บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้อธิบายถึงหน้าที่และความสำคัญของการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวมคุณสมบัติของน้ำยาเคลือบที่ใช้กับงานวิจัยนี้ หลักการและวิธีการเคลือบ การวัดความหนืดและการควบคุมความหนืดของน้ำเคลือบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวของซิกซิกม่า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ

2.2 หน้าที่และความสำคัญของการเคลือบสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

การเคลือบ (Conformal Coating) ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น เพื่อการป้องกันสภาพแวดล้อมที่มีผลกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า นอกจากนั้นยังเป็นการเพิ่มเกราะป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากความชื้น สารเคมีและสารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดสนิมกัดกร่อนและไฟฟ้าลัดวงจร การป้องกันจากสภาพแวดล้อมจะรวมถึงการถูกกระทำจากวัตถุ เช่น การจับถือและการถูกขูดหรือรอยถลอก อุณหภูมิสุดขั้วและรังสี หน้าที่พิเศษส่วนหนึ่งจะรวมถึงการเป็นฉนวนแต่ละชั้นในการบรรจุภัณฑ์ การยึดเกาะของสารเคมี ป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นความถี่ทางเสียงและ ไฟฟ้าสถิต (ESD) การเคลือบนั้นขึ้นอยู่กับข้อกำหนดที่นำไปใช้งานและหน้าที่การทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ อย่างไรก็ตามความต้องการพื้นฐานอย่างหนึ่งในการเคลือบก็คือ ยึดเกาะที่ดี ทั้งในขั้นตอนการเคลือบและระหว่างการนำไปใช้งาน ดังนั้นกระบวนการเคลือบจึงเป็นสิ่งที่ต้องถูกควบคุมเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นการเคลือบด้วยวิธีการพ่นแล้วต้องมีการควบคุมในเรื่องของความหนืด (Viscosity) ฉะนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวความหนืด เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวของซิกซิกม่า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3 การวัดและควบคุมความหนืด

2.3.1 ความหนืด (สายัณห์ สุยพงษ์พันธ์, วิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร, 2549) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหลเมื่อมีแรงมากระทำ (ของไหล หมายถึง สสารที่สามารถไหลได้ เช่น ก๊าซ และของเหลว) ของไหลที่มีความหนืดสูง จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำ จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ ของไหลธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้ แต่ในขณะที่ของไหลที่มีส่วนผสมของสารหลายตัวจะมีลักษณะการไหลที่ซับซ้อนและไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้

2.3.2 การวัดความหนืด (สายัณห์ สุยพงษ์พันธ์, วิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร, 2549) ทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลภายในของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ (F) ในแนวขนานกับพื้นผิว เรียกแรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเฉือน (Shear force) เมื่อพิจารณาถึงก้อนของไหลซึ่งประกอบด้วยแผ่นโมเลกุลที่ขนานกัน (ดังรูปที่ 2.1) ชั้นที่อยู่ล่างสุดของของไหลจะถูกยึดไว้ ถ้าแผ่นด้านบนของของไหลได้รับแรงกระทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แผ่นด้านล่างถัดลงไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแผ่นของไหลชั้นล่างสุดที่ไม่เคลื่อนที่ ความแตกต่างของความเร็ว (dv) ระหว่างของไหลสองแผ่นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (dx) ก็คือ อัตราเฉือน (Shear rate) ที่อยู่ในเทอมของ Velocity gradient (dv/dx, S) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ (F/A) ที่ทำให้เกิดการไหลเรียกว่า แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ (Shear stress, F) ถ้าของไหลมีความหนืดสูงขึ้น ก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงขึ้น เพื่อให้ได้อัตราเฉือนเท่าเดิม ดังนั้นอัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเฉือน ดังสมการที่ 1

$$F/A = \eta\,(dv/dx) \quad \text{---------- สมการที่ 1}$$

η คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืด (Coefficient of Viscosity) หรือเรียกง่ายๆ ว่า "ความหนืด" ตามหลักของ เซอร์ ไอแซก นิวตัน (I saac Newton) คำจำกัดความของความหนืดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังสมการที่ 2

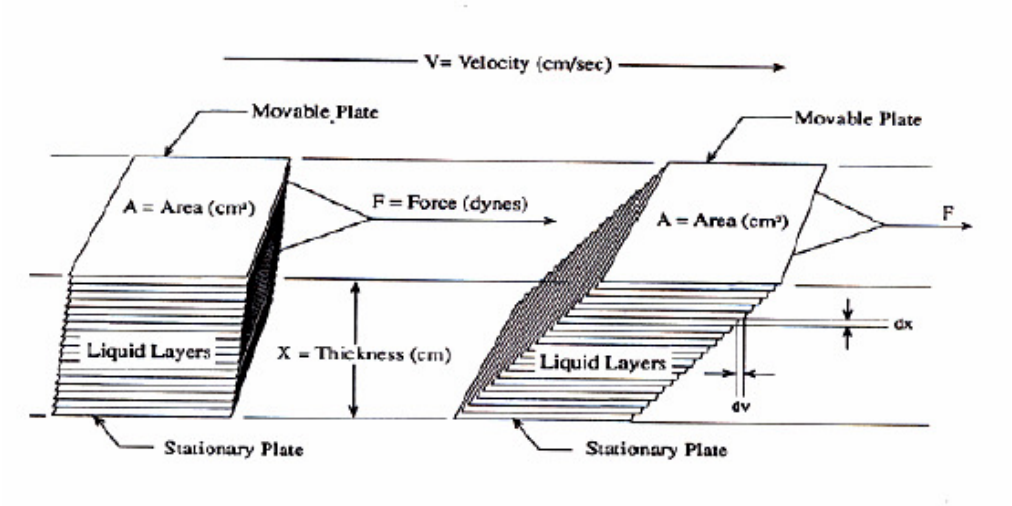
$$\eta = F'/S \quad \text{---------- สมการที่ 2}$$

เมื่อ F' คือ แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็น dynes/cm2 s หรือ Pascal (Pa)

S คือ อัตราเฉือน มีหน่วยเป็น Sec-1

หน่วยของความหนืด คือ Dyne.sec.cm-2 หรือ gram.cm-1.sec-1 เรียกเป็น Poise

1 Poise คือ แรงที่ใช้ทำให้ของเหลวที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm2 หนา 1 cm เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 cm/sec (1 poise = 100 centipoises)



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิด Velocity gradient เมื่อมีแรงมาทำในแนวขนานกับพื้นผิวของของไหล

โดยปกติความหนืดของสารหาได้ในหน่วย ปัวส์ (Poise) หรือ กรัม ต่อเซนติเมตร – วินาที (g/cm – s) (วิศิษฏ์ จาตุรมานและขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์, 2521 : 31) แต่มาตรความหนืดบางประเภทจะวัดการไหล ภายใต้แรงโน้มถ่วง กล่าวคือ อัตราการไหลหาได้จาก อัตราส่วนของความหนืด ต่อความหนาแน่น ความหนืดที่ได้จากการวัดโดยวิธีการแบบนี้เรียกว่า ความหนืดคิเนมาติก (Kinematic Viscosity) มีหน่วยเป็นสโตก (Stoke) หรือตารางเซนติเมตรต่อวินาที (cm2/s) ซึ่งความหนืดของแก๊สจะแปรตามความดัน เนื่องจากความหนาแน่นของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงเมื่อความดันเปลี่ยน ทั้งนี้เพราะ ความหนาแน่นคิเนมาติกได้มาจาก

$$\text{ความหนืดคิเนมาติก (Stoke ; cm}^2\text{/s)} = \frac{\text{ความหนืดไดนามิกส์ (Poise ; g/cm-s)}}{\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)}}$$

2.3.3 มาตรความหนืด หรือ เครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด (อรอุษา สรวารี, 2537 :169-171) มีหลายชนิด ดังนี้ คือ

2.3.3.1 บับเบิลวิสโคมิเตอร์ (Bubble Viscometers) มาตรความหนืดชนิดนี้นิยมใช้วัดความหนืดของน้ำมันและสารยึดเกาะ เครื่องจะประกอบด้วยหลอดมาตรฐาน ที่ฝาหลอดถูกผนึก (Sealed) จำนวน 41 หลอด บรรจุของเหลวที่เรียงลำดับความหนืดต่ำที่สุด ถึงของเหลวที่มีความหนืดสูงที่สุด แสดงค่าเป็นความหนืดคิเนมาติก วิธีการวัดความหนืดจะเปรียบเทียบอัตราความเร็ว

ของฟองอากาศ ระหว่างสารในหลอดทดสอบและของเหลวในหลอดมาตรฐาน การบรรจุสารในหลอดทดสอบ จึงต้องระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ เพื่อให้สารในหลอดทดสอบมีขนาดฟองอากาศใกล้เคียงกับของเหลวในหลอดมาตรฐานมากที่สุด นอกจากนี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการวัดอีกด้วย

2.3.3.2 ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด (Ford Viscosity Cups) เป็นวิธีการทดสอบที่ สถานประกอบการอุตสาหกรรมนิยมใช้กันมาก เนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด ทำด้วยวัสดุที่ทนการกัดกร่อน และตัวทำละลาย เช่น ทองเหลือง หรือ อลูมิเนียม ที่ก้นถ้วยมีทางออกเหมือนกรวย ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ดที่ใช้ในงานทดสอบทางเซรามิก มี 3 ขนาด คือ ถ้วยหมายเลข 2 หมายเลข 3 และหมายเลข 4 ถ้วยแต่ละขนาดมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออกต่างกัน และเหมาะสำหรับการหา ความหนืดของสารได้ในช่วงต่างกัน ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐานของถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด

หมายเลขถ้วย	เส้นผ่าศูนย์กลางของทางออกท่อ		ช่วงความหนืดที่ใช้วัด (เซนติสโตก หรือตารางมิลลิเมตร ต่อวินาที)
	นิ้ว	เซนติเมตร	
2	0.1	0.25	25 - 120
3	0.13	0.325	37 - 231
4	0.15	0.375	70 - 370

ก่อนทำการทดสอบ ให้เลือกถ้วยที่เหมาะสม โดยใช้ถ้วยหมายเลข 3 และหมายเลข 4 สำหรับทดสอบสารที่มีเวลาการไหลออกจากถ้วยอยู่ระหว่าง 20 - 100 วินาที ส่วนถ้วยหมายเลข 2 สำหรับเวลาการไหลออกจากถ้วย 40 - 100 วินาที หากไม่เคยทดสอบมาก่อน ควรทดสอบการใช้งาน ว่าสารที่ต้องการทดสอบใช้เวลาในการไหลเท่าใด อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เพื่อเลือกใช้ขนาดของถ้วยให้เหมาะสม หลังจากนั้นปรับระดับการวางของเครื่องมือให้ได้ระดับ เพื่อช่วยให้สารที่บรรจุในถ้วยจนเต็มนั้นไม่มีรอยโค้ง หรือ ล้นออกจากถ้วยด้านใด ด้านหนึ่ง ทดสอบหาเวลาในการไหลของสารออกจากถ้วย โดยเอานิ้วปิดท่อทางออกด้านล่างของถ้วย เติมสารลงไปจนล้นแล้วใช้กระจก หรือ พายปาดส่วนที่ล้นออก เปิดปลายท่อที่เอานิ้วปิดไว้ จับเวลาจนกระทั่งสารไหลออกจนหมด (t) นำมาคำนวณหาความหนืดคิเนมาติก (หน่วยเป็นเซนติสโตก) จากเวลาการไหล (วินาที) ได้ดังต่อไปนี้

ถ้วยหมายเลข 2 = 2.388t - 0.007t2 - 57.008

ถ้วยหมายเลข 3 = 2.314t - 15.200

ถ้วยหมายเลข 4 = 3.846t - 17.300

เมื่อ t หมายถึง เวลาการไหลของสาร มีหน่วยเป็นวินาที

ตัวอย่าง การทดสอบหาค่าความหนืดด้วยถ้วยวัดความหนืดของ ฟอร์ด เช่น หลังจากการวัดค่าความหนืดของน้ำดินด้วย ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด หมายเลข 4 พบว่า น้ำดินใช้เวลาในการไหลออกจากถ้วย 23.2 วินาที คำนวณโดยใช้สูตร 3.846t - 17.3 เพื่อเปลี่ยนเวลาการไหลเป็นวินาทีจากที่วัดได้เป็นความหนืดคิเนมาติก ที่มีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร ต่อวินาที หรือ เซนติสโตก นั่นคือ น้ำดินนี้มีความหนืดเท่ากับ 3.846 (23.2) - 17.3 หรือ 71.9272 เซนติสโตก ซึ่งค่าที่ได้นี้ใช้นำไปเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานเดิมที่เคยกำหนดไว้ก่อนแล้ว การทดสอบความหนืดด้วยถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด นอกจากจะต้องเลือกถ้วยที่เหมาะสมแล้ว ต้องควบคุมอุณหภูมิขณะทดสอบ รวมทั้งควบคุมสภาพของแรงที่กระทำต่อน้ำดินในขณะการทดสอบ ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ค่าความหนืดได้ นอกจากการคำนวณเพื่อหาค่าความหนืดคิเนมาติกส์แล้ว ในการวัดความหนืดของน้ำดิน น้ำเคลือบ หรือวัสดุเซรามิก สามารถวัดโดยให้ตัวอย่างไหลผ่านรูท่อเหล็ก (Orifice Viscometer) โดยกำหนดปริมาตรของตัวอย่าง และเปรียบเทียบความหนืดที่การใช้เวลาในการปล่อยให้ตัวอย่างไหลจนขาดสาย ซึ่งขนาดของรูท่อที่ใช้จะเป็น 4 มิลลิเมตร หรือ 6 มิลลิเมตร จับเวลาและบันทึกค่าเป็นเวลาที่ใช้ (วินาที) ต่อ ปริมาตรน้ำดิน (100 ซีซี) (s/100 cc) การวัดด้วยวิธีนี้ไม่สามารถวัดของเหลวที่มีความหนืดมากๆ ได้ เพราะจะไม่ไหลผ่านรูท่อด้านล่าง

รูปที่ 2.2 แสดงถ้วยวัดค่าความหนืด (Viscosity Cup)

2.4 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด

เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ชนิดนี้ ตั้งชื่อตามนักรบในตำนานของชาวญี่ปุ่นที่ชื่อ "บงเค" (Ben-ke) ผู้ซึ่งมีอาวุธอันร้ายกาจแตกต่างกัน 7 ชนิด พกอยู่ที่หลัง และสามารถเลือกดึงมาใช้สยบคู่ต่อสู้ที่มีฝีมือร้ายกาจคนแล้วคนเล่า สำหรับเครื่องมือทั้ง 7 ชนิด สามารถแจกแจงได้ดังนี้

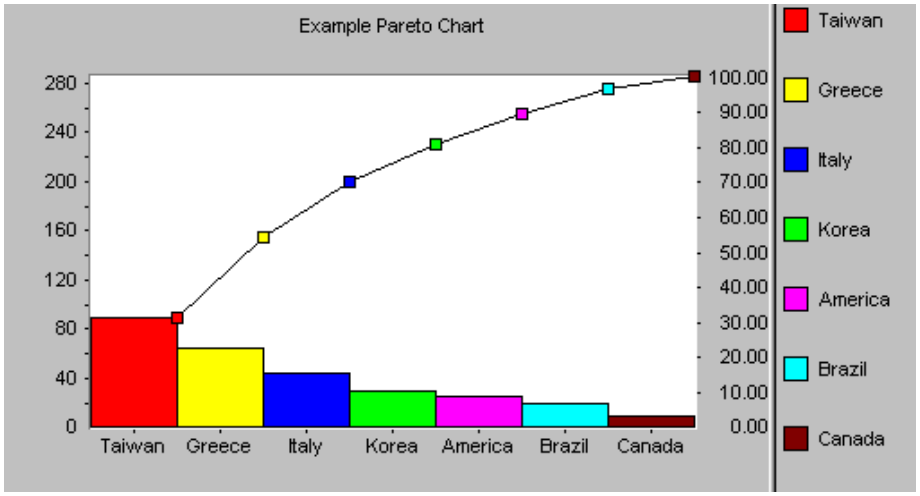
2.4.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet) คือ แผ่นที่มีแบบฟอร์มซึ่งได้รับการออกแบบช่องว่างต่างๆ และพิมพ์มาเรียบร้อยเพื่อให้ผู้บันทึกสามารถลงบันทึกข้อมูลต่างๆ ลงในช่องว่างได้โดยสะดวกไม่ยุ่งยาก และมีการเขียนน้อยที่สุดสะดวกต่อผู้อ่านหรือผู้นำไปใช้ ดังนั้นในการออกแบบแผ่นแบบฟอร์มจึงมีวัตถุประสงค์อยู่สองประการคือ เพื่อช่วยให้การกรอกข้อมูลให้สะดวกและให้ข้อมูลที่จดบันทึกสามารถที่จะนำไปใช้ได้ง่ายที่สุด ซึ่งลักษณะของใบตรวจสอบทั่วไป บนหัวกระดาษใบตรวจสอบ จะมีรายละเอียดของผู้ตรวจสอบ ว่าตรวจสอบสินค้าชนิดอะไร จากกล่องไหน ที่ไหน หมายเลขอะไร วันไหนเป็นวันที่ตรวจสอบ จำนวนที่ตรวจสอบเท่าไร ใครเป็นผู้ตรวจสอบ และลักษณะที่วัดเป็นอย่างไร ลักษณะที่เป็นตารางที่มีรายละเอียดต่างๆ ที่ต้องการตรวจสอบไว้พร้อมแล้ว สามารถใช้ปฏิบัติได้โดยไม่ต้องกรอกรายละเอียดใหม่ เพียงแต่กรอกรายละเอียดขีดลงในช่องที่ตรงกับรายละเอียดนั้น หรือ กรอกผลการตรวจสอบในรายละเอียดนั้น ใบตรวจสอบที่แสดงภาพ เช่น แสดงรอยตำหนิบนสินค้า

2.4.2 ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นแผนภูมิที่แสดงความถี่ของสิ่งที่เกิดขึ้น โดยแสดงเป็นกราฟแท่งสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างที่เท่ากันและมีด้านข้างที่ติดกัน วิธีสร้างฮิสโตแกรมทำได้ดังนี้คือ เก็บรวบรวมข้อมูลของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ กำหนดจำนวนช่วงหรือแท่งของกราฟที่ต้องการแสดง โดยปรกติจะให้มีแท่งช่วงระหว่าง 8-12 แท่ง กำหนดค่าของแต่ละช่วงโดยค่าที่กำหนดจะต้องครอบคลุมทุกค่าของข้อมูลที่เก็บได้ และจะไม่มีค่าใดตกอยู่ในช่วงข้อมูลมากกว่า 1 ช่วง นับจำนวนข้อมูลแต่ละช่วงแล้วเขียนเป็นกราฟ

2.4.3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิที่แสดงว่า เหตุใดเป็นมูลเหตุที่สำคัญที่สุด วิธีการเขียนแผนภูมิพาราเตโรเริ่มจากการใช้ใบตรวจสอบเก็บข้อมูลก่อน แล้วจำแนกแจกแจงข้อมูลตามหมวดหมู่ตามสาเหตุต่างๆ หลังจากนั้นก็จัดอันดับโดยนำสาเหตุที่มีความถี่สูงสุดไปแสดงไว้ซ้ายสุดของแผนภูมิ และสาเหตุรองลงมาก็แสดงชิดมาทางขวามือ นอกจากจะแสดงข้อมูลที่สำคัญที่สุดจะเรียงข้อมูลเหตุอื่นๆ ตามลำดับความสำคัญแล้ว จะแสดงเป็นเส้นกราฟสะสมไว้ด้วย ดร.จูรัน เป็นคนแรกที่นำแผนภูมิของโลเอนส์ มาแสดงว่าปัญหาในเรื่องคุณภาพขึ้นอยู่กับสาเหตุสำคัญไม่กี่ประการ และไม่ขึ้นอยู่กันปลีกย่อยซึ่งมีมากมาย ดังนั้นจึงมีการเก็บข้อมูลว่าปัญหาคุณภาพเกิดจากสาเหตุอะไรบ้าง นำข้อมูลมาแจกแจงความถี่จะพบสาเหตุปัญหา ถ้าลงมือแก้ไขสาเหตุสำคัญเหล่านี้เพียงไม่กี่อย่าง ก็จะลดปัญหาคุณภาพลงได้มาก โดยสรุปผังพาเรโตมีอยู่สองประเภทคือ

2.4.3.1 ผังพาเรโตที่เกิดจากประสบการณ์หรือผลของปัญหา ผังชนิดนี้เขียนขึ้นจากการตรวจสอบหาประเภทต่างๆ ของประสบการณ์ความบกพร่องแต่ละชนิด ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาในการผลิตเพื่อการค้นหาสาเหตุต่อไปอาทิเช่น ด้านคุณภาพ ด้านต้นทุน ด้านการจัดส่ง และ ด้านความปลอดภัย เป็นต้น

2.4.3.2 ผังพาเรโตที่เกิดจากสาเหตุแห่งปัญหา ผังชนิดนี้จะพบมากในการผลิตที่ใช้บอกที่มา สถานที่เกิด หรือ จุดที่เป็นต้นตอของสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและตรวจพบ อาทิเช่น พนักงานควบคุมเครื่อง เครื่องจักร วัตถุดิบ หรือ วิธีการทำงาน เป็นต้น หลักเกณฑ์การเขียนแผนภูมิพาเรโตนั้นจะต้องจำแนกลักษณะประเภทสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น แล้วทำการเก็บรวบรวมข้อมูลนับจำนวนลักษณะประเภทของปัญหาที่เกิดขึ้น แล้วคำนวณร้อยละของลักษณะประเภทของปัญหาที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงทำการเรียงข้อมูลที่นับจำนวนได้มากไปหาน้อย จัดทำร้อยละสะสม แล้วนำมาแสดงผลที่ได้เป็นแผนภูมิเขียนแผนร้อยละสะสม โดยให้แกนนอนเป็นลักษณะประเภทของปัญหา และแกนตั้งเป็นร้อยละลักษณะของปัญหาแล้วเขียนกราฟแท่งเรียงปัญหาจากมากไปหาน้อย พร้อมทั้งกำหนดจุดและลากเส้นร้อยละสะสมของลักษณะประเภทของปัญหา ซึ่งผลที่ได้ดังแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะแผนภูมิพาเรโต

2.4.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) อาจจะเรียกย่อๆ ว่า ผังก้างปลา หรือ ถ้าเรียกเป็นภาษาอังกฤษอาจจะใช้ตัวย่อว่า CE Diagram ซึ่งมีนิยามปรากฏในมาตรฐานของญี่ปุ่น หรือ JIS Standards (Japanese Industrial Standards) ในมาตรฐาน JIS ได้ระบุนิยามของ CE Diagram ไว้คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพ กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือผลที่

เกิดขึ้นจากเหตุ ซึ่งก็คือปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นเหตุของคุณลักษณะอันนั้น หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นแผนผังที่ใช้ในการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุต่างๆ ว่ามีอะไรบ้างที่มาเกี่ยวข้องกัน สัมพันธ์ต่อเนื่องกันอย่างไรจึงทำให้ผลปรากฏตามมาในขั้นสุดท้าย โดยวิธีการระดมความคิดอย่างเป็นอิสระของทุกคนในกลุ่มกิจกรรมด้านการควบคุมคุณภาพ ประโยชน์ของการใช้ผังก้างปลา

2.4.4.1 ใช้เป็นเครื่องมือในการระดมความคิดจากสมองของทุกคนที่เป็นสมาชิกกลุ่มคุณภาพอย่างเป็นหมวดหมู่ ยิ่งได้ผลมากที่สุด

2.4.4.2 แสดงให้เห็นสาเหตุต่างๆ ของปัญหา ของผลที่เกิดขึ้นที่มีมาอย่างต่อเนื่อง จนถึงปมสำคัญที่จำนำไปปรับปรุงแก้ไข

2.4.4.3 แผนผังนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ได้มากมาย ทั้งในหน้าที่การงาน สังคม แม้กระทั่งชีวิตประจำวัน

โครงสร้างของผังก้างปลาหรือผังแสดงเหตุและผล ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาที่เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา โดยตามความนิยมจะเขียนหัวปลาอยู่ทางขวามือและตัวปลา (หางปลา) อยู่ทางซ้ายมือเสมอ

ขั้นตอนการสร้างผังก้างปลา

ขั้นที่ 1. กำหนดลักษณะคุณภาพที่เป็นปัญหา (อาจจะมากกว่า 1 ลักษณะก็ได้)

ขั้นที่ 2. เลือกเอาคุณลักษณะที่เป็นปัญหามา 1 อัน แล้วเขียนลงทางขวามือของกระดาษพร้อมตีกรอบสี่เหลี่ยม

ขั้นที่ 3. เขียนก้างปลาจากซ้ายไปขวาโดยเริ่มจากกระดูกสันหลังก่อน

ขั้นที่ 4. เขียนสาเหตุหลักๆ เติมลงบนเส้นกระดูกสันหลังทั้งบนและล่าง พร้อมกับตีกรอบสี่เหลี่ยมเพื่อระบุสาเหตุหลัก

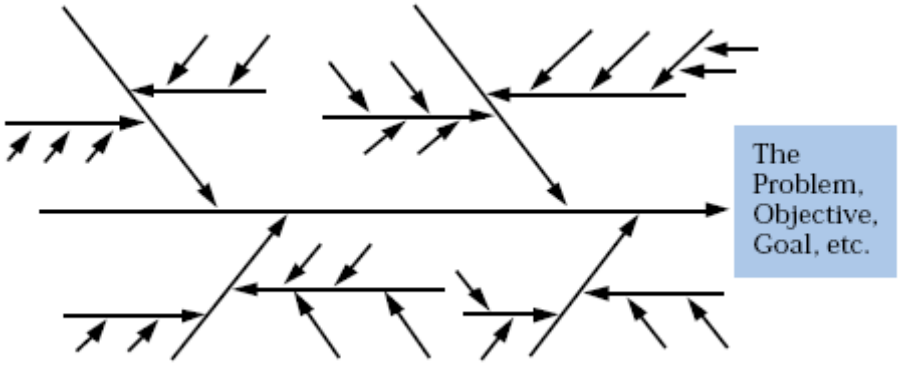
ขั้นที่ 5. ในก้างใหญ่ที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหาให้ใส่ก้างรองลงไป ที่แต่ละปลายก้างรองให้ใส่ข้อความที่เป็นสาเหตุรองของแต่ละสาเหตุหลัก

ขั้นที่ 6. ในแต่ละก้างรองที่เป็นสาเหตุรองให้เขียนก้างย่อย ที่เข้าใจว่าจะเป็นสาเหตุย่อยๆ ของสาเหตุรองอันนั้น

ขั้นที่ 7. พิจารณาทบทวนว่าการใส่สาเหตุต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กันตามระดับชั้นถูกต้องหรือไม่ แล้วใส่ข้อมูลเพิ่มเติมให้ครบถ้วน

ข้อสังเกตในการนำผังก้างปลาไปใช้

ก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัว เพื่อจะได้ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา (Setting Priority) ก่อนนำไปปฏิบัติต่อไป ควรอาศัยข้อมูลสถิติหรือตัวเลขในการพิจารณาใส่น้ำหนักหรือให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยสาเหตุ พยายามเลี่ยงการใช้ความรู้สึกของตนเอง (ยกเว้นกรณีไม่มีข้อมูลสนับสนุนก็อาจจะอาศัยประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญในเรื่องนั้นๆ) ขณะใช้ผังก้างปลาก็ให้ทำการปรับปรุงแต่งเติมแก้ไขอย่างต่อเนื่องด้วย เพราะว่าผังก้างปลาที่เขียนครั้งแรกอาจจะไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อนำไปใช้แก้ปัญหาแล้วอาจจะได้ข้อมูลและข้อเท็จจริงมากขึ้นมาอีกมากและอาจจะไปหักล้างความเข้าใจแต่เดิมก็ได้ การปรับปรุงไปเรื่อยๆ จึงเป็นการบันทึกผลการศึกษาค้นคว้าประกอบการแก้ไขปัญหาในการผลิตที่ดี



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะแผนภูมิก้างปลา

2.4.5 กราฟ (Graph) เป็นส่วนหนึ่งของรายงานที่ใช้สำหรับนำเสนอข้อมูลที่สามารถทำให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่างๆ ได้สะดวกและง่ายต่อการแปลความหมาย สามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น ทั้งนี้ข้อมูลกราฟสามารถมองเห็นข้อมูลต่างๆ ได้ทันที จากข้อมูล จากเส้น รูปภาพ แท่งสี่เหลี่ยม และวงกลม ซึ่งนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟนี้ กราฟที่นิยมกันมากได้แก่ กราฟเส้น กราฟรูปภาพ กราฟแท่ง กราฟวงกลม และแผนภูมิรูปภาพ ซึ่งกราฟแต่ละชนิดจะมีประโยชน์ในการใช้แตกต่างกันไป

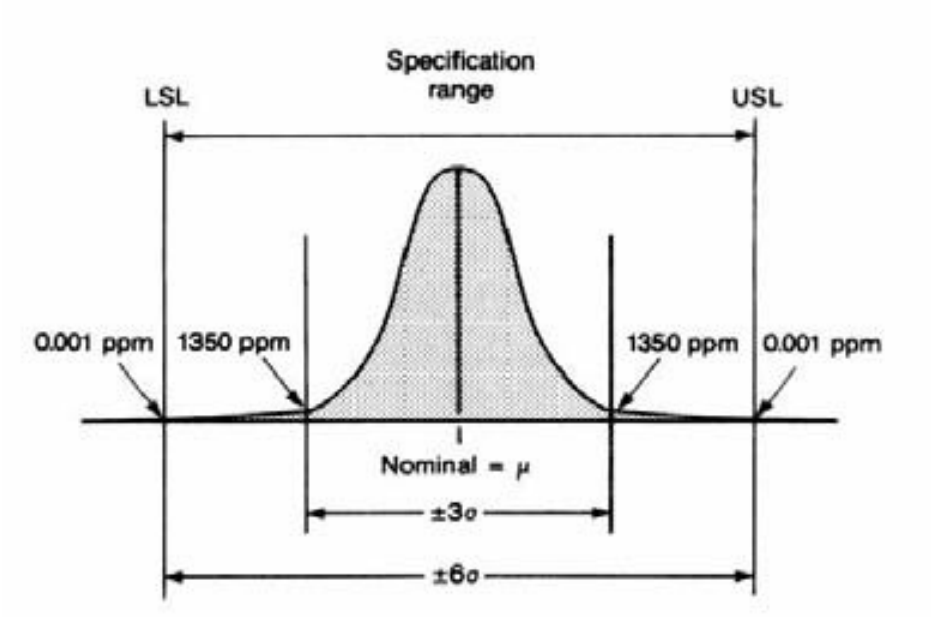
2.4.6 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ แผนภูมิหรือแผ่นกราฟที่เขียนขึ้นล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลจากข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ทำการผลิตและต้องการจะควบคุมนั้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดค่าซึ่งวัดได้ (Variable) ที่เรียกว่าค่าวัด

หรือการนับจำนวนของค่าที่เป็นหน่วยนับ (Attribute) แล้วเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้น ซึ่งจะมีสามเส้นได้แก่ เส้นควบคุมน เส้นควบคุมล่าง และเส้นค่ากลาง จะเป็นขนาดหรือเป้าหมายการผลิต

2.5 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวของ ซิก ซิกม่า

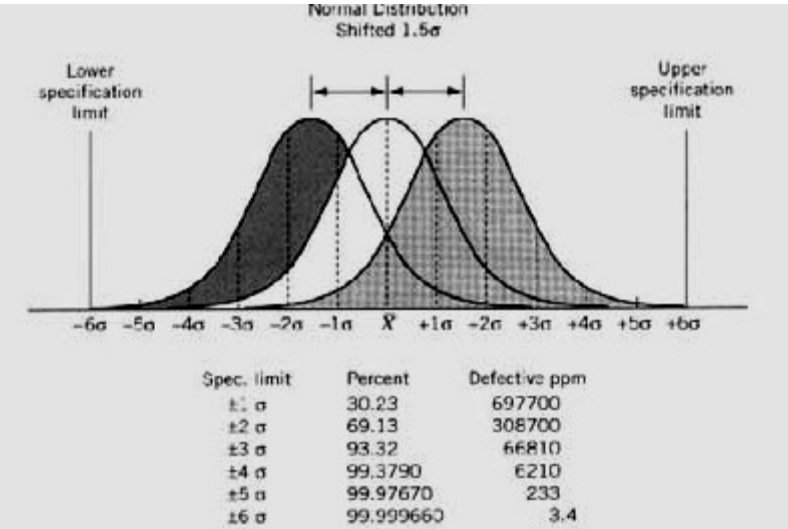
ซิก ซิกม่า คือ ระบบที่จะทำให้องค์กรสามารถที่จะนำความรู้และประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์สำเร็จมีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ ซิก ซิกม่าได้ถูกเริ่มใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2523 โดยบริษัทโมโตโรล่าผู้บุกเบิกแนวความคิดทางซิก ซิกม่า คือ Robert W. Galvin เพื่อที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตโทรศัพท์เคลื่อนที่และเพจเจอร์ ซึ่งหลังจากประสบผลสำเร็จเขาจึงได้รับการแต่งตั้งให้เป็น CEO (Chief Executive Officer) ของบริษัทโมโตโรล่าในเวลาต่อมาและในปี พ.ศ.2529 วิธีการทางซิก ซิกม่าก็ได้ถูกพัฒนาโดย Dr. Mikel J. Harry ซึ่งเป็นพนักงานของบริษัทโมโตโรล่าเช่นเดียวกัน จนในปี พ.ศ. 2531 หลังจากที่บริษัทโมโตโรล่าได้ใช้ปรัชญาทางซิก ซิกม่า เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กร ทำให้บริษัทโมโตโรล่าได้รับรางวัลชนะเลิศทางด้านคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award กลยุทธ์ในการปรับปรุงคุณภาพของโมโรล่าได้กลายเป็นจุดสนใจขององค์กรต่างๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเกี่ยวกับยานยนต์ ซึ่งวิธีการทางซิก ซิกม่านั้น ได้จุดประกายความสนใจขององค์กรต่างๆ ที่จะใช้วิธีการนี้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ตรงตามเป้าหมาย หนึ่งในนั้นคือบริษัทไอบีเอ็ม ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่นำวิธีการนี้มาใช้ในองค์กรโดยประยุกต์ใช้กับหน่วยงาน Application Business Systems Division ซึ่งหลังจากประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้วิธีการทางซิก ซิกม่าเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้บริษัทไอบีเอ็มได้รับรางวัลชนะเลิศทางคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award ในปี พ.ศ. 2533

ซิก ซิกม่า นั้นแท้จริงแล้วเป็นภาษาในวิชาสถิติ ซึ่งสัญลักษณ์ Sigma (σ) เป็นตัวอักษรในภาษากรีกที่ใช้แทนความหมายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งค่าซิกม่ายิ่งสูงแสดงว่ามีความแปรปรวนของกระบวนการยิ่งสูง ทำให้มีพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ในการยอมรับหรือในสเปคน้อยลง นั่นคือมีของเสียที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่ยอมรับได้น้อยลงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงเส้นโค้งตามปกติ (Normal Curve)

โดยที่ในระดับ 6 Sigma นั้น จะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่ปริมาณ 3.4 ชิ้น ในการผลิต 1 ล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 ppm (Parts Per Million) ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ (Normal Distribution Curve) จริงๆ ทางสถิตินั้น ที่ระดับ 6 Sigma จะมีของเสียที่อยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ชิ้น ต่อ 1 ล้านชิ้นเท่านั้น แต่เหตุผลที่หลักการ ซิก ซิกม่า ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการยอมรับของเสียที่ 3.4 ppm ก็เพราะว่าในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษัทโมโตโรล่านั้น ได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มีความแปรปรวนเลยจึงเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้นโมโตโรล่าจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลาง ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์คือ ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องจากปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4 - 1.6 เท่าของซิกม่า จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่าของซิกม่า เป็นค่าความเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับได้นำมาใช้ในทฤษฎี ซิก ซิกม่า ซึ่งค่า 3.4 ppm จึงเป็นค่าความผิดพลาดที่ 4.5 เท่าของซิกม่าตามหลักสถิตินั่นเอง แสดงภาพประกอบคำอธิบายดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการกระจายตัวที่มีผลจากปัจจัยรบกวน

ในการที่จะบรรลุวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ตามวิธีการทางซิก ซิกม่า จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในทุกๆ จุดของการปฏิบัติงาน ซึ่งจะต้องอาศัยกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้วิธีการต่างๆ ในวิชาสถิติ ซึ่งในวิธีการทางซิกซิกม่านี้ จะประยุกต์ใช้กลยุทธ์ ทั้ง 5 ขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิต คือ DMAIC ซึ่งเป็นตัวย่อมาจากขั้นตอนที่เป็นลำดับของการกำหนด (D: Define) การวัด (M: Measure) การวิเคราะห์ (A: Analyze) การปรับปรุง (I: Improve) และการควบคุม (C: Control) โดยรายละเอียดและเครื่องมือทางสถิติที่นำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละกิจกรรมทั้ง 5 ขั้นตอนมีดังนี้

2.5.1 ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา (Define Phase)

เป็นการกำหนดปัญหา (Problem Statement) ระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้นๆ จะต้องสัมพันธ์ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า หรือทางด้านคุณภาพ เป็นขั้นตอนกำหนดกระบวนการ กำหนดปัจจัยสำคัญในการวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุงและการควบคุม โดยมีเทคนิคหลักๆ คือ

2.5.1.1 แผนผังกระบวนการแบบ มหภาค (Marco Process Map) มีจุดประสงค์เพื่อให้เข้าใจภาพรวมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อปัญหาที่จะทำการแก้ไข และขอบเขตของกระบวนการ แสดงกิจกรรมที่จากจากสายงานต่างๆ ที่ประสานรวมกันเป็นแผนผังเดียวกันในรูปที่เข้าใจง่าย และเครื่องมือที่พิจารณาและสามารถใช้ได้คือ SIPOC + R diagrams ซึ่งเป็น Top down Flow Chart แบบหนึ่ง ประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

Supplier คือ บุคคลหรือกลุ่มบุคคล ที่จัดหาข้อมูล วัตถุดิบหรือทรัพยากรอื่นให้

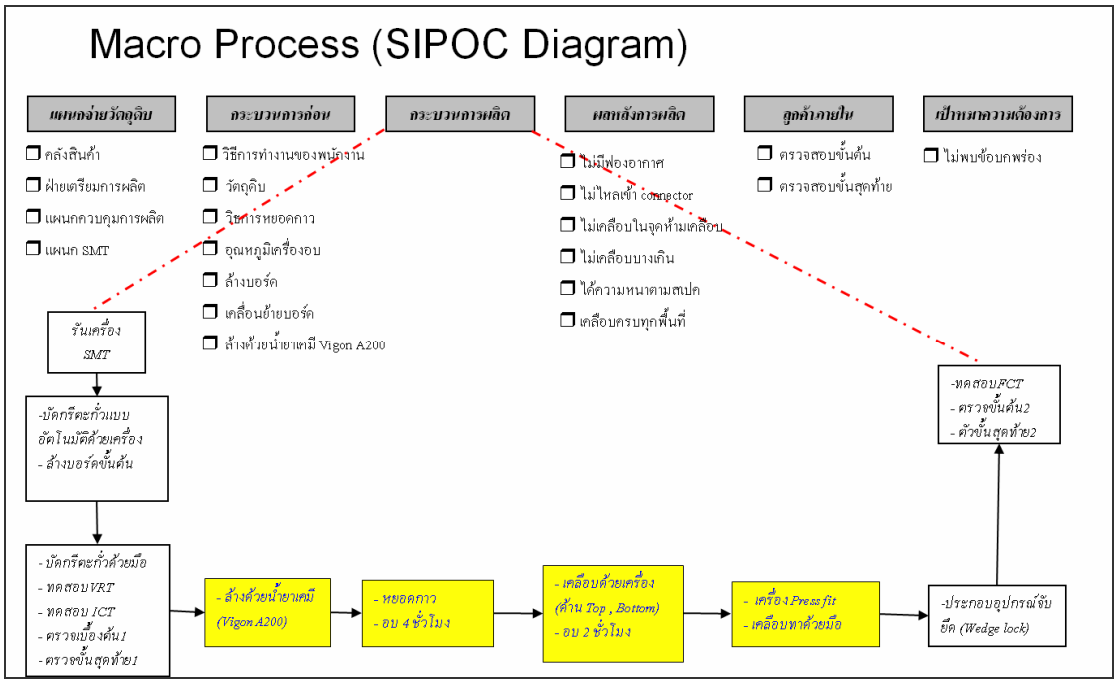
Input คือ วัตถุดิบหรือปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ

Process คือ รายละเอียดของกระบวนการ

Output คือ ผลลัพธ์ หรือ ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายของกระบวนการ

Customer คือ ลูกค้า หน่วยงาน หรือกระบวนการที่รับเอ้าพุทไปใช้ประโยชน์

Requirement คือ ความต้องการของลูกค้า หน่วยงาน อาจแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ความต้องการเชิงเทคนิค และความต้องการเชิงคุณภาพบริการ



รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่าง SIPOC Diagram ของกระบวนผลิต

จากกระบวนการข้างจะทำให้ทีมทราบว่าใครคือลูกค้าของกระบวนการ ขั้นต่อไปคือการช่วยกันค้นหาว่าอะไรคือความต้องการและความคาดหวังจากลูกค้า ความสำคัญของกระบวนการ Six Sigma คือ ยึดลูกค้าเป็นจุดศูนย์กลาง โดยพยายามตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้มาก และข้อบกพร่องที่สร้างความไม่พึงพอใจแก่ลูกค้าให้เหลือน้อยที่สุด ดังนั้นการค้นหาว่าลูกค้าภายนอกของกระบวนการคือใคร และอะไรคือความต้องการจึงเป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง

2.5.1.2 แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map) ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหาซึ่งการสร้างแผนภาพขอกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปร

สำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process output) ขั้นตอนนี้จึง เปรียบเสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติ หรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหา โดยการทดลองโดยการตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธีการสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มีมาของข้อบกพร่อง และสิ่งที่ซ่อนในกระบวนการผลิต ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

2.5.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

เป็นขั้นตอนในการคัดเลือกลักษณะจุดวิกฤตต่อคุณภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์ หรือดำเนินกระบวนการกำหนดมาตรฐานสมรรถภาพสำหรับผลลัพธ์ที่ทำการศึกษา ทบทวนตรวจสอบระบบการวัดสำหรับผลลัพธ์นั้นๆ โดยวัดความสามารถของกระบวนการในการก่อเกิดผลลัพธ์ ซึ่งมีเทคนิคหลักๆ คือ

2.5.2.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด ในระบบการวัดมีความสำคัญมากการวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์ และเป็นการควบคุมกระบวนการเพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้ากระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานตรวจวัดซึ่งมีสาเหตุมาจาก ทักษะ ความชำนาญ และระดับการฝึกฝน วิธีการวัด ชิ้นงานที่วัด สิ่งแวดล้อมในการวัดซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละองค์ประกอบมีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในระบบการวัดการวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องมีความมั่นใจในความเสถียรของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part to Part Variation) พนักงานตรวจวัด (Appraiser Variation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation)

ความแม่นยำ (Precision) คือ ความสามารถในการวัดให้ผลค่าที่ใกล้เคียงกันมากค่าไม่กระจัดกระจาย และจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามากไม่มีการปรับวิธีการหรือปรับ เครื่องมือวัด

ความเที่ยงตรง (Accuracy) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้ความจริงมาก ผลต่างของค่าจริงและค่าวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก

การวิเคราะห์ความแม่นยำ มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัด มีความไวต่อเทคนิคของพนักงานตรวจวัด หรืออุปกรณ์การวัด หรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณา มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงความผันแปรของกระบวนการ ผลิตหรือไม่ คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้วจะได้รับ การแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) และ ความสามารถในการทำเหมือน หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility)

รีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับ ชิ้นงานเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่ารีพีททะบิ ลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (Short-term measurement)

รีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดงาน ชิ้นเดียว กันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติจะใช้ค่าโปรดิวซิบิลิตี้ในการ ประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (Long-term measurement)

นอกจากนี้อาจจะกล่าวอย่างสั้นๆ ได้ว่า รีพีททะบิลิตี้ คือ ความผันแปรภายในเงื่อนไข การวัดด้วยกัน ในขณะที่รีโปรดิวซิบิลิตี้ คือ ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัดโดยเงื่อนไข ที่กล่าวนี้อาจจะหมายถึงพนักงานตรวจวัดแต่ละกะ อุปกรณ์จับยึด (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์) และเงื่อนไข ของสภาพแวดล้อมเป็นต้น ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบบิลิตี้ของระบบการ วัด (GR&R Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึงการประเมินผลค่าผันแปร อัน เนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งแบบซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแล้วมีการเปลี่ยนแปลง เงื่อนไขเดียวกัน การวางแผนศึกษารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดวิธีการ และ เวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องวัด การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญ มากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้วจะต้องมี การสอบเทียบก่อนการศึกษารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้ จะเริ่มต้นขึ้น และไม่ควรจะมีการ สอบเทียบใหม่ ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุด เพราะถ้าหากมีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษา จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัดด้วย

จำนวนพนักงานตรวจวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR&R ในการกำหนดจำนวนพนักงาน ตรวจวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบ การผลิตมีพนักงานตรวจวัด (คือผู้ใช้เครื่องมือในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจ) ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานตรวจวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานตรวจวัดมา

ทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานตรวจวัดทุกคนต้องผ่านการฝึกอบรม และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาสำหรับงานประจำ จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา GR & R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษานั้น โดยปกติจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) × (จำนวนของพนักงานตรวจวัด) มากกว่า 15 และถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างมีนัยสำคัญ และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม (ชิ้น)

2.5.2.2 ตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) คือ ตารางที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ (ที่เกี่ยวข้อง) กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิดขึ้นจากสาเหตุคือปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น การสร้างตารางแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริงๆ ไม่ใช่เรื่องง่ายผู้ที่สามารถสร้างตารางอาจจำเป็นต้องวางผังก้างปลาก่อน แล้วจึงดูความน่าจะเป็นและโอกาสทำให้เกิดปัญหา โดยการระดมความคิดกับทางทีมงาน ข้อสังเกตเกี่ยวกับตารางแสดงเหตุและผล จะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้น ควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มหลายๆ ความคิด หรือจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคมาร่วมกัน เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภาพหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปขนาด หรือ ปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากตารางจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ในการผลิต ก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนน ให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปเชื่อมโยงกับ FMEA ต่อไป

			1	2	3	4		
			Defect #1	Defect # 2	Defect # 3	Defect # 4		
		Customer Priority	**40**	**34**	**10**	**5**		
	Process Step	**Process Input**					**Total**	**Sum. Score**
1	Process Step # 1	Process Input # 1	2	5	2	1	275	970
		Process Input # 2	2	4	2	1	241	
		Process Input # 3	2	3	2	1	207	
		Process Input # 4	3	3	2	1	247	
2	Process Step # 2	Process Input # 1	3	3	2	1	247	878
		Process Input # 2	2	3	2	1	207	
		Process Input # 3	1	1	1	1	89	
		Process Input # 4	1	1	1	1	89	
		Process Input # 5	1	3	1	1	157	
		Process Input # 6	1	1	1	1	89	
3	Process Step # 3	Process Input # 1	1	3	2	3	177	846
		Process Input # 2	1	2	1	5	143	
		Process Input # 3	1	3	2	2	172	
		Process Input # 4	1	3	1	5	177	
		Process Input # 5	1	3	1	5	177	
4	Process Step # 4	Process Input # 1	2	4	2	5	261	6,776
		Process Input # 2	10	8	2	5	717	
		Process Input # 3	10	10	2	6	790	
		Process Input # 4	3	5	5	6	370	
		Process Input # 5	10	8	2	5	717	
		Process Input # 6	8	10	2	4	700	
		Process Input # 7	5	6	5	5	479	
		Process Input # 8	5	5	5	3	435	
		Process Input # 9	2	6	5	6	364	
		Process Input # 10	1	4	5	5	251	
		Process Input # 11	3	5	1	1	305	
		Process Input # 12	5	5	5	5	445	
		Process Input # 13	5	5	5	5	445	
		Process Input # 14	5	8	1	3	497	
5	Process Step # 5	Process Input # 1	2	1	1	1	129	1,925
		Process Input # 2	5	1	2	1	259	
		Process Input # 3	3	2	2	1	213	
		Process Input # 4	8	1	2	1	379	
		Process Input # 5	1	3	2	1	167	
		Process Input # 6	1	2	3	1	143	
		Process Input # 7	3	1	3	1	189	
		Process Input # 8	3	2	3	1	223	
		Process Input # 9	3	2	3	1	223	
		Total	5,040	4,930	910	515		

รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างตารางเหตุและผลกระทบ Cause and Effect Matrix

2.5.2.3 เทคนิคการระดมสมอง (Brainstorming) เป็นวิธีการที่ให้สมาชิกในกลุ่มได้ช่วยกันแสดงความคิดเห็นร่วมกัน เพื่อหาแนวทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาโดยเพื่อนๆ ทุกคนในกลุ่มจะได้แสดงความคิดเห็นกันอย่างเต็มที่ก่อให้เกิดแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย วิธีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่มากมายได้แง่คิดความคิดเห็นหลายแนวทางเป็นวิธีการทำงานเป็นทีม จึงได้ผลงานที่มีคุณภาพหลากหลายความคิดเห็น เทคนิค KJ เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิง

คุณภาพใช้วิธีการระดมสมอง ระดมความคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มทุกคนได้ช่วยกัน โดยจะให้สมาชิกทุกคนเขียนแสดงความคิดเห็นของตนเองลงไปในกระดาษแล้วจึงนำความคิดเห็นต่างๆ มารวมกันก่อนจำแนกเป็นกลุ่ม ซึ่งข้อดีที่ได้จากวิธีการนี้ถือว่ามีประโยชน์และเป็นวิธีการที่ดีมากทีเดียว เพราะทุกคนจะมีอิสระทางความคิดไม่มีการปิดกั้นจึงทำให้ได้ความคิดเห็นออกมาในจำนวนมากมีความคิดเห็นที่หลากหลาย อีกทั้งยังไม่เกิดการโต้แย้งภายในกลุ่มให้เกิดความวุ่นวายอีกด้วย หลีกเลี่ยงปัญหามากมายได้อย่างดีไม่มีการวิพากษ์วิจารณ์ความคิดเห็นของคนอื่น ให้เกิดการโต้เถียงกันขึ้น จึงถือได้ว่าเทคนิค KJ เป็นเทคนิคที่เอื้อประโยชน์ให้กับการทำงานเป็นกลุ่ม เป็นทีมที่มีจำนวนสมาชิกหลายคนทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความหมายหลายแนวทาง และไม่เกิดการวิพากษ์วิจารณ์ความคิดเห็นของกันและกันอันเป็นสาเหตุของการโต้เถียงทะเลาะเบาะแว้งอันก่อให้เกิดผลเสียต่อกลุ่มได้อีกด้วย เทคนิคแผนภูมิกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Chart) จะเป็นวิธีการจัดเรียงความคิดเห็นที่ได้ระดมความคิดกันมาจัดเป็นหมวดเป็นหมู่ต่าง แล้วจึงเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของแต่ละกลุ่มความคิดเห็นเข้าด้วยกัน จึงทำให้การวิเคราะห์นั้นง่ายสะดวกเห็นภาพรวมและความเกี่ยวข้องกันของความคิดเห็นต่างๆ ได้ชัดเจน เพราะความคิดเห็นที่ได้มานั้นอาจมีทั้งที่เหมือนกัน คล้ายคลึงกัน หรือ ต่างกันออกไป เราจึงใช้วิธีการนี้มาจัดเป็นหมวดหมู่ให้กับความคิดเห็นที่เหมือนกันได้อยู่ด้วยกัน ทำให้เห็นได้ว่ามีความคิดเห็นที่ได้ออกมาเป็นกี่ประเภท แต่ละกลุ่มความคิดนั้นจะสามารถเชื่อมโยงกันได้อย่างไร ทำให้สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ของความคิดเห็นของคนในกลุ่มได้สะดวกง่ายดาย ได้ผลสรุปหลักผลสรุปย่อยของออกมาได้อย่างเข้าใจได้ง่าย เทคนิคแผนภูมิกลุ่มเชื่อมโยงเป็นการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอีกวิธีการหนึ่งซึ่งจะเห็นภาพรวมที่ชัดเจนและเป็นระเบียบอันเนื่องมาจากการแบ่งกลุ่มแยกย่อยที่ชัดเจน โดยวิเคราะห์หาสาเหตุหลักออกมาก่อนแล้วจึงเรียงลำดับความสำคัญของสาเหตุนั้นๆ จากนั้นจึงค่อยใช้ความคิดสร้างสรรค์และความคิดเชิงวิเคราะห์มาประยุกต์ใช้หาสาเหตุแยกย่อยออกจากสาเหตุหลักในกลุ่มต่างๆ อีกที ถือเป็นวิธีการระดมความคิดที่เป็นระเบียบเป็นขั้นเป็นตอน เห็นภาพที่ชัดเจนเข้าใจง่าย

2.5.3 ขั้นการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

เป็นการระบุแหล่งของความแปรปรวน ตรวจสอบสาเหตุของศักยภาพ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผลลัพธ์และระบุปัจจัยที่สำคัญ โดยมีเทคนิคหลักๆ คือ

2.5.3.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต (FMEA) คือ เทคนิคทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำหนดการบ่งชี้และการขจัดปัญหาความล้มเหลวและความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นมาแล้วในระบบงานของการออกแบบของกระบวนการและการบริหารก่อนที่จะถึงลูกค้า

2.5.3.2 ลักษณะสำคัญ 3 ประการของ FMEA จะต้องมีการแสดงให้เห็นรูปแบบของความล้มเหลวปัญหาและความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วจากระบบงาน การออกแบบ

การผลิตและการบริการอย่างชัดเจนและมีการประเมินผลจะต้องมีการบ่งชี้การกระทำ สำหรับการลด หรือขจัดโอกาสของความล้มเหลวปัญหาและความผิดพลาดนั้นๆ ที่จะเกิดขึ้นมาอีก จะต้องมีการบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐาน โดยปกตินิยมใช้ FMEA 2 ชนิด คือ Design FMEA สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเอาปัญหาสำคัญ และข้อบกพร่องต่างๆ จากผู้ใช้หรือลูกค้ามาศึกษาและหาวิธีการปรับปรุงแก้ไข และอีกชนิดหนึ่ง คือ Process FMEA สำหรับการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตซึ่งมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันไม่ให้มีของเสียและขจัด หรือลดปัญหาจากการผลิตที่จะส่งไปยังกระบวนการผลิตถัดไปและลูกค้า

2.5.3.3 ประโยชน์ของ FMEA ช่วยพิจารณาทางเลือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งเพิ่มศักยภาพของการผลิตและความเชื่อถือ สร้างความมั่นใจว่ารูปแบบของความล้มเหลวความผิดพลาดและปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงผลกระทบที่อาจตามมาได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนมาก่อนแสดงรายการของปัญหาหลักต่างๆ และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้นมาช่วยแสดงบันที่ผลของการปรับปรุง หลังจากมีมาตรฐานการแก้ไขให้ถูกต้องอย่างใดอย่างหนึ่งได้ทันที เป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการผลิต ช่วยรวบรวมข้อมูลในอดีตสำหรับเป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคต โดยนำมาใช้วิเคราะห์รูปแบบของปัญหาหรือความล้มเหลวต่างๆ สำหรับการพิจารณาเรื่องความเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่า การปรับปรุงและพัฒนาต่างๆ มีผู้รับผิดชอบหรือให้วิศวกรประจำกระบวนการผลิตสร้างระบบการป้องกันปัญหาที่สามารถประเมินผลได้ เมื่อมีการประชุมทบทวนขั้นสุดท้ายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต

2.5.3.4 ชนิดของ FMEA และการนำไปใช้งาน Failure Mode and Effect Analysis หรือ FMEA เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาด ก่อนที่จะเกิดขึ้นจริงเพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหาร้ายแรงขึ้นมาภายหลัง และเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่างคือ

System FMEA สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงานการใช้งานมักจะรวมอยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่น ได้แก่ การสร้างแนวความคิดในการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของระบบงาน การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

Design FMEA นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลอง หรือปฏิบัติเป็นครั้งแรก มักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่างๆ หรือส่วนย่อยๆ

เข้าด้วยกัน และส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบเหมาะสมแล้วหรือไม่ และส่วนใดจะมีปัญหาจะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

Process FMEA สำหรับกระบวนการผลิตซึ่งก็มีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA มักจะพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญคือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการการวัดและสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Process FMEA

Service FMEA จะเกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลักโดยนิยมให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Service FMEA

Machinery FMEA สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ใช้โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือ ส่วนทำความเย็นส่วนส่งกำลัง ส่วนหล่อลื่น ชุดเกียร์ ตลับลูกปืน เป็นต้น

งานเอกสารของ FMEA การวิเคราะห์ปัญหาเรื่องความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ถือว่าเป็นการวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุและผลกระทบต่างๆ ก่อนที่การออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิตจะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่อง ทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ร่วมกันจะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA เริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตจะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิด หรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมาแล้วมีอะไรบ้างมีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไร หลังจากนั้นจะมีการปริมาณตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk Priority Number ให้กับแต่ละปัญหาการคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ O× S × D เมื่อ

O = Occurrence คือ ระดับความเสี่ยงของการเกิดปัญหา ความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

S = Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้น

D = Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือ ค่า RPN = 1 ซึ่งมาจาก 1 × 1 × 1 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของปัญหาคือ ค่า RPN = 1000 ซึ่งมาจาก 10 × 10 × 10 หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่น พบทุกวัน และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมาก เช่น กระบวนการผลิตต้อง

หยุดทั้งหมด หรือลูกค้าต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีวิธีการตรวจจับปัญหานี้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าเลย

2.5.3.5 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ เป็นเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติอันหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการในการผลิต รวมทั้งใช้เป็นเครื่องมือในการวัดตรวจสอบระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อความเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ความสามารถของกระบวนการเป็นตัวบ่งบอกว่ากระบวนการการผลิตว่ามีความสามารถที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าหรือไม่ ดังนั้นการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการประกอบด้วยการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของกระบวนการ (Stability) การวิเคราะห์ความสามารถด้านศักยภาพ (Potential Capability, Cp) การวิเคราะห์ความสามารถด้านสมรรถนะด้วยค่ากลางและค่าเป้าหมาย (Performance Capability, Cpk, Cpm) เป็นเครื่องมือสามารถนำมาประเมินระดับคุณภาพในการผลิตและเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องได้

2.5.4 ขั้นการปรับปรุง (Improve Phase)

เป็นการค้นหาความสัมพันธ์ของความแปรปรวนระหว่างตัวแปรหรือปัจจัยต่างๆ สร้างลักษณะการดำเนินงานต่อตัวแปร และทบทวนตรวจสอบระบบการวัดสำหรับแต่ละตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

2.5.4.1 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments) การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจดูว่าตัวแปร (Input Variable) ใด ที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ตัวแปรในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable) หมายถึง ตัวแปรที่สามารถกำหนดค่าของตัวแปรนั้นได้ในการผลิต การออกแบบการทดลองนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ให้ได้ว่าตัวแปรใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ ซึ่งต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของตัวแปรเหล่านั้นอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วไปทำการทดลองเก็บผลลัพธ์จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลองได้

2.5.4.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง เพื่อยืนยันข้อเท็จจริงคือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือ ความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาข้อเท็จจริงคือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

คำจำกัดความ (Definition)

1) อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรนำเข้า (Input) ที่มีต่อตัวแปรตอบ สนอง (Output)

2) ตัวแปร (Variable) หมายถึง สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

3) ระดับของตัวแปร (Level) หมายถึง ความแตกต่างของแต่ละตัวแปรที่ก่อให้เกิดผล กระทบได้

2.5.4.3 หลักในการออกแบบการทดลอง

1) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่าๆ กัน

2) การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

3) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

2.5.4.4 ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

1) การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือกตัวแปรที่มีผล และระดับตัวแปรโดยใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีตัวแปรใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง ในแต่ละตัวแปรนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร เพื่อระบุระดับของตัวแปรในการทดลอง

2) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องด้วย

3) การเลือกแบบทดลองจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกตัวแปรในการทำการทดลอง

4) ในขณะทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้นั่น คือต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุด การวิเคราะห์ข้อมูลจะ

ใช้ความรู้ทางสถิติมาวิเคราะห์และสรุปผลรวม ทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูล วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าตัวแปรใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตารางแผนภูมิอื่นๆ

(1) แผนการทดลองแบบแฟคโทเรียล (Factorial Design) ใช้กับการทดลองที่มีตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายตัวแปร และเนื่องจากมีตัวแปรมากกว่า 1 ตัวแปร ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของตัวแปรหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้ว ยังอาจเกิดอิทธิพลของตัวแปรร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วย

(2) อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของตัวแปรร่วมอันเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการที่ตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้ว มีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของอีกตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปด้วย

(3) การทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟคโทเรียล (Fractional Factorial Design) ในการทดลองที่มีจำนวนตัวแปรที่ต้องการศึกษาเป็นจำนวนมาก ทำให้บางครั้งไม่สามารถทำการทดลองได้ เนื่องจากมีทรัพยากรไม่เพียงพอต่อการทำการทดลอง เช่น การศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการอบชุบความแข็งของเหล็กหล่อ โดยมีตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ อุณหภูมิของเตาอบ ระยะเวลาในการอบ จำนวนของชิ้นงานที่เข้าเตาอบ และอุณหภูมิของของเหลวที่ใช้อบชุบ กำหนดให้ศึกษาเพียง 2 ระดับ ในแต่ละตัวแปร ซึ่งเราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2x2x2x2 = 16 ครั้ง หรือถ้าเราต้องการศึกษาอีกตัวแปรหนึ่งเพิ่มเติม เช่น ต้องการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องระยะเวลาที่ชิ้นงานใช้ในการชุบอยู่ในของเหลว เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 32 ครั้ง จะเห็นได้ว่าทุกครั้งที่เราเพิ่มจำนวนตัวแปร จำนวนการทดลองก็จะเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล การทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟคโทเรียลนี้ มีข้อดีคือ ลดจำนวนครั้งในการทดลองได้มาก แต่อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียคือข้อมูลที่ได้ก็จะลดลงด้วยเช่นกัน แผนการทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟคโทเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นการประยุกต์จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล (Factorial design) โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียลจะใช้กับการทดลองหลายตัวแปร ที่มีตัวแปรเป็นจำนวนมากจึงต้องทำการตัดตัวแปรบางตัวออก โดยอาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound)

(4) การคอนฟาวด์ (Confound) เป็นเทคนิคที่ใช้ช่วยในการออกแบบทำให้ขนาดของบล็อกเล็กลงจากเดิม ซึ่งในการออกแบบนี้จะเกิดผลทำให้สารสนเทศเกี่ยวกับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (Treatment effect) รวมปะปนอยู่กับอิทธิพลของบล็อก (Block effect) เสมอ การเลือกอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่จะทำการคอนฟาวด์ (Confound Effect) จะเลือกจากความรู้ ในกระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนด โดยจะทำการเลือกทรีตเมนต์ที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่อตัวผลิตภัณฑ์

ดังนั้นในการทำคอนฟาวด์นี้จะทำให้เกิดตัวแปรแฝงกันอยู่ แต่เรายังพอสามารถแยกได้ว่าตัวแปรใดกันแน่ที่มีผล โดยดูที่ Physical Phenomena หรือ ความรู้เชิงเทคนิคในกระบวนการช่วยพิจารณาเราอาจเรียกตัวแปรที่คอนฟาวด์กันอยู่นั้นว่าเป็น Alias structure ก็ได้

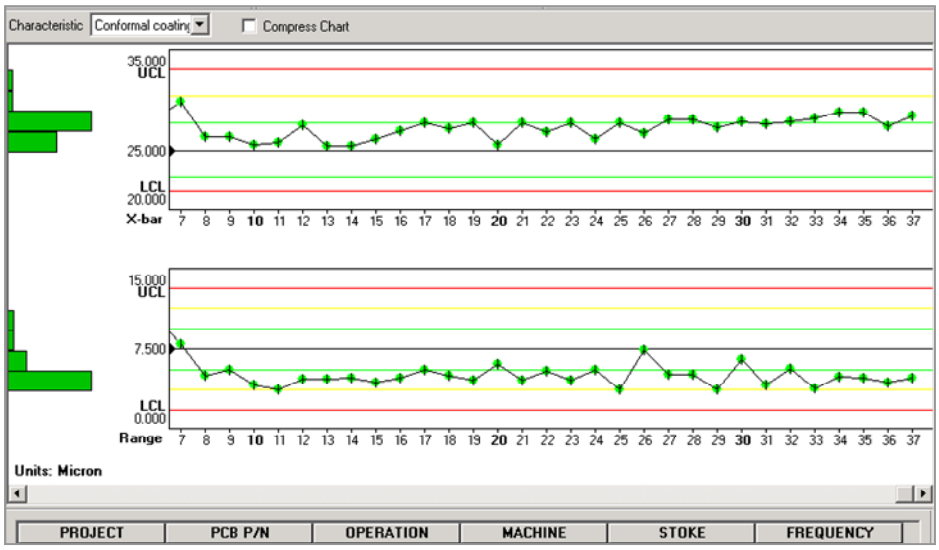
2.5.5 ขั้นการควบคุม (Control)

กำหนดความสามารถในการควบคุมปัจจัย และนำเสนอระบบการควบคุมกระบวนการแต่ละปัจจัย แล้วติดตามดูผลลัพธ์

2.5.5.1 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิตและจะต้องควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Variable Data) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (Attribute Data) จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆ ซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือ เส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต เส้นขอบเขตควบคุมบน และเส้นขอบเขตควบคุมล่าง เป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่ในขอบเขตนี้ก็ถือว่าผลการผลิตยอมรับได้ แต่หากว่าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่าในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้ จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (Variation) เกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาต หรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการผลิต โดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงาน หรือ คุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยสาเหตุความผันแปรต่างๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิด คือ สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรงและไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้า ที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กๆ น้อยๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆ ซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่งที่เหมือนกันทุกประการวัตถุดิบ 100 ชิ้น ที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้น ก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไป เพียงแต่ว่าความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิกัดที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่าพิกัดความเผื่อ (Tolerance) ของชิ้นงาน

ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมินี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดง

ด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (The Process is In Control) สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆ จำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้



รูปที่ 2.9 แสดงรูปแผนภูมิควบคุม Control Chart

ในแผนภูมิควบคุมเมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูลและวัดค่าชิ้นงานตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อย แสดงได้ว่าเกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนการผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะผลิตนั้นว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The process is out of control)

1) จุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุม มีดังนี้

1. เพื่อหาเป้าหมาย หรือมาตรฐานของการผลิต
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่าการผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
3. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้งาน ก่อนอื่นจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของเส้นควบคุมเสียก่อนคือเส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้าหรือชิ้นงานที่โรงงาน เป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนดขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบ

ว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety Factor) ไว้ที่ระดับเท่าใด เส้นควบคุมขีดความสามารถ (Process Capability limit) หมายถึง ค่าขอบเขตความสามารถจริงของกระบวนการ โดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากร หรือคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร $\pm 3\sigma$ และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณเตือนว่าการผลิตเริ่มออกจากการควบคุมหรือยัง กำหนดในช่วงค่าเฉลี่ย $\pm 2\sigma$

การใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตควรมีเทคนิคต่อไปนี้ เลือกบริเวณที่จะควบคุมก่อน คือปัญหาอะไรที่จะต้องทำและเรามีจุดมุ่งหมายอะไร จากการตัดสินในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดเจนว่า ต้องการข้อมูลอะไรพิจารณาการใช้ แผนภูมิควบคุมแบบไหน อาจจะเป็นแผนภูมิแบบ Xbar - R, Xbar, pn, p, c หรือ u chart ก็ได้ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่ง ทำแผนภูมิควบคุม สำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิ ถ้ามีจุดใดๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันที แล้วทำการแก้ไขสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยน ขจัดหมดสิ้นแล้ว และกระบวนการผลิตก็คงที่ ให้พิจารณาดูอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมด เพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (Standardize Working Procedure) หรือ อาจจะมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น ถ้าจำเป็นต่อเส้นควบคุมของแผนภูมิ จากนั้นพล็อตข้อมูลที่ถูกเก็บได้ในแต่ละวัน ก่อนไปควบคุมกระบวนการผลิต ถ้าการทำงานของคนงานและวิธีการผลิตเป็นแบบมาตรฐานแล้ว แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสภาวะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุมที่ดีหรือไม่ แต่ถ้าปรากฏว่าสิ่งที่ผิดปกติเกิดขึ้นต้องการค้นหาสาเหตุทันที แล้วแก้ไขให้ถูกต้องเสีย คำนวณเส้นควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลง เส้นควบคุมต้องนำมาคำนวณใหม่ ถ้าการควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอด ระดับคุณภาพที่แสดงบนแผนภูมิจะปรับดีเพิ่มด้วย ในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตแผนภูมิควบคุมเป็นระยะ ในการคำนวณเส้นควบคุมให้สังเกตกฎต่อไปนี้ ข้อมูลที่จุดผิดปกติซึ่งค้นพบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไข ควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่ ข้อมูลที่จุดผิดปกติแต่ไม่พบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไข ควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

2) วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิตซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เราได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้

แล้ว เราได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใดๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาพวะการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In controlled) ได้ ต่อไป

3) ข้อแนะนำเกี่ยวกับ 6 ลักษณะอาการสำคัญ เพื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกการควบคุมพบได้ชัดเจน

1. การออกนอกการควบคุม คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้

2. การรัน (Run) เมื่อปรากฏติดต่อกันบนซีกใดซีกหนึ่งของเส้นค่ากลาง เราเรียกว่าเกิดรัน ความยาวของรันแต่ละชุดนับจากจำนวนจุดในชุดนั้น และรันที่มีความยาวตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไป เราตีความได้ว่า ได้เกิดความผิดปกติขึ้นแล้วในการผลิตช่วงที่เกิดรันนั้น

3. การเกิดแนวโน้ม การมีจุดต่อเนื่องกันไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการสลับฟันปลาเลยมีผลทำให้เส้นต่อจุดเหล่านั้นคล้ายๆ เส้นตรงพาดขึ้นหรือพาดลงเช่นนี้เราเรียกว่า มีการเกิดแนวโน้ม (Trend) ในแผนภูมิควบคุม แนวโน้มที่ว่านี้คือแนวโน้มที่กำลังบอกเราว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตนั้น กำลังมีปัญหาหรือมีแนวโน้มจะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้แต่แรก

4. การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม หากเราแบ่งระยะ 3 ซิกมา (3σ) จากเส้นค่ากลางออกเป็นเส้น 2σ แล้ว พบว่ามีจุด 2 จุดใน 3 จุด ที่ต่อเนื่องกันในแต่ละช่วงได้ตกไปอยู่ในพื้นที่ระหว่างเส้น 2σ กับเส้นขอบเขตควบคุม (3σ) ถือได้ว่าเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม (Approach to the control limits) และเป็นการบอกว่ามีความผิดปกติขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว

5. การเกิดการเข้าใกล้ค่ากลาง หากพบว่าเส้นกราฟทั้งหมดตกอยู่ในระหว่างเส้น 1.5σ นับจากเส้นค่ากลางขึ้นไปและลงมาแล้ว ไม่ได้หมายความว่ากระบวนการผลิตนั้นอยู่ในควบคุม แต่กลับแสดงว่าคงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ในการกำหนดขนาดของกลุ่มย่อย ข้อมูลอาจมีการปะปนกันของข้อมูลที่นำมาจากต่างประชากรกัน และเกิดการปะปนกัน

6. การเกิดวัฏจักร มีลักษณะคือ ค่าในเส้นกราฟจะเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ มีลักษณะเป็นวงจรวงรอบ หรือ วัฏจักรที่เกือบจะทำนายลักษณะเส้นกราฟในช่วงต่อๆ ไปได้ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เกิดวัฏจักร (Periodicity)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐเจตน์ เกษกมล (2550) ได้ประยุกต์ใช้ซิกซิกม่าเพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์และยางเครื่องบิน โดยได้ดำเนินการตามหลัก DMAIC ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากจัดตั้งทีมทำงานและศึกษากระบวนการผลิตในปัจจุบันด้วยการเขียนแผนภาพกระบวนและได้ประเมินสภาพปัญหาพร้อมจัดลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยการใช้พาเรโต และมีการประเมินระบบการตรวจวัดด้วย Gauge R&R (Repeatability and Reproducibility) กับพนักงานตรวจวัด โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยสนับสนุน จากนั้นได้ใช้ FMEA ในการวิเคราะห์ถึงความรุนแรงและผลกระทบ และใช้พาเรโตจัดลำดับค่า RPN และได้ใช้โปรแกรม Minitab หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ และวัดวิเคราะห์ความแปรปรวนของกระบวนการผลิต จากนั้นได้ออกแบบการทดลอง (DOE) โดยใช้แฟกทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial Design of Experiment) และใช้ Minitab วิเคราะห์ผลการทดลอง แล้วทำการปรับปรุงตามผลการทดลอง จนสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องจาก 0.122% เป็น 0.047% หรือคิดเป็นอัตราความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงเป็น 61.50% และจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องต่อหนึ่งล้านลดลงจาก 1,220 DPMO เป็น 470 DPMO

วรรณา ทองสุข (2551) ได้ศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตชุดประกอบสายไฟ ในบริษัทประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้หลักตามแนวทางของซิกซิกม่า โดยเริ่มตั้งแต่ศึกษาโครงสร้างแผนผังการบริหารงานของบริษัทและหน้าที่รับผิดชอบของแต่ละสายงาน และได้ใช้ผังการไหลของกระบวนการผลิต (Process Flow) ในการอธิบายขั้นตอนการผลิต จากนั้นสำรวจสภาพปัญหาปัจจุบันและได้ใช้แผนภูมิพาเรโตในการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา และมีการประเมินและวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยระบบ MSA (Measurement System Analysis) เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือในกระบวนการตรวจวัด จากนั้นออกแบบการทดลองโดยใช้แฟกทอเรียลสองระดับ (2^k Factorial Design of Experiment) และได้วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ จากนั้นนำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหาโดยใช้เทคนิค Why Why Analysis แล้วดำเนินการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตามผลการวิเคราะห์ และปรับปรุงกระบวนการทำงานในกระบวนการผลิตชุดประกอบสายไฟให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วุฒิภูมิ เลิศปรีชากมล (2551) ได้ศึกษาเพื่อหาวิธีการควบคุมคุณภาพและลดปริมาณของเสียโดยวิธีซิกซิกม่า โดยมีการจัดตั้งเป็นทีมทำงานและใช้แนวทางการวิเคราะห์ DMAIC โดยเริ่มจากเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และศึกษาขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลให้เกิดของเสีย โดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect

Diagram) ด้วยการระดมสมอง (Brain Storming) ของสมาชิกในกลุ่ม จากนั้นนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมดเรียงคะแนนโดยใช้แผนภูมิพาเรโต แล้วทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อความล้มเหลว (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) และมีการวิเคราะห์ด้วยการตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) โดยได้เลือกปัจจัยป้อนเข้าที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียที่มีอัตราความรุนแรงมากที่สุดจากการวิเคราะห์ด้วย FMEA จากนั้นทำการปรับปรุงตามผลการวิเคราะห์ และมีการควบคุมโดยใช้วิธีการตรวจสอบ (Audit) เป็นประจำทุกวัน และจัดทำเอกสารเพื่อระบุรายละเอียดของของเสีย หลังการปรับปรุงสัดส่วนของของเสียลดลงจาก 1.45 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.6 เปอร์เซ็นต์

ศุภกฤต หวังสิทธิเดช (2552) ได้ศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตแผงวงจรสำหรับปรับเพิ่มลดไฟแสดงผลบนหน้าปัดของรถยนต์ในโรงงานประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยดำเนินตามแนวทางซิกซิกม่า โดยเริ่มจากการจัดตั้งเป็นทีมทำงานและได้ศึกษากระบวนการทำงานโดยใช้แผนผังการไหลของกระบวนการผลิต (Process Flow) จากนั้นได้สำรวจสภาพปัญหาปัจจุบันและประเมินวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการตรวจวัดด้วยการทำ GR&R กับพนักงานตรวจวัด จากนั้นได้จัดเรียงลำดับความสำคัญของข้อพกพร่องด้วยพาเรโตแล้ววิเคราะห์ด้วยตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และได้ประเมินวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ซึ่งได้ค่า Cpm เท่ากับ 1.08 ถือว่าต่ำกว่ามาตรฐานคือ มากกว่า 1.33 ขึ้นไป จากนั้นทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) โดยเรียงลำดับความสำคัญด้วยค่า RPN จากนั้นนำผลจากการวิเคราะห์ด้วย FMEA ไปออกแบบการทดลองโดยเริ่มจากการหาตัวแปรนำเข้าและกำหนดตัวแปรตอบสนอง แล้วใช้โปรแกรม Minitab ช่วยออกแบบการทดลองและทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นใช้โปรแกรม Minitab ช่วยวิเคราะห์ผลการทดลองอีกทีหนึ่งจนได้ค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ดีที่สุด และนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแทนพารามิเตอร์เดิมและประเมินความสามารถของกระบวนการอีกครั้ง หลังปรับปรุงพบว่าค่า Cpm เพิ่มขึ้นมากกว่ามาตรฐานอยู่ที่ 1.94 และปริมาณข้อพกพร่องก็ลดลง จากนั้นได้มีแผนการควบคุมโดยใช้แผนภูมิ X-bar Chart ในการติดตามควบคุมกระบวนการผลิตต่อไป

สมอุษา วรรณฤมล (2547) ได้ศึกษาถึงวิธีการลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องในอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์โดใช้แนวทาง DMAIC ของซิกซิกม่า โดยเริ่มศึกษาถึงสภาพปัญหาปัจจุบันซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์บกพร่องอยู่ที่ 2.83% จากนั้นได้ค้นหาตัวแปรที่อาจเกิดผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์โดยระดมสมองจากทีมงานและใช้เครื่องมือพื้นฐานทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์อันประกอบด้วย แผนผังกระบวนการ (Process Mapping) แผนผังเหตุและผล Cause and Effect Diagram) ตารางเมตริกซ์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

ตารางวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (FMAE) และแผนภูมิแสดงค่า RPN แล้วนำมาวิเคราะห์โดยทำการทดลองสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัดส่วนของเสียของแต่ละตัวแปรหลักและทำการปรับปรุง หลังการปรับปรุงค่า Cpk ของกระบวนการอยู่ที่ 2.32 และได้ติดตามผลหลังจากการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องลดลงจาก 2.20% เป็น 0.66% และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจาก 29,874 ดอลล่าต่อเดือน

อรรถพล เฉลิมพลประภา (2547) ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า โดยจัดตั้งเป็นทีมทำงานแล้วใช้เทคนิคลีนและซิกซิกม่า DMAIC และใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ โดยมีศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบันก่อน ศึกษาถึงขั้นตอนการไหลของกระบวนการและใช้เครื่องมือแผนภูมิก้างปลาและพาเรโตมาจัดลำดับของปัญหา ซึ่งพบการเกิดปัญหาคอขวดขึ้นที่กระบวนการอบชิ้นงาน เนื่องจากต้องอบชิ้นงานนานถึง 2 ชั่วโมง ทำให้การไหลของชิ้นงานของไม่สมดุล ส่งผลทำให้ผลผลิตไม่ได้ตามแผนที่วางไว้ และยังพบว่ามีบางกระบวนการที่มีต้นทุนสูงเนื่องจากใช้พนักงานจำนวนมากและไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม อีกทั้งเครื่องจักรในบางกระบวนการไม่ประสิทธิภาพ จึงได้ปรับปรุงและใช้เครื่องมือป้องกันการผิดพลาด (Poka Yoke / Mistake Proofing) และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เมื่อปรับปรุงแล้วสามารถลดเวลาการอบจาก 2 ชั่วโมง เป็น 30 นาที ทำให้ผลผลิตต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้น 300% (จากเดิม 6,400 เป็น 25,600 ชิ้นต่อชั่วโมง) ทันตามความต้องการของลูกค้า จากนั้นได้มีการควบคุม (Control) โดยใช้ตารางควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการอบชิ้นงาน และใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อให้ทราบปัญหาและสามารถแก้ได้ทันท่วงที

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ได้ศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องเพื่อหาวิธีลดของเสียจากกระบวนการผลิตโดยใช้วิธีการซิกซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอน คือ Define, Measure, Analysis, Improve and Control Phase และได้วัดความสามารถของกระบวนผลิต Process Capability (Cpk) ไว้ก่อน ซึ่งพบว่าค่า Cpk อยู่ที่ 1.26 ถือว่ามีความแปรปรวนในกระบวนการผลิตอยู่ และได้ใช้เครื่องทางสถิติต่างๆ ในการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ เช่น วิเคราะห์การไหลของกระบวนการผลิต วิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังเหตุและผล หรือแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagrams) วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA) จนสามารถรู้ถึงต้นเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตกระป๋อง อันได้แก่ ผงกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ การขีดข่วนระหว่างกระบวนการผลิต การสะดุดของเครื่องตัดแผ่นเหล็ก และการขีดข่วนระหว่างตัดแผ่นเหล็ก และได้นำปัญหาดังกล่าวไปปรับปรุงแก้ไขจนสามารถลดปริมาณของเสียลงได้ตามเป้าหมายและวัดอัตราส่วนของของเสียอยู่ที่ปริมาณ 2,849 DPM