บทที่ 2

แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวัด (Measurement)

ลักษณะของคุณภาพจะเกี่ยวข้องอย่างมากกับปริมาณที่ผลิต ลักษณะในการผลิตปริมาณตามที่กล่าวนี้จะถูกดำเนินการไปภายใต้แนวทางของระบบที่เกี่ยวข้องกับ
รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2540, หน้า 21)

1. คำจำกัดความของหน่วยมาตรฐาน ซึ่งเรียกว่า "หน่วยของการวัด" ซึ่งมีการกำหนดลงไปว่า ลักษณะอย่างไรจะมีหน่วยเรียกอย่างไร เช่น น้ำหนักเป็นกิโล ความยาวเป็นเมตร
2. เครื่องมือที่ใช้วัด ซึ่งก็จะถูกปรับให้อ่านค่าได้ตามหน่วยของมาตรฐานการวัดที่ต้องการ
3. ใช้เครื่องมือวัดตามที่กล่าวมา หาจำนวนหรือวัดขนาดของผลิตภัณฑ์ลักษณะที่ไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดค่าได้

ลักษณะที่ไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดได้

1. การทดสอบที่ต้องใช้ประสาทสัมผัส ซึ่งไม่มีเครื่องมือที่ใช้วัดได้ ต้องทำโดยใช้อวัยวะสัมผัสที่เครื่องทดสอบ เช่น สี กลิ่น รส ความหยาบ
2. การทดสอบที่ต้องใช้อุปกรณ์ทดสอบ เช่น ตรวจหาข้อบกพร่องในวัสดุ และส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างเหล็ก ซึ่งต้องใช้การเอกซเรย์เพื่อตรวจสอบ

2.2 ความคลาดเคลื่อนในการวัด (Measurement Error)

ความสอดคล้องกันของผลิตภัณฑ์ และขบวนการผลิตจะถูกตรวจตราโดยเครื่องมือตรวจสอบ ความผิดพลาดในการวัดจะนำไปสู่ข้อสรุปที่ผิดพลาด *รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2540, หน้า 21)*

แหล่งของความคลาดเคลื่อน (Source of Error)

1. อยู่ที่ตัวบุคคลผู้ที่ทำการวัด ผู้วัดคนเดียวแต่วัดได้ไม่เหมือนกัน
2. ระหว่างบุคคลผู้ที่ทำการวัด ผู้วัดคนหนึ่งวัดได้ค่าหนึ่ง ผู้วัดอีกคนหนึ่งก็วัดได้อีกค่าหนึ่ง
3. อยู่ที่วัสดุ วัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบไม่มีมาตรฐาน
4. อุปกรณ์การวัด
5. วิธีการวัด
6. ห้องทดสอบ

จะเห็นได้ว่า ผลการวัดจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนของผลการวัด (Measurement Error) ในการบริหารระบบการวัดเพื่อการประกันคุณภาพ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามทำให้ความคลาดเคลื่อนของการวัดมีค่าต่ำที่สุด เพื่อจะให้ค่าวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงหรือค่าอ้างอิงมากที่สุด โดยทั่วไปแล้วอาจจำแนกประเภทของความคลาดเคลื่อนของการวัดเป็น 3 แบบคือ *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 12)*

1. ความคลาดเคลื่อนบ่งชี้ได้เป็นความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสาเหตุพิเศษ (Special Cause) ของระบบการวัด ส่วนมากเกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด และวิธีการวัดของพนักงานที่ทำหน้าที่วัด โดยลักษณะความคลาดเคลื่อนอาจจะมาจากการเลือกใช้เครื่องมือวัดที่ผิดพลาด หรือมาจากการอ่านค่าที่ผิดพลาด โดยความคลาดเคลื่อนในลักษณะเช่นนี้ไม่สามารถคาดการณ์ได้ แต่ส่วนมากสามารถกำจัดได้เบื้องต้นด้วยการทำระบบการวัดให้ได้มาตรฐาน คือ การกำหนดขั้นตอนและวิธีการวัดที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด และการบำรุงรักษาเครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง แล้วดำเนินการประเมินผลโดยอาศัยแผนภูมิควบคุม
2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error) หมายถึง ความผิดพลาดโดยเฉลี่ยจากค่าที่วัดได้เทียบกับค่าอ้างอิง เกิดจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการวัด
    - การเซตเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการวัด
    - การเลือกใช้เครื่องมือวัด
    - ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด เนื่องจากการผลิต เช่น Scale Pitch Tooling Error
    - การสึกหรอของเครื่องมือวัด
    - การบิดเบี้ยวเสียรูปทรงของเครื่องมือวัด เนื่องจากแรงกระทำภายนอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การยืดหรือหดตัวของเครื่องมือวัด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ซึ่งสาเหตุของความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้มักจะมาจาก โครงสร้างของเครื่องมือวัดเป็นสำคัญ นอกจากนี้ก็อาจจะมีผลมาจากปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อค่าวัดหรือปริมาณที่มีอิทธิพลต่อค่าวัด (Influence Quantity) ซึ่งหมายถึงปริมาณที่มิใช่ปริมาณของสิ่งที่ได้รับการวัดแต่มีผลต่อค่าวัด

ความคลาดเลื่อนเชิงระบบนี้สามารถได้รับการกำหนดค่าด้วยผู้ผลิตหรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และสามารถกำจัดได้ด้วยการสอบเทียบ (Calibration) สำหรับกรณีของโครงสร้างของเครื่องมือวัดและสามารถกำจัดได้ด้วยการควบคุมปริมาณที่มีอิทธิพลต่อค่าวัดด้วยการควบคุมสภาพแวดล้อมของระบบการวัด เช่น การใช้ตัวปรับเสถียรแรงดันไฟฟ้า (Stabilizer) เป็นต้น

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ = $\overline{X}i$ – ค่าจริง ตำราบางเล่มอาจเรียกค่าดังกล่าวนี้ว่า ความเบี่ยงเบนจากค่าจริง หรือ ออฟเซต(Offset) หรือค่าความเอนเอียง หรือ ความเอนเอียง (Bias)

3. ความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error) เกิดจากสาเหตุสามัญ (Common Cause) ของระบบการวัด สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดประเภทนี้ บางส่วนก็คล้ายกับสาเหตุของความผิดพลาดที่ควบคุมได้ (Systematic Error) แต่สาเหตุส่วนใหญ่ได้แก่
    - การเปลี่ยนแปลง Friction ในชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องมือวัด
    - การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือวัด
    - บุคคลที่ทำการวัด

    โดยทั่วไปการประเมินผลหาค่าความผิดพลาดประเภทนี้ทำได้ค่อนข้างยาก เพราะการเกิดของความผิดพลาดก็เป็นไปอย่างไม่แน่นอน ทั้งทิศทางและขนาด เราจะต้องใช้ทฤษฎีทางสถิติและการประเมินผลทางสถิติเข้ามาช่วย เพื่อที่จะทำให้ Random Error ลดน้อยลง อาจจะได้ข้อสังเกตดังนี้
    - ความผิดพลาดที่สามารถควบคุมได้ (Systematic Error) จะทำให้ค่าที่วัดได้ (Measurement Result) ผิด
    - ความผิดพลาดที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Random Error) จะทำให้ค่าที่วัดได้ (Measurement Result) ไม่แน่นอนซึ่งอาจจะถูกหรือผิดก็ได้

ซึ่งหมายถึงความเบี่ยงเบนของค่าวัดจากค่าที่ควรจะเป็นของค่าวัดซึ่งจะมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม (คือ ค่าที่จะเกิดขึ้นตามโอกาสโดยธรรมชาติ) โดยสาเหตุความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มนี้จะมาจากสาเหตุ โดยธรรมชาติ (Common Cause) ของระบบการวัด และไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถปรับค่าให้ลดลงได้ด้วยการดำเนินการแก้ไขระบบการวัด อาทิ ปรับวิธีการวัดใหม่ ใช้อุปกรณ์พวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ในการจับงานที่จะวัด

การรวบรวมความคลาดเคลื่อน (Composite Error) ค่าสังเกตของการวัดเป็นผลลัพธ์จากความแปรปรวนหลายอย่างประกอบกัน ซึ่งมีสูตร ดังนี้

$$\sigma^2 abs = \sigma^2 w + \sigma^2 b + \sigma^2 m + \sigma^2 e + \sigma^2 p + etc.$$

$\sigma^2 abs,w,b,m,e,p$ = ความเบี่ยงเบน (Standard Deviation) ของค่าสังเกต ผู้ปฏิบัติงาน ระหว่างผู้ปฏิบัติงาน วัสดุ อุปกรณ์ และห้องทดสอบ ตามลำดับ

2.3 โครงการลดความคลาดเคลื่อน

1. กำหนดจำนวนองค์ประกอบที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน โดยเน้นองค์ประกอบที่เป็นผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด
2. หาทางลดความแปรปรวนหลัก โดยการปรับปรุงวิธีการ

แนวทางแก้ไขปัญหาของความผิดพลาดโดยการปรับปรุงพร้อมกับห้องทดสอบ
รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2540, หน้า 22)

1. พัฒนาวิธีการทดสอบใหม่ๆ
2. เปรียบเทียบผลของวิธีการหลายๆวิธี
3. กำหนดตัวอย่าง
4. แก้ไขข้อขัดแย้ง

2.4 การควบคุมรักษาเครื่องมือวัด

มาตรฐานที่ใช้วัดจะมีความแม่นยำเสื่อมลงในระหว่างการใช้หรือเก็บรักษา การที่จะรักษาให้มีความแม่นยำอยู่เสมอ จำต้องอาศัยการควบคุมการปรับแต่งอย่างเป็นระบบ

ระบบที่ใช้ในการควบคุมต้องสามารถใช้กับระดับมาตรฐานได้ทุกระดับ แต่จะมีข้อแตกต่างเพียงเล็กน้อยในทางปฏิบัติ เช่น ความละเอียดถี่ถ้วนในการดูแลรักษาเครื่องมือ ระหว่างเครื่องมือวัดทั่วไปกับเครื่องมือที่ใช้สำหรับเป็นมาตรฐาน *รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2540, หน้า 22)*

การวางแผนการใช้เครื่องมือวัด

1. กำหนดระยะเวลาในการปรับให้แน่นอน
2. ปรับตามอายุการใช้งาน ตามจำนวนครั้ง เช่น ปรับทุกอายุการใช้งาน 100 ครั้ง
3. ปรับตามอายุการใช้งาน ตามจำนวนชั่วโมง

การบันทึกและวิเคราะห์ผลการใช้

จะเป็นประโยชน์มากถ้าจะมีการเก็บบันทึกของผลการปรับแต่งเครื่องมือ และวิธีการปฏิบัติที่จะควบคุมให้อุปกรณ์ยังคงใช้งานได้อย่างแม่นยำ เช่น การบันทึกเกี่ยวกับเรื่อง

1. การสังเกตข้อบกพร่องของอุปกรณ์
2. สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง
3. เวลาที่ใช้ในการซ่อมและปรับแต่ง

ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลนี้ เหล่านี้จะเป็นรากฐานของ

1. การลดจำนวนครั้งของการตรวจสอบเครื่องมือ
2. กำจัดสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง

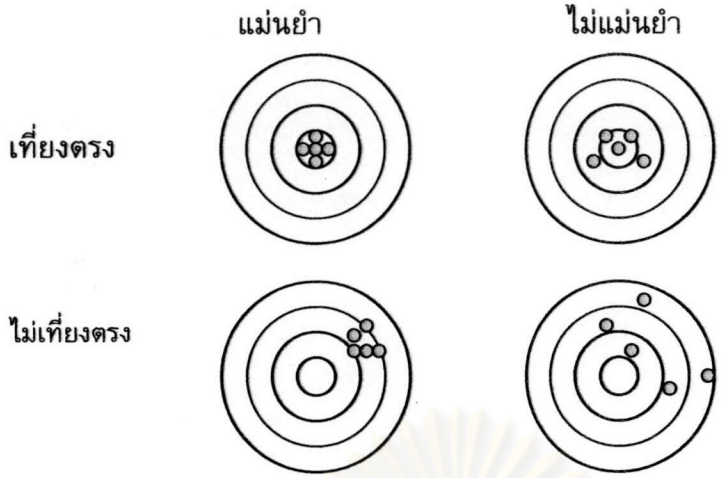
2.5 ความผิดพลาดจากการวัด

ก่อนอื่นต้องเข้าใจถึง ศัพท์คำว่า ความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Accuracy) ของเครื่องมือที่วัด ดังนี้ *รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2540, หน้า 23)*

ความแม่นยำ (Precision) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ผล ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ค่าไม่กระจัดกระจาย และจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามาก ไม่มีการปรับวิธีการ หรือปรับเครื่องมือการวัด

ความเที่ยงตรง (Accuracy) คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงมาก ผลต่างของค่าจริง และค่าวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก

การวัด หรือ เครื่องมือวัดที่ดีจะต้องให้ผลทั้ง แม่นยำ และเที่ยงตรง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงความเที่ยงตรงและความแม่นยำของระบบการวัด

จากรูปที่ 2.1 ดังกล่าวเห็นได้ว่า ความถูกต้อง จะหมายถึงการที่ได้ค่าวัดโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงในขณะที่ค่าความแม่นยำ จะหมายถึง การได้ค่าวัดจากการวัดซ้ำหลายๆ ครั้งที่ใกล้เคียงกัน

2.6 เทคนิคในการวัด

เครื่องมือในการวัด ถูกวิวัฒนาการมาเป็นลำดับ โดยอาศัยเทคโนโลยีใหม่ๆเข้ามาช่วยในการวัด ให้เกิดความแม่นยำและเที่ยงตรง *รศ.ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2540, หน้า 23)*

1. เครื่องมือ เกจ ที่มีค่าวัดคงที่หนึ่งๆ (Fixed Limit Gages) วัดความหนา ความยาว เช่นความยาวของ เหล็กที่ตัด 0.1 ถึง 0.25 มิลลิเมตร ต่อมาได้พัฒนาเป็น เกจที่มีค่าวัดเลื่อนไปมาได้ (Variable Gages) เช่น เวอร์เนียร ไดอัลเกจ เป็นต้น ซึ่งจะให้ค่าที่แม่นยำกว่าและละเอียดกว่า

2. เครื่องมือวัดรูปร่างแปลกๆ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน ความลึกความเอียง จึงต้องใช้เครื่องมือใหม่ๆ เช่น Surface Plate, Scale, Micrometer, Dial Mechanisms, Amplification Linkage, Gage Blocks แต่เครื่องมือเหล่านี้มักมีราคาแพง

3. เครื่องมือวัดไฟฟ้า (Electronic Measurement) ใช้วัดกระแส วัดวัสดุที่ต้องการความละเอียดมากๆ ขนาดขยายถึง 5,000 เท่า

4. เครื่องมือวัดแบบลม (Pneumatic measurement) ใช้ลม ไหลผ่านช่องว่างขนาดต่างๆ ซึ่งสามารถวัดขยายถึง 10,000 เท่า เช่น วัดการแปรเปลี่ยน 0.001 นิ้ว จะแสดงบนสเกล 10 นิ้ว

5. เครื่องมือวัดแบบคลื่นแสง (Optical Measurement) โดยอาศัยคลื่นแสงวัดเปรียบเทียบระหว่างใน Phase และนอก Phase โดยนับจำนวน Fringes วัดเป็นความยาวของคลื่นแสงได้

นอกจากนี้ยังมีแสงเลเซอร์ คลื่น Homography คลื่นอุลตร้าโซนิค กระแสเอ็ดดี้ ฯลฯ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีวิวัฒนาการมาตลอด

การวัดการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Testing) จะใช้ทดสอบวัดในกรณีไม่ต้องการทำลายชิ้นส่วนที่วัด โดยอาจจะสังเกตดูความผิดปกติของวัสดุ วัดขนาดรูปร่าง เช่น ขนาด กว้างยาว ความแข็ง การเป็นสื่อนำ ความแรงแม่เหล็ก ฯลฯ

การเลือกเครื่องมือวัดให้มีระดับความถูกต้องเหมาะกับงาน

ก่อนนำเครื่องมือวัดไปใช้งานหรือก่อนซื้อเครื่องมือวัด ผู้ใช้ควรทราบวัตถุประสงค์และขอบเขตของการใช้เครื่องมือวัด เป็นต้นว่า ควรจะรู้ว่าจะวัดอะไร มีขนาดไม่เกินเท่าไหร่ และที่สำคัญที่สุดจะต้องทราบว่าหากมีความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดเกิดขึ้น ยอมให้เครื่องมือวัดนั้นคลาดเคลื่อนได้มากที่สุดเท่าใด

การสอบเทียบ

เมื่อได้กำหนดชัดเจนแล้วว่าต้องการใช้เครื่องมือวัดมาวัดอะไร และยอมให้เครื่องมือวัดนั้นคลาดเคลื่อนได้มากน้อยแค่ไหน ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบก็ต้องจัดซื้อหรือจัดหาเครื่องมือวัดที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในขอบเขตดังกล่าวมาใช้งาน โดยดูจากข้อกำหนดในคุณลักษณะของเครื่องมือวัดซึ่งเป็นข้อมูลที่หาได้ จากผู้ผลิตหรือดูจากข้อกำหนดมาตรฐานสากลของเครื่องมือวัด ในกรณีที่เครื่องมือวัดนั้นได้รับการรับรองว่าผลิตตามมาตรฐานสากล เช่น ISO Series ต่างๆ ตามชนิดของเครื่องมือเป็นต้น แต่ความมั่นใจจะเกิดขึ้นได้อย่างไร ถ้ายังไม่มีการทดสอบเพื่อยืนยันว่าเครื่องมือวัดนั้นคลาดเคลื่อนอยู่ในของเขตที่กำหนดนั้นจริง การสอบเทียบเครื่องมือวัด จึงเป็นหัวข้อหลักของการทดสอบเครื่องมือวัดทุกชนิด ดังกล่าวนำในเบื้องต้น การสอบเทียบคือ การนำเครื่องมือวัดไปวัดมาตรฐานของการวัด แล้วหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ถูกต้องของมาตรฐานของการวัด ผู้ทำการสอบเทียบจะต้องจัดหามาตรฐาน ของการวัดให้เหมาะสมกับเครื่องวัด และจะต้องมีค่าของมาตรฐานที่ถูกต้องสามารถยืนยันได้อย่างน่าเชื่อถือ *J.M. Juran (1993, หน้า 448)*

2.7 ความผันแปรในระบบการวัด

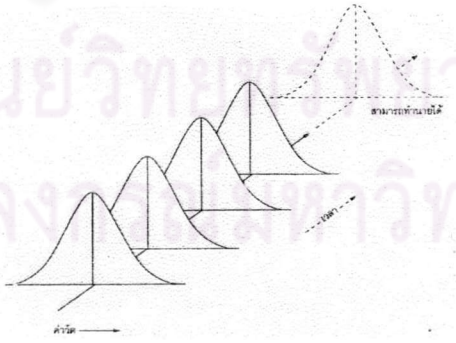
"การวัด" เปรียบเสมือนประตูสู่การควบคุมผลิตภัณฑ์และการควบคุมกระบวนการเพื่อการประกันคุณภาพ จะเรียกศาสตร์ของการวัดนี้ว่า มาตรวิทยา (Metrology) ซึ่งหมายถึง วิชาที่ว่าด้วยการวัดโดยในนิยามเกี่ยวกับการวัดนี้ ได้มีคำนิยามความหมาย เพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างง่ายๆ และครอบคลุม *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 8)* เช่น

การวัด (มาตรวิทยา) หมายถึง การกำหนดค่าตัวเลขให้แก่วัตถุเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ที่แท้จริงของวัตถุ ดังกล่าวด้วยคุณสมบัติเฉพาะที่กำหนด (คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ฯลฯ อาทิ ความยาว ความแข็ง ความหนา ฯลฯ) หรือในมาตรฐาน ISO 10012-1 ได้นิยามความหมายของการวัดว่า ชุดของการปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาค่าของปริมาณอันหนึ่ง

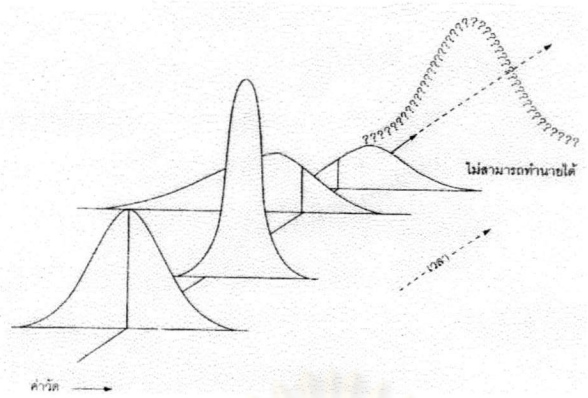
จากนิยามที่กล่าวมานี้ จะพบว่า มีคำสำคัญสำหรับการวัดคือ ค่าคงที่ของสิ่งที่ได้รับการวัด ซึ่งเป็นค่าที่ไม่อาจทราบค่าได้ ในทางทฤษฎี เรียกว่า ค่าจริง (True Value) ทางมาตรวิทยาอาจเรียกค่าดังกล่าวว่า ค่าที่เห็นพ้องกัน (Consensus Value) หรือค่าที่ได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไป (Generally Accepted Value) หรือค่ามาสเตอร์ (Master value) นอกจากนี้ยังมีคำสำคัญอีกคำหนึ่ง คือ ชุดปฏิบัติการในการมอบหมายค่าตัวเลข ซึ่งหมายถึง กระบวนการวัด หรือระบบการวัด โดยมีองค์ประกอบหลักๆ คือ

- วิธีการวัด (Standard: Method)
- สิ่งที่ได้รับการวัด (Workpiece: Part)
- เครื่องมือวัด (Instrument: Gage)
- พนักงานวัด (Person: Appraiser)
- สิ่งแวดล้อมในการวัด (Environment)

เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้ (SWIPE) จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดเสมอ ความผันแปรในระบบการวัดเหล่านี้ มาจาก 2 สาเหตุหลักๆ คือ สาเหตุสามัญ (Chance Cause or Common Cause of Variation) แล้วค่าความผันแปรจะอยู่ในลักษณะเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ ดังรูปที่ 2.2 แต่ถ้าหากความผันแปรเกิดจากสาเหตุความผิดพลาดอันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอก และอาจจะเรียกสาเหตุดังกล่าวว่า สาเหตุแห่งความผิดพลาด (Assignable Cause or Special Cause of Variation) เป็นสาเหตุที่สอง โดยค่าความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ ดังรูปที่ 2.3



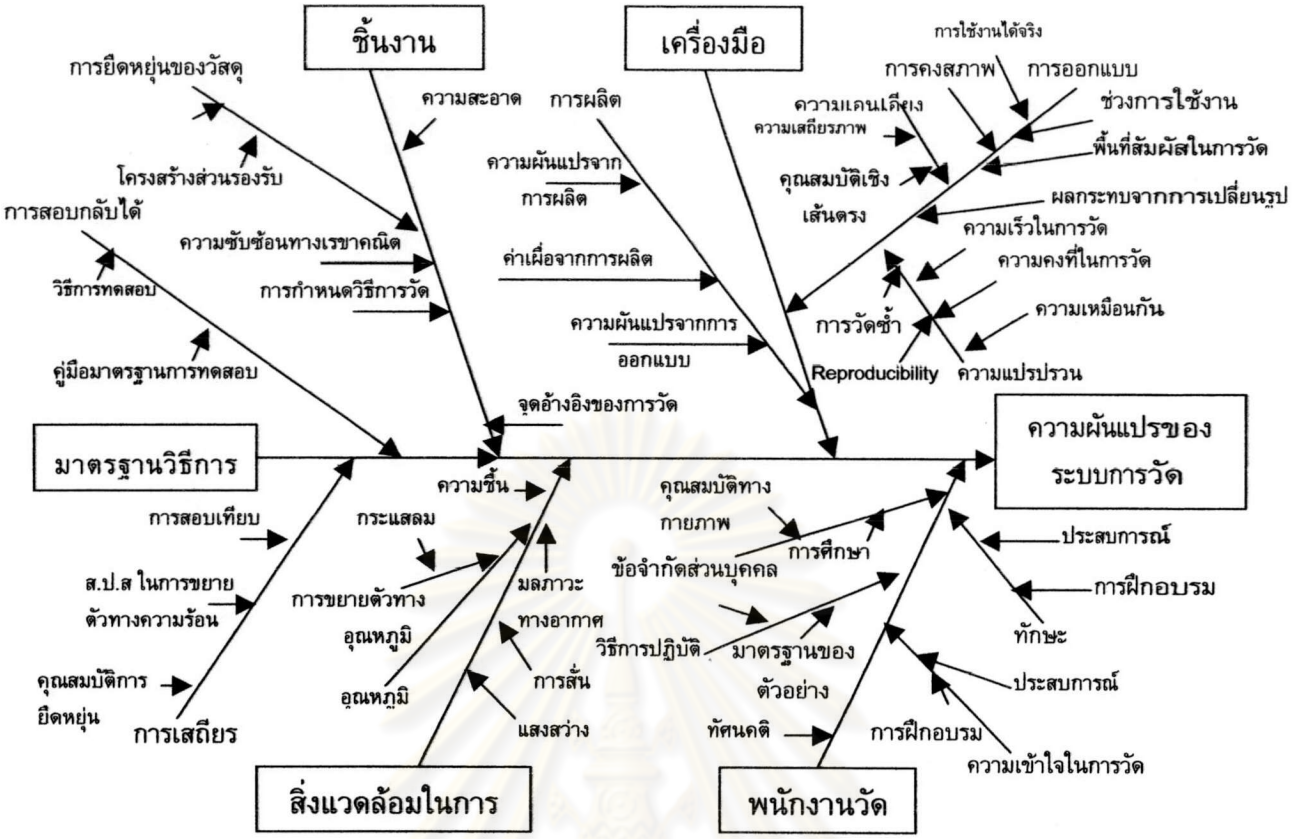
รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการวัดที่เสถียร



รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการวัดที่ไม่เสถียร

ดังนั้นในการวัดเพื่อการประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดแล้วทำการกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง ดังตัวอย่างการวิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรของระบบการวัดโดยการวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิก้างปลา ดังรูปที่ 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แผนภูมิก้างปลาของสาเหตุของความผันแปรของระบบการวัด (www.qs9000.com)

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าสาเหตุแห่งความผันแปรของระบบการวัด สามารถจำแนกออกได้เป็นปัจจัยหลักๆ 5 ปัจจัย ดังที่เคยกล่าวมาแล้ว ได้แก่

- ชิ้นงานที่ทำการวัด โดยความผันแปรเป็นผลมาจากวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบ และการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ ซึ่งชิ้นงานตัวอย่างที่ดี ควรได้มาจากการทำงานจริงในกระบวนการและมีค่าครอบคลุมทั้งค่าคลาดเคลื่อนอนุโลมและความผันแปรของกระบวนการผลิตชิ้นงานดังกล่าว เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเป็นตัวแทนที่ดีของระบบการวัดชิ้นงานดังกล่าว
- พนักงานวัด โดยความผันแปรเป็นผลมาจากการฝึกอบรมพนักงาน และความชำนาญในการวัด ความสามารถในการทำเหมือนระหว่างพนักงานผู้ที่ทำการวัดชิ้นงานในจุดตรวจสอบเดียยวกัน การเคลื่อนไหวของร่างกายเพื่อวัดชิ้นงาน

- วิธีการวัด โดยความผันแปรเป็นผลมาจากวิธีการทดสอบ คู่มือมาตรฐานในการวัดภายในโรงงาน ตัวอย่างแสดงวิธีการวัด หรือตัวอย่างชิ้นงานผ่านและไม่ผ่าน และมาตรฐานการวัดในระดับสากลต่างๆ
- เครื่องมือวัด โดยความผันแปรเป็นผลมาจาก ความละเอียดของเครื่องมือเมื่อเปรียบเทียบกับความผันแปรจากกระบวนการผลิตชิ้นงาน ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้อยู่ในระดับความละเอียดมากกว่า 10 เท่าของความผันแปรของกระบวนการผลิต ความเอนเอียงของเครื่องมือวัดในการอ่านค่าคาดเคลื่อนจากค่าที่ถูกต้อง การสอบเทียบชิ้นงาน ความสามารถในการทำซ้ำของเครื่องมือวัด และคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัด
- สภาพแวดล้อมในการวัด โดยความผันแปรเป็นผลจาก อุณหภูมิ ความสั่นสะเทือน ความชื้น และแสงสว่าง

จากสาเหตุทั้งหมดที่ได้กล่าวถึงได้ว่า หากไม่มีการควบคุมปัจจัยดังกล่าว ความผันแปรของระบบการวัดก็อาจเกิดขึ้นได้อย่างไม่แน่นอน และมีความผันแปรในระดับสูง ซึ่งระบบการวัดก็จะมีค่าความผันแปรที่ไม่มีเสถียรภาพ ทำให้เกิดความไม่เชื่อมั่นในค่าที่วัดได้ ซึ่งสาเหตุของความผันแปรดังกล่าวจะเรียกว่า สาเหตุพิเศษ ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ และหากมีการควบคุมปัจจัยทั้งหมดดังกล่าว ความผันแปรของระบบการวัดก็จะมีความผันแปรในระดับหนึ่ง ซึ่งคงที่และสามารถควบคุมได้ โดยความผันแปรดังกล่าวจะมาจากสาเหตุสามัญเท่านั้น ดังนั้นความน่าสนใจของการศึกษาหาสาเหตุของความผันแปร และการควบคุมให้เกิดมาตรฐาน *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 11)* ได้ให้ตัวอย่างสาเหตุแห่งความผิดพลาดจากค่าที่ได้จากการวัดไว้ดังตารางที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ตารางที่ 2.1 สาเหตุแห่งความผิดพลาดในการวัดด้วยเครื่องมือวัดเชิงกล

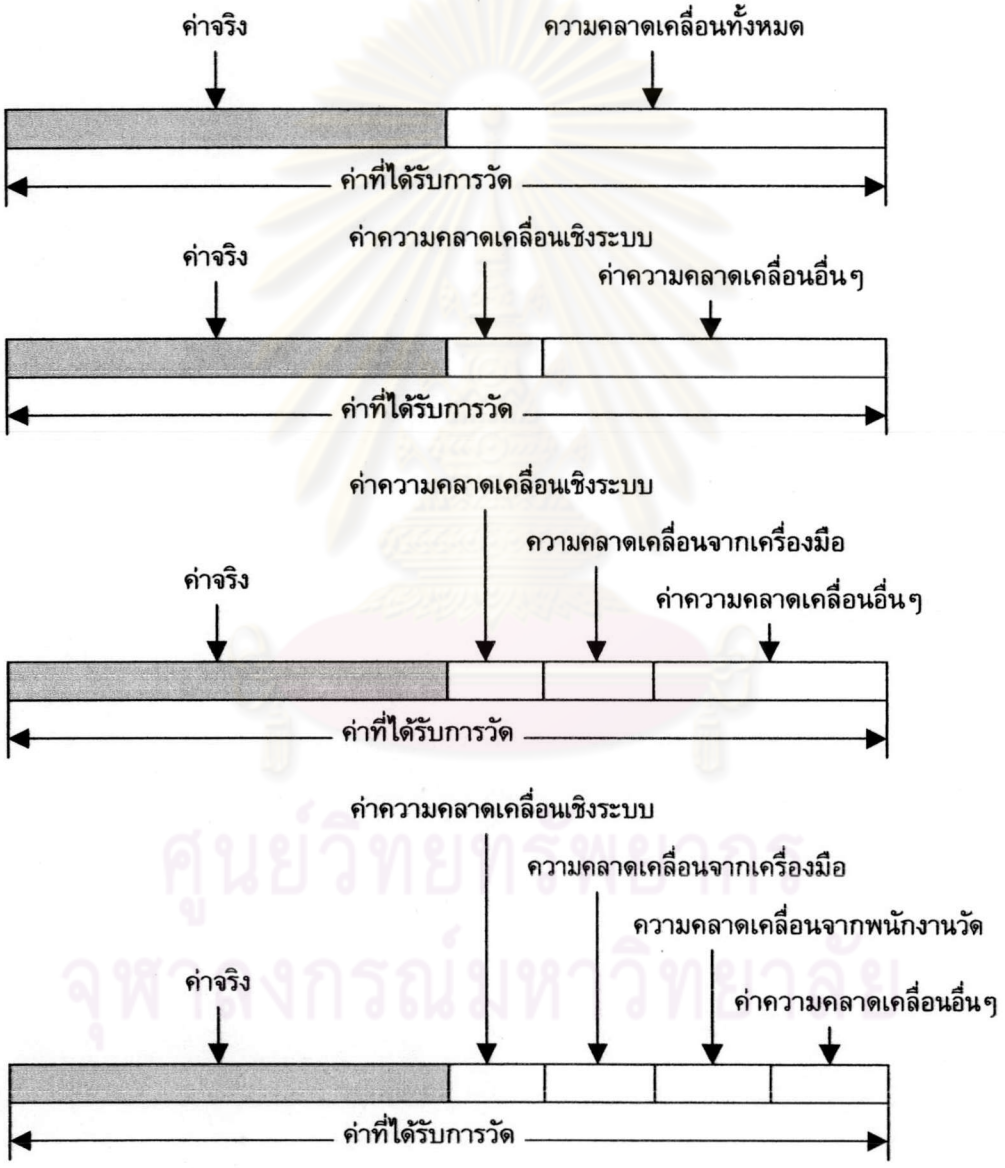
สาเหตุต่างๆ สามารถสรุปได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ สาเหตุสามัญ และสาเหตุพิเศษ ดังสรุปในตารางที่ 2.2

ประเภทของความผันแปร	สาเหตุความผันแปร	ตัวแบบความผันแปรของค่าวัด	การแก้ไข
ความผันแปรภายใน • เกิดโดยธรรมชาติ • สามารถคาดการณ์ได้	สาเหตุสามัญ (Common Cause)	ค่าวัดกระจายสมมาตรรอบค่าที่ควรจะเป็น (รูปทรงปกติที่คงที่)	ลดความผันแปรด้วยการจัดการกับระบบ
ความผันแปรภายนอก • เกิดจากปัจจัยภายนอก • เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว ไม่สามารถคาดการณ์ได้	สาเหตุพิเศษ (Special Cause)	ค่าวัดกระจายในรูปทรงและตำแหน่งต่างๆที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้	แก้ปัญหาที่จุดตรวจวัด

ตารางที่ 2.2 ประเภทความผันแปรในระบบการวัด

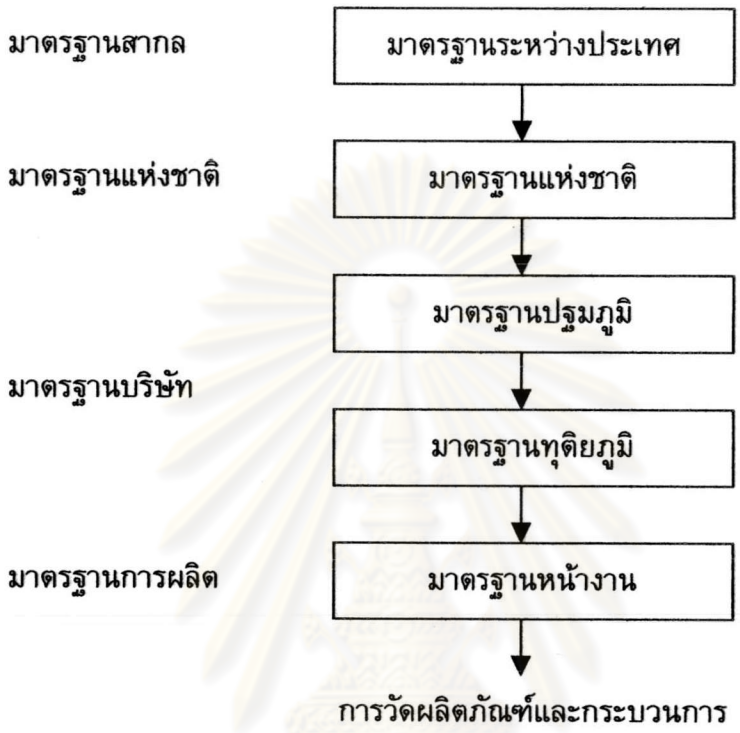
2.8 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้ มีจุดประสงค์สำคัญใน การวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุออกดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 และเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดทั้งนี้ด้วยการดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 13)*



รูปที่ 2.5 แสดงการจำแนกความคลาดเคลื่อนจากการวัดออกเป็นแหล่งต่างๆ

จากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ โดยการสอบเทียบนี้หมายความถึง กระบวนวิธีในการถ่ายค่ามาตรฐานของค่าวัดมาตรฐานที่สูงกว่าสู่มาตรฐานที่ต่ำกว่า *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 14)* โดยระบบการสอบเทียบดังกล่าวนี้ต้องสามารถสอบกลับได้ (Tractability) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของการสอบเทียบได้สำหรับมาตรฐานการสอบเทียบ

ในการสอบเทียบเพื่อการลดและกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้ มีความจำเป็นต้องทำการพิจารณาใน 3 ประเด็นหลัก *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 15)* คือ

1. ขนาดของความไม่แน่นอนของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว
2. ประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความไม่แน่นอน
3. วิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่ได้

โดยปกติแล้วในการประเมินความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบนี้แสดงในรูปของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Absolute Errors) และความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ (Relative Errors) โดยที่

ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ $= X - \mu$

และความคลาดเคลื่อนสัมพันธ์ $= (X - \mu) / \mu \times 100\%$

หลังจากการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบแล้ว จะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงาน ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด จากที่กล่าวมานี้ จะพบว่าถ้าหากพิจารณาถึงองค์ประกอบของค่าวัดแต่ละค่าแล้ว จะได้ว่า

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

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

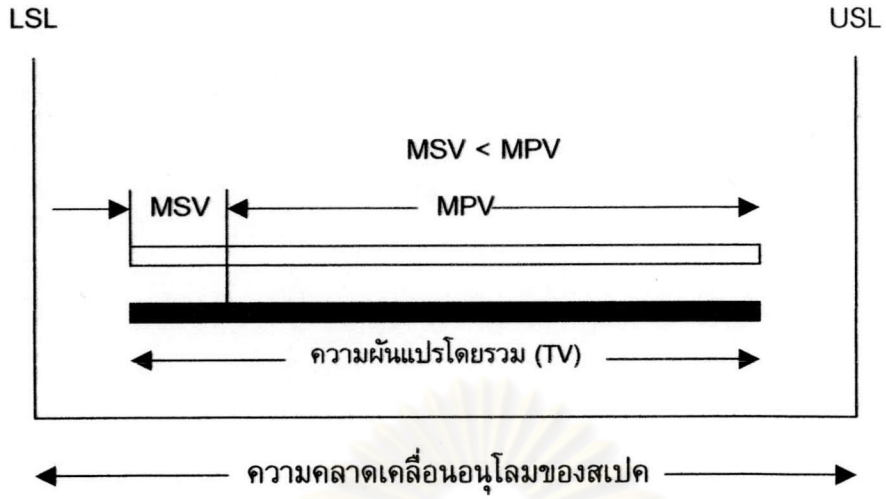
และจะได้ค่าความผันแปรของค่าวัด (Measurement Variation) ว่า

$$\sigma^2 = \sigma^2_\alpha + \sigma^2_\beta + \sigma^2_{\alpha\beta} + \sigma^2$$

ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดจากค่าที่ได้เพื่อแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part-to-Part Variation: PV) พนักงานวัด (Appraiser Variation: AV) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation: IV) และแหล่งผันแปรอื่นๆที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติจะมีแหล่งผันแปรหลักๆมาจากอุปกรณ์วัด (Equipment Variation: EV)

เมื่อมีการวิเคราะห์ถึงความผันแปรจากระบบการวัด จะทำการประเมินเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) หรือความผันแปรจากกระบวนการผลิต (Manufacturing Process Variation - MPV) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ต้องพยายามทำให้ความผันแปรจากระบบการวัดน้อยกว่าข้อกำหนดเฉพาะ และความผันแปรจากกระบวนการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 แสดงแนวความคิดในการประเมินความผันแปร

ได้เสนอว่าในการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดนี้ จะมีประเด็นหลักๆต้องพิจารณา 5 ประการ คือ

1. การพิจารณาว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างที่เพียงพอหรือไม่
2. การพิจารณาว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านความถูกต้องหรือความไม่เอนเอียงตลอดเวลาหรือไม่หรือมีความเสถียรภาพหรือไม่
3. การพิจารณาว่าคุณสมบัติเชิงสถิติมีความสม่ำเสมอตลอดเวลาหรือไม่
4. การพิจารณาว่าคุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่
5. การพิจารณาว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

2.9 การวิเคราะห์ระบบการวัด วิธีการ และการตีความหมาย

การวิเคราะห์ระบบการวัด จะแบ่งออกเป็น การวิเคราะห์ความถูกต้อง (Accuracy)ของระบบการวัด และการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 72)*

การวิเคราะห์ระบบการวัด ด้านความถูกต้อง (Accuracy) มีการพิจารณาใน 3 ประเด็น คือ คุณสมบัติด้านความเอนเอียง คุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของระบบการวัด และคุณสมบัติเชิง

เส้นตรง โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทั้ง 3 ประการนี้มีความจำเป็นต้องกำหนดค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์ให้กับงานมาตรฐาน ด้วยการวัดซ้ำภายใต้สภาวะควบคุม แล้วทำการเฉลี่ยออกความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาตินั้น เพื่อกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์

คุณสมบัติด้านความเอนเอียงจะเป็นการกำหนดถึงความถูกต้องของค่าวัดที่ได้อันเนื่องมาจากปัจจัยภายในของระบบการวัด โดยอาจจะใช้สิ่งตัวอย่างเดียวหรือแผนภูมิควบคุมก็ได้ ส่วนคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของระบบการวัดจะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความเอนเอียงเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปอันเนื่องมาจากสาเหตุความเสื่อมต่างๆ ภายในระบบการวัดซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดีด้วยแผนภูมิควบคุม Xbar – R และคุณสมบัติประการสุดท้ายคือ คุณสมบัติเชิงเส้นตรงจะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความเอนเอียงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงย่านการวัดไป ซึ่งมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ถดถอย

ในการพิจารณาปริมาณทั้งค่าความเอนเอียง ค่าความมีเสถียรภาพ และดัชนีเชิงเส้นตรงนี้สามารถเทียบได้ทั้งความผันแปรของกระบวนการหรือความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ ขึ้นอยู่กับว่าประยุกต์ใช้ระบบการวัดนั้นเพื่อการประเมินความแตกต่างในกระบวนการ หรือการประเมินงานดี เสีย โดยลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปมักกำหนดเกณฑ์การยอมรับไว้ที่ 5% แต่ถ้าหากปริมาณดังกล่าวมีค่าเกิน 10% แล้วก็มีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุความผิดพลาดและแก้ไขในที่สุด

จากสมการในหัวข้อที่ 2.8 คือ $X_{ij} = \mu + b + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$

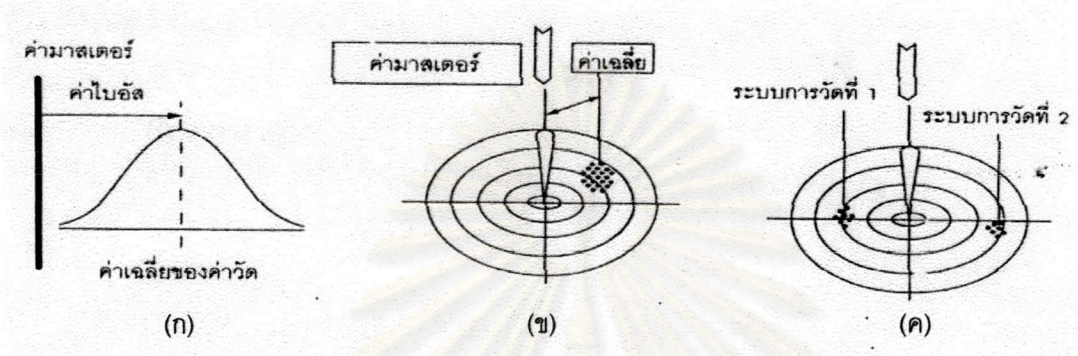
จะพบว่า ค่าวัดของข้อมูลจากระบบการวัดใดๆ จะมีค่าเอนเอียงไปจากค่าจริงของงาน (μ) เสมอ เนื่องจากคุณสมบัติด้านความถูกต้องหรือค่าความเอนเอียง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติด้านความถูกต้องหรือความไม่เอนเอียงตลอดเวลาหรือไม่ ตลอดจนการศึกษาคุณสมบัติเชิงสถิติว่าค่าวัดมีความสม่ำเสมอ (Consistent) ตลอดเวลาหรือไม่ โดยการวิเคราะห์นี้จะมุ่งพิจารณาในคุณสมบัติ 3 ประการ คือ ค่าความเอนเอียง ค่าเสถียรภาพของระบบการวัด และ คุณสมบัติเชิงเส้นตรง

2.9.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประการคือ ค่าความเอนเอียง (Bias) ค่าเสถียรภาพระบบการวัด (Stability) ค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 56)*

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเอนเอียงของระบบการวัด

ค่าความเอนเอียง หมายความถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดจากค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์ (โดยที่ค่ามาสเตอร์จะหมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากการวัดซ้ำด้วยเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าภายใต้สภาวะควบคุม หรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และต้องสามารถสอบกลับได้) และค่าความเอนเอียงนี้ เป็นค่าประเมินคุณสมบัติด้านความถูกต้องของระบบการวัด ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงความหมายของคุณสมบัติด้านความเอนเอียงของระบบการวัด

การประเมินค่าความเอนเอียง โดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method) ในการประเมินผล *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 56)* มีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1. เลือกงานมาตรฐานในการวัดขึ้นมาชิ้นหนึ่ง ที่สามารถสอบกลับค่าไปยังค่ามาตรฐานที่สูงกว่าได้ และในกรณีที่ไม่สามารถหางานมาตรฐานดังกล่าวได้ ให้ทำการเลือกชิ้นงานหนึ่งชิ้นงานจากสายการผลิตที่อยู่ในช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดให้เป็นงานมาสเตอร์ โดยให้ทำการวัดงานมาสเตอร์นี้ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าวัดดังกล่าวเป็น "ค่าอ้างอิง (Reference value)"
2. ใช้พนักงานที่มีความสามารถในการใช้เครื่องมือวัดอย่างดีทำการวัดงานมาสเตอร์ดังกล่าวอย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะการวัดที่ต้องการประเมินผล
3. ทำการเฉลี่ยค่าวัดดังกล่าว
4. ทำการประเมินค่าความเอนเอียง โดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

   ค่าความเอนเอียง = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด – ค่าอ้างอิง

5. ประเมินผลค่าความเอนเอียงเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้ (ในกรณีใช้ระบบการวัดในการประเมินผลงานดี เสีย) หรือให้ประเมินค่าความเอนเอียงเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ (ในกรณีใช้ระบบการวัดในการประเมินงานในกระบวนการผลิต) โดยที่

% ความเอนเอียงของความคลาดเคลื่อนอนุโลม

= (ค่าความเอนเอียง)/(USL – LSL) x 100%

% ความเอนเอียงของกระบวนการ

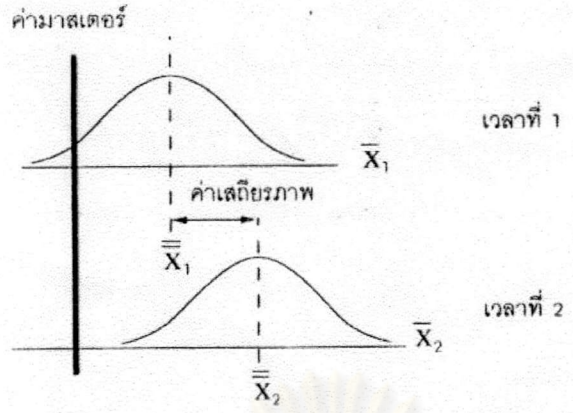
= (ค่าความเอนเอียง)/ความผันแปรของกระบวนการ x 100%

ในกรณีที่ค่า%ความเอนเอียง มีค่าค่อนข้างสูง ให้ทำการค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข โดยมีสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 62)* ดังนี้

1. เกิดความคลาดเคลื่อนในค่ามาสเตอร์ ต้องทำการตรวจสอบวิธีการที่ได้มาซึ่งค่าอ้างอิงใหม่
2. เกิดความสึกหรอในเครื่องมือวัด (ควรมีการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของระบบการวัด) ซึ่งควรมีการบำรุงรักษาหรือทบทวนแผนการบำรุงรักษาใหม่
3. เกิดจากการใช้เครื่องมือวัดวัดมิติที่ผิดพลาด
4. เกิดจากการใช้เครื่องมือวัดวัดคุณลักษณะที่ผิดพลาด
5. เกิดจากการสอบเทียบเครื่องมือวัดไม่สมบูรณ์ ควรมีการทบทวนวิธีการสอบเทียบใหม่
6. เกิดจากพนักงานวัดใช้เครื่องมือวัด ไม่ถูกต้อง ควรมีการทบทวนวิธีการใช้เครื่องมือตรวจสอบใหม่
7. เกิดจากความไม่ถูกต้องของวิธีการปรับแก้เครื่องมือวัด

การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด

คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด จะหมายถึง คุณสมบัติด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์วัด โดยพิจารณาจากความผันแปรโดยรวมในระบบการวัดที่ได้จากการวัดงานมาตรฐานหรือมาสเตอร์ชิ้นหนึ่งตลอดช่วงเวลา *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 62)* (มักกำหนดเป็นวันหรือสัปดาห์ มิใช่การกำหนดเป็นหน่วยชั่วโมง) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงความหมายของคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 63) ในการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้วิเคราะห์จะต้องแยกความแตกต่างระหว่างความมีเสถียรภาพของระบบการวัดกับความมีเสถียรภาพเชิงสถิติให้ได้เสียก่อน โดยที่ว่า "ความมีเสถียรภาพเชิงสถิติ" จะหมายถึงความสามารถในการคาดการณ์ได้ ที่ไม่มีความจำเป็นต้องใช้กับระบบการวัด แต่สามารถใช้ได้กับคุณสมบัติต่างๆ อาทิ ค่าความความเอนเอียง ผลจากกระบวนการ ฯลฯ เช่นกระบวนการมีเสถียรภาพ (สามารถคาดการณ์ผลจากกระบวนการได้) ดังนั้นหากพิจารณาระบบการวัด 2 ระบบแล้วพบว่าระบบทั้งสองให้ความมีเสถียรภาพ แม้ว่าจะมีระบบหนึ่งมีความผันแปรของค่าความเอนเอียงมากกว่าอีกระบบหนึ่งก็ตาม (ความผันแปรในแผนภูมิควบคุม R มีขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) จะถือว่า ระบบการวัดทั้งสองมีความเสถียรภาพ "เท่ากัน' แต่หากพิจารณาความมีเสถียรภาพของระบบการวัดแล้ว จะถือว่าระบบการวัดที่มีค่าความผันแปรของค่าความเอนเอียงมากกว่า เป็นระบบการวัดที่มีความเสถียรภาพ "น้อยกว่า" อีกระบบการวัดหนึ่งที่มีค่าความผันแปรของค่าความเอนเอียงน้อยกว่า

คุณสมบัติด้านความมีเสถียรถภาพนี้ถือว่ามีความสำคัญมากต่อการประเมินผลทางสถิติ ทั้งนี้เพราะว่าถ้ากระบวนการการวัดมิได้อยู่ภายใต้สภาวะเสถียรภาพแล้ว ตัวเลขต่างๆ ที่ประเมินได้ทั้งค่าความเอนเอียง ค่ารีพีททะบิลิตี้ ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ ฯลฯ จะเป็นเพียงตัวเลขที่ได้ระหว่างการศึกษาเท่านั้น แต่จะไม่สามารถนำไปคาดการณ์ใดๆ เพื่อการตัดสินใจได้เลย นอกจากนี้แล้ว ถ้าหากทีการตัดสินใจดำเนินการใดๆ กับระบบการวัดภายใต้สภาวะที่ไม่เสถียรภาพนี้ กลับจะเป็นการเพิ่มความผันแปรของระบบการวัดให้มากขึ้น

ประเด็นที่มีความสำคัญมากประการหนึ่งต่อการศึกษาความมีเสถียรภาพของระบบการวัดนี้ คือ ระยะเวลาที่ทำการศึกษา ซึ่งมีความจำเป็นต้องพิจารณาให้เหมาะสมโดยการคำนึงถึง ระยะเวลา

ที่ทำให้ค่าความเอนเอียงของระบบการวัดเพิ่มขึ้นตามเวลาการใช้งาน เนื่องมาจากการเสื่อมสภาพโดยธรรมชาติของระบบการวัดเท่านั้น นั่นคือ ความพยายามในการเลือกศึกษาให้ระบบการวัดมีค่าความเอนเอียงที่ขึ้นกับปัจจัยภานนอกต่างๆ ให้น้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนไป เช่น ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิ ฯลฯ ก็จะมีผลให้ระบบการวัดไม่มีความเสถียรภาพทั้งสิ้น

ในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัด จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. เลือกงานมาตรฐานในการวัดขึ้นมาชิ้นหนึ่งที่สามารถสอบกลับค่าไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ และในกรณีที่ไม่สามารถหางานมาตรฐานดังกล่าวได้ ให้ทำการเลือกงานชิ้นหนึ่งมาจากสายการผลิตที่อยู่ในช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดให้เป็นงานมาสเตอร์ ซึ่งในการศึกษาความมีเสถียรภาพนี้ไม่มีความจำเป็นต้องกำหนดค่าให้กับงานมาสเตอร์นี้
2. ภายใต้ช่วงระยะที่เหมาะสม (รายวันหรือรายสัปดาห์) ให้ทำการวัดงานมาสเตอร์นี้ 3-5 ครั้ง โดยขนาดสิ่งตัวอย่างและความถี่ที่ทำการวัดนี้จะขึ้นอยู่กับความรู้ของผู้วิเคราะห์ในระบบการวัดนั้น โดยทั่วไปควรคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ อาทิ ความถี่ในการสอบเทียบใหม่ของเครื่องมือวัด ความถี่ในการซ่อมเครื่องมือวัด (หรือระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการขัดข้อง ;MTBF) ความถี่ในการใช้เครื่องมือวัด ฯลฯ โดยพยายามให้องค์ประกอบเหล่านี้รวมอยู่ในความผันแปรในกลุ่มย่อย เพื่อการ "เฉลี่ยออก" ไปสำหรับการพิจารณาความมีเสถียรภาพ
3. ให้พลอตกราฟแผนภูมิควบคุม Xbar-R พร้อมคำนวณพิกัดควบคุม
4. ให้วิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม ซึ่งถ้าหากมีปัญหาความไม่เสถียรภาพแล้ว แผนภูมิ Xbar-R จะแสดงสภาวะออกนอกการควบคุม
    - ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอที่มีความจำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อยแล้วทำการแก้ไข
    - ถ้าแผนภูมิ Xbar แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในการวัด คือค่าความเอนเอียงเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไขแต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายใน คือ ความสึกหรือของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่
5. ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด โดยที่

$$\text{ความมีเสถียรภาพ} = \bar{\bar{X}}_2 - \bar{\bar{X}}_1$$

โดยที่ $\bar{\bar{X}}_1$ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเริ่มศึกษา

$\bar{\bar{X}}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อพบการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิ $\bar{X}$ จากสาเหตุด้านปัจจัยภายในระบบการวัด

จากนั้น ให้ทำการประเมิน % ความมีเสถียรภาพเมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้ (ในกรณีใช้ระบบการประเมินงานดี เสีย) หรือให้ประเมิน % ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ (ในกรณีใช้ระบบการวัดในการประเมินงานในกระบวนการผลิต) โดยที่

% ความมีเสถียรภาพของความคลาดเคลื่อนอนุโลม $= (\bar{\bar{X}}_2 - \bar{\bar{X}}_1) / (USL - LSL) \times 100\%$

% ความมีเสถียรภาพของกระบวนการ $= (\bar{\bar{X}}_2 - \bar{\bar{X}}_1) /$ ความผันแปรของกระบวนการ $\times 100\%$

และโดยทั่วไปแล้ว ต้องมีการประเมินค่า % ความมีเสถียรภาพที่ได้ด้วย โดยมีกฎเกณฑ์เดียวกับกรณีความเอนเอียง กล่าวคือ

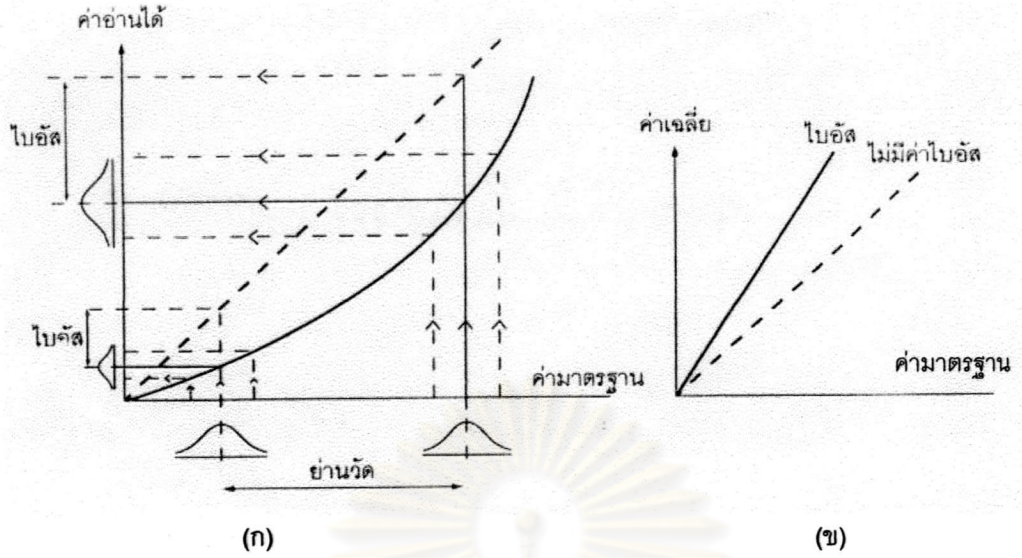
% ความมีเสถียรภาพ < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ % ความมีเสถียรภาพ < 10%	อาจยอมรับได้ (ให้พิจารณาปัจจัยอื่นๆ อาทิ การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ)
% ความมีเสถียรภาพ ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข (ทบทวนระยะเวลาการสอบเทียบใหม่)

อย่างไรก็ตาม AIAG ได้แนะนำว่า ในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดนี้ ไม่จำเป็นต้องประเมินผลออกมาดังสมการ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถใช้แผนภูมิควบคุม Xbar-R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม Xbar ต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) ของระบบการวัด จะหมายถึง การที่ค่าความเอนเอียงของระบบการวัดจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตลอดย่านวัด (Working Range) ของระบบการวัดดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งจะพบว่าค่าความเอนเอียงจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนย่านการวัดไป นอกจากนี้จะสังเกตจากรูปที่ 2.10 (ก) ได้ว่าค่าความแม่นยำของค่าวัดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเมื่อมีการเปลี่ยนย่านการวัดไป *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 65)*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

ในการพิจารณาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดจะได้มาจากการเลือกชิ้นงานตลอดช่วงย่านวัด เพื่อศึกษาถึงค่าความเอนเอียงที่แต่ละค่ามาตรฐาน(ค่าอ้างอิง) แล้วพิจารณาถึงค่าเปลี่ยนแปลงค่าความเอนเอียง(ค่าความชัน) และถ้าพบว่าระบบการวัดขาดคุณสมบัติเชิงเส้นตรงแล้ว มีความจำเป็นต้องพิจารณาหาสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งดังต่อไปนี้ *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 66)*

1. เครื่องมือวัดมิได้รับการสอบเทียบอย่างถูกต้องทั้งที่ด้านล่างและด้านบนของย่านการวัดที่ทำการพิจารณา
2. มีความคลาดเคลื่อนที่ชิ้นงานมาตรฐาน (มาสเตอร์) ที่ขนาดเล็กและขนาดใหญ่
3. เครื่องมือวัดมีความสึกหรอ
4. สาเหตุมาจากปัจจัยภายในอันเนื่องมาจากการออกแบบเครื่องมือวัด

ในการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. ให้ทำการเลือกชิ้นงาน 5 ถึง 8 ชิ้น (ขึ้นอยู่กับขนาดความผันแปรของกระบวนการที่ศึกษา) ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของระบบการวัด
2. ให้ทำการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยออกสาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิง หรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

3. ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ดังกล่าวชิ้นละ 10 ถึง 12 ครั้ง โดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม
4. ทำการคำนวนค่าเฉลี่ยของการวัดแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์พร้อมทั้งหาค่าความเอนเอียงที่แต่ละค่ามาสเตอร์โดย ค่าความเอนเอียง = ค่าเฉลี่ยของการวัด – ค่ามาสเตอร์
5. พล๊อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X) หมายถึงค่ามาสเตอร์ และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าความเอนเอียง จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดย

$$R^2 = \beta_1 S_{XY} / S_{YY}$$

โดย $S_{YY} = \sum Y^2 - (\sum Y)^2/n$

$S_{XY} = \sum XY - ((\sum X)(\sum Y))/n$

$\beta_1 = S_{XY} / S_{XX}$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ (โดยทั่วไปแนะนำว่า ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.70) ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยใช้วิธีการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

6. เมื่อค่าความเอนเอียงและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นตรง $Y = \beta_0 + \beta_1 X$

เมื่อ $\beta_1 = S_{XY} / S_{XX}$

และ $\beta_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X}$

7. ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index) ของระบบการวัดโดยที่

ดัชนีเชิงเส้นตรง $= \beta_1$ x ความผันแปรของกระบวนการ

หรือ $= \beta_1$ x (USL – LSL)

และ % เชิงเส้นตรงของความผันแปรของกระบวนการ

= ดัชนีเชิงเส้นตรง/(ความผันแปรของกระบวนการ) x 100% (1)

หรือ % เชิงเส้นตรงของความคลาดเคลื่อนอนุโลม

= ดัชนีเชิงเส้นตรง/(USL – LSL) x 100% (2)

โดยการพิจารณาสมการที่ (1) และ (2) ให้พิจารณาว่าระบบการวัดดังกล่าวใช้สำหรับการวัดความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการ หรือสำหรับการวัดเพื่อแยกแยะงานดี เสีย เช่นเดียวกับคุณสมบัติด้านความเอนเอียง และคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้รวมเกณฑ์การตัดสินใจด้วยกล่าว คือ

% เชิงเส้นตรง < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ % เชิงเส้นตรง ≤ 10%	อาจจะยอมรับได้ (ให้พิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ อาทิ การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ)
% เชิงเส้นตรง ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้าหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข (ต้องแนะนำให้ผู้ใช้ได้รับทราบถึงย่านการวัดที่มีคุณสมบัติเชิงเส้นตรง)

2.9.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

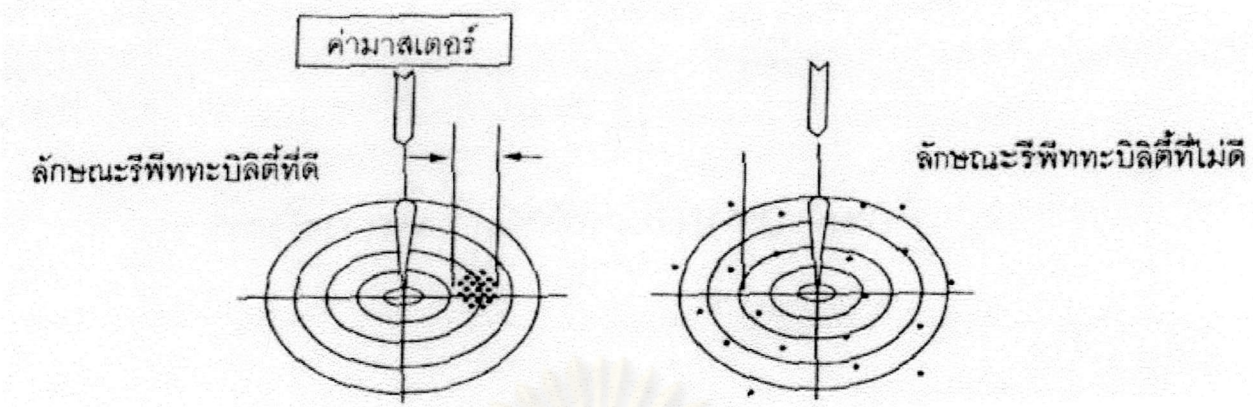
ในการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของระบบการวัด (Uncertainty of Measurement) ที่ถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในระบบการบริหารคุณภาพ นอกจากจะมีความไม่แน่นอนจากความถูกต้องของระบบการวัด ที่ได้เคยกล่าวมาแล้ว ยังมีความไม่แน่นอนจากความแม่นยำของระบบการวัดด้วย ดังที่จะกล่าวต่อไป โดยจะมีการแยกเนื้อหาออกเป็นส่วนของการความหมายและแนวความคิดและส่วนของการประเมินผล *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 79)*

ในการวิเคราะห์ความแม่นยำนี้ จะมุ่งพิจารณาใน 2 ประเด็นหลักๆ คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์วัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการหรือไม่ *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 80)*

คุณสมบัติความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นจะได้รับการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility)

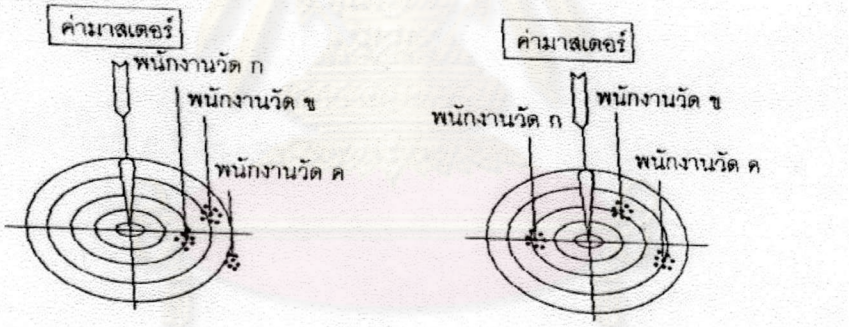
รีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน และด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่ารีพีททะบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (Short-term Measurement) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะความผันแปรแบบรีพีททะบิลิตี้

รีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติจะใช้ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (Long-term Measurement) ดังแสดงในรูปที่ 2.12

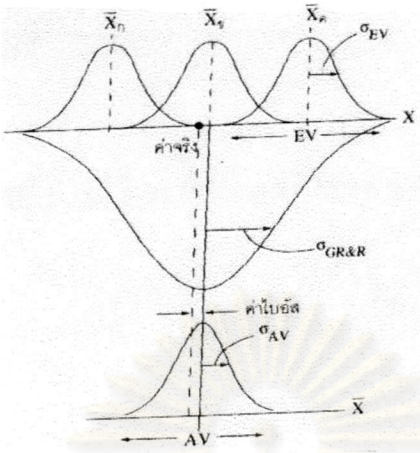


รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะความผันแปรแบบรีโปรดิวซิบิลิตี้

อาจจะกล่าวอย่างสั้นๆ ได้ว่า รีพีททะบิลิตี้ คือ ความผันแปรภายในเงื่อนไขการวัดเดียวกัน ในขณะที่รีโปรดิวซิบิลิตี้ คือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขที่กล่าวถึงนี้ อาจจะหมายถึง พนักงานวัด กะงาน อุปกรณ์ยึดจับ(จิ๊กและฟิกซ์เจอร์) และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม ฯลฯ

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R – Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการ

วัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงความผันแปรจากรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้

การวางแผนการศึกษารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด มีประเด็นพิจารณาดังนี้ *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 82)*

1. วิธีการและเวลาที่จะสอบเทียบเครื่องมือวัด การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้วจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้จะเริ่มต้นขึ้น และไม่ควรจะมีการสอบเทียบใหม่หากการศึกษายังไม่สิ้นสุดลง เพราะถ้าหากมีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษาแล้ว จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัดด้วย จึงต้องพยายามลดค่าความผันแปรโดยความพยายามให้พนักงานวัดทุกคนมีความเข้าใจในกระบวนวิธีการสอบเทียบและดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ
2. จำนวนพนักงานวัดสำหรับใช้ศึกษา GR&R ในการกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัด(คือ ผู้ใช้เครื่องมือวัดในการกำหนดค่าตัวเลขชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจ) มีจำนวนเท่าใด ถ้าหากเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่ใช้พนักงานในการดำเนินการวัดเลย (เครื่องมือวัดอัตโนมัติ) หรือมีการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียวก็แสดงว่าค่าความผันแปรในระบบการวัดมิได้มีผลจากสาเหตุด้านพนักงานวัดเลย และในกรณีที่ระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคนที่กล่าวนี้จะต้องเป็นพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมมาแล้วอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษาสำหรับงานประจำ

3. จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้วัดในการศึกษา GR&R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษานั้น โดยปกติจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ต้องพยายามให้ (จำนวนสิ่งตัวอย่าง) x (จำนวนพนักงานวัด) มากกว่า 15 และถ้าหากไม่สามารถดำเนินการตามกรณีนี้ได้อีก ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ถ้าหากใช้สิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญแล้ว จะมีความหมายเท่ากับใช้สิ่งตัวอย่างเดียวกันด้วยจำนวนวัดซ้ำมากๆ) และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลแบ่งแยกไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม (ชิ้น) ในกรณีที่มีการตรวจสอบแบบทำลาย จะต้องกำหนดให้ "ล็อต (Lot)" หมายถึง สิ่งตัวอย่างสำหรับการศึกษา GR&R
4. จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น โดยปกติแล้วมักจะแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่าๆ กัน (เรียกการทดลองแบบนี้ว่า Balance Design) ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนด้วยจำนวน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น
5. วิธีลดความผันแปรในสิ่งตัวอย่างของการศึกษา GR&R ในการศึกษา GR&R บางกรณีนั้น จะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำ (หรือการประเมินรีพีททะบิลิตี้ได้) เช่น ในกรณีการตรวจสอบแบบทำลายที่จะมีความผันแปรในล็อตรวมอยู่กับรีพีททะบิลิตี้เสมอ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามเลือกงานในล็อตให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด หรือตำแหน่งงานเดียวกัน ซึ่งทำให้ไม่สามารถเฉลี่ยออกความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกไปได้ ในกรณีนี้ถ้าหากมีความจำเป็นต้องประมาณการค่ารีพีททะบิลิตี้ให้มีความถูกต้องที่สุด ก็มีความจำเป็นต้องทำการทดลองขึ้นมาเพื่อบ่งชี้ถึงปริมาณความผันแปรดังกล่าว
6. วิธีการประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ เมื่อการทดลองสิ้นสุดลง จะต้องมีการประเมินถึงคุณภาพของข้อมูลก่อนดังที่กล่าวมาแล้ว คือ การประเมินความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดและการประเมินความสุ่ม จากนั้นจึงทำการประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธี คือ
   - วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) ซึ่งเหมาะกับกรณีการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ดังนั้น วิธีการดังกล่าวนี้แม้ว่าจะมีข้อดี คือประเมินได้ง่าย แต่ก็มีข้องเสียที่สำคัญคือไม่สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้
   - วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออก

จากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้

- วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้ แต่อย่างไรก็ดี วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ความยุ่งยากในการคำนวณ จึงมีข้อแนะนำให้ใช้วิธีการนี้กับกรณีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

เมื่อมีการประเมินค่าความผันแปรรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ ซึ่งอาจเป็นค่าความคาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (เรียกว่า Precision-to-Total Variation หรือ P/TV อ่านว่า พีทูทีวี) สำหรับระบบการวัดที่ใช้ทำการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 83)* โดยที่

P/T = GR&R /(USL-LSL) x100%

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

โดยทั่วไปแล้ว มักจะกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ไว้ดังนี้

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.10 การศึกษาความสามารถของกระบวนการนับแบบข้อมูลนับ

การประเมินความสามารถของระบบการวัดเมื่อข้อมูลได้มาจากการนับ ซึ่งเป็นการประเมินผลเมื่อคุณลักษณะที่ศึกษาเป็นคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristic) เช่น รสชาติ ความเรียบร้อย ความสวยงาม ฯลฯ หรือเป็นคุณลักษณะเชิงผันแปรที่มีการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ คือ GO หรือ NOGO Gage *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 119)*

ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูลนับนี้ จะเป็นการประเมินโดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นการยอมรับและปฏิเสธ หรือ ผ่านและไม่ผ่าน จึงไม่สามารถประเมินได้ว่าคุณภาพของงานที่ตรวจสอบได้นั้นดีหรือไม่ดีอย่างไร *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 119)*

ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินผลในระยะสั้น (Short Method) และวิธีการประเมินผลในระยะยาว(Long Method) โดยแนวความคิดของการประเมินผลในระยะสั้นจะอาศัยการจำแนกชิ้นสิ่งตัวอย่างงานที่มีลักษณะทั้งดี และไม่ดีและก้ำกึ่ง (Marginal) ในจำนวนที่เหมาะสม แล้วให้พนักงานสุ่มมาหรือกำหนดไว้ล่วงหน้าทำการตรวจสอบ เพื่อจำแนกผลการตรวจสอบเป็นผ่านและไม่ผ่าน จากนั้นจะพิจารณาว่าผลการตรวจสอบซ้ำมีคุณภาพตรงกับคุณภาพแท้จริงของสิ่งตัวอย่างงานหรือไม่ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะบ่งบอกถึง "ความถูกต้อง" ในการตรวจสอบ โดยจะแบ่งลักษณะความถูกต้องนี้ออกเป็น " ความลำเอียงของลูกค้า (Customer Bias)" ที่จะหมายถึง การที่พนักงานตรวจสอบมีแนวโน้มจะตรวจสอบแล้วสรุปผลว่า "ไม่ผ่าน" สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และ " ความลำเอียงของผู้ผลิต (Product Bias)" ที่จะหมายถึง การที่พนักงานตรวจสอบมีแนวโน้มจะตรวจสอบแล้วสรุปผลว่า "ผ่าน" สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดี นอกจากนี้ยังให้ความสนใจต่อความสามารถในการตรวจสอบซ้ำของพนักงานตรวจสอบ ซึ่งโดยปกติจะทำการประเมินผลออกมาในรูปของ " ความมีประสิทธิภาพของการตรวจสอบ (Screen Effectiveness) ที่หมายถึง ความสามารถของระบบการวัด หรือตรวจสอบในการแยกแยะงานไม่ดีออกจากงานที่ดี *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 120)*

สำหรับแนวความคิดในการประเมินผลระยะยาวนั้นจะอาศัยกราฟแสดงสมรรถนะของระบบการวัด (Gauge Performance Curve; GPC) ที่แสดงถึงโอกาสในการตรวจสอบแล้ว "ยอมรับ" คุณภาพของสิ่งตัวอย่างงานที่แต่ละค่าของสิ่งตัวอย่างงานทีมีการกำหนดในรูป "ค่าอ้างอิง" เพื่อพิจารณาค่าความเอนเอียงและค่ารีพีททะบิลิตี้ โดยค่าความเอนเอียงจะทำการตัดสินใจว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากศูนย์ (คือ ไม่ความเอนเอียง) หรือไม่ โดยอาศัยตัวสถิติสำหรับทดสอบ t โดยการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจเกี่ยวกับค่าความเอนเอียงและค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัดแบบประเมินผลระยะยาวนี้ จะต้องอาศัยทฤษฎีการตัดสินใจเกี่ยวกับการทดสอบสมมุติฐาน

การประเมินผลกระบวนการวัดในระยะสั้น

ในการประเมินผลกระบวนการวัดหรือกระบวนการตรวจสอบในระยะสั้น จะมีกระบวนวิธีในการประเมินผล *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 120)*ดังนี้

1. ทำการเลือกสิ่งตัวอย่างงานจากกระบวนการผลิตประมาณ 20 – 30 ชิ้น โดยพยายามให้สิ่งตัวอย่างงานดังกล่าวประกอบด้วย สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี มีคุณภาพไม่ดี และมีคุณภาพก้ำกึ่ง ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน
2. ทำการเลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบงานมา 2-4 คนโดยพนักงานที่เลือกมาจะต้องเป็นพนักงานที่ทำหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดีและผ่านการทดสอบประเมินผลแล้ว (โดยเฉพาะการทดสอบที่อาศัยความรู้สึก เช่น กลิ่น รสชาติ สี ฯลฯ)
3. ทำการเลือกพนักงานขึ้นมาก่อนหนึ่งคนแล้วให้ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างงาน โดยการสุ่มเพื่อประเมินคุณภาพงานว่า "ผ่าน" หรือ " ไม่ผ่าน" พร้อมบันทึกผลลงในตารางทดสอบ และในการประเมินผลของพนักงานแต่ละคนนี้มีความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบซ้ำ อย่างน้อยชิ้นงานละ 2-3 ครั้ง
4. ทำการเลือกพนักงานคนที่สองขึ้นมาแล้วดำเนินการตรวจสอบอย่างสุ่มเหมือนข้อ 3 และทำเช่นนี้กับพนักงานคนอื่นๆอีกจนครบทุกคนที่ได้วางแผนไว้
5. ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนี ต่างๆ ดังนี้

   % รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ

   $$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

   % ความไม่ความเอนเอียงของพนักงานตรวจสอบ

   $$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทำการตรวจสอบได้เหมือนและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

   % ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ

   $$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจสอบได้เหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

   % ประสิทธิผลด้านความเอนเอียงของการตรวจสอบ

   $$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

6. ดำเนินการตัดสินใจเพื่อปฏิบัติการแก้ไขจากดัชนีที่คำนวนได้จากดัชนีตามสมการของข้อ 5 โดยที่ว่า ถ้า % รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ (% Appraiser Score) มีคะแนนต่ำกว่า 100% แล้ว มีความจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมพนักงานรวมทั้งมีการประเมินผลพนักงาน

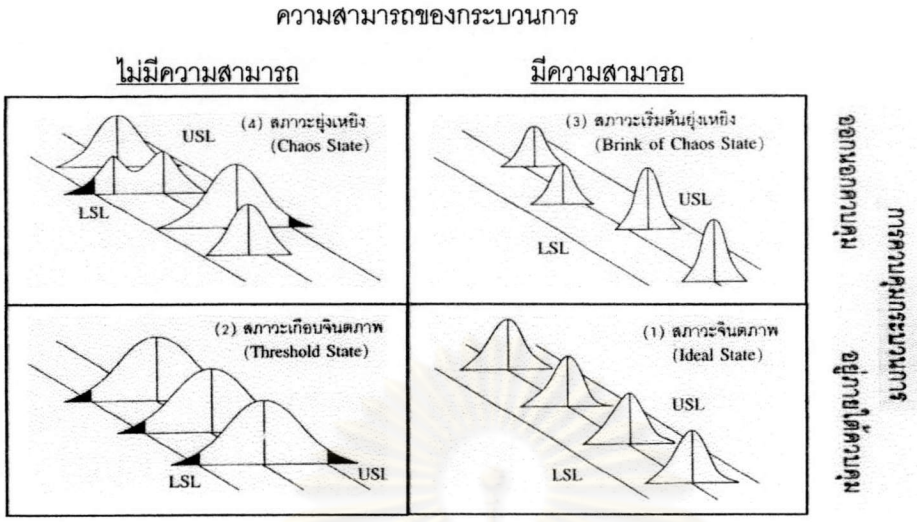
ใหม่ เพื่อปรับปรุงให้รีพีททะบิลิตี้ดีขึ้น แต่ถ้าหาก % ความไม่ความเอนเอียงของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Score) มีค่าต่ำกว่า 100% แล้ว มีความจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบเสียใหม่ หรือมิฉะนั้นก็จำเป็นต้องมีการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะ
สำหรับ % ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ (%Screen Effective Score) และ % ประสิทธิผลด้านความเอนเอียงของการตรวจสอบ (%Attribute Screen Effective Score) มีค่าต่ำกว่า 100% แล้วก็มีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้น แล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง เพื่อให้ดัชนีทั้งสองมีค่า 100%

2.11 ความผันแปรของระบบการวัดในการศึกษาความสามารถของกระบวนการ

หลังจากที่ได้ศึกษาถึงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการวัดทั้งกรณีข้อมูลวัดและข้อมูลนับแล้ว จะกล่าวถึงผลกระทบของค่าความผันแปรในกระบวนการวัดหรือดัชนี GR&R (ที่อาจอยู่ในรูป P/T หรือ P/TV) ที่มีผลต่อการศึกษาความสามารถของกระบวนการในการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติ *กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2542, หน้า 131)*

วัตถุประสงค์สำคัญของการศึกษากระบวนการมี 2 ประการคือ การควบคุมกระบวนการ (Process Control) และการศึกษาผลจากการออกแบบกระบวนการ ในรูปการ-ศึกษาความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

การควบคุมกระบวนการเป็นการแยกแยะสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติ (Special Cause) ออกจากสาเหตุความผันแปรแบบธรรมชาติ (Common Causes) เพื่อหาทางกำจัดทิ้ง และพยายามให้กระบวนการอยู่ภายใต้สาเหตุความผันแปรแบบธรรมชาติเสมอ ซึ่งทำให้มีลักษณะสำคัญคือ สามารถคาดการณ์ตัวแบบของความผันแปรได้ สำหรับความสามารถของกระบวนการจะเป็นการศึกษาถึงสาเหตุความผันแปรแบบธรรมชาติของกระบวนการ (โดยทั่วไปมักกำหนดให้อยู่ในรูป $\pm 3\sigma$ หรือ 6σ) ที่บ่งชี้ถึงผลจากการออกแบบกระบวนการที่ศึกษาเพื่อพิจารณากระบวนการว่ามีความสามารถหรือไม่ จากการศึกษาทั้ง 2 ประเด็นทำให้แบ่งสภาวะของกระบวนการที่ศึกษาออกเป็น 4 สภาวะ คือ สภาวะจินตภาพ (Ideal State) สภาวะเกือบจินตภาพ (Threshold State) สภาวะเริ่มต้นยุ่งเหยิง (Brink of Chaos State) และสภาวะยุ่งเหยิง (Chaos State) ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงสภาวะของกระบวนการ

ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของกระบวนการวัดที่มีต่อความสามารถของกระบวนการ ทั้งนี้เพื่อให้การตัดสินใจเกี่ยวกับความสามารถของกระบวนการ (ที่หมายถึงผลจากการออกแบบกระบวนการ) มีความถูกต้องมากที่สุดสำหรับการปฏิบัติการแก้ไข โดยจากการศึกษาความสัมพันธ์จะพบว่า ถ้าหากดัชนี C_p มีค่าต่ำมากแล้วจะต้องดำเนินการปรับปรุงกระบวนการโดยทันที โดยไม่พิจารณาว่า P/T หรือ % G R&R ที่อธิบายถึงความผันแปรจากระบบการวัดเป็นอย่างไร แต่ถ้าหากดัชนี C_p มีค่าค่อนข้างสูงแล้วก็มีความจำเป็นจะต้องพิจารณาผลกระทบจาก P/T หรือ % G R&R เสมอ เพื่อการตัดสินใจอย่างถูกต้องเกี่ยวกับความสามารถของกระบวนการ (คือพิจารณาดัชนีความสามารถกระบวนการในรูปของ C_{pA})

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย