บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

2.1.1 ประวัติของ Six Sigma (วชิรพงษ์ สาลีสิงห์, 2548)

เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1990 บริษัท Motorola คิดเทคนิคการบริหารกระบวนการขึ้นมาชนิดหนึ่งเรียกว่า "Six Sigma" โดยตั้งชื่อตามตัวอักษรกรีกที่มีความหมายนัยทางสถิติคือระดับของความผันแปรของกระบวนการ บริษัท Motorola ได้รับผลสำเร็จที่วัดออกมาเป็นตัวเงินมหาศาลจากการดำเนินงานตามแนวทางของ Six Sigma

ต่อมาบริษัท GE โดย Jack Welch ปรับเปลี่ยนรูปแบบดั้งเดิมของ Six Sigma ให้เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยปรับแก้รูปแบบ Six Sigma ของ Motorola ให้เป็นลักษณะของ Project Based Approach คือ เน้นทำเป็นเรื่อง ๆ ในระยะเวลาที่กำหนดไว้ (โดยประมาณ 6 เดือน) นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการบริหารโครงการ และแนวทางในการจูงใจให้ผู้บริหารทุกระดับเล็งเห็นความสำคัญของการดำเนินงาน (ไม่ใช่คิดเพียงว่าเป็นหน้าที่ของวิศวกรในการปรับปรุงกระบวนการ) และยังเพิ่มในส่วนของวิธีการประเมินผลสำเร็จที่สามารถวัดผลออกมาได้ในรูปของการเงินที่ดีขึ้นของบริษัท ด้วยรูปแบบใหม่ของ Six Sigma จึงเป็นที่นิยมมากในบรรดาบริษัททั่วไป กล่าวกันว่าบริษัทจะสามารถลดต้นทุนการดำเนินงานได้อย่างน้อย 500,000 – 1,000,000 เหรียญสหรัฐ จากการดำเนินโครงการ Six Sigma เพียงแค่ 3 – 4 โครงการต่อปี

อีกปัจจัยนึงที่ทำให้ Six Sigma มีชื่อเสียงขึ้นมาได้เป็นเพราะมีการนำมาใช้และแพร่หลายในช่วงที่เศรษฐกิจของโลกอยู่ในช่วงตกต่ำ โดยเฉพาะในประเทศยักษ์ใหญ่อย่างสหรัฐอเมริกา เพราะในขณะที่หลาย ๆ บริษัทได้มีการประกาศผลประกอบการออกมาแล้วทำให้ผู้ถือหุ้นน้ำตาร่วง กลับมีเพียงไม่กี่บริษัทที่ประกาศมาว่าได้กำไร ทั้งนี้เนื่องจากผู้บริหารได้มีการนำเครื่องมือที่มีชื่อว่า Six Sigma มาใช้ในองค์กร

ปัจจุบันเทคนิค Six Sigma ได้ถูกนำมาใช้กันในวงกว้างในภาคธุรกิจต่าง ๆ มากมายไม่ว่าจะเป็น ธุรกิจระดับ SMEs องค์กรขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมการผลิต รวมไปถึงงานการบริการ โดยมีรูปแบบการนำไปใช้ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของธุรกิจ

2.1.2 **ความหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า** (วชิรพงษ์ สาลีสิงห์, 2548)

Sigma หรือ s เป็นอักษรกรีกโบราณ ในทางสถิติใช้แทนความหมายระดับความผันแปรของกระบวนการ หรือเรียกเป็นภาษาวิชาการว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : s , SD) แต่ถ้ายกกำลังสองของ s ก็จะมีชื่อใหม่ว่า ความแปรปรวน (Variance : s2 , SD2) โดยความหมายทางกายภาพ ทั้งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความแปรปรวนนั้น จะกล่าวถึงระดับความผันแปรของกระบวนการนั่นเอง

ความหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า สามารถตีความเป็นสองนัยสำคัญเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติได้ดังนี้

ความหมายเชิงทฤษฎี ซิกซ์ ซิกม่า คือ ความพยายามในการลดความแปรผันของกระบวนการ โดยพยายามบีบให้ความผันแปรทั้งหมดของกระบวนการตกอยู่ภายในขีดจำกัดของข้อกำหนดด้านคุณภาพ (USL และ LSL) และยอมให้มีของเสีย (หรือการ off Spec ของกระบวนการ) ได้ไม่เกิน 3.4 ครั้งใน 1 ล้านครั้ง (3.4 PPM) หรือเรียกอีกอย่างว่า ความสูญเสียโอกาสลงให้เหลือเพียงแค่ 3.4 หน่วยนั่นเอง (Defect per Million Opportunities, DPMO)

ความหมายเชิงปฏิบัติ เป็นเรื่องของการใช้หลักสถิติในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยใช้ควบคู่กับการบริหารโครงการที่ชาญฉลาด และเน้นผลสำเร็จในรูปของมูลค่าการลดต้นทุนจากการดำเนินโครงการ โดยไม่ได้เน้นว่าต้องจบโครงการที่ 3.4 PPM

นอกจากนั้นยังมีนักวิชาการหลาย ๆ ท่านกล่าวถึงความหมายของซิกซ์ ซิกม่าดังนี้

Mikel Harry (2000) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกม่า คือ วิถีแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติ อันประกอบด้วย รูปแบบที่เป็นมาตรฐาน การจัดการที่ลงตัว และการตอบสนองตามหน้าที่ในองค์การ ซึ่งทั้งลูกค้าและผู้ผลิตจะได้ผลตอบแทนร่วมกันทั้งสองฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นอรรถประโยชน์ ทรัพยากร และคุณค่าในตัวผลิตภัณฑ์

Gorge Eckes (2001) ได้ให้ความหมายของ ซิกซ์ ซิกม่า ว่าคือวิธีการใช้กลยุทธ์ปรับปรุงธุรกิจเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าและทำให้องค์กรมีความมั่นคงและมั่งคั่ง

Breyfogle (2001) ได้ให้ความหมายของซิกซ์ ซิกม่าไว้ว่า ซิกซ์ ซิกม่า เป็นส่วนผสมอันกลมกลืนระหว่างความฉลาดหลาย ๆ ด้านในการบริหารองค์กร โดยการพัฒนากลวิธีทางสถิติเพื่อใช้เป็นอาวุธขององค์กร โดยเป้าหมายสูงสุดของซิกซ์ ซิกม่า นี้ได้เน้นไปที่การนำเอาซิกซ์ ซิกม่า มาใช้เป็นกลยุทธ์ ของกิจการมากกว่าที่จะเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ซิกซ์ ซิกม่า คือวิธีการและการประยุกต์ใช้กลวิธีทางสถิติในองค์กรเพื่อที่จะช่วยให้องค์กรสามารถทำกำไรได้เพิ่มขึ้น ได้ผลผลิตมากขึ้น

Evans และ Lindsay (2005) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกม่า เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจเพื่อหาหนทางและกำจัดต้นเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาด ลดรอบ

เวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต ปรับปรุงผลผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้น สามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สินและผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและบริการ โดยปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหา DMAIC หรือ Define, Measure, Analyze, Improve และ Control ที่ได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงผลผลิตไว้มากมาย

Robert P. Neuman และ Roland R. Cavanagh (2000) กล่าวว่า คือ ระบบที่ต้องอาศัยความเข้าใจและคล่องตัวเพื่อบรรลุ ผลักดัน และ จุดสูงสุดของความสำเร็จทางธุรกิจ ซิกซ์ ซิกม่า คือ การขับเคลื่อนอันเป็นเอกลักษณ์โดยการเข้าใจอย่างชัดเจนถึงความต้องการของลูกค้า มีวินัยในการใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติข้อเท็จจริง ข้อมูล และ มุ่งเน้นอย่างจริงจังในเรื่อง การบริหาร การปรับปรุง และ การสร้างขึ้นใหม่ของกระบวนการทางธุรกิจ

2.1.3 ตัววัดระดับของคุณภาพ

ในการดำเนินโครงการ ซิกซ์ ซิกม่า สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือการเลือกตัวชี้วัดเพื่อบอกถึงระดับของคุณภาพในกระบวนการที่เหมาะสม ซึ่งความเหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต และความต้องการของลูกค้าเป็นสำคัญ เช่น โอกาสของการเกิดของเสียหรือความผิดพลาดต่อการทำงาน 1 ล้านครั้ง (Defect Per Million Opportunities) ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ Cp, Cpk, ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากคุณภาพที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ (Cost of Poor Quality) ในงานวิจัยนี้คิดส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายทั้งหมดคือคิดเฉพาะค่าใช้จ่ายที่ทำให้รถไม่วิ่งตรงไปสายการประกอบขั้นสุดท้าย First Yield หรือ Rolled Throughput Yield ที่เป็นหนึ่งในตัววัดของงานวิจัยนี้ (จำนวนของรถวิ่งตรงไปสายการประกอบขั้นสุดท้าย) และค่า Sigma Quality Levelระดับคุณภาพของคุณภาพของกระบวนการในแนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า จะอ้างอิงถึง Sigma Quality Level ที่บ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตที่ระดับของ Sigma นั้น ๆ คือหากคิดค่าเฉลี่ยที่กึ่งกลางของกระบวนการจะได้ว่าที่ระดับ Sigma ที่ 6 นั้นมีโอกาสเกิดของเสียในกระบวนการเท่ากับ 0.002 ชิ้นต่อ 1 ล้านชิ้น แต่ในทางปฏิบัติเมื่อคิดค่าเผื่อของการขยับไปมาของกระบวนการที่ทำให้กระบวนการเลื่อนออกไปจากจุดกึ่งกลางเท่ากับ $\pm 1.5\sigma$ จะได้ว่าอัตราของเสียที่ค่าระดับ 6σ จึงมีค่าเท่ากับ 3.4 ชิ้นต่อ 1 ล้านชิ้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 18 ก.ย. 2555
248197

ตารางที่ 2.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level

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

2.1.4 กระบวนการมาตรฐานของ ซิกซ์ ซิกม่า (ภาณุ ชุดเจือจีน, 2550)

กระบวนการมาตรฐานของ Six Sigma ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนสำคัญ คือ D: Define, M: Measure, A: Analyze, I: Improve, C: Control ซึ่งเรียกย่อๆ ว่า DMAIC โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน สรุปได้ ดังนี้

การนิยามปัญหา (D: Define) เป็นขั้นตอนแรกของการประยุกต์แนวคิดของซิกซ์ ซิกมา ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่การกำหนดทีมงาน เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยแผนภาพพาเรโต(Pareto Diagram) เพื่อกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (M: Measure) ประกอบด้วยการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน โดยอาจจะพิจารณาจากปริมาณของเสียในปัจจุบัน ทำการระดมความคิด (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable) ที่อาจมีผลให้เกิดของเสียในกระบวนการ การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบของกระบวนการด้วยผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram รวมถึงการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA) โดยขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาและเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเพื่อคัดเลือกปัจจัยต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (A: Analyze) เป็นขั้นตอนถัดมาในวิธีการซิกซ์ ซิกมา โดยอาศัยวิธีการทางสถิติวินิจฉัยเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง โดยนำเอาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วย FMEA มาออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) ทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้า เช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) หรือการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis

Testing) แล้ววิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (I: Improve) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ การกำหนดขั้นตอนของการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล การทำการทดลองตามแผนการที่วางไว้ และการวิเคราะห์สรุปผลการทดลอง จากนั้นก็ต้องทำการทดสอบยืนยันผล เพื่อยืนยันข้อสรุปที่ได้จากการทดลองก่อนที่จะนำเอาผลที่ได้ไปใช้ในกระบวนผลิตจริง

การควบคุมกระบวนการผลิต (C: Control) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของวิธีการซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นการนำแนวทางที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงไปปฏิบัติตาม โดยมีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผล ซึ่งจะต้องพิจารณาคัดเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้นๆ ด้วยการกำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่าง ความถี่ในการวัด และกำหนดวิธีการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาว่าค่าที่ควบคุมไม่ตกอยู่ในขอบเขตที่ต้องการ

2.2 **หลักสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์** (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

2.2.1 **แผนภาพพาเรโต** (Pareto Diagram)

เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภท กลไกการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพ (เพื่อการคาดการณ์) แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือกรณีข้อมูลมีเสถียรภาพในระยะเวลานั้นจะสามารถคาดการณ์ได้ว่าข้อมูลประเภทใดควรมีค่ามากที่สุด ซึ่งหากมีการเก็บข้อมูลนานๆ จะเกิดการสะสม และทำให้ค่าสะสมของข้อมูลแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนกรณีข้อมูลไม่มีเสถียรภาพที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ในแต่ละช่วงเวลาจะไม่สามารถกำหนดได้ว่าข้อมูลแบบใดจะมีความถี่มากที่สุด ซึ่งเป็นลักษณะของความไร้เสถียรภาพ โดยลักษณะดังกล่าวจะพบว่าข้อมูลจะมีการสะสม และค่าสะสมจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือ แตกต่างกันอย่างไม่เด่นชัด

ประโยชน์ของแผนผังพาเรโต

1) สามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าหัวข้อใดเป็นปัญหามากที่สุด

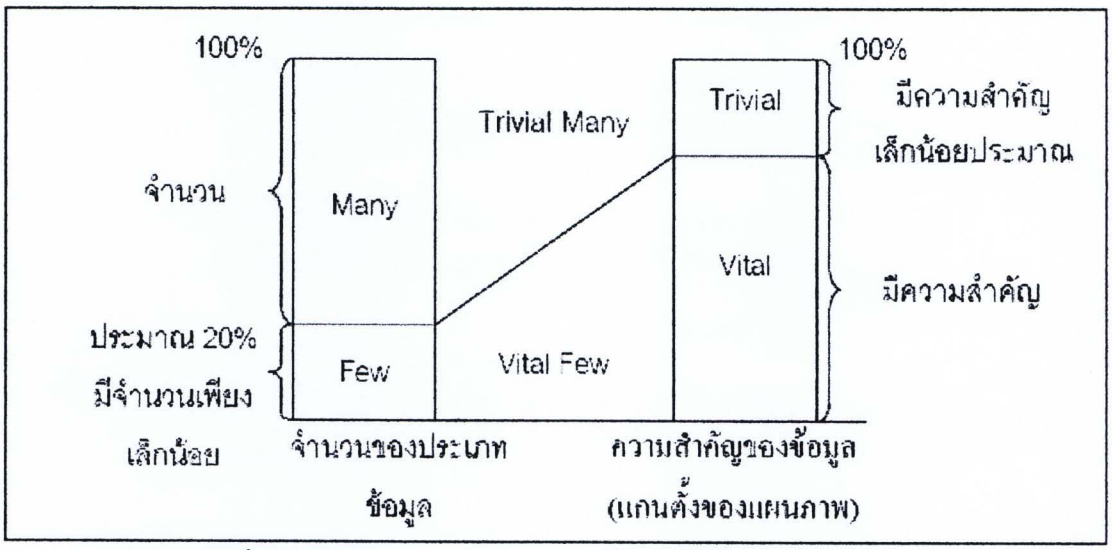
2) สามารถเข้าใจว่าแต่ละหัวข้อมีอัตราส่วนเป็นเท่าใดในส่วนทั้งหมด

3) ใช้กราฟแท่งบ่งชี้ขนาดของปัญหา ทำให้โน้มน้าวจิตใจได้ดี

4) ไม่ต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยาก ก็สามารถจัดทำได้และใช้ในการเปรียบเทียบผลได้

5) ใช้สำหรับการตั้งเป้าหมาย ทั้งตัวเลขและปัญหา

ถ้าหากข้อมูลอยู่ในสภาวะเสถียรภาพ ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่เหลืออีกจำนวนมากจะมีความสำคัญเพียงเล็กน้อย (Trivial Many) ตัวแบบของความมีเสถียรภาพของข้อมูลนั้น จะมีลักษณะข้อมูลที่มีความสำคัญมาก (ประมาณ 80% ของตัววัดความสำคัญทั้งหมด) มาจากประเภทข้อมูลจำนวนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของประเภทของข้อมูลทั้งหมด) เรียกกฎหลักการพาเรโตนี้ว่า กฎ 80-20 อธิบายได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการพาเรโต (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

ส่วนการตีความหมายแผนภาพพาเรโตนั้น แผนภาพพาเรโตใช้ในการตีความหมายความมีเสถียรภาพหรือไม่ของข้อมูลที่พิจารณาโดยมีข้อกำหนดคือ ถ้าตัวแบบของข้อมูลเป็นไปตามหลักการพาเรโต แสดงว่าข้อมูลนั้นอยู่ในสภาวะเสถียรภาพและสามารถใช้คาดการณ์ได้ แต่ถ้าตัวแบบของข้อมูลไม่ได้เป็นไปตามหลักการของพาเรโต แสดงว่าข้อมูลไร้เสถียรภาพอันเนื่องจากข้อมูลที่เก็บมาอยู่ในสภาวะการปรับตัว (Transient State) จึงควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม หรืออีกกรณีหนึ่งคือ ข้อมูลนั้นมาจากกระบวนการที่ไร้เสถียรภาพมีความจำเป็นต้องแก้ไขด้วยการทำให้กระบวนการมีมาตรฐาน

2.2.2 **การระดมความคิด** (Brianstorming)

การระดมความคิด คือ การแสดงความคิดเห็นร่วมกันระหว่างสมาชิก เพื่อเป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหา ซึ่งในพจนานุกรมได้ให้ความหมายว่า เป็นการคิดแบบไร้แบบแผน (Free-Form Thinking)

การระดมความคิดเป็นกระบวนการที่รวบรวมความคิดจากกลุ่มคนที่เกี่ยวข้องให้มากที่สุดในระยะเวลาอันสั้น เพื่อเป็นการค้นหาและสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ ซึ่งจะถูกนำมาใช้ใน

โอกาสต่างๆ เช่นการพัฒนางาน ตั้งแต่ระดับการวางแผน การค้นหาปัญหา การหาทางออกของการปัญหา

หลักในการระดมความคิดมีดังนี้

1) หัวข้อในการระดมความคิดต้องมีความชัดเจน

2) ต้องไม่มีการวิจารณ์ระหว่างการระดมความคิด โดยเป็นการเปิดให้ผู้ร่วมระดมความคิดมีอิสระในการแสดงความคิดเห็น

3) ปริมาณของข้อเสนอแนะยิ่งมากยิ่งดี

4) การเสนอแนะมีทั้งข้อเสนอเพิ่มเติมจากแนวคิดของคนอื่นและการเสนอแนวคิดสร้างสรรค์ใหม่ ๆ

5) ต้องรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น หลีกเลี่ยงการปะทะคารมในที่ประชุม

6) เมื่อได้ผลแล้วควรทำการรวบรวมแล้วนำไปปรับปรุง

2.2.3 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้ให้คำนิยามของผังแสดงเหตุและผลว่าเป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างสาเหตุหลาย ๆ สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบให้เกิดหนึ่งปัญหา

ผังแสดงเหตุและผล เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือ แผนภาพของอิชิกาว่า (Ishigawa Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และ ผล (Effect) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุของมันโดยการดึงเอาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียบเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ มีประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของผลที่เกิดขึ้นซึ่งสาเหตุที่ได้จะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุตามผล สะดวกที่จะนำสาเหตุนั้น ๆ ไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ได้มากมาย ช่วยชี้นำหรือช่วยในการอภิปราย รวบรวมประเด็นในการอภิปรายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ผังก้างปลา จะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลักทั้งหมด ๖ กลุ่ม ดังนี้

1) สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)

2) สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)

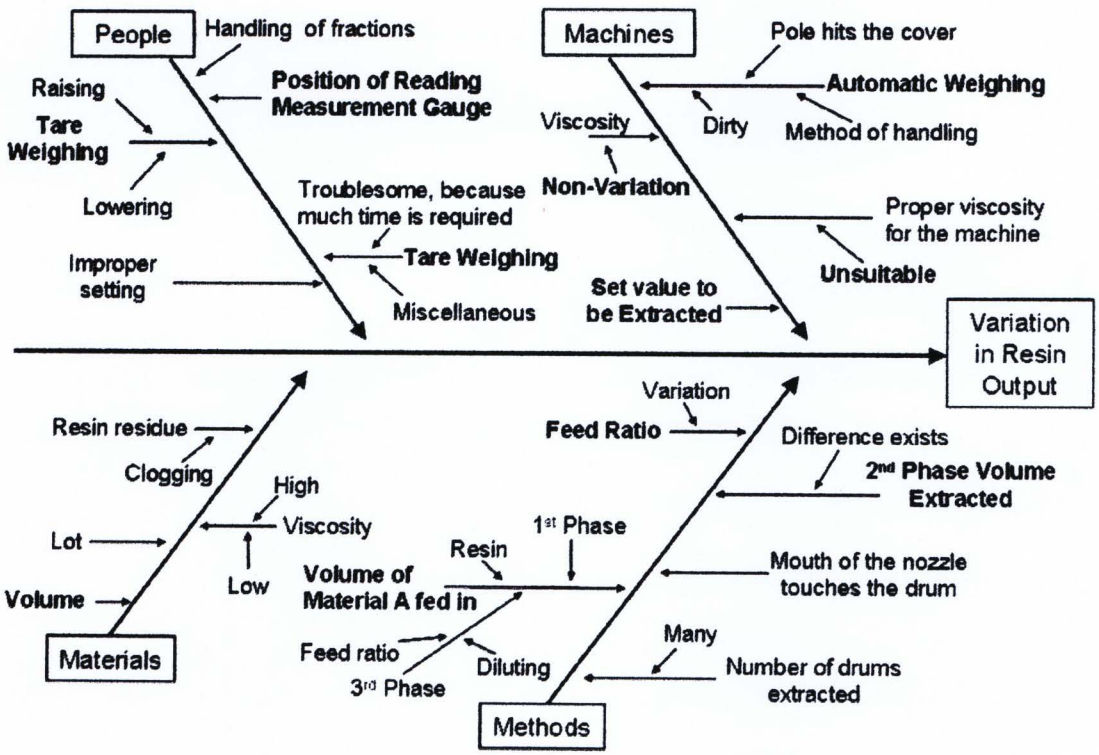
3) สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)

4) สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)

5) สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement)

6) สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

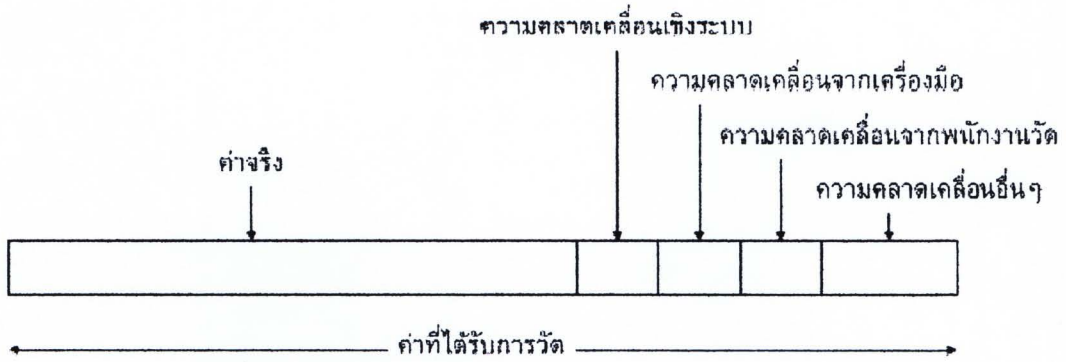
การใช้แผนภูมิก้างปลาต้องอาศัยการระดมความคิดจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย ถือเป็นเทคนิคหนึ่งของการระดมความคิด(Brainstorming) อย่างไรก็ตามการระดมความคิดแบบใช้แผนภูมิก้างปลาถึงแม้จะให้ผลดี แต่ก็ทำได้ยากเพราะการเขียนก้างปลาให้ถูกต้องและครอบคลุมสาเหตุของปัญหาให้กว้างขวางมากขึ้นจำเป็นต้องอาศัยผู้นำกลุ่มหรือประธานในการระดมความคิดที่ดีมีความสามารถและมีประสบการณ์มาก



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล

2.2.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA : Measurement System Analysis) (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

การวิเคราะห์ระบบการวัด มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุออกได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การจำแนกสาเหตุของการวิเคราะห์ระบบการวัด (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด หลังจากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ เพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หลังจากนั้นจะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการประเมินแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด ถ้าพิจารณาถึงองค์ประกอบของค่าวัดแต่ละค่าแล้ว จะได้ว่า

$$X_{ij} = \mu - b + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \qquad (2.1)$$

โดยที่ X_{ij} คือ ค่าวัด

μ คือ ค่าจริงของงาน

b คือ ค่าไบอัส

α_i คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านชิ้นงาน

β_j คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านพนักงาน

$(\alpha\beta)_{ij}$ คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุร่วมของชิ้นงานกับพนักงาน

ε_{ij} คือ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุแบบสุ่ม

โดยกำหนดค่าวัดในรูปของความผันแปร (Measurement Variation) ได้ว่า

$$\sigma_x^2 = \sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma^2 \qquad (2.2)$$

โดยที่ σ_x^2 คือ ค่าความผันแปร

σ_α^2 คือ ค่าความผันแปรจากชิ้นงาน

σ_β^2 คือ ค่าความผันแปรจากพนักงานวัด

$\sigma_{\alpha\beta}^2$ คือ ค่าความผันแปรร่วมของชิ้นงานกับพนักงานวัด

α^2 คือ ค่าความผันแปรอื่นๆ

ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัด

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดหัวข้อปัญหาขั้นตอนนี้ ทำการกำหนดหัวข้อปัญหาของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ที่จะทำการแก้ไข จากนั้นทำการสังเกตการณ์ปัญหาโดยการทวนสอบระบบการวัดเพื่อพิจารณาว่าระบบการวัดมีผลค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่ใช้ระบุปัญหามากน้อยเพียงไร กรณีที่ระบบการวัดมีความผันแปรค่อนข้างมาก ให้กำหนดเป็นหัวข้อปัญหาสำหรับการแก้ไขปัญหาระบบการวัดต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดทีมแก้ไขปัญหากรณีปัญหาของระบบการวัดไม่มีความสลับซับซ้อน ผู้แก้ไขปัญหากระบวนการอาจจะดำเนินการแก้ไขปัญหาระบบการวัดได้โดยลำพัง แต่ถ้าระบบการวัดมีความสลับซับซ้อนและใช้เทคโนโลยีสูง มีความจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาโดยอาศัยทีมงานแบบข้ามสายงาน (Cross-Functional Team) ซึ่งอาจจะประกอบด้วยฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายผลิต และฝ่ายประกันคุณภาพ โดยจำนวนสมาชิกจะขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อนของปัญหา โดยทั่วไปควรมีสมาชิกประมาณ 5-7 คนและไม่ควรเกิน 10 คน เพราะจะทำให้ทีมงานใหญ่เกินไป ทำให้การแก้ไขปัญหาไม่มีความคล่องตัวและทีมงานแก้ไขปัญหานี้ควรจะกำหนดหน้าที่ให้ชัดเจน พร้อมกำหนดแผนการประชุมและแผนดำเนินงานไว้ล่วงหน้า

ขั้นตอนที่ 3 การแสดงแผนภาพการไหลของระบบการวัดทีมแก้ไขจะต้องทำความเข้าใจกับแผนภาพการไหลของกระบวนการ ตลอดจนแผนภาพการไหลของระบบการวัด พร้อมการอภิปรายถึงสารสนเทศทั้งที่ทราบและไม่ทราบของระบบระบบการวัดที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการ โดยประเด็นสำคัญที่สุดที่ทีมแก้ไขปัญหาจะต้องหาข้อสรุปในขั้นตอนนี้คือแนวความคิดในการวัดงานของระบบการวัดที่พิจารณา ดังนั้น ในกรณีที่มีความจำเป็นอาจจะมีการเสนอชื่อผู้เชี่ยวชาญเข้ามาร่วมทีมแก้ไขปัญหาเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุและผลทีมแก้ไขปัญหาจะต้องอาศัยหลักการระดมสมอง (Brainstorming) ในการระดมความคิด เพื่อค้นหาสมมติฐานของสาเหตุความผันแปรของระบบการวัด โดยทีมแก้ไขปัญหาอาจจะกำหนดให้อยู่ในรูปของแผนภาพก้างปลา และเมื่อระดมสมองพร้อมจัดความคิดแล้ว ให้ทีมแก้ไขปัญหาทำการอภิปรายถึงสารสนเทศทั้งที่ทราบและไม่ทราบ เพื่อกำหนดว่าปัจจัยใดคือสิ่งที่ควรจะเป็นแนวโน้มของสาเหตุ

ขั้นตอนที่ 5 การพิสูจน์สาเหตุและกำหนดมาตรการตอบโต้หลังจากกำหนดสมมติฐานของสาเหตุความผันแปรแล้ว จะดำเนินการพิสูจน์สมมติฐานโดยอาศัยตรรกะหรือข้อเท็จจริงจากกลวิธีทางสถิติ อาทิ การทดสอบด้วย ANOVA และเมื่อทราบสาเหตุรากเหง้าของความผันแปรแล้วให้กำหนดแนวความคิดในการแก้ไขปัญหา พร้อมสร้างทางเลือกเป็นมาตรการตอบโต้ เพื่อทำการเลือกมาตรการตอบโต้ที่มีความเหมาะสมที่สุด

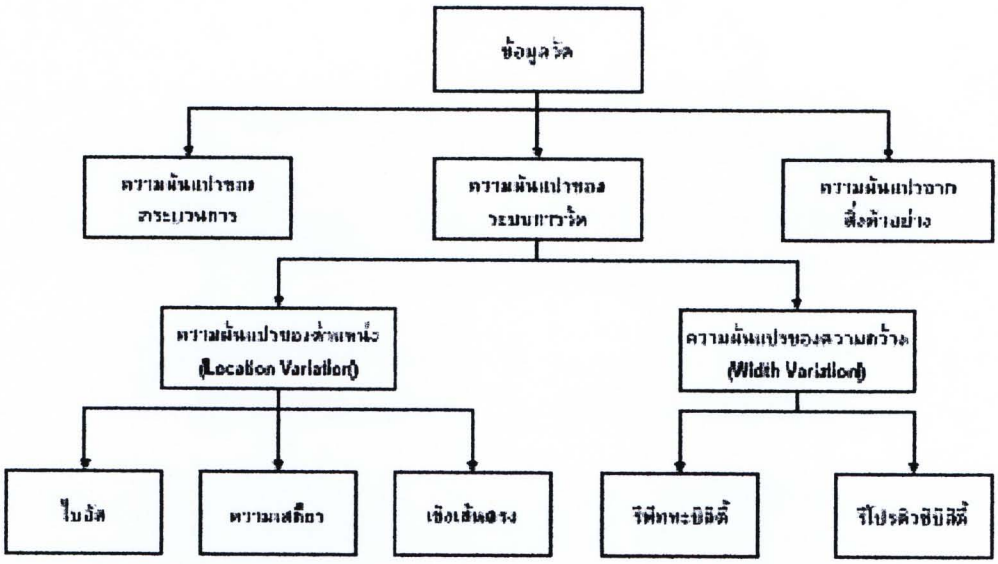
ขั้นตอนที่ 6 ตรวจความถูกต้องของมาตรการตอบโต้เป็นการพิจารณาถึงความถูกต้องของมาตรการตอบโต้ที่เลือกมา ซึ่งส่วนใหญ่มักจะอาศัยการดำเนินการด้วยหลักการออกแบบการทดลอง จากนั้นจึงจะประยุกต์ในระดับการผลิตจำนวนมาก (Mass Production) ภายใต้ปัจจัยที่แปรเปลี่ยนไปโดยสาเหตุธรรมชาติ

ขั้นตอนที่ 7 การจัดทำมาตรฐานภายหลังจากการนำมาตรการตอบโต้ไปใช้และมีการปรับแก้จนกระทั่งมั่นใจว่าได้ผลที่ดีแล้ว ให้ทำการแก้คู่มือการทำงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งคู่มือการทำงาน (Work Instruction Manual) ระเบียบวิธีทำงาน (Procedure Manual) และให้ผู้มีอำนาจลงนามอนุมัติ (Buy-in) โดยการดำเนินการดังกล่าวจะทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่า สิ่งที่ได้รับการปรับแก้นี้จะได้รับการปฏิบัติต่อไป เพื่อป้องกันไม่ให้ปัญหาระบบการวัดดังกล่าวเกิดขึ้นซ้ำอีก การวิเคราะห์ผลระบบการวัด มีประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณา 3 ประการคือ

1) ความไว (Sensitivity) ของระบบการวัดคือ อินพุตที่เล็กที่สุดที่ทำให้เกิดสัญญาณเอาต์พุตที่สามารถตรวจจับได้หรือสามารถใช้ได้ โดยการพิจารณาความไวว่ามีความเพียงพอหรือไม่

2) ความเสถียร (Stable) คือ ความแตกต่างของค่าความผันแปรตลอดช่วงการใช้งานของเกจวัด โดยถือเป็นค่ารีพีททะบิลิตี้ตลอดขนาดชิ้นงาน (Repeatability Over Size)

3) ความสม่ำเสมอ (Consistent) หมายถึง ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากระบบการวัดต้องสม่ำเสมอตลอดช่วงที่คาดหมาย (Expected Range) และมีความผันแปรอย่างเพียงพอต่อการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการ หรือความแตกต่างของค่าความผันแปรตลอดช่วงการใช้งานของเกจวัด โดยถือเป็นค่ารีพีททะบิลิตี้ตลอดเวลา (Repeatability Over Time)



รูปที่ 2.4 ประเภทความผันแปรของระบบการวัด (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546)

จากรูปที่ 2.4 ความผันแปรของระบบการวัด ประกอบด้วย

1) ความผันแปรของตำแหน่ง (Location Variation)เป็นคุณสมบัติของการเข้าใกล้ของค่าเฉลี่ยจากผลจากการวัดหลายๆ ครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Reference Value) สามารถกำหนดได้ด้วยค่าความผันแปร ดังนี้

ไบอัส (Bias) หรือปริมาณความเอนเอียง หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจริง (หรือค่าอ้างอิง) กับค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานวัดเดียวกันโดยคุณสมบัติด้านไบอัสนี้จะเป็นตัววัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของระบบการวัด

ความเสถียร (Stability) หรือการเลื่อนออกไปแบบค่อยเป็นค่อยไปของค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากกระบวนการวัดหนึ่งโดยอาศัยชิ้นงานหรือค่ามาสเตอร์เดียวกันในการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น

เชิงเส้นตรง (Linearity) หมายถึง ความแตกต่างของค่าไบอัสตลอดช่วงการใช้งานของอุปกรณ์วัด หรือค่าความแตกต่างของไบอัสเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัดไป

2) ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation)โดยทั่วไปเรียกความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดว่าความแม่น(Precision) ซึ่งหมายถึง อิทธิพลโดยรวมของความสามารถในการแยกความแตกต่าง(Dis-crimination) ความไว (Sensitivity) และความสามารถในการทำซ้ำ หรือรีพีททะบิลิตี้ ตลอดช่วงการใช้งานของระบบการวัด ซึ่งค่าของความแม่นจะเป็นตัววัดความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด สามารถแบ่งความผันแปรออกเป็น

รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) หรือความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ ซึ่งโดยทั่วๆ ไปในอุตสาหกรรมหมายถึง ความผันแปรของอุปกรณ์ (Equipment Variation:EV) ทั้งนี้เพราะความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัดมักจะมีผลมาจากตัวอุปกรณ์

รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หรือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะหมายถึง ความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นของระบบการวัด

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความผันแปรของความกว้างของระบบการวัด ซึ่งหมายถึงความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด ในการศึกษามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเริ่มจากการวางแผนการศึกษา โดยมีประเด็นพิจารณาดังนี้

1) วิธีการและเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด

การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ และไม่ควรมีการสอบเทียบใหม่ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุดลง เพราะถ้ามีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษาแล้ว จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัดด้วย จึงต้องพยายามลดค่าความผันแปรโดยพยายามให้พนักงานวัดทุกคนมีความเข้าใจในกระบวนวิธีการสอบเทียบและดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ

2) จำนวนพนักงานวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR&R

3) ในการกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัดจำนวนเท่าใด ถ้าหากเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่ใช้พนักงานในการดำเนินการวัดเลย หรือมีการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียว แสดงว่าค่าความผันแปรในระบบการวัดไม่ได้มีผลจากสาเหตุด้านพนักงานวัด ในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคนจะต้องเป็นพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้วัดในการศึกษา GR&R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษา โดยปกติจะใช้ 10 สิ่งตัวอย่าง ถ้าไม่สามารถดำเนินการได้ จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง x จำนวนของพนักงานวัด)มากกว่า 15 และถ้าไม่สามารถ

ดำเนินการตามกรณีนี้ ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงาน จะต้องทำให้ข้อมูลมีความแตกต่างกันไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท

4) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้นโดยปกติแล้วแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่าๆ กัน ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนจำนวน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น

5) วิธีการลดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR&Rในการศึกษา GR&R บางกรณีนั้น จะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำ ซึ่งทำให้ไม่สามารถเฉลี่ยออกความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกไปได้ในกรณีนี้ถ้ามีความจำเป็นต้องประมาณการค่ารีพีททะบิลิตี้ให้มีความถูกต้องที่สุด ก็จำเป็นต้องทำการทดลองขึ้นมาเพื่อชี้บ่งถึงปริมาณความผันแปรดังกล่าว

6) วิธีการวิเคราะห์ผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้เมื่อการทดลองสิ้นสุดลงต้องมีวิเคราะห์ผลคุณภาพของข้อมูล คือ การวิเคราะห์ผลความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัด ความเสถียร และความสม่ำเสมอของระบบการวัด จากนั้นจึงทำการประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธี คือ

วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) ซึ่งเหมาะกับกรณีการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ข้อดีของวิธีการนี้คือ วิเคราะห์ผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้

วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method) ซึ่งเหมาะสมกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้

วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงานและชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้ แต่อย่างไรก็ดีวิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ความยุ่งยากในการคำนวณ จึงต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Minitab) ช่วยในการคำนวณ

การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) สำหรับข้อมูลนับ (Attribute)

การประเมินผลและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเมื่อข้อมูลเป็นข้อมูลนับ เป็นการประเมินผลในลักษณะเชิงคุณภาพคือ เป็นเรื่องของรสชาติ ความสวยงาม ความเรียบร้อย ฯลฯ หรือบางครั้งพารามิเตอร์อาจเป็นลักษณะเชิงผันแปร แต่ทำการนับเนื่องจากเป็นการเอาไปเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ หรือ Go/No Go Gauge ดังนั้นในการศึกษากระบวนการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับ จะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นที่ยอมรับหรือปฏิเสธ และผ่านหรือไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินผลได้ว่าคุณภาพของงานที่ตรวจสอบนั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดเมื่อเป็นข้อมูลนับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือวิธีการประเมินผลระยะสั้น (Gauge Performance Curve; GPC) ที่แสดงถึงโอกาสในการตรวจสอบแล้ววัดคุณภาพของสิ่งตัวอย่างงานกับข้อกำหนดในรูปของค่าอ้างอิงเพื่อพิจารณาค่าไบอัสและค่ารีพีททะบิลิตี โดยอาศัยตัวสถิติสำหรับทดสอบ t โดย

$$t = \frac{31.3 \times |\text{ค่าไบอัส}|}{\text{ค่ารีพีททะบิลิตี}} \qquad (2.3)$$

ค่ารีพีททะบิลิตีจะพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของค่าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้ว "ยอมรับ" (Pa) 0.995 กับค่าวัดอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้ว "ยอมรับ" (Pa) 0.005 แล้วหารด้วยตัวประกอบเพื่อการปรับค่า 1.08 (AIAG, 2002)

สำหรับการประเมินผลการตรวจสอบระยะสั้นมีกระบวนการประเมินผลดังนี้

1) เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสีย และลูกค้าให้การยอมรับในผลการตรวจสอบดังกล่าว

2) กำหนดล็อตมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบ เพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัด โดยล็อตดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพก้ำกึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยงานก้ำกึ่งควรประกอบด้วยงานดีก้ำกึ่งและงานไม่ดีก้ำกึ่งอย่างละครึ่ง (Fasser and Brettner, 1992)

3) เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบ 2-4 คนโดยพนักงานที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพและได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี รวมทั้งผ่านการประเมินผลแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก

4) กำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำโดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 2.2 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ (Fasser and Brettner, 1992)

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด	จำนวนทดสอบซ้ำที่ต่ำสุด
1	24	5
2	18	4
≥3	12	3

5) สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาหนึ่งคนแล้วตรวจสอบตัวอย่างแบบสุ่มเพื่อประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (Good-G) หรือ ไม่ผ่าน (No Good-NG) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

6) ประเมินผลด้วยดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

$$\%\ \text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.4)$$

$$\%\ \text{ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.5)$$

$$\%\ \text{ด้านประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบทุกคนเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.6)$$

$$\%\ \text{ด้านประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.7)$$

7) หากค่าเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลของพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงค่ารีพีททะบิลิตี้ให้ดีขึ้น แต่หากเปอร์เซ็นต์ความไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วจะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือต้องกำหนดให้ชิ้นงานได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น สำหรับเปอร์เซนต์ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ (% Attribute Effective Score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดแล้วมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้น เพื่อปรับปรุงให้ได้ค่าที่ดีขึ้น

2.2.5 **การวัดความสามารถของกระบวนการ** (Process Capability)

ความหมายของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Study) นั้น กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ(2549) ได้ให้ความหมายไว้ว่าคือ การกำหนดตัวพาราเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากระบวนการแล้วทำการวัดเพื่อการรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงพารามิเตอร์ดังกล่าว และถ้าข้อมูลอยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมก็จะทำการอนุมานทางสถิติสำหรับกระบวนการที่ศึกษาต่อไป

ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) หมายถึง การประเมินความผันแปรของกระบวนการ (อาจออยู่ในรูปของฟังก์ชั่นความน่าจะเป็นที่ระบุทั้งรูปทรง ค่ากลาง และปริมาณของการกระจายของการแจกแจง) และวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพิจารณาถึงแหล่งความผันแปรต่าง ๆ เพื่อหาทางลดความผันแปรที่ศึกษาต่อไป

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1) การทวนสอบของกำหนดเฉพาะ (Specification) ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากการทวนสอบแบบ (design output) ของผลิตภัณฑ์และทบทวนข้อตกลงกับลูกค้าว่ายอมรับข้อกำหนดเฉพาะดังกล่าวหรือไม่

2) การชักสิ่งตัวอย่างจากกระบวนการ ทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาว

3) การทวนสอบสภาวะเสถียรของกระบวนการโดยอาศัยแผนภูมิควบคุมเพื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้จากสิ่งตัวอย่างอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติสำหรับกำหนดคุณสมบัติในด้านความสามารถคาดการณ์ได้หรือไม่

4) การประเมินค่ามาตรฐานข้อกำหนด (Z-Score)

5) การประเมินค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ พร้อมการวิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

<u>แผนภูมิควบคุมของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ</u> (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2547)

ข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีคุณสมบัติอธิบายความผันแปรจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยเพื่อการเปรียบเทียบให้อยู่ในรูปของสเกลของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) สำหรับการแปลงให้เป็นดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

ในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการที่กรณีในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีข้อมูลแบบนี้ จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าหากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบของจำนวน

ข้อบกพร่องเฉลี่ยที่เกิดขึ้นแล้ว ก็สามารถใช้ค่าจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ ($\bar{u}$) เป็นตัววัดความสามารถของกระบวนการได้ แต่ถ้าหากต้องการประเมินในรูปดัชนีความสามารถของกระบวนการเพื่อการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการก็สามารถแสดงในรูปของดัชนี Pp, Ppk ดังนั้นในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับจะต้องเริ่มต้นจากการหาค่า $\bar{u}$ ก่อนเสมอโดย

$$\bar{u} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม } \sum C}{\text{จำนวนการตรวจสอบโดยรวม } \sum N} \qquad (2.8)$$

ดังนั้นในการประเมินค่า $\bar{u}$ จะต้องประเมินจากข้อมูลโดยรวม โดยค่าขอบเขตบน (UCL) และค่าขอบเขตล่าง (LCL) รวมถึงค่ากลางของแผนภูมิควบคุม(CL) ซึ่งเราใช้ในการควบคุมกระบวนการและวัดความสามารถของกระบวนการ คือ

$$CL = \bar{u} \qquad (2.9)$$

$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{N}} \qquad (2.10)$$

และ $$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{N}} \qquad (2.11)$$

2.2.6 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA : Failure Mode and Effect Analysis) (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551)

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต เป็นการศึกษาความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นเพื่อจะระบุผล

จุดประสงค์ของ FMEA คือ เพื่อกำหนดแง่มุมของการออกแบบผลิตภัณฑ์ การผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความวิกฤตต่อความล้มเหลวในรูปแบบต่างๆ เพื่อที่จะลดความล้มเหลวนั้น

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นเทคนิคทางวิศวกรรมตัวหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา วิเคราะห์ถึงข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้ว เพื่อ

1) ระบุถึงผลกระทบ และความรุนแรงของข้อบกพร่องเหล่านั้น จะนำไปสู่การบ่งชี้และสาเหตุของข้อบกพร่องเหล่านั้น รวมถึงการพิจารณาอัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุนั้นๆ

2) ตรวจสอบการควบคุมในปัจจุบันว่า มีการควบคุมหรือป้องกันไม่ให้สาเหตุที่ถูกระบุมานั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร มีประสิทธิภาพในการควบคุม ตรวจสอบและป้องกันได้ดีเพียงไร

3) จัดลำดับความสำคัญและเร่งด่วนในการแก้ปัญหา

4) ทำการแก้ปัญหา (Corrective Action) สำหรับปัญหาและสาเหตุที่วิกฤต

5) รวบรวมแนวทางในการแก้ปัญหาโดยจัดเก็บเป็นลักษณะเอกสาร เพื่อให้

สามารถนำมาศึกษาถึงแนวทางการปฏิบัติที่ผ่านมา จุดประสงค์หลักของ FMEA คือ การลดข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นในการผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ประสบการณ์ความสามารถและความเชี่ยวชาญจากแผนกต่างๆ เพื่อที่จะได้มาประชุมร่วมกันเพื่อระบุถึง

- ข้อบกพร่อง
- ผลกระทบและความรุนแรง
- สาเหตุและอัตราการเกิด
- วิธีการควบคุมและประสิทธิภาพในการควบคุม
- แนวทางแก้ไข

FMEA มีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น

1) Design FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวนั้นในการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยผู้ออกแบบ (Design) จะต้องคำนึงว่าในการใช้งานจริงนั้น จะเกิดความล้มเหลว (Failure) แบบใดขึ้นบ้าง และจะส่งผลกระทบไปยังชิ้นส่วนอื่นๆ อย่างไร

2) Process FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต หรือกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ FMEA

1) ระบุผลิตภัณฑ์หรือองค์ประกอบของระบบหรือส่วนของกระบวนการ

2) ทำรายการ Mode ของความล้มเหลวแต่ละส่วนนั้น

3) กำหนดผลที่แต่ละ Mode ของความล้มเหลวจะมีต่อส่วนต่างๆ ในข้อ 1.

4) ทำรายการสาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละ Mode ของความล้มเหลว

5) ให้ประเมิน Mode ของความล้มเหลวนั้นเป็นตัวเลข มีสเกล 1-10 อาจจะใช้ประสบการณ์หรือข้อมูลความเชื่อถืออื่นใด ร่วมกับวิจารณญาณเพื่อกำหนดค่าดังกล่าวให้กับ

O : โอกาสในการเกิดความล้มเหลว (1=low, 10=high)

S : ความร้ายแรงหรือความวิกฤตของความล้มเหลวนั้น (1=low, 10=high)

D : ความยากในการค้นพบความเสียหายก่อนที่จะส่งถึงมือลูกค้า (1= ง่าย, 10 = ยาก)

6) คำนวณผลคูณของ O X S X D ซึ่งเรียกค่านี้ว่า RPN (Risk Priority Number) ทำให้การคำนวณทุก Mode ของความล้มเหลว ค่า RPN แสดงถึงความเร่งด่วนเมื่อเทียบกับ Mode อื่นๆ

7) ให้ระบุวิธีการดำเนินการแก้ไข

2.2.7 **การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ** (DOE : Design of Experiment) (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

การออกแบบการทดลอง หมายถึง การออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยหรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

1) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

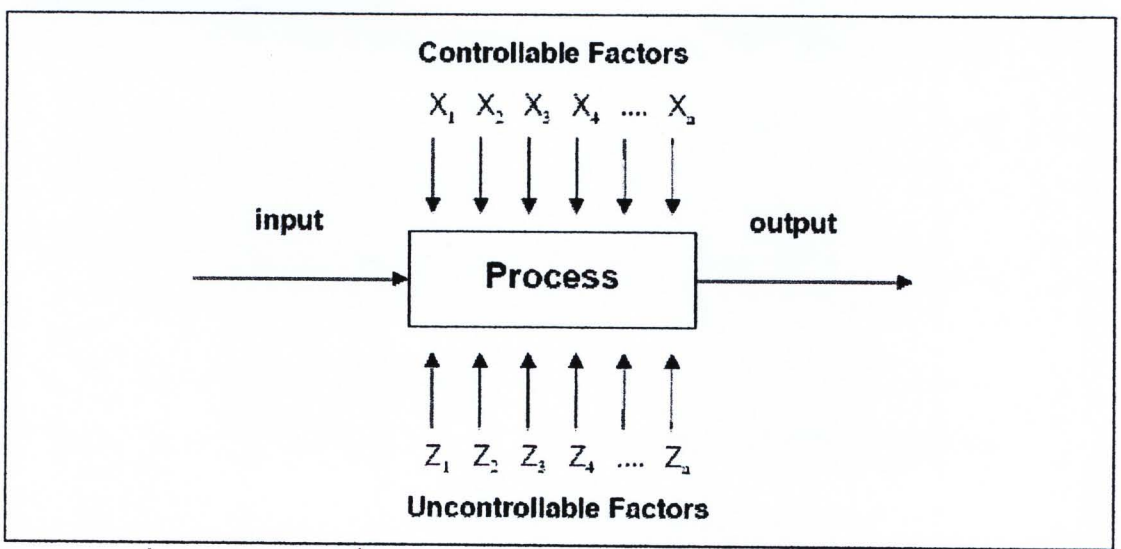
2) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

ส่วนประกอบของการทดลอง

1) ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่ปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตราหรือหน่วยใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ ซึ่งโดยคำจำกัดความ หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3) ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน (A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ



รูปที่ 2.5 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

จากรูปที่ 2.5 ปัจจัยสามารถแบ่งออกเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลองปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

(Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ เนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมแบ่งออกเป็น

1) ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หรือ Background Variableหรือตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลอง แต่ไม่ใช่ปัจจัยที่กำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

2) Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ไม่ทราบมาก่อน สามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

3). ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างว่า ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีทเมนต์หนึ่งๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสมมติฐานความเป็นปกติ (Normality) นี้เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจเกี่ยวข้องกับประเด็นต่างๆ ดังนี้

1) หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y (Response)

2) หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ y เพื่อทำให้ y อยู่ที่ค่าที่ต้องการ

3) หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ y เพื่อทำให้ y มีค่าน้อย

4) หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าตอบ y เพื่อทำให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ Z1, Z2,...,Zn มีค่าน้อยที่สุด

หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1) เรพลิเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติ 2 ประการคือ ประการแรกทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ใน

การทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3) บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision)ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ

แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องเข้าใจอย่างถ่องแท้ว่า กำลังศึกษาอะไร จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้อย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการมีดังนี้

1) การนิยามปัญหา (Recognition of and statement of the problem) เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพปัญหาที่จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผนและดำเนินการทดลองต่อไป

2) การเลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย (Choice of factors and levels) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม (Mixed Effect) ซึ่งสามารถอธิบายได้พอสังเขปดังนี้

- แบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
- แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
- แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึง การผสมระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of response variable)การเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งมักจะเป็นค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ และเป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว จึงจำเป็นต้องกำหนดว่า อะไรบ้างคือตัวแปรตอบสนองและสามารถวัดค่าดังกล่าวได้อย่างไร ก่อนเริ่มดำเนินการ

ทดลองควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าตัวแปรตอบสนองนั้น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดดังกล่าวสามารถใช้กับการทดลองได้

4) การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of experiment design) การเลือกการออกแบบเกี่ยวกับการทดลองขนาดของสิ่งตัวอย่าง (Replications) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล การเลือกใช้หลักการพื้นฐานใดบ้างในการออกแบบ ซึ่งในการเลือกการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา

5) การดำเนินการทดลอง (Performing for experiment) การดำเนินการทดลองเป็นการทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง เนื่องจากหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

6) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical analysis of data) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผลและมีความน่าเชื่อถือ

7) การทดสอบเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing)เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติของกระบวนการที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ควรนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยในการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้ควรทำการทดลองเพื่อยืนยัน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปอีกครั้ง

การเลือกรูปแบบการทดลอง

1) การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) เป็นแผนการทดลองแบบง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่าเนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

ตามแผนการทดลองแสดงว่า เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้แผนการทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้ควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่าง

หน่วยทดลองที่น้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้กับทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

โครงสร้างข้อมูล

สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)

n คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์

Yij คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

Treatment	1	2	...	i	...	a	
	Y11	Y21		Yi1		Ya1	
	Y12	Y22		Yi2		Ya2	
	Y13	Y23		Yi3 Y		a3	
	.	.		.		.	
	.	.		.		.	
	Y1n	Y2n		Yin		Yan	
Totals	Y1	Y2		Yi		Ya	y..= Grand Total
Sample means	Y1	Y2		Yi		Ya	y..= Grand Mean

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1,2,...,a \quad (2.12)$$

$$j = 1,2,...,n \text{ มนต์ } i$$

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

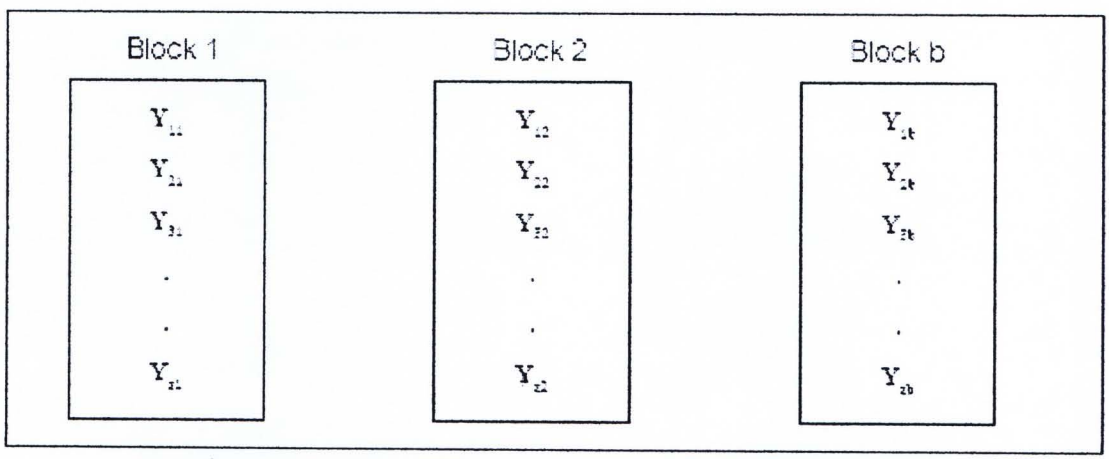
2. การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB)

ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ทำให้ผลรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้เกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่น ที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม เป็นวิธีหนึ่งในหลายๆ วิธีของการจำแนกแบบสองทาง (Two-Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะคือ ทางแนวนอน (Row) และทางแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้แยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

โครงสร้างข้อมูล สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ และ b บล็อก ตามแผนภาพจะเห็นว่ามีค่าสังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล็อก



รูปที่ 2.6 การออกแบบบล็อกแบบสุ่มบริบูรณ์ (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1,2,...,a \quad (2.13)$$

$$j = 1,2,...,b$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลการเกิดจากบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

3. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล เป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีที่มีปัจจัย ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษาจะถูกพิจารณาไปพร้อมๆ กัน

ผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ในการทดลองที่มีผลแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึง ผลตอบของปัจจัยหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆ นั่นเอง เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมี อันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยค่าที่จุดต่างๆ คือตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัวคือ A และ B โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับคือ – หรือ Low และ + หรือ High ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือ มีจำนวนการทดลองน้อยกว่าการทดลองแบบอื่น และยังให้ผลที่เกี่ยวข้อง (Interaction Effect) ซึ่งมีความสำคัญมาก และไม่สามารถหาค่าได้จากการทดลองแบบเปรียบเทียบอย่างง่ายและการทดลองทีละปัจจัย (One factor at a time) ทั้งนี้ถ้าหากมีการละเลยผลของ Interaction อาจทำให้ข้อสรุปผิดพลาด

4. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2k (2k Factorial Design)

การออกแบบแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย K ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดันหรือเวลาเป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้นและ 2 ระดับจะแทนด้วยระดับสูง หรือต่ำ ของปัจจัยหนึ่งๆ หรือการมี หรือไม่มี ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้

ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบ ประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \times \ldots \times 2 = 2^k$ ข้อมูล เรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2k

โดยกำหนด

- ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว
- การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized)
- สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติเป็นที่ยอมรับได้

2.2.8 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ (2.14)

โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y ตัวแปรมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

- การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยการใช้วิธีการดังนี้

  - การทดสอบแบบไคร์สแควร์ ($x2$ – Goodness of Fit Test)

  - การทดสอบแบบโคโกโมรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov Test)

  - การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normality Probability Plot: NOPP)

- การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

- การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

2. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์ สมมติฐานแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติ

เกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ในประชากรที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ H_0

สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็น โดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนด โดยใช้สัญลักษณ์ H_1 โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_0) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดการตัดสินใจที่ยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดอาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

กรณี 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

กรณี 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545)

สมมติฐานที่กำหนด	สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง	สมมติฐานที่กำหนดไม่มีความถูกต้อง
ยอมรับ	การตัดสินใจที่ถูกต้อง	ความผิดพลาดแบบที่ 2
ปฏิเสธ	ความผิดพลาดแบบที่ 1	การตัดสินใจที่ถูกต้อง

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

α = P (ความผิดพลาดแบบที่ 1)

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

β = P (ความผิดพลาดแบบที่ 2)

= P (การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

โดยที่ $1-\beta$ = อำนาจของการทดสอบ

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว ขั้นต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ หรือหาแนวโน้มต่อไปโดยใช้หลักการของ ANOVA หรือ การถดถอย (Regression)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square: SST) ออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่าง โดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด

$$MS = \frac{ss}{df} \qquad (2.15)$$

เมื่อ ss คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ องศาของความอิสระ (Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดสอบได้ดังนี้

- การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design:CRD)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ $y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$; i = 1,2,...,a (2.16)

j = 1,2,...,n

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรให้ทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.17)$$

$$SS_{Tr} = \left[\sum_{i=1}^{a} y_{i}^2 / n\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.18)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} \quad (2.19)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, y1, y2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way-ANOVA (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SS_{Tr}	$a-1$	MS_{Tr}	MS_{Tr} / MS_E
Error	SS_E	$N-a$	MS_E	
Total	SS_T	$N-1$		

2. การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

แยกความแปรปรวนออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากการบล็อก และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลองการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ $y_{ijk} = \mu - \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$; i = 1,2,....i (2.20)

j = 1,2,....,n

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij}^2\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.21)$$

$$SS_{Tr} = \left[\sum_{i=1}^{a} y_i^2 / n\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.22)$$

$$SS_B = \left[\sum_{j=1}^{b} y_j^2 / a\right] - \left(y_{..}^2 / N\right) \quad (2.23)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} - SS_B \quad (2.24)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, y1, y2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SS_{Tr}	$a-1$	MS_{Tr}	MS_{Tr}/MS_E
Block	SS_B	$b-1$	MS_B	MS_B/MS_E
Error	SS_E	$(a-1)(b-1)$	MS_E	
Total	SS_T	$N-1$		

3. การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแปรแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Mode)

ตัวแบบ $y_{ijk} = \mu - \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$; i = 1,2,....a (2.25)

j = 1,2,....b

k = 1,2,....,n

โดยที่ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j ในทรีทเมนต์ที่ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i และปัจจัย B ทีเกิดจาก ทรีทเมนต์ที่ j

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.26)$$

$$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.27)$$

$$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.28)$$

$$SS_{subtotals} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.29)$$

$$SS_{AB} = SS_{subtotals} - SS_A - SS_B \quad (2.30)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad (2.31)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.6 โดยที่ถ้าหาก $F_0 \leq F_{\alpha, y1, y2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesisได้

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
A	SS_A	$a-1$	MS_A	MS_A / MS_E
B	SS_B	$b-1$	MS_B	MS_B / MS_E
AB	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	MS_{AB}	MS_{AB} / MS_E
Error	SS_E	$ab(n-1)$	MS_E	
Total	SS_T	$abn-1$		

2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสี

สี หรือ Painting คือ กระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนสภาพกลายเป็นฟิล์มบางเมื่อแห้งตัวจะมีลักษณะแข็งเกาะอยู่บนผิวของชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากการนำเอาส่วนผสมต่าง ๆ ที่บดจนละเอียดผสมกลมกลืนจนเป็นเนื้อเดียวกัน มีลักษณะเป็นของเหลวแล้วนำไปเคลือบบนผิววัสดุ

2.3.1 คุณสมบัติของสี

ในอุตสาหกรรมรถยนต์สีถูกใช้ในการเคลือบผิวของเหล็กที่ขึ้นรูปมา เพื่อช่วยในการป้องกันการกัดกร่อนต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดการผุพังและเป็นสนิม นอกจากนั้นยังใช้ในการให้สีสันกับตัวรถยนต์ ซึ่งคุณสมบัติต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) Protection รถยนต์ เรือ สะพานและอื่น ๆ ซึ่งทำมาจากเหล็ก มีโอกาสเกิดสนิมได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับอากาศและเมื่อเกิดสนิมบนเนื้อเหล็กก็จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและความแข็งแรงลดลง ซึ่งจะทำให้เกิดการชำรุดเสียได้ ดังนั้นการพ่นสีจึงมีคุณสมบัติในการป้องกันอากาศไปสัมผัสกับชิ้นงาน อันจะทำให้เกิดสนิมได้

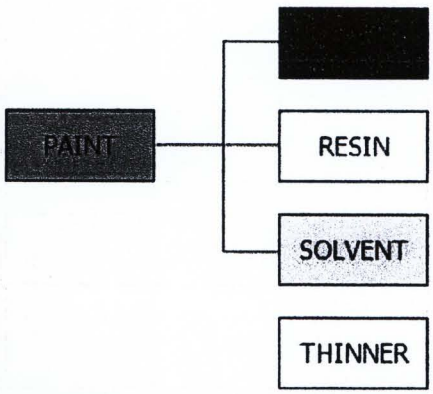
2) Cosmetic Improvement สีจะช่วยเพิ่มความเงางามและความสวยงามให้กับผิวของชิ้นงานซึ่งจะทำให้ชิ้นงานนั้นดูมีค่า และมีราคา

3) Identification by Painting สีไม่ใช่แค่ปกป้องผิวและช่วยเพิ่มความสวยงามของชิ้นงานเท่านั้น แต่ยังช่วยจัดกลุ่มและประเภทของชิ้นงานหรือหน่วยงานต่าง ๆ เช่น รถดับเพลิงจะจัดกลุ่มรถให้มีสีแดง พนักงานดับเพลิงก็จะใส่ชุดสีเหลือง ซึ่งจะทำให้เกิดความแตกต่างจากสิ่งรอบด้านในขณะปฏิบัติงาน

2.3.2 องค์ประกอบของสี

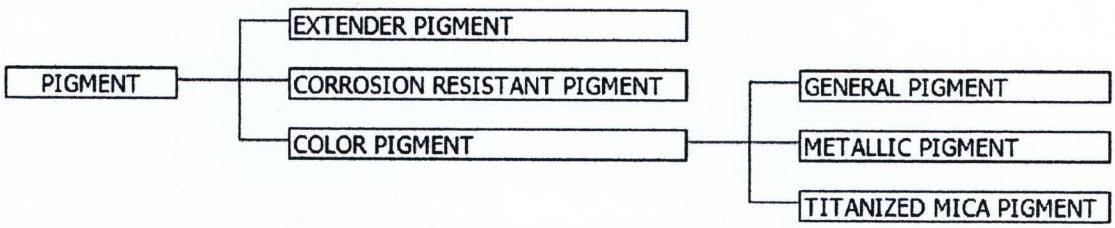
สีเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูง ประกอบด้วย Pigment, Resin และ

Solvent ที่รวมตัวกันอยู่และจะมีทินเนอร์ช่วยในการลดความหนืดของสีลงเมื่อนำไปใช้งาน ส่วนผสมของทินเนอร์จะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะนำสีไปใช้งาน



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบของสี

1) Pigment คือผงสีมีลักษณะเป็นแป้งที่ไม่รวมตัวกับน้ำ น้ำมัน และตัวทำละลาย เมื่อนำไปใช้งานก็จะนำไปบดให้ละเอียดจนเป็นอนุภาคเล็ก ๆ แล้วผสมกับเรซิ่น และส่วนผสมอื่น ๆ ก็จะอยู่ในรูปสารแขวนลอย ซึ่งสามารถแยกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 องค์ประกอบของผงสี

- Extender Pigment ใช้ในสีรองพื้น เพื่อลดรอยขีดข่วนบนผิวชิ้นงาน
- Corrosion Resistant Pigment ใช้ในสีรองพื้น เพื่อลดการผุกร่อนของชิ้นงาน
- Color Pigment ใช้เป็นสีภายนอกเพื่อช่วยให้ความสวยงาม สามารถแบ่งได้เป็น
  - General Pigment เป็นสีที่ใช้ทั่วไป เพื่อแสดงออกมาเป็นสีสัน เช่น สีแดง สีน้ำเงิน สีเหลือง สีขาว สีดำ
  - Metallic Pigment เป็นส่วนผสมที่ประกอบไปด้วยเม็ดอลูมิเนียม เพื่อเพิ่มความสว่างและเงางาม
  - Titanized Mica Pigment จะประกอบไปด้วยเกล็ดของ Mica

coat และ Titanium Oxide ซึ่งจะให้ความเงางามแก่สี

2) Resin คือของเหลวที่มีลักษณะโปร่งใสและจะจับตัวเป็นของแข็งเมื่อแห้งตัว อดีตมักจะใช้สิ่งนำสี (Vehicle) ที่สกัดได้จากธรรมชาติ เช่น Drying oil แต่ปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้พวกเรซิ่นแทน

คุณสมบัติของเรซิ่นจะมีผลกับความละเอียด ความเงางามและความแข็งแรงในการต้านการขีดข่วนและการกัดกร่อนของผิวสี เรซิ่นมี 2 ชนิดดังนี้

- Natural Resin สกัดได้จากต้นไม้ใช้ทำแล็คเกอร์และสารให้ความเงาอื่นๆ แต่ในอุตสาหกรรมจะไม่นิยมใช้เพราะว่าต้องใช้เรซิ่นธรรมชาติในปริมาณที่มาก
- Synthetic Resin ได้จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีของสารเคมีหลายชนิด และการทำสีชนิดใหม่ ๆ ก็พัฒนามาจากเรซิ่นชนิดนี้

3) Solvent และ Thinner เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายและประสานระหว่างสาร 2 ชนิดให้เข้ากัน คือ Solvent หรือตัวทำละลายใช้เพื่อให้ผงสี ผสมสีกับเรซิ่นได้ง่ายขึ้น ทินเนอร์จะเป็นตัวทำละลายใช้เจือจางสี เพื่อปรับระดับความหนืดสี ตัวทำละลายและทินเนอร์นี้จะระเหยออกไปเมื่อสีแห้งตัวและจะไม่หลงเหลืออยู่ในสีอีก

2.3.3 ตัวอย่างปัญหาสีที่เกิดขึ้น

1) เม็ดผง

เป็นปัญหาจากการมีฝุ่นละอองสกปรกลอยมาติดบนผิวสีก่อนที่จะถูกอบสี ซึ่งเกิดได้ทั้งในห้องสีและเตาอบสี

2) เส้นใย

เป็นปัญหาที่เกิดจากทั้งการทีเส้นใยจากเสื้อผ้า และจากสีที่รวมตัวกันเป็นก้อน ลักษณะเป็นเส้นยาว ตกลงมาเกาะบนผิวสี

3) สีเป็นหลุม

ผิวสีเป็นรอยยุบในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งเรียกกันว่า "หลุม" โดยลักษณะของปัญหาคือเกิดการยุบตัวของสีบริเวณด้านบนของผิวสี สามารถสังเกตเห็นได้ โดยทั่วไปสาเหตุของการเกิดปัญหาหลุมมาจากการที่มีสิ่งแปลกปลอม

4) สีไหล

เกิดจากสีที่พ่นแล้วไม่เสมอ หนาเกินไปทำให้สีรวมตัวกันแล้วไหลไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยจะสังเกตเห็นเป็นตุ่มหรือเม็ดขนาดใหญ่ มักจะพบปัญหานี้บริเวณตามขอบตามมุมต่าง ๆ ของตัวรถ หรือตามชายล่างของฝาท้าย

5) สีเป็นคราบ

ผิวสีหลังออกมาจากเตาอบสีแล้วมีลักษณะเป็นคราบผิวไม่เรียบ หรือดูเหมือนมีลักษณะเป็นความมันและมีสิ่งสกปรกอยู่ใต้ผิวสี

6) รอยขีดข่วนและลายเส้นกระดาษทรายขัด

เกิดจากความผิดพลาดของพนักงานขณะทำการผลิตหรือตรวจสอบ เนื่องจากมีวัตถุที่มีความแข็งไปเสียดสีกับรถที่ทำการพ่นและอบสีเรียบร้อยแล้ว ทำให้เกิดริ้วรอยขึ้น หรือเกิดจากกระบวนการการขัดด้วยกระดาษทรายแล้วขัดผิวงานไม่สม่ำเสมอ มุมขอบกระดาษทราย

7) สีเป็นฝ้า

ผิวสีมีลักษณะไม่เงามันและดูด้าน เหมือนมีการผสมกันระหว่างชั้นสีที่ติดกัน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 การควบคุมและปรับปรุงคุณภาพกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์

งานวิจัยในการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์มีทั้งการปรับปรุงระบบการตรวจสอบดังเช่นของสุวิทย์ บุญชูจรัส (2539) ได้ทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงระบบควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการพ่นสีตัวถังรถยนต์ โดยในงานวิจัยได้พบปัญหาคือการขาดการวางแผนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพที่ดี จึงได้เสนอวิธีการปรับปรุงที่มีทั้งสิ้น 3 ขั้นตอน ได้แก่ขั้นที่ 1 การทำการพัฒนาตรวจสอบวัสดุนำเข้า ได้มีการจัดทำระบบตรวจสอบวัสดุก่อนนำเข้าใช้งาน โดยวัสดุดังกล่าวคือ สี ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่ามีสีที่ไม่ได้คุณภาพเข้าสู่กระบวนการผลิตคิดเป็น 26.2% ของทั้งหมด ขั้นที่ 2 คือการพัฒนาการตรวจสอบและควบคุมในกระบวนการผลิตได้แก่ การลำดับหัวข้อการควบคุมในแต่ละกระบวนการย่อย การจัดแบ่งหน้าที่การทำงาน มาตรฐานการควบคุม วิธีการใช้ การติดตามบันทึกผล และขั้นสุดท้ายคือการพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพผลผลิต ส่วนงานวิจัยที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการพ่นสีมีงานวิจัยของ สุวิทย์ กล่ำเพ็ง (2543) ที่เป็นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการพ่นสี โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัญหาที่มีมากที่สุดในโรงงานตัวอย่าง คือปัญหาการเกิดฝุ่นผง สิ่งสกปรกในสี แบะการเกิดปัญหารอยด่าง โดยใช้เครื่องมือดังนี้ การระดมสมอง เทคนิคการควบคุมคุณภาพ และการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ ทำให้ภายหลังการแก้ไขสามารถลดปริมาณของเสียจาก 3.30% เหลือ 1.53%

งานวิจัยที่กล่าวมาเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการพ่นสีที่ทำการปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือทางสถิติทั่วไปมาใช้ การประยุกต์ใช้ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดข้อบกพร่องจากกระบวนการพ่นสีในกระบวนการประกอบรถยนต์ นั้นเน้นที่การปรับปรุงคุณภาพโดยอาศัยแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งมีจุดที่ทั้งเหมือนและแตกต่างไปจากงานวิจัยดังกล่าว

2.4.2 ซิกซ์ ซิกม่า กับการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นเครื่องมือที่ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมการผลิต ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยของภัทรา อายุวัฒน์ (2546) ที่เป็นการนำหลักการของซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด งานวิจัยเริ่มจากการค้นหาปัจจัยนำเข้าหลัก ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สามารถตั้งค่าได้ ควบคุมได้ และมีแนวโน้มที่จะส่งผลให้ค่าผลลัพธ์ของกระบวนการดีขึ้น หลังจากนั้นจึงทำการกรองปัจจัยให้เหลือเพียงปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการปรับปรุงกระบวนการเท่านั้นคือการตั้งค่าของเครื่อง Shuttle และเครื่อง Swaging ให้เหมาะสม ซึ่งหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าปริมาณที่เกิดขึ้นในกระบวนการลดลงเหลือเพียง 720 DPPM ที่ทำให้มีค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) สูงขึ้นจากเดิมอย่างมาก และมีค่ามากกว่า 1.33 ซึ่งเป็นเป้าหมายของการปรับปรุงในงานวิจัยนี้

งานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ ซิกซ์ ซิกม่าซึ่งการนำไปใช้งานนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วตัวแปรตอบสนอง (Response) ในงานวิจัยเหล่านั้นจะเป็นข้อมูลแปรผัน (Variable)เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีเครื่องมือทางสถิติให้นำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายกว่าตัวแปรตอบสนองที่เป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute) รวมทั้งขนาดที่ใช้มีจำนวนน้อยกว่าในขณะที่ให้ข้อมูลในการวิเคราะห์ที่มากกว่าด้วย จึงพบว่าในบางงานวิจัยที่มีตัวตอบสนองหรือค่า Y เป็นข้อมูลเชิงลักษณะจะมีการพยายามแปลงค่าข้อมูลเหล่านั้นให้เป็นข้อมูลแปรผันก่อนดำเนินการลดของเสียด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่าต่อไป เช่นในงานวิจัยของ Banuelas, Antony และ Brace (2005) ได้นำซิกซ์ ซิกม่า ไปประยุกต์ใช้ในการลดของเสียในกระบวนการเคลือบผิว (Coating) โดยได้กำหนดให้ตัวชี้วัดสมรรถนะของสายการผลิตคือจำนวนครั้งของการหยุดสายการผลิตในสายการผลิตเคลือบฟิล์ม และกำหนดให้ข้อบกพร่องคือความขัดข้องของการเปลี่ยนสปินเดิล (Spindle) ของเครื่อง Re-winder ที่มีชนิดของข้อมูลเชิงคุณลักษณะซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่เป็นที่ต้องการเนื่องจากการใช้ข้อมูลแปรผันจะให้ข้อมูล (Information) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์มากกว่า รวมทั้งข้อมูลเชิงคุณลักษณะยังต้องใช้ขนาดตัวอย่างจำนวนมากโดยเฉพาะในกรณีที่อัตราส่วนของเสียต่ำ ๆ ดังนั้นจึงได้ทำการเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ให้เป็นข้อมูลแปรผันโดยการทำการทดสอบสมมติฐาน t-test ว่ารอบของการตัดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลของความขัดข้อง winder หรือไม่ ซึ่งได้ผลว่ารอบเวลาของการตัดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อการทำงานขัดข้องที่ระดับนัยสำคัญ 5% ดังนั้นจึงใช้ค่ารอบเวลาของการตัดเป็นตัวแปรตอบสนองเนื่องจากเป็นตัวทำนายที่ดีของการดำเนินงานของ winder นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ที่ได้ทำการประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋อง ซึ่งลักษณะของข้อมูลเป็นข้อมูลเชิง

คุณลักษณะที่มีสัดส่วนของเสียต่ำ (สัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงมีค่า 0.0044 และหลังการปรับปรุงมีค่า 0.0028) นั้นได้ใช้แผนภูมิควบคุม p ในการควบคุมสัดส่วนของเสียที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยได้ทำการตรวจติดตามเป็นรายวัน ส่วนงานวิจัยของ วสันต์ พุกผาสุก และ อรรถกร เก่งพล เป็นงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยมีเป้าหมาย คือ การลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นลง 70 เปอร์เซ็นต์ การดำเนินงานจะเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยระบุถึงขอบเขตปัญหาที่จะทำการแก้ไข และกำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการ โดยอาศัยการวัดความสามารถกระบวนการ พบว่าการเกิดเม็ดหรือ ตามดบนผิวชิ้นงาน ซึ่งเป็นเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด ขั้นตอนที่สองจะเป็นการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา โดยการสร้างแผนที่กระบวนการ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละงานในกระบวนการ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดย สร้างแผนภาพสาเหตุและผล ซึ่งจะนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบ อันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการเพื่อค้นหา สาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด จากนั้นจะศึกษาระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมียม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องในระบบการตรวจสอบ ขั้นตอนที่สามเป็นการวิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบกับค่าความหยาบผิวชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และนำมาหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ตอบสนอง ขั้นตอนสุดท้ายจะดำเนินการควบคุมตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ผลจากการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้ลดมูลค่าความ สูญเสียจาก 774,714 บาทต่อเดือนเหลือ 128,648 บาทต่อเดือน โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82 เปอร์เซ็นต์

จากงานวิจัยข้างต้นพบว่าในการดำเนินการลดของเสียด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้น กรณีที่มีค่าตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute) หากสามารถทำได้ควรแปลงข้อมูลเชิงคุณลักษณะนั้นให้เป็นข้อมูลแปรผัน (Variable) เพื่อให้การนำไปวิเคราะห์และการทำการทดลองมีความง่ายและสะดวกขึ้น

งานวิจัยที่ใช้ ซิกซ์ ซิกม่าในกระบวนการพ่นสียังมีอยู่ไม่มาก และไม่สามารถพัฒนาให้กระบวนการไปถึงระดับ 6σ เนื่องจากต้องมีกิจกรรมการปรับปรุงเป็นจำนวนมากและใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงมากจึงอาจจะเป็นการลงทุนที่มากเกินความจำเป็น แต่มีงานวิจัยของบริษัท Tata Auto Plastic Systems Limited (TAPS) ที่วิจัยโดยM. Kapadia, A. Mishra, S. Hemanth และ V. Limaye ได้นำหลักการของซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ในการเพิ่มระดับความพึงพอใจของลูกค้าโดยหลังการปรับปรุงสามารถเพิ่ม First Pass Yield จาก 47.51% ขึ้นเป็น 83.6% รวมถึงเปอร์เซ็นต์ความไม่พอใจของลูกค้าลดลงจาก 23.98% มาเป็น 1% และการประยุกต์ใช้ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อช่วยในการ

ปรับปรุง ได้ทำให้ของเสียลดลงเป็นอย่างมากและช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม (rework) ได้เป็นจำนวนมาก ดังเช่นงานวิจัยของ ภาณุ ชุดเจือจีน ที่ประยุกต์แนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการพ่นสีรองพื้น ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง ที่มีความต้องการด้านคุณภาพของสินค้าสูงมาก จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่า กระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสียเท่ากับ 19,615 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้นของผลผลิต (Defect Parts per Million: DPPM) ทำให้บริษัทต้องสูญเสียเงินเป็นจำนวนนับล้านบาทต่อปี โดยของเสียที่เกิดจากการมีรูลึกและฟองบนกล่องคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 35.01 และ 13.97 ตามลำดับ ซึ่งประเภทของเสียทั้งสองรวมกันคิดเป็น 48.98 เปอร์เซ็นต์ จากประเภทของเสียทั้งหมด จากนั้นนำสาเหตุจากการระดมสมองและให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี Two Proportions ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สามารถสรุปได้ว่า มีปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความหนืดของสารเคมีในการพ่นสีรองพื้น จำนวนรอบในการพ่นสีรองพื้น และรูปแบบการพ่นสีรองพื้น จึงได้ทำการปรับปรุงโดยการออกแบบการทดลองเพื่อหาหาจุดการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละระดับของปัจจัยซึ่งจากการทดสอบยืนยันผลพบว่า สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 6,480 DPPM ซึ่งมีค่าลดลงจากเดิม 67 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงได้จัดทำเอกสารควบคุมขั้นตอนการปฏิบัติงาน เพื่อใช้เป็นเอกสารมาตรฐานในการปฏิบัติงาน และได้นำเอาเอกสารดังกล่าวไปฝึกอบรมพนักงาน นอกจากนั้นยังมีการจัดทำแผนคุณภาพให้กับโรงงานอีกด้วย หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้รับหลังการปรับปรุงผ่านไปแล้วเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต พบว่า สัดส่วนของเสียมีค่าเหลือเพียง 3,240 DPPM ซึ่งเทียบเท่ากับ 2.99 σ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ ทิชา แสนสม ที่นำแนวความคิดซิกซ์ ซิกม่า ไปประยุกต์เพื่อใช้ในการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้า โดยเม็ดผงเป็นของเสียหลักที่มีจำนวนถึง 151,259 DPPM (Defect Part per Million) ซึ่งสาเหตุหลังจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่าเม็ดผงที่พบหลังกระบวนการพ่นสีมาจากความสกปรกของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการพ่นสี และระบบจ่ายอากาศในห้องพ่นสี จากนั้นจึงใช้ cause and effect matrix เพื่อกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหาเม็ดฝุ่น โดยจะทำไปพร้อมกับการศึกษาความแม่นยำและถูกต้องของระบบการวัด การคัดเลือกตัวแปรที่จะนำมาศึกษาโดยการใช้เทคนิคลักษณะบกพร่องและผลกระทบ(FMEA) แล้วจึงทำการทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ และหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัยขึ้นไป จากนั้นทำการควบคุมกระบวนการผลิตโดยการจัดทำมาตรฐานการทำงานจากค่าที่ได้จากการทดลอง และควบคุมกระบวนการโดยใช้การเก็บข้อมูลเชิงสถิติ และมีแผนการแก้ไขเมื่อค่าไม่อยู่ในค่าควบคุมเพื่อป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำอีก เมื่อวิเคราะห์กระบวนการหลังการปรับปรุงแล้วพบว่าจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการพ่นสีกันชนหน้า

พลาสติกของรถยนต์หลังการปรับปรุงเท่ากับ 46,892 DPPM ซึ่งสามารถลดของเสียได้ 69% ของของเสียก่อนการปรับปรุง ความแตกต่างของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยเรื่องการลดของเสียในกระบวนการพ่นสีกันชนหน้าที่เป็นวัสดุประเภทพลาสติก คือทำการศึกษากระบวนการพ่นสีรถยนต์ที่วัสดุเป็นเหล็กที่มีกระบวนการพ่นสีเริ่มจากการชุบสีกันสนิม พ่นสีรองพื้น และพ่นสีจริง โดยที่ในแต่ละชั้นต้องมีการขัดเพื่อซ่อมข้อบกพร่องของแต่ละชั้นและเพื่อเป็นการเตรียมผิว ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการพ่นสีพลาสติกที่ไม่มีการขัดซ่อมข้อบกพร่องในแต่ละชั้น ทำให้ไม่เกิดข้อบกพร่องประเภทที่เกิดจากการเตรียมผิวไม่ดี ซึ่งทำให้กระบวนการพ่นสีกันหน้ามีเม็ดฝุ่นเป็นของเสียหลักเพียงอย่างเดียว อีกทั้งสีที่ใช้ในการพ่นเหล็กและพลาสติกยังเป็นคนละชนิดกัน