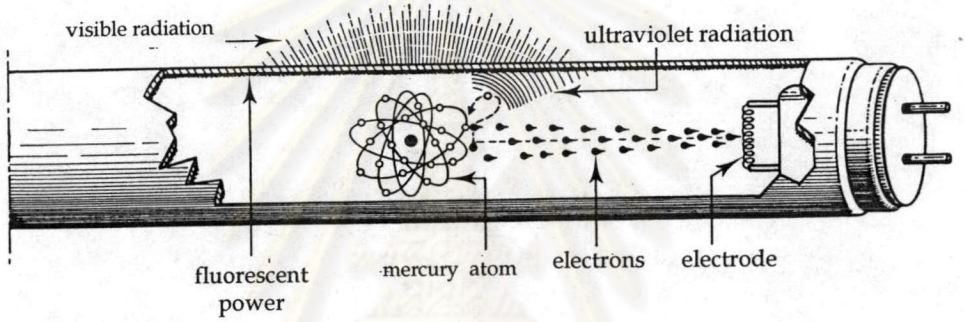
บทที่ 2
การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างในหลอดฟลูออเรสเซ็นต์

ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซ็นต์

ตัวหลอดจะประกอบด้วย หลอดแก้วยาว ภายในบรรจุสารฟอสเฟอร์(Phosphor) หัวท้ายมีอิเล็กโทรด(Electrode) เป็นไส้ทังสเตน ภายนอกเป็นขั้วหลอด ภายในยังบรรจุไอปรอทกับก๊าซอาร์กอน และคริปตอน



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของหลอดฟลูออเรสเซ็นต์

วิธีการก่อนที่ไฟสว่าง

1.เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าไส้หลอดทังสเตนจะร้อนแดง และปล่อยกลุ่มอิเล็กตรอนรอบอิเล็กโทรดหัว-ท้าย

2.อิเล็กตรอนจะวิ่งไปมาระหว่างอิเล็กโทรดหัว-ท้าย เพราะมีก๊าซอาร์กอนและคริปตอนเป็นตัวนำ กลุ่มอิเล็กตรอนกระทบกับอะตอมของไอปรอท ทำให้อิเล็กตรอนของไอปรอทเกิดภาวะเร้าทำให้ปล่อยแสงอัลตร้าไวโอเลตออกมา ซึ่งเรามองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

3.จากนั้น แสงอัลตร้าไวโอเลตจะไปกระทบสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่เคลือบในหลอดทำให้สารฟลูออเรสเซ็นต์เกิดปรากฏการณ์เรืองแสงขึ้นในหลอดแก้ว และเกิดแสงสว่างขึ้น เมื่อเปิดไฟฟ้า 1-5 วินาที

คำจำกัดความ

สารฟลูออเรสเซ็นต์ (fluoresent powder or phosphor) คือ สารเคมีจำพวกอนินทรีย์ที่ใช้เคลือบหลอดฟลูออเรสเซ็นต์แล้วให้ปรากฏการณ์เรืองแสงเมื่อมีแสงอัลตร้าไวโอเลต (UV) กระทบ สารฟลูเรสเซ็นต์มีหลายชนิดตามแต่สีของแสงที่ต้องการใช้ เช่นสารฟลูออเรสเซ็นต์ Day light ภายในบริษัทจะมีชื่อเรียกว่าสารฟูออเรสเซ็นต์ เบอร์ 54 สำหรับCool white ภายในบริษัทจะมีชื่อเรียกว่าสารฟลูออเรสเซ็นต์ เบอร์ 33 และ Warm white ภายในบริษัทจะมีชื่อเรียกว่าสารฟลูออเรสเซ็นต์ เบอร์ 29 และสารฟลูออเรสเซ็นต์ เบอร์ 54 ที่ผู้ศึกษากำลังสนใจนี้เป็น สารฟลูออเรสเซ็นต์ เบอร์ 54 ตัวใหม่ ที่มีเม็ดสารฟลูออเรสเซ็นต์ชนิดละเอียด (fine particle size) มีคุณสมบัติในการลดน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ได้ดี

Lumen output หรือ Lumen level คือ ค่าความส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซ็นต์

Color point คือ ค่าสีของแสงอยู่ในรูป Coordinate x, y value เพื่อใช้ในการควบคุมสีของแสงในหลอดฟลูออเรสเซ็นต์เพื่อให้หลอดฟลูออเรสเซ็นต์ที่ผลิตออกมามีสีของแสงเหมือนกันหรือใกล้เคียงกันทุกหลอด เช่น สีของแสงในหลอดออกสีขาวแต่ขาวอย่างไรจะต้องมีลักษณะเดียวกัน เป็นต้น

Lumen maintenance คือ ค่าประสิทธิภาพของความส่องสว่าง

Coating weight หรือ Powder weight คือ น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์

Coating appearance คือ ความเรียบเนียนของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์, ความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวหลอด

2.2 การสำรวจงานวิจัย

Hermans [Powder weight-ranges with colour 54 Single component,1998] ได้ศึกษาถึงการใช้ค่าน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์เบอร์ 54 กับหลอด 15 วัตต์ โดยพบว่า ผลที่ 100 ชั่วโมงของหลอดที่มีน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ 1.28 กรัม มีค่าความส่องสว่างที่ไม่แตกต่างจากหลอดที่มีค่าน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ 1.84 กรัม ซึ่งสามารถลดน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ลงได้จากเดิม 30 % และนอกจากนั้นยังพบว่าหลอด 36 วัตต์ชนิดสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำที่พ่นสารรองพื้นอะลูมิเนียมออกไซด์ สามารถที่จะลดน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์จากเดิม 3.3 กรัม (3.33 มิลลิกรัมกรัมต่อ ตร.ซม.) ไปจนถึง 2.75 กรัม (3.06 มิลลิกรัมต่อ ตร.ซม.) โดยปราศจากความเสี่ยงใดๆ และไม่มีการลดลงของประสิทธิภาพการส่องสว่างต่ำกว่ามาตรฐานที่ 2000 ชั่วโมง

Hermans [Maintenance of the powder weight ranges in TLD 36W for colour 54 single component,1998] พบว่าหลอด 36 วัตต์ชนิดสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำและที่พ่นสารรองพื้นด้วย สามารถที่จะลดน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์หรือสารฟลูออเรสเซ็นต์จากเดิม 3.3 กรัม (3.33 มิลลิกรัมต่อ ตร.ซม.) ไปจนถึง 2.75 กรัม(3.06 มิลลิกรัมต่อ ตร.ซม.) โดยปราศจากความเสี่ยง และประสิทธิภาพการส่องสว่างที่ 2000 ชั่วโมงเป็นไปตามมาตรฐาน คุณลักษณะภายนอกหลอดก็ยอมรับได้มองไม่เห็น stem (electrode) ในหลอด แต่ถ้าสารฟลูออเรสเซ็นต์ชนิดตัวทำละลายเป็นน้ำและไม่มีสารรองพื้นจะมีประสิทธิภาพการส่องสว่างที่ลดลงไม่ได้ตามมาตรฐาน ดังนั้นสารฟลูออเรสเซ็นต์ชนิดที่ทำละลายด้วยน้ำที่ปราศจากสารรองพื้นไม่สามารถลดน้ำหนักลงเช่นเดียวกับสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่มีตัวทำละลายเป็นบลูทิวที่ไม่มีสารรองพื้น และการลดน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ไม่มีผลกระทบต่อค่าสีของแสง

Backer [Milestone 3 for color/54 single component, 1998] ได้แสดงไว้ว่าจากผลการทดลองใน line การผลิตสารฟลูออเรสเซ็นต์นี้สามารถลดน้ำหนักที่เคลือบหลอดได้ถ้ามีการพ่นสารรองพื้น ค่าความส่องสว่างยังคงได้ตามมาตรฐานและเหนือสเปคประมาณ 102.8 % แต่น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่ใช้ตัวทำละลายด้วยบลูทิวที่ไม่มีการพ่นสารรองพื้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ

Backer, Gerwen and Meer [Benchmarking halo phosphate daylight for TLD, 2000] สรุปจากการประเมินคุณสมบัติสารฟลูออเรสเซ็นต์ 11 ชนิดจากบริษัทผู้ผลิต 9 ราย ว่าสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่โดดเด่นที่สุดในกลุ่มประเทศจีนคือจากบริษัทผู้ผลิต Wu-Qiang จากประเทศจีนแต่ก็ยังมีคุณภาพการส่องสว่างไม่ดีในระบบตัวทำละลายชนิดน้ำ ในขณะที่คุณสมบัติสารฟลูออเรสเซ็นต์ในบริษัทผู้ผลิตจากประเทศญี่ปุ่นมีคุณภาพการส่องสว่างดีเทียบเท่ากับคุณสมบัติสารฟลูออเรสเซ็นต์บริษัทผู้ผลิตของบริษัทในเครือและคุณภาพดีกว่าที่น้ำหนักสูง

Verriet [Quality improvement Halophosphates: Influence of impurities (Na, Mg and Fe) on the quality of Ca-halophosphate 54 (Single component daylight), 2001] โดยทั่วไปสิ่งเจือปนมีผลลบกับคุณภาพของสารฟลูออเรสเซ็นต์ โดยเฉพาะในวัตถุดิบเช่น $CaCO_3$ ใช้

สำหรับเตรียม Ca-halophosphates มีสิ่งเจือปนจำพวก Na, Mg, และ Fe ระดับ Na ที่ 80 ppm ปัจจุบันไม่มีผลกระทบแต่ถ้า Fe และ Mg จะมีผลกระทบต่อค่าความส่องสว่าง

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 คำนิยามของระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA)

นิยามคำศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

Measurement System Analysis(MSA)	หมายถึง	การวิเคราะห์ระบบการวัด ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นทางด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำ
Bias	หมายถึง	"ความเอนเอียง" ผลต่างของค่าที่วัดได้จากค่าจริงของชิ้นงาน
Error	หมายถึง	ค่าผิดพลาด
Tolerance	หมายถึง	ค่าความคาดเคลื่อนอนุโลม
Accuracy	หมายถึง	ความเที่ยงตรง
Precision	หมายถึง	ความแม่นยำ
Gage Repeatability& Reproducibility หรือ เทคนิค GR&R	หมายถึง	เทคนิคความสามารถในการทำซ้ำและทำเหมือนของเครื่องมือวัดโดยสามารถคำนวณค่าความสามารถในการทำเหมือนและทำซ้ำรวมกันเรียกว่า ค่า %GR&R ซึ่งหมายถึง "ค่าความแปรปรวนของความแม่นยำของระบบการวัดโดยรวม"
Repeatability	หมายถึง	"ความสามารถในการทำซ้ำ" ของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกัน เช่น อุปกรณ์การวัดเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นค่าโดยเรียกว่า % E Equipment Variation(% EV) ซึ่งหมายถึง ค่าความแปรปรวนของอุปกรณ์วัด
Reproducibility	หมายถึง	"ความสามารถในการทำเหมือน" ของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกัน ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นค่าโดยเรียกว่า % Appraiser Variation (% AV) ซึ่งหมายถึง ค่าความแปรปรวนระหว่างพนักงานวัด หรือระหว่างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อการวัดที่ต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Variable Characteristic หมายถึง ลักษณะสมบัติปริมาณหรือเชิงตัวแปร ซึ่งหมายถึง จุดตรวจสอบที่สามารถแสดงออกมาเป็นค่าตัวเลขและสามารถบอกขนาดของความแตกต่างระหว่างระดับที่วัดได้เป็นตัวเลขได้ เช่น ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง

Attribute Characteristic หมายถึง ลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะ หรือเชิงคุณภาพ ซึ่งหมายถึงจุดตรวจสอบที่ระบุระดับของคุณภาพได้เพียงผ่าน หรือไม่ผ่าน เท่านั้น เช่น การประกอบ ซึ่งสามารถระบุระดับคุณภาพว่า ผ่าน หากสามารถประกอบกับชิ้นส่วนอื่นที่นำมาทดสอบได้และไม่ผ่านหากไม่สามารถประกอบได้

$\overline{R_i}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของพิสัยของค่าวัดจากพนักงานคนที่ i หรืออุปกรณ์จับยึดที่ i

$\overline{X_i}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากพนักงานคนที่ i หรืออุปกรณ์จับยึดที่ i

2.3.2 ความผันแปรในระบบการวัด

การวัด หรือ มาตรวิทยา (Eisenhart, 1963) หมายถึง การกำหนดค่าตัวเลขให้แก่วัตถุเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เป็นของจริงของวัตถุดังกล่าวด้วยคุณสมบัติเฉพาะที่กำหนด (The assignment of numbers to material things to represent the relations existing among them with respect to particular properties)

หรือมาตรฐาน ISO 10012-1 ได้นิยามความหมายของการวัดว่า หมายถึง ชุดปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาค่าของปริมาณอันหนึ่ง (Set of operations having the object of determining a value of quantity) และจะเรียกปริมาณใดๆ ที่ได้รับการนำมาวัดนี้ว่า " สิ่งที่ได้รับการวัด(measured)"

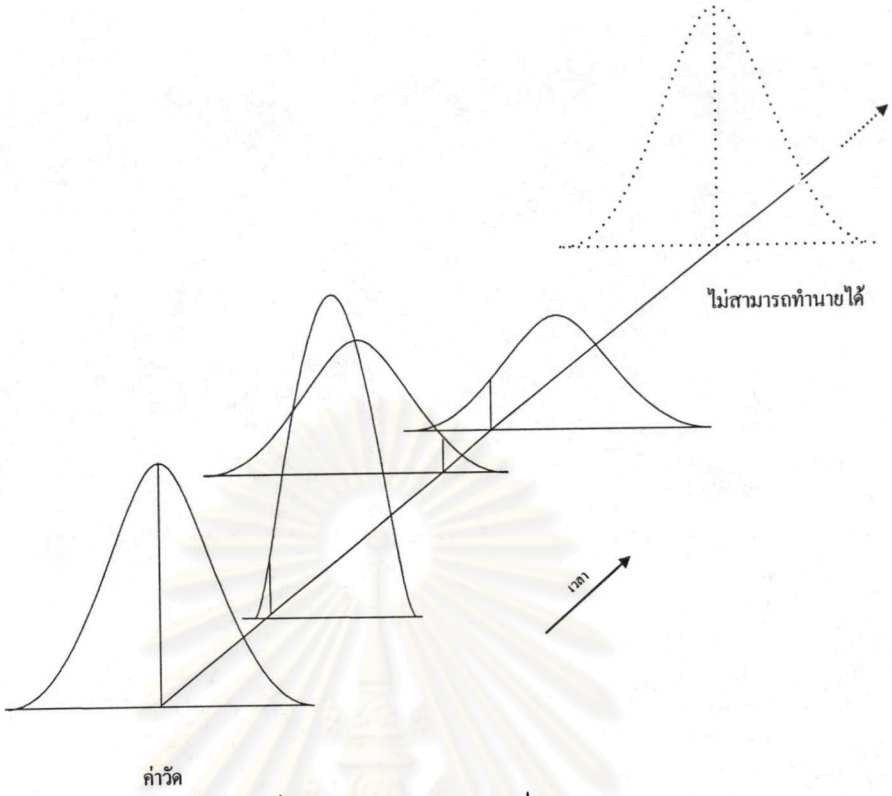
จะพบว่าคำสำคัญของการวัด คือ ค่าคงที่ของสิ่งที่ได้รับการวัด ซึ่งถือเป็นค่าคงที่ไม่ทราบค่าและมีจุดประสงค์ที่จะกำหนดค่าให้ ในทางปฏิบัติจะเรียกค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่านี้ว่า "ค่าจริง (true value)" โดยนักมาตรวิทยาอาจเรียกค่าดังกล่าวว่า ค่าที่เห็นพ้องกัน (consensus value) หรือค่าที่ได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไป (generally accepted value) หรือค่ามาสเตอร์ (master value) นอกจากนี้ยังมีคำสำคัญอีกคำหนึ่ง คือ ชุดปฏิบัติการในการมอบหมายค่าตัวเลขซึ่งหมายถึงกระบวนการวัด หรือระบบการวัดโดยมีองค์ประกอบหลักๆคือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด

สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด และเนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดเสมอ

ความผันแปรในระบบการวัด ถ้าหากเป็นไปด้วยสาเหตุธรรมชาติ (chance cause or common cause of variation) แล้วค่าความผันแปรจะอยู่ในลักษณะเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ดังรูปที่ 2.2 แต่ถ้าหากความผันแปรเกิดจากสาเหตุความผิดพลาดอันเนื่องจากปัจจัยภายนอก และอาจจะเรียกสาเหตุดังกล่าวว่า สาเหตุแห่งความผิดพลาด (assignable cause or special cause of variation) โดยค่าความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ดัง รูปที่ 2.3 ในการวัดเพื่อประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดแล้วทำการกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับความพยายามลดธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง

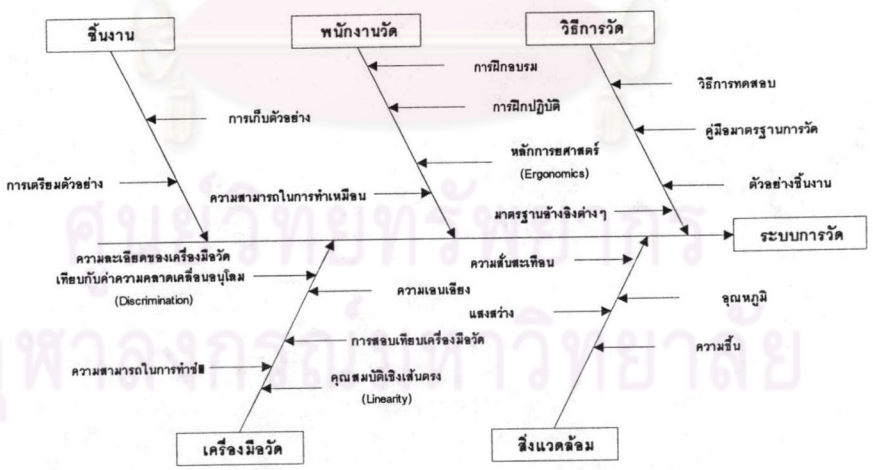
รูปที่ 2.2 กระบวนการวัดที่เสถียร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 กระบวนการวัดที่ไม่เสถียร

สาเหตุแห่งความคลาดเคลื่อนต่างๆสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สาเหตุแห่งความผันแปรของระบบการวัด(ดัดแปลงจาก www.qs9000.com)

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าได้ว่าสาเหตุแห่งความผันแปรของระบบการวัด สามารถจำแนกออกได้เป็นปัจจัยหลักๆ 5 ปัจจัยอันได้แก่

- ชิ้นงานที่ทำการวัด โดยความผันแปรเป็นผลมาจากวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบและการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ ซึ่งชิ้นงานที่เป็นตัวแทนที่ดี ควรได้มาจากการทำงานจริงในกระบวนการ และมีค่าครอบคลุมทั้งค่าคาดเคลื่อนอนุโลมและความผันแปรของกระบวนการผลิตชิ้นงานดังกล่าว เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเป็นตัวแทนที่ดีของระบบการวัดชิ้นงานดังกล่าว
- พนักงานวัด โดยผันแปรเป็นผลมาจากการฝึกอบรมพนักงาน และความชำนาญในการวัด ความสามารถในการทำเหมือนระหว่างพนักงานผู้ที่ทำการวัดชิ้นงานในจุดตรวจสอบเดียวกัน การเคลื่อนไหวของร่างกายเพื่อวัดชิ้นงาน
- วิธีการวัด โดยความผันแปรเป็นผลมาจากวิธีการทดสอบ คู่มือมาตรฐานในการวัดภายในโรงงาน ตัวอย่างแสดงวิธีการวัดหรือตัวอย่างชิ้นงานผ่านและไม่ผ่าน และมาตรฐานการวัดในระดับสากลต่างๆ
- เครื่องมือวัด โดยผันแปรเป็นผลมาจาก ความละเอียดของเครื่องมือวัดเมื่อเปรียบเทียบกับความผันแปรจากกระบวนการผลิตชิ้นงาน ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้อยู่ในระดับความละเอียดมากกว่า 10 เท่าของความผันแปรของกระบวนการผลิต ความเอนเอียงของเครื่องมือวัดในการอ่านค่าคาดเคลื่อนจากค่าที่ถูกต้อง การสอบเทียบชิ้นงาน ความสามารถในการทำซ้ำของเครื่องมือวัด และคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัด
- สภาพแวดล้อมในการวัด โดยความผันแปรเป็นผลจาก ความสั่นสะเทือน อุณหภูมิ ความชื้นและแสงสว่าง

จากสาเหตุทั้งหมดที่ได้กล่าวถึงเห็นได้ว่า หากไม่มีการควบคุมปัจจัยดังกล่าว ความผันแปรของระบบการวัดก็จะเกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน และมีความผันแปรในระดับสูง ซึ่งระบบการวัดก็จะมีค่าความผันแปรที่ไม่มีเสถียรภาพ ทำให้เกิดความไม่เชื่อมั่นในค่าวัดที่ได้ ซึ่งสาเหตุของความผันแปรดังกล่าวจะเรียกว่า สาเหตุพิเศษ ซึ่งสามารถชี้บ่งได้ และหากมีการควบคุมปัจจัยทั้งหมดดังกล่าวความแปรผันการวัดก็จะมีความผันแปรในระดับหนึ่ง ซึ่งคงที่และสามารถควบคุมได้ โดยความผันแปรดังกล่าวจะมาจากสาเหตุสามัญเท่านั้น ดังนั้นจึงนำมาซึ่งความน่าสนใจที่จะศึกษาถึงสาเหตุของความผันแปรต่างๆ และทำการควบคุมให้เกิดมาตรฐาน

เบงคิจิ โมริยามา(2536) ได้ให้ตัวอย่างสาเหตุแห่งความผิดพลาดจากค่าที่ได้จากการวัดไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สาเหตุแห่งความผิดพลาดในการวัดด้วยเครื่องมือเชิงกล

ประเภทของความผิดพลาด	สาเหตุ	ตัวอย่าง
1.ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด	โครงสร้างของเครื่องมือวัดหรือวิธีการใช้งาน	สเกลไม่เท่ากันมีความสึกหรอ แรงกดที่ใช้ในการวัดเปลี่ยนแปลงไป ช่วงกว้างไม่เท่ากัน
2. ความคลาดเคลื่อนจากพนักงานวัด	นิสัยของผู้วัด ระดับการฝึกฝนและทักษะ รวมถึงการฝึกอบรม	อ่านสเกลผิดพลาด และวิธีใช้เครื่องมือมีความผิดพลาด
3.ความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยภายนอก	อุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้น วิธีการให้แสงสว่าง
4.ความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุสามัญต่างๆ	ปัจจัยต่างๆ ที่ไม่สามารถควบคุมและระบุได้	สภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย หรือสภาวะจิตใจของผู้วัด

จะพบถ้าหากมองระบบการวัดเป็นกระบวนการแล้ว ค่าจากการวัดจะมีความผันแปรจากสาเหตุต่างๆที่เป็น สามารถสรุปได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ สาเหตุโดยธรรมชาติ (common cause) และ สาเหตุจากความผิดพลาด (special cause)ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประเภทความผันแปรในระบบการวัด

ประเภทความผันแปร	**สาเหตุความผันแปร**	**ตัวแบบความผันแปรของค่าวัด**	**การแก้ไข**
ความผันแปรภายใน -เกิดโดยธรรมชาติ -สามารถคาดการณ์ได้	สาเหตุโดยธรรมชาติ (common causes)	ค่าวัดกระจายสมมาตรรอบค่าที่ควรจะเป็น (รูปทรงปกติที่คงที่)	ลดความผันแปรด้วยการจัดการกับระบบ
ความผันแปรภายนอก -เกิดจากปัจจัยภายนอก -เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว ไม่สามารถคาดการณ์ได้	สาเหตุความผิดพลาด (special causes)	ค่าวัดจะกระจายในรูปทรงและตำแหน่งต่างๆ ที่ไม่สามารถคาดการณ์	แก้ปัญหาที่จุดตรวจวัด

2.3.3 ความผิดพลาดของค่าวัด

จากสาเหตุของความผันแปรของระบบการวัดที่ได้กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า ผลการวัดเกิดค่าความผิดพลาดของผลการวัด (Measurement error) ในการบริหารระบบการวัดเพื่อการประกันคุณภาพ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามทำให้ความผิดพลาดของค่าวัดมีค่าต่ำที่สุด เพื่อจะให้ค่าวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงหรือค่าอ้างอิงมากที่สุด

โดยทั่วไปแล้วอาจจำแนกประเภทของความผิดพลาดของค่าวัดออกได้เป็น 3 แบบคือ

1. ความผิดพลาดที่ชี้บ่งได้ เป็นความผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุพิเศษ
2. ความผิดพลาดแบบสุ่ม เกิดจากสาเหตุสามัญของระบบการวัด ไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถปรับให้ค่าลดลงได้ด้วยการดำเนินการแก้ไขระบบการวัด

2.3.4 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความผิดพลาดในระบบการวัด โดยการจำแนกออกตามสาเหตุต่างๆและพยายามทำการปรับปรุงให้สาเหตุของความผิดพลาดลดน้อยลงโดยการแก้ปัญหาที่สาเหตุพิเศษ โดยความผิดพลาดของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความผิดพลาดจากสาเหตุที่ชี้บ่งได้ ด้วยการสร้างมาตรฐานของระบบการวัดให้เกิดขึ้นเช่นวิธีการวัดมาตรฐาน

จากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความผิดพลาดเชิงระบบ โดยในการสอบเทียบเพื่อการลดและกำจัดความผิดพลาดเชิงระบบนี้ จำเป็นต้องพิจารณาใน 3 ประเด็นหลักคือ

1. ขนาดของความไม่แน่นอนของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว
2. ประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความไม่แน่นอน
3. วิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่ได้

โดยปกติแล้ว ในการประเมินความไม่แน่นอนในการสอบเทียบนี้ จะแสดงในรูปของค่าความผิดพลาดสมบรูณ์ (Absolute error)และความผิดพลาดสัมพัทธ์ (Relative error) โดยที่

ความผิดพลาดสมบรูณ์ = $X - \mu$

ความผิดพลาดสัมพัทธ์ = $X - \mu / \mu * 100\%$

หลังจากกำจัดความผิดพลาดเชิงระบบแล้ว จะมีการลดความผิดพลาดแบบสุ่มด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด โดยมีองค์ประกอบดังนี้

ค่าวัด(X_{ij})= ค่าจริงของงาน (μ) + ค่าความเอนเอียง (b)
+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านชิ้นงาน (α_i)
+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านพนักงาน (β_i)
+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุร่วมของชิ้นงานกับพนักงาน ($\alpha\beta_{ij}$)
+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุแบบสุ่ม (ε_{ij})

จะได้ค่าความแปรปรวนของค่าวัด(Measurement variation) ว่า

$$\sigma_x^2 = \sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma_\varepsilon^2$$

ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบการวัด(MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดจากค่าวัดที่ได้เพื่อแยกแหล่งความแปรปรวนออกเป็นชิ้นงาน (Part-to-part Variation ; PV) พนักงานวัด (Appraiser Variation ; AV) ความแปรปรวนร่วม (Interaction Variaiton ; IV) และแหล่งผันแปรอื่นๆที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติจะมีแแหล่งความแปรปรวนหลักๆมาจากอุปกรณ์วัด (Equipment Variation ; EV)

เมื่อวิเคราะห์ถึงความแปรปรวนจากระบบการวัด จะทำการเปรียบเทียบกับค่าคาดเคลื่อนอนุโลม (Tolerance) หรือความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต (Manufacturing process variation) ซึ่งโดยปกติแล้วต้องพยายามทำให้ความแปรปรวนจากระบบการวัดน้อยกว่าข้อกำหนดเฉพาะและความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต

Wheeler and Lyday (1984) ได้เสนอว่าในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดนี้จะมีประเด็นหลักที่ต้องพิจารณา 5 ประการคือ

1) การพิจารณาว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างที่เพียงพอหรือไม่
2) การพิจารณาว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงหรือไม่มีความเอนเอียงตลอดเวลาหรือไม่ หรือมีความมีเสถียรภาพหรือไม่
3) การพิจารณาว่า คุณสมบัติเชิงสถิติมีความสม่ำเสมอตลอดเวลาหรือไม่
4) การพิจารณาว่า คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่

5) การพิจารณาว่า ระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความแปรปรวนของกระบวนการผลิตหรือไม่

Mongomery และ Runner (1994) กล่าวถึงรายละเอียดในการทดสอบความแม่นยำ โดยใช้เทคนิค GR&R ในประเด็นจำนวนชิ้นที่ใช้ในการทดสอบ และจำนวนครั้งในการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน ไว้ว่าควรจะทำการทดสอบชิ้นงานหลายๆชิ้น และวัดซ้ำด้วยจำนวนครั้งที่น้อย ซึ่งจะดีกว่าการวัดชิ้นงานน้อยชิ้นด้วยการวัดซ้ำมากๆด้วยเหตุผล 3 ประการดังนี้

1) ความแปรปรวนของค่าวัดของชิ้นงานที่มีค่าวัดอยู่ในช่วงค่ากลางอาจมีค่าไม่เท่ากับชิ้นงานที่มีค่าวัดอยู่ในช่วงขอบเขตค่าคาดเคลื่อนอนุโลมบนหรือล่าง ดังนั้นการวัดชิ้นงานหลายๆชิ้นจะมีโอกาสที่จะครอบคลุมความผันแปรเหล่านั้นได้มากกว่า
2) ค่าความแปรปรวนของค่าวัดอาจมีค่าไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับระดับของค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้ ซึ่งอาจไม่สามารถตรวจจับได้หากทำการวัดชิ้นงานน้อยชิ้น ซึ่งสามารถทำการสังเกตได้จากการพล็อตค่าพิสัยบนกราฟ โดยเรียงลำดับตามค่าเฉลี่ยของค่าวัดชิ้นงาน
3) การวัดซ้ำๆบนชิ้นงานน้อยชิ้นงาน จะไม่สามารถทำให้การทดลองมีการเก็บข้อมูลที่สมบรูณ์ (Complete Replication of Measurement Process) ซึ่งทำให้ค่าความแปรปรวนที่น้อยกว่าความเป็นจริง

Kenneth (1997) ได้กล่าวถึงการเรียนรู้ของพนักงานจากความเชี่ยวชาญที่มากขึ้นกับการวิเคราะห์ระบบการวัดไว้ว่า ควรใช้พนักงานที่มีการฝึกอบรมอย่างเชี่ยวชาญเท่านั้นในการทดสอบ ไม่เช่นนั้นอาจต้องทำการทดสอบซ้ำหลายรอบจากความแปรปรวนที่มีค่ามาก ที่มีสาเหตุจากที่พนักงานขาดความชำนาญ

2.3.5 แผนภูมิในการเลือกเครื่องมือในการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด

ในการพิจารณาเลือกเครื่องมือทดสอบในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะใช้แผนภูมิดังรูปที่ 2.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

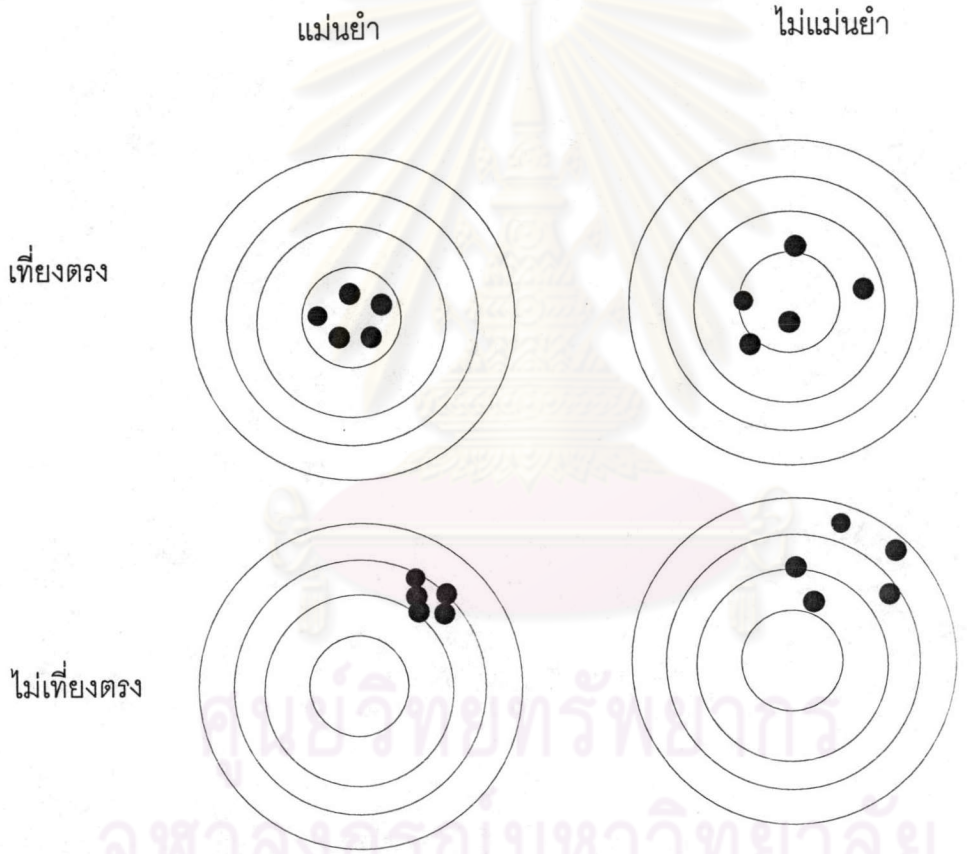
รูปที่ 2.5 แผนภูมิในการเลือกวิธีการในการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด (ดัดแปลงจาก AIAG, 1995)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ระบบการวัดภายใต้ขอบเขตของ MSA (1995) จะสามารถทดสอบได้ หากชิ้นงานสามารถที่จะทำการวัดซ้ำได้และสามารถเลือกชิ้นงานแบบสุ่มเท่านั้นซึ่งการเลือกเพื่อกำหนดวิธีในการทดสอบนั้นยังมีปัจจัยทางด้านปริมาณชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบประเภทของจุดตรวจสอบว่าเป็นลักษณะสมบัติเชิงปริมาณ หรือเชิงคุณลักษณะ และเวลาที่มีในการทดสอบ

2.3.6 การวิเคราะห์ระบบการวัดในลักษณะคุณสมบัติเชิงปริมาณ

สามารถแสดงผลออกมาเป็นความเที่ยงตรงและความแม่นยำของค่าวัดสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความเที่ยงตรงและความแม่นยำของระบบการวัด

จากรูปดังกล่าวเห็นได้ว่า ความถูกต้องจะหมายถึงการที่ได้ค่าวัดโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงในขณะที่ค่าความแม่นยำ จะหมายถึง การได้ค่าจากการวัดซ้ำหลายๆครั้งที่ใกล้เคียงกัน

2.3.7 การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบการวัด

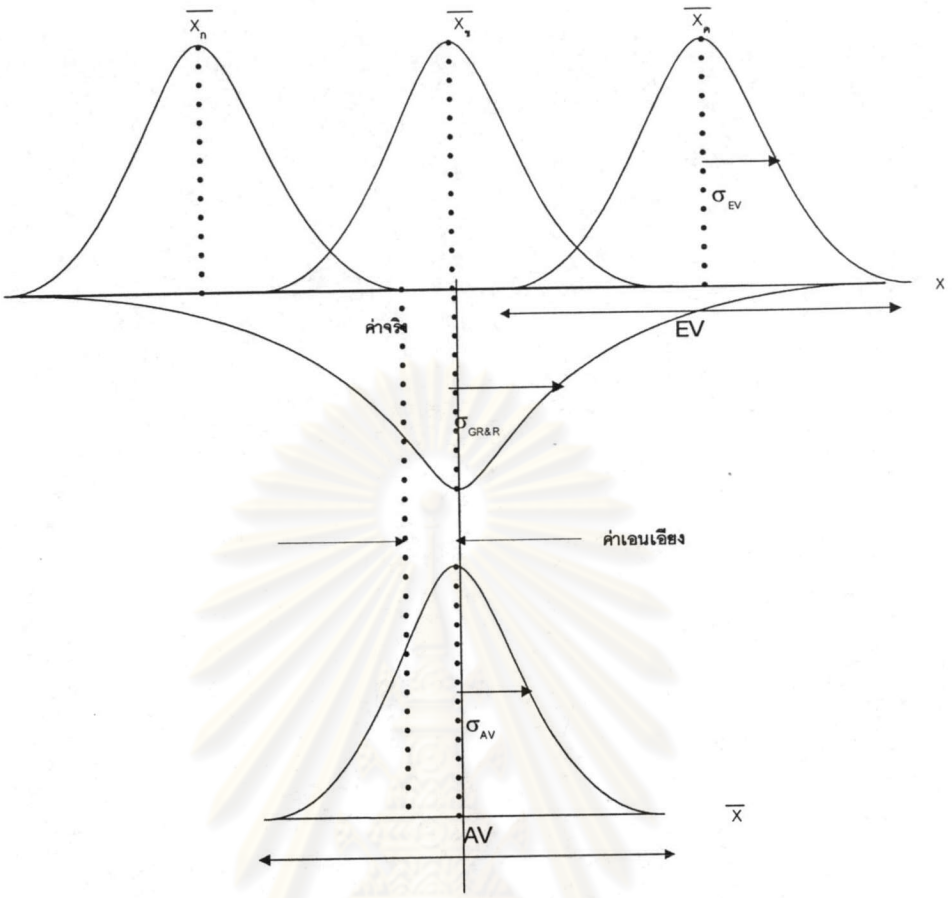
สามารถแบ่งออกได้เป็นคุณสมบัติ 3 ประการคือ ค่าเอนเอียง (Bias) ค่าเสถียรภาพของระบบการวัด (Stability) ค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) สำหรับการตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงผันแปร ในงานวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ไม่เน้นที่การศึกษาความเที่ยงตรงเนื่องจากทางโรงงานได้ปฏิบัติอยู่เป็นประจำตามแผนการสอบเทียบเครื่องมือวัดอยู่แล้ว

2.3.8 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ความแม่นยำของระบบการวัดจะแสดงออกทางค่าความผิดพลาดนี้มีสาเหตุมาจาก 3 แหล่งด้วยกัน คือ สาเหตุจากชิ้นงาน สาเหตุจากพนักงานหรืออุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานเพื่อการวัด และสาเหตุแบบสุ่ม

คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้ว สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ และความสามารถในการทำเหมือน โดยที่ ความสามารถในการทำซ้ำของระบบการวัดหมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับงานชิ้นเดียวกันเครื่องมือเดียวกัน และด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่า ความสามารถในการทำซ้ำ ในการประมาณค่าความแปรปรวนของระบบการวัดในระยะสั้น ส่วนความสามารถในการทำเหมือนของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของผลการวัดในงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือชิ้นเดียวกัน แต่ต่างพนักงานหรือต่างอุปกรณ์จับยึด และโดยปกติจะใช้ค่า ความสามารถในการทำเหมือน ในการประมาณค่าความแปรปรวนของระบบการวัดในระยะยาว อาจจะกล่าวอย่างสั้นๆได้ว่า ความสามารถในการทำซ้ำ คือความแปรปรวนในระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขที่กล่าวถึงนี้อาจจะหมายถึง พนักงานวัด กะงาน อุปกรณ์ยึดจับ และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม

ในการประมาณค่าความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการทำเหมือนของระบบการวัด จะใช้วิธีเทคนิคความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการทำเหมือน (Gage Repeatability and Reproducibility หรือ เทคนิค GR&R) หมายถึง การประเมินผลค่าแปรปรวนอันเนื่องมาจากการวัดค่าของชิ้นงานภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน และมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขไปโดยสามารถแสดงรูปภาพของความแปรปรวนแต่ละประเภทดังในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความแปรปรวนจาก ความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการทำเหมือน (ดัดแปลงจากกิติศักดิ์, 2542)

จากรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงค่าความแม่นยำโดยรวมของระบบการวัดซึ่งแสดงโดยรูปโค้งปกติคว่ำ ซึ่งแสดงค่าโดยสัญลักษณ์ $\sigma_{GR\&G}$ ซึ่งมาจากระบบการวัดที่มีพนักงานวัด 3 คนคือ นาย ก นาย ข และนาย ค วัดชิ้นงานโดยใช้อุปกรณ์วัดชิ้นเดียวกัน จากความแปรปรวนรวมดังกล่าว หากแยกย่อยพิจารณาพบว่าสามารถแยกออกเป็นความแปรปรวนจากอุปกรณ์การวัด (Equipment Variation : EV) ซึ่งก็คือค่าความสามารถในการทำซ้ำของเครื่องมือวัดโดยใช้สัญลักษณ์ σ_{EV} และความแปรปรวนจากค่าวัดที่แตกต่างกันของพนักงานทั้ง 3 คน (Appraiser Variation) ซึ่งก็คือค่าความสามารถในการทำเหมือนของพนักงาน โดยใช้สัญลักษณ์ σ_{AV}

2.3.9 **อิชิกาวาไดอะแกรม** (Cause and Effect Diagram) คือ ไดอะแกรมเหตุและผลหรือ เรียกว่าผังก้างปลา จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงกับผลที่เกิด (Effect) ซึ่งไดอะแกรมเหตุและผลจะช่วยให้เราสามารถค้นหาและเรียงลำดับสาเหตุต่างๆและแสดงถึงความเกี่ยวข้องของสาเหตุต่างๆที่เกิดขึ้นได้ โดยทั่วๆไปแล้วการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพนั้น 50 % เกิดเนื่องมาจาก

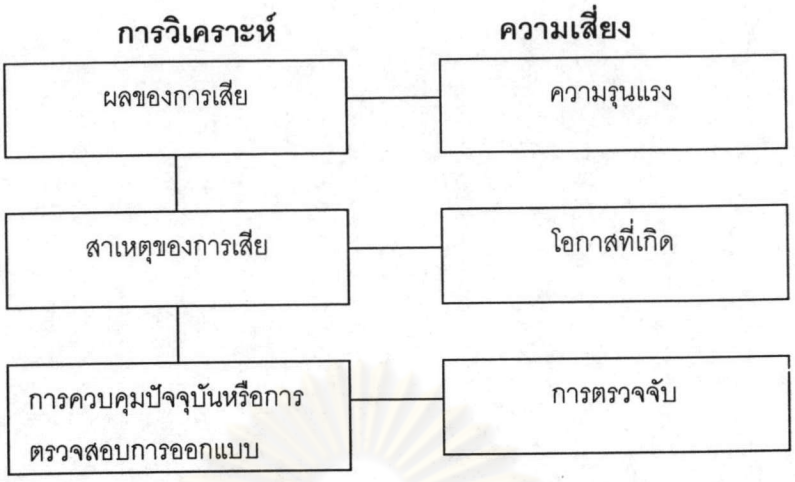
1) วัตถุดิบ
2) เครื่องจักรหรืออุปกรณ์
3) วิธีการทำงาน
4) คน

การจะใช้ไดอะแกรมเหตุและผลให้มีประสิทธิภาพดีต้องมาจากการระดมสมองจากหลายๆฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับปัญหาทั้งนี้เพื่อทำให้มองปัญหาได้หลายๆมุม

2.3.10 **การวิเคราะห์รูปแบบของการเสียและผลกระทบ** (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)

การวิเคราะห์รูปแบบของการเสียและผลกระทบ (FMEA) เป็นเทคนิคการวิคราะห์อย่างเป็นระบบสำหรับประเมินความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการที่ผลิตภัณฑ์มีข้อบกพร่องถูกผลิตออกสู่ตลาด ในขณะที่ทำงานเกี่ยวกับ FMEA จะทำให้เราสามารถเรียนรู้โอกาสของการเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภท และทราบว่าอะไรเป็นสาเหตุให้เกิดการเสียขึ้น การศึกษานี้ทำให้เราสามารถใช้ในการตัดสินใจว่า จะต้องทำอะไรเพื่อที่จะลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่พบว่าเป็นสิ่งบกพร่องร้ายแรง FMEA จะถูกจัดทำขึ้นในรูปแบบของการเติม ความบกพร่องหลักของผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษา สาเหตุ และผลกระทบที่เกิดขึ้น ลงในแบบฟอร์มที่จัดทำขึ้น ผลลัพธ์ของ FMEA คือ กลุ่มของกิจกรรม หรือคำตอบซึ่งสามารถใช้ในการกำหนดแนวทางที่ดีในการใช้เครื่องมือหรือเทคนิค เพื่อป้องกันหรือลดผลกระทบของรูปแบบและสาเหตุของการเสียที่เกิดอาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต สามารถดูขั้นตอนการดำเนินการสำหรับพัฒนาแผนภูมิ FMEA ดังรูปที่ 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 รูปแบบขั้นตอนการดำเนินการสำหรับพัฒนาแผนภูมิ FMEA

FMEA ใช้ความน่าจะเป็นในการเกิดและตรวจจับความบกพร่องที่เกิดขึ้นร่วมกับเกณฑ์ของความรุนแรงซึ่งจะทำให้เราได้ค่าของตัวเลขแสดงระดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) เพื่อใช้สำหรับกำหนดความสำคัญของกิจกรรมที่จัดขึ้นเพื่อแก้ไขสิ่งบกพร่องที่เกิดขึ้น การทบทวนและการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์และกระบวนการอย่างเป็นระบบจะช่วยให้เราสามารถคาดเดาแก้ไข หรือติดตาม ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ หรือในที่การประกอบหรือการผลิตกำลังดำเนินอยู่ได้การทำ FMEA ให้ได้ผลดีนั้นต้องเกิดจากการระดมสมองของหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

2.3.11 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด เราจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลองคำว่า "การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment)" หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในทางสถิติเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้ง

สองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่า วิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลิเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และ บล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้เรากำหนดให้ว่า **เรพลิเคชัน** หมายถึงการทำซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

แรนดอมไมเซชัน เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลองแรมดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลองทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลองบล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย