำมาตรฐานในกระบวนการแต่งสีในโรงงานผลิตสี โดยทำการวิเคราะห์หาจุดบกพร่องในการปรับแต่งเฉดสีของผลิตภัณฑ์สีอัลคีด ที่ทำให้เกิดปัญหาการปรับแต่งเฉดสี 2-3 ครั้ง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้านศักยภาพและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) หรือ FMEA และแผนภูมิการวิเคราะห์เหตุและผล (Cause and effect diagram) พบปัญหาหลัก 5 หัวข้อ ได้แก่ คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต, ความแม่นยำของสูตรที่ใช้ในการผลิต, ความไม่เที่ยงตรงของเครื่องหยดแม่สี, ความไม่มีประสิทธิภาพของวิธีการทำงาน และความผิดพลาดที่เกิดจากคน ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวได้นำไปสู่การจัดทำระบบประกันคุณภาพสำหรับผลิตภัณฑ์สีอัลคีด ได้แก่ วิธีการทำงานมาตรฐาน, เอกสารตรวจสอบระหว่างขั้นตอนการทำงาน, แผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน ผลที่ได้รับ พบว่า ค่า RPN ลดลงร้อยละ 73 ถึง 95 และระยะเวลาในการแต่งสีลดลงจาก 233 นาที เป็น 147 นาที

นิพนธ์ ชวนะปราณี (2543) ประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA และ FTA ในงานการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้า โดยทำการศึกษาด้วยการรวบรวมปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ ที่ก่อให้เกิดความไม่พึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ของลูกค้า โดยอาศัยการระดมความคิด การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาหรือข้อบกพร่อง การศึกษาความเกี่ยวข้องระหว่างปัญหาต่างๆ กับผู้รับผิดชอบ จากนั้นใช้การวิเคราะห์แขนงความบกพร่องและการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องต่างๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงผลจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพเป็นหลัก เนื่องจากจำนวนข้อบกพร่องที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพมีจำนวนมากกว่าและครอบคลุมทุกหัวข้อของผลการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง โดยทำการแก้ไขข้อบกพร่องที่มีคะแนนความเสี่ยงชี้นำเกินกว่า 100 คะแนน ผลได้รับทำให้โรงงานได้รูปแบบสายไฟประเภททนไฟที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับความต้องการลูกค้า อีกทั้งได้รับการรับรองคุณภาพจากสถาบันที่เชื่อถือได้ และผลิตภัณฑ์หลังการปรับปรุงมีราคาต้นทุนที่ต่ำกว่าต้นทุนขณะก่อนการปรับปรุง

ธารซุดา อมรเพชรกุล (2546) ได้ทำการพัฒนาระบบบริหารความเสี่ยงในส่วนการพัสดุ สำนักบริหารแผนและการคลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการค้นหาความเสี่ยงผ่านแบบสอบถามโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) หรือ FMEA โดยทำการวิเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนย่อยของการปฏิบัติงานว่ามีความเสี่ยงใดที่จะไม่ทำให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของหน่วยงาน จากนั้นทำการประเมินความเสี่ยง และนำความเสี่ยงที่มีตัวเลขความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number) หรือ RPN สูงกว่า 10% มาจัดการและป้องกันแก้ไข โดยในการสร้างแผนการจัดการความเสี่ยงได้อาศัยการวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis) หรือ FTA ในการวิเคราะห์หาความเสี่ยงเพื่อวางแผนการจัดการ โดยหลังจากได้ระบบบริหารความเสี่ยงแล้ว พบว่า RPN ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 76.70 พร้อมกับจัดทำคู่มือบริหารความเสี่ยงขึ้น

อรรถพล ฤทธิภักดี (2544) การปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยใช้แผนผังก้างปลาเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้ทั้งหมด และเทคนิค 7 new QC tools บางเครื่องมือ เช่น การใช้แผนภาพความสัมพันธ์ แผนภาพต้นไม้ มาทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการค้นหาความสัมพันธ์ของปัญหา และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิต เพื่อแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการผลิตซึ่งผลจากการศึกษาทำให้เปอร์เซ็นต์ของเสียในกระบวนการผลิตลดลง ข้อเรียกร้องจากลูกค้าลดลง พร้อมกับมีวิธีการและมาตรฐานในการทำงานเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาซ้ำ

ธัญญาภรณ์ ธนบุญสมบัติ (2546) การวิเคราะห์และลดของเสียในกระบวนการผลิตกระจกนิรภัยด้านข้างสำหรับรถยนต์ ค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่อง โดยอาศัยการระดมสมองด้วยการใช้แผนผังแสดงเหตุและผล และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิต (PFMEA) ซึ่งการวิจัยดังกล่าวนี้จะทำการแก้ไขลักษณะข้อบกพร่องที่มีค่า RPN ตั้งแต่ 100 คะแนนขึ้นไป และผลหลังจากการปรับปรุงแก้ไขพบว่าประโยชน์ที่ได้คือ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าและมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพมิให้เกิดซ้ำอีก

วิทย์ วรรณจิตร (2547) การปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตแม่พิมพ์โลหะของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแม่พิมพ์เพื่อหาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อหาข้อบกพร่องโดยใช้ผังก้างปลา ซึ่งได้ทำการประเมินและทำการจัดลำดับความสำคัญของข้อบกพร่อง และนำเทคนิคการวิเคราะห์

ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งผลที่ได้รับจากการปรับปรุงจำนวนการผลิตแม่พิมพ์ล่าช้าลดลง จำนวนประกอบชิ้นส่วนแม่พิมพ์เสียในกระบวนการผลิตลดลง และจำนวนซ่อมแซมแม่พิมพ์ระหว่างใช้งานลดลง

วัชฤทธิ์ เอกนิพิฐสริ (2553) ทำการพัฒนาระบบการฝึกอบรมความสามารถสำหรับพนักงานฝ่ายผลิตในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ประเภทปั๊มขึ้นรูป โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการเริ่มตั้งแต่การสำรวจความต้องการของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการฝึกอบรมพนักงาน จากนั้นทำการแปลงความต้องการโดยใช้เทคนิค QFD 4 เฟส ได้แก่ การวางแผนผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ การวางแผนกระบวนการ และการวางแผนการผลิต และดำเนินการปรับปรุงในบริษัทตัวอย่าง ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาทำให้ ระดับความสามารถของพนักงานฝ่ายผลิตสูงขึ้น จากระดับคะแนนหลังการฝึกอบรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 16.61% จำนวนความผิดพลาดของพนักงานฝ่ายผลิตลดลงเฉลี่ย 21.73% และจำนวนชิ้นงานเสียลดลงเฉลี่ย 45.22%

2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

พรเทพ ลาภธุวะศิริ (2544) การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อการลดของเสีย โดยศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสมดุลของเพลากลางและเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตเพื่อลดของเสียที่เกิดจากการทดสอบค่าสมดุลเกินจากที่กำหนด โดยเริ่มจากการระบุปัจจัยคาดว่าจะมีผลกระทบต่อค่าความสมดุลโดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต แล้วเลือกปัจจัยที่น่าจะมีผลกระทบต่อค่าสมดุลของเพลากลาง จากนั้นใช้การออกแบบการทดลองแบบฟูลเฟคทอเรียล (Full Factorial Experiment) เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยใดที่มีต่อค่าสมดุลของเพลากลาง และปัจจัยใดที่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน จากนั้นนำการทดลองแบบฟูลเฟคทอเรียลมาใช้อีกครั้งเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยเพิ่มระดับ ให้กับปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมดุล จากนั้นเมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว นำไปทดสอบเพื่อยืนยันผล พบว่า ค่าสมดุลใหม่นี้มีค่าลดลง 14.68 กรัม จากค่าสมดุลของเพลากลางปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วีรเทพ เฉลิมสมิทธิ์ชัย (2550) ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณธาตุเหล็กที่ใช้ในการผลิตแท่งเหล็กดิบ เพื่อให้ได้เหล็กลวดที่ผลิตจากเหล็กดิบนี้มีค่าความแข็งแรงมากที่สุด โดยทำการทดสอบอิทธิพลของแต่ละปัจจัยโดยใช้ Factorial Design (2^5) จากนั้นจึงนำปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของเหล็กลวดมามาทำการออกแบบการทดลองอีกครั้งโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง แบบ Box-Behnken Design ซึ่งจะได้สภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณคาร์บอนที่ 0.20

%/kg ปริมาณแมงกานีสที่ 0.60 %/kg ปริมาณกำมะถันที่ 0.05 %/kg และปริมาณซิลิกอนที่ 0.50 %/kg เมื่อนำผลจากการวิจัยโดยนำเหล็กดิบไปผลิตเป็นเหล็กลวด พบว่า ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยของเหล็กลวดที่ได้จะมีค่าระหว่าง 52.34-55.08 kg/mm2 ซึ่งผลวิจัยนี้สามารถลดความบกพร่องของเหล็กดิบได้ 100%