บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการลดอัตราการเกิดปัญหาสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่นั้น สิ่งที่จะต้องนำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการแก้ไขปัญหาล่วงหน้าคือต้องศึกษาการไหลของกระบวนการผลิต (Process Flow Chart) เพื่อจะทราบว่าสิ่งที่เราจะทำการวิเคราะห์นั้นประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตอะไรบ้าง ในการวิเคราะห์ปัญหาจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) เพื่อค้นหาข้อบกพร่องที่เคยเกิดขึ้นแล้วและอาจเกิดขึ้นอีก รวมถึงหาระดับความเสี่ยงของปัญหา จากนั้นจะใช้แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อเลือกปัญหาที่จะมาทำการวิเคราะห์และใช้แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหานั้นๆ ในการประเมินผลการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดปัญหาของการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่จะเปรียบเทียบค่า RPN ที่ลดลง ผลของงานเสียที่ลดลงและใช้หลักการทางสถิติคำนวณความสามารถของกระบวนการ

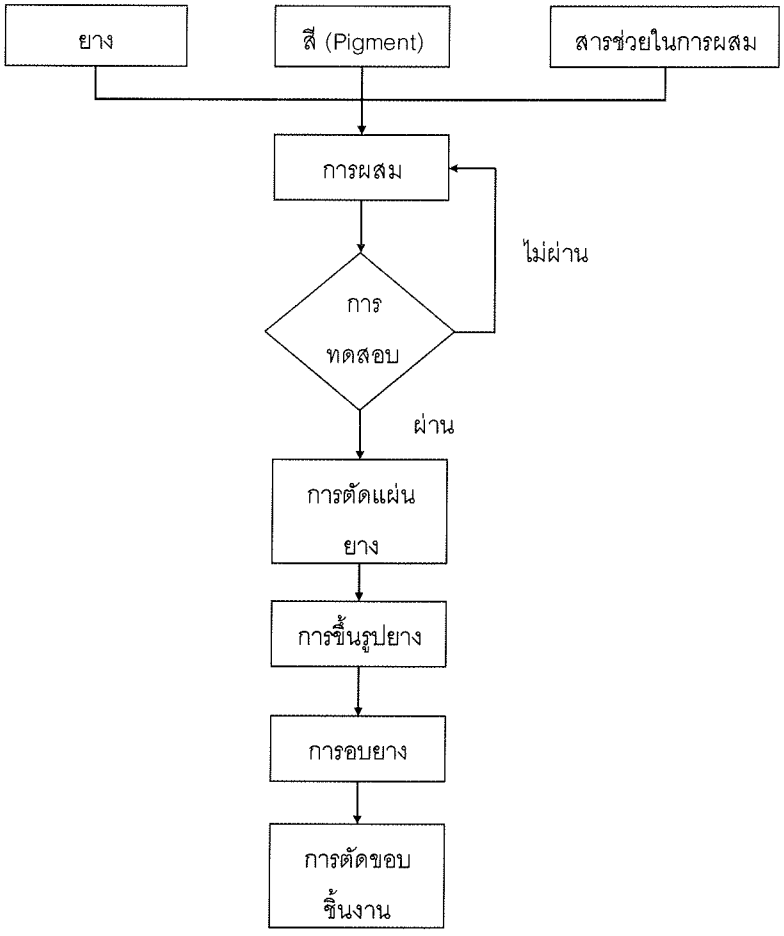
2.1 กระบวนการผลิตยางหน้าสัมผัสสำหรับวงจรไฟฟ้า

แผ่นยางหน้าสัมผัสสำหรับเครื่องเสียงในรถยนต์นั้น จะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างปุ่มกดที่เรามองเห็นภายนอกเครื่องเสียงรถยนต์กับแผงวงจรไฟฟ้าภายในที่จะสั่งให้อุปกรณ์ต่างๆ ในเครื่องเสียงรถยนต์ทำงาน ในการผลิตแผ่นยางนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนโดยส่วนแรกคือส่วนที่เป็นแผ่นยางวัตถุดิบที่ใช้ประกอบไปด้วย ยาง (Silicone Rubber) สี (Pigment) และสารช่วยในการผสม (Curing agent) สำหรับส่วนที่ 2 คือส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสกับแผงวงจรไฟฟ้าวัตถุดิบที่ใช้ประกอบไปด้วย น้ำยาคาร์บอน (Carbon Ink) และทินเนอร์ (Thinner) ในการผลิตประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การผลิตแผ่นยาง

นำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดคือ Silicone Rubber, Pigment และ Curing agent มาผสมให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมที่มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก (Roller) 2 แท่ง ในแนวนอน เหมือนการรีด ซึ่งวัตถุดิบหลังจากที่ผสมแล้วจะมีลักษณะออกมาเป็นแผ่นๆ และมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ Pigment ที่นำมาใช้ ลักษณะคล้ายกับดินน้ำมัน จากนั้นจะมีการนำตัวอย่างชิ้นงานไปอัดขึ้นรูป

เพื่อนำไปทดสอบความแข็ง โดยใส่เข้าไปในแม่พิมพ์เพื่ออัดขึ้นรูปเป็นแท่ง (Test piece) มีการเพิ่มแรงดัน (Pressure) และอุณหภูมิ (Temperature) เข้าไป จากนั้นจะนำแท่งชิ้นงานนี้ไปทดสอบหาค่าความแข็ง โดยทั่วคุณลักษณะความแข็งของงานประเภทนี้จะอยู่ที่ 50 ~ 70 Hs.หลังจากชิ้นงานผ่านการทดสอบความแข็งแล้วจะนำมาเข้าเครื่องตัดเพื่อตัดเป็นแผ่นให้ได้ตามขนาดของแม่พิมพ์ เรียกชิ้นงานหลังจากการตัดว่าแผ่นยาง จากนั้นนำแผ่นยางเข้าสู่กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Press machine) โดยกระบวนการนี้จะมีการควบคุมแรงดัน อุณหภูมิ และเวลาในการอัด ชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูปนี้จะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้คุณสมบัติของยางมีเสถียรภาพ รวมทั้งเป็นการกำจัดสารไซโลเซน (Xiloxane) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอัดขึ้นรูปออกด้วย ซึ่งสารนี้จะมีผลทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะหากในกระบวนการอบกำจัดออกไม่หมด หลังนั้นจะนำชิ้นงานไปทำการตัด (Punching) ด้วยเครื่องตัดเพื่อตัดเอาเศษของขอบชิ้นงานและรูที่ไม่ต้องการออกไป และเพื่อให้ได้รูปร่างผลิตภัณฑ์ตามแบบที่ลูกค้ากำหนด ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตยางขั้นตอนที่ 1

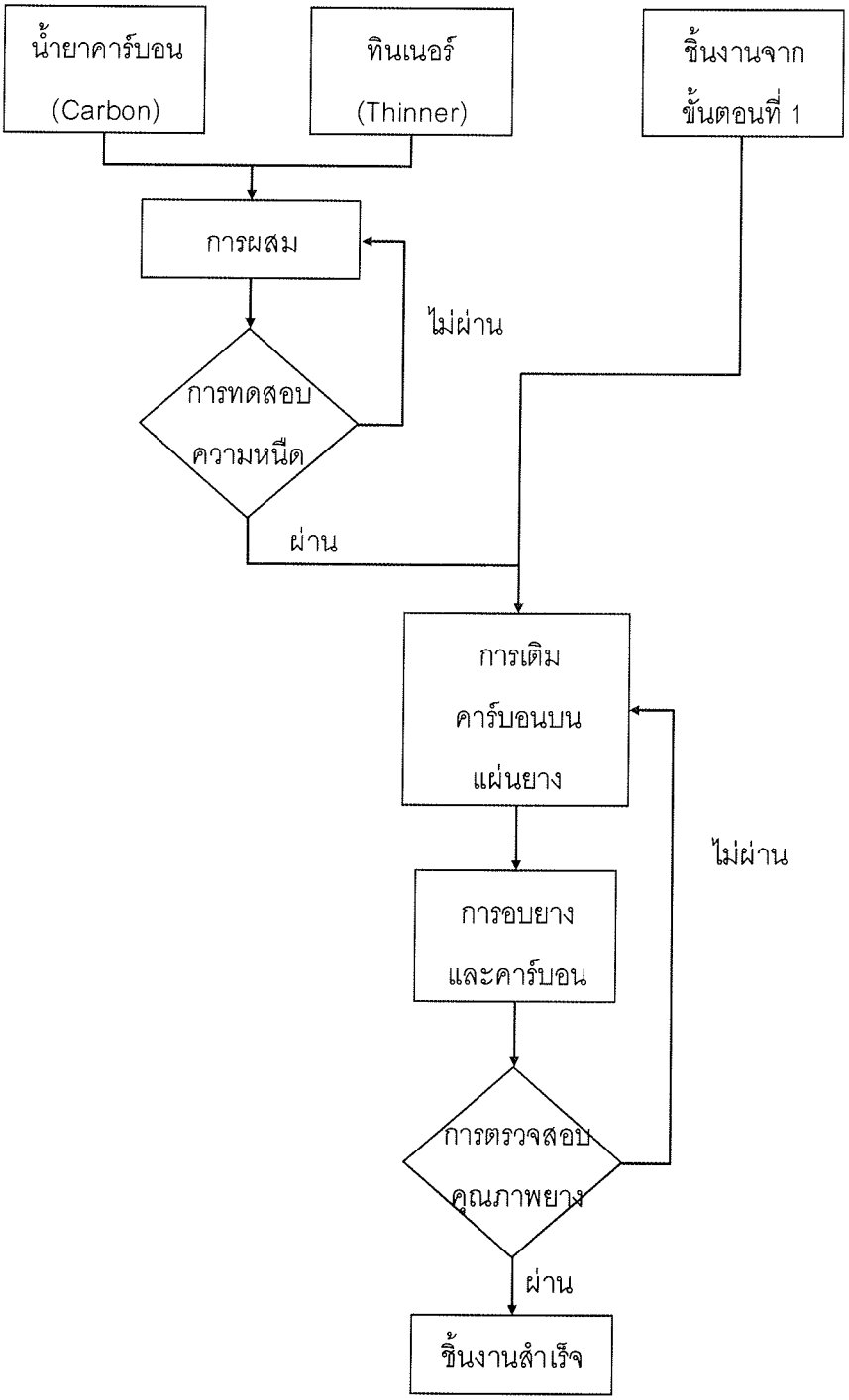
ขั้นตอนที่ 2 การใส่คาร์บอนในหน้าสัมผัสของปุ่มกด

การใส่คาร์บอนในหน้าสัมผัสของปุ่มกดของแผ่นยางเพื่อทำให้เวลาที่กดปุ่มแล้วคาร์บอนจะไปสัมผัสกับแผงวงจรไฟฟ้าและเกิดการทำงานเกิดขึ้น กระบวนการผลิตเริ่มจากนำน้ำยาคาร์บอนมาผสมกับทินเนอร์ตามอัตราส่วนที่กำหนด ใช้เครื่องปั่นเพื่อทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เสร็จแล้วนำไปกรองด้วยผ้ากรองละเอียดเพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมปนกับน้ำยาคาร์บอนที่ผสมแล้ว ทำการตรวจสอบค่าความหนืด (Viscosity) ของน้ำยาคาร์บอนที่ผสมแล้วโดยใช้ถ้วยที่มีรูด้านล่าง (Iwata cup) เติมคาร์บอนที่ผสมแล้วให้เต็มถ้วย จับเวลาการไหลของคาร์บอนในถ้วยจนหมด โดยผลของเวลาที่ได้จะเป็นค่าความหนืดหน่วยเป็นวินาที เมื่อคาร์บอนที่ผสมแล้วได้ค่าความหนืดตามต้องการตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (Specification) จะนำคาร์บอนนั้นมาเติมในแผ่นยางบริเวณที่สัมผัสกับแผงวงจรไฟฟ้า จากนั้นจะนำเข้าไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศา เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้น้ำยาคาร์บอนติดกับแผ่นยาง

ในการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นยางหน้าสัมผัส ประกอบไปด้วย

1. การวัดขนาดของแผ่นยางต้องเป็นไปตามแบบที่กำหนด(Customer drawing) โดยเฉพาะความกว้าง, ความยาว และความหนาของแผ่นยาง รวมถึงความสูงของปุ่มกด เพราะมีผลกับกระบวนการประกอบของลูกค้า
2. แรงกดของปุ่มกด ตรวจสอบโดยเครื่องวัดแรงกด (Load Tester) เพื่อตรวจสอบว่าปุ่มแต่ละปุ่มใช้แรงกดตามแบบที่กำหนด (Customer drawing) หรือไม่
3. การวัดความต้านทานของปุ่มกดบริเวณที่มีคาร์บอนต้องมีค่าไม่เกิน 100 โอห์ม

กระบวนการผลิตของขั้นตอนที่ 2 แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตยางขั้นตอนที่ 2

2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis, FMEA) คือ กระบวนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นตลอดกระบวนการตั้งแต่วัตถุดิบ การผลิตไปจนถึงการใช้งานโดยระบุถึงโอกาสที่จะเกิด ระดับความสำคัญ ผลกระทบและวิธีป้องกัน ซึ่งในปัจจุบันต้องยอมรับว่าปัญหาในการผลิตมีค่อนข้างมาก เพื่อลดความเสี่ยงของปัญหาที่เกิดขึ้น รวมทั้งสามารถพัฒนากระบวนการได้อย่างต่อเนื่อง เราควรมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ปัญหาข้อบกพร่องผลกระทบของปัญหาและสาเหตุกลไกของปัญหาต่างๆ เหล่านั้น เพื่อประเมินความเสี่ยง และหาแนวทางในการปรับปรุง

ดังนั้นการวิเคราะห์ผลกระทบและข้อบกพร่อง จึงเป็นเครื่องมือในการรวบรวมความคิดอย่างเป็นระบบเพื่อหาแนวทางในการป้องกันปัญหา ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งในขั้นตอนการตรวจวัด (Measure Phase) ของโปรแกรมซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) เพื่อช่วยให้เกิดความเข้าใจในกระบวนการมากยิ่งขึ้น

หลักการจัดทำกระบวนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิตควรเริ่มจากหัวข้อดังต่อไปนี้

2.2.1 การทำแผนภูมิการไหลของกระบวนการ (Process Flow Chart) การประเมินผลความเสี่ยงของกระบวนการทั่วๆไป เพื่อระบุขอบเขตการวิเคราะห์และมั่นใจว่าได้การวิเคราะห์ได้ถูกปฏิบัติครอบคลุมสิ่งที่ทั้งกระบวนการ

2.2.2 ทีมงานหรือผู้เกี่ยวข้องต้องประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญ และตัวแทนที่มาจากแต่ละแผนก เพราะจะเป็นผู้ที่ทราบว่าการปฏิบัติเป็นอย่างไร ทำอย่างไร รวมทั้งมีประสบการณ์เกี่ยวกับกระบวนการนั้นๆ ด้วย

2.2.3 ระบุกระบวนการที่จะทำการวิเคราะห์จากแผนภูมิการไหลของกระบวนการโดยเริ่มจากหัวข้อแรก และระบุหน้าที่กระบวนการ/ข้อกำหนด(Process Function/ Requirement) โดยสังเขปเพื่อให้ทราบว่ากระบวนการนี้ชื่อว่าอะไร มีวัตถุประสงค์เพื่ออะไรหรือมีเป้าหมายเพื่ออะไร หากมีวัตถุประสงค์มากกว่า 1 ข้อ หน้าที่กระบวนการจำเป็นจะต้องถูกระบุให้หมดเพราะแต่ละหน้าที่อาจก่อให้เกิดแนวโน้มข้อบกพร่อง (Potential Failure Mode) ได้แตกต่างกัน

2.2.4 ระบุแนวโน้มข้อบกพร่อง (Potential Failure Mode) หากกระบวนการไม่สามารถเป็นไปตามหน้าที่กระบวนการ และข้อกำหนดที่กล่าวไว้ในข้อ 2.2.3 หรือ อาจระบุรายการ

แนวโน้มของข้อบกพร่องสำหรับกระบวนการเฉพาะในรูปของคุณลักษณะของกระบวนการ ซึ่งอาจตั้งสมมติฐานว่าข้อบกพร่องที่สามารถเกิดขึ้นได้แต่ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นจริง โดยทีมงานจะต้องตั้งและตอบคำถามในสิ่งเหล่านี้คือ ข้อบกพร่องที่อาจเกิดจากกระบวนการมีอะไรบ้าง กระบวนการหรือชิ้นส่วนไม่เป็นไปตามข้อกำหนดได้อย่างไร และหากไม่คำนึงถึงข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมจะมีสิ่งใดบ้างที่ลูกค้าอาจไม่ยอมรับ (ลูกค้าปลายทางหรือกระบวนการถัดไป) ในการอธิบายแนวโน้มข้อบกพร่องควรอธิบายในลักษณะกายภาพ (Physical) หรือ ข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (Technical term) ไม่ควรระบุในลักษณะอาการที่สามารถสังเกตได้โดยลูกค้าเท่านั้น

2.2.5 ระบุแนวโน้มผลกระทบที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่อง (Potential Effects of Failure) สามารถนิยามได้โดยหมายถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องต่อลูกค้า ในการระบุนั้นจะต้องคำนึงถึงสิ่งที่ลูกค้าจะสังเกตพบ หรือเคยได้รับประสบการณ์มาก่อนโดยจะต้องไม่ลืมว่าลูกค้าหมายความครอบคลุมถึง กระบวนการถัดไป, ทำเลที่ตั้งอื่น, ผู้จัดจำหน่าย, ผู้เป็นเจ้าของยานยนต์ นอกเหนือจากลูกค้าปลายทาง (End User) ควรระบุลักษณะที่พบให้ชัดเจนโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบในด้านความปลอดภัยหรือที่อาจจะขัดกับกฎข้อบังคับต่างๆ สำหรับลูกค้าปลายทางผลกระทบจากข้อบกพร่องควรอธิบายในรูปของสมรรถนะของผลิตภัณฑ์ หรือสมรรถนะของระบบเช่นใช้งานไม่ได้ ส่วนลูกค้าในความหมายกระบวนการถัดไปผลกระทบจากข้อบกพร่องควรอธิบายในรูปของสมรรถนะของกระบวนการ เช่น ไม่สามารถประกอบได้

2.2.6 ระบุความรุนแรง (Severity) เป็นการประเมินและจัดลำดับความเลวร้ายของผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีต่อลูกค้า มีความสัมพันธ์ต่อขอบเขตในแต่ละการวิเคราะห์ FMEA ความรุนแรงใช้เฉพาะกับผลกระทบเท่านั้น หากลูกค้าได้รับผลกระทบจากข้อบกพร่องได้แก่โรงงานประกอบหรือผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ การประเมินอาจอยู่นอกเหนือจากความรู้และประสบการณ์ของทีมงานหรือวิศวกรในกระบวนการซึ่งอยู่ในอันดับถัดไป ในกรณีดังกล่าวควรให้คำแนะนำปรึกษาต่อการออกแบบ FMEA วิศวกรการออกแบบ และ/หรือวิศวกรกระบวนการโรงงานผลิตหรือโรงงานประกอบถัดไป ความรุนแรงที่กล่าวถึงนี้ควรได้รับการประมาณไว้เป็นระดับ ตั้งแต่ 1 ถึง 10 ในการให้คะแนนผลลักษณะข้อบกพร่องแนวโน้มซึ่งเป็นผลเกิดกับลูกค้าคนสุดท้าย และ/หรือโรงงานผลิต/ประกอบมีข้อบกพร่อง ลูกค้าคนสุดท้ายควรถูกนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรกเสมอ หากมีทั้ง 2 กรณีเกิดขึ้นให้ใช้อันดับสูงสุดระหว่าง 2 กรณี ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การประเมินหัวข้อความรุนแรง

ผลกระทบ	เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (ผลกระทบด้านลูกค้า)	เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (ผลกระทบโรงงานผลิต/ประกอบ)	อันดับ
อันตรายมาก โดยไม่มีการเตือน :	มีผลกระทบรุนแรงมากเมื่อข้อบกพร่องนั้นส่งผลต่อความปลอดภัยในการใช้งานยานยนต์และ/หรือเกี่ยวข้องกับความไม่สอดคล้องตามกฎ,ระเบียบโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	อาจทำให้พนักงาน (เครื่อง หรือการประกอบ) ได้รับอันตราย โดยไม่มีการเตือน	10
อันตรายมาก โดยมีการเตือน	มีผลกระทบรุนแรงมากเมื่อข้อบกพร่องนั้นส่งผลต่อความปลอดภัยในการใช้งานยานยนต์และ/หรือเกี่ยวข้องกับความไม่สอดคล้องตามกฎ,ระเบียบโดยมีการเตือนล่วงหน้า	อาจทำให้พนักงาน (เครื่อง หรือการประกอบ) ได้รับอันตราย โดยมีการเตือน	9
สูงมาก	ชิ้นส่วน/ยานยนต์ไม่ทำงาน (สูญเสียหน้าที่การทำงานหลัก)	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอาจต้องถูกทิ้งหรือชิ้นส่วน/ยานยนต์ ถูกซ่อมแซมในแผนกซ่อม โดยใช้เวลาซ่อมมากกว่า 1 ชั่วโมง	8
สูง	ชิ้นส่วน/ยานยนต์ทำงานได้แต่ถูกลดระดับสมรรถนะลูกค้าไม่พอใจมาก	ผลิตภัณฑ์อาจถูกคัดเลือกและบางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกทิ้งหรือชิ้นส่วนยานยนต์ ถูกซ่อมในแผนกซ่อม โดยใช้เวลาระหว่างครึ่งชั่วโมงถึงหนึ่งชั่วโมง	7
ปานกลาง	ชิ้นส่วน/ยานยนต์ทำงานได้แต่ขาดความสะดวกสบายในการดำเนินงาน ลูกค้าไม่พอใจ	หรือบางส่วน (น้อยกว่า 100%) ของผลิตภัณฑ์อาจถูกทิ้งโดยไม่มีการคัดเลือก หรือยานยนต์/ชิ้นส่วนถูกซ่อมในแผนกซ่อมโดยใช้เวลาซ่อมน้อยกว่าครึ่งชั่วโมง	6
ต่ำ	ชิ้นส่วน/ยานยนต์ทำงานได้โดยสะดวกและลดทอนสมรรถนะของชิ้นส่วน	ทุก ๆ ชิ้นของผลิตภัณฑ์ถูกนำไปแก้ไขหรือชิ้นส่วน/ยานยนต์ถูกซ่อมนอกสายการผลิตโดยไม่ส่งไปแผนกซ่อม	5

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การประเมินหัวข้อความรุนแรง (ต่อ)

ผลกระทบ	เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (ผลกระทบด้านลูกค้า)	เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (ผลกระทบโรงงานผลิต/ประกอบ)	อันดับ
ต่ำมาก	ความพอดีและความเรียบร้อยไม่เป็นไปตามต้องการมีเสียงเอี๊ยดอาด มีเสียงรบกวน ข้อบกพร่องถูกสังเกตโดยลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%)	ผลิตภัณฑ์อาจถูกคัดเลือกโดยไม่มีการทิ้งและบางส่วน (น้อยกว่า 100%) ถูกนำไปแก้ไข	4
น้อย	ความพอดีและความเรียบร้อยไม่เป็นไปตามต้องการมีเสียงเอี๊ยดอาด มีเสียงรบกวน ข้อบกพร่องถูกสังเกตโดยลูกค้า 50% อีก 50% ไม่เห็น	บางส่วน (น้อยกว่า 100%) ของผลิตภัณฑ์อาจถูกแก้ไข ณ สายการผลิตโดยไม่มีการทิ้ง; แต่นอกจุดของสายการทำงาน	3
น้อยมาก	ความพอดีและความเรียบร้อยไม่เป็นไปตามต้องการมีเสียงเอี๊ยดอาด, มีเสียงรบกวน ข้อบกพร่องถูกสังเกตโดยลูกค้าส่วนหนึ่ง (น้อยกว่า 25%)	บางส่วน (น้อยกว่า 100%) ของผลิตภัณฑ์อาจถูกแก้ไขโดยไม่มีการทิ้งโดยการแก้ไขเกิด ณ จุดทำงานในสายการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบ	ทำให้การทำงานหรือพนักงานการผลิตไม่สะดวกโดยไม่มีผลต่อคุณภาพงาน	1

2.2.7 ระบุการจัดประเภท (Classification) โดยการแยกประเภทของคุณลักษณะพิเศษที่กำหนดของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ (Critical, Key, Major, Significant) โดยใช้สัญลักษณ์กำหนดให้ชัดเจน หากมีข้อกำหนดพิเศษ (Special Characteristic, SC) ให้แจ้งวิศวกรการออกแบบเนื่องจากการควบคุม SC ดังกล่าว หมายถึงข้อกำหนดพิเศษของการควบคุมกระบวนการ, การใช้ Tooling ที่ส่งผลกระทบต่อลูกค้า หรือข้อกำหนดทางด้านกฎหมายรวมถึงข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรม

2.2.8 ระบุสาเหตุหรือกลไกข้อบกพร่อง (Potential causes/ Mechanism of failure) ต้องระบุสาเหตุของข้อบกพร่อง (หาสาเหตุที่แท้จริงไม่ใช่แค่อาการ) ที่เกิดขึ้นให้ได้ชัดเจน ซึ่งจะต้องเป็นสาเหตุที่สามารถแก้ไขและควบคุมได้ ลำดับรายการสาเหตุทุกประการของข้อบกพร่องด้านศักยภาพไว้อย่างสั้นๆและได้ใจความ เพื่อแก้ไขหรือควบคมสาเหตุนั้นๆอาจ

จำเป็นต้องพิจารณาการออกแบบการทดลองเพื่อตัดสินใจว่าสาเหตุใดเป็นสาเหตุใหญ่ และสาเหตุใดสามารถควบคุมได้ง่ายที่สุด สาเหตุต่างๆควรได้รับการอธิบายไว้ในลักษณะซึ่งจะทำให้มุ่งความพยายามไปในทางที่จะแก้ไขสาเหตุเหล่านั้นได้อย่างถูกจุด

2.2.9 ระบุโอกาสการเกิดขึ้น (Occurrence) ซึ่งเป็นการคาดการณ์ว่าสาเหตุของข้อบกพร่องแต่ละสาเหตุจะเกิดขึ้นถี่มากน้อยเพียงใด อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้จะอยู่บนพื้นฐานของจำนวนข้อบกพร่องที่คาดการณ์ได้หรือข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นในกระบวนการ หากสามารถทำได้ควรใช้ข้อมูลเชิงสถิติจากกระบวนการที่มีลักษณะเดียวกันมาเป็นพื้นฐานของข้อมูลในการจัดลำดับ ของการเกิด เช่น ค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ Cpk, Ppk เป็นต้น ในการประมาณการณ์แนวโน้มการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่องมักกำหนดออกมาเป็นระดับตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินหัวข้อโอกาสเกิดข้อบกพร่อง

โอกาสเกิดขึ้น	Ppk	อัตราข้อบกพร่องที่มีโอกาส	อันดับ
สูงมาก : เกิดขึ้นเสมอ	< 0.55	≥ 100 ต่อทุก 1,000 ชิ้น 1 ใน 2	10
	≥ 0.55	50 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	9
สูง : เกิดขึ้นบ่อย ๆ	≥ 0.78	20 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	8
	≥ 0.86	10 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	7
ปานกลาง : เกิดขึ้นบกพร่องเป็นบางโอกาส	≥ 0.94	5 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	6
	≥ 1.00	2 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	5
	≥ 1.10	1 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	4
ต่ำ : ไม่เคยเกิดกับที่สัมพันธ์กัน	≥ 1.20	0.5 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	3
	≥ 1.30	0.1 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	2
ห่างไกล : ข้อบกพร่องที่ไม่คุ้นเคย	≥ 1.67	<0.01 ต่อทุก 1,000 ชิ้น	1

2.2.10 ระบุการควบคุมกระบวนการปัจจุบัน (Current Process Control) โดยอธิบายรายละเอียดการควบคุมกระบวนการในปัจจุบันที่ใช้ป้องกัน (Prevention) หรือตรวจจับ (Detection) ข้อบกพร่อง (Failure mode) หรือสาเหตุของข้อบกพร่อง (Cause of Failure) ที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการที่วิเคราะห์นั้นๆ ตัวอย่างระบบการควบคุมกระบวนการเช่น ระบบป้องกัน

ข้อผิดพลาด (Poka-Yoke) , การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ(SPC), การประเมินหลังจากดำเนินกระบวนการ (Post Process Evaluation) ไม่ควรระบุระบบการป้องกันและตรวจจับว่ากระบวนการถัดไปจะตรวจสอบให้เอง อย่างไรก็ดีควรเลือกการป้องกันเป็นแนวทางแรกในการควบคุมกระบวนการก่อน เนื่องจากการป้องกันส่งผลโดยตรงต่อการลดอัตราการเกิด (Occurrence ranking)

2.2.11 ระบุการตรวจจับ (Detection) เป็นการจัดลำดับที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับรายการการตรวจจับที่ดีที่สุดที่ระบุ "การควบคุมกระบวนการปัจจุบัน" และจะแยกจากกันโดยขอบเขตของแต่ละ FMEA เพื่อให้ลำดับของการตรวจจับที่มีค่าต่ำโดยทั่วไปทีมงานต้องมั่นใจว่าการควบคุมกระบวนการต้องมีการปรับปรุงไม่ควรประเมินค่าการตรวจจับที่ต่ำทั้งๆ ที่โอกาสเกิดต่ำ แต่ควรประเมินความสามารถของการควบคุมกระบวนการด้วยการตรวจจับข้อบกพร่องที่มีความถี่ต่ำว่ามีความสามารถเพียงใดหรือความสามารถในการป้องกันข้อบกพร่องไม่ให้เกิดขึ้นในกระบวนการได้ ในการประมาณการระดับการตรวจจับของข้อบกพร่องมักกำหนดออกมาเป็นระดับตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมินหัวข้อการตรวจจับ

ลักษณะการตรวจจับ	เกณฑ์	ประเภทการตรวจจับ			ช่วงข้อแนะนำสำหรับวิธีการตรวจจับ	การจัดอันดับ
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	เป็นไปไม่ได้อย่างแน่นอนในการตรวจสอบ			X	ไม่สามารถตรวจจับหรือไม่ถูกตรวจจับ	10
ห่างไกลมาก	การควบคุมอาจจะไม่สามารถตรวจพบ			X	การควบคุมหมายถึงการใช้วิธีการตรวจทางอ้อมหรือสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกล	การควบคุมมีโอกาสน้อยที่จะตรวจพบ			X	การควบคุมโดยการตรวจด้วยตาเปล่าเท่านั้น	8
น้อยมาก	การควบคุมมีโอกาสน้อยที่จะตรวจพบ			X	การควบคุมโดยการตรวจซ้ำด้วยตาเปล่า	7

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมินหัวข้อการตรวจจับ (ต่อ)

ลักษณะการตรวจจับ	เกณฑ์	ประเภทการตรวจจับ			ช่วงข้อแนะนำสำหรับวิธีการตรวจจับ	การจัดอันดับ
		A	B	C		
ต่ำ	การควบคุมอาจตรวจพบ		X	X	การควบคุมโดยการใช้ชาร์ต เช่น SPC	6
ปานกลาง	การควบคุมอาจตรวจพบ		X		การควบคุมอยู่บนฐานของการวัดค่าหลังจากออกจากสถานีงาน, หรือใช้เกจประเภทผ่าน/ไม่ผ่าน ที่มีการตรวจ 100% หลังจากชิ้นงานออกจากสถานีงาน	5
ปานกลางค่อนข้างสูง	การควบคุมมีโอกาสจะตรวจพบ	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดในระหว่างการดำเนินการ, หรือมีการใช้เกจตอนตั้งงานและตรวจจับที่งานชิ้นแรก (สำหรับกรณีเฉพาะการตั้งงาน	4
สูง	การควบคุมมีโอกาสสูงมากที่จะตรวจพบ	X	X		มีการตรวจจับในสถานีงาน, หรือการตรวจจับข้อผิดพลาดในระหว่างการดำเนินงานโดย มีการกรองหลายชั้นในการยอมรับงาน, ส่งต่อ, เลือก, ติดตั้ง, ทวนสอบ โดยไม่ยอมรับชิ้นส่วนที่ผิดพลาด	3
สูงมาก	การควบคุมเกือบแน่นอนในการสกัด	X	X		มีการตรวจจับ ณ สถานีงาน มีระบบอัตโนมัติในการตรวจและระบบอัตโนมัติในการหยุดข้อขัดข้อง โดยไม่สามารถส่งต่างชิ้นงาน ที่ผิดพลาดออกไปได้	2

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การประเมินหัวข้อการตรวจจับ (ต่อ)

ลักษณะการตรวจจับ	เกณฑ์	ประเภทการตรวจจับ			ช่วงข้อแนะนำสำหรับวิธีการตรวจจับ	การจัดอันดับ
		A	B	C		
สูงมาก	การควบคุมมีแน่นอนในการสกัดมาก	X			ชิ้นงานที่ผิดพลาดไม่สามารถผลิตออกมาได้เพราะมีการถูกกันข้อผิดพลาดหลงลืม เนื่องจากการออกแบบกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์	1

ประเภทการตรวจจับ

A: ป้องกันข้อผิดพลาดหลงลืม

B: ใช้เกจ

C: ตรวจสอบด้วยมือ (Manual)

2.2.12 ระบุหมายเลขลำดับความเสี่ยง(Risk Priority Number, RPN) เป็นผลที่ได้จากการค่าความรุนแรง(S), โอกาสการเกิด(O) และการตรวจจับ(D) ตามสูตร

$$RPN = (S) \times (O) \times (D)$$

ค่า RPN (ซึ่งมีค่าระหว่าง 1-1,000) สามารถใช้สำหรับการจัดลำดับของสิ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลังจากได้ค่า RPN ในแต่ละสาเหตุของข้อบกพร่องแล้วควรมีการจัดลำดับจากค่าสูงสุดมาสู่ค่าต่ำสุด บางครั้งทีมงานอาจใช้แผนผังพาเรโตมาแสดงผลได้ ควรกำหนดเกณฑ์ค่าความเสี่ยงเพื่อเป็นแนวทางต่อไปในการแก้ไขหรือปรับปรุงค่า RPN ที่มีค่าสูง ปกติไม่มีสูตรตายตัวในการกำหนดเกณฑ์ค่าความเสี่ยงโดยทั่วไปมักจะใช้ค่า >100 จึงจะมีแก้ไขปรับปรุงเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ค่า RPN จะยังไม่เกินเกณฑ์ค่าความเสี่ยงที่กำหนดแต่หากพบว่าค่าโอกาสการเกิดและการตรวจจับสูง ทีมงานก็ควรจะมีการแก้ไขปรับปรุงเพื่อหาทางลดโอกาสการเกิด และเพิ่มโอกาสการตรวจจับตามความเหมาะสม

2.2.13 ระบุคำแนะนำสำหรับการแก้ไข (Recommended action) การประเมินทางด้านวิศวกรรมสำหรับการแก้ไขหรือป้องกันจะต้องมุ่งไปสู่การดำเนินการสำหรับรายการที่มีค่า RPN สูง หรือรายการใดๆ ที่ทีมงานสรุปและระบุว่าควรจะดำเนินการก่อน จุดมุ่งหมายของการดำเนินการในข้อนี้ก็เพื่อที่จะลดค่าเหล่านี้ตามลำดับ

ความรุนแรง -> โอกาสการเกิด -> การตรวจจับ

ข้อแนะนำการลดค่าความรุนแรง (Severity) ในทางปฏิบัติหากค่าความรุนแรงมีค่าสูง (9-10) ทีมงานต้องมุ่งเน้นไปจัดการที่การควบคุมกระบวนการทั้งการป้องกันและการตรวจจับ โดยที่ไม่ต้องคำนึงถึงค่า RPN สำหรับทุกกรณีที่มีการระบุผลของแนวโน้มข้อบกพร่องซึ่งสามารถทำให้เกิดอันตรายได้ต่อการผลิตหรือพนักงาน คณะทำงานต้องมั่นใจว่าได้มีการดำเนินการป้องกันและแก้ไขโดยวิธีการกำจัดหรือควบคุมที่สาเหตุ ตลอดจนกำหนดวิธีการป้องกันตัวของพนักงานอย่างเหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงข้อบกพร่องดังกล่าว อย่างไรก็ตามการลดค่าความรุนแรงที่ได้ผลที่สุดคือการปรับเปลี่ยนการออกแบบใหม่หรือการปรับเปลี่ยนกระบวนการใหม่

ข้อแนะนำการลดค่าโอกาสการเกิด (Occurrence) คณะทำงานจะต้องมุ่งไปที่การปรับปรุงกระบวนการหรือปรับปรุงการออกแบบ ในการปรับปรุงกระบวนการควรนำเทคนิคทางด้านสถิติมาใช้ประกอบ เช่น การควบคุมทางสถิติ (SPC) เพื่อให้เกิดการเฝ้าติดตามตลอดจนการสอบกลับสู่กระบวนการผลิตอย่างสม่ำเสมอในการปรับปรุง และป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดได้

ข้อแนะนำการลดค่าการตรวจจับ (Detection) วิธีที่ดีที่สุดคือการใช้เทคนิคการป้องกันข้อผิดพลาด (Error proofing หรือ POKA YOKE) เช่น ใช้อุปกรณ์ตรวจจับ โดยทั่วไปการปรับปรุงวิธีการตรวจจับเป็นกระบวนการที่เป็นต้นทุนและมักไม่ค่อยมีประสิทธิผลสำหรับการปรับปรุงคุณภาพ ยิ่งถ้าเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบทางด้านคุณภาพยิ่งไม่มีประสิทธิผลสำหรับการป้องกันและแก้ไข ดังนั้นควรนำกิจกรรมนี้มาใช้ในลักษณะเป็นมาตรการชั่วคราวเท่านั้น และรีบหาแนวทางการป้องกันและแก้ไขที่แท้จริงมาประยุกต์ใช้ ในบางกรณีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบสำหรับชิ้นส่วนหนึ่ง ๆ ก็สามารถช่วยให้การตรวจจับดีขึ้นได้ ควรเน้นในการป้องกันปัญหา เช่น การลดโอกาสการเกิดมากกว่าการตรวจจับ ซึ่งอาจใช้การควบคุมทางสถิติหรือเครื่องมือในการพัฒนาคุณภาพมากกว่าการสุ่มตรวจสอบ หรือการตรวจสอบด้วยวิธีต่าง ๆ

2.2.14 ระบุผู้รับผิดชอบสำหรับข้อแนะนำการแก้ไข (Responsibility for recommended action) ควรระบุชื่อผู้รับผิดชอบสำหรับการแนะนำการแก้ไขทุกคน พร้อมทั้งกำหนดการที่จะเสร็จ

2.2.15 ระบุสิ่งที่ได้ดำเนินการ (Action taken) ระบุสิ่งที่ได้ปฏิบัติ และสรุปผลของสิ่งที่เกิดขึ้นจริงและวันที่บันทึกผล

2.2.16 ระบุผลของการดำเนินการ (Action Results) ให้ลำดับว่าความรุนแรง, โอกาสการเกิดและการตรวจจับ พร้อมทั้งคำนวณค่า RPN ใหม่สำหรับการดำเนินการที่ได้ปรับปรุงนั้น เมื่อได้ผลค่า RPN ใหม่แล้ว คณะทำงานจะต้องทบทวนผลและหากมีการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขใหม่ให้ทำการวิเคราะห์ซ้ำ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานของการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

ข้อแนะนำสำหรับการแก้ไขจะต้องได้รับการนำไปปฏิบัติอย่างจริงจังคือนำไปเพิ่มในแบบด้านวิศวกรรม ข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ การไหลของกระบวนการ (Process flow) เอกสารประกอบการผลิต เช่นวิธีการทำงาน (Working Instruction, Operation instruction) และแผนควบคุมการผลิต (Control plan)

ตัวอย่างตารางการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) แสดงในภาคผนวก ก ตารางที่ 1

2.3 <u>ทฤษฎีแผนผังพาเรโต</u>

แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิที่แสดงว่ามูลเหตุใดเป็นมูลเหตุที่สำคัญที่สุด วิธีการเขียนแผนผังพาเรโตเริ่มจากการใช้ใบตรวจสอบเก็บข้อมูลก่อน แล้วจำแนกแจกแจงข้อมูลเป็นหมวดหมู่ตามสาเหตุต่างๆหลังจากนั้นก็จัดอันดับโดยนำสาเหตุที่มีความถี่สูงสุดไปแสดงไว้ซ้ายสุดในแผนภูมิ และสาเหตุรองลงมาก็แสดงไว้ชิดมาทางขวามือ

นอกจากจะแสดงมูลเหตุที่สำคัญที่สุดและเรียงมูลเหตุอื่นๆ ตามลำดับความสำคัญแล้วจะแสดงเส้นกราฟสะสมไว้ด้วย

นักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาเลียน ชื่อ วี พาเรโต (ค.ศ. 1848-1923) เป็นคนแรกที่แสดงข้อมูลว่าการกระจายรายได้ของประชากรไม่สม่ำเสมอกันและในปีค.ศ.1907 นักเศรษฐศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อ เอ็ม.ซี.โลเอ็นส์ (M.C.Loens) เป็นคนแรกที่เขียนแผนภูมินี้ เพื่อแสดงว่าความมั่งคั่งของคนส่วนใหญ่อยู่ในมือของคนไม่กี่คน

ดร.จูแรน เป็นคนแรกที่นำแผนภูมิของโลเอ็นส์มาแสดงว่าปัญหาในเรื่องคุณภาพขึ้นอยู่กับสาเหตุสำคัญไม่กี่ประการ และไม่ขึ้นกับสาเหตุปลีกย่อยซึ่งมีมากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการ

เก็บข้อมูลว่าปัญหาคุณภาพเกิดจากสาเหตุอะไรบ้าง นำข้อมูลมาแจกแจงดูความถี่จะพบสาเหตุสำคัญ ถ้าลงมือแก้ไขสาเหตุสำคัญเหล่านี้เพียงไม่กี่อย่างก็จะลดปัญหาคุณภาพลงไปได้มาก

เหมือนที่กล่าวเสมอๆว่าแก้ปัญหาให้ตรงจุดหรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

หลักเกณฑ์การเขียนแผนผังพาเรโต ประกอบด้วย

ก. จำแนกลักษณะและประเภทสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

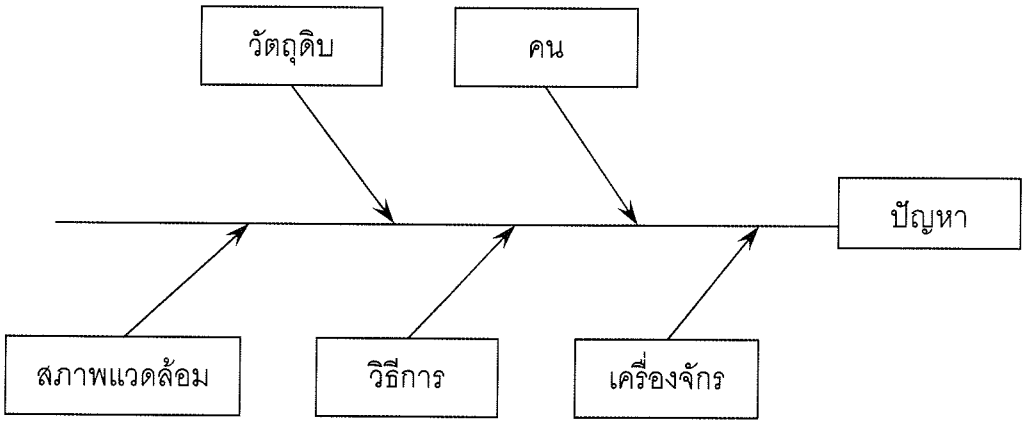
ข. เก็บรวบรวมข้อมูล นับจำนวนลักษณะหรือประเภทของปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วคำนวณร้อยละของลักษณะ หรือประเภทของปัญหาที่เกิดขึ้น

ค. เรียงข้อมูลที่นับจำนวนได้จากมากไปหาน้อย จัดทำร้อยละสะสม

ง. เขียนแผนภูมิจากร้อยละสะสม โดยให้แกนนอนเป็นลักษณะหรือประเภทของปัญหา และแกนตั้งเป็นร้อยละของลักษณะหรือประเภทของปัญหาแล้วเขียนกราฟแท่งเรียงปัญหาจากมากไปหาน้อย พร้อมทั้งกำหนดจุดและลากเส้นร้อยละสะสมของลักษณะหรือประเภทของปัญหา

2.4 ทฤษฎีแผนผังเหตุและผล

แผนผังเหตุและผล (Cause Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนผังที่ใช้ต่อจากแผนผังพาเรโตกล่าวคือ หลังจากตัดสินใจที่จะเลือกแก้ปัญหาใดจากการทำแผนผังพาเรโตแล้ว ขั้นต่อไปเป็นการระดมความคิดเพื่อแก้ปัญหาที่เลือกขึ้นมาจากแผนผังพาเรโต โดยแสดงผลของสาเหตุของปัญหาไว้ที่ปลายของแผนภูมิ และระหว่างที่จะถึงปลายของแผนภูมิจะแสดงถึงสาเหตุของปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการระดมความคิด ซึ่งจำแนกออกเป็นแขนงเหมืองก้างปลาดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ผังก้างปลาแสดงต้นเหตุของปัญหา

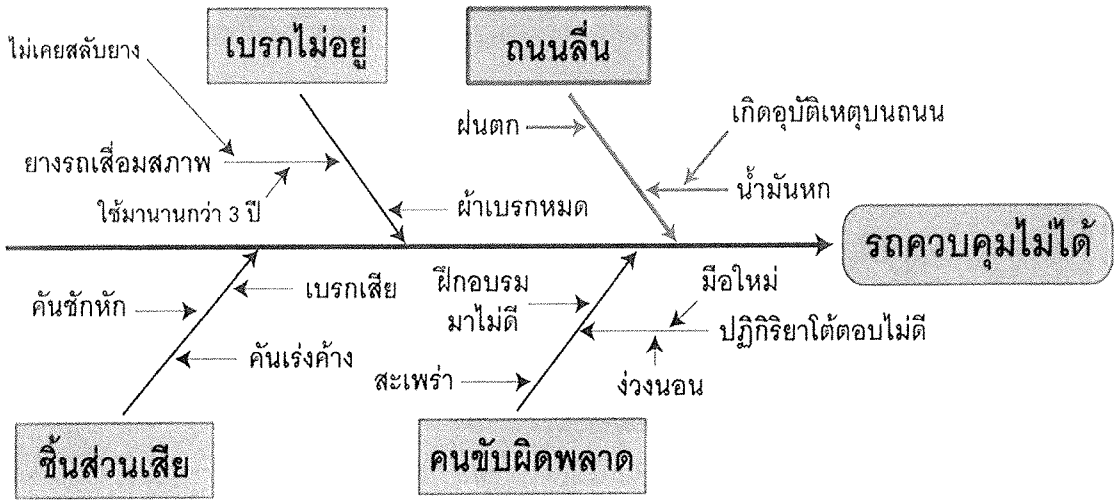
หลักการเขียนผังก้างปลา

1. กำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ไขจากแผนผังพาเรโต จากปัญหาที่กำหนด จะเป็นผลของสาเหตุที่อยู่ปลายสุดของผังก้างปลา แล้วลากเส้นตรงไปตามแนวนอนและสุดปลายเส้นตามแนวนอนจะเป็นผลของสาเหตุ

2. เขียนต้นเหตุของปัญหาที่เป็นสาเหตุของปัญหาเล็กๆแตกแยกแขนงออกจากเส้นตามแนวนอนที่ชี้ไปยังผลของสาเหตุ ซึ่งการเขียนสาเหตุของปัญหาจะได้จากการระดมความคิดทั้งหมด โดยเริ่มจากต้นเหตุใหญ่ของปัญหาซึ่งโดยทั่วไปจะประกอบด้วย

1) คน (Man)
2) เครื่องจักร (Machine)
3) วัตถุดิบ (Material)
4) วิธีการทำงาน (Method)
5) สภาพแวดล้อม (Environment)

เมื่อนำมาเขียนผังก้างปลาของต้นเหตุใหญ่จะได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างผังก้างปลาแสดงการค้นหาสาเหตุของปัญหา

2.5 ทฤษฎีการประเมินผลการแก้ไขปัญหา

ในการประเมินผลการแก้ไขปัญหาสำหรับการวิจัยนี้จะใช้เกณฑ์ในการประเมินทั้งหมด 3 แบบ คือหลักสถิติการวัดความสามารถของกระบวนการ การวัดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และการเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงในกระบวนการผลิต

2.5.1 หลักการทางสถิติในการวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capacity) แบ่งเป็นดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Potential Capability Indices) และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ Cpk และ Ppk

1) ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ

ในการปรับปรุงคุณภาพมีความจำเป็นต้องกำหนดตัววัดที่จะทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงการลดความผันแปรรอบค่าเป้าหมายอย่างต่อเนื่อง จึงได้กำหนดให้วัดความสามารถของกระบวนการในรูปของความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิต ซึ่งถือเป็นดัชนีวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Potential Capability Index ; PCI)

$$PCI = \frac{\text{ความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้เกิด}}{\text{ความสามารถของกระบวนการ}}$$

สำหรับการศึกษาระยะสั้นเรียกว่าดัชนี Cp (Process Capability)

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{ST}}$$

สำหรับการศึกษาระยะยาวเรียกว่าดัชนี Pp (Process Performance)

$$Pp = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{LT}}$$

โดย Cp และ Pp ใช้สำหรับการประเมินค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ เมื่อข้อกำหนดเฉพาะมีพิกัดความคลาดเคลื่อนอนุโลมแบบ 2 ด้าน สำหรับกรณีข้อกำหนดมีพิกัดความคลาดเคลื่อนอนุโลมแบบด้านเดียวนั้นจะพิจารณาการกระจายของ

กระบวนการเพียงครึ่งหนึ่งคือ 3σ กับระยะระหว่างค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ($\overline{X}$) และพิกัดความคลาดเคลื่อนอนุโลมดังสมการข้างล่าง

$$Cp = \frac{USL - \overline{X}}{3\sigma_{ST}} \quad \text{หรือ} \quad \frac{\overline{X} - LSL}{3\sigma_{ST}}$$

$$Pp = \frac{USL - \overline{X}}{3\sigma_{LT}} \quad \text{หรือ} \quad \frac{\overline{X} - LSL}{3\sigma_{LT}}$$

ดังนั้นสามารถกำหนดค่าขั้นต่ำของดัชนี Cp ได้ดังตารางที่ 2.5 และลำดับของความสามารถของกระบวนการดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 ค่าขั้นต่ำของดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Cp)

	กรณีพิกัดข้อกำหนดเฉพาะแบบสองด้าน	กรณีพิกัดข้อกำหนดเฉพาะแบบด้านเดียว
กระบวนการที่ใช้งานอยู่แล้ว	1.33	1.13
กระบวนการใหม่	1.50	1.20

ตารางที่ 2.6 ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp

ค่าดัชนี Cp	ลำดับของความสามารถของกระบวนการ
$2.00 \leq Cp$	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq Cp < 2.00$	ดีเลิศ
$1.33 \leq Cp < 1.67$	ดี
$1.00 \leq Cp < 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq Cp < 1.00$	เลว
$Cp < 0.67$	เลวมาก

2) ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ

เป็นดัชนีที่สะท้อนถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งของกระบวนการและเรียกว่า Cpk (Process Capacity Index) โดยที่ k มาจาก Katayori ในภาษาญี่ปุ่น ที่มีความหมายถึงการเบี่ยงเบนไปหรือการเลื่อนออกไป

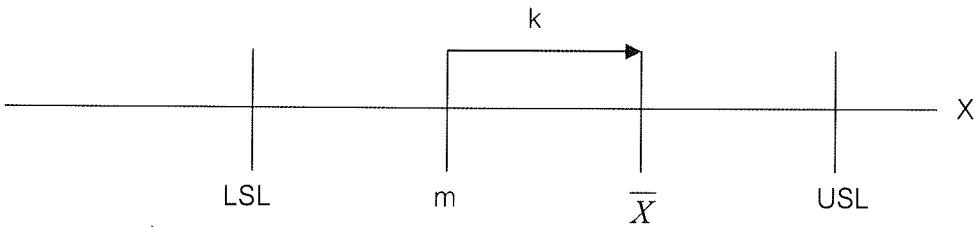
เมื่อ $$k = \frac{\text{ระยะระหว่างตำแหน่งของกระบวนการจากค่ากลางของข้อกำหนด}}{\frac{1}{2}\text{ของความคลาดเคลื่อนอนุโลม}}$$

$$= \frac{2\left|m - \overline{X}\right|}{\text{USL - LSL}}$$

โดย $$m = \frac{\text{USL + LSL}}{2}$$

ดังนั้น $$Cpk = Cp\,(1 - k)$$

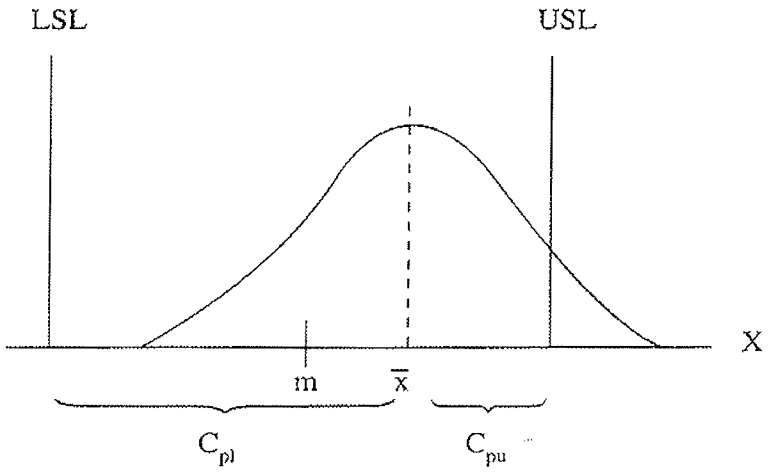
ความสัมพันธ์ของ Cpk กับพารามิเตอร์ k แสดงดังภาพที่ 2.5



ตำแหน่งของกระบวนการ :	k = 1	k = 0		k = 1
ดัชนี :	Cpk = 0	Cpk = Cp		Cpk = 0

ภาพที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของ Cpk กับพารามิเตอร์ k

ตำแหน่งของกระบวนการไม่จำเป็นต้องอยู่ค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ จึงพิจารณาแยกกันระหว่างพิกัดด้านบนและพิกัดด้านล่างของข้อกำหนดเฉพาะดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของ Cpk กับ Cpu และ Cpl

ทำการพิจารณาดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการสำหรับพิกัดด้านบนและด้านล่างของข้อกำหนดเฉพาะว่า Cpu และ Cpl ตามลำดับดังนี้

$$Cpu = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_{ST}}$$

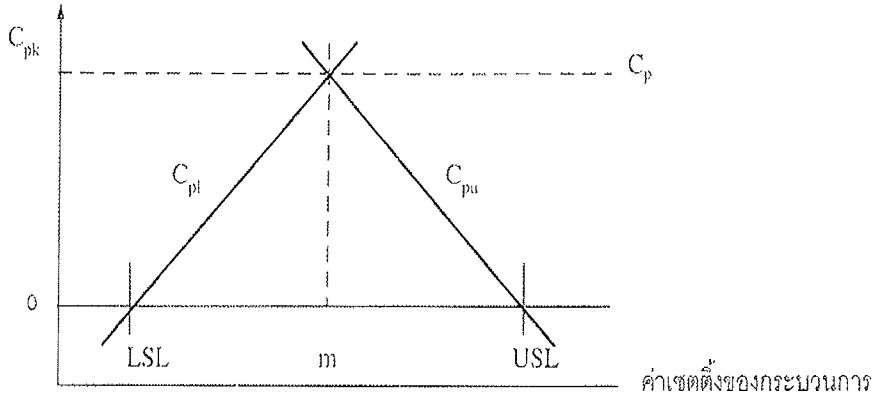
$$Cpl = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_{ST}}$$

ในการแสดงดัชนีทางสถิติมักแสดงในเทอมที่ระบุถึงปัญหาเพื่อการแก้ไข ดังนั้นค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการจึงแสดงได้ด้วยค่าดัชนีที่ให้ค่าที่ต่ำกว่า ซึ่งจะแสดงถึงปัญหาของการควบคุมกระบวนการที่ควรได้รับการปรับแก้ ดังนั้น

$$Cpk = \text{Min}\left(\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_{ST}}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_{ST}}\right)$$

ดัชนี Cpk ที่ได้นี้จะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญต่อการตัดสินใจทั้งสองประการคือความแม่นยำ (Precision) ที่อธิบายผ่านค่า Cp และค่าความถูกต้อง (Accuracy) ที่อธิบายผ่านค่า Cpk ควรจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.00 (คุณภาพระดับ 3σ) หรือถ้าหากมีความเหมาะสม

กว่าแล้วควรจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.33 (คุณภาพระดับ 4σ) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งจะพบว่าค่า Cpk มีค่ามากที่สุดที่ค่า Cp นอกจากนี้แล้วยังได้กำหนดค่าดัชนี Cpk ที่เหมาะสมต่อกระบวนการแบบต่างๆในตารางที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ของ Cpk กับ Cp

ตารางที่ 2.7 ค่าแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของดัชนี Cpk

ประเภทของกระบวนการ	ค่าดัชนีที่ต่ำที่สุดสำหรับ Cpk		ระดับคุณภาพ (ระยะสั้น)
	ข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านเดียว	ข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดสองด้าน	
กระบวนการทั่วไป (ใช้งานอยู่)	1.25	1.33	4σ
กระบวนการทั่วไป (ใหม่)	1.45	1.50	4.5σ
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤติ (ใช้งานอยู่)	1.45	1.50	4.5σ
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤติ (ใหม่)	1.60	1.67	5σ

สำหรับการประเมินค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว(Process Performance Index : Ppk) สามารถประเมินได้เช่นเดียวกับการศึกษาแบบระยะสั้น เพียงแต่ใช้ค่า σ_{LT} ในการประเมินค่าความผันแปรของกระบวนการแทนค่า σ_{ST}

กำหนดให้ Ppk = ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว

ดังนั้น $Ppk = Pp(1-k)$

หรือ $$Ppk = \text{Min}\left(\frac{USL-\overline{X}}{3\sigma_{LT}}, \frac{\overline{X}-LSL}{3\sigma_{LT}}\right)$$

$$= \text{Min}\ (Ppu\ ;\ Ppl)$$

เมื่อ $$Ppu = \frac{USL-\overline{X}}{3\sigma_{ST}}$$

และ $$Ppu = \frac{USL-\overline{X}}{3\sigma_{ST}}$$

2.5.2 การวัดอัตราของเสีย (Defect) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ คือการคำนวณจำนวนร้อยละของอัตราการเกิดของเสียต่อจำนวนการผลิตทั้งหมด

$$\text{อัตราจำนวนของเสีย} = \frac{\text{จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น}}{\text{จำนวนการผลิตทั้งหมด}} \times 100\ \%$$

2.5.3 การเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงในกระบวนการผลิต เป็นการคำนวณการลดลงของของค่าความเสี่ยงในกระบวนการก่อนการแก้ไขปรับปรุงเปรียบเทียบกับหลังการแก้ไขปรับปรุง

$$\text{อัตราค่าความเสี่ยงลดลง} = \frac{\text{ค่าความเสี่ยงรวม (ก่อน – หลัง)}}{\text{ค่าความเสี่ยงรวม ก่อน}} \times 100\%$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิศิษฐ์ เจริญกิจวิวัฒน์ (2541)

ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของสายเครื่องควบคุมไฟฟ้า เพื่อที่จะบรรลุความต้องการของลูกค้าในโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็คโทรนิกส์ เน้นการปรับปรุงด้านกิจกรรมในโรงงาน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์เครื่องมือการควบคุมคุณภาพในปัจจุบันของบริษัท หลังจากนั้นใช้เทคนิค FMEA ในการป้องกัน ลด และกำจัดข้อผิดพลาดที่เคยเกิดขึ้น และข้อผิดพลาดที่มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นสำหรับสินค้าที่ขายอยู่ในปัจจุบันเพื่อที่จะลดคำร้องเรียนจากลูกค้า จากผลการดำเนินการวิจัยด้วยเทคนิค FMEA ทำให้เกิดมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับการปรับปรุงเกณฑ์คุณภาพเพื่อให้ได้สินค้าที่ดีขึ้น และสามารถลดคำร้องเรียนจากลูกค้าลดลงได้ร้อยละ 43.76 โดยเปรียบเทียบระหว่างปี 2540 และ 2541

ชูศักดิ์ รัตนศศิวิมล (2542)

การทำวิจัยในหัวข้อการพัฒนาชิ้นส่วนเฮชเอสเอนการประกอบฮาร์ดดิสก์ กรณีศึกษาบริษัทซีเกทเทคโนโลยีประเทศไทยจำกัด ทำการศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ในผลิตภัณฑ์ U2 โดยใช้แนวคิดเซลใหม่ในการที่จะพัฒนาควบคุมคุณภาพเพื่อเป็นบรรทัดฐานของระบบควบคุณภาพ รวมทั้งการนำ FMEA, แผงผังการแสดงเหตุและผล, พาเรโตและหลักทางสถิติ มาใช้เพื่อแนวทางในการแก้ไขปัญหาในการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ใหม่ๆต่อไป ผลการวิจัยพบว่าสัดส่วนของสียที่ตรวจพบในส่วนของการตรวจสอบขั้นสุดท้ายมีการปรับปรุงและลดลงอย่างต่อเนื่องจาก 4100 DPPM ในช่วงไตรมาสที่ 4 (เมษายน-มิถุนายน 2542) และ 600 DPPM ในเดือนกันยายน จนกระทั่งเป็น 124 DPPM ในเดือนพฤศิกายน โดยมีปัจจัยหลักที่นำไปสู่ความสำเร็จคือ การกำหนดแผนควบคุมกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธภาพ การทำงานเป็นกลุ่ม การสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง และการแก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธภาพและทันเวลา

ศยม สุริยมงคล (2542)

ศึกษาการทำโครงการซอฟต์แวร์ของระบบการควบคุมแบบกระจายสำหรับลูกค้าแต่ละรายในบริษัทแห่งหนึ่งเริ่มตั้งแต่จุดเริ่มต้นของโครงการ จนถึงการตรวจสอบซอฟต์แวร์และการส่งมอบสินค้าซอฟต์แวร์ให้แก่ลูกค้าค้าแต่ละราย โดยนำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis or FMEA) และการวิเคราะห์ความล้มเหลวของ

ระบบโดยใช้แผนภูมิต้นไม้อย่างมีเงื่อนไข (Fault Tree Analysis or FTA) มาใช้ในการวิเคราะห์หาจุดบกพร่องในการทำโครงการนี้ พบปัญหาหลักอยู่สามประการคือ (1) ขาดขั้นตอนในการดำเนินงานที่ดี (2) ขาดการควบคุมเอกสารและข้อมูลที่ดี และ(3) ปัญหาทางด้านเทคนิคจากผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธี FMEA ได้ทำให้เกิดการพัฒนาระบบประกันคุณภาพสำหรับการทำโครงการระบบการควบคุมแบบกระจายขึ้น ประกอบด้วยเอกสารประกอบระหว่างขั้นของการทำโครงการ, เอกสารที่แสดงระเบียบขั้นตอนของการทำงานในขั้นตอนที่สำคัญของการทำโครงการ และซอฟต์แวร์ที่ใช้เก็บความรู้ทางด้านวิศวกรรมและเก็บความรู้ทางด้านระบบการควบคุมแบบกระจายในโครงการเก่าๆที่ได้ทำมาแล้ว ได้มีการนำประกันคุณภาพที่ได้พัฒนาขึ้นไปทดสอบกับการทำโครงการควบคุมแบบกระจายโครงการหนึ่งในบริษัทพบว่าจุดผิดพลาดของซอฟต์แวร์ถูกพบก่อนถึง 37 จุดในช่วงการทดสอบภายในบริษัทและพบจุดผิดพลาดเพียงแค่ 8 จุดในช่วงทำการทดสอบกับลูกค้าซึ่งน้อยกว่าข้อมูลที่ผ่านมาในอดีตที่พบอยู่ระหว่าง 50-60 จุด ในส่วนของค่าความเสี่ยง (RPN) ลดลง 33 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในกระบวนการหลักเทียบกับก่อนนำระบบคุณภาพไปใช้

ศิริพันธ์ ชัชวาลานนท์ (2542)

ศึกษาการผลิตที่มีของเสียหรือชิ้นงานที่มีความเสียหาย (Defect) เป็นจำนวนมากเพื่อลดปริมาณลดของเสียในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน โดยนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) มาเป็นเครื่องมือในการระบุปัญหา ผลกระทบที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์หาสาเหตุ วิธีการแก้ไขและกำจัดสาเหตุ และแนวทางในการป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นด้วย ได้นำเครื่องมือและเทคนิคอื่นที่เหมาะสมเข้ามาช่วยเพื่อดำเนินการดังกล่าว เช่นการออกแบบการทดลอง การใช้เครื่องมือ SPC เป็นต้น จากการดำเนินการพบว่าปริมาณของเสียมีค่าลดลงมากกว่าร้อยละ 70 และค่า RPN ลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 60 ถึง 90

อรรถพร ฤทธิภักดี (2544)

ศึกษากระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกของโรงงานตัวอย่าง และค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องทุกกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกของโรงงานตัวอย่างโดยอาศัยการระดมสมองด้วยการใช้แผนภาพต้นไม้ แผนผังแสดงเหตุและผล แผนภาพความสัมพันธ์และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบด้านคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิต (PFMEA) จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการพ่นสีมาวิเคราะห์เพื่อประเมินค่าความรุนแรงของ

ข้อบกพร่อง ค่าโอกาสการเกิดข้อบกพร่องและค่าโอกาสการตรวจพบข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยง (RPN)

ผลการดำเนินการแก้ไข พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียเทียบกับยอดการผลิตลดลงจาก 16.37% เหลือ 9.37% (ลดลง 7%) สำหรับปัญหาของเสียที่ลูกค้าส่งคืนมีเปอร์เซ็นต์ของเสียเทียบกับยอดส่งให้ลูกค้าลดลงจาก 1.52% เหลือ 1.10% (ลดลง 0.42%) และมีแนวโน้มในการลดลงอย่างต่อเนื่อง สำหรับค่าคะแนนค่าดัชนีความเสี่ยง (RPN) พบว่า ลดลง 20.00% ถึง 78.57% จากค่า RPN ของกระบวนการผลิตก่อนทำการแก้ไข

กิตติศักดิ์ อนุรักษสกุล (2545)

ศึกษาระบบการผลิตตลอดจนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าของเสียส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการ DRAW, TRIM/PIERCE และ SEPARATE โดยของเสียที่เกิดขึ้น ได้แก่ ชิ้นงานย่น, เสียรูป, แตก, บุบตุงและมีครีบคม ดังนั้น ทำการวิเคราะห์และลดของเสียโดยใช้เทคนิค FMEA ซึ่งสามารถมองของเสียได้หลายมิติ เช่น ระดับความรุนแรงของของเสีย, ผลกระทบที่เกิดขึ้น, ความถี่หรือโอกาสในการเกิดและความสามารถในการตรวจจับของเสีย จากการปรับปรุงและลดของเสียตามขั้นตอนการวิจัย พบว่า

1. กระบวนการ DRAW มีของเสียก่อนปรับปรุง 2.02% และหลังการปรับปรุงเป็น 0.79%, 0.24% และ 0.22% ตามลำดับ
2. กระบวนการ TRIM/PIERCE มีของเสียก่อนปรับปรุง 2.20% และ หลังการปรับปรุงเป็น 0.70%, 0.25% และ 0.22% ตามลำดับ
3. กระบวนการ SEPARATE มีของเสียก่อนปรับปรุง 2.25% และหลังการปรับปรุงเป็น 1.06%, 0.20% และ 0.18% ตามลำดับ

ปิยวัฒน์ รันสุภา (2545)

ศึกษาการจัดทำมาตรฐานในกระบวนการแต่งสีในโรงงานผลิตสีโดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้านศักยภาพและผลกระทบ (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS OR FMEA) กรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ผลิตและจำหน่ายสีที่ใช้ในงานเคลือบผิว ขอบข่ายของการวิจัยได้เน้นถึงผลิตภัณฑ์อัลคีด ผู้เขียนได้นำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS OR FMEA) และแผนภูมิการวิเคราะห์

เหตุและ (CAUSE AND EFFECT DIAGRAM) มาใช้ในการวิเคราะห์หาจุดบกพร่องในผลิตภัณฑ์อัลคีด พบว่า บริษัทมีปัญหาหลัก ๆ ประกอบไปด้วย 1 คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต 2 ความแม่นยำของสูตรที่ใช้ในการผลิต 3 ความไม่เที่ยงตรงของเครื่องหยดแม่สี 4 ความไม่มีประสิทธิภาพของวิธีการทำงาน 5 ความผิดพลาดที่เกิดจากคน จากผลของการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิการวิเคราะห์เหตุและผล (FMEA) ได้นำไปสู่การจัดทำระบบประกันคุณภาพสำหรับผลิตภัณฑ์สีอัลคีด ผลจากการทำระบบ พบว่าระยะเวลาในการแต่งสีลดลงจาก 233 นาที ไปเป็น 147 นาที ในส่วนของค่าดัชนีความเสี่ยง (RISK PRIORITY NUMBER OR RPN) ลดลง 73 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ในขบวนการหลักเทียบกับก่อนการนำระบบประกันคุณภาพไปใช้

เรวัติ กล้าหาญ (2546)

เพื่อวิเคราะห์และควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณผลผลิตที่ได้ในกระบวนการผลิตกระจกเงา โดยใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) เริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิต และใช้เครื่องมือวิเคราะห์นี้ในการค้นหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องของกระจกเงา ค่าความรุนแรงของข้อบกพร่อง การเกิดข้อบกพร่องและการควบคุมกระบวนการ จะถูกนำมาประเมินเพื่อคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยง (Risk Priority Number หรือ RPN) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความเสี่ยงที่จะเกิดข้อบกพร่อง ผลการปรับปรุงมีทั้งการจัดให้มีระบบการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ การจัดทำระเบียบปฏิบัติงาน กำหนดมาตรฐานการทำงาน การจัดทำเอกสารที่ใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหา การจัดหาและแก้ไขดัดแปลงอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต ผลจากการดำเนินการปรับปรุง ทำให้เปอร์เซ็นต์ของเสียทั้งหมดในกระบวนการผลิตลดลง 1.62% เป็นผลทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิต (Online yield) เพิ่มขึ้นจาก 90.59% เป็น 92..21% และปริมาณผลผลิตที่ได้ทั้งหมด (Total yield) เพิ่มขึ้นจาก 93.66% เป็น 95.18% ตามลำดับ

ฐิติวุฒิ ลิ่ววานิช (2546)

ศึกษาและหาแนวทางการลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยพัฒนาและปรับปรุงระบบการประกันคุณภาพในโรงงานตัวอย่าง ซึ่งเป็นโรงงานผลิตกระเบื้องหลังคาคอนกรีตที่กระบวนการผลิตกระเบื้องหลังคาคอนกรีตสีน้ำเงิน สำหรับการวิเคราะห์มีการนำเทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต (Failure mode and effects analysis: FMEA) และแผนภาพแสดงสาเหตุและผลมาใช้เพื่อหาสาเหตุของข้อบกพร่อง พบว่ามีข้อบกพร่อง

นำไปปฏิบัติทั้งหมด 11 ข้อบกพร่อง โดยเป็นการปรับปรุงเพื่อลดการเกิดขึ้นของข้อบกพร่องและเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมต่าง ๆ ให้สามารถตรวจสอบพบข้อบกพร่องได้ดีขึ้น พร้อมทั้งกำหนดขั้นตอนการประเมินผลกระบวนการผลิต (Process Audit) โดยให้ปฏิบัติตามแผนการควบคุมกระบวนการผลิตที่เสนอแนะไปปฏิบัติจริง พบว่าปริมาณกระเบื้องเสีย ภายหลังการผลิต มีการลดลงจาก 7.4% เหลือ 4.1% และสำหรับค่าคะแนน RPN ลดลงอยู่ในช่วง 60% - 95% จากค่าคะแนน RPN เดิมก่อนปรับปรุง

ภัทรวุฒิ พลอาสา (2548)

ศึกษาต้นทุนคุณภาพในการลดของเสียในกระบวนการผลิตฝาปิดฮาร์ดดิสก์โดยใช้วิธีการของซิกซ์ ซิกม่า โดยพิจารณาต้นทุนคุณภาพสามส่วนคือ ต้นทุนความบกพร่อง ต้นทุนการตรวจสอบ และต้นทุนการป้องกัน มีวัดผลจากเป้าหมายที่ตั้งไว้คือมีปริมาณของเสียต่ำกว่า 10,000 หน่วยต่อล้านชิ้น งานวิจัยดำเนินตามขั้นตอนของวิธีการซิกซ์ ซิกม่า เริ่มจากการระบุปัญหาโดยใช้แผนผังเหตุและผลในขั้นตอนการวัด มีการจัดลำดับความเสี่ยงของแนวโน้มสาเหตุของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุต่าง ๆ ว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ แล้วจึงทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนของเสียที่พบ โดยใช้หลักทางสถิติมาใช้เพื่อยืนยันผลในขั้นตอนนี้ ผลการศึกษาพฤติกรรมของต้นทุนคุณภาพพบว่ากิจกรรมการปรับปรุงแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเริ่มทำการปรับปรุง ช่วงการปรับปรุงคุณภาพแบบก้าวกระโดด จะมีต้นทุนความบกพร่องลดลงมาก แต่ต้นทุนการตรวจสอบและต้นทุนการป้องกันเพิ่มขึ้น เนื่องจากกิจกรรมการปรับปรุงที่เพิ่มขึ้น และสุดท้ายช่วงการปรับปรุงคุณภาพแบบต่อเนื่อง ต้นทุนคุณภาพทั้งสามส่วนลดลง เนื่องจากเกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

ณัฐเจตน์ เกษกมล 2550.

การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกม่า ในการลดปัญหาจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษาโรงงานผลิตยางรถยนต์ ดัชนีชี้วัดความสำเร็จของการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยคิดจากจำนวนยางรถยนต์ที่เกิดข้อบกพร่องที่ไม่สามารถนำไปขายให้ลูกค้าต่อจำนวนยางที่ทำการปลิตทั้งหมดในหนึ่งเดือน โดยการวิจัยนี้มุ่งแก้ไขปัญหาเฉพาะปัญหาข้อบกพร่องหลักในกระบวนการผลิต ซึ่งผลจากการวิจัยสามารถลดปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องลงได้ จากเดิม 0.12% เป็น 0.04% ซึ่งหมายถึงการปรับปรุงค่า Z-Score จากเดิม 1.53 เป็น 3.30