การวิเคราะห์ระบบการวัด
: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ

นายชัชวาล พรพัฒน์กุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0355-2

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS
: A CASE STUDY OF JEWELERY AND ORNAMENT FACTORY

Mr. Chatchaval Pornpatkul

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2001

ISBN 974-03-0355-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ระบบการวัด : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ
โดย	นายชัชวาล พรพัฒน์กุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชัชวาล พรพัฒน์กุล : การวิเคราะห์ระบบการวัด : กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ : MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS : A CASE STUDY OF JEWELERY AND ORNAMENT FACTORY
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช . 324 หน้า . ISBN 974-03-0355-2

อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมที่ต้องใช้แรงงานที่มีฝีมือเป็นจำนวนมาก และเกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดหลายชนิดที่มีผลต่อคุณภาพและต้นทุนการผลิต ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการวัดของเครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ เครื่องวัดความดัน และกระบองไซค์ แล้วทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบต่างๆในกระบวนการผลิตอย่างละเอียด เพื่อจะได้ทราบถึงแหล่งความผันแปรของระบบการวัด และทำการเสนอแนะเพื่อลดและกำจัดความผันแปรนั้น โดยการศึกษาจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

1) การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด เนื่องจากพบว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ทำการศึกษา มีค่าเอนเอียงไปจากค่าจริงแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณสมบัติอื่นๆของเครื่องมือวัดคือ ค่าไบอัส ค่าเสถียรภาพของระบบการวัด และค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ผลจากการวิเคราะห์พบว่าเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความดัน จะมีค่าการวิเคราะห์ความถูกต้อง ไม่เกิน 5% แต่พบว่าเครื่องชั่ง 1200 กรัม 3100 กรัม และเครื่องวัดความดันเครื่องที่ 2 มีค่าการวิเคราะห์ความถูกต้องใกล้เคียง 5% เนื่องมาจากอายุการใช้งานนาน ขาดการบำรุงรักษาและขาดการการสอบเทียบจากเครื่องมือมาตรฐาน จึงได้ดำเนินการปรับเทียบจากเครื่องมือมาตรฐาน ทำให้ค่าวิเคราะห์ความถูกต้องหลังการปรับเทียบไม่เกิน 5% ส่วนกระบองไซค์ โดยเฉพาะแผนกแต่งตัวเรือน มีค่าความถูกต้องเกิน 5%

2) การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ผลการวิเคราะห์พบว่าเครื่องมือวัดมีค่าการวิเคราะห์ความแม่นยำ (%GR&R) น้อยกว่า10% และได้พบสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความผันแปรที่เกิดจากพนักงานวัด (Appraiser Variation) ขึ้นได้แก่ พนักงานที่ทำการวัดไม่วางชิ้นงานบริเวณกลางจานของเครื่องชั่ง และไม่ได้ปรับตั้งศูนย์ (Zero Adjust) ก่อนทำการชั่งชิ้นงาน และได้ทำการลดความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Equipment Variation) โดยทำการสอบเทียบ เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 เครื่อง เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ 3 เครื่อง เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ 2 เครื่อง เครื่องมือวัดความดัน 2 เครื่อง และ กระบองไซค์ 27 อัน ตามมาตรฐาน NIS6

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดทำให้ทราบถึงแหล่งความผันแปร โดยได้ทำการแก้ไขเพื่อลดความผันแปร และได้จัดทำข้อเสนอแนะให้โรงงานตัวอย่าง ทำการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง 320 กรัม 1200 กรัม 3100 กรัม และเครื่องมือวัดความดันเครื่องที่ 2 ส่วนกระบองไซค์ในแผนกแต่งตัวเรือน มีค่าความผันแปรเกิน 5% หลังจากใช้งานไป 6 เดือน จึงได้เสนอแนะให้ลดช่วงเวลาการสอบเทียบเหลือเพียง 2-3 เดือน และเลือกใช้วัสดุของกระบองไซค์ ที่มีคุณภาพมากกว่าเดิม ส่วนการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องวัดอุณหภูมิ และเครื่องวัดความดัน ควรสอบเทียบ ทุก 1 ปี แล้วทำการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด

นอกจากนั้นยังได้จัดทำคู่มือมาตรฐาน และขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างละเอียด เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆสามารถนำไปใช้ได้ เช่น การใช้งานและการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ การใช้งานและการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ การใช้งานและการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน การใช้งานและการสอบเทียบกระบองไซค์ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และ จัดฝึกอบรมให้กับพนักงานของโรงงานตัวอย่าง

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา .....2544..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-.....

4271415821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD Measurement System Analysis / Calibration / Traceability / Metrology

CHATCHAVAL PORNPATKUL : MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS

A CASE STUDY OF JEWELERY AND ORNAMENT FACTORY ,

THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.JITRA RUKITJAKANPHANICH,Ph.D. 324 pp

ISBN 974-03-0355-2

Jewelery and Ornament factory requires skill labor and the accurate measurement tools in order to produce high quality products and low costs. The objective of this research were to study the measurement system analysis , find the variation of the measurement systems and recommend how to reduce the variation. The measurement tools were the single-pan electronic balances, temperature measurements, pressure measurements and diameter ring measurements. This research was divided into two phases:

1) analysis the accuracy of the measurement systems because of we found the actual values from the measurements have error from the true value but there were in the standardization. So we must to analyze the 3 properties of the measurement systems: bias, the system stability and linearity. The result of analysis were found that the %bias of the single-pan electronic balances, temperature measurements, pressure measurements less than 5% but we found the %bias of the single-pan electronic balance range 1200gm , 3100gm and pressure measurement(2) nearly 5% because of live span , without maintenance and no calibration. So we calibrated all the measurements affer that the %bias were not over than 5%, and the %bias of the diameter ring measurements in the modify section over than 5%.

2) analysis the precision of the measurement systems we found the %GR & R less than 10% and we found the momentous cause In to appraiser variation ,they did not place the material job in the middle of the pan and forgot to the zero adjustment before measure the weight of job and reduced the equipment variation by the measurement calibration for the 5 single-pan electronic balances , 3 temperature measurements in mold section, 2 temperature measurements in melt section , 2 pressure measurements and 27 diameter ring measurements by the standard of NIS6.

From the total analysis we have knowledge the source of the variation. So we correction measurement for reduced variation and maintenance recommend for 320gm single-pan electronic balance ,1200gm single-pan electronic balance,3100gm single-pan electronic balance,and pressure measurement(2) . For the diameter ring measurements in the modify section over than 5% behind to used 6 months we recommend to reduce calibration period to 2-3 months and chose the material of the diameter ring measurements to be good quality more than the old diameter ring measurements. And recommend to calibration period to 1 year for the single-pan electronic balances, temperature measurements, pressure measurements so calulate uncertainty of measurement

We could build the standard manual and detail measurement calibration procedure for other factory. etc. the manual and the single-pan electronic balance calibration procedure , the manual and the temperature measurement calibration procedure , the manual and the pressure measurement calibration procedure , the manual and the diameter ring measurement calibration with vernear calipper and make up the training course for operator of sample factory.

Department.....Industrial Engineering... Student's signature.....

Field of study.. Industrial Engineering... Advisor's signature .....

Academic year.....2001..... Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ชูเกียรติ รู้กิจการพานิช ที่ให้คำแนะนำตลอดจนความช่วยเหลือต่างๆ ในการติดต่อประสานงานกับโรงงานตัวอย่างซึ่งมีประโยชน์อย่างมาก ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งเป็นผู้ชี้แนะแนวทางการศึกษาวิจัยนี้จนกระทั่งประสบความสำเร็จ ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการสมศักดิ์ เบญจาทิกุล นายกสมาคมศิษย์เก่าช่างกลปทุมวัน และกรรมการบริหารสมาคมฯที่ได้มอบทุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ อาจารย์บุญธรรม ลิมป์ปิยพันธ์ นักวิทยาศาสตร์ประจำกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความอนุเคราะห์ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ขอขอบพระคุณ คุณพรรัตน์ ศรีมุตตา บริษัท ไอเอ็มไอ อินดัสตรีส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดความดันสูญญากาศมาตรฐาน ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณพ่อเสนีย์ คุณแม่ขัตติยา พรพัฒน์กุล ที่เลี้ยงดูอบรมสั่งสอนให้การศึกษา ครู-อาจารย์ที่เคยให้ความรู้ทุกท่าน ขอขอบคุณครอบครัวญาติพี่น้อง และ เพื่อนรักทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจ

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บริษัท คราฟท อาท จำกัด ที่ได้อนุญาตให้ใช้โรงงานเป็นตัวอย่างในการศึกษา ตลอดจนทุกท่านที่ไม่สามารถเอ่ยนามในที่นี้ได้ทั้งหมดที่สนับสนุนงานศึกษาวิจัยนี้ให้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ชัชวาล พรพัฒน์กุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฒ

บทที่

1. บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา และมูลเหตุจูงใจ..... 2

1.2 ความสำคัญของปัญหา..... 2

1.3 ข้อมูลจำเพาะของโรงงานตัวอย่าง..... 5

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 5

1.5 ขอบเขตของการวิจัย..... 5

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย..... 5

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 6

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 43

3. ระเบียบวิธีวิจัย..... 51

3.1 ศึกษาระบบเครื่องมือวัดของโรงงานตัวอย่าง 51

3.2 การจัดการเครื่องมือวัดของโรงงานตัวอย่าง..... 54

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ..... 54

4. ข้อมูลโรงงานตัวอย่าง..... 61

4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับโรงงาน..... 61

4.2 กระบวนการผลิตเครื่องประดับประเภทแหวนฝังอัญมณี..... 61

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

5. ผลการทดลอง..... 70
5.1 การดำเนินการทดลอง เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม..... 69
5.2 การดำเนินการทดลอง เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม..... 75
5.3 การดำเนินการทดลอง เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม..... 80
5.4 การดำเนินการทดลอง เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม..... 84
5.5 การดำเนินการทดลอง เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม..... 89
5.6 การดำเนินการทดลอง เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (1)..... 94
5.7 การดำเนินการทดลอง เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (2)..... 98
5.8 การดำเนินการทดลอง เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (3)..... 102
5.9 การดำเนินการทดลอง เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ(1)..... 107
5.10 การดำเนินการทดลอง เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ(2)..... 111
5.11 การดำเนินการทดลอง เครื่องมือวัดความดัน(1) 116
5.12 การดำเนินการทดลอง เครื่องมือวัดความดัน(2) 121
5.13 การดำเนินการทดลอง กระบองไซค์..... 125
6. การวิเคราะห์ระบบการวัด..... 128
6.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของเครื่องมือวัด..... 128
6.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือวัด..... 220
7. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ..... 280
7.1 สรุปผลการศึกษา..... 280
7.2 ข้อเสนอแนะ..... 290
8. คู่มือการใช้งานและขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัด..... 291
8.1 คู่มือการใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์..... 291
8.2 การสอบเทียบเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์..... 295
8.3 ข้อควรปฏิบัติในการสอบเทียบ..... 298
8.4 ตัวอย่างรายงานผลการสอบเทียบ..... 299
8.5 คู่มือการใช้งานและการสอบเทียบเครื่องมือวัด..... 304
8.6 มาตรฐานหาได้ไม่ยากหากรู้หลักการ..... 309

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

รายการอ้างอิง..... 310
ภาคผนวก..... 312
ประวัติผู้วิจัย..... 324

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สาเหตุของความผิดพลาดในระบบการวัดด้วยเครื่องมือเชิงกล..... 11
2.2 ประเภทความผันแปรในระบบการวัด..... 11
2.3 ตัวอย่างการคำนวณผลรวมกำลังสองของความเบี่ยงเบน..... 25
2.4 ANOVA สำหรับทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบเชิงเส้นตรง..... 34
2.5 ความคาดหมายของมัชฌิมกำลังสอง..... 40
2.6 ตัวสถิติสำหรับทดสอบแต่ละปัจจัย..... 40
2.7 ค่าประมาณขององค์ประกอบความแปรปรวน..... 41
2.8 การประมาณการค่าความสามารถของระบบการวัดเมื่ออิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญ.. 42
2.9 การประมาณการค่าความสามารถของระบบการวัดเมื่ออิทธิพลร่วมไม่มีนัยสำคัญ.. 42
5.1 ผลการทดสอบไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม..... 70
5.2 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง..... 72
5.3 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง..... 73
5.4 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด..... 74
5.5 ผลการทดสอบไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม..... 75
5.6 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220 กรัม..... 77
5.7 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง..... 78
5.8 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด..... 79
5.9 ผลการทดสอบไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม..... 80
5.10 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม..... 81
5.11 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง..... 83
5.12 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด..... 84
5.13 ผลการทดสอบไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม..... 85
5.14 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม..... 86
5.15 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง..... 88
5.16 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด..... 89
5.17 ผลการทดสอบไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม..... 90
5.18 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม..... 91

ตารางที่ หน้า

5.19 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง..... 92
5.20 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด..... 93
5.21 ผลการทดสอบไบอัสการวัดอุณหภูมิของเตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)..... 94
5.22 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ ของเตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)..... 95
5.23 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เครื่องวัดอุณหภูมิ ของเตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)..... 97
5.24 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัดอุณหภูมิ ของเตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)..... 98
5.25 ผลการทดสอบไบอัสการวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)..... 99
5.26 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)..... 100
5.27 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)..... 101
5.28 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)..... 102
5.29 ผลการทดสอบไบอัส เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)..... 103
5.30 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)..... 104
5.31 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)..... 105
5.32 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)..... 106
5.33 ผลการทดสอบไบอัสการวัดอุณหภูมิ ของเตาหล่อ (เครื่องที่ 1)..... 107
5.34 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 1)..... 108
5.35 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ(เครื่องที่1)..... 110
5.36 ผลการทดลองหาความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ(เครื่องที่1)..... 111

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.37 ผลการทดสอบไบอัส เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)..... 112
5.38 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)..... 113
5.39 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เครื่องวัดอุณหภูมิ ของเตาหล่อ (เครื่องที่2)... 114
5.40 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัดอุณหภูมิ ของเตาหล่อ (เครื่องที่2)..... 115
5.41 ผลการทดสอบไบอัสเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 1)..... 116
5.42 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 1)..... 118
5.43 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 1)..... 119
5.44 ผลการทดลองหาความแม่นยำของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่1)..... 120
5.45 ผลการทดสอบไบอัสเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2)..... 121
5.46 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2)..... 123
5.47 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2)..... 124
5.48 ข้อมูลการทดลองหาความแม่นยำของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่2)..... 125
5.49 ผลการทดสอบ ไบอัส กระบองไซค์..... 126
6.1 ผลการวิเคราะห์ ไบอัส กระบองไซค์..... 150
6.2 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 320 กรัม..... 152
6.3 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220 กรัม..... 155
6.4 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม..... 158
6.5 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม..... 161
6.6 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม..... 164
6.7 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (1)..... 167
6.8 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (2)..... 170
6.9 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (3)..... 173
6.10 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (1)..... 176
6.11 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (2)..... 179
6.12 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดความดัน (1)..... 182
6.13 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดความดัน (2)..... 185
6.14 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 188

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.15 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 188
6.16 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 189
6.17 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 191
6.18 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 191
6.19 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 192
6.20 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 193
6.21 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 194
6.22 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 195
6.23 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 196
6.24 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 197
6.25 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 198
6.26 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 199
6.27 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 200
6.28 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 201
6.29 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 202
6.30 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 202
6.31 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 203
6.32 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 204
6.33 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 205
6.34 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 206
6.35 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 207
6.36 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 207
6.37 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 208
6.38 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 209
6.39 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 210
6.40 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 211
6.41 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 212

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.42 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 212
6.43 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 213
6.44 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 214
6.45 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 214
6.46 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 215
6.47 การวิเคราะห์หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง..... 216
6.48 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง..... 217
6.49 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย..... 218
7.1 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าไบอัส..... 281
7.2 การเปรียบเทียบช่วงเวลาการสอบเทียบ..... 284
7.3 สรุปผลการประเมินคุณสมบัติเชิงเส้น..... 287
7.4 สรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติความแม่นยำของระบบการวัด..... 288
8.1 รีพีททะบิลิตี้..... 296
8.2 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวางน้ำหนักไม่เข้ากลางจาน..... 297

สถาบันวิทยบริการ

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัด	4
2.1	บทบาทของการวัดต่อการควบคุมกระบวนการและผลิตภัณฑ์	8
2.2	ความผันแปรในระบบการวัด	9
2.3(ก)	กระบวนการวัดที่เสถียร	10
2.3(ข)	กระบวนการวัดที่ไม่เสถียร	10
2.4	การจำแนกความคลาดเคลื่อนจากการวัดออกเป็นแหล่งต่างๆ	14
2.5	ขั้นตอนการถ่ายทอดมาตรฐาน	15
2.6	โครงสร้างของการสอบกลับได้ สำหรับมาตรฐานการสอบเทียบ	16
2.7	แนวความคิดในการประเมินความผันแปร	21
2.8	ลักษณะค่าวัดที่ใช้ประมาณค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด	23
2.9	ไบอัส	28
2.10	เสถียรภาพของระบบการวัด	29
2.11(ก)	คุณสมบัติเชิงเส้น	32
2.11(ข)	คุณสมบัติเชิงเส้น(แปรผันตามค่าไบอัส)	33
2.12	รีพีททะบิลิตี้	36
2.13	รีโปรดิวซิบิลิตี้	36
2.14	แสดงลักษณะของอิทธิพลร่วม	41
2.15	แสดงการตีความหมายอิทธิพลร่วมและอิทธิพลหลัก	41
3.1	การสอบเทียบเครื่องชั่ง ที่ 20 กรัม	55
3.2	การสอบเทียบเครื่องชั่ง ที่ 50 กรัม	55
3.3	การสอบเทียบเครื่องชั่ง ที่ 1000 กรัม	56
3.4	การสอบเทียบเครื่องชั่ง ที่ 2000 กรัม	56
3.5	การฝึกอบรมให้หัวหน้าช่าง สอบเทียบเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	57
3.6	การทดลองหาค่าความผันแปร เครื่องมือวัดอุณหภูมิ(เครื่องอบแม่พิมพ์ปูน)	57
3.7	เครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน	58
3.8	เครื่องมือสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน	58
3.9	การทดลองหาค่าความผันแปร เครื่องมือวัดความดันสูญญากาศ	59

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.10 การสอบเทียบเครื่องวัดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวเรือนแหวน(กระบองไซค์)..... 59
3.11 การฝึกอบรมให้หัวหน้าช่าง สอบเทียบเครื่องวัดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวเรือนแหวน... 60
4.1 ขั้นตอนการผลิตเครื่องประดับ..... 62
4.2 ต้นเทียนเป็นแบบที่จะทำแม่พิมพ์ปูน..... 63
4.3 เบ้าโลหะใส่ต้นเทียน เพื่อจะทำแม่พิมพ์ปูน..... 63
4.4 เบ้าโลหะติดกระดาษกาว เพื่อจะทำแม่พิมพ์ปูน..... 64
4.5 นำต้นเทียนใส่เบ้าโลหะ เพื่อจะทำแม่พิมพ์ปูน..... 64
4.6 ผสมปูนทำแบบแม่พิมพ์ปูน..... 65
4.7 นำเบ้าโลหะใส่ต้นเทียนแล้ว เข้าเครื่องทำสูญญากาศ..... 65
4.8 เทปูนเข้าเบ้าโลหะในเครื่องทำสูญญากาศ..... 66
4.9 เทปูนจนเต็มเบ้าโลหะ จะสังเกตเห็นฟองอากาศ เนื่องจากการทำสูญญากาศ
เพื่อไล่ฟองอากาศที่อยู่ภายในแบบแม่พิมพ์ปูนออก..... 66
4.10 นำแบบแม่พิมพ์ปูนออกมาวางทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง จนแบบแข็งตัว 67
4.11 แบบแม่พิมพ์ปูนที่แข็งตัว เข้าตู้อบเพื่อละลายต้นเทียนออก 67
4.12 แบบแม่พิมพ์ปูนเข้าตู้อบ 650°C 23 ชั่วโมง 68
4.13 เตาหล่อ เงิน , ทอง แล้วเทเข้าแบบแม่พิมพ์ปูน ทำตัวเรือน..... 68
4.14 ตัวเรือนแหวนเงิน ที่แกะออกจากแบบแม่พิมพ์ปูน..... 69
4.15 ตัวแท่งเงิน,ทอง และเศษ ที่ถูกตัดตัวเรือนแหวนออกไปนำมาหลอมเป็นแท่งใหม่... 69
6.1 ค่าไบอัสของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม..... 129
6.2 ค่าไบอัสของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม..... 130
6.3 ค่าไบอัสของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม..... 131
6.4 ค่าไบอัสของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม..... 132
6.5 ค่าไบอัสของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม..... 133
6.6 ค่าไบอัสของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 1)..... 134
6.7 ค่าไบอัสของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)..... 135
6.8 ค่าไบอัสของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)..... 136
6.9 ค่าไบอัสของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหลอม (เครื่องที่ 1)..... 137

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.10 ค่าไบอัสของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหลอม (เครื่องที่ 2)..... 138
6.11 ค่าไบอัสของเครื่องวัดความดัน (เครื่องที่ 1)..... 139
6.12 ค่าไบอัสของเครื่องวัดความดัน (เครื่องที่ 2)..... 140
6.13 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 320 กรัม..... 154
6.14 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 320 กรัม..... 154
6.15 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220 กรัม..... 157
6.16 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220 กรัม..... 157
6.17 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม..... 160
6.18 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม..... 160
6.19 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม..... 163
6.20 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม..... 163
6.21 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม..... 166
6.22 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม..... 166
6.23 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (1)..... 169
6.24 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (1)..... 169
6.25 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (2)..... 172
6.26 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (2)..... 172
6.27 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (3)..... 175
6.28 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (3)..... 175
6.29 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(1)..... 178
6.30 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(1)..... 178
6.31 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(2)..... 181
6.32 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(2)..... 181
6.33 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน(1)..... 184
6.34 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน(1)..... 184
6.35 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน(2)..... 187
6.36 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน(2)..... 187

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.37	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 320 กรัม.....	190
6.38	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 220 กรัม.....	193
6.39	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 1000 กรัม.....	196
6.40	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 1200 กรัม.....	199
6.41	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 3100 กรัม.....	202
6.42	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(1).....	204
6.43	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(2).....	206
6.44	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(3).....	209
6.45	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(1)...	211
6.46	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(2)...	214
6.47	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดความดัน(1).....	216
6.48	กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดความดัน (2).....	218
6.49	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 320 กรัม.....	222
6.50	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 220 กรัม.....	227
6.51	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 1000 กรัม.....	232
6.52	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 1200 กรัม.....	237
6.53	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 3100 กรัม.....	242
6.54	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(1).....	247
6.55	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(2).....	252
6.56	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(3).....	257
6.57	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(1).....	262
6.58	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(2).....	267
6.59	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดความดัน(1).....	272
6.60	แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดความดัน(2).....	277

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

8.1 ตำแหน่งการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน..... 296
8.2 ตัวอย่าง แผนภูมิควบคุม เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์..... 304
8.3 เวอร์เนียร์หน้าปัดแบบเข็ม..... 305
8.4 โครงสร้างของเวอร์เนียร์หน้าปัดแบบเข็ม..... 305
8.5 วิธีการอ่านเวอร์เนียร์หน้าปัดแบบเข็ม..... 306

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตปัจจุบันจะพบว่า บทบาทและความสำคัญของเทคโนโลยีทางการควบคุมการผลิตได้มีการพัฒนาและเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของการวัดหรือกระบวนการควบคุมที่สำคัญ เช่นเครื่องมือวัดความดัน เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดระดับ เครื่องมือวัดอัตราการไหล เครื่องชั่งน้ำหนักหรือเครื่องมือวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นต้น อุปกรณ์เครื่องมือวัดเหล่านี้จะมีผลต่อระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท ในเรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรม ในชีวิตประจำวันของโลกยุคใหม่นี้ เราจะต้องเกี่ยวพันกับหลายมิติของการวัดหรือที่เราเรียกว่า มาตรวิทยา ไม่ว่าจะอยู่รอบๆตัวเรา ที่บ้าน ที่ทำงาน ในโรงงานอุตสาหกรรม ในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งการวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การควบคุมคุณภาพทั้งในระหว่างกระบวนการผลิต จนถึงการทดสอบผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ดังนั้นขณะที่วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้นไปเท่าใด ความต้องการของมาตรฐานการวัดที่มีความละเอียดและความถูกต้องสูง จะต้องได้รับการพัฒนาให้ทันสมัยอยู่อย่างต่อเนื่อง การวัด(Measurement) ถือว่าเป็นพื้นฐานของศิลปวิทยาทั้งหลาย(มีทั้ง Static Characteristics และ Dynamic Characteristics) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแล้ว อาจกล่าวได้ว่า ถ้าปราศจากการวิเคราะห์ระบบการวัดที่ถูกต้องแล้ว (Measurement System Analysis) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีก็ไม่อาจที่จะเจริญเติบโตขึ้นได้เลย ความมุ่งหมายของการวัด คือกระบวนการปฏิบัติเพื่อการตัดสินปริมาณต่างๆอย่างแม่นยำ (Precision) และมีความเที่ยงตรง (Accuracy) โดยปราศจากความผิดพลาด (Error) แต่โดยธรรมชาติของการวัดนั้น การขจัดความผิดพลาดในการวัดออกไปโดยสิ้นเชิงนั้นย่อมเป็นไปไม่ได้ เพราะไม่มีอุปกรณ์การวัดใดที่มีประสิทธิภาพ 100 % ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบการวัดหรือที่เรียกว่าศาสตร์แห่งการวัด ซึ่งเป็นวิชาที่ว่าด้วยเรื่องธรรมชาติ และเทคนิคของการวัดและการวิเคราะห์ผลของการวัด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการวัดที่หวังผลของความถูกต้องและแม่นยำสูงสุดในปัจจุบัน ขณะนี้อุตสาหกรรมของประเทศเราได้ก้าวเข้าสู่ยุคการแข่งขัน และการกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศอย่างรุนแรง เพราะโลกได้ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มเศรษฐกิจต่างๆมากมาย ความมุ่งหมายของกลุ่มเศรษฐกิจเหล่านี้ต่างก็คล้ายคลึงกัน กล่าวคือต่างก็พยายามปกป้องผลประโยชน์ทางการค้าในกลุ่มของตนเองด้วยกันทั้งสิ้น โดยใช้มาตรการด้านการประกันคุณภาพด้วยการใช้มาตรฐาน ISO/มอก. 9000 หรือ QS-9000 ซึ่งในมาตรฐานดังกล่าวมีเรื่องของการวัดและการทดสอบเป็นส่วนสำคัญอันหนึ่ง ในการรับ

รองคุณภาพของสินค้าและบริการ เพื่อการส่งออก โดยผู้ผลิตต้องสามารถยืนยันได้ว่าผลของการวัดในกระบวนการผลิต และการทดสอบสินค้า ได้กระทำอย่างถูกต้องตามระบบมาตรวิทยาที่เป็นสากล อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่มีผลกระทบกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะต้องได้รับการสอบเทียบ (Calibration) และรับรองขอบเขตของความเที่ยงตรง โดยห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองความสามารถ (Accredited Laboratory) สามารถสอบย้อนผลการสอบเทียบจนถึงมาตรฐานการวัดของชาติและสากลได้ (Traceability)

1.1 ความเป็นมาของปัญหา และมูลเหตุจูงใจ

จากที่กล่าวไว้ในบทนำ จะเห็นถึงความสำคัญของการประกันคุณภาพ(Quality assurance) ซึ่งถือว่าเป็นกลยุทธ์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการบริหารธุรกิจในยุคแข่งขัน ทั้งนี้ด้วยการสร้างความพึงพอใจอย่างเบ็ดเสร็จแก่ลูกค้าโดยรวมหรือผู้ได้รับผลประโยชน์จากธุรกิจ สภาพของเครื่องมือวัดโดยทั่วไปจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการใช้งาน โดยเฉพาะเครื่องมือวัดในงานอุตสาหกรรมเครื่องประดับ มีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบสภาพ สอบเทียบความถูกต้องและความแม่นยำรวมถึงการวิเคราะห์ระบบของเครื่องมือวัดที่มีผลต่อคุณภาพในการผลิตอย่างสม่ำเสมอ โดยในช่วงแรกที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดใช้งานใหม่ๆ ควรจะทำการตรวจสอบ และสอบเทียบทุก 1 ปี (ตามมาตรฐานของ NIS6) ถ้าผ่านไปแล้วประมาณ 3 ปี จะต้องนำเอาข้อมูลการสอบเทียบในอดีตมาวิเคราะห์ว่ามีค่าความเบี่ยงเบนไปมากน้อยแค่ไหน ถ้าหากพบว่าเครื่องมือวัด มีความเบี่ยงเบนมาก ก็ควรจะทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดให้ถี่ขึ้น เช่นทำการสอบเทียบทุกๆ 6 เดือน เป็นต้น

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ในธุรกิจอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันสูงเช่นทุกวันนี้ ผู้ผลิตสินค้าที่มีคุณภาพได้ตามที่ลูกค้าต้องการเท่านั้นที่จะยืนหยัดอยู่ได้ ปัจจัยสำคัญที่จะทำให้สินค้ามีคุณภาพ ตามต้องการอย่างสม่ำเสมอตลอดไป และเป็นที่ยอมรับกันแพร่หลายในปัจจุบันก็คือการจัดองค์กรและการบริหารงานคุณภาพอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆจึงได้เริ่มนำเอา อนุกรมมาตรฐาน ISO-9000 series : Quality System ขององค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization) หรือ QS-9000 มาใช้ ซึ่งเป็นอนุกรมมาตรฐานระบบคุณภาพที่ประเทศต่างๆทั่วโลก และใช้เป็นเกณฑ์ในการดำเนินการการผลิตสินค้า

แต่จากการที่ได้เข้าไปศึกษาเบื้องต้นในโรงงานตัวอย่างแห่งนี้ พบว่า ทางโรงงานยังขาดเครื่องมือมาตรฐาน บุคลากรที่มีความรู้ความสามารถทางด้านนี้ ซึ่งก็เป็นเช่นนี้ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง(SME) ที่มองเห็นระบบการตรวจสอบและการควบคุมคุณภาพเป็นการสูญเสีย ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถูกบังคับด้วยข้อกำหนดทางการค้า จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการในเรื่องดังกล่าว แต่โรงงานไม่สามารถทำตามข้อกำหนดของมาตรฐานได้ จึงต้องพึ่งหน่วยงานภายนอกดำเนินการให้ ทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นแนวทางในการดำเนินงานให้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่มีปัญหาคล้ายคลึงกันอีกประมาณ 100,000 โรงงานทั่วประเทศ(ข้อมูลจากการสัมมนา บทบาทมาตรวิทยาต่อการพัฒนาคุณภาพ ในเรื่องปัญหาระบบมาตรวิทยาของประเทศ โดยคุณวสันต์ จันทร์สัจจา,หน้า 141) ให้สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง กรณีศึกษานี้จะทำการศึกษาการวิเคราะห์ระบบการวัดในโรงงานตัวอย่างแห่งนี้ ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญในการผลิต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ได้คุณภาพตามมาตรฐาน จึงเลือกตัวแปรหลักของโรงงานแห่งนี้ คือ การชั่งน้ำหนักของวัตถุดิบ การหลอมวัตถุดิบ การอบแบบพิมพ์ปูน การดูดอากาศออกจากแบบพิมพ์ และการตรวจสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวเรือนแหวน โดยใช้เครื่องมือวัดเป็นแบบเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องวัดอุณหภูมิของเครื่องหลอมโลหะ เครื่องวัดอุณหภูมิของเครื่องอบแบบพิมพ์ปูน เครื่องวัดความดันสูญญากาศ และเครื่องวัดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวเรือนแหวน เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด แล้วนำไปคำนวณหาความถูกต้องและความแม่นยำในการวัด โดยใช้หลักการ การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) ในระบบมาตรฐาน QS-9000

มาตรฐาน QS-9000 เป็นข้อกำหนดมาตรฐานระบบคุณภาพ ซึ่งอยู่ในหัวข้อ Quality System Requirements โดยเป็นมาตรฐานที่กำเนิดขึ้นใน สหรัฐอเมริกา ของกลุ่มผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่ 3 ราย ที่เรียกกันว่า Big Three คือ Ford/Chrysier/GM
ประกอบไปด้วย 6 เรื่อง คือ

(1) Production Part Approval Process (PPAP)

(2) Measurement System Analysis (MSA)

(3) Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

(4) Advanced Product Quality Planning & Control Plan (APQP)

(5) Fundamental Statistical Process Control (SPC)

(6) Quality System Assessent (QSA)

ในการศึกษาโรงงานตัวอย่างในที่นี้ จะนำเอาหัวข้อที่ 2 มาทำการศึกษาวิจัย คือ Measurement System Analysis (MSA) ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบคุณภาพ คือ

(1) การพัฒนาของระบบคุณภาพพื้นฐานที่จัดเตรียมสำหรับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

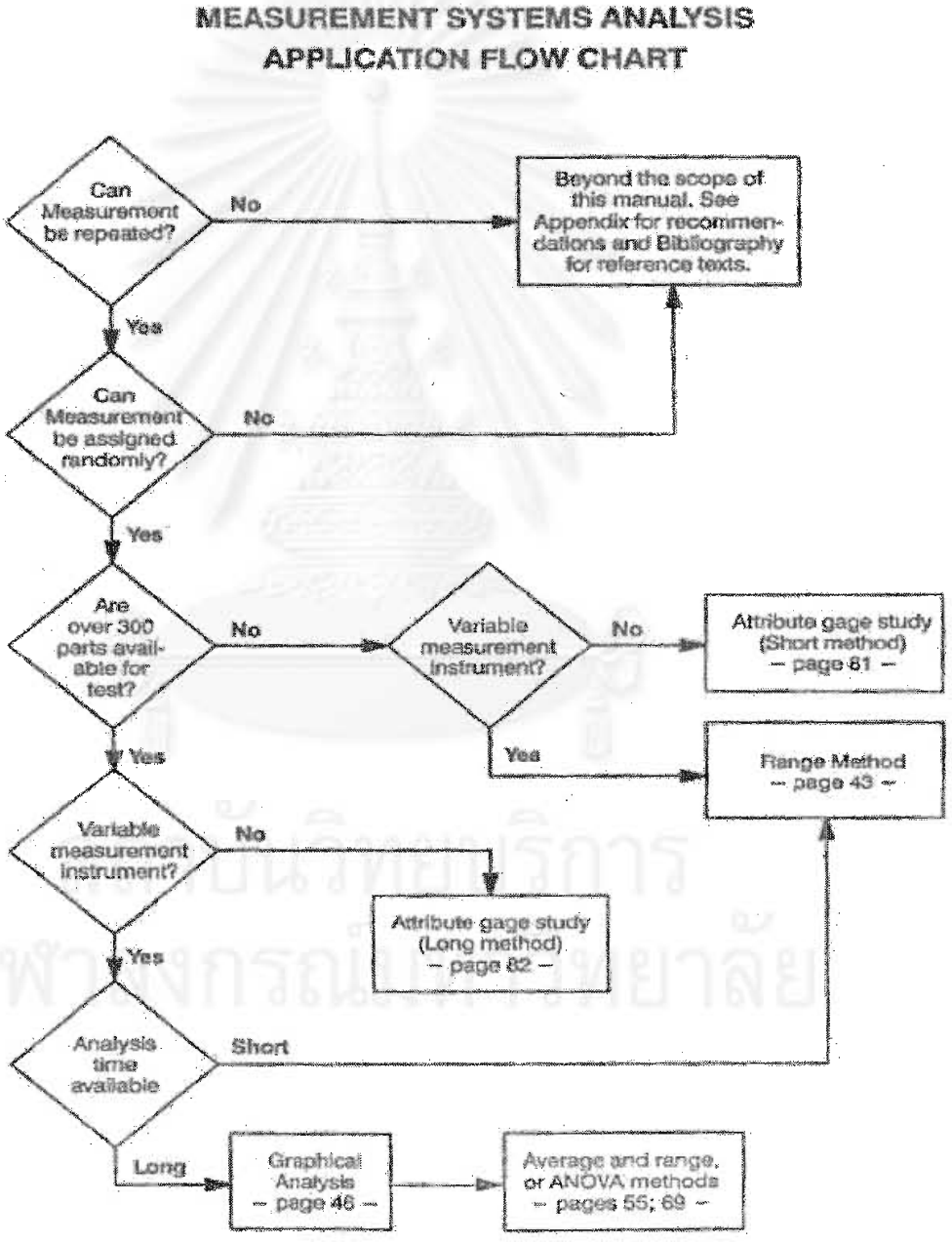
(2) เน้นหนักในการป้องกันข้อบกพร่อง

(3) การลดความผันแปร และของเสีย

(4) พัฒนาระดับคุณภาพ ประสิทธิภาพ และการส่งมอบ

(5) สร้างขวัญและกำลังใจของพนักงาน

(6) ปรับปรุงการสื่อสารข้อมูลทั้งภายในและภายนอก



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัด

1.3 ข้อมูลจำเพาะของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษานี้เป็นโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตขนาดกลาง(SME) ทำการออกแบบและผลิตเครื่องประดับตามความต้องการของลูกค้าทั้งในและต่างประเทศ ดำเนินงานมาประมาณ 10 ปี ยอดขายปีละประมาณ 400 ล้านบาท พนักงานประมาณ 200 คน ขั้นตอนการผลิตเป็นแบบ Process Layout วัตถุดิบทางตรงส่วนมากจะเป็น เพชร ทองคำ เงิน ซึ่งมีมูลค่าสูง เกิดการสูญหายในระหว่างการผลิตไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าหายไปในสถานีไหน และเกิดปัญหาทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะการส่งออกไปต่างประเทศ ทางโรงงานจึงเห็นความสำคัญของการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อลดและกำจัดความผันแปร ทำให้ทราบถึงความ ถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาระบบการวัดและทำการวิเคราะห์ระบบการวัดในโรงงานตัวอย่าง โดยศึกษาถึงแหล่งความผันแปรของระบบการวัดแล้วทำการเสนอแนะเพื่อลดและกำจัดความผันแปรนั้น

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ระบบการวัด โดยดำเนินการตามแนวทางของข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบคุณภาพมาตรฐานQS-9000 ในเรื่องการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis : MSA)

การวัดผลเพื่อสรุปผลงานวิจัย กระทำโดยนำผลจากการวิเคราะห์ระบบการวัด ไปใช้ในการเสนอแนะให้โรงงานตัวอย่าง ให้ทำการปรับปรุงระบบการวัด เพื่อลดและกำจัดความผันแปรให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย

1.6.1 ศึกษา สำรวจงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.6.2 ศึกษาข้อกำหนดและเงื่อนไขการเข้าสู่ระบบประกันคุณภาพตามมาตรฐาน QS-9000

1.6.3 ศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพโดยทั่วไปของโรงงานตัวอย่าง

1.6.4 ศึกษาและวิเคราะห์ระบบการทำงานของโรงงานตัวอย่าง โดยเฉพาะในส่วนของเครื่องมือวัด ที่จะนำมาเป็นเกณฑ์ในการกำหนดขอบเขตค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ลูกค้าจะยอมรับได้

1.6.5 เลือกเครื่องมือวัดที่จะใช้ในการศึกษา

1.6.6 ทำการทดลองเครื่องมือวัดที่เลือกมาเพื่อประเมินระบบการวัด

1.6.7 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาแหล่งของความคลาดเคลื่อน

1.6.8 กำหนดแนวทางการปรับปรุงระบบการวัด เช่นการบำรุงรักษา วิธีการวัดที่ถูกต้อง ตารางเวลาการสอบเทียบ คู่มือการใช้งาน

1.6.9 จัดทำขั้นตอนและวิธีการ การตรวจสอบ การสอบเทียบเครื่องมือวัด

1.6.10 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะต่างๆ

1.6.11 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.7.1 เกิดความถูกต้อง เที่ยงตรงและความแม่นยำสูงขึ้นในระบบการวัด ซึ่งจะนำไปสู่ความมั่นใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์

1.7.2 ช่วยลดความสูญเสียเนื่องจากการตรวจรับชิ้นงานที่ไม่มีคุณภาพเข้าสู่การผลิต

1.7.3 สามารถกำหนดระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องมือวัดได้ตรงกับช่วงเวลาที่แท้จริง

1.7.4 มีคู่มือการใช้งานและขั้นตอนการสอบเทียบสำหรับเครื่องมือวัดทุกเครื่องที่ได้ทำการศึกษา

1.7.5 เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับระบบการวัดในอุตสาหกรรมอื่น

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

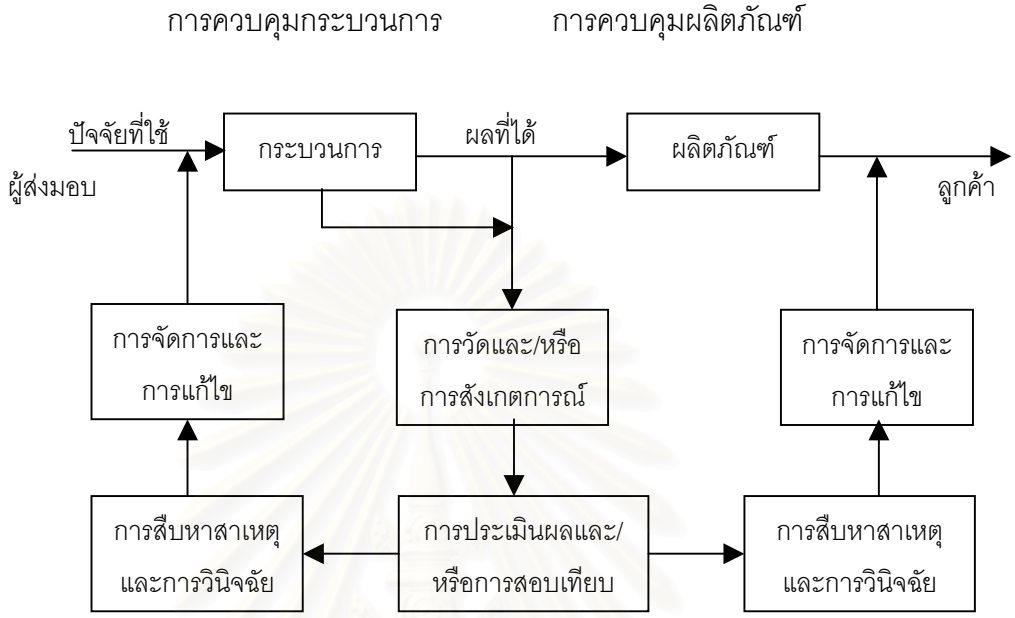
บทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีการวัด ที่มีความผันแปรเกิดขึ้นในทุกมิติ ได้อธิบายถึงแหล่งความผันแปรต่างๆที่เกิดจากระบบการวัด วิธีการค้นหาแหล่งความผันแปร และการวิเคราะห์ความถูกต้อง ความแม่นยำของระบบการวัด รวมถึงการคำนวณความไม่แน่นอนของระบบการวัด และงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การวัด เปรียบเหมือนประตูสู่การควบคุมผลิตภัณฑ์ และการควบคุมกระบวนการเพื่อการประกันคุณภาพ และเรียกศาสตร์ของการวัดนี้ว่า มาตรวิทยา (Metrology) ซึ่งหมายความถึงวิชาที่ว่าด้วยการวัด โดยในนิยามเกี่ยวกับการวัดนี้ ได้มีนักวิชาการและหน่วยงานต่างๆได้พยายามนิยามความหมายเพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างง่ายๆและครอบคลุม เช่น *Farnum N.R.(1994,p.257)* ได้อ้างถึงคำนิยามของ *Eisenhart(1963)* ว่า การวัด หมายถึง การกำหนดค่าตัวเลขให้แก่วัตถุเพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เป็นจริงของวัตถุดังกล่าวด้วยคุณสมบัติเฉพาะที่กำหนด โดยคุณสมบัติเฉพาะที่กล่าวนี้อาจเป็น ลักษณะสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ฯลฯ อาทิ ความยาว ความแข็ง น้ำหนัก เป็นต้น ตามมาตรฐาน ISO 10012-1 ได้นิยามความหมายของการวัดค่า หมายถึงชุดของการปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาค่าของปริมาณอันหนึ่ง (Set of operations having the object of determining a value of quantity) และจะเรียกปริมาณใดๆที่ได้รับการนำมาวัดนี้ว่า “ สิ่งที่ได้รับการวัด (measurand) ”

การตัดสินใจเพื่อคาดการณ์ผลจากกระบวนการที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตแล้วหาทางป้องกันแต่เริ่มแรกนี้จะขึ้นอยู่กับ สารสนเทศที่ประเมินได้จากการวัดหรือการสังเกตผลจากกระบวนการ และจะดำเนินการตัดสินใจเพื่อประกันคุณภาพใน 2 เรื่อง คือ การควบคุมผลิตภัณฑ์ (product control) และการควบคุมกระบวนการ (process control) โดยการควบคุมผลิตภัณฑ์จะได้จากการดึงสารสนเทศที่ได้จากการวัดผลจากกระบวนการแล้วประเมินผลเพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะเพื่อบ่งชี้ถึงข้อบกพร่องแล้วดำเนินการจัดการกับผลิตภัณฑ์บกพร่องตามความเหมาะสม เช่น การนำกลับมาผลิตใหม่ การทำลายทิ้ง การจัดเกรดให้ต่ำลง ฯลฯ สำหรับการควบคุมกระบวนการจะเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุจากข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากกระบวนการ แล้วดำเนินการปฏิบัติการแก้ไข (corrective action) กับสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องรวมถึงการดำเนินการปฏิบัติการป้องกัน (preventive action) กับสาเหตุที่มีแนวโน้มก่อ

ให้เกิดข้อบกพร่อง (potential causes) ด้วยการกำหนดให้อยู่ในรูปแบบการแก้ไขและป้องกันเมื่อเกิดภาวะออกนอกการควบคุม (Out of control corrective action plan ; OCAP)

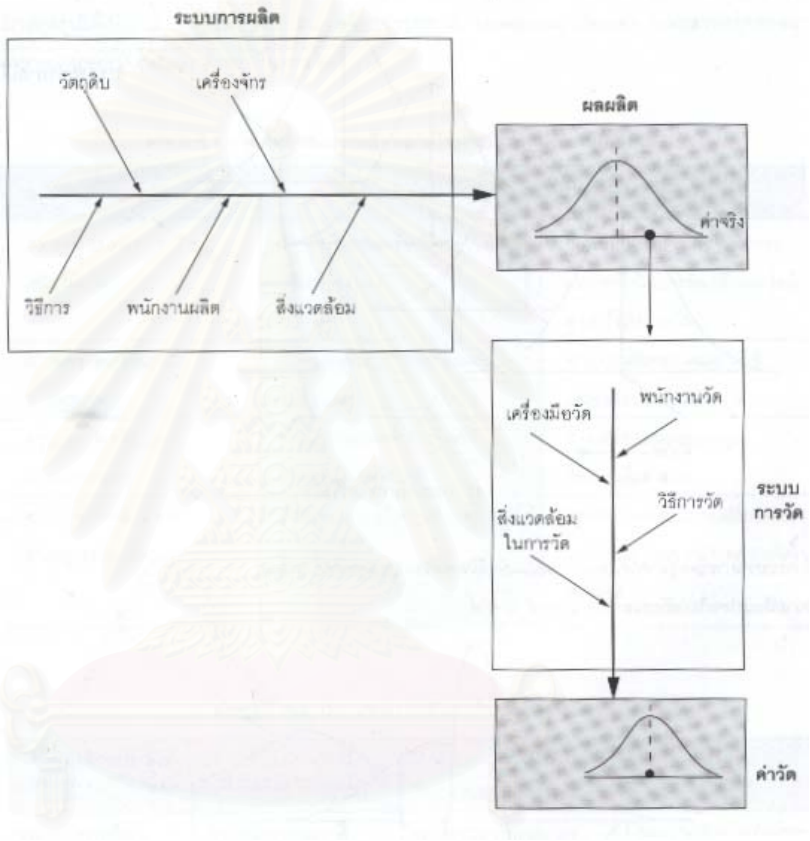


รูปที่ 2.1 บทบาทของการวัดต่อการควบคุมกระบวนการและผลิตภัณฑ์

จากที่กล่าวมา จะพบว่ามีคำสำคัญสำหรับการวัดคือ ค่าคงที่ของสิ่งที่ได้รับการวัดซึ่งถือเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่าและมีจุดประสงค์ที่จะกำหนดค่าให้ ในทางทฤษฎีจะเรียกค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่านี้ว่า “ค่าจริง (true value)” โดยนักมาตรวิทยาอาจเรียกค่าดังกล่าวว่า *ค่าที่เห็นพ้องกัน* (consensus value) หรือ *ค่าที่ได้รับการยอมรับกันโดยทั่วไป* (generally accepted value) หรือ *ค่ามาสเตอร์* (master value) นอกจากนี้ ยังมีความสำคัญอีกคำหนึ่ง คือ ชุดการปฏิบัติการในการมอบหมายค่าตัวเลข ซึ่งหมายถึง กระบวนการวัด หรือระบบการวัด โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด และเนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดเสมอ ดังรูปที่ 2.2

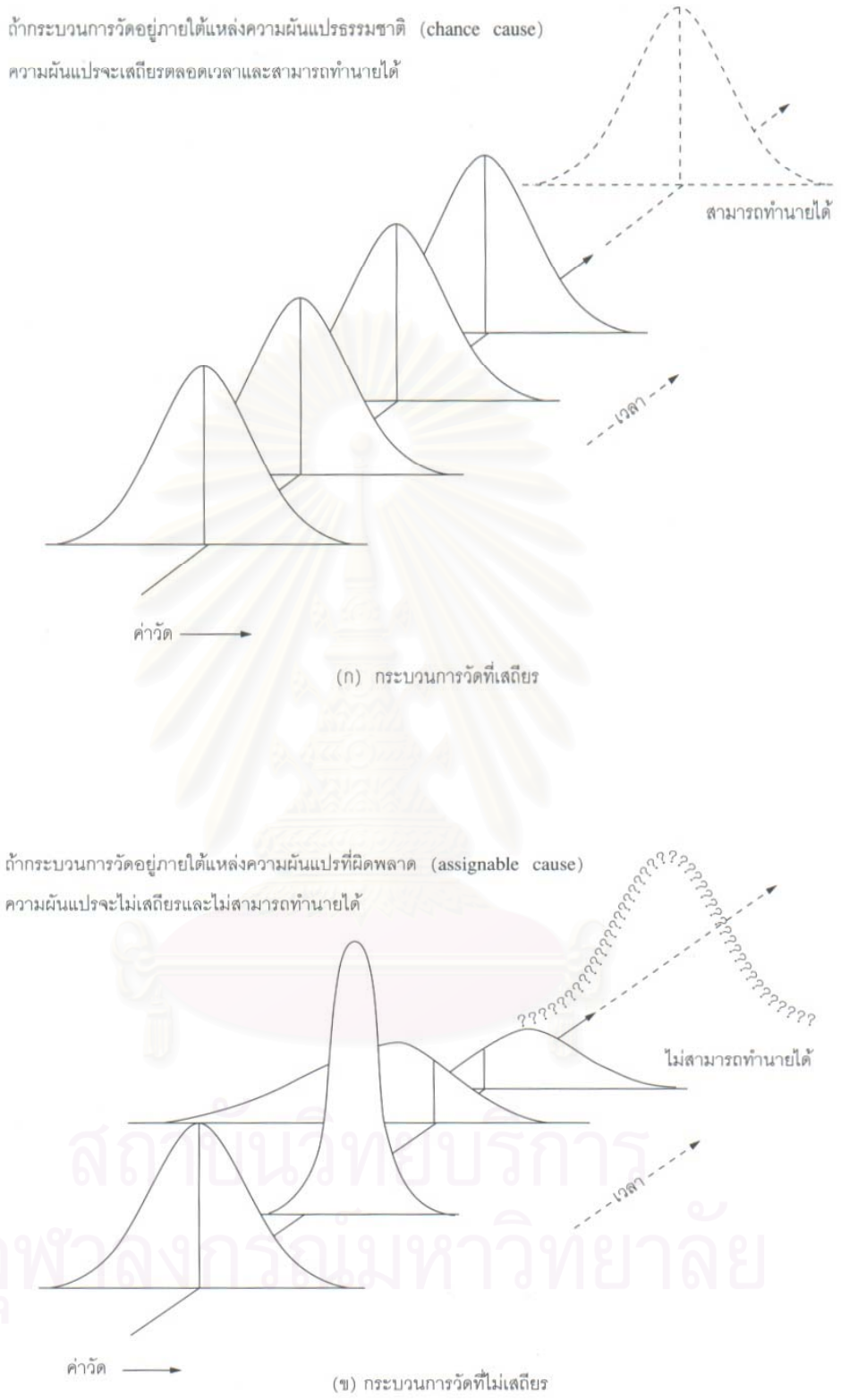
ความผันแปรในระบบการวัดที่กล่าวถึงนี้ ถ้าหากเป็นไปด้วย *สาเหตุธรรมชาติ* (Chance cause or common cause of variation) แล้ว ค่าความผันแปรจะอยู่ในลักษณะเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ดังรูปที่ 2.3(ก) แต่ถ้าหากความผันแปรเกิดจากสาเหตุความผิดพลาดอันหนึ่งมาจากปัจจัยภายนอก และอาจจะเรียกสาเหตุดังกล่าวว่า *สาเหตุแห่งความผิดพลาด* (assignable cause or special cause of variation) โดยค่าความผันแปรนี้จะไม่เสถียรภาพและ

ไม่สามารถทำนายได้ ดังรูป 2.3(ข) ดังนั้น ในการวัดเพื่อการประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการ ตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดแล้วทำการกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.2 ความผันแปรในระบบการวัด (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ ,2543)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 กระบวนการวัด (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ ,2543)

จากที่กล่าวมานี้ จะพบว่าถ้าหากมองระบบการวัดเป็นกระบวนการแล้ว ค่าจากการวัดจะมีความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของระบบการวัดเสมอ เช่น ในการวัดด้วยเครื่องมือเชิงกล *เบงคิจิ โมริยามา (2536, หน้า 6)* ได้สรุปสาเหตุไว้ในตารางที่ 1 อย่างไรก็ตาม สาเหตุต่างๆ สามารถสรุปได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ สาเหตุโดยธรรมชาติ (common cause) และสาเหตุจากความผิดพลาด (special cause) ดังสรุปในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สาเหตุของความผิดพลาดในระบบการวัดด้วยเครื่องมือเชิงกล

ประเภทของความผิดพลาด	สาเหตุ	**ตัวอย่าง**
1. ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด	โครงสร้างของเครื่องมือวัดหรือวิธีการใช้งาน	สเกลไม่เท่ากัน มีความสึกหรอ แรงกดที่ใช้ในการวัดเปลี่ยนแปลงไป ช่วงกว้างไม่เท่ากัน
2. ความคลาดเคลื่อนจากพนักงานวัด	นิสัยของผู้วัด ระดับการฝึกฝนและทักษะ	อ่านสเกลผิดพลาดและวิธีใช้เครื่องมือมีความผิดพลาด
3. ความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยภายนอก	ปัจจัยภายนอกต่าง ๆ อาทิ เช่น อุณหภูมิ แสงสว่าง ลม ฯลฯ	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ วิธีการให้แสงสว่าง
4. ความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุธรรมชาติต่างๆ	ปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้และระบุได้	สภาวะแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย หรือสภาวะจิตใจของผู้วัด

ตารางที่ 2 .2 ประเภทความผันแปรในระบบการวัด

ประเภทความผันแปร	สาเหตุความผันแปร	ตัวแบบความผันแปรของค่าวัด	การแก้ไข
ความผันแปรภายใน ● เกิดโดยธรรมชาติ ● สามารถคาดการณ์ได้	สาเหตุโดยธรรมชาติ (common causes)	ค่าวัดกระจายสมมาตรรอบค่าที่ควรจะเป็น (รูปทรงปกติที่คงที่)	ลดความผันแปรด้วยการจัดการกับระบบ
ความผันแปรภายนอก ● เกิดจากปัจจัยภายนอก ● เกิดขึ้นเป็นครั้งคราวไม่สามารถคาดการณ์ได้	สาเหตุความผิดพลาด (special causes)	ค่าวัดจะกระจายในรูปทรงและตำแหน่งต่าง ๆ ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้	แก้ปัญหาที่จุดตรวจวัด

2.1.2 ความคลาดเคลื่อนของค่าวัด

จากสาเหตุด้านความผันแปรของระบบการวัดที่ได้กล่าวมาแล้ว มีผลทำให้ค่าวัดที่ได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้ X หมายถึงค่าวัดที่ได้ และ μ หมายถึง ค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด แล้ว จะได้ว่า

$$X_i = \mu + \varepsilon_i$$

โดยจะเรียก ε นี้ว่า *ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าวัด* (Measurement error) (ในตำราภาษาไทยหลายเล่ม มักเรียกค่านี้ว่า “ความผิดพลาดจากการวัด” ซึ่งไม่น่าจะถูกต้องนัก เพราะค่าดังกล่าวอาจมาจากสาเหตุธรรมชาติที่มิได้ถือว่าเป็นความผิดพลาดก็ได้) ดังนั้นในการบริหารระบบการวัดเพื่อการประกันคุณภาพ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามทำให้ความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีค่าต่ำที่สุดเพื่อจะให้ค่าวัดมีค่าใกล้กับค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดมากที่สุด โดยทั่วไปแล้วอาจจำแนกประเภทของประเภทของความคลาดเคลื่อนของค่าวัดออกได้ 3 ประเภท คือ

(1) ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด (gross error)

(2) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic error)

(3) ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error)

ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด เป็นความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสาเหตุจากความผิดพลาด (special causes) ของระบบการวัด ส่วนมากเกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเครื่องมือวัด และวิธีการวัดของพนักงานที่ทำหน้าที่วัด โดยลักษณะความคลาดเคลื่อนอาจจะมาจากการเลือกใช้เครื่องมือวัดที่ผิดพลาด หรือมาจากการอ่านค่าผิดพลาด โดยความคลาดเคลื่อนในลักษณะเช่นนี้ไม่สามารถคาดการณ์ได้แต่สามารถกำจัดได้เบื้องต้นด้วยการทำระบบการวัดให้ได้มาตรฐาน คือ การกำหนดขั้นตอนและวิธีการวัดที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด และการบำรุงรักษาเครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง แล้วดำเนินการประเมินผลโดยอาศัยแผนภูมิควบคุม (control chart)

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หมายถึงความคลาดเคลื่อนที่ค่าที่ควรจะเป็น (expected value) จากค่าวัดซึ่งได้มาจาก การเฉลี่ยออกความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มซึ่งเบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด กล่าวคือ

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ $= \bar{X}_i -$ ค่าจริง (2.2)

ตำราบางเล่มอาจจะเรียกค่าดังกล่าวนี้ว่า *ความเบี่ยงเบนจากค่าจริง* (หรือ *ออฟเซต (offset)*) หรือ *ค่าความเอนเอียง* (หรือ *ไบอัส (bias)*) ซึ่งสาเหตุของความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้มักจะมาจากโครงสร้างของเครื่องมือวัดเป็นสำคัญ นอกจากนี้ก็อาจจะมีผลมาจากปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อค่าวัด หรือปริมาณที่มีอิทธิพลต่อค่าวัด (influence quantity) ซึ่งหมายถึงปริมาณที่มิใช่ปริมาณของสิ่งที่ได้รับการวัดแต่มีผลต่อการวัด เช่น กรณีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสำหรับการใช้ไมโครมิเตอร์วัดความยาว หรือความถี่ในการวัดขนาดความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าสลับ

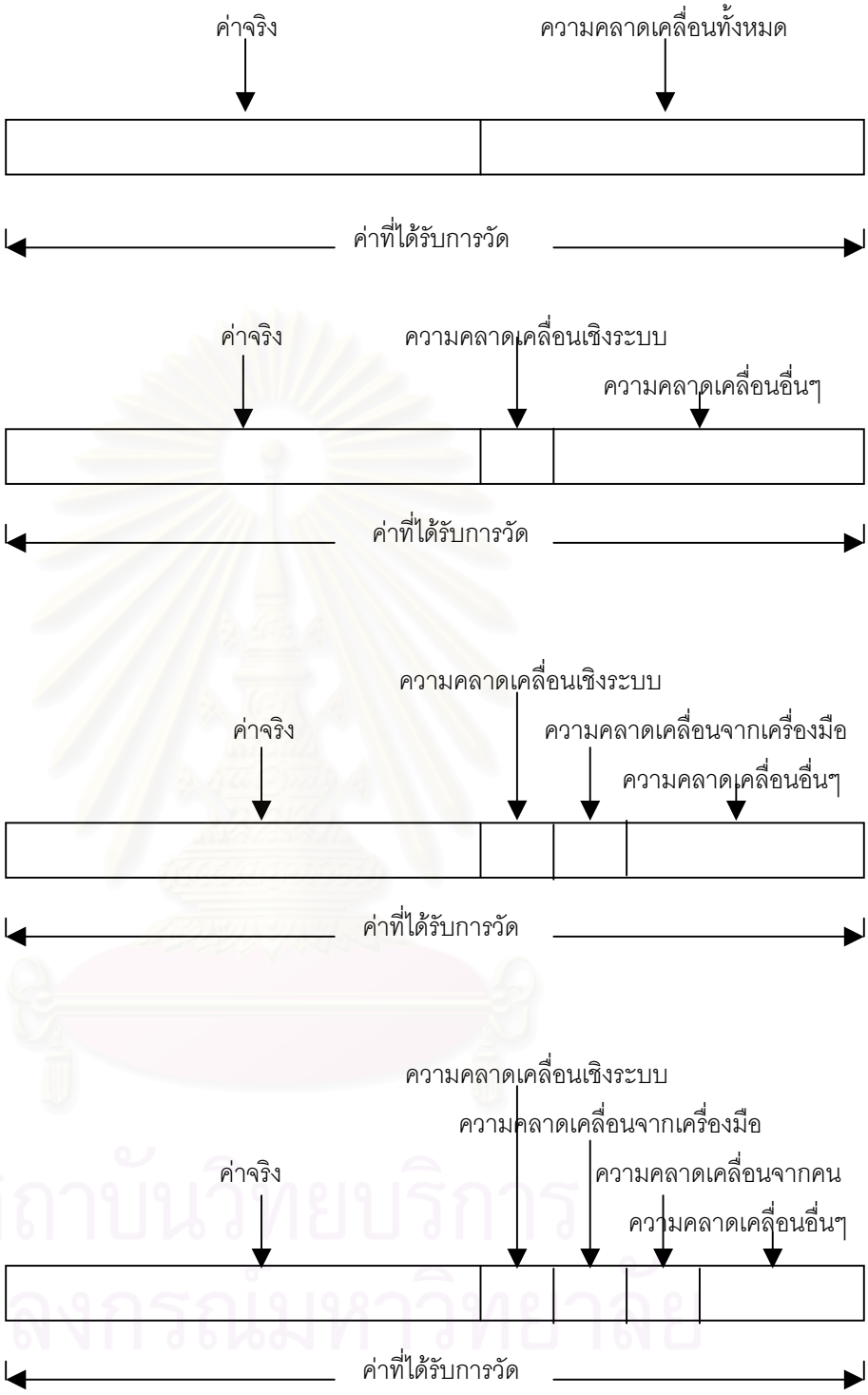
ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้สามารถได้รับการกำหนดค่าด้วยผู้ผลิตหรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบและสามารถกำจัดได้ด้วยการสอบเทียบ/การปรับเทียบ (calibration) สำหรับกรณีของโครงสร้างของเครื่องมือวัด และสามารถกำจัดได้ด้วยการควบคุมปริมาณที่มีอิทธิพลต่อค่าวัดด้วยการควบคุมสภาพแวดล้อมของระบบการวัด เช่น การใช้ตัวปรับเสถียรแรงดันไฟฟ้า (stabilizer) เป็นต้น

ความคลาดเคลื่อนประเภทสุดท้าย คือ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ซึ่งหมายถึงความเบี่ยงเบนของค่าวัดจากค่าที่ควรจะเป็นของค่าวัด ซึ่งจะมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม (คือ ค่าที่จะเกิดขึ้นตามโอกาสโดยธรรมชาติ) โดยสาเหตุความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มนี้จะมาจากสาเหตุโดยธรรมชาติ (common causes) ของระบบการวัด และไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถปรับค่าให้ลดลงได้ด้วยการดำเนินการแก้ไขระบบการวัด อาทิ ปรับวิธีการวัดใหม่ ใช้อุปกรณ์พวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์ ในการจับงานที่จะวัด

2.1.3 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้มีจุดประสงค์สำคัญใน *การวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด* ด้วยการจำแนกสาเหตุออกดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 (จาก AIAG ,1995.) และเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดนี้มีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดทั้งนี้ด้วยการดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบโดย *การสอบเทียบ* นี้หมายถึง กระบวนวิธีในการถ่ายทอดค่ามาตรฐานของค่าวัดจากมาตรฐานที่สูงกว่าสู่มาตรฐานที่ต่ำกว่า โดยระบบการสอบเทียบดังกล่าวนี้ต้องสามารถสอบกลับได้ (traceability) (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) โดยการสอบกลับได้จะมีความหมายถึง ความสามารถต่อการกำหนดความสัมพันธ์ของค่าวัดแต่ละค่ากับมาตรฐานแห่งชาติ หรือมาตรฐานระหว่างประเทศที่ได้รับการยอมรับโดยระบบที่มีการต่อเนื่อง (unbroken chain of comparisons)

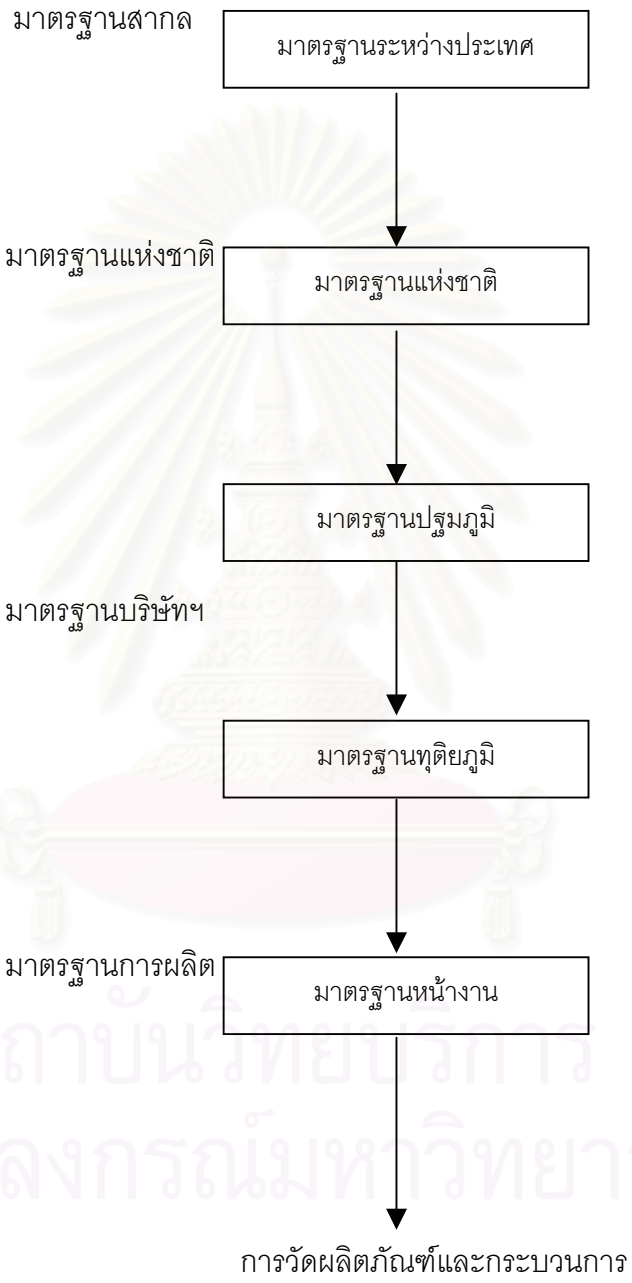


รูปที่ 2.4 การจำแนกความคลาดเคลื่อนจากการวัดออกเป็นแหล่งต่างๆ

(ดัดแปลงจาก AIAG ,1995)

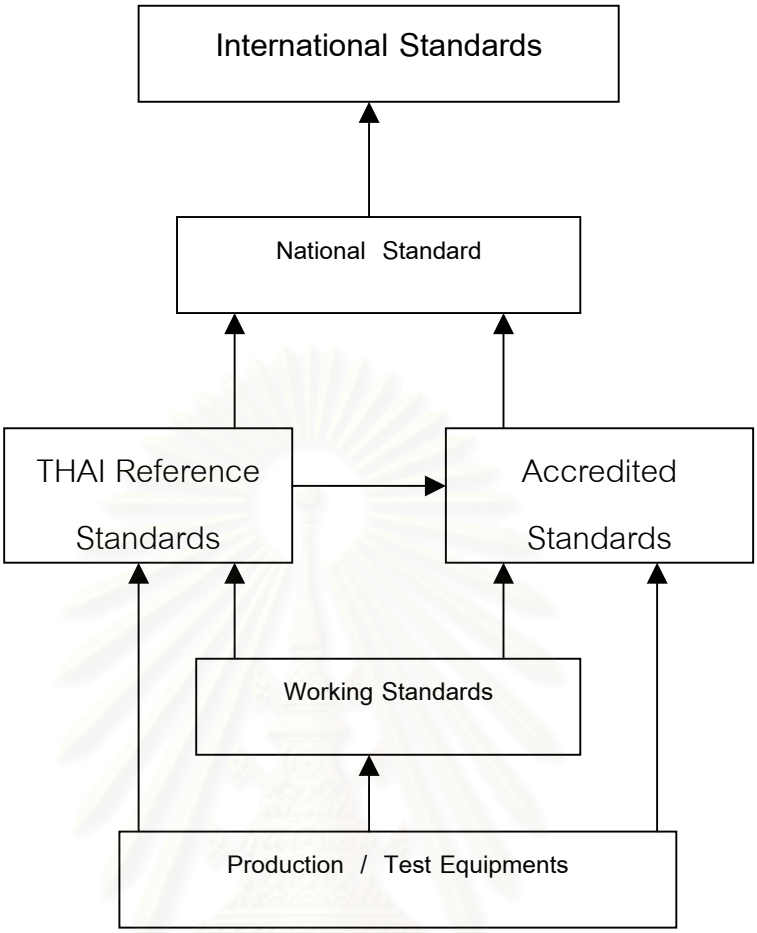
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Calibration Procedure and Traceability



รูปที่2.5 ขั้นตอนการถ่ายทอดมาตรฐาน (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ , 2543)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของการสอบกลับได้สำหรับมาตรฐานการสอบเทียบ(สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น , 2543)

ในการสอบเทียบเพื่อการลดและกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้ มีความจำเป็นต้องทำการพิจารณาใน 3 ประเด็นหลัก คือ

1. ขนาดความไม่แน่นอนของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ผ่านการสอบเทียบมาแล้ว
2. ประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความไม่แน่นอน
3. วิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอน

โดยปกติแล้วในการประเมินความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบนี้จะแสดงในรูปของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (absolute errors) และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative errors) โดยที่

$$\text{ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์} = X - \mu \qquad (2.3)$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} = \frac{X - \mu}{\mu} \times 100\% \qquad (2.4)$$

2.1.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด

คือการทำให้ค่าที่วัดได้ถูกต้องแม่นยำ โดยการเปรียบเทียบค่าของอินพุทของเครื่องมือวัดและค่าเอาท์พุทของค่ามาตรฐาน หลังจากการพิจารณาผลของการเปรียบเทียบ ถ้าหากว่าเครื่องมือวัดมีการผิดพลาด ก็จะสามารถทำให้เหมือนเดิม และถูกต้องได้ด้วยวิธีการปรับแก้ (Adjust) โดยการสร้างตัวแปรของกระบวนการที่จะทำการวัดขึ้น (Simulation) การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม อาจจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าพารามิเตอร์ของ Process หรือของอุปกรณ์ต่างๆ ได้

2.1.5 การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด

(The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement for Calibrations)

การสอบเทียบทุกครั้งจะต้องมีการระบุค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องมือวัดทุกชนิดตามมาตรฐาน ISO 9000 และ ISO/IEC Guide 25 (17025) ความไม่แน่นอนในการวัด จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลการวัด ว่าดีมากน้อยเพียงใด ถ้าผลการวัดที่ได้มาจากเครื่องมือวัดที่มีความไม่แน่นอนน้อย แสดงว่าผลการวัดที่ได้จะมีคุณภาพดี

ซึ่งสามารถประเมินค่า Uncertainty ตาม ทฤษฎี และหลักการของ NAMAS 3003 ได้ดังนี้

Type A: เป็นปัจจัยค่าความไม่แน่นอนที่สามารถประเมินด้วยวิธีทางสถิติ (แบบสุ่ม)

Type B: เป็นปัจจัยค่าความไม่แน่นอนทั้งหลายที่สามารถประเมินด้วยวิธีอื่นๆ(แบบระบบ)

โดยทั่วไปกระบวนการวัดสามารถกำหนดให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์

$$y = f(x_1, x_2, \ldots\ldots, x_n) \qquad (2.5)$$

2.1.6 การประเมินค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอน Type A

(Type A evaluation of Standard uncertainty)

เป็นการประเมินค่าที่ได้จากการวัดซ้ำ หรือการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม ในกรณีศึกษานี้ใช้วิธีการวัดซ้ำ 4 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k \qquad (2.6)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{4}(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) \qquad (2.7)$$

การกระจายผลการวัด จากการวัดซ้ำ 4 ครั้ง อาจเกิดความเบี่ยงเบนได้จากเครื่องมือวัด วิธีการวัด และตัวผู้ทำการวัด ดังนั้นการกระจายดังกล่าวสามารถใช้หลักทางสถิติในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation ; S)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2} \qquad (2.8)$$

ในสมการที่ (2.8) จะใช้ในกรณีที่ค่า n มีค่ามากๆ แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติเราจะทำการวัดซ้ำ 3 – 4 ครั้งเท่านั้น จึงจำเป็นต้องใช้สมการที่ (2.9) ในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2} \qquad (2.9)$$

หลังจากนั้น คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (The estimated standard deviation of the uncorrected mean of the measurand) ซึ่งถือว่าเป็นค่าความไม่แน่นอน มาตรฐานของ Type A : U_A

$$s(\bar{x}) = U_A = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} \qquad (2.10)$$

2.1.7 การประเมินค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอน Type B

(Type B evaluation of Standard uncertainty)

ความไม่แน่นอน Type B ประกอบด้วยหลายส่วนเป็นระบบ (Systematic components) เช่น รายงานความไม่แน่นอนของมาตรฐานอ้างอิง(U_{B1}), เครื่องมือวัดหรือเครื่องมือสอบเทียบ รวมถึงอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ(U_{B2}), ค่าความละเอียดของเครื่องสอบเทียบหรือเครื่องมือวัด(U_{B3}), วิธีและขั้นตอนการดำเนินงานการสอบเทียบ(U_{B4}), ผลกระทบจากสภาวะแวดล้อม(U_{B5}) ส่วนประกอบของการประเมินค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอน Type B ควรจะต้องแสดงลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็น ในกรณีที่ทราบเฉพาะขอบเขตการกระจายของค่าความไม่แน่นอน โดยไม่ได้กำหนดระดับความเชื่อมั่น ให้ตั้งสมมติฐานว่า ความไม่แน่นอนนี้มีการกระจายความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular probability distribution) ที่ความเชื่อมั่น 100% เช่น resolution หรือ ในกรณีศึกษานี้ตัวเครื่องชั่งสามารถอ่านค่าได้ต่ำสุด 0.01 กรัม แล้วคำนวณหาค่ากึ่งกลางของขอบเขตค่าที่สามารถอ่านได้ต่ำสุด $ai = 0.01 \div 2 = 0.005$ กรัม

$$U_{B_i} = \frac{ai}{\sqrt{3}} \qquad (2.11)$$

กรณีที่ความไม่แน่นอนถูกกำหนดด้วยระดับของความเชื่อมั่นเช่น 68%,95%หรือ 99%ที่อยู่ในรูปของ coverage factor (K) K=1,2,3 ตามลำดับ ให้พิจารณาว่าความไม่แน่นอนเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal probability distribution) เช่นค่าความไม่แน่นอนของ

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ระบุไว้ใน certificate = $\pm$ 0.01 mg = $\pm$ 0.00001 g ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งค่า $K_{(ประมาณ)} = 2$

$$U_{B2} = \frac{0.00001}{K} \qquad (2.12)$$

ในกรณีศึกษานี้เป็นโรงงานอุตสาหกรรมจึงสามารถตัดค่าความไม่แน่นอนในส่วนอื่นๆที่มีผลน้อยมากทิ้งได้ (U_{B3},U_{B4}=0)

2.1.8 การประเมินค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอนรวม(Combined Standard uncertainty) ความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้จากการประเมิน Type A และ TypeB สามารถนำมาคำนวณหาค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอนรวมได้จากปริมาณที่วัดทางOutput

$$y = f(x_1, x_2, \ldots\ldots\ldots\ldots, x_n)$$

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} c_i^2 u^2(x_i)} \equiv \sqrt{\sum_{i=1}^{n} u_i^2(y)} \quad , \qquad (2.13)$$

กำหนดให้ C_i เป็นค่า sensitivity coefficient ซึ่งอยู่ในรูปของ partial derivative $\partial f/\partial x_i$ คล้ายกับค่า สัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอนรวมได้จาก

$$U_c(y) = \sqrt{\left[\frac{c_i U_i}{k}\right]^2 + \frac{c_2^2 a_2^2 + c_3^2 a_3^2}{3} + c_4^2 u^2(x_4)} \qquad (2.14)$$

กำหนดให้ U_iเป็นการกระจายแบบปกติ(normal probability distribution , a_1 และ a_3 เป็นลิมิตของการกระจายแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ใน Type B เรียบร้อยแล้ว ส่วน $U(x_4)$ จะถูกรวมไว้ใน Type A

ดังนั้นถ้าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีค่าแปรผันตรง(linear) ถ้าพิจารณาใช้ค่าสัมพัทธ์ (relative value) แทนค่าที่มีหน่วย ในหลายกรณีปริมาณ input อยู่ในเทอมสัมพัทธ์แล้ว เช่นอยู่ในรูป % หรือ ppm โดยที่ค่า sensitivity coefficient $c_i = 1$ ถ้าหากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรไม่ แปรผันตรง (non-linear)เช่น $y = cx_1^{p1}.\ x_2^{p2} \ldots\ldots x_n^{pn}$,

$$\frac{U_c(y)}{|y|} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{p_i u(x_i)}{|x_i|}\right]^2} \qquad (2.15)$$

2.1.9 ความสัมพันธ์ร่วมของปริมาณ input (Correlated input quantities)

ถ้ากำหนดความสัมพันธ์ร่วมของฟังก์ชันระหว่างปริมาณinput $r(x_i,x_j) = u(x_i,x_j) / u(x_i)u(x_j)$ เมื่อ $-1 \leq r(x_i,x_j) \leq 1$ ดังนั้นการรวมค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานจากสมการ (2.14) จะได้ว่า

$$Uc(y) = \sqrt{[c_1u(x_1) + c_2u(x_2)]^2 + [c_3u(x_3)]^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + [c_nu(x_n)]^2} \qquad (2.16)$$

or

$$Uc(y) = \sqrt{u_A^{\ 2} + u_{B1}^{\ 2} + u_{B2}^{\ 2}} \qquad (2.17)$$

2.1.10 ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty and Level of confidence)

การสอบเทียบ นอกจากการพิจารณาค่าปริมาณที่วัด ค่าความไม่แน่นอนรวมแล้ว ยังจะต้องพิจารณาระดับความเชื่อมั่น เพื่อที่จะขยายผลของความไม่แน่นอน ในระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ (ในปัจจุบันยอมรับกันที่ประมาณ 95.5%) ระดับความเชื่อมั่นจะมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับค่า coverage factor และค่าองศาอิสระ(degree of freedom) จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าองศาอิสระ(degree of freedom) เนื่องจากส่วนประกอบความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องวัดใดๆ ขึ้นอยู่กับ ความไม่แน่นอนมาตรฐานของ Type A และความไม่แน่นอนมาตรฐานของ Type B ที่มีการแจกแจงทั้งแบบปกติและแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งทำให้ค่าองศาอิสระแตกต่างกัน ดังนั้นจะต้องพิจารณาหาตัวแทนขององศาอิสระของความไม่แน่นอนรวม โดยใช้สมการ Welch-Satterwaite เมื่อได้ค่า degree of freedom นำไปเปิดตาราง Students' T-Distribution ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% จะได้ค่า coverage factor (K) (ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะใช้ค่าประมาณของ coverage factor,K=2) เพื่อคำนวณหาค่า ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty and Level of confidence)

$$\nu_{eff} = \frac{U_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{U^4(x_i)}{\nu_i}} \cong \frac{U_c^4}{U_A^4} * \nu_A = \frac{U_c^4}{U_A^4} * n-1 \qquad (2.18)$$

$$U = kU_c(y) \qquad (2.19)$$

หลังจากการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบแล้ว จะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วย การประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าที่วัดได้ ดังนั้นถ้าจะพิจารณาถึงองค์ประกอบของค่าวัดแต่ละค่าแล้ว จะได้ว่า

ค่าวัด (X_{ij}) = ค่าจริงของงาน (μ) + ค่าไบอัส (b)

+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านชิ้นงาน (α_i)

+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านพนักงาน (β_j)

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

+ ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุแบบสุ่ม (ε_{ij})

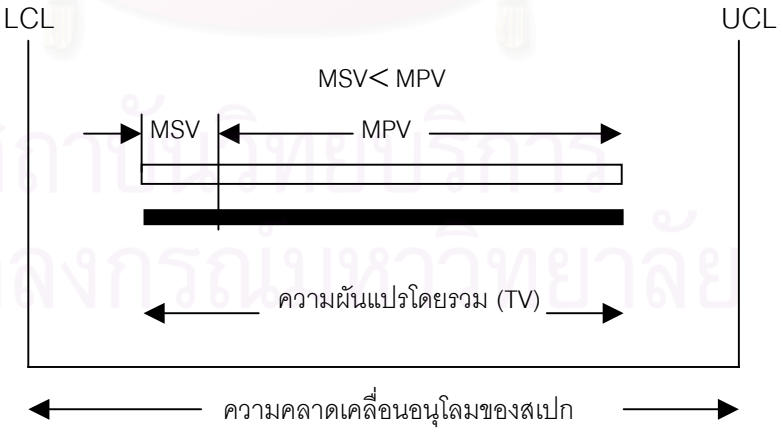
$$\therefore X_{ij} = \mu + b + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2.20)$$

และจะได้ค่าความผันแปรของค่าวัด (measurement variation)

$$\sigma^2_x = \sigma^2_\alpha + \sigma^2_\beta + \sigma^2_{\alpha\beta} + \sigma^2 \quad (2.21)$$

ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบการวัด จึงเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดจากค่าที่วัดได้ เพื่อแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นส่วนๆ คือ เป็นชิ้นงาน(part-to-part Variation;PV) พนักงานวัด (Appraiser Variation;AV) ความผันแปรร่วม(Interaction Variation;IV) และแหล่งความผันแปรอื่นๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติจะมีแหล่งความผันแปรหลักๆ จะมาจากอุปกรณ์เครื่องมือวัด (Equipment Variation;EV)

เมื่อมีการวิเคราะห์ถึงความผันแปรจากระบบการวัด จะทำการประเมินเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ(Specification) หรือความผันแปรจากกระบวนการผลิต(Manufacturing Process Variation – MPV) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ต้องพยายามทำให้ความผันแปรจากระบบการวัดน้อยกว่าข้อกำหนดเฉพาะ และความผันแปรจากกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แนวความคิดในการประเมินความผันแปร (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ , 2543)

2.1.11 การประมาณค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด

ความคลาดเคลื่อนของค่าวัดประกอบด้วยความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ซึ่งถือเป็นสาเหตุแห่งความผิดพลาด (special cause) ที่มีคุณสมบัติไม่สามารถคาดการณ์ได้ และความคลาดเคลื่อนเชิงระบบและความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มที่ถือเป็นสาเหตุโดยธรรมชาติ (common cause) ที่มีคุณสมบัติสามารถคาดการณ์ตัวแบบและขนาดความผันแปรได้ ดังนั้นในการศึกษาถึงความผันแปรของระบบการวัดนี้มีความจำเป็นต้องดำเนินการภายใต้สภาวะการควบคุมเพื่อให้ความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีสาเหตุโดยธรรมชาติเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากภายใต้สภาวะการควบคุม ข้อมูลจะมีคุณสมบัติที่สามารถใช้คาดการณ์ถึงค่าวัดต่าง ๆ ในอนาคตได้

ถ้าให้ μ คือค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด (เป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่า) และ ε คือความคลาดเคลื่อนของค่าวัดเนื่องจากสาเหตุโดยธรรมชาติ ถ้าหากทำการวัดค่าสิ่งที่ได้รับการวัด 1 ชิ้น ภายใต้สภาวะการควบคุม จำนวน n ครั้ง จะสามารถอธิบายค่าวัดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} X_1 &= \mu + \varepsilon_1 \\ X_2 &= \mu + \varepsilon_2 \\ X_3 &= \mu + \varepsilon_3 \\ &\vdots \\ X_n &= \mu + \varepsilon_n \end{aligned} \qquad \text{..... (2.21)}$$

ในการประมาณค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด (μ) จะได้จากการรวมข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมด ซึ่งได้ผลว่า

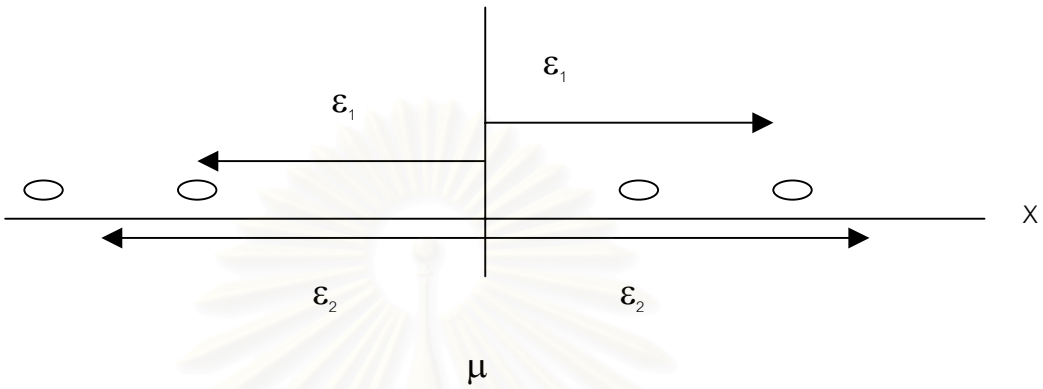
$$\sum_{i=1}^{n} X_i = n\mu + \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i$$

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i \qquad \text{..... (2.22)}$$

$$\mu = \bar{X} - \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i$$

$$\hat{\mu} = \bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

ในสมการ (2.22) จะพบว่าสามารถประมาณค่า μ ได้ โดยในสถานการณ์ดังกล่าวนี้จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อ ε จะต้องมีค่าเป็นบวกและลบ (ค่ามากกว่า μ และน้อยกว่า μ) ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งความผันแปรในลักษณะดังกล่าวนี้จะเป็นคุณสมบัติเฉพาะความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติเท่านั้น



รูปที่ 2.8 ลักษณะค่าวัดที่ใช้ประมาณค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด
(กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ , 2543)

ในสมการ (2.22) นั้นอาจจะตีความหมายได้ว่า การนำเอาค่าวัดมารวมกันแล้วหารออกด้วยจำนวนครั้งของการวัดนั้นเป็น " การเฉลี่ยออก (average out) " ความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติของค่าวัด จึงอาจเรียก $\bar{X}$ อย่างสั้น ๆ ว่า ค่าเฉลี่ย (average) แต่ทั้งนี้ผู้วิเคราะห์ต้องพยายามตีความหมายด้วยว่ามีการเฉลี่ยความผันแปรจากสาเหตุใดออกไป เช่น ในค่าวัด 4 ค่าที่ได้จากการวัดซ้ำสิ่งที่ได้รับการวัด 1 ชิ้น ซึ่งจะมีความผันแปรจากสาเหตุต่าง ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ในขณะวัด หรือ ความสามารถในการวัดซ้ำ (repeatability) ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของค่าวัดทั้ง 4 ค่าจะมีความหมายเท่ากับการเฉลี่ยออกค่า repeatability ในการวัดออกไป จึงมีค่าเป็นค่าจริงของงานที่ได้รับการวัด แต่ถ้าหากเป็นค่าวัด 4 ค่าที่ได้จากวัดสิ่งที่ได้รับการวัด 4 ชิ้น ที่สุ่มจากกระบวนการผลิตหนึ่งซึ่งจะมีความผันแปรจากสาเหตุต่าง ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ในขณะผลิตและชักสิ่งตัวอย่าง อาจเรียกว่าความผันแปรของกระบวนการผลิต ดังนั้น ค่าเฉลี่ยค่าวัดทั้ง 4 ค่าจะมีความหมายเท่ากับการเฉลี่ยออกความผันแปรของกระบวนการผลิตออกไป จึงมีค่าเป็นผลจากค่าปรับ (setting) ของกระบวนการผลิตดังกล่าว

2.1.12 การประมาณค่าความผันแปรจากค่าวัด

ตัวประเมินค่าที่มีความสำคัญมากในการวิเคราะห์ระบบการวัด คือ ค่าความผันแปรของค่าวัดจากระบบการวัด ซึ่งในทางสถิติมีตัวประเมินค่าหลายตัวด้วยกัน แต่ที่ได้รับความนิยมกันมากจะเป็นตัวัดที่อยู่บนแนวความคิด 2 ประการ คือ แนวความคิดด้านความแตกต่างมากที่สุดของค่าวัด หรือพิสัยและแนวความคิดของความเบี่ยงเบนรอบค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด

ค่าพิสัย (Range) ในการประเมินค่าความผันแปรจากค่าวัดด้วยแนวความคิดความแตกต่างมากที่สุดของค่าวัดนี้จะนิยามในรูปของพิสัย โดยที่

พิสัย (R) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด - ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

ด้วยแนวความคิดของพิสัยนี้ จะถือว่าค่าวัดแต่ละค่าจะมีค่าความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติเสมอ ดังนั้นความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากสาเหตุโดยธรรมชาติในข้อมูลวัด จึงนิยามได้จากค่าความแตกต่างของค่าวัดที่มีค่ามากที่สุดกับค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุดนี้ ตัวอย่างเช่น ในการวัดซ้ำสิ่งที่ได้รับการวัด 1 ชิ้นจำนวน 5 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุม ได้ผลว่า

9.6 10.5 10.1 10.2 9.8

จากค่าวัดที่ได้ พบว่าข้อมูลที่มีค่ามากที่สุด และข้อมูลที่มีค่าน้อยที่สุด คือ 10.5 และ 9.6 โดยลำดับ ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า

10.5 = ค่าจริง + สาเหตุความผันแปรที่มากที่สุด

และ 9.6 = ค่าจริง + สาเหตุความผันแปรที่น้อยที่สุด

ดังนั้น 10.5 - 9.6 = 0.9 = ความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติของค่าวัด

ค่าความเบี่ยงเบน (Deviation) เนื่องจากความผันแปรของค่าวัดในระบบการวัดจะเป็นความผันแปรรอบค่าจริง (ดังรูปที่ 2.7) ดังนั้น ค่าความผันแปรของค่าวัดอาจจะได้รับการประเมินผ่านความแตกต่างของค่าวัดจากค่าประมาณของค่าจริง ซึ่งเรียกว่า ค่าความเบี่ยงเบน

ความเบี่ยงเบน = ค่าวัด (X_i) - ค่าประมาณค่าจริง $(\bar{\Phi})$

แต่เนื่องจากสาเหตุโดยธรรมชาติของค่าวัดทำให้ความเบี่ยงเบนของค่าวัดรอบค่าจริงมีค่าบวกและลบทำให้ผลรวมหักล้างกัน จึงจำเป็นต้องคำนวณในเทอมผลรวมกำลังสอง (sum of square)

จากตัวอย่างค่าวัด 5 ค่าสามารถประมาณค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดว่า

$$\bar{\Phi} = \frac{9.6 + 10.5 + 10.1 + 10.2 + 9.8}{} = 10.04$$

การคำนวณผลรวมกำลังสองของความเบี่ยงเบนเป็นไปดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการคำนวณผลรวมกำลังสองของความเบี่ยงเบน

ข้อมูลตัวที่ i	ข้อมูล (X_i)	$X_i - \overline{X}$	$(X_i - \overline{X})^2$
1	9.6	9.6 - 10.04 = -0.44	0.1936
2	10.5	10.5 - 10.04 = 0.46	0.2116
3	10.1	10.1 - 10.04 = 0.06	0.0036
4	10.2	10.2 - 10.04 = 0.16	0.0256
5	9.8	9.8 - 10.04 = -0.24	0.0576
ผลรวม		0	0.4920

ค่าผลรวมกำลังสองของความเบี่ยงเบนตามที่คำนวณได้นั้น จะมีค่าขึ้นกับจำนวนข้อมูล ที่หมายถึงจำนวนครั้งในการวัด จึงมีความจำเป็นต้องเทียบต่อหน่วยของข้อมูล และจะเรียกค่าดังกล่าวว่า *กรณฑ์ที่สองของมัชฌิมกำลังสองของความเบี่ยงเบน* (Root Mean Square Deviation ; S_n) ดังนั้น

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2} \qquad (2.23)$$

จากค่าวัดตามตัวอย่างข้างบน จะประเมินค่าความเบี่ยงเบน $S_n = 0.313688$
ซึ่งมีความหมายว่า ถ้าในการวัดสิ่งที่ได้รับการวัด 1 ชิ้น จำนวน 5 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุม จะมีสาเหตุความผันแปรโดยธรรมชาติต่อหน่วยข้อมูลที่ประเมินจากความผันแปรรอบค่าจริง เท่ากับ 0.323688

2.1.13 การอนุมานคุณสมบัติของระบบการวัดจากค่าวัด

ภายใต้สาเหตุความผันแปรโดยธรรมชาติของค่าวัดจะทำให้สามารถคาดการณ์ค่าวัดดังกล่าวเป็นค่าวัดที่จะเกิดขึ้นในอนาคตภายใต้สภาวะเดียวกันได้ ด้วยตัวแบบหนึ่งที่อยู่ภายใต้พิกัดหนึ่งเสมอ และจะเรียกตัวแบบดังกล่าวว่า การแจกแจง (distribution)

ถ้าให้ X = ค่าวัดของสิ่งที่ได้รับการวัดหนึ่ง

f(X) = ฟังก์ชันที่กำหนดสัดส่วนของค่าวัดว่าจะอยู่ระหว่าง x และ x + dx

เท่ากับ f(x)dx = ฟังก์ชันการแจกแจงของ X

เมื่อสามารถอนุมานการแจกแจงของ X ในรูป f(X) ได้แล้ว จะสามารถหาค่าจริงของค่าวัดได้จากการเฉลี่ยออกความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติทั้งหมดในระบบการวัด ซึ่งจะเรียกค่าดังกล่าวว่า ค่าคาดหมายของ X {Expected Value ; E(X)} โดย

$$\mu = E(X) = \int_{\text{ทุกค่าของ } x} x\, f(x)\, dx \qquad (2.24)$$

นอกจากนี้ยังสามารถหาค่าความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติทั้งหมดในระบบการวัดได้ และจะเรียกค่าดังกล่าวว่า ความแปรปรวนของ X (variance ; V(X)) โดย

$$\sigma^2 = V(X) = \int_{\text{ทุกค่าของ } x} (x - \mu)^2 f(x)\, dx \qquad (2.25)$$

อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัตินั้นไม่อาจจะหาค่า μ และ σ^2 ดังสมการ (2.24) และ (2.25) โดยลำดับได้ ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถทำการวัดข้อมูลให้มากพอจนกระทั่งกำหนดฟังก์ชัน f (X)ได้ จึงมีความจำเป็นต้องทำการประมาณค่า μ และ σ^2 จากข้อมูลที่หมายถึงค่าวัด ด้วยวิธีการอนุมานทางงสถิติ (statistical inference) โดยสามารถประมาณค่า μ จากค่า $\bar{X}$ และจะเรียก $\bar{X}$ ว่าเป็นตัวประมาณค่าที่ไม่เอนเอียง (unbiased estimator) ของค่า μ ซึ่งหมายความว่าถ้าหากมีการเก็บข้อมูลที่มีจำนวนมากพอ ($n \rightarrow \alpha$) แล้ว $\bar{X}$จะมีค่าเข้าใกล้ค่า μ

2.1.14 วิธีการประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัด

การอนุมานค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเป็นกรณีที่มีข้อมูล n ตัวในกลุ่มย่อยเพียงกลุ่มเดียว ซึ่งพบว่าถ้าหากมีการเก็บข้อมูลจำนวน K กลุ่มย่อยขนาดย่อยละ n ตัว (กลุ่มย่อยของข้อมูลได้จากการเก็บข้อมูลภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แต่สำหรับคนละกลุ่มย่อยแล้วจะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงไปของเงื่อนไขที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ความแตกต่างของสิ่งที่ได้รับการวัดประเภทเดียวกันแต่คนละชิ้น หรือความแตกต่างจากพนักงานวัดแต่ละคนที่ได้รับการฝึกอบรมอย่างดีภายใต้วิธีการมาตรฐาน เป็นต้น) จะทำให้มีวิธีการประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดแตกต่างกันออกไปถึง 3 วิธีคือ วิธีที่ประเมินความผันแปรโดยรวม (total variation X วิธีประเมินความผันแปรระหว่างกลุ่มย่อย (between subgroup vaariation) โดยวิธีการทั้งสามจะให้ค่าประมาณความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดที่มีความแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องพิจารณาว่าวิธีการใดจะมีความเหมาะสมมากที่สุดและการประมาณค่าดังกล่าวนี้จะมีความสำคัญอย่างมากต่อการวิเคราะห์ระบบการวัด

2.1.15 การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด (accuracy)

จากค่าวัดของข้อมูลจากระบบการวัดใดๆ จะมีค่าเอนเอียงไปจากค่าจริงของงานเสมอ (μ) เนื่องจากคุณสมบัติด้านความถูกต้องหรือค่าไบอัส ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อการศึกษาถึงคุณสมบัติด้านความถูกต้องหรือความไม่ไบอัส ตลอดเวลาหรือไม่ตลอดจนการศึกษาคุณสมบัติเชิงสถิติว่าค่าวัดมีความสม่ำเสมอ (consistent) ตลอดเวลาหรือไม่ โดยการวิเคราะห์นี้จะมุ่งพิจารณาในคุณสมบัติ 3 ประการ คือ ค่าไบอัส ค่าเสถียรภาพของระบบการวัด และ ค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

 # การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด

ค่าไบอัส หมายความถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดจากค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์ (โดยที่ค่ามาสเตอร์จะหมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากการวัดซ้ำด้วยเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าภายใต้สภาวะควบคุม หรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และต้องสามารถสอบกลับได้) และค่าไบอัสนี้จะเป็นค่าประเมินคุณสมบัติด้านความถูกต้องของระบบการวัด

ในการประเมินค่าไบอัสของระบบการวัด สามารถดำเนินการได้ใน 2 วิธี คือ

- วิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

ในการประเมินผล มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกงานมาตรฐานในการวัดขึ้นมาชิ้นหนึ่ง ที่สามารถสอบค่ากลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ และในกรณีที่ไม่สามารถหางานมาตราฐานดังกล่าวได้ ให้ทำการเลือกงานชิ้นหนึ่งจากสายการผลิตที่อยู่ในช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดให้เป็นงานมาสเตอร์ โดยให้ทำการวัดงานมาสเตอร์นี้ 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าวัดดังกล่าวเป็น "ค่าอ้างอิง (reference value)"

(2) ใช้พนักงานที่มีความสามารถในการใช้เครื่องมือวัดอย่างดีทำการวัดงานมาสเตอร์ดังกล่าวอย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะการวัดที่ต้องการประเมินผล

(3) ทำการเฉลี่ยค่าวัดดังกล่าว

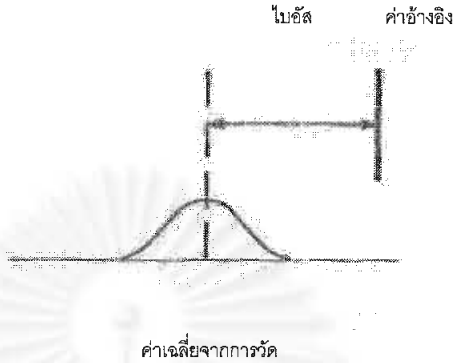
(4) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด – ค่าอ้างอิง

(5) ประเมินผลค่าไบอัสเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้ (ในกรณีใช้ระบบการวัดในการประเมินผลงานในกระบวนการผลิต) โดยที่

$$\% \text{ ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\text{ค่าไบอัส}}{\text{UCL-LCL}} \times 100\ \% \qquad (2.26)$$

$$\%\ \text{ไบอัสของกระบวนการ} = \frac{\text{ค่าไบอัส}}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \% \qquad (2.27)$$



รูปที่ 2.9 ไบอัส (ดัดแปลงจาก AIAG , 1994)

- วิธีการใช้แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$- R

แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$- R เป็นแผนภูมิที่ใช้แยกความผันแปรจากสาเหตุผิดธรรมชาติ (special causes) ออกจากสาเหตุธรรมชาติ (common causes) ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากต่อการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพ (stability) และจากแผนภูมิดังกล่าว จะสามารถใช้ประโยชน์ในการประเมินค่าไบอัสของระบบการวัดได้ด้วย โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. เลือกงานมาตรฐานในการวัดขึ้นมาชิ้นหนึ่ง ที่สามารถสอบค่ากลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ และในกรณีที่ไม่สามารถหางานมาตรฐานดังกล่าวได้ ให้ทำการเลือกงานชิ้นหนึ่งจากสายการผลิตที่อยู่ในช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดให้เป็นงานมาสเตอร์ โดยให้ทำการวัดงานมาสเตอร์นี้ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าวัดดังกล่าวเป็น "ค่าที่ได้รับการวัด (measured value)"

2. ภายใต้ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม (รายวัน หรือ รายสัปดาห์) ให้ทำการวัดค่าที่ได้รับการวัดดังกล่าว 3 - 5 ครั้ง จนได้ข้อมูลประมาณ 20-25 กลุ่ม

3. ให้พล็อตกราฟในแผนภูมิ $\overline{X}$- R

4. คำนวณพิกัดควบคุม

แผนภูมิ $\overline{X}$	แผนภูมิ R	
$UCL = \overline{\overline{X}} + A_2 \overline{R}$	$UCL = D_4 \overline{R}$	
$CL = \overline{\overline{X}}$	$CL = \overline{R}$	(2.28)
$LCL = \overline{\overline{X}} - A_2 \overline{R}$	$LCL = D_3 \overline{R}$	

ค่าคงที่ A_2, D_3 และ D_4 ดูได้จากตารางในภาคผนวก

5. พิจารณาความผันแปรว่าเป็นสาเหตุโดยธรรมชาติหรือไม่ ถ้าหากไม่ใช่ความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติ ให้ทำการหาสาเหตุที่ผิดธรรมชาติแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง มิฉะนั้นให้คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด

6.ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

$$\text{ค่าไบอัส} = \bar{\bar{X}} - \text{ค่าอ้างอิง} \qquad (2.29)$$

แล้วทำการประเมินผล % ไบอัส ในกรณีที่ค่า % ไบอัส มีค่าค่อนข้างสูง ให้ทำการค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข โดยมีสาเหตุที่อาจจะเป็นไปได้ ดังนี้

(ก) เกิดความคลาดเคลื่อนในค่ามาสเตอร์ ต้องทำการตรวจสอบวิธีการได้มาซึ่งค่าอ้างอิงใหม่

(ข) เกิดความสึกหรอในเครื่องมือวัด (ควรมีการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของระบบการวัด) ซึ่งควรมีการบำรุงรักษาหรือทบทวนแผนใหม่การบำรุงรักษาใหม่

(ค) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัดที่ผิดพลาด

(ง) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัด วัดคุณลักษณะที่ผิดพลาด

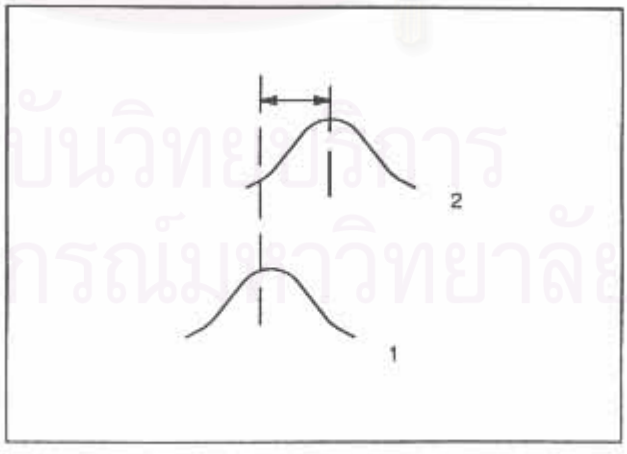
(จ) เกิดจากการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ไม่สมบูรณ์ ควรมีการทบทวนวิธีการสอบเทียบใหม่

(ฉ)เกิดจากพนักงานวัดใช้เครื่องมือวัดไม่ถูกต้อง ควรมีการทบทวนวิธีการใช้เครื่องมือ

และ (ช) เกิดจากความไม่ถูกต้องของวิธีการปรับแก้เครื่องมือวัด

 # การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด

คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด จะหมายถึง คุณสมบัติด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์วัด โดยพิจารณาจากความผันแปรโดยรวมในระบบการวัดที่ได้จากการวัดงานมาตรฐานหรือมาสเตอร์ชิ้นหนึ่งตลอดช่วงเวลา (มักกำหนดเป็นวัน หรือสัปดาห์)ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เสถียรภาพของระบบการวัด (ดัดแปลงจาก AIAG , 1994)

ในการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้วิเคราะห์จะต้องแยกความแตกต่างระหว่างความมีเสถียรภาพของระบบการวัดกับความมีเสถียรภาพเชิงสถิติให้ได้เสียก่อน โดยที่ว่า ความมีเสถียรภาพเชิงสถิติ จะหมายถึงความสามารถในการคาดการณ์ได้ ที่ไม่มีความจำเป็นต้องใช้กับระบบการวัด แต่สามารถใช้ได้กับคุณสมบัติต่างๆ อาทิ ค่าความไบอัส ผลจากกระบวนการเช่นกระบวนการมีเสถียรภาพ (สามารถคาดการณ์ผลจากกระบวนการได้) ค่าเงินบาทมีเสถียรภาพ(สามารถคาดการณ์มูลค่าของเงินบาทได้) เป็นต้น ดังนั้นหากพิจารณาระบบการวัด 2 ระบบแล้วพบว่าระบบทั้งสองให้ความมีเสถียรภาพ แม้ว่าจะมีระบบหนึ่งมีความผันแปรของค่าไบอัสมากกว่าอีกระบบหนึ่งก็ตาม(ความผันแปรในแผนภูมิควบคุม R มีขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ) จะถือว่า ระบบการวัดทั้งสองจะมีเสถียรภาพ "เท่ากัน'' แต่หากพิจารณาความมีเสถียรภาพของระบบการวัดแล้ว จะถือว่าระบบการวัดที่มีค่าความผันแปรของค่าไบอัสมากกว่าเป็นระบบการวัดที่มีความเสถียร "น้อยกว่า'' อีกระบบวัดหนึ่งที่มีค่าความผันแปรของค่าไบอัสน้อยกว่า

คุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพนี้ถือว่ามีความสำคัญมากต่อการประเมินผลทางสถิติ ทั้งนี้เพราะว่าถ้ากระบวนการวัดมิได้อยู่ภายใต้สภาวะเสถียรภาพแล้ว ตัวเลขต่างๆที่ประเมินได้ทั้งค่าไบอัส ค่ารีพีททะบิลิตี้ ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ฯลฯ จะเป็นเพียงตัวเลขที่ได้ระหว่างการศึกษาเท่านั้น แต่จะไม่สามารถนำไปคาดการณ์ใดๆ เพื่อการตัดสินใจได้เลย นอกจากนี้แล้ว ถ้าหากมีการตัดสินใจดำเนินการใดๆ กับระบบการวัดภายใต้สภาวะที่ไม่มีเสถียรภาพนี้ กลับจะเป็นการเพิ่มความผันแปรในระบบการวัดให้มากขึ้น

ประเด็นที่มีความสำคัญมากประการหนึ่งต่อการศึกษาความมีเสถียรภาพของระบบการวัดนี้ คือระยะเวลาที่มีการศึกษา ซึ่งมีความจำเป็นต้องพิจารณาอย่างเหมาะสมโดยการคำนึงถึงระยะเวลาที่ทำให้ค่าไบอัสของระบบการวัดเพิ่มขึ้นตามเวลาใช้งาน เนื่องมาจากความเสื่อมสภาพโดยธรรมชาติของระบบการวัดเท่านั้น นั่นคือ ความพยายามในการเลือกศึกษาให้ระบบการวัดมีค่าไบอัสที่ขึ้นกับปัจจัยภายนอกต่างๆให้น้อยที่สุด ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยน ก็จะมีผลทำให้ระบบการวัดไม่มีความเสถียรภาพทั้งสิ้น และในกรณีนี้ ผู้วิเคราะห์มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ อาทิ แผนภาพก้างปลา แผนภาพการไหลของกระบวนการ ช่วยวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าไบอัสของระบบการวัดก่อนที่จะมีการศึกษาความมีเสถียรภาพเพื่อกำหนดวิธีการชักสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการศึกษา

ในการประเมินผลความมีเสถียรภาพของระบบการวัด จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- เลือกงานมาตฐานในการวัดขึ้นมาชิ้นหนึ่งที่สามารถสอบค่ากลับไปยังมาตฐานที่สูงกว่าได้และในกรณีที่ไม่สามารถหางานมาตฐานดังกล่าวได้ให้ทำการเลือกงานชิ้นหนึ่งมาจากสายการผลิตที่

อยู่ในช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดให้เป็นงานมาสเตอร์ ซึ่งในการศึกษาความมีเสถียรภาพนี้ไม่มีความจำเป็นต้องกำหนดค่าให้กับงานมาสเตอร์นี้

- ภายใต้ช่วงระยะที่เหมาะสม(รายวันหรือรายสัปดาห์) ให้ทำการวัดงานมาสเตอร์นี้ 3 – 5 ครั้ง โดยขนาดสิ่งตัวอย่างและความถี่ที่ทำการวัดนี้จะขึ้นอยู่กับความรู้ของผู้วิเคราะห์ในระบบการวัดนั้น ซึ่งโดยทั่วไปควรคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ อาทิ ความถี่ในการสอบเทียบใหม่ของเครื่องมือวัด ความถี่ในการซ่อมเครื่องมือวัด (หรือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยระหว่างการขัดข้อง; MTBF) ความถี่ในการใช้เครื่องมือวัด โดยพยายามให้องค์ประกอบเหล่านี้รวมอยู่ในความผันแปรภายในกลุ่มย่อย เพื่อการ "เฉลี่ยออก" ไปสำหรับการพิจารณาความมีเสถียรภาพ

- ให้พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมคำนวณพิกัดควบคุม

- ให้วิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม ซึ่งถ้าหากมีปัญหาความไม่เสถียรภาพแล้วแผนภูมิ $\bar{X}$-R จะแสดงสภาวะออกนอกการควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ(consistent) ที่มีความจำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อยแล้วทำการแก้ไข

- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัด คือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือ ความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

- ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด โดยที่

$$\text{ความมีเสถียรภาพ} = \bar{\bar{X}}_2 - \bar{\bar{X}}_1 \qquad (2.30)$$

โดยที่ $\bar{\bar{X}}_1$ คือค่าเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นศึกษา

$\bar{\bar{X}}_2$ คือค่าเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อพบการออกนอกการควบคุมของแผนภูมิ $\bar{X}$ จากสาเหตุด้านปัจจัยภายในของระบบการวัด

จากนั้นให้ทำการประเมิน %ความมีเสถียรภาพเมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้ (ในกรณีใช้ระบบการวัดในการประเมินผลงานดี เสีย)หรือให้ประเมิน %ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

$$\%\text{ความมีเสถียรภาพของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\bar{\bar{X}}_2 - \bar{\bar{X}}_1}{\text{UCL - LCL}} \times 100\ \% \qquad (2.31)$$

$$\%\ \text{ความมีเสถียรภาพของกระบวนการ} = \frac{\bar{\bar{X}}_2 - \bar{\bar{X}}_1}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \% \quad (2.32)$$

และโดยทั่วไปแล้ว ต้องมีการประเมินค่า %ความมีเสถียรภาพที่ได้ด้วย โดยมีกฎเกณฑ์เดียวกับกรณี %ไบอัส กล่าวคือ

% ความมีเสถียรภาพ	$< 5\%$	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข
$5\% \leq$ % ความมีเสถียรภาพ	$\leq 10\%$	อาจจะยอมรับได้
% ความมีเสถียรภาพ	$> 10\%$	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

จาก MSA (1995) หน้า23 ได้แนะนำว่าในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดนี้ ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องประเมินผลออกมาดังสมการ (2.30) ทั้งนี้เนื่องจากสามารถใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

 # การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (linearity) ของระบบการวัด จะหมายความถึงการที่ค่าไบอัสของระบบการวัดจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตลอดย่านวัด (working range) ของระบบการวัดดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งจะพบว่าค่าไบอัสจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนย่านวัดไป นอกจากนี้ ค่าความแม่นยำของค่าวัดจะมีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัดไป

รูปที่ 2.11ก คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (ดัดแปลงจาก AIAG ,1995)

รูปที่ 2.11ข คุณสมบัติเชิงเส้นตรง;แปรผันตามค่าไบอัส (ดัดแปลงจาก AIAG ,1995)

ในการพิจารณาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดจะได้มาจากการเลือกชิ้นงานตลอดช่วงย่านวัดเพื่อศึกษาถึงค่าไบอัสที่แต่ละค่าของค่ามาตรฐาน (ค่าอ้างอิง) แล้วพิจารณาถึงค่าเปลี่ยนแปลงไบอัส(ค่าความชัน) และถ้าพบว่าระบบการวัดขาดคุณสมบัติเชิงเส้นตรงแล้ว มีความจำเป็นจะต้องพิจารณาหาสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งดังต่อไปนี้

- เครื่องมือวัดมิได้รับการสอบเทียบอย่างถูกต้องทั้งที่ด้านล่างและด้านบนของย่านวัดที่มีทำการพิจารณา (Zero – Span)
- มีความคลาดเคลื่อนที่ชิ้นงานมาตรฐาน(มาสเตอร์)ที่ขนาดเล็กและขนาดใหญ่
- เครื่องมือวัดมีความสึกหรอ
- สาเหตุมาจากปัจจัยภายในอันเนื่องมาจากการออกแบบเครื่องมือวัด

ในการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดจะมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

- ให้ทำการเลือกชิ้นงาน 5ถึง8ชิ้น ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของระบบการวัด
- ให้ทำการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวนชิ้นละ10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุม แล้วทำการเฉลี่ยสาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง
- ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ ดังกล่าวชิ้นละ 10 ถึง 12 ครั้ง โดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม
- ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์ พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละค่ามาสเตอร์โดย

ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่ามาสเตอร์

- พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงค่ามาสเตอร์ และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดย

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}}$$

$$S_{YY} = \Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n} \qquad (2.33)$$

$$S_{XY} = \Sigma XY - \frac{(\Sigma X)(\Sigma Y)}{n}$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}}$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ (โดยทั่วไปแนะนำว่า ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.6) ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 2.4

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	$SS_R = \hat{\beta}_1 S_{XY}$	1	MS_R	$\frac{MS_R}{MS_E}$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = S_{YY} - SS_R$	n - 2	MS_E	
ผลรวม	S_{YY}	n - 1		

ตารางที่ 2.4 ANOVA สำหรับทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบเชิงเส้นตรง

- เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ

  สมการถดถอยเชิงเส้นตรง

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} \quad (2.35)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} \quad (2.36)$$

- ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัดโดยที่

ดัชนีเชิงเส้นตรง = $\hat{\beta}_1$ x ความผันแปรของกระบวนการ (2.37)

หรือ = $\hat{\beta}_1$ x (UCL - LCL) (2.38)

$$\%\text{เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ} = \frac{\textbf{ดัชนีเชิงเส้นตรง}}{\textbf{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \% \quad (2.39)$$

$$\%\text{เชิงเส้นตรงของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\textbf{ดัชนีเชิงเส้นตรง}}{\text{UCL - LCL}} \times 100\ \% \quad (2.40)$$

โดยการพิจารณาสมการ (2.39) หรือ (2.40) ให้พิจารณาว่าระบบการวัดดังกล่าวใช้สำหรับการวัดความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการ หรือสำหรับการวัดเพื่อการแยกแยะงานดีเสีย เช่นเดียวกับกรณีคุณสมบัติด้านไบอัสและคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้รวมถึงเกณฑ์การตัดสินใจด้วย กล่าวคือ

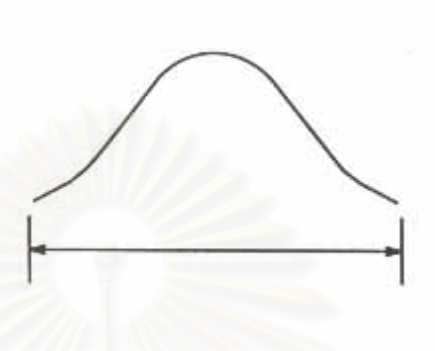
% เชิงเส้นตรง $<$ 5 %	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข
5 % $\leq$ % เชิงเส้นตรง $\leq$ 10 %	อาจจะยอมรับได้ (ให้พิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ อาทิ การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ)
% เชิงเส้นตรง $>$ 10 %	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

2.1.16 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ในการวิเคราะห์ความแม่นยำนี้ จะมุ่งพิจารณาใน 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

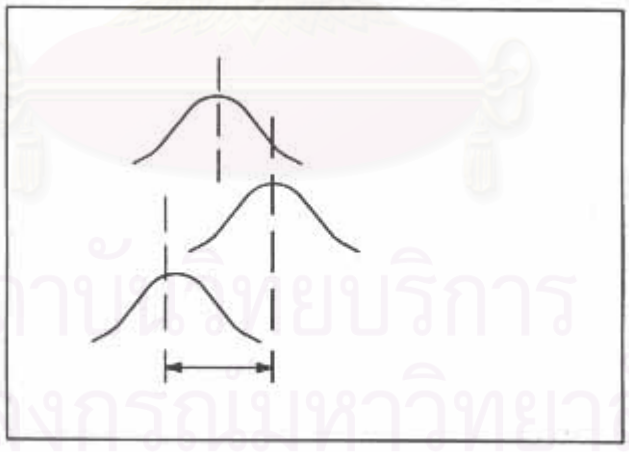
คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้วจะได้รับการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ รีพีททะบิลิตี้ (repeatability) ความสามารถในการทำเหมือน หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (reproducibility) โดยที่ รีพพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่อง

ความสามารถในการทำเหมือน หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (reproducibility) โดยที่ รีพพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่า รีพีททะบิลิตี้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในในระยะสั้น(short-term measurement) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 รีพีททะบิลิตี้ (ดัดแปลงจาก AIAG , 1995)

ส่วนรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดกับงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติจะใช้ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ ในการ ประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (long- term measurement) ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 รีโปรดิวซิบิลิตี้ (ดัดแปลงจาก AIAG , 1995)

นอกจากนี้ อาจจะกล่าวอย่างสั้น ๆ ได้ว่า รีพีททะบิลิตี้ คือ ความผันแปรภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกัน ในขณะที่รีโปรดิวซิบิลิตี้ คือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขที่

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธี

- วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) ซึ่งเหมาะกับกรณีการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ดังนั้น วิธีการดังกล่าวนี้แม้ว่าจะมีข้อดีคือประเมินผลได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้
- วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัด ออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้
- วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และชิ้นงาน เป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่า รีพีททะบิลิตี้ได้ แต่อย่างไรก็ดี วิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่ความยุ่งยากในการคำนวณ จึงมีข้อแนะนำให้ใช้วิธีการนี้กับกรณีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

เมื่อมีการประเมินค่าความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ ซึ่งอาจจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (เรียกว่า Precision-to-Tolerance Ratio หรือ P/T หรือ พีทีเรโช) สำหรับระบบการวัดที่ใช้ทำการวัดเพื่อแยกแยะงานดี เสีย หรืออาจจะเทียบกับความผันแปรจากกระบวนการ (เรียกว่า Precision-to-Total Variation หรือ P/TV) สำหรับระบบการวัดที่ใช้ทำการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \% \qquad (2.41)$$

และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \% \qquad (2.42)$$

โดยทั่วไปแล้ว มักจะกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ไว้ดังนี้

P/T หรือ P/TV	$< 10\%$	สามารถยอมรับความสามารถระบบการวัดได้
$10\% \leq$ P/T หรือ P/TV	$\leq 30\%$	อาจจะยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ
P/T หรือ P/TV	$> 30\%$	ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดโดยอาศัยค่าพิสัย

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดโดยอาศัยค่าพิสัยจะเป็นวิธีการในการประมาณค่าความผันแปรในระบบการวัดอย่างง่ายๆ และรวดเร็ว โดยวิธีการแบบนี้จะทำให้ได้ภาพรวมของความผันแปรในระบบการวัดแต่ไม่สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้

กระบวนวิธีสำหรับการทดลองมีดังนี้

(1) เลือกพนักงานวัดอย่างสุ่ม 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมดที่ทำงานตามปกติ

(2) เลือกสิ่งตัวอย่างมา 5 ชิ้นที่สุ่มตลอดช่วงความผันแปรของกระบวนการ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่จะใช้ในการประเมิน

(4) ทำการวัดคนละครั้งต่อชิ้น โดยให้ลำดับการวัดเป็นไปอย่างสุ่ม

(5) ให้ทำการประเมินผล GR&R ด้วยการคำนวณต่อพิสัยของชิ้นงานแต่ละชิ้น ที่หมายถึงรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด แล้วทำการคำนวณ $\bar{R}$ เพื่อกำจัดความผันแปรระหว่างชิ้นงานออกไป จากนั้นให้ทำการประมาณค่าความผันแปรในกระบวนการวัดทั้งหมดด้วยความเชื่อมั่น 99% คือ 5.15 $\sigma_{R\&R}$ ได้จาก $\bar{R}/d_2^*$ ซึ่งจากตารางที่ 9 ในภาคผนวกได้ $d_2^* = 1.189$ ($k = 5$ และ $n = 2$) ดังนั้น

$$GR\&R = 5.15 \frac{\bar{R}}{1.189} = 4.33\ \bar{R} \qquad (2.43)$$

จากนั้นจะทำการประเมิน P/T หรือ P/TV ตามสมการ (2.41) และ (2.42)ในการประเมินผลความสามารถของระบบการวัดโดยวิธีอาศัยค่าพิสัยนี้จะยอมให้เกิดความผันแปรมากกว่าปกติ (กำหนดไว้ 10%) กล่าวคือ มักจะกำหนดให้ P/T หรือ P/TV มีค่าไม่ต่ำกว่า 20%

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดโดยอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยในการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยวิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยนี้ จะมีความแตกต่างจากวิธีการที่อาศัยค่าพิสัย คือ สามารถแยกความผันแปรในระบบการวัดออกเป็นรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้ ซึ่งจะทำให้ผู้วิเคราะห์ตัดสินใจเกี่ยวกับสาเหตุของความผันแปรและปฏิบัติการแก้ไขได้ดียิ่งขึ้น

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(ก) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(ข) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(ค) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(ง) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(ก) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(ข) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(ค) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance -- ANOVA) คือ กลวิธีทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยหลักการการแยกความผันแปรในรูปความแปรปรวน (variance) ออกเป็นความผันแปรย่อยๆตามแหล่งผันแปรเพื่อทำการศึกษาว่าความผันแปรจากแหล่งใดมีนัยสำคัญ

ในการใช้ ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนั้น จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองแบบ บล็อก(Randomized Block Design– RBD) โดยที่มีพนักงานวัดคือปัจจัยที่ทำการศึกษา และชิ้นงานคือ บล็อก ซึ่งมีความจำเป็นต้องพยายามทำให้ความผันแปรภายในบล็อก(หรือ ชิ้นงาน)มีค่าสูงๆ

จากกฎความคาดหมายของมัชฌิมกำลังสอง (Montgomery 1997, chapter 11) เมื่อกำหนดสมการเชิงเส้นตรงของตัววัดได้ว่า

$$Y_{ijm} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{m(ij)} \qquad (2.44)$$

จากกฎความคาดหมายของมัชฌิมกำลังสอง (Montgomery 1997, chapter 11) เมื่อกำหนดสมการเชิงเส้นตรงของตัววัดได้ว่า

$$Y_{ijm} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{m(ij)} \qquad (2.44)$$

จะได้ค่าคาดหมายของมัชฌิมกำลังสองแต่ละตัวดังตารางที่ 2.5 ซึ่งจะได้ตัวสถิติสำหรับทดสอบดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 ความคาดหมายของมัชฌิมกำลังสอง (MS)

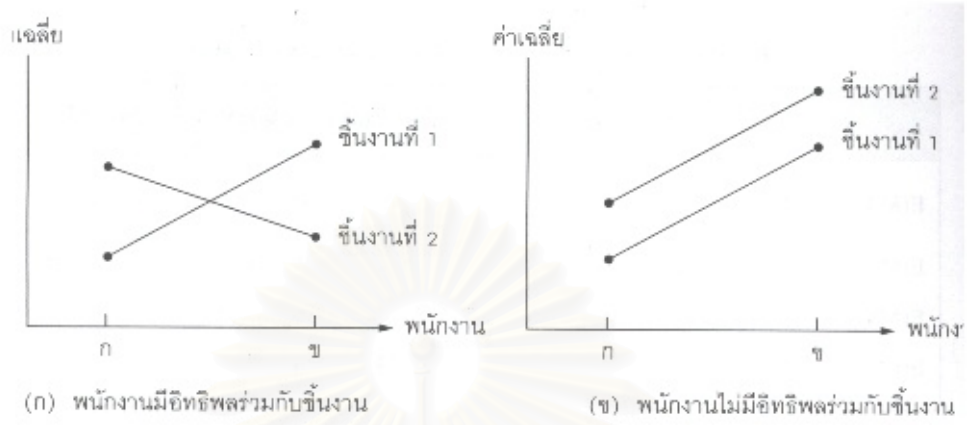
ตัวแปรสุ่ม	ตัวแบบผสม (พนักงานคงที่ ,ชิ้นงานสุ่ม)
$E(MS_O) = \sigma^2 + r\sigma^2_{\tau\beta} + nr\sigma^2_{\beta}$ $E(MS_P) = \sigma^2 + r\sigma^2_{\tau\beta} + kr\sigma^2_{\tau}$ $E(MS_{OP}) = \sigma^2 + r\sigma^2_{\tau\beta}$ $E(MS_E) = \sigma^2$	$E(MS_O) = \sigma^2 + r\sigma^2_{\tau\beta} + nr\frac{\sum \beta}{\&}$ $E(MS_P) = \sigma^2 + kr\sigma^2_{\tau}$ $E(MS_{OP}) = \sigma^2 + r\sigma^2_{\tau\beta}$ $E(MS_E) = \sigma^2$

ตารางที่ 2.6 ตัวสถิติสำหรับการทดสอบแต่ละปัจจัย

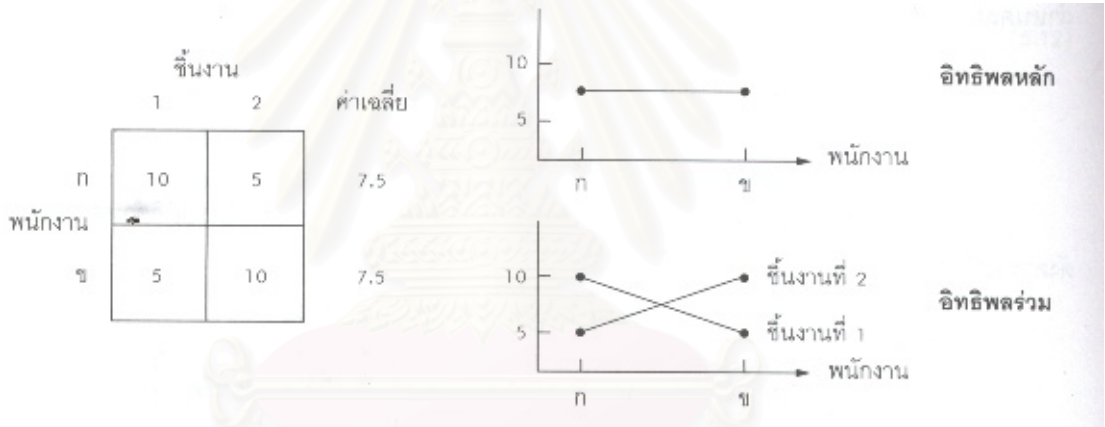
ปัจจัย	ตัวแบบสุ่ม	ตัวแบบผสม
พนักงานวัด	$F = MS_O/MS_{OP}$	$F = MS_O/MS_{OP}$
ชิ้นงานทดสอบ	$F = MS_P/MS_{OP}$	$F = MS_P/MS_E$
พนักงาน ×ชิ้นงาน	$F = MS_{OP}/MS_E$	$F = MS_{OP}/MS_E$

ในการตีความหมายผลการวิเคราะห์จากตาราง ANOVA จะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอิทธิพลร่วม (interaction effect) ระหว่างพนักงานและชิ้นงานก่อนเสมอ ซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วม ระหว่างพนักงานและชิ้นง่านมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้ว ผลการวัดจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะพบว่าอิทธิพลร่วมยิ่งมีผลมาก มุมตัดกันของกราฟจะยิ่งกว้างยิ่งขึ้น และในกรณีที่อิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญนี้ ก็ไม่มีความจำเป็นต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (main effect) ของพนักงานวัด หรือชิ้นงานอีก ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เพราะว่าแม้อิทธิพลหลักของพนักงานวัดจะดูเหมือนมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่แท้จริงแล้วมีอิทธิพลมาก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะหาอิทธิพลหลักนั้น จะมีการ “เฉลี่ยออก” อิทธิพลของชิ้นงานออกไป

จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการพิจารณาจากกราฟอันเนื่องจากเครื่องหมาย +/- ทางคณิตศาสตร์ เวลาทำการเฉลี่ย



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะของอิทธิพลร่วม (Montgomery ,1997)



รูปที่ 2.15 แสดงการตีความหมายอิทธิพลร่วมและอิทธิพลหลัก

(Montgomery ,1997)

ดังนั้น ในกรณีที่ตาราง ANOVA แสดงผลว่าอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดกับชิ้นงานตัวอย่าง มีนัยสำคัญแล้ว จะต้องทำการประมาณอิทธิพลแต่ละตัวจากค่าคาดหมายของมัชฌิมกำลังสองที่แสดงในตารางที่ 2.5 ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าประมาณขององค์ประกอบความแปรปรวน

อิทธิพล	**ตัวแบบสุ่ม**	**ตัวแบบผสม**
เครื่องมือวัด (รีพีททะบิลิตี้)	MS_E	MS_E
พนักงาน × ชิ้นงาน	$(MS_{OP}-MS_E) / r$	$(MS_{OP}-MS_E) / r$

เมื่อนำค่าประมาณความแปรปรวนจากสิ่งตัวอย่างนี้มาประมาณค่าความผันแปรในประชากรด้วยความเชื่อมั่น 99% จะได้ค่าประมาณดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การประมาณการค่าความสามารถของระบบการวัดเมื่ออิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญ

ความผันแปร	ตัวแบบสุ่ม	ตัวแบบผสม
EV	$5.15\sqrt{MS_E}$	$5.15\sqrt{MS_E}$
AV	$5.15\sqrt{(MS_O - MS_{OP}) \div nr}$	$5.15\sqrt{(MS_O - MS_{OP}) \div nr}$
I(พนักงาน $\times$ ชิ้นงาน)	$5.15\sqrt{(MS_{OP} - MS_E) \div r}$	$5.15\sqrt{(MS_{OP} - MS_E) \div r}$
GR&R	$(EV^2+AV^2+I^2)^{1/2}$	$(EV^2+AV^2+I^2)^{1/2}$
PV	$5.15\sqrt{(MS_P - MS_{OP}) \div kr}$	$5.15\sqrt{(MS_P - MS_E) \div kr}$

ในกรณีที่ตาราง ANOVA แสดงผลว่าอิทธิพลร่วมของพนักงานวัดกับชิ้นงานตัวอย่าง ไม่มีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการเพิ่มองศาแห่งความอิสระ (DF) กับรีพีททะบิลิตี้ด้วยการรวมอิทธิพลร่วมเข้ากับรีพีททะบิลิตี้ ในรูปของผลรวมกำลังสองร่วม (pooled sum of square) แล้วจึงประมาณค่าความสามารถของระบบการวัด ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 การประมาณค่าความสามารถของระบบการวัดเมื่ออิทธิพลร่วมไม่มีนัยสำคัญ

ความผันแปร	ตัวแบบสุ่ม	ตัวแบบผสม
EV	$5.15\sqrt{MS_{pool}}$	$5.15\sqrt{MS_{pool}}$
AV	$5.15\sqrt{(MS_O - MS_{pool}) \div nr}$	$5.15\sqrt{(MS_O - MS_{pool}) \div nr}$
GR&R	$(EV^2+AV^2)^{1/2}$	$(EV^2+AV^2)^{1/2}$
PV	$5.15\sqrt{(MS_P - MS_{pool}) \div kr}$	$5.15\sqrt{(MS_P - MS_{pool}) \div kr}$
เมื่อ $MS_{pool} = (SS_E+SS_{OP}) / (nkr-n-k+1)$		

การศึกษาความสามารถของระบบการวัดในการตรวจจับความผันแปรของสิ่งตัวอย่าง

ในการตรวจจับความผันแปรของสิ่งตัวอย่างตัวต่อตัวนั้น สามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ซึ่งหากพิจารณาผลการทดลองการวัดสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนนั้นจะพบว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มย่อย (ที่หมายถึง การกำจัดรีพีททะบิลิตี้ออกไปแล้ว) จะอธิบายถึงความแตกต่างของสิ่งตัวอย่าง และเนื่องจากในแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ นั้น พิกัดควบคุมจะอธิบายถึงความแตกต่างโดยสาเหตุธรรมชาติของแต่ละสิ่งตัวอย่างมากกว่าการอธิบายถึงความแตกต่างระหว่าง

สิ่งตัวอย่าง ดังนั้น ถ้าไม่มีจุด $\bar{X}$ ใดออกนอกพิกัดควบคุมเลย แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่มาจากระบบการวัดทำให้ไม่สามารถตรวจจับความแตกต่างระหว่างสิ่งตัวอย่างได้ หรืออีกความหมายหนึ่งคือถ้าความผันแปรส่วนใหญ่มาจากความแตกต่างระหว่างสิ่งตัวอย่างแล้ว ก็จำเป็นที่จะต้องมีค่า $\bar{X}$ โดยส่วนใหญ่ออกนอกพิกัดควบคุม $\bar{X}$ ทั้งนี้จะต้องอยู่บนเงื่อนไขที่ผู้ทำการวัดจะต้องมั่นใจด้วยว่าค่า $\bar{X}$ ที่ออกนอกพิกัดควบคุมนั้นเป็นการวัดที่เป็นไปโดยสาเหตุธรรมชาติ มิใช่มาจากสาเหตุความผิดพลาด ในการพิจารณาความผันแปรจากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R นั้น เริ่มแรกจะต้องพิจารณาก่อนว่ากระบวนการวัดมีความสม่ำเสมอหรือไม่ (โดยการพิจารณาจากสภาวะที่แผนภูมิควบคุม R อยู่ภายใต้การควบคุม) จากนั้นจึงพิจารณาว่าระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของสิ่งตัวอย่างตัวต่อตัวได้หรือไม่ โดยพิจารณาว่าแผ่นภูมิ $\bar{X}$ มีค่าโดยส่วนใหญ่ออกนอกพิกัดควบคุมจริงหรือไม่ ซึ่งถ้าหากเงื่อนไขทั้งสองข้างต้นเป็นจริง ก็จะสามารถประเมินผลความผันแปรของกระบวนการได้ ซึ่งค่าความผันแปรนี้จะสามารถคำนวณได้ทั้งจากข้อมูลในการประเมินผลความสามารถของระบบการวัด และจากข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลความสามารถของกระบวนการ ในกรณีที่มีการประเมินผลความผันแปรของกระบวนการจากข้อมูลที่ใช้ในการประเมิณผลความสามารถของระบบการวัดนั้น จะได้มาจากการเฉลี่ยออกค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดเพื่อให้ได้ค่าประมาณค่าแท้จริงของชิ้นงานแล้วจึงทำการคำนวณ R_p ที่หมายถึงความแตกต่างของชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษา

ดังนั้น

$$\sigma_p = R_p / d_2^*$$

และ

$$PV = 5.15 (R_p / d_2^*)$$

ในการตรวจจับความแตกต่างของชิ้นงานนั้น ข้อมูลจะต้องได้รับการจำแนกไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท ซึ่งจำนวนประเภทของข้อมูลสามารถประมาณการได้จากสมการ

$$\text{จำนวนประเภทของข้อมูล} = \sqrt{2}\,\frac{PV}{GR\&R} \qquad (2.45)$$

และจะเรียก PV/GR & R นี้ว่า Signal to Noise Ratio (อ่านว่า ซิกแนล ทู นอยล์เรโช) ที่ประมาณการได้จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในกลุ่ม (Interclass Correlation coefficient) ; r โดยที่

$$r = \frac{\text{ความแปรปรวนของสิ่งตัวอย่าง}\left(\sigma^2_{PV}\right)}{\text{ความแปรปรวนของค่าวัดทั้งหมด}\left(\sigma^2_{TV}\right)} \qquad (2.46)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : เอกสารอบรมทางวิชาการเรื่อง เครื่องมือวัดและการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม (2535) เอกสารฉบับนี้กล่าวถึงเครื่องมือวัดทำหน้าที่ช่วยให้ผู้ดูแลได้ทราบถึงค่าตัวแปรที่ต้องการควบคุม เพื่อใช้วินิจฉัยว่าเครื่องจักรหรืออุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตทำงานหรือได้ดำเนินการในขณะนั้นเป็นอย่างไร เพื่อการควบคุมกระบวนต่างๆ ในการผลิตให้ได้มาซึ่งปริมาณและคุณภาพตามมาตรฐานที่ตั้งเป้าหมายไว้ โดยสรุปเครื่องมือวัดเพื่อการควบคุมดังนี้

- เพื่อควบคุมมาตรฐานคุณภาพของสิ่งผลิต
- เพื่อควบคุมประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต
- เพื่อการประหยัดพลังงานหรือการใช้พลังงานอย่างมีสมรรถนะสูงสุด
- เพื่อความปลอดภัยในการผลิต
- เพื่อป้องกันสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

คุณลักษณะของเครื่องมือวัดและการควบคุมแบ่งการพิจารณาได้ 2 ด้าน ดังนี้

(1) คุณลักษณะของเครื่องมือวัดและควบคุมขณะใช้กับค่าตัวแปรที่คงที่ (Static Characteristice) ซึ่งต้องพิจารณาคุณภาพ 3 ประการ คือ

- Accuracy
- Reproducibility
- Sensitivity

(2) คุณลักษณะของเครื่องมือวัดและการควบคุมขณะใช้กับค่าตัวแปรที่เปลี่ยนแปลง (Dynamic Characteristics) ซึ่งต้องพิจารณาคุณลักษณะ 2 ประการคือ

- Responsiveness
- Fidelity

Dan Fairchild (1997) จากวารสาร Quality Engineering ในบทความเรื่อง Experimental Designs ได้อธิบายถึงการออกแบบการทดลองหรือ Design of Experiment สามารถแบ่งได้หลายรูปแบบ ประกอบด้วย Full Factorial, Fractional Factorial, Tagushi, Plackett-Buman Screening Designs, Latin Square Designs หรือในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งแต่ละรูปแบบก็จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาหรือกรณีที่ศึกษา เช่น

การทดลองแบบ Full Factorial จะต้องใช้ปริมาณข้อมูลมากที่สุดจากทุกๆ ปัจจัยที่กำลังพิจารณาอยู่ ในขณะที่ทำการทดลองแบบ Fractional Factorial จะไม่ต้องการข้อมูลมาก จะใช้ข้อมูลเพียงบางส่วน ทำให้ต้นทุนในการดำเนินการทดลองต่ำลง หรือการทดลองแบบ Plackett-Burman Screening Designs จะพิจารณาข้อมูลเฉพาะ main factor (ไม่พิจารณา interaction) ดังนั้นจำนวนการทดลองจึงน้อยครั้งกว่า

ในงานศึกษาของ Teresa Lopez-Alvarez และ Viator Aguirre-Torres(1997) เรื่อง Improving Field Performance by Sequential Experimentation : A Successful Case Study in The Chemical Industry ในวารสาร Quality Engineering ว่าในการปรับปรุงคุณภาพการเคลือบสีรถยนต์ โดยการพ่นสีเคลือบรถยนต์ จะมีอยู่ 3 ชั้นประกอบด้วย ชั้น primer ซึ่งจะให้คุณสมบัติป้องกันการสึกกร่อน ชั้น Base Coat จะแสดงสีของรถยนต์ และชั้น Clear Coal จะให้ความมันวาวต่อสี ในการศึกษานี้ได้ใช้เทคนิค DOE ในการปรับปรุงระดับของค่าสีเหลือง ซึ่งวัดค่าสีด้วยเครื่อง colorimeter จากสภาพเดิมระดับของค่าสีเหลืองจะอยู่ที่ประมาณ 150 % ได้กำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงลดให้เหลือไม่เกิน 20 % ในการปรับปรุงจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก จะเป็นการทดลองเพื่อ screening จากปัจจัยที่พิจารณาทั้งหมด 10 ปัจจัย ซึ่งจากขั้นตอนนี้สามารถลดระดับค่าของสีเหลืองเหลือประมาณ 60 % ในขั้นตอนที่สองจะเป็นการพิจารณาปัจจัยเพียง 4 ถึง 5 ปัจจัยใหม่ที่ได้จากแนวโน้มของการทดลองในขั้นตอนแรก ซึ่งจากขั้นตอนนี้จะชี้ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัย ซึ่งเป็นองค์ประกอบของชั้น clear coat ซึ่งทำให้ระดับของค่าสีลดลงเหลือ 38 % ในขั้นตอนที่สาม ได้ทำการพิจารณาองค์ประกอบของชั้น clear coat และ base coat ส่งผลให้ระดับของค่าสีเหลืองลดลงเหลือ 30 % และในขั้นตอนที่สี่ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย จะเป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เทคนิค response surface design ซึ่งจะได้ระดับของค่าสีเหลืองที่ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่เลือกไว้แล้วประมาณ 2 % ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่ต้องการอย่างมาก

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2533) ได้เสนอบทความเรื่องการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการ โดยอาศัยการออกแบบการทดลองทางสถิติ ในวารสารวิศวกรรมสาร โดยได้เสนอการนำเอาหลักการการออกแบบการทดลองทางสถิติมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการ โดยได้กล่าวถึงแนวความคิดและเทคนิคที่สำคัญ สำหรับงานวิจัยเพื่อการออกแบบและพัฒนาดังกล่าว นอกจากนั้น ยังได้กล่าวถึงแนวความคิดและเทคนิคที่สำคัญ สำหรับงานวิจัย เพื่อการออกแบบและพัฒนาดังกล่าว นอกจากนั้น ยังได้กล่าวเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบ และพัฒนาที่อาศัยหลักการทางวิศวกรรมเพียง

อย่างเดียว มีข้อบกพร่องที่สามารถแก้ไขด้วยหลักการการออกแบบการทดลองทางสถิติอย่างไร ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการ โดยอาศัยหลักการการออกแบบการทดลองทางสถิตินี้ จะทำให้ได้พารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดของผลิตภัณฑ์และกระบวนการและค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้ จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และการผลิตของกระบวนการที่น้อยที่สุด ซึ่งหมายความว่าเป็นการกำจัดความผันแปร เนื่องจากสาเหตุที่กำหนดไว้ ตลอดจนการลดความผันแปรเนื่องจากสาเหตุแบบสุ่มได้ในเวลาเดียวกัน

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2534) ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพ นอกสายการผลิต (Off-Line Quality Control) ในวารสาร สสท. ฉบับ คิวซี เรื่องการศึกษา TAGUSHI TECHNIQUE ด้วยตัวอย่างจริง : การประยุกต์ OFF- LINE QC กับงานขึ้นรูปตัว IC ซึ่งเป็นเทคนิคที่สำคัญที่สุดของ Taguchi ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการขึ้นรูป Contract Windows ใน CMOS โดยขั้นตอนหลักๆ ของเทคนิค off-line QC นี้จะประกอบไปด้วยการนิยามปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการ ตลอดจนระดับของปัจจัยต่างๆ เหล่านั้น

ทำการทดลองโดยอาศัย Orthogonal Array ที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางเทคนิคที่เหมาะสม เพื่อให้ได้มา ซึ่งระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย ซึ่งในการทดลองครั้งนี้วัตถุประสงค์ เพื่อลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิตให้ต่ำที่สุด ภายหลังจากการทดลองใช้พารามิเตอร์ใหม่ด้วยระยะเวลาพอสมควร พบว่าขนาดของ Window มีความสม่ำเสมอมากขึ้น จนวิศวกรมีความมั่นใจได้ว่ากระบวนการผลิตดังกล่าวมี เสถียรภาพและมีความแข็งแรงต่อสภาวะแวดล้อมในการผลิตดี จึงได้ยกเลิกระบบการตรวจภายในกระบวนการ (In-Process Checking) ทั้งหมด

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ : การวิเคราะห์ระบบการวัด (2543) ได้กล่าวถึงแนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกเป็นสาเหตุต่างๆ และกำจัดปริมาณความคลาดเคลื่อนที่สามารถควบคุมได้ก่อนได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด โดยการทำให้ระบบเป็นมาตรฐาน และกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบโดยการสอบเทียบ ซึ่งเป็นวิธีการในการถ่ายค่ามาตรฐานของค่าวัดจากมาตรฐานที่สูงกว่าสู่มาตรฐานที่ต่ำกว่าโดยระบบการสอบเทียบนี้ ต้องสามารถสอบกลับได้ (Traceability) และอธิบายแนวคิดของการวัดเพื่อการประกันคุณภาพ มีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดแล้วทำการกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง

นายสมนึก เลียบมา : การรับประกันคุณภาพชิ้นงานวัตถุดิบก่อนกระบวนการผลิตในโรงงานประกอบด้วยผลิตภัณฑ์หัวอ่านและบันทึกหน่วยความจำแบบจานแม่เหล็กแข็ง (2538) การวิจัยได้ทำการศึกษาความสามารถในระบบการวัดด้วยการทำ GR&R Study เพื่อทำการศึกษาเพื่อประเมินความสามารถในการวัดความเหมาะสมของเครื่องมือวัด และวิธีการวัดโดยเลือกเครื่องมือวัดที่นำมาศึกษา 5 เครื่องมือได้แก่

- AIR GAUGE
- HEIGHT GAUGE
- CMM
- VERNIER CALIPER
- MICRO METER

โดยจะใช้ SPC ในการควบคุมพารามิเตอร์สำคัญบนชิ้นงาน เพื่ออธิบายแนวโน้มของกระบวนการผลิตและเพื่อควบคุมความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

นายสมภพ ตลับแก้ว : การกำหนดวิธีการควบคุมการแปรผันของระบบการวัดด้วยเทคนิค GR&R : โรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์(2539) งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาถึงปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการแปรผันในระบบการวัด โดยใช้เทคนิค Gage Repreatability and Reproducibility (GR&R) โดยเครื่องมือที่ใช้ทำการศึกษาประกอบด้วย 5 ประเภท ได้แก่

- กล้องไมโครสโคป
- เครื่องวัดความหนา
- เครื่องเอ็กซ์เรย์
- เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์
- ไมโครมิเตอร์

โดยใช้พนักงานวัดจำนวน 3 คน ต่อเครื่องมือวัด 1 เครื่อง ชิ้นงานที่จะนำมาวัดมีจำนวน 8 – 10 ชิ้นต่อเครื่องมือวัด 1 เครื่อง พนักงานวัด 1 คน ทำการวัดซ้ำ 2 ครั้ง แล้วทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการวัด เพื่อค้นหาสาเหตุ แล้วดำเนินการปรับปรุงแก้ไข เสนอวิธีวิธีควบคุมแปรผันของเครื่องมือวัด ประกอบด้วย

- กำหนดวิธีการสอบเทียบเครื่องมือวัด
- คุณภาพมาตรฐานที่นำมาใช้ (Adequacy of Standard)

- การควบคุมสภาวะแวดล้อม (Environment controls)

- การกำหนดระยะเวลาในการสอบเทียบ (Interval of Calibration)

- วิธีการสอบเทียบ (Calibration Procedures)

Automative Industry Action Group (AIAG) : Measument System Analysis(MSA) (1995) เอกสารฉบับนี้กล่าวถึง ข้อมูลวัดที่ดีจะต้องเป็นข้อมูลวัดที่มีคุณภาพ ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจ ปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างถูกต้อง โดยในเอกสารฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกวิธีการ เพื่อประเมินคุณภาพของระบบการวัด รวมถึงคำแนะนำเกี่ยวกับการปรับปรุงและพัฒนาระบบการวัด ชนิดของความผันแปรในระบบการวัดได้แก่

Bais ได้แก่ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่วัดได้จากการวัดและค่าต้นแบบ ค่าต้นแบบนั้นตัดสินใจโดยการเฉลี่ยการวัดหลายๆ ครั้งด้วยอุปกรณ์การวัดที่แม่นยำที่สุดเท่าที่มี

Repeatability ได้แก่ การผันแปรในการวัดที่ได้จากเกจตัวหนึ่ง เมื่อใช้วัดหลายๆ ครั้งโดยผู้วัดคนเดียวกัน ในการวัดลักษณะเดียวกันของชิ้นส่วนชิ้นเดียวกัน

Reproducibility ได้แก่ การผันแปรในค่าเฉลี่ยของการวัดซึ่งวัดโดยผู้ปฏิบัติงานต่างคนกัน โดยใช้เกจตัวเดียวกัน ในขณะที่วัดลักษณะเดียวกันของชิ้นส่วนชิ้นเดียวกัน

Stability ได้แก่ การผันแปรรวมในการวัด ซึ่งได้จากเกจที่มีต้นแบบหรือชิ้นส่วนต้นแบบอันเดียวกันเมื่อใช้วัดลักษณะเพียงลักษณะเดียวเกินกว่าระยะเวลาที่ต่อออกไปสำหรับการอธิบายเกี่ยวกับเสถียรภาพที่สมบูรณ์มากว่านี้

Linearity ได้แก่ ความแตกต่างงานค่าความแม่นยำทางพิสัย การปฏิบัติงานที่คาดหมายไว้ของเกจ

การประเมินคุณสมบัติของระบบการวัดจะดำเนินการได้ 2 ระยะคือ

ระยะที่ 1 เป็นการทำความเข้าใจกับกระบวนการวัดและพิจารณาว่าสามารถตอบสนองได้ตามความต้องการหรือไม่ (ซึ่งมีความจำเป็นต้องการดำเนินการก่อนมีการใช้ระบบการวัดกับงานในสายการผลิต) และในกรณีที่จากการพิจารณาพบว่ามีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมมีผลต่อระบบการวัดแล้วจะต้องดำเนินการให้ระบบการวัดอยู่ “ภายใต้สภาวะควบคุม” ในระยะนี้ต้องประเมินถึง Bais, Stability, และ Linearity

ระยะที่ 2 การทดสอบเพื่อทวนสอบระบบการวัด (ซึ่งโดยปกติจะเรียกว่า “GR&R”) โดยการทดสอบในระยะนี้จะประกอบด้วยการสอบเทียบ(Cailibration)การบำรุงรักษา (Maintenance) และมาตรวิทยา (Metrology) ในระยะนี้ต้องประเมินถึง Repeatability และ Reproducibility

เทคนิคในการคำนวณ GR&R มีอยู่ 3 วิธี

- Rang Method เหมาะกับการประเมินค่าความผันแปรของการวัด โดยไม่สามารถแยกออกได้เป็น Repeatability และ Reproducibility อาจจะเรียกว่า “วิธีลัด” หรือ “วิธีอย่างสั้น”

- Average and Range Method เหมาะกับการประมาณค่า Repeatability และ Reproducibility ที่แยกจากกัน แต่จะไม่มีเทอม Interaction

- Analysis of Variance (ANOVA) เหมาะกับการประมาณค่า Repeatability และ Reproducibility ตลอดจนเทอม Interaction

มาตรฐานเกณฑ์การยอมรับระบบการวัด

% GR&R $<$ 10%	ระบบการวัดมีความสามารถ
10% $\leq$ GR&R $\leq$ 30%	ระบบการวัดอาจจะให้การยอมรับได้
30% $<$ GR&R	ระบบการวัดไม่มีความสามารถ

Juran J.M. : Juran ‘ s Quality Handbook (1988) กล่าวถึงความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดมีผลต่อการตัดสินใจ ดังนั้นจึงควรทำการลดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวให้น้อยที่สุด โดยการปรับปรุงระบบการวัดตัววัดผลการปรับปรุงระบบวัดจะสามารถจะศึกษาจากค่าความเที่ยงตรง และความแม่นยำในการวัด ซึ่งความคลาดเคลื่อนสามารถจำแนกตามแหล่ง ได้แก่ ความผันแปรภายในพนักงาน ความผันแปรระหว่างพนักงาน , ความผันแปรของวัสดุ , ความผันแปรของเครื่องมือวัด,ความผันแปรของวิธีการวัด และความผันแปรระหว่างห้องปฏิบัติการแผนการลดความคลาดเคลื่อน ใช้หลักการของพาเรโตในการหาองค์ประกอบของปริมาณความเคลื่อนที่ยอมรับได้ ซึ่งสาเหตุดังกล่าวที่มีผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในระบบวัดจะมีจำนวนน้อย พยายามลดความผันแปรหลัก ซึ่งได้แก่เทคนิคการวัดของพนักงาน โดยการปรับปรุงเทคนิคหรือใช้เทคนิคใหม่

การควบคุมการสอบเทียบ เป็นระบบที่รักษาความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดอย่างต่อเนื่อง เมื่อตรวจพบว่าเครื่องมือวัด ดังกล่าวอยู่นอกการสอบเทียบแล้วควรทำการปรับแต่งสภาพหรือทำการสอบเทียบใหม่ทันที

การควบคุมเครื่องมือใหม่ ก่อนที่จะทำการรับมาตรฐานและเครื่องมือวัดใหม่ ควรต้องพิสูจน์ให้ได้ว่าเครื่องมือดังกล่าวมีความถูกต้องก่อนการรับเสมอ โดยแนวทางที่จะทำการพิจารณาจะจำแนกตามคุณลักษณะของแต่ละชนิด

- มาตรฐานที่มีความแม่นยำ : ถูกควบคุมอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลการสอบเทียบและใบรับรองที่สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้
- มาตรฐานใช้งาน : ควรทำการตรวจสอบการนำเข้าและมีการสาทิตการใช้งาน
- เครื่องมือทดสอบใหม่ : ควรทำการตรวจสอบการสอบเทียบก่อนเริ่มใช้งาน

- วัสดุทดสอบ : เป็นส่วนประกอบของมาตรฐาน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีผลกระทบต่อการวัด และ การสอบเทียบควรจะมีข้อมูลของวิธีการทดสอบวัสดุดังกล่าวของผู้ผลิต

Melissa L. Bowles และ Douglas C. Montgomery (1997) ในวารสาร Quality Engineering เรื่อง How to Formulate the Ultimate Margarita : A Tutorial on Experiments with Mixtures ได้ทำการออกแบบเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมของ margarita ซึ่งมีส่วนผสมอยู่ 4 อย่าง ประกอบด้วย tequila, lime juice, margarita mix และ triple sec. โดยเป้าหมายเพื่อสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับผู้ดื่ม ซึ่งการหาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์นี้เป็นรูปแบบหนึ่งของการออกแบบการทดลองที่เรียกว่า การออกแบบส่วนผสม (mixture experiment) การออกแบบแบบนี้จะใช้มากในผลิตภัณฑ์ที่เป็นสูตรผสม เช่น สูตรผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องบริโภคต่างๆ ได้แก่ แชมพูสระผม สบู่ หรือผลิตภัณฑ์ประเภทยา อาหารและเครื่องดื่มหรือสีย้อมผ้า ในการออกแบบการทดลองโดยทั่วไป ระดับของปัจจัยที่เลือกไว้ในการออกแบบการทดลองจะเป็นอิสระต่อกันกับปัจจัยอื่นๆ ที่เลือกไว้ ในขณะที่การออกแบบส่วนผสม ปัจจัยการทดลองจะหมายถึงองค์ประกอบของส่วนผสมนั้นๆ โดยคำตอบจะเป็นสมการของสัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละตัว ซึ่งสัดส่วนของแต่ละตัวจะวัดในรูปของโดยน้ำนัก โดยปริมาตร หรือโดยอัตราส่วนโมล ทั้งนี้ในการผสม margarita จึงต้องการสัดส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมทั้ง 4 อย่างภายในปริมาตรของภาชนะที่คงที่ ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ โดยการใช้ซอฟท์แวร์ชื่อ Design-Expert จะได้ค่าที่เหมาะสมประกอบด้วย margarita mix เท่ากับ 55% tequila เท่ากับ 25.67 % triple sec. เท่ากับ 9.33 % และ lime juice เท่ากับ 10.00 % โดยวัดค่าความพึงพอใจที่คาดหมายเท่ากับ 5.9 และระดับความคาดหมายเท่ากับ 4.7

ในบทความของ K.N. Anand (1997) ในวารสาร Quality Engineering เรื่อง Improving The Yield of Selica Gel in a Chemical Plant โดยได้ทดลองปรับปรุงระดับคุณภาพของ Silica Gel ในโรงงานเคมี โดยคุณสมบัติที่สำคัญของ Silica Gel คือความสามารถในการดูดซึมความชื้น ซึ่งการดูดซึมจะลดลงเมื่อขนาดของ crystal เล็กกว่า 2 มิลลิเมตร และความหนาแน่นต่ำกว่า 6 (scrap) จากการสำรวจสภาพเดิม พบว่าสัดส่วนของสินค้าชั้นสองมี 20 % และส่วนที่ตัดเป็นของเสียมี 5 % ภายหลังจากการออกแบบการทดลองพบว่าปัจจัยที่จะทำให้จำนวนสินค้าชั้นสอง และของเสียน้อยที่สุด ต้องกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของ Sodium Silicate อยู่ที่ 1.123 และ ค่า pH ของ Sodium Silicate อยู่ที่ 4.0 เมื่อนำไปทำการผลิตภายใต้สภาพที่กำหนดใหม่แล้วพบว่าสินค้าชั้นหนึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 87.7 % (จากเดิม 74.5 %) ส่วนสินค้าชั้นสองลดลงเหลือ 10.22 % และของเสียลดลงเหลือ 2.11 %

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นการศึกษาเครื่องมือวัดทั้งหมดที่มีใช้อยู่ในโรงงานผลิตเครื่องประดับ แล้วทำการแบ่งเครื่องมือวัดออกเป็น สองประเภท คือเครื่องมือวัดที่มีผลกระทบกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเครื่องมือวัดที่ไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แล้วดำเนินการตามมาตรฐานการตรวจสอบเพื่อเก็บข้อมูล แล้วนำไปวิเคราะห์

3.1 **ศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างโดยพิจารณาถึงเครื่องมือวัดที่มีใช้ในโรงงานตัวอย่างทั้งหมด**

<u>แผนก ส่งออก</u>

B01/2	กระบองไซค์	1 อัน
B01/3	กระบองไซค์	1 อัน
B19	เครื่องชั่ง 220 กรัม	1 เครื่อง
B24	เครื่องชั่ง 60 กิโลกรัม	1 เครื่อง
B06	ไม้บรรทัด 100 ซ.ม.	1 อัน

<u>แผนก แต่งตัวเรือน</u>

G1/20F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/17F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/21F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/22F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/18F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/23F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/24F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/25F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/26F	กระบองไซค์	1 อัน
G1/27F	กระบองไซค์	1 อัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

B13	เครื่องชั่ง 3,100 กรัม	1 เครื่อง
B14	ไม้บรรทัด 12 นิ้ว	8 อัน
B15	ไม้บรรทัด 24 นิ้ว	1 อัน
B16	กล้องส่องเล็กล้องคอ	9 อัน
B17	กล้องส่องใหญ่	1 อัน

<u>แผนก ตรวจสอบ</u>

Q01/1	กระบองไซค์	1 อัน
Q01/2	กระบองไซค์	1 อัน
Q01/3	กระบองไซค์	1 อัน

<u>แผนกประสานงาน</u>

C01/1	กระบองไซค์	1 อัน
C01/2	กระบองไซค์	1 อัน
C01/3	กระบองไซค์	1 อัน
C01/4	กระบองไซค์	1 อัน
B14	ไม้บรรทัด 12 นิ้ว	5 อัน
B15	ไม้บรรทัด 24 นิ้ว	1 อัน
B16	กล้องส่องเล็กล้องคอ	4 อัน
B17	กล้องส่องใหญ่	1 อัน
B24	ตาชั่ง 6 กิโลกรัม	1 เครื่อง

<u>แผนกจัดซื้อ</u>

P01/1	กระบองไซค์	1 อัน
B19	เครื่องชั่ง 1,000 กรัม	1 เครื่อง

<u>แผนกขาย</u>

B01/1	กระบองไซค์	1 อัน
B14	ไม้บรรทัด 12 นิ้ว	5 อัน
B15	ไม้บรรทัด 24 นิ้ว	1 อัน
B16	กล้องส่องเล็กล้องคอ	4 อัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

B17	กล้องส่องใหญ่	1 อัน
B24	ตาชั่ง 6 กิโลกรัม	1 เครื่อง
B22	แผ่นรองพลอย	3 อัน
B23	ชุดร่อนพลอย	2 อัน

<u>แผนกขัด</u>

B01/4	กระบองไซค์	1 อัน
B07	เหล็กเคาะ SIZE แหวน	1 อัน
B17	กล้องส่องใหญ่	1 อัน

<u>แผนก ฝัง</u>

B01/5	กระบองไซค์	1 อัน
B01/6	กระบองไซค์	1 อัน
B01/7	กระบองไซค์	1 อัน

<u>แผนกชุบ</u>

B10	ตาชั่ง 7 กิโลกรัม	1 เครื่อง

<u>แผนก บล็อกพลอย</u>

B11	เครื่องชั่ง 1200 กรัม	1 เครื่อง

<u>แผนกแม่พิมพ์ , หล่อ</u>

B20	เครื่องวัดอุณหภูมิ 1200 $^{\circ}$C	5 เครื่อง
B21	เครื่องวัดความดันสูญญากาศ	2 เครื่อง
B22	เครื่องชั่งน้ำหนัก	1 เครื่อง

<u>แผนก ออกแบบ</u>

B19	เครื่องชั่ง 320 กรัม	1 เครื่อง
B16	กล้องส่องเล็กล้องคอ	6 อัน
B18	กล้องส่องสวมหัว	3 อัน
B01/8	กระบองไซค์	1 อัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ทำการแบ่งเครื่องมือวัดของโรงงานตัวอย่างทั้งหมด ออกเป็นสองประเภท คือเครื่องมือวัดที่มีผลกระทบกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเครื่องมือวัดที่ไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกเครื่องมือวัดที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มาใช้ในการศึกษาดังนี้

3.2.1 เครื่องมือวัดมิติทางด้านน้ำหนัก ประกอบด้วย

(1) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	320 กรัม	1 เครื่อง
(2) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	220 กรัม	1 เครื่อง
(3) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	1000 กรัม	1 เครื่อง
(4) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	1200 กรัม	1 เครื่อง
(5) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	3100 กรัม	1 เครื่อง

3.2.2 เครื่องมือวัดมิติทางด้านอุณหภูมิ ประกอบด้วย

(1) เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์	650 ^{o}C	3 เครื่อง
(2) เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ	1000 ^{o}C	2 เครื่อง

3.2.3 เครื่องมือวัดมิติทางด้านความดัน ประกอบด้วย

(1) เครื่องมือวัดความดันสูญญากาศ	2 เครื่อง

3.2.4 เครื่องมือวัดมิติทางด้านความยาว ประกอบด้วย

(1) กระบองไซค์	27 อัน

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

ในการวิจัยครั้งนี้ จะทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ ที่ใช้เป็นปัจจัยสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องมือวัดที่ได้ทำการเลือกไว้แล้ว โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลของเครื่องมือวัดแต่ละเครื่องด้วยเครื่องมือมาตรฐาน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด และความแม่นยำของระบบการวัด ทำการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด จัดทำคู่มือการใช้งาน และวิธีการสอบเทียบ พร้อมทั้งแนะนำอบรมให้กับพนักงานในแผนกแม่พิมพ์ และหล่อ ทั้งยังได้จัดทำข้อเสนอแนะให้กับทางโรงงานเพื่อลดความผันแปรในการใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ในโรงงาน

รูปที่ 3.1 การสอบเทียบครื่องชั่ง ที่ 20 กรัม ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

รูปที่ 3.2 การสอบเทียบครื่องชั่ง ที่ 50 กรัม ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

รูปที่ 3.3 การสอบเทียบครื่องชั่ง ที่ 1000 กรัม ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

รูปที่ 3.4 การสอบเทียบครื่องชั่ง ที่ 2000 กรัม ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

รูปที่ 3.5 การฝึกอบรมให้หัวหน้าช่าง สอบเทียบเครื่องช่างอิเล็กทรอนิกส์
ด้วย ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

รูปที่ 3.6 การทดลองหาค่าความผันแปร เครื่องมือวัดอุณหภูมิ(เครื่องอบแบบพิมพ์ปูน)

รูปที่ 3.7 เครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน (ขณะวัดค่าความผันแปรในตู้อบแบบพิมพ์ปูน ที่ 650 °C แต่อ่านค่าอุณหภูมิได้ 657 °C)

รูปที่ 3.8 เครื่องมือสร้างอุณหภูมิมาตรฐาน (ขณะวัดค่าความผันแปรในเตาหล่อ ที่ 1000 °C

รูปที่ 3.9 การทดลองหาค่าความผันแปร เครื่องมือวัดความดัน(สูญญากาศ)

รูปที่ 3.10 การสอบเทียบเครื่องวัดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวเรือนแหวน ด้วย เวอร์เนียรมาตรฐาน

รูปที่ 3.11 การฝึกอบรมให้หัวหน้าช่าง สอบเทียบเครื่องวัดเส้นผ่าศูนย์กลางตัวเรือนแหวน ด้วยเวอร์เนียรมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ข้อมูลโรงงานตัวอย่าง

เป็นการศึกษาขั้นตอนการผลิต ของโรงงานผลิตเครื่องประดับ ในแผนกหล่อแม่พิมพ์ปูน ซึ่งมีเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องได้แก่ เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ 5 เครื่อง เตาอบแม่พิมพ์ปูน 3 เครื่อง เตาหล่อโลหะ 2 เครื่อง เครื่องหล่อแบบพิมพ์ปูนภายใต้ความดันสูญญากาศ 2 เครื่อง และ กระบองไซค์ 27 อัน

4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับโรงงาน

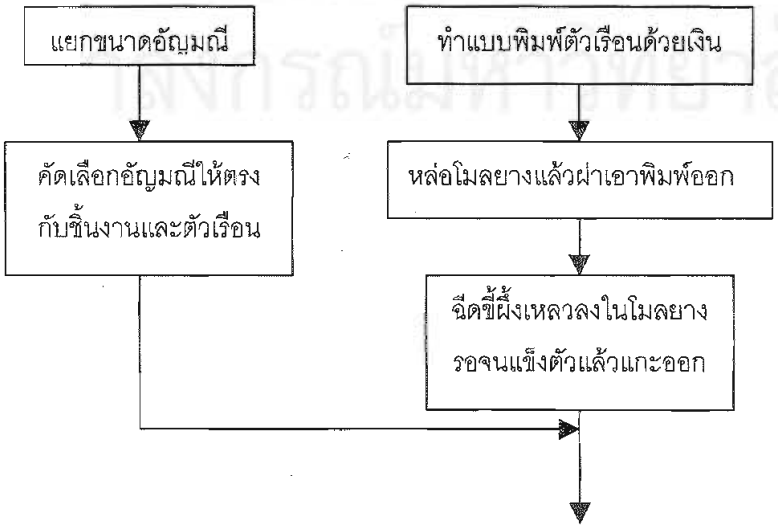
โรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา : เป็นโรงงานผลิตเครื่องประดับประเภทแหวนฝังอัญมณี

สถานที่ตั้ง : เขตจังหวัดปทุมธานี

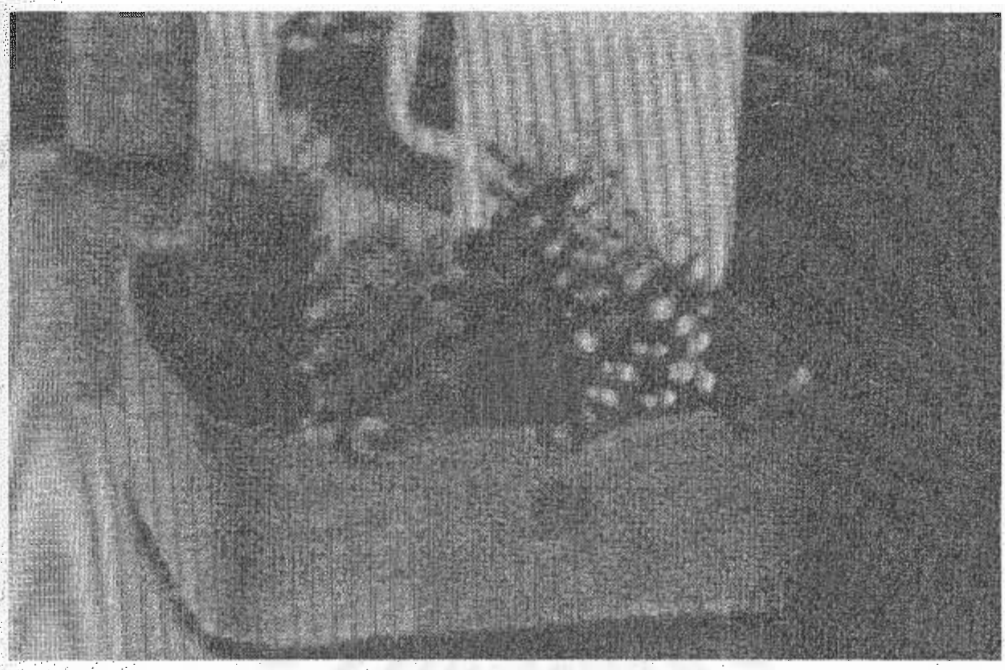
จำนวนพนักงาน : 200 คน

ประวัติโรงงาน : โรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษานี้เป็นโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตขนาดกลาง(SME) ทำการออกแบบและผลิตเครื่องประดับตามความต้องการของลูกค้าทั้งในและต่างประเทศ ดำเนินงานมาประมาณ 10 ปี ยอดขายปีละประมาณ 400 ล้านบาท พนักงานประมาณ 200 คน ขั้นตอนการผลิตเป็นแบบ Process Layout วัตถุดิบทางตรงส่วนมากจะเป็น เพชร พลอย ทองคำ เงิน ซึ่งมีมูลค่าสูง เกิดการสูญหายในระหว่างการผลิตไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าหายไปในสถานีไหน และเกิดปัญหาทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะการส่งออกไปต่างประเทศ ทางโรงงานจึงเห็นความสำคัญของการเข้าสู่ระบบมาตรฐาน ISO-9000 ซึ่งมีส่วนของการวิเคราะห์ระบบการวัด เข้ามาเกี่ยวข้อง

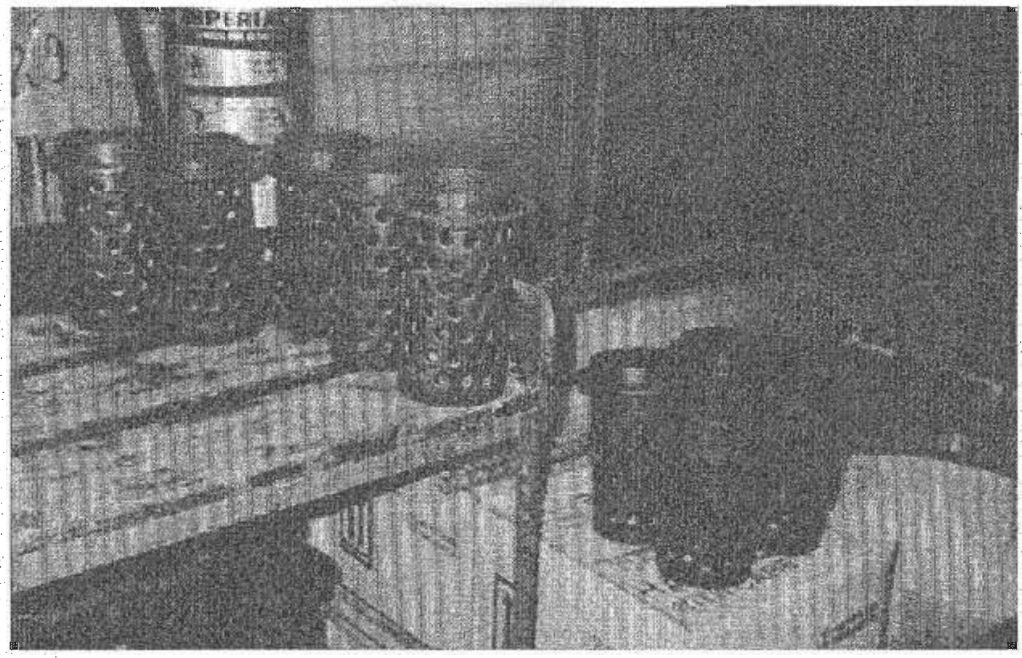
4.2 กระบวนการผลิตเครื่องประดับประเภทแหวนฝังอัญมณี



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการผลิตเครื่องประดับ

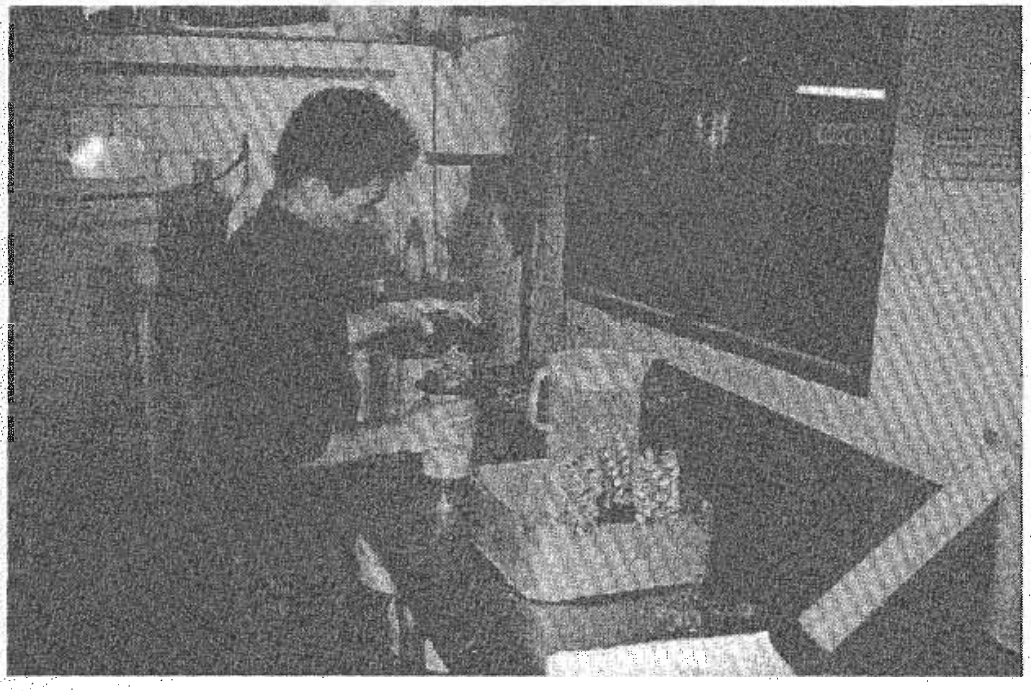


รูปที่ 4.2 ต้นเทียนเป็นแบบที่จะทำแบบพิมพ์ปูน

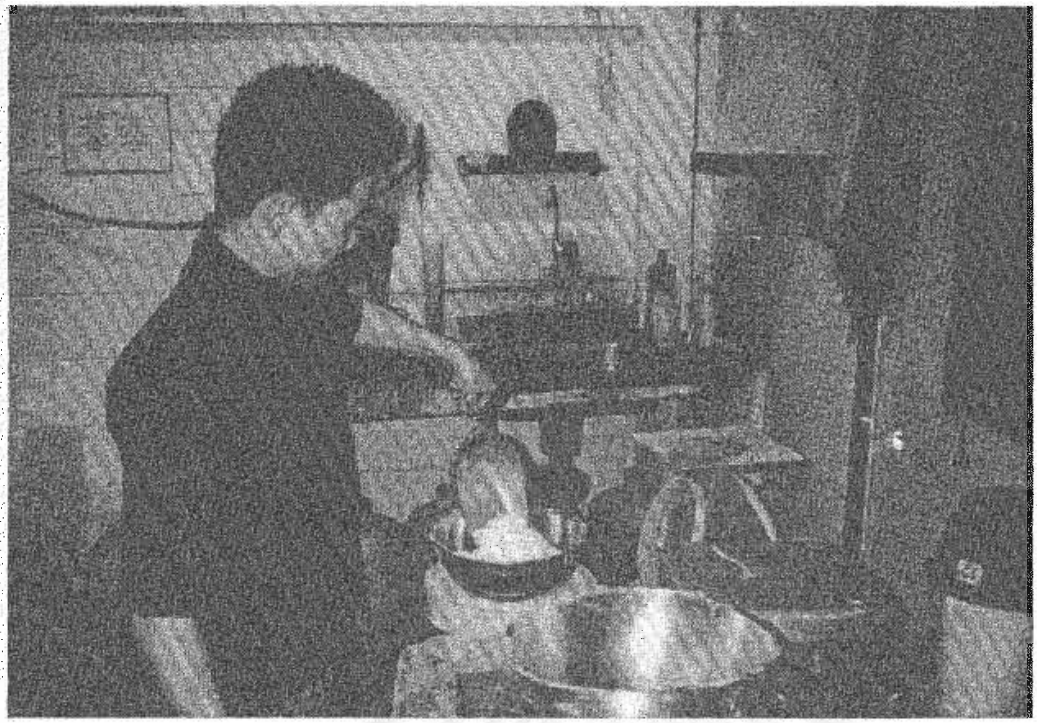


รูปที่ 4.3 เบ้าโลหะใส่ต้นเทียน เพื่อจะทำแบบพิมพ์ปูน

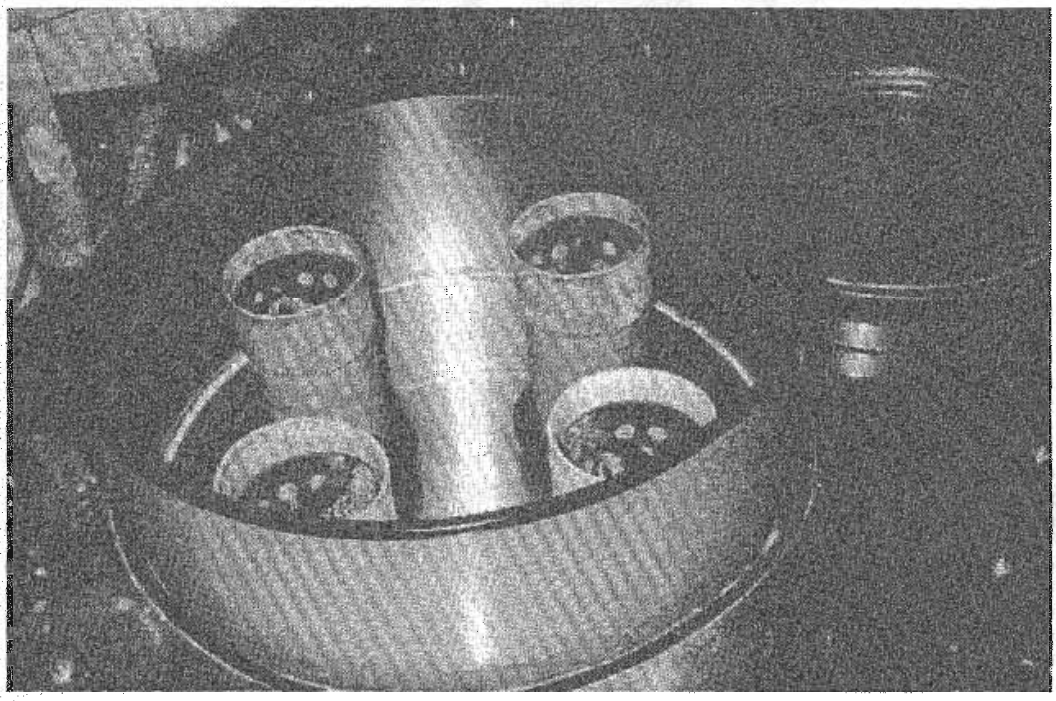
รูปที่ 4.4 เบ้าโลหะติดกระดาษกาวทำแบบพิมพ์ปูน



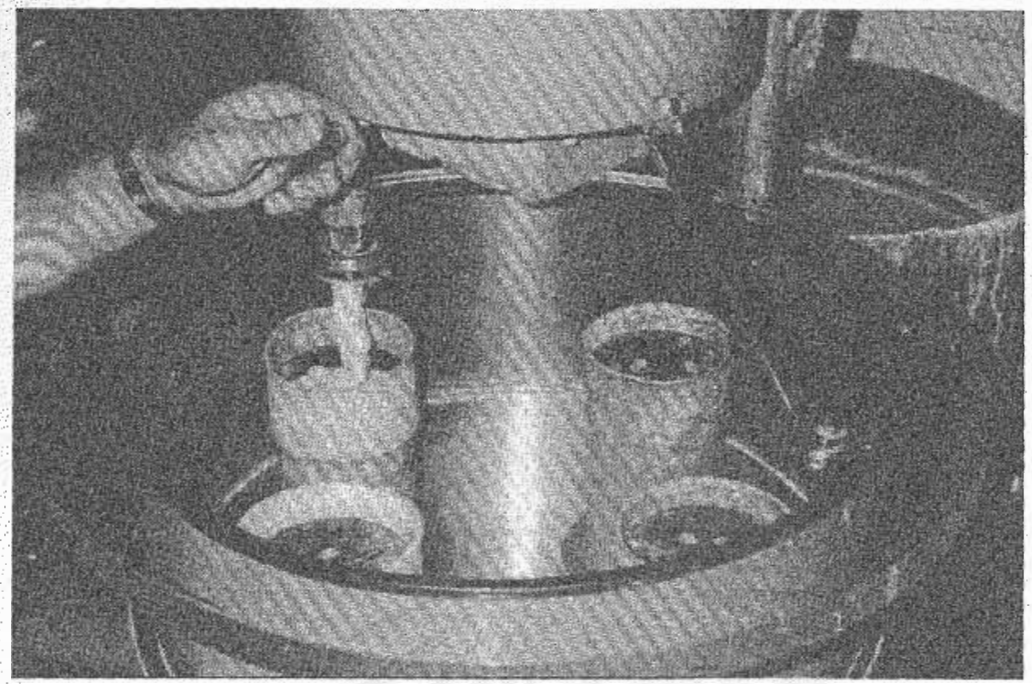
รูปที่ 4.5 นำต้นเทียนใส่ลงในเบ้าโลหะ เพื่อจะทำแบบพิมพ์ปูน



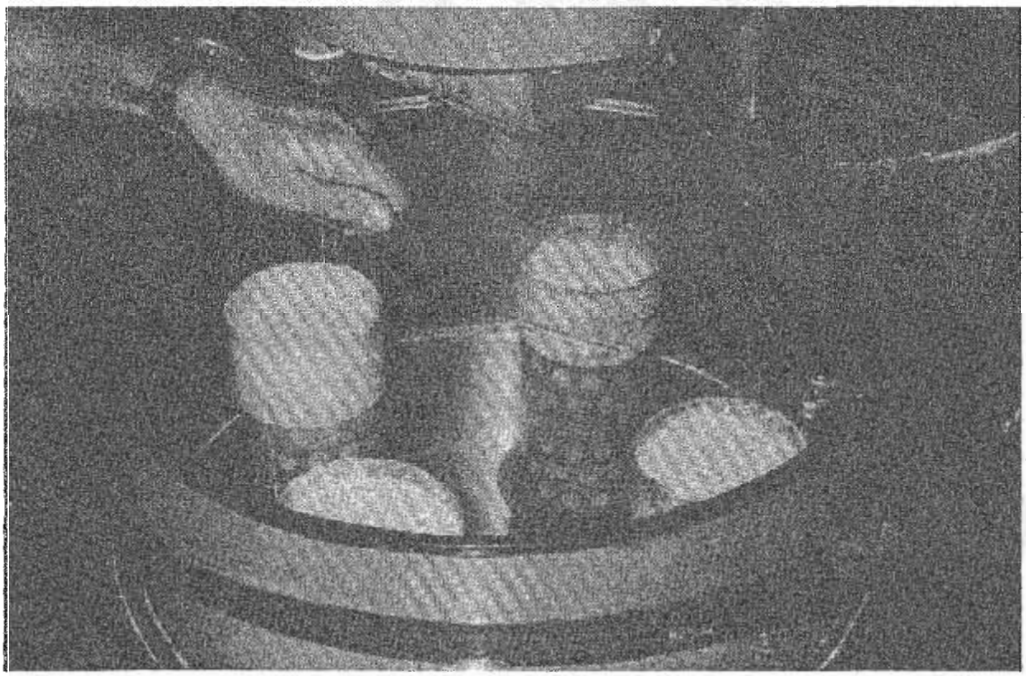
รูปที่ 4.6 ผสมปูนแบบพิมพ์



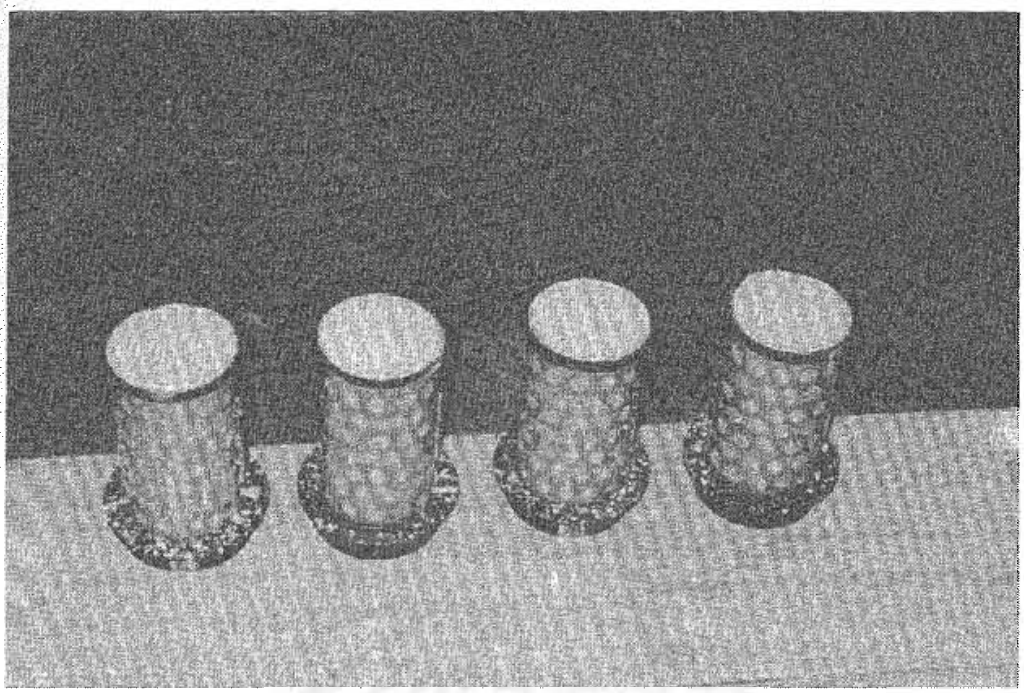
รูปที่ 4.7 นำเบ้าโลหะใส่ต้นเทียนแล้ว เข้าเครื่องทำสูญญากาศ



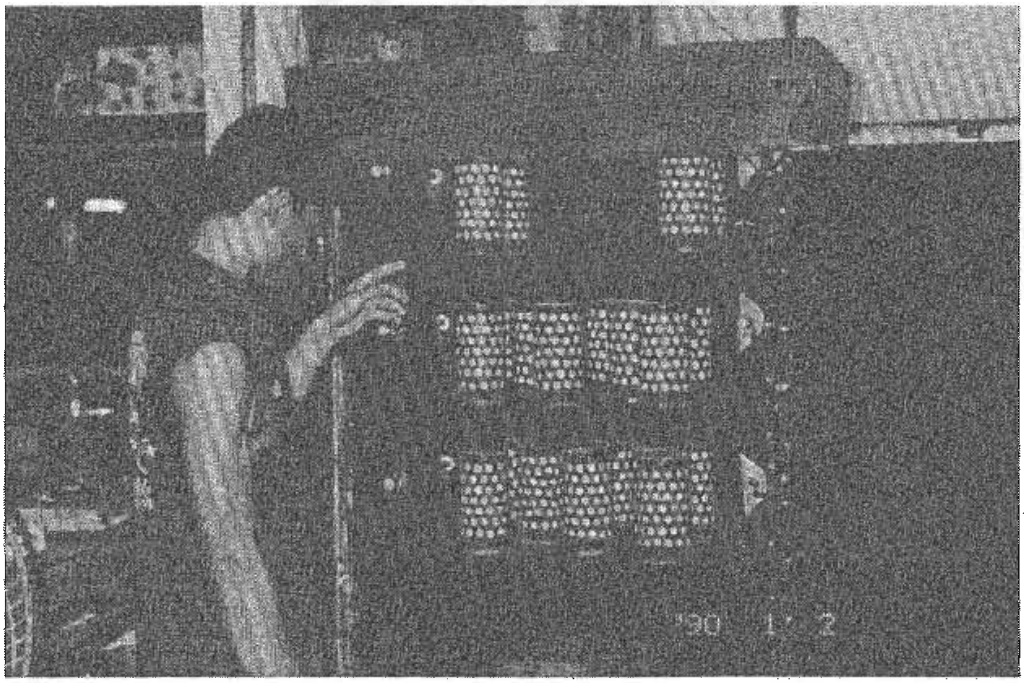
รูปที่ 4.8 เทปูนเข้าเบ้าโลหะในเครื่องทำสูญญากาศ



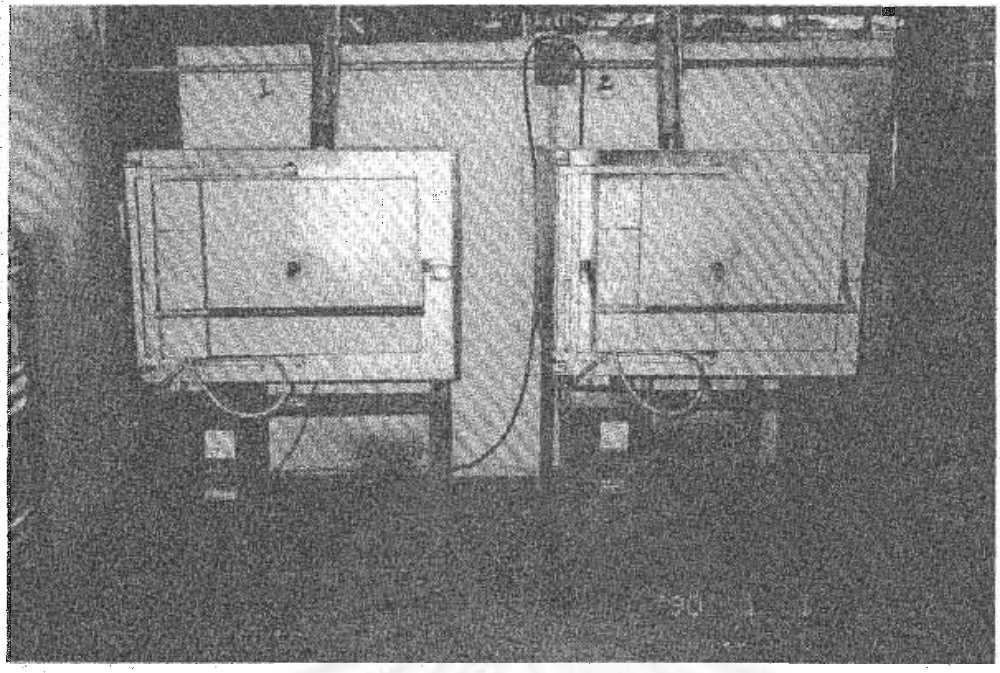
รูปที่ 4.9 เทปูนจนเต็ม จะสังเกตุเห็นฟองอากาศ เนื่องจากการทำสูญญากาศ
เพื่อไล่ฟองอากาศที่อยู่ภายในแบบแม่พิมพ์ปูนออก



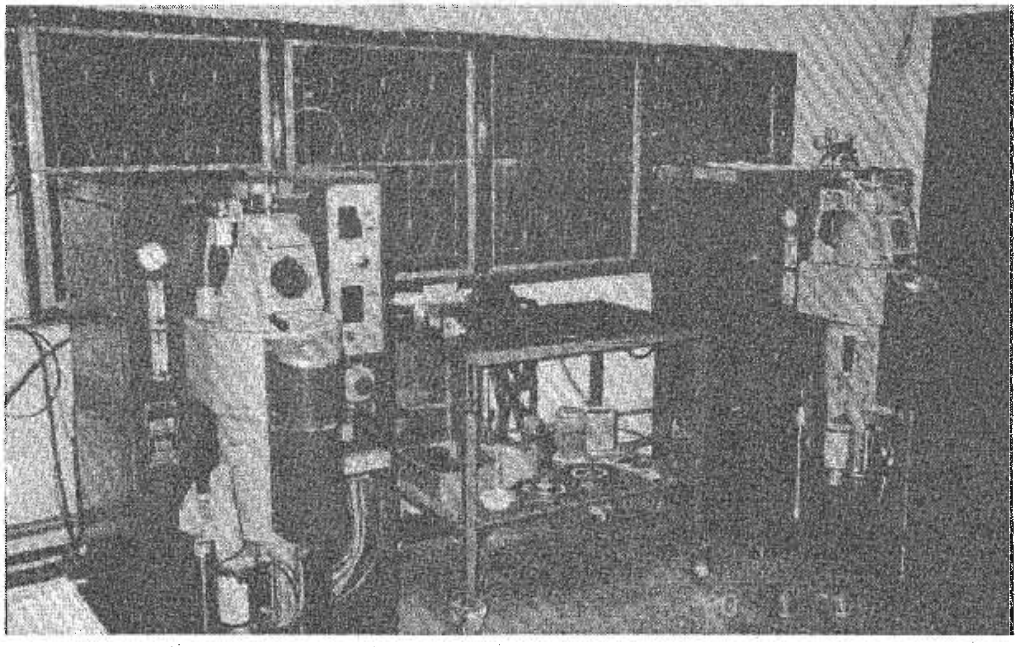
รูปที่ 4.10 นำแบบแม่พิมพ์ปูนวางทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง จนแบบแข็งตัว



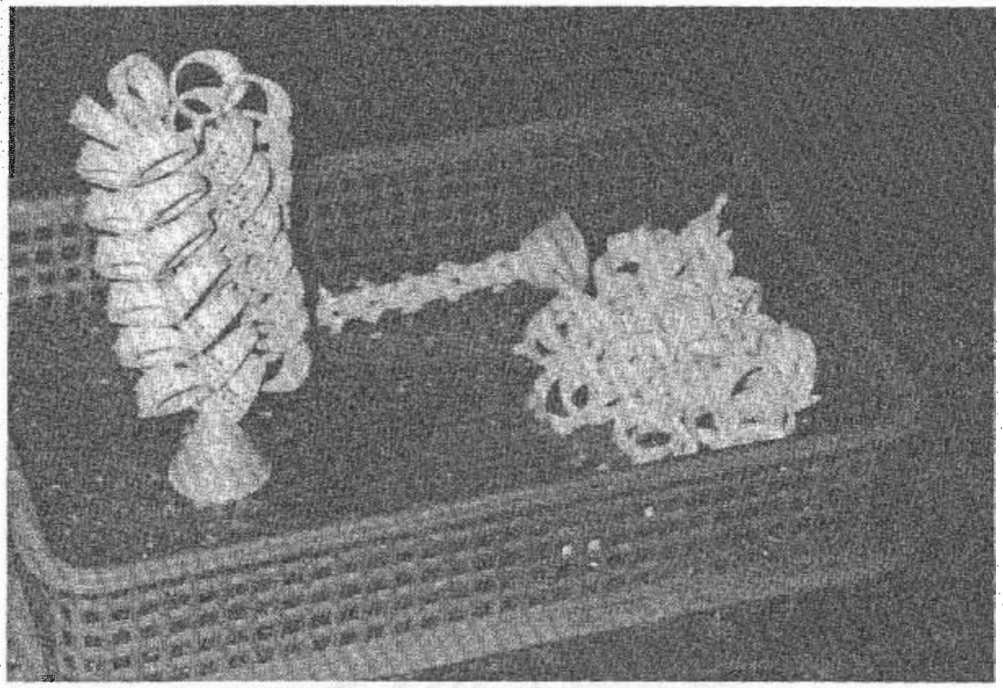
รูปที่ 4.11 แบบแม่พิมพ์ปูนที่แข็งตัว เข้าตู้อบเพื่อละลายต้นเทียนออก



รูปที่ 4.12 แบบแม่พิมพ์ปูน เข้าตู้อบ 650 °C เพิ่มความแข็ง



รูปที่ 4.13 เตาหลอม เงินแท่ง ทองแท่ง แล้วเทเข้าแบบแม่พิมพ์ปูน ทำตัวเรือน



รูปที่ 4.14 ตัวเรือนแหวนเงิน ที่แกะออกจากแบบแม่พิมพ์ปูน (ซ้าย)
ตัวเรือนแหวนเงิน ที่ตัดออกจากต้นเงิน (ขวา)

รูปที่ 4.15 ตัวแท่งเงิน และเศษเงินที่ถูกตัดตัวเรือนแหวนออกไปแล้วนำมาหลอมเป็นแท่งใหม่

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้ได้แสดงผลการทดลอง ของการทดลองแต่ละขั้น โดยได้ทำการทดลองเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 เครื่อง เตาอบแม่พิมพ์ปูน จำนวน 3 เครื่อง เตาหล่อโลหะ จำนวน 2 เครื่อง เครื่องหล่อแบบแม่พิมพ์ปูนภายใต้ความดันสูญญากาศ จำนวน 2 เครื่อง และกระบองไซค์ จำนวน 27 อัน รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

5.1 การดำเนินการทดลองหาความผันแปรเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม

5.1.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัส โดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว(Independent Sample Method โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 300 กรัมมีค่า Correction – 0.7 มิลลิกรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 299.9993 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(3) ใช้ Function Internal Calibration ให้เครื่องทำการ Calibrate ด้วยตัวเอง

(4) ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานใหม่ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(5) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(6) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบ ไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม

จำนวนครั้ง	ปลายสเกลบน(กรัม) ก่อนการ Calibrate	ปลายสเกลบน(กรัม) หลังการ Calibrate
1	298.25	299.98
2	298.34	299.97
3	298.84	299.98
4	298.51	299.99
5	298.62	299.98
6	298.73	299.98
7	298.47	299.99
8	299.29	300.01
9	298.38	299.98
10	298.19	299.99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในกรณีที่ค่า % ไบอัส มีค่าค่อนข้างสูง ให้ทำการค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข โดยมีสาเหตุที่อาจจะเป็นไปได้ ดังนี้

(1) เกิดความคลาดเคลื่อนในค่ามาสเตอร์ ต้องทำการตรวจสอบวิธีการได้มาซึ่งค่าอ้างอิงใหม่

(2) เกิดความสึกหรอในเครื่องมือวัด (ควรมีการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของระบบการวัด) ซึ่งควรมีการบำรุงรักษาหรือทบทวนแผนใหม่การบำรุงรักษาใหม่

(3) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัดที่ผิดพลาด

(4) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัด วัดคุณลักษณะที่ผิดพลาด

(5) เกิดจากการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ไม่สมบูรณ์ ควรมีการทบทวนวิธีการสอบเทียบใหม่

(6) เกิดจากพนักงานวัดใช้เครื่องมือวัดไม่ถูกต้อง ควรมีการทบทวนวิธีการใช้เครื่องมือ

และ (7) เกิดจากความไม่ถูกต้องของวิธีการปรับแก้เครื่องมือวัด

5.1.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 300 กรัม มีค่า Correction – 0.7 มิลลิกรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 299.9993 กรัม มาชิ้นหนึ่งสามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ทำการทดสอบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานกับเครื่องชั่ง 4 ครั้งต่อวัน โดยกำหนดให้พนักงานที่รับผิด ชอบทำการวัดตอนเช้าทุกวันในวันทำการ ภายในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งได้ข้อมูลมาทั้งหมด 22 วัน 88 ข้อมูล

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำ หรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียรแสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ(consistent)จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือ ความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6) จากนั้นให้ทำการประเมิน %ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\overline{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.2 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง

วันที่	ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N (กรัม)	ค่าแก้ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Cs (กรัม)	น้ำหนักที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N+Cs (กรัม)	ค่าที่อ่านได้ (X) ครั้งที่1 (กรัม)	ครั้งที่2 (กรัม)	ครั้งที่3 (กรัม)	ครั้งที่4 (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)
1	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.96	299.97	299.98	299.97
2	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.96	299.95	299.96	299.96
3	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.95	299.96	299.96	299.97	299.96
4	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.96	299.97	299.98	299.97	299.97
5	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.96	299.98	299.97	299.96	299.9675
6	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.96	299.96	299.97	299.96	299.9625
7	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.98	299.97	299.96	299.97	299.97
8	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.98	299.96	299.96	299.9675
9	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.98	299.97	299.97	299.98	299.975
10	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.97	299.98	299.97	299.9725
11	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.96	299.96	299.97	299.97	299.965
12	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.98	299.97	299.97	299.97	299.9725
13	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.96	299.96	299.97	299.965
14	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.98	299.98	299.98	299.9775
15	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.98	299.98	299.97	299.98	299.9775
16	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.98	299.97	299.96	299.97
17	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.98	299.98	299.97	299.97	299.975
18	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.97	299.98	299.98	299.975
19	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.98	299.98	299.97	299.98	299.9775
20	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.97	299.98	299.97	299.97	299.9725
21	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.98	299.96	299.97	299.96	299.9675
22	300 กรัม	– 0.7 มิลลิกรัม	299.9993 กรัม	299.98	299.97	299.98	299.98	299.9775

5.1.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ค่า ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของเครื่องชั่งน้ำหนัก

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละชิ้นจำนวนชิ้นละ10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุม แล้วทำการเฉลี่ย สาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

(3) ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ ดังกล่าวชิ้นละ 10 ครั้งโดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

(4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์ พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละค่ามาสเตอร์

(5) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงค่ามาสเตอร์ และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(6) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(7) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(8) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	0.1008 กรัม	0.2998 กรัม	0.5030 กรัม	0.9963 กรัม	10.001 กรัม	30.005 กรัม	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม	299.9993 กรัม
1	0.10	0.30	0.49	1.00	10.01	30.01	50.01	100.01	199.97	296.17
2	0.10	0.30	0.50	1.01	10.02	30.02	50.00	100.00	199.98	297.34
3	0.10	0.31	0.49	1.00	10.01	30.01	50.01	100.02	199.97	298.54
4	0.10	0.30	0.49	1.01	10.02	30.02	50.02	100.02	199.96	297.65
5	0.10	0.30	0.51	1.01	10.01	30.01	50.01	100.02	199.97	298.71
6	0.10	0.31	0.51	1.00	10.01	30.02	50.01	100.01	199.96	298.51
7	0.10	0.31	0.50	1.01	10.01	30.02	50.02	100.01	199.98	297.67
8	0.10	0.30	0.49	1.01	10.02	30.02	50.02	100.02	199.98	298.64
9	0.10	0.31	0.51	1.00	10.01	30.01	50.01	100.02	199.97	297.35
10	0.10	0.31	0.51	1.01	10.02	30.01	50.02	100.02	199.97	298.61

5.1.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำในการวัดโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มชิ้นงานมา 10 ชิ้นโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มชิ้นงานให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกชิ้น จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกชิ้น ทุกครั้ง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด

ชิ้นงานตัวอย่าง	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	1(กรัม)	2(กรัม)	1(กรัม)	2(กรัม)
1	272.15	272.21	271.94	271.34
2	265.36	265.42	266.35	265.94
3	226.57	227.04	227.61	228.07
4	233.08	233.46	234.83	234.55
5	254.84	255.11	255.56	256.09
6	243.39	245.15	244.74	243.98
7	252.52	253.72	253.31	252.79
8	277.34	279.03	278.92	279.07
9	209.64	208.92	208.34	209.12
10	284.71	285.36	284.98	285.31

5.2 การดำเนินการทดลองหาความผันแปรเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม

5.2.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัส จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 200 กรัมมีค่า Correction – 0.6 มิลลิกรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 199.9994 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(3) ใช้ Function Internal Calibration ให้เครื่องทำการ Calibrate ด้วยตัวเอง

(4) ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานใหม่ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(5) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(6) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

จะได้ข้อมูลการทดลองดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบ ไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม

จำนวนครั้ง	ปลายสเกลบน(กรัม) ก่อนการ Calibrate	ปลายสเกลบน(กรัม) หลังการ Calibrate
1	198.34	199.97
2	198.18	199.98
3	198.94	199.99
4	198.37	199.98
5	198.57	199.98
6	198.39	199.97
7	198.15	199.98
8	199.34	199.99
9	198.57	199.98
10	198.36	199.98

5.2.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 200 กรัม มีค่า Correction – 0.6 มิลลิกรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 199.9994 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ทำการทดสอบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานกับเครื่องชั่ง 4 ครั้งต่อวัน โดยกำหนดให้พนักงานที่รับผิด ชอบทำการวัดตอนเช้าทุกวันในวันทำการ ภายในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งได้ข้อมูลมาทั้งหมด 22 วัน 88 ข้อมูล

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าวถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6) จากนั้นให้ทำการประเมิน %ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.6 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220 กรัม

วันที่	ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N (กรัม)	ค่าแก้ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Cs (กรัม)	น้ำหนักที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N+Cs (กรัม)	ค่าที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (กรัม)
				ครั้งที่1 (กรัม)	ครั้งที่2 (กรัม)	ครั้งที่3 (กรัม)	ครั้งที่4 (กรัม)	
1	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.98	199.98	199.97	199.98	199.9775
2	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.97	199.97	199.98	199.97	199.9725
3	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.97	199.98	199.98	199.97	199.975
4	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.99	199.98	199.97	199.98	199.98
5	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.97	199.97	199.98	199.99	199.9775
6	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.99	199.98	199.98	199.97	199.98
7	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.97	199.98	199.97	199.98	199.975
8	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.99	199.98	199.98	199.98	199.9825
9	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.98	199.978	199.96	199.97	199.972
10	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.96	199.98	199.97	199.98	199.9725
11	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.98	199.99	199.98	199.97	199.98
12	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.97	199.99	199.98	199.99	199.9825
13	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.99	199.98	199.97	199.98	199.98
14	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.96	199.97	199.96	199.97	199.965
15	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.97	199.98	199.97	199.98	199.975
16	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.98	199.99	199.98	199.99	199.985
17	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.97	199.96	199.96	199.97	199.965
18	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.98	199.97	199.97	199.96	199.97
19	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.97	199.98	199.98	199.99	199.98
20	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.98	199.98	199.98	199.98	199.98
21	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.98	199.98	199.98	199.98	199.98
22	200 กรัม	– 0.6 มิลลิกรัม	199.9994 กรัม	199.99	199.98	199.98	199.97	199.98

5.2.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 220 กรัม

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ค่า ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของเครื่องชั่ง

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละชิ้นจำนวนชิ้นละ10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ย สาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

(3) ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ ดังกล่าวชิ้นละ 10 ครั้งโดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

(4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์ พร้อมทั้งหาค่าไบอัส

(5) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงค่ามาสเตอร์ และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(6) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(7) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(8) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	0.030025 กรัม	0.1008 กรัม	0.2998 กรัม	0.5030 กรัม	0.9963 กรัม	10.001 กรัม	30.005 กรัม	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม
1	0.03	0.10	0.29	0.49	0.99	9.97	29.95	49.96	99.97	199.97
2	0.03	0.10	0.30	0.48	0.98	9.98	29.96	49.98	99.96	199.98
3	0.03	0.11	0.31	0.48	0.97	9.98	29.97	49.95	99.96	199.97
4	0.03	0.10	0.29	0.49	0.97	9.97	29.96	49.98	99.95	199.96
5	0.03	0.10	0.30	0,51	0.98	9.96	29.98	49.97	99.98	199.97
6	0.03	0.11	0.31	0.51	0.97	9.97	29.96	49.98	99.97	199.96
7	0.03	0.10	0.31	0.51	0.98	9.98	29.96	49.96	99.98	199.98
8	0.03	0.09	0.29	0.49	0.96	9.98	29.97	49.97	99.96	199.98
9	0.03	0.10	0.31	0.48	0.97	9.96	29.98	49.98	99.96	199.97
10	0.03	0.11	0.29	0.48	0.98	9.97	29.97	49.98	99.97	199.97

5.2.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำของเครื่องชั่ง 220 กรัม

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจาก

รีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มชิ้นงานมา 10 ชิ้นโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มชิ้นงานให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกชิ้น จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกชิ้น ทุกครั้ง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด

ชิ้นงานตัวอย่าง	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	1(กรัม)	2(กรัม)	1(กรัม)	2(กรัม)
1	117.25	117.11	117.94	117.34
2	185.31	184.42	185.35	184.94
3	106.27	107.24	106.27	107.28
4	153.18	153.46	154.83	154.55
5	164.44	165.11	165.56	165.09
6	44.39	45.15	44.77	44.78
7	192.22	193.02	192.31	192.79
8	178.34	179.13	178.98	179.09
9	129.64	128.92	128.34	129.12
10	88.79	87.86	88.08	88.33

5.3 การดำเนินการทดลองเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม

5.3.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัส

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 1000 กรัม มีค่า Correction + 0.0148 กรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 1000.0148 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(3) ใช้ Function Internal Calibration ให้เครื่องทำการ Calibrate ด้วยตัวเอง

(4) ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานใหม่ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(5) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(6) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

จะได้ข้อมูลการทดลองดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบ ไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม

จำนวนครั้ง	ปลายสเกลบน(กรัม) ก่อนการ Calibrate	ปลายสเกลบน(กรัม) หลังการ Calibrate
1	998.37	999.98
2	998.17	999.97
3	998.28	999.78
4	998.27	999.79
5	998.34	999.88
6	998.61	999.76
7	998.39	999.92
8	999.27	999.89
9	998.67	999.93
10	998.34	999.78

5.3.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 1000 กรัม มีค่า Correction + 0.0148 กรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 1000.0148 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ทำการทดสอบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานกับเครื่องชั่ง 4 ครั้งต่อวัน โดยกำหนดให้พนักงานที่รับผิด ชอบทำการวัดตอนเช้าทุกวันในวันทำการ ภายในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งได้ข้อมูลมาทั้งหมด 22 วัน 88 ข้อมูล

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\overline{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6) จากนั้นให้ทำการประเมิน%ความมีเสถียรภาพอเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\overline{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.10 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม

ที่	ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N (กรัม)	ค่าแก้ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Cs (กรัม)	น้ำหนักที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N+Cs (กรัม)	ค่าที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (กรัม)
				ครั้งที่1 (กรัม)	ครั้งที่2 (กรัม)	ครั้งที่3 (กรัม)	ครั้งที่4 (กรัม)	
1	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.95	997.28	998.63	997.54	997.85
2	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	998.41	997.69	998.75	997.37	998.055
3	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.82	997.38	996.48	997.38	997.015
4	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.58	998.88	997.63	997.95	998.01
5	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	998.28	997.17	997.58	998.08	997.7775
6	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.78	997.02	997.59	996.78	997.0425
7	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.44	996.97	998.79	997.61	997.7025
8	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.28	997.83	998.14	996.27	997.13
9	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.39	997.06	998.57	998.91	997.9825
10	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.80	997.64	998.91	997.63	997.745
11	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.73	998.54	997.29	998.18	997.935
12	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.52	997.17	998.57	997.67	997.4825
13	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	998.61	997.91	997.07	996.37	997.49
14	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.25	998.37	997.61	996.86	997.5225
15	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	998.34	997.37	998.62	997.32	997.9125
16	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.98	997.35	997.18	997.53	997.26
17	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	998.37	997.64	997.19	998.04	997.81
18	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.51	997.96	998.39	998.65	998.1275
19	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.64	998.73	997.54	998.62	998.1325
20	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	998.47	997.61	998.55	997.49	998.03
21	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.59	998.67	997.41	998.79	998.115
22	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.84	997.41	996.99	997.17	997.1025

5.3.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้น ของเครื่องชั่ง 1000 กรัมจะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ค่า ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของเครื่องชั่ง

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละชิ้นจำนวนชิ้นละ10 ครั้งภายใต้สภาวะ ควบคุม แล้วทำการเฉลี่ย สาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

(3) ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ ดังกล่าวชิ้นละ 10 ครั้งโดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

(4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์ พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละค่ามาสเตอร์

(5) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงค่ามาสเตอร์ และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณา สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิง เส้นตรงสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(6) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(7) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้วให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(8) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่ 5.11 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	10.001 กรัม	30.005 กรัม	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม	299.9993 กรัม	399.994 กรัม	499.997 กรัม	699.992 กรัม	1000.0148 กรัม
1	9.59	29.66	49.57	99.35	199.55	296.77	399.75	499.34	699.15	999.03
2	9.88	29.78	49.48	99.56	199.36	297.94	399.54	499.55	699.46	999.45
3	9.98	29.57	49.78	99.47	199.44	298.74	399.26	499.67	699.57	999.56
4	9.67	29.27	49.87	99.66	199.56	297.55	399.67	499.76	699.86	999.87
5	9.78	29.76	49.66	99.78	199.67	298.12	399.76	499.55	699.98	999.36
6	9.94	29.57	49.57	99.76	199.76	298.43	399.28	499.77	699.76	999.44
7	9.58	29.68	49.78	99.99	199.98	297.57	399.35	499.58	699.56	999.76
8	9.78	29.46	49.88	99.77	199.86	298.64	399.56	499.46	699.17	999.85
9	9.69	29.78	49.96	99.58	199.77	297.76	399.78	499.77	699.08	999.97
10	9.77	29.97	49.57	99.67	199.56	298.55	399.47	499.68	699.87	999.54

5.3.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำของเครื่องชั่ง 1000 กรัม

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มชิ้นงานมา 10 ชิ้นโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มชิ้นงานให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกชิ้น จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกชิ้น ทุกครั้ง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.12 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด

ชิ้นงานตัวอย่าง	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	1(กรัม)	2(กรัม)	1(กรัม)	2(กรัม)
1	527.02	526.65	527.34	526.57
2	384.47	385.78	384.94	384.62
3	207.27	206.22	207.28	207.28
4	154.55	153.94	154.55	153.15
5	765.11	764.70	765.09	764.99
6	645.65	645.66	644.78	644.04
7	192.47	193.19	192.79	192.87
8	478.97	478.89	479.09	479.23
9	128.40	128.13	129.12	128.56
10	888.48	887.90	888.33	887.68

5.4 การดำเนินการทดลองเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม

5.4.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัส จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 1000 กรัม มีค่า Correction + 0.0148 กรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 1000.0148 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(3) ใช้ Function Internal Calibration ให้เครื่องทำการ Calibrate ด้วยตัวเอง

(4) ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานใหม่ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(5) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(6) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

จะได้ข้อมูลการทดลองดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ตารางการทดสอบ ไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม

จำนวนครั้ง	ปลายสเกลบน(กรัม) ก่อนการ Calibrate	ปลายสเกลบน(กรัม) หลังการ Calibrate
1	998.64	999.48
2	998.35	999.62
3	998.94	999.58
4	998.57	999.89
5	998.61	999.88
6	998.87	999.68
7	998.97	999.96
8	999.17	999.70
9	998.84	999.58
10	998.69	999.87

5.4.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 1000 กรัม มีค่า Correction + 0.0148 กรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 1000.0148 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ทำการทดสอบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานกับเครื่องชั่ง 4 ครั้งต่อวัน โดยกำหนดให้พนักงานที่รับผิด ชอบทำการวัดตอนเช้าทุกวันในวันทำการ ภายในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งได้ข้อมูลมาทั้งหมด 22 วัน 88 ข้อมูล

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6)จากนั้นให้ทำการประเมิน %ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.14 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม

วันที่	ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N (กรัม)	ค่าแก้ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Cs (กรัม)	น้ำหนักที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N+Cs (กรัม)	ค่าที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (กรัม)
				ครั้งที่1 (กรัม)	ครั้งที่2 (กรัม)	ครั้งที่3 (กรัม)	ครั้งที่4 (กรัม)	
1	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	995.95	996.28	995.63	998.54	997.85
2	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	994.41	996.69	997.75	996.37	998.055
3	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.82	995.38	996.48	995.38	997.015
4	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.58	997.88	997.63	995.95	998.01
5	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	995.28	996.17	997.58	997.08	997.7775
6	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.78	996.02	996.59	995.78	997.0425
7	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.44	997.97	995.79	995.61	997.7025
8	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.28	997.83	996.14	996.27	997.13
9	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	997.39	995.06	996.57	995.91	997.9825
10	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	994.80	995.64	996.91	995.63	997.745

11	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.73	995.54	994.29	996.18	997.935
12	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	995.52	994.17	994.57	995.67	997.4825
13	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.61	995.91	994.07	996.37	997.49
14	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	995.25	997.37	996.61	995.86	997.5225
15	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.34	995.37	994.62	995.32	997.9125
16	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	994.98	996.35	996.18	994.53	997.26
17	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	995.37	995.64	996.19	995.04	997.81
18	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.51	995.96	997.39	996.65	998.1275
19	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.64	995.73	994.54	995.62	998.1325
20	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	995.47	996.61	995.55	994.49	998.03
21	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	996.59	995.67	994.41	995.79	998.115
22	1000 กรัม	+ 0.0148	1000.0148	995.84	994.41	995.99	996.17	997.1025

5.4.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 1200 กรัม

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ค่า ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของเครื่องชั่ง

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละชิ้นจำนวนชิ้นละ10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ย สาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

(3) ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ ดังกล่าวชิ้นละ 10 ครั้งโดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

(4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์ พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่ แต่ละค่ามาสเตอร์

(5) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงค่ามาสเตอร์ และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(6) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(7) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้วให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(8) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่ 5.15 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	10.001 กรัม	30.005 กรัม	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม	299.9993 กรัม	399.994 กรัม	499.997 กรัม	699.992 กรัม	1000.0148 กรัม
1	9.87	29.74	49.34	99.44	199.24	296.27	398.75	495.54	698.65	995.53
2	9.76	29.85	49.83	99.25	199.35	297.34	397.84	496.85	697.56	994.65
3	9.65	29.67	49.78	99.37	199.53	298.54	398.56	497.97	698.77	996.2
4	9.76	29.75	49.87	99.55	199.65	297.45	396.67	496.96	696.56	997.77
5	9.55	29.84	49.65	99.76	199.86	298.71	397.76	496.55	695.98	996.36
6	9.34	29.57	49.76	99.65	199.95	299.61	398.28	497.97	697.56	995.74
7	9.95	29.44	49.48	99.57	199.77	299.57	398.75	496.98	698.66	996.46
8	9.46	29.65	49.57	99.76	199.55	299.64	397.86	497.96	698.87	997.65
9	9.77	29.77	49.75	99.67	199.64	299.85	398.28	498.97	697.38	998.57
10	9.85	29.66	49.76	99.78	199.76	299.41	397.77	497.98	696.77	996.94

5.4.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำของเครื่องชั่ง 1200 กรัม

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มชิ้นงานมา 10 ชิ้นโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มชิ้นงานให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกชิ้น จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกชิ้น ทุกครั้ง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.16 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด

ชิ้นงานตัวอย่าง	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	1(กรัม)	2(กรัม)	1(กรัม)	2(กรัม)
1	635.02	634.65	634.34	635.57
2	821.47	820.78	821.94	822.62
3	354.27	353.22	355.28	354.22
4	54.55	53.94	54.55	53.15
5	465.11	464.70	465.09	464.99
6	645.65	645.66	644.78	644.04
7	282.47	283.19	282.79	282.87
8	758.97	758.89	759.09	759.23
9	978.40	978.13	979.12	978.56
10	318.48	317.90	318.33	317.68

5.5 การดำเนินการทดลองเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม

5.5.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัส จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 2000 กรัม มีค่า Correction + 0.0226 กรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 2000.0226 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(3) ใช้ Function Internal Calibration ให้เครื่องทำการ Calibrate ด้วยตัวเอง

(4) ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานใหม่ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(5) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(6) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

จะได้ข้อมูลการทดลองดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบ ไบอัสเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม

จำนวนครั้ง	ปลายสเกลบน(กรัม) ก่อนการ Calibrate	ปลายสเกลบน(กรัม) หลังการ Calibrate
1	1998.24	1999.11
2	1998.37	1998.52
3	1998.25	1999.45
4	1998.16	1999.71
5	1998.97	1998.85
6	1998.34	1999.84
7	1998.62	1998.78
8	1998.37	1999.64
9	1998.76	1999.67
10	1998.45	1998.99

5.5.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Class F1 ขนาด 2000 กรัม มีค่า Correction + 0.0226 กรัม เพราะฉะนั้น น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 2000.0226 กรัม มาชิ้นหนึ่ง สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ทำการทดสอบกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐานกับเครื่องชั่ง 4 ครั้งต่อวัน โดยกำหนดให้พนักงานที่รับผิด ชอบทำการวัดตอนเช้าทุกวันในวันทำการ ภายในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งได้ข้อมูลมาทั้งหมด 22 วัน 88 ข้อมูล

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว

ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือ ความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6) จากนั้นให้ทำการประเมิน %ความมีเสถียรภาพอเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

ตารางที่ 5.18 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม

วันที่	ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N (กรัม)	ค่าแก้ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Cs (กรัม)	น้ำหนักที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N+Cs (กรัม)	ค่าที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (กรัม)
				ครั้งที่1 (กรัม)	ครั้งที่2 (กรัม)	ครั้งที่3 (กรัม)	ครั้งที่4 (กรัม)	
1	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1996.42	1996.05	1994.63	1997.54	1996.16
2	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1995.93	1995.12	1996.75	1998.37	1996.543
3	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1996.37	1994.69	1998.48	1997.38	1996.73
4	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1997.71	1995.79	1996.63	1996.95	1996.77
5	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1996.64	1996.67	1997.58	1997.08	1996.993
6	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1998.82	1997.54	1995.59	1995.78	1996.933
7	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1997.93	1998.37	1996.79	1996.61	1997.425
8	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1995.47	1997.38	1997.14	1997.27	1996.815
9	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1996.52	1996.95	1998.57	1997.91	1997.488
10	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1995.36	1997.08	1997.91	1995.73	1996.52
11	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1994.84	1995.64	1995.29	1996.58	1995.588
12	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1996.91	1996.05	1996.57	1995.67	1996.3
13	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1995.33	1995.12	1997.07	1996.77	1996.073
14	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1996.67	1994.69	1995.51	1995.76	1995.658
15	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1997.45	1995.79	1995.82	1995.82	1996.22
16	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1995.27	1994.63	1997.98	1994.53	1995.603
17	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1998.84	1996.75	1997.39	1995.64	1997.155
18	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1997.69	1998.48	1998.72	1996.05	1997.735
19	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1995.35	1996.63	1996.74	1995.12	1995.96
20	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1995.41	1997.58	1995.65	1994.69	1995.833
21	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1996.86	1995.66	1994.71	1995.79	1995.755
22	2000 กรัม	+ 0.0266	2000.0266	1995.62	1994.71	1995.89	1996.67	1995.723

5.5.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 3100 กรัม

(1) เลือกตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 ค่า ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของเครื่องชั่ง

(2) ให้ทำการวัดตุ้มน้ำหนักมาตรฐานแต่ละชิ้นจำนวนชิ้นละ10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ย สาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

(3) ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ ดังกล่าวชิ้นละ 10 ครั้งโดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

(4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์ พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่ แต่ละค่ามาสเตอร์

(5) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงค่ามาสเตอร์ และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณา สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(6) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(7) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้วให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(8) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่ 5.19 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม	299.9993 กรัม	399.994 กรัม	499.997 กรัม	699.992 กรัม	1000.0148 กรัม	1499.997 กรัม	2000.0266 กรัม
1	49.54	99.64	199.34	296.37	398.25	495.54	698.55	995.63	1498.65	1995.53
2	49.73	99.75	199.55	297.54	397.44	496.75	697.66	994.75	1497.56	1994.65
3	49.68	99.57	199.43	298.64	398.86	497.87	698.87	996.32	1498.77	1996.28
4	49.57	99.65	199.55	297.45	396.57	496.56	696.98	997.57	1496.56	1997.77
5	49.66	99.86	199.46	298.61	397.36	496.65	695.58	996.45	1495.98	1996.36
6	49.45	99.75	199.55	298.51	398.28	497.67	697.76	995.54	1497.56	1995.74
7	49.64	99.67	199.67	297.87	398.35	496.88	698.86	996.46	1498.66	1996.46
8	49.87	99.56	199.65	298.54	397.56	497.57	698.67	997.65	1498.87	1997.65
9	49.55	99.77	199.84	297.65	398.58	498.77	697.58	998.57	1497.38	1998.57
10	49.66	99.98	199.66	298.71	397.67	497.88	696.87	996.94	1496.77	1996.94

5.5.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำของเครื่องชั่ง 3100 กรัม

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มชิ้นงานมา 10 ชิ้นโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มชิ้นงานให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกชิ้น จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกชิ้น ทุกครั้ง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.20 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด

ชิ้นงานตัวอย่าง	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	1(กรัม)	2(กรัม)	1(กรัม)	2(กรัม)
1	234.11	236.65	235.57	236.47
2	420.42	423.78	422.62	423.16
3	655.24	655.12	654.22	654.24
4	152.46	153.94	153.15	152.38
5	1465.11	1464.70	1464.99	1462.97
6	1645.15	1645.66	1644.04	1642.53
7	385.02	383.19	382.87	380.42
8	557.13	558.89	559.23	557.61
9	978.92	978.13	978.56	977.28
10	816.86	817.90	817.68	816.52

5.6 การดำเนินการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)

5.6.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัสโดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว

(Independent Sample Method)

(1) ใช้ เครื่อง Temperature Measurement Calibrator วัดค่าอุณหภูมิ 650°C ของเครื่องอบแม่พิมพ์ มีค่าCorrection - 0.34°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Measurement Calibrator เท่ากับ 649.66°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดอุณหภูมิอ้างอิงด้วย Thermocouple Type K(Standard) ของอุณหภูมิห้องแม่พิมพ์

(3) ให้ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้ทุก 5 นาที เป็นจำนวน 10 ค่า แล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(4) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(5) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

จะได้ข้อมูลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)

จำนวนครั้งในการอ่าน	อุณหภูมิที่วัดได้ °C
1 (5 นาที)	655.6
2 (10 นาที)	652.1
3 (15 นาที)	653.3
4 (20 นาที)	654.5
5 (25 นาที)	657.0
6 (30 นาที)	654.6
7 (35 นาที)	651.3
8 (40 นาที)	654.5
9 (45 นาที)	652.6
10 (50 นาที)	651.7

5.6.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพ เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)

(1) ใช้ เครื่อง Temperature Measurement Calibrator เลือกค่าอุณหภูมิ 650°C มีค่า Correction - 0.34°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Measurement Calibrator เท่ากับ 649.66°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) เก็บข้อมูล เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยทำการเก็บข้อมูล 4 ครั้งต่อวัน

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6)จากนั้นให้ทำการประเมิน%ความมีเสถียรภาพอเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

(7) จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.22 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 1)

วันที่	อุณหภูมิมาตรฐาน N (°C)	ค่าแก้ของ Temperature Calibrator Cs (°C)	อุณหภูมิที่ถูกต้องของ Temperature Calibrator N+Cs (°C)	อุณหภูมิที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (°C)
				ครั้งที่1 5 นาที (°C)	ครั้งที่2 10 นาที (°C)	ครั้งที่3 15 นาที (°C)	ครั้งที่4 20 นาที (°C)	
1	650 °C	- 0.34	649.66	654.1	652.1	651.2	651.6	652.25
2	650 °C	- 0.34	649.66	652.3	651.6	652.4	651.2	651.875
3	650 °C	- 0.34	649.66	651.9	652.3	651.5	652.4	652.025
4	650 °C	- 0.34	649.66	652.7	651.9	652.3	651.2	652.025
5	650 °C	- 0.34	649.66	653.5	651.2	652.7	651.8	652.3
6	650 °C	- 0.34	649.66	654.7	651.4	651.2	652.4	652.425
7	650 °C	- 0.34	649.66	653.1	651.5	652.4	652.3	652.325
8	650 °C	- 0.34	649.66	652.0	652.6	651.9	651.5	652
9	650 °C	- 0.34	649.66	651.5	653.7	651.1	652.4	652.175
10	650 °C	- 0.34	649.66	653.3	651.4	652.6	651.3	652.15
11	650 °C	- 0.34	649.66	652.5	651.9	652.1	651.6	652.025

12	650 °C	- 0.34	649.66	651.4	652.8	652.3	651.9	652.1
13	650 °C	- 0.34	649.66	651.6	651.5	651.6	652.3	651.75
14	650 °C	- 0.34	649.66	651.2	652.3	652.3	651.9	651.925
15	650 °C	- 0.34	649.66	652.4	652.7	651.9	651.2	652.05
16	650 °C	- 0.34	649.66	651.2	651.2	651.2	651.4	651.25
17	650 °C	- 0.34	649.66	651.8	652.4	651.4	651.5	651.775
18	650 °C	- 0.34	649.66	652.4	651.9	651.5	652.6	652.1
19	650 °C	- 0.34	649.66	652.3	651.1	652.6	653.7	652.425
20	650 °C	- 0.34	649.66	651.5	652.6	653.7	651.4	652.3
21	650 °C	- 0.34	649.66	652.4	652.1	651.4	651.9	651.95
22	650 °C	- 0.34	649.66	651.3	652.3	651.9	652.8	652.075

5.6.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)

(1) กำหนด อุณหภูมิอ้างอิง ตลอดย่านการวัด จำนวน 4 ค่า คือ 100°C 300°C 500°C 700°C (ต้องคิดค่า Correction ด้วย จึงจะกำหนดให้เป็น ค่าอ้างอิง) แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ 10 ค่า(แต่ละค่าที่บันทึกให้มีเวลาห่างกัน 5 นาที) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนด

(2) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิง พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละ อุณหภูมิอ้างอิง

(3) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงอุณหภูมิอ้างอิงและแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้น สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(4) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(5) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(6) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้น (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่5.23 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 1)

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	99.56 (oC)	299.58 (oC)	499.60 (oC)	699.62 (oC)
1	100.7	300.9	503.4	704.8
2	100.4	300.4	502.8	703.7
3	101.1	301.6	501.5	705.4
4	101.6	302.3	503.1	703.9
5	100.9	301.7	501.5	704.5
6	101.5	300.5	501.9	705.1
7	100.2	301.6	500.8	703.6
8	100.3	302.8	502.1	703.8
9	101.2	302.7	503.4	704.4
10	100.9	301.9	502.5	705.5

5.6.4 การทดลองหาคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มอุณหภูมิอ้างอิงมา 10 ค่าโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มอุณหภูมิอ้างอิงให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกอุณหภูมิอ้างอิง จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกอุณหภูมิอ้างอิง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.24 ผลการทดลองหาความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 1)

อุณหภูมิอ้างอิง (สุ่ม)	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)
1	100.6	101.2	100.5	101.1
2	401.7	400.6	401.8	399.9
3	602.8	601.9	601.2	602.7
4	302.8	301.7	302.4	301.3
5	201.5	200.4	201.2	200.4
6	500.8	501.3	502.1	500.7
7	50.6	50.7	50.9	50.5

5.7 การดำเนินการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)

5.7.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัสโดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

(1) ใช้ เครื่อง Temperature Measurement Calibrator วัดค่าอุณหภูมิ 650°C ของเครื่องอบแม่พิมพ์ มีค่าCorrection - 0.34°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Measurement Calibrator เท่ากับ 649.66°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดอุณหภูมิอ้างอิงด้วย Thermocouple Type K(Standard) ของอุณหภูมิห้องแม่พิมพ์ ให้ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้ทุก 5 นาที เป็นจำนวน 10 ค่า แล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(3) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(4) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

จะได้ข้อมูลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 5.25 ผลการทดสอบไบอัส เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)

จำนวนครั้งในการอ่าน	อุณหภูมิที่วัดได้ °C
1 (5 นาที)	649.6
2 (10 นาที)	649.1
3 (15 นาที)	650.4
4 (20 นาที)	649.9
5 (25 นาที)	651.3
6 (30 นาที)	650.9
7 (35 นาที)	651.3
8 (40 นาที)	650.5
9 (45 นาที)	649.8
10 (50 นาที)	650.1

5.7.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพ เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)

(1) ใช้ เครื่อง Temperature Measurement Calibrator เลือกค่าอุณหภูมิ 650°C มีค่า Correction - 0.34°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Measurement Calibrator เท่ากับ 649.66°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) เก็บข้อมูล เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยทำการเก็บข้อมูล 4 ครั้งต่อวัน

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6)จากนั้นให้ทำการประเมิน%ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

(7) จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\overline{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.26 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 2)

วันที่	อุณหภูมิมาตรฐาน N (°C)	ค่าแก้ของ Temperature Calibrator Cs (°C)	อุณหภูมิที่ถูกต้องของ Temperature Calibrator N+Cs (°C)	อุณหภูมิที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (°C)
				ครั้งที่1 5 นาที (°C)	ครั้งที่2 10 นาที (°C)	ครั้งที่3 15 นาที (°C)	ครั้งที่4 20 นาที (°C)	
1	650 °C	- 0.34	649.66	649.5	651.2	650.1	651.9	650.675
2	650 °C	- 0.34	649.66	650.7	650.4	651.5	651.1	650.925
3	650 °C	- 0.34	649.66	650.5	651.9	650.5	650.6	650.875
4	650 °C	- 0.34	649.66	649.8	651.1	649.5	651.1	650.375
5	650 °C	- 0.34	649.66	650.8	650.6	649.6	652.3	650.825
6	650 °C	- 0.34	649.66	651.2	651.1	650.7	651.6	651.15
7	650 °C	- 0.34	649.66	650.7	652.3	650.4	652.3	651.425
8	650 °C	- 0.34	649.66	649.8	651.6	650.8	651.4	650.9
9	650 °C	- 0.34	649.66	650.1	652.3	649.5	649.8	650.425
10	650 °C	- 0.34	649.66	651.5	651.4	650.3	650.8	651
11	650 °C	- 0.34	649.66	650.5	651.9	650.5	651.2	651.025
12	650 °C	- 0.34	649.66	649.5	651.9	652.3	651.9	651.4
13	650 °C	- 0.34	649.66	649.6	651.1	651.6	652.3	651.15
14	650 °C	- 0.34	649.66	650.3	650.6	651.9	651.9	651.175
15	650 °C	- 0.34	649.66	650.7	651.1	651.1	650.1	650.75
16	650 °C	- 0.34	649.66	650.4	652.3	650.6	651.5	651.2
17	650 °C	- 0.34	649.66	650.8	651.6	651.1	650.5	651
18	650 °C	- 0.34	649.66	649.5	652.3	652.3	649.5	650.9
19	650 °C	- 0.34	649.66	650.3	651.4	650.3	649.6	650.4
20	650 °C	- 0.34	649.66	650.5	649.8	650.7	650.3	650.325
21	650 °C	- 0.34	649.66	652.4	650.8	650.4	650.7	651.075
22	650 °C	- 0.34	649.66	650.3	651.2	650.8	650.4	650.675

5.7.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)

(1) กำหนด อุณหภูมิอ้างอิง ตลอดย่านการวัด จำนวน 4 ค่า คือ 100°C 300°C 500°C 700°C (ต้องคิดค่า Correction ด้วย จึงจะกำหนดให้เป็น ค่าอ้างอิง) แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ 10 ค่า(แต่ละค่าที่บันทึกให้มีเวลาห่างกัน 5 นาที) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนด

(2) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิง พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละ อุณหภูมิอ้างอิง

(3) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงอุณหภูมิอ้างอิงและแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้น สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(4) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(5) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(6) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้น (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่ 5.27ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 2)

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	99.56 (oC)	299.58 (oC)	499.60 (oC)	699.62 (oC)
1	101.4	302.9	504.0	705.5
2	101.9	302.3	503.4	703.7
3	102.7	301.7	503.9	704.3
4	101.2	303.1	502.1	704.5
5	101.0	302.9	503.2	703.1
6	101.9	303.9	502.5	705.7
7	102.1	302.0	502.1	703.4
8	102.1	301.8	503.4	702.9
9	103.0	302.6	501.9	703.3
10	101.1	301.5	502.2	704.7

5.7.4 การทดลองหาคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มอุณหภูมิอ้างอิงมา 10 ค่าโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มอุณหภูมิอ้างอิงให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกอุณหภูมิอ้างอิง จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคนทุกอุณหภูมิอ้างอิง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.28 ผลการทดลองหาความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 2)

อุณหภูมิอ้างอิง (สุ่ม)	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)
1	503.6	502.4	503.4	502.2
2	301.7	302.5	302.3	303.6
3	50.8	50.7	50.5	50.6
4	401.8	403.4	402.2	401.1
5	100.5	101.1	101.8	100.9
6	202.7	201.9	201.5	202.4
7	603.2	602.3	604.1	602.9

5.8 การดำเนินการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)

5.8.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัสโดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว

(Independent Sample Method)

(1) ใช้ เครื่อง Temperature Measurement Calibrator วัดค่าอุณหภูมิ 650°C ของเครื่องอบแม่พิมพ์ มีค่าCorrection - 0.34°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Measurement Calibrator เท่ากับ 649.66°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดอุณหภูมิอ้างอิงด้วย Thermocouple Type K(Standard) ของอุณหภูมิห้องแม่พิมพ์

(3) ให้ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้ทุก 5 นาที เป็นจำนวน 10 ค่า แล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(4) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(5) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL) จะได้ข้อมูลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 5.29 ผลการทดสอบไบอัส เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)

จำนวนครั้งในการอ่าน	อุณหภูมิที่วัดได้ °C
1 (5 นาที)	650.4
2 (10 นาที)	651.1
3 (15 นาที)	649.9
4 (20 นาที)	650.2
5 (25 นาที)	651.1
6 (30 นาที)	649.9
7 (35 นาที)	649.5
8 (40 นาที)	650.7
9 (45 นาที)	651.3
10 (50 นาที)	650.5

5.8.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพ เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)

(1) ใช้เครื่อง Temperature Measurement Calibrator เลือกค่าอุณหภูมิ 650°C มีค่า Correction - 0.34°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Measurement Calibrator เท่ากับ 649.66°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ข้อมูล เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยทำการเก็บข้อมูล 4 ครั้งต่อวัน

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6)จากนั้นให้ทำการประเมิน%ความมีเสถียรภาพอเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

(6) จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\overline{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำ การกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.30 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 3)

วันที่	อุณหภูมิมาตรฐาน N (°C)	ค่าแก้ของ Temperature Calibrator Cs (°C)	อุณหภูมิที่ถูกต้องของ Temperature Calibrator N+Cs (°C)	อุณหภูมิที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (°C)
				ครั้งที่1 5 นาที (°C)	ครั้งที่2 10 นาที (°C)	ครั้งที่3 15 นาที (°C)	ครั้งที่4 20 นาที (°C)	
1	650 °C	- 0.34	649.66	650.5	650.3	650.2	651.2	650.55
2	650 °C	- 0.34	649.66	651.4	650.7	650.9	652.5	651.375
3	650 °C	- 0.34	649.66	652.6	651.6	649.9	650.3	651.1
4	650 °C	- 0.34	649.66	650.8	650.8	650.2	650.7	650.625
5	650 °C	- 0.34	649.66	651.3	650.7	651.5	651.6	651.275
6	650 °C	- 0.34	649.66	652.4	651.4	650.8	650.8	651.35
7	650 °C	- 0.34	649.66	650.2	651.5	651.4	650.7	650.95
8	650 °C	- 0.34	649.66	650.9	652.6	652.2	651.7	651.85
9	650 °C	- 0.34	649.66	649.8	653.7	650.9	650.1	651.125
10	650 °C	- 0.34	649.66	651.2	651.4	650.6	651.1	651.075
11	650 °C	- 0.34	649.66	652.5	651.9	651.1	650.8	651.575
12	650 °C	- 0.34	649.66	650.3	652.8	652.3	651.2	651.65
13	650 °C	- 0.34	649.66	650.7	650.7	650.6	651.3	650.825
14	650 °C	- 0.34	649.66	651.6	650.1	651.3	650.9	650.975
15	650 °C	- 0.34	649.66	650.8	650.7	651.9	650.5	650.975
16	650 °C	- 0.34	649.66	650.7	651.2	652.2	650.4	651.125
17	650 °C	- 0.34	649.66	651.7	652.4	650.4	651.6	651.525
18	650 °C	- 0.34	649.66	650.1	650.8	650.5	650.8	650.55
19	650 °C	- 0.34	649.66	652.1	650.2	651.6	650.3	651.05
20	650 °C	- 0.34	649.66	650.8	652.4	651.7	651.4	651.575
21	650 °C	- 0.34	649.66	651.2	650.2	650.4	651.2	650.75
22	650 °C	- 0.34	649.66	650.3	651.8	650.9	651.9	651.225

5.8.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)

(1) กำหนด อุณหภูมิอ้างอิง ตลอดย่านการวัด จำนวน 4 ค่า คือ 100oC 300oC 500oC 700oC (ต้องคิดค่า Correction ด้วย จึงจะกำหนดให้เป็น ค่าอ้างอิง) แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ 10 ค่า(แต่ละค่าที่บันทึกให้มีเวลาห่างกัน 5 นาที) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนด

(2) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิง พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละ อุณหภูมิอ้างอิง

(3) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงอุณหภูมิอ้างอิงและแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้น สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(4) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(5) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(6) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้น (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่ 5.31ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(เครื่องที่ 3)

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	99.56 (oC)	299.58 (oC)	499.60 (oC)	699.62 (oC)
1	100.5	301.4	501.3	703.1
2	100.8	300.8	502.2	702.5
3	99.7	301.3	501.8	701.7
4	100.6	300.2	501.4	703.1
5	100.1	301.1	501.5	702.0
6	100.2	300.9	502.3	704.1
7	99.9	300.4	501.9	703.1
8	99.8	301.3	500.2	703.4
9	100.4	301.1	501.4	702.7
10	100.2	300.5	502.1	701.4

5.8.4 การทดลองหาคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มอุณหภูมิอ้างอิงมา 10 ค่าโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มอุณหภูมิอ้างอิงให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกอุณหภูมิอ้างอิง จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกอุณหภูมิอ้างอิง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.32 ผลการทดลองหาความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)

อุณหภูมิอ้างอิง (สุ่ม)	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)
1	602.4	601.8	602.4	603.3
2	501.5	502.1	501.8	502.9
3	200.4	201.6	201.5	201.7
4	49.8	49.9	50.3	50.1
5	100.9	101.1	101.5	101.4
6	302.1	301.7	301.9	301.7
7	402.2	401.3	402.6	401.8

5.9 การดำเนินการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

5.9.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัสโดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว(Independent Sample Method)

(1) ใช้ เครื่อง Temperature Calibrator เลือกค่าอุณหภูมิ 1000°C มีค่า Correction -0.41°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Calibrator เท่ากับ 999.59°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัดอุณหภูมิอ้างอิงด้วย Thermocouple Type K ของเครื่องหลอมโลหะภาย ใต้สภาวะควบคุม โดยการแช่ Thermocouple ลงใน Dry bath รอจนกระทั้ง อุณหภูมิภายใน bath คงที่ อ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากภาคแสดงผลแบบตัวเลขที่ตัวเครื่องหลอมโลหะ ให้ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้ทุก 5 นาที เป็นจำนวน 10 ค่า แล้วทำการ เฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(3) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(4) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

จะได้ข้อมูลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 5.33 ผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

จำนวนครั้งในการอ่าน	อุณหภูมิที่วัดได้ °C
1 (5 นาที)	997.2
2 (10 นาที)	996.5
3 (15 นาที)	998.3
4 (20 นาที)	998.9
5 (25 นาที)	997.3
6 (30 นาที)	996.6
7 (35 นาที)	997.4
8 (40 นาที)	996.7
9 (45 นาที)	995.8
10 (50 นาที)	996.2

5.9.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

(1) ใช้ เครื่อง Temperature Calibrator เลือกค่าอุณหภูมิ 1000°C มีค่า Correction - 0.41°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Calibrator เท่ากับ 999.59°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) เก็บข้อมูล เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยทำการเก็บข้อมูล 4 ครั้งต่อวัน ตอนเช้าของทุกวันทำการ

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6)จากนั้นให้ทำการประเมิน%ความมีเสถียรภาพอเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

(7) จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\overline{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.34 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

วันที่	อุณหภูมิมาตรฐาน N (°C)	ค่าแก้ของ Temperature Calibrator Cs (°C)	อุณหภูมิที่ถูกต้องของ Temperature Calibrator N+Cs (°C)	อุณหภูมิที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (°C)
				ครั้งที่1 5 นาที (°C)	ครั้งที่2 10 นาที (°C)	ครั้งที่3 15 นาที (°C)	ครั้งที่4 20 นาที (°C)	
1	1000 °C	- 0.41	999.59	999.1	999.1	999.2	999.2	999.15
2	1000 °C	- 0.41	999.59	999.0	999.1	999.9	999.9	999.475
3	1000 °C	- 0.41	999.59	999.8	999.7	999.0	999.1	999.4
4	1000 °C	- 0.41	999.59	999.1	999.1	999.2	999.1	999.125
5	1000 °C	- 0.41	999.59	999.2	999.0	999.9	999.0	999.275
6	1000 °C	- 0.41	999.59	999.0	999.2	999.1	999.0	999.075
7	1000 °C	- 0.41	999.59	999.9	999.9	999.8	999.8	999.85
8	1000 °C	- 0.41	999.59	999.3	999.4	999.2	999.3	999.3
9	1000 °C	- 0.41	999.59	999.6	999.4	999.4	999.5	999.475
10	1000 °C	- 0.41	999.59	999.1	999.2	999.9	999.0	999.3
11	1000 °C	- 0.41	999.59	999.0	999.0	999.1	999.0	999.025

12	1000 °C	- 0.41	999.59	999.1	999.2	999.1	999.2	999.15
13	1000 °C	- 0.41	999.59	999.1	999.3	999.2	999.1	999.175
14	1000 °C	- 0.41	999.59	999.0	999.1	999.9	999.0	999.25
15	1000 °C	- 0.41	999.59	999.9	999.0	999.0	999.0	999.225
16	1000 °C	- 0.41	999.59	999.1	999.1	999.2	999.1	999.125
17	1000 °C	- 0.41	999.59	999.9	999.0	999.1	999.1	999.275
18	1000 °C	- 0.41	999.59	999.4	999.0	999.9	999.1	999.35
19	1000 °C	- 0.41	999.59	999.6	999.1	999.2	999.1	999.25
20	1000 °C	- 0.41	999.59	999.1	999.2	999.4	999.3	999.25
21	1000 °C	- 0.41	999.59	999.0	999.1	999.9	999.0	999.25
22	1000 °C	- 0.41	999.59	999.9	999.0	999.1	999.1	999.275

5.9.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

(1) กำหนด อุณหภูมิอ้างอิง ตลอดย่านการวัด จำนวน 6 ค่า คือ 100°C 300°C 500°C 700°C 900°C 1000°C (ต้องคิดค่า Correction ด้วย จึงจะกำหนดให้เป็น ค่าอ้างอิง) แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ 10 ค่า(แต่ละค่าที่บันทึกให้มีเวลาห่างกัน 5 นาที) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนด

(2) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิง พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละ อุณหภูมิอ้างอิง

(3) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงอุณหภูมิอ้างอิงและแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(4) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(5) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(6) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่ 5.35 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	99.56 (oC)	299.58 (oC)	499.60 (oC)	699.62 (oC)	899.64 (oC)	999.66 (oC)
1	99.8	299.8	498.0	698.2	898.2	997.9
2	99.9	299.7	499.1	699.5	899.2	998.9
3	99.3	299.5	498.9	698.2	898.1	996.0
4	99.6	299.6	497.0	698.1	899.0	999.8
5	99.7	299.8	498.9	698.7	897.1	998.0
6	99.8	299.9	499.4	698.3	899.1	999.3
7	99.6	299.3	498.3	698.9	898.0	998.0
8	99.8	299.7	497.9	698.8	897.2	998.5
9	99.9	299.5	499.7	697.9	899.2	997.9
10	99.7	299.8	498.8	698.1	898.0	998.4

5.9.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มอุณหภูมิอ้างอิงมา 10 ค่าโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มอุณหภูมิอ้างอิงให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกอุณหภูมิอ้างอิง จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคนทุกอุณหภูมิอ้างอิง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.36 ผลการทดลองหาความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

อุณหภูมิอ้างอิง (สุ่ม)	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)
1	199.8	199.7	199.5	199.3
2	498.5	498.2	499.1	499.5
3	699.5	698.8	698.1	698.
4	399.3	399.5	399.2	399.7
5	299.3	299.4	299.0	299.1
6	899.7	899.2	899.4	899.6
7	998.5	997.9	999.4	999.3
8	599.4	599.1	599.6	599.0
9	798.2	797.0	797.8	798.5
10	49.8	49.7	50.1	49.9

5.10 การดำเนินการทดลองเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)

5.10.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัส จะใช้หลักการและวิธีการทดลอง ตามขั้นตอนต่อไปนี้

(1) การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัสโดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว(Independent Sample Method)

(2) ใช้ เครื่อง Temperature Calibrator เลือกค่าอุณหภูมิ 1000°C มีค่า Correction -0.41°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Calibrator เท่ากับ 999.59°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(3) ให้ทำการวัดอุณหภูมิอ้างอิงด้วย Thermocouple Type K ของเครื่องหลอมโลหะภายใต้สภาวะควบคุม โดยการแช่ Thermocouple ลงใน Dry bath รอจนกระทั้ง อุณหภูมิภายใน bath คงที่ อ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากภาคแสดงผลแบบตัวเลขที่ตัวเครื่องหลอมโลหะ ให้ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้ทุก 5 นาที เป็นจำนวน 10 ค่าแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัด

(4) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(5) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL) จะได้ข้อมูลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 5.37 ผลการทดสอบไบอัส เครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)

จำนวนครั้งในการอ่าน	อุณหภูมิที่วัดได้ °C
1 (5 นาที)	995.5
2 (10 นาที)	996.9
3 (15 นาที)	994.8
4 (20 นาที)	997.3
5 (25 นาที)	996.7
6 (30 นาที)	994.9
7 (35 นาที)	995.6
8 (40 นาที)	996.5
9 (45 นาที)	995.3
10 (50 นาที)	994.6

5.10.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)

ใช้ เครื่อง Temperature Calibrator เลือกค่าอุณหภูมิ 1000°C มีค่า Correction - 0.41°C เพราะฉะนั้น อุณหภูมิจริงของ Temperature Calibrator เท่ากับ 999.59°C สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(1) เก็บข้อมูล เป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยทำการเก็บข้อมูล 4 ครั้งต่อวัน ตอนเช้าของทุกวันทำการ

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6)จากนั้นให้ทำการประเมิน%ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

(7) จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.38 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพ ของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)

วันที่	อุณหภูมิมาตรฐาน N (°C)	ค่าแก้ของ Temperature Calibrator Cs (°C)	อุณหภูมิที่ถูกต้องของ Temperature Calibrator N+Cs (°C)	อุณหภูมิที่อ่านได้ (X)				ค่าเฉลี่ย (°C)
				ครั้งที่1 5 นาที (°C)	ครั้งที่2 10 นาที (°C)	ครั้งที่3 15 นาที (°C)	ครั้งที่4 20 นาที (°C)	
1	1000 °C	- 0.41	999.59	998.5	997.2	997.6	999.4	998.175
2	1000 °C	- 0.41	999.59	999.4	998.8	998.8	997.8	998.7
3	1000 °C	- 0.41	999.59	997.8	998.8	998.1	997.6	998.075
4	1000 °C	- 0.41	999.59	997.6	997.7	997.9	998.8	998
5	1000 °C	- 0.41	999.59	998.8	998.2	998.4	998.1	998.375
6	1000 °C	- 0.41	999.59	998.1	997.3	998.6	997.9	997.975
7	1000 °C	- 0.41	999.59	997.9	997.8	997.5	998.4	997.9
8	1000 °C	- 0.41	999.59	998.4	998.8	998.4	998.6	998.55
9	1000 °C	- 0.41	999.59	998.6	998.1	998.2	997.2	998.025
10	1000 °C	- 0.41	999.59	997.5	997.9	997.3	998.8	997.875
11	1000 °C	- 0.41	999.59	998.4	997.4	997.8	997.2	997.7
12	1000 °C	- 0.41	999.59	998.3	998.6	997.8	998.8	998.375
13	1000 °C	- 0.41	999.59	997.4	997.5	998.1	998.8	997.95
14	1000 °C	- 0.41	999.59	997.2	998.4	997.9	997.7	997.8
15	1000 °C	- 0.41	999.59	998.8	998.4	997.4	998.2	998.2
16	1000 °C	- 0.41	999.59	997.2	997.8	997.8	997.3	997.525
17	1000 °C	- 0.41	999.59	998.8	998.5	998.6	997.8	998.425
18	1000 °C	- 0.41	999.59	998.8	999.4	997.2	998.8	998.55
19	1000 °C	- 0.41	999.59	997.7	997.8	998.8	998.1	998.1
20	1000 °C	- 0.41	999.59	998.2	997.6	997.2	997.9	997.725
21	1000 °C	- 0.41	999.59	997.3	998.8	997.8	997.4	997.825
22	1000 °C	- 0.41	999.59	997.8	998.1	998.8	998.6	998.325

5.10.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)

(1) โดยกำหนด อุณหภูมิอ้างอิง ตลอดย่านการวัด จำนวน 6 ค่า คือ 100°C 300°C 500°C 700°C 900°C 1000°C (ต้องคิดค่า Correction ด้วย จึงจะกำหนดให้เป็น ค่าอ้างอิง) แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ 10 ค่า(แต่ละค่าที่บันทึกให้มีเวลาห่างกัน 5 นาที) ในแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิงที่กำหนด

(2) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละช่วงอุณหภูมิอ้างอิง พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละอุณหภูมิอ้างอิง

(3) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงอุณหภูมิอ้างอิงและแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(4) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(5) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(6) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัด

ตารางที่5.39 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ(เครื่องที่ 2)

ค่าอ้างอิง / ครั้งที่	99.56 (oC)	299.58 (oC)	499.60 (oC)	699.62 (oC)	899.64 (oC)	999.66 (oC)
1	99.7	298.1	497.8	696.6	895.1	994.5
2	99.5	298.9	497.7	696.7	895.3	994.7
3	99.5	298.2	497.9	696.8	895.5	994.0
4	99.4	298.0	497.9	696.8	895.5	994.5
5	99.7	298.9	497.0	696.8	895.4	994.5
6	99.3	298.8	497.1	696.7	895.3	994.5
7	99.4	298.9	497.1	696.8	895.5	994.3
8	99.5	298.9	497.0	696.5	895.5	994.5
9	99.5	298.9	497.3	696.6	895.5	994.2
10	99.4	298.8	497.4	696.7	895.2	994.5

5.10.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 2 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มอุณหภูมิอ้างอิงมา 10 ค่าโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่มอุณหภูมิอ้างอิงให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกอุณหภูมิอ้างอิง จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกอุณหภูมิอ้างอิง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.40 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาหล่อ (เครื่องที่ 2)

อุณหภูมิอ้างอิง (สุ่ม)	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)	ครั้งที่ 1 (°C)	ครั้งที่ 2 (°C)
1	397.8	398.6	397.5	398.7
2	298.8	297.5	298.5	299.8
3	50.1	50.2	50.1	50.0
4	199.7	199.3	199.8	198.1
5	497.3	498.2	497.3	498.9
6	995.7	996.5	995.2	996.7
7	597.2	597.9	597.5	598.8
8	696.9	697.6	698.4	697.5
9	895.8	896.1	897.1	896.3
10	797.4	798.6	797.3	796.7

5.11 การดำเนินการทดลองหาความผันแปร เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่1)

5.11.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัส โดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว(Independent Sample Method โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) ใช้ Pressure Standard เป็นตัวเปรียบเทียบ (สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้) ย่านการวัดของ Pressure Gauge 0 ถึง - 80 CmHg ใช้ค่ากึ่งกลางคือ -40 CmHg (ความดันสูญญากาศ) ในการทดสอบ

(2) เปิดหน้าปัทม์ แล้วใช้เครื่องมือถอดเข็ม ตั้งเข็มใหม่ให้ตรงศูนย์ (Set Zero)

(3) ให้ทำการวัดค่าความดัน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(4) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(5) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

ตารางที่ 5.41 ผลการทดสอบ ไบอัส เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่1)

วัดครั้งที่	กึ่งกลางสเกล(-40 CmHg)	
	ก่อน Zero adj	หลังZero adj
1	- 42.7	- 41.3
2	- 42.8	- 41.4
3	- 43.9	- 41.5
4	- 43.1	- 41.3
5	- 42.5	- 40.9
6	- 43.6	- 40.8
7	- 43.7	- 41.4
8	- 43.5	- 41.2
9	- 42.7	- 40.8
10	- 43.1	- 41.3

ในกรณีที่ค่า % ไบอัส มีค่าค่อนข้างสูง ให้ทำการค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข โดยมีสาเหตุที่อาจจะเป็นไปได้ ดังนี้

(1) เกิดความคลาดเคลื่อนในค่ามาสเตอร์ ต้องทำการตรวจสอบวิธีการได้มาซึ่งค่าอ้างอิงใหม่

(2) เกิดความสึกหรอในเครื่องมือวัด (ควรมีการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของระบบการวัด) ซึ่งควรมีการบำรุงรักษาหรือทบทวนแผนใหม่การบำรุงรักษาใหม่

(3) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัดที่ผิดพลาด

(4) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัด วัดคุณลักษณะที่ผิดพลาด

(5) เกิดจากการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ไม่สมบูรณ์ ควรมีการทบทวนวิธีการสอบเทียบใหม่

(6) เกิดจากพนักงานวัดใช้เครื่องมือวัดไม่ถูกต้อง ควรมีการทบทวนวิธีการใช้เครื่องมือ

และ (7) เกิดจากความไม่ถูกต้องของวิธีการปรับแก้เครื่องมือวัด

5.11.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของ เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่1) จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) ใช้ Pressure Standard เป็นตัวเปรียบเทียบ (สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้) ย่านการวัดของ Pressure Gauge 0 ถึง - 80 CmHg ใช้ค่ากึ่งกลางคือ -40 CmHg (ความดันสูญญากาศ) ในการทดสอบ

(2) ทำการทดสอบกับ Pressure Gauge 4 ครั้งต่อวัน โดยกำหนดให้พนักงานที่รับผิดชอบทำการวัดตอนเช้าทุกวันในวันทำการ ภายในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งได้ข้อมูลมาทั้งหมด 22 วัน 88 ข้อมูล

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6) จากนั้นให้ทำการประเมิน %ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายาม

ลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.42 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของ เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่1)

วันที่	ความดันที่อ่านได้จาก Pressure Gauge (- CmHg)	ค่าที่อ่านได้ จาก Pressure Calibrator				ค่าเฉลี่ย (- CmHg)
		ครั้งที่1 (- CmHg)	ครั้งที่2 (- CmHg)	ครั้งที่3 (- CmHg)	ครั้งที่4 (- CmHg)	
1	40	41.5	41.3	41.2	41.3	41.325
2	40	41.6	41.4	41.3	41.5	41.45
3	40	41.3	41.7	41.5	41.2	41.425
4	40	41.2	41.4	41.5	41.2	41.325
5	40	41.2	41.5	41.4	41.7	41.45
6	40	41.3	41.2	41.3	41.2	41.25
7	40	41.7	41.5	41.1	41.4	41.425
8	40	41.1	41.6	41.3	41.1	41.275
9	40	41.4	41.5	41.2	41.3	41.35
10	40	41.2	41.4	41.7	41.6	41.475
11	40	41.6	41.1	41.1	41.3	41.275
12	40	41.7	41.5	41.5	41.5	41.55
13	40	41.1	41.4	41.2	41.1	41.2
14	40	41.5	41.3	41.4	41.2	41.35
15	40	41.3	41.4	41.3	41.4	41.35
16	40	41.4	41.3	41.4	41.1	41.3
17	40	41.6	41.5	41.2	41.5	41.45
18	40	41.7	41.7	41.5	41.2	41.525
19	40	41.2	41.3	41.5	41.3	41.325
20	40	41.3	41.5	41.4	41.7	41.475
21	40	41.5	41.3	41.5	41.2	41.375
22	40	41.2	41.5	41.1	41.7	41.375

5.11.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกความดันทดสอบ 8 ค่า ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของ เครื่องวัดความดัน

(2) ให้ทำการวัดความดัน แต่ละค่า ค่าละ10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุม แล้วทำการเฉลี่ยสาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละค่า เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

(3) ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ ดังกล่าวค่าละ 10 ครั้งโดยการเลือกค่าความดัน จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

(4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละความดัน พร้อมทั้งหาค่าไบอัส

(5) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงค่าความดัน และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิง เส้นตรง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(6) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(7) เมื่อค่าไบอัสและค่าความดัน(อ้างอิง)มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(8) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัดความดัน

ตารางที่ 5.43 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

ค่าอ้างอิง ครั้งที่	0.0 (- CmHg)	10.0 (- CmHg)	20.0 (- CmHg)	30.0 (- CmHg)	40.0 (- CmHg)	50.0 (- CmHg)	60.0 (- CmHg)	65.0 (- CmHg)
1	0.0	10.6	21.5	31.1	41.3	51.8	62.1	67.1
2	0.0	10.7	21.1	31.7	41.4	51.6	61.5	66.8
3	0.0	10.8	21.8	31.2	41.5	51.5	61.8	66.4
4	0.0	11.4	21.2	30.9	41.3	51.3	61.4	66.7
5	0.0	12.0	21.4	31.4	40.9	51.7	61.3	66.4
6	0.0	10.5	21.5	31.3	41.0	51.3	61.1	66.8
7	0.0	11.0	21.2	31.5	41.1	51.5	61.7	66.3
8	0.0	11.3	21.3	31.1	41.2	51.4	61.6	66.1
9	0.0	11.1	21.1	31.3	40.8	51.1	61.5	66.4
10	0.0	10.8	21.4	31.2	41.2	50.9	61.1	66.2

5.11.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำในการวัดโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 3 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มความดันมา 6 ค่าโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 6 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่ม ค่าความดัน ให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกค่า จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกค่า ทุกครั้ง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.44 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด

ความดัน (สุ่ม)	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	1(- CmHg)	2(- CmHg)	1(- CmHg)	2(- CmHg)
1	21.1	20.8	20.4	21.3
2	66.3	66.2	67.3	66.4
3	31.7	31.0	31.1	31.4
4	61.8	62.4	61.3	61.5
5	51.4	51.1	50.6	50.9
6	40.3	40.5	40.7	40.9

5.12 การดำเนินการทดลองหาความผันแปร เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2)

5.12.1 การทดลองหาคุณสมบัติด้านไบอัส โดยวิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว(Independent Sample

Method โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) ใช้ Pressure Standard เป็นตัวเปรียบเทียบ (สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้) ย่านการวัดของ Pressure Gauge 0 ถึง - 80 CmHg ใช้ค่ากึ่งกลางคือ -40 CmHg (ความดันสูญญากาศ) ในการทดสอบ

(2) เปิดหน้าปัทม์ แล้วใช้เครื่องมือถอดเข็ม ตั้งเข็มใหม่ให้ตรงศูนย์ (Set Zero)

(3) ให้ทำการวัดค่าความดัน 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(4) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(5) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

ตารางที่ 5.45 ตารางการทดสอบ ไบอัส เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่2)

วัดครั้งที่	กึ่งกลางสเกล(-40 CmHg)	
	ก่อน Zero adj	หลังZero adj
1	- 44.6	- 42.7
2	- 44.9	- 42.8
3	- 45.7	- 42.7
4	- 45.5	- 42.5
5	- 44.3	- 41.4
6	- 45.9	- 41.6
7	- 46.1	- 42.5
8	- 45.7	- 42.3
9	- 44.8	- 41.7
10	- 46.2	- 42.4

ในกรณีที่ค่า % ไบอัส มีค่าค่อนข้างสูง ให้ทำการค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข โดยมีสาเหตุที่อาจจะเป็นไปได้ ดังนี้

(1) เกิดความคลาดเคลื่อนในค่ามาสเตอร์ ต้องทำการตรวจสอบวิธีการได้มาซึ่งค่าอ้างอิงใหม่
(2) เกิดความสึกหรอในเครื่องมือวัด (ควรมีการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของระบบการวัด) ซึ่งควรมีการบำรุงรักษาหรือทบทวนแผนใหม่การบำรุงรักษาใหม่
(3) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัดที่ผิดพลาด
(4) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัด วัดคุณลักษณะที่ผิดพลาด
(5) เกิดจากการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ไม่สมบูรณ์ ควรมีการทบทวนวิธีการสอบเทียบใหม่
(6) เกิดจากพนักงานวัดใช้เครื่องมือวัดไม่ถูกต้อง ควรมีการทบทวนวิธีการใช้เครื่องมือ
และ (7) เกิดจากความไม่ถูกต้องของวิธีการปรับแก้เครื่องมือวัด

5.12.2 การทดลองหาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของ เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2) จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) ใช้ Pressure Standard เป็นตัวเปรียบเทียบ (สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้) ย่านการวัดของ Pressure Gauge 0 ถึง - 80 CmHg ใช้ค่ากึ่งกลางคือ -40 CmHg (ความดันสูญญากาศ) ในการทดสอบ

(2) ทำการทดสอบกับ Pressure Gauge 4 ครั้งต่อวัน โดยกำหนดให้พนักงานที่รับผิดชอบทำการวัดตอนเช้าทุกวันในวันทำการ ภายในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งได้ข้อมูลมาทั้งหมด 22 วัน 88 ข้อมูล

(3) พล็อตกราฟแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R พร้อมทั้งคำนวณพิกัดควบคุม

(4) ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\overline{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

(5) ให้ทำการประเมินค่าเสถียรภาพของระบบการวัด

(6) จากนั้นให้ทำการประเมิน %ความมีเสถียรภาพเทียบกับความผันแปรในกระบวนการ

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\overline{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว

อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.46 ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของ เครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2)

วันที่	ความดันที่อ่านได้จาก Pressure Gauge (- CmHg)	ค่าที่อ่านได้ จาก Pressure Calibrator				ค่าเฉลี่ย (- CmHg)
		ครั้งที่1 (- CmHg)	ครั้งที่2 (- CmHg)	ครั้งที่3 (- CmHg)	ครั้งที่4 (- CmHg)	
1	40	41.6	41.7	41.5	41.4	41.55
2	40	41.3	41.5	41.6	41.5	41.475
3	40	41.5	41.6	41.7	41.4	41.55
4	40	41.4	41.5	41.6	41.4	41.475
5	40	41.5	41.3	41.3	41.6	41.425
6	40	41.6	41.4	41.5	41.5	41.5
7	40	41.7	41.7	41.4	41.6	41.6
8	40	41.4	41.5	41.4	41.4	41.425
9	40	41.5	41.4	41.3	41.4	41.4
10	40	41.3	41.5	41.6	41.5	41.475
11	40	41.5	41.4	41.4	41.2	41.375
12	40	41.6	41.7	41.6	41.4	41.575
13	40	41.4	41.5	41.3	41.4	41.4
14	40	41.4	41.3	41.3	41.5	41.375
15	40	41.5	41.5	41.4	41.5	41.475
16	40	41.3	41.5	41.4	41.3	41.375
17	40	41.7	41.6	41.3	41.3	41.475
18	40	41.6	41.7	41.6	41.3	41.55
19	40	41.4	41.4	41.6	41.3	41.425
20	40	41.5	41.6	41.7	41.3	41.525
21	40	41.4	41.4	41.5	41.4	41.425
22	40	41.4	41.6	41.4	41.6	41.5

5.12.3 การทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกความดันทดสอบ 8 ค่า ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของ เครื่องวัดความดัน

(2) ให้ทำการวัดความดัน แต่ละค่า ค่าละ10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุม แล้วทำการเฉลี่ยสาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละค่า เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

(3) ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ ดังกล่าวค่าละ 10 ครั้งโดยการเลือกค่าความดัน จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

(4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละความดัน พร้อมทั้งหาค่าไบอัส

(5) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจายโดยให้แกนนอน (X)หมายถึงค่าความดัน และแกนตั้ง (Y) หมายถึงค่าไบอัส จากนั้นให้ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2) เพื่อแสดงความสามารถในการอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอยเชิง เส้นตรง สำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

(6) ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

(7) เมื่อค่าไบอัสและค่าความดัน(อ้างอิง)มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว

ให้ทำการคำนวณ สมการถดถอยเชิงเส้น

(8) ทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (linearity index) ของระบบการวัดความดัน

ตารางที่ 5.47 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

ค่าอ้างอิง ครั้งที่	0.0 (- CmHg)	10.0 (- CmHg)	20.0 (- CmHg)	30.0 (- CmHg)	40.0 (- CmHg)	50.0 (- CmHg)	60.0 (- CmHg)	65.0 (- CmHg)
1	0.0	11.4	21.7	31.9	42.1	51.7	62.3	67.4
2	0.0	11.5	21.6	31.7	41.6	51.6	62.5	67.3
3	0.0	11.3	21.7	31.8	41.7	51.8	62.7	67.6
4	0.0	11.6	21.6	31.9	41.8	52.3	62.4	67.3
5	0.0	11.5	21.5	31.8	42.0	51.8	62.3	66.9
6	0.0	11.4	21.7	31.6	41.9	52.2	62.3	67.5
7	0.0	11.3	21.5	31.7	41.7	51.9	62.4	66.8
8	0.0	11.5	21.4	31.6	41.5	51.6	62.2	67.1
9	0.0	11.6	21.6	31.8	42.1	51.7	62.5	67.2
10	0.0	11.4	21.5	31.7	41.8	52.1	62.1	67.3

5.12.4 การทดลองหาคุณสมบัติ ความแม่นยำในการวัดโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R - Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไข ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Mehod) ที่เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดประมาณ 3 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด

(2) สุ่มความดันมา 6 ค่าโดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขชี้บ่ง 1 ถึง 6 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ

(3) ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมิน

(4) ให้สุ่มพนักงานวัดขึ้นมา 1 คน แล้วทำการสุ่ม ค่าความดัน ให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกค่า จากนั้นให้สุ่มพนักงานวัดที่เหลือแล้วให้ดำเนินการเช่นนี้อีกจนครบทุกคน ทุกค่า ทุกครั้ง

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และในการวิเคราะห์มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อนโดยคำนึงถึงการจำแนกความแตกต่างและความสุ่ม จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่ารีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้

(6) ทำการคำนวณ ค่า P/T และ P/TV เพื่อตัดสินใจ

ตารางที่ 5.48 ผลการทดลองหาความแม่นยำของระบบการวัด

ความดัน (สุ่ม)	พนักงานวัด ก		พนักงานวัด ข	
	1(- CmHg)	2(- CmHg)	1(- CmHg)	2(- CmHg)
1	62.1	61.9	62.3	61.6
2	41.7	41.5	41.8	41.7
3	52.4	51.8	52.1	51.8
4	21.5	21.6	21.4	21.6
5	30.8	31.2	31.7	31.8
6	67.2	67.4	67.3	67.5

5.13 การดำเนินการทดลอง กระบองไซค์

5.13.1 การทดลองหาคุณสมบัติความผันแปรของกระบองไซค์ จะวิเคราะห์ ตรวจสอบเฉพาะความถูกต้องท่านั้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) ใช้ Standard Dial Caliper ± 0.01m.m. ความละเอียด 0.02 m.m. สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้

(2) ให้ทำการวัด กระบองไซค์ ด้วย Standard Dial Caliper ที่ ตำแหน่ง Size 6 จำนวน 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก

(3) ทำการประเมินค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

(4) ทำการประเมินผล % ไบอัส เทียบกับความคลาดเคลื่อนที่อนุโลม (UCL-LCL)

ในกรณีที่ค่า % ไบอัส มีค่าค่อนข้างสูง ให้ทำการค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข โดยมีสาเหตุที่อาจจะเป็นไปได้ ดังนี้

(1) เกิดความคลาดเคลื่อนของ Standard Dial Caliper ต้องทำการตรวจสอบวิธีการได้มาซึ่งค่าอ้างอิงใหม่

(2) เกิดความสึกหรอในเครื่องมือวัด (ควรมีการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของระบบการวัด) ซึ่งควรมีการบำรุงรักษาหรือทบทวนแผนใหม่การบำรุงรักษาใหม่

(3) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัดที่ผิดพลาด

(4) เกิดจากการใช้เครื่องมือวัด วัดคุณลักษณะที่ผิดพลาด

(5) เกิดจากการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ไม่สมบูรณ์ ควรมีการทบทวนวิธีการสอบเทียบใหม่

(6) เกิดจากพนักงานวัดใช้เครื่องมือวัดไม่ถูกต้อง ควรมีการทบทวนวิธีการใช้เครื่องมือ

และ (7) เกิดจากความไม่ถูกต้องของวิธีการปรับแก้เครื่องมือวัด

ตารางที่ 5.49 ผลการทดสอบ ไบอัส กระบองไซค์

รหัส	แผนก	ค่าอ้างอิง	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)	พิกัด(R)	หมายเหตุ
1. B01/2	ส่งออก	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	0.02	Size 6
2. B01/3	ส่งออก	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
3. G1/20F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
4. G1/17F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	0.02	Size 6
5. G1/21F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.47 ม.ม.	0.03	Size 6

6. G1/19F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
7. G1/22F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.48 ม.ม.	0.02	Size 6
8. G1/18F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
9. G1/23F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	0.02	Size 6
10. G1/24F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.47 ม.ม.	0.03	Size 6
11. G1/25F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.47 ม.ม.	0.03	Size 6
12. G1/26F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
13. G1/27F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
14. Q01/1	ตรวจสอบ	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
15.C01/1	ประสานงาน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
16.P01/1	จัดซื้อ	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
17.Q01/2	ตรวจสอบ	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	0.02	Size 6
18. C01/2	ประสานงาน	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	0.02	Size 6
19.C01/3	ประสานงาน	16.51 ม.ม.	16.46 ม.ม.	0.05	Size 6
20. C01/4	ประสานงาน	16.51 ม.ม.	16.46ม.ม.	0.05	Size 6
21. B01/1	ฝ่ายขาย	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.02	Size 6
22.B01/4	ขัด	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
23. B01/5	ฝัง	16.51 ม.ม.	16.48 ม.ม.	0.03	Size 6
24. B01/6	ฝัง	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	0.02	Size 6
25. B01/7	ฝัง	16.51 ม.ม.	16.48 ม.ม.	0.03	Size 6
26. Q01/3	ตรวจสอบ	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	0.01	Size 6
27.B01/8	เทียน	16.51 ม.ม.	16.44ม.ม.	0.07	Size 6

บทที่ 6

การวิเคราะห์ระบบการวัด

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการทดลองเก็บข้อมูล ที่ใช้เป็นปัจจัยสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด คือความถูกต้องและความแม่นยำ ของเครื่องมือวัด ที่ได้แสดงผลการทดลองในบทที่ 5 จำนวน 4 กลุ่มเครื่องมือ 4 มิติ (น้ำหนัก , อุณหภูมิ , ความดัน , ขนาด) จำนวน 39 รายการ ดังนี้

1. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม
2. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม
3. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม
4. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม
5. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม
6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 1)
7. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 2)
8. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (เครื่องที่ 3)
9. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 1)
10. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 2)
11. เครื่องมือวัดความดันเครื่องหล่อแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 1)
12. เครื่องมือวัดความดันเครื่องหล่อแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 2)
13. เครื่องมือวัด กระบองไซค์ 27 อัน

6.1 การวิเคราะห์ความถูกต้อง ของเครื่องมือวัด

6.1.1 การวิเคราะห์ค่าไบอัส เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.1 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

$X_1 = 299.98$ $X_6 = 299.98$

$X_2 = 299.97$ $X_7 = 299.99$

$X_3 = 299.98$ $X_8 = 300.01$

$X_4 = 299.99$ $X_9 = 299.98$

$X_5 = 299.98$ $X_{10} = 299.98$

$\sum X = 2999.84$ กรัม

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 300.01 - 299.97 = 0.04 กรัม

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\overline{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{2999.84}{10} = 299.984$ กรัม

น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 299.9993 กรัม (ค่าอ้างอิง)

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

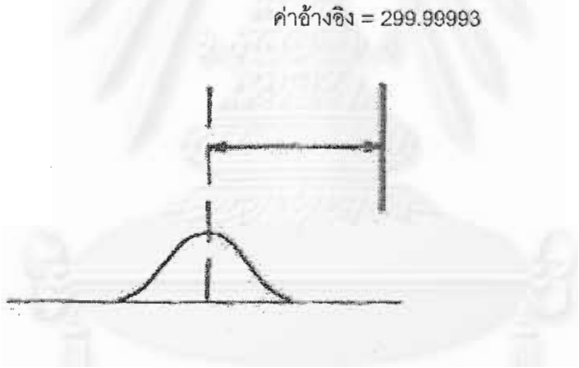
= 299.984 - 299.9993

= - 0.0153 กรัม

% ไบอัส = $(0.0153 \div 1.6) \times 100$

= 0.956 %

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.1 ค่าไบอัส - 0.0153 กรัมของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม

6.1.2 การวิเคราะห์ค่าไบอัส เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.5 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

$X_1 = 199.97$	$X_6 = 199.97$
$X_2 = 199.98$	$X_7 = 199.98$
$X_3 = 199.99$	$X_8 = 199.99$
$X_4 = 199.98$	$X_9 = 199.98$
$X_5 = 199.98$	$X_{10} = 199.98$

$\sum X = 1999.80$ กรัม

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 199.99 - 199.97 = 0.02 กรัม

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\overline{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{1999.80}{10} = 199.98$ กรัม

น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 199.9994 กรัม (ค่าอ้างอิง)

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

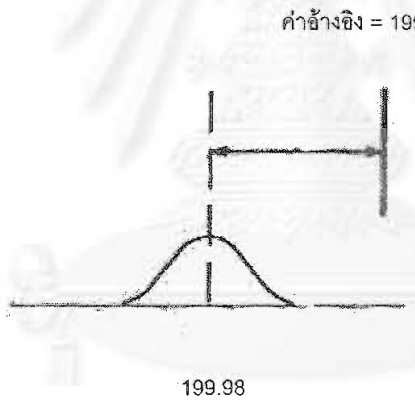
= 199.98 - 199.9994

= - 0.0194 กรัม

% ไบอัส = $(0.0194 \div 1.1) \times 100$

= 1.76 %

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.2 ค่าไบอัส - 0.0194 กรัมของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม

6.1.3 การวิเคราะห์ค่าไบอัส เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.9 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

X_1	= 999.98	X_6	= 999.76
X_2	= 999.97	X_7	= 999.92
X_3	= 999.78	X_8	= 999.89
X_4	= 999.79	X_9	= 999.93
X_5	= 999.88	X_{10}	= 999.78

$\sum X$ = 9998.68 กรัม

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 999.98 - 999.76 = 0.22 กรัม

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\bar{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{9998.68}{10} = 999.868$ กรัม

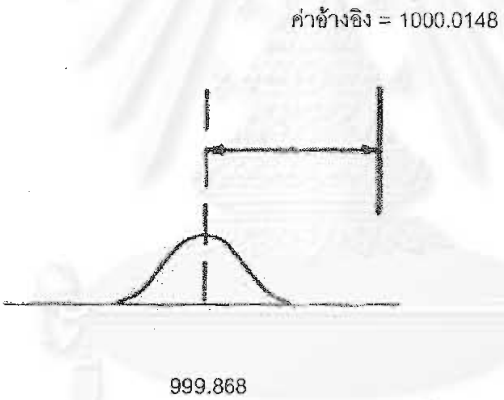
น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 1000.0148 กรัม (ค่าอ้างอิง)

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 999.868 - 1000.0148 = - 0.1468 กรัม

% ไบอัส = $(0.1468 \div 5) \times 100$ = 2.94 %

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.3 ค่าไบอัส -0.1468 กรัม ของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม

6.1.4 การวิเคราะห์ค่าไบอัส เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.13 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

X_1 = 999.48 X_6 = 999.68

X_2 = 999.67 X_7 = 999.96

X_3 = 999.58 X_8 = 999.70

X_4 = 999.89 X_9 = 999.58

X_5 = 999.88 X_{10} = 999.87

$\sum X$ = 9997.29 กรัม

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 999.96 - 999.48 = 0.48 กรัม

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\overline{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{9997.29}{10} = 999.729$ กรัม

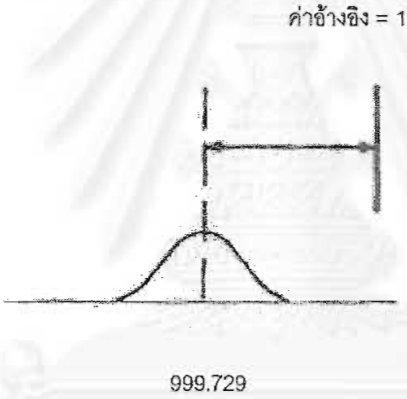
น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 1000.0148 กรัม (ค่าอ้างอิง)

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 996.269 - 1000.0148 = - 0.2858 กรัม

% ไบอัส = $(0.2858 \div 6.0) \times 100 = 4.76$ %

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.4 ค่าไบอัส -0.2858 กรัม ของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม

6.1.5 การวิเคราะห์ค่าไบอัส เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.17 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

$X_1 = 1999.11$	$X_6 = 1999.84$
$X_2 = 1998.52$	$X_7 = 1998.78$
$X_3 = 1999.45$	$X_8 = 1999.64$
$X_4 = 1999.71$	$X_9 = 1999.67$
$X_5 = 1998.85$	$X_{10} = 1998.99$

$\sum X = 19992.56$ กรัม

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 1999.84 - 1998.52 = 1.32 กรัม

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\overline{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{19992.56}{10} = 1999.256$ กรัม

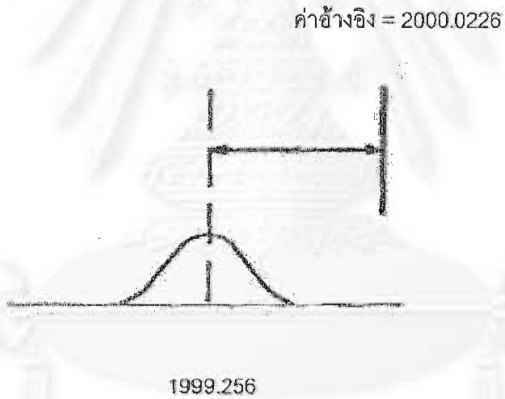
น้ำหนักจริงของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 2000.0226 กรัม (ค่าอ้างอิง)

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 1999.256 - 2000.0226 = - 0.7666 กรัม

% ไบอัส = $(0.7666 \div 15.5) \times 100$ = 4.95 %

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.5 ค่าไบอัส - 0.7666 กรัม ของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม

6.1.6 การวิเคราะห์ค่าไบอัส การวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 1)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.21 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

$X_1 = 655.6$ $X_6 = 654.6$

$X_2 = 652.1$ $X_7 = 651.3$

$X_3 = 653.6$ $X_8 = 654.5$

$X_4 = 654.5$ $X_9 = 652.6$

$X_5 = 657.0$ $X_{10} = 651.7$

$\sum X = 6537.5$ oC

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 657.0 – 651.3 = 5.7 oC

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\bar{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{6537.5}{10} = 653.75$

Temperature measurement Standard มีค่า Correction เท่ากับ –0.34oC (ที่ 650oC)

ค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ถูกต้อง เท่ากับ 653.75 – 0.34 = 653.41oC

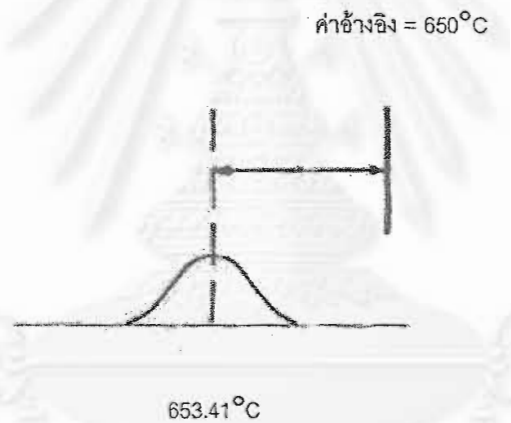
ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 653.41 - 650.00 = 3.41 oC

% ไบอัส = (3.41 ÷ 611) × 100 = 0.56 %

Span = Upper – Lower = 650 – อุณหภูมิห้องในโรงงาน (39 oC) = 650 – 39 = 611 oC

(% ไบอัส < 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.6 ค่าไบอัส 3.41 oC ของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ปูน(เครื่องที่ 1)

6.1.7 การวิเคราะห์ค่าไบอัส การวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 2)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.25 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

$X_1 = 649.6$ $X_6 = 650.9$

$X_2 = 649.1$ $X_7 = 651.3$

$X_3 = 650.4$ $X_8 = 650.5$

$X_4 = 649.9$ $X_9 = 649.8$

$X_5 = 651.3$ $X_{10} = 650.1$

$\sum X = 6502.9$ oC

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 651.3 – 649.1 = 2.2 oC

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\bar{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{6502.9}{10} = 650.29$

Temperature measurement Standard มีค่า Correction เท่ากับ –0.34oC (ที่ 650oC)

ค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ถูกต้อง เท่ากับ 650.29 – 0.34 = 649.95 oC

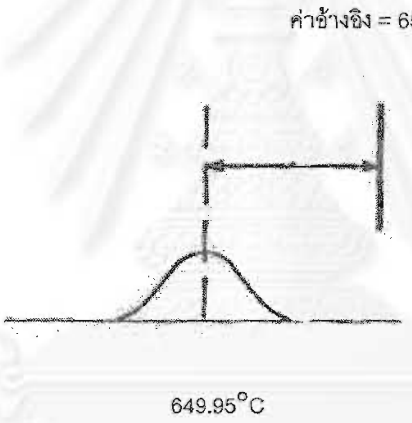
ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 649.95 - 650.0 = - 0.05 oC

% ไบอัส = $(0.05 \div 611) \times 100$ = 0.008 %

Span = Upper – Lower = 650 – อุณหภูมิห้องในโรงงาน (39 oC) = 650 – 39 = 611 oC

(% ไบอัส < 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.7 ค่าไบอัส - 0.05 oC ของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ปูน(เครื่องที่ 2)

6.1.8 การวิเคราะห์ค่าไบอัส การวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 3)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.29 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

X_1 = 650.4 X_6 = 649.9

X_2 = 651.1 X_7 = 649.5

X_3 = 649.9 X_8 = 650.7

X_4 = 650.2 X_9 = 651.3

X_5 = 651.1 X_{10} = 650.5

$\sum X$ = 6504.6 oC

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 651.3 – 649.5 = 1.8 oC

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\bar{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{6504.6}{10} = 650.46$

Temperature measurement Standard มีค่า Correction เท่ากับ –0.34oC (ที่ 650oC)

ค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ถูกต้อง เท่ากับ 650.46 – 0.34 = 650.12 oC

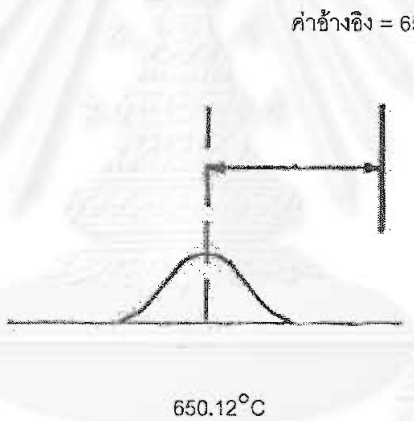
ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 650.12 - 650.0 = 0.12 oC

% ไบอัส = (0.12 ÷ 611) × 100 = 0.02 %

Span = Upper – Lower = 650 – อุณหภูมิห้องในโรงงาน (39 oC) = 650 – 39 = 611 oC

(% ไบอัส < 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.8 ค่าไบอัส 0.12 oC ของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ปูน(เครื่องที่ 3)

6.1.9 การวิเคราะห์ค่าไบอัส การวัดอุณหภูมิเตาหลอมโลหะ(เครื่องที่ 1)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.33 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

X_1 = 997.2 X_6 = 996.6

X_2 = 996.5 X_7 = 997.4

X_3 = 998.3 X_8 = 996.7

X_4 = 998.9 X_9 = 995.8

X_5 = 997.3 X_{10} = 996.2

$\sum X$ = 9970.9 oC

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 998.9 – 996.2 = 2.7 oC

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\overline{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{9970.9}{10} = 997.09$

Temperature Calibration มีค่า Correction เท่ากับ –0.41oC (ที่ 1000oC)

$\therefore$ ค่าอ้างอิง = 1000 - 0.41 = 999.59 oC

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

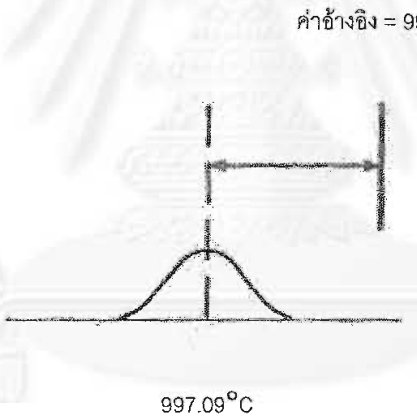
= 997.09 - 999.59 = - 2.5 oC

% ไบอัส = $(2.5 \div 975) \times 100 = 0.26$ %

Span = Upper – Lower = 1000 – อุณหภูมิห้องในห้องเตาหลอมโลหะ 25 oC

= 1000 – 25 = 975 oC

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.9 ค่าไบอัส - 2.5 oC ของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหลอมโลหะ(เครื่องที่ 1)

6.1.10 การวิเคราะห์ค่าไบอัส การวัดอุณหภูมิเตาหลอมโลหะ(เครื่องที่ 2)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.37 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว

$X_1 = 995.5$ $X_6 = 994.9$

$X_2 = 996.9$ $X_7 = 995.6$

$X_3 = 994.8$ $X_8 = 996.5$

$X_4 = 997.3$ $X_9 = 995.3$

$X_5 = 996.7$ $X_{10} = 994.6$

$\sum X = 9958.1$ oC

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= 997.3 – 994.6 = 2.7 oC

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\overline{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{9958.1}{10} = 995.81$

Temperature Calibration มีค่า Correction เท่ากับ –0.41oC (ที่ 1000oC)

$\therefore$ ค่าอ้างอิง = 1000 - 0.41 = 999.59 oC

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

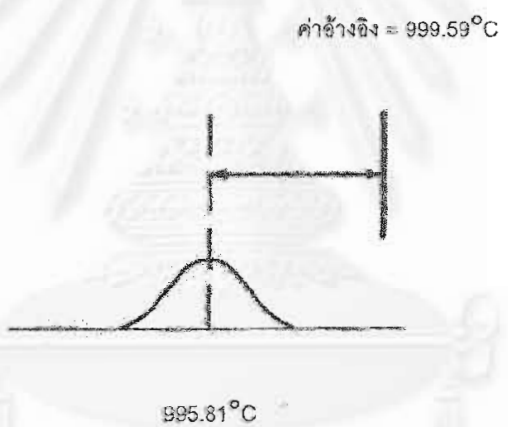
= 995.81 - 999.59 = - 3.78 oC

% ไบอัส = (3.78 $\div$ 975) $\times$ 100 = 0.39 %

Span = Upper – Lower = 1000 – อุณหภูมิห้องในห้องเตาหลอมโลหะ 25 oC

= 1000 – 25 = 975 oC

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.10 ค่าไบอัส - 3.78 oC ของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหลอมโลหะ(เครื่องที่ 2)

6.1.11 การวิเคราะห์ค่าไบอัส เครื่องมือวัดความดันเครื่องหล่อแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 1) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.41 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว

X_1	= -41.3	X_6	= -40.8
X_2	= -41.4	X_7	= -41.4
X_3	= -41.5	X_8	= -41.2
X_4	= -41.3	X_9	= -40.8
X_5	= -40.9	X_{10}	= -41.3

$\sum X$ = -411.9 CmHg

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

= - (41.5 – 40.8) = - 0.7 CmHg

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\overline{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{411.9}{10} = 41.19$

Pressure Calibration มีค่า Correction เท่ากับ $\pm$ 0.006 % of reading

$\therefore$ ค่าอ้างอิง = - (40 + 0.006) = - 40.006 CmHg

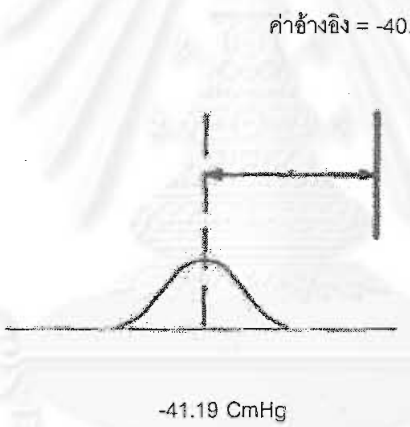
ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= - (41.19 - 40.006) = - 1.184 CmHg

% ไบอัส = (1.184 $\div$ 65) $\times$ 100 = 1.82 %

Span = Upper – Lower = (- 65 CmHg) - (- 0 CmHg) = - 65 CmHg

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.11 ค่าไบอัส -1.184 CmHg ของเครื่องมือวัดความดันเครื่องหล่อแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 1)

6.1.12 การวิเคราะห์ค่าไบอัส เครื่องมือวัดความดันเครื่องหล่อแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 2) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.45 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว

X_1 = -42.7 X_6 = -41.6

X_2 = -42.8 X_7 = -42.5

X_3 = -42.7 X_8 = -42.3

X_4 = -42.5 X_9 = -41.7

X_5 = -41.4 X_{10} = -42.4

$\sum X$ = -422.6 CmHg

ค่าพิสัย (Range) = ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด – ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด

$= -(42.8 - 41.4) = -1.4$ CmHg

การประเมินค่าไบอัสดำเนินการด้วยการ เฉลี่ยออก ค่าความผันแปรจากการวัดซ้ำทั้ง 10 ครั้ง

ได้ผลคือ $\bar{X} = \frac{\sum X}{10} = \frac{422.6}{10} = 42.26$

Pressure Calibration มีค่า Correction เท่ากับ $\pm$ 0.006 % of reading

$\therefore$ ค่าอ้างอิง $= -(40 + 0.006) = -40.006$ CmHg

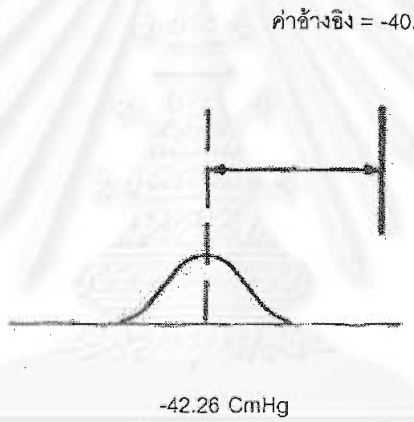
ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

$= -(42.26 - 40.006) = -2.254$ CmHg

% ไบอัส $= (2.254 \div 65) \times 100 = 3.47$ %

Span = Upper – Lower = (- 65 CmHg) - (- 0 CmHg) = - 65 CmHg

(% ไบอัส $<$ 5 %อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สามารถวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไปได้)



รูปที่ 6.12 ค่าไบอัส -2.254 CmHg ของเครื่องมือวัดความดันเครื่องหล่อแม่พิมพ์ปูน (เครื่องที่ 2)

6.1.13 การวิเคราะห์ค่าไบอัส เครื่องวัดกระบองไซค์

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.49 ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว (Independent Sample Method)

(1) B01/2 แผนกส่งออก

$\bar{X} = 16.49$ ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

$= 16.49 - 16.51 = -0.02$ ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส $= (0.02 \div 10.0) \times 100 = 0.2$ %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจาก กระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(2) B01/3 แผนกส่งออก

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจาก กระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(3) G1/20F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจาก กระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(4) G1/17F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.49 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.49 – 16.51 = - 0.02 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.02 ÷ 10.0) × 100 = 0.2 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจาก กระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(5) G1/21F แผนกแต่งตัวเรือน

$\bar{X}$ = 16.47 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.47 – 16.51 = - 0.04 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.04 ÷ 10.0) × 100 = 0.4 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจาก กระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(6) G1/17F แผนกแต่งตัวเรือน

$\bar{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจาก กระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(7) G1/22F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.48 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.48 – 16.51 = - 0.03 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.03 ÷ 10.0) × 100 = 0.3 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(8) G1/18F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(9) G1/23F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.49 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.49 – 16.51 = - 0.02 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.02 ÷ 10.0) × 100 = 0.2 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(10) G1/24F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.47 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.47 – 16.51 = - 0.04 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.04 ÷ 10.0) × 100 = 0.4 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(11) G1/25F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.47 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.47 – 16.51 = - 0.04 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.04 ÷ 10.0) × 100 = 0.4 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(12) G1/26F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(13) G1/27F แผนกแต่งตัวเรือน

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(14) Q01/1 แผนกตรวจสอบ

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(15) C01/1 แผนกประสานงาน

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(16) P01/1 แผนกจัดซื้อ

$\bar{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(17) Q01/2 แผนกตรวจสอบ

$\bar{X}$ = 16.49 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.49 – 16.51 = - 0.02 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.02 ÷ 10.0) × 100 = 0.2 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(18) C01/2 แผนกประสานงาน

$\overline{X}$ = 16.49 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.49 – 16.51 = - 0.02 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.02 ÷ 10.0) × 100 = 0.2 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(19) C01/3 แผนกประสานงาน

$\overline{X}$ = 16.46 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.46 – 16.51 = - 0.05 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.05 ÷ 10.0) × 100 = 0.5 %

(% ไบอัส ≤ 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(20) C01/4 แผนกประสานงาน

$\overline{X}$ = 16.46 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.46 – 16.51 = - 0.05 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.05 ÷ 10.0) × 100 = 0.5 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(21) B01/1 แผนกชาย

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(22) B01/4 แผนกขัด

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(23) B01/5 แผนกฝัง

$\overline{X}$ = 16.48 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.48 – 16.51 = - 0.03 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.03 ÷ 10.0) × 100 = 0.3 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(24) B01/6 แผนกฝัง

$\overline{X}$ = 16.49 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.49 – 16.51 = - 0.02 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.02 ÷ 10.0) × 100 = 0.2 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(25) B01/7 แผนกฝัง

$\overline{X}$ = 16.48 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.48 – 16.51 = - 0.03 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.03 ÷ 10.0) × 100 = 0.3 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(26) Q01/3 แผนกตรวจสอบ

$\overline{X}$ = 16.50 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.50 – 16.51 = - 0.01 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.01 ÷ 10.0) × 100 = 0.1 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

(27) B01/8 แผนกเทียน

$\bar{X}$ = 16.44 ม.ม.

ค่าอ้างอิงมาตรฐานเท่ากับ 16.51 ม.ม.

ดังนั้น ค่าไบอัส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด - ค่าอ้างอิง

= 16.44 – 16.51 = - 0.07 ม.ม.

Span = Upper – Lower = 25.00 - 15.00 = 10.0 ม.ม.

% ไบอัส = (0.07 ÷ 10.0) × 100 = 0.7 %

(% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆต่อไป เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถที่จะทำการปรับอะไรได้ ถ้าหาก %ไบอัส เกินกว่าค่าที่กำหนด ก็ควรจัดหาอันใหม่มาทดแทน)

ตารางที่ 6.1 ตารางการทดสอบ ไบอัสเครื่องวัดกระบองไซค์

รหัส	แผนก	ค่าอ้างอิง	ค่าเฉลี่ย($\bar{X}$)	ค่าแก้	ค่าไบอัส
1. B01/2	ส่งออก	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	+0.02	-0.02
2. B01/3	ส่งออก	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
3. G1/20F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
4. G1/17F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	+0.02	-0.02
5. G1/21F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.47 ม.ม.	+0.04	-0.04
6. G1/19F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
7. G1/22F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.48 ม.ม.	+0.03	-0.03
8. G1/18F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
9. G1/23F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	+0.02	-0.02

10. G1/24F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.47 ม.ม.	+0.04	-0.04
11. G1/25F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.47 ม.ม.	+0.04	-0.04
12. G1/26F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
13. G1/27F	แต่งตัวเรือน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
14. Q01/1	ตรวจสอบ	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
15.C01/1	ประสานงาน	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
16.P01/1	จัดซื้อ	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
17.Q01/2	ตรวจสอบ	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	+0.02	-0.02
18. C01/2	ประสานงาน	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	+0.02	-0.02
19.C01/3	ประสานงาน	16.51 ม.ม.	16.46 ม.ม.	+0.05	-0.05
20. C01/4	ประสานงาน	16.51 ม.ม.	16.46 ม.ม.	+0.05	-0.05
21. B01/1	ฝ่ายขาย	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
22.B01/4	ขัด	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
23. B01/5	ฝัง	16.51 ม.ม.	16.48 ม.ม.	+0.03	-0.03
24. B01/6	ฝัง	16.51 ม.ม.	16.49 ม.ม.	+0.02	-0.02
25. B01/7	ฝัง	16.51 ม.ม.	16.48 ม.ม.	+0.03	-0.03
26. Q01/3	ตรวจสอบ	16.51 ม.ม.	16.50 ม.ม.	+0.01	-0.01
27.B01/8	เทียน	16.51 ม.ม.	16.44 ม.ม.	+0.07	-0.07

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.1.14 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 320กรัม จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.2 วิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.2 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 320กรัม

แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R		
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	Serial No : SNR 1114123523	ชนิด : METTER TOLEDO
ชั่งได้สูงสุด : 320 กรัม	ความละเอียด : 0.01 กรัม	แผนก: ออกแบบ
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44	มาตรฐานที่ใช้ : Class F1 ขนาด 300 กรัม – 0.7 มิลลิกรัม (299.9993)	
พิกัดความเผื่อ : 0.1 % of F.S.	ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F	

วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$) (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\bar{X}$ (กรัม)	พิสัย (Range) : R (กรัม)	ค่าแก้ (กรัม)
1	1199.88	299.97	0.02	0.0293
2	1199.84	299.96	0.02	0.0393
3	1199.84	299.96	0.02	0.0393
4	1199.88	299.97	0.02	0.0293
5	1199.87	299.9675	0.02	0.0318
6	1199.85	299.9625	0.01	0.0368
7	1199.88	299.97	0.02	0.0293
8	1199.87	299.9675	0.02	0.0318
9	1199.9	299.975	0.01	0.0268
10	1199.89	299.9725	0.01	0.0268
11	1199.86	299.965	0.01	0.0343
12	1199.89	299.9725	0.01	0.0268
13	1199.86	299.965	0.01	0.0343
14	1199.91	299.9775	0.01	0.0218
15	1199.91	299.9775	0.01	0.0218
16	1199.88	299.97	0.02	0.0293
17	1199.9	299.975	0.01	0.0268
18	1199.9	299.975	0.01	0.0268
19	1199.91	299.9775	0.01	0.0218
20	1199.89	299.9725	0.01	0.0268
21	1199.87	299.9675	0.02	0.0318
22	1199.91	299.9775	0.01	0.0218
		$\sum \bar{X}$ = 6599.348	$\sum R$ = 0.31	
		$\bar{\bar{X}}$ = 299.9703	$\bar{R}$ = 0.0141	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{0.31}{22} = 0.0141$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 0.0141 = 0.032176$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 0.0141 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{6599.348}{22} = 299.9703$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 0.0141 = 0.01027$

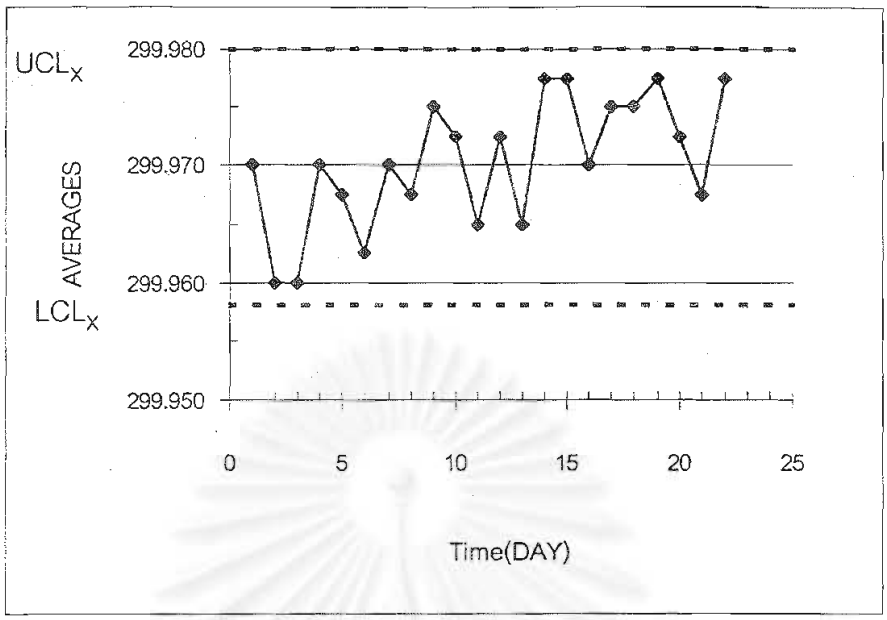
$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 299.9703 + 0.01027 = 299.9805$

$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 299.9703 - 0.01027 = 299.9503$

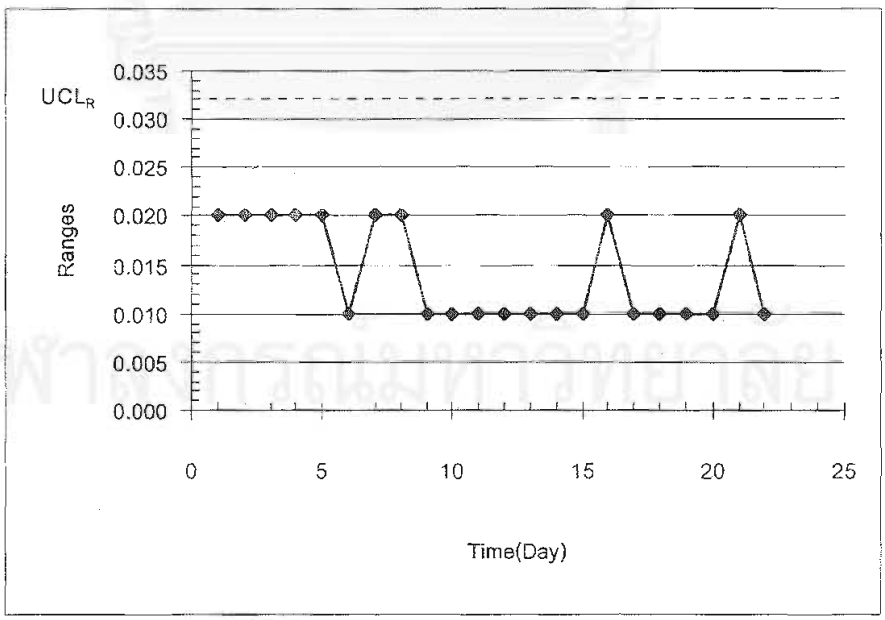
ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 0.0141/ 2.068 = 0.0068138$

ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period) จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.13 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 320กรัม



รูปที่ 6.14 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 320กรัม

6.1.15 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220กรัม จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.6 วิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.3 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220กรัม

แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R		
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	Serial No : DLL 14358/93	ชนิด : METTER TOLEDO
ชั่งได้สูงสุด : 220 กรัม	ความละเอียด : 0.01 กรัม	แผนก: จัดซื้อ
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44	มาตรฐานที่ใช้ : Class F1 ขนาด 200 กรัม– 0.6 มิลลิกรัม	
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.	ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F	

วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\bar{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	799.91	199.9775	0.01	
2	799.89	199.9725	0.01	
3	799.9	199.975	0.01	
4	799.92	199.98	0.02	
5	799.91	199.9775	0.02	
6	799.92	199.98	0.02	
7	799.9	199.975	0.01	
8	799.93	199.9825	0.01	
9	799.888	199.972	0.02	
10	799.89	199.9725	0.02	
11	799.92	199.98	0.02	
12	799.93	199.9825	0.02	
13	799.92	199.98	0.02	
14	799.86	199.965	0.01	
15	799.9	199.975	0.01	
16	799.94	199.985	0.01	
17	799.86	199.965	0.01	
18	799.88	199.97	0.02	
19	799.92	199.98	0.02	
20	799.92	199.98	0	
21	799.92	199.98	0	
22	799.92	199.98	0.02	
		$\sum \bar{X}$ = 4399.487	$\sum R$ = 0.31	
		$\bar{\bar{X}}$ = 199.9767	$\bar{R}$ = 0.014091	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{0.31}{22} = 0.014091$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 0.014091 = 0.03215$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 0.014091 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{4399.487}{22} = 199.9767$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 0.014091 = 0.01086$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 199.9767 + 0.01086 = 199.9875$

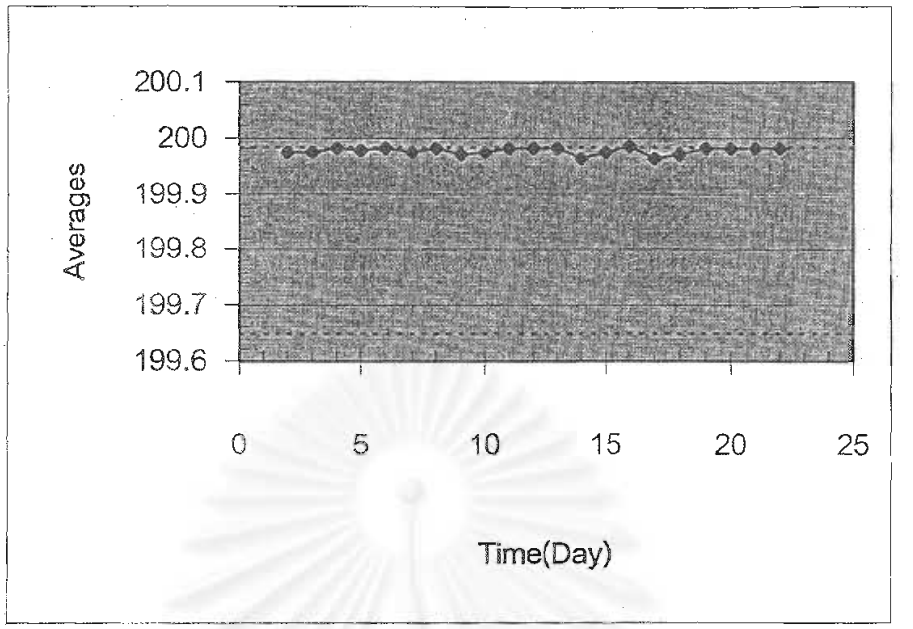
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 199.9767 - 0.01086 = 199.96584$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 0.014091/2.068 = 0.00681$

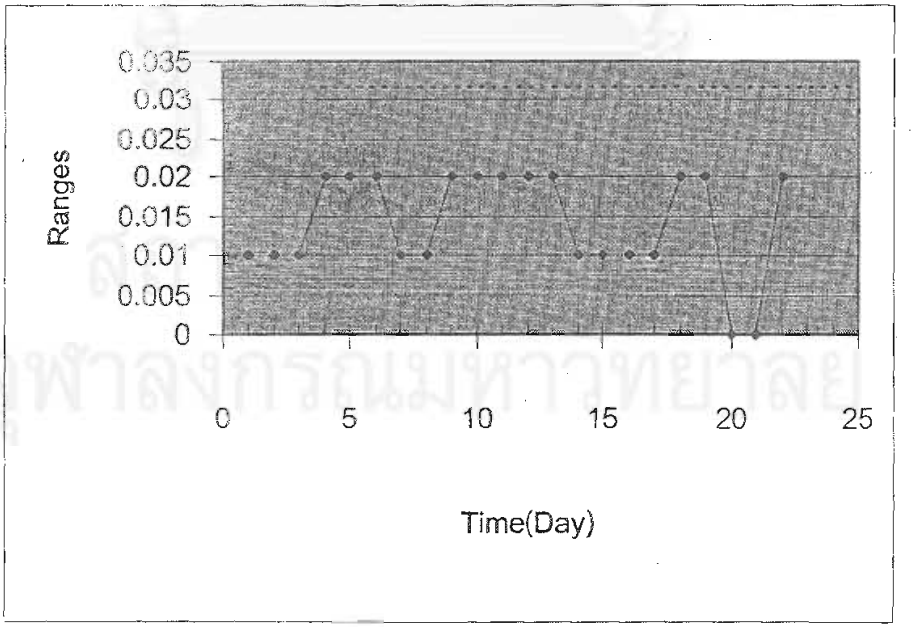
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.15 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220กรัม



รูปที่ 6.16 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 220กรัม

6.1.16 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.10 วิเคราะห์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.4 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม

แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R		
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	Serial No : DLL 5348/3478	ชนิด : METTER TOLEDO
ชั่งได้สูงสุด : 1000 กรัม	ความละเอียด : 0.01 กรัม	แผนก: แผนกประสานงาน
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44	มาตรฐานที่ใช้ : Class F1 ขนาด 1000.0148 กรัม	
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.	ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F	

วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\overline{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	3991.4	997.85	1.35	
2	3992.22	998.055	1.38	
3	3988.06	997.015	0.9	
4	3992.04	998.01	1.3	
5	3991.11	997.7775	1.11	
6	3988.17	997.0425	0.81	
7	3990.81	997.7025	1.82	
8	3988.52	997.13	1.87	
9	3991.93	997.9825	1.85	
10	3990.98	997.745	2.11	
11	3991.74	997.935	1.25	
12	3989.93	997.4825	2.05	
13	3989.96	997.49	2.24	
14	3990.09	997.5225	1.51	
15	3991.65	997.9125	1.3	
16	3989.04	997.26	0.55	
17	3991.24	997.81	1.18	
18	3992.51	998.1275	1.14	
19	3992.53	998.1325	1.19	
20	3992.12	998.03	1.06	
21	3992.46	998.115	1.38	
22	3988.41	997.1025	0.57	
		$\sum \overline{X}$ = 21949.23	$\sum R$ = 29.92	
		$\overline{\overline{X}}$ = 997.6923	$\overline{R}$ = 1.36	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{29.92}{22} = 1.36$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 1.36 = 3.10352$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 1.36 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{21949.23}{22} = 997.6922$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 1.36 = 0.99144$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 997.6922 + 0.99144 = 998.68$

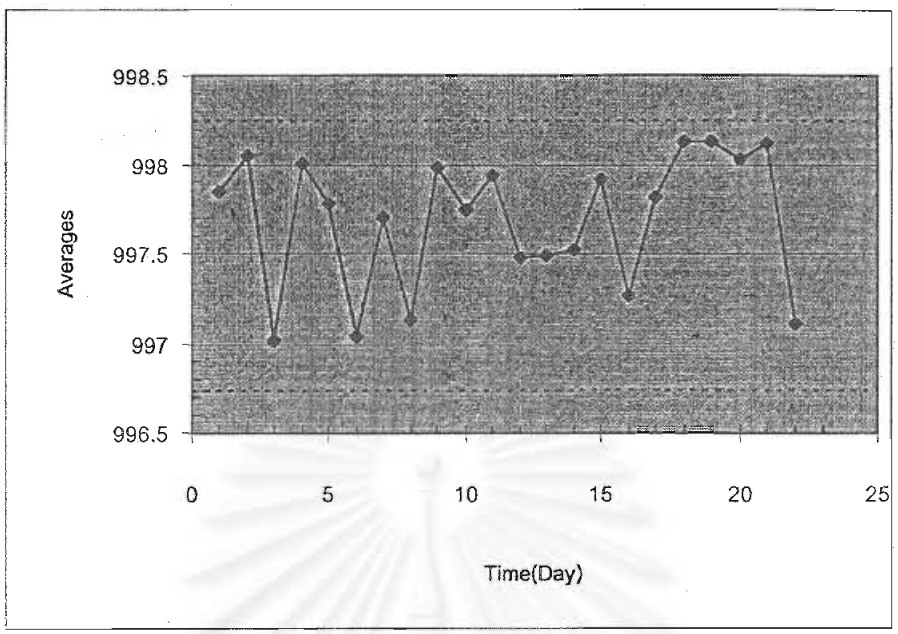
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 997.6922 - 0.99144 = 996.70$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1.36 / 2.068 = 0.657$

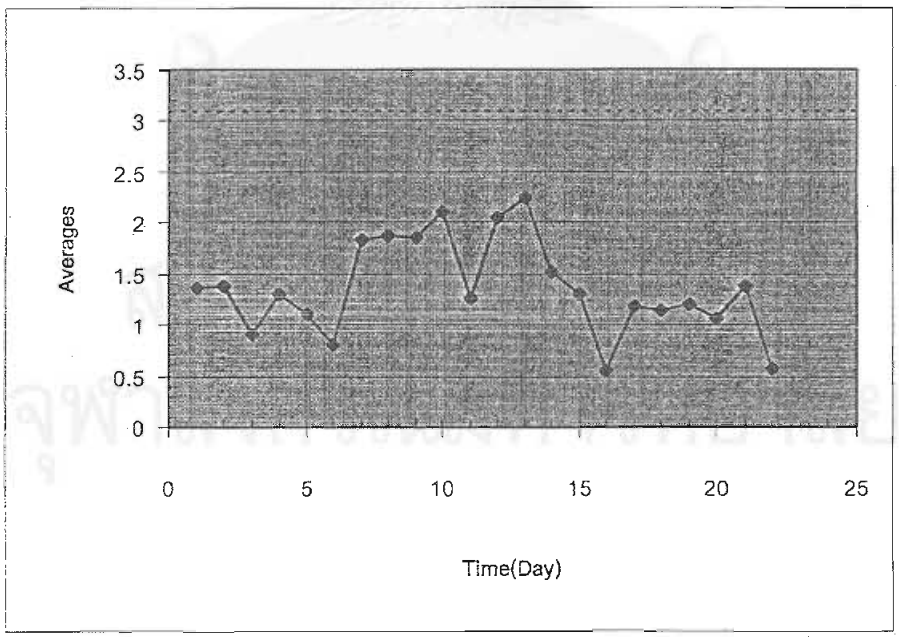
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.17 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม



รูปที่ 6.18 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1000 กรัม

6.1.17 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.14 วิเคราะห์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.5 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม

แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R		
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	Serial No : DLL 36478/96	ชนิด : METTER TOLEDO
ชั่งได้สูงสุด : 1200 กรัม	ความละเอียด : 0.01 กรัม	แผนก: แผนกบล๊อกพลอย
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44	มาตรฐานที่ใช้ : Class F1 ขนาด 1000.0148 กรัม	
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.	ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F	

วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\bar{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	3991.4	997.85	2.91	
2	3992.22	998.055	3.34	
3	3988.06	997.015	2.44	
4	3992.04	998.01	1.93	
5	3991.11	997.7775	2.3	
6	3988.17	997.0425	2	
7	3990.81	997.7025	2.36	
8	3988.52	997.13	1.69	
9	3991.93	997.9825	2.33	
10	3990.98	997.745	2.11	
11	3991.74	997.935	2.44	
12	3989.93	997.4825	1.5	
13	3989.96	997.49	2.54	
14	3990.09	997.5225	2.12	
15	3991.65	997.9125	1.72	
16	3989.04	997.26	1.82	
17	3991.24	997.81	1.15	
18	3992.51	998.1275	1.43	
19	3992.53	998.1325	2.1	
20	3992.12	998.03	2.12	
21	3992.46	998.115	2.18	
22	3988.41	997.1025	1.76	
		$\sum \bar{X}$ = 21949.23	$\sum R$ = 25.85	
		$\bar{\bar{X}}$ = 997.6923	$\bar{R}$ = 1.175	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{25.85}{22} = 1.175$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 1.175 = 2.68135$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 1.175 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{21949.23}{22} = 997.6922$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 1.175 = 0.856$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 997.6922 + 0.856 = 998.54$

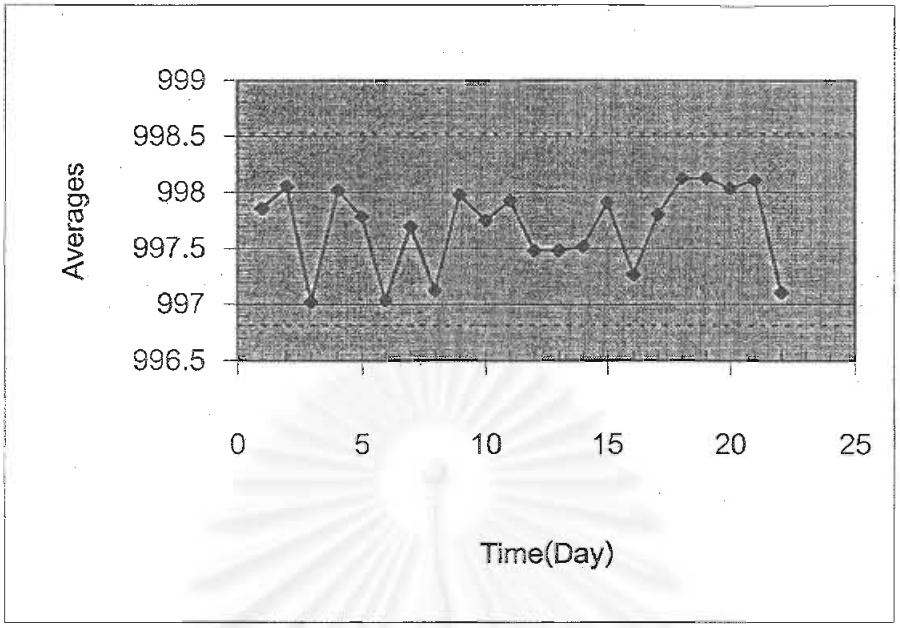
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 997.6922 - 0.856 = 996.83$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1.175 / 2.068 = 0.568$

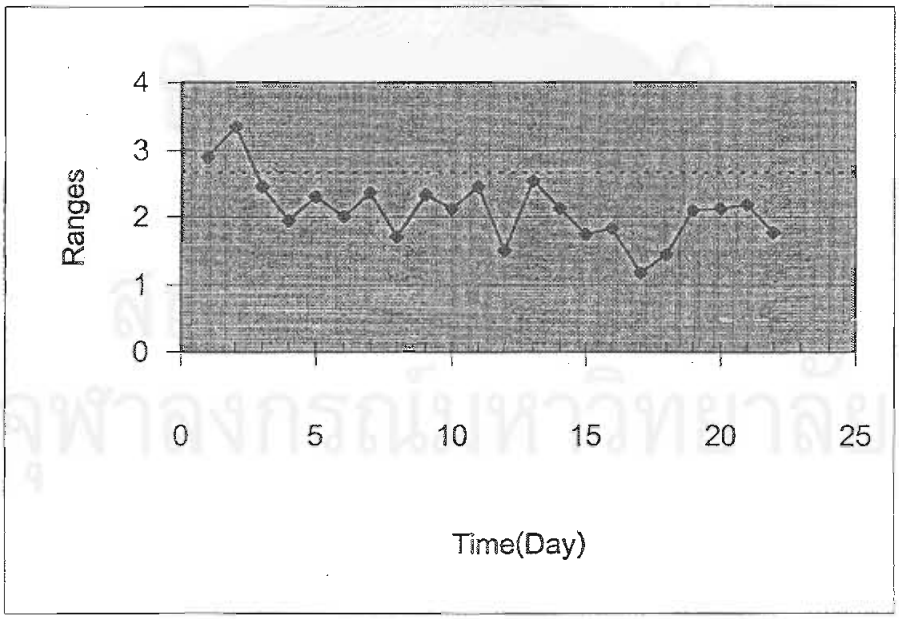
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.19 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม



รูปที่ 6.20 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 1200 กรัม

6.1.18 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.18 วิเคราะห์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.6 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม

แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R				
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์		Serial No : DLL 98247/57		ชนิด : METTER TOLEDO
ชั่งได้สูงสุด : 3100 กรัม		ความละเอียด : 0.01 กรัม		แผนก: จัดซื้อ
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44		มาตรฐานที่ใช้ : Class F1 ขนาด 2000 กรัม– 0.6 มิลลิกรัม		
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.		ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F		
วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\bar{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	7984.64	1996.16	2.91	
2	7986.17	1996.543	2.96	
3	7986.92	1996.73	4.1	
4	7987.08	1996.77	0.95	
5	7987.97	1996.993	1.3	
6	7987.73	1996.933	3.19	
7	7989.7	1997.425	2.36	
8	7987.26	1996.815	1.99	
9	7989.95	1997.488	2.51	
10	7986.08	1996.52	2.18	
11	7982.35	1995.588	3.81	
12	7985.2	1996.3	1.4	
13	7984.29	1996.073	2.3	
14	7982.63	1995.658	0.86	
15	7984.88	1996.22	1.55	
16	7982.41	1995.603	3.45	
17	7988.62	1997.155	3	
18	7990.94	1997.735	2.67	
19	7983.84	1995.96	3.61	
20	7983.33	1995.833	1.82	
21	7983.02	1995.755	1.98	
22	7982.89	1995.723	1.96	
		$\sum \bar{X}$ = 43925.06	$\sum R$ = 52.86	
		$\bar{\bar{X}}$ = 1996.594	$\bar{R}$ = 2.40	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{52.86}{22} = 2.40$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 2.4 = 5.476$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 2.4 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{43925.06}{22} = 1996.594$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 2.4 = 1.7496$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 1996.594 + 1.7496 = 1998.34$

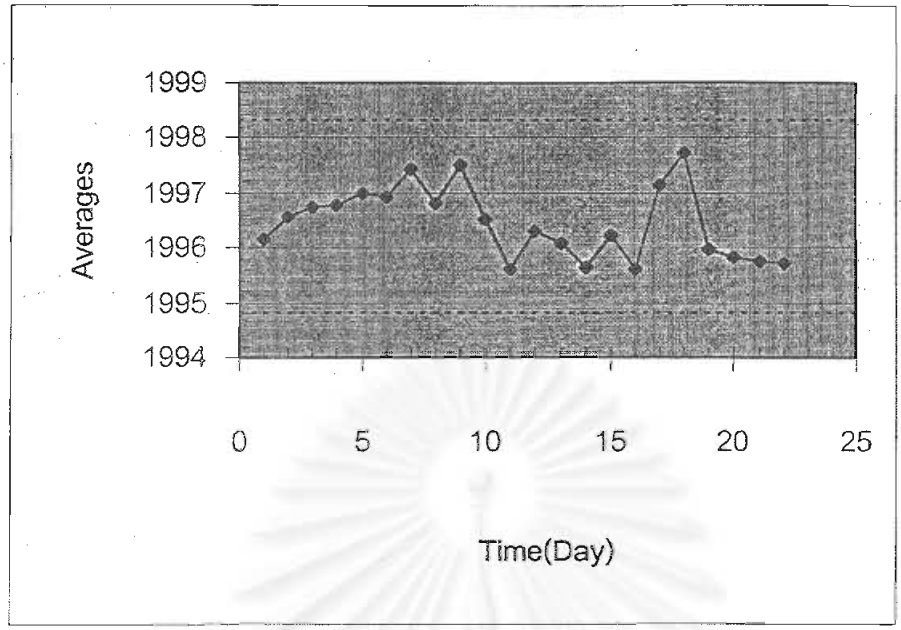
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 1996.594 - 1.7496 = 1994.84$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 2.4 / 2.068 = 1.1605$

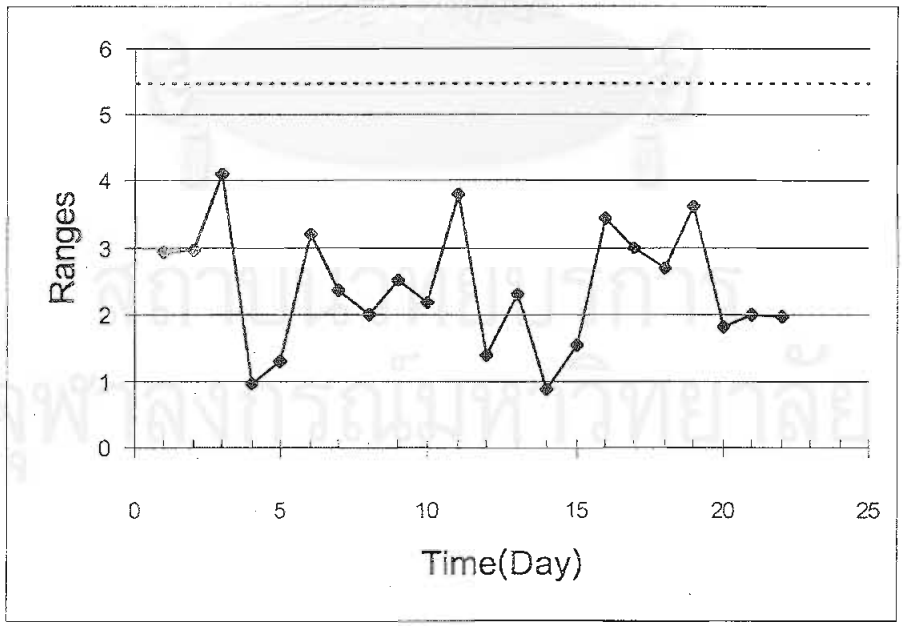
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.21 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม



รูปที่ 6.22 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องชั่ง 3100 กรัม

6.1.19 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(เครื่องที่ 1) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.22 วิเคราะห์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.7 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ (เครื่องที่ 1)

แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ - R		
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องวัดอุณหภูมิ	Serial No : DLL 578924/93	ชนิด : TYPE K
วัดได้สูงสุด : 1200°C	ความละเอียด : 0.1°C	แผนก: แม่พิมพ์
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44	มาตรฐานที่ใช้ : Standard Thermometer	
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.	ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F	

วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\bar{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	2609	652.25	2.9	
2	2607.5	651.875	1.2	
3	2608.1	652.025	0.9	
4	2608.1	652.025	1.5	
5	2609.2	652.3	2.3	
6	2609.7	652.425	3.5	
7	2609.3	652.325	1.6	
8	2608	652	1.1	
9	2608.7	652.175	2.6	
10	2608.6	652.15	2	
11	2608.1	652.025	0.9	
12	2608.4	652.1	1.4	
13	2607	651.75	0.8	
14	2607.7	651.925	1.1	
15	2608.2	652.05	1.5	
16	2605	651.25	0.2	
17	2607.1	651.775	1	
18	2608.4	652.1	1.1	
19	2609.7	652.425	2.6	
20	2609.2	652.3	2.3	
21	2607.8	651.95	1	
22	2608.3	652.075	1.5	
		$\sum \bar{X}$ = 14345.28	$\sum R$ = 35	
		$\bar{\bar{X}}$ = 652.058	$\bar{R}$ = 1.59	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{35}{22} = 1.59$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 1.59 = 3.628$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 1.59 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{14345.28}{22} = 652.058$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 1.59 = 1.1591$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 652.058 + 1.1591 = 653.217$

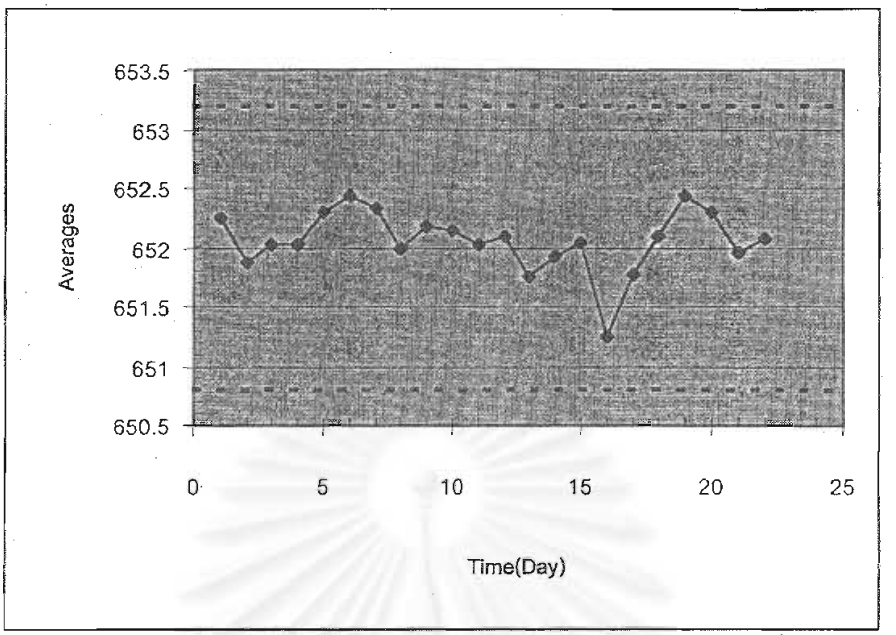
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 652.058 - 1.1591 = 650.898$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1.59 / 2.068 = 0.7688$

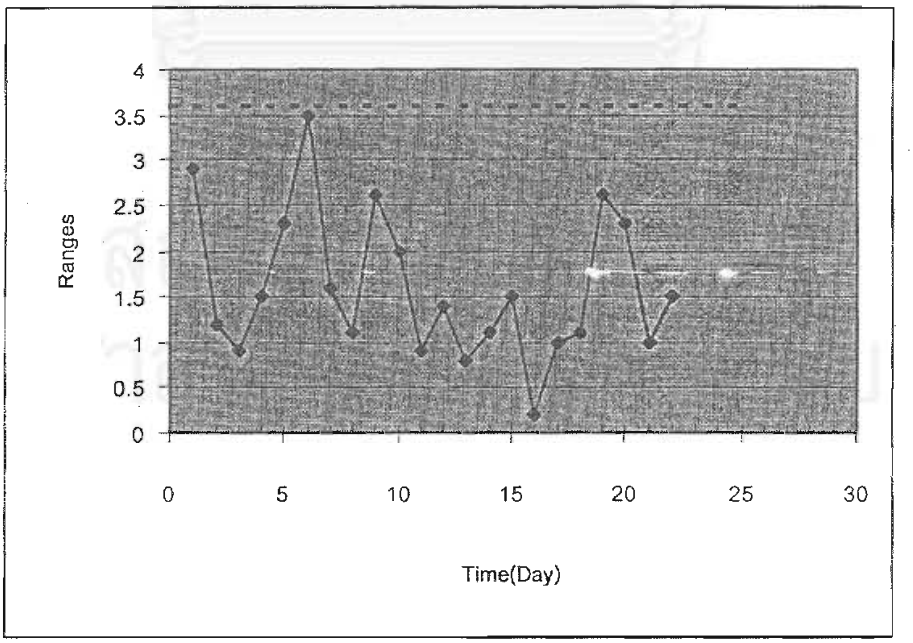
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.23 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(เครื่องที่ 1)



รูปที่ 6.24 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ(เครื่องที่ 1)

6.1.20 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (เครื่องที่ 2) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.26 วิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.8 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ (เครื่องที่ 2)

แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R		
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องวัดอุณหภูมิ	Serial No : DLL225547/85	ชนิด : TYPE K
วัดได้สูงสุด : 1200°C	ความละเอียด : 0.1 °C	แผนก: แม่พิมพ์
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44	มาตรฐานที่ใช้ : Standard Thermometer	
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.	ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F	

วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\overline{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	2602.7	650.675	2.4	
2	2603.7	650.925	1.1	
3	2603.5	650.875	1.4	
4	2601.5	650.375	1.6	
5	2603.3	650.825	2.7	
6	2604.6	651.15	0.9	
7	2605.7	651.425	1.9	
8	2603.6	650.9	1.8	
9	2601.7	650.425	2.8	
10	2604	651	1.2	
11	2604.1	651.025	1.4	
12	2605.6	651.4	2.8	
13	2604.6	651.15	2.7	
14	2604.7	651.175	1.6	
15	2603	650.75	1	
16	2604.8	651.2	1.9	
17	2604	651	1.1	
18	2603.6	650.9	2.8	
19	2601.6	650.4	1.8	
20	2601.3	650.325	0.9	
21	2604.3	651.075	2	
22	2602.7	650.675	0.9	
		$\sum \overline{X}$ = 14319.65	$\sum R$ = 38.7	
		$\overline{\overline{X}}$ = 650.89	$\overline{R}$ = 1.759	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{38.7}{22} = 1.759$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 1.759 = 4.014$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 1.759 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{14319.65}{22} = 650.89$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 1.759 = 1.2823$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 650.89 + 1.2823 = 652.17$

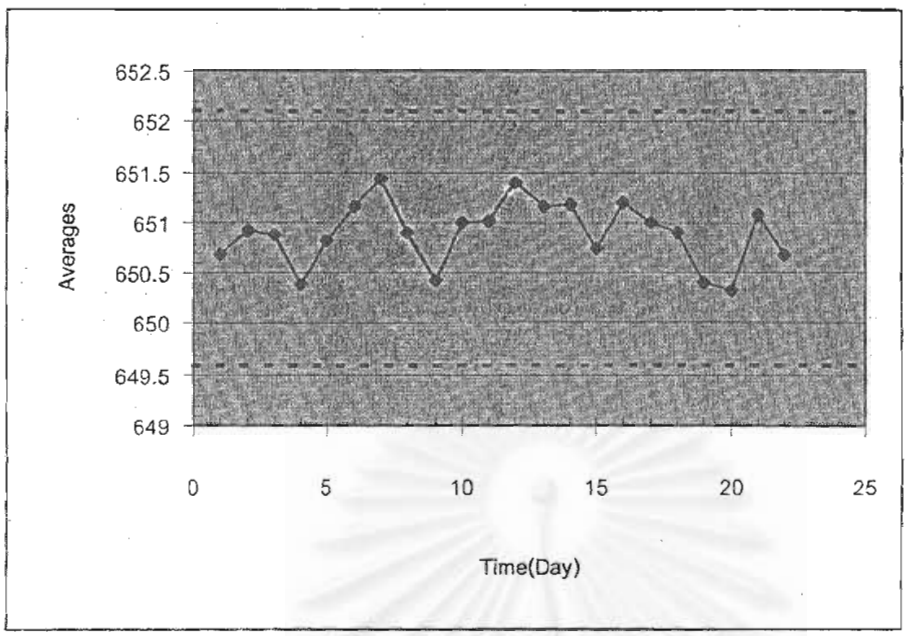
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 650.89 - 1.2823 = 649.6$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1.759 / 2.068 = 0.85$

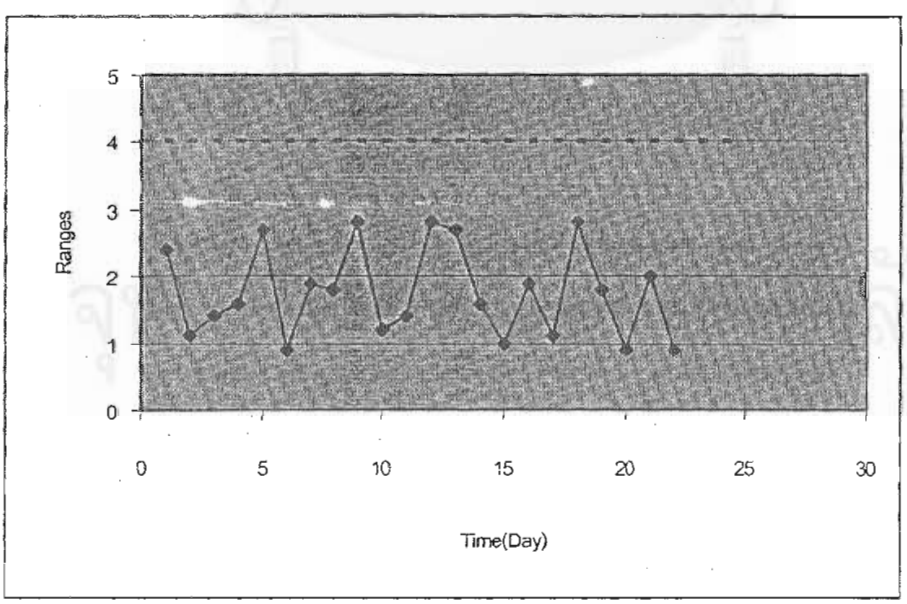
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.25 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (เครื่องที่ 2)



รูปที่ 6.26 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (เครื่องที่ 2)

6.1.21 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบ(เครื่องที่ 3) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.30 วิเคราะห์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.9 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ (เครื่องที่ 3)

แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R				
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องวัดอุณหภูมิ		Serial No : DLL 254983/24	ชนิด : TYPE K	
วัดได้สูงสุด : 1200°C		ความละเอียด : 0.1 °C	แผนก: แม่พิมพ์	
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44		มาตรฐานที่ใช้ : Standard Thermometer		
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.		ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F		
วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\overline{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	2602.2	650.55	1	
2	2605.5	651.375	1.8	
3	2604.4	651.1	2.7	
4	2602.5	650.625	0.6	
5	2605.1	651.275	0.9	
6	2605.4	651.35	1.6	
7	2603.8	650.95	1.3	
8	2607.4	651.85	1.7	
9	2604.5	651.125	3.9	
10	2604.3	651.075	0.8	
11	2606.3	651.575	1.7	
12	2606.6	651.65	2.5	
13	2603.3	650.825	0.7	
14	2603.9	650.975	1.5	
15	2603.9	650.975	1.4	
16	2604.5	651.125	1.8	
17	2606.1	651.525	2	
18	2602.2	650.55	0.7	
19	2604.2	651.05	1.9	
20	2606.3	651.575	1.6	
21	2603	650.75	1	
22	2604.9	651.225	1.6	
		$\sum \overline{X}$ = 14325.08	$\sum R$ = 34.7	
		$\overline{\overline{X}}$ = 651.14	$\overline{R}$ = 1.577	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{34.7}{22} = 1.577$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 1.577 = 3.59$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 1.577 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{14325.08}{22} = 651.14$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 1.577 = 1.1496$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 651.14 + 1.1496 = 652.29$

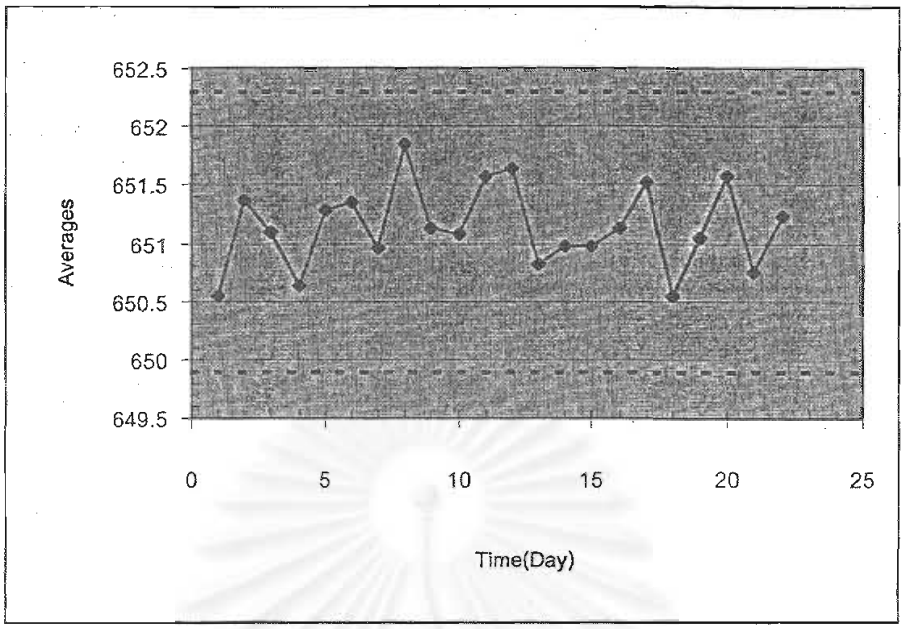
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 651.14 - 1.1496 = 649.99$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1.577/2.068 = 0.763$

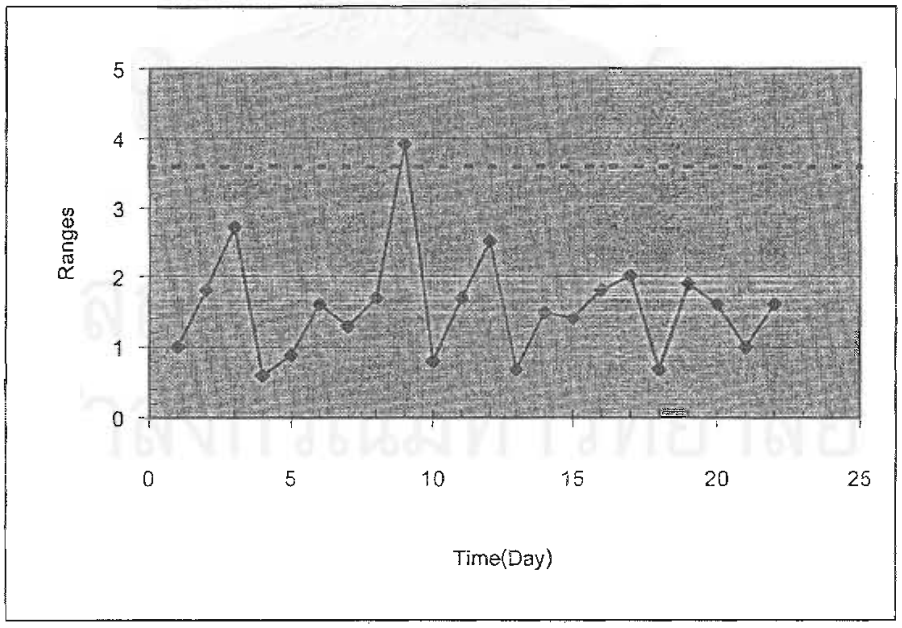
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.27 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบ(เครื่องที่ 3)



รูปที่ 6.28 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบ(เครื่องที่ 3)

6.1.22 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 1) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.34 วิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.10 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(เครื่องที่ 1)

แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R				
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องวัดอุณหภูมิ		Serial No : DLL 026433	ชนิด : TYPE K	
วัดได้สูงสุด : 1200°C		ความละเอียด : 0.1 °C	แผนก: หล่อ	
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44		มาตรฐานที่ใช้ : Standard Temperature Calibrator		
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.		ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F		
วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\overline{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	3996.6	999.15	0.1	
2	3997.9	999.475	0.9	
3	3997.6	999.4	0.8	
4	3996.5	999.125	0.1	
5	3997.1	999.275	0.9	
6	3996.3	999.075	0.2	
7	3999.4	999.85	0.1	
8	3997.2	999.3	0.2	
9	3997.9	999.475	0.2	
10	3997.2	999.3	0.9	
11	3996.1	999.025	0.1	
12	3996.6	999.15	0.1	
13	3996.7	999.175	0.2	
14	3997	999.25	0.9	
15	3996.9	999.225	0.9	
16	3996.5	999.125	0.1	
17	3997.1	999.275	0.9	
18	3997.4	999.35	0.9	
19	3997	999.25	0.5	
20	3997	999.25	0.3	
21	3997	999.25	0.9	
22	3997.1	999.275	0.9	
		$\sum \overline{X}$ = 21984.03	$\sum R$ = 11.1	
		$\overline{\overline{X}}$ = 999.2739	$\overline{R}$ = 0.5	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{11.1}{22} = 0.5$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 0.5 = 1.141$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 0.5 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{21984.03}{22} = 999.27$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 0.5 = 0.3645$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 999.27 + 0.3645 = 999.63$

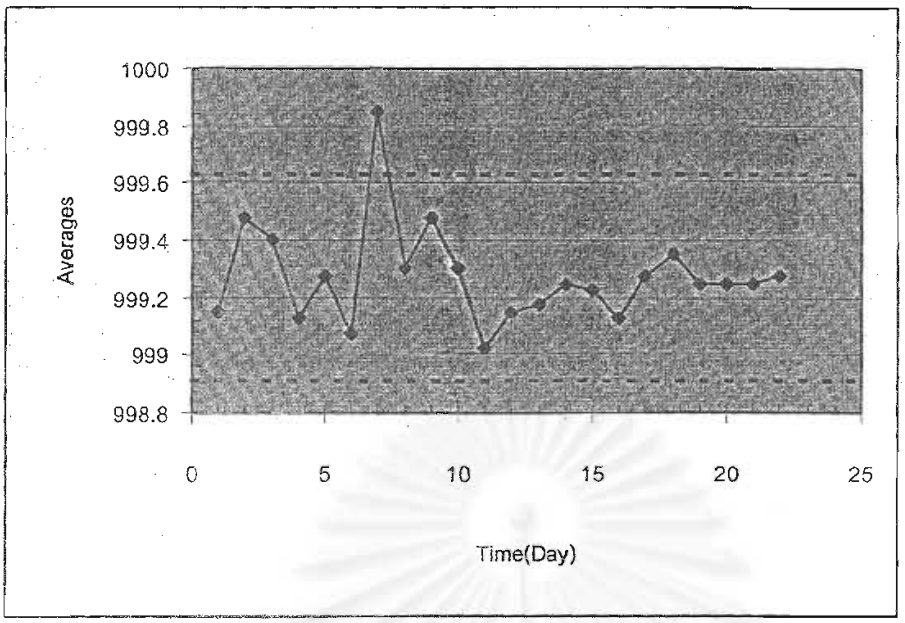
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 999.27 - 0.3645 = 998.91$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 0.5/2.068 = 0.2417$

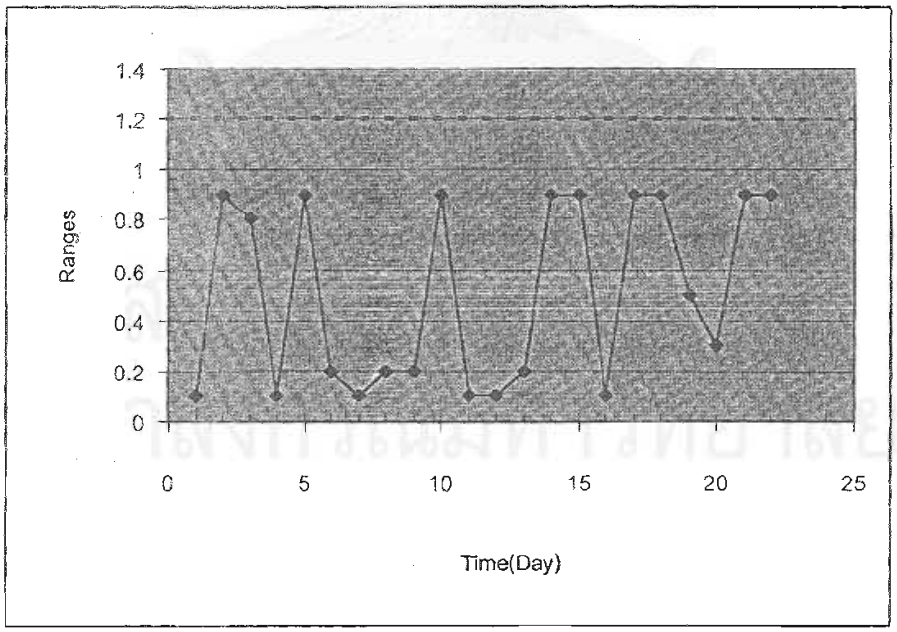
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.29 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 1)



รูปที่ 6.30 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 1)

6.1.23 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 2) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.38 วิเคราะห์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.11 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(เครื่องที่ 2)

แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R		
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องวัดอุณหภูมิ	Serial No : DLL 25478/36	ชนิด : TYPE K
วัดได้สูงสุด : 1200°C	ความละเอียด : 0.1 °C	แผนก: หล่อ
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44	มาตรฐานที่ใช้ : Standard Temperature Calibrator	
พิกัดความเผื่อ : 0.5 % of F.S.	ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F	

วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\overline{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	3992.7	998.175	2.2	
2	3994.8	998.7	1.6	
3	3992.3	998.075	1.2	
4	3992	998	1.2	
5	3993.5	998.375	0.7	
6	3991.9	997.975	1.3	
7	3991.6	997.9	0.9	
8	3994.2	998.55	0.4	
9	3992.1	998.025	1.4	
10	3991.5	997.875	1.5	
11	3990.8	997.7	1.2	
12	3993.5	998.375	1	
13	3991.8	997.95	1.4	
14	3991.2	997.8	1.2	
15	3992.8	998.2	1.4	
16	3990.1	997.525	0.6	
17	3993.7	998.425	1	
18	3994.2	998.55	2.2	
19	3992.4	998.1	1.1	
20	3990.9	997.725	1	
21	3991.3	997.825	1.5	
22	3993.3	998.325	1	
		$\sum \overline{X}$ = 21958.15	$\sum R$ = 27.0	
		$\overline{\overline{X}}$ = 998.0977	$\overline{R}$ = 1.227	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{27}{22} = 1.227$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 1.227 = 2.8$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 1.227 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{21958.15}{22} = 998.0977$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 1.227 = 0.8944$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 998.0977 + 0.8944 = 998.99$

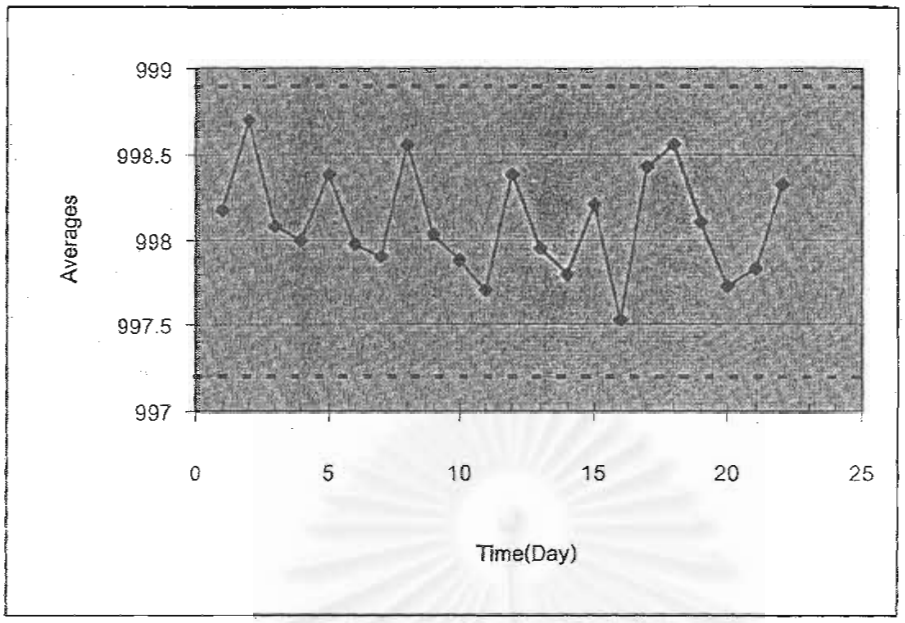
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 998.0977 - 0.8944 = 997.20$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1.227/2.068 = 0.593$

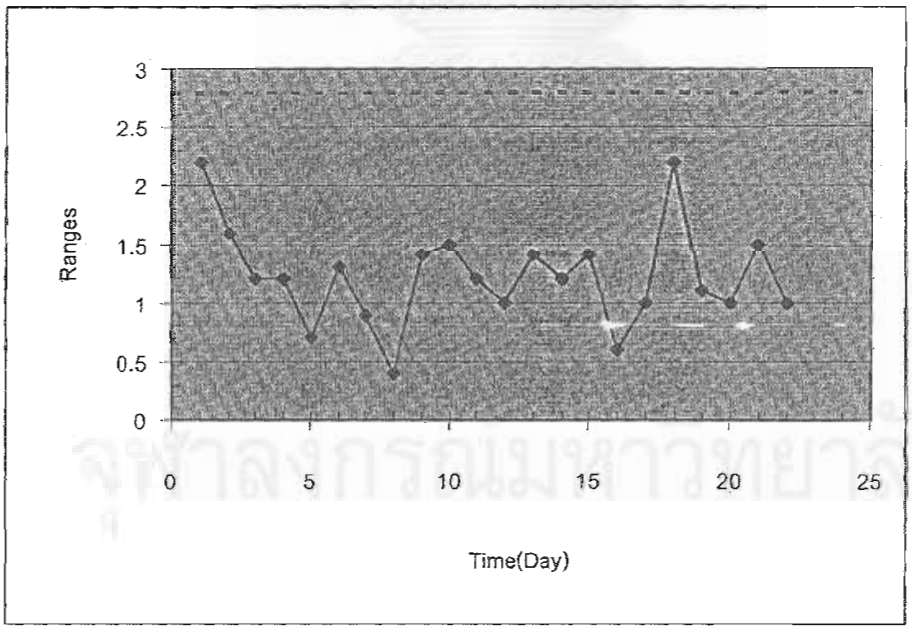
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.31 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 2)



รูปที่ 6.32 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (เครื่องที่ 2)

6.1.24 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 1) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.42 วิเคราะห์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.12 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน(เครื่องที่ 1)

แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R		
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องวัดความดัน	Serial No : 610 2717/99-03	ชนิด : Pressure Gauge
วัดได้สูงสุด : - 80 CmHg	ความละเอียด : 2.0 CmHg	แผนก: แม่พิมพ์
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44	มาตรฐานที่ใช้ : Vacuum Pressure Calibrator	
พิกัดความเผื่อ : 1 % of F.S.	ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F	

วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\overline{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	165.3	41.325	0.3	
2	165.8	41.45	0.3	
3	165.7	41.425	0.5	
4	165.3	41.325	0.3	
5	165.8	41.45	0.5	
6	165	41.25	0.1	
7	165.7	41.425	0.6	
8	165.1	41.275	0.5	
9	165.4	41.35	0.3	
10	165.9	41.475	0.5	
11	165.1	41.275	0.5	
12	166.2	41.55	0.2	
13	164.8	41.2	0.3	
14	165.4	41.35	0.3	
15	165.4	41.35	0.1	
16	165.2	41.3	0.3	
17	165.8	41.45	0.4	
18	166.1	41.525	0.5	
19	165.3	41.325	0.3	
20	165.9	41.475	0.4	
21	165.5	41.375	0.3	
22	165.5	41.375	0.6	
		$\sum \overline{X} = 910.3$	$\sum R = 8.1$	
		$\overline{\overline{X}} = 41.377$	$\overline{R} = 0.368$	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{8.1}{22} = 0.368$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 0.368 = 0.839$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 0.368 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{910.3}{22} = 41.377$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 0.368 = 0.2682$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 41.377 + 0.2682 = 41.645$

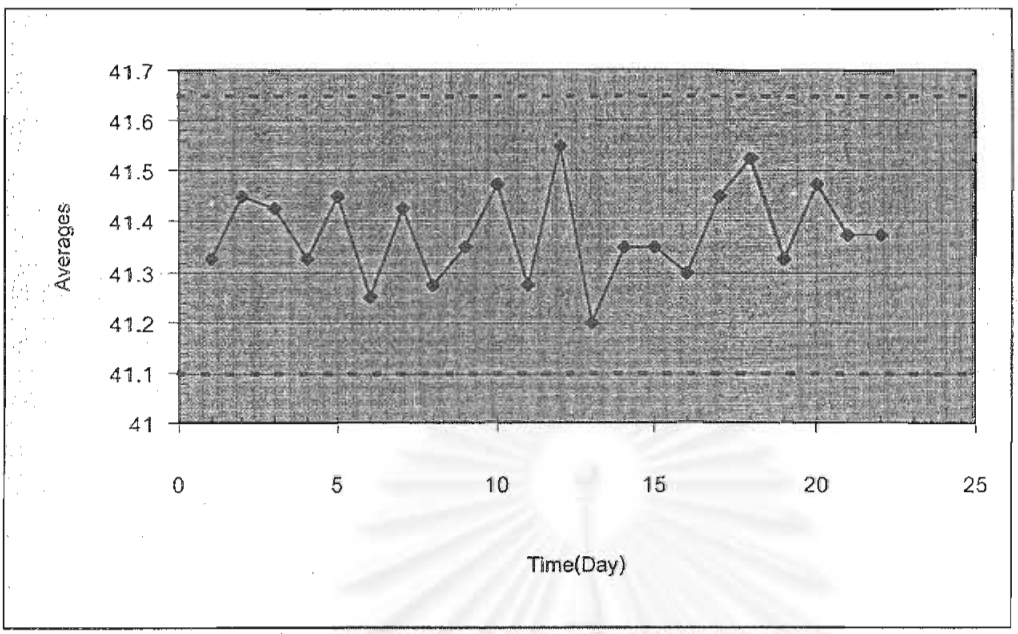
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 41.377 - 0.2682 = 41.10$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 0.368/2.068 = 0.177$

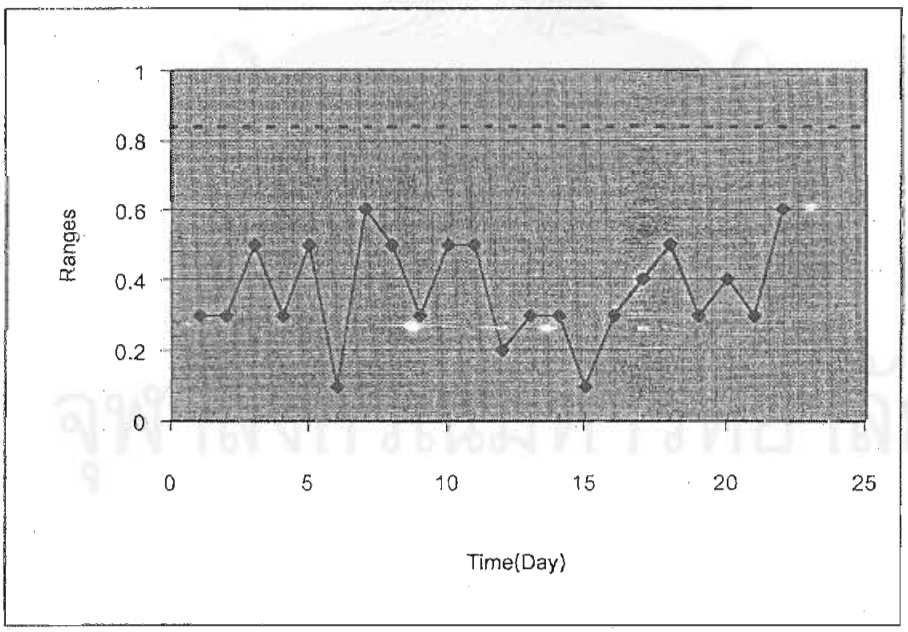
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.33 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 1)



รูปที่ 6.34 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 1)

6.1.25 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.46 วิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.13 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน(เครื่องที่ 2)

แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ - R				
ชื่อเครื่องมือวัด : เครื่องวัดความดัน		Serial No : 567457/247-31		ชนิด : Pressure Gauge
วัดได้สูงสุด : - 80 CmHg		ความละเอียด : 2.0 CmHg		แผนก: แม่พิมพ์
วันที่ตรวจสอบ : 26 มิ.ย. – 25 ก.ค. 44		มาตรฐานที่ใช้ : Vacuum Pressure Calibrator		
พิกัดความเผื่อ : 1 % of F.S.		ชื่อ , ตำแหน่ง ผู้ทำการทดลอง : F		
วันที่	ผลรวม ($\sum X_i$)	ค่าเฉลี่ย (Average) : $\overline{X}$	พิสัย (Range) : R	หมายเหตุ
1	166.2	41.55	0.3	
2	165.9	41.475	0.3	
3	166.2	41.55	0.3	
4	165.9	41.475	0.2	
5	165.7	41.425	0.3	
6	166	41.5	0.2	
7	166.4	41.6	0.3	
8	165.7	41.425	0.1	
9	165.6	41.4	0.2	
10	165.9	41.475	0.3	
11	165.5	41.375	0.3	
12	166.3	41.575	0.3	
13	165.6	41.4	0.2	
14	165.5	41.375	0.2	
15	165.9	41.475	0.1	
16	165.5	41.375	0.2	
17	165.9	41.475	0.4	
18	166.2	41.55	0.4	
19	165.7	41.425	0.3	
20	166.1	41.525	0.4	
21	165.7	41.425	0.1	
22	166	41.5	0.2	
		$\sum \overline{X}$ = 912.35	$\sum R$ = 5.6	
		$\overline{\overline{X}}$ = 41.47	$\overline{R}$ = 0.254	

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย : $\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{5.6}{22} = 0.254$

k = จำนวนกลุ่มย่อย = 22 ; n = ขนาดกลุ่มย่อย = 4

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$UCL_R = D_4 \times \bar{R} = 2.282 \times 0.254 = 0.579$

$LCL_R = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 0.254 = 0$

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด : $\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{912.35}{22} = 41.47$

คำนวณพิกัดควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$A_2\bar{R} = 0.729 \times 0.254 = 0.1851$

$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 41.47 + 0.1851 = 41.655$

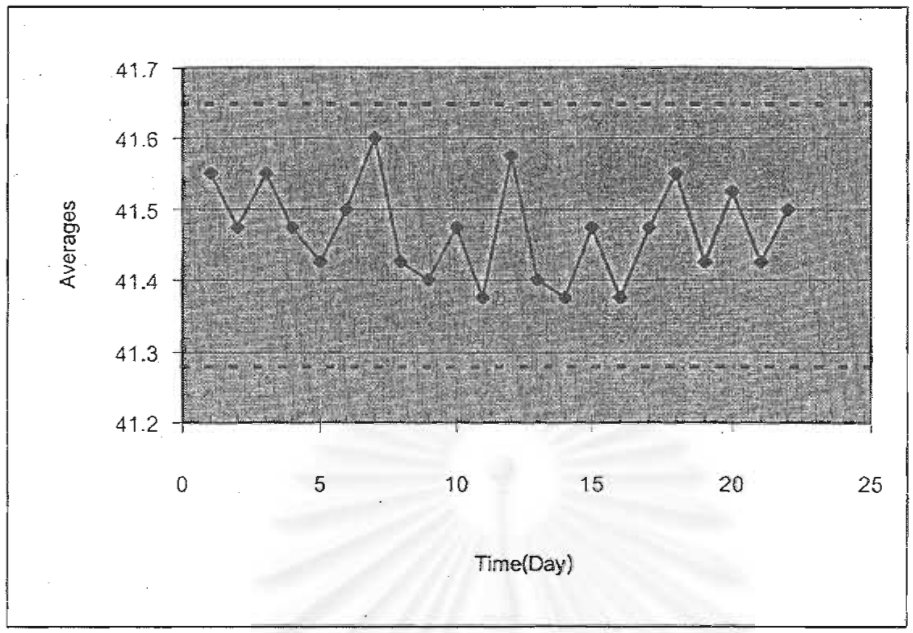
$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 41.47 - 0.1851 = 41.285$

ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = 0.254/2.068 = 0.1228$

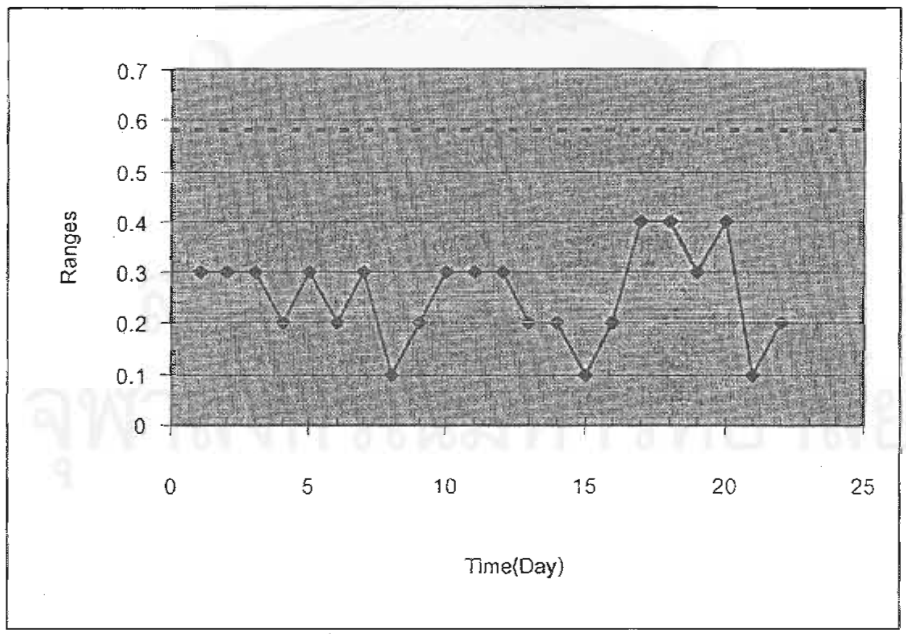
ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจากแผนภูมิควบคุม

- ถ้าแผนภูมิ R แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่าความสามารถในการวัดซ้ำหรือรีพีททะบิลิตี้ไม่เสถียร แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอ (consistent) จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดธรรมชาติภายในกลุ่มย่อย แล้วทำการแก้ไข
- ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ แสดงสภาวะออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัดคือค่าไบอัสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดธรรมชาติดังกล่าว ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอก ให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าหากสาเหตุมาจากปัจจัยภายในคือความสึกหรอของเครื่องมือวัดแล้ว ให้ทำการระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่ (recalibration period)

จากการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการ สังเกตจาก แผนภูมิ ควบคุม $\bar{X}$ - R ที่ใช้ประเมินความมีเสถียรภาพในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัดและแนวทางการปรับปรุงได้อยู่แล้ว อันได้แก่ การตรวจจับสาเหตุความผันแปรแบบผิดธรรมชาติแล้วทำการกำจัดทิ้ง แล้วพยายามลดความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติลง โดยการพิจารณาจากความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ซึ่งจะต้องพยายามทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 6.35 แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2)



รูปที่ 6.36 แผนภูมิควบคุม R ด้านเสถียรภาพของเครื่องมือวัดความดัน (เครื่องที่ 2)

6.1.26 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องชั่ง 320 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.3 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.14 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	0.1008 กรัม	0.2998 กรัม	0.5030 กรัม	0.9963 กรัม	10.001 กรัม	30.005 กรัม	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม	299.9993 กรัม
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	0.10	0.305	0.50	1.006	10.014	30.015	50.013	100.015	199.971	299.254
ค่าไบอัส (Y)	-0.0008	0.0052	-0.003	0.0097	0.013	0.01	0.016	0.019	-0.0283	-0.7453

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.15

ตาราง 6.15 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	0.1008	-0.0008	0.010161	0.00000064	-0.00008064
2	0.2998	0.0052	0.08988	0.00002704	0.00155896
3	0.5030	-0.003	0.253009	0.000009	-0.001509
4	0.9963	0.0097	0.992614	0.00009409	0.00966411
5	10.001	0.013	100.02	0.000169	0.130013
6	30.005	0.01	900.3	0.0001	0.30005
7	49.997	0.016	2499.7	0.000256	0.799952
8	99.996	0.019	9999.2	0.000361	1.899924
9	199.9993	-0.0283	39999.72	0.00080089	-5.65998019
10	299.9993	-0.7453	89999.58	0.555472	-223.584782
ผลรวม	691.8975	-0.7045	143499.9	0.55729	-226.1099

ผลจากตาราง 6.15 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{n} = 143499.9 - \frac{(691.8975)^2}{10} = 95627.65$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{\left(\sum Y\right)^2}{n} = 0.55729 - \frac{(-0.7045)^2}{10} = 0.507658$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{\left(\sum X \sum Y\right)}{n} = -226.1099 - \frac{(691.8975)(-0.7045)}{10} = -177.3657$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = \frac{-177.3657}{95627.65} = -0.001855$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 \, S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\,\% = \frac{(-0.001855)(-177.3657)}{0.507658} \times 100\,\% = 64.8\,\%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.16
โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.16 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	$SS_R = 0.32897$	1	$MS_R = 0.32897$	$MS_R/MS_E = 14.72$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = 0.1786$	$n-2 = 8$	$MS_E = 0.022336$	
ผลรวม	$S_{YY} = 0.5076$	$n-1 = 9$	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,8} = 5.32$	

จากการคำนวณค่า F= 14.72 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 5.32 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%($\alpha = 0.05$)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = \left(\frac{-0.7045}{10}\right) - (-0.001855)\left(\frac{691.8975}{10}\right) = 0.05788$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 0.05788 - 0.001855\,X$

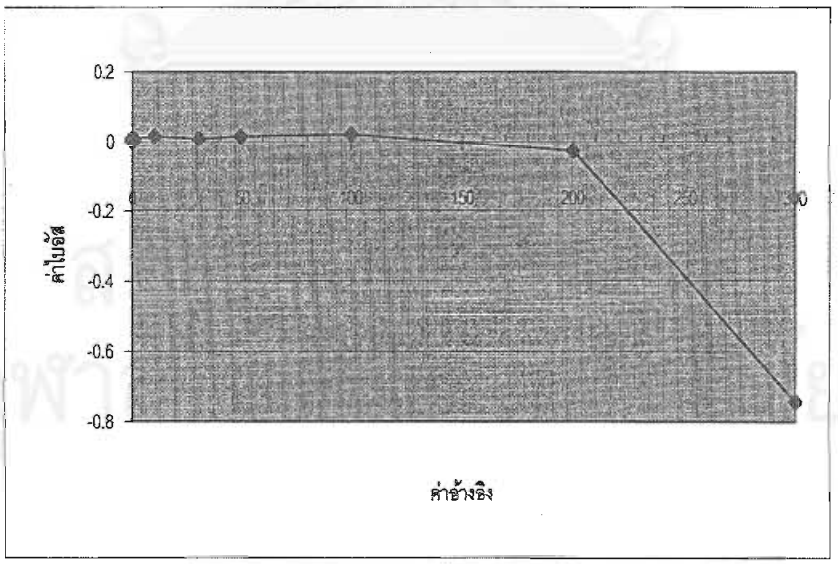
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| -0.001855 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.001855 \times 0.01 = 0.00001855$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ $= (0.00001855/0.01) \times 100 = 0.1855\%$

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 6.37 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 320 กรัม

6.1.27 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องชั่ง 220 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.7 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตาราง 6.17 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	0.030025 กรัม	0.1008 กรัม	0.2998 กรัม	0.5030 กรัม	0.9963 กรัม	10.001 กรัม	30.005 กรัม	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม
ค่าเฉลี่ย ค่าวัด	0.030025	0.1008	0.2998	0.503	0.9963	10.001	30.005	49.997	99.866	199.6763
ค่าไบอัส (Y)	-0.000025	0.0012	0.0002	-0.011	-0.0213	-0.029	-0.039	-0.026	-0.13	-0.323

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.18

ตารางที่ 6.18 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	0.030025	-0.000025	0.000902	6.25E-10	-7.5E-07
2	0.1008	0.0012	0.010161	1.44E-06	0.000121
3	0.2998	0.0002	0.08988	4E-08	6E-05
4	0.5030	-0.011	0.253009	0.000121	-0.00553
5	0.9963	-0.0213	0.992614	0.000454	-0.02122
6	10.001	-0.029	100.02	0.000841	-0.29003
7	30.005	-0.039	900.3	0.001521	-1.1702
8	49.997	-0.026	2499.7	0.000676	-1.29992
9	99.996	-0.13	9999.2	0.0169	-12.9995
10	199.9993	-0.323	39999.72	0.104329	-64.5998
ผลรวม	391.9282	-0.577925	53500.29	0.124843	-80.386

ผลจากตาราง 6.18 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{n} = 38139.51$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{\left(\sum Y\right)^2}{n} = 0.091443$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{n} = 57.73546$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = -0.001514$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\% = 95.58\%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.19
โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

H_0 : $\beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

H_1 : $\beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.19 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	$SS_R = 0.0874$	1	$MS_R = 0.0874$	$MS_R/MS_E = 172.91$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = 0.004044$	$n-2 = 8$	$MS_E = 0.000505$	
ผลรวม	$S_{YY} = 0.091443$	$n-1 = 9$	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,8} = 5.32$	

จากการคำนวณค่า F= 172.91 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 5.32 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%($\alpha = 0.05$)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = 0.001537$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 0.001537 - 0.001514\,X$

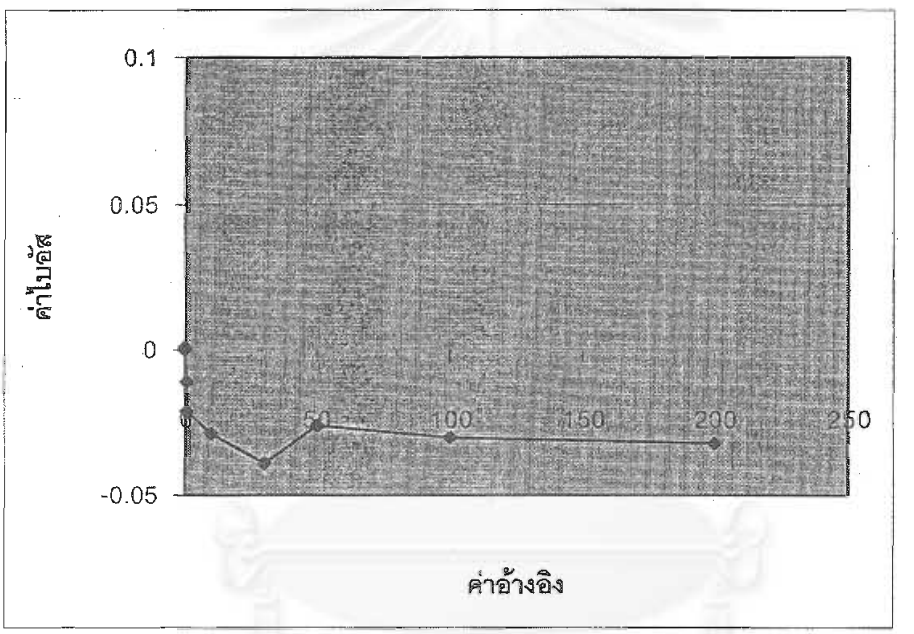
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| -0.001514 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.001514 \times 0.01 = 0.00001514$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ $= (0.00001514/0.01) \times 100 = 0.151\%$

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.38 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรง ของเครื่องชั่ง 220 กรัม

6.1.28 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องชั่ง 1000 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.11 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.20 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	10.001 กรัม	30.005 กรัม	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม	299.9993 กรัม	399.994 กรัม	449.997 กรัม	699.992 กรัม	1000.0148 กรัม
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	9.766	30.005	49.997	99.996	199.9993	299.9993	399.994	499.997	699.992	1000.015
ค่าไบอัส (Y)	-0.235	-0.355	-0.285	-0.337	-0.3483	-1.9923	-0.452	-0.384	-0.446	-0.4318

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.21

ตารางที่ 6.21 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	10.001	-0.235	100.02	0.055225	-2.350235
2	30.005	-0.355	900.3	0.126025	-10.65178
3	49.997	-0.285	2499.7	0.081225	-14.24915
4	99.996	-0.337	9999.2	0.113569	-33.69865
5	199.9993	-0.3483	39999.72	0.121313	-69.65976
6	299.9993	-0.39923	89999.58	0.159385	-119.7687
7	399.994	-0.452	159995.2	0.204304	-180.7973
8	499.997	-0.384	249997	0.147456	-191.9988
9	699.992	-0.446	489988.8	0.198916	-312.1964
10	1000.015	-0.4818	1000030	0.232131	-481.8071
ผลรวม	3289.995	-3.72333	2043509	1.439549	-1417.178

ผลจากตาราง 6.21 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{n} = 961102.1$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{\left(\sum Y\right)^2}{n} = 0.05323$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{\left(\sum X \sum Y\right)}{n} = -192.2041$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = -0.0002$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\,\% = 72.21\,\%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.22
โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.22 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	$SS_R = 0.038438$	1	$MS_R = 0.038438$	$MS_R/MS_E = 20.7875$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = 0.014793$	$n-2 = 8$	$MS_E = 0.001849$	
ผลรวม	$S_{YY} = 0.05323$	$n-1 = 9$	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,8} = 5.32$	

จากการคำนวณค่า F= 20.787 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 5.32 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%($\alpha = 0.05$)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = -0.3065$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = -0.3065 - 0.0002\,X$

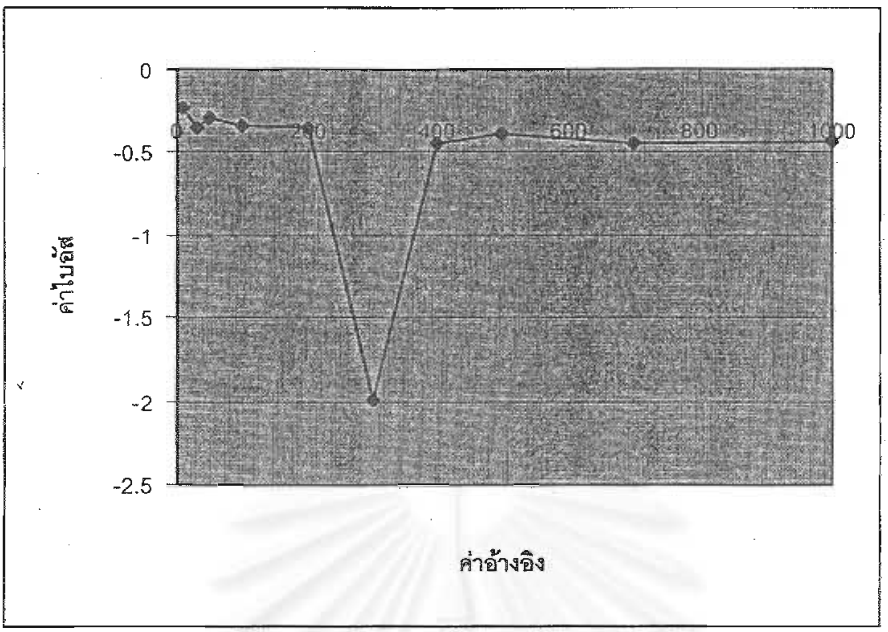
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$= \left| -0.0002 \right| \times$ ความผันแปรของกระบวนการ

$= 0.0002 \times 0.01 = 0.000002$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ $= (0.000002/0.01) \times 100 = 0.2\%$

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.39 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องชั่ง1000 กรัม

6.1.29 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องชั่ง 1200 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.15 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.23 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	10.001 กรัม	30.005 กรัม	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม	299.9993 กรัม	399.994 กรัม	449.997 กรัม	699.992 กรัม	1000.0148 กรัม
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	9.696	29.694	49.679	99.58	199.63	298.639	398.052	497.373	697.676	996.587
ค่าไบอัส (Y)	-0.305	-0.311	-0.318	-0.416	-0.3693	-1.3603	-1.942	-2.624	-2.316	-3.4278

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.24

ตารางที่ 6.24 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	10.001	-0.305	100.02	0.093025	-3.05031
2	30.005	-0.311	900.3	0.096721	-9.33156
3	49.997	-0.318	2499.7	0.101124	-15.899
4	99.996	-0.416	9999.2	0.173056	-41.5983
5	199.9993	-0.3693	39999.72	0.136382	-73.8597
6	299.9993	-1.3603	89999.58	1.850416	-408.089
7	399.994	-1.942	159995.2	3.771364	-776.788
8	499.997	-2.624	249997	6.885376	-1311.99
9	699.992	-2.316	489988.8	5.363856	-1621.18
10	1000.015	-3.4278	1000030	11.74981	-3427.85
ผลรวม	3289.995	-13.3894	2043509	30.22113	-7689.64

ผลจากตาราง 6.24 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{n} = 961102.1$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{\left(\sum Y\right)^2}{n} = 12.29353$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{\left(\sum X \sum Y\right)}{n} = -3284.534$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = -0.003417$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\,\% = 95.58\,\%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.25
โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.25 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	$SS_R = 11.22479$	1	$MS_R = 11.22479$	$MS_R/MS_E = 84.022$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = 1.068745$	$n-2 = 8$	$MS_E = 0.133593$	
ผลรวม	$S_{YY} = 12.29353$	$n-1 = 9$	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,8} = 5.32$	

จากการคำนวณค่า F= 84.022 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 5.32 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%($\alpha = 0.05$)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = -0.214595$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = -0.214595 - 0.003417\,X$

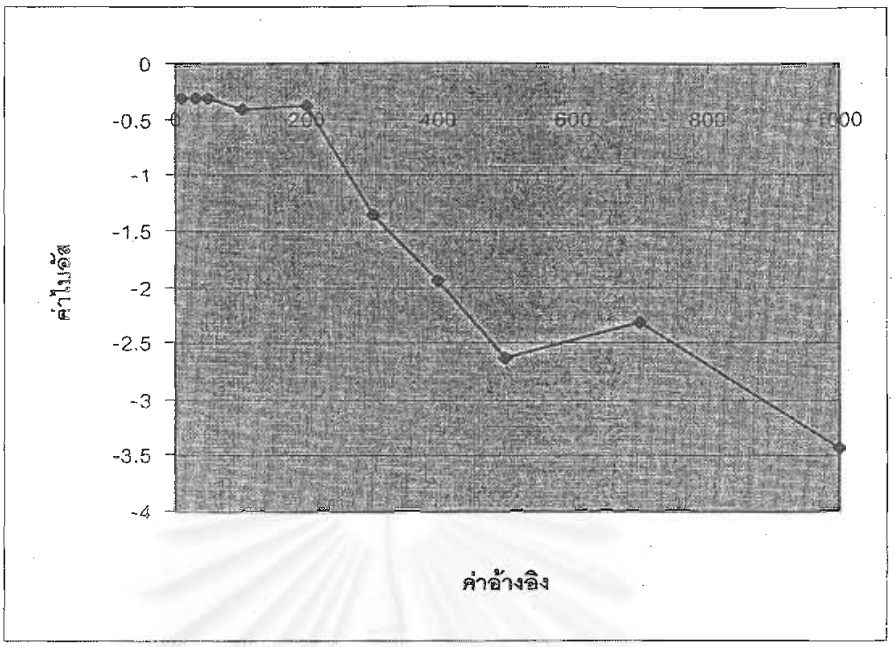
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| -0.003417 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.003417 \times 0.01 = 0.00003417$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ = $(0.00003417/0.01) \times 100 = 0.35\%$

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.40 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องชั่ง1200 กรัม

6.1.30 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องชั่ง 3100 กรัม

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.19 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.26 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	49.997 กรัม	99.996 กรัม	199.9993 กรัม	299.9993 กรัม	399.994 กรัม	449.997 กรัม	699.992 กรัม	1000.0148 กรัม	1499.997 กรัม	2000.0266 กรัม
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	49.635	99.72	199.57	297.989	397.892	497.214	697.738	996.588	1497.676	1996.595
ค่าไบอัส (Y)	-0.362	-0.276	-0.4293	-2.0103	-2.102	-2.783	-2.254	-3.4268	-2.321	-3.4316

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.27

ตารางที่ 6.27 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	49.997	-0.362	2499.7	0.131044	-18.0989
2	99.996	-0.276	9999.2	0.076176	-27.5989
3	199.9993	-0.4293	39999.72	0.184298	-85.8597
4	299.9993	-2.0103	89999.58	4.041306	-603.089
5	399.994	-2.102	159995.2	4.418404	-840.787
6	499.997	-2.783	249997	7.745089	-1391.49
7	699.992	-2.254	489988.8	5.080516	-1577.78
8	1000.015	-3.4268	1000030	11.74296	-3426.85
9	1499.997	-2.321	2249991	5.387041	-3481.49
10	2000.027	-3.4316	4000106	11.77588	-6863.29
ผลรวม	6750.013	-19.396	8292606	50.58271	-18316.3

ผลจากตาราง 6.27 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 3736339$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 12.96223$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{n} = -5224.017$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = -0.001398$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\ \% = 56.35\ \%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.28
โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.28 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	SS_R = 7.304036	1	MS_R = 7.304036	MS_R/MS_E = 10.327
ความคลาดเคลื่อน	SS_E = 5.658194	n-2 = 8	MS_E = 0.707274	
ผลรวม	S_{YY} = 12.96223	n-1 = 9	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,8}$ = 5.32	

จากการคำนวณค่า F= 10.327 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 5.32 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%(α = 0.05)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = -0.995837$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = -0.995837 - 0.001398\,X$

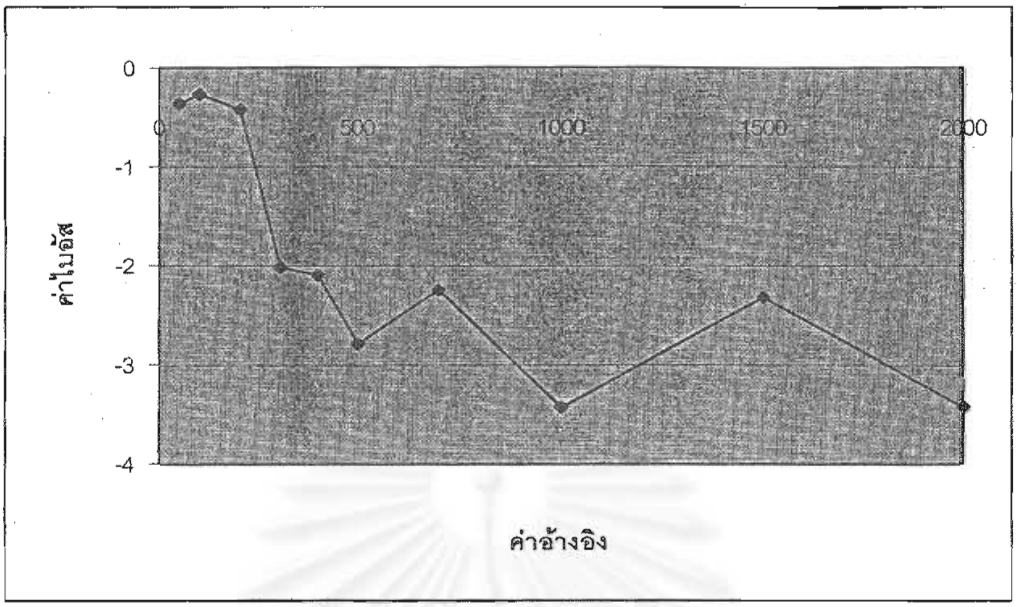
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$= \left| -0.001398 \right| \times$ ความผันแปรของกระบวนการ

$= 0.001398 \times 0.01 = 0.00001398$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ $= (0.00001398/0.01) \times 100 = 0.139\%$

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.41 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องชั่ง3100 กรัม

6.1.31 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิ เตาอบแม่พิมพ์ (1) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.23 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.29 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	99.56 (oC)	299.58 (oC)	499.6 (oC)	699.62 (oC)
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	100.88	301.64	502.3	704.47
ค่าไบอัส (Y)	1.32	2.06	2.7	4.85

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.30

ตารางที่ 6.30 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X2	Y2	XY
1	99.56	1.32	9912.194	1.7424	131.4192
2	299.58	2.06	89748.18	4.2436	617.1348
3	499.6	2.7	249600.2	7.29	1348.92
4	699.62	4.85	489468.1	23.5225	3393.157
ผลรวม	1598.36	10.93	838728.7	36.7985	5490.631

ผลจากตาราง 6.30 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 200040$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 6.932275$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{n} = 1123.112$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = 0.005614$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\ \% = 90.96\ \%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.31
โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

H_0 : $\beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

H_1 : $\beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.31 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	SS_R = 6.305645	1	MS_R = 6.305645	MS_R/MS_E = 20.1255
ความคลาดเคลื่อน	SS_E = 0.62663	n-2 = 2	MS_E = 0.313315	
ผลรวม	S_{YY} = 6.932275	n-1 = 3	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,2}$ = 18.51	

จากการคำนวณค่า F= 20.1255 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 18.51 แสดงว่าความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%(α = 0.05)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = 0.489026$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 0.489026 + 0.005614\ X$

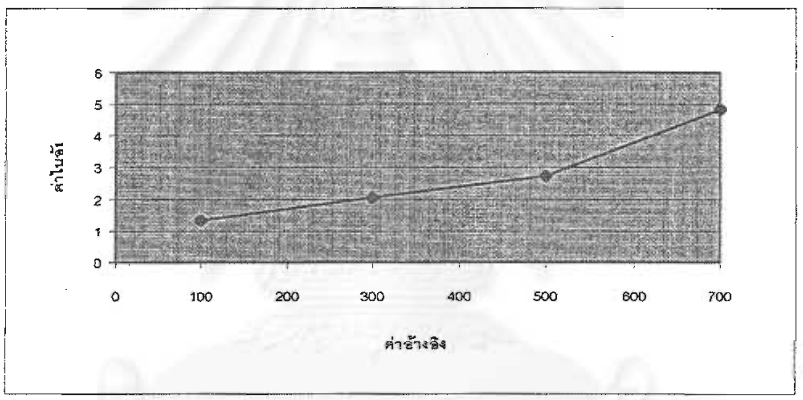
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| 0.005614 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.005614 \times 0.01 = 0.00005614$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ $= (0.00005614/0.01) \times 100 = 0.561\ \%$

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.42 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(1)

6.1.32 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (2)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.27 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่ าอ้างอิง

ตารางที่ 6.32 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	99.56 (oC)	299.58 (oC)	499.6 (oC)	699.62 (oC)
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	101.84	302.47	502.87	704.11
ค่าไบอัส (Y)	2.28	2.89	3.27	4.49

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.33

ตารางที่ 6.33 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X2	Y2	XY
1	99.56	2.28	9912.194	5.1984	226.9968
2	299.58	2.89	89748.18	8.3521	865.7862
3	499.6	3.27	249600.2	10.6929	1633.692
4	699.62	4.49	489468.1	20.1601	3141.294
ผลรวม	1598.36	12.93	838728.7	44.4035	5867.769

ผลจากตาราง 6.33 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 200040$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 2.607275$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{n} = 701.0701$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = 0.003505$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\ \% = 94.23\ \%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.34

โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.34 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	SS_R = 2.457	1	MS_R = 2.457	MS_R/MS_E = 32.7
ความคลาดเคลื่อน	SS_E = 0.15	n-2 = 2	MS_E = 0.0751	
ผลรวม	S_{YY} = 2.607	n-1 = 3	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,2}$ = 18.51	

จากการคำนวณค่า F= 68.0282 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 18.51 แสดงว่าความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%(α = 0.05)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = 1.832$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 1.832 + 0.003505\,X$

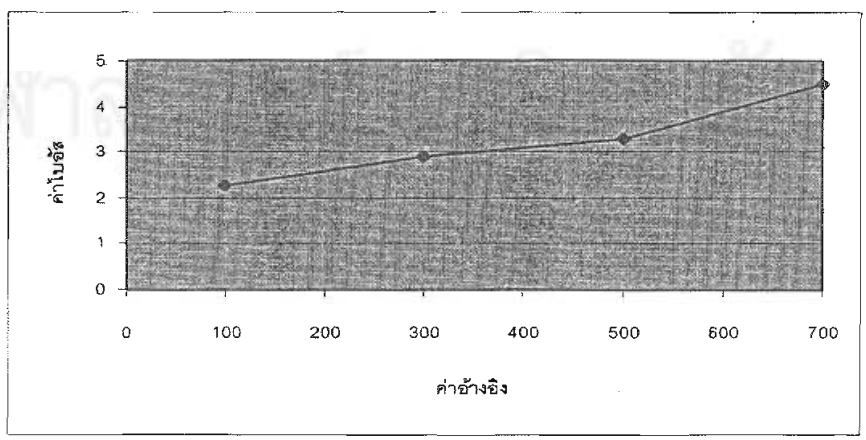
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| 0.003505 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.003505 \times 0.01 = 0.000035$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ = (0.000035/0.01) $\times$ 100 = 0.35%

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.43 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(2)

6.1.33 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ (3) จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.31 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.35 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	99.56 (°C)	299.58 (°C)	499.6 (°C)	699.62 (°C)
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	100.22	300.9	501.61	702.71
ค่าไบอัส (Y)	0.66	1.32	2.01	3.09

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.36

ตารางที่ 6.36 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X2	Y2	XY
1	99.56	0.66	9912.194	0.4356	65.7096
2	299.58	1.32	89748.18	1.7424	395.4456
3	499.6	2.01	249600.2	4.0401	1004.196
4	699.62	3.09	489468.1	9.5481	2161.826
ผลรวม	1598.36	7.08	838728.7	15.7662	3627.177

ผลจากตาราง 6.36 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 200040$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 3.2346$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{n} = 798.0798$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = 0.00399$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\ \% = 98.43\ \%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.37
โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.37 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	$SS_R = 3.184$	1	$MS_R = 3.184$	$MS_R/MS_E = 125.9$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = 0.0505$	$n-2 = 2$	$MS_E = 0.02529$	
ผลรวม	$S_{YY} = 3.2346$	$n-1 = 3$	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,2} = 18.51$	

จากการคำนวณค่า F= 125.9 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 18.51 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%($\alpha = 0.05$)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = 0.17759$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 0.17759 + 0.00399\,X$

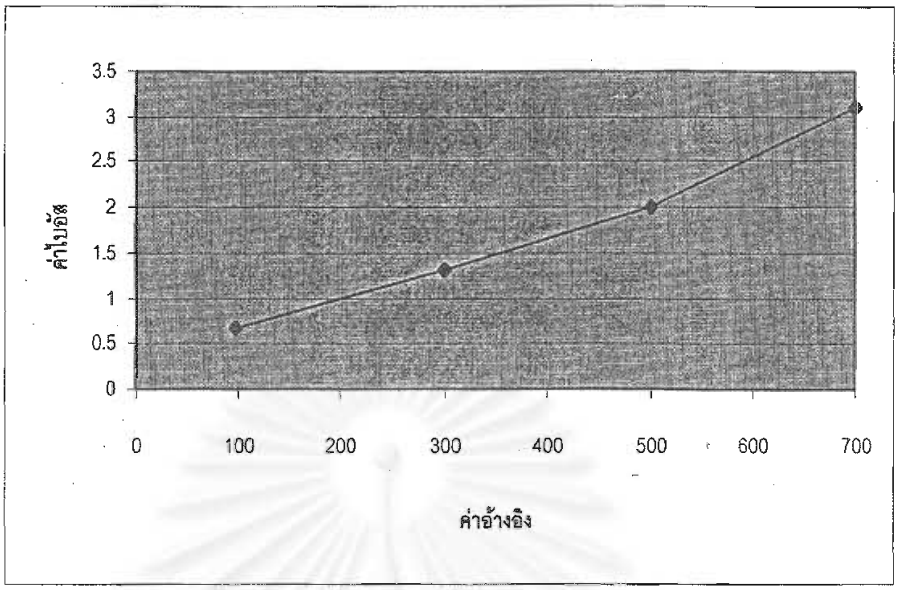
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| 0.00399 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.00399 \times 0.01 = 0.0000399$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ = (0.0000399/0.01) ×100 = 0.399 %

(% เชิงเส้นตรง < 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.44 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์(3)

6.1.34 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (1)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.35 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.38 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	99.56 (°C)	299.58 (°C)	499.60 (°C)	699.62 (°C)	899.64 (°C)	999.66 (°C)
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	99.71	299.66	498.6	698.47	898.31	998.27
ค่าไบอัส (Y)	0.15	0.08	-1	-1.15	-1.33	-1.39

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.39

ตารางที่ 6.39 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X2	Y2	XY
1	99.56	0.15	9912.194	0.0225	14.934
2	299.58	0.08	89748.18	0.0064	23.9664
3	499.6	-1	249600.2	1	-499.6
4	699.62	-1.15	489468.1	1.3225	-804.563
5	899.64	-1.33	809352.1	1.7689	-1196.521
6	999.66	-1.39	999320.1	1.9321	-1389.527
ผลรวม	3497.66	-4.64	2647401	6.0524	-3851.311

ผลจากตาราง 6.39 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{n} = 608463.3$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{\left(\sum Y\right)^2}{n} = 2.464133$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{\left(\sum X \sum Y\right)}{n} = -1146.454$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = -0.001884$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\ \% = 87.66\ \%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.40 โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.40 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	SS_R = 2.16	1	MS_R = 2.16	MS_R/MS_E = 28.42
ความคลาดเคลื่อน	SS_E = 0.3	n-2 = 4	MS_E = 0.076	
ผลรวม	S_{YY} = 2.46	n-1 = 5	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,4}$ = 7.71	

จากการคำนวณค่า F= 28.42 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 7.71 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%(α = 0.05)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = 0.325$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 0.325 - 0.00188\,X$

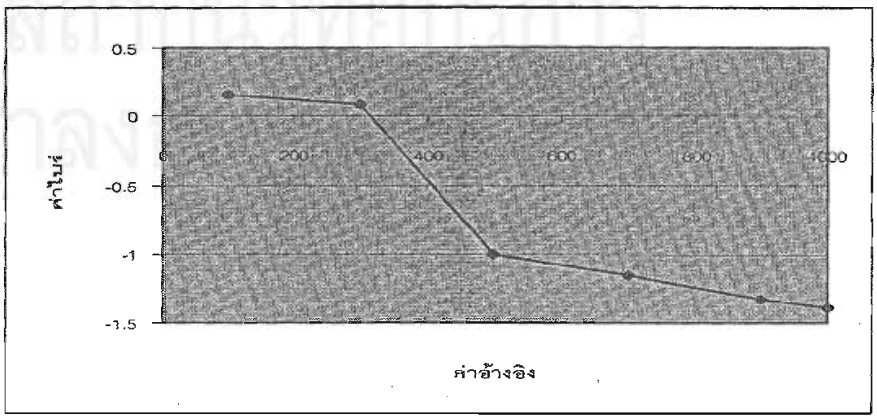
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| -0.00188 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.00188 \times 0.01 = 0.0000188$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ = (0.0000188/0.01) $\times$ 100 = 0.188 %

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.45 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(1)

6.1.35 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (2)
จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.39 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.41 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	99.56 (°C)	299.58 (°C)	499.60 (°C)	699.62 (°C)	899.64 (°C)	999.66 (°C)
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	99.49	298.64	497.42	696.7	895.38	994.42
ค่าไบอัส (Y)	-0.07	-0.94	-2.18	-2.92	-4.26	-5.24

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.42

ตารางที่ 6.42 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X2	Y2	XY
1	99.56	-0.07	9912.194	0.0049	-6.9692
2	299.58	-0.94	89748.18	0.8836	-281.6052
3	499.6	-2.18	249600.2	4.7524	-1089.128
4	699.62	-2.92	489468.1	8.5264	-2042.89
5	899.64	-4.26	809352.1	18.1476	-3832.466
6	999.66	-5.24	999320.1	27.4576	-5238.218
ผลรวม	3497.66	-15.61	2647401	59.7725	-12491.28

ผลจากตาราง 6.42 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{n} = 608463.3$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{\left(\sum Y\right)^2}{n} = 19.16$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{\left(\sum X \sum Y\right)}{n} = -3391.532$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = -0.005574$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\ \% = 98.66\ \%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.43 โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

$H_0 : \beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

$H_1 : \beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.43 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	$SS_R = 18.9$	1	$MS_R = 18.9$	$MS_R/MS_E = 295$
ความคลาดเคลื่อน	$SS_E = 0.256$	n-2 = 4	$MS_E = 0.064$	
ผลรวม	$S_{YY} = 19.16$	n-1 = 5	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,4} = 7.71$	

จากการคำนวณค่า F= 295 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 7.71 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%($\alpha = 0.05$)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = 0.647$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 0.647 - 0.005574\ X$

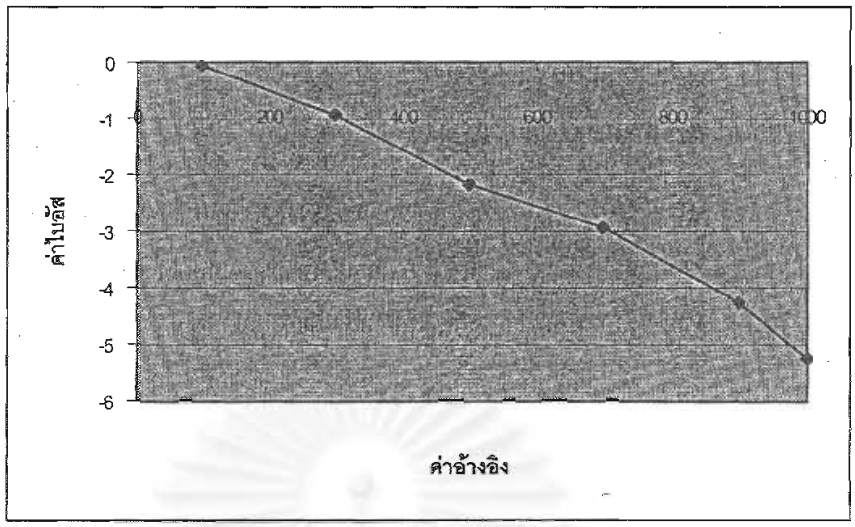
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| -0.005574 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.005574 \times 0.01 = 0.00005574$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ = (0.00005574/0.01) ×100 = 0.557%

(% เชิงเส้นตรง < 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.46 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ(2)

6.1.36 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัดความดัน (1)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.43 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.44 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	0 CmHg	-10 CmHg	-20 CmHg	-30 CmHg	-40 CmHg	-50 CmHg	-60 CmHg	-65 CmHg
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	0	11.02	21.35	31.27	41.17	51.41	61.51	66.52
ค่าไบอัส (Y)	0	1.02	1.35	1.27	1.17	1.41	1.51	1.52

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.45

ตารางที่ 6.45 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X2	Y2	XY
1	0	0	0	0	0
2	10	1.02	100	1.0404	10.2
3	20	1.35	400	1.8225	27
4	30	1.27	900	1.6129	38.1
5	40	1.17	1600	1.3689	46.8
6	50	1.41	2500	1.9881	70.5
7	60	1.51	3600	2.2801	90.6
8	65	1.52	4225	2.3104	98.8
ผลรวม	275	9.25	13325	12.4233	382

ผลจากตาราง 6.45 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} = 3871.875$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} = 1.727988$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X \sum Y)}{n} = 64.03125$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = 0.016538$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\ \% = 61.28\ \%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.46

โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

H_0 : $\beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

H_1 : $\beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.46 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	SS_R = 1.0589	1	MS_R = 1.0589	MS_R/MS_E = 9.496
ความคลาดเคลื่อน	SS_E = 0.669	n-2 = 6	MS_E = 0.111511	
ผลรวม	S_{YY} = 1.7279	n-1 = 7	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,6}$ = 5.99	

จากการคำนวณค่า F= 9.496 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 5.99 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%(α = 0.05)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = 0.5877$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 0.5877 + 0.016538\,X$

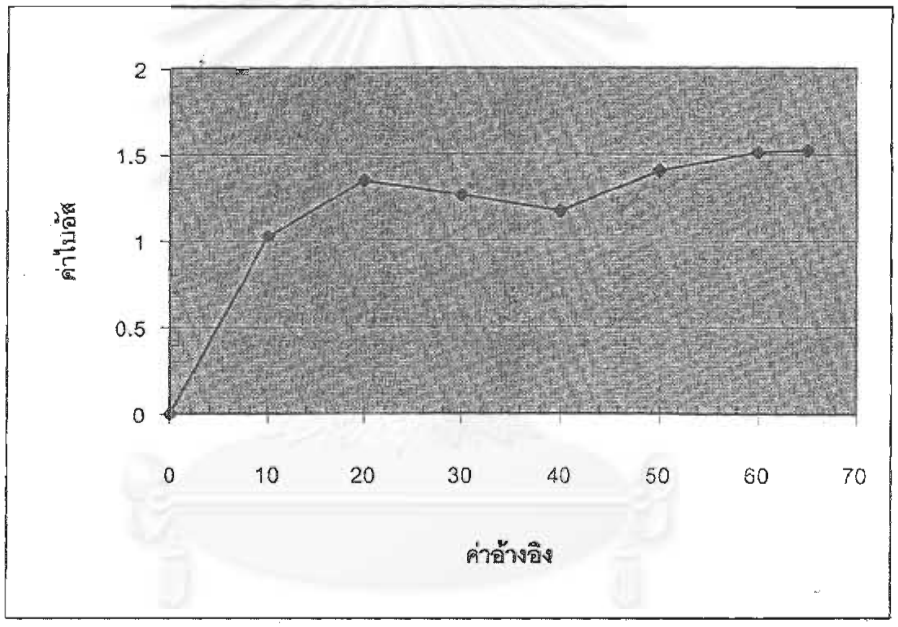
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$= \left| 0.0016538 \right| \times$ ความผันแปรของกระบวนการ

$= 0.0016538 \times 0.01 = 0.000016538$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ $= (0.000016538/0.01) \times 100 = 0.165\%$

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.47 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดความดัน(1)

6.1.37 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัดความดัน (2)

จากข้อมูลการทดลอง ในตาราง 5.47 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.47 วิเคราะห์ หาค่าไบอัสแต่ละค่าอ้างอิง

ค่าอ้างอิง (X)	0 CmHg	-10 CmHg	-20 CmHg	-30 CmHg	-40 CmHg	-50 CmHg	-60 CmHg	-65 CmHg
ค่าเฉลี่ยค่าวัด	0	11.45	21.58	31.75	41.82	51.87	62.37	67.24
ค่าไบอัส (Y)	0	1.45	1.58	1.75	1.82	1.87	2.37	2.24

จากค่าอ้างอิงและไบอัส สามารถนำมาคำนวณได้ดังตารางที่ 6.48

ตารางที่ 6.48 ผลรวมกำลังสองของค่าไบอัสและค่าอ้างอิง

i	X	Y	X2	Y2	XY
1	0	0	0	0	0
2	10	1.45	100	2.1025	14.5
3	20	1.58	400	2.4964	31.6
4	30	1.75	900	3.0625	52.5
5	40	1.82	1600	3.3124	72.8
6	50	1.87	2500	3.4969	93.5
7	60	2.37	3600	5.6169	142.2
8	65	2.24	4225	5.0176	145.6
ผลรวม	275	13.08	13325	25.1052	552.7

ผลจากตาราง 6.48 นำมาคำนวณตามสมการ (2.33) จะได้ผลดังนี้

$$S_{XX} = \sum X^2 - \frac{\left(\sum X\right)^2}{n} = 3871.875$$

$$S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{\left(\sum Y\right)^2}{n} = 3.7194$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{\left(\sum X \sum Y\right)}{n} = 103.075$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} = 0.026621$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \times 100\,\% = 73.77\%$$

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการทดสอบว่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA) ดังตารางที่ 6.49

โดยการตั้งสมมุติฐานดังนี้

H_0 : $\beta_1 = 0$ ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

H_1 : $\beta_1 \neq 0$ ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง

ตารางที่ 6.49 ANOVA เพื่อการวิเคราะห์ ความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาความอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	SS_R = 2.744	1	MS_R = 2.744	MS_R/MS_E = 16.87
ความคลาดเคลื่อน	SS_E = 0.9753	n-2 = 6	MS_E = 0.1625	
ผลรวม	S_{YY} = 3.7194	n-1 = 7	จากตารางในภาคผนวก $F_{0.05;1,6}$ = 5.99	

จากการคำนวณค่า F= 16.87 (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่ามากกว่า 5.99 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง มีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่น 99.95%(α = 0.05)

เมื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงแล้ว ให้คำนวณหาสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เพื่อการทำนายคุณสมบัติเชิงเส้นตรงต่อไป

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X} = 0.57591$$

ซึ่งจะได้ผลว่า $Y = 0.57591 + 0.026625\,X$

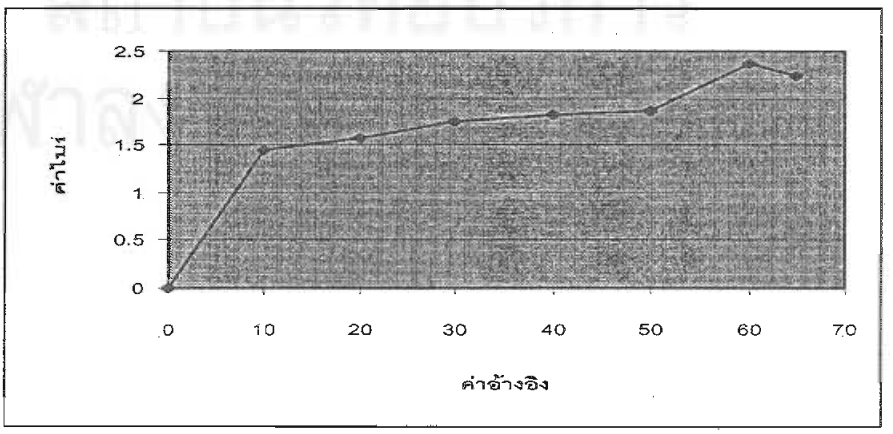
แล้วทำการคำนวณดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity Index)

$$= \left| 0.026625 \right| \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ}$$

$$= 0.026625 \times 0.01 = 0.00026625$$

% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ = $(0.00026625/0.01) \times 100 = 2.66\%$

(% เชิงเส้นตรง $<$ 5 % อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข)



รูปที่ 6.48 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องวัดความดัน(2)

ในการพิจารณาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดจะได้มาจากการวัด ตลอดช่วงย่านวัด เพื่อศึกษาถึงค่าไบอัสที่แต่ละค่าของค่ามาตรฐาน (ค่าอ้างอิง) แล้วพิจารณาถึงค่าเปลี่ยนแปลงไบอัส(ค่าความชัน) และถ้าพบว่าระบบการวัดขาดคุณสมบัติเชิงเส้นตรงแล้ว มีความจำเป็นจะต้องพิจารณาหาสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) เครื่องมือวัดมิได้รับการสอบเทียบอย่างถูกต้องทั้งที่ด้านล่างและด้านบนของย่านวัดที่มีทำการพิจารณา (Zero – Span)

(2) มีความคลาดเคลื่อนที่ชิ้นงานมาตรฐาน(มาสเตอร์)ที่ขนาดเล็กและขนาดใหญ่

(3) เครื่องมือวัดมีความสึกหรอ

(4) สาเหตุมาจากปัจจัยภายในอันเนื่องมาจากการออกแบบเครื่องมือวัด

สถาบันวิทยบริการ
าลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.1.38 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 320 กรัม จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.4

	A	A	A	A	B	B	B	B
	1	2	XA	RA	1	2	XB	RB
1	272.15	272.21	272.18	0.06	271.94	271.34	271.64	0.6
2	265.36	265.42	265.39	0.06	266.35	265.94	266.145	0.41
3	226.57	227.04	226.805	0.47	227.61	228.07	227.84	0.46
4	233.08	233.46	233.27	0.38	234.83	234.55	234.69	0.28
5	254.84	255.11	254.975	0.27	255.56	256.09	255.825	0.53
6	243.39	245.15	244.27	1.76	244.74	243.98	244.36	0.76
7	252.52	253.72	253.12	1.2	253.31	252.79	253.05	0.52
8	277.34	279.03	278.185	1.69	278.92	279.07	278.995	0.15
9	209.64	208.92	209.28	0.72	208.34	209.12	208.73	0.78
10	284.71	285.36	285.035	0.65	284.98	285.31	285.145	0.33
			2522.51	7.26			2526.42	4.82
			252.251	0.726			252.642	0.482

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าพิสัย(A)	0.06	0.06	0.47	0.38	0.27	1.76	1.2	1.69	0.72	0.65
ค่าพิสัย(B)	0.6	0.41	0.46	0.28	0.53	0.76	0.52	0.15	0.78	0.33

$$\bar{R} = \frac{0.06 + 0.06 + \ldots\ldots + 0.78 + 0.33}{20}$$

$$= 0.604 \text{ กรัม}$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.604 = 1.975$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่า น้ำหนักของชิ้นงานเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 1.975 กรัม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{9.55}{1.128} = 2.76 \text{ กรัม}$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด ± 1.38 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{2522.51}{10} = 252.251$$

$$\bar{X}_B = \frac{2526.42}{10} = 252.642$$

$$R(\bar{X}) = 252.642 - 252.251 = 0.391 \text{ กรัม}$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1$, $n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.391}{1.414} = 1.424 \text{ กรัม}$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{1.424^2 - \frac{2.76^2}{20}} = 1.283 \text{ กรัม}$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ ± 0.64กรัมรอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR \& R = \sqrt{2.76^2 + 1.283^2} = 3.041 \text{ กรัม}$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 3.041 แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 1.52 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XaveA	272.18	265.39	226.805	233.27	254.975	244.27	253.12	278.185	209.28	285.035
XaveB	271.64	266.145	227.84	234.69	255.825	244.36	253.05	278.995	208.73	285.145
TRUE	271.34	265.85	227.67	233.93	255.68	244.33	253.1	278.87	209.02	285.1

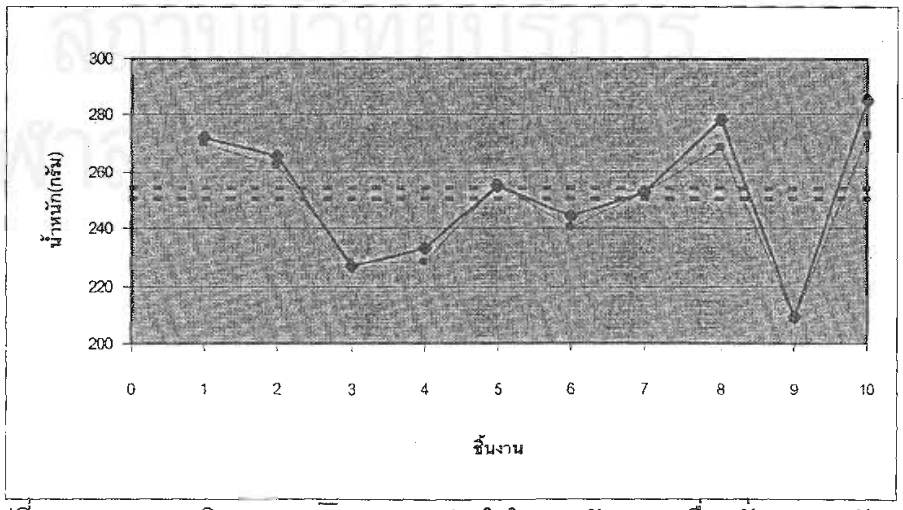
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 253.582$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 252.45$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 251.311$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังรูปที่ 6.49



รูปที่ 6.49 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 320 กรัม

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 285.10 - 209.02 = 76.08 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น

$$PV = 5.51 \frac{R_p}{d_2^*}$$

$d_2^* = 3.178$; เมื่อ k = 1 , n = 10 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51 \frac{76.08}{3.178} = 123.249 \text{ กรัม}$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR \& R^2 + PV^2} = 123.287 \text{ กรัม}$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{3.041}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 3.042\ \%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 กรัม จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 1.52 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = \frac{3.041}{123.287} \times 100\ \% = 2.47\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(ก) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(ข) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(ค) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(ง) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(ก) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(ข) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(ค) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.39 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 220 กรัม จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.8

	A 1	A 2	A XA	A RA	B 1	B 2	B XB	B RB
1	117.25	117.11	117.18	0.14	117.94	117.34	117.64	0.6
2	185.31	184.42	184.865	0.89	185.35	184.94	185.145	0.41
3	106.27	107.24	106.755	0.97	106.27	107.28	106.775	1.01
4	153.18	153.46	153.32	0.28	154.83	154.55	154.69	0.28
5	164.44	165.11	164.775	0.67	165.56	165.09	165.325	0.47
6	44.39	45.15	44.77	0.76	44.77	44.78	44.775	0.01
7	192.22	193.02	192.62	0.8	192.31	192.79	192.55	0.48
8	178.34	179.13	178.735	0.79	178.98	179.09	179.035	0.11
9	129.64	128.92	129.28	0.72	128.34	129.12	128.73	0.78
10	88.79	87.86	88.325	0.93	88.08	88.33	88.205	0.25
			1360.625	6.95			1362.87	4.4
			136.0625	0.695			136.287	0.44

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าพิสัย(A)	0.14	0.89	0.97	0.28	0.67	0.76	0.8	0.79	0.72	0.93
ค่าพิสัย(B)	0.6	0.41	1.01	0.28	0.47	0.01	0.48	0.11	0.78	0.25

$$\bar{R} = \frac{0.14 + 0.89 + \ldots\ldots + 0.78 + 0.25}{20}$$

$$= 0.5675 \text{ กรัม}$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.5675 = 1.855$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไป อย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่า น้ำหนักของชิ้นงานเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 1.855 กรัม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.567}{1.128} = 2.59 \text{ กรัม}$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด ± 1.295 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{1360.625}{10} = 136.0625$$

$$\bar{X}_B = \frac{1362.87}{10} = 136.287$$

$$R(\bar{X}) = 136.287 - 136.0625 = 0.2245 \text{ กรัม}$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1, n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.2245}{1.414} = 0.81766 \text{ กรัม}$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.81766^2 - \frac{2.59^2}{20}} = 0.5769 \text{ กรัม}$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ ± 0.64กรัมรอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR \& R = \sqrt{2.59^2 + 0.5769^2} = 2.6546 \text{ กรัม}$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 2.6546 แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 1.327 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XaveA	117.18	184.865	106.755	153.32	164.775	44.77	192.62	178.735	129.28	88.325
XaveB	117.64	185.145	106.775	154.69	165.325	44.775	192.55	179.035	128.73	88.205
TRUE	117.5	185.04	106.53	154.59	164.91	44.62	192.5	178.95	128.03	87.98

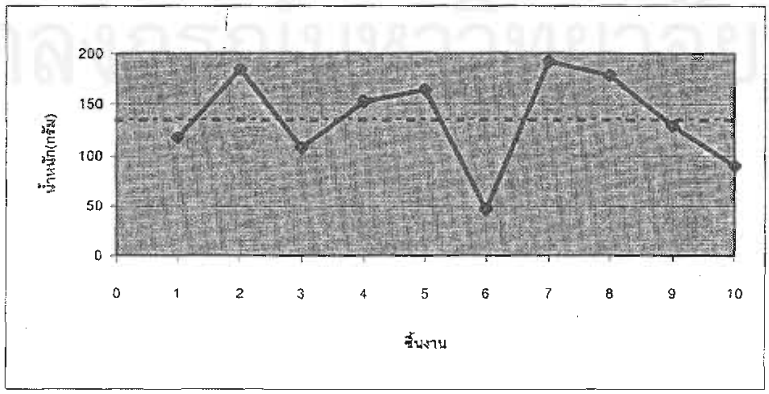
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 137.2417$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 136.1748$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 135.1079$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังรูปที่ 6.50



รูปที่ 6.50 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 220 กรัม

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 192.5 - 44.62 = 147.88 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น $$PV = 5.51 \frac{R_P}{d_2^*}$$

$d_2^* = 3.178$; เมื่อ $k = 1$, $n = 10$ จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51 \frac{147.88}{3.178} = 239.5656 \text{ กรัม}$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR \& R^2 + PV^2} = 239.58 \text{ กรัม}$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{2.6544}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 2.6544\ \%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 กรัม จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 1.3272 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 1.1079\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.40 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 1000 กรัม จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.12

	A 1	A 2	A XA	A RA	B 1	B 2	B XB	B RB
1	527.02	526.65	526.835	0.37	527.34	526.57	526.955	0.77
2	384.47	385.78	385.125	1.31	384.94	384.62	384.78	0.32
3	207.27	206.22	206.745	1.05	207.28	207.28	207.28	0
4	154.55	153.94	154.245	0.61	154.55	153.15	153.85	1.4
5	765.11	764.7	764.905	0.41	765.09	764.99	765.04	0.1
6	645.65	645.66	645.655	0.01	644.78	644.04	644.41	0.74
7	192.47	193.19	192.83	0.72	192.79	192.87	192.83	0.08
8	478.97	478.89	478.93	0.08	479.09	479.23	479.16	0.14
9	128.4	128.13	128.265	0.27	129.12	128.56	128.84	0.56
10	888.48	887.9	888.19	0.58	888.33	887.68	888.005	0.65
			4371.725	5.41			4371.15	4.76
			437.1725	0.541			437.115	0.476

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าพิสัย(A)	0.37	1.31	1.05	0.61	0.41	0.01	0.72	0.08	0.27	0.58
ค่าพิสัย(B)	0.77	0.32	0	1.4	0.1	0.74	0.08	0.14	0.56	0.65

$$\bar{R} = \frac{0.37 + 1.31 + \ldots\ldots + 0.56 + 0.65}{20}$$

$$= 0.5085 \text{ กรัม}$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.5085 = 1.6627$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่า น้ำหนักของชิ้นงานเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 1.6627 กรัม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.5085}{1.128} = 2.321 \text{ กรัม}$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด ± 1.16 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{4371.725}{10} = 437.1725$$

$$\bar{X}_B = \frac{4371.15}{10} = 437.115$$

$$R(\bar{X}) = 437.1725 - 437.115 = 0.0575 \text{ กรัม}$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ k = 1 , n = 2 จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.0575}{1.414} = 0.209 \text{ กรัม}$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.209^2 - \frac{2.321^2}{20}} = 0.3619 \text{ กรัม}$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ ± 0.18กรัมรอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR\&R = \sqrt{2.321^2 + 0.3619^2} = 2.349 \text{ กรัม}$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 2.3496 แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 1.1745 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XaveA	526.835	385.125	206.745	154.245	764.905	645.655	192.83	478.93	128.265	888.19
XaveB	526.955	384.78	207.28	153.85	765.04	644.41	192.83	479.16	128.84	888.005
TRUE	526.92	384.84	205.51	154.59	762.67	644.81	192.75	479.37	128.49	887.89

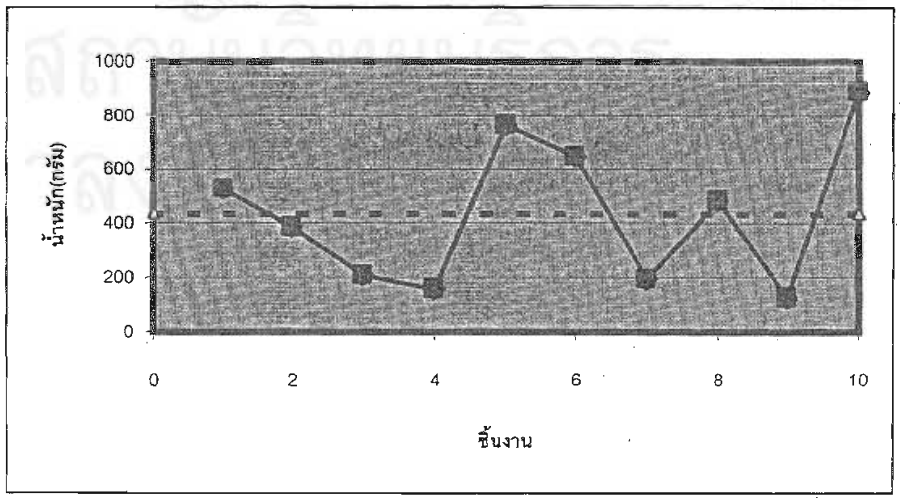
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 137.2417$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 136.1748$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 135.1079$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังรูปที่ 6.51



รูปที่ 6.51 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 1000 กรัม

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 887.89 - 128.49 = 759.4 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น $$PV = 5.51 \frac{R_p}{d_2^*}$$

$d_2^* = 3.178$; เมื่อ $k = 1$, $n = 10$ จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51 \frac{759.4}{3.178} = 230.228 \text{ กรัม}$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR \& R^2 + PV^2} = 1230.23 \text{ กรัม}$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{2.349}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 2.349\ \%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 กรัม จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 1.1745 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 0.19\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.41 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 1200 กรัม จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.16

	A 1	A 2	A XA	A RA	B 1	B 2	B XB	B RB
1	635.02	634.65	634.835	0.37	634.34	635.57	634.955	1.23
2	821.47	820.78	821.125	0.69	821.94	822.62	822.28	0.68
3	354.27	353.22	353.745	1.05	355.28	354.22	354.75	1.06
4	54.55	53.94	54.245	0.61	54.55	53.15	53.85	1.4
5	465.11	464.7	464.905	0.41	465.09	464.99	465.04	0.1
6	645.65	645.66	645.655	0.01	644.78	644.04	644.41	0.74
7	282.47	283.19	282.83	0.72	282.79	282.87	282.83	0.08
8	758.97	758.89	758.93	0.08	759.09	759.23	759.16	0.14
9	978.4	978.13	978.265	0.27	979.12	978.56	978.84	0.56
10	318.48	317.9	318.19	0.58	318.33	317.68	318.005	0.65
			5312.725	4.79			5314.12	6.64
			531.2725	0.479			531.412	0.664

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าพิสัย(A)	0.37	0.69	1.05	0.61	0.41	0.01	0.72	0.08	0.27	0.58
ค่าพิสัย(B)	1.23	0.68	1.06	1.4	0.1	0.74	0.08	0.14	0.56	0.65

$$\bar{R} = \frac{0.37 + 0.69 + \ldots\ldots + 0.56 + 0.65}{20}$$

$$= 0.5715 \text{ กรัม}$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.5715 = 1.868$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่า น้ำหนักของชิ้นงานเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 1.868 กรัม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.5715}{1.128} = 2.609 \text{ กรัม}$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด ± 1.3045 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{5312.725}{10} = 531.2725$$

$$\bar{X}_B = \frac{5314.12}{10} = 531.412$$

$$R(\bar{X}) = 531.412 - 531.2725 = 0.1395 \text{ กรัม}$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1, n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.1395}{1.414} = 0.508 \text{ กรัม}$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.508^2 - \frac{2.609^2}{20}} = 0.48 \text{ กรัม}$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ ± 0.24กรัมรอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR\&R = \sqrt{2.609^2 + 0.48^2} = 2.65 \text{ กรัม}$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 2.65 แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 1.325 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XaveA	634.835	821.125	353.745	54.245	464.905	645.655	282.83	758.93	978.265	318.19
XaveB	634.955	822.28	354.75	53.85	465.04	644.41	282.83	759.16	978.84	318.005
TRUE	635.11	823.56	355.27	54.59	465.74	645.93	283.81	760.35	979.52	318.94

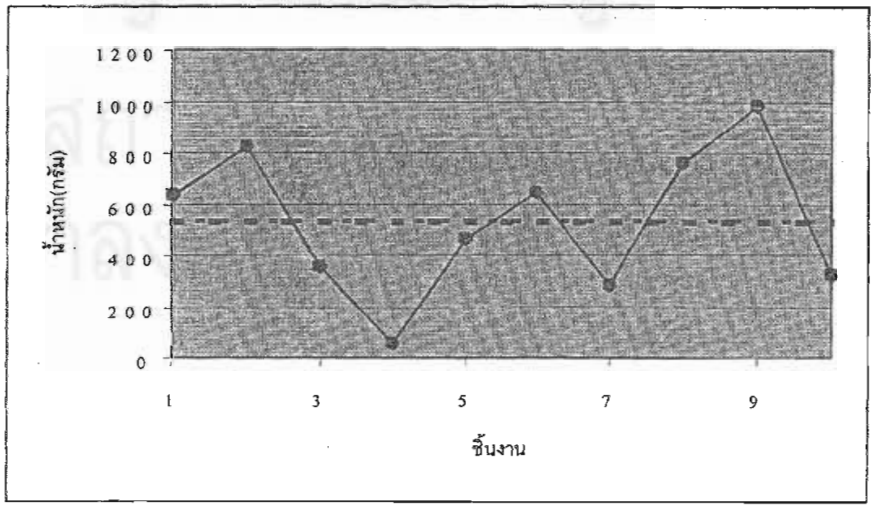
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 532.41$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 531.34$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 530.26$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังรูปที่ 6.52



รูปที่ 6.52 แผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 1200 กรัม

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 979.52 - 54.59 = 924.93 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น $$PV = 5.51 \frac{R_p}{d_2^*}$$

$d_2^* = 3.178$; เมื่อ k = 1 , n = 10 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51 \frac{924.93}{3.178} = 1498.38 \text{ กรัม}$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR \& R^2 + PV^2} = 1498.38 \text{ กรัม}$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{2.653}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 0.177\ \%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 กรัม จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 0.088 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 0.177\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.42 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 3100 กรัม จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.20

	A 1	A 2	A XA	A RA	B 1	B 2	B XB	B RB
1	234.11	236.65	235.38	2.54	235.57	236.47	236.02	0.9
2	420.42	423.78	422.1	3.36	422.62	423.16	422.89	0.54
3	655.24	655.12	655.18	0.12	654.22	654.24	654.23	0.02
4	152.46	153.94	153.2	1.48	153.15	152.38	152.765	0.77
5	1465.11	1464.7	1464.905	0.41	1464.99	1462.97	1463.98	2.02
6	1645.15	1645.66	1645.405	0.51	1644.04	1642.53	1643.285	1.51
7	385.02	383.19	384.105	1.83	382.87	380.42	381.645	2.45
8	557.13	558.89	558.01	1.76	559.23	557.61	558.42	1.62
9	978.92	978.13	978.525	0.79	978.56	977.28	977.92	1.28
10	816.86	817.9	817.38	1.04	817.68	816.52	817.1	1.16
			7314.19	13.84			7308.255	12.27
			731.419	1.384			730.8255	1.227

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าพิสัย(A)	2.54	3.36	0.12	1.48	0.41	0.51	1.83	1.76	0.79	1.04
ค่าพิสัย(B)	0.9	0.54	0.02	0.77	2.02	1.51	2.45	1.62	1.28	1.16

$$\bar{R} = \frac{2.54 + 3.36 + \ldots\ldots + 1.28 + 1.16}{20}$$

$$= 1.3055 \text{ กรัม}$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 1.3055 = 1.4268$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่า น้ำหนักของชิ้นงานเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 1.4268 กรัม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{1.3055}{1.128} = 5.96 \text{ กรัม}$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด ± 2.98 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A' = \frac{7314.19}{10} = 731.419$$

$$\bar{X}_B = \frac{7308.255}{10} = 731.255$$

$$R(\bar{X}) = 731.419 - 731.255 = 0.5935 \text{ กรัม}$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1, n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.5935}{1.414} = 2.1616 \text{ กรัม}$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{2.1616^2 - \frac{5.9039^2}{20}} = 1.7018 \text{ กรัม}$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ ± 0.85กรัมรอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR \& R = \sqrt{5.96^2 + 1.708^2} = 6.198 \text{ กรัม}$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 6.198 แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 3.099 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XaveA	235.38	422.1	655.18	153.2	1464.905	1645.405	384.105	558.01	978.525	817.38
XaveB	236.02	422.89	654.23	152.765	1463.98	1643.285	381.645	558.42	977.92	817.1
TRUE	236.5	423.6	655.31	54.59	1466.52	1647.36	385.41	560.84	979.37	818.69

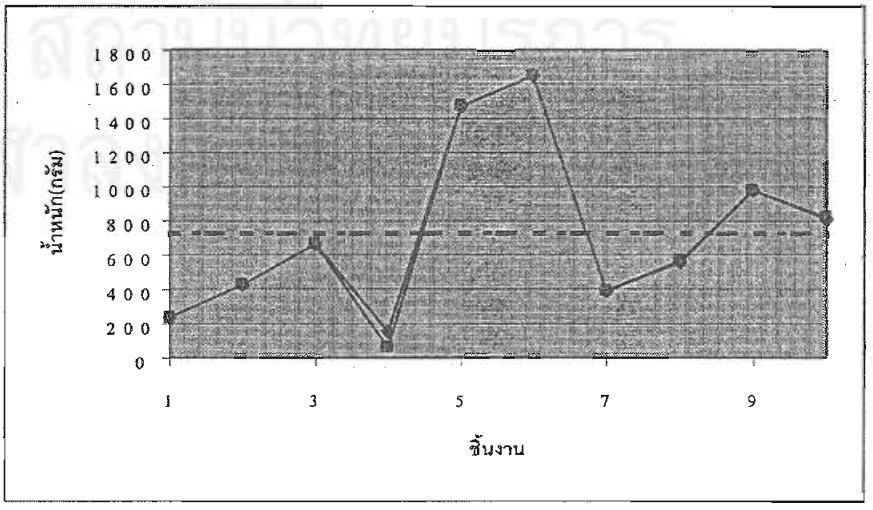
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 733.57$$

$$CL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} = 731.12$$

$$LCL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 728.66$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังรูปที่ 6.53



รูปที่ 6.53 แผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องชั่ง 3100 กรัม

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 1647.36 - 54.59 = 1592.77 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น $$PV = 5.51 \frac{R_P}{d_2^*}$$

$d_2^* = 3.178$; เมื่อ k = 1 , n = 10 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51 \frac{1592.77}{3.178} = 2580.28 \text{ กรัม}$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR \& R^2 + PV^2} = 2580.29 \text{ กรัม}$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{6.198}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 6.198\ \%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 กรัม จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 3.099 กรัม รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

P/TV = 0.24 %

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.43 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (1) จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.24

	A 1	A 2	A XA	A RA	B 1	B 2	B XB	B RB
1	100.6	101.2	100.9	0.6	100.5	101.1	100.8	0.6
2	401.7	400.6	401.15	1.1	401.8	399.9	400.85	1.9
3	602.8	601.9	602.35	0.9	601.2	602.7	601.95	1.5
4	302.8	301.7	302.25	1.1	302.4	301.3	301.85	1.1
5	201.5	200.4	200.95	1.1	201.2	200.4	200.8	0.8
6	500.8	501.3	501.05	0.5	502.1	500.7	501.4	1.4
7	50.6	50.7	50.65	0.1	50.9	50.5	50.7	0.4
			2159.3	5.4			2158.35	7.7
			215.93	0.54			215.835	0.77

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7
ค่าพิสัย(A)	0.6	1.1	0.9	1.1	1.1	0.5	0.1
ค่าพิสัย(B)	0.6	1.9	1.5	1.1	0.8	1.4	0.4

$$\bar{R} = \frac{0.6 + 1.1 + \ldots\ldots + 1.4 + 0.4}{14}$$

$$= 0.935 \ ^{\circ}C$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.935 = 3.059 \ ^{\circ}C$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่า น้ำหนักของชิ้นงานเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 3.059 $^{\circ}C$ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.935}{1.128} = 4.272 \text{ °C}$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด $\pm 2.136^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{2159.3}{7} = 308.4714$$

$$\bar{X}_B = \frac{2158.35}{7} = 308.335$$

$$R_{\bar{X}} = 308.4714 - 308.335 = 0.136 \text{ °C}$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1$, $n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.136}{1.414} = 0.4942 \text{ °C}$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.4942^2 - \frac{4.272^2}{14}} = 0.4812 \text{ °C}$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ $\pm$ 0.24°C รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR \& R = \sqrt{4.272^2 + 0.4812^2} = 4.298 \text{ °C}$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 4.298oC แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 2.149 oC รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7
XaveA	100.9	401.15	602.35	302.25	200.95	501.05	50.65
XaveB	100.8	400.85	601.95	301.85	200.8	501.4	50.7
TRUE	100	400	600	300	200	500	50

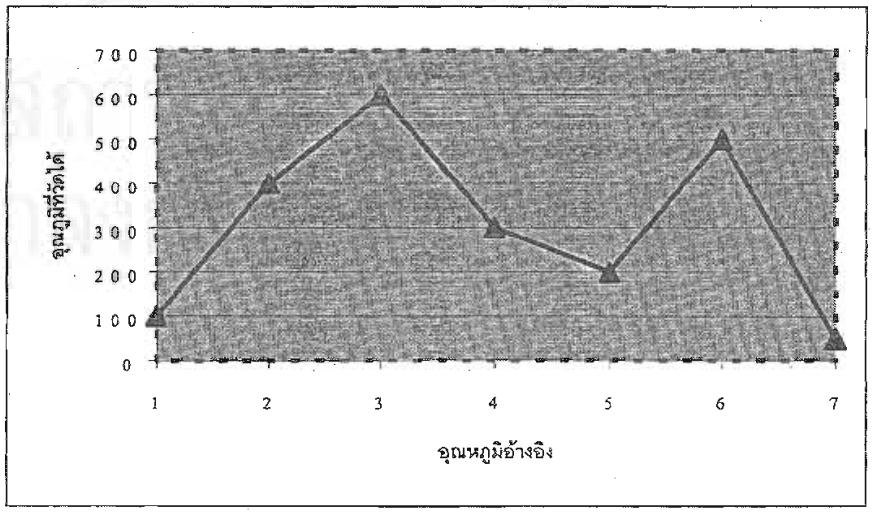
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 310.16$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 308.40$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 306.644$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังรูปที่ 6.54



รูปที่ 6.54 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (1)

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 600 - 50 = 550\ ^{o}C$$

ดังนั้น $$PV = 5.51\ \frac{R_P}{d_2^*}$$

d_2^* = 3.178 ; เมื่อ k = 1 , n = 10 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51\ \frac{550}{3.178} = 891^{o}C$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2} = 891.01\ ^{o}C$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{6.198}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 4.28\ \%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 ^{o}C จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 2.14 ^{o}C รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

P/TV = 0.48 %

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.44 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (2) จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.28

	A 1	A 2	A XA	A RA	B 1	B 2	B XB	B RB
1	503.6	502.4	503	1.2	503.4	502.2	502.8	1.2
2	301.7	302.5	302.1	0.8	302.3	303.6	302.95	1.3
3	50.8	50.7	50.75	0.1	50.5	50.6	50.55	0.1
4	401.8	403.4	402.6	1.6	402.2	401.1	401.65	1.1
5	100.5	101.1	100.8	0.6	101.8	100.9	101.35	0.9
6	202.7	201.9	202.3	0.8	201.5	202.4	201.95	0.9
7	603.2	602.3	602.75	0.9	604.1	602.9	603.5	1.2
			2164.3	6			2164.75	6.7
			309.18143	0.6			309.25	0.67

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7
ค่าพิสัย(A)	1.2	0.8	0.1	1.6	0.6	0.8	0.9
ค่าพิสัย(B)	1.2	1.3	0.1	1.1	0.9	0.9	1.2

$$\bar{R} = \frac{1.2 + 0.8 + \ldots\ldots + 0.9 + 1.2}{14}$$

$$= 0.907\ ^{\circ}C$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.907 = 2.966\ ^{\circ}C$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่าอุณหภูมิของค่าไม่เกิน 2.966 $^{\circ}C$ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.907}{1.128} = 4.141\,^{\circ}C$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด $\pm 2.0705^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{2159.3}{7} = 310.923$$

$$\bar{X}_B = \frac{2158.35}{7} = 309.217$$

$$R_{\bar{X}} = 310.923 - 309.217 = 0.064\ ^{\circ}C$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1, n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.064}{1.414} = 0.2341\ ^{\circ}C$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.2341^2 - \frac{4.141^2}{14}} = 0.2259\ ^{\circ}C$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ$\pm 0.112^{\circ}C$รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR\ \&\ R = \sqrt{4.141^2 + 0.225^2} = 4.147\ ^{\circ}C$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 4.147oC แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 2.0735 oC รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7
XaveA	503	302.1	50.75	402.6	100.8	202.3	602.75
XaveB	502.8	302.95	50.55	401.65	101.35	201.95	603.5
TRUE	500	300	50	400	100	200	600

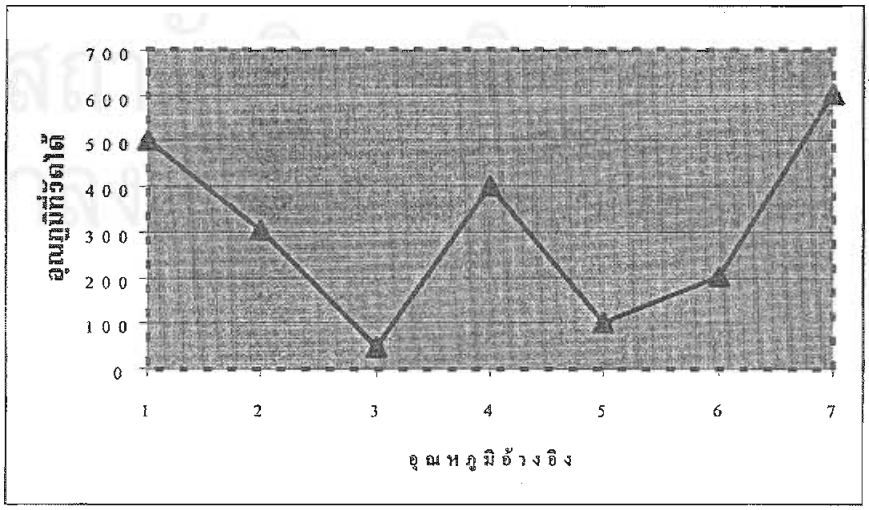
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 310.92$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 309.21$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 307.51$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังรูปที่ 6.55



รูปที่ 6.55 แผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (2)

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 600 - 50 = 550\ ^{\circ}C$$

ดังนั้น

$$PV = 5.51\ \frac{R_P}{d_2^*}$$

$d_2^* = 3.178$; เมื่อ k = 1 , n = 10 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51\ \frac{550}{3.178} = 891^{\circ}C$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2} = 891.01\ ^{\circ}C$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{4.147}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 4.147\%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 $^{\circ}C$ จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 2.0735$^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 0.465\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.45 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (3) จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.32

	A 1	A 2	A XA	A RA	B 1	B 2	B XB	B RB
1	602.4	601.8	602.1	0.6	602.4	603.3	602.85	0.9
2	501.5	502.1	501.8	0.6	501.8	502.9	502.35	1.1
3	200.4	201.6	201	1.2	201.5	201.7	201.6	0.2
4	49.8	49.9	49.85	0.1	50.3	50.1	50.2	0.2
5	100.9	101.1	101	0.2	101.5	101.4	101.45	0.1
6	302.1	301.7	301.9	0.4	301.9	301.7	301.8	0.2
7	402.2	401.3	401.75	0.9	402.6	401.8	402.2	0.8
			2159.4	4			2162.45	3.5
			308.48571 43	0.4			308.92142 86	0.35

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7
ค่าพิสัย(A)	0.6	0.6	1.2	0.1	0.2	0.4	0.9
ค่าพิสัย(B)	0.9	1.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.8

$$\bar{R} = \frac{0.6 + 0.6 + \ldots\ldots + 0.2 + 0.8}{14}$$

$$= 0.535\ ^{\circ}C$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.535 = 1.751\ ^{\circ}C$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่าอุณหภูมิของชิ้นงานเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 1.751 $^{\circ}C$ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.535}{1.128} = 2.445\ ^{\circ}C$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด $\pm 1.2225^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{2159.4}{7} = 308.4857$$

$$\bar{X}_B = \frac{2162.45}{7} = 308.921$$

$$R_{\bar{X}} = 308.921 - 308.4857 = 0.435\ ^{\circ}C$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1, n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.435}{1.414} = 1.586\ ^{\circ}C$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{1.586^2 - \frac{2.4458^2}{14}} = 1.446\ ^{\circ}C$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ$\pm 0.723^{\circ}C$รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR\ \&\ R = \sqrt{2.4458^2 + 1.446^2} = 2.841\ ^{\circ}C$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 2.841oC แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 1.42 oC รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7
XaveA	602.1	501.8	201	49.85	101	301.9	401.75
XaveB	602.85	502.35	201.6	50.2	101.45	301.8	402.2
TRUE	600	500	200	50	100	300	400

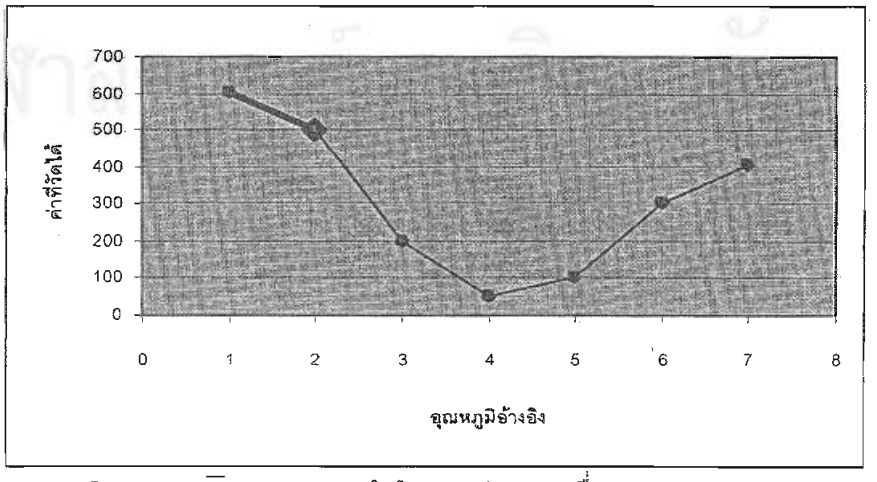
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 309.71$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 308.70$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 307.69$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ดังรูปที่ 6.56



รูปที่ 6.56 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบ (3)

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 600 - 50 = 550\ ^{\circ}C$$

ดังนั้น

$$PV = 5.51\ \frac{R_p}{d_2^*}$$

d_2^* = 3.178 ; เมื่อ k = 1 , n = 10 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51\ \frac{550}{3.178} = 891^{\circ}C$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2} = 891.00\ ^{\circ}C$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{2.841}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 2.841\%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 $^{\circ}C$ จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 1.42$^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 0.318\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.46 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (1) จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.36

	A	A	A	A	B	B	B	B
	1	2	XA	RA	1	2	XB	RB
1	199.8	199.7	199.75	0.1	199.5	199.3	199.4	0.2
2	498.5	498.2	498.35	0.3	499.1	499.5	499.3	0.4
3	699.5	698.8	699.15	0.7	698.1	698.6	698.35	0.5
4	399.3	399.5	399.4	0.2	399.2	399.7	399.45	0.5
5	299.3	299.4	299.35	0.1	299	299.1	299.05	0.1
6	899.7	899.2	899.45	0.5	899.4	899.6	899.5	0.2
7	998.5	997.9	998.2	0.6	999.4	999.3	999.35	0.1
8	599.4	599.1	599.25	0.3	599.6	599	599.3	0.6
9	798.2	797	797.6	1.2	797.8	798.5	798.15	0.7
10	49.8	49.7	49.75	0.1	50.1	49.9	50	0.2
			5440.25	4.1			5441.85	3.5
			544.025	0.41			544.185	0.35

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าพิสัย(A)	0.1	0.3	0.7	0.2	0.1	0.5	0.6	0.3	1.2	0.1
ค่าพิสัย(B)	0.2	0.4	0.5	0.5	0.1	0.2	0.1	0.6	0.7	0.2

$$\bar{R} = \frac{0.1 + 0.3 + \ldots\ldots + 0.7 + 0.2}{20}$$

$$= 0.38\ ^{\circ}C$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.38 = 1.2426\ ^{\circ}C$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่า อุณหภูมิของเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 1.2426 $^{\circ}C$ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.38}{1.128} = 1.734\ ^{\circ}C$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด $\pm 0.1127^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{5440.25}{10} = 544.025$$

$$\bar{X}_B = \frac{5440.25}{10} = 544.185$$

$$R_{\bar{X}} = 544.185 - 544.025 = 0.16\ ^{\circ}C$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1$, $n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.16}{1.414} = 0.582\ ^{\circ}C$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.582^2 - \frac{1.7349^2}{20}} = 0.4348\ ^{\circ}C$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ$\pm 0.2174^{\circ}C$รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR\&R = \sqrt{1.734^2 + 0.434^2} = 1.788\,^{\circ}C$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 1.788oC แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 0.894 oC รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XaveA	199.75	498.35	699.15	399.4	299.35	899.45	998.2	599.25	797.6	49.75
XaveB	199.4	499.3	698.35	399.45	299.05	899.5	999.35	599.3	798.15	50
TRUE	200	500	700	400	300	900	1000	600	800	50

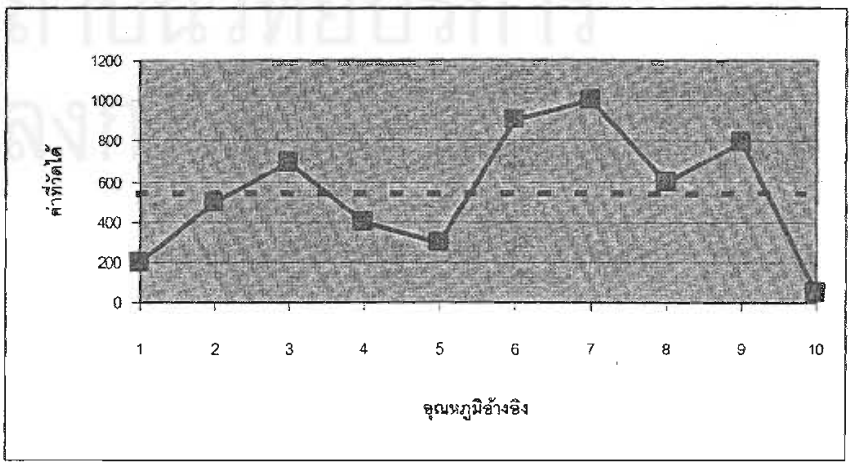
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 544.8$$

$$CL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} = 544.1$$

$$LCL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 543.39$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังรูปที่ 6.57



รูปที่ 6.57 แผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (1)

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 1000 - 50 = 950\ ^{\circ}C$$

ดังนั้น

$$PV = 5.51\ \frac{R_p}{d_2^*}$$

d_2^* = 3.178 ; เมื่อ k = 1 , n = 10 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51\ \frac{950}{3.178} = 1539^{\circ}C$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2} = 1539\ ^{\circ}C$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{1.7885}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 1.788\%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 $^{\circ}C$ จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 0.894$^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 0.1162\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.47 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (2) จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.40

	A	A	A	A	B	B	B	B
	1	2	XA	RA	1	2	XB	RB
1	397.8	398.6	398.2	0.8	397.5	398.7	398.1	1.2
2	298.8	297.5	298.15	1.3	298.5	299.8	299.15	1.3
3	50.1	50.2	50.15	0.1	50.1	50	50.05	0.1
4	199.7	199.3	199.5	0.4	199.8	198.1	198.95	1.7
5	497.3	498.2	497.75	0.9	497.3	498.9	498.1	1.6
6	995.7	996.5	996.1	0.8	995.2	996.7	995.95	1.5
7	597.2	597.9	597.55	0.7	597.5	598.8	598.15	1.3
8	696.9	697.6	697.25	0.7	698.4	697.5	697.95	0.9
9	895.8	896.1	895.95	0.3	897.1	896.3	896.7	0.8
10	797.4	798.6	798	1.2	797.3	796.7	797	0.6
			5428.6	7.2			5430.1	11
			542.86	0.72			543.01	1.1

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าพิสัย(A)	0.8	1.3	0.1	0.4	0.9	0.8	0.7	0.7	0.3	1.2
ค่าพิสัย(B)	1.2	1.3	0.1	1.7	1.6	1.5	1.3	0.9	0.8	0.6

$$\bar{R} = \frac{0.8 + 1.3 + \ldots\ldots + 0.8 + 0.6}{20}$$

$$= 0.91\ ^{\circ}C$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.91 = 2.9757\ ^{\circ}C$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่า อุณหภูมิของเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 2.9757 $^{\circ}C$ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.91}{1.128} = 4.154\ ^{\circ}C$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด $\pm 4.154^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{5428.6}{10} = 542.86$$

$$\bar{X}_B = \frac{5430.1}{10} = 543.01$$

$$R_{\bar{X}} = 543.01 - 542.86 = 0.15\ ^{\circ}C$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

$d_2^* = 1.414$; เมื่อ $k = 1$, $n = 2$ จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.15}{1.414} = 0.546\ ^{\circ}C$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.546^2 - \frac{4.154^2}{20}} = 0.5124\ ^{\circ}C$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ$\pm 0.2562^{\circ}C$รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR\&R = \sqrt{4.154^2 + 0.5124^2} = 4.186\ ^{\circ}C$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 4.186oC แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 2.093 oC รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
XaveA	398.2	298.15	50.15	199.5	497.75	996.1	597.55	697.25	895.95	798
XaveB	398.1	299.15	50.05	198.95	498.1	995.95	598.15	697.95	896.7	797
TRUE	400	300	50	200	500	1000	600	700	900	800

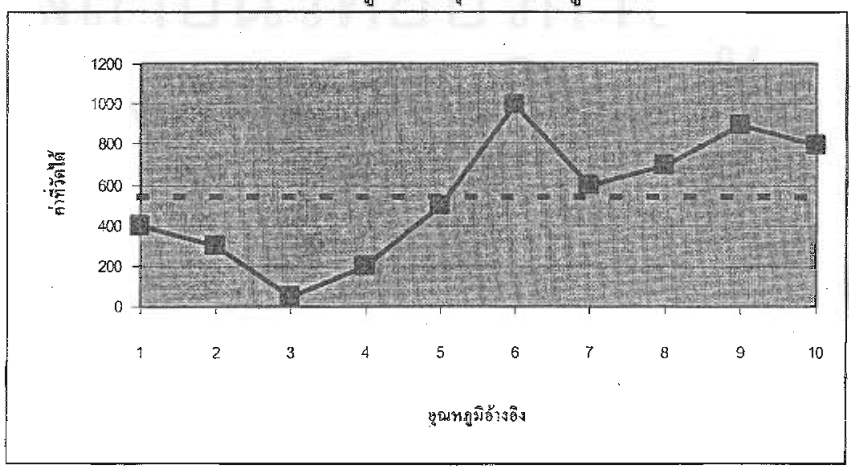
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 544.64$$

$$CL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} = 542.93$$

$$LCL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 541.22$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังรูปที่ 6.58



รูปที่ 6.58 แผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ (2)

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 1000 - 50 = 950\ ^{\circ}C$$

ดังนั้น

$$PV = 5.51\ \frac{R_p}{d_2^*}$$

$d_2^* = 3.178$; เมื่อ k = 1 , n = 10 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51\ \frac{950}{3.178} = 1539^{\circ}C$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2} = 1539\ ^{\circ}C$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{4.186}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 4.186\%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 $^{\circ}C$ จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 2.093$^{\circ}C$ รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 0.272\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.48 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดความดัน (1) จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.44

	A	A	A	A	B	B	B	B
	1	2	XA	RA	1	2	XB	RB
1	21.1	20.8	20.95	0.3	20.4	21.3	20.85	0.9
2	66.3	66.2	66.25	0.1	67.3	66.4	66.85	0.9
3	31.7	31	31.35	0.7	31.1	31.4	31.25	0.3
4	61.8	62.4	62.1	0.6	61.3	61.5	61.4	0.2
5	51.4	51.1	51.25	0.3	50.6	50.9	50.75	0.3
6	40.3	40.5	40.4	0.2	40.7	40.9	40.8	0.2
			272.3	2.2			271.9	2.8
			45.38333	0.366667			45.31667	0.466667

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6
ค่าพิสัย(A)	0.3	0.1	0.7	0.6	0.3	0.2
ค่าพิสัย(B)	0.9	0.9	0.3	0.2	0.3	0.2

$$\bar{R} = \frac{0.3 + 0.1 + \ldots\ldots + 0.3 + 0.2}{12}$$

$$= 0.416 \text{ CmHg}$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.416 = 1.3625 \text{ CmHg}$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่าความดันเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 1.3625 CmHg ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.91}{1.128} = 1.902 \text{ CmHg}$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด ± 0.951 CmHg รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{272.3}{6} = 45.38$$

$$\bar{X}_B = \frac{271.9}{6} = 45.31$$

$$R_{\bar{X}}' = 45.38 - 45.31 = 0.06 \text{ CmHg}$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

d_2^* = 1.414 ; เมื่อ k = 1 , n = 2 จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.06}{1.414} = 0.242 \text{ CmHg}$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.242^2 - \frac{1.902^2}{12}} = 0.22367 \text{ CmHg}$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ±0.1281 CmHg รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR \& R = \sqrt{1.9.2^2 + 0.2236^2} = 1.915 \text{ CmHg}$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 1.9154 CmHg แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 0.9577 CmHg รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6
XaveA	20.95	66.25	31.35	62.1	51.25	40.4
XaveB	20.85	66.85	31.25	61.4	50.75	40.8
TRUE	20	65	30	60	50	40

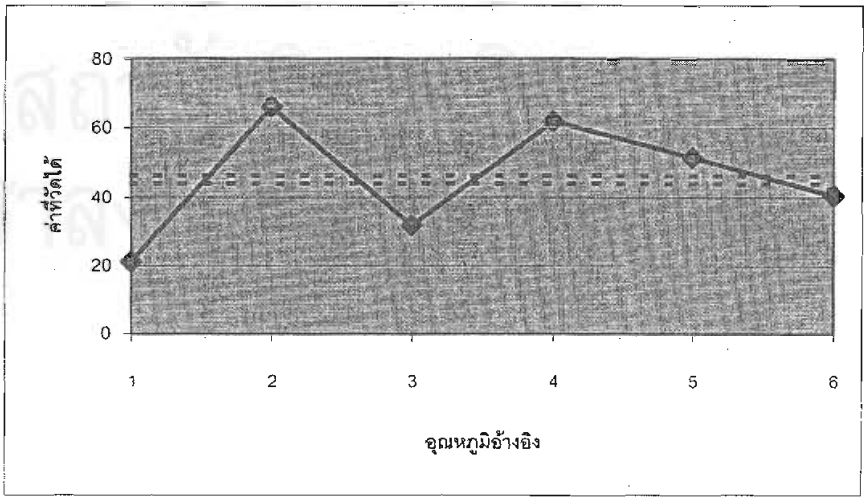
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 46.13$$

$$CL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} = 45.35$$

$$LCL_{\bar{\bar{X}}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 44.56$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังรูปที่ 6.59



รูปที่ 6.59 แผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดความดัน (1)

จากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 65 - 20 = 45 \text{ CmHg}$$

ดังนั้น $$PV = 5.51 \frac{R_p}{d_2^*}$$

d_2^* = 2.669 ; เมื่อ k = 1 , n = 6 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51 \frac{45}{2.669} = 86.805 \text{ CmHg}$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR \& R^2 + PV^2} = 86.826 \text{ CmHg}$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{1.9154}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 1.915\ \%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 CmHg จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 0.95753 CmHg รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 2.206\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

6.1.49 การวิเคราะห์หาคุณสมบัติความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดความดัน (2)
จากข้อมูลการทดลองในตารางที่ 5.48

	A	A	A	A	B	B	B	B
	1	2	XA	RA	1	2	XB	RB
1	62.1	61.9	62	0.2	62.3	61.6	61.95	0.7
2	41.7	41.5	41.6	0.2	41.8	41.7	41.75	0.1
3	52.4	51.8	52.1	0.6	52.1	51.8	51.95	0.3
4	21.5	21.6	21.55	0.1	21.4	21.6	21.5	0.2
5	30.8	31.2	31	0.4	31.7	31.8	31.75	0.1
6	67.2	67.4	67.3	0.2	67.3	67.5	67.4	0.2
			275.55	1.7			276.3	1.6
			45.925	0.283333			46.05	0.266667

(1) วิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลเพื่อแสดงถึงค่า Repeatability ในการวัดดังนี้

ชิ้นงาน	1	2	3	4	5	6
ค่าพิสัย(A)	0.2	0.2	0.6	0.1	0.4	0.2
ค่าพิสัย(B)	0.7	0.1	0.3	0.2	0.1	0.2

$$\bar{R} = \frac{0.2 + 0.2 + \ldots\ldots + 0.1 + 0.2}{12}$$

$$= 0.275 \text{ CmHg}$$

$$UCL_R = D_4\bar{R} = 3.27 \times 0.275 = 0.899 \text{ CmHg}$$

หมายความว่า เมื่อการวัดครั้งนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างและเป็นไปอย่างสุ่ม พบว่า ความแตกต่างของการวัดซ้ำ จากสาเหตุธรรมชาติในการวัดค่าความดันเหล่านี้มีค่าไม่เกิน 0.8995 CmHg ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าค่าที่วัดได้ทุกค่าเป็นไปโดยธรรมชาติ

(2) การคำนาณค่า Repeatability

$$EV = 5.51 \frac{\bar{R}(x)}{d_2}$$

จากตารางในภาคผนวก $d_2 = 1.128$

$$EV = 5.51 \frac{0.275}{1.128} = 1.2555 \text{ CmHg}$$

EV คือค่า Equipment Variation หมายความว่าในการวัดซ้ำด้วยระบบการวัดแบบนี้ จะได้ค่าความผันแปรในการวัด ± 0.6277 CmHg รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(3) การคำนวณค่า Reproducibility

ในการคำนวณค่า Reproducibility จะต้องทำการเฉลี่ยค่า Repeatability ของพนักงานวัด A และ B ออกก่อนจะได้ว่า

$$\bar{X}_A = \frac{275.55}{6} = 45.92$$

$$\bar{X}_B = \frac{276.3}{6} = 46.05$$

$$R_{\bar{X}} = 46.05 - 45.92 = 0.125 \text{ CmHg}$$

$$AV = 5.51 \frac{R(\bar{x})}{d_2^*}$$

AV คือค่า Appraiser Variation เป็นค่าความผันแปรของพนักงานวัดแต่ละคน

d_2^* = 1.414 ; เมื่อ k = 1 , n = 2 จากตารางในภาคผนวก

$$AV = 5.51 \frac{0.125}{1.414} = 0.4552 \text{ CmHg}$$

อย่างไรก็ตาม ค่า AV ที่คำนวณได้ ยังต้องมีการปรับค่าอีก ด้วยการเอาค่า Repeatability ออกไป

$$AV = \sqrt{0.4552^2 - \frac{1.2555^2}{12}} = 0.2755 \text{ CmHg}$$

ค่า AV ที่คำนวณได้ หมายความว่า ในระบบการวัดในการทดลองครั้งนี้ มีความผันแปรเนื่องจากความแตกต่างของพนักงานวัดแต่ละคนเท่ากับ±0.1377 CmHg รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(4) การคำนวณหาค่า Gage Repeatability and Reproducibility - GR&R

$$GR \& R = \sqrt{1.2555^2 + 0.27555^2} = 1.2854 \text{ CmHg}$$

GR&R เป็นการประเมินผลความผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของชิ้นงานซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขใหม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งจากการคำนวณค่า GR&R ได้ 1.2854 CmHg แสดงว่าระบบการวัดที่ทำการทดลองมีความผันแปรโดยรวมเท่ากับ $\pm$ 0.6427 CmHg รอบค่าจริงของชิ้นงาน

(5) การคำนวณหาค่าความผันแปรของกระบวนการ

จากผลการทดลอง สามารถทำการเฉลี่ยเอาค่า Repeatability และค่า Reproducibility ออก เพื่อประมาณค่า ที่แท้จริง ของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นได้ดังนี้

	1	2	3	4	5	6
XaveA	62	41.6	52.1	21.55	31	67.3
XaveB	61.95	41.75	51.95	21.5	31.75	67.4
TRUE	60	40	50	20	30	65

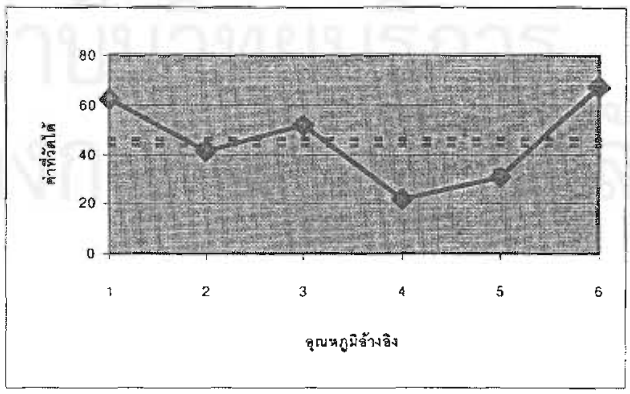
จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยในการวัด ให้ทำการคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL สำหรับแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังนี้

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = 46.5$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = 45.98$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = 45.47$$

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ด้วยแผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ดังรูปที่ 6.60



รูปที่ 6.60 แผนภูมิควบคุม $\bar{\bar{X}}$ ความแม่นยำในการวัดของเครื่องวัดความดัน (2)

จากแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ จะพบว่า ค่าที่วัดได้เฉลี่ย ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ (PV)

$$Rp = 65 - 20 = 45 \text{ CmHg}$$

ดังนั้น

$$PV = 5.51 \frac{R_p}{d_2^*}$$

d_2^* = 2.669 ; เมื่อ k = 1 , n = 6 จากตารางในภาคผนวก

$$PV = 5.51 \frac{45}{2.669} = 86.805 \text{ CmHg}$$

จากนั้นคำนวณหาความผันแปรรวม Total Variation ; TV

$$TV = \sqrt{GR \& R^2 + PV^2} = 86.8145 \text{ CmHg}$$

(6) การประเมินผลระบบการวัด

P / T = Precision – to – Tolerance Ratio ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อแยกแยะงาน ดี หรือเสีย

P / TV = Precision – to – Total Variation ใช้สำหรับประเมินระบบการวัด เพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ

$$P/T = \frac{GR\&R}{UCL - LCL} \times 100\ \%$$

$$P/T = \frac{1.2854}{UCL - LCL} \times 100\ \% = 1.2854\ \%$$

หมายความว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะมีค่า 100 CmHg จะเกิดค่าความผันแปรจาก Repeatability และค่า Reproducibility ± 0.6427 CmHg รอบค่าจริงของชิ้นงาน และ

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \%$$

$$P/TV = 1.4806\ \%$$

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 มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปร แล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในกรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอที่ต้องการการบำรุงรักษา

(2) เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป

(3) อุปกรณ์ในการยึดจับงาน (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์)มีความยืดหยุ่นมากเกินไปอาจจะต้องออกแบบใหม่ หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

(4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับกรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ แสดงว่าอาจจะมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆ เช่น

(1) วิธีการใช้เครื่องมือยังอาจจะมีการกำหนดโดยใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จึงจำเป็นต้องการทบทวนวิธีการ หรือการฝึกอบรมให้พนักงานวัดมีความเข้าใจในการใช้และการอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น

(2) การสอบเทียบทำได้ไม่ดีพอ

(3) การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานทำได้ไม่ดีพอ มีความจำเป็นต้องนำอุปกรณ์จับยึดพวกจิ๊กและฟิกซ์เจอร์เข้ามาช่วย

บทที่ 7

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ระบบการวัด ของโรงงานผลิตเครื่องประดับนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากระบบการวัดน้ำหนัก วัดอุณหภูมิ วัดความดัน และเครื่องวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวเรือนแหวน (กระบองไซค์) แล้วทำการกำจัด หรือลดค่าความคลาดเคลื่อนให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยผลจากการศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

7.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษานี้ ตัวแปรที่สำคัญที่นำมาศึกษาในการวิเคราะห์ระบบการวัดของโรงงานตัวอย่างนี้ คือ ระบบการวัดน้ำหนัก,วัดอุณหภูมิ,วัดความดัน และกระบองไซค์ ประกอบไปด้วย

(1) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	320 กรัม	1 เครื่อง	แผนกออกแบบ
(2) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	220 กรัม	1 เครื่อง	แผนกจัดซื้อ
(3) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	1000 กรัม	1 เครื่อง	แผนกประสานงาน
(4) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	1200 กรัม	1 เครื่อง	แผนกบล๊อกพลอย
(5) เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์	3100 กรัม	1 เครื่อง	แผนกแต่งตัวเรือน
(6) เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์		3 เครื่อง	แผนกแม่พิมพ์
(7) เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหลอมโลหะ		2 เครื่อง	แผนกหล่อ
(8) เครื่องมือวัดความดันเครื่องหล่อแม่พิมพ์		2 เครื่อง	แผนกแม่พิมพ์
(9) กระบองไซค์		27 อัน	แผนกต่างๆ

จากการดำเนินงานทดลองเพื่อทำการประเมินความสามารถของระบบการวัดของโรงงานตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นขั้นตอนการทดลองดังนี้

7.1.1 การประเมินผลด้านความถูกต้อง

(1) การประเมินค่าไบอัส

จากการทดลองเพื่อเป็นการประเมินและวิเคราะห์ในระบบการวัดในเบื้องต้นก่อนที่ทำการประเมินในขั้นตอนอื่นต่อไป โดยที่ระบบการวัดที่เป็นอยู่ในปัจจุบันมีค่าไบอัสอยู่ในค่าที่ยอมรับได้บ้าง บางเครื่องมือ จึงดำเนินการสอบเทียบ และปรับเทียบเครื่องมือวัดทุกเครื่องก่อนที่จะทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 7.1 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าไบอัส

เครื่องมือวัด	% ไบอัส (ก่อนการ Calibrate)	% ไบอัส (หลังการ Calibrate)	% ไบอัส (หลังการใช้งาน 6 เดือน)	ค่า Correction (ค่าแก้)
1.เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม แผนกออกแบบ	1.754	0.956	0.987	0.0153
2.เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม แผนกจัดซื้อ	2.536	1.76	1.83	0.0194
3.เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม แผนกประสานงาน	3.497	2.94	3.14	0.146
4. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์1200 กรัม แผนกบล๊อกพลอย	5.012	4.76	4.85	0.285
5.เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม แผนกแต่งตัวเรือน	5.143	4.95	4.98	0.766
6.เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบ แม่พิมพ์ เครื่องที่ 1	1.69	0.56	1..34	-3.41
7.เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบ แม่พิมพ์ เครื่องที่ 2	1.12	0.08	0.17	0.05
8.เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบ แม่พิมพ์ เครื่องที่ 3	1.38	0.02	0.15	-0.12
9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ เครื่องที่ 1 แผนกหล่อ	1.61	0.26	0.33	2.5
10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ เครื่องที่ 2 แผนกหล่อ	1.42	0.39	0.42	3.78
11 เครื่องมือวัดความดัน เครื่องที่ 1 แผนกแม่พิมพ์	2.45	1.82	1.99	1.184
12 เครื่องมือวัดความดัน เครื่องที่ 2 แผนกแม่พิมพ์	4.91	3.47	3.76	2.54
13 กระบองไซค์ (1)	0.2	0.2	1.8	0.02

14 กระบองไซค์ (2)	0.1	0.1	1.6	0.01
15 กระบองไซค์ (3)	0.1	0.1	6.7	0.01
16 กระบองไซค์ (4)	0.2	0.2	7.4	0.02
17 กระบองไซค์ (5)	0.4	0.4	8.1	0.04
18 กระบองไซค์ (6)	0.1	0.1	10.3	0.01
19 กระบองไซค์ (7)	0.3	0.3	9.5	0.03
20 กระบองไซค์ (8)	0.1	0.1	12.7	0.01
21 กระบองไซค์ (9)	0.2	0.2	13..2	0.02
22 กระบองไซค์ (10)	0.4	0.4	12.4	0.04
23 กระบองไซค์ (11)	0.4	0.4	14.6	0.04
24 กระบองไซค์ (12)	0.1	0.1	11.7	0.01
25 กระบองไซค์ (13)	0.1	0.1	13.5	0.01
26 กระบองไซค์ (14)	0.1	0.1	4.1	0.01
27 กระบองไซค์ (15)	0.1	0.1	3.4	0.01
28 กระบองไซค์ (16)	0.1	0.1	2.9	0.01
29 กระบองไซค์ (17)	0.2	0.2	3.8	0.02
30 กระบองไซค์ (18)	0.2	0.2	2.7	0.02
31 กระบองไซค์ (19)	0.5	0.5	2.4	0.05
32 กระบองไซค์ (20)	0.5	0.5	1.8	0.05
33 กระบองไซค์ (21)	0.1	0.1	2.3	0.01

34	กระบองไซค์ (22)	0.1	0.1	4.1	0.01
35	กระบองไซค์ (23)	0.3	0.3	2.2	0.03
36	กระบองไซค์ (24)	0.2	0.2	2.8	0.02
37	กระบองไซค์ (25)	0.3	0.3	2.1	0.03
38	กระบองไซค์ (26)	0.1	0.1	3.6	0.01
39	กระบองไซค์ (27)	0.7	0.7	4.2	0.07

- ผลจากค่าไบอัส ที่ได้ จะสังเกตเห็นข้อเท็จจริงอย่างแรกคือ เมื่อเครื่องมือวัดมีอายุการใช้งานมากขึ้น ค่าไบอัส จะสูงตามไปด้วย อย่างที่สอง ค่าไบอัสที่ได้ ก่อนการปรับเทียบ จะมีค่าสูงกว่าเครื่องมือวัดที่ได้รับการปรับเทียบแล้ว อย่างที่สามที่น่าเป็นห่วง คือกระบองไซค์ ที่ใช้ในแผนกแต่งตัวเรือน จะมีค่าไบอัสเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายในระยะเวลาเพียง 2-3 เดือน แสดงให้เห็นว่า กระบองไซค์ในแผนกนี้ มีการใช้งานอย่างหนักมาก จำเป็นที่จะต้องจัดหา กระบองไซค์ที่ทำด้วยวัสดุที่มีคุณภาพมากกว่าเดิม
- ค่าปรับแก้ (Correction) ที่ได้จากสอบเทียบ ควรนำไปติดไว้ที่บริเวณเครื่องมือวัดนั้นๆติดตั้งอยู่ เมื่อพนักงานทำการวัดค่า จากชิ้นงานแล้วอ่านค่าได้เท่าไร ให้นำเอาค่า ปรับแก้ (Correction) ของเครื่องมือวัดนั้นๆ เพิ่ม หรือ หักออก จากค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด
- เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม และ เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม ก่อนที่จะทำการสอบเทียบ มี % ไบอัส สูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน > 5 %จึงได้ทำการปรับเทียบ โดยใช้ ฟังก์ชั่น Auto Calibration ซึ่งใน เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ ทุกเครื่อง จะมี ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานติดตั้งมาจากโรงงานผู้ผลิต เมื่อใช้ ฟังก์ชั่น Auto Calibration เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ จะทำการปรับค่าไบอัส ด้วยตัวเอง (Internal Calibration) แต่เนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ 1200 กรัม และ 3100 กรัม เป็นเครื่องที่ใช้งานมาประมาณ 10 ปี จากประสบการณ์ เราก็จะไม่มั่นใจในตุ้มน้ำหนักมาตรฐานติดตั้งมาจากโรงงานผู้ผลิต จึงใช้วิธี External Calibration โดยการใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ที่ส่งไปสอบเทียบกับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ และรู้ค่าปรับแก้ แล้วใช้ ฟังก์ชั่น External Calibration วางตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ลงไปบนกลางจานเครื่องชั่ง เครื่องจะทำการคำนวณ และจำค่าน้ำหนักมาตรฐาน

นั้น ทำให้เครื่องชั่ง สามารถอ่านค่าได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นแต่จากการสอบเทียบ เครื่องชั่ง 1200 กรัม และ 3100 กรัม ปรากฏว่า % ไบอัส ดีขึ้นกว่าเดิมเพียงเล็กน้อย แต่ก็ยังไม่เกินกว่าค่ามาตรฐาน < 5 % จึงได้แนะนำให้ทางโรงงาน ติดค่าปรับแก้ไว้ ที่ตัวเครื่องชั่ง แล้วเมื่อพนักงานทำการวัด น้ำหนักของชิ้นงานด้วยเครื่องชั่งนั้นๆ เมื่ออ่านค่าน้ำหนักได้เท่าไร ก็ให้นำเอาค่าปรับแก้ของเครื่องชั่ง มาเพิ่ม หรือ หักออก (ตามเครื่องหมาย + หรือ - ที่กำกับไว้) จากน้ำหนักที่อ่านได้ จะทำให้อ่านค่าได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

- เครื่องมือวัดความดันสูญญากาศ (Pressure gauge) เครื่องที่ 2 มีปัญหาค่าไบอัสสูง ก่อนการสอบเทียบ ซึ่งสังเกตในเบื้องต้นได้คือ เข็มของเกจ ชี้ไม่ตรงศูนย์ จึงใช้วิธีการปรับศูนย์โดยการใช้เครื่องมือถอดเข็ม แล้วตั้งใหม่ให้ตรง แต่หลังจากปรับศูนย์แล้ว ค่าไบอัส ดีขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงพอสรุปได้ว่า เกจมีอายุการใช้งานมากแล้ว สมควรจัดหาตัวใหม่มาทดแทน เนื่องจากราคาไม่แพงมากนัก
- จากการทดลอง เครื่องมือวัดความดันสูญญากาศ (Pressure gauge) จะสังเกตเห็นว่าขณะเครื่องกำลังทำงาน เข็มของเกจ จะตีไปเกินเต็มสเกล (65 CmHg) จึงเห็นสมควรให้เปลี่ยนย่านวัดใหม่ของเกจให้สูงขึ้น อาจจะเลือกใช้ 100 CmHg ก็ได้ ซึ่งในการใช้งานเครื่องมือวัดใดๆก็ตาม จะต้องคำนึงและหลีกเลี่ยงการวัดที่เกินกว่าย่านวัดที่กำหนด (Over Range)
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ทั้ง 5 เครื่อง ไม่มีปัญหาใดๆ

(2) การประเมินค่าความมีเสถียรภาพ

ตารางที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่เครื่องมือวัดได้รับการสอบเทียบตามกำหนดของโรงงานเทียบกับการประเมินด้วย แผนภูมิควบคุม
(การประมาณค่าในแผนภูมิ 1 วันเท่ากับ 1 เดือน)

ชื่อเครื่องมือวัด		ช่วงเวลาตามกำหนดของโรงงาน	ช่วงเวลาที่ประเมินได้จากแผนภูมิควบคุม
1.เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม	แผนกออกแบบ	12 เดือน	22 เดือน
2.เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม	แผนกจัดซื้อ	12 เดือน	19 เดือน
3.เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม	แผนกประสานงาน	12 เดือน	22 เดือน
4. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์1200 กรัม	แผนกบล๊อกพลอย	12 เดือน	22 เดือน
5.เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม	แผนกแต่งตัวเรือน	12 เดือน	22 เดือน
6.เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์	เครื่องที่ 1	12เดือน	22 เดือน
7.เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์	เครื่องที่ 2	12 เดือน	22 เดือน
8.เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์	เครื่องที่ 3	12 เดือน	22 เดือน

9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ		เครื่องที่ 1 แผนกหล่อ	12 เดือน	22 เดือน
10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ		เครื่องที่ 2 แผนกหล่อ	12 เดือน	22 เดือน
11 เครื่องมือวัดความดัน		เครื่องที่ 1 แผนกแม่พิมพ์	12 เดือน	22 เดือน
12 เครื่องมือวัดความดัน		เครื่องที่ 2 แผนกแม่พิมพ์	12 เดือน	22 เดือน
13 กระบองไซค์	(1)		6 เดือน	12 เดือน
14 กระบองไซค์	(2)		6 เดือน	12 เดือน
15 กระบองไซค์	(3)		6 เดือน	3 เดือน
16 กระบองไซค์	(4)		6 เดือน	3 เดือน
17 กระบองไซค์	(5)		6 เดือน	3เดือน
18 กระบองไซค์	(6)		6 เดือน	3 เดือน
19 กระบองไซค์	(7)		6 เดือน	3 เดือน
20 กระบองไซค์	(8)		6 เดือน	3 เดือน
21 กระบองไซค์	(9)		6 เดือน	3เดือน
22 กระบองไซค์	(10)		6 เดือน	3 เดือน
23 กระบองไซค์	(11)		6 เดือน	3 เดือน
24 กระบองไซค์	(12)		6 เดือน	3 เดือน
25 กระบองไซค์	(13)		6 เดือน	3เดือน
26 กระบองไซค์	(14)		6 เดือน	4 เดือน
27 กระบองไซค์	(15)		6 เดือน	6 เดือน
28 กระบองไซค์	(16)		6 เดือน	6 เดือน
29 กระบองไซค์	(17)		6 เดือน	3เดือน
30 กระบองไซค์	(18)		6 เดือน	6 เดือน
31 กระบองไซค์	(19)		6 เดือน	6 เดือน
32 กระบองไซค์	(20)		6 เดือน	6 เดือน
33 กระบองไซค์	(21)		6 เดือน	4 เดือน
34 กระบองไซค์	(22)		6 เดือน	3 เดือน
35 กระบองไซค์	(23)		6 เดือน	4 เดือน
36 กระบองไซค์	(24)		6 เดือน	4 เดือน
37 กระบองไซค์	(25)		6 เดือน	4 เดือน
38 กระบองไซค์	(26)		6 เดือน	4 เดือน
39 กระบองไซค์	(27)		6 เดือน	4 เดือน

- จากการทดลองได้ทำการหาระยะเวลาที่เครื่องมือต้องได้รับการสอบเทียบได้เหมาะสมตามเวลาและการใช้งานจริงเพื่อให้เครื่องมือวัดมีความถูกต้องและลดความผันแปรของการวัดที่เกิดจากความเสื่อมสภาพของเครื่องมือวัด โดยใช้แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ ในการบันทึกค่าวัดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา เพื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้กำหนดการสอบเทียบแบบคงที่กับการ สอบเทียบเครื่องมือตามระยะเวลาจริง ปรากฏว่าเครื่องมือวัดบางส่วนที่ใช้ในการทดลอง มีช่วงเวลาสอบเทียบยาวนานกว่าช่วงเวลาการสอบเทียบเดิมที่

ถูกต้องและยึดเวลาที่โรงงานต้องจัดหาเครื่องมือวัดอื่นมาทดแทนก่อนถึงเวลาอันควร ถือว่าเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบ แต่สำหรับเครื่องมือวัดที่ถึงเวลาการสอบเทียบก่อนระยะเวลาการสอบเทียบที่คงที่แสดงว่าเครื่องมือดังกล่าวขาดคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพ (โดยเฉพาะกระบองไซค์) ก่อนที่จะได้รับการสอบเทียบ จึงไม่ควรนำเครื่องมือวัดดังกล่าวไปใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานในการผลิต และเป็นประโยชน์ในการป้องกันความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบชิ้นงานที่มาจากเครื่องมือวัดที่ไม่ได้คุณภาพ ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบประกันคุณภาพ

- เครื่องชั่ง ทุกเครื่อง มีความเป็นเสถียรภาพ คือ ไม่มีจุดใด ออกนอกแผนภูมิควบคุม
- ช่วงเวลาที่กำหนดการสอบเทียบ ของโรงงาน 12 เดือน น่าจะเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ถึงแม้การคำนวณล่วงหน้า จะได้ผลออกมา เป็นเวลา 22 เดือน แต่ก็ไม่ได้หมายความว่า จะไม่เกิดความคลาดเคลื่อนหลังจากใช้งานไปแล้วครบ 12 เดือน
- ควรให้พนักงานจัดทำแผนภูมิควบคุม ของเครื่องมือวัดทุกเครื่อง โดยการที่โรงงานจัดหาค่ามาตรฐานให้แก่พนักงาน เช่น พนักงานวัดของเครื่องชั่งจะได้รับตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัม

ทุกวันตอนเช้าก่อนเริ่มปฏิบัติงาน ให้นำ ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 100 กรัม ขึ้นชั่ง ประมาณ 10 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยที่ได้บันทึกลงไปในแผนภูมิควบคุม ทำลักษณะนี้ไปอย่างน้อย 20 วัน ก็พอที่จะทราบสัญญาณเตือนจากเครื่องมือวัดแล้วว่าเกิดผิดปกติอะไรหรือไม่ โดยสังเกตจากแผนภูมิควบคุม ถ้าค่าที่บันทึกได้ในแต่ละวัน ยังคงอยู่ในช่วงการควบคุม ก็แสดงว่าเครื่องมือวัดตัวนั้นยังสามารถใช้งานต่อไปได้ แต่ถ้าหากว่าค่าที่บันทึกได้ มีแนวโน้มที่จะออกนอกแผนภูมิควบคุม ควรจะต้องส่งเครื่องมือนั้น ให้กับแผนกสอบเทียบดำเนินการต่อไป

(3) การประเมินคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

จากการทดลองได้ทำการหาย่านวัดที่ให้ค่าความสัมพันธ์ของค่าไบอัสกับย่านที่ทำการวัด จากการทดลองถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่ใช้ควบคุมเครื่องมือในการวัดชิ้นงานได้ในย่านวัดดังกล่าว เพื่อขจัดความผันแปรที่เกิดขึ้นจากย่านวัดที่ไม่เหมาะสมในการใช้งาน

ตารางที่ 7.3 สรุปผลการประเมินคุณสมบัติเชิงเส้น

เครื่องมือวัด ที่ใช้ในการทดลอง	R^2: ประสิทธิภาพการตัดสินใจ		$F = MS_R/MS_E$	%คุณสมบัติเชิงเส้น ของความผันแปรกระบวนการ
	ก่อน Cal	หลัง Cal		
1. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม แผนกออกแบบ	62.4 %	64.8 %	14.72	0.19 %
2. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม แผนกจัดซื้อ	93.9 %	95.6 %	172.91	0.15 %
3. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม แผนกประสานงาน	70.1 %	72.2 %	20.78	0.2 %
4. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์1200 กรัม แผนกบล๊อกพลอย	94.2 %	95.6 %	84.02	0.35 %
5. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม แผนกแต่งตัวเรือน	54.7 %	56.3 %	10.32	0.139 %
6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องที่ 1	89.8 %	90.9 %	20.12	0.561 %
7. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องที่ 2	88.4 %	94.2 %	32.7	0.35 %
8. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องที่ 3	97.5 %	98.4 %	125.9	0.0.4 %
9 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ เครื่องที่ 1 แผนกหล่อ	85.4 %	87.7 %	28.42	0.188 %
10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ เครื่องที่ 2 แผนกหล่อ	97.3 %	98.7 %	295	0.56 %
11 เครื่องมือวัดความดัน เครื่องที่ 1 แผนกแม่พิมพ์	58.6 %	61.3 %	9.496	0.165 %
12 เครื่องมือวัดความดัน เครื่องที่ 2 แผนกแม่พิมพ์	71.9%	73.8%	16.87	2.66 %

- จากผลสรุปค่าคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้น ของเครื่องมือวัด มีข้อน่าสังเกตดังนี้

(1) % R^2 ของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม มีความผิดปกติ เนื่องจากหลังการสอบเทียบแล้ว ค่า % R^2 = 56.3 % ยังไม่ถึงค่ามาตรฐานที่กำหนด (60 %) ซึ่งในกรณีนี้เกิดจากปัญหาอุปกรณ์ภายในของเครื่องชั่ง (Strain Gage) ซึ่งมีอายุการใช้งานสูงมาก จำเป็นต้องส่งกลับ บริษัทฯผู้ผลิต เพื่อทำการซ่อมแซมก่อน

(2) ควรทำการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง 320 กรัม เนื่องจาก R^2 มีค่า เกิน 60 % เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

(3) กรณีเครื่องมือวัดความดัน ค่า R^2 มีค่า เกิน 60 % เพียงเล็กน้อยเท่านั้น หลังการปรับเทียบ แต่ก็ไม่ทำให้กระบวนการผลิต แม่พิมพ์ปูน ต้องเสียหาย เนื่องจากการทำสูญญากาศ มีความต้องการให้ในตู้ แบบแม่พิมพ์ มีความเป็นสูญญากาศมากที่สุด เพราะฉนั้น เกจวัดความดันตัวนี้จะใช้งานเฉพาะที่ค่าสูงสุด เท่านั้น จึงไม่มีความจำเป็นในเรื่องความเป็นเชิงเส้นของเครื่องมือวัดที่ ต้องทำการวัดค่าตลอดย่านการวัด เหมือนอย่างเครื่องชั่ง แต่ถ้าหากจะเปลี่ยนใหม่ก็ควรที่จะเปลี่ยนย่านวัดใหม่ด้วย เช่น 0–100CmHg แทนตัวเดิม 0–65 CmHg

7.1.2 การประเมินผลด้านความแม่นยำ

ตารางที่ 7.4 สรุปผลการวิเคราะห์ คุณสมบัติ ความแม่นยำของระบบการวัด

เครื่องมือวัด ที่ใช้ในการทดลอง	% EV (Equipment Variation)	% AV (Appraiser Variation)	TV (Total Variation)	% GR&R : (P/TV) (Gage Repeatability and Reproducibility)
1. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 320 กรัม แผนกออกแบบ	2.23 %	1.04 %	123.287	2.47 %
2. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 220 กรัม แผนกจัดซื้อ	1.08 %	0.24 %	239.58	1.1 %
3. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 1000 กรัม แผนกประสานงาน	0.188 %	0.0294 %	1230.23	0.19 %
4. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์1200 กรัม แผนกบล๊อกพลอย	0.174 %	0.032 %	1498.38	0.177 %
5. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ 3100 กรัม แผนกแต่งตัวเรือน	0.23 %	0.265 %	2580.29	0.24 %
6. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องที่ 1	0.479 %	0.054 %	891.01	0.48 %
7. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องที่ 2	0.464 %	0.025 %	891.01	0.465 %
8. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องที่ 3	0.274 %	0.162 %	891.00	0.318 %
9. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ เครื่องที่ 1 แผนกหล่อ	0.112 %	0.028 %	1539	0.1162 %
10. เครื่องมือวัดอุณหภูมิเตาหล่อ เครื่องที่ 2 แผนกหล่อ	0.269 %	0.033 %	1539	0.272 %
11. เครื่องมือวัดความดัน เครื่องที่ 1 แผนกแม่พิมพ์	2.19 %	0.257 %	86.826	2.206 %
12. เครื่องมือวัดความดัน เครื่องที่ 2 แผนกแม่พิมพ์	1.446 %	0.317 %	86.8145	1.48 %

- ในการทดลองครั้งจะนี้ใช้วิธีการหาค่า % GR&R ในการประเมินผลด้านความแม่นยำของระบบการวัด ในการศึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ เพื่อหาแหล่งของความผันแปรที่เกิดขึ้นของทุกเครื่องมือวัดแล้วลดความผันแปรนั้น พบว่าระบบการวัดมีปัญหา ทั้งจากเครื่องมือวัด (Equipment Variation : EV) และจากตัวพนักงานวัด (Appariser Variation : AV) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องแก้ไข ทั้งสองอย่างไปพร้อมๆกัน จะทำอย่างใดอย่างหนึ่งไม่ได้
- ในการแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก Equipment Variation : EV, คืออายุการใช้งานของเครื่องมือวัด นั้นได้ทำการแก้ปัญหาโดยการสอบเทียบเครื่องมือวัดทุกเครื่องที่ทำการศึกษา กับเครื่องมือมาตรฐานที่สามารถสอบกลับไปยัง NIST(National Institute of Stands and Technology)ได้ ทำให้ทราบค่า Correction และยังสามารถคำนวณ หาค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด โดยใช้ทฤษฎี และหลักการของ NAMAS 3003 แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการสอบเทียบแต่ละจุดของเครื่องมือวัด มีราคาค่อนข้างสูง จึงได้ทำการแนะนำให้ทางโรงงาน จัดหา ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน และ เวอร์เนียร์ มาตรฐาน และเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐาน ที่มีใบรับรองแล้วจัดหาบุคลากรที่รับผิดชอบ เครื่องมือวัดในโรงงานโดยเฉพาะ
- จากการใช้งานอย่างหนักของกระบองไซค์ โดยเฉพาะในแผนกแต่งตัวเรือน เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนสูงเกินมาตรฐาน หลังจากใช้งานไปเพียง 6 เดือน จึงได้แนะนำให้พนักงานที่รับผิดชอบลดเวลาการตรวจสอบเครื่องมือวัดกระบองไซค์จาก 6 เดือน เป็น 2-3 เดือน แล้วสังเกตความคลาดเคลื่อนว่าผิดปกติหรือไม่ เนื่องจากกระบองไซค์ ไม่สามารถปรับค่าอะไรได้ ถ้าหากค่าความคลาดเคลื่อนเกินมาตรฐาน 0.1ม.ม. ต้องยกเลิกการใช้งานทันที ส่วนเครื่องมือวัดความดัน เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง ปัญหาจะอยู่ที่เข็ม จะชี้ไม่ตรงศูนย์ ได้ทำการแก้ปัญหาโดยการแนะนำให้พนักงานที่รับผิดชอบ รู้ถึงวิธีการปรับศูนย์ และสุดท้าย เครื่องวัดอุณหภูมิของเตาอบแม่พิมพ์และเตาหล่อ จากการทดลองประเมินว่าไม่พบปัญหาใดๆ ในระยะเวลา 22 เดือน แต่ก็ได้แนะนำไว้ว่า ควรจะทำการสอบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน ทุกๆ 1 ปี เพื่อความมั่นใจในผลของระบบการวัดที่ได้
- ในการแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวพนักงานวัด (Appariser Variation : AV) นั้นได้ทำการแก้ปัญหาโดย ผู้วิจัยเป็นผู้ทำการฝึกอบรมในเรื่องการใช้งานเครื่องมือวัดที่ถูกต้อง และขั้นตอนการสอบเทียบ ตลอดจนวิธีการบำรุงรักษาเพื่อให้เครื่องมือวัดคงสภาพพร้อมใช้งาน รวมถึงการนำผลที่ได้ไปใช้งานให้เป็นประโยชน์ ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหา ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวพนักงานวัดได้
- จากการศึกษาพบ การวัดกระบองไซค์ ด้วยเวอร์เนียร์มาตรฐาน จะเกิดปัญหาในเรื่อง Reproducibility ในส่วนของการใช้มือซ้าย จับกระบองไซค์ แล้วใช้มือขวาจับเวอร์เนียร์ อาจทำให้

เกิดความคลาดเคลื่อนได้ จึงได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดกระบองไซค์ ทำให้เกิดความสะดวกในการวัดกระบองไซค์ ด้วยเวอร์เนียร์

- เนื่องจากเวอร์เนียร์ เป็นเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูง ดังนั้นวิธีการใช้งานที่ถูกต้อง จึงมีความสำคัญอย่างมาก (ดูวิธีการใช้งาน ในบทที่ 8)

7.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและได้ทำการทดลองเครื่องมือวัดที่ได้เลือกมาทำการวิเคราะห์จะปรากฏผลให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ใน 2 ประเด็นหลักคือ

(1) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากอายุการใช้งานของเครื่องมือวัด

(2) ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากพนักงานวัด และวิธีการใช้เครื่องมือวัด

ทางส่วนของโรงงานจำเป็นจะต้องให้ความสำคัญ ในการแก้ปัญหา ทั้งสองประเด็นอย่างจริงจังและต่อเนื่อง โดยจะต้องขจัดความคิดแบบเดิมๆ ที่ว่า เท่าที่ผ่านมาไม่เห็นจะมีปัญหาอะไรเลย แต่พอจะมาจัดการในส่วนนี้ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น แต่ในความเป็นจริงแล้ว การเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์ของโรงงานมีคุณภาพสูงขึ้น การขยายโอกาสทางการตลาดก็สูงตามไปด้วย

7.2.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาเพิ่มเติม

จากข้อกำหนดในระบบประกันคุณภาพ(Quality System Requirement) ของ QS-9000 นั้น ยังมีการวิเคราะห์ในเรื่องอื่นๆอีกที่นอกเหนือจากระบบการวัด ที่เห็นว่าน่าจะมีการศึกษากันต่อไปเช่น

(1) Production Part Approval Process (PPAP)

(2) Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)

(3) Advanced Product Quality Planning & Control Plan (APQP)

(4) Fundamental Statistical Process Control (SPC)

(5) Quality System Assessment (QSA)

บทที่ 8

คู่มือการใช้งาน และการสอบเทียบเครื่องมือวัดในโรงงานตัวอย่าง

8.1 คู่มือการใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์

8.1.1 ในการใช้งานเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ ทั่วไป จำเป็นจะต้องกำหนดความถูกต้องในการวัด ว่ามากน้อยขนาดไหน โรงงานตัวอย่างนี้ กำหนดค่าความถูกต้องไว้ที่ 0.1 กรัม เมื่อนำตัวเรือนแหวนที่เป็นเงิน ที่แกะออกจากแม่พิมพ์แล้ว นำไปชั่ง แล้วอ่านค่าได้ เป็น 312.4 กรัม จะต้องมีความมั่นใจว่าน้ำหนักของ ตัวเรือนแหวนที่เป็นเงิน นั้นมีค่า 312.4 กรัม เครื่องชั่งที่นำมาชั่ง จะต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1/10 ของความละเอียด (ตามมารฐาน ISO-10012) ดังนั้น เครื่องชั่งอิเล็กทอนิกส์ที่นำมาใช้ในโรงงานจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.01 กรัม หรือโดยอนุโลม 1/3 ของความละเอียดถูกต้องที่ต้องการคือ ± 0.03 กรัม

8.1.2 ก่อนที่พนักงานวัดจะใช้เครื่องชั่ง จำเป็นจะต้องรู้ถึงคุณลักษณะสำคัญของเครื่องชั่งนั้นๆ เช่น ค่าน้ำหนักที่สามารถจะชั่งได้สูงสุด ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ และค่าอื่นๆสามารถหาดูได้จาก Specification ของเครื่องชั่งแต่ละเครื่อง เช่น

- **Readability (Resolution)** : ความละเอียดของเครื่องชั่ง หมายถึงน้ำหนักที่น้อยที่สุด ที่เครื่องชั่งสามารถบอกได้ เช่นเครื่องชั่งของโรงงานนี้ มีค่า Readability = 0.01 กรัม เครื่องชั่งสามารถบอกความแตกต่างระหว่างน้ำหนัก 125.32 กรัม กับ 125.33 กรัม ได้ ในขณะที่ เครื่องชั่งที่มีค่า Readability = 0.1 กรัม ไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างน้ำหนักค่านี้ได้ ในทำนองเดียวกัน เครื่องชั่งที่มีค่า Readability = 0.001 กรัม จะมีความสามารถบอกความแตกต่างระหว่างน้ำหนักดังกล่าวได้ละเอียดกว่า แต่ถ้าไม่มีความจำเป็นก็ ไม่สมควรใช้ เนื่องจากสิ้นเปลืองงบประมาณโดยใช่เหตุ

- **Weighing Capacity** : น้ำหนักมากที่สุดที่เครื่องชั่งสามารถรับได้ (ห้ามชั่งน้ำหนักวัสดุซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าค่า Weighing Capacity

- **Repeatability** : ความแตกต่างระหว่างค่ามากสุดกับค่าที่น้อยที่สุด ของการชั่งน้ำหนักซ้ำ อย่างน้อย 6 ครั้ง จากพนักงานวัดคนเดียวกัน

- **Reproducibility** : ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) ของการชั่งน้ำหนักซ้ำอย่างน้อย 10 ครั้ง จากพนักงานวัดตั้งแต่ 2คนขึ้นไป(ตามมาตรฐาน NIS6)

- **Linearity** : ค่าความแตกต่าง (±) ระหว่างค่าที่อ่านได้จากภาคแสดงผลของเครื่องชั่ง กับค่าน้ำหนักจริง (Standard Weights) ที่วางอยู่บนกลางจานของเครื่องชั่ง

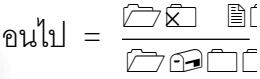
- **Sensitivity drift** : ค่าความคลาดเคลื่อนที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง เมื่ออุณหภูมิบริเวณเครื่องชั่งเปลี่ยนไป เช่น $\pm 2\times10^{-6}$ / °C หรือ 2 ppm / K หมายความว่า ถ้าอุณหภูมิห้องเปลี่ยนไปจากค่าที่ปรับตั้งเครื่อง1°C ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งเครื่องนี้จะคลาดเคลื่อนไป 2 ในล้านส่วน ถ้าหากอุณหภูมิห้องเปลี่ยนแปลงไป 5°C เราสามารถคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของเครื่องชั่งโดยการเทียบสัดส่วน (interpulate) ได้ดังนี้

  อุณหภูมิแปรเปลี่ยนไป 1 °C เครื่องชั่งจะคลาดเคลื่อน = 2 ในล้านส่วน

  อุณหภูมิแปรเปลี่ยนไป 5 °C เครื่องชั่งจะคลาดเคลื่อน = 2×5 ในล้านส่วน

  ถ้าหากพนักงาน ช่างของได้ 200 .00 กรัม ในขณะที่อุณหภูมิห้องแตกต่างจากอุณหภูมิที่ปรับตั้งเครื่องชั่งไว้ 5 °C ค่านำหนักที่ชั่งได้จะคลาดเคลื่อนดังนี้

  ถ้าชั่งได้ 1,000,000 กรัม น้ำหนักจะคลาดเคลื่อนไป ± 10 กรัม

  ถ้าชั่งได้ 200.00 กรัม น้ำหนักจะคลาดเคลื่อนไป = 

  = ±0.002 กรัม

- Tare Range : ช่วงน้ำหนักที่สามารถปรับค่าให้เครื่องชั่งอ่านเป็น 0.00 กรัม เช่นเวลาพนักงานนำเศษเงินที่ถูกตัดตัวเรือนแหวนออกไปแล้ว จะนำมาชั่งเพื่อตรวจสอบน้ำหนักเงินที่ใช้ไปในการผลิต จะต้องใส่ภาชนะมา ถ้าหากพนักงานชั่งน้ำหนักทั้งจานรวมเศษเงินด้วย จะทำให้ ค่าที่อ่านได้ ไม่ใช่ค่าน้ำหนักของเงินเพียงอย่างเดียว จะมีน้ำหนักของจานรวมอยู่ด้วย ดังนั้น พนักงานจะต้อง นำภาชนะจานเปล่า ขึ้นวางบนเครื่องชั่งก่อน แล้ว กดปุ่ม Tare เครื่องจะปรับ ภาคแสดงผลเป็น 0.00 กรัม แล้วให้เทเศษเงิน ใส่ลงในจาน ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง จะเป็นน้ำหนักของเศษเงินเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ควรหลีกเลี่ยงภาชนะที่ทำมาจากพลาสติก ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์ ต่ำกว่า 40% เนื่องจากอาจเกิดไฟฟ้าสถิตได้

8.1.3 การติดตั้ง และการปรับตั้งเครื่องชั่ง

- เนื่องจากอุปการณ์ภายในเครื่องชั่งแต่ละเครื่องประกอบด้วยชิ้นส่วนที่บอบบาง ซึ่งได้รับการออกแบบให้อยู่ในสภาพที่ไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ลม ฝุ่นละออง ความร้อน ดังนั้นสถานที่สำหรับติดตั้งเครื่องชั่งจะต้องเป็นห้องที่สะอาด มิดชิด ปราศจากฝุ่นละออง แสงสว่างพอสมควร อากาศถ่ายเทได้ดี แต่ต้องไม่มีลม ควรมีกรอบกำบังลม ถ้าเป็นห้องสำหรับทำการชั่งที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง จำเป็นต้องทำการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ของห้องที่ติดตั้งเครื่องชั่งนั้น ควรมีประตูเข้า-ออกเพียงด้านเดียว เพื่อหลีกเลี่ยงกระแสลมและฝุ่นละออง ควรมีหน้าต่างน้อยที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงแสงแดดความร้อนจากภายนอก โต๊ะสำหรับวางเครื่องชั่ง จะต้องแข็งแรง มั่นคง ไม่สั่นสะเทือน หรือเอียงได้ง่าย ไม่ควรใช้แผ่นเหล็กทำพื้นโต๊ะ ควรติดตั้งโต๊ะวางเครื่องชั่งบริเวณมุมห้องด้านใน เพราะเป็นบริเวณที่มีความมั่นคงแข็งแรงที่สุดของห้อง และมีการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดด้วย

- การใช้งานและการบำรุงรักษาเครื่องชั่งอย่างถูกวิธี เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้ได้ผลการชั่งที่ถูกต้อง และยืดอายุการใช้งานของเครื่องชั่ง โดยปกติควรปรับเครื่องชั่งให้อยู่ในแนวตั้งอยู่เสมอ (ปรับระดับลูกน้ำให้อยู่ในระดับสมดุล) และควรอุ่นเครื่อง เครื่องชั่งก่อนการใช้งาน หลังเสียบปลั๊กและเปิดสวิทช์ ป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าเครื่องชั่ง ประมาณ 30 นาทีก่อนการใช้งาน หากใช้เครื่องชั่งเป็นประจำควรเสียบปลั๊กตลอดเวลา เมื่อใช้งานเสร็จแล้วเพียงแต่ปิดสวิทช์ โดยเครื่องชั่งยังคงทำงานอยู่ที่ Stand by ซึ่งจะมีกระแสไฟฟ้าเลี้ยงวงจรภายในเครื่องชั่งตลอดเวลา เมื่อใช้งานเครื่องชั่งครั้งต่อไป เพียงแต่เปิดสวิทช์ ก็สามารถใช้งานเครื่องชั่งได้ทันที โดยไม่ต้องอุ่นเครื่องอีก การกระทบกระเทือนเครื่องชั่งอย่างแรงอาจทำให้เครื่องชั่งเสียหายได้ การเคลื่อนย้ายหรือการซ่อมเครื่องชั่งจะต้องกระทำโดยผู้ชำนาญเท่านั้น ตัวเครื่องและบริเวณรอบๆต้องได้รับการดูแลให้สะอาดอยู่เสมอ ผู้ใช้สามารถทำความสะอาดส่วนประกอบภายนอกของเครื่องชั่งได้ แต่ถ้าจำเป็นต้องทำความสะอาดภายในตัวเครื่องชั่ง ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเท่านั้น

- การวางน้ำหนักบนจาน ควรวางสิ่งที่ต้องการชั่งให้เข้าตรงกลางจาน หากมีการหยุดใช้งานเกิน 30 นาที ควรวางสิ่งที่จะชั่งบนจานเครื่องชั่งเป็นช่วงเวลาสั้นๆแล้วยกออกก่อนที่จะชั่งจริง

- การอ่านค่า ควรตรวจสอบดูว่าเครื่องชั่งแสดงค่าเป็น " 0.00 " ก่อนวางสิ่งที่ชั่งบนจานหรือไม่ โดยการปรับ Zero " 0.00 "

- การปรับตั้งเครื่องชั่งโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานซึ่งอยู่ภายในเครื่อง (Internal Calibration) ทำได้โดยใช้ Function ปรับตั้ง (ส่วนมากจะใช้ตัวย่อ CAL) เครื่องชั่งจะใช้ ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องชั่ง ปรับตั้งโดยอัตโนมัติ แต่ถ้าหากว่าเครื่องชั่งผ่านการใช้งานมาเป็นเวลานานควรใช้วิธีที่สองจะดีกว่าเพราะสามารถตรวจสอบได้

- การปรับตั้งโดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานซึ่งอยู่ภายนอกเครื่องชั่ง (External Calibration) ทำได้โดยใช้ Function ปรับตั้ง (ส่วนมากจะใช้ตัวย่อ CAL) และวางตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (Calibration Weight) บริเวณกึ่งกลางของจาน เพื่อให้เครื่องชั่งจำน้ำหนักมาตรฐานได้ ปกติเครื่องชั่งจะแสดงตัวเลขให้เห็นค่าที่เครื่องชั่งจำไว้ ถ้าหากว่าค่าที่เครื่องแสดงให้เห็นแตกต่างจากค่าที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (ต้องคิดค่า Correction ด้วย) จะต้องปฏิบัติดังนี้ ถ้ามีปุ่มปรับตั้ง ให้ปรับตั้งจนตัวเลขที่อ่านจากเครื่องชั่งตรงกับค่าน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ถ้าไม่มีปุ่มปรับตั้ง ให้บันทึกค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่เครื่องชั่งจำไว้กับค่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน และต้องคำนึงถึงเสมอเวลาใช้งานว่าเครื่องชั่งนี้มีค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งเราสามารถคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนนี้ได้ ตัวอย่างเช่น เครื่องชั่งปรับตั้งด้วยน้ำหนักมาตรฐาน 100.00 กรัม และมีค่าแก้ +0.20 กรัม เครื่องชั่งจะมีความคลาดเคลื่อนเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักที่ชั่ง สมมติว่าชั่งของชิ้นหนึ่งด้วยเครื่องชั่งเครื่องนี้อ่านค่าได้ 75.00 กรัม เราสามารถคำนวณหาค่าน้ำหนักที่แท้จริงได้ดังนี้

ถ้าชั่งน้ำหนักได้ 100.00 กรัม น้ำหนักที่ถูกต้อง = 100.20 กรัม

ถ้าชั่งน้ำหนักได้ 75.00 กรัม น้ำหนักที่ถูกต้อง = [illegible]

= 75.15 กรัม

8.2 การสอบเทียบเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

สภาพของเครื่องมือวัดโดยทั่วไปจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการใช้งาน โดยเฉพาะเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความบอบบาง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบสภาพ และสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องชั่งอย่างสม่ำเสมอ โดยในช่วงแรกที่ซื้อเครื่องชั่งมาใช้งานใหม่ๆ ควรจะทำการตรวจสอบ และสอบเทียบทุก 1 ปี (ตามมาตรฐานของ NIS6) ถ้าผ่านไปแล้วประมาณ 3 ปี จะต้องนำเอาข้อมูลการสอบเทียบในอดีตมาวิเคราะห์ว่ามีค่าความเบี่ยงเบนไปมากน้อยแค่ไหน ถ้าหากพบว่าเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ มีการเบี่ยงเบนมาก ก็ควรจะทำการสอบเทียบเครื่องชั่งให้ถี่ขึ้น เช่นทำการสอบเทียบทุกๆ 6 เดือน เป็นต้น

8.2.1 การตรวจสอบลักษณะทั่วไปของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

เป็นการตรวจสอบการทำงานโดยทั่วไปของเครื่องชั่ง ระบบการทำงานของกลไกต่างๆรวมถึงความสะอาดของเครื่องชั่ง หากพบสิ่งผิดปกติจะต้องดำเนินการแก้ไขเบื้องต้น ให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหากไม่สามารถดำเนินการเองได้ควรส่งเครื่องให้บริษัทฯที่เป็นตัวแทนจำหน่ายดำเนินการให้เรียบร้อยก่อนที่จะทำการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

8.2.2 การตรวจสอบความเที่ยงตรงในการวัดซ้ำๆของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ (Repeatability)

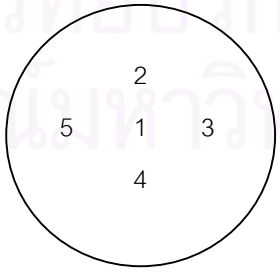
วิธีการที่ใช้ส่วนมากจะใช้มาตรฐานของ NIS6 คือการใช้น้ำหนักสูงที่สุดที่เครื่องชั่งที่สามารถรับได้ หรือใช้น้ำหนักที่ใช้วัดอยู่เป็นประจำ แต่ในกรณีศึกษาครั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจมากขึ้น เราจะเลือกใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 2 ค่า ที่ประมาณไม่เกิน 10 % และไม่ต่ำกว่า 90 % ของ input range(0 – 320 g) ดังนั้นจึงเลือกใช้ ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 10 กรัม+1.25มิลลิกรัม = 10.00125 กรัม และ 300 กรัม – 0.7 มิลลิกรัม = 299.9993 กรัม ชั่งซ้ำหลายๆครั้ง(ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะชั่งทั้งหมด 10 ครั้ง) ภายใต้เงื่อนไขและสภาวะเดียวกัน จากนั้นให้คำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 8.1 Repeatability

ชั่งครั้งที่	ปลายสเกลล่าง(กรัม)	ปลายสเกลบน(กรัม)
1	10.01	299.98
2	10.01	299.97
3	10.00	299.98
4	9.99	299.99
5	10.00	299.98
6	10.01	299.98
7	9.99	299.99
8	10.00	300.01
9	10.01	299.98
10	10.00	299.98
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	0.007888	0.01075

8.2.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน

ส่วนมากจานวางน้ำหนักของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กจะเป็นวงกลม เวลาทำการชั่งน้ำหนักใดๆควรจะต้องวางน้ำหนักให้อยู่ตรงกลางของจาน เนื่องจากแรงที่เกิดจากน้ำหนักจะลงไปตั้งฉากพอดีจะทำให้อ่านค่าได้ถูกต้องมากที่สุด แต่พนักงานบางคนในบริษัทฯ อาจวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน จึงจำเป็นต้องหาความคลาดเคลื่อนสูงสุดในกรณีที่เกิดจากการไม่วางน้ำหนักบนกลางจาน เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) โดยทั่วไปจะใช้ตุ้มน้ำหนักขนาดประมาณ 25-30% ของค่าน้ำหนักสูงสุดที่ชั่งได้ ในกรณีศึกษานี้ได้เลือกใช้ค่า 30 กรัม +0.05 มิลลิกรัม



รูปที่ 8.1 ตำแหน่งการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการวางน้ำหนักไม่ตรงกลางจาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.2 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวางน้ำหนักไม่เข้ากลางจาน

น้ำหนักมาตรฐาน	กลาง(1)	บน(2)	ขวา(3)	ล่าง(4)	ซ้าย(5)
	30.01	30.01	30.01	30.00	30.00
30.00005 กรัม	30.00	30.01	30.01	30.01	30.01
	30.00	30.00	30.01	30.00	30.01
ค่าเฉลี่ย	30.003333	30.006666	30.01	30.003333	30.006666
ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดจากการวางน้ำหนักไม่เข้ากลางจาน = 0.00995 กรัม					

8.2.4 การสอบเทียบเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือวัดไม่ว่าอะไรก็ตามที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จะต้องมีการสอบเทียบเป็นประจำตามกำหนด เพราะเวลาในการใช้งาน ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต, วัสดุที่นำมาใช้ และสภาพแวดล้อม ระยะเวลาการใช้งาน เป็นเหตุผลในการที่จะต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำ อย่างไรก็ดีโดยทั่วไป ในกรณีนี้ถึงแม้ว่าเครื่องมือวัดจะถูกสอบเทียบมาจากโรงงานแล้วก็ตาม แต่ในระหว่างการขนส่งอาจจะทำให้เครื่องมือวัดมีค่าผิดพลาดไปได้ หรือในกรณีที่ต้องเปลี่ยนเครื่องมือวัดใหม่จะต้องทำการสอบเทียบก่อนทุกครั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าหากว่าตำแหน่งของการติดตั้งเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไป เครื่องมือวัดควรจะทำการสอบเทียบ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้ง เพื่อความถูกต้องแม่นยำในการวัด จากมาตรฐานของ NIS6 ควรทำการสอบเทียบเครื่องชั่ง ด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน ที่ทราบค่า Correction และค่า Uncertainty ที่มี Certificate รับรองจากศูนย์สอบเทียบ ที่ได้มาตรฐาน ISO/IEC Guide 25 (17025) ที่มีน้ำหนักห่างกันเป็นช่วงเท่าๆกันไม่น้อยกว่า 10 ช่วง ชั่งตุ้มน้ำหนักมาตรฐานช่วงละอย่างน้อย 3 ครั้ง เมื่อเตรียมตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเรียบร้อยแล้ว ควรทิ้งให้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานและเครื่องชั่งที่จะทำการสอบเทียบอยู่บริเวณเดียวกันให้นานพอที่อุณหภูมิของเครื่องชั่งและตุ้มน้ำหนักมาตรฐานปรับตัวมาเท่ากัน จึงเริ่มต้นดำเนินการตามขั้นตอนการสอบเทียบ และบันทึกผลของการสอบเทียบลงในรายงานผล โดยนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณหาค่าต่างๆที่ต้องการ เพื่อยืนยันว่าเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์เครื่องที่กำลังศึกษานี้ ยังมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินขอบเขตที่ยอมรับได้ (ก่อนทำการชั่งตุ้มน้ำหนักในการสอบเทียบจะต้องปรับ “0” ก่อนทุกครั้ง)

8.3 ข้อควรปฏิบัติในการสอบเทียบ

8.3.1 ตรวจสอบว่า เครื่องมือวัดที่จะทำการสอบเทียบ ต้องมีค่าความถูกต้อง (Accuracy) ต่ำกว่าค่าความถูกต้องของมาตรฐานอ้างอิง (Reference standard) อย่างน้อย 3 เท่า หรือเว้นแต่ได้รับความยินยอมจากลูกค้าให้เป็นอย่างอื่น

8.3.2 ทำความสะอาด เครื่องมือวัดที่จะทำการสอบเทียบ ในกรณีที่มีสิ่งสกปรกหรืออันตราย

8.3.3 ตรวจสอบสภาพของ เครื่องมือวัดที่จะทำการสอบเทียบว่าอยู่ในสภาพพร้อมสำหรับการสอบเทียบหรือไม่

8.3.4 เตรียมความพร้อมของ เครื่องมือวัดที่จะทำการสอบเทียบ ก่อนทำการสอบเทียบตามคำแนะนำของคู่มือ อาทิ เช่น การปรับแต่งอุปกรณ์ สภาพแวดล้อมของการใช้งาน รวมถึงการศึกษาข้อควรระวังหรือข้อควรปฏิบัติแต่ละชนิด

8.3.5 ศึกษาและปฏบัติตามวิธีการสอบเทียบทุกขั้นตอนโดยละเอียดในวิธีปฏิบัติงานสอบเทียบของเครื่องมือแต่ละชนิด

8.3.6 สภาวะแวดล้อมในการสอบเทียบ ควรควบคุมอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการไว้ที่ $23 \pm 2^{\circ}C$ ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของห้องปฏิบัติการไว้ที่ $50 \pm 20\%RH$

8.3.7 วิธีการสอบเทียบใช้วิธีการสอบเทียบโดยการเทียบค่าของ เครื่องมือวัดที่จะทำการสอบ
เทียบกับค่าของตัวมาตรฐานอ้างอิง(Reference standard) ที่สามารถสอบย้อนกลับได้
เครื่องมือวัดที่จะทำการสอบเทียบ

8.3.8 การ Warm up เครื่องมือ ก่อนทำการสอบเทียบจะทำการ Warm up เครื่องมือในห้องปฏิบัติการเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง

8.3.9 ใบรับรองผลการสอบเทียบ ใบรับรองผลการสอบเทียบ (Calibration certificate) จะ
ต้องประกอบไปด้วยข้อมูลอย่างน้อยดังต่อไปนี้

(1) หัวเรื่อง เช่น “ใบรับรองผลการสอบเทียบ” หรือ “Calibration certificate”
(2) ชื่อและที่อยู่ของห้องปฏิบัติการ
(3) การบ่งชี้เฉพาะของใบรับรอง เช่น หมายเลขลำดับ หรือ หมายเลขหน้าและจำนวนหน้าทั้งหมด
(4) ชื่อและที่อยู่ของผู้ใช้บริการ
(5) รายละเอียดและเลขหมายตัวอย่าง
(6) ลักษณะและสภาพตัวอย่าง
(7) วัน เดือน ปี ที่รับตัวอย่างและสอบเทียบ

(8) วิธีสอบเทียบหรือทดสอบที่ใช้

(9) วิธีชักตัวอย่าง (ถ้ามี)

(10) สภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการสอบเทียบ

(11) ผลการวัดซึ่งอาจแสดงด้วยตารางหรือกราฟ

(12) การระบุความไม่แน่นอนของการวัด (Calibration uncertainty)

(13) ลายมือชื่อของผู้ที่ทำการสอบเทียบและผู้อนุมัติ และวัน เดือน ปี ที่ลงชื่อ

(14) ข้อความ “รายงานนี้รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่สอบเทียบเท่านั้น”

(15) ข้อความที่ระบุว่า “ห้ามคัดถ่ายใบรับรองหรือรายงานผล โดยไม่ได้รับอนุญาตจากห้องปฏิบัติการเป็นลายลักษณ์อักษร” นอกจากนี้แล้วยังต้องติดสติกเกอร์ หรือ Lableled ให้กับเครื่องมือที่สอบเทียบเสร็จแล้วด้วย เพื่อสามารถอ้างอิงใบรับรองผลการสอบเทียบได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งในสติกเกอร์ ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

1. ชื่อของบริษัทที่ทำการสอบเทียบ
2. รหัสของอุปกรณ์ (ID.)
3. หมายเลขอุปกรณ์ (Serial No.)
4. วันที่ ที่ทำการสอบเทียบและที่ว่างสำหรับให้ผู้ใช้งานระบุวันที่จะครบรอบการสอบเทียบ
5. ชื่อผู้ที่ทำการสอบเทียบ

8.4 ตัวอย่างรายงานผลการสอบเทียบเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์

ชนิดเครื่องชั่ง : จานเดี่ยว ยี่ห้อ : XYZ Serial No : 123456789

ชั่งได้สูงสุด : 320 กรัม ความละเอียด : 0.01 กรัม

บริษัท เอ บี ซี ดี อาท จำกัด ถนนรังสิต-ปทุมธานี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

วันที่ทำการสอบเทียบ : 26 มิถุนายน 2544

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ : 30 มิลลิกรัม – 300 กรัม , Class F1 , Uncertainty ± 0.01 มิลลิกรัม

Certificate No. SM58/2541 กลุ่มงานทดสอบมาตรฐาน กองชั่งตวงวัด กระทรวงพาณิชย์

อุณหภูมิ : 22 °C ความชื้นสัมพัทธ์ : 51% ผู้สอบเทียบ : นายชัชวาล พรพัฒน์กุล

ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N (กรัม)	ค่าแก้ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน Cs (กรัม)	น้ำหนักที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน N+Cs (กรัม)	ค่าที่อ่านได้ (X) ครั้งที่1 (กรัม)	ครั้งที่2 (กรัม)	ครั้งที่3 (กรัม)	ครั้งที่4 (กรัม)	ค่าเฉลี่ย (กรัม)	* ค่าแก้ของเครื่องชั่ง (กรัม)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D. (กรัม)	U Total (กรัม)
0.03	0.000025	0.030	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.000	0	±0.0057
0.1	0.000008	0.100	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0	±0.0057
0.3	-0.000002	0.299998	0.30	0.30	0.31	0.30	0.3025	-0.002502	0.005	±0.0076

0.5	0.00003	0.50003	0.50	0.50	0.51	0.50	0.5025	-0.00247	0.005	±0.0076
1	-0.000027	0.999973	1.00	1.01	0.99	1.00	1	-2.7E-05	0.008165	±0.0099
10	0.00125	10.00125	10.00	10.00	10.01	10.01	10.005	-0.00375	0.0057735	±0.0081
30	0.00005	30.00005	30.00	30.01	30.00	30.00	30.003	-0.00245	0.005	±0.0076
50	-0.00003	49.99997	50.00	50.00	49.99	50.00	49.998	0.00247	0.005	±0.0076
100	-0.0004	99.9996	99.99	99.99	99.98	99.99	99.9875	0.0121	0.005	±0.0076
200	-0.0006	199.9994	199.99	199.98	199.99	199.97	199.98	0.0169	0.0095743	±0.0111
300	0.00095	300.00095	299.98	299.97	299.98	299.98	299.98	0.02345	0.005	±0.0076

*ค่าแก้ของเครื่องชั่ง = น้ำหนักที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน – ค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้

8.4.1 <u>การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด</u>

<u>(The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement for Calibrations)</u>

การสอบเทียบทุกครั้งจะต้องมีการระบุค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องมือวัดทุกชนิด ตามมาตรฐาน ISO 9000 และ ISO/IEC Guide 25 (17025) ความไม่แน่นอนในการวัด จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของผลการวัด ว่าดีมากน้อยเพียงใด ถ้าผลการวัดที่ได้มาจากเครื่องมือวัดที่มีความไม่แน่นอนน้อย แสดงว่าผลการวัดที่ได้จะมีคุณภาพดี

ซึ่งสามารถประเมินค่า Uncertainty ได้ดังนี้

Type A : เป็นปัจจัยค่าความไม่แน่นอนที่สามารถประเมินด้วยวิธีทางสถิติ (แบบสุ่ม)

Type B: เป็นปัจจัยค่าความไม่แน่นอนทั้งหลายที่สามารถประเมินด้วยวิธีอื่นๆ (แบบระบบ)

โดยทั่วไปขบวนการวัดสามารถกำหนดให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์

$$y = f(x_1, x_2, \ldots\ldots\ldots\ldots, x_n) \qquad (1)$$

- การประเมินค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอน Type A (Type A evaluation of Standard uncertainty)เป็นการประเมินค่าที่ได้จากการวัดซ้ำ หรือการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม ในกรณีศึกษานี้ใช้วิธีการวัดซ้ำ 4 ครั้ง

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k \qquad (2)$$

แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

$$\bar{x} = \frac{1}{4}(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) \qquad (3)$$

การกระจายผลการวัด จากการวัดซ้ำ 4 ครั้ง อาจเกิดความเบี่ยงเบนได้จากเครื่องมือวัด วิธีการวัด และตัวผู้ทำการวัด ดังนั้นการกระจายดังกล่าวสามารถใช้หลักทางสถิติในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation;S)

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2} \qquad (4)$$

ในสมการที่ 4 จะใช้ในกรณีที่ค่า n มีค่ามากๆ แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติเราจะทำการวัดซ้ำ 3 – 4 ครั้งเท่านั้น จึงจำเป็นต้องใช้สมการที่ 5 ในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแทน

หลังจากนั้น คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (The estimated standard deviation of the uncorrected mean of the measurand) ซึ่งถือว่าเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของ

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2} \qquad (5)$$

Type A : U_A

$$s(\bar{x}) \;=\; U_A \;=\; \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} \qquad (6)$$

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของ Type A : U_A ที่ 100 กรัม

น้ำหนักที่ถูกต้องของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน = น้ำหนักที่ระบุตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน + ค่าแก้ของตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

= 100 + (-0.0004) = 99.9996 กรัม

ค่าที่อ่านได้ X_1 = 99.99 กรัม X_2 = 99.99 กรัม X_3 = 99.98 กรัม X_4 = 99.99 กรัม

ค่าเฉลี่ย $\overline{X}$ = <u>99.99 + 99.99 + 99.98 + 99.99</u> = 99.9875 กรัม

4

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{3}\left\{(99.99 - 99.9875)^2 + (99.99 - 99.9875)^2 + (99.98 - 99.9875)^2 + (99.99 - 99.9875)^2\right\}}$$

= 0.005 กรัม

- การประเมินค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอน Type B (Type B evaluation of Standard uncertainty)

ความไม่แน่นอน Type B ประกอบด้วยหลายส่วนเป็นระบบ (Systematic components) เช่น รายงานความไม่

$$s(\bar{x}) \;=\; U_A \;=\; \frac{0.005}{\sqrt{4}} = 0.0025$$

แน่นอนของมาตรฐานอ้างอิง(U_{B1}), เครื่องมือวัดหรือเครื่องมือสอบเทียบ รวมถึงอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ(U_{B2}), ค่าความละเอียดของเครื่องสอบเทียบหรือเครื่องมือวัด(U_{B3}), วิธีและขั้นตอนการดำเนินงานการสอบเทียบ(U_{B4}), ผลกระทบจากสภาวะ แวดล้อม(U_{B5}) ส่วนประกอบของการประเมินค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอน Type B ควรจะต้องแสดงลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็น ในกรณีที่ทราบเฉพาะขอบเขตการกระจายของค่าความไม่แน่นอน โดยไม่ได้กำหนดระดับความเชื่อมั่น ให้ตั้งสมมติฐานว่า ความไม่แน่นอนนี้มีการกระจายความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular probability distribution)ที่ความเชื่อมั่น 100% เช่น resolution หรือ ในกรณีศึกษานี้ตัวเครื่องชั่งสามารถอ่านค่าได้ต่ำสุด 0.01 กรัม

แล้วคำนวณหาค่ากึ่งกลางของขอบเขตค่าที่สามารถอ่านได้ต่ำสุด a_i = 0.01 ÷ 2 = 0.005 กรัม

$$U_{B1} \;=\; \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.002886 \qquad (7)$$

กรณีที่ความไม่แน่นอนถูกกำหนดด้วยระดับของความเชื่อมั่นเช่น 68%,95%หรือ 99%ที่อยู่ในรูปของ coverage factor(K)

K=1,2,3 ตามลำดับ ให้พิจารณาว่าความไม่แน่นอนเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ(Normal probability distribution) เช่นค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ระบุไว้ใน certificate = $\pm$ 0.01 mg = $\pm$ 0.00001 g ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งค่า K = 2

$$U_{B2} = \frac{0.00001}{K} = \frac{0.00001}{2} = 0.000005 \quad (8)$$

ในกรณีศึกษานี้เป็นโรงงานอุตสาหกรรมจึงสามารถตัดค่าความไม่แน่นอนในส่วนอื่นๆที่มีผลน้อยมากทิ้งได้ (U_{B3},U_{B4}=0)

- การประเมินค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอนรวม(Combined Standard uncertainty)

ความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ได้จากการประเมิน Type A และ TypeB สามารถนำมาคำนวณหาค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอนรวมได้จากปริมาณที่วัดทาง Output y = f(x_1,x_2,.....,x_n)

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} c_i^{\,2} u^2(x_i)} \equiv \sqrt{\sum_{i=1}^{n} u_i^{\,2}(y)} \quad , \quad (9)$$

กำหนดให้ C_i เป็นค่า sensitivity coefficient ซึ่งอยู่ในรูปของ partial derivative $\partial f/\partial x_i$ คล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของวัสดุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอนรวมได้จาก

กำหนดให้ U_1เป็นการกระจายแบบปกติ(normal probability distribution , a_1 และ a_3 เป็นลิมิตของการ

$$U_c(y) = \sqrt{\left[\frac{c_1 U_1}{k}\right]^2 + \frac{c_2^{\,2} a_2^{\,2} + c_3^{\,2} a_3^{\,2}}{3} + c_4^{\,2} u^2(x_4)} \quad (10)$$

กระจายแบบ

สี่เหลี่ยม ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ใน Type B เรียบร้อยแล้ว ส่วน $U(x_4)$ จะถูกรวมไว้ใน Type A

ดังนั้นถ้าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีค่าแปรผันตรง(linear) ถ้าพิจารณาใช้ค่าสัมพัทธ์ (relative value) แทนค่าที่มีหน่วย ในหลายกรณีปริมาณ input อยู่ในเทอมสัมพัทธ์แล้ว เช่นอยู่ในรูป % หรือ ppm โดยที่ค่า sensitivity coefficient c_i = 1 ถ้าหากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ไม่แปรผันตรง(non-linear)เช่น y = cx_1^{p1}. x_2^{p2} .....x_n^{pn} ,

$$\frac{U_c(y)}{|y|} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{p_i u(x_i)}{|x_i|}\right]^2} \quad (11)$$

- ความสัมพันธ์ร่วมของปริมาณ input (Correlated input quantities)

ถ้ากำหนดความสัมพันธ์ร่วมของฟังก์ชันระหว่างปริมาณinput $r(x_i,x_j) = u(x_i,x_j) / u(x_i)u(x_j)$ เมื่อ

$-1 \le r(x_i,x_j) \le 1$ ดังนั้นการรวมค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานจากสมการ (9) จะได้ว่า

$$Uc(y) = \sqrt{[c_1 u(x_1) + c_2 u(x_2)]^2 + [c_3 u(x_3)]^2 + ... + [c_n u(x_n)]^2} \quad (12)$$

$$Uc(y) = \sqrt{u_A^{\,2} + u_{B1}^{\,2} + u_{B2}^{\,2}} \quad (13)$$

or

= 0.0038186

$$Uc(y) = \sqrt{0.0025^2 + 0.002886^2 + 0.00005^2}$$

- ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty and Level of confidence)

การสอบเทียบ นอกจากการพิจารณาค่าปริมาณที่วัด ค่าความไม่แน่นอนรวมแล้ว ยังจะต้องพิจารณาระดับความเชื่อมั่น เพื่อที่จะขยายผลของความไม่แน่นอน ในระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ (ในปัจจุบันยอมรับกันที่ประมาณ 95.5%) ระดับความเชื่อมั่นจะมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับค่า coverage factor และค่าองศาอิสระ(degree of freedom) จึงจำเป็นต้องคำนวณหาค่าองศาอิสระ(degree of freedom) เนื่องจากส่วนประกอบความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องวัดใดๆ ขึ้นอยู่กับ ความไม่แน่นอนมาตรฐานของ Type A และความไม่แน่นอนมาตรฐานของ Type B ที่มีการแจกแจงทั้งแบบปกติและแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งทำให้ค่าองศาอิสระแตกต่างกัน ดังนั้นจะต้องพิจารณาหาตัวแทนขององศาอิสระของความไม่แน่นอนรวม โดยใช้สมการ Welch-Satterwaite

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{u_i^4(x_i)}{\nu_i}} \cong \frac{u_c^4}{u_y^4} * \nu_y = \frac{u_c^4}{u_y^4} * n-1 \qquad (14)$$

$$\nu_{eff} = \frac{0.0038186^4}{0.0025^4} * 4-1 = 16.33$$

เมื่อได้ค่า degree of freedom นำไปเปิดตาราง Students' T-Distribution ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% จะได้ค่า coverage factor (K) = 2.12 (ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะใช้ค่าประมาณของ coverage factor,K=2) เพื่อคำนวณหาค่า ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty and Level of confidence)

$$U = kU_c(y) \qquad (15)$$

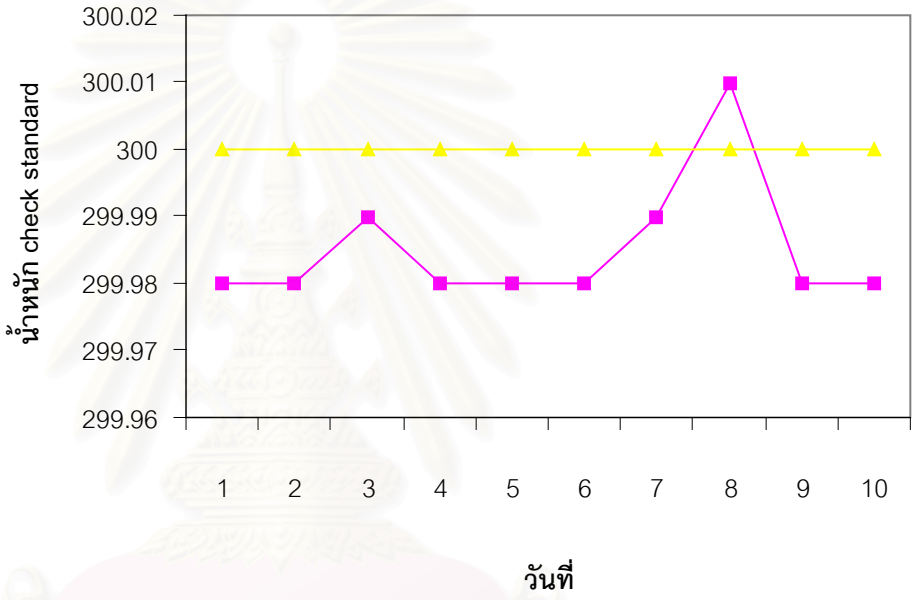
∴ ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded uncertainty and Level of confidence) = 2 * 0.0038186

= ±0.00763 กรัม

8.4.2 การนำรายงานผลการสอบเทียบไปใช้ประโยชน์

หลังจากทำการตรวจสอบ สอบเทียบ และคำนวณค่าความไม่แน่นอนเรียบร้อยแล้ว เราจะได้ข้อมูลใหม่เกี่ยวกับคุณลักษณะต่างๆของเครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ เช่น Repeatability , Linearlity , Accuracy , ความคลาดเคลื่อนการวางน้ำหนักไม่เข้ากลางจาน , ค่าของมาตรฐานความไม่แน่นอนรวมในการวัดน้ำหนักของเครื่องชั่ง ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปใช้เปรียบเทียบกับคุณ

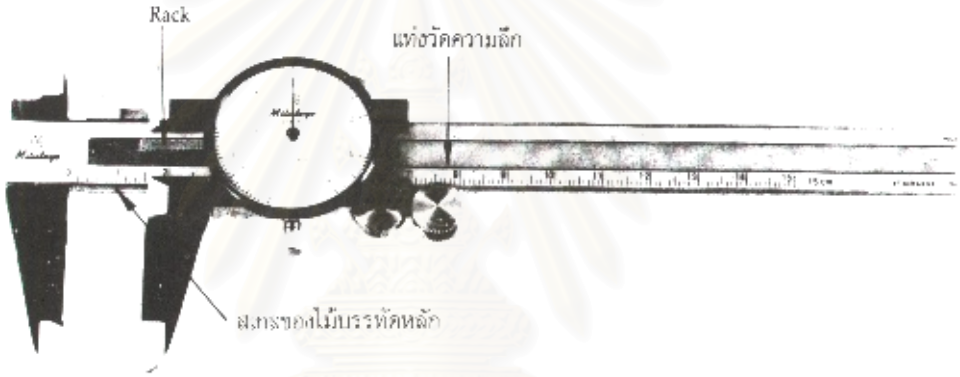
ลักษณะของเครื่องชั่ง และใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีตที่ผ่านมาอย่างน้อย 3 ปี แล้ววิเคราะห์หาค่าความเบี่ยงเบนว่ามีค่ายอมรับได้หรือไม่ ถ้าหากยอมรับไม่ได้จะต้องเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการสอบเทียบให้สั้นลงเช่นจาก 1 ปี
เหลือเพียง 6 เดือน และเพื่อยืนยันว่าเครื่องชั่งเครื่องนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินขอบเขตที่ยอมรับได้ ควรจัดทำ Control chart สำหรับเครื่องชั่งแต่ละเครื่อง โดยการตรวจสอบและบันทึกผลการวัดวันละครั้งหรืออาทิตย์ละครั้งด้วยน้ำหนักมาตรฐาน(check standard) ที่มีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักที่ใช้งานอยู่เป็นประจำ หรืออาจใช้ค่าประมาณ 90% ของค่าสูงสุดก็ได้



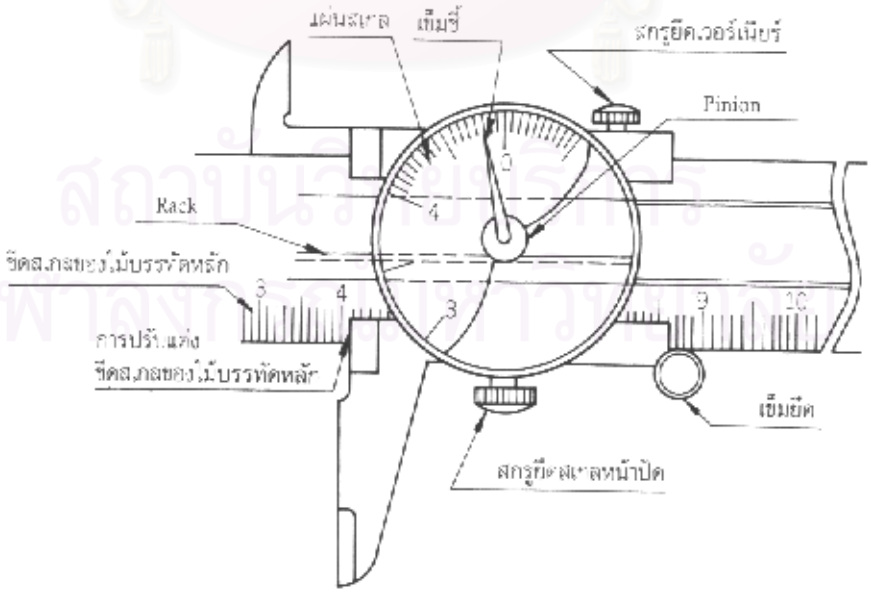
8.5 คู่มือการใช้งาน และการสอบเทียบ เครื่องวัดกระบองไซค์ ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มาตรฐาน เวอร์เนียร์ ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือเวอร์เนียร์ธรรมดา กับ เวอร์เนียร์แบบมีหน้าปัด เวอร์เนียร์แบบมีหน้าปัด ยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ อีกคือเป็นแบบเข็ม (Analog) กับแบบอ่านเป็นตัวเลข (Digital) เนื่องจากโรงงานตัวอย่างนี้ใช้เวอร์เนียร์แบบมีหน้าปัดและเป็นแบบเข็ม(0.02ม.ม.)จึงจะกล่าวถึงเฉพาะเท่านั้น

8.5.1 คู่มือการใช้งาน

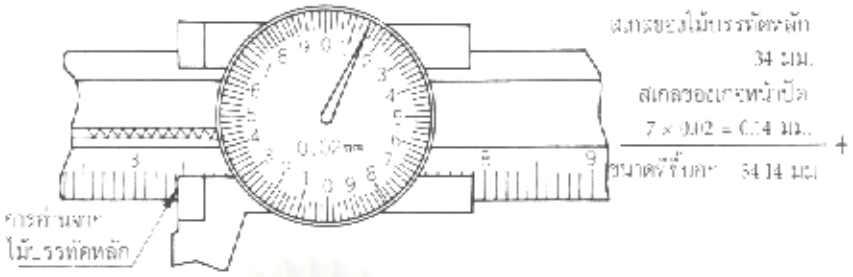
การใช้งานและวิธีการใช้เหมือนกับเวอร์เนียร์ธรรมดา เพียงแต่อ่านขนาดที่เป็นเศษส่วนจากเข็มชี้ ของเกจ ในปัจจุบันมีค่าความละเอียดให้เลือกใช้ตั้งแต่ 0.01 ม.ม. 0.02 ม.ม. และ 0.05 ม.ม.) เนื่องจากโรงงานตัวอย่างนี้ใช้เวอร์เนียร์แบบมีหน้าปัด และเป็นแบบเข็ม ความละเอียด 0.02 ม.ม. ซึ่งหมายความว่า เมื่อเข็มหมุน 1 รอบ จะวัดขนาดได้ 0.02 ม.ม. โครงสร้างและหลักการ จากรูปที่ 7.3 เป็นเวอร์เนียร์แบบมีหน้าปัด และเป็นแบบเข็ม มี Rack ติดอยู่กับส่วนกลางของไม้บรรทัดหลัก ตรง Rack มี Pinion ของเกจขบกันอยู่ และเข็มชี้จะติดอยู่กับ Pinion ถ้าทำให้เวอร์เนียร์เคลื่อนที่ไป จะทำให้ Pinion หมุน ทำให้เข็มเคลื่อนที่ตาม แสดงปริมาณที่เคลื่อนที่ได้ และแผ่นสเกลของเกจหน้าปัดสามารถปรับ ค่าจุดศูนย์ (ก่อนการใช้งานทุกครั้ง) ได้ด้วยสกูรยึดแผ่นสเกล



รูปที่ 8.3 เวอร์เนียร์หน้าปัดแบบเข็ม



รูปที่ 8.4 โครงสร้างของเวอร์เนียร์หน้าปัดแบบเข็ม



รูปที่ 8.5 วิธีการอ่านเวอร์เนียร์หน้าปัด

วิธีการอ่านค่าจากสเกล เนื่องจากโรงงานตัวอย่างนี้ใช้เวอร์เนียร์แบบมีหน้าปัด และเป็นแบบเข็มความละเอียด 0.02 ม.ม. จากรูป 7.5 ขีดสเกลของไม้บรรทัดหลัก อยู่เลย 34 ม.ม.ไปเล็กน้อย จึงอ่านค่าขนาดเบื้องต้นได้ 34 ม.ม. แต่เนื่องจากสเกลของไม้บรรทัดหลักอยู่เลย 34 ม.ม. จึงต้องอ่านค่าของจุดทศนิยม ที่เกิน 34 ม.ม.ว่ามีค่าเท่าไร ขีดสเกลของเกจหน้าปัด 1 รอบมีค่าเท่ากับ 2.00 ม.ม. ให้สังเกตดูว่าเข็มชี้ตรงกับขีดสเกลที่เท่าไรจากตำแหน่ง 0 บนหน้าปัด จากรูป จะเห็นว่าเข็มชี้ ขีดที่ 7 จึงอ่านค่าจากเกจหน้าปัดได้ 7×0.02 = 0.14 ม.ม. ดังนั้นขนาดรวมของชิ้นงานที่วัดได้ คือ 34 + 0.14 = 34.14 ม.ม.

8.5.2 การสอบเทียบกระบองไซค์

จากรูป 3.24 และ 3.25 เป็นเครื่องมือ และวิธีการ การสอบเทียบกระบองไซค์ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) กำหนดช่วงการใช้งานของ กระบองไซค์ ที่ใช้ มากที่สุดในโรงงาน ในที่นี้ จากการศึกษาพบว่า กระบองไซค์ Size 6 (16.51ม.ม.) เป็นขนาดที่โรงงานผลิตมากที่สุด จึงเลือกขนาด 16.51ม.ม. เป็นค่าอ้างอิง

(2) ตรวจสอบก่อนทำการสอบเทียบ โดยสังเกตด้วยตาเปล่าก็จะทราบว่า กระบองไซค์ที่จะนำมาสอบเทียบ สึกหรอมากน้อยแค่ไหน จากการทดลองพบว่า กระบองไซค์ ของแผนกแต่งตัวเรือน มีความสึกหรอค่อนข้างมาก หลังจากใช้งานไปได้เพียง 4 เดือน เนื่องจากการใช้งานอย่างมาก แต่จากการทดลองตรวจสอบด้วย เวอร์เนียร์มาตรฐานของโรงงาน ปรากฏว่า กระบองไซค์ Size 6 (16.51ม.ม.) อ่านค่าเฉลี่ยในการวัด 4 ครั้งได้เพียง 16.34ม.ม. นั้นคือ เกิดค่า ไบอัส = ค่าเฉลี่ยในการวัด – ค่าอ้างอิง = 16.34 - 16.51 = - 0.17ม.ม. ซึ่งเกินกว่าค่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด คือ 0.1ม.ม. ซึ่งไม่มีทางอื่น นอกจากแทงจำหน่ายเท่านั้น

(3) การสอบเทียบกระบองไซค์ ขอแนะนำให้หา อุปกรณ์ในการยึดจับกระบองไซค์

แทนมือซ้าย เพราะจะเหลือมือเพียงข้างเดียว ทำให้อาจเกิดค่าความคลาดเคลื่อนจากพนักงานวัดได้

(4) ใช้เวอร์เนียร์มาตรฐานของโรงงาน ปรับ 0 แล้วทำการวัด กระบองไซค์ ที่จุดอ้างอิง Size 6 (16.51ม.ม.) จำนวน 4 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยในการวัด

(5) คำนวณค่า ไบอัส ตามสูตร ไบอัส = ค่าเฉลี่ยในการวัด – ค่าอ้างอิง แล้วเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานที่โรงงานกำหนด คือ 0.1ม.ม. ถ้าหากว่าค่าไบอัสยังอยู่ในช่วงความผันแปรที่กำหนด ก็สามารถใช้งานกระบองไซค์ อันนั้นต่อไปได้ แต่ถ้าหากว่าค่าไบอัสเกินกว่าช่วงความผันแปรที่กำหนด ก็ไม่สามารถที่จะใช้งานกระบองไซค์ อันนั้นต่อไปได้ (แทงจำหน่าย)

(6) บันทึกข้อมูลต่างๆลงในแบบฟอร์ม เพื่อทำประวัติของ กระบองไซค์ แต่ละเครื่อง พร้อมติดสติกเกอร์ เพื่อให้ทราบถึง ของดีหรือของเสีย โดยใช้สีแดงแทนของเสีย และใช้สีเขียวแทนของดี

8.5.3 คู่มือการใช้งาน และการสอบเทียบ เครื่องวัดอุณหภูมิ

จากกรณีศึกษาโรงงานตัวอย่างนี้ มีเครื่องมือที่เกี่ยวกับอุณหภูมิ อยู่ 5 เครื่อง (เครื่องอบ 3 เครื่อง ,เครื่องหล่อ 2 เครื่อง) จึงได้แนะนำให้ทางโรงงาน จัดหา เครื่องมือวัดอุณหภูมิ แบบมือถือ พร้อม ตัวเซนเซอร์ ชนิดเทอร์โมคับเปิล Type K และส่งสอบเทียบกับห้องปฏิบัติ ภายนอกเพื่อทำให้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือมาตรฐานของโรงงาน มีใบรับรอง สามารถใช้ตรวจสอบเครื่องอบ 3 เครื่อง และเครื่องหล่อ 2 เครื่อง ได้ถูกต้องตามมาตรฐาน

การสอบเทียบเครื่องอบแม่พิมพ์ จะใช้ อุณหภูมิอ้างอิงที่ 650 °C (เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ใช้อบแม่พิมพ์นานที่สุด) หลังจากเครื่องอบแม่พิมพ์ทำงานด้วยตัวดวบคุม(Temperature Controller) ทำการควบคุม อุณหภูมิในเตาอบ จนถึงจุด Setpoint (650 °C) ใช้ เครื่องมือวัดอุณหภูมิ แบบมือถือ พร้อม ตัวเซนเซอร์ ชนิดเทอร์โมคับเปิล Type K มาตรฐาน วัดอุณหภูมิในเตาอบแม่พิมพ์ โดยวิธีการแช่ทิ้งไว้ก่อนอย่างน้อย 20 นาที (อย่าพึ่งบันทึกค่าที่อ่านได้ทันที) หลังจากนั้นให้จดบันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ ทุกๆ 5 นาที อย่างน้อย 10 ค่า (มากกว่านั้นก็จะดี) นำค่าที่บันทึกได้มาหาค่าเฉลี่ยจากการวัด แล้วคำนวณหาไบอัสที่เกิดขึ้น จากการศึกษาใน ครั้งนี้จะเห็นว่า % ค่าไบอัส ของเครื่องอบแม่พิมพ์ มีค่าไม่เกินมาตรฐาน คือ ไม่เกิน 5% จึงสามารถยอมรับระบบการวัดอุณหภูมิของเครื่องอบแม่พิมพ์ ทั้ง 3 เครื่องได้

การสอบเทียบเครื่องหล่อ 2 เครื่อง จะใช้วิธีการ และหลักการเดียวกัน และผลที่ได้ก็เช่นเดียวกัน % ค่าไบอัส ของเครื่องหล่อ มีค่าไม่เกินมาตรฐาน คือ ไม่เกิน 5% จึงสามารถยอมรับระบบการวัดอุณหภูมิของเครื่องหล่อ ทั้ง 2 เครื่องได้

8.5.4 คู่มือการใช้งาน และการสอบเทียบ เครื่องมือวัดความดันสูญญากาศเนื่องจากโรงงานตัวอย่าง มีเครื่องทำสูญญากาศ 2 เครื่อง ติดตั้ง Vacuum Pressure Gauge 4 ตัว แต่ใช้งานจริงได้เพียงเครื่องเดียว แต่ก็เพียงพอ ในการผลิตในปัจจุบัน จึงทำการสอบเทียบ Vacuum Pressure Gauge เพียงแค่ 2 ตัว เนื่องจากการสอบเทียบความดันสูญญากาศ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือสร้างความดันสูญญากาศ มาตรฐาน ซึ่งในปัจจุบัน มีอยู่หลายยี่ห้อ แต่ก็มีราคาค่อนข้างสูงในตัวเลขหกหลัก ถ้าในความเห็นส่วนตัว สำหรับโรงงานนี้ ไม่จำเป็นต้องซื้อเครื่องมือราคาแพง เพื่อเอามาใช้สอบเทียบ Vacuum Pressure Gauge 2 ตัว ในแต่ละปี เห็นควรส่งสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการภายนอก จะเสียค่าใช้จ่าย ถูกกว่า แต่ถ้าหากโรงงานอื่นๆ มีการใช้ Pressure gauge จำนวนมากกว่า 50 ตัวขึ้นไป ก็สมควรที่จะดำเนินการจัดหาเครื่องมือสร้างความดันสูญญากาศ มาตรฐาน มาใช้ จะทำให้ลดค่าใช้จ่าย และเวลา ในการสอบเทียบได้ แต่ในที่นี้ก็จะเขียนถึงขั้นตอนการสอบเทียบไว้ ในกรณีศึกษาโรงงานอื่นๆ

8.5.5 วิธีการสอบเทียบความดัน

(1) ตรวจสอบ Pressure Gauge ก่อนว่า ยังสามารถใช้งานได้อยู่หรือไม่ในเบื้องต้น

(2) ตรวจสอบ ย่านการวัด Pressure Gauge ว่ามีค่า ต่ำสุด และสูงสุดเท่าไร

(3) ตรวจสอบ Pressure Gauge ว่าใช้วัดความดันของอะไร ในกระบวนการผลิตแบบไหน ซึ่งจำเป็นจะต้องเลือกใช้ เครื่องมือมาตรฐานให้ถูกต้องด้วย เพราะเครื่องมือสร้างความดันมาตรฐานมีทั้งระบบ Pneumatic และ ระบบ Hydrolic ถ้าเลือกใช้ไม่ถูก หลังจากการสอบเทียบแล้วนำเอาไปติดตั้งที่เดิมในกระบวนการผลิต อาจทำให้กระบวนการผลิตเกิดความเสียหายได้

(4) ตรวจสอบความละเอียดของสเกล Pressure Gauge ที่สามารถอ่านได้ต่ำสุด หรือดูจาก Class ของ Pressure Gauge บนหน้าปัดได้ เพื่อเลือกเครื่องมือสร้างความดันมาตรฐาน ให้มีค่าความละเอียดในการอ่านมากกว่าอย่างน้อย 3 เท่า เช่น Pressure Gauge ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีค่า Resolution 1 CmHg จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ เครื่องมือสร้างความดันมาตรฐาน ที่มีค่า Resolution อย่างน้อย 0.3 CmHg แต่ในปัจจุบัน เครื่องมือสร้างความดันมาตรฐาน สามารถ วัดได้ละเอียดถึง 0.000125 %

(5) ใช้หลักการ การเปรียบเทียบ ความดันที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องมือสร้าง ความดัน มาตรฐาน รู้ค่าที่แน่นอนจากภาคแสดงผล แล้วป้อนความดันมาตรฐานที่ สร้างขึ้น เข้า Pressure gauge ที่ต้องการ การสอบเทียบ เริ่มจากค่าต่ำสุด จนถึง ค่าสูงสุด (warm up) อย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วจึงเริ่มการสอบเทียบ

(6) สังเกตเข็มของ Pressure gauge ณ จุดเริ่มต้น อยู่ที่ตำแหน่ง 0 หรือเปล่า ถ้าหาก เข็มไม่ชี้ที่ 0 ให้ทำการปรับเข็ม โดยการใช้เครื่องมือถอดเข็ม ซึ่งสามารถทำเองได้ อย่างง่ายๆ ห้ามใช้มือดึงเข็มออกเด็ดขาด อาจทำให้เข็มงอได้ แล้วตั้งเข็มให้ ตรง 0 และกดให้แน่นตามเดิม ขั้นตอนนี้ ถือว่าเป็นการ Zero adjustment

(7) แบ่งสเกลของ Pressure gauge ออกเป็นช่วงๆ เช่น กรณีศึกษานี้ แบ่งสเกลออกเป็น 0, -10 , - 20 , -30 , -40 , -50 , - 60 และ –65 CmHg เริ่มจ่ายความดันให้ กับ Pressure gauge จนกระทั้งเข็มของ Pressure gauge ชี้ที่ 10 CmHg พอดี แล้วอ่านค่าที่ภาคแสดงผลของเครื่องมือสร้างความดันมาตรฐาน ว่าได้ค่าเท่าไร เช่น อ่านค่าจากเครื่องมือสร้างความดันมาตรฐาน ได้ 11.46 CmHg แต่เนื่อง จากเครื่องมือสร้างความดันมาตรฐาน มีค่าความคลาดเคลื่อนด้วยเช่นกัน จาก ใบรับรอง คือ -0.01CmHg ดังนั้นค่าที่ถูกต้องของเครื่องมือสร้างความดันมาตรฐาน คือ 11.45 CmHg แล้วบันทึกค่าไว้ หลังจากนั้น ก็ป้อนความดันเข้า Pressure gauge ตามค่าที่ แบ่งช่วงไว้ แล้วทำการคำนวณ % ไบอัส ดูว่าเกินกว่าค่ามาตรฐาน 5% หรือไม่ จากการศึกษา หลังการปรับ Zero adjustment แล้วทั้ง 2เครื่อง ปรากฏว่า มีค่าไบอัสไม่เกินค่ามาตรฐาน จึงยอมรับได้

8.6 มาตรฐานหาได้ไม่ยากหากรู้จักหลักการ

เครื่องมือวัดใด ๆ ก็ตาม สร้างมาจากหลักการทางทฤษฎีทางฟิสิกส์ไฟฟ้า วิทยาศาสตร์ที่เราได้ เรียนกันมาแล้วทั้งสิ้น หากเรามองเครื่องมือแล้วคิดย้อนกลับไปถึงหลักการดังกล่าว เราจะสามารถประยุกต์การทำงานต่างๆ ได้อย่างหลากหลายรวมถึงการแก้ปัญหาในเรื่องง่าย ๆ อย่างเรื่องสอบเทียบนี้ได้ ซึ่งช่างทั้งหลายควรพยายามฝึกฝนให้เป็นนิสัย มิใช่เพียงแต่ใช้งานตามที่ผู้ผลิตเสนอให้เท่านั้น ซึ่งเป็นเพียงการยกตัวอย่างการใช้งาน วันนี้ท่านฝึกการสอบเทียบแล้วหรือยัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ . การออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการ. กรุงเทพฯ: วารสารวิศวกรรมสาร, 2533.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ . การประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพนอกสายการผลิต . กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2534.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ . สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2539.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ . สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 2540.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.เอกสารทางวิชาการเรื่องเครื่องมือวัดและการควบคุมขบวนการผลิตในอุตสาหกรรม(ม.ป.ท.):2540.

วิทยา ทิพย์สุวรรณพร. เครื่องมือวัดและการวัดทางไฟฟ้า. (เอกสารประกอบการสอน). กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า,2539.

สมนึก เลียบมา . การรับประกันคุณภาพชิ้นงานวัตถุดิบก่อนกระบวนการผลิตในโรงงานประกอบด้วยผลิตภัณฑ์หัวอ่านและบันทึกหน่วยความจำแบบจานแม่เหล็กแข็ง.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

สมภพ ตลับแก้ว. การกำหนดวิธีการควบคุมการแปรผันในระบบการวัด โดยใช้ Gage Repeatability and Reprobucibility (GR&R). วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). บทบาทมาตรวิทยาต่อการพัฒนาคุณภาพสู่สหัสวรรษใหม่.กรุงเทพฯ,2543.

ภาษาอังกฤษ

Automative Industry Action Group (AIAG) Measurement System Analysis (MSA).2nd ed. Michigan,USA.1995.

Automative Industry Action Group (AIAG) Quality Aystem Assessmint (QSA). Michigan, USA.1994.

Chrysler Corporation,Ford Motor Company,General MotorCoporation. Measurement Systems Analysis. Second edition, USA.1995.

Dan Fairchild. Experimental Designs. Quality Engineering, USA. 1997

Ernest O.Doebelin. Engineering Measurement Systems. Fourth edition, USA.1990.

Eurachem. Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. 1st Edition, England.1995.

ISO. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement,prepared by ISO Technical Advisory Group 4 (TAG 4). International Organization for Standardization,Geneva,Switzerland. 1993.

ISO. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology. International Organization for Standardization . 2nd Edition, Geneva Switzerland. 1993.

John P Bentley. Principles of Measurement Systems. Third edition,USA. 1995.

Juran J.M.. Juran ' s Quality Handbook .Quality Engineering, USA.1988.

K.N. Anand . Improving The Yield of Selica Gel in a Chemical Plant. Quality Engineering, USA.1997.

Melissa L.Bowles & Douglas C.Montgomery. How to Formulate the Ultimate Margarita : A Tutorial on Experiments with Mixtures. Quality Engineering, USA. 1997.

Montgomery D.C. Introduction to Statistical Quality Control 3rd ed, New York, USA.1996.

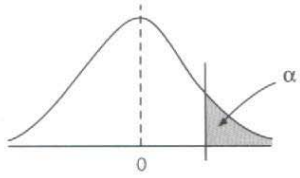
NAMAS executive. The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement with Particular Reference to Electrical measurement. Edition 8, NAMAS Document NIS3003. Teddington.UK.,National Physical Laboratory. 1995.

Teresa Lopez-Alvarez & Viator Aguirre – Torres. Improving Field Performance by Sequential Experimentation : A Successful Case Study in The Chemical Industry. Quality Engineering, USA.1997.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

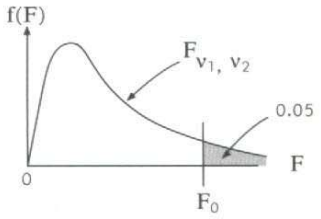
ตารางที่1 ค่า t ภายใต้ความน่าจะเป็น α ที่มากกว่าค่าที่กำหนด



ν \ α	.40	.25	.10	.05	.025	.01	.005	.0025	.001	.0005
1	.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	.289	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	23.326	31.598
3	.277	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	.271	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	.267	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.869
6	.265	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	.263	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	.262	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	.261	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	.260	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144	4.587
11	.260	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	.259	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	.259	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	.258	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	.258	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	.258	.690	1.337	1.746	2.210	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	.257	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	.257	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	.257	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3..174	3.579	3.883
20	.257	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	.257	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	.256	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	.256	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	.256	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	.256	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	.256	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	.256	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2..771	3.057	3.421	3.690
28	.256	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	.256	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	.256	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	.255	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	.254	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	.254	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
∞	.253	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ค่า F ภายใต้ความน่าจะเป็น 0.05 ที่มากกว่าค่าที่กำหนด



v_2 \ v_1	DF ของตัวตั้ง; v_1																		
DF ของตัวหาร; v_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

ตารางที่ 3 ค่า d_2^* สำหรับการประมาณค่า σ โดย $\bar{R}$

k = จำนวนกลุ่มย่อยที่ใช้คำนวณ $\bar{R}$ ν = องศาความอิสระของ $\bar{R}$

n = ขนาดของกลุ่มย่อย d_2 = พิกัดของ d_2^*

d_2^* = ตัวปรับค่าความเอนเอียงสำหรับ $\bar{R}$

Δν = ส่วนเพิ่มขององศาความอิสระต่อกลุ่มย่อยที่เพิ่มขึ้น

	n = 2		n = 3		n = 4		n = 5		n = 6	
k	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*
1	1.0	1.414	2.0	1.906	2.9	2.237	3.8	2.477	4.7	2.669
2	1.9	1.276	3.8	1.806	5.7	2.149	7.5	2.404	9.2	2.603
3	2.9	1.227	5.7	1.767	8.4	2.120	11.1	2.378	13.6	2.580
4	3.7	1.206	7.5	1.749	11.2	2.105	14.7	2.365	18.1	2.569
5	4.6	1.189	9.3	1.738	13.9	2.096	18.4	2.358	22.6	2.562
6	5.5	1.179	11.1	1.731	16.6	2.090	22.0	2.352	27.1	2.557
7	6.4	1.172	12.9	1.726	19.4	2.086	25.6	2.349	31.5	2.554
8	7.2	1.167	14.8	1.722	22.1	2.082	29.3	2.346	36.0	2.552
9	8.1	1.163	16.6	1.718	24.8	2.080	32.9	2.344	40.5	2.550
10	9.0	0.159	18.4	1.716	27.6	2.078	36.5	2.342	44.9	2.548
11	9.9	1.157	20.2	1.714	30.3	2.076	40.1	2.341	49.4	2.547
12	10.8	1.154	22.1	1.712	33.0	2.075	43.7	2.339	53.8	2.546
13	11.6	1.152	23.9	1.711	35.8	2.073	47.4	2.338	58.4	2.545
14	12.5	1.151	25.7	1.709	38.5	2.072	51.0	2.337	62.8	2.544
15	13.4	1.149	27.5	1.708	41.3	2.071	54.6	2.337	67.3	2.543
16	14.2	1.148	29.3	1.707	44.0	2.071	58.2	2.336	71.7	2.543
17	15.1	1.147	31.1	1.707	46.8	2.070	61.8	2.335	76.2	2.542
18	16.0	1.145	33.0	1.706	49.5	2.069	65.5	2.335	80.6	2.542
19	16.9	1.145	34.8	1.705	52.3	2.069	69.1	2.334	85.1	2.541
20	17.7	1.144	36.6	1.705	55.0	2.068	72.7	2.334	89.6	2.541
21	18.6	1.143	38.4	1.704	57.7	2.068	76.3	2.333	94.0	2.541
22	19.5	1.143	40.2	1.704	60.5	2.068	80.0	2.333	98.5	2.540
23	20.4	1.142	42.1	1.703	63.2	2.067	83.6	2.333	103.0	2.540
24	21.2	1.141	43.9	1.703	65.9	2.067	87.2	2.333	107.4	2.540
25	22.1	1.141	45.7	1.702	68.7	2.066	90.8	2.332	111.9	2.540
Δν	0.88		1.82		2.74		3.62		4.47	
d_2		1.128		1.693		2.059		2.326		2.534

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 (ต่อ)

	n = 7		n = 8		n = 9		n = 10		n = 11	
k	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*
1	*5.5*	2.827	*6.3*	2.961	*7.0*	3.076	*7.7*	3.178	*8.4*	3.268
2	*10.8*	2.767	*12.3*	2.905	*13.8*	3.024	*15.2*	3.129	*16.5*	3.221
3	*16.1*	2.746	*18.3*	2.886	*20.5*	3.006	*22.6*	3.112	*24.6*	3.205
4	*21.3*	2.736	*24.4*	2.876	*27.3*	2.997	*30.1*	3.104	*32.7*	3.197
5	*26.6*	2.729	*30.4*	2.870	*34.0*	2.992	*37.5*	3.098	*40.9*	3.192
Δν	*5.26*		*6.03*		*6.75*		*7.46*		*8.13*	
d_2		2.704		2.847		2.970		3.078		3.173

	n = 12		n = 13		n = 14		n = 15		n = 16	
k	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*
1	*9.0*	3.348	*9.6*	3.423	*10.2*	3.490	*10.8*	3.552	*11.4*	3.610
2	*17.8*	3.304	*19.0*	3.380	*20.2*	3.449	*21.3*	3.513	*22.5*	3.571
3	*26.6*	3.289	*28.4*	3.365	*30.2*	3.435	*31.9*	3.499	*33.6*	3.558
4	*35.3*	3.281	*37.8*	3.358	*40.2*	3.428	*42.4*	3.492	*44.7*	3.552
5	*44.1*	3.276	*47.2*	3.354	*50.2*	3.424	*52.9*	3.488	*55.8*	3.548
Δν	*8.77*		*9.39*		*9.90*		*10.57*		*11.11*	
d_2		3.258		3.336		3.407		3.472		3.532

	n = 17		n = 18		n = 19		n = 20		n = 21	
k	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*
1	*11.9*	3.663	*12.4*	3.713	*12.9*	3.760	*13.4*	3.805	*13.9*	3.846
2	*23.6*	3.626	*24.6*	3.677	*25.6*	3.725	*26.5*	3.770	*27.5*	3.812
3	*35.2*	3.613	*36.8*	3.665	*38.2*	3.713	*39.6*	3.759	*41.1*	3.801
4	*46.9*	3.607	*48.9*	3.659	*50.9*	3.707	*52.7*	3.753	*54.7*	3.795
5	*58.5*	3.603	*61.1*	3.655	*63.6*	3.704	*65.9*	3.749	*68.4*	3.792
Δν	*11.66*		*12.17*		*12.66*		*13.12*		*13.62*	
d_2		3.588		3.640		3.689		3.735		3.788

	n = 22		n = 23		n = 24		n = 25		n = 30	
k	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*
1	*14.3*	3.886	*14.8*	3.923	*15.2*	3.959	*15.6*	3.994	*16.9*	4.147
2	*28.4*	3.853	*29.3*	3.891	*30.2*	3.927	*31.0*	3.963	*33.5*	4.116
3	*42.5*	3.841	*43.8*	3.880	*45.1*	3.917	*46.3*	3.952	*50.1*	4.106
4	*56.5*	3.836	*58.3*	3.875	*60.1*	3.911	*61.7*	3.947	*66.7*	4.101
5	*70.6*	3.833	*72.8*	3.871	*75.1*	3.908	*77.1*	3.944	*83.3*	4.098
Δν	*14.07*		*14.51*		*14.96*		*15.36*		*16.6*	
d_2		3.819		3.858		3.895		3.931		4.086

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 แฟกเตอร์ปรับค่าแบบไม่เอนเอียงในการประมาณค่า σ

ขนาดกลุ่มย่อย	d_2	c_2	c_4	ขนาดกลุ่มย่อย	d_2	c_2	c_4
2	1.128	0.5642	.7979	21	3.778	0.9638	.9876
3	1.693	0.7236	.8862	22	3.819	0.9655	.9882
4	2.059	0.7979	.9213	23	3.858	0.9670	.9887
5	2.326	0.8407	.9400	24	3.895	0.9684	.9892
6	2.534	0.8686	.9515	25	3.931	0.9695	.9896
7	2.704	0.8882	.9594	30	4.086	0.9748	.9915
8	2.847	0.9027	.9650	35	4.213	0.9784	.9927
9	2.970	0.9139	.9693	40	4.322	0.9811	.9936
10	3.078	0.9227	.9727	45	4.415	0.9832	.9943
11	3.173	0.9300	.9754	50	4.498	0.9849	.9949
12	3.258	0.9359	.9776	60	4.639	0.9874	.9957
13	3.336	0.9410	.9794	70	4.755	0.9892	.9963
14	3.407	0.9453	.9810	80	4.854	0.9906	.9968
15	3.472	0.9490	.9823	90	4.939	0.9916	.9972
16	3.532	0.9523	.9835	100	5.015	0.9925	.9975
17	3.588	0.9551	.9845				
18	3.640	0.9576	.9854				
19	3.689	0.9599	.9862				
20	3.735	0.9619	.9869				

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แฟกเตอร์ปรับค่า d_2, c_2, c_4 ข้างบนนี้ ใช้สำหรับปรับค่าเพื่อไม่ให้เกิดความเอนเอียงสำหรับการประมาณค่า σ โดยใช้ตัวสถิติพิสัย รากที่สองของความเบี่ยงเบนกำลังสองโดยเฉลี่ย (RMS) และความเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยลำดับ

ตารางที่ 5 ค่าคงที่สำหรับแผนภูมิควบคุมแบบผันแปร

ขนาดกลุ่มย่อย	แผนภูมิ $\bar{X}$ - R			แผนภูมิ $\bar{X}$ - S		
n	A_2	D_3	D_4	A_3	B_3	B_4
2	1.880	-	3.267	2.659	-	3.267
3	1.023	-	2.574	1.954	-	2.568
4	0.729	-	2.282	1.628	-	2.266
5	0.577	-	2.114	1.427	-	2.089
6	0.483	-	2.004	1.287	0.030	1.970
7	0.419	0.076	1.924	1.182	0.118	1.882
8	0.373	0.136	1.864	1.099	0.185	1.815
9	0.337	0.184	1.816	1.032	0.239	1.761
10	0.308	0.223	1.777	0.975	0.284	1.716
11	0.285	0.256	1.744	0.927	0.321	1.679
12	0.266	0.284	1.716	0.886	0.354	1.646
13	0.249	0.308	1.692	0.850	0.382	1.618
14	0.235	0.329	1.671	0.817	0.406	1.594
15	0.223	0.348	1.652	0.789	0.428	1.572
16	0.212	0.364	1.636	0.763	0.448	1.552
17	0.203	0.379	1.621	0.739	0.466	1.534
18	0.194	0.392	1.608	0.718	0.482	1.518
19	0.187	0.404	1.596	0.698	0.497	1.503
20	0.180	0.414	1.586	0.680	0.510	1.490
21	0.173	0.425	1.575	0.663	0.523	1.477
22	0.167	0.434	1.566	0.647	0.534	1.466
23	0.162	0.443	1.557	0.633	0.545	1.455
24	0.157	0.452	1.548	0.619	0.555	1.445
25	0.153	0.459	1.541	0.606	0.565	1.435
สูตรคำนวน	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$ $UCL_{\bar{R}} = D_4\bar{R}$ $CL_{\bar{R}} = \bar{R}$ $LCL_{\bar{R}} = D_3\bar{R}$			$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$ $UCL_S = B_4\bar{S}$ $CL_S = \bar{S}$ $LCL_S = B_3\bar{S}$		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธีอาศัยค่าพิสัย)

หมายเลขและชื่อชิ้นส่วน_____ ชื่อเครื่องมือ_____ วัน/เดือน/ปี _____

พารามิเตอร์ _____ หมายเลขเครื่องมือ_____ ผู้ศึกษา_____

ข้อกำหนดเฉพาะ_____ ประเภทเครื่องมือ_____

สิ่งตัวอย่าง	พนักงาน A	พนักงาน B	พิสัย (A – B) (R)
1			
2			
3			
4			
5			
		ผลรวมของพิสัย (ΣR)	

ค่าเฉลี่ยของพิสัย ($\bar{R}$) $= \frac{\Sigma R}{5} = ____ = ____$

ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด (gage error) $= 4.33\ \bar{R}$

$= 4.33 \times ____$

$= ____$

% ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด $= \frac{\text{Gage Error}}{\text{Tolerance}} \times 100\%$

$= ____ \times 100\%$

$= ____$ *

*เกณฑ์พิจารณา

ถ้า % ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดไม่เกิน 20% ถือว่าสามารถยอมรับได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$)

หมายเลขและชื่อชิ้นส่วน_____ ชื่อเครื่องมือ _____ วัน/เดือน/ปี _____

พารามิเตอร์_____ หมายเลขเครื่องมือ_____ ผู้ศึกษา_____

ข้อกำหนดเฉพาะ_____ ประเภทเครื่องมือ _____

พนักงาน	A				B				C				D			
หมายเลขสิ่งตัวอย่าง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	พิสัย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	พิสัย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	พิสัย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	พิสัย
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
ผลรวมทั้งหมด																

ผลรวม $\bar{X}_A$ → $\bar{R}_A$ ผลรวม $\bar{X}_B$ → $\bar{R}_B$ ผลรวม $\bar{X}_C$ → $\bar{R}_C$ ผลรวม $\bar{X}_D$ → $\bar{R}_D$

$\bar{R}_A$	
$\bar{R}_B$	
$\bar{R}_C$	
$\bar{R}_D$	
ผลรวม	
$\bar{\bar{R}}$	

จำนวนครั้งที่ทดลอง	D_4
2	3.27
3	2.58
4	2.28

$(\bar{\bar{R}}) \times (D_4) = UCL_R$*

( ) × ( ) =

ค่าที่ $\bar{X}$ ที่มากที่สุด	
ค่าที่ $\bar{X}$ ที่ต่ำที่สุด	
R ($\bar{X}$)	

*คือ พิกัดควบคุมค่า R ให้วงกลมค่า R ที่ออกนอกพิกัดแล้วหาสาเหตุเพื่อแก้ไข และให้ทดลองซ้ำเหมือนเดิม (ถ้าทำได้) หรือตัดข้อมูลทิ้งแล้วคำนวณ R ใหม่และ UCL_R ใหม่

สำนักงานกลางมาตราชั่งตวงวัด
Central Bureau of Weights & Measures

78/13 ถ.พระรามที่ 6 เขตพญาไท กท. 10400
78/13 Rama VI Rd., Phayatai Bangkok 10400
Tel. 279-2563 Fax : 279-3063

รายงานผลการสอบเทียบตุ้มน้ำหนัก เลขที่ SM58 /2541

ตุ้มน้ำหนักของ กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พิกัดกำลัง 30 มก. - 100 ก. ชนิดโลหะ สแตนเลส ความหนาแน่น 8000 กก./ลบ.ม.

สอบเทียบด้วยวิธี Double Substitution เทียบกับแบบมาตราหมายเลข 0603/38/31, 0603/41/31, 0603/42/31 โดยห้องปฏิบัติการทางมวล กลุ่มงานทดสอบมาตรฐานชั่งตวงวัด กองชั่งตวงวัด อุณหภูมิห้องประมาณ 20 ซ. ความหนาแน่นอากาศเฉลี่ย 1.2 กก./ลบ.ม. ผลการสอบเทียบค่าน้ำหนักของตุ้มสอบเทียบที่จุดอ้างอิงที่ค่าความหนาแน่น 8000 กก./ลบ.ม. และความไม่แน่นอนของผลการสอบเทียบที่ระดับความมั่นใจ 95 % ปรากฏดังนี้

หมายเลข	พิกัดกำลัง	น้ำหนัก	ความไม่แน่นอน
100 ก.	100 ก.	- 0.40 มก.	+/- 0.22 มก.
50 ก.	50 ก.	- 0.03 มก.	+/- 0.07 มก.
30 ก.	30 ก.	+ 0.05 มก.	+/- 0.06 มก.
20 ก.	20 ก.	- 0.97 มก.	+/- 0.03 มก.
10 ก.	10 ก.	+ 1.25 มก.	+/- 0.03 มก.
5 ก.	5 ก.	- 3.442 มก.	+/- 0.016 มก.
3 ก.	3 ก.	+ 0.053 มก.	+/- 0.020 มก.
2 ก.	2 ก.	- 0.002 มก.	+/- 0.016 มก.
1 ก.	1 ก.	- 0.027 มก.	+/- 0.011 มก.
500 มก.	500 มก.	+ 0.030 มก.	+/- 0.011 มก.
300 มก.	300 มก.	- 0.020 มก.	+/- 0.010 มก.
200 มก.	200 มก.	+ 0.025 มก.	+/- 0.011 มก.
100 มก.	100 มก.	+ 0.008 มก.	+/- 0.011 มก.
50 มก.	50 มก.	+ 0.016 มก.	+/- 0.011 มก.
30 มก.	30 มก.	+ 0.025 มก.	+/- 0.010 มก.

ผู้สอบเทียบ

(นางสาวภัทราภรณ์ จิรขจร)
นักวิชาการชั่งตวงวัด 3
สอบเทียบเมื่อ 15 ต.ค. 2541
กลุ่มงานทดสอบมาตรฐานชั่งตวงวัด โทร 279-2563 แฟ็กซ์ 279-3063

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบ วศ. 7

DEPARTMENT OF SCIENCE SERVICE
RAMA VI ROAD, RATCHATHEWI DISTRICT
BANGKOK 10400, THAILAND

Our Ref. No. 0505/ 7264

21 June 2000

Craft Art Co.,Ltd.
6/6 Moo 6, Soi Chinnaket
Ngam Wong Wan Rd., Tung Song Hong, Lak Si
Bangkok 10210

Dear Sirs,

With reference to your request of May 16,2000, Ref. No. 2490,
we are pleased to send you the following report on the sample/s of "Standard Mass",
received on May 16,2000

Yours truly,

(Mr.Chaiwut Lauvalert)
Director, Physics and Engineering Division

Division of Physics and Engineering
Tel. 2461387-95 Ext. 241

REPORT

Sender's Sample Designation	Marking	Laboratory No.	
Standard Mass	-	UR.783	Please see the results on page 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

/Nominal Value

The above report is valid for the received sample/s only. The report does not guarantee any such material of the same brand or marking which may be sold in the market
THIS REPORT IS NOT TO BE USED FOR ADVERTISING PURPOSES

Nominal Value (g)	*Correction* (g)	*Uncertainty* (g)
100	-0.0002	±0.0001

Note :

1) The Standard Mass was calibrated in air against the Standard Mass of the Department of Science Service Serial No. วศ. กพ. 6670-001-0001/6, Lab.No.MM-061 (1999) which are traceable to the National Institute of Metrology (Thailand), NIMT.
2) The temperature and relative humidity during the test-performance were $(22.6\pm1)^{\circ}C$ and $(62.4\pm10)\%$ respectively.
3) The uncertainty values were estimated as described in the NAMAS 3003 on the basis of 95% confidence level.
4) Calibration date : June 8, 2000.

(Miss Jittakant Chaipanya)
Scientist 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้วิจัย

นายชัชวาล พรพัฒน์กุล เกิดวันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2502 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน พ.ศ.2521 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยครูอาชีวศึกษา พ.ศ.2523 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการวัดคุมในอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ.2526 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2530 และได้มีโอกาสเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ.2542 เริ่มเข้ารับราชการตำแหน่ง ครู 2 ระดับ 2 วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน พ.ศ.2524 ปัจจุบันข้าราชการครู ตำแหน่งอาจารย์ ระดับ 7 ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน อาจารย์พิเศษสถาบันต่างๆ และวิทยากรของสถาบันส่งเสริมเทคโนโลยี (การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย