การวิเคราะห์ระบบการวัดในโรงงานผลิตกล้องและซูมเลนส์

นางสาวประภัสวรรณ สวัสดิ์วงษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS IN A CAMERA AND ZOOM LENS FACTORY

Miss Prapatsawan Sawadwong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ระบบการวัดในโรงงานผลิตกล้องและชูมเลนส์
โดย	นางสาวประภัสวรรณ สวัสดิ์วงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประภัสวรรณ สวัสดิ์วงษ์ : การวิเคราะห์ระบบการวัดในโรงงานผลิตกล้องและซูมเลนส์. (MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS IN A CAMERA AND ZOOM LENS FACTORY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล, 178 หน้า.

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความผันแปรในระบบการวัดของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งเป็นโรงงานผลิตกล้องและเลนส์ซูม โดยศึกษาระบบการวัดของเครื่องมือวัด 7 ชนิดแบบผันแปรที่อยู่ในหน่วยงานประกันคุณภาพงาน โดยวิเคราะห์ระบบการวัดทั้งด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำ การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงประเมินผลด้วย %ไบอัส พบว่าทุกเครื่องมือวัดมีค่าไบอัสน้อยกว่า 10% ซึ่งสามารถยอมรับได้ ส่วนการวิเคราะห์ความแม่นยำใช้เทคนิค GR&R ประเมินผลกับจำนวนพนักงาน 4 คน โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้น และกำหนดให้พนักงานแต่ละคนวัดค่างานซ้ำ 3 ครั้ง ผลการวิจัยพบว่าเครื่องมือวัด 6 ชนิดมีค่า %GR&R เกินกว่ามาตรฐานกำหนด โดยสาเหตุมาจากวิธีการวัดของพนักงานมีความแตกต่างกัน จึงปรับปรุงแก้ไขลด %GR&R ให้น้อยลง โดยการกำหนดเวลามาตรฐานในเครื่องมือวัดค่าแรงบิด การกำหนดทิศทางในเครื่องมือวัดแรงดึง แรงกด การเพิ่มอุปกรณ์ช่วยจับยึดงาน และการฝึกอบรมให้พนักงานวัดค่างานใหม่ให้ถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด จนค่า %GR&R อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แล้วจึงประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัด โดยการประมาณค่าในแผนภูมิควบคุม พบว่าไม่มีจุดใดที่ออกนอกแผนภูมิควบคุม ซึ่งแสดงถึงทุกเครื่องมือมีความสามารถด้านเสถียรภาพ และรอบการสอบเทียบในปัจจุบันมีความเหมาะสม แล้วจึงปรับปรุงคู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ให้ละเอียดมากขึ้นเพื่อเป็นแนวทางให้โรงงานตัวอย่างนำไปประยุกต์ใช้ประเมินระบบการวัดในหน่วยงานอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5470963621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS / GAUGE R&R

PRAPATSAWAN SAWADWONG: MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS IN A CAMERA AND ZOOM LENS FACTORY. ADVISOR: DR. PHAIROAT LADAVICHITKUL, 178 pp.

This research aims to reduce the variations in measurement system of a camera and zoom lens factory. This research consists of 2 phases with variable equipment 7 items of Quality Assurance department: 1) Analysis the accuracy of the measurement systems by using evaluation %bias found that all the Instruments have %bias less than 10%, which are acceptable. 2) Analysis the precision of the measurement systems by using GR&R. The criteria are 4 appraisers per 1 equipment, 10 pieces of parts per 1 equipment and each appraiser measurements repeat 3 times. Found measuring 6 items have the %GR&R exceeds the standard. The results show that the most common cause from measurement method of operators is different. Thus reduce % GR&R by control standard time of torque measurement, control direction in tension measurement and compression measurement and add fixture to support measurement method. After that re-training employees and re-evaluate until % GR&R acceptable. Then assess the stability of the measurement tool by chart control. Found that there is no point out of control charts. It represents all the capabilities stability and the current calibration is appropriate. The last is revision manual of inspection standard to be more details and to be guide the factory was applied to evaluate measurement systems in other location.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์ของ อาจารย์ ดร.ไพโรจน์ ลดาวิจิตรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาสละเวลาให้คำแนะนำและชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์อย่างสม่ำเสมอ ตลอดจนคณาจารย์ที่ร่วมเป็นประธานกรรมการ และกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช และกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก ที่กรุณาให้ข้อแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัย อันเป็นพื้นฐานสำคัญในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้ ตลอดจนบุคคลในครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนแก่ผู้วิจัยตลอดมา และขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในการช่วยเหลืองานวิจัยครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 6
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
1.6 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา 8
1.7 กระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง 9
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
2.1 ความหมายของระบบการวัดและความผันแปรในระบบการวัด 15
2.2 ประเภทความผันแปรในระบบการวัด 17
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของระบบการวัดกับความสามารถของกระบวนการ 31
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 40
3.1 สำรวจสภาพทั่วไป 40
3.2 การควบคุมองค์ประกอบในการศึกษา 43
3.3 การประเมินผลระบบการวัดก่อนการปรับปรุง 44
3.3 สรุปผลการประเมินก่อนปรับปรุง 61
บทที่ 4 การวิเคราะห์ระบบการวัดและการปรับปรุง 66
4.1 วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัดของแต่ละหัวข้อตรวจสอบ 67

หน้า

4.2 ผลการศึกษาหลังปรับปรุง 108
4.3 การประเมินผลด้านความมีเสถียรภาพ (Stability test) 111
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 112
5.1 สรุปผลการปรับปรุงระบบการวัด 112
5.2 การจัดทำเป็นมาตรฐานการทำงาน 117
5.3 ข้อเสนอแนะ 112
5.4 การติดตามผล 115
รายการอ้างอิง 116
ภาคผนวก ก บันทึกผลการทดสอบค่าไบแอส 120
ภาคผนวก ข ผลการประเมินค่า %GR&R ก่อนปรับปรุง 139
ภาคผนวก ค ผลการประเมินค่า %GR&R หลังปรับปรุงครั้งที่ 1 154
ภาคผนวก ง ผลการประเมินค่า %GR&R หลังปรับปรุงครั้งที่ 2 166
ภาคผนวก จ ผลการประเมินค่า %GR&R หลังปรับปรุงครั้งที่ 3 168
ภาคผนวก ฉ ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัด 170
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 178

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 ค่าสถิติของแผนภูมิควบคุมซูมเลนส์รุ่น B8 หัวข้อ MT และ Z เดือน ธ.ค. 2555..... 4
ตารางที่ 1.2 รุ่นผลิตภัณฑ์ที่โรงงานทำการผลิตในปัจจุบัน..... 8
ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่สำหรับแผนภูมิควบคุมแบบผันแปร..... 22
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินดัชนีความสามารถของกระบวนการ C_p..... 32
ตารางที่ 2.3 ค่า C_p ที่เป็นจริงจากค่า C_p ที่คำนวณได้และ P/T (Barrentine, 1991)..... 34
ตารางที่ 3.1 แผนการผลิตเลนส์ซูม ระหว่างเดือน ก.ค.-ธ.ค. 2555..... 40
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดหัวข้อตรวจสอบ สำหรับเลนส์ซูมรุ่น B8..... 41
ตารางที่ 3.3 บันทึกผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด M Machine - 012T..... 47
ตารางที่ 3.4 ลำดับการสุ่มงานให้พนักงานวัดค่างาน..... 49
ตารางที่ 3.5 ผลการวัดค่างานหัวข้อตรวจสอบ M ที่ตำแหน่ง M1..... 55
ตารางที่ 3.6 สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุง..... 62
ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินค่าไบแอสหัวข้อ Z ด้วยเครื่องมือวัด Torque meter – 5017E..... 67
ตารางที่ 4.2 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z1..... 68
ตารางที่ 4.3 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z2..... 70
ตารางที่ 4.4 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z3..... 72
ตารางที่ 4.5 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z4..... 74
ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ Z..... 76
ตารางที่ 4.7 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z1..... 82
ตารางที่ 4.8 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z2..... 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.9 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z3 86
ตารางที่ 4.10 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z4 88
ตารางที่ 4.11 ผลการประเมินระบบการวัดหลังปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ Z 90
ตารางที่ 4.12 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ G 91
ตารางที่ 4.13 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ A 94
ตารางที่ 4.14 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ F 98
ตารางที่ 4.15 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ MT 101
ตารางที่ 4.16 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ S 105
ตารางที่ 4.17 ผลการประเมินหลังปรับปรุง 108
ตารางที่ 4.18 ผลการประเมินหลังปรับปรุงครั้งที่ 2 และ 3 110
ตารางที่ 5.1 ผลสรุปการประเมินค่าไบแอส 113
ตารางที่ 5.2 สรุปผลการประเมินค่า %GR&R ของแต่ละหัวข้อตรวจสอบ 115
ตารางที่ 5.3 สรุปผลการประเมิน %GR&R ก่อนและหลังการปรับปรุง 116
ตารางที่ 5.4 ความผันแปรที่ประมาณด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังปรับปรุงระบบการวัด 114

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ซูมเลนส์ รุ่น B8 2
รูปที่ 1.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย ค่า MT ของซูมเลนส์ รุ่น B8 3
รูปที่ 1.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย Z ของซูมเลนส์รุ่น B8 3
รูปที่ 1.4 แผนภูมิควบคุมค่าพิสัย Z ของซูมเลนส์รุ่น B8 4
รูปที่ 1.5 ผลการทดสอบค่า GR&R หัวข้อ MT และ Z ในเดือน ธ.ค. 2555 5
รูปที่ 1.6 ขั้นตอนการผลิตกล้องดิจิตอล SLR 9
รูปที่ 1.7 ตัวอย่างชิ้นส่วน Molding Parts 10
รูปที่ 1.8 ตัวอย่างชิ้นส่วน Machining Parts 10
รูปที่ 1.9 ขั้นตอนการผลิตซูมเลนส์ 12
รูปที่ 1.10 ตัวอย่างชิ้นส่วน Mechanical Parts 13
รูปที่ 2.1ประเภทของความผันแปรจากระบบการวัด 16
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด 17
รูปที่ 2.3 ความหมายของคุณสมบัติด้านไบแอสของระบบการวัด 18
รูปที่ 2.4 ความหมายของคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด 20
รูปที่ 2.5 คุณสมบัติด้านความสามารถในการวัดซ้ำของกระบวนการวัด 25
รูปที่ 2.6 คุณสมบัติด้านความสามารถในการวัดเหมือน (Reproducibility) 26
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของ C_p ที่เป็นจริงกับ C_p ที่คำนวณได้ภายใต้ค่า P/T 35
รูปที่ 4.1 แผนภูมิค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยการวัดงานของหัวข้อตรวจสอบ Z 77
รูปที่ 4.2 เครื่องมือวัด Torque meter - 5017E 78
รูปที่ 4.3 ทิศการหมุนงานในการตรวจสอบค่า Z 79
รูปที่ 4.4 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ Z 79
รูปที่ 4.5 ช่วงวัดค่างานของเครื่องมือวัดหัวข้อ Z 80
รูปที่ 4.6 การหมุนซูมในเวลา 2 วินาทีต่อการหมุนในมุม 90 องศา 81
รูปที่ 4.7 ขยายตำแหน่งเข็มวัดจากเครื่องมือวัดหัวข้อ Z (อ้างอิงรูปที่ 4.5) 81
รูปที่ 4.8 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ G 92

รูปที่ 4.9 ลักษณะการใช้ Tension gage 15C620 เพื่อวัดค่างานหัวข้อ G 92
รูปที่ 4.10 การอ่านค่างานที่ระดับสายตา สำหรับการตรวจสอบงานหัวข้อ G 93
รูปที่ 4.11 ตำแหน่งของ Blade และ Lever เมื่อมองจากด้านหลังของตัวงาน 95
รูปที่ 4.12 ตำแหน่ง Lever ของตัวงานสำหรับการตรวจสอบหัวข้อ A..... 95
รูปที่ 4.13 ตำแหน่ง Lever ของตัวงานสำหรับการตรวจสอบหัวข้อ A..... 96
รูปที่ 4.14 เมื่อเกี่ยว Lever ไม่เต็มพื้นที่ของการตรวจสอบงานหัวข้อ A 96
รูปที่ 4.15 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ A 97
รูปที่ 4.16 เสริมยางหุ้มปลาย Tension gage สำหรับการตรวจสอบงานหัวข้อ A 98
รูปที่ 4.17 ตำแหน่งการหมุนวงแหวนสำหรับการตรวจสอบหัวข้อ F..... 100
รูปที่ 4.18 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ F..... 100
รูปที่ 4.19 มุมการหมุนวงแหวนและเวลาหมุนการตรวจสอบหัวข้อ F..... 101
รูปที่ 4.20 ชุดอุปกรณ์ของการตรวจสอบหัวข้อ MT 102
รูปที่ 4.21 เมื่อสวมซูมเลนส์เข้ากับตัวกล้องของการตรวจสอบหัวข้อ MT 103
รูปที่ 4.22 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ MT 103
รูปที่ 4.23 บริเวณที่ใช้จับของการตรวจสอบหัวข้อ MT 104
รูปที่ 4.24 การวัดค่างานของการตรวจสอบหัวข้อ S..... 106
รูปที่ 4.25 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ S..... 106
รูปที่ 4.26 การวัดค่างานหลังเพิ่มอุปกรณ์จับยึดงานของการตรวจสอบหัวข้อ S..... 107
รูปที่ 5.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงระบบการวัด..... 113

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมการผลิต กระบวนการวัดเป็นกิจกรรมที่ทำหน้าที่ยืนยันว่าสินค้าหรือผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า เช่นเดียวกันกับอุตสาหกรรมการผลิตกล้องถ่ายภาพ ที่มีการแข่งขันทางธุรกิจมาตั้งแต่มนุษย์รู้จักกับการถ่ายภาพจากกล้องฟิล์มจนกระทั่งกล้องดิจิตอลในปัจจุบัน หากองค์กรไม่ปรับตัวให้ทันต่อความต้องการของลูกค้าก็ไม่อาจดำรงธุรกิจให้มีกำไรอย่างต่อเนื่องและต่อสู้คู่แข่งได้ ดังนั้นระบบการวัดจำเป็นต้องมีการควบคุม และต้องลดความผันแปรให้มีความคลาดเคลื่อนให้น้อยที่สุดเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือให้ผู้ผลิต โดยงานวิจัยของ Vahid Hajipour ได้วิเคราะห์ระบบการวัดก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งการนำวิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดมาใช้จะทำให้ลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากวัดลงได้ โดยโรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษาเป็นอุตสาหกรรมผลิตกล้องถ่ายภาพและซูมเลนส์ พบว่าโรงงานยังขาดมาตรฐานการวิเคราะห์ระบบการวัดของกิจกรรมสุ่มตรวจสอบคุณภาพ ไม่เคยนำการวิเคราะห์ระบบการวัดมาประยุกต์ใช้อย่างจริงจัง ทำให้ยังไม่ทราบถึงแหล่งความผันแปรในระบบการวัดที่เกิดขึ้น และยังไม่มีระบบการควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการตรวจสอบงาน

ซึ่งจากการสำรวจผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ในซูมเลนส์รุ่น B8 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 1.1 คือเมื่อหมุนซูมไประยะใกล้สุด ตำแหน่ง X จะมีลักษณะดังด้านซ้ายของรูป และเมื่อหมุนซูมไประยะไกลสุด คือ ตำแหน่ง Y ซูมเลนส์จะมีลักษณะดังด้านขวาของรูป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.1 ซูมเลนส์ รุ่น B8

ซูมเลนส์รุ่น B8 มีการตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ในการหมุนชุดซูม (หัวข้อ Z) โดยมีการตรวจสอบ 4 ตำแหน่งคือ

Z1 - เป็นค่าวัดของแรงที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหมุนชุดซูมจากระยะใกล้สุดไประยะไกลสุด (ตำแหน่ง X ไป Y)

Z2 - เป็นค่าวัดของแรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการหมุนชุดซูมจากระยะใกล้สุดไประยะไกลสุด (ตำแหน่ง X ไป Y)

Z3 - เป็นค่าวัดของแรงที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการหมุนชุดซูมจากระยะไกลสุดไประยะใกล้สุด (ตำแหน่ง Y ไป X)

Z4 - เป็นค่าวัดของแรงที่มากที่สุดที่ใช้ในการหมุนชุดซูมจากระยะไกลสุดไประยะใกล้สุด (ตำแหน่ง Y ไป X)

และมีการตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ในการสวมและถอดซูมเลนส์เข้ากับตัวกล้อง (หัวข้อ MT) มีการตรวจสอบ 2 ตำแหน่งคือ

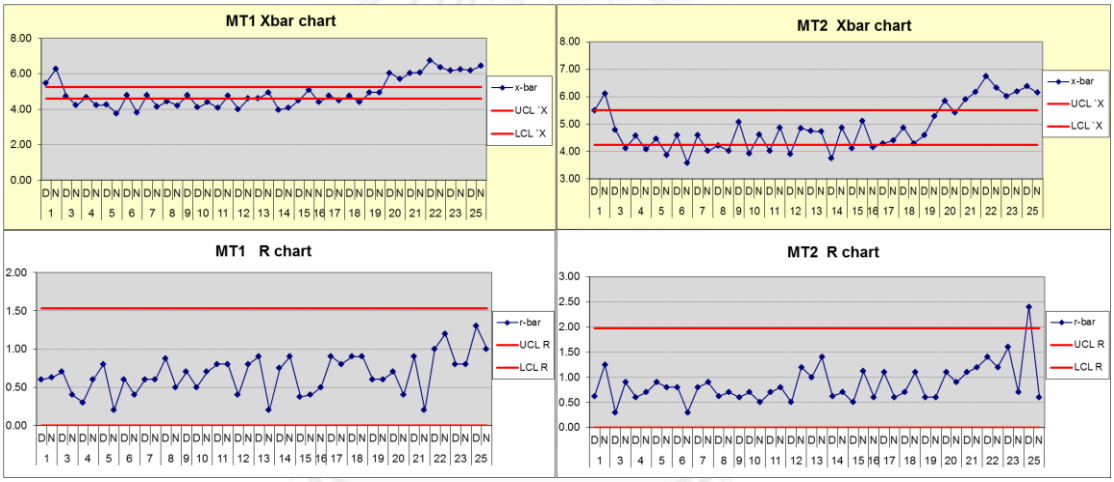
MT1 - เป็นค่าวัดของแรงหมุนที่ใช้ในการสวมซูมเลนส์เข้ากับตัวกล้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

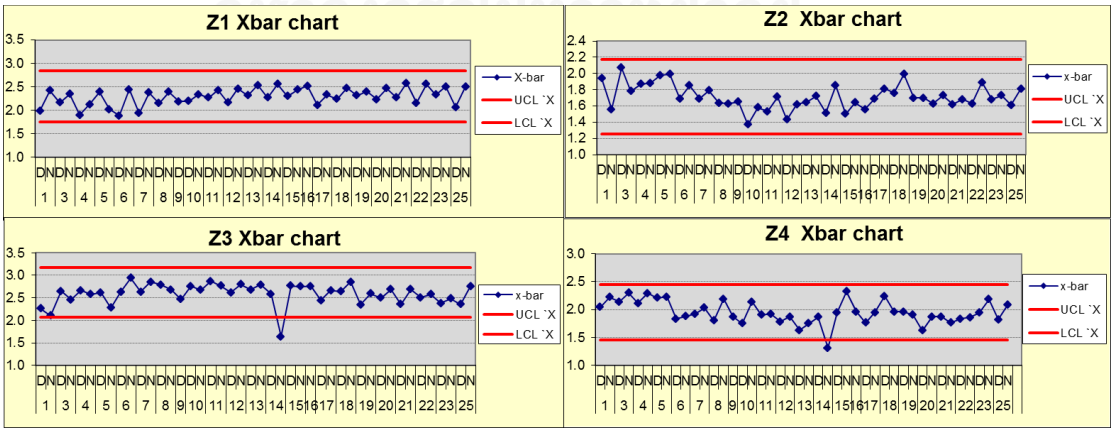
MT2 – เป็นค่าวัดของแรงหมุนที่ใช้ในการถอดซูมเลนส์ออกจากตัวกล้อง

เมื่อเก็บข้อมูลการสุ่มวัดค่างานของผลิตภัณฑ์ตัวอย่างพบว่า

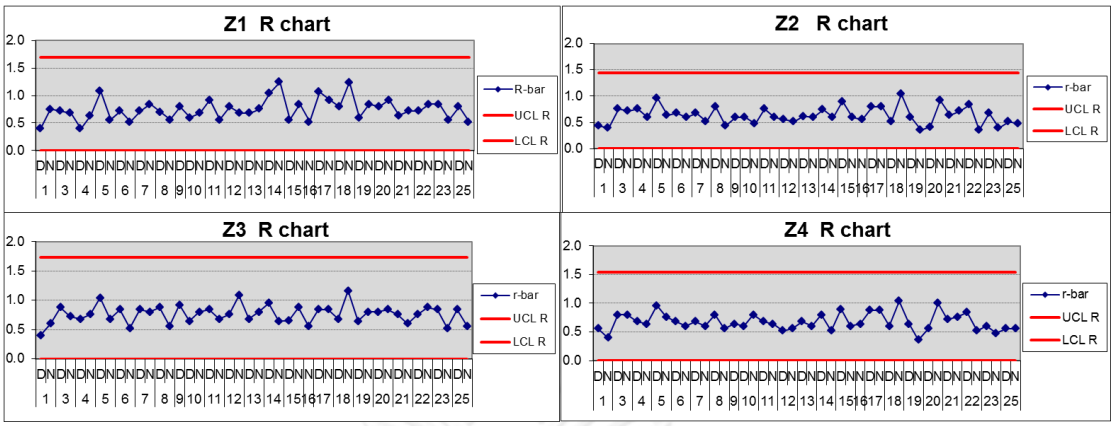
1. แผนภูมิควบคุมของผลิตภัณฑ์รุ่น B8 มีลักษณะสลับขึ้นลงเป็นฟันปลา ในหัวข้อ Z และ MT ของเดือนธันวาคม 2555 ซึ่งค่างานที่วัดได้มาจาก 2 แหล่ง คือ พนักงานจากกะกลางวันและกะกลางคืน มีพนักงาน 2 คนต่อกะ ใช้เครื่องมือวัดชนิดเดียวกัน ลักษณะดังกล่าวแสดงถึงความไม่สม่ำเสมอของข้อมูลวัด โดยอาจมีสาเหตุจากวิธีการวัดงานของพนักงานทั้งสองกะที่มีความแตกต่างกัน ความผันแปรของตัวงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หรือปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลให้ค่าวัดที่ได้ของทั้งสองกะแตกต่างกัน ดังรูปที่ 1.2 ถึงรูปที่ 1.4 ตามลำดับ



รูปที่ 1.2 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย ค่า MT ของซูมเลนส์ รุ่น B8



รูปที่ 1.3 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย Z ของซูมเลนส์รุ่น B8



รูปที่ 1.4 แผนภูมิควบคุมค่าพิสัย Z ของซูมเลนส์รุ่น B8

จากแผนภูมิควบคุม ค่าการวัดแสดงในแกนตั้ง และลำดับวันที่แสดงในแกนนอน โดย D หมายถึงกะกลางวัน และ N หมายถึงกะกลางคืน ซึ่งในหัวข้อ MT จะมีการตรวจสอบค่างาน 2 ตำแหน่งและ Z จะมีการตรวจสอบค่างาน 4 ตำแหน่ง โดยมีค่าสถิติที่ใช้ในแผนภูมิควบคุมดังตารางที่ 1.1

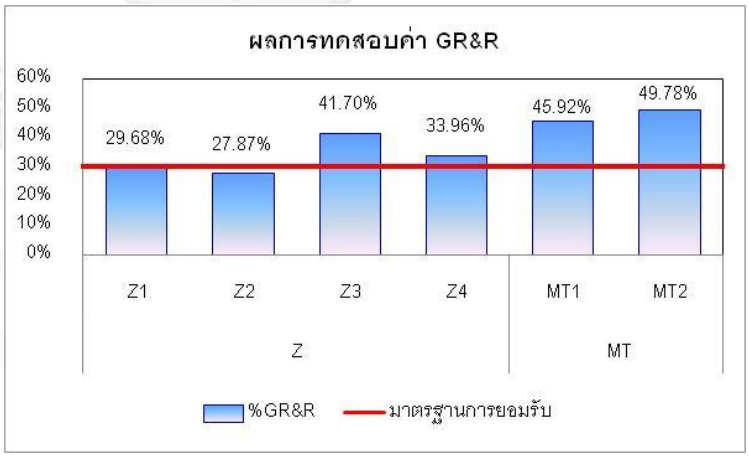
ตารางที่ 1.1 ค่าสถิติของแผนภูมิ**ควบคุมซูมเลนส์รุ่น B8 หัวข้อ MT และ Z เดือน ธ.ค. 2555**

หัวข้อตรวจสอบ	ตำแหน่งการวัดค่า	หน่วยวัด	USL	LSL	UCL_X	LCL_X	UCL_R	LCL_R
MT	MT1	Kg.cm	12.00	3.00	4.69	3.71	1.53	0.00
	MT2		12.00	3.00	5.51	4.24	1.99	0.00
Z	Z1		3.80	0.30	2.84	1.76	1.70	0.00
	Z2		3.80	0.30	3.17	2.06	1.73	0.00
	Z3		3.80	0.30	2.10	1.19	1.43	0.00
	Z4		3.80	0.30	2.45	1.46	1.54	0.00

จากตารางที่ 1.1 หัวข้อ MT ทั้งตำแหน่ง MT1 และ MT2 มีขีดจำกัดบนของสเปค (USL- Upper Specification Limit) เป็น 12.00 Kg.cm มีขีดจำกัดล่างของสเปค (LSL- Lower Specification Limit) เป็น 3.00 Kg.cm โดยแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยของตำแหน่ง MT1 มีขีดจำกัดควบคุมด้านบน (UCL - Upper Control Limit) เป็น 4.69 Kg.cm มีขีดจำกัดควบคุมด้านล่าง (LCL

- Lower Control Limit) เป็น 3.71 Kg.cm ส่วนแผนภูมิควบคุมค่าพิสัยของตำแหน่ง MT1 มีขีดจำกัดควบคุมด้านบน (UCL - Upper Control Limit) เป็น 1.53 Kg.cm และมีขีดจำกัดควบคุมด้านล่าง (LCL - Lower Control Limit) เป็น 0.00 Kg.cm ส่วนตำแหน่งอื่นๆมีค่าควบคุมตามลำดับในตาราง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลความผันแปรผ่านการประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าตำแหน่ง MT1, MT2, Z1, Z2, Z3 และ Z4 สามารถประมาณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เท่ากับ 0.8161, 0.8342, 0.2878, 0.3840, 0.2522 และ 0.3278 ตามลำดับ

2. เอกสารมาตรฐานการฝึกอบรมความรู้และทักษะการวัดงานของพนักงาน ระบุถึงขั้นตอนเมื่อมีพนักงานวัดคนใหม่มาปฏิบัติงาน โดยให้อบรมความรู้ สอนทักษะการปฏิบัติงาน และติดตามผลทักษะเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ ส่วนพนักงานที่ปฏิบัติงานมาก่อนแล้ว มาตรฐานยังไม่ได้กำหนดรอบการทวนสอบความรู้และทักษะ ซึ่งไม่สามารถแน่ใจได้ว่าความรู้และทักษะของพนักงานวัดยังสามารถยอมรับได้
3. สุ่มทดสอบค่า GR&R หัวข้อ MT และ Z ในเดือนธันวาคม 2555 จากจำนวนพนักงาน 4 คน ทดสอบวัดค่างานจำนวน 10 ตัว และจำนวนวัดซ้ำ 3 ครั้ง พบว่า ผลการทดสอบค่า GR&R เกินมาตรฐาน 30% ของ AIAG [2] ซึ่งไม่สามารถยอมรับระบบการวัดนี้ได้ ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ผลการทดสอบค่า GR&R หัวข้อ MT และ Z ในเดือน ธ.ค. 2555

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและลดความผันแปรในระบบการวัด ที่อาจเกิดจากลักษณะของวิธีการวัด ทักษะของพนักงานวัด และสภาพของเครื่องมือวัด ให้อยู่เกณฑ์ที่ยอมรับได้
2. เพื่อสร้างมาตรฐานในกระบวนการควบคุมและติดตามระบบการวัดให้มีความถูกต้องอยู่เสมอ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาระบบการวัดของโรงงานตัวอย่าง เฉพาะเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องในกิจกรรมสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานของหน่วยงานประกันคุณภาพของกล้องซูมเลนส์รุ่น B8

2. ศึกษาเฉพาะพนักงานทำการวัดค่างานที่เกี่ยวข้องในกิจกรรมสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานของหน่วยงานประกันคุณภาพของโรงงานตัวอย่าง

3. วิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดจากค่าไบแอส (Bias) ค่าความเสถียร (Stability) และค่าความสามารถในการวัดซ้ำและประเมินเหมือน (GR&R)

4.ปรับปรุงระบบการวัดโดยลดความผันแปรที่เกิดขึ้นเฉพาะหัวข้อการตรวจสอบที่ศึกษาแล้วไม่ผ่านเกณฑ์การประเมิน

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาระบบการตรวจสอบงานของกิจกรรมสุ่มตรวจสอบคุณภาพงาน ของหน่วยงานประกันคุณภาพของโรงงานตัวอย่าง

2. เลือกหัวข้อและเครื่องมือที่จะทำการศึกษา

3. ศึกษาข้อมูล ทฤษฎีการวิเคราะห์ระบบการวัดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4. ออกแบบขั้นตอนในศึกษาระบบการวัดของโรงงานตัวอย่าง

5. นำเสนอขั้นตอน และทดลองร่วมกับโรงงานตัวอย่าง

6. ประเมินผลการทดลองศึกษาและวิเคราะห์แนวทางลดความผันแปรของระบบการวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7. ปรับปรุงและประเมินผลเปรียบเทียบก่อนและหลังการศึกษา

8. สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด แหล่งความผันแปร และสามารถกำหนดมาตรฐานในการควบคุมความผันแปรให้น้อยลง อยู่ในระดับที่สามารถที่ยอมรับได้

2. เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบการวัดให้ผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ หน่วยงานอื่นๆในโรงงานและโรงงานอื่นได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา : โรงงานผลิตกล้องถ่ายรูปและซูมเลนส์

จำนวนพนักงาน : 9,000 คน

ประวัติโรงงาน : โรงงานตัวอย่างเป็นโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตกล้องถ่ายรูปดิจิตอล SLR และซูมเลนส์ ก่อตั้งในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2533 ด้วยพื้นที่ขนาด 72 ไร่ มูลค่าการลงทุนประมาณ 1,500 ล้านบาท ถือเป็นฐานการผลิตกล้องดิจิตอล SLR ที่ใหญ่ที่สุดของบริษัทแม่ คือ ผลิตกล้อง 95% ของกล้องทั้งหมดที่ทำการผลิตอยู่ ในส่วนของซูมเลนส์ผลิตเป็น 60% ของซูมเลนส์ทั้งหมด โรงงานตัวอย่างนี้ผลิตเพื่อการส่งออกเท่านั้นและผลิตตามแผนความต้องการของบริษัทแม่ ไม่ได้จัดจำหน่ายด้วยตัวเอง โดยปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตอยู่ แบ่งเป็นกล้อง 9 รุ่นและซูมเลนส์ 10 รุ่น ดังตารางที่ 1.2

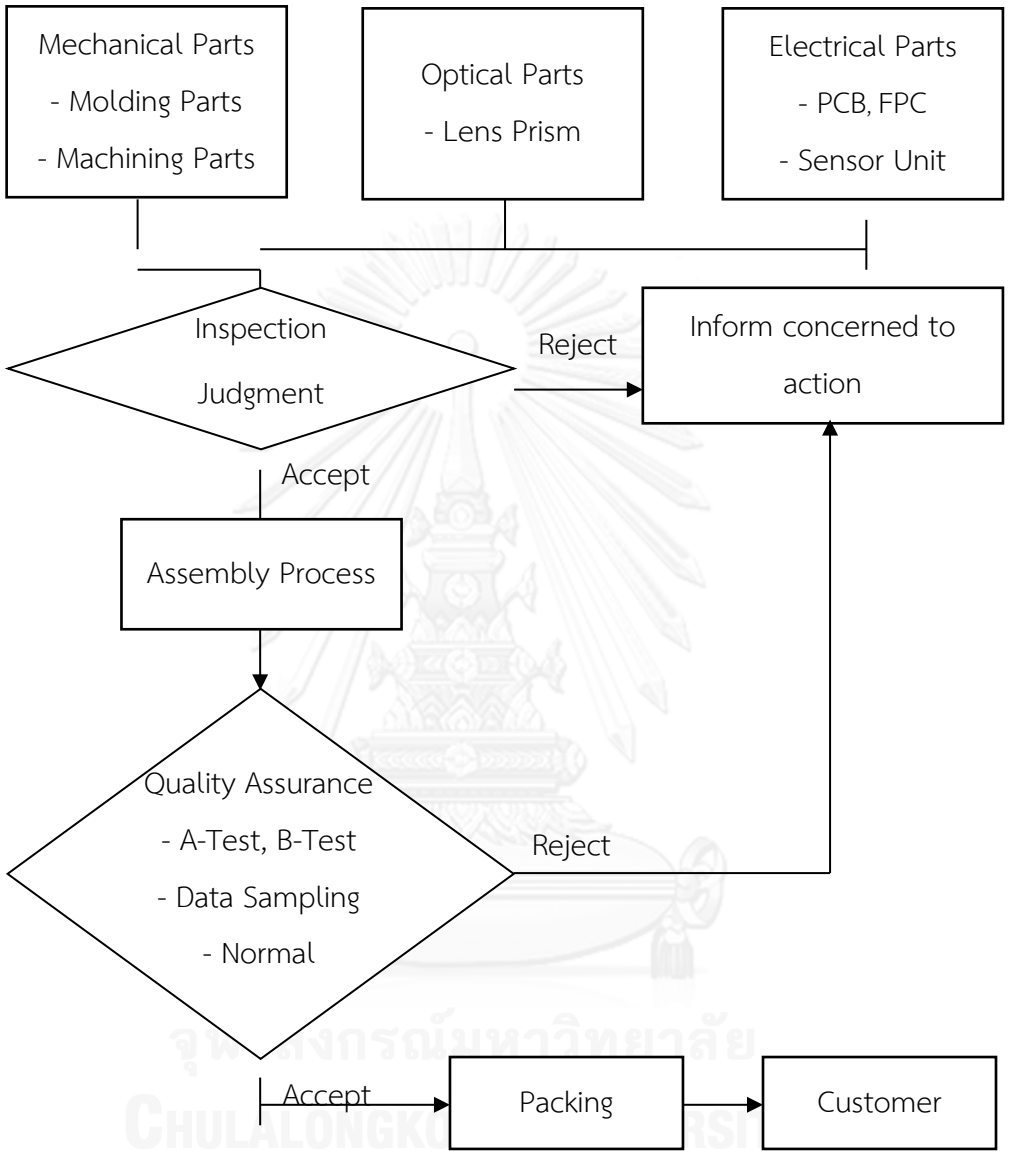
ตารางที่ 1.2 รุ่นผลิตภัณฑ์ที่โรงงานทำการผลิตในปัจจุบัน

ลำดับที่	รุ่นผลิตภัณฑ์ของกล้องดิจิตอล SLR	รุ่นผลิตภัณฑ์ของซูมเลนส์
1	A3	B1
2	A6	B2
3	A7	B3
4	A9	B4
5	A31	B5
6	A32	B6
7	A51	B7
8	A52	B8
9	A53	B9
10	-	B10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
VERSITY

1.7 กระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง

1.7.1 กระบวนการผลิตกล้องดิจิตอล SLR



รูปที่ 1.6 ขั้นตอนการผลิตกล้องดิจิตอล SLR

กระบวนการผลิตกล้องดิจิตอล SLR ประกอบด้วย 3 กลุ่มหลัก คือ

1. กลุ่ม Mechanical Parts เป็นกลุ่มโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 3 ส่วนย่อย คือ

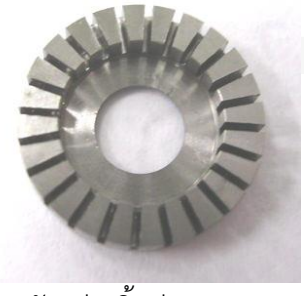
1.1 Molding Parts เป็นชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยการฉีด ได้แก่

- Plastic resin (งานฉีดพลาสติก)
- Metal die-cast (งานฉีดโลหะประเภทแมกนิเซียม)

รูปที่ 1.7 ตัวอย่างชิ้นส่วน Molding Parts

1.2 Machining Parts เป็นชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยการกด ดัด ตัด เจาะ ได้แก่

- งาน Stamping (press) คือ การกด ดัด เป็นรูปร่างต่างๆ เช่น พวกแผ่น plate โลหะต่างๆ
- งาน Milling เป็นชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยการตัด เจาะ
- งาน Spring เป็นชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยการม้วนเป็นเกลียว



รูปที่ 1.8 ตัวอย่างชิ้นส่วน Machining Parts

2. กลุ่ม Optical Parts เป็นกลุ่มเกี่ยวกับการทำงานทางแสงของกล้อง ได้แก่
    - Lens prism mirror (กระจกปริซึมประเภทแก้ว)
    - Prism plastic (ปริซึมจากการฉีด mold พลาสติก)

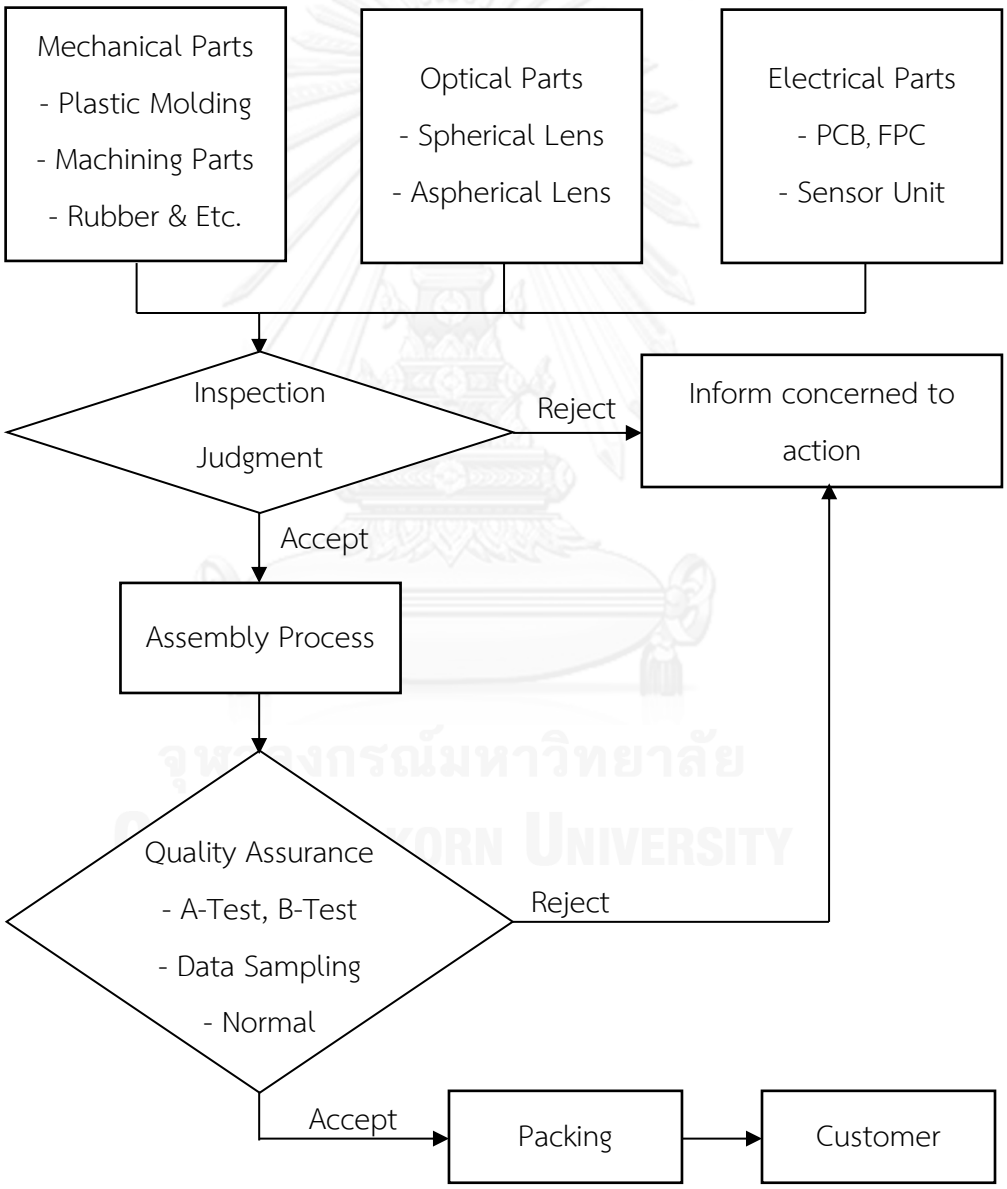
3. กลุ่ม Electrical Parts เป็นกลุ่มเกี่ยวกับการทำงานทางไฟฟ้าภายในตัวกล้อง ได้แก่
    - PCB (Printed circuit board) เป็นบอร์ดวงจรไฟฟ้ารวม ซึ่งเป็นทางเดินสัญญาณไฟฟ้าที่อยู่บนแผงวงจร
    - FPC (Flexible printed circuit) เป็นแผ่นลายวงจรไฟฟ้าที่สามารถพับโค้งงอได้
    - Sensor Unit เป็นหน่วยในการรับภาพแทนฟิล์ม แล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล เพื่อนำไปประมวลผลให้เกิดเป็นภาพ

ชิ้นส่วนทั้ง 3 กลุ่ม จะผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นงานประกอบที่สมบูรณ์ จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประกันคุณภาพงาน ซึ่งได้แก่

1. A-Test เป็นขั้นตอนประกันคุณภาพงานเมื่อเริ่มการผลิตงานครั้งแรก ซึ่งต้องตรวจสอบคุณภาพเพื่อยืนยันให้สามารถเริ่มต้นทำการผลิตได้
2. B-Test เป็นการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เพื่อทดสอบการทำงานว่าสามารถยังทำงานได้ดีอยู่หรือไม่ โดยมีเหตุผลสำคัญคือ ผลิตภัณฑ์ต้องสามารถทำงานได้ดีในทุกสภาวะร้อนหรือหนาว เพราะสินค้าต้องจัดส่งไปทั่วโลกทุกสภาพภูมิอากาศ และทดสอบความคงทนของงานในสภาวะการขนส่งที่ยากลำบาก มีความสั่นสะเทือนต่างๆเกิดขึ้นว่ามีผลต่อค่างานหรือไม่
3. Data Sampling เป็นกระบวนการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานตามหัวข้อต่างๆที่สุ่มหยิบงานประกอบสมบูรณ์แล้วจากสายการผลิต มาเพื่อวัดค่างานที่สำคัญ เช่น ค่าความคมชัดของจุดโฟกัส ค่าแสง ISO เป็นต้น โดยจำนวนการสุ่มงานจะขึ้นอยู่กับยอดการผลิตในล็อตนั้นๆ
4. Normal Inspection เป็นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพงานในสายการผลิต โดยมีหัวข้อตรวจสอบเกี่ยวกับการทำงานร่วมกับซูมเลนส์ เพื่อตรวจสอบความราบรื่นในการทำงานของกล้อง และการตรวจสอบลักษณะผลิตภัณฑ์ทางสายตา เช่น รอยเปื้อน รอยขีดข่วน เป็นต้น

จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่อง รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็น เช่น สายไฟเชื่อมต่อกล้องกับคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ชาร์จแบตเตอรี่ หนังสือคู่มือการใช้งานกล้อง เป็นต้น เมื่อบรรจุเสร็จแล้วจะส่งมอบไปยังลูกค้า คือ บริษัทแม่ต่อไป

1.7.2 กระบวนการผลิตซูมเลนส์



รูปที่ 1.9 ขั้นตอนการผลิตซูมเลนส์

ซูมเลนส์เป็นอุปกรณ์สำหรับรับแสงจากภาพที่เห็นเข้าสู่หน่วยประมวลผลภาพของกล้อง ซูมเลนส์ประกอบไปด้วยชิ้นแก้วหลายชิ้นที่มีความโค้งเว้าต่างๆกันซึ่งจะถูกบรรจุอยู่ในกระบอก โดยชิ้นแก้วเหล่านี้จะทำหน้าที่รวมแสง ให้กลายเป็นภาพตกลงที่หน่วยประมวลผลภาพของกล้อง โดยจะมีหน้าที่ต่างๆ กัน บางตัวจะเป็นชิ้นเลนส์ สำหรับแก้ความคลาดเคลื่อนต่างๆ บางตัวทำหน้าที่สำหรับโฟกัสภาพ ฯลฯ และท้ายสุดชิ้นเลนส์ต่างๆเหล่านี้จะร่วมกันทำหน้าที่ที่สำคัญที่สุด คือ ให้ภาพที่คมชัดตกลงบนหน่วยประมวลผลภาพของกล้อง

กระบวนการผลิตซูมเลนส์ ประกอบด้วย 3 กลุ่มหลัก คือ

1. กลุ่ม Mechanical Parts เป็นกลุ่มโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 3 ส่วนย่อย คือ
   2.1 Plastic Molding เป็นชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยการฉีดพลาสติกที่ถูกหลอมรวมเข้าใน Mold ให้แข็งตัวตามระยะเวลาที่กำหนด
   1.2 Machining Parts เป็นชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปด้วยการกด ดัด ตัด ปาด เจาะ
   1.3 Rubber and Etc. เป็นชิ้นส่วนประเภทยางต่างๆ

รูปที่ 1.10 ตัวอย่างชิ้นส่วน Mechanical Parts

2. กลุ่ม Optical Parts เป็นกลุ่มเกี่ยวกับการทำงานทางแสงของซูมเลนส์ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ
   - Spherical Lens เป็นเลนส์ที่มีผิวเลนส์เป็นผิวโค้งสม่ำเสมอตลอดผิวนั้นๆ
   - Aspherical Lens เป็นเลนส์ที่มีความโค้งของผิว(หน้าเลนส์) ไม่เท่ากันตลอดทั้งหน้าเลนส์

เป็นเลนส์ที่ใช้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของเลนส์ โดยความคลาดเคลื่อนของเลนส์หมายถึง แสงที่ผ่านเลนส์ตัวเดียวกันแต่ผ่านที่ความสูงต่างกัน จะทำให้จุดตกโฟกัสตกในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ไม่ได้ตกที่จุดเดียวกัน และทำให้ขนาดโดยรวมของเลนส์เล็กลง

3. กลุ่ม Electronic Parts เป็นกลุ่มเกี่ยวกับการทำงานทางไฟฟ้าภายในซูมเลนส์ ได้แก่
   - PCB (Printed circuit board) เป็นบอร์ดวงจรไฟฟ้ารวม ซึ่งเป็นทางเดินสัญญาณไฟฟ้าที่อยู่บนแผงวงจร
   - FPC (Flexible printed circuit) เป็นแผ่นลายวงจรไฟฟ้าที่สามารถพับโค้งงอได้

ชิ้นส่วนทั้ง 3 กลุ่ม จะผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้วนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นงานประกอบที่สมบูรณ์ จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประกันคุณภาพงาน ซึ่งได้แก่

5. A-Test เป็นขั้นตอนประกันคุณภาพงานเมื่อเริ่มการผลิตงานครั้งแรก ซึ่งต้องตรวจสอบคุณภาพเพื่อยืนยันให้สามารถเริ่มต้นทำการผลิตได้
6. B-Test เป็นการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ที่สภาวะต่างๆ เพื่อทดสอบการทำงานว่าสามารถยังทำงานได้ดีอยู่หรือไม่ โดยมีเหตุผลสำคัญคือ ผลิตภัณฑ์ต้องสามารถทำงานได้ดีในทุกสภาวะร้อนหรือหนาว เพราะสินค้าต้องจัดส่งไปทั่วโลกทุกสภาพภูมิอากาศ และทดสอบความคงทนของงานในสภาวะการขนส่งที่ยากลำบาก มีความสั่นสะเทือนต่างๆเกิดขึ้นว่ามีผลต่อค่างานหรือไม่
7. Data Sampling เป็นกระบวนการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานตามหัวข้อต่างๆที่สุ่มหยิบงานประกอบสมบูรณ์แล้วจากสายการผลิต มาเพื่อวัดค่างานที่สำคัญ เช่น ค่าแรงบิดของชุดซูม ค่าแรงดึงในการเคลื่อนที่ของสวิตซ์ปรับโหมด เป็นต้น โดยจำนวนการสุ่มงานจะขึ้นอยู่กับยอดการผลิตในล็อตนั้นๆ
8. Normal Inspection เป็นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพงานในสายการผลิต โดยมีหัวข้อตรวจสอบเกี่ยวกับการทำงานร่วมกับกล้องดิจิตอล SLR เพื่อตรวจสอบความราบรื่นในการทำงานของซูมเลนส์ และการตรวจสอบลักษณะผลิตภัณฑ์ทางสายตา เช่น รอยเปื้อน รอยขีดข่วน เป็นต้น

จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่อง รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็น เช่น กระเป๋าผ้าใส่เลนส์ ยูวีฟิลเตอร์ เป็นต้น เมื่อบรรจุเสร็จแล้วจะส่งมอบไปยังลูกค้าคือ บริษัทแม่ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาของระบบการวัดและความผันแปรในระบบการวัด โดยการสรุปจากการศึกษาความหมาย วิธีการประเมินผล แหล่งสาเหตุความผันแปร รวมถึงการศึกษางานวิจัยต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบการวัด อันจะนำไปสู่การลดความผันแปรในระบบการวัดที่ศึกษาต่อไป

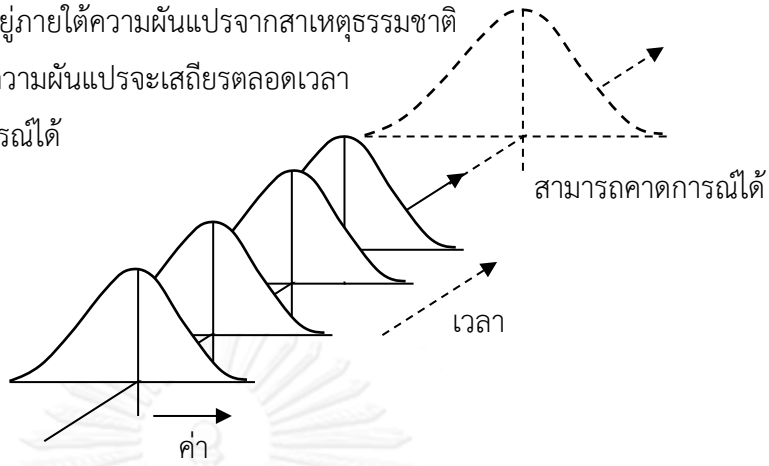
2.1 ความหมายของระบบการวัดและความผันแปรในระบบการวัด

ระบบการวัด (AIAG, 2002: 5) ได้นิยามความหมายไว้ว่า หมายถึง สิ่งที่รวบรวมอุปกรณ์วัด คุมหรือเกจวัด มาตรฐาน การปฏิบัติงาน วิธีการ อุปกรณ์จับยึดงาน ซอฟต์แวร์ บุคลากร สิ่งแวดล้อม และข้อสมมุติฐานต่างๆที่ใช้ในการกำหนดปริมาณหน่วยที่ทำการวัดหรือประเมินคุณลักษณะที่ได้รับการวัด หรืออาจกล่าวง่ายๆว่า หมายถึง กระบวนการอย่างสมบูรณ์ที่ใช้ในการวัด (The collection of instruments or gages, standards, operations, method, fixtures, software, personnel, environment and assumptions used to quantity a unit of measure or fix assessment to the feature characteristic being measured ; the complete process used to obtain measurements)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

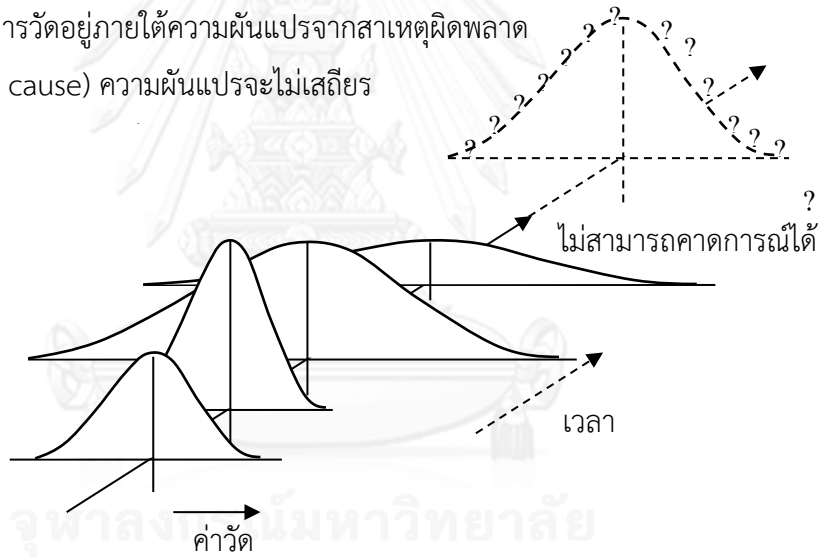
การวัดค่างานถือเป็นการควบคุมกระบวนการเพื่อประกันคุณภาพ โดยจากคำนิยามของระบบการวัดจะพบว่าองค์ประกอบของระบบการวัดมีความไม่เท่ากันเสมอ จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดเสมอด้วย ซึ่งความผันแปรที่เกิดขึ้นอาจทำให้กระบวนการไม่อยู่ในความควบคุม หรือทำให้กระบวนการไม่มีความสามารถได้ โดยความผันแปรในระบบการวัด ถ้าเป็นไปด้วยสาเหตุธรรมชาติ (Chance cause or common of variation) แล้ว ค่าความผันแปรจะอยู่ในลักษณะที่เสถียรและสามารถคาดการณ์ได้ แต่ถ้าความผันแปรไม่ใช่สาเหตุธรรมชาติ (Assignable cause or special cause of variation) ค่าความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถคาดการณ์ได้ ดังรูปที่ 2.1

ถ้ากระบวนการวัดอยู่ภายใต้ความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ (Chance cause) ความผันแปรจะเสถียรตลอดเวลา และสามารถคาดการณ์ได้



(ก) กระบวนการวัดที่เสถียร

ถ้ากระบวนการวัดอยู่ภายใต้ความผันแปรจากสาเหตุผิดพลาด (assignable cause) ความผันแปรจะไม่เสถียร

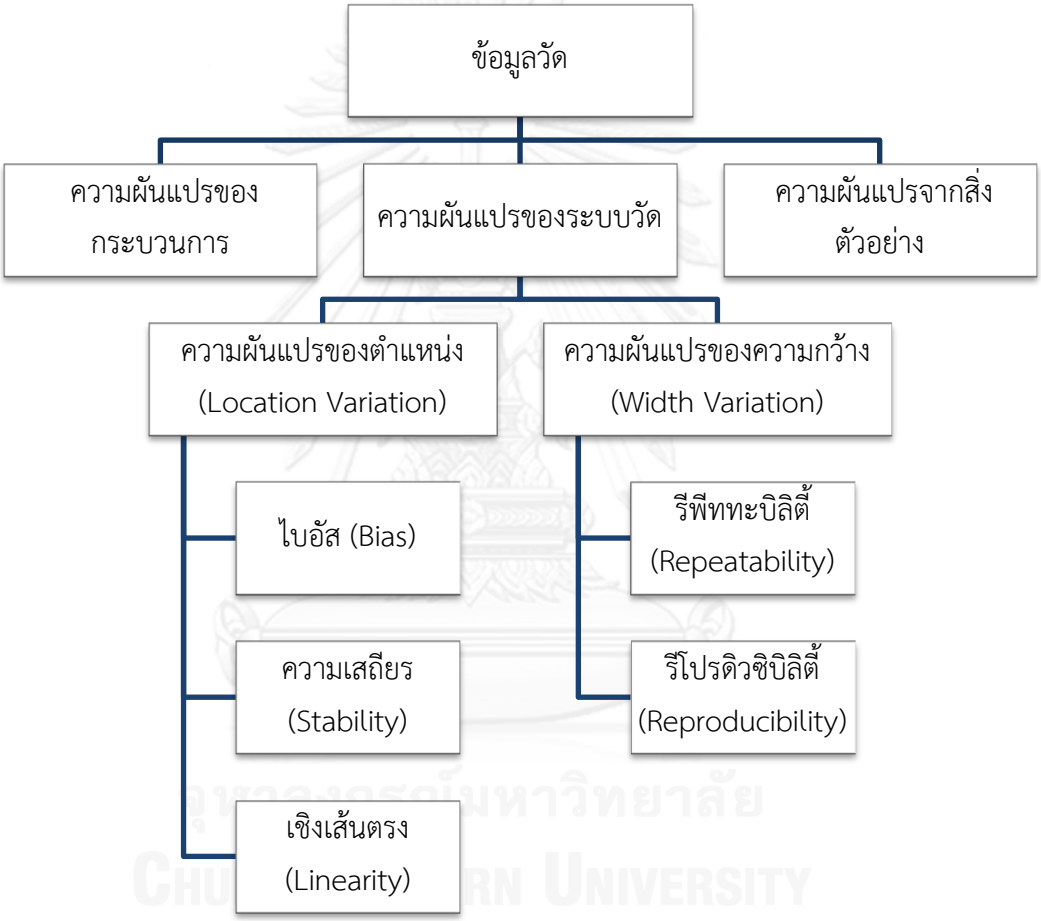


(ข) กระบวนการวัดที่ไม่เสถียร

รูปที่ 2.1ประเภทของความผันแปรจากระบบการวัด
(ดัดแปลงจาก กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

2.2 ประเภทความผันแปรในระบบการวัด

องค์ประกอบความผันแปรในระบบการวัดสามารถจำแนกได้ตามรูปที่ 2.2 ซึ่งการพิจารณาความผันแปรจากการวัดนั้น กรณีที่คุณลักษณะการวัดมีค่าคงที่เสมอ ความผันแปรที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติ แต่ถ้าคุณลักษณะที่ทำการวัดมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะ ความผันแปรที่เกิดขึ้นจะไม่มีการแจกแจงแบบปกติส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ประมาณได้มีค่าเกินความจริง



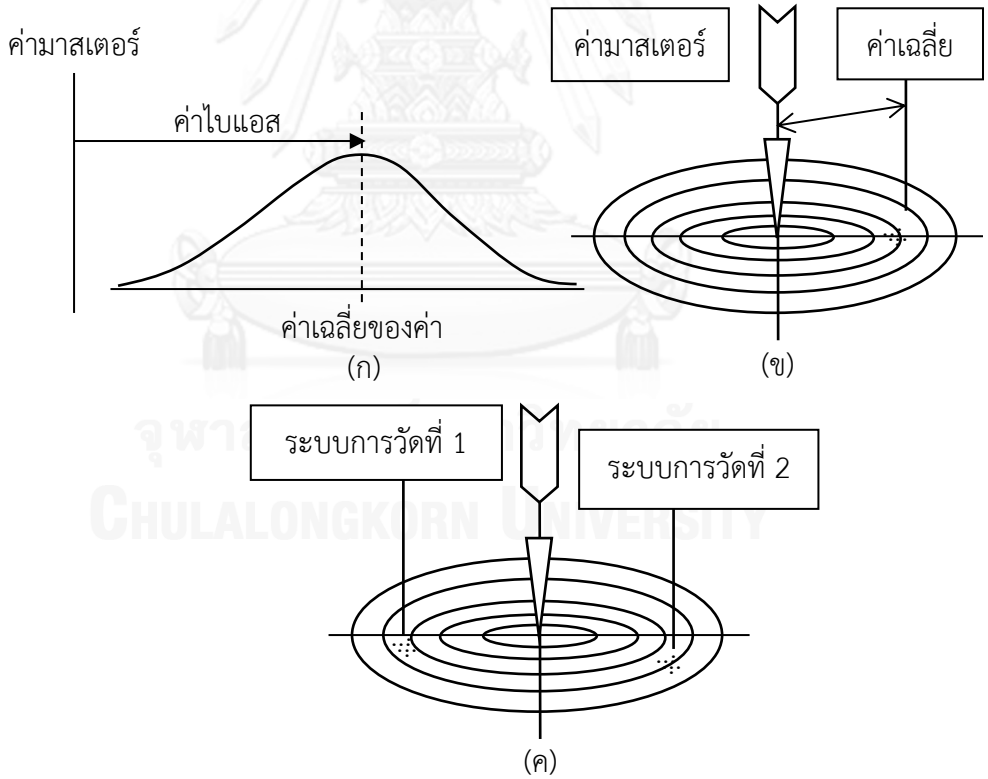
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบความผันแปรของระบบการวัด

(ดัดแปลงจาก กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

2.2.1 ความผันแปรของตำแหน่ง

ความผันแปรของตำแหน่ง (กิติศักดิ์, 2553: 99) หมายถึง คุณสมบัติของการเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยจากผลการวัดหลายๆครั้งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Reference value) ซึ่งจะกำหนดด้วยปริมาณความเอนเอียง หรือ ไบแอส (Bias) สาเหตุที่ทำให้เกิดไบแอส เช่น ตัวอุปกรณ์วัด อุปกรณ์จับยึด หรือชิ้นงานมาตรฐาน มีความสึกหรอ การสอบเทียบอุปกรณ์วัดไม่ถูกต้อง การใช้อุปกรณ์วัดงานไม่ถูกต้องวิธีการวัดงานที่แตกต่างกัน อุปกรณ์วัดงานหรือชิ้นงานที่นำมาวัดมีลักษณะผิดรูป ทักษะพนักงานวัด ความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าวัด สิ่งแวดล้อมในสถานที่วัดงาน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น

ค่าไบแอส (Bias) นี้จะใช้ประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงของระบบการวัด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความหมายของคุณสมบัติด้านไบแอสของระบบการวัด

(กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

การประเมินค่าไบแอสสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การใช้งานตัวอย่างเดียว (independent sample method) และการใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย ($\overline{\mathbf{X}}$-R control chart method) งานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกวิธีที่ 1 คือการใช้งานตัวอย่างเดียว มาทำการศึกษาเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการประเมินสั้นกว่าวิธีที่สอง ส่วนการใช้แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัยผู้สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากรายการอ้างอิงท้ายเล่ม

วิธีการใช้งานตัวอย่างเดียว มีขั้นตอนการประเมินดังนี้

1. เลือกงานมาตรฐานขึ้นมาหนึ่งชิ้นที่สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ กรณีไม่สามารถหาได้ให้เลือกงานขึ้นมาชิ้นหนึ่งที่อยู่ในช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดเป็นงานมาสเตอร์ โดยวัดงานชิ้นนี้อย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุมแล้วเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก และกำหนดค่าที่ได้เป็น “ค่าอ้างอิง (reference value)”

2. ให้พนักงานที่มีความสามารถในการใช้เครื่องมือวัดอย่างดีวัดงานมาสเตอร์อย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะการวัดที่ต้องประเมินผล แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยการวัดที่พนักงานสามารถวัดได้

3. ประเมินผลค่าไบแอส จากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการวัดที่พนักงานวัดได้เทียบกับค่าอ้างอิง

$$\text{ค่าไบแอส} = \text{ค่าเฉลี่ยของค่าวัด} - \text{ค่าอ้างอิง}$$

4. นำค่าไบแอสที่ได้จากข้อ 3 มาเปรียบเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้ (ในกรณีใช้ประเมินผลิตภัณฑ์เป็นดีหรือเสีย) หรือเปรียบเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (ในกรณีใช้ประเมินผลความผันแปรของกระบวนการผลิต) โดยที่

$$\%\text{ไบแอสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\text{ค่าไบแอส}}{\text{USL - LSL}} \times 100\% \qquad (2.1)$$

$$\%\text{ไบแอสของกระบวนการ} = \frac{\text{ค่าไบแอส}}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\% \qquad (2.2)$$

โดย USL = Upper Specification Level หรือขีดจำกัดบนของสเปค

LSL = Lower Specification Level หรือขีดจำกัดล่างของสเปค

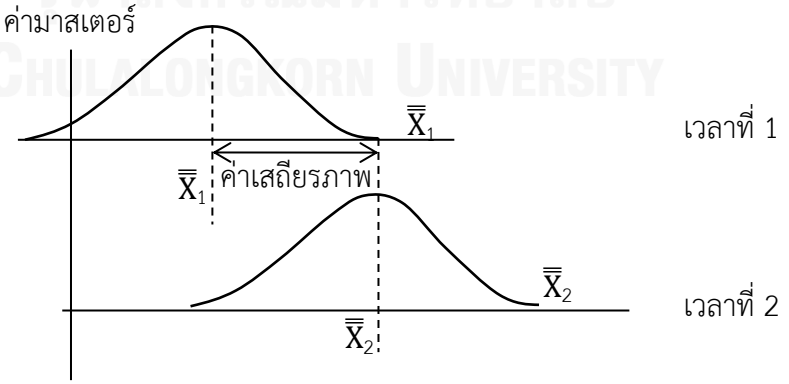
% ไบแอสที่ได้จากการคำนวณในสมการ (2.1) และ (2.2) ใช้เกณฑ์ตัดสินใจดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

%ไบแอส < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ %ไบแอส < 10%	อาจยอมรับได้ (ให้พิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ เช่น การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ)
%ไบแอส ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วแก้ไข

กรณีที่ %ไบแอส มีค่าสูงแล้วไม่สามารถยอมรับได้ ให้ค้นหาสาเหตุเพื่อทำการแก้ไข โดยมีสาเหตุที่เป็นไปได้ตามที่กล่าวมาก่อนหน้านี้

ความผันแปรของตำแหน่งที่ทำการศึกษาถัดมาคือ ความเสถียร (Stability) หรือการเลื่อนออกไปแบบค่อยเป็นค่อยไปของค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากระบบการวัด ซึ่ง (AIAG, 2002: 50) ได้นิยามว่าคือ ความผันแปรทั้งหมดในการวัดที่ได้จากระบบการวัดหนึ่งโดยอาศัยชิ้นงานหรือค่ามาสเตอร์เดียวกันในการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น (total variation in the measurements obtained with a measurement system on the same master or parts when measuring a single characteristic over an extended time period) หรืออาจกล่าวสั้นๆว่า ค่าความเสถียร คือ การเปลี่ยนแปลงไปของค่าไบแอสตลอดช่วงเวลา ซึ่งคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัดนี้ จะหมายถึง คุณสมบัติของอายุการใช้งานอุปกรณ์วัด โดยพิจารณาระบบการวัดที่ได้จากการวัดงานมาตรฐาน หรืองานมาสเตอร์ชิ้นหนึ่งตลอดช่วงเวลา อาจกำหนดเป็นวันหรือสัปดาห์ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความหมายของคุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด

(กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

สาเหตุความไม่เสถียรอาจมาจาก ช่วงเวลาในการสอบเทียบของอุปกรณ์วัดกำหนดไว้ยาวนานเกินไป ตัวอุปกรณ์วัด หรืออุปกรณ์จับยึดงานมีความเสื่อมสภาพ ระบบการบำรุงรักษาที่ยังไม่ดีพอ การสึกหรอของชิ้นงานมาตรฐานหรืองานมาสเตอร์ที่นำมาใช้วัดค่าการสอบเทียบอุปกรณ์วัดไม่ถูกต้อง อุปกรณ์วัดหรือวิธีการวัดมีความไวกับปัจจัยแวดล้อม อุปกรณ์วัดหรือชิ้นงานเปลี่ยนรูป สิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การสั่นสะเทือน ความสะอาด เป็นต้น นอกจากนี้ทักษะของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์วัด ตำแหน่งที่วัดตัวชิ้นงาน ความล้าของพนักงานวัด หรือความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าวัด ก็อาจส่งผลให้เกิดความไม่เสถียรได้ ในการประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัด มีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกงานมาตรฐานขึ้นมาหนึ่งชิ้นที่สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ กรณีไม่สามารถหางานมาตรฐานได้ ให้เลือกงานชิ้นหนึ่งที่อยู่ในช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดเป็นงานมาสเตอร์
2. ในช่วงระยะเวลารายวันหรือรายสัปดาห์ ให้วัดงานมาสเตอร์นี้ 3-5 ครั้ง โดยความถี่ที่ทำการวัดขึ้นอยู่กับความถี่ในการสอบเทียบของเครื่องมือวัด ความถี่ในการใช้เครื่องมือวัด ฯลฯ โดยพยายามให้องค์ประกอบเหล่านี้รวมอยู่ในความผันแปรภายในกลุ่มย่อย เพื่อการ “เฉลี่ยออก” ไปสำหรับการพิจารณาความมีเสถียรภาพ
3. นำค่าวัดที่ได้มาพล็อตกราฟในแผนภูมิควบคุม $\overline{\mathbf{X}}$-R พร้อมคำนวณพิกัดควบคุมจาก

แผนภูมิ $\overline{\mathbf{X}}$;

$$\mathbf{UCL} = \overline{\overline{\mathrm{X}}} + \mathrm{A}_2\overline{\mathrm{R}} \qquad (2.3)$$
$$\mathbf{CL} = \overline{\overline{\mathrm{X}}}$$
$$\mathbf{LCL} = \overline{\overline{\mathrm{X}}} - \mathrm{A}_2\overline{\mathrm{R}}$$

แผนภูมิ R ;

$$\mathbf{UCL} = \mathrm{D}_4\overline{\mathrm{R}} \qquad (2.4)$$
$$\mathbf{CL} = \overline{\mathrm{R}}$$
$$\mathbf{LCL} = \mathrm{D}_3\overline{\mathrm{R}}$$

เมื่อ UCL = Upper Control Limit หรือขีดจำกัดควบคุมด้านบน

LCL = Lower Control Limit หรือขีดจำกัดควบคุมด้านล่าง

CL = Center Line หรือเส้นกลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$\overline{\overline{X}}$ = ค่าเฉลี่ยของค่าวัดทั้งหมด

$\overline{R}$ = ค่าเฉลี่ยของพิสัย (พิสัยของแต่ละกลุ่มย่อย)

A_2, D_3 และ D_4 เป็นค่าคงที่ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่สำหรับแผนภูมิควบคุมแบบผันแปร (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

ขนาดกลุ่มย่อย	แผนภูมิ $\overline{X}$-R			ขนาดกลุ่มย่อย	แผนภูมิ $\overline{X}$-R		
N	A_2	D_3	D_4	n	A_2	D_3	D_4
2	1.880	-	3.267	14	0.235	0.329	1.671
3	1.023	-	2.574	15	0.223	0.348	1.652
4	0.729	-	2.282	16	0.212	0.364	1.636
5	0.577	-	2.114	17	0.203	0.379	1.621
6	0.483	-	2.004	18	0.194	0.392	1.608
7	0.419	0.076	1.924	19	0.187	0.404	1.596
8	0.373	0.136	1.864	20	0.180	0.414	1.586
9	0.337	0.184	1.816	21	0.173	0.425	1.575
10	0.308	0.223	1.777	22	0.167	0.434	1.566
11	0.285	0.256	1.744	23	0.162	0.443	1.557
12	0.266	0.284	1.716	24	0.157	0.452	1.548
13	0.249	0.308	1.692	25	0.153	0.459	1.541

หากกำหนดการวัดค่างานในข้อ 2 เป็น 3 ครั้ง จะได้ขนาดกลุ่มย่อยคือ n = 3 และได้ค่า A_2, D_3 และ D_4 เท่ากับ 1.023, 0 และ 2.574 ตามลำดับ

4. วิเคราะห์ความมีเสถียรภาพเชิงสถิติจากแผนภูมิควบคุม $\overline{\mathrm{X}}$-R

   - ถ้าแผนภูมิ $\overline{\mathrm{X}}$ มีข้อมูลออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความไม่ถูกต้องในค่าวัด คือค่าไบแอสเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ จำเป็นต้องค้นหาสาเหตุผิดพลาด ถ้าสาเหตุมาจากปัจจัยภายนอกให้ทำการแก้ไข แต่ถ้าสาเหตุมาจากปัจจัยภายใน เช่น เครื่องมือวัดเสื่อมสภาพ ให้ระบุช่วงเวลาแล้วดำเนินการสอบเทียบใหม่
   - ถ้าแผนภูมิ R มีข้อมูลออกนอกการควบคุม แสดงว่ามีปัญหาด้านความสม่ำเสมอในการวัดซ้ำ จำเป็นต้องหาสาเหตุผิดพลาดภายในกลุ่มย่อยแล้วแก้ไข

5. ประเมินผลค่าความมีเสถียรภาพของระบบการวัด จากสมการ

$$\text{ความมีเสถียรภาพ} = \overline{\overline{\mathrm{X}}}_1 - \overline{\overline{\mathrm{X}}}_2 \qquad (2.5)$$

โดยที่ $\overline{\overline{\mathrm{X}}}_1$ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นศึกษา

$\overline{\overline{\mathrm{X}}}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อพบข้อมูลออกนอกการควบคุมของแผนภูมิ $\overline{\mathrm{X}}$ จากสาเหตุปัจจัยภายในของระบบการวัด

เมื่อได้ค่าจากสมการ (2.5) แล้วให้ประเมินผล %ความมีเสถียรภาพเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้ (กรณีใช้ในการประเมินผลงานดี เสีย) หรือให้ประเมิน %ความมีเสถียรภาพเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (กรณีใช้ในการประเมินผลงานในกระบวนการผลิต) โดย

$$\%\text{ความมีเสถียรภาพเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{(\overline{\overline{\mathrm{X}}}_2 - \overline{\overline{\mathrm{X}}}_1 \quad \overline{\overline{\mathrm{X}}}_2 - \overline{\overline{\mathrm{X}}}_1)}{\mathrm{USL} - \mathrm{LSL}} \times 100\% \qquad (2.6)$$

$$\%\text{ความมีเสถียรภาพเทียบกับกระบวนการ} = \frac{(\overline{\overline{\mathrm{X}}}_2 - \overline{\overline{\mathrm{X}}}_1)}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\% \qquad (2.7)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยเกณฑ์การตัดสินใจประเมิน %ความมีเสถียรภาพ คือ

%ความมีเสถียรภาพ < 5%	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ %ความมีเสถียรภาพ < 10%	อาจยอมรับได้ (ให้พิจารณาองค์ประกอบอื่นๆอาทิ การประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ)
%ความมีเสถียรภาพ ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

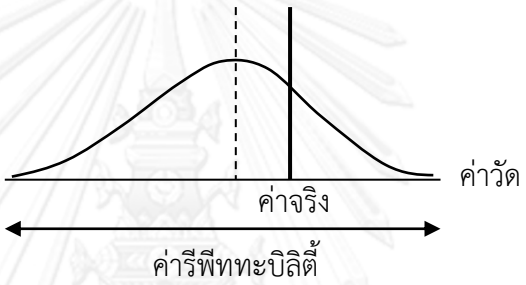
ทั้งนี้ (AIAG, 1995: 23) ได้แนะนำว่า การประเมินความมีเสถียรภาพของระบบการวัด ไม่จำเป็นต้องประเมินผลตามสมการ (2.5) เนื่องจากแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$-R สามารถประเมินผลความมีเสถียรภาพของระบบการวัดได้อยู่แล้ว คือ การตรวจจับความผันแปรจากสาเหตุผิดพลาด เมื่อพบจุดออกนอกการควบคุมจึงทำการกำจัดทิ้ง และพยายามลดความกว้างของพิกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม $\overline{X}$-R โดยทำให้แคบลงอย่างต่อเนื่อง

และความผันแปรของตำแหน่งประเภทสุดท้าย คือ คุณสมบัติเชิงเส้นตรง ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของค่าไบแอสเมื่อมีการเปลี่ยนย่านวัดไป แต่เนื่องจากงานวิจัยที่ศึกษาไม่ได้มีการเปลี่ยนย่านวัด ดังนั้นจึงไม่จำเป็นศึกษา

2.2.2 ความผันแปรของความกว้าง

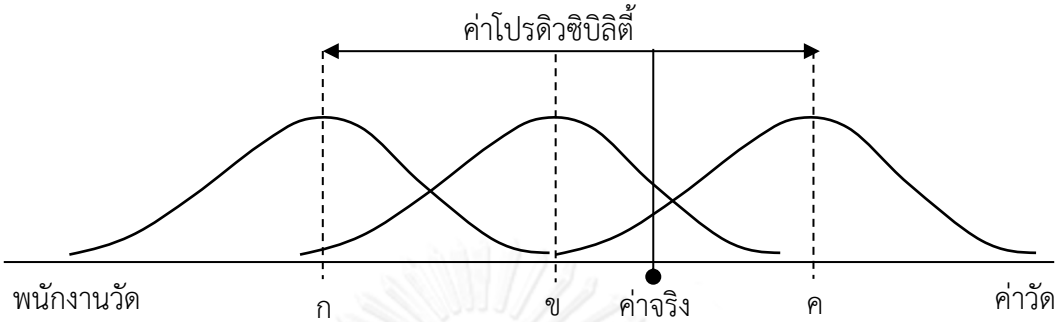
ความผันแปรของความกว้าง (Width variation) ของระบบการวัด หรือ ความแม่น (Precision) หมายถึง อิทธิพลโดยรวมของความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Discrimination) ความไว (Sensitivity) และความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ตลอดช่วงการใช้งาน (อาจเป็นขนาดหรือเวลา) ของระบบการวัด ซึ่งค่าของความแม่นจะใช้วัดความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด และจะแบ่งออกเป็นความผันแปรภายในเงื่อนไข และความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบวัด

ความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึงความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expect value) ของระบบการวัดที่วัดโดยใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกัน ในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์วัด (Equipment Variation; EV) เพราะมักจะมีผลมาจากอุปกรณ์วัด แต่บางครั้งอาจมาจากสาเหตุอื่นที่ไม่ใช่อุปกรณ์วัดได้ เช่น ความผันแปรภายในของชิ้นงาน ความผันแปรจากพนักงานวัด ความผันแปรในวิธีการทดสอบ ความผันแปรจากสิ่งแวดล้อม การอ่านค่าวัดที่มีความคลาดเคลื่อนไป เป็นต้น



รูปที่ 2.5 คุณสมบัติด้านความสามารถในการวัดซ้ำของกระบวนการวัด
(กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบวัด หรือ ความสามารถในการวัดเหมือน (Reproducibility) หมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัด จากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกัน ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปหมายถึง ความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด ซึ่งอาจเรียกว่า ความผันแปรระหว่างพนักงานวัด (Appraiser Variation; AV) แต่บางครั้งความผันแปรนี้อาจมีสาเหตุจากปัจจัยอื่นที่มิใช่พนักงานวัดได้ เช่น ปัจจัยระหว่างกะงาน ความผันแปรระหว่างชิ้นงานตัวอย่าง ความผันแปรระหว่างอุปกรณ์วัด ความแปรผันในกระบวนการวัด ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ไม่ว่าจะเป็นการตั้งศูนย์ของเครื่องมือวัด การจับยึดชิ้นงาน ตำแหน่งการวัดชิ้นงาน ความผันแปรระหว่างพนักงานวัดจากทักษะเฉพาะที่ต่างกัน การฝึกอบรม การอ่านค่าวัด และประสบการณ์การทำงาน ความผันแปรระหว่างสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ความผันแปรจากการออกแบบอุปกรณ์วัด ความผันแปรจากการทดสอบที่มีความไวต่อปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.6 คุณสมบัติด้านความสามารถในการวัดเหมือน (Reproducibility) ของกระบวนการวัด (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2553)

จากสาเหตุความผันแปรของความกว้าง (Width variation) ของระบบการวัดหรือ ความแม่น (Precision) ที่กล่าวมา ในการศึกษาจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

1) วิธีการและเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด โดยต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัดก่อนการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและความสามารถในการวัดเหมือน และไม่ควรมีการสอบเทียบใหม่ หากการศึกษายังไม่เสร็จสิ้น เพราะการสอบเทียบใหม่ระหว่างการศึกษาจะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่าความสามารถในการวัดเหมือน (Repeatability) และความสามารถในการวัดซ้ำ (Reproducibility) ของระบบการวัด

2) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา ต้องพิจารณาว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดนี้จำนวนเท่าใด ถ้าหากเครื่องมือวัดเป็นเครื่องมือวัดอัตโนมัติ หรือมีการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียวแสดงว่า ค่าความผันแปรในระบบการวัดไม่มีผลจากสาเหตุของพนักงานวัดเลย และกรณีระบบการวัดมีพนักงานวัดจำนวนหลายคน ให้สุ่มพนักงานวัดมาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคนต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับการวัดในอุปกรณ์ที่ทำการศึกษาเป็นงานประจำ

3) จำนวนงานตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ปกติจะใช้ 10 ตัวอย่าง ถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้จะต้องพยายามให้ (จำนวนของงานตัวอย่าง) X (จำนวนของพนักงานวัด) มีค่ามากกว่า 15 และถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ ให้เพิ่มจำนวนการวัดซ้ำ งานตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดต้องเป็น

งานตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีความสามารถเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการโดยข้อมูลต้องแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า 5 ประเภท

4) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับงานตัวอย่างแต่ละชิ้น โดยทั่วไปจะกำหนดการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น และมักกำหนดจำนวนวัดซ้ำของแต่ละงานตัวอย่างเท่าๆกัน

5) วิธีลดความผันแปรในงานตัวอย่าง ซึ่งบางกรณีจะไม่สามารถกำจัดความผันแปรภายในสิ่งตัวอย่างออกจากการวัดซ้ำได้ เช่น กรณีการตรวจสอบแบบทำลายที่จะมีความผันแปรในล็อตรวมอยู่กับค่าความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) เสมอ ดังนั้นต้องพยายามเลือกชิ้นงานในชุดการผลิต (Lot) ให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด

6) การประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ มีทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่

- วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) เหมาะกับการทดลองในช่วงสั้นๆและไม่มีการวัดซ้ำ มีข้อดีคือประเมินผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือ ไม่สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้
- วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method) เหมาะกับการทดลองซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน วิธีนี้สามารถแยกรีพีททะบิลิตี้ออกจากรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้
- วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เหมาะกับการวิเคราะห์ที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีนี้สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้ แต่มีข้อเสียคือมีความยุ่งยากในการคำนวณ

เมื่อประเมินค่าความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้แล้วต้องประเมินผลเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ ซึ่งอาจเป็นค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (เรียกว่า

Precision-to-Tolerance Ratio หรือ P/T) สำหรับระบบการวัดที่แยกแยะผลิตภัณฑ์เป็นดี เสีย หรือ อาจเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (เรียกว่า Precision-to-Total Variation หรือ P/TV) สำหรับระบบการวัดที่ทำการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ โดยที่

$$P/T = \frac{GR\&R}{USL - LSL} \times 100\% \qquad (2.8)$$

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\% \qquad (2.9)$$

ซึ่งเกณฑ์การตัดสินใจยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ดังนี้

P/T หรือ P/TV < 10% สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้

10% ≤ P/T หรือ P/TV < 30% อาจจะยอมรับได้ ขึ้นอยู่กับความสำคัญในการประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ฯลฯ

P/T หรือ P/TV ≥ 30% ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ จำเป็นต้องระบุสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีที่นำมาใช้ศึกษาในงานวิจัยคือ **วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย ซึ่ง**วิธีนี้จะช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณเพื่อสามารถกำหนดเป็นรูปแบบให้โรงงานตัวอย่างนำไปใช้ต่อได้ง่าย และวิธีนี้ตามที่กล่าวมาสามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบขนาดของรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ โดยแบ่งการเปรียบเทียบจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

กรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ อาจมีสาเหตุจาก

- เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอ ต้องการการบำรุงรักษา

- เครื่องมือวัดมีการออกแบบที่ทำให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไป
- อุปกรณ์จับยึดงานมีความยืดหยุ่นมากเกินไป อาจจะต้องออกแบบใหม่หรือต้องการการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น
- ชิ้นงานตัวอย่างมีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

กรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่ารีพีททะบิลิตี้ อาจมีสาเหตุจาก

- วิธีการใช้เครื่องมือวัดมีการใช้ทักษะของพนักงานวัดมากเกินไป จำเป็นต้องทบทวนการฝึกอบรมให้พนักงานมีความเข้าใจในการใช้งานและอ่านเครื่องมือวัดให้ดียิ่งขึ้น
- การสอบเทียบเครื่องมือวัดยังไม่ดีพอ
- การจับยึดงานในขณะทำการวัดของพนักงานยังไม่ดีพอ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์จับยึดมาช่วยขณะทำการวัดงาน

การประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ด้วยวิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย มีขั้นตอนในการดังนี้

(1) สุ่มพนักงานวัดที่มีหน้าที่ประจำมาประมาณ 2 ถึง 4 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด กรณีที่พนักงานมีจำนวนน้อยมากควรใช้อย่างน้อย 2 คน

(2) สุ่มชิ้นงานตัวอย่างมา 10 ชิ้น โดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการแล้วกำหนดตัวเลขบ่งชี้ 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานทราบ

(3) สอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมินผล

(4) สุ่มพนักงานวัดมา 1 คน จากที่สุ่มเลือกไว้แล้วในข้อ (1) จากนั้นสุ่มชิ้นงานตัวอย่างที่กำหนดตัวเลขบ่งชี้ไว้แล้วให้พนักงานคนดังกล่าววัดค่างาน โดยให้สุ่มวัดแต่ละชิ้นไม่น้อยกว่า 2 ครั้ง แล้วบันทึกผลลงในแบบฟอร์ม ซึ่งให้ดำเนินการไปจนครบทุกชิ้น จากนั้นสุ่มพนักงานวัดที่เหลือให้ดำเนินการเช่นเดียวกันจนครบทุกคน ทุกชิ้น ทุกครั้ง (จำนวนครั้งวัดซ้ำของแต่ละคนให้มีจำนวนเท่ากัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

(5) คำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน จากนั้นวิเคราะห์ค่ารีพีททะบิลิตี้ (โดยทั่วไปมักแทนด้วยค่าความผันแปรของอุปกรณ์วัด – Equipment Variation ; EV)

$$\mathrm{EV} = 5.15\sigma_{\mathrm{EV}} \tag{2.10}$$

โดย $\sigma_{\mathrm{EV}} = \frac{\bar{\mathrm{R}}(\mathrm{X})}{\mathrm{d}_2}$

จากนั้นให้วิเคราะห์ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ (โดยทั่วไปมักแทนด้วยค่าความผันแปรของพนักงานวัด – Appraiser Variation ; AV)

$$\sigma_{\mathrm{AV}} = \frac{\mathrm{R}(\bar{\mathrm{X}})}{\mathrm{d}_2}$$

$$\mathrm{AV} = \sqrt{(5.15\sigma_{\mathrm{AV}})^2 - \frac{\mathrm{EV}^2}{\mathrm{nr}}} \tag{2.11}$$

โดย n = จำนวนชิ้นงานที่พนักงานวัดแต่ละคนทำการวัด
r = จำนวนการวัดซ้ำที่พนักงานวัดแต่ละคนวัดชิ้นงานแต่ละชิ้น

จากสมการ (2.11) การประมาณค่า σ_{AV} มีการเฉลี่ยออกรีพีททะบิลิตี้จากงานตัวอย่างออกไปแล้ว (พิจารณาค่า $\mathrm{R}(\bar{\mathrm{X}})$) แต่การที่มี $\frac{\mathrm{EV}^2}{\mathrm{nr}}$ ถือเป็นการเฉลี่ยออกค่ารีพีททะบิลิตี้ของกระบวนการวัด (หรือประชากรออกไป) เพื่อให้การประมาณการค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และถ้าผลสมการมีค่าติดลบ แสดงว่าค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่ารีพีททะบิลิตี้ จึงประมาณค่าให้ AV = 0

เมื่อได้ค่าความผันแปรทั้ง EV และ AV แล้ว จะคำนวณค่า GR&R จากผลรวมความผันแปรทั้งสอง คือ

$$\mathrm{GRR} = \sqrt{(\mathrm{EV})^2 + (\mathrm{AV})^2} \tag{2.12}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในกรณีที่ระบบการวัดมีคุณภาพอย่างเพียงพอต่อการประเมินความผันแปรระหว่างชิ้นงานได้ จะทำการประเมินผลความผันแปรของกระบวนการได้จากค่า TV โดย

TV = ความผันแปรโดยรวม (Total Variation)

$$\mathrm{TV} = \sqrt{\mathrm{GRR}^2 + \mathrm{PV}^2} \tag{2.13}$$

โดย $\mathrm{PV} = 5.15\sigma_{\mathrm{P}}$

เมื่อ $\frac{\mathrm{R}(\bar{\mathrm{X}})}{\mathrm{d}_2}$ หรือ $\sigma_{\mathrm{P}} = \frac{\mathrm{R}_{\mathrm{P}}}{\mathrm{d}_2^*}$

จากนั้นคำนวณ P/T และ P/TV ตามสมการ (2.8) และ (2.9) เพื่อตัดสินใจและทำการแก้ไขต่อไป

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของระบบการวัดกับความสามารถของกระบวนการ

การศึกษาความสามารถของกระบวนการ จะเป็นการศึกษาเปรียบเทียบความผันแปรโดยธรรมชาติ (Natural tolerance) กับความผันแปรที่ยอมให้เกิด (specification tolerance) ในรูปของดัชนี C_p (Process capability index) ดังความสัมพันธ์คือ

$$C_p = \frac{\text{ความผันแปรที่ยอมให้เกิด}}{\text{ความผันแปรโดยธรรมชาติของกระบวนการ}}$$

ดังนั้น $\mathrm{C_P} = \frac{\mathrm{USL}-\mathrm{LSL}}{6\sigma}$ (2.14)

โดยเกณฑ์การประเมินค่าดัชนี C_p เป็นไปตามตารางที่ 2.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินดัชนีความสามารถของกระบวนการ C_p (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543)

ประเภทกระบวนการ	ค่า C_p ขั้นต่ำ
(1) กระบวนการอัตโนมัติ	2.0 หรือ $\pm 6\sigma$
(2) กระบวนการกึ่งอัตโนมัติ	1.33 หรือ $\pm 4\sigma$
(3) กระบวนการที่อาศัยแรงงานโดยส่วนใหญ่	1.0 หรือ $\pm 3\sigma$
(4) กระบวนการที่อาศัยวัตถุดิบจากธรรมชาติ	0.67 หรือ $\pm 2\sigma$

การตัดสินใจดัชนี C_p นั้น จะพบว่าความผันแปรที่ทำให้ C_p มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ นอกจากจะมาจากความผันแปรในกระบวนการแล้ว ยังมาจากความผันแปรของระบบการวัดด้วย ดังที่กล่าวมาแล้วในความหมายของระบบการวัดและความผันแปรในระบบการวัด (หัวข้อ 2.1) ดังนั้นถ้ากำหนดให้

σ_O = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการจากข้อมูลที่วัดได้ (observed process variation)

σ_A = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการที่เป็นจริง (actual process variation)

หมายถึง ความผันแปรของกระบวนการที่ไม่ได้รวมความผันแปรจากระบบการวัดไว้

$\sigma_{GR\&R}$ = ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการวัด

$$\sigma^2_O = \sigma^2_A + \sigma^2_{GR\&R}$$

หรือ
$$\sigma^2_A = \sigma^2_O - \sigma^2_{GR\&R} \qquad (2.15)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากสมการ (2.14) สามารถแสดงดัชนี Cp ในรูปของข้อมูลได้จาก

$$C_{pO} = \frac{USL - LSL}{6\sigma_O}$$

หรือ

$$\sigma_O = \frac{USL - LSL}{6C_{pO}} \quad (2.16)$$

เมื่อแทนสมการ (2.16) ในสมการ (2.15) จะได้

$$\sigma_A^2 = \left[\frac{USL - LSL}{6C_{pO}}\right]^2 - \sigma_{GR\&R}^2$$

โดย

$$C_{pA} = \frac{USL-LSL}{6\sigma_A}$$

$$C_{pA} = \frac{USL-LSL}{6\sqrt{\left[\frac{USL-LSL}{6C_{pO}}\right]^2 - \sigma_{GR\&R}^2}}$$

$$C_{pA} = \frac{USL-LSL}{6\sqrt{\left[\frac{2.17}{6C_{pO}}\right]^2 - \left[\frac{\sigma_{GR\&R}^2}{USL-LSL}\right]^2}} \quad (2.17)$$

ดังนั้น

$$C_{pA} = \frac{1}{6\sqrt{\left[\frac{1}{6C_{pO}}\right]^2 - \left[\frac{\%GR\&R}{5.15}\right]^2}} \quad (2.18)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

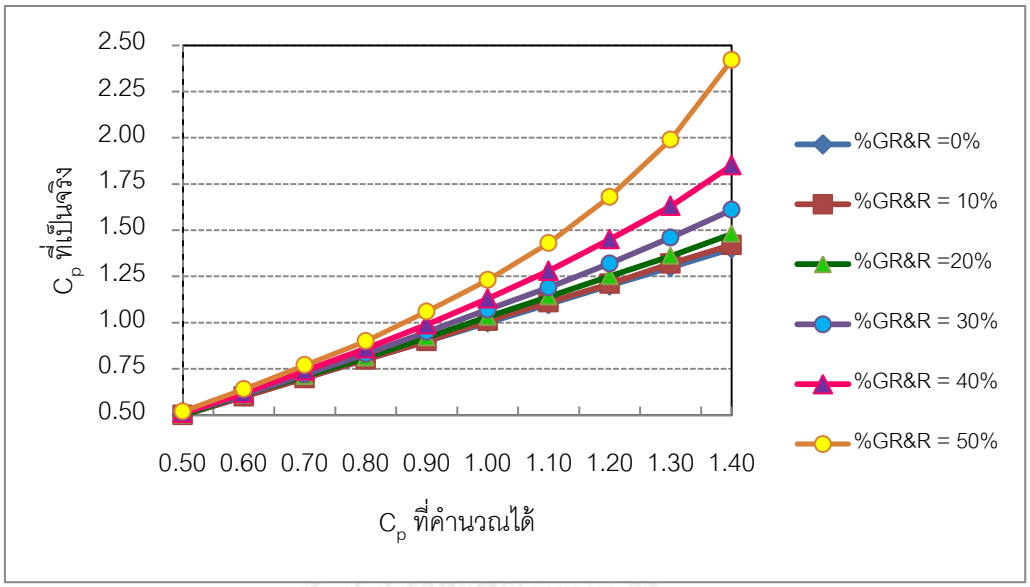
จากสมการ (2.15) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของ C_{pA} และ %GR&R หรือ P/T ได้ดังตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.3 ค่า C_p ที่เป็นจริงจากค่า C_p ที่คำนวณได้และ P/T (Barrentine, 1991)

ค่า C_p	P/T หรือ %GR&R							
	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.52	0.53	0.55
0.60	0.60	0.60	0.61	0.61	0.62	0.64	0.66	0.69
0.70	0.70	0.70	0.71	0.72	0.74	0.77	0.80	0.85
0.80	0.80	0.80	0.81	0.83	0.86	0.90	0.96	1.06
0.90	0.90	0.90	0.92	0.95	0.99	1.06	1.16	1.33
1.00	1.00	1.01	1.03	1.07	1.13	1.23	1.40	1.73
1.10	1.10	1.11	1.14	1.19	1.28	1.43	1.72	2.49
1.20	1.20	1.21	1.25	1.32	1.45	1.68	2.20	5.83
1.30	1.30	1.32	1.36	1.46	1.63	1.99	3.11	*
1.40	1.40	1.42	1.48	1.61	1.85	2.42	6.81	*
1.50	1.50	1.52	1.60	1.76	2.10	3.08	*	*
1.60	1.60	1.63	1.72	1.93	2.40	4.41	*	*
1.70	1.70	1.73	1.85	2.11	2.79	12.22	*	*
1.80	1.80	0.18	1.98	2.32	3.31	*	*	*
1.90	1.90	1.95	2.12	2.54	4.09	*	*	*
2.00	2.00	2.06	2.26	2.80	5.52	*	*	*

* หมายถึงเป็นไปไม่ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของ C_p ที่เป็นจริงกับ C_p ที่คำนวณได้ภายใต้ค่า P/T

จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.7 ค่า C_p ที่คำนวณมีค่าต่ำมากๆนั้น จำเป็นมากต่อการปรับปรุงกระบวนการ เพราะ C_p ที่มีค่าต่ำถึง 0.5 นั้น แสดงว่าความผันแปรของกระบวนการ (6σ) จากข้อมูลวัดที่ได้มีค่าเป็น 2 เท่าของความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการก่อน โดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาค่า P/T หรือ %GR&R ที่อธิบายถึงความผันแปรจากระบบการวัดว่าเป็นอย่างไร ส่วนความผันแปรจากระบบการวัด (P/T หรือ %GR&R) จะมีผลมากขึ้นต่อค่า C_p ที่คำนวณได้ เมื่อค่า C_p มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อ C_p ที่คำนวณได้มีค่ามากๆ ควรมีการตัดสินใจจาก C_p ที่แท้จริง (C_{pA}) มากกว่า เพื่อให้การตัดสินใจปฏิบัติการมีความถูกต้อง จากข้อสังเกตผ่านตารางที่ 2.3 และรูปที่ 2.7 ได้ข้อสรุปว่าค่า P/T หรือ %GR&R ยอมให้มีค่าสูงสุดได้เพียง 30% แต่ถ้าให้เหมาะสมควรจะอยู่ระหว่าง 10-20% เพื่อให้การตัดสินใจกับกระบวนการมีความเหมาะสมที่สุด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัชวาล พรพัฒน์กุล (2544) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ระบบการวัด ในโรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ โดยทำการศึกษาเครื่องมือวัดในแผนกหล่อแม่พิมพ์ปูน เพื่อศึกษาถึงแหล่งความผันแปรของระบบการวัดของเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อโลหะ เครื่องหล่อแม่พิมพ์ปูนภายใต้ความดันสุญญากาศ และกระบองไซค์ ผ่านการศึกษาคุณสมบัติด้านไบแอส การศึกษาความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัด การวิเคราะห์เชิงเส้นตรง และการวิเคราะห์ความแม่นยำ ได้ข้อสังเกตจากงานวิจัยคือ เมื่อเครื่องมือวัดมีอายุการใช้งานมากขึ้น ค่าไบแอสจะสูงตาม โดยเฉพาะเครื่องมือวัดที่ใช้งานหนักจะมีค่าไบแอสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในเวลาอันสั้น การประเมินความมีเสถียรภาพผ่านแผนภูมิควบคุมจะกำหนดการประมาณค่าในแผนภูมิ 1 วัน เท่ากับ 1 เดือน พบว่าเครื่องชั่งทุกเครื่องมีความเป็นเสถียรภาพ รอบการสอบเทียบของโรงงานมีความเหมาะสมแล้ว การวิเคราะห์เชิงเส้นกำหนดค่ามาตรฐานของ R^2 มากกว่า 60% โดยเสนอให้โรงงานตัวอย่างควรบำรุงรักษาเครื่องวัดมือที่มีค่า R^2 เกิน 60% มาเพียงเล็กน้อยแต่ให้พิจารณาเรื่องของความจำเป็นและต้นทุนในการทำด้วย ส่วนเครื่องวัดมือที่มีค่า R^2 ไม่ถึง 60% ควรส่งซ่อมแซม ส่วนการวิเคราะห์ความแม่นยำประเมินผ่านค่า %GR&R พบว่าระบบการวัดมีปัญหา ต้องแก้ไขสาเหตุทั้งจากเครื่องมือวัดและพนักงานวัดไปพร้อมๆกัน เพื่อให้ความผันแปรในระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบคุณภาพตามมาตรฐาน QS-9000 ในเรื่องการวิเคราะห์ระบบการวัด จึงได้เสนอให้โรงงานตัวอย่างปรับปรุงเวลาการสอบเทียบเครื่องมือวัด การจัดหาเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพมากกว่าเดิมมาใช้งาน การปรับปรุงเอกสารคูมือการทำงาน และการฝึกอบรมพนักงานวัดใหม่ การปรับปรุงระบบการวัดแม้จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น แต่เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น ช่วยขยายโอกาสทางการตลาดของโรงงานให้สูงตาม

จักษ์กฤต ปฏิเวธธรรม (2543) ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัดในสายการผลิตชิ้นส่วนนักเกิล โดยทำการวิจัยเครื่องมือวัดที่อยู่ในสายการผลิตนักเกิล ทั้งแบบ Variable characteristic และแบบ Attribute characteristic ผลการวิจัยพบว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือวัดแบบ Variable characteristic มาจากการขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัดของตัวพนักงาน เนื่องจากพนักงานมีการปฏิบัติงานหมุนเวียนในจุดทำงานค่อนข้างบ่อย ทำให้ความรู้และทักษะในการวัดงานที่ต้องใช้เครื่องมือวัดลดลง จึงได้ทำการปรับปรุงและให้ความรู้เกี่ยวกับ

เครื่องมือวัดและนำเครื่องมือวัดมาทำการสอบเทียบใหม่ทั้งหมด และกำหนดระเบียบในการหมุนเวียนโอนย้ายพนักงาน ส่วนเครื่องมือวัดแบบ Attribute characteristic ความผันแปรที่เกิดขึ้นมาจากเครื่องมือวัดที่สึกหรอ ระยะเวลาการสอบเทียบที่ไม่เหมาะสม และความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือวัด และฝึกอบรมวิธีการวัด ทำให้ผลการปรับปรุงค่าความผันแปรในระบบการวัดของเครื่องมือวัดลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

สมภพ ตลับแก้ว (2539) ศึกษาการกำหนดวิธีการควบคุมความแปรผันของระบบการวัดด้วยเทคนิค GR&R ในโรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเลือกเครื่องมือวัดมาศึกษา 5 ประเภท ได้แก่ กล้องไมโครสโคป เครื่องวัดความหนา เครื่องเอ็กซ์เรย์ เวอร์เนียคาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์ ทดสอบกับพนักงานวัด 3 คนต่อเครื่องมือวัด 1 เครื่อง จำนวนงานที่ใช้ทดสอบ 8-10 ชิ้น และทำการวัดซ้ำ 2 ครั้ง แล้ววิเคราะห์ถึงปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความผันแปรในระบบการวัด พบว่า เครื่องมือวัดประเภทที่แสดงผลแบบตัวเลข ความแปรผันส่วนใหญ่เกิดจากเครื่องมือวัด จึงได้ทำการปรับปรุงระบบการสอบเทียบเครื่องมือวัด วิธีการใช้งานของเครื่องมือวัด ส่วนเครื่องมือวัดประเภทเชิงกล ความแปรผันส่วนใหญ่เกิดจากพนักงานวัด จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการทำงานของพนักงานวัด ให้มีการวัดอย่างถูกวิธี การปรับปรุงระบบการวัดทำให้เปอร์เซ็นต์ความแปรผันของระบบการวัดในแต่ละเครื่องมือวัดมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง และอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ของมาตรฐาน GR&R

ชินวุธ สถิรวุฒิพงศ์ (2543) นำวิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดมาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือวัดในอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนรถยนต์ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ความถูกต้อง (Accuracy) และการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) โดยเลือกเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัดและเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับ ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ความถูกต้อง จะวิเคราะห์ผ่านคุณสมบัติไบแอสด้วยแผนภูมิควบคุมเพื่อประเมินความถูกต้องในสภาวะปัจจุบัน พบว่าทุกเครื่องมือวัดมีค่า %ไบแอส < 10% ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน QS-9000 การประเมินคุณสมบัติเชิงเส้นตรง พบว่าเครื่องมือวัดทั้งหมดไม่สามารถใช้งานได้ตลอดย่านวัดที่ระบุ จึงได้กำหนดมาตรฐานการใช้งานทุกเครื่องมือเพื่อไม่ให้พนักงานนำเครื่องมือวัดไปใช้นอกย่านการวัดที่ระบุ และการประเมินความมีเสถียรภาพโดยใช้แผนภูมิควบคุม ผลจากการประเมินพบว่าเครื่องมือวัดส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานนานกว่าระยะเวลาการสอบเทียบที่กำหนด ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ความแม่นยำ แบ่งออกเป็น เครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด และเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับ พบว่าทุกเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด มีค่า % GR&R เกิน

กว่า 10% โดยมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากพนักงานวัดเป็นหลัก จึงได้ดำเนินปรับปรุงแก้ไขขั้นตอนวิธีการวัดงานของพนักงาน โดยการฝึกอบรมพร้อมจัดทำคู่มือและมาตรฐานการใช้งาน จนระบบการวัดมีที่ %GR&R ลดลงและสามารถยอมรับได้ ส่วนการประเมินความแม่นยำของเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับ พบว่าการใช้เครื่องมือวัดส่วนใหญ่มีปัญหาด้านความถูกต้องและความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขฝึกอบรมพนักงานและจัดทำคู่มือมาตรฐานการตรวจสอบชิ้นงานดีและชิ้นงานเสีย จนระบบวัดดังกล่าวมีค่าความสามารถในการวัดซ้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

กฤษดา ประสพชัยชนะ (2554) ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตใบพัดอากาศของเครื่องยนต์เครื่องบินพาณิชย์ ด้วยการใช้เทคนิค DMAIC พบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดงานเสียมาจากวัตถุดิบด้อยคุณภาพ เนื่องมาจากกระบวนการตรวจสอบรับเข้าวัตถุดิบไม่สามารถตรวจจับของเสียได้ ซึ่งเมื่อได้วัดความสามารถของกระบวนการและวิเคราะห์ระบบการวัด โดยแยกเป็นข้อมูลเชิงนับและข้อมูลเชิงผันแปร พบว่าผลการประเมินระบบการวัดข้อมูลเชิงนับของพนักงานไม่ผ่านเกณฑ์ จึงทำการแก้ไขและปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานและการตรวจสอบชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นส่วนการประเมินผลระบบการวัดข้อมูลเชิงผันแปรใช้งานตัวอย่างจำนวน 10 ชิ้น มาวัดด้วยพนักงาน 3 คน ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้งอย่างสุ่ม พบว่าผลของเครื่องมือวัดละเอียดสามมิติ (Coordinate Measuring Machine; CMM) ผ่านเกณฑ์และสามารถยอมรับระบบการวัดได้ หลังจากปรับปรุงระบบการวัดและปรับปรุงกระบวนการผลิตภายในที่เกี่ยวข้องส่งผลให้สัดส่วนของเสียลดลงจาก 1.50% เหลือ 0.86% คิดเป็นต้นทุนที่ลดได้ 153,900 บาทต่อเดือน

บทความของ Abbas Al-Refaie และ Nour Bata (2010) เรื่อง Evaluating measurement and process capability by GRR with four quality measures ได้นำเสนอขั้นตอนสำหรับการประเมินความสามารถของระบบการวัดและการผลิตโดยออกแบบการทดลองด้วย GR&R กับ 4 หัวข้อการตรวจสอบงาน ในขั้นตอนการศึกษาด้วย GR&R นี้ ได้ทำการวัดซ้ำตัวงานโดยใช้พนักงานวัดที่แตกต่างกันไปและประเมินผล ผ่านการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือ ANOVA (Analysis of Variance) และใช้เกณฑ์สุดท้ายตัดสินใจยอมรับหรือไม่สามารถยอมรับระบบการวัดนี้ได้ด้วยค่า PTR (Precision-to-Tolerance Ratio), SNR (Signal-to-Noise Ratio), DR (Discrimination Ratio) และค่า Cp, Cpk (Process Capability index) โดยได้สรุปในขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยว่าการนำ GR&R มาใช้ประเมินผลระบบการวัดเป็นประโยชน์กับการจัดการ

คุณภาพของกระบวนการการผลิต ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจดำเนินการเพื่อการดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตได้

บทความของ Vahid Hajipour และคนอื่นๆ (2013) เรื่อง A fuzzy expert system to increase accuracy and precision in measurement system analysis ศึกษาการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ระบบการวัดในสภาพแวดล้อมที่มียังไม่มีความชัดเจน (fuzzy environment) ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จะมีความผิดพลาดในการวัดซ่อนอยู่ในความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการ จึงนำเสนอให้มีการวิเคราะห์ระบบการวัดก่อนที่จะมีการดำเนินการใดๆในการปรับปรุงกระบวนการ โดยการนำวิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดมาใช้นั้นจะทำให้ลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากวัดลงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สำรวจสภาพทั่วไป

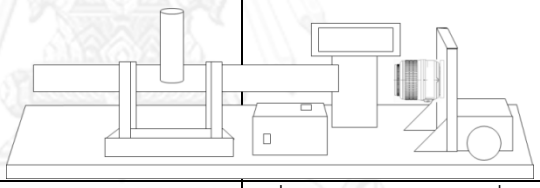
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับระบบการวัดในแผนกประกันคุณภาพของโรงงานผลิตกล้องดิจิตอล SLR และเลนส์ซูม โดยเลือกการศึกษาในกิจกรรมการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานจากกระบวนการผลิต โดยเริ่มต้นสำรวจจากแผนการผลิตโดยเฉลี่ยต่อเดือนของผลิตภัณฑ์เลนส์ซูมทั้งหมด ในช่วงเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2555 ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการผลิตเลนส์ซูม ระหว่างเดือน ก.ค.-ธ.ค. 2555

ผลิตภัณฑ์ รุ่น	ก.ค. (ตัว)	ส.ค. (ตัว)	ก.ย. (ตัว)	ต.ค. (ตัว)	พ.ย. (ตัว)	ธ.ค. (ตัว)	เฉลี่ยต่อเดือน (ตัว)
B1	20,670	26,317	33,244	25,243	13,365	8,075	21,152
B10	59,392	47,549	46,900	66,905	75,300	56,080	58,688
B2	47,974	41,870	38,013	16,386	2,899	4,392	25,256
B3	25,960	25,888	29,310	15,940	7,084	4,956	18,190
B4	27,080	23,383	15,750	15,832	8,093	8,920	16,510
B5	-	-	-	1,126	16,375	17,132	11,544
B6	15,810	16,480	32,960	15,260	8,240	7,030	15,963
B7	174,719	173,478	120,190	91,933	91,324	54,635	117,713
B8	320,100	322,036	390,612	305,509	320,257	186,260	**307,462**
B9	9,706	11,751	12,164	10,850	3,437	4,832	8,790

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าผลิตภัณฑ์รุ่น B8 มีแผนการผลิตโดยเฉลี่ยต่อเดือนสูงสุด ในระหว่างเดือน ก.ค.-ธ.ค. 2555 คือ 301,462 ตัว ผู้วิจัยจึงเลือกรุ่น B8 มาทำการศึกษา เมื่อได้รุ่นผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษาแล้ว จึงสำรวจหัวข้อตรวจสอบที่เกี่ยวข้องในกิจกรรมการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงาน ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดหัวข้อตรวจสอบ สำหรับเลนส์ซูมรุ่น B8

ลำดับ	หัวข้อ	ตำแหน่งตรวจสอบ	ชื่อเครื่องมือวัด	จุดประสงค์การตรวจสอบ	หน่วยวัด
1	M	M1 M2 M3 M4 M5 M6	M Machine - 012T 	เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระยะจาก mount reference plane ไปยัง focus plane	มิลลิเมตร (mm)
2	Z	Z1 Z2 Z3 Z4	Torque meter 10 kg. - 5017E	เพื่อตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ในการหมุนซูมจากระยะใกล้สุดไประยะไกลสุด	กรัม เซนติเมตร (g • cm)
3	G	G1	Tension gage 200 g. - 15C620	เพื่อตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ในการกดปุ่ม G ให้ยุบพอดีกับขอบ Mount ของเลนส์	กรัม เซนติเมตร (g • cm)
4	A	A1 A2	Tension gage 110 g. - 22A450	เพื่อตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ดึงให้ Aperture Blade เปิดสุดของเลนส์ซูม	กรัม (g)

ตารางที่ 3.2(ต่อ) รายละเอียดหัวข้อตรวจสอบ สำหรับเลนส์ซูมรุ่น B8

ลำดับ	หัวข้อ	ตำแหน่งตรวจสอบ	ชื่อเครื่องมือวัด	จุดประสงค์การตรวจสอบ	หน่วยวัด
5	F	F1 F2 F3 F4 F5 F6 F7 F8	Torque meter 2.5 kg. - 0411C 	เพื่อตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ในการหมุนวงแหวนโฟกัส	กรัม (g)
6	MT	MT1 MT2	Torque meter 10 kg. - 2512E 	เพื่อตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ในการสวมและถอด เลนส์ซูมเข้ากับตัวกล้อง	กิโลกรัม เซนติเมตร (Kg . cm)
7	S	S1 S2 S3 S4	Tension gage 1000 g. - 11E529 	เพื่อตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ดึงในการเคลื่อนที่ของสวิตซ์ปรับโหมดการใช้งานของเลนส์ซูม	กรัม (g)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าในกิจกรรมการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานของผลิตภัณฑ์รุ่น B8 มีหัวข้อตรวจสอบทั้งหมด 7 หัวข้อ รวม 27 ตำแหน่งตรวจสอบ และใช้ 7 เครื่องมือวัด ซึ่งทุกหัวข้อสามารถนำมาจัดประเภทการตรวจสอบได้ตามลักษณะการวัดได้ 5 กลุ่มคือ

1. หัวข้อ M จัดเป็นประเภท Dimension
2. หัวข้อ Z, F และ MT จัดเป็นประเภท Friction
3. หัวข้อ S จัดเป็นประเภท Push, Pull
4. หัวข้อ A จัดเป็นประเภท Tension
5. หัวข้อ G จัดเป็นประเภท Compression

ซึ่งหัวข้อทั้งหมดจะถูกนำมาทดสอบความสามารถและวิเคราะห์กระบวนการวัดต่อไป

3.2 การควบคุมองค์ประกอบในการศึกษา

3.2.1 กำหนดจำนวนพนักงานวัดที่ใช้ในการศึกษา

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ พนักงานที่มีทำหน้าที่ประจำในการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานของหน่วยงานประกันคุณภาพ ซึ่งมีพนักงานจำนวนทั้งหมด 10 คน หมุนเวียนกันทำการตรวจสอบงานทุกโมเดลตามแผนงานที่หัวหน้างานกำหนด จึงสุ่มเลือกพนักงานจาก 10 คน ดังกล่าว มาทำการศึกษา 4 คน และใช้พนักงานชุดเดิมไปตลอดช่วงการศึกษา

3.2.2 การเลือกชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในการศึกษา

สุ่มตัวอย่างชิ้นงานสำหรับทดสอบให้ครอบคลุมช่วงความผันแปรของกระบวนการผลิต โดยกำหนดจำนวนของสิ่งตัวอย่าง 10 ชิ้น ไปตลอดช่วงการศึกษา และการวัดซ้ำเท่ากับ 3 ครั้ง

3.2.3 กำหนดเวลาที่ใช้ในการศึกษา

ใช้ช่วงเวลาสำหรับการศึกษาวิจัยเป็นช่วงเวลา 10.30 - 16.30 น. ไปตลอดการศึกษา

3.2.4 ควบคุมสภาพแวดล้อมในการศึกษา

ใช้ความสว่างที่ 400 ลักซ์ และอุณหภูมิของห้องทดสอบ ควบคุมที่ 25±1 องศาเซลเซียส สำหรับงานตรวจสอบคุณภาพงานโดยเป็นมาตรฐานที่บริษัทแม่กำหนดมาให้ไปตลอดการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การประเมินผลระบบการวัดก่อนการปรับปรุง

3.3.1 การประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงตรง **(Accuracy)**

ในส่วนนี้จะอธิบายขั้นตอนการประเมินผลด้านค่าไบแอส (Bias) โดยยกตัวอย่างหัวข้อตรวจสอบ M ส่วนการประเมินผลด้านความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัดนั้น จะอธิบายและแสดงหลังจากที่ระบบการวัดถูกสอบเทียบแล้ว

ขั้นตอนการศึกษาค่าไบแอส

1. เลือกงานมาตรฐานในการวัดขึ้นมาหนึ่งชิ้น ที่สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ และในกรณีไม่สามารถหางานมาตรฐานดังกล่าวได้ ให้เลือกงานชิ้นหนึ่งจากสายการผลิตที่อยู่ในช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดเป็นงานมาสเตอร์ โดยให้ทำการวัดงานนี้อย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุมแล้วเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก และกำหนดค่าที่ได้ดังกล่าวเป็น “ค่าอ้างอิง (reference value)”

2. ให้พนักงานที่มีความสามารถในการใช้เครื่องมือวัดอย่างดีทำการวัดงานมาสเตอร์ดังกล่าวอย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะการวัดที่ต้องประเมินผล

3. ทำการเฉลี่ยค่าวัดดังกล่าวที่พนักงานสามารถวัดได้

4. ประเมินผลค่าไบแอส โดยพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

ค่าไบแอส = ค่าเฉลี่ยของค่าวัด – ค่าอ้างอิง

5. คำนวณหาค่า %ไบแอส (%Bias) เทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้

$$\%\text{ไบแอสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\text{ค่าไบแอส}}{\text{USL - LSL}} \times 100\%$$

6. วิเคราะห์ผลที่ได้และตัดสินใจ

%ค่าไบแอส < 5%	อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ %ค่าไบแอส < 10%	อาจยอมรับได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าใช้จ่าย
%ค่าไบแอส ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องหาสาเหตุแล้วแก้ไข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างการประเมินคุณสมบัติค่าไบแอส หัวข้อตรวจสอบ M

1. หัวข้อตรวจสอบ M ที่ตำแหน่งตรวจสอบ M1 มีขีดจำกัดบนของสเปค (USL- Upper Specification Limit) เป็น 0.391 mm. มีขีดจำกัดล่างของสเปค (LSL- Lower Specification Limit) เป็น -0.409 mm. ดังนั้นจะมีความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้เท่ากับ 0.800 mm. (USL - LSL) เมื่อเลือกงานมาสเตอร์มาวัดค่า 10 ครั้ง ด้วยมาตรฐานเครื่องมือวัดที่สูงกว่าจะได้ผลดังนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	**ค่าเฉลี่ย**
ค่าวัด	0.058	0.026	0.013	0.039	0.039	0.061	0.033	0.043	0.045	0.032	**0.039**

ค่าเฉลี่ยของการวัด 10 ครั้งเท่ากับ 0.039 mm. จะถูกกำหนดเป็นค่าอ้างอิง

2. เมื่อให้พนักงานวัดงานมาสเตอร์ด้วยเครื่องมือวัด M Machine – 012T ได้ผลการวัดค่างาน 10 ครั้งของพนักงานดังตาราง

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Sum
ค่าวัด , X	0.021	0.026	0.016	0.009	0.003	0.014	0.041	0.026	0.008	0.015	0.179

3. เฉลี่ยค่าวัด 10 ครั้งที่พนักงานวัดได้

หาค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัด จะได้ $\bar{X} = \sum_{i=1}^{n} \frac{X_i}{n}$

$$= \frac{0.179}{10}$$

$$= 0.0179$$

4. หาค่าไบแอส

$$\text{ค่าไบแอส} = \text{ค่าเฉลี่ยของค่าวัด} - \text{ค่าอ้างอิง}$$

$$= 0.0179 - 0.039$$

$$= -0.0210$$

5. หาค่า %ไบแอส

$$\%\text{ไบแอสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\text{ค่าไบแอส}}{\text{USL - LSL}} \times 100\%$$

$$= \frac{-0.0210 \times 100\%}{0.800}$$

$$= 2.63\%$$

6. วิเคราะห์ผล

จากผลการคำนวณที่ได้ หมายถึง ถ้าความแตกต่างของชิ้นงานในกระบวนการผลิตมีค่าเท่ากับ 100 mm. แล้ว ค่าความแตกต่างของค่าวัดเนื่องจากคุณสมบัติค่าไบแอสของระบบการวัดจะมีค่าเท่ากับ ± 2.63 mm. และค่า %ไบแอส ที่ได้มีค่า 2.63% < 5% จึงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข

หัวข้อตรวจสอบ M ที่ใช้เครื่องมือวัด M Machine - 012T ตั้งแต่ตำแหน่ง M1-M6 มีผลการวัดในการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอส ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งจะพบว่าค่า %ไบแอส ที่ได้มีค่า < 5% ทุกตำแหน่ง ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข คือ ตำแหน่ง M1 - M6 มีค่า %ไบแอส เท่ากับ 2.63%, 0.90%, 0.52%, 2.00%, 1.40% และ 0.54% ตามลำดับ ดังนั้นหัวข้อ M ทุกตำแหน่งไม่มีปัญหาด้านความเที่ยงตรง ส่วนในหัวข้อตรวจสอบอื่นๆสามารถดูบันทึกผลการศึกษาได้ที่ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 บันทึกผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด M Machine - 012T

Form: %Bias Study

Model	B8			Date:	1/8/2013	
Tool Name	M Machine - 012T			Unit	mm.	
Measured Position	M1	M2	M3	M4	M5	M6
USL	0.391	0.391	0.250	0.045	0.045	0.250
LSL	-0.409	-0.409	-0.231	-0.055	-0.055	-0.231
Part Spec = USL - LSL	0.800	0.800	0.481	0.100	0.100	0.481
Reference value	0.039	0.024	0.101	-0.014	-0.013	0.076
No.	Name	Name	Name	Name	Name	Name
	G	G	G	G	G	G
1	0.021	0.020	0.120	-0.014	-0.011	0.083
2	0.026	0.023	0.112	-0.018	-0.013	0.086
3	0.016	0.017	0.103	-0.023	-0.018	0.076
4	0.009	0.010	0.092	-0.011	-0.009	0.080
5	0.003	0.004	0.098	-0.017	-0.020	0.073

ตารางที่ 3.3(ต่อ) บันทึกผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด M Machine - 012T

No.	Name	Name	Name	Name	Name	Name
	G	G	G	G	G	G
6	0.014	0.013	0.113	-0.019	-0.014	0.084
7	0.041	0.038	0.096	-0.021	-0.013	0.070
8	0.026	0.018	0.095	-0.010	-0.009	0.076
9	0.008	0.009	0.110	-0.014	-0.020	0.086
10	0.015	0.016	0.091	-0.014	-0.014	0.075
Average	*0.0179*	*0.0168*	*0.1030*	*-0.0161*	*-0.0141*	*0.0789*
Bias	*-0.0210*	*-0.0072*	*0.0025*	*-0.0020*	*-0.0014*	*0.0026*
%Bias	*2.63%*	*0.90%*	*0.52%*	*2.00%*	*1.40%*	*0.54%*
DECISION	*Accept*	*Accept*	*Accept*	*Accept*	*Accept*	*Accept*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2 การประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำ (Precision)

วิเคราะห์ด้วย Gage R&R โดยวิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. สุ่มพนักงานวัดมา 4 คนจากพนักงานวัดทั้งหมด 10 คน
2. สุ่มชิ้นงานมา 10 ชิ้นให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการ (ชักสิ่งตัวอย่าง 1 ชิ้นต่อวัน เป็นเวลาหลายวัน เพื่อให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการ)
3. กำหนดตัวเลขบ่งชี้ 1-10 ของชิ้นงานตัวอย่าง โดยไม่ให้พนักงานทราบ
4. สุ่มพนักงานวัดคนที่ 1 มาแล้วสุ่มชิ้นงานให้พนักงานวัด โดยพนักงานทั้ง 4 คน จะวัดซ้ำชิ้นงาน 10 ชิ้นอย่างสุ่ม ชิ้นละ 3 ครั้ง จนครบทุกชิ้น มีลำดับการสุ่มงานตามตารางที่ 3.4 โดยจัดลำดับการสุ่มงานจากโปรแกรม Minitab Release 16 จากขั้นตอน Stat > Quality Tools > Gage Study > Create Gage R&R Study worksheet... ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ตารางที่ 3.4 ลำดับการสุ่มงานให้พนักงานวัดค่างาน

Run Order	Parts	Operators	Run Order	Parts	Operators	Run Order	Parts	Operators
1	8	1	14	3	2	27	9	3
2	2	1	15	6	2	28	5	3
3	10	1	16	9	2	29	4	3
4	9	1	17	5	2	30	10	3
5	7	1	18	10	2	31	1	4
6	3	1	19	4	2	32	3	4
7	6	1	20	2	2	33	8	4

ตารางที่ 3.4(ต่อ) ลำดับการสุ่มงานให้พนักงานวัดค่างาน

Run Order	Parts	Operators	Run Order	Parts	Operators	Run Order	Parts	Operators
8	4	1	21	7	3	34	4	4
9	5	1	22	1	3	35	7	4
10	1	1	23	3	3	36	10	4
11	8	2	24	6	3	37	6	4
12	1	2	25	2	3	38	5	4
13	7	2	26	8	3	39	2	4
40	9	4	66	3	3	92	4	2
41	7	1	67	10	3	93	3	2
42	5	1	68	5	3	94	7	2
43	4	1	69	7	3	95	2	2
44	9	1	70	9	3	96	9	2
45	10	1	71	8	4	97	5	2
46	6	1	72	5	4	98	6	2
47	1	1	73	6	4	99	8	2
48	3	1	74	10	4	100	10	2

ตารางที่ 3.4(ต่อ) ลำดับการสุ่มงานให้พนักงานวัดค่างาน

Run Order	Parts	Operators	Run Order	Parts	Operators	Run Order	Parts	Operators
49	8	1	75	9	4	101	9	3
50	2	1	76	3	4	102	5	3
51	9	2	77	2	4	103	6	3
52	3	2	78	4	4	104	10	3
53	8	2	79	7	4	105	4	3
54	1	2	80	1	4	106	3	3
55	7	2	81	2	1	107	8	3
56	4	2	82	5	1	108	1	3
57	5	2	83	10	1	109	2	3
58	10	2	84	9	1	110	7	3
59	2	2	85	3	1	111	6	4
60	6	2	86	6	1	112	1	4
61	2	3	87	4	1	113	3	4
62	8	3	88	1	1	114	2	4
63	4	3	89	8	1	115	8	4

ตารางที่ 3.4(ต่อ) ลำดับการสุ่มงานให้พนักงานวัดค่างาน

Run Order	Parts	Operators	Run Order	Parts	Operators	Run Order	Parts	Operators
64	6	3	90	7	1	116	5	4
65	1	3	91	1	2	117	9	4
118	7	4	119	4	4	120	10	4

จากตารางที่ 3.4 การสุ่มหยิบงานให้พนักงานวัดค่า จะมีทั้งหมด 120 ครั้ง เกิดจากจำนวนพนักงาน 4 คน x จำนวนงาน 10 ชิ้น x จำนวนการวัดซ้ำ 3 ครั้ง = 120 ครั้ง โดยการรอบที่ 1 พนักงานคนที่ 1 จะวัดค่างานลำดับที่ 1-10 ซึ่งจะสุ่มหยิบงานหมายเลข 8 ก่อน จากนั้นจะเป็นหมายเลข 2 และ 10 ตามลำดับในตาราง ไปจนครบ 10 ตัว และพนักงานคนที่ 2, 3 และ 4 ก็จัดลำดับการสุ่มหยิบงานเช่นเดียวกับพนักงานคนที่ 1 ตามหมายเลขที่ตารางระบุไว้ ทำจนครบลำดับที่ 120

5. นำค่าที่พนักงานวัดแต่ละคนวัดค่าได้ 3 รอบ มาคำนวณหาค่าต่างๆเพื่อประเมินผลออกมาดังนี้
   - คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Average) ของพนักงานแต่ละคน $\overline{X}_a, \overline{X}_b, \overline{X}_c, \overline{X}_d$
   - คำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าพิสัย (Range) ของพนักงานแต่ละคน $\overline{R}_a, \overline{R}_b, \overline{R}_c, \overline{R}_d$
   - คำนวณหาค่าเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้น จากทุกครั้งของแต่ละคน (Part average)
   - คำนวณหาค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด $\overline{\overline{X}}$
   - คำนวณหาค่า R_p โดยนำค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่มากสุดลบด้วยค่าเฉลี่ยที่น้อยสุด (part average max – part average min)
   - คำนวณหาค่าเฉลี่ยของพิสัยทั้งหมด $\overline{\overline{R}}$ จาก $\overline{R}_a, \overline{R}_b, \overline{R}_c, \overline{R}_d$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- คำนวณหาค่าความแตกต่างสูงสุดของค่าเฉลี่ย $\overline{X}_{diff}$ จากการนำค่าเฉลี่ยการวัดของพนักงานที่มากที่สุดลบด้วยค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด $\overline{X}_a, \overline{X}_b, \overline{X}_c, \overline{X}_d$
- คำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมบนพิสัย UCL_R จากสูตร $UCL_R = \overline{\overline{R}} \times D_4$

  โดย $D_4 = 2.58$ สำหรับการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

  และตัดข้อมูลที่พิสัย (R) เกินขอบเขตควบคุมบนพิสัย UCL_R แล้วคำนวณหาค่าขอบเขตควบคุมบนพิสัย UCL_R ใหม่ จนกว่าจะไม่มี R ที่เกิน

6. คำนวณหาความผันแปรของอุปกรณ์วัด (Equipment variation; EV) โดยใช้สูตร

$$EV = K_1 \times \overline{\overline{R}}$$

โดย $K_1 = 3.50$ สำหรับการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

คำนวณหาความผันแปรของพนักงานวัด (Appraiser variation; AV) โดยใช้สูตร

$$AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$$

โดย $K_2 = 2.30$ สำหรับจำนวนพนักงานวัด 4 คน

n = จำนวนชิ้นงาน, r = จำนวนครั้งการวัดซ้ำ

7. คำนวณหาค่า GRR (Gage Repeatability & Reproducibility) โดยใช้สูตร

$$GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

คำนวณค่าความผันแปรของชิ้นงาน(Part variation) โดยใช้สูตร

$$PV = R_P \times K_3$$

โดย $K_3 = 1.62$ สำหรับจำนวนงานตัวอย่าง 10 ชิ้น

8. คำนวณค่าความผันแปรรวม (Total variation) โดยใช้สูตร

$$TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\%\mathrm{EV} = 100[\frac{\mathrm{EV}}{\mathrm{TV}}]$$

$$\%\mathrm{AV} = 100[\frac{\mathrm{AV}}{\mathrm{TV}}]$$

$$\%\mathrm{GR\&R} = 100[\frac{\mathrm{GR\&R}}{\mathrm{TV}}]$$

$$\%\mathrm{PV} = 100[\frac{\mathrm{PV}}{\mathrm{TV}}]$$

$$\mathrm{ndc} = 1.41[\frac{\mathrm{PV}}{\mathrm{GR\&R}}]$$

9. วิเคราะห์ผลที่ได้และตัดสินใจ

%GR%R < 10%	อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข
10% ≤ %GR&R < 30%	อาจยอมรับได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าใช้จ่าย
%GR&R ≥ 30%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องหาสาเหตุแล้วแก้ไข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำ (Precision) ด้วย %GR&R โดยวิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย หัวข้อตรวจสอบ M ที่ตำแหน่ง M1 ด้วยจำนวนพนักงาน 4 คน จำนวนวัดซ้ำ 3 ครั้ง และชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้น ค่า Upper specification = 0.391 mm., Lower Specification = -0.409 mm.ได้ผลการวัดค่างานดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลการวัดค่างานหัวข้อตรวจสอบ M ที่ตำแหน่ง M1

O/P	Trial	Part No.				
		1	2	3	4	5
A	1	0.031	-0.064	0.246	-0.144	-0.090
	2	0.048	-0.067	0.240	-0.134	-0.085
	3	0.042	-0.075	0.244	-0.140	-0.087
Average		0.0403	-0.0687	0.2433	-0.1393	-0.0873
Range		0.0170	0.0110	0.0060	0.0100	0.0050
O/P	Trial	Part No.				
		6	7	8	9	10
A	1	-0.045	0.070	-0.120	-0.164	-0.198
	2	-0.060	0.054	-0.127	-0.167	-0.177
	3	-0.035	0.062	-0.125	-0.158	-0.181
Average		-0.0467	0.0620	-0.1240	-0.1630	-0.1853
Range		0.0250	0.0160	0.0070	0.0090	0.0210

พาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5(ต่อ) ผลการวัดค่างานหัวข้อตรวจสอบ M ที่ตำแหน่ง M1

O/P	Trial	Part No.				
		1	2	3	4	5
B	1	0.037	-0.068	0.226	-0.193	-0.075
	2	0.033	-0.073	0.243	-0.167	-0.072
	3	0.045	-0.074	0.250	-0.177	-0.068
Average		0.0383	-0.0717	0.2397	-0.1790	-0.0717
Range		0.0120	0.0060	0.0240	0.0260	0.0070

O/P	Trial	Part No.				
		6	7	8	9	10
B	1	-0.022	0.092	-0.121	-0.188	-0.209
	2	-0.011	0.059	-0.122	-0.175	-0.205
	3	-0.031	0.064	-0.124	-0.165	-0.200
Average		-0.0213	0.0717	-0.1223	-0.1760	-0.2047
Range		0.0200	0.0330	0.0030	0.0230	0.0090

ตารางที่ 3.5(ต่อ) ผลการวัดค่างานหัวข้อตรวจสอบ M ที่ตำแหน่ง M1

O/P	Trial	Part No.				
		1	2	3	4	5
C	1	0.030	-0.084	0.228	-0.111	-0.079
	2	0.032	-0.097	0.204	-0.094	-0.086
	3	0.035	-0.099	0.200	-0.098	-0.083
Average		0.0323	-0.0933	0.2107	-0.1010	-0.0827
Range		0.0050	0.0150	0.0280	0.0170	0.0070
O/P	Trial	Part No.				
		6	7	8	9	10
C	1	-0.051	0.052	-0.119	-0.178	-0.203
	2	-0.037	0.035	-0.132	-0.175	-0.178
	3	-0.042	0.047	-0.130	-0.173	-0.192
Average		-0.0433	0.0447	-0.1270	-0.1753	-0.1910
Range		0.0140	0.0170	0.0130	0.0050	0.0250

ตารางที่ 3.5(ต่อ) ผลการวัดค่างานหัวข้อตรวจสอบ M ที่ตำแหน่ง M1

O/P	Trial	Part No.				
		1	2	3	4	5
D	1	0.038	-0.090	0.142	-0.120	-0.070
	2	0.033	-0.089	0.134	-0.126	-0.077
	3	0.041	-0.098	0.136	-0.113	-0.080
Average		0.0373	-0.0923	0.1373	-0.1197	-0.0757
Range		0.0080	0.0090	0.0080	0.0130	0.0100
O/P	Trial	Part No.				
		6	7	8	9	10
D	1	-0.049	0.041	-0.141	-0.168	-0.190
	2	-0.022	0.038	-0.154	-0.175	-0.197
	3	-0.025	0.035	-0.139	-0.164	-0.200
Average		-0.0320	0.0380	-0.1447	-0.1690	-0.1957
Range		0.0270	0.0060	0.0150	0.0110	0.0100

- คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Average) ของพนักงานแต่ละคน
- คำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าพิสัย (Range) ของพนักงานแต่ละคน
-

$\bar{X}_a = -0.0469$	$\bar{X}_b = -0.0497$	$\bar{X}_c = -0.0526$	$\bar{X}_d = -0.0616$
$\bar{R}_a = 0.0127$	$\bar{R}_b = 0.0163$	$\bar{R}_c = 0.0146$	$\bar{R}_d = 0.0117$

- คำนวณหาค่าเฉลี่ยจากการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้น จากทุกครั้งของแต่ละคน (Part average)

Part No.	1	2	3	4	5
Part Average	0.0371	-0.0815	0.2078	-0.1348	-0.0793

Part No.	6	7	8	9	10
Part Average	-0.0358	0.0541	-0.1295	-0.1708	-0.1942

- คำนวณหาค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด $\bar{\bar{X}}$ หาค่าค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่มากสุดลบด้วยค่าเฉลี่ยที่น้อยสุด R_p หาค่าเฉลี่ยของพิสัยทั้งหมด $\bar{\bar{R}}$ หาค่าความแตกต่างสูงสุดของค่าเฉลี่ย $\bar{X}_{diff}$ และค่าขอบเขตควบคุมบนพิสัย UCL_R

$$\bar{\bar{X}} = -0.0527$$
$$R_p = 0.4019$$
$$\bar{\bar{R}} = 0.0138$$
$$\bar{X}_{diff} = 0.0148$$
$$UCL_R = 0.0357$$

- ตรวจสอบข้อมูลพิสัย (R) พบว่าไม่มีข้อมูลที่ค่าเกินขอบเขตควบคุม UCL_R
- คำนวณหาความผันแปรของอุปกรณ์วัด (Equipment variation; EV)

$$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$$
$$EV = 3.05 \times 0.0138$$
$$EV = 0.0422$$

- คำนวณหาความผันแปรของพนักงานวัด (Appraiser variation; AV)

$$AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$$

$$AV = \sqrt{(0.0148 \times 2.30)^2 - [(0.0422)^2/(10 \times 3)]}$$

$$AV = 0.331$$

- คำนวณหาค่า GR&R (Gage Repeatability & Reproducibility)

$$GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

$$GR\&R = \sqrt{(0.0422)^2 + (0.331)^2} = 0.0536$$

- คำนวณหาค่าความผันแปรของชิ้นงาน(Part variation)

$$PV = R_P \times K_3$$

- $PV = 0.4019 \times 1.62 = 0.6511$

- คำนวณหาค่าความผันแปรรวม (Total variation)

$$TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$$

$$TV = \sqrt{(0.0536)^2 + (0.6511)^2} = 0.6533$$

$$\%EV = 100\left[\frac{EV}{TV}\right]$$

$$\%EV = 100\left[\frac{0.0422}{0.6533}\right] = 6.45\%$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\%AV = 100[\frac{AV}{TV}]$$

$$\%AV = 100\left[\frac{0.331}{0.6533}\right] = 5.06\%$$

$$\%GR\&R = 100[\frac{GR\&R}{TV}]$$

$$\%GR\&R = 100\left[\frac{0.0536}{0.6533}\right] = 8.20\%$$

$$\%\mathrm{PV} = 100\left[\frac{\mathrm{PV}}{\mathrm{TV}}\right]$$
$$\%\mathrm{PV} = 100\left[\frac{0.6511}{0.6533}\right] = 99.66\%$$

$$\mathrm{ndc} = 1.41[\frac{\mathrm{PV}}{\mathrm{GR\&R}}]$$
$$\mathrm{ndc} = 1.41\left[\frac{0.6511}{0.0536}\right] = 17.13 \sim 17$$

สรุปผลการประเมินพบว่าหัวข้อตรวจสอบ M ที่ตำแหน่ง M1 มี %GR&R < 10% จึงอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข คือมี %GR&R เท่ากับ 8.20% โดยมีความผันแปรของอุปกรณ์วัด คือ EV = 6.45% มีความผันแปรของพนักงานวัดคือ %AV = 5.06% มีความผันแปรของชิ้นงานคือ %PV = 99.66 % และค่า ndc ซึ่งแสดงถึงจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่สามารถแยกแยะได้ โดยกำหนดไว้อย่างน้อยต้องมีค่ามากกว่า 5 ขึ้นไป ผลการวิเคราะห์จึงจะสามารถยอมรับได้ ดังนั้นในที่นี้จึงสามารถยอมรับผลการวิเคราะห์ได้เนื่องจากค่า ndc =17 ส่วนหัวข้อตรวจสอบอื่นๆที่ไม่ได้ยกตัวอย่างมา จะใช้หลักการคำนวณเหมือนตัวอย่าง โดยสามารถดูบันทึกผลการประเมินได้ที่ภาคผนวก ข

3.3 สรุปผลการประเมินก่อนปรับปรุง

จากบันทึกผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงในภาคผนวก ก ที่แสดงผลการประเมินด้านความเที่ยงตรงผ่าน %ไบแอส และภาคผนวก ข ที่แสดงผลการประเมินด้านความแม่นยำผ่าน %GR&R สามารถสรุปผลทุกหัวข้อตรวจสอบได้ดังตารางที่ 3.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.6 สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุง

ที่	หัวข้อ	ตำแหน่ง	เครื่องมือวัด	ความเที่ยงตรง	ความแม่นยำ		
				%ไบแอส	%EV	%AV	%GR&R
1	M	M1	M Machine - 012T	2.63%	6.45%	5.06%	8.20%
		M2	M Machine - 012T	0.90%	10.33%	3.01%	10.76%
		M3	M Machine - 012T	0.52%	8.25%	7.01%	10.83%
		M4	M Machine - 012T	2.00%	10.36%	3.55%	10.95%
		M5	M Machine - 012T	1.40%	10.11%	4.14%	10.92%
		M6	M Machine - 012T	0.54%	9.20%	2.27%	9.47%
2	Z	Z1	Torque meter - 5017E	8.00%	20.83%	21.14%	29.68%
		Z2	Torque meter - 5017E	8.57%	22.84%	15.97%	27.87%
		Z3	Torque meter - 5017E	9.14%	28.63%	30.32%	41.70%
		Z4	Torque meter - 5017E	7.43%	28.39%	18.63%	33.96%
3	G	G1	Tension gage - 15C620	0.55%	26.90%	32.62%	42.28%

ตารางที่ 3.6(ต่อ) สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุง

ที่	หัวข้อ	ตำแหน่ง	เครื่องมือวัด	ความเที่ยงตรง %ไบแอส	ความแม่นยำ %EV	%AV	%GR&R
4	A	A1	Tension gage - 22A450	3.33%	18.80%	31.00%	36.25%
		A2	Tension gage - 22A450	0.00%	20.74%	25.90%	33.18%
5	F	F1	Torque meter - 0411C	3.00%	15.01%	16.55%	22.34%
		F2	Torque meter - 0411C	3.00%	25.14%	20.16%	32.22%
		F3	Torque meter - 0411C	2.50%	27.08%	20.77%	34.13%
		F4	Torque meter - 0411C	1.00%	19.40%	10.33%	21.98%
		F5	Torque meter - 0411C	3.00%	21.30%	17.05%	27.28%
		F6	Torque meter - 0411C	6.00%	30.24%	15.15%	33.82%

ตารางที่ 3.6(ต่อ) สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุง

ที่	หัวข้อ	ตำแหน่ง	เครื่องมือวัด	ความเที่ยงตรง	ความแม่นยำ		
				%ไบแอส	%EV	%AV	%GR&R
5	F	F7	Torque meter - 0411C	6.00%	27.74%	31.04%	41.63%
		F8	Torque meter - 0411C	3.50%	20.67%	11.07%	23.45%
6	MT	MT1	Torque meter - 2512E	1.67%	31.54%	33.38%	45.92%
		MT2	Torque meter - 2512E	3.89%	34.70%	35.70%	49.78%
7	S	S1	Tension gage - 11E529	0.80%	23.58%	29.43%	37.72%
		S2	Tension gage - 11E529	1.20%	31.20%	22.49%	38.46%
		S3	Tension gage - 11E529	2.80%	17.51%	36.40%	40.40%
		S4	Tension gage - 11E529	2.80%	23.73%	18.44%	30.05%

จากตารางที่ 3.6 เมื่อพิจารณาผลการประเมินด้านความเที่ยงตรงทั้ง 7 หัวข้อตรวจสอบ 27 ตำแหน่ง พบว่า %ไบแอส สามารถยอมรับได้ ส่วนผลการประเมินด้านความแม่นยำ พบว่าหัวข้อตรวจสอบ M ตำแหน่งตรวจสอบ M1 และ M6 อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ไม่ต้องปรับปรุง ส่วน M2-M5 พบว่าค่า %GR&R มากกว่า 10% เล็กน้อย เมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องด้านปัจจัยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มต้นทุนในการปรับปรุง และระยะเวลายาวนานของเครื่องมือหากต้องมีการปรับปรุงแก้ไข เพราะต้องส่งให้บริษัทแม่ที่ต่างประเทศดำเนินการ จึงปรึกษาร่วมกับคณะทำงานของโรงงานตัวอย่าง ได้ข้อสรุปว่าในหัวข้อที่ผลการประเมิน %GR&R ที่มากกว่า 10% เพียงเล็กน้อย ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงระบบการวัด ซึ่งหัวข้อตรวจสอบ M เป็นหัวข้อเดียวที่ผ่านการประเมิน ส่วนหัวข้ออื่นๆที่เหลือทั้ง 6 หัวข้อ ต้องวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงเพื่อลดความผันแปรจากระบบการวัดในด้านความแม่นยำให้น้อยลงต่อไป โดยสามารถศึกษาการวิเคราะห์และการปรับปรุงแก้ไขได้ในบทที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การวิเคราะห์ระบบการวัดและการปรับปรุง

ในส่วนนี้จะอธิบายผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของหน่วยงานที่ทำการศึกษา โดยจะเริ่มการวิเคราะห์ผลจากหัวข้อ Z ก่อน ซึ่งจะวิเคราะห์จากผลการคำนวณที่ประเมินได้ ทั้งด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำ การวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการปรับปรุง และผลการประเมินหลังการปรับปรุงแก้ไขแล้ว การประเมินผลหลังการปรับปรุงจะอธิบายเต็มรูปแบบโดยแทรกบันทึกผลการประเมินให้ดูเป็นตัวอย่างในหัวข้อตรวจสอบ Z เท่านั้น ส่วนหัวข้ออื่นๆสามารถดูบันทึกผลหลังการปรับปรุงได้ที่ภาคผนวก ค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 วิเคราะห์**ผลการประเมินระบบการวัดของแต่ละหัวข้อตรวจสอบ**

4.1.1 หัวข้อตรวจสอบ Z

(ก) วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ Z

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินค่าไบแอสหัวข้อ Z ด้วยเครื่องมือวัด Torque meter – 5017E

Form: %Bias Study

Model	B8	Date:	1/8/2013
Tool Name	Torque meter - 5017E	Unit	Kg.cm

Measured Position	Z1	Z2	Z3	Z4
USL	3.80	3.80	3.80	3.80
LSL	0.30	0.30	0.30	0.30
Part Spec = USL - LSL	3.50	3.50	3.50	3.50
Reference value	2.20	2.40	1.22	1.48
No.	Name	Name	Name	Name
	G	G	G	G
1	2.00	2.00	1.80	1.80
2	2.00	2.20	1.80	1.60
3	1.80	2.00	1.60	1.60
4	1.80	2.00	1.20	1.80
5	1.80	2.00	1.60	1.80
6	2.00	2.20	1.60	1.80
7	1.80	2.00	1.80	1.80
8	2.00	2.20	1.60	1.60
9	2.00	2.20	1.20	1.80
10	2.00	2.20	1.20	1.80
Average	**1.920**	**2.100**	**1.540**	**1.740**
Bias	**-0.280**	**-0.300**	**0.320**	**0.260**
%Bias	**8.00%**	**8.57%**	**9.14%**	**7.43%**

DECISION	***Conditionally Accept***	***Conditionally Accept***	***Conditionally Accept***	***Conditionally Accept***

ตารางที่ 4.2 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z1

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance	3.5		
Position	Z1	Tool name	Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	1.8	1.2	1.6	2.0	2.8	1.6	1.8	2.6	1.4	2.6	1.94
	2	1.8	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	2.0	2.6	1.6	2.6	2.04
	3	1.6	1.4	1.4	2.2	2.8	1.6	1.8	3.0	1.8	3.0	2.06
Average		1.73	1.27	1.60	2.13	2.87	1.60	1.87	2.73	1.60	2.73	$\bar{X}_a$ = 2.01
Range		0.20	0.20	0.40	0.20	0.20	0.00	0.20	0.40	0.40	0.40	$\bar{R}_a$ = 0.26
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	2.0	1.2	1.8	2.0	2.8	2.0	2.0	2.8	1.8	2.8	2.12
	2	1.8	1.4	1.8	2.4	3.2	1.8	1.8	3.0	2.0	3.0	2.22
	3	2.0	1.2	1.6	2.4	3.0	1.8	1.8	3.0	1.8	3.0	2.16
Average		1.93	1.27	1.73	2.27	3.00	1.87	1.87	2.93	1.87	2.93	$\bar{X}_b$ = 2.17
Range		0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	$\bar{R}_b$ = 0.24
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	2.0	1.4	1.8	2.0	3.0	1.6	1.8	3.2	2.0	3.0	2.18
	2	2.0	1.4	1.8	2.4	3.0	1.6	2.0	3.0	2.0	2.8	2.20
	3	2.0	1.2	1.6	2.2	3.0	1.8	1.8	3.0	2.0	2.8	2.14
Average		2.00	1.33	1.73	2.20	3.00	1.67	1.87	3.07	2.00	2.87	$\bar{X}_c$ = 2.17
Range		0.00	0.20	0.20	0.40	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ = 0.16
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	2.0	1.4	2.0	2.4	3.2	2.0	2.0	3.2	2.0	3.0	2.32
	2	2.0	1.4	2.0	2.4	3.0	2.0	1.8	3.2	2.0	3.0	2.28
	3	1.8	1.4	1.8	2.2	3.2	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.24
Average		1.93	1.40	1.93	2.33	3.13	2.00	1.93	3.13	2.00	3.00	$\bar{X}_d$ = 2.28
Range		0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 0.12
Part Average		**1.90**	**1.32**	**1.75**	**2.23**	**3.00**	**1.78**	**1.88**	**2.97**	**1.87**	**2.88**	$\bar{\bar{X}}$ = 2.16
												R_p = 1.68
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.20
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.27
[$\bar{R}$] x [D4] =								*D_4 = 2.58 when trials = 3*				UCL_R **0.50**

ตารางที่ 4.2(ต่อ) แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z1

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{\overline{R}} =$	0.20	No. of OP	4
Item check	Z	$R_p =$	1.68	No. of Trial	3
Position	Z1	$\overline{X}_{diff} =$	0.27	No. of Sample	10

Measurement unit analysis	% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{\overline{R}}$ = 3.05 x 0.20 = 0.59	%EV = 100[EV/TV] = **20.83%** %Tolerance = 16.99%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$ = 0.60 n=part ,r=trials	%AV = 100[AV/TV] = **21.14%** % Tolerance = 17.25%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ = 0.85	%GR&R = 100[GR&R/TV] = **29.68%** % Tolerance = 24.21%
Part variation $PV = R_p \times K_3$ = 2.73	%PV = 100[PV/TV] = **95.50%** % Tolerance = 77.91%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$ = 2.86	

K_1	Trials
4.56	2
3.05	3

K_2	OP
3.65	2
2.30	4

K_3	Parts
1.62	10

Judge GR&R
Conditionally Accept

ตารางที่ 4.3 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z2

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance	3.5		
Position	Z2	Tool name	Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	1.8	2.0	3.0	1.8	2.4	2.32	
	2	2.2	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	2.8	1.8	2.6	2.30	
	3	2.2	2.0	2.2	2.6	3.0	1.6	2.0	2.8	2.0	2.6	2.30	
Average		2.27	2.00	2.20	2.67	3.00	1.67	2.00	2.87	1.87	2.53	$\bar{X}_a$ =	2.31
Range		0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	$\bar{R}_a$ =	0.12
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	2.2	2.0	2.2	3.0	3.2	1.8	2.6	2.8	1.6	3.0	2.44	
	2	2.4	2.0	2.0	3.0	3.2	1.8	2.2	2.8	2.2	3.0	2.46	
	3	2.4	2.0	2.2	2.8	3.2	2.0	2.2	2.8	2.2	3.0	2.48	
Average		2.33	2.00	2.13	2.93	3.20	1.87	2.33	2.80	2.00	3.00	$\bar{X}_b$ =	2.46
Range		0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.40	0.00	0.60	0.00	$\bar{R}_b$ =	0.18
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	2.4	2.0	2.2	2.8	3.2	1.8	2.2	3.0	1.8	3.2	2.46	
	2	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.8	2.2	3.0	1.8	3.0	2.42	
	3	2.0	2.0	2.2	2.8	3.2	1.8	2.0	3.0	1.8	3.0	2.38	
Average		2.27	2.00	2.20	2.80	3.13	1.80	2.13	3.00	1.80	3.07	$\bar{X}_c$ =	2.42
Range		0.40	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ =	0.10
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	2.6	2.0	2.2	2.8	3.2	1.8	2.4	2.8	2.0	3.0	2.48	
	2	2.4	2.0	2.4	2.8	3.2	2.0	2.0	2.8	2.0	3.2	2.48	
	3	2.0	2.0	2.2	2.8	2.6	2.0	2.2	2.8	2.2	3.0	2.38	
Average		2.33	2.00	2.27	2.80	3.00	1.93	2.20	2.80	2.07	3.07	$\bar{X}_d$ =	2.45
Range		0.60	0.00	0.20	0.00	0.60	0.20	0.40	0.00	0.20	0.20	$\bar{R}_d$ =	0.24
Part Average		**2.30**	**2.00**	**2.20**	**2.80**	**3.08**	**1.82**	**2.17**	**2.87**	**1.93**	**2.92**	$\bar{\bar{X}}$ =	2.41
												R_p =	1.27
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =						4	]					$\bar{\bar{R}}$ =	0.16
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.15
[$\bar{R}$] x [D4] =								D_4 = 2.58 when trials = 3				UCL_R	**0.41**

ตารางที่ 4.3(ต่อ) แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z2

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{\overline{R}}$ =	0.16	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.27	No. of Trial	3
Position	Z2	$\overline{X}_{diff}$ =	0.15	No. of Sample	10

Measurement unit analysis	% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{\overline{R}}$ = 3.05 x 0.16 = 0.49 K_1: 4.56 (2 trials), 3.05 (3 trials)	%EV = 100[EV/TV] = 22.84% %Tolerance = 13.94%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$ = 0.34 n=part ,r=trials K_2: 3.65 (2 OP), 2.30 (4 OP)	%AV = 100[AV/TV] = 15.97% % Tolerance = 9.75%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ = 0.60	%GR&R = 100[GR&R/TV] = 27.87% % Tolerance = 17.01%
Part variation $PV = R_p \times K_3$ = 2.05 K_3: 1.62 (10 Parts)	%PV = 100[PV/TV] = 96.04% % Tolerance = 58.63%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$ = 2.14	

Judge GR&R
Conditionally Accept

ตารางที่ 4.4 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z3

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance	3.5		
Position	Z3	Tool name	Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	1.4	1.2	1.2	1.6	1.6	1.4	2.2	1.4	1.4	2.2	1.56	
	2	1.4	1.0	1.0	1.6	1.6	1.0	2.2	1.6	1.4	2.0	1.48	
	3	1.4	1.0	1.0	1.6	1.6	1.0	2.2	1.4	1.4	2.2	1.48	
Average		1.40	1.07	1.07	1.60	1.60	1.13	2.20	1.47	1.40	2.13	$\bar{X}_a$ =	1.51
Range		0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.40	0.00	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_b$ =	0.12
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	1.6	1.2	1.0	1.6	1.6	1.4	2.2	1.6	1.4	2.2	1.58	
	2	1.4	1.2	1.4	1.8	1.6	1.6	2.4	1.8	1.4	2.2	1.68	
	3	1.6	1.2	1.4	1.6	1.6	1.6	2.4	1.8	1.4	2.2	1.68	
Average		1.53	1.20	1.27	1.67	1.60	1.53	2.33	1.73	1.80	2.20	$\bar{X}_b$ =	1.69
Range		0.20	0.00	0.40	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	0.14
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	1.6	1.0	1.6	2.0	1.6	1.0	2.2	1.6	1.6	2.2	1.64	
	2	1.6	1.0	1.0	1.6	2.0	1.6	2.2	1.6	1.6	2.2	1.64	
	3	1.6	1.0	1.0	1.6	1.6	1.0	2.2	1.6	1.6	2.2	1.54	
Average		1.60	1.00	1.20	1.73	1.73	1.20	2.20	1.60	1.60	2.20	$\bar{X}_c$ =	1.61
Range		0.00	0.00	0.60	0.40	0.40	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	0.20
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	1.4	1.2	1.2	1.6	1.6	1.4	2.4	1.4	1.4	2.2	1.58	
	2	1.4	1.0	1.0	1.6	1.6	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52	
	3	1.4	1.0	1.2	1.6	1.6	1.0	2.4	1.4	1.4	2.0	1.50	
Average		1.40	1.07	1.13	1.60	1.60	1.13	2.40	1.47	1.40	2.13	$\bar{X}_d$ =	1.53
Range		0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.40	0.00	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_d$ =	0.12
Part Average		**1.48**	**1.08**	**1.17**	**1.65**	**1.63**	**1.25**	**2.28**	**1.57**	**1.45**	**2.17**	$\bar{\bar{X}}$ =	1.57
												R_p =	1.20
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ =	0.15
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.18
[$\bar{R}$] x [D4] =								D_4 = 2.58 when trials = 3				UCL_R	**0.37**

ตารางที่ 4.4(ต่อ) แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z3

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{R}$ =	0.15	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.20	No. of Trial	3
Position	Z3	$\overline{X}_{diff}$ =	0.18	No. of Sample	10

Measurement unit analysis	% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{R}$ = 3.05 x 0.15 = 0.44 K_1: 4.56 (2 Trials), 3.05 (3 Trials)	%EV = 100[EV/TV] = **21.74%** %Tolerance = 12.64%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$ = 0.41 n=part ,r=trials K_2: 3.65 (2 OP), 2.30 (4 OP)	%AV = 100[AV/TV] = **19.96%** % Tolerance = 11.60%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ = 0.60	%GR&R = 100[GR&R/TV] = **29.51%** % Tolerance = 17.15%
Part variation $PV = R_p \times K_3$ = 1.94 K_3: 1.62 (10 Parts)	%PV = 100[PV/TV] = 95.55% % Tolerance = 55.54%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$ = 2.03	

Judge GR&R
Conditionally Accept

ตารางที่ 4.5 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z4

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance	3.5		
Position	Z4	Tool name	Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	1.6	1.6	1.8	1.4	2.0	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	1.96
	2	1.6	1.8	2.0	1.4	2.0	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.00
	3	1.4	1.6	1.8	1.6	2.0	2.4	2.4	2.0	2.0	2.4	1.96
Average		1.53	1.67	1.87	1.47	2.00	2.13	2.53	2.00	2.00	2.53	$\bar{X}_a$ = 1.97
Range		0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.40	0.20	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_a$ = 0.16
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	1.6	1.6	1.6	1.4	2.2	2.0	2.4	2.4	2.0	2.6	1.98
	2	1.6	1.6	1.8	1.4	2.0	2.0	2.6	2.2	2.0	2.4	1.96
	3	1.6	1.6	2.0	1.4	2.0	2.0	2.4	2.2	2.0	2.4	1.96
Average		1.60	1.60	1.80	1.40	2.07	2.00	2.47	2.27	1.80	2.47	$\bar{X}_b$ = 1.95
Range		0.00	0.00	0.40	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_b$ = 0.12
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	1.6	1.6	2.0	1.4	2.0	1.8	2.6	2.0	2.0	2.4	1.94
	2	1.6	1.8	1.8	1.6	2.4	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.04
	3	1.4	2.0	2.0	1.6	2.0	2.0	2.6	2.0	2.0	2.4	2.00
Average		1.53	1.80	1.93	1.53	2.13	1.93	2.60	2.00	2.00	2.47	$\bar{X}_c$ = 1.99
Range		0.20	0.40	0.20	0.20	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ = 0.18
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	1.4	1.6	1.6	1.6	2.2	1.8	2.0	2.0	1.8	2.4	1.84
	2	1.6	1.6	1.4	1.6	2.2	1.4	2.4	2.0	1.8	2.4	1.84
	3	1.4	1.6	1.6	1.6	2.0	1.8	2.4	2.0	2.0	2.4	1.88
Average		1.47	1.60	1.53	1.60	2.13	1.67	2.27	2.00	1.87	2.40	$\bar{X}_d$ = 1.85
Range		0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.40	0.40	0.00	0.20	0.00	$\bar{R}_d$ = 0.16
Part Average		**1.53**	**1.67**	**1.78**	**1.50**	**2.08**	**1.93**	**2.47**	**2.07**	**1.97**	**2.47**	$\bar{\bar{X}}$ = 1.95
												R_p = 0.97
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.16
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.14
[$\bar{R}$] x [D4] =								D_4 = 2.58 when trials = 3				$UCL_{\bar{R}}$ **0.40**

ตารางที่ 4.5(ต่อ) แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลก่อนปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z4

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{\overline{R}}$ =	0.16	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	0.97	No. of Trial	3
Position	Z4	$\overline{X}_{diff}$ =	0.14	No. of Sample	10

Measurement unit analysis	% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{\overline{R}}$ = 3.05 x 0.16 = 0.47 K_1: 4.56 (2 Trials), 3.05 (3 Trials)	%EV = 100[EV/TV] = 28.39% %Tolerance = 13.51%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$ = 0.31 n=part ,r=trials K_2: 3.65 (2 OP), 2.30 (4 OP)	%AV = 100[AV/TV] = 18.63% % Tolerance = 8.86%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ = 0.57	%GR&R = 100[GR&R/TV] = 33.96% % Tolerance = 16.16%
Part variation $PV = R_p \times K_3$ = 1.57 K_3: 1.62 (10 Parts)	%PV = 100[PV/TV] = 94.06% % Tolerance = 44.74%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$ = 1.66	

Judge GR&R
Not Acceptable

จากผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ Z ด้วยเครื่องมือวัด Torque meter – 5017E สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ Z

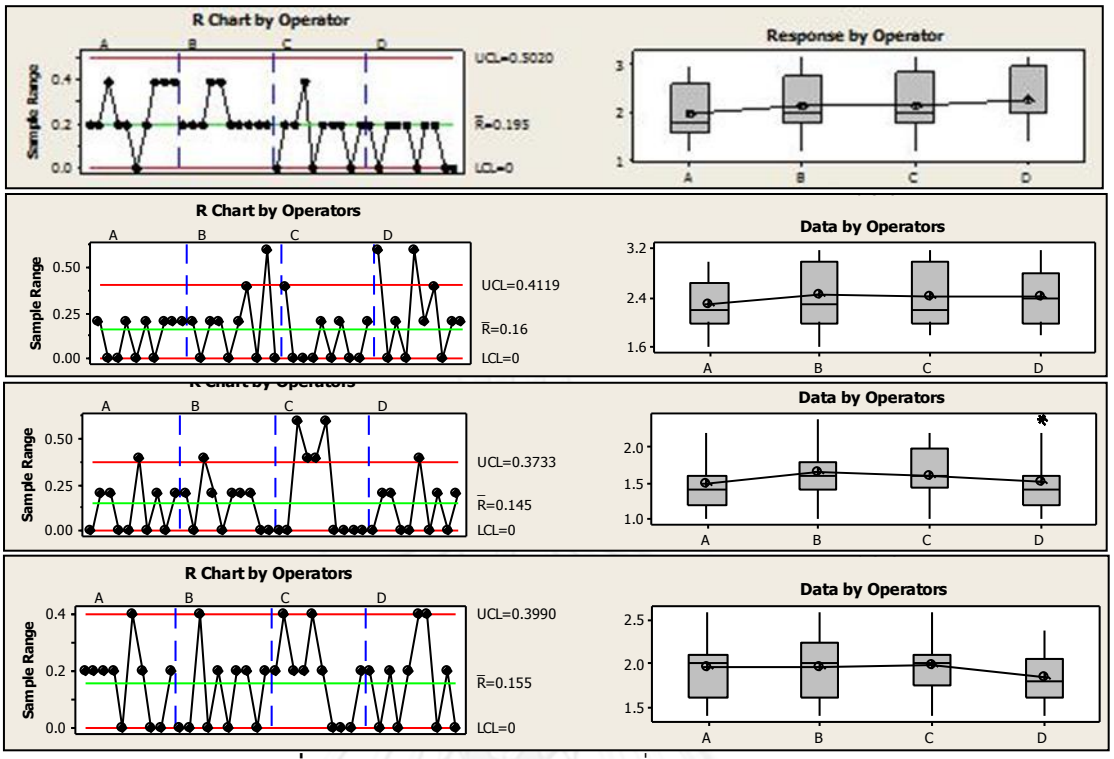
หัวข้อ	ตำแหน่ง	ประเมินความเที่ยงตรง	ประเมินความแม่นยำ		
		%Bias	%EV	%AV	%GR&R
Z	Z1	8.00%	20.83%	21.14%	29.68%
	Z2	8.57%	22.84%	15.97%	27.87%
	Z3	9.14%	28.63%	30.32%	41.70%
	Z4	7.43%	28.39%	18.63%	33.96%
ค่าเฉลี่ย		8.29%	25.17%	21.52%	33.30%

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความเที่ยงตรง

จากตารางที่ 4.6 มีค่าไบแอส (%Bias) เฉลี่ยทุกตำแหน่งเท่ากับ 8.29% และทุกตำแหน่งตรวจสอบ ตั้งแต่ตำแหน่ง Z1-Z4 มีค่าไบแอส (%Bias) < 10% ดังนั้นในด้านความเที่ยงตรงในการวัดค่างานทุกตำแหน่งไม่มีปัญหา ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เครื่องมือยังอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความแม่นยำ

จากตารางที่ 4.6 พบว่า %EV ตำแหน่งตรวจสอบ Z1 และ Z3 ต่ำกว่า %AV และ %EV ของตำแหน่งตรวจสอบ Z2 และ Z4 สูงกว่า %AV ซึ่งจากเปอร์เซ็นต์ดังกล่าวจะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้ว่าพนักงานมีปัญหาด้านความสม่ำเสมอในการวัดค่างาน และพนักงานแต่ละคนวัดค่างานได้แตกต่างกัน ตามข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลวัดค่างานจากตารางที่ 4.2-4.5 ซึ่งเมื่อนำค่าพิสัย (Range) และค่าเฉลี่ยของการวัดงานของแต่ละคน ($\bar{\mathrm{x}}_{\mathrm{a}}, \bar{\mathrm{x}}_{\mathrm{b}}, \bar{\mathrm{x}}_{\mathrm{c}}, \bar{\mathrm{x}}_{\mathrm{d}}$) มาสร้างแผนภูมิจะได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภูมิค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยการวัดงานของหัวข้อตรวจสอบ Z

รูปที่ 4.1 ด้านซ้าย (R Chart by Operators) แสดงให้เห็นปัญหาด้านการวัดซ้ำภายในของตัวพนักงาน และเปรียบเทียบให้เห็นปัญหาการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน โดยตำแหน่ง Z1 พนักงาน A และ B มีปัญหาในการวัดซ้ำ ตำแหน่ง Z2 พนักงาน B และ D มีปัญหาในการวัดซ้ำ ตำแหน่ง Z3 พนักงาน C มีปัญหาในการวัดซ้ำ และตำแหน่ง Z4 พนักงานทุกคนต่างมีปัญหาในการวัดซ้ำทุกคน ส่วนด้านขวา (Data by Operators) แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยของการวัดงานทั้ง 10 ตัวของแต่ละคน $(\bar{x}_a, \bar{x}_b, \bar{x}_c, \bar{x}_d)$ ซึ่งจะเห็นว่าที่ตำแหน่ง Z1-Z3 พนักงาน A สามารถวัดค่างานเฉลี่ยได้ต่ำกว่าพนักงานคนอื่นๆ ในขณะที่ตำแหน่ง Z4 พนักงาน D สามารถวัดค่างานเฉลี่ยได้ต่ำกว่าพนักงานคนอื่นๆ

จากการพิจารณาปัญหาในการวัดซ้ำและผลการวัดค่างานเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกัน แสดงถึงวิธีการวัดงานที่แตกต่างกัน ทำให้ค่าที่ได้ต่างกัน เมื่อศึกษาวิธีการวัดค่างานพบว่า มาจากความเร็วในการหมุนซูมที่ต่างกัน เนื่องจากระยะทางในการหมุนเท่ากัน แต่ช่วงเวลาที่ใช้ในการหมุนซูมนานแตกต่างกัน โดยเมื่อพนักงานใช้ความเร็วมากขึ้นจะใช้เวลาสั้นลงในการอ่านค่าแรงที่ได้ และเมื่อ

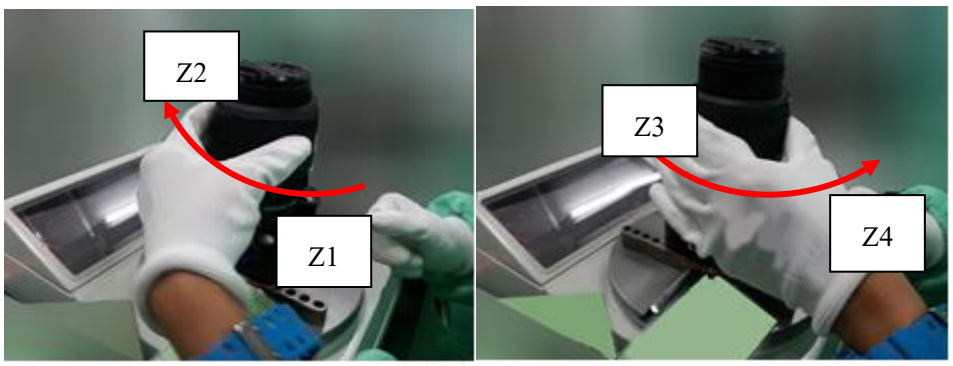
พนักงานใช้ความเร็วหมุนอย่างช้าๆ จะใช้เวลาในการหมุนจนสุดระยะทางนานขึ้น ซึ่งความเร็วในการหมุนมีผลต่อค่าแรงที่วัดงานได้ ทำให้ไม่สม่ำเสมอ เพราะพนักงานแต่ละคนบางทีอาจหมุนเร็วหรือช้า สอดคล้องกับกฎของการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ที่ได้อ้างอิงในบทที่ 2 คือ $\sum F = ma$

เมื่อ F เป็นค่าแรงที่อ่านได้จาก Torque meter โดยมี m เป็นมวลของวัตถุ ซึ่งคือ มวลของมือพนักงานวัดที่กระทำต่อตัวงาน โดยอนุมานให้มวลนี้มีขนาดคงที่ เนื่องจากพนักงานวัดมีอายุ ขนาดความสูง และน้ำหนัก ใกล้เคียงกัน (ไม่เกิน ±5 kg.) และ a เป็นความเร่งที่เกิดขึ้น คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งคือ ความเร็วที่ใช้ในการหมุนงานเพื่อวัดค่าแรงที่เกิดขึ้น

จากสมการดังกล่าว เมื่อ m มีค่าคงที่แล้ว ตัวแปร a จึงเป็นค่าที่ควรควบคุมให้มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด เพื่อให้ค่างานที่วัดเป็นไปในทางเดียวกันและได้ค่าวัดที่ใกล้กับค่าจริงของงาน ดังนั้นจึงต้องควบคุมความเร็วในการหมุนซูมของตัวงาน โดยความเร็วในการหมุนของมือที่ออกแรงกระทำจะควบคุมได้ด้วยเวลาที่ใช้ในการหมุน พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการหมุนซูมคือ 2 วินาทีต่อการหมุนให้สุดระยะทาง โดย 2 วินาทีเป็นเวลาเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับการใช้งานผลิตภัณฑ์จริงของลูกค้าจากการทดสอบการใช้งานจริงในจำนวน 30 ครั้ง

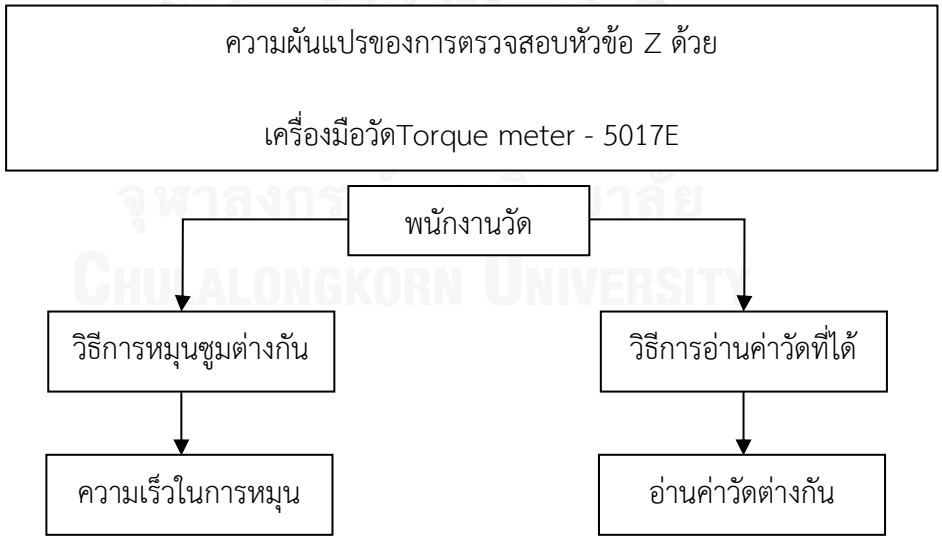
และอีกสาเหตุที่ทำให้มีปัญหาด้านความสม่ำเสมอในการวัดค่างาน และพนักงานแต่ละคนวัดค่างานได้แตกต่างกันคือ ช่วงจังหวะที่อ่านค่างาน เนื่องจากต้องอ่านช่วงที่เข็มเริ่มเคลื่อนที่และอ่านค่าช่วงที่เข็มเคลื่อนที่จนสุด อาจจับค่าที่เข็มเริ่มเคลื่อนที่และเข็มเคลื่อนที่จนสุดไม่ทัน ทำให้เวลาอ่านค่ามีการปัดช่องค่าวัดขึ้นหรือลงต่างกัน

รูปที่ 4.2 เครื่องมือวัด Torque meter - 5017E



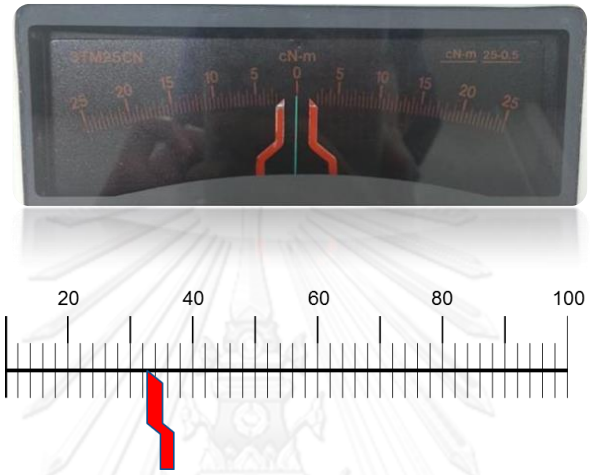
รูปที่ 4.3 ทิศการหมุนงานในการตรวจสอบค่า Z

จากรูปที่ 4.3 ด้านซ้ายเป็นทิศการตรวจสอบงานตำแหน่ง Z1 และ Z2 ส่วนรูปด้านขวาเป็นทิศทางการตรวจสอบงานตำแหน่ง Z3 และ Z4 ซึ่งวิธีการวัดค่างานจะต้องใส่งานเข้ากับตัวจับยึดงานแล้วใช้มือข้างซ้าย จับพื้นที่ชุดซูมหมุนไปในทิศทางที่ต้องการตรวจสอบ โดยจะต้องหมุนชุดซูมของงานให้สุดระยะทางของซูม เมื่อหมุนไปทางด้านซ้ายสุด ให้อ่านค่าตำแหน่ง Z1 เมื่อเข็มเริ่มเคลื่อนที่ อ่านค่า Z2 เมื่อเข็มเคลื่อนที่จนสุด และเมื่อหมุนซูมไปด้านขวา ให้อ่านค่าตำแหน่ง Z3 เมื่อเข็มเริ่มเคลื่อนที่ อ่านค่า Z4 เมื่อเข็มเคลื่อนที่จนสุด โดยสามารถสรุปการวิเคราะห์ได้ตามรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ Z

จากแผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ Z สามารถแยกสาเหตุได้ 2 แหล่งคือ ความเร็วที่ใช้ในหมุนซูมและการอ่านค่าวัดงานของพนักงานแตกต่างกัน ซึ่งช่วงวัดค่าของเครื่องมือวัดหัวข้อ Z จะมีค่าอยู่ที่ 10 – 100 cN.m หรือ 1 – 10 kg.cm



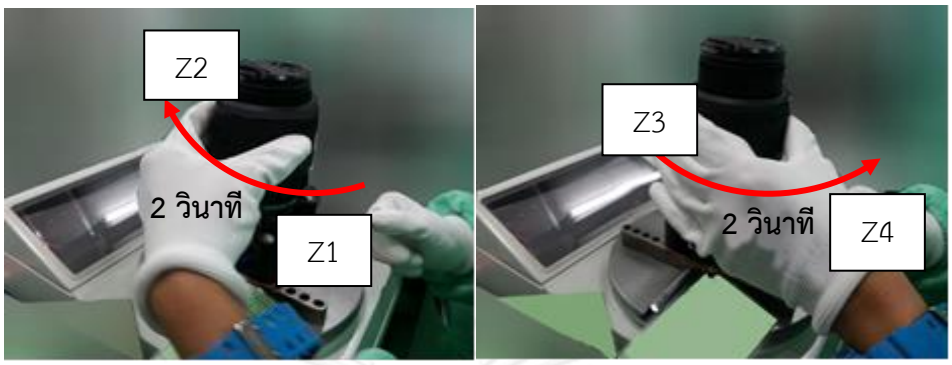
รูปที่ 4.5 ช่วงวัดค่างานของเครื่องมือวัดหัวข้อ Z

จากรูปที่ 4.5 เข็มวัดอยู่ตำแหน่งระหว่าง 3.2 kg.cm. และ 3.4 kg.cm. เมื่อพนักงานอ่านค่างานอาจอ่านได้แตกต่างกันไป ได้แก่ 3.2, 3,3 และ 3.4 kg.cm ดังนั้นต้องกำหนดการอ่านค่าให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน

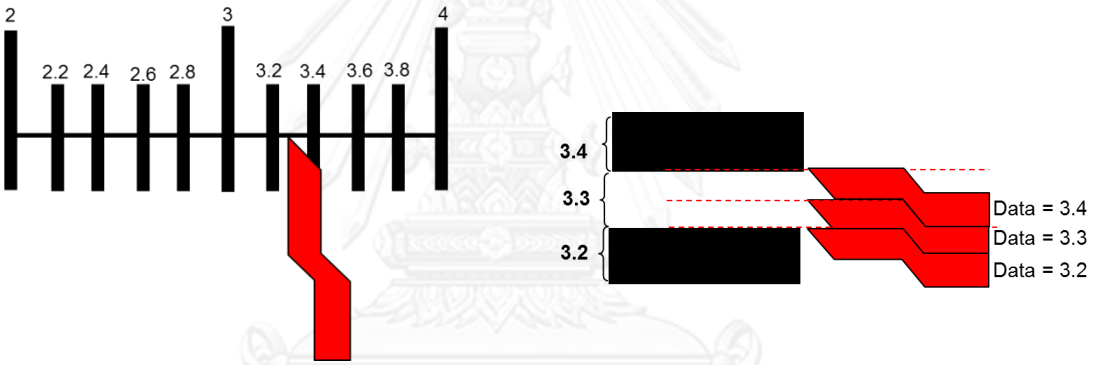
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การปรับปรุงแก้ไข

อบรมและสอนวิธีการหมุนซูมที่ถูกวิธีที่หน้างานจริง รวมถึงวิธีการอ่านค่าของเข็มวัดให้เป็นไปในทางเดียวกัน โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 1 ชิ้น ให้พนักงานฝึกปฏิบัติหมุนซูมด้วยเวลา 2 วินาที จนเกิดความชำนาญ และฝึกการอ่านค่างานโดยเฉพาะการปัดเศษค่างานให้ถูกต้องตรงกัน เมื่อพนักงานอ่านค่าด้วยวิธีที่เหมือนกัน จะส่งผลให้ %AV ลดลงได้ และการฝึกให้พนักงานปฏิบัติจนเกิดความชำนาญจะช่วยลด %EV ซึ่งจะทำให้ %GR&R ลดลงตาม



รูปที่ 4.6 การหมุนซูมในเวลา 2 วินาทีต่อการหมุนในมุม 90 องศา



รูปที่ 4.7 ขยายตำแหน่งเข็มวัดจากเครื่องมือวัดหัวข้อ Z (อ้างอิงรูปที่ 4.5)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีการอ่านค่างานจากเข็มวัดในรูปที่ 4.7 เมื่ออ้างอิงตำแหน่งของเข็มจากรูปที่ 4.5 พบว่าเข็มวัดอยู่ตำแหน่งระหว่าง 3.2 kg.cm. และ 3.4 kg.cm. ดังนั้นเมื่อพนักงานอ่านค่าวัดจะกำหนดให้อ่านเป็น 3.3 kg.cm.

หลังจากปรับปรุงด้วยวิธีการดังกล่าวแล้ว จึงประเมินผลหลังปรับปรุงอีกครั้ง เพื่อศึกษาผลที่ได้จากการแก้ไข ได้ผลการประเมินหลังปรับปรุงตาม (ข) ในหน้าถัดไป

(ข) วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัดหลังปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ Z

ตารางที่ 4.7 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z1

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance	3.5		
Position	Z1	Tool name	Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	2.0	1.2	1.8	2.0	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.10	
	2	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.12	
	3	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.12	
Average		2.00	1.20	1.80	2.13	3.00	1.60	1.80	3.00	1.80	2.80	$\bar{X}_a$ =	2.11
Range		0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	0.02
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	2.0	2.8	1.8	2.8	2.12	
	2	2.0	1.4	1.8	2.2	3.2	1.6	1.8	3.0	2.0	2.8	2.18	
	3	2.0	1.2	1.6	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.10	
Average		2.00	1.27	1.73	2.20	3.07	1.60	1.87	2.93	1.87	2.80	$\bar{X}_b$ =	2.13
Range		0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	$\bar{R}_b$ =	0.12
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	2.0	1.4	1.8	2.0	3.0	1.6	1.8	3.2	1.8	3.0	2.16	
	2	2.0	1.4	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.2	1.8	2.8	2.16	
	3	2.0	1.2	1.6	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.10	
Average		2.00	1.33	1.73	2.13	3.00	1.60	1.80	3.13	1.80	2.87	$\bar{X}_c$ =	2.14
Range		0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ =	0.10
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	2.0	1.4	1.8	2.4	3.2	1.6	2.0	3.2	1.8	2.8	2.22	
	2	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.12	
	3	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.12	
Average		2.00	1.27	1.80	2.27	3.07	1.60	1.87	3.07	1.80	2.80	$\bar{X}_d$ =	2.15
Range		0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.10
Part Average		**2.00**	**1.27**	**1.77**	**2.18**	**3.03**	**1.60**	**1.83**	**3.03**	**1.82**	**2.82**	$\bar{\bar{X}}$ =	2.14
												R_p =	1.77
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.09
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.04
[$\bar{R}$] x [D4] =						*D_4 = 2.58 when trials = 3*						UCL_R	**0.22**

ตารางที่ 4.7(ต่อ) แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z1

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{\overline{R}} =$	0.09	No. of OP	4
Item check	Z	$R_p =$	1.77	No. of Trial	3
Position	Z1	$\overline{X}_{diff} =$	0.04	No. of Sample	10

Measurement unit analysis	% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{\overline{R}}$ = 3.05 x 0.09 = 0.26	%EV = 100[EV/TV] = **9.02%** %Tolerance = 7.41%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$ = 0.08 n=part ,r=trials	%AV = 100[AV/TV] = **2.74%** % Tolerance = 2.25%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ = 0.27	%GR&R = 100[GR&R/TV] = **9.43%** % Tolerance = 7.74%
Part variation $PV = R_p \times K_3$ = 2.86	%PV = 100[PV/TV] = **99.55%** % Tolerance = 81.77%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$ = 2.87	

K_1	Trials
4.56	2
3.05	3

K_2	OP
3.65	2
2.30	4

K_3	Parts
1.62	10

Judge GR&R
Acceptable

ตารางที่ 4.8 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z2

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance	3.5		
Position	Z2	Tool name	Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.4	2.0	3.0	1.8	3.0	2.36
	2	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	3.0	1.8	3.0	2.38
	3	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	2.8	2.0	3.0	2.38
Average		2.40	2.00	2.20	2.80	3.00	1.53	2.00	2.93	1.87	3.00	$\bar{X}_a$ = 2.37
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	$\bar{R}_a$ = 0.06
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	2.2	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	2.8	1.8	3.2	2.36
	2	2.4	2.0	2.0	2.8	3.0	1.6	2.2	3.0	1.8	3.0	2.38
	3	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.2	2.8	1.8	3.2	2.40
Average		2.33	2.00	2.13	2.80	3.00	1.60	2.13	2.87	1.80	3.13	$\bar{X}_b$ = 2.38
Range		0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_b$ = 0.10
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	1.6	2.2	3.0	1.8	3.2	2.40
	2	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.2	3.0	1.8	3.2	2.42
	3	2.0	2.0	2.2	2.8	3.2	1.6	2.0	3.0	1.8	3.0	2.36
Average		2.27	2.00	2.20	2.73	3.07	1.60	2.13	3.00	1.80	3.13	$\bar{X}_c$ = 2.39
Range		0.40	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ = 0.12
Operator	Trial	Part No.										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	3.0	2.0	3.2	2.42
	2	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.8	2.0	3.0	1.8	3.0	2.40
	3	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	3.0	1.8	3.2	2.40
Average		2.40	2.00	2.20	2.80	3.00	1.67	2.00	3.00	1.87	3.13	$\bar{X}_d$ = 2.41
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.20	$\bar{R}_d$ = 0.06
Part Average		**2.35**	**2.00**	**2.18**	**2.78**	**3.02**	**1.60**	**2.07**	**2.95**	**1.83**	**3.10**	$\bar{\bar{X}}$ = 2.39
												R_p = 1.50
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.09
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.03
[$\bar{R}$] x [D4] =								D_4 = 2.58 when trials = 3				$UCL_{\bar{R}}$ **0.22**

ตารางที่ 4.8(ต่อ) แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z2

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{R}$ =	0.09	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.50	No. of Trial	3
Position	Z2	$\overline{X}_{diff}$ =	0.03	No. of Sample	10

Measurement unit analysis	% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{R}$ = 3.05 x 0.09 = 0.26	%EV = 100[EV/TV] = **10.61%** %Tolerance = 7.41%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$ = 0.06 n=part ,r=trials	%AV = 100[AV/TV] = **2.47%** % Tolerance = 1.72%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ = 0.27	%GR&R = 100[GR&R/TV] = **10.89%** % Tolerance = 7.60%
Part variation $PV = R_p \times K_3$ = 2.43	%PV = 100[PV/TV] = **99.41%** % Tolerance = 69.43%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$ = 2.44	

K_1	Trials
4.56	2
3.05	3

K_2	OP
3.65	2
2.30	4

K_3	Parts
1.62	10

Judge GR&R
Conditionally Accept

ตารางที่ 4.9 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z3

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance	3.5		
Position	Z3	Tool name	Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	1.4	1.2	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.4	1.4	2.2	1.52	
	2	1.4	1.0	1.2	1.4	1.4	1.0	2.4	1.4	1.4	2.2	1.48	
	3	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52	
Average		1.40	1.07	1.20	1.53	1.40	1.00	2.40	1.47	1.40	2.20	$\bar{X}_a$ =	1.51
Range		0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	0.06
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	1.6	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.54	
	2	1.4	1.0	1.2	1.4	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.50	
	3	1.4	1.0	1.0	1.4	1.6	1.2	2.2	1.6	1.4	2.0	1.48	
Average		1.47	1.00	1.13	1.47	1.47	1.07	2.33	1.60	1.80	2.13	$\bar{X}_b$ =	1.55
Range		0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_b$ =	0.14
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	1.4	1.0	1.2	1.4	1.6	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52	
	2	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.0	1.50	
	3	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52	
Average		1.40	1.00	1.20	1.53	1.47	1.00	2.40	1.60	1.40	2.13	$\bar{X}_c$ =	1.51
Range		0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ =	0.06
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52	
	2	1.4	1.0	1.2	1.4	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.50	
	3	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52	
Average		1.40	1.00	1.20	1.53	1.40	1.00	2.40	1.60	1.40	2.20	$\bar{X}_d$ =	1.51
Range		0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.02
Part Average		**1.42**	**1.02**	**1.18**	**1.52**	**1.43**	**1.02**	**2.38**	**1.57**	**1.40**	**2.17**	$\bar{\bar{X}}$ =	1.51
												R_p =	1.37
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ =	0.07
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.04
[$\bar{R}$] x [D4] =								D_4 = 2.58 when trials = 3				UCL_R	**0.18**

ตารางที่ 4.9(ต่อ) แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z3

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{R}$ =	0.07	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.37	No. of Trial	3
Position	Z3	$\overline{X}_{diff}$ =	0.04	No. of Sample	10

Measurement unit analysis	% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{R}$ = 3.05 x 0.07 = 0.21 K_1: 4.56 (2 Trials), 3.05 (3 Trials)	%EV = 100[EV/TV] = 9.59% %Tolerance = 6.10%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$ = 0.08 n=part ,r=trials K_2: 3.65 (2 OP), 2.30 (4 OP)	%AV = 100[AV/TV] = 3.74% % Tolerance = 2.38%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ = 0.23	%GR&R = 100[GR&R/TV] = 10.30% % Tolerance = 6.55%
Part variation $PV = R_p \times K_3$ = 2.21 K_3: 1.62 (10 Parts)	%PV = 100[PV/TV] = 99.47% % Tolerance = 63.26%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$ = 2.23	

Judge GR&R
Conditionally Accept

ตารางที่ 4.10 แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z4

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance	3.5		
Position	Z4	Tool name	Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.00	
	2	1.6	1.6	2.0	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.02	
	3	1.4	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.4	1.96	
Average		1.53	1.60	1.87	1.60	2.20	2.00	2.60	2.00	2.00	2.53	$\bar{X}_a$ =	1.99
Range		0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_a$ =	0.06
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	2.6	1.98	
	2	1.6	1.6	1.8	1.6	2.0	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	1.98	
	3	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.2	2.0	2.6	2.02	
Average		1.60	1.60	1.80	1.60	2.13	2.00	2.53	2.07	1.80	2.60	$\bar{X}_b$ =	1.97
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	0.06
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	1.6	1.6	2.0	1.4	2.2	1.8	2.6	2.0	2.0	2.6	1.98	
	2	1.6	1.8	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.02	
	3	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.00	
Average		1.60	1.67	1.87	1.53	2.20	1.93	2.60	2.00	2.00	2.60	$\bar{X}_c$ =	2.00
Range		0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	0.08
Operator	Trial	Part No.											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	2.6	1.98	
	2	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	2.6	1.98	
	3	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	2.6	1.98	
Average		1.60	1.60	1.80	1.60	2.20	2.00	2.40	2.00	2.00	2.60	$\bar{X}_d$ =	1.98
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.00
Part Average		**1.58**	**1.62**	**1.83**	**1.58**	**2.18**	**1.98**	**2.53**	**2.02**	**2.00**	**2.58**	$\bar{\bar{X}}$ =	1.99
												R_p =	1.00
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =					4		]					$\bar{\bar{R}}$ =	0.05
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.03
[$\bar{R}$] x [D4] =								*D_4 = 2.58 when trials = 3*				UCL_R	**0.13**

ตารางที่ 4.10(ต่อ) แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกและประเมินผลหลังปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z4

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{\overline{R}}$ =	0.05	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.00	No. of Trial	3
Position	Z4	$\overline{X}_{diff}$ =	0.03	No. of Sample	10

Measurement unit analysis	% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{\overline{R}}$ = 3.05 x 0.05 = 0.15	%EV = 100[EV/TV] = 9.37% %Tolerance = 4.36%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$ = 0.05 n=part ,r=trials	%AV = 100[AV/TV] = 3.36% % Tolerance = 1.56%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$ = 0.16	%GR&R = 100[GR&R/TV] = 9.95% % Tolerance = 4.63%
Part variation $PV = R_p \times K_3$ = 1.62	%PV = 100[PV/TV] = 99.50% % Tolerance = 46.29%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$ = 1.63	

K_1	Trials
4.56	2
3.05	3

K_2	OP
3.65	2
2.30	4

K_3	Parts
1.62	10

Judge GR&R
Acceptable

จากตัวอย่างหัวข้อตรวจสอบ Z ตำแหน่ง Z1-Z4 จะพบว่าหลังปรับปรุงแล้ว ผลการประเมิน %GR&R มีค่าลดลง สรุปได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการประเมินระบบการวัดหลังปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ Z

หัวข้อ	ตำแหน่ง	ประเมินความแม่นยำ		
		%EV	%AV	%GR&R
Z	Z1	9.02%	2.74%	9.43%
	Z2	10.61%	2.47%	10.89%
	Z3	9.59%	3.74%	10.30%
	Z4	9.37%	3.36%	9.95%
ค่าเฉลี่ย		9.65%	3.08%	10.14%

จากตารางที่ 4.11 พบว่า %GR&R หลังปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.14 % จากเดิมก่อนปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 33.30% การปรับปรุงด้วยวิธีควบคุมเวลาการหมุนซูมและสร้างมาตรฐานการอ่านค่างานจากเครื่องวัด สามารถช่วยลด %GR&R ลงจากเดิมได้ถึง 69.54%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 หัวข้อตรวจสอบ **G**

วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ G

สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ G ด้วยเครื่องมือวัด Tension gage – 15C620 ได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ G

หัวข้อ	ตำแหน่ง	ประเมินความเที่ยงตรง	ประเมินความแม่นยำ		
		%Bias	%EV	%AV	%GR&R
G1	G1	0.55%	26.90%	32.62%	42.28%

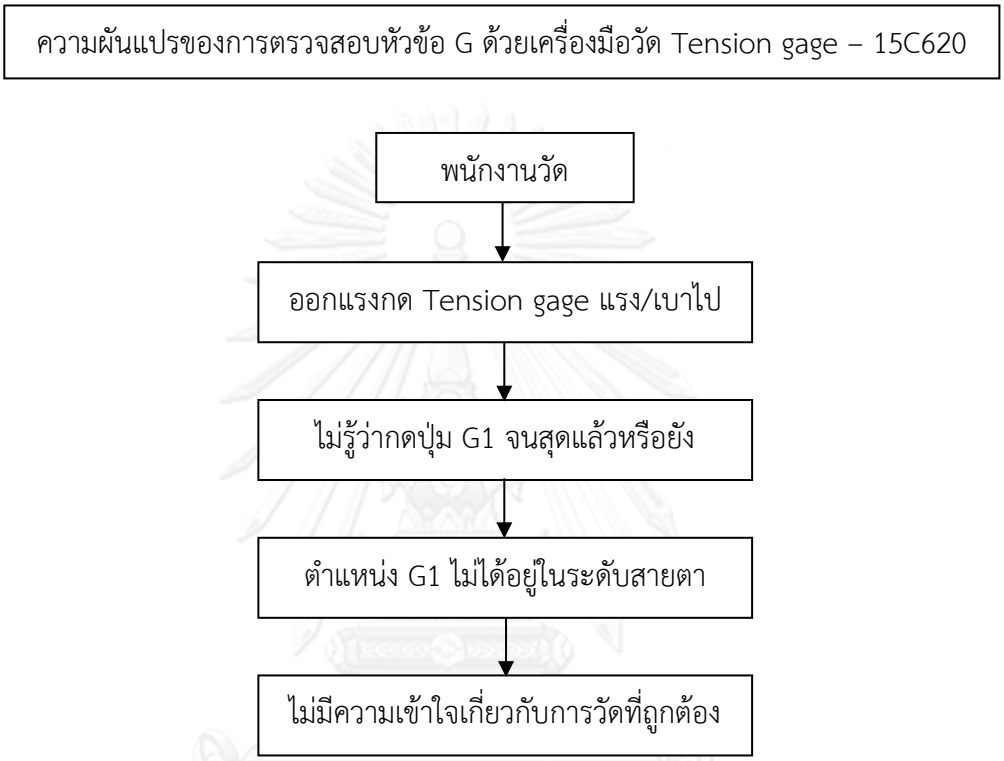
พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความเที่ยงตรง

พบว่ามีค่าไบแอส (%Bias) < 10% ดังนั้นในด้านความเที่ยงตรงในการวัดค่างานไม่มีปัญหา ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เครื่องมือยังอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความแม่นยำ

ในหัวข้อตรวจสอบนี้มีการตรวจสอบงานตำแหน่งเดียวคือ G1 พบว่า %AV มีค่าสูงกว่า %EV แสดงถึงความผันแปรส่วนใหญ่เกิดจากพนักงานวัด เนื่องจากพนักงานวัดมีทักษะและวิธีการวัดค่างานที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ %EV ที่สูงใกล้เคียง %AV เนื่องมาจากความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานยังมีปัญหา รวมถึงความผันแปรภายในชิ้นงาน เนื่องจากการวัดค่างานในตำแหน่งนี้ต้องกดปุ่ม G1 ของชิ้นงานตัวอย่าง เพื่ออ่านค่าแรงที่ใช้ในการกดปุ่ม G1 ว่ามีขนาดเท่าไร ด้วย Tension gage โดยหากกระบวนการผลิตประกอบมาไม่ดีจะมีผลให้การอ่านค่าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งลักษณะการกด Tension gage ควรอ่านค่าให้สัมพันธ์กับระดับสายตาในการมองชิ้นงานว่าปุ่ม G1 ถูกกดลงไปจนสุดระดับของขอบงานในแนวทิศลงและตรง แล้วค่อยอ่านค่า โดยงานต้องวางกับพื้นแนวระนาบพบว่าพนักงานวัด

ส่วนใหญ่มองตำแหน่ง G1 ในระดับต่ำกว่าสายตา ทำให้การมองว่าตำแหน่ง G1 ถูกกดจนสุดแล้วไม่สามารถยืนยันได้ จึงสรุปการวิเคราะห์ได้ตามแผนผัง



รูปที่ 4.8 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ G

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.9 ลักษณะการใช้ Tension gage 15C620 เพื่อวัดค่างานหัวข้อ G

การปรับปรุงแก้ไข

ทำความเข้าใจถึงการวัดค่าแรงกดของตำแหน่ง G1 และสอนวิธีการที่ถูกต้องให้กับพนักงาน โดยพนักงานจะต้องยกงานให้สูงขึ้นเพื่อให้ปุ่ม G1 อยู่ระดับเดียวกับสายตา เมื่อพนักงานคว่ำด้านหน้าตัวงานลงแล้วนำ Tension gage มากดปุ่ม G1 ด้านหลังตัวงานในแนวทิศลงและตรง ขณะที่ออกแรงดัน G1 จะต้องสังเกตว่าปุ่ม G1 ถูกดันให้สุดแล้วจริงคือ ปุ่ม G1 ถูกกดจนสุดระดับขอบของตัวงาน จึงอ่านค่าแรงที่วัดได้ ซึ่งให้พนักงานได้ฝึกปฏิบัติวัดค่างานร่วมกัน จนสามารถวัดค่าซ้ำๆแล้วได้ค่าที่มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

รูปที่ 4.10 การอ่านค่างานที่ระดับสายตา สำหรับการตรวจสอบงานหัวข้อ G

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.3 หัวข้อตรวจสอบ A

วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ A

สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ A ด้วยเครื่องมือวัด Tension gage - 22A450 ได้ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ A

หัวข้อ	ตำแหน่ง	ประเมินความเที่ยงตรง	ประเมินความแม่นยำ		
		%Bias	%EV	%AV	%GR&R
A	A1	3.33%	18.80%	31.00%	36.25%
	A2	0.00%	20.74%	25.90%	33.18%
ค่าเฉลี่ย		1.67%	19.77%	28.45%	34.72%

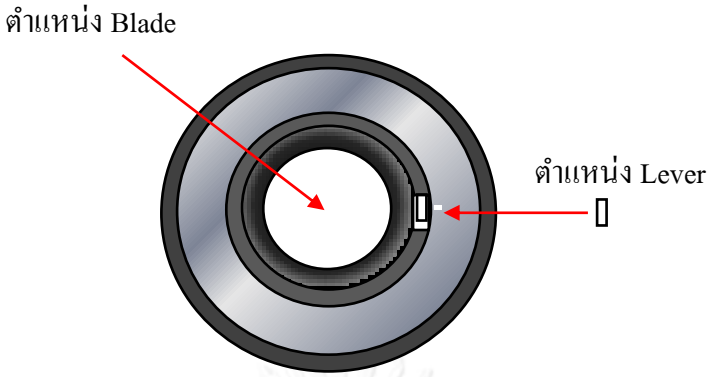
พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความเที่ยงตรง

พบว่ามีค่าไบแอส (%Bias) ทุกตำแหน่งเฉลี่ยเท่ากับ 1.67% < 10% ดังนั้นในด้านความเที่ยงตรงในการวัดค่างานไม่มีปัญหา ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เครื่องมือยังอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

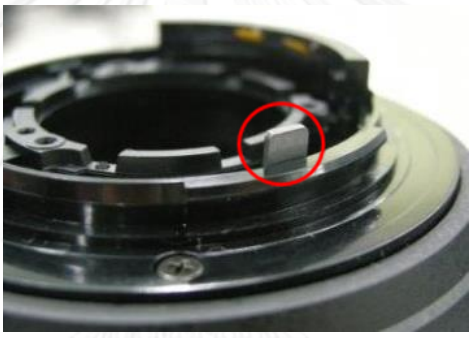
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความแม่นยำ

หัวข้อตรวจสอบนี้มีการตรวจสอบงาน 2 ตำแหน่งคือ A1 และ A2 พบว่า %AV มีค่าสูงกว่า %EV ทั้งสองตำแหน่ง แสดงถึงความผันแปรส่วนใหญ่เกิดจากความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด การตรวจสอบหัวข้อนี้ต้องการทราบขนาดของแรงที่ใช้ในการดึง Lever ว่ามีค่าเท่าไร ในการทำให้ Blade หรือรูรับแสง เปิดสุด



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งของ Blade และ Lever เมื่อมองจากด้านหลังของตัวงาน

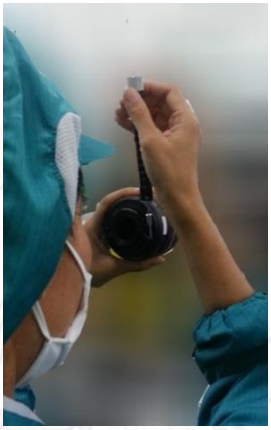


รูปที่ 4.12 ตำแหน่ง Lever ของตัวงานสำหรับการตรวจสอบหัวข้อ A

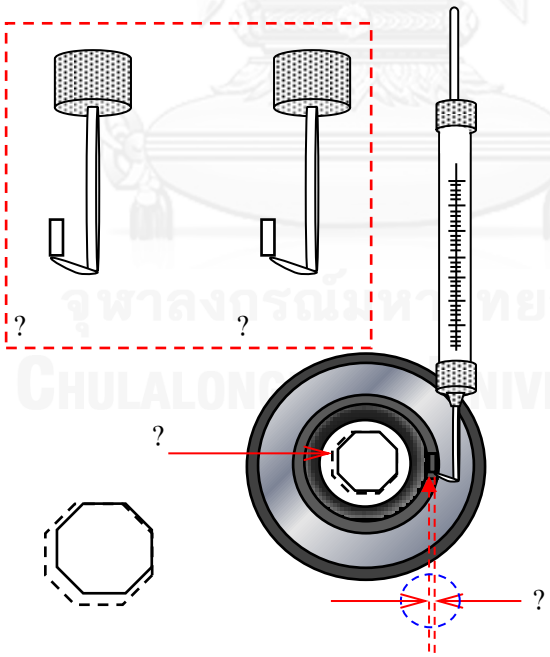
ขั้นตอนการวัดค่างานที่ตำแหน่ง A1 และ A2 จะต่างกันที่ระยะการหมุนซูมไประยะไกลสุดและใกล้สุด ซึ่งพนักงานจะต้องถืองานให้ช่องของ Blade อยู่ในระดับสายตา แล้วเกี่ยวปลาย Tension gage เข้ากับตำแหน่ง Lever ของตัวงาน จากนั้นดึง Tension gage ในทิศขึ้นและตรง ขณะที่ดึง Tension gage ขึ้น ช่อง Blade จะค่อยๆเปิดขึ้น เมื่อ Blade เปิดจนสุดแล้ว พนักงานจะต้องอ่านค่าของ Tension gage ที่วัดค่าได้

จากวิธีการวัดค่างาน พบว่าบางครั้งพนักงานใช้ปลายของ Tension gage เกี่ยวที่ Lever ไม่เต็มพื้นที่ทำให้ค่าที่วัดได้มีขนาดเล็ก ซึ่งมีผลทำให้ Blade เปิดไม่สุด เนื่องจากปลายของ Tension gage มีความลื่นขณะที่เกี่ยว Lever ของตัวงาน และพบว่าระดับสายตาของพนักงานไม่ได้อยู่ในระดับเดียวกับช่องของ Blade ตลอดงานทุกตัวที่ทำการวัดค่า ทำให้สายตาที่มองช่องของ Blade ไม่อาจ

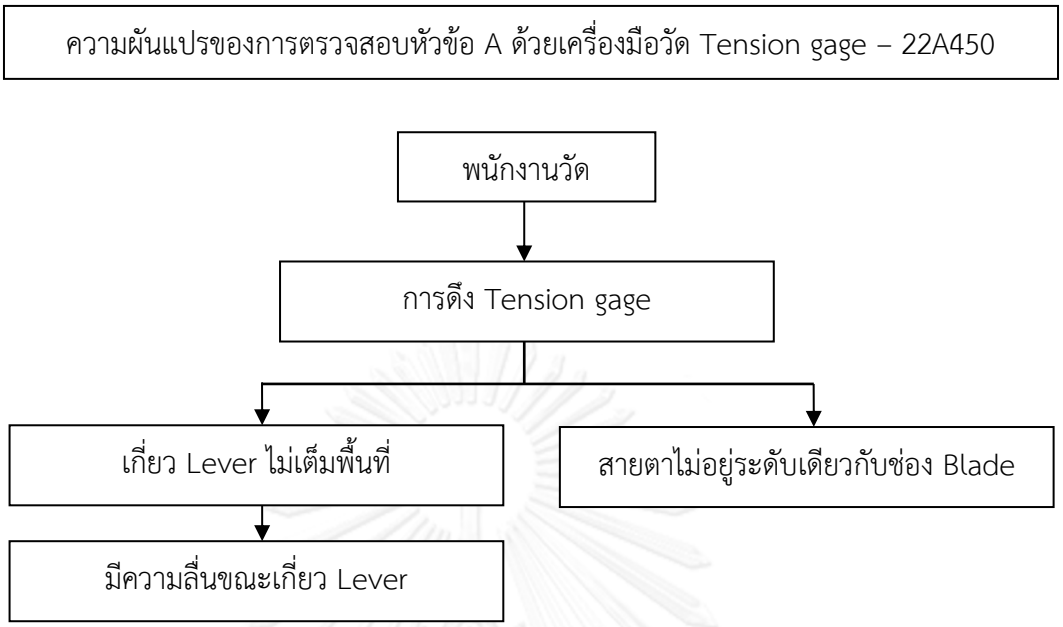
ตัดสินใจได้เหมือนกันทุกครั้งว่า Blade เปิดสุดแล้วหรือยัง โดยสามารถสรุปการวิเคราะห์ตามแผนผังดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.13 ตำแหน่ง Lever ของตัวงานสำหรับการตรวจสอบหัวข้อ A



รูปที่ 4.14 เมื่อเกี่ยว Lever ไม่เต็มพื้นที่ของการตรวจสอบงานหัวข้อ A



รูปที่ 4.15 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ A

การปรับปรุงแก้ไข

อบรมทำความเข้าใจถึงการวัดค่าของตำแหน่ง A1 และลดความลื่นผิวสัมผัสของปลาย Tension gage ให้มีความลื่นน้อยลงด้วยการเพิ่มยางหุ้มปลาย Tension gage เพื่อขณะดึง Lever ของตัวงาน พนักงานจะสามารถเกี่ยว Tension gage ได้เต็มพื้นที่ และสอนวิธีการอ่านค่าวัดของงาน โดยให้ถืองานสูงขึ้น เพื่อให้สายตาจะต้องอยู่ระดับเดียวกับช่อง Blade เสมอที่วัดค่างาน จะได้เห็นว่า Blade เปิดสุดจริง แล้วให้พนักงานทุกคนฝึกปฏิบัติวัดค่างานตามที่ได้อบรมไว้

รูปที่ 4.16 เสริมยางหุ้มปลาย Tension gage สำหรับการตรวจสอบงานหัวข้อ A

4.1.4 หัวข้อตรวจสอบ F

วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ F

สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ F ด้วยเครื่องมือวัด Torque meter – 0411C ได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ F

หัวข้อ	ตำแหน่ง	ประเมินความเที่ยงตรง	ประเมินความแม่นยำ		
		%Bias	%EV	%AV	%GR&R
F	F1	3.00%	15.01%	16.55%	22.34%
	F2	3.00%	25.14%	20.16%	32.22%
	F3	2.50%	27.08%	20.77%	34.13%
	F4	1.00%	19.40%	10.33%	21.98%
	F5	3.00%	21.30%	17.05%	27.28%
	F6	6.00%	30.24%	15.15%	33.82%
	F7	6.00%	27.74%	31.04%	41.63%
	F8	3.50%	20.67%	11.07%	23.45%
ค่าเฉลี่ย		3.50%	23.32%	17.77%	29.61%

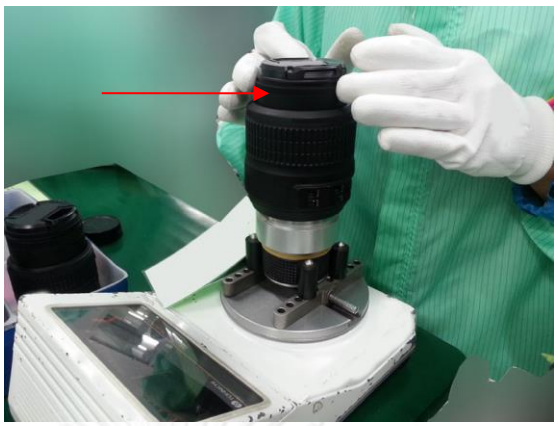
พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความเที่ยงตรง

พบว่ามีค่าไบแอส (%Bias) ทุกตำแหน่งเฉลี่ยเท่ากับ 3.50% < 10% ดังนั้นในด้านความเที่ยงตรงในการวัดค่างานไม่มีปัญหา ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เครื่องมือยังอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความแม่นยำ

หัวข้อตรวจสอบนี้มีการตรวจสอบงานทั้งหมด 8 ตำแหน่ง พบว่าค่า %GR&R > 30% ทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ส่วน 4 ตำแหน่งที่เหลือมีค่า 10% ≤ %GR&R < 30% และทุกตำแหน่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.61% ซึ่งพิจารณาร่วมกับผู้เกี่ยวข้องแล้วเห็นว่าควรทำการปรับปรุงพร้อมกัน เนื่องจากทุกตำแหน่งในหัวข้อตรวจสอบ F จะทำการวัดค่าเป็นลำดับต่อเนื่องกัน และใช้เครื่องมือวัดเดียวกัน จากผลการประเมินพบว่าค่า %AV และ %EV มีค่าสูงต่ำสลับกันทั้ง 8 ตำแหน่ง แสดงถึงความผันแปรที่เกิดจากพนักงานวัดมีค่าไม่สม่ำเสมอ บางตำแหน่งไม่มีความสามารถในการตรวจสอบซ้ำได้ บางตำแหน่งไม่มีความสามารถด้านการประเมินเหมือน

เมื่อวิเคราะห์ถึงขั้นตอนการวัด พบว่าขั้นตอนการตรวจสอบคล้ายกับหัวข้อตรวจสอบ Z ซึ่งช่วงเวลาการหมุนวงแหวนโฟกัสของตัวงาน จะสัมพันธ์กับขนาดของแรงหมุนที่อ่านได้ โดยมีมวลคงที่ ซึ่งเวลาที่เหมาะสมคือ 2 วินาทีต่อการหมุน 1 รอบวงแหวน เช่นเดียวกับหัวข้อ Z เวลาในการหมุนวงแหวนจะสัมพันธ์กับค่าแรงที่อาจไม่สม่ำเสมอ บางครั้งออกแรงน้อยในการหมุนวงแหวน โฟกัสบางครั้งออกแรงมากทำให้หมุนสุดระยะทางวงแหวนเร็ว ค่าแรงวัดที่อ่านได้จึงไม่สม่ำเสมอและไม่เหมือนกันในแต่ละครั้งและแต่ละคน และเช่นเดียวกันช่วงที่อ่านค่าจาก Torque meter ต้องอ่านช่วงที่เข็มเริ่มเคลื่อนที่และอ่านค่าช่วงที่เข็มเคลื่อนที่จนสุด อาจอ่านค่าที่เข็มเริ่มเคลื่อนที่และช่วงที่เข็มเคลื่อนที่จนสุดไม่ทัน ทำให้เวลาอ่านค่ามีการปัดช่องค่าขึ้นหรือลงต่างกัน



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งการหมุนวงแหวนสำหรับการตรวจสอบหัวข้อ F

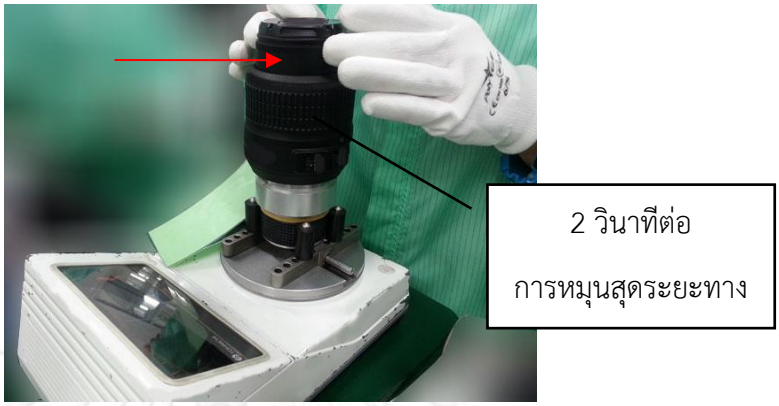
จากการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.18

รูปที่ 4.18 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ F

การปรับปรุงแก้ไข

อบรมทำความเข้าใจถึงการวัดค่าแรงที่ใช้ในการหมุนวงแหวนโฟกัสแต่ละตำแหน่ง และสอนวิธีการที่ถูกต้องให้กับพนักงาน รวมถึงวิธีการอ่านค่าของเข็มให้เป็นไปในทางเดียวกัน โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 1 ชิ้น ให้พนักงานฝึกปฏิบัติหมุนวงแหวนโฟกัสด้วยเวลา 2 วินาทีต่อรอบการหมุนจนสุดระยะทางจนพนักงานเกิดความชำนาญ โดยอ้างอิงวิธีการอ่านค่าของเข็มจากเครื่องมือ วัด

เหมือนกับรูปที่ 4.7 ของหัวข้อ Z เมื่อพนักงานอ่านค่าด้วยวิธีที่เหมือนกัน จะส่งผลให้ %AV ลดลงได้ และการฝึกให้พนักงานปฏิบัติจนเกิดความชำนาญจะช่วยลด %EV ซึ่งจะทำให้ %GR&R ลดลงตาม



รูปที่ 4.19 มุมการหมุนวงแหวนและเวลาหมุนการตรวจสอบหัวข้อ F

4.1.5 หัวข้อตรวจสอบ MT

วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ MT

สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ MT ด้วยเครื่องมือวัด Torque meter – 25112E ได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ MT

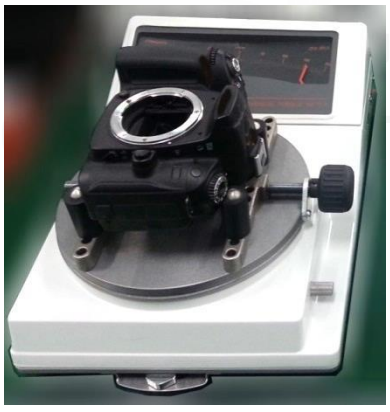
หัวข้อ	ตำแหน่ง	ประเมินความเที่ยงตรง	ประเมินความแม่นยำ		
		%Bias	%EV	%AV	%GR&R
MT	MT1	1.67%	31.54%	33.38%	45.92%
	MT2	3.89%	34.70%	35.70%	49.78%
ค่าเฉลี่ย		2.78%	33.12%	34.54%	47.85%

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความเที่ยงตรง

พบว่ามีค่าไบแอส (%Bias) ทุกตำแหน่งเฉลี่ยเท่ากับ 2.78% < 10% ดังนั้นในด้านความเที่ยงตรงในการวัดค่างานไม่มีปัญหา ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เครื่องมือยังอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความแม่นยำ

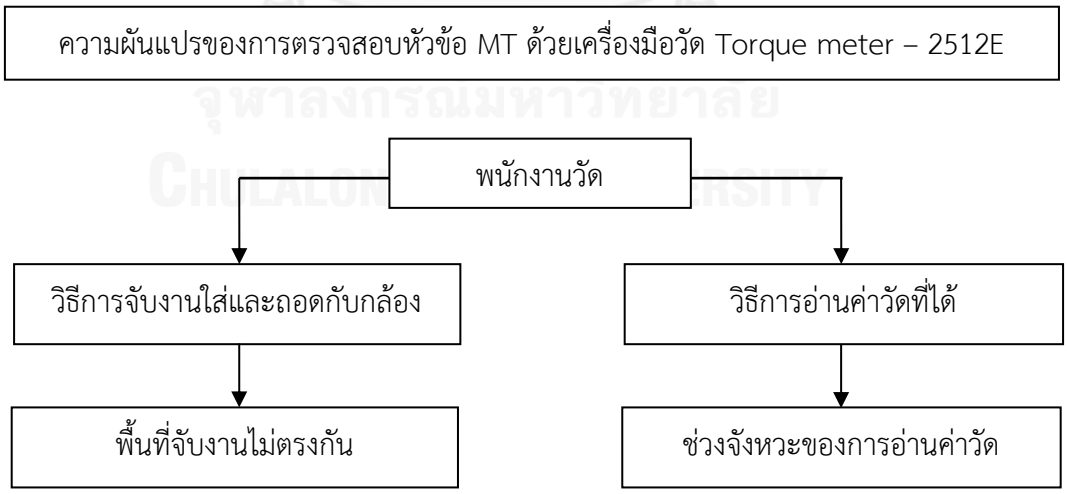
หัวข้อตรวจสอบนี้มีการตรวจสอบงานทั้งหมด 2 ตำแหน่ง ทุกตำแหน่งเฉลี่ย %GR&Rเท่ากับ 47.85% พบว่า %AV สูงกว่า %EV แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่มาจากพนักงานวัด โดยการตรวจสอบงานหัวข้อ MT จะเป็นการวัดค่าแรงที่ใช้ในการใส่งานเข้าและถอดงานออกจากตัวกล้อง ซึ่งที่ Torque meter จะมีตัวกล้องติดอยู่เสมือนการจำลองเมื่อใส่และถอดซูมเลนส์เข้ากับตัวกล้อง ดังนั้นค่างานที่วัดได้จะได้รับผลส่วนใหญ่มาจากวิธีการใส่ตัวงานและถอดตัวงานออกของพนักงาน และเมื่อพิจารณาเพิ่มเติมจะพบว่า %EV มีค่าใกล้เคียง %AV ซึ่งจะเห็นว่ามีองค์ประกอบหนึ่งคือพื้นที่ที่ตัวงานของซูมเลนส์ใส่และถอดออกจากตัวกล้อง หากสภาพไม่พร้อมใช้งานย่อมส่งผลต่อค่าแรงเช่นกัน



รูปที่ 4.20 ชุดอุปกรณ์ของการตรวจสอบหัวข้อ MT

รูปที่ 4.21 เมื่อสวมซูมเลนส์เข้ากับตัวกล้องของการตรวจสอบหัวข้อ MT

จากการวิเคราะห์วิธีการใส่และถอดงานออกจากตัวกล้อง พบว่ายังไม่ได้กำหนดบริเวณสำหรับจับซูมเลนส์ให้เข้าใจเหมือนกัน เมื่อพิจารณาค่า MT1 จะเป็นค่าแรงที่วัดได้เมื่อใส่งานเข้ากับตัวกล้อง และค่า MT2 จะเป็นค่าแรงที่วัดจากการถอดงานออกจากตัวกล้อง ช่วงจังหวะที่อ่านค่างานจะต้องอ่านจากช่วงเวลาที่เข็มของ Torque meter เริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งจะเป็นค่าแรงที่ใส่และถอดงานจริง ดังนั้นถ้าอ่านไม่ถูกจังหวะ คืออ่านค่าช่วงที่เข็มเคลื่อนที่จนสุดแล้วจะเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง สามารถสรุปการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ MT

การปรับปรุงแก้ไข

อบรมทำความเข้าใจถึงการวัดค่าแรงที่ใช้ในการใส่งานเข้ากับตัวกล้อง (ตำแหน่ง MT1) และการถอดงานออกจากตัวกล้อง (ตำแหน่ง MT2) และสอนวิธีการที่ถูกต้องให้กับพนักงาน รวมถึงวิธีการอ่านค่าของเข็มให้เป็นไปในทางเดียวกัน โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 1 ชิ้น ให้พนักงานฝึกปฏิบัติการจับงาน ซึ่งได้กำหนดพื้นที่ในการจับงานให้เสมือนการใช้งานจริงของลูกค้า และฝึกการอ่านค่าจากเข็มของเครื่องมือวัด

รูปที่ 4.23 บริเวณที่ใช้จับของการตรวจสอบหัวข้อ MT

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.6 หัวข้อตรวจสอบ **S**

วิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ S

สรุปผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ S ด้วยเครื่องมือวัด Tension gage – 11E529 ได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ผลการประเมินระบบการวัดก่อนปรับปรุงของหัวข้อตรวจสอบ S

หัวข้อ	ตำแหน่ง	ประเมินความเที่ยงตรง	ประเมินความแม่นยำ		
		%Bias	%EV	%AV	%GR&R
S	S1	0.80%	23.58%	29.43%	37.72%
	S2	1.20%	31.20%	22.49%	38.46%
	S3	2.80%	17.51%	36.40%	40.40%
	S4	2.80%	23.73%	18.44%	30.05%
ค่าเฉลี่ย		1.90%	24.01%	26.69%	36.66%

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความเที่ยงตรง

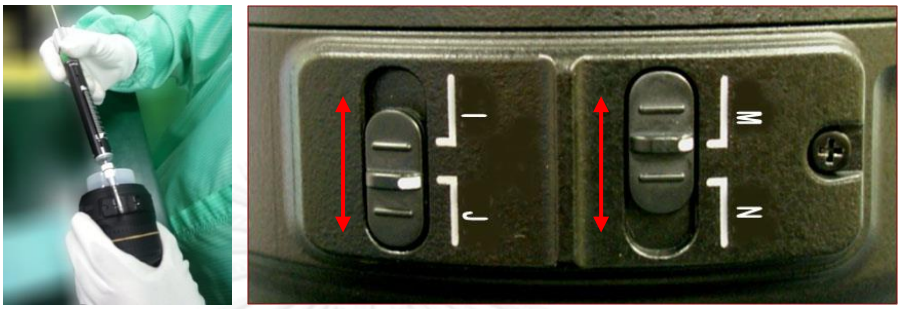
พบว่ามีค่าไบแอส (%Bias) ทุกตำแหน่งเฉลี่ยเท่ากับ 1.90% < 10% ดังนั้นในด้านความเที่ยงตรงในการวัดค่างานไม่มีปัญหา ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เครื่องมือยังอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พิจารณาและวิเคราะห์ผลการประเมินด้านความแม่นยำ

ในหัวข้อตรวจสอบนี้มีการตรวจสอบงานทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ทุกตำแหน่งมีค่าเฉลี่ย %GR&R เท่ากับ 36.66% พบว่า %AV และ %EV มีค่าสูงต่ำสลับกันในแต่ละตำแหน่ง และค่าเฉลี่ยทุกตำแหน่งมีค่า %EV น้อยกว่า %AV แสดงถึงความผันแปรส่วนใหญ่มาจากความสามารถด้านการประเมินเหมือนหรือความแตกต่างระหว่างบุคคลของพนักงานในการวัดค่างาน โดยตำแหน่ง S1 และ S2 จะตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ในการเลื่อนปุ่ม Sij ไปและกลับ ส่วนตำแหน่ง S3 และ S4 จะตรวจสอบค่าแรงที่

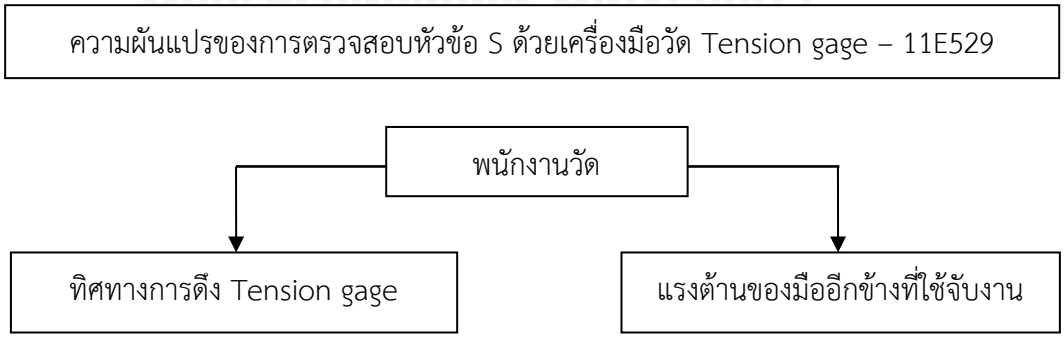
ใช้ในเลื่อนปุ่ม Smn ไปและกลับ วิธีการเลื่อนปุ่มพนักงานจะใช้ Tension gage เกี่ยวไว้ที่ปุ่มแล้วดึง จากนั้นพนักงานจะอ่านค่าที่วัดได้



รูปที่ 4.24 การวัดค่างานของการตรวจสอบหัวข้อ S

จากการวิเคราะห์วิธีการวัดค่างานของพนักงานพบว่า ทิศทางการดึง Tension gage มีผลต่อค่าที่วัดได้ คือ ถ้าพนักงานดึง Tension gage ไม่ได้ระนาบกับตัวงาน จะทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าจริงเมื่อลูกค้านำไปใช้งาน และการจับตัวงานของพนักงานด้วยมืออีกข้างหนึ่งมีผลให้ค่าที่วัดได้สูงกว่าค่าจริง เนื่องจากแรงที่ใช้ในการจับงาน พนักงานต้องดึงตัวงานเอาไว้เมื่อทำการดึง Tension gage ด้วยมืออีกข้าง และพนักงานแต่ละคนออกแรงไม่เท่ากันในการจับงานและวัดค่าซ้ำแต่ละครั้ง สามารถสรุปได้ตามรูปที่ 4.25

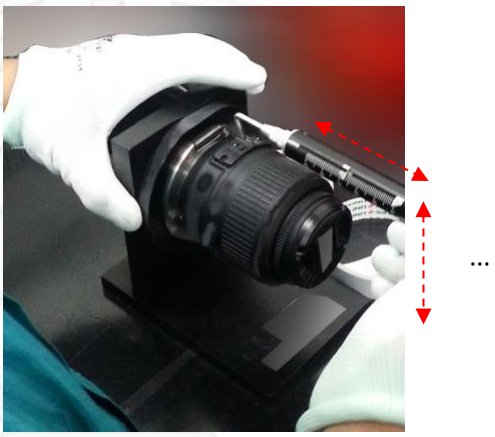
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.25 แผนผังสรุปการวิเคราะห์สาเหตุความผันแปรของการตรวจสอบหัวข้อ S

การปรับปรุงแก้ไข

อบรมทำความเข้าใจถึงการวัดค่าแรงของปุ่ม Sij และ Smn ขาไปและขากลับ และสอนวิธีการที่ถูกต้องให้กับพนักงาน รวมถึงจัดทำอุปกรณ์ช่วยจับยึดงานแทนการใช้มือจับตัวงานอีกข้างเพื่อลดแรงต้านที่เกิดจากการจับงานของพนักงานให้มีค่าสม่ำเสมอ โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 1 ชิ้น ให้พนักงานฝึกปฏิบัติการดึง Tension gage ในทิศทางระนาบหรือขนานกับตัวงาน (ทำมุม 90 องศากับหน้าเลนส์)



รูปที่ 4.26 การวัดค่างานหลังเพิ่มอุปกรณ์จับยึดงานของการตรวจสอบหัวข้อ S

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ผลการศึกษาหลังปรับปรุง

หลังจากปรับปรุงแก้ไขแล้วจึงประเมินผล %GR&R หลังปรับปรุง ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ผลการประเมินหลังปรับปรุง

หัวข้อ	ตำแหน่ง	ก่อนปรับปรุง				%GR&R หลังปรับปรุงครั้งที่ 1
		ประเมินความเที่ยงตรง	ประเมินความแม่นยำ			
		%Bias	%EV	%AV	%GR&R	
M	M1	2.63%	6.45%	5.06%	8.20%	-
	M2	0.90%	10.33%	3.01%	10.76%	-
	M3	0.52%	8.25%	7.01%	10.83%	-
	M4	2.00%	10.36%	3.55%	10.95%	-
	M5	1.40%	10.11%	4.14%	10.92%	-
	M6	0.54%	9.20%	2.27%	9.47%	-
Z	Z1	8.00%	20.83%	21.14%	29.68%	9.43%
	Z2	8.57%	22.84%	15.97%	27.87%	10.89%
	Z3	9.14%	28.63%	30.32%	41.70%	10.30%
	Z4	7.43%	28.39%	18.63%	33.96%	9.95%
G	G1	0.55%	26.90%	32.62%	42.28%	9.30%
A	A1	3.33%	18.80%	31.00%	36.25%	9.15%
	A2	0.00%	20.74%	25.90%	33.18%	8.96%
F	F1	3.00%	15.01%	16.55%	22.34%	10.86%
	F2	3.00%	25.14%	20.16%	32.22%	10.84%
	F3	2.50%	27.08%	20.77%	34.13%	10.39%
	F4	1.00%	19.40%	10.33%	21.98%	9.75%
	F5	3.00%	21.30%	17.05%	27.28%	10.96%

ตารางที่ 4.17(ต่อ) ผลการประเมินหลังปรับปรุง

หัวข้อ	ตำแหน่ง	ก่อนปรับปรุง				%GR&R หลังปรับปรุงครั้งที่ 1
		ประเมินความเที่ยงตรง	ประเมินความแม่นยำ			
		%Bias	%EV	%AV	%GR&R	
F	F6	6.00%	30.24%	15.15%	33.82%	10.69%
	F7	6.00%	27.74%	31.04%	41.63%	10.75%
	F8	3.50%	20.67%	11.07%	23.45%	9.63%
MT	MT1	1.67%	31.54%	33.38%	45.92%	20.04%
	MT2	3.89%	34.70%	35.70%	49.78%	20.45%
S	S1	0.80%	23.58%	29.43%	37.72%	8.80%
	S2	1.20%	31.20%	22.49%	38.46%	8.03%
	S3	2.80%	17.51%	36.40%	40.40%	10.64%
	S4	2.80%	23.73%	18.44%	30.05%	9.31%

จากผลการปรับปรุงในตารางที่ 4.17 พบว่า %GR&R ลดลงทุกหัวข้อตรวจสอบและมีค่า %GR&R < 30% ซึ่งสามารถยอมรับระบบการวัดได้ แต่ในหัวข้อ MT ยังมีค่าไม่ใกล้เคียง 10% อยู่ในการยอมรับระบบการวัดอย่างมีเงื่อนไข ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.1 วิเคราะห์การปรับปรุงหัวข้อตรวจสอบ **MT** เพิ่มเติม

พบว่าพื้นที่สัมผัสของกล้องที่ใช้สำหรับใส่ตัวงานของซูมเลนส์เข้าและถอดออก เมื่อมีการใช้งานที่ยาวนานไปสักระยะ บริเวณพื้นที่สัมผัสสามารถสึกหรอได้และพื้นผิวสัมผัสระหว่างกล้องกับซูมเลนส์จะฝืดมากขึ้นเมื่อไม่ได้ทาสารหล่อลื่น ทำให้ค่าที่วัดได้ระหว่างบุคคลแตกต่างกัน ดังนั้นจึงกำหนดให้มีการเปลี่ยนตัวกล้องที่อยู่ในชุดอุปกรณ์วัดใหม่ แล้วเก็บค่าการประเมิน %GR&R หลังเปลี่ยนกล้อง (%GR&Rการปรับปรุงครั้งที่ 2) พบว่ามีค่าลดลง และเพื่อให้ %GR&R ลดลงอีกครั้งจึงได้

ให้พนักงานฝึกปฏิบัติวัดค่างานจนชำนาญแล้วประเมินผลอีกครั้งสุดท้าย (%GR&R การปรับปรุงครั้งที่ 3) ได้ผลดังตารางที่ 4.18 สามารถดูบันทึกผลการปรับปรุงครั้งที่ 2 และ 3 ได้ที่ภาคผนวก ค และ จ

ตารางที่ 4.18 ผลการประเมินหลังปรับปรุงครั้งที่ 2 และ 3

หัวข้อ	ตำแหน่ง	ก่อนปรับปรุง			%GR&R หลังปรับปรุง		
		ประเมินความแม่นยำ			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
		%EV	%AV	%GR&R			
MT	MT1	31.54%	33.38%	45.92%	20.04%	14.21%	9.83%
	MT2	34.70%	35.70%	49.78%	20.45%	15.54%	9.20%
ค่าเฉลี่ย				47.85%	20.24%	14.88%	9.52%

จากตารางที่ 4.18 พบว่าก่อนการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยของ %GR&R อยู่ที่ 47.85% หลังปรับปรุงครั้งที่ 1 มีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ที่ 20.24% หลังปรับปรุงครั้งที่ 2 มีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ที่ 14.88% และหลังปรับปรุงครั้งที่ 3 มีค่าเฉลี่ยลดลงอยู่ที่ 9.52% ซึ่งสามารถยอมรับระบบการวัดของหัวข้อ MT ได้ การปรับปรุงทั้งหมดสามารถคิดเป็น %ที่ลดลงจากเดิมได้ 80.12% ด้วยการกำหนดมาตรฐานของพื้นที่จับงานขณะวัดค่างาน การกำหนดวิธีการอ่านค่าวัดงาน และการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์เมื่อพื้นที่สัมผัสมีความฝืด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 การประเมินผลด้านความมีเสถียรภาพ (Stability test)

หลังจากที่ได้ประเมินค่า %Bias และ %GR&R หลังจากปรับปรุงระบบการวัดแล้ว ค่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ จึงได้ประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัดจากแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R Chart ซึ่งทั้ง 7 หัวข้อจะสุ่มทดสอบอย่างละ 1 ตำแหน่ง ให้พนักงานวัดค่างานทุกวัน วันละ 3 ครั้ง มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดงานที่จะใช้วัดค่างานทั้ง 7 หัวข้อตรวจสอบมา 1 ชิ้น
2. ให้พนักงานมาสเตอร์วัดงานชิ้นนี้ทุกวันที่มีการทำงาน วันละ 3 ครั้ง ในช่วงเวลาก่อนเริ่มงานเช้า (08.30-09.00 น.) หลังเที่ยง (12.45-13.15 น.) และก่อนเลิกงาน (16.45-17.15 น.)
3. นำค่างานที่วัดได้มาบันทึกในแบบฟอร์มแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R Chart
4. วิเคราะห์แผนภูมิควบคุม ว่ามีจุดที่หลุดจากเส้นควบคุมหรือไม่ ซึ่งแสดงถึงเครื่องมือวัดไม่มีเสถียรภาพ
5. ประเมินค่าเสถียรภาพจากจุดที่มีการออกนอกเส้นควบคุม

การกำหนดพนักงานมาสเตอร์จะให้พนักงานคนใดก็ได้ที่มีหน้าที่ประจำทำการตรวจสอบงาน เนื่องจากได้มีการปรับปรุงระบบการวัดจนสามารถยอมรับได้แล้ว ดังนั้นจะถือพนักงานสามารถวัดค่างานได้ไม่แตกต่างกัน แต่จะกำหนดเพียง 1 คนเป็นพนักงานมาสเตอร์เพื่อลดความผันแปรที่เกิดขึ้นจากตัวบุคคล ในที่นี้จะกำหนดให้พนักงานมาสเตอร์ที่ประเมินความมีเสถียรภาพเป็นพนักงาน A วัดงานดังกล่าวทุกวันที่มีการทำงาน

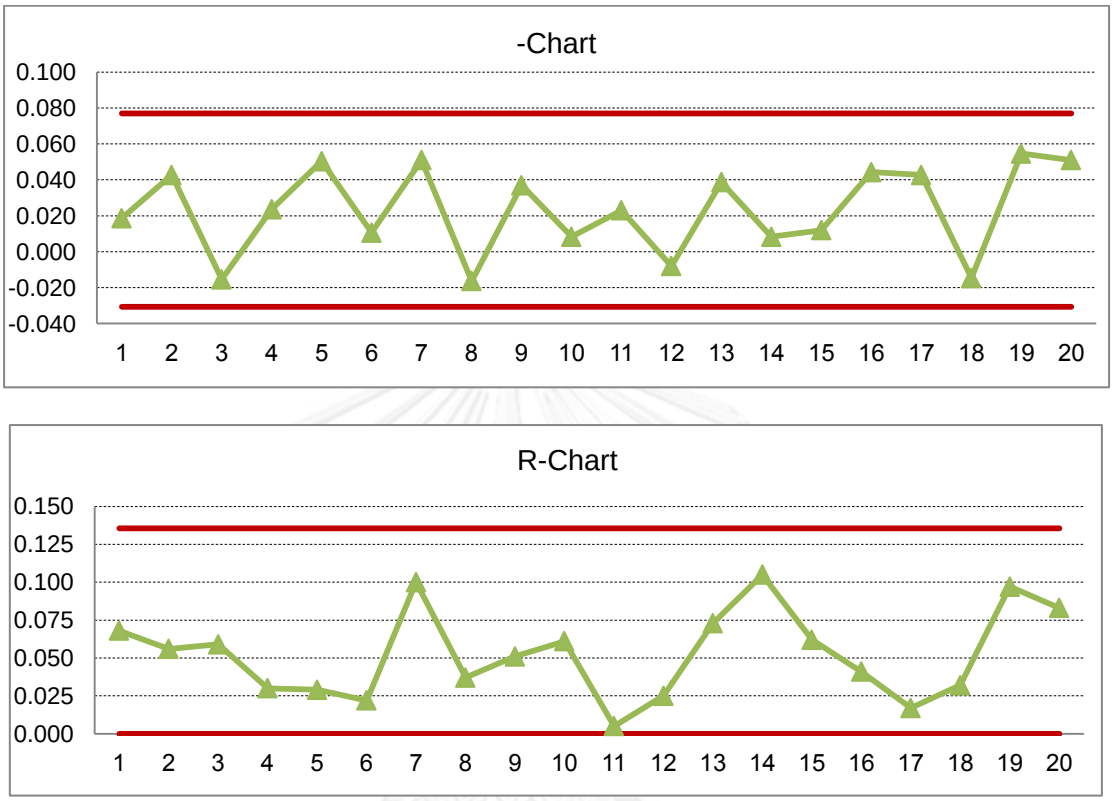
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.1 ตัวอย่างผลการประเมินความมีเสถียรภาพของหัวข้อตรวจสอบ

พารามิเตอร์ M	เครื่องมือวัด M Machine	Tool. No 012T
ตำแหน่งการวัด M1	ขนาดตัวอย่าง / ความถี่ 3 ครั้ง / วัน	หน่วยวัด mm.

วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าวัด	1	0.004	0.076	-0.005	0.005	0.058	0.004	0.088	-0.026	0.052	0.031
	2	-0.008	0.020	0.009	0.031	0.032	0.003	-0.012	-0.030	0.055	0.024
	3	0.060	0.032	-0.050	0.035	0.061	0.025	0.077	0.007	0.004	-0.030
ผลรวม		0.056	0.128	-0.046	0.071	0.151	0.032	0.153	-0.049	0.111	0.025
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)		0.019	0.043	-0.015	0.024	0.050	0.011	0.051	-0.016	0.037	0.008
พิสัย (R)		0.068	0.056	0.059	0.030	0.029	0.022	0.100	0.037	0.051	0.061
วันที่		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ค่าวัด	1	0.025	0.005	0.079	0.030	0.024	0.029	0.050	-0.028	0.081	0.079
	2	0.024	-0.009	0.031	-0.055	0.037	0.034	0.045	-0.020	0.090	0.078
	3	0.020	-0.020	0.006	0.050	-0.025	0.070	0.033	0.004	-0.007	-0.004
ผลรวม		0.069	-0.024	0.116	0.025	0.036	0.133	0.128	-0.044	0.164	0.153
ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)		0.023	-0.008	0.039	0.008	0.012	0.044	0.043	-0.015	0.055	0.051
พิสัย (R)		0.005	0.025	0.073	0.105	0.062	0.041	0.017	0.032	0.097	0.083

เมื่อนำค่าค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และพิสัย (R) มาวัดสร้างแผนภูมิควบคุม โดยมีแกนนอนเป็นวันที่ที่วัดงาน สำหรับ Model B8 หัวข้อตรวจสอบ M ตำแหน่ง M1 ได้แผนภูมิดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.1 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$-R Chart ของการตรวจสอบหัวข้อ M ตำแหน่ง M1

จากรูปที่ 4.27 พบว่าการประเมินความเสถียรภาพตลอดระยะเวลา 1 เดือน ได้ข้อมูล 20 วัน ทั้งหมดมี 60 ข้อมูล ไม่พบการออกนอกเส้นควบคุมของการตรวจสอบหัวข้อ M ดังนั้นเครื่องมือวัดของหัวข้อ M ที่ใช้งานอยู่มีความสามารถด้านเสถียรภาพ และรอบการสอบเทียบในปัจจุบันมีความเหมาะสมแล้ว

เมื่อประเมินครบทั้ง 7 หัวข้อตรวจสอบ ได้แผนภูมิควบคุมตามภาคผนวก ฉ ไม่พบการออกนอกเส้นควบคุมทุกหัวข้อเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปว่าทุกเครื่องมือวัดที่ใช้งานอยู่มีความสามารถด้านเสถียรภาพและรอบการสอบเทียบของโรงงานตัวอย่างทุก 12 เดือนในปัจจุบันมีความเหมาะสม แต่ถึงแม้ผลการคำนวณที่ได้จะออกมาเป็น 20 เดือน ก็ไม่ได้หมายความว่าเมื่อใช้งานครบ 12 เดือนแล้วจะไม่เกิดความ

คลาดเคลื่อน ดังนั้นรอบการสอบเทียบของโรงงานตัวอย่างทุก 12 เดือน ควรยังคงรักษาสภาพและทำการสอบเทียบตามรอบต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิเคราะห์ระบบการวัดของโรงงานตัวอย่างนี้ ได้ทำการศึกษาในกลุ่มกิจกรรมการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานของแผนกประกันคุณภาพงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความผันแปรในระบบการวัดที่เกิดขึ้นและพยายามกำจัดความผันแปรให้น้อยลง ซึ่งสามารถสรุปการศึกษาได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการปรับปรุงระบบการวัด

การประเมินและวิเคราะห์ระบบการวัดจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การประเมินผลด้านความเที่ยงตรงและการประเมินผลด้านความแม่นยำ โดยในกลุ่มงานตัวอย่างที่ศึกษามีเพียงเครื่องมือวัดเชิงปริมาณ มีการตรวจสอบทั้งหมด 7 หัวข้อ 27 ตำแหน่งงาน ซึ่งได้สุ่มพนักงาน และชิ้นงานตัวอย่างมาประเมินผล ดังนี้

5.1.1 การประเมินผลด้านความเที่ยงตรง

จะประเมินผลด้วยค่า %ไบแอส โดยการตัดสินใจใช้เกณฑ์

%ค่าไบแอส < 5%	อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข
5% ≤ %ค่าไบแอส < 10%	อาจยอมรับได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าใช้จ่าย
%ค่าไบแอส ≥ 10%	ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องหาสาเหตุแล้วแก้ไข

เมื่อประเมินผลทุกเครื่องมือวัดที่ใช้ตรวจสอบงานทั้ง 7 หัวข้อในปัจจุบันได้ผลดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลสรุปการประเมินค่าไบแอส

ลำดับที่	หัวข้อตรวจสอบ	ตำแหน่งตรวจสอบ	เครื่องมือวัด	ผลประเมินความเที่ยงตรง
				%ไบแอส
1	M	M1	M Machine - 012T	2.63%
		M2		0.90%
		M3		0.52%
		M4		2.00%
		M5		1.40%
		M6		0.54%
2	Z	Z1	Torque meter - 5017E	8.00%
		Z2		8.57%
		Z3		9.14%
		Z4		7.43%
3	G	G1	Tension gage - 15C620	0.55%
4	A	A1	Tension gage - 22A450	3.33%
		A2		0.00%
5	F	F1	Torque meter - 0411C	3.00%
		F2		3.00%
		F3		2.50%
		F4		1.00%
		F5		3.00%
		F6		6.00%
		F7		6.00%
		F8		3.50%

ตารางที่ 5.1(ต่อ) ผลสรุปการประเมินค่าไบแอส

ลำดับที่	หัวข้อตรวจสอบ	ตำแหน่งตรวจสอบ	เครื่องมือวัด	ผลประเมินความเที่ยงตรง
				%ไบแอส
6	MT	MT1	Torque meter - 2512E	1.67%
		MT2		3.89%
7	S	S1	Tension gage - 11E529	0.80%
		S2		1.20%
		S3		2.80%
		S4		2.80%

จากตารางที่ 5.1 เมื่อนำค่า %ไบแอส แต่ละตำแหน่งมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละหัวข้อ ตั้งแต่หัวข้อ M จนถึงหัวข้อ S จะมีค่าเท่ากับ 1.33%, 8.29%, 0.55%, 1.67%, 3.50%, 2.78% และ 1.90% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจ จะพบว่าทุกเครื่องมือวัดอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

5.1.2 การประเมินผลด้านความแม่นยำ

การประเมินผลด้านความแม่นยำทั้ง 7 หัวข้อ ตำแหน่งตรวจสอบทั้งหมด 27 ตำแหน่ง ได้ใช้เกณฑ์ประเมินโดย %GR&R ≥ 30% ไม่สามารถยอมรับให้ระบบการวัดนี้ผ่านได้ ต้องมีการวิเคราะห์แหล่งความผันแปร หาสาเหตุและปรับปรุงแก้ไข พบว่ามี 6 หัวข้อตรวจสอบ ที่เมื่อได้เฉลี่ยค่า %GR&R ทุกตำแหน่งด้วยเครื่องมือวัดของแต่ละหัวข้อแล้วไม่ผ่านการประเมิน ดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการประเมินค่า %GR&R ของแต่ละหัวข้อตรวจสอบ

ลำดับที่	หัวข้อตรวจสอบ	%GR&R เฉลี่ยของทุกตำแหน่ง
1	M	10.19%
2	Z	33.30%
3	G	42.28%
4	A	34.72%
5	F	29.61%
6	MT	47.85%
7	S	36.66%

จากตารางที่ 5.2 มีเพียงหัวข้อ M ที่ %GR&R < 30% และสามารถยอมรับระบบการวัดนี้ได้ ถือว่าความแม่นยำในการวัดไม่มีปัญหาไม่ต้องปรับปรุงแก้ไข ส่วน 6 หัวข้อตรวจสอบที่เหลือที่ไม่ผ่านการประเมิน ต่อมาได้นำมาวิเคราะห์แหล่งความผันแปรที่เกิดขึ้นพบว่า ส่วนใหญ่ปัญหามาจากวิธีการวัดค่างานของพนักงาน จึงได้ลดความผันแปรโดยปรับปรุงขั้นตอนวิธีการวัดค่างานของพนักงานให้ถูกต้องได้มาตรฐานเหมือนกัน โดยหัวหน้างานซึ่งมีความเชี่ยวชาญได้ให้ความรู้ความเข้าใจ และฝึกอบรมให้พนักงานวัดฝึกปฏิบัติวิธีการวัดค่างานที่ถูกต้อง พร้อมกับการตรวจสอบของเครื่องมือวัดด้วยตนเองก่อนและหลังการปฏิบัติงาน จากนั้นได้ประเมินผล %GR&R หลังการปรับปรุงใหม่อีกครั้ง พบว่า %GR&R มีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ซึ่งได้สรุปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนและหลังปรับปรุงดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการประเมิน %GR&R ก่อนและหลังการปรับปรุง

ลำดับ	หัวข้อตรวจสอบ	%GRR เฉลี่ย ก่อนปรับปรุง	%GRR เฉลี่ย หลังปรับปรุง	%ลดลง
1	Z	33.30%	10.14%	69.54%
2	G	42.28%	9.30%	78.01%
3	A	34.72%	9.06%	73.92%
4	F	29.61%	10.48%	64.59%
5	MT	47.85%	9.52%	80.12%
6	S	36.66%	9.20%	74.92%
เฉลี่ยทุกหัวข้อ		37.40%	9.62%	74.29%

จากตารางที่ 5.3 พบว่าหัวข้อตรวจสอบ MT มีค่าความผันแปรของ %GR&R ก่อนปรับปรุงมากที่สุดอยู่ที่ 47.85% หลังปรับปรุงสามารถลดความผันแปรของ %GR&R ให้น้อยลงเหลือเพียง 10.48% ลดได้มากที่สุดถึง 80.12% โดยภาพรวมของทุกหัวข้อตรวจสอบค่า %GR&R มีค่าลดลง โดยค่าเฉลี่ย %GR&R ของทุกหัวข้อตรวจสอบก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 37.40% และค่าเฉลี่ย %GR&R ของทุกหัวข้อตรวจสอบหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 9.62% ภาพรวมมีค่าลดลงเท่ากับ 74.29% แสดงถึงการปรับปรุงระบบการวัดด้านความแม่นยำมีค่าความผันแปรลดน้อยลง

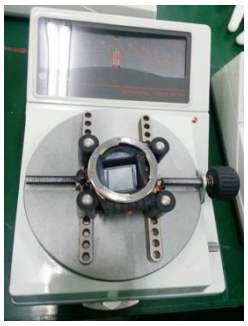
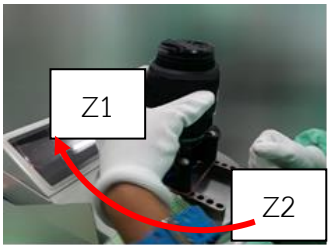
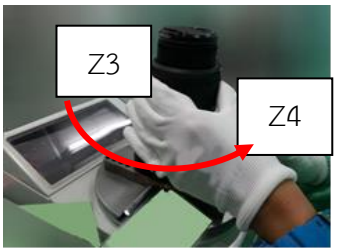
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 การจัดทำเป็นมาตรฐานการทำงาน

เมื่อได้ปรับปรุงระบบการวัดจน %GR&R ลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้แล้ว จึงได้ร่วมมือกับผู้เกี่ยวข้องปรับปรุงเอกสารมาตรฐานการตรวจสอบงานของหน่วยงานตัวอย่างให้มีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งแต่เดิมนั้นเอกสารมาตรฐานการทำงานจะบอกวิธีการตรวจสอบงานเพียงคร่าวๆ ไม่ได้บ่งชี้ถึงรายละเอียดสำคัญที่ควรควบคุม ภาพประกอบในเอกสารยังมองเข้าใจยากในบางจุด ซึ่งยากแก่การทำความเข้าใจด้วยตนเอง หาไม่ได้การฝึกสอนงานมาก่อน ดังนั้นจึงปรับปรุงเอกสารใหม่ โดยการเพิ่มจุดสำคัญ รายละเอียดของรูปภาพ อุปกรณ์จับยึดที่ได้เพิ่มเข้าไปในการช่วยตรวจสอบงาน และข้อควรระวังที่จำเป็นไว้ในเอกสาร เพื่อให้เป็นมาตรฐานที่ทุกคนสามารถอ่านแล้วเข้าใจและปฏิบัติงานได้ผลเหมือนกันต่อไป ซึ่งจุดที่ปรับปรุงแก้ไขในเอกสารจะแสดงด้วยเครื่องหมายสามเหลี่ยมสีแดงและบอกจำนวนจุดที่แก้ไขเอาไว้ ดังรายละเอียดในหน้าถัดไป

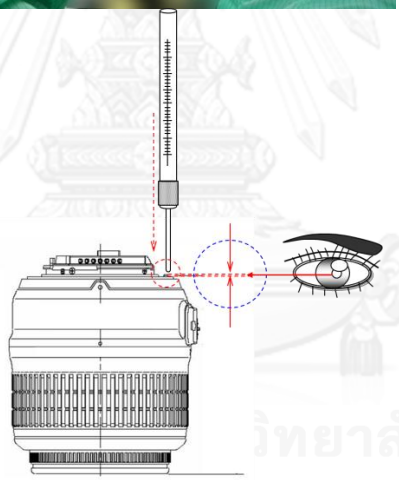
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกสารมาตรฐานการตรวจสอบงานหัวข้อ Z

หัวข้อ	วิธีการตรวจสอบ	Standard limit
Z  รูปเครื่องมือวัด ▲ ▲ X 7	1. ใส่งานเข้ากับ Torque Meter 2. ใส่ซูมเลนส์เข้าเครื่องมือวัด และจัดเข็มของ Torque Meter ให้มาอยู่ตำแหน่งศูนย์ 3. จับชุดซูมของตัวงาน หมุนจากตำแหน่งใกล้สุดไปที่ตำแหน่งไกลสุด (จนสุดระยะทาง) 4. อ่าน Data ค่า Z1 = ช่วงที่เข็มของ Torque Meter เริ่มเคลื่อนไหว และ ▲ อ่านค่า Z2 ตอนที่เข็มเคลื่อนไหวจนสุด 5. หมุนชุดซูมจากตำแหน่งไกลสุด มาที่ตำแหน่งใกล้สุด ลักษณะการอ่านเหมือนขั้นตอนที่ 4 6. อ่าน Data ค่า Z3 = ช่วงที่เข็มของ Torque Meter เริ่มเคลื่อนไหว และ ▲ อ่านค่า Z4 ตอนที่เข็มเคลื่อนไหวจนสุด	ใช้เวลา 2 วินาทีต่อการหมุนในมุม 90 องศา ▲  ▲ ทิศการหมุนซูม ค่า Z1, Z2  ▲ ทิศการหมุนซูม ค่า Z3, Z4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

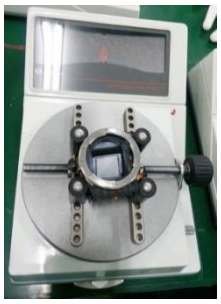
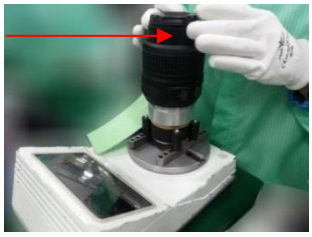
เอกสารมาตรฐานการตรวจสอบงานหัวข้อ G

หัวข้อ	วิธีการตรวจสอบ	Standard limit
G รูป Tension Gauge สำหรับตรวจสอบ ▲หัวข้อ G ▲ X 3	1. จับงานให้อยู่ในแนวตั้ง 2. นำ Tension Gauge มากดที่ปุ่ม G1 แล้วอ่านค่าแรงที่ใช้ในการกด  ▲ต้องให้ตำแหน่งปุ่ม G1 อยู่ในระดับสายตา	ระยะที่จะต้องกดปุ่ม G1 ลงไป คือ ปุ่ม G1 ถูกกดจนสุดระดับขอบของตัวงาน (Tension Gauge จะต้องไม่เอียงเวลาทำการกด) จุดที่ทำการกดปุ่ม G1 ▲(กดในแนวตั้งฉาก)

เอกสารมาตรฐานการตรวจสอบงานหัวข้อ A

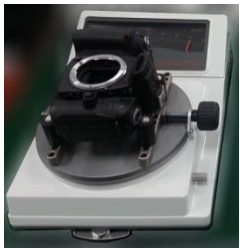
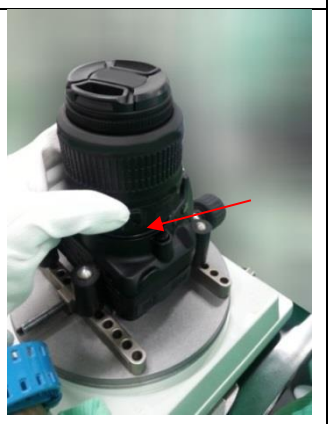
หัวข้อ	วิธีการตรวจสอบ	Standard limit
A รูป Tension Gauge สำหรับตรวจสอบ ▲หัวข้อ A ▲ X 3	1. จับงานให้อยู่ในแนวนอนระดับสายตา หมุนชุดชูมไปที่ตำแหน่งใกล้สุด 2. นำ Tension Gauge มาดึง ที่ Lever แล้วดูว่า Blade เปิดสุดหรือไม่ ทำซ้ำประมาณ 2-3 ครั้ง โดยขณะที่ตรวจสอบเมื่อ Lever ถูกดึงขึ้นมาแล้ว Blade จะต้องเปิดสุดและไม่ค้างเมื่อหยุดดึง 3. อ่านค่า A1 ที่เข็มของ Tension Gauge เมื่อดึงขึ้นแล้ว Blade เปิดสุด โดยปลายของ Tension Gauge ต้องเกี่ยวตัวงานให้เต็มพื้นที่ ▲ 4. จับงานให้อยู่ในแนวนอน หมุนชุดชูมไปที่ตำแหน่งไกลสุดและทำการตรวจสอบเหมือนที่ตำแหน่งใกล้สุด ตำแหน่ง Lever ของตัวงาน	ลักษณะการดึง ต้องดึงขึ้นเท่านั้น ทั้งตำแหน่งใกล้สุดและตำแหน่งไกลสุด ▲สายตาจะต้องอยู่ระดับเดียวกับช่อง Blade เสมอ

เอกสารมาตรฐานการตรวจสอบงานหัวข้อ F

หัวข้อ	วิธีการตรวจสอบ	Standard limit
F  ▲รูปเครื่องมือวัด ▲ X 6	1. ใส่ซูมเลนส์เข้าเครื่องมือวัด Torque Meter 2. จัดเข็มของ Torque Meter ให้มาอยู่ตำแหน่งศูนย์และหมุนชุดซูมไปที่ตำแหน่งใกล้สุด 3. จับชุดวงแหวนโดยใช้นิ้วกลางทั้งสองข้างหมุนตัวงานจากตำแหน่งไกลสุดไปที่ตำแหน่งใกล้สุด 4. อ่านค่าที่ Torque Meter ตรงจุดที่เข็มเริ่มเคลื่อนไหวเป็นค่า F1 และอ่านค่า F2 ตรงที่▲เข็มของ Torque เคลื่อนไหวจนสุด 5. จับชุดวงแหวนโดยใช้นิ้วกลางทั้งสองข้างหมุนตัวงานจากตำแหน่งใกล้สุดไปที่ตำแหน่งไกลสุด 6. อ่านค่าที่ Torque Meter ตรงจุดที่เข็มเริ่มเคลื่อนไหวเป็นค่า F3 และอ่านค่า F4 ตรงที่▲เข็มของ Torque เคลื่อนไหวจนสุด 7. หมุนชุดซูมไปที่ตำแหน่งไกลสุด และจัดเข็มของ Torque Meter ให้มาอยู่ตำแหน่งศูนย์ 8. ทำตามขั้นตอนที่ 4 แล้วอ่านค่า Torque Meter ตรงจุดที่เข็มเริ่มเคลื่อนไหวเป็นค่า F5 และอ่านค่า F6 ตรงที่เข็มของ Torque เคลื่อนไหวจนสุด 9. ทำตามขั้นตอนที่ 5 แล้วอ่านค่า Torque Meter ตรงจุดที่เข็มเริ่มเคลื่อนไหวเป็นค่า F7 และอ่านค่า F8 ตรงที่เข็มของ Torque ▲เคลื่อนไหวจนสุด	▲ ใช้เวลา 2 วินาทีต่อการหมุน 1 รอบวงแหวน  ▲

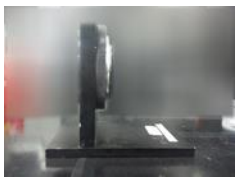
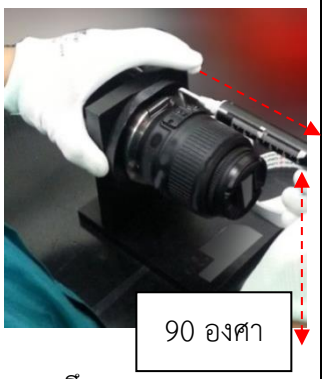
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกสารมาตรฐานการตรวจสอบงานหัวข้อ MT

หัวข้อ	วิธีการตรวจสอบ	Standard limit
MT  รูปชุดอุปกรณ์ของการตรวจสอบหัวข้อ ▲ MT ▲ X 5	1. ใส่ซูมเลนส์เข้ากับกล้องที่ติดตั้งไว้กับ Torque Meter 2. ใช้มือซ้ายจับพื้นที่ตัวงานตามรูปหมุนตามเข็มนาฬิกาไปจนเข้ากับกล้องให้สุด (จะมีเสียงเบาๆเมื่อซูมเลนส์เข้ากับกล้องสนิท) 3. อ่านค่าที่หน้าปัดของ Torque Meter ช่วง ▲ เข็มเริ่มเคลื่อนไหวคือค่าของ MT1 (MT1 จะเป็นค่าแรงที่วัดได้เมื่อใส่งานเข้ากับตัวกล้อง) 4. กดปุ่มปลดล็อคซูมเลนส์ออกจากกล้องด้วยมือขวาพร้อมกับใช้มือซ้ายจับพื้นที่ตัวงานตามรูป หมุนตามเข็มนาฬิกาเบาๆเพื่อให้หลุดจาก Lock ของกล้อง 5. อ่านค่าที่หน้าปัดของ Torque Meter ช่วง ▲ เข็มเริ่มเคลื่อนไหวจะเป็นค่าของ MT2 (ค่า MT2 จะเป็นค่าแรงที่วัดจากการถอดงานออกจากตัวกล้อง)	 ▲บริเวณที่ใช้จับเพื่อหมุนในการวัดค่า MT1 และ MT2 ▲ปุ่มปลดล็อคซูมออกจากกล้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกสารมาตรฐานการตรวจสอบงานหัวข้อ S

หัวข้อ	วิธีการตรวจสอบ	Standard limit
S  รูปชุดอุปกรณ์ของการตรวจสอบหัวข้อ S ▲ X 2	1. ใส่ซูมเลนส์เข้ากับชุดอุปกรณ์ของการตรวจสอบหัวข้อ S 2. ใช้ปลายของ Tension Gauge ดึงที่ปุ่ม Sij จากตำแหน่ง I ไปตำแหน่ง J และอ่านค่าแรงที่ใช้ในการดึงเป็นค่า S1 3. ใช้ปลายของ Tension Gauge ดึงที่ปุ่ม Sij จากตำแหน่ง J ไปตำแหน่ง I และอ่านค่าแรงที่ใช้ในการดึงเป็นค่า S2 4. ใช้ปลายของ Tension Gauge ดึงที่ปุ่ม Smn จากตำแหน่ง M ไปตำแหน่ง N และอ่านค่าแรงที่ใช้ในการดึงเป็นค่า S3 5. ใช้ปลายของ Tension Gauge ดึงที่ปุ่ม Smn จากตำแหน่ง N ไปตำแหน่ง M และอ่านค่าแรงที่ใช้ในการดึงเป็นค่า S4	แนวทิศทางการดึง Tension Gauge  การดึง Tension Gauge จะต้องไม่เอียงให้ดึงในแนวระนาบกับตัวงาน โดยมือขวาจับชุดอุปกรณ์ของการตรวจสอบ มือซ้ายจับ Tension gauge ▲

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิเคราะห์ระบบการวัดของโรงงานตัวอย่างนี้ ได้ข้อสรุปที่จะทำให้การศึกษาและการพัฒนาระบบการวัดประสบความสำเร็จได้มีดังนี้

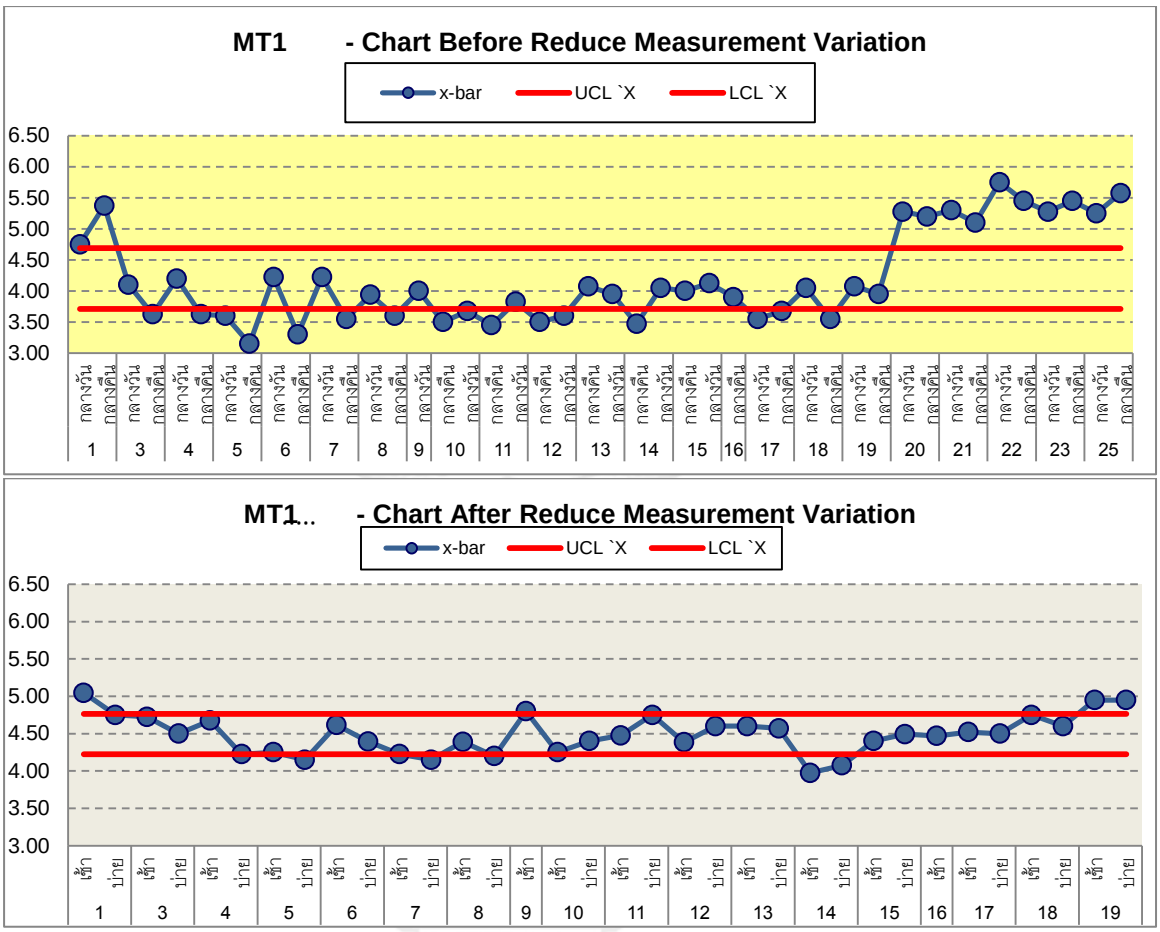
1. มีนโยบายสนับสนุนที่แสดงถึงความมุ่งมั่นในการพัฒนาระบบคุณภาพของโรงงานโดยเป็นนโยบายที่มาจากผู้บริหาร ส่งต่อไปยังหัวหน้างานระดับต่างๆ ให้มีเป้าหมายการทำงานร่วมกัน

2. ความร่วมมือจากผู้เกี่ยวข้องทั้งหมดในการสนับสนุนเรื่องของงบประมาณและเวลาให้กับการศึกษาการวิเคราะห์ และการพัฒนาระบบการวัดร่วมกัน

ส่วนอุปสรรคที่พบในการทำการศึกษาวิจัยได้แก่

1. ในระหว่างที่ทำการศึกษาวิจัยนั้น ได้มีการปรับโครงสร้างกำลังคนของหน่วยงานตัวอย่าง เพื่อสนับสนุนแผนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ ทำให้พนักงานวัดที่ถูกเลือกมาศึกษาในช่วงเริ่มต้นไม่ได้ถูกนำมาประเมินผลต่อจนเสร็จ จึงต้องเสียเวลาเริ่มประเมินผลใหม่อีกครั้ง
2. รุ่นผลิตภัณฑ์ที่เลือกมาทำการศึกษาวิจัยนั้นได้เลือกมาจากแผนการผลิตโดยเฉลี่ยในช่วง 6 เดือนที่สูงที่สุด ต่อมาเมื่อเริ่มทำการศึกษาพบว่ามีการปรับแผนการผลิตใหม่ ทำให้เหลือกะกลางวันเพียงกะเดียว ดังนั้นแผนภูมิควบคุมที่ต้องการสังเกตการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่แรกนั้น ว่ายังเป็นลักษณะฟันปลาอยู่หรือไม่หลังปรับปรุง จะไม่สามารถทำได้เพราะไม่มีความแตกต่างระหว่างกะอีกต่อไป แต่ยังสามารถเปรียบเทียบความผันแปรภายในกะกลางวันได้ ดังรูปที่ 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 5.1 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงระบบการวัด

จากรูปที่ 5.1 แผนภูมิ MT1 $\bar{X}$-Chart Before Reduce Measurement Variation ด้านบนเป็นแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยของเดือน ธ.ค. 2555 ของหัวข้อ ตรวจสอบ MT ก่อนปรับปรุงระบบการวัด มีค่าความผันแปรของค่าเฉลี่ยที่ประมาณด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) มีค่าเท่ากับ 0.7421 โดยได้ข้อมูลวัดมาจากพนักงานกะกลางวันและกะกลางคืน เมื่อคิดเพียงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อดูความผันแปรเฉพาะกะกลางวันจะได้เท่ากับ 0.6502 ส่วนด้านล่างเป็นแผนภูมิ MT1 $\bar{X}$-Chart After Reduce Measurement Variation เป็นแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยของเดือน ส.ค. 2556 หลังทำการปรับปรุงระบบการวัดแล้ว มีค่าความผันแปรของค่าเฉลี่ยที่ประมาณด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) มีค่าเท่ากับ 0.2602 โดยได้ข้อมูลวัดมาจากพนักงานกะกลางวันเพียงกะเดียว จะเห็นว่าค่าความผันแปรที่ประมาณด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยลงจาก 0.6502 เหลือ 0.2602 หรือลดลง 0.3900 คิดเป็น 59.98% ที่ลดลงได้ ส่วนตำแหน่งอื่นๆที่ได้แสดงไว้ในบทที่

1 สามารถสรุปข้อมูลความผันแปรก่อนและหลังปรับปรุงเฉพาะของกะกลางวันที่ได้จากค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ความผันแปรที่ประมาณด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังปรับปรุงระบบการวัด

ตำแหน่ง	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ทั้ง 2 กะก่อนปรับปรุง	S.D. กะกลางวันก่อนปรับปรุง	S.D. กะกลางวันหลังปรับปรุง	% S.D. กะกลางวันที่ลดลง
MT1	0.8161	0.6502	0.2602	59.98%
MT2	0.8342	0.7173	0.3906	45.54%
Z1	0.2878	0.2871	0.2498	13.02%
Z2	0.3840	0.3040	0.2732	10.15%
Z3	0.2522	0.2485	0.2254	9.30%
Z4	0.3278	0.2631	0.2253	14.39%

จากตารางที่ 5.4 เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะกะกลางวันพบว่าทุกตำแหน่งมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง โดยหัวข้อ Z มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับหัวข้อ MT เนื่องจากหัวข้อ Z ไม่ได้มีการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์วัดเหมือนหัวข้อ MT ค่าความผันแปรที่ลดลงจึงเปลี่ยนแปลงไม่มาก ซึ่งตำแหน่ง MT1 มีค่า %S.D. ลดลงมากที่สุด เท่ากับ 59.98% และตำแหน่ง Z3 มีค่า %S.D. ลดลงน้อยที่สุดคือ 9.30%

3. การสุ่มเก็บตัวอย่างงานมาศึกษาค่า %GR&R จำนวน 10 ตัวนั้น ค่อนข้างใช้เวลาสุ่มเก็บตัวอย่างงานนานหลายวัน เนื่องจากต้องเก็บตัวอย่างงานให้ครอบคลุมค่าความผันแปรของกระบวนการผลิต โดยเลือกสุ่มงานตัวอย่างจากกระบวนการผลิตมาวันละ 1 ตัว จนกระทั่งครบ
4. การปรับปรุงแก้ไขในบางหัวข้อมีความจำกัดในเรื่องพื้นที่ เนื่องจากได้ทำอุปกรณ์จับยึดในหัวข้อ S แล้ว ทำให้ไม่มีพื้นที่เพียงพอที่จะทำอุปกรณ์ได้อีก ดังนั้นจึงเสนอให้โรงงานตัวอย่างพิจารณาในการปรับปรุงขยายพื้นที่ในการปฏิบัติงาน โดยในหัวข้อ G สามารถที่จะทำอุปกรณ์ช่วยวางงานได้ เพื่อพนักงานจะได้ไม่ต้องถืองาน และควรออกแบบให้อุปกรณ์มีความยืดหยุ่น สามารถ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เลื่อนขึ้น-ลงได้ตามระดับสายตาของพนักงาน เมื่อออกแบบอุปกรณ์เข้าไปในระบบการทำงานแล้ว ควรสอนวิธีการใช้งานและให้พนักงานฝึกปฏิบัติงานจนชำนาญแล้วควรประเมินระบบการวัดใหม่อีกครั้งเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

5.4 การติดตามผล

การติดตามผลว่าระบบการวัดยังมีความสามารถดีอยู่หรือไม่นั้น โรงงานตัวอย่างจะต้องทำแผนการประเมินผลและทำตามรอบการประเมินที่กำหนดไว้ ซึ่งผลการประเมินผลระบบการวัดจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และต้องมีการพัฒนาปรับปรุงระบบการวัดให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น การปรับปรุงวิธีการวัดค่างานให้มีความง่ายมากขึ้น การเพิ่มเครื่องมือวัดที่เป็นระบบอัตโนมัติ การออกแบบอุปกรณ์เครื่องมือในการช่วยจับยึดงาน เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

หนังสือ

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) [ประมวลผลด้วย MINITAB 15]. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.

กฤษดา ประสพชัยชนะ. การลดของเสียในกระบวนการผลิตใบพัดอัดอากาศของเครื่องยนต์เครื่องบินพาณิชย์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2554.

จักษ์กฤต ปฏิเวธธรรม. การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับสายการผลิตชิ้นส่วนนักเกิล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ชัชวาล พรพัฒน์กุล. การวิเคราะห์ระบบการวัด กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ชินวุธ สถิรวุฒิพงศ์. การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ปรเมษฐ์ ปัญญาเหล็ก. ฟิสิกส์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีทางการศึกษา ฝ่ายเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2542.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมภพ ตลับแก้ว. การกำหนดวิธีการควบคุมการแปรผันของระบบการวัดด้วยเทคนิค GR&R : โรงงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ภาษาอังกฤษ

Refaie, A. A. and Bata, N. Evaluating measurement and process capability by GRR with four quality measures. Journal of Elsevier Measurement. 43 (2010): 842-851.

Hajipour, V., Kazemi, A., and Mousavi, M. S. A fuzzy expert system to increase accuracy and precision in measurement system analysis. Journal of Elsevier Measurement. 46 (2013): 2770-2780.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

หนังสือ

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2543.

พิรญาณ์ แก้วสุวรรณ. การวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องมือวัดคุณภาพสีของอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2554.

อภิรมย์ งามจันอัด. การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเลนส์ของหัวอ่านภายใน ซี ดี อาร์ ออดิโอ โดยหลักการคิวซีเซอร์เคิล. ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, 2553.

ภาษาอังกฤษ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Ozlem Senvar and Seniye Umit Oktay Firat. An overview of capability evaluation of Measurement Systems and Gauge Repeatability and Reproducibility Studies. Int. J. Metrol. Qual. Eng. 1 (2010): 121-127.

Peruchi, S. R., Balestrassi, P. P., Paiva, P. A., Ferreira, R. J., and Carmelossi, S. M. A new multivariate gage R&R method for correlated characteristics. Int. J. Production Economics. 144 (2013): 301-315.

Osma, A. An assessment of the robustness of gauge repeatability and reproducibility analysis in automotive components. Journal of Automobile Engineering (May 2011): 895-912.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

บันทึกผลการทดสอบค่าไบแอส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. บันทึกผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด M Machine - 012T หัวข้อ M

Form: %Bias Study

Model	B8	Date:	8/1/2013
Tool Name	M Machine - 012T	Unit	mm.

Measured Position	M1	M2	M3	M4	M5	M6
USL	0.391	0.391	0.250	0.045	0.045	0.250
LSL	-0.409	-0.409	-0.231	-0.055	-0.055	-0.231
Part Spec = USL - LSL	0.800	0.800	0.481	0.100	0.100	0.481
Reference value	0.039	0.024	0.101	-0.014	-0.013	0.076
No.	Name	Name	Name	Name	Name	Name
	G	G	G	G	G	G
1	0.021	0.020	0.120	-0.014	-0.011	0.083
2	0.026	0.023	0.112	-0.018	-0.013	0.086
3	0.016	0.017	0.103	-0.023	-0.018	0.076
4	0.009	0.010	0.092	-0.011	-0.009	0.080
5	0.003	0.004	0.098	-0.017	-0.020	0.073
6	0.014	0.013	0.113	-0.019	-0.014	0.084
7	0.041	0.038	0.096	-0.021	-0.013	0.070
8	0.026	0.018	0.095	-0.010	-0.009	0.076
9	0.008	0.009	0.110	-0.014	-0.020	0.086
10	0.015	0.016	0.091	-0.014	-0.014	0.075
Average	0.0179	0.0168	0.1030	-0.0161	-0.0141	0.0789
Bias	-0.0210	-0.0072	0.0025	-0.0020	-0.0014	0.0026
%Bias	2.63%	0.90%	0.52%	2.00%	1.40%	0.54%
DECISION	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*

2. บันทึกผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด Torque meter - 5017E หัวข้อ Z Form: %Bias Study

Model	B8	Date:	8/1/2013
Tool Name	Torque meter - 5017E	Unit	Kg.cm

Measured Position	Z1	Z2	Z3	Z4
USL	3.80	3.80	3.80	3.80
LSL	0.30	0.30	0.30	0.30
Part Spec = USL - LSL	3.50	3.50	3.50	3.50
Reference value	2.20	2.40	1.22	1.48
No.	Name	Name	Name	Name
	G	G	G	G
1	2.00	2.00	1.80	1.80
2	2.00	2.20	1.80	1.60
3	1.80	2.00	1.60	1.60
4	1.80	2.00	1.20	1.80
5	1.80	2.00	1.60	1.80
6	2.00	2.20	1.60	1.80
7	1.80	2.00	1.80	1.80
8	2.00	2.20	1.60	1.60
9	2.00	2.20	1.20	1.80
10	2.00	2.20	1.20	1.80
Average	1.920	2.100	1.540	1.740
Bias	-0.280	-0.300	0.320	0.260
%Bias	8.00%	8.57%	9.14%	7.43%
DECISION	*Conditionally Accept*	*Conditionally Accept*	*Conditionally Accept*	*Conditionally Accept*

3. ผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด Tension gage - 15C620 หัวข้อ G

Form: %Bias Study

Model	B8	Date:	8/1/2013
Tool Name	Tension gage - 15C620	Unit	g.

Measured Position	G1		
USL	135		
LSL	80		
Part Spec = USL - LSL	55		
Reference value	126.2		
Body No.	Name		
Body No.	G		
1	135		
2	130		
3	125		
4	125		
5	125		
6	125		
7	125		
8	125		
9	125		
10	125		
Average	126.5		
Bias	0.30		
%Bias	0.55%		
DECISION	*Acceptable*		

4. ผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด Tension gage - 22A450 หัวข้อ A

Form: %Bias Study

Model	B8	Date:	8/1/2013
Tool Name	Tension gage - 22A450	Unit	g.

Measured Position	A1	A2	
USL	75	75	
LSL	0	0	
Part Spec = USL - LSL	75	75	
Reference value	53.5	54.5	
Body No.	Name	Name	
	G	G	
1	55	55	
2	50	50	
3	55	55	
4	50	50	
5	55	55	
6	60	55	
7	60	55	
8	60	60	
9	60	55	
10	55	55	
Average	56.0	54.5	
Bias	2.5	0.0	
%Bias	3.33%	0.00%	
DECISION	*Acceptable*	*Acceptable*	

5. ผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด Torque meter - 0411C หัวข้อ F

Form: %Bias Study

Model	B8	Date:	8/1/2013
Tool Name	Torque meter - 0411C	Unit	g.cm

Measured Position	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
USL	400	400	400	400	400	400	400	400
LSL	0	0	0	0	0	0	0	0
Part Spec = USL - LSL	400	400	400	400	400	400	400	400
Reference value	178	198	142	176	158	210	188	180
Body No.	Name	Name	Name	Name	Name	Name	Name	Name
	G	G	G	G	G	G	G	G
1	160	180.0	140	160	160	200	180	180
2	160	180.0	160	180	140	200	180	160
3	160	180.0	140	160	140	180	160	160
4	160	180.0	160	180	140	200	160	160
5	160	180.0	160	180	140	180	160	160
6	180	200.0	160	180	140	180	160	160
7	180	200.0	160	180	160	180	160	180
8	160	180.0	140	160	140	180	160	160
9	180	200.0	160	180	140	180	160	160
10	160	180.0	140	160	160	180	160	180
Average	166.0	186.0	152.0	172.0	146.0	186.0	164.0	166.0
Bias	-12.0	-12.0	10.0	-4.0	-12.0	-24.0	-24.0	-14
%Bias	3.00%	3.00%	2.50%	1.00%	3.00%	6.00%	6.00%	3.50%
DECISION	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*	*Conditionally Accept*	*Conditionally Accept*	*Acceptable*

6. ผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด Torque meter - 2512E หัวข้อ MT

Form: %Bias Study

Model	B8	Date:	8/1/2013
Tool Name	Torque meter - 2512E	Unit	Kg.cm

Measured Position	MT1	MT2	
USL	12	12	
LSL	3	3	
Part Spec = USL - LSL	9	9	
Reference value	4.8	4.3	
Body No.	Name	Name	
	G	G	
1	4.50	4.50	
2	5.00	4.50	
3	4.50	4.50	
4	5.00	4.50	
5	4.50	4.50	
6	5.00	4.50	
7	4.50	4.50	
8	4.50	5.00	
9	4.50	4.50	
10	4.50	5.00	
Average	4.65	4.60	
Bias	-0.15	0.35	
%Bias	1.67%	3.89%	
DECISION	*Acceptable*	*Acceptable*	

7. ผลการศึกษาคุณสมบัติค่าไบแอสของเครื่องมือวัด Tension gage - 11E529 หัวข้อ S

Form: %Bias Study

Model	B8	Date:	8/1/2013
Tool Name	Tension gage - 11E529	Unit	g.

Measured Position	S1	S2	S3	S4
USL	700	700	700	700
LSL	75	75	75	75
Part Spec = USL - LSL	625	625	625	625
Reference value	422.5	332.5	327.5	342.5
Body No.	Name	Name	Name	Name
	G	G	G	G
1	400	375	300	325
2	400	350	325	300
3	425	350	325	325
4	425	350	300	325
5	425	350	300	325
6	400	350	325	325
7	450	325	300	325
8	450	325	325	325
9	450	325	300	325
10	450	300	300	350
Average	427.5	340.0	310.0	325.0
Bias	5.0	7.5	-17.5	-17.5
%Bias	0.80%	1.20%	2.80%	2.80%
DECISION	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*	*Acceptable*

ภาคผนวก ข

ผลการประเมินค่า %GR&R ก่อนปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	0.391	LSL	-0.409
Item check	M	Feature Tolerance		0.800		
Position	M1	Tool name		M Machine		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	0.031	-0.064	0.246	-0.144	-0.090	-0.045	0.070	-0.120	-0.164	-0.198	-0.0478	
	2	0.048	-0.067	0.240	-0.134	-0.085	-0.060	0.054	-0.127	-0.167	-0.177	-0.0475	
	3	0.042	-0.075	0.244	-0.140	-0.087	-0.035	0.062	-0.125	-0.158	-0.181	-0.0453	
Average		0.0403	-0.0687	0.2433	-0.1393	-0.0873	-0.0467	0.0620	-0.1240	-0.1630	-0.1853	$\bar{X}_a$ =	-0.0469
Range		0.0170	0.0110	0.0060	0.0100	0.0050	0.0250	0.0160	0.0070	0.0090	0.0210	$\bar{R}_a$ =	0.0127
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	0.037	-0.068	0.226	-0.193	-0.075	-0.022	0.092	-0.121	-0.188	-0.209	-0.0521	
	2	0.033	-0.073	0.243	-0.167	-0.072	-0.011	0.059	-0.122	-0.175	-0.205	-0.0490	
	3	0.045	-0.074	0.250	-0.177	-0.068	-0.031	0.064	-0.124	-0.165	-0.200	-0.0480	
Average		0.0383	-0.0717	0.2397	-0.1790	-0.0717	-0.0213	0.0717	-0.1223	-0.1760	-0.2047	$\bar{X}_b$ =	-0.0497
Range		0.0120	0.0060	0.0240	0.0260	0.0070	0.0200	0.0330	0.0030	0.0230	0.0090	$\bar{R}_b$ =	0.0163
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	0.030	-0.084	0.228	-0.111	-0.079	-0.051	0.052	-0.119	-0.178	-0.203	-0.0515	
	2	0.032	-0.097	0.204	-0.094	-0.086	-0.037	0.035	-0.132	-0.175	-0.178	-0.0528	
	3	0.035	-0.099	0.200	-0.098	-0.083	-0.042	0.047	-0.130	-0.173	-0.192	-0.0535	
Average		0.0323	-0.0933	0.2107	-0.1010	-0.0827	-0.0433	0.0447	-0.1270	-0.1753	-0.1910	$\bar{X}_c$ =	-0.0526
Range		0.0050	0.0150	0.0280	0.0170	0.0070	0.0140	0.0170	0.0130	0.0050	0.0250	$\bar{R}_c$ =	0.0146
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	0.038	-0.090	0.142	-0.120	-0.070	-0.049	0.041	-0.141	-0.168	-0.190	-0.0607	
	2	0.033	-0.089	0.134	-0.126	-0.077	-0.022	0.038	-0.154	-0.175	-0.197	-0.0635	
	3	0.041	-0.098	0.136	-0.113	-0.080	-0.025	0.035	-0.139	-0.164	-0.200	-0.0607	
Average		0.0373	-0.0923	0.1373	-0.1197	-0.0757	-0.0320	0.0380	-0.1447	-0.1690	-0.1957	$\bar{X}_d$ =	-0.0616
Range		0.0080	0.0090	0.0080	0.0130	0.0100	0.0270	0.0060	0.0150	0.0110	0.0100	$\bar{R}_d$ =	0.0117
Part Average		**0.0371**	**-0.0815**	**0.2078**	**-0.1348**	**-0.0793**	**-0.0358**	**0.0541**	**-0.1295**	**-0.1708**	**-0.1942**	$\bar{\bar{X}}$ =	-0.0527
												R_p =	0.4019
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.0138
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.0148
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL$_R$	**0.0357**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.0138	No. of OP	4
Item check	M	R_p =	0.4019	No. of Trial	3
Position	M1	$\bar{X}_{diff}$ =	0.0148	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.0138	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.0422	4.56	2		= **6.45%**
	3.05	3		%Tolerance = 5.27%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				
= 0.0331	K_2	OP		%AV = 100[AV/TV]
n=part ,r=trials	3.65	2		= **5.06%**
	2.30	4		% Tolerance = 4.13%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				
= 0.0536				%GR&R = 100[GR&R/TV]
				= **8.20%**
				% Tolerance = 6.70%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				
= 0.6511	K_3	Parts		%PV = 100[PV/TV]
	1.62	10		= **99.66%**
				% Tolerance = 81.39%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				ndc = 1.41(PV/GR&R)
= 0.6533				= 17

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	0.391	LSL	-0.409
Item check	M	Feature Tolerance		0.800		
Position	M2	Tool name		M Machine		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	0.033	-0.040	0.240	-0.140	-0.089	-0.010	0.070	-0.120	-0.194	-0.198	-0.0448	
	2	0.048	-0.050	0.226	-0.188	-0.062	-0.061	0.057	-0.129	-0.161	-0.178	-0.0498	
	3	0.040	-0.052	0.240	-0.144	-0.084	-0.045	0.061	-0.127	-0.168	-0.184	-0.0463	
Average		0.0403	-0.0473	0.2353	-0.1573	-0.0783	-0.0387	0.0627	-0.1253	-0.1743	-0.1867	$\bar{X}_a$ =	-0.0470
Range		0.0150	0.0120	0.0140	0.0480	0.0270	0.0510	0.0130	0.0090	0.0330	0.0200	$\bar{R}_a$ =	0.0242
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	0.049	-0.045	0.216	-0.165	-0.055	-0.009	0.089	-0.123	-0.181	-0.207	-0.0431	
	2	0.031	-0.071	0.235	-0.168	-0.070	-0.005	0.059	-0.122	-0.170	-0.191	-0.0472	
	3	0.037	-0.078	0.242	-0.170	-0.074	-0.006	0.067	-0.125	-0.174	-0.197	-0.0478	
Average		0.0390	-0.0647	0.2310	-0.1677	-0.0663	-0.0067	0.0717	-0.1233	-0.1750	-0.1983	$\bar{X}_b$ =	-0.0460
Range		0.0180	0.0330	0.0260	0.0050	0.0190	0.0040	0.0300	0.0030	0.0110	0.0160	$\bar{R}_b$ =	0.0165
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	0.044	-0.062	0.200	-0.135	-0.088	0.054	0.067	-0.126	-0.179	-0.209	-0.0434	
	2	0.044	-0.055	0.219	-0.144	-0.061	0.030	0.029	-0.120	-0.160	-0.179	-0.0397	
	3	0.040	-0.074	0.229	-0.179	-0.057	0.047	0.054	-0.122	-0.175	-0.222	-0.0459	
Average		0.0427	-0.0637	0.2160	-0.1527	-0.0687	0.0437	0.0500	-0.1227	-0.1713	-0.2033	$\bar{X}_c$ =	-0.0430
Range		0.0040	0.0190	0.0290	0.0440	0.0310	0.0240	0.0380	0.0060	0.0190	0.0430	$\bar{R}_c$ =	0.0257
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	0.045	-0.070	0.212	-0.145	-0.070	0.049	0.041	-0.141	-0.228	-0.211	-0.0518	
	2	0.028	-0.062	0.213	-0.187	-0.077	0.001	0.033	-0.148	-0.176	-0.169	-0.0544	
	3	0.032	-0.059	0.227	-0.190	-0.084	0.025	0.038	-0.140	-0.214	-0.179	-0.0544	
Average		0.0350	-0.0637	0.2173	-0.1740	-0.0770	0.0250	0.0373	-0.1430	-0.2060	-0.1863	$\bar{X}_d$ =	-0.0535
Range		0.0170	0.0110	0.0150	0.0450	0.0140	0.0480	0.0080	0.0080	0.0520	0.0420	$\bar{R}_d$ =	0.0260
Part Average		**0.0393**	**-0.0598**	**0.2249**	**-0.1629**	**-0.0726**	**0.0058**	**0.0554**	**-0.1286**	**-0.1817**	**-0.1937**	$\bar{\bar{X}}$ =	-0.0474
												R_p =	0.4186
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.0231
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.0105
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL$_R$	**0.0596**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.0231	No. of OP	4
Item check	M	R_p =	0.4186	No. of Trial	3
Position	M2	$\bar{X}_{diff}$ =	0.0105	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.02	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.07	4.56	2		= **10.33%**
	3.05	3		%Tolerance = 8.81%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				
= 0.02	K_2	OP		%AV = 100[AV/TV]
n=part ,r=trials	3.65	2		= **3.01%**
	2.30	4		% Tolerance = 2.57%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				
= 0.07				%GR&R = 100[GR&R/TV]
				= **10.76%**
				% Tolerance = 9.17%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				
= 0.68	K_3	Parts		%PV = 100[PV/TV]
	1.62	10		= **99.42%**
				% Tolerance = 84.76%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 0.68				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	0.250	LSL	-0.231
Item check	M	Feature Tolerance		0.481		
Position	M3	Tool name		M Machine		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	0.107	-0.021	0.128	-0.112	0.052	0.099	0.042	0.003	0.004	-0.011	0.0291	
	2	0.102	-0.022	0.117	-0.106	0.040	0.083	0.028	0.000	0.011	0.001	0.0254	
	3	0.105	-0.023	0.120	-0.115	0.044	0.089	0.033	0.002	0.008	-0.018	0.0245	
Average		0.1047	-0.0220	0.1217	-0.1110	0.0453	0.0903	0.0343	0.0017	0.0077	-0.0093	$\bar{X}_a$ =	0.0263
Range		0.0050	0.0020	0.0110	0.0090	0.0120	0.0160	0.0140	0.0030	0.0070	0.0190	$\bar{R}_a$ =	0.0098
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	0.115	-0.030	0.120	-0.105	0.070	0.101	0.044	0.012	0.007	-0.017	0.0317	
	2	0.094	-0.033	0.131	-0.109	0.065	0.098	0.045	0.009	0.003	-0.012	0.0291	
	3	0.100	-0.034	0.125	-0.110	0.068	0.099	0.046	0.010	0.005	-0.016	0.0293	
Average		0.1030	-0.0323	0.1253	-0.1080	0.0677	0.0993	0.0450	0.0103	0.0050	-0.0150	$\bar{X}_b$ =	0.0300
Range		0.0210	0.0040	0.0110	0.0050	0.0050	0.0030	0.0020	0.0030	0.0040	0.0050	$\bar{R}_b$ =	0.0063
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	0.096	-0.044	0.112	-0.102	0.055	0.115	0.047	0.002	0.005	-0.017	0.0269	
	2	0.100	-0.038	0.113	-0.093	0.051	0.104	0.022	0.004	0.003	-0.020	0.0246	
	3	0.098	-0.055	0.110	-0.114	0.050	0.100	0.033	0.005	0.002	-0.012	0.0217	
Average		0.0980	-0.0457	0.1117	-0.1030	0.0520	0.1063	0.0340	0.0037	0.0033	-0.0163	$\bar{X}_c$ =	0.0244
Range		0.0040	0.0170	0.0030	0.0210	0.0050	0.0150	0.0250	0.0030	0.0030	0.0080	$\bar{R}_c$ =	0.0104
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	0.090	-0.029	0.101	-0.109	0.030	0.101	0.020	0.000	0.007	-0.011	0.0200	
	2	0.104	-0.040	0.093	-0.116	0.042	0.085	0.015	0.001	0.002	-0.013	0.0173	
	3	0.089	-0.052	0.111	-0.122	0.045	0.092	0.026	0.006	0.009	-0.018	0.0186	
Average		0.0943	-0.0403	0.1017	-0.1157	0.0390	0.0927	0.0203	0.0023	0.0060	-0.0140	$\bar{X}_d$ =	0.0186
Range		0.0150	0.0230	0.0180	0.0130	0.0150	0.0160	0.0110	0.0060	0.0070	0.0070	$\bar{R}_d$ =	0.0131
Part Average		**0.1000**	**-0.0351**	**0.1151**	**-0.1094**	**0.0510**	**0.0972**	**0.0334**	**0.0045**	**0.0055**	**-0.0137**	$\bar{\bar{X}}$ =	0.0249
												R_p =	0.2245
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.0099
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.0114
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**0.0255**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.0099	No. of OP	4
Item check	M	R_p =	0.2245	No. of Trial	3
Position	M3	$\bar{X}_{diff}$ =	0.0114	No. of Sample	10

Measurement unit analysis					% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)					
$EV = K_1 \times \bar{R}$					
= 3.05 x 0.01		K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.03		4.56	2		= **8.25%**
		3.05	3		%Tolerance = 6.28%
Reproducibility - Appraiser variation (AV)					
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$					%AV = 100[AV/TV]
= 0.03		K_2	OP		= **7.01%**
n=part ,r=trials		3.65	2		% Tolerance = 5.33%
		2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)					
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$					%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.04					= **10.83%**
					% Tolerance = 8.23%
Part variation					
$PV = R_p \times K_3$					%PV = 100[PV/TV]
= 0.36		K_3	Parts		= 99.41%
		1.62	10		% Tolerance = 75.61%
Total variation (TV)					
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$					
= 0.37					

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	0.045	LSL	-0.055
Item check	M	Feature Tolerance		0.100		
Position	M4	Tool name		M Machine		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	0.004	0.012	0.042	-0.001	-0.037	0.019	0.037	-0.034	-0.003	-0.001	0.0038	
	2	0.004	0.010	0.042	-0.002	-0.039	0.020	0.042	-0.038	0.000	-0.003	0.0036	
	3	0.005	0.011	0.041	-0.002	-0.040	0.016	0.044	-0.040	0.002	-0.006	0.0031	
Average		0.0043	0.0110	0.0417	-0.0017	-0.0387	0.0183	0.0410	-0.0373	-0.0003	-0.0033	$\bar{X}_a$ =	0.0035
Range		0.0010	0.0020	0.0010	0.0010	0.0030	0.0040	0.0070	0.0060	0.0050	0.0050	$\bar{R}_a$ =	0.0035
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	0.008	0.015	0.043	-0.003	-0.038	0.020	0.027	-0.044	-0.006	-0.002	0.0020	
	2	0.005	0.010	0.041	-0.009	-0.041	0.016	0.033	-0.035	-0.004	-0.001	0.0015	
	3	0.004	0.012	0.042	-0.007	-0.042	0.018	0.034	-0.045	-0.005	-0.009	0.0002	
Average		0.0057	0.0123	0.0420	-0.0063	-0.0403	0.0180	0.0313	-0.0413	-0.0050	-0.0040	$\bar{X}_b$ =	0.0012
Range		0.0040	0.0050	0.0020	0.0060	0.0040	0.0040	0.0070	0.0100	0.0020	0.0080	$\bar{R}_b$ =	0.0052
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	0.004	0.014	0.040	0.000	-0.043	0.025	0.040	-0.034	-0.005	-0.006	0.0035	
	2	0.002	0.010	0.040	-0.004	-0.038	0.020	0.032	-0.037	-0.003	-0.005	0.0017	
	3	0.003	0.012	0.040	-0.003	-0.032	0.022	0.035	-0.038	-0.004	-0.008	0.0027	
Average		0.0030	0.0120	0.0400	-0.0023	-0.0377	0.0223	0.0357	-0.0363	-0.0040	-0.0063	$\bar{X}_c$ =	0.0026
Range		0.0020	0.0040	0.0000	0.0040	0.0110	0.0050	0.0080	0.0040	0.0020	0.0030	$\bar{R}_c$ =	0.0043
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	0.004	0.013	0.041	-0.002	-0.029	0.020	0.026	-0.040	-0.001	-0.001	0.0031	
	2	0.005	0.012	0.039	-0.003	-0.035	0.025	0.029	-0.043	-0.002	-0.003	0.0024	
	3	0.006	0.014	0.030	-0.003	-0.032	0.022	0.025	-0.045	-0.006	-0.006	0.0005	
Average		0.0050	0.0130	0.0367	-0.0027	-0.0320	0.0223	0.0267	-0.0427	-0.0030	-0.0033	$\bar{X}_d$ =	0.0020
Range		0.0020	0.0020	0.0110	0.0010	0.0060	0.0050	0.0040	0.0050	0.0050	0.0050	$\bar{R}_d$ =	0.0046
Part Average		**0.0045**	**0.0121**	**0.0401**	**-0.0033**	**-0.0372**	**0.0203**	**0.0337**	**-0.0394**	**-0.0031**	**-0.0043**	$\bar{\bar{X}}$ =	0.0023
												R_p =	0.0795
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.0044
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.0023
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**0.0114**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.0044	No. of OP	4
Item check	M	R_p =	0.0795	No. of Trial	3
Position	M4	$\bar{X}_{diff}$ =	0.0023	No. of Sample	10

Measurement unit analysis					% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)					
$EV = K_1 \times \bar{R}$					
= 3.05 x 0.00		K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.01		4.56	2		= **10.36%**
		3.05	3		%Tolerance = 13.42%
Reproducibility - Appraiser variation (AV)					
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$					%AV = 100[AV/TV]
= 0.00		K_2	OP		= **3.55%**
n=part ,r=trials		3.65	2		% Tolerance = 4.60%
		2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)					
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$					%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.01					= **10.95%**
					% Tolerance = 14.19%
Part variation					
$PV = R_p \times K_3$					%PV = 100[PV/TV]
= 0.13		K_3	Parts		= 99.40%
		1.62	10		% Tolerance = 128.79%
Total variation (TV)					
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$					
= 0.13					

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	0.045	LSL	-0.055
Item check	M	Feature Tolerance		0.100		
Position	M5	Tool name		M Machine		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	0.003	0.012	0.042	0.000	-0.040	0.023	0.017	-0.030	-0.003	-0.001	0.0023
	2	0.004	0.010	0.042	-0.002	-0.037	0.020	0.012	-0.038	-0.004	-0.004	0.0003
	3	0.004	0.006	0.044	0.001	-0.039	0.025	0.019	-0.035	-0.005	-0.008	0.0012
Average		0.0037	0.0093	0.0427	-0.0003	-0.0387	0.0227	0.0160	-0.0343	-0.0040	-0.0043	$\bar{X}_a$ = 0.0013
Range		0.0010	0.0060	0.0020	0.0030	0.0030	0.0050	0.0070	0.0080	0.0020	0.0070	$\bar{R}_a$ = 0.0044
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	0.002	0.013	0.040	-0.008	-0.038	0.019	0.019	-0.034	-0.009	-0.004	0.0000
	2	-0.002	0.009	0.041	-0.008	-0.037	0.018	0.013	-0.030	-0.005	-0.005	-0.0006
	3	0.000	0.010	0.042	-0.002	-0.036	0.020	0.016	-0.032	-0.006	-0.008	0.0004
Average		0.0000	0.0107	0.0410	-0.0060	-0.0370	0.0190	0.0160	-0.0320	-0.0067	-0.0057	$\bar{X}_b$ = -0.0001
Range		0.0040	0.0040	0.0020	0.0060	0.0020	0.0020	0.0060	0.0040	0.0040	0.0040	$\bar{R}_b$ = 0.0038
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	-0.003	0.010	0.043	-0.001	-0.033	0.029	0.014	-0.032	-0.001	-0.005	0.0021
	2	0.001	0.012	0.041	-0.002	-0.023	0.030	0.016	-0.034	-0.003	-0.007	0.0031
	3	0.003	0.011	0.042	-0.009	-0.029	0.031	0.018	-0.031	-0.007	-0.009	0.0020
Average		0.0003	0.0110	0.0420	-0.0040	-0.0283	0.0300	0.0160	-0.0323	-0.0037	-0.0070	$\bar{X}_c$ = 0.0024
Range		0.0060	0.0020	0.0020	0.0080	0.0100	0.0020	0.0040	0.0030	0.0060	0.0040	$\bar{R}_c$ = 0.0047
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	-0.001	0.008	0.041	-0.003	-0.034	0.020	0.019	-0.035	-0.004	-0.005	0.0006
	2	0.003	0.011	0.042	-0.006	-0.036	0.018	0.013	-0.037	-0.004	-0.006	-0.0002
	3	0.004	0.006	0.043	-0.002	-0.037	0.021	0.014	-0.039	-0.006	-0.008	-0.0004
Average		0.0020	0.0083	0.0420	-0.0037	-0.0357	0.0197	0.0153	-0.0370	-0.0047	-0.0063	$\bar{X}_d$ = 0.0000
Range		0.0050	0.0050	0.0020	0.0040	0.0030	0.0030	0.0060	0.0040	0.0020	0.0030	$\bar{R}_d$ = 0.0037
Part Average		**0.0015**	**0.0098**	**0.0419**	**-0.0035**	**-0.0349**	**0.0228**	**0.0158**	**-0.0339**	**-0.0048**	**-0.0058**	$\bar{\bar{X}}$ = 0.0009
												R_p = 0.0768
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.0042
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.0025
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL$_R$ = **0.0107**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.0042	No. of OP	4
Item check	M	R_p =	0.0768	No. of Trial	3
Position	M5	$\bar{X}_{diff}$ =	0.0025	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation	
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$					
= 3.05 x 0.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]	
= 0.01	4.56	2		=	**10.11%**
	3.05	3		%Tolerance =	12.66%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]	
= 0.01	K_2	OP		=	**4.14%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance =	5.18%
	2.30	4			
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]	
= 0.01				=	**10.92%**
				% Tolerance =	13.68%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]	
= 0.12	K_3	Parts		=	99.40%
	1.62	10		% Tolerance =	124.47%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$					
= 0.13					

Judge GR&R
Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	0.250	LSL	-0.231
Item check	M	Feature Tolerance		0.481		
Position	M6	Tool name		M Machine		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	0.089	-0.105	0.106	-0.081	0.031	0.108	0.005	-0.045	0.010	-0.001	0.0117
	2	0.097	-0.083	0.107	-0.085	0.029	0.088	0.003	-0.053	0.017	-0.005	0.0115
	3	0.079	-0.099	0.113	-0.075	0.030	0.097	0.008	-0.050	0.019	-0.004	0.0118
Average		0.0883	-0.0957	0.1087	-0.0803	0.0300	0.0977	0.0053	-0.0493	0.0153	-0.0033	$\bar{X}_a$ = 0.0117
Range		0.0180	0.0220	0.0070	0.0100	0.0020	0.0200	0.0050	0.0080	0.0090	0.0040	$\bar{R}_a$ = 0.0105
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	0.102	-0.078	0.119	-0.081	0.030	0.098	0.009	-0.046	0.000	-0.007	0.0146
	2	0.095	-0.080	0.104	-0.076	0.025	0.096	0.008	-0.045	0.013	-0.005	0.0135
	3	0.084	-0.082	0.112	-0.072	0.026	0.099	0.010	-0.052	0.014	-0.006	0.0133
Average		0.0937	-0.0800	0.1117	-0.0763	0.0270	0.0977	0.0090	-0.0477	0.0090	-0.0060	$\bar{X}_b$ = 0.0138
Range		0.0180	0.0040	0.0150	0.0090	0.0050	0.0030	0.0020	0.0070	0.0140	0.0020	$\bar{R}_b$ = 0.0079
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	0.070	-0.064	0.110	-0.050	0.027	0.104	0.002	-0.066	0.011	-0.008	0.0136
	2	0.080	-0.079	0.118	-0.055	0.030	0.099	0.008	-0.049	0.008	-0.007	0.0153
	3	0.076	-0.080	0.120	-0.069	0.032	0.090	0.007	-0.054	0.015	-0.009	0.0128
Average		0.0753	-0.0743	0.1160	-0.0580	0.0297	0.0977	0.0057	-0.0563	0.0113	-0.0080	$\bar{X}_c$ = 0.0139
Range		0.0100	0.0160	0.0100	0.0190	0.0050	0.0140	0.0060	0.0170	0.0070	0.0020	$\bar{R}_c$ = 0.0106
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	0.075	-0.098	0.105	-0.072	0.024	0.095	0.004	-0.055	0.015	-0.008	0.0085
	2	0.073	-0.085	0.109	-0.089	0.029	0.098	0.013	-0.063	0.012	-0.002	0.0095
	3	0.074	-0.074	0.112	-0.071	0.033	0.094	0.006	-0.060	0.016	-0.010	0.0120
Average		0.0740	-0.0857	0.1087	-0.0773	0.0287	0.0957	0.0077	-0.0593	0.0143	-0.0067	$\bar{X}_d$ = 0.0100
Range		0.0020	0.0240	0.0070	0.0180	0.0090	0.0040	0.0090	0.0080	0.0040	0.0080	$\bar{R}_d$ = 0.0093
Part Average		**0.0828**	**-0.0839**	**0.1113**	**-0.0730**	**0.0288**	**0.0972**	**0.0069**	**-0.0532**	**0.0125**	**-0.0060**	$\bar{\bar{X}}$ = 0.0123
												R_p = 0.1952
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.0096
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.0039
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL$_R$ = **0.0247**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.0096	No. of OP	4
Item check	M	R_p =	0.1952	No. of Trial	3
Position	M6	$\bar{X}_{diff}$ =	0.0039	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation	
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$					
= 3.05 x 0.01	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]	
= 0.03	4.56	2		=	**9.20%**
	3.05	3		%Tolerance =	6.07%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]	
= 0.01	K_2	OP		=	**2.27%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance =	1.50%
	2.30	4			
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]	
= 0.03				=	**9.47%**
				% Tolerance =	6.25%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]	
= 0.32	K_3	Parts		=	99.55%
	1.62	10		% Tolerance =	65.73%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$					
= 0.32					

Judge GR&R
Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	3.8	LSL	0.3	
Item check	Z	Feature Tolerance		3.5			
Position	Z1	Tool name		Torque meter - 5017E			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	1.8	1.2	1.6	2.0	2.8	1.6	1.8	2.6	1.4	2.6	1.94	
	2	1.8	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	2.0	2.6	1.6	2.6	2.04	
	3	1.6	1.4	1.4	2.2	2.8	1.6	1.8	3.0	1.8	3.0	2.06	
Average		1.73	1.27	1.60	2.13	2.87	1.60	1.87	2.73	1.60	2.73	$\bar{X}_a$ =	2.01
Range		0.20	0.20	0.40	0.20	0.20	0.00	0.20	0.40	0.40	0.40	$\bar{R}_a$ =	0.26
B	1	2.0	1.2	1.8	2.0	2.8	2.0	2.0	2.8	1.8	2.8	2.12	
	2	1.8	1.4	1.8	2.4	3.2	1.8	1.8	3.0	2.0	3.0	2.22	
	3	2.0	1.2	1.6	2.4	3.0	1.8	1.8	3.0	1.8	3.0	2.16	
Average		1.93	1.27	1.73	2.27	3.00	1.87	1.87	2.93	1.87	2.93	$\bar{X}_b$ =	2.17
Range		0.20	0.20	0.20	0.40	0.40	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	$\bar{R}_b$ =	0.24
C	1	2.0	1.4	1.8	2.0	3.0	1.6	1.8	3.2	2.0	3.0	2.18	
	2	2.0	1.4	1.8	2.4	3.0	1.6	2.0	3.0	2.0	2.8	2.20	
	3	2.0	1.2	1.6	2.2	3.0	1.8	1.8	3.0	2.0	2.8	2.14	
Average		2.00	1.33	1.73	2.20	3.00	1.67	1.87	3.07	2.00	2.87	$\bar{X}_c$ =	2.17
Range		0.00	0.20	0.20	0.40	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ =	0.16
D	1	2.0	1.4	2.0	2.4	3.2	2.0	2.0	3.2	2.0	3.0	2.32	
	2	2.0	1.4	2.0	2.4	3.0	2.0	1.8	3.2	2.0	3.0	2.28	
	3	1.8	1.4	1.8	2.2	3.2	2.0	2.0	3.0	2.0	3.0	2.24	
Average		1.93	1.40	1.93	2.33	3.13	2.00	1.93	3.13	2.00	3.00	$\bar{X}_d$ =	2.28
Range		0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.12
Part Average		**1.90**	**1.32**	**1.75**	**2.23**	**3.00**	**1.78**	**1.88**	**2.97**	**1.87**	**2.88**	$\bar{\bar{X}}$ =	2.16
												R_p =	1.68
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.20
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.27
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**0.50**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.20	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.68	No. of Trial	3
Position	Z1	$\bar{X}_{diff}$ =	0.27	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.20	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.59	4.56	2		= **20.83%**
	3.05	3		%Tolerance = 16.99%
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.60	K_2	OP		= **21.14%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 17.25%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.85				= **29.68%**
				% Tolerance = 24.21%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 2.73	K_3	Parts		= **95.50%**
	1.62	10		% Tolerance = 77.91%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 2.86				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	3.8	LSL	0.3	
Item check	Z	Feature Tolerance		3.5			
Position	Z2	Tool name		Torque meter - 5017E			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	1.8	2.0	3.0	1.8	2.4	2.32	
	2	2.2	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	2.8	1.8	2.6	2.30	
	3	2.2	2.0	2.2	2.6	3.0	1.6	2.0	2.8	2.0	2.6	2.30	
Average		2.27	2.00	2.20	2.67	3.00	1.67	2.00	2.87	1.87	2.53	$\bar{X}_a$ =	2.31
Range		0.20	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	$\bar{R}_a$ =	0.12
B	1	2.2	2.0	2.2	3.0	3.2	1.8	2.6	2.8	1.6	3.0	2.44	
	2	2.4	2.0	2.0	3.0	3.2	1.8	2.2	2.8	2.2	3.0	2.46	
	3	2.4	2.0	2.2	2.8	3.2	2.0	2.2	2.8	2.2	3.0	2.48	
Average		2.33	2.00	2.13	2.93	3.20	1.87	2.33	2.80	2.00	3.00	$\bar{X}_b$ =	2.46
Range		0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.40	0.00	0.60	0.00	$\bar{R}_b$ =	0.18
C	1	2.4	2.0	2.2	2.8	3.2	1.8	2.2	3.0	1.8	3.2	2.46	
	2	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.8	2.2	3.0	1.8	3.0	2.42	
	3	2.0	2.0	2.2	2.8	3.2	1.8	2.0	3.0	1.8	3.0	2.38	
Average		2.27	2.00	2.20	2.80	3.13	1.80	2.13	3.00	1.80	3.07	$\bar{X}_c$ =	2.42
Range		0.40	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ =	0.10
D	1	2.6	2.0	2.2	2.8	3.2	1.8	2.4	2.8	2.0	3.0	2.48	
	2	2.4	2.0	2.4	2.8	3.2	2.0	2.0	2.8	2.0	3.2	2.48	
	3	2.0	2.0	2.2	2.8	2.6	2.0	2.2	2.8	2.2	3.0	2.38	
Average		2.33	2.00	2.27	2.80	3.00	1.93	2.20	2.80	2.07	3.07	$\bar{X}_d$ =	2.45
Range		0.60	0.00	0.20	0.00	0.60	0.20	0.40	0.00	0.20	0.20	$\bar{R}_d$ =	0.24
Part Average		**2.30**	**2.00**	**2.20**	**2.80**	**3.08**	**1.82**	**2.17**	**2.87**	**1.93**	**2.92**	$\bar{\bar{X}}$ =	2.41
												R_p =	1.27
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.16
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.15
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**0.41**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.16	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.27	No. of Trial	3
Position	Z2	$\bar{X}_{diff}$ =	0.15	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.16	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.49	4.56	2		= **22.84%**
	3.05	3		%Tolerance = 13.94%
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.34	K_2	OP		= **15.97%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 9.75%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.60				= **27.87%**
				% Tolerance = 17.01%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 2.05	K_3	Parts		= **96.04%**
	1.62	10		% Tolerance = 58.63%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 2.14				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance		3.5		
Position	Z3	Tool name		Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	1.4	1.2	1.2	1.6	1.6	1.4	2.2	1.4	1.4	2.2	1.56
	2	1.4	1.0	1.0	1.6	1.6	1.0	2.2	1.6	1.4	2.0	1.48
	3	1.4	1.0	1.0	1.6	1.6	1.0	2.2	1.4	1.4	2.2	1.48
Average		1.40	1.07	1.07	1.60	1.60	1.13	2.20	1.47	1.40	2.13	$\bar{X}_a$ = 1.51
Range		0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.40	0.00	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_a$ = 0.12
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	1.6	1.2	1.0	1.6	1.6	1.4	2.2	1.6	1.4	2.2	1.58
	2	1.4	1.2	1.4	1.8	1.6	1.6	2.4	1.8	1.4	2.2	1.68
	3	1.6	1.2	1.4	1.6	1.6	1.6	2.4	1.8	1.4	2.2	1.68
Average		1.53	1.20	1.27	1.67	1.60	1.53	2.33	1.73	1.80	2.20	$\bar{X}_b$ = 1.69
Range		0.20	0.00	0.40	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ = 0.14
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	1.6	1.0	1.6	2.0	1.6	1.0	2.2	1.6	1.6	2.2	1.64
	2	1.6	1.0	1.0	1.6	2.0	1.6	2.2	1.6	1.6	2.2	1.64
	3	1.6	1.0	1.0	1.6	1.6	1.0	2.2	1.6	1.6	2.2	1.54
Average		1.60	1.00	1.20	1.73	1.73	1.20	2.20	1.60	1.60	2.20	$\bar{X}_c$ = 1.61
Range		0.00	0.00	0.60	0.40	0.40	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ = 0.20
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	1.4	1.2	1.2	1.6	1.6	1.4	2.4	1.4	1.4	2.2	1.58
	2	1.4	1.0	1.0	1.6	1.6	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52
	3	1.4	1.0	1.2	1.6	1.6	1.0	2.4	1.4	1.4	2.0	1.50
Average		1.40	1.07	1.13	1.60	1.60	1.13	2.40	1.47	1.40	2.13	$\bar{X}_d$ = 1.53
Range		0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.40	0.00	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_d$ = 0.12
Part Average		**1.48**	**1.08**	**1.17**	**1.65**	**1.63**	**1.25**	**2.28**	**1.57**	**1.45**	**2.17**	$\bar{\bar{X}}$ = 1.57
												R_p = 1.20
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.15
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.18
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL$_R$ = **0.37**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.15	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.20	No. of Trial	3
Position	Z3	$\bar{X}_{diff}$ =	0.18	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.15	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.44	4.56	2		= **21.74%**
	3.05	3		%Tolerance = 12.64%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.41	K_2	OP		= **19.96%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 11.60%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.60				= **29.51%**
				% Tolerance = 17.15%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 1.94	K_3	Parts		= **95.55%**
	1.62	10		% Tolerance = 55.54%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 2.03				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance		3.5		
Position	Z4	Tool name		Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	1.6	1.6	1.8	1.4	2.0	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	1.96
	2	1.6	1.8	2.0	1.4	2.0	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.00
	3	1.4	1.6	1.8	1.6	2.0	2.4	2.4	2.0	2.0	2.4	1.96
Average		1.53	1.67	1.87	1.47	2.00	2.13	2.53	2.00	2.00	2.53	$\bar{X}_a$ = 1.97
Range		0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.40	0.20	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_a$ = 0.16
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	1.6	1.6	1.6	1.4	2.2	2.0	2.4	2.4	2.0	2.6	1.98
	2	1.6	1.6	1.8	1.4	2.0	2.0	2.6	2.2	2.0	2.4	1.96
	3	1.6	1.6	2.0	1.4	2.0	2.0	2.4	2.2	2.0	2.4	1.96
Average		1.60	1.60	1.80	1.40	2.07	2.00	2.47	2.27	1.80	2.47	$\bar{X}_b$ = 1.95
Range		0.00	0.00	0.40	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_b$ = 0.12
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	1.6	1.6	2.0	1.4	2.0	1.8	2.6	2.0	2.0	2.4	1.94
	2	1.6	1.8	1.8	1.6	2.4	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.04
	3	1.4	2.0	2.0	1.6	2.0	2.0	2.6	2.0	2.0	2.4	2.00
Average		1.53	1.80	1.93	1.53	2.13	1.93	2.60	2.00	2.00	2.47	$\bar{X}_c$ = 1.99
Range		0.20	0.40	0.20	0.20	0.40	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ = 0.18
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	1.4	1.6	1.6	1.6	2.2	1.8	2.0	2.0	1.8	2.4	1.84
	2	1.6	1.6	1.4	1.6	2.2	1.4	2.4	2.0	1.8	2.4	1.84
	3	1.4	1.6	1.6	1.6	2.0	1.8	2.4	2.0	2.0	2.4	1.88
Average		1.47	1.60	1.53	1.60	2.27	2.00	1.87	2.40	$\bar{X}_d$ = 1.85		
Range		0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.40	0.40	0.00	0.20	0.00	$\bar{R}_d$ = 0.16
Part Average		**1.53**	**1.67**	**1.78**	**1.50**	**2.08**	**1.93**	**2.47**	**2.07**	**1.97**	**2.47**	$\bar{\bar{X}}$ = 1.95
												R_p = 0.97
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.16
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.14
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL$_R$ = **0.40**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.16	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	0.97	No. of Trial	3
Position	Z4	$\bar{X}_{diff}$ =	0.14	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.16	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.47	4.56	2		= **28.39%**
	3.05	3		%Tolerance = 13.51%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.31	K_2	OP		= **18.63%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 8.86%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.57				= **33.96%**
				% Tolerance = 16.16%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 1.57	K_3	Parts		= **94.06%**
	1.62	10		% Tolerance = 44.74%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 1.66				

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0	
Item check	F	Feature Tolerance		400.0			
Position	F1	Tool name		Torque meter - 0411C			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	180.0	200.0	260.0	200.0	200.0	200.0	160.0	140.0	240.0	240.0	202.00	
	2	200.0	200.0	240.0	200.0	200.0	200.0	160.0	160.0	220.0	240.0	202.00	
	3	180.0	200.0	240.0	200.0	200.0	200.0	160.0	160.0	240.0	220.0	200.00	
Average		186.67	200.00	246.67	200.00	200.00	200.00	160.00	153.33	233.33	233.33	$\bar{X}_A$ =	201.33
Range		20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	20.00	20.00	$\bar{R}_A$ =	10.00
B	1	200.0	200.0	260.0	200.0	180.0	200.0	160.0	120.0	200.0	260.0	198.00	
	2	200.0	200.0	260.0	200.0	180.0	180.0	140.0	140.0	200.0	240.0	194.00	
	3	200.0	200.0	260.0	200.0	180.0	180.0	160.0	120.0	200.0	240.0	194.00	
Average		200.00	200.00	260.00	200.00	180.00	186.67	153.33	126.67	200.00	246.67	$\bar{X}_B$ =	195.33
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	20.00	20.00	0.00	20.00	$\bar{R}_B$ =	8.00
C	1	200.0	200.0	260.0	180.0	200.0	200.0	180.0	140.0	240.0	260.0	206.00	
	2	200.0	200.0	240.0	200.0	200.0	200.0	160.0	140.0	260.0	260.0	206.00	
	3	200.0	200.0	260.0	200.0	200.0	200.0	160.0	160.0	260.0	260.0	210.00	
Average		200.00	200.00	253.33	193.33	200.00	200.00	166.67	146.67	253.33	260.00	$\bar{X}_C$ =	207.33
Range		0.00	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	20.00	20.00	20.00	0.00	$\bar{R}_C$ =	10.00
D	1	200.0	200.0	260.0	180.0	200.0	200.0	180.0	140.0	240.0	260.0	206.00	
	2	200.0	200.0	260.0	200.0	200.0	200.0	180.0	160.0	260.0	240.0	210.00	
	3	200.0	200.0	260.0	200.0	200.0	200.0	180.0	160.0	260.0	240.0	210.00	
Average		200.00	200.00	260.00	193.33	200.00	200.00	180.00	153.33	253.33	246.67	$\bar{X}_D$ =	208.67
Range		0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	20.00	20.00	$\bar{R}_D$ =	8.00
Part Average		**196.67**	**200.00**	**255.00**	**196.67**	**195.00**	**196.67**	**165.00**	**145.00**	**235.00**	**246.67**	$\bar{\bar{X}}$ =	203.17
												R_p =	110.00
([$\bar{R}_A$]+[$\bar{R}_B$]+[$\bar{R}_C$]+[$\bar{R}_D$]) / [#Of operator =				4		]						$\bar{\bar{R}}$ =	9.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	13.33
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL$_R$	**23.22**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	9.00	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	110.00	No. of Trial	3
Position	F1	$\bar{X}_{diff}$ =	13.33	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 9.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 27.45	4.56	2		= **15.01%**
	3.05	3		%Tolerance = 6.86%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 30.25	K_2	OP		= **16.55%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 7.56%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 40.85				= **22.34%**
				% Tolerance = 10.21%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 178.20	K_3	Parts		= 97.47%
	1.62	10		% Tolerance = 44.55%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ = 182.82				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0	
Item check	F	Feature Tolerance		400.0			
Position	F2	Tool name		Torque meter - 0411C			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	300.0	200.0	300.0	240.0	280.0	120.0	200.0	140.0	140.0	240.0	216.00	
	2	320.0	240.0	280.0	260.0	300.0	140.0	240.0	140.0	140.0	240.0	230.00	
	3	300.0	220.0	300.0	240.0	300.0	120.0	220.0	140.0	120.0	260.0	222.00	
Average		306.67	220.00	293.33	246.67	293.33	126.67	220.00	140.00	133.33	246.67	$\bar{X}_A$ =	222.67
Range		20.00	40.00	20.00	20.00	20.00	20.00	40.00	0.00	20.00	20.00	$\bar{R}_A$ =	22.00
B	1	340.0	260.0	300.0	200.0	280.0	160.0	280.0	140.0	200.0	300.0	246.00	
	2	360.0	260.0	320.0	260.0	220.0	160.0	300.0	180.0	200.0	320.0	258.00	
	3	340.0	240.0	300.0	240.0	280.0	140.0	300.0	160.0	180.0	340.0	252.00	
Average		346.67	253.33	306.67	233.33	260.00	153.33	293.33	160.00	193.33	320.00	$\bar{X}_B$ =	252.00
Range		20.00	20.00	20.00	60.00	60.00	20.00	20.00	40.00	20.00	40.00	$\bar{R}_B$ =	32.00
C	1	360.0	260.0	300.0	220.0	240.0	160.0	280.0	140.0	200.0	320.0	248.00	
	2	360.0	240.0	340.0	200.0	260.0	160.0	300.0	180.0	180.0	320.0	254.00	
	3	340.0	260.0	320.0	260.0	280.0	140.0	260.0	180.0	180.0	340.0	256.00	
Average		353.33	253.33	320.00	226.67	260.00	153.33	280.00	166.67	186.67	326.67	$\bar{X}_C$ =	252.67
Range		20.00	20.00	40.00	60.00	40.00	20.00	40.00	40.00	20.00	20.00	$\bar{R}_C$ =	32.00
D	1	360.0	240.0	280.0	220.0	240.0	140.0	280.0	180.0	180.0	300.0	242.00	
	2	340.0	240.0	280.0	240.0	240.0	160.0	280.0	180.0	200.0	340.0	250.00	
	3	360.0	240.0	300.0	260.0	280.0	140.0	300.0	160.0	200.0	340.0	258.00	
Average		353.33	240.00	286.67	240.00	253.33	146.67	286.67	173.33	193.33	326.67	$\bar{X}_D$ =	250.00
Range		20.00	0.00	20.00	40.00	40.00	20.00	20.00	20.00	20.00	40.00	$\bar{R}_D$ =	24.00
Part Average		**340.00**	**241.67**	**301.67**	**236.67**	**266.67**	**145.00**	**270.00**	**160.00**	**176.67**	**305.00**	$\bar{\bar{X}}$ =	244.33
												R_p =	195.00
([$\bar{R}_A$]+[$\bar{R}_B$]+[$\bar{R}_C$]+[$\bar{R}_D$]) / [#Of operator =				4		]						$\bar{\bar{R}}$ =	27.50
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	30.00
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL$_R$	**70.95**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	27.50	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	195.00	No. of Trial	3
Position	F2	$\bar{X}_{diff}$ =	30.00	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 27.50	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 83.88	4.56	2		= **25.14%**
	3.05	3		%Tolerance = 20.97%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 67.28	K_2	OP		= **20.16%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 16.82%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 107.52				= **32.22%**
				% Tolerance = 26.88%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 315.90	K_3	Parts		= 94.67%
	1.62	10		% Tolerance = 78.98%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ = 333.70				

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F3	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	120.0	240.0	120.0	220.0	200.0	140.0	300.0	180.0	140.0	240.0	190.00
	2	140.0	300.0	100.0	200.0	240.0	160.0	300.0	200.0	160.0	200.0	200.00
	3	140.0	300.0	100.0	200.0	240.0	140.0	300.0	180.0	180.0	220.0	200.00
Average		133.33	280.00	106.67	206.67	226.67	146.67	300.00	186.67	160.00	220.00	$\bar{X}_A$ = 196.67
Range		20.00	60.00	20.00	20.00	40.00	20.00	0.00	20.00	40.00	40.00	$\bar{R}_A$ = 28.00
B	1	140.0	300.0	160.0	200.0	200.0	100.0	300.0	100.0	160.0	200.0	186.00
	2	100.0	300.0	100.0	200.0	200.0	100.0	300.0	100.0	140.0	200.0	174.00
	3	160.0	240.0	140.0	200.0	200.0	120.0	300.0	140.0	160.0	240.0	190.00
Average		133.33	280.00	133.33	200.00	200.00	106.67	300.00	113.33	153.33	280.00	$\bar{X}_B$ = 190.00
Range		60.00	60.00	60.00	0.00	0.00	20.00	0.00	40.00	20.00	40.00	$\bar{R}_B$ = 30.00
C	1	100.0	300.0	160.0	200.0	200.0	120.0	300.0	200.0	160.0	240.0	198.00
	2	100.0	300.0	160.0	200.0	260.0	100.0	260.0	200.0	160.0	260.0	200.00
	3	140.0	260.0	160.0	200.0	260.0	140.0	300.0	180.0	180.0	260.0	208.00
Average		113.33	286.67	160.00	200.00	240.00	120.00	286.67	193.33	166.67	253.33	$\bar{X}_C$ = 202.00
Range		40.00	40.00	0.00	0.00	60.00	40.00	40.00	20.00	20.00	20.00	$\bar{R}_C$ = 28.00
D	1	100.0	300.0	120.0	200.0	220.0	100.0	260.0	100.0	160.0	180.0	174.00
	2	100.0	280.0	120.0	200.0	200.0	120.0	260.0	100.0	140.0	200.0	172.00
	3	100.0	280.0	140.0	200.0	200.0	120.0	260.0	120.0	180.0	200.0	180.00
Average		100.00	286.67	126.67	200.00	206.67	113.33	260.00	106.67	160.00	193.33	$\bar{X}_d$ = 175.33
Range		0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	40.00	20.00	$\bar{R}_d$ = 16.00
Part Average		**120.00**	**283.33**	**131.67**	**201.67**	**218.33**	**121.67**	**286.67**	**150.00**	**160.00**	**220.00**	$\bar{\bar{X}}$ = 189.33
												$\bar{\bar{R}}$ = 166.67

([$\bar{R}_A$]+[$\bar{R}_B$]+[$\bar{R}_C$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4] = $\bar{\bar{R}}$ = 25.50

[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] = $\bar{X}_{diff}$ = 26.67

[$\bar{R}$] x [D4] = D_4 = 2.58 when trials = 3 → UCL_R = **65.79**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	25.50	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	166.67	No. of Trial	3
Position	F3	$\bar{X}_{diff}$ =	26.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 25.50	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 77.78	4.56	2		= **27.08%**
	3.05	3		%Tolerance = 19.44%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 59.67	K_2	OP		= **20.77%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 14.92%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 98.03				= **34.13%**
				% Tolerance = 24.51%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 270.00	K_3	Parts		= **94.00%**
	1.62	10		% Tolerance = 67.50%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 287.24				

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F4	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	160.0	320.0	160.0	120.0	160.0	200.0	200.0	140.0	200.0	300.0	196.00
	2	200.0	340.0	200.0	120.0	140.0	200.0	160.0	200.0	200.0	300.0	206.00
	3	200.0	340.0	200.0	100.0	140.0	200.0	200.0	180.0	200.0	300.0	206.00
Average		186.67	333.33	186.67	113.33	146.67	200.00	186.67	173.33	200.00	300.00	$\bar{X}_A$ = 202.67
Range		40.00	20.00	40.00	20.00	20.00	0.00	40.00	60.00	0.00	0.00	$\bar{R}_A$ = 24.00
B	1	200.0	360.0	200.0	160.0	120.0	200.0	140.0	140.0	200.0	300.0	202.00
	2	200.0	380.0	200.0	180.0	140.0	180.0	200.0	180.0	200.0	300.0	216.00
	3	180.0	360.0	200.0	120.0	100.0	200.0	200.0	160.0	200.0	300.0	202.00
Average		193.33	366.67	200.00	153.33	120.00	193.33	180.00	160.00	200.00	280.00	$\bar{X}_B$ = 204.67
Range		20.00	20.00	0.00	60.00	40.00	20.00	60.00	40.00	0.00	0.00	$\bar{R}_B$ = 26.00
C	1	160.0	360.0	200.0	100.0	140.0	200.0	240.0	160.0	200.0	240.0	200.00
	2	180.0	360.0	200.0	100.0	100.0	160.0	300.0	160.0	200.0	300.0	206.00
	3	160.0	380.0	200.0	120.0	100.0	200.0	260.0	160.0	200.0	300.0	208.00
Average		166.67	366.67	200.00	106.67	113.33	186.67	266.67	160.00	200.00	280.00	$\bar{X}_C$ = 204.67
Range		20.00	20.00	0.00	20.00	40.00	40.00	60.00	0.00	0.00	60.00	$\bar{R}_C$ = 26.00
D	1	140.0	340.0	220.0	100.0	120.0	140.0	160.0	140.0	200.0	300.0	186.00
	2	160.0	360.0	180.0	100.0	120.0	180.0	160.0	140.0	200.0	260.0	186.00
	3	200.0	360.0	200.0	100.0	100.0	120.0	160.0	140.0	200.0	280.0	186.00
Average		166.67	353.33	200.00	100.00	113.33	146.67	160.00	140.00	200.00	280.00	$\bar{X}_d$ = 186.00
Range		60.00	20.00	40.00	0.00	20.00	60.00	0.00	0.00	0.00	40.00	$\bar{R}_d$ = 24.00
Part Average		**178.33**	**355.00**	**196.67**	**118.33**	**123.33**	**181.67**	**198.33**	**158.33**	**200.00**	**290.00**	$\bar{\bar{X}}$ = 200.00
												$\bar{\bar{R}}$ = 236.67

([$\bar{R}_A$]+[$\bar{R}_B$]+[$\bar{R}_C$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4] = $\bar{\bar{R}}$ = 25.00

[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] = $\bar{X}_{diff}$ = 18.67

[$\bar{R}$] x [D4] = D_4 = 2.58 when trials = 3 → UCL_R = **64.50**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	25.00	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	236.67	No. of Trial	3
Position	F4	$\bar{X}_{diff}$ =	18.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 25.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 76.25	4.56	2		= **19.40%**
	3.05	3		%Tolerance = 19.06%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 40.61	K_2	OP		= **10.33%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 10.15%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 86.39				= **21.98%**
				% Tolerance = 21.60%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 383.40	K_3	Parts		= **97.55%**
	1.62	10		% Tolerance = 95.85%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 393.01				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F5	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	160.0	160.0	240.0	200.0	220.0	200.0	200.0	300.0	260.0	300.0	224.00	
	2	100.0	100.0	240.0	200.0	200.0	200.0	200.0	300.0	240.0	300.0	208.00	
	3	160.0	140.0	240.0	200.0	200.0	200.0	200.0	300.0	240.0	300.0	218.00	
Average		140.00	133.33	240.00	200.00	206.67	200.00	200.00	300.00	246.67	300.00	$\bar{X}_a$ =	216.67
Range		60.00	60.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	16.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	160.0	180.0	200.0	200.0	180.0	200.0	200.0	360.0	200.0	300.0	218.00	
	2	100.0	120.0	200.0	200.0	200.0	200.0	160.0	380.0	200.0	340.0	210.00	
	3	160.0	140.0	200.0	200.0	180.0	200.0	160.0	340.0	200.0	360.0	214.00	
Average		140.00	146.67	200.00	200.00	186.67	200.00	173.33	360.00	200.00	280.00	$\bar{X}_b$ =	208.67
Range		60.00	60.00	0.00	0.00	20.00	0.00	40.00	40.00	0.00	60.00	$\bar{R}_b$ =	28.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	100.0	120.0	300.0	160.0	200.0	200.0	260.0	360.0	200.0	360.0	226.00	
	2	100.0	120.0	260.0	160.0	180.0	200.0	220.0	300.0	260.0	360.0	216.00	
	3	100.0	120.0	260.0	160.0	200.0	200.0	200.0	300.0	200.0	360.0	210.00	
Average		100.00	120.00	273.33	160.00	193.33	200.00	226.67	320.00	220.00	360.00	$\bar{X}_c$ =	217.33
Range		0.00	0.00	40.00	0.00	20.00	0.00	60.00	60.00	60.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	24.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	140.0	140.0	260.0	180.0	200.0	240.0	240.0	320.0	240.0	340.0	230.00	
	2	100.0	180.0	260.0	220.0	200.0	240.0	240.0	380.0	200.0	300.0	232.00	
	3	120.0	180.0	260.0	240.0	200.0	240.0	240.0	360.0	240.0	360.0	244.00	
Average		120.00	166.67	260.00	213.33	200.00	240.00	240.00	353.33	226.67	333.33	$\bar{X}_d$ =	235.33
Range		40.00	40.00	0.00	60.00	0.00	0.00	0.00	60.00	40.00	60.00	$\bar{R}_d$ =	30.00
Part Average		**125.00**	**141.67**	**243.33**	**193.33**	**196.67**	**210.00**	**210.00**	**333.33**	**223.33**	**331.67**	$\bar{\bar{X}}$ =	220.83
												R_p =	208.33
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{R}$ =	24.50
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	26.67
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**63.21**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	24.50	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	208.33	No. of Trial	3
Position	F5	$\bar{X}_{diff}$ =	26.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 24.50	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 74.73	4.56	2		= **21.30%**
	3.05	3		%Tolerance = 18.68%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 59.80	K_2	OP		= **17.05%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 14.95%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 95.71				= **27.28%**
				% Tolerance = 23.93%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 337.50	K_3	Parts		= **96.21%**
	1.62	10		% Tolerance = 84.38%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 350.81				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F6	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	300.0	240.0	300.0	300.0	280.0	220.0	200.0	240.0	200.0	200.0	248.00	
	2	280.0	260.0	300.0	300.0	260.0	240.0	220.0	240.0	200.0	200.0	250.00	
	3	300.0	240.0	300.0	300.0	280.0	240.0	240.0	240.0	200.0	200.0	254.00	
Average		293.33	246.67	300.00	300.00	273.33	233.33	220.00	240.00	200.00	200.00	$\bar{X}_a$ =	250.67
Range		20.00	20.00	0.00	0.00	20.00	20.00	40.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	12.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	300.0	260.0	300.0	300.0	220.0	200.0	200.0	280.0	200.0	200.0	246.00	
	2	300.0	300.0	300.0	280.0	260.0	200.0	220.0	270.0	200.0	200.0	253.00	
	3	300.0	300.0	300.0	300.0	260.0	200.0	220.0	260.0	200.0	220.0	256.00	
Average		300.00	286.67	300.00	293.33	246.67	200.00	213.33	270.00	200.00	280.00	$\bar{X}_b$ =	259.00
Range		0.00	40.00	0.00	20.00	40.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	$\bar{R}_b$ =	16.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	260.0	240.0	340.0	200.0	260.0	240.0	240.0	200.0	260.0	200.0	244.00	
	2	260.0	240.0	300.0	200.0	240.0	240.0	240.0	240.0	260.0	240.0	246.00	
	3	260.0	240.0	340.0	200.0	260.0	240.0	240.0	240.0	260.0	240.0	252.00	
Average		260.00	240.00	326.67	200.00	253.33	240.00	240.00	226.67	260.00	226.67	$\bar{X}_c$ =	247.33
Range		0.00	0.00	40.00	0.00	20.00	0.00	0.00	40.00	0.00	40.00	$\bar{R}_c$ =	14.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	300.0	280.0	320.0	220.0	240.0	220.0	220.0	240.0	280.0	200.0	252.00	
	2	240.0	260.0	300.0	260.0	240.0	220.0	220.0	220.0	260.0	240.0	246.00	
	3	300.0	280.0	340.0	240.0	240.0	220.0	220.0	240.0	260.0	240.0	258.00	
Average		280.00	273.33	320.00	240.00	240.00	220.00	220.00	233.33	266.67	226.67	$\bar{X}_d$ =	252.00
Range		60.00	20.00	40.00	40.00	0.00	0.00	0.00	20.00	20.00	40.00	$\bar{R}_d$ =	24.00
Part Average		**283.33**	**261.67**	**311.67**	**258.33**	**253.33**	**223.33**	**223.33**	**242.50**	**231.67**	**215.00**	$\bar{\bar{X}}$ =	250.42
												R_p =	96.67
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{R}$ =	16.50
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	11.67
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**42.57**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	16.50	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	96.67	No. of Trial	3
Position	F6	$\bar{X}_{diff}$ =	11.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 16.50	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 50.33	4.56	2		= **30.24%**
	3.05	3		%Tolerance = 12.58%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 25.21	K_2	OP		= **15.15%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 6.30%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 56.29				= **33.82%**
				% Tolerance = 14.07%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 156.60	K_3	Parts		= **94.11%**
	1.62	10		% Tolerance = 39.15%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 166.41				

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F7	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	100.0	140.0	140.0	100.0	100.0	260.0	200.0	120.0	100.0	240.0	150.00	
	2	100.0	140.0	100.0	100.0	100.0	240.0	220.0	100.0	160.0	240.0	150.00	
	3	100.0	140.0	100.0	100.0	100.0	260.0	220.0	100.0	160.0	240.0	152.00	
Average		100.00	140.00	113.33	100.00	100.00	253.33	213.33	106.67	140.00	240.00	$\bar{X}_a$ =	150.67
Range		0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	20.00	20.00	20.00	60.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	16.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	120.0	160.0	160.0	180.0	140.0	200.0	240.0	100.0	160.0	240.0	170.00	
	2	100.0	220.0	200.0	200.0	200.0	200.0	240.0	100.0	160.0	240.0	186.00	
	3	100.0	220.0	200.0	200.0	200.0	240.0	240.0	100.0	160.0	240.0	190.00	
Average		106.67	200.00	186.67	193.33	180.00	213.33	240.00	100.00	160.00	280.00	$\bar{X}_b$ =	186.00
Range		20.00	60.00	40.00	20.00	60.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	24.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	100.0	200.0	180.0	160.0	200.0	200.0	240.0	160.0	200.0	260.0	190.00	
	2	160.0	220.0	120.0	100.0	160.0	220.0	240.0	120.0	160.0	280.0	178.00	
	3	100.0	200.0	120.0	160.0	200.0	220.0	240.0	160.0	200.0	280.0	188.00	
Average		120.00	206.67	140.00	140.00	186.67	213.33	240.00	146.67	186.67	273.33	$\bar{X}_c$ =	185.33
Range		60.00	20.00	60.00	60.00	40.00	20.00	0.00	40.00	40.00	20.00	$\bar{R}_c$ =	36.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	140.0	200.0	160.0	100.0	120.0	240.0	240.0	100.0	140.0	280.0	172.00	
	2	100.0	200.0	160.0	140.0	100.0	220.0	260.0	100.0	160.0	260.0	170.00	
	3	100.0	200.0	160.0	140.0	100.0	220.0	260.0	100.0	140.0	260.0	168.00	
Average		113.33	200.00	160.00	126.67	106.67	226.67	253.33	100.00	146.67	266.67	$\bar{X}_d$ =	170.00
Range		40.00	0.00	0.00	40.00	20.00	20.00	20.00	0.00	20.00	20.00	$\bar{R}_d$ =	18.00
Part Average		**110.00**	**186.67**	**150.00**	**140.00**	**143.33**	**226.67**	**236.67**	**113.33**	**158.33**	**255.00**	$\bar{\bar{X}}$ =	172.00
												R_p =	145.00
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	23.50
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	35.33
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**60.63**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	23.50	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	145.00	No. of Trial	3
Position	F7	$\bar{X}_{diff}$ =	35.33	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation	
Repeatability - Equipment variation (EV)					
$EV = K_1 \times \bar{R}$				%EV = 100[EV/TV]	
= 3.05 x 23.50	K_1	Trials		=	**27.74%**
= 71.68	4.56	2		%Tolerance =	17.92%
	3.05	3			
Reproducibility - Appraiser variation (AV)					
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2 / (nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]	
= 80.21	K_2	OP		=	**31.04%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance =	20.05%
	2.30	4			
Repeatability & Reproducibility (GR&R)					
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]	
= 107.57				=	**41.63%**
				% Tolerance =	26.89%
Part variation					
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]	
= 234.90	K_3	Parts		=	**90.92%**
	1.62	10		% Tolerance =	58.73%
Total variation (TV)					
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$					
= 258.36					

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F8	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	140.0	180.0	200.0	160.0	160.0	260.0	280.0	260.0	200.0	300.0	214.00	
	2	160.0	140.0	200.0	200.0	160.0	300.0	260.0	260.0	200.0	300.0	218.00	
	3	140.0	140.0	200.0	160.0	160.0	300.0	280.0	260.0	200.0	300.0	214.00	
Average		146.67	153.33	200.00	173.33	160.00	286.67	273.33	260.00	200.00	300.00	$\bar{X}_a$ =	215.33
Range		20.00	40.00	0.00	40.00	0.00	40.00	20.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	16.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	180.0	200.0	200.0	160.0	140.0	300.0	300.0	280.0	200.0	300.0	226.00	
	2	200.0	180.0	200.0	160.0	160.0	280.0	300.0	280.0	200.0	280.0	224.00	
	3	200.0	160.0	200.0	160.0	160.0	280.0	300.0	280.0	200.0	300.0	224.00	
Average		193.33	180.00	200.00	160.00	153.33	286.67	300.00	280.00	200.00	280.00	$\bar{X}_b$ =	223.33
Range		20.00	40.00	0.00	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	$\bar{R}_b$ =	12.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	200.0	160.0	200.0	140.0	160.0	300.0	260.0	240.0	200.0	260.0	212.00	
	2	200.0	140.0	240.0	120.0	200.0	300.0	240.0	240.0	200.0	260.0	214.00	
	3	200.0	140.0	240.0	120.0	200.0	300.0	240.0	240.0	200.0	260.0	214.00	
Average		200.00	146.67	226.67	126.67	186.67	300.00	246.67	240.00	200.00	260.00	$\bar{X}_c$ =	213.33
Range		0.00	20.00	40.00	20.00	40.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	14.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	180.0	140.0	240.0	140.0	160.0	280.0	300.0	240.0	200.0	240.0	212.00	
	2	140.0	160.0	220.0	160.0	140.0	300.0	300.0	240.0	200.0	280.0	214.00	
	3	180.0	140.0	200.0	120.0	140.0	300.0	300.0	240.0	200.0	260.0	208.00	
Average		166.67	146.67	220.00	140.00	146.67	293.33	300.00	240.00	200.00	260.00	$\bar{X}_d$ =	211.33
Range		40.00	20.00	40.00	40.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	40.00	$\bar{R}_d$ =	22.00
Part Average		**176.67**	**156.67**	**211.67**	**150.00**	**161.67**	**291.67**	**280.00**	**255.00**	**200.00**	**278.33**	$\bar{\bar{X}}$ =	216.17
												R_p =	141.67
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	16.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	12.00
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**41.28**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	16.00	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	141.67	No. of Trial	3
Position	F8	$\bar{X}_{diff}$ =	12.00	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation	
Repeatability - Equipment variation (EV)					
$EV = K_1 \times \bar{R}$				%EV = 100[EV/TV]	
= 3.05 x 16.00	K_1	Trials		=	**20.67%**
= 48.80	4.56	2		%Tolerance =	12.20%
	3.05	3			
Reproducibility - Appraiser variation (AV)					
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2 / (nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]	
= 26.12	K_2	OP		=	**11.07%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance =	6.53%
	2.30	4			
Repeatability & Reproducibility (GR&R)					
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]	
= 55.35				=	**23.45%**
				% Tolerance =	13.84%
Part variation					
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]	
= 229.50	K_3	Parts		=	**97.21%**
	1.62	10		% Tolerance =	57.38%
Total variation (TV)					
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$					
= 236.08					

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	135.0	LSL	80.0
Item check	G	Feature Tolerance		55.0		
Position	G1	Tool name		Tension gage - 15C620		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	115.0	130.0	135.0	100.0	125.0	125.0	125.0	125.0	100.0	135.0	121.50	
	2	115.0	125.0	125.0	100.0	125.0	125.0	125.0	125.0	100.0	135.0	120.00	
	3	115.0	125.0	135.0	100.0	125.0	120.0	100.0	120.0	90.0	125.0	115.50	
Average		115.00	126.67	131.67	100.00	125.00	123.33	116.67	123.33	96.67	131.67	$\bar{X}_a$ =	119.00
Range		0.00	5.00	10.00	0.00	0.00	5.00	25.00	5.00	10.00	10.00	$\bar{R}_a$ =	7.00
B	1	95.0	125.0	125.0	95.0	130.0	130.0	100.0	125.0	100.0	130.0	115.50	
	2	95.0	115.0	125.0	95.0	125.0	130.0	100.0	125.0	100.0	125.0	113.50	
	3	95.0	115.0	125.0	100.0	130.0	130.0	95.0	130.0	100.0	130.0	115.00	
Average		95.00	118.33	125.00	96.67	128.33	130.00	98.33	126.67	100.00	128.33	$\bar{X}_b$ =	114.67
Range		0.00	10.00	0.00	5.00	5.00	0.00	5.00	5.00	0.00	5.00	$\bar{R}_b$ =	3.50
C	1	100.0	115.0	135.0	95.0	130.0	130.0	100.0	125.0	90.0	130.0	115.00	
	2	95.0	115.0	135.0	95.0	120.0	130.0	100.0	135.0	100.0	135.0	116.00	
	3	95.0	115.0	125.0	95.0	130.0	130.0	95.0	125.0	100.0	130.0	114.00	
Average		96.67	115.00	131.67	95.00	126.67	130.00	98.33	128.33	96.67	131.67	$\bar{X}_c$ =	115.00
Range		5.00	0.00	10.00	0.00	10.00	0.00	5.00	10.00	10.00	5.00	$\bar{R}_c$ =	5.50
D	1	90.0	125.0	125.0	95.0	120.0	115.0	95.0	115.0	90.0	120.0	109.00	
	2	95.0	125.0	120.0	95.0	120.0	120.0	100.0	115.0	95.0	125.0	111.00	
	3	95.0	125.0	125.0	100.0	120.0	120.0	95.0	125.0	90.0	125.0	112.00	
Average		93.33	125.00	123.33	96.67	120.00	118.33	96.67	118.33	91.67	123.33	$\bar{X}_d$ =	110.67
Range		5.00	0.00	5.00	5.00	0.00	5.00	5.00	10.00	5.00	5.00	$\bar{R}_d$ =	4.50
Part Average		**100.00**	**121.25**	**127.92**	**97.08**	**125.00**	**125.42**	**102.50**	**124.17**	**96.25**	**128.75**	$\bar{\bar{X}}$ =	114.83
												R_p =	32.50
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =				4		]						$\bar{\bar{R}}$ =	5.13
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	8.33
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**13.22**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	5.13	No. of OP	4
Item check	G	R_p =	32.50	No. of Trial	3
Position	G1	$\bar{X}_{diff}$ =	8.33	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{R}$				%EV = 100[EV/TV]
= 3.05 x 5.13	K_1	Trials		= **26.90%**
= 15.63	4.56	2	%Tolerance =	28.42%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 18.95	K_2	OP		= **32.62%**
n=part ,r=trials	3.65	2	% Tolerance =	34.46%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 24.57				= **42.28%**
			% Tolerance =	44.67%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 52.65	K_3	Parts		= **90.62%**
	1.62	10	% Tolerance =	95.73%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 58.10				

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	75.0	LSL	0.0
Item check	A	Feature Tolerance		75.0		
Position	A1	Tool name		Tension gage - 22A450		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	32.0	36.0	52.0	44.0	46.0	36.0	48.0	42.0	52.0	40.0	42.80	
	2	32.0	38.0	50.0	44.0	46.0	34.0	48.0	46.0	54.0	40.0	43.20	
	3	30.0	38.0	54.0	40.0	46.0	34.0	48.0	42.0	52.0	40.0	42.40	
Average		31.33	37.33	52.00	42.67	46.00	34.67	48.00	43.33	52.67	40.00	$\bar{X}_a$ =	42.80
Range		2.00	2.00	4.00	4.00	0.00	2.00	0.00	4.00	2.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	2.00
B	1	28.0	34.0	44.0	40.0	44.0	32.0	46.0	40.0	50.0	38.0	39.60	
	2	28.0	34.0	44.0	40.0	40.0	28.0	46.0	40.0	46.0	36.0	38.20	
	3	28.0	34.0	48.0	36.0	40.0	30.0	46.0	40.0	46.0	36.0	38.40	
Average		28.00	34.00	45.33	38.67	41.33	30.00	46.00	40.00	47.33	36.67	$\bar{X}_b$ =	38.73
Range		0.00	0.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	0.00	4.00	2.00	$\bar{R}_b$ =	2.20
C	1	30.0	32.0	46.0	40.0	42.0	30.0	44.0	40.0	42.0	36.0	38.20	
	2	30.0	32.0	48.0	40.0	42.0	30.0	48.0	40.0	46.0	36.0	39.20	
	3	28.0	30.0	44.0	40.0	40.0	30.0	48.0	40.0	46.0	36.0	38.20	
Average		29.33	31.33	46.00	40.00	41.33	30.00	46.67	40.00	44.67	36.00	$\bar{X}_c$ =	38.53
Range		2.00	2.00	4.00	0.00	2.00	0.00	4.00	0.00	4.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	1.80
D	1	36.0	38.0	52.0	42.0	40.0	34.0	46.0	50.0	54.0	40.0	43.20	
	2	36.0	36.0	52.0	40.0	40.0	36.0	46.0	46.0	54.0	40.0	42.60	
	3	32.0	40.0	54.0	40.0	40.0	36.0	46.0	50.0	52.0	40.0	43.00	
Average		34.67	38.00	52.67	40.67	40.00	35.33	46.00	48.67	53.33	40.00	$\bar{X}_d$ =	42.93
Range		4.00	4.00	2.00	2.00	0.00	2.00	0.00	4.00	2.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	2.00
Part Average		**30.83**	**35.17**	**49.00**	**40.50**	**42.17**	**32.50**	**46.67**	**43.00**	**49.50**	**38.17**	$\bar{\bar{X}}$ =	40.75
												R_p =	18.67
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =				4		]						$\bar{\bar{R}}$ =	2.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	4.40
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**5.16**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	2.00	No. of OP	4
Item check	A	R_p =	18.67	No. of Trial	3
Position	A1	$\bar{X}_{diff}$ =	4.40	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{R}$				%EV = 100[EV/TV]
= 3.05 x 2.00	K_1	Trials		= **18.80%**
= 6.10	4.56	2	%Tolerance =	8.13%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 10.06	K_2	OP		= **31.00%**
n=part ,r=trials	3.65	2	% Tolerance =	13.41%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 11.76				= **36.25%**
			% Tolerance =	15.68%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 30.24	K_3	Parts		= **93.20%**
	1.62	10	% Tolerance =	40.32%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 32.45				

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	75.0	LSL	0.0
Item check	A	Feature Tolerance		75.0		
Position	A2	Tool name		Tension gage - 22A450		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	32.0	40.0	54.0	42.0	42.0	40.0	42.0	46.0	54.0	42.0	43.40	
	2	32.0	42.0	54.0	42.0	46.0	40.0	42.0	42.0	54.0	40.0	43.40	
	3	32.0	44.0	48.0	42.0	44.0	38.0	42.0	46.0	50.0	44.0	43.00	
Average		32.00	42.00	52.00	42.00	44.00	39.33	42.00	44.67	52.67	42.00	$\overline{X}_a$ =	43.27
Range		0.00	4.00	6.00	0.00	4.00	2.00	0.00	4.00	4.00	4.00	$\overline{R}_a$ =	2.80
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	26.0	38.0	44.0	40.0	40.0	32.0	44.0	40.0	50.0	40.0	39.40	
	2	26.0	34.0	46.0	38.0	46.0	32.0	42.0	40.0	44.0	40.0	38.80	
	3	26.0	34.0	42.0	38.0	40.0	34.0	44.0	40.0	50.0	40.0	38.80	
Average		26.00	35.33	44.00	38.67	42.00	32.67	43.33	40.00	48.00	40.00	$\overline{X}_b$ =	39.00
Range		0.00	4.00	4.00	2.00	6.00	2.00	2.00	0.00	6.00	0.00	$\overline{R}_b$ =	2.60
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	26.0	32.0	48.0	42.0	42.0	32.0	42.0	42.0	50.0	40.0	39.60	
	2	28.0	38.0	46.0	42.0	42.0	32.0	42.0	44.0	46.0	40.0	40.00	
	3	26.0	38.0	46.0	40.0	44.0	32.0	44.0	40.0	52.0	38.0	40.00	
Average		26.67	36.00	46.67	41.33	42.67	32.00	42.67	42.00	49.33	39.33	$\overline{X}_c$ =	39.87
Range		2.00	6.00	2.00	2.00	2.00	0.00	2.00	4.00	6.00	2.00	$\overline{R}_c$ =	2.80
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	32.0	40.0	52.0	44.0	40.0	38.0	42.0	44.0	52.0	38.0	42.20	
	2	30.0	40.0	52.0	44.0	40.0	38.0	42.0	44.0	54.0	38.0	42.20	
	3	30.0	44.0	54.0	40.0	40.0	36.0	40.0	44.0	52.0	40.0	42.00	
Average		30.67	41.33	52.67	42.67	40.00	37.33	41.33	44.00	52.67	38.67	$\overline{X}_d$ =	42.13
Range		2.00	4.00	2.00	4.00	0.00	2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	$\overline{R}_d$ =	2.00
Part Average		**28.83**	**38.67**	**48.83**	**41.17**	**42.17**	**35.33**	**42.33**	**42.67**	**50.67**	**40.00**	$\overline{\overline{X}}$ =	41.07
												R_p =	21.83
([$\overline{R}_a$]+[$\overline{R}_b$]+[$\overline{R}_c$]+[$\overline{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\overline{\overline{R}}$ =	2.55
[Max $\overline{X}$] - [Min $\overline{X}$] =												$\overline{X}_{diff}$ =	4.27
[$\overline{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**6.58**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{\overline{R}}$ =	2.55	No. of OP	4
Item check	A	R_p =	21.83	No. of Trial	3
Position	A2	$\overline{X}_{diff}$ =	4.27	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{R}$				
= 3.05 x 2.55	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 7.78	4.56	2		= **20.74%**
	3.05	3		%Tolerance = 10.37%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 9.71	K_2	OP		= **25.90%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 12.95%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 12.44				= **33.18%**
				% Tolerance = 16.59%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 35.37	K_3	Parts		= **94.33%**
	1.62	10		% Tolerance = 47.16%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 37.49				

Judge GR&R
Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	12	LSL	3
Item check	MT	Feature Tolerance		9		
Position	MT1	Tool name		Torque meter - 2512E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	4.5	6.0	6.0	4.0	4.5	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.40	
	2	4.0	6.0	5.5	4.0	5.0	6.0	5.0	6.0	6.5	3.5	5.15	
	3	4.0	5.5	5.0	4.5	5.5	7.0	5.5	6.0	7.0	4.5	5.45	
Average		4.17	5.83	5.50	4.17	5.00	6.67	5.17	6.17	6.83	3.83	$\overline{X}_a$ =	5.33
Range		0.50	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	$\overline{R}_a$ =	0.70
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	3.0	5.5	5.0	3.5	5.0	6.5	6.0	5.0	6.0	4.0	4.95	
	2	3.5	6.0	5.0	3.0	5.0	6.5	6.0	6.0	6.0	4.0	5.10	
	3	3.0	5.5	5.0	3.5	5.0	6.0	5.0	6.0	6.0	4.0	4.90	
Average		3.17	5.67	5.00	3.33	5.00	6.33	5.67	5.67	6.00	4.00	$\overline{X}_b$ =	4.98
Range		0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	1.00	1.00	0.00	0.00	$\overline{R}_b$ =	0.40
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	4.0	5.5	6.0	3.5	5.0	7.0	5.0	5.0	6.0	4.0	5.10	
	2	4.0	4.5	6.0	4.0	4.5	6.5	5.0	5.0	6.0	4.0	4.95	
	3	3.0	5.5	5.5	3.0	5.5	6.0	5.0	5.5	7.0	3.5	4.95	
Average		3.67	5.17	5.83	3.50	5.00	6.50	5.00	5.17	6.33	3.83	$\overline{X}_c$ =	5.00
Range		1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00	0.00	0.50	1.00	0.50	$\overline{R}_c$ =	0.75
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	3.0	4.0	5.0	3.0	4.5	5.5	5.0	5.0	6.5	3.0	4.45	
	2	3.0	3.5	5.0	3.5	5.0	6.0	5.5	5.0	6.5	3.5	4.65	
	3	3.0	4.0	5.0	3.0	5.0	5.5	5.0	5.5	6.5	3.0	4.55	
Average		3.00	3.83	5.00	3.17	4.83	5.67	5.17	5.17	6.50	3.17	$\overline{X}_d$ =	4.55
Range		0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	$\overline{R}_d$ =	0.35
Part Average		**3.50**	**5.13**	**5.33**	**3.54**	**4.96**	**6.29**	**5.25**	**5.54**	**6.42**	**3.71**	$\overline{\overline{X}}$ =	4.97
												R_p =	2.92
([$\overline{R}_a$]+[$\overline{R}_b$]+[$\overline{R}_c$]+[$\overline{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\overline{\overline{R}}$ =	0.55
[Max $\overline{X}$] - [Min $\overline{X}$] =												$\overline{X}_{diff}$ =	0.78
[$\overline{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**1.42**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\overline{\overline{R}}$ =	0.55	No. of OP	4
Item check	MT	R_p =	2.92	No. of Trial	3
Position	MT1	$\overline{X}_{diff}$ =	0.78	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \overline{R}$				
= 3.05 x 0.55	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 1.68	4.56	2		= **31.54%**
	3.05	3		%Tolerance = 18.64%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 1.78	K_2	OP		= **33.38%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 19.73%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 2.44				= **45.92%**
				% Tolerance = 27.14%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 4.73	K_3	Parts		= **88.83%**
	1.62	10		% Tolerance = 52.50%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 5.32				

Judge GR&R
Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	12	LSL	3
Item check	MT	Feature Tolerance		9		
Position	MT2	Tool name		Torque meter - 2512E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	3.0	5.0	5.0	4.0	4.5	6.5	5.0	6.5	4.5	3.0	4.70	
	2	3.5	6.0	5.5	3.5	5.0	6.5	5.0	6.5	5.0	3.0	4.95	
	3	3.0	5.5	5.0	4.0	5.5	7.0	5.5	6.0	5.0	3.5	5.00	
Average		3.17	5.50	5.17	3.83	5.00	6.67	5.17	6.33	4.83	3.17	$\bar{X}_a$ =	4.88
Range		0.50	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	$\bar{R}_a$ =	0.60
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	3.5	5.0	5.0	4.0	5.0	7.0	6.0	7.0	6.0	4.5	5.30	
	2	3.5	5.0	6.0	4.0	5.0	6.5	6.0	6.5	5.5	4.0	5.20	
	3	3.0	5.5	5.0	3.5	5.0	7.0	5.0	7.0	6.0	4.0	5.10	
Average		3.33	5.17	5.33	3.83	5.00	6.83	5.67	6.83	5.83	4.17	$\bar{X}_b$ =	5.20
Range		0.50	0.50	1.00	0.50	0.00	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	$\bar{R}_b$ =	0.55
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	3.0	5.0	5.0	3.0	4.0	5.0	4.5	5.0	5.0	3.0	4.25	
	2	3.5	4.0	4.5	3.0	4.5	6.0	4.5	5.0	4.5	3.5	4.30	
	3	3.0	5.5	5.5	3.0	5.5	5.0	5.0	5.5	3.0	3.0	4.40	
Average		3.17	4.83	5.00	3.00	4.67	5.33	4.67	5.17	4.17	3.17	$\bar{X}_c$ =	4.32
Range		0.50	1.50	1.00	0.00	1.50	1.00	0.50	0.50	2.00	0.50	$\bar{R}_c$ =	0.90
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	3.5	4.5	4.5	3.5	4.5	6.0	5.0	6.0	5.5	4.0	4.70	
	2	3.5	4.5	5.0	3.5	5.0	6.5	5.0	5.5	5.0	4.0	4.75	
	3	3.0	4.0	5.0	4.0	5.0	6.0	5.0	5.5	6.5	4.0	4.80	
Average		3.33	4.33	4.83	3.67	4.83	6.17	5.00	5.67	5.67	4.00	$\bar{X}_d$ =	4.75
Range		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	1.50	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.50
Part Average		**3.25**	**4.96**	**5.08**	**3.58**	**4.88**	**6.25**	**5.13**	**6.00**	**5.13**	**3.63**	$\bar{\bar{X}}$ =	4.79
												R_p =	3.00
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ =	0.64
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\overline{X}_{diff}$ =	0.88
[$\bar{R}$] x [D4] =							D_4 = 2.58 when trials = 3					UCL_R	**1.64**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.64	No. of OP	4
Item check	MT	R_p =	3.00	No. of Trial	3
Position	MT2	$\overline{X}_{diff}$ =	0.88	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.64	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 1.94	4.56	2		= **34.70%**
	3.05	3		%Tolerance = 21.60%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\overline{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2 / (nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 2.00	K_2	OP		= **35.70%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 22.23%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 2.79				= **49.78%**
				% Tolerance = 31.00%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 4.86	K_3	Parts		= **86.73%**
	1.62	10		% Tolerance = 54.00%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$				
= 5.60				

Judge GR&R
Not Acceptable

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	700.0	LSL	75.0
Item check	S	Feature Tolerance		625.0		
Position	S1	Tool name		Tension gage - 11E529		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	400.0	250.0	275.0	150.0	475.0	400.0	450.0	200.0	400.0	425.0	342.50
	2	400.0	300.0	250.0	200.0	425.0	400.0	425.0	200.0	400.0	450.0	345.00
	3	400.0	250.0	225.0	150.0	450.0	400.0	400.0	150.0	400.0	450.0	327.50
Average		400.00	266.67	250.00	166.67	450.00	400.00	425.00	183.33	400.00	441.67	$\bar{X}_a$ = 338.33
Range		0.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00	50.00	50.00	0.00	25.00	$\bar{R}_a$ = 32.50
B	1	300.0	325.0	225.0	125.0	400.0	400.0	400.0	200.0	300.0	450.0	312.50
	2	325.0	300.0	200.0	150.0	375.0	325.0	450.0	200.0	350.0	425.0	310.00
	3	350.0	350.0	225.0	200.0	400.0	325.0	425.0	150.0	325.0	425.0	317.50
Average		325.00	325.00	216.67	158.33	391.67	350.00	425.00	183.33	325.00	433.33	$\bar{X}_b$ = 313.33
Range		50.00	50.00	25.00	75.00	25.00	75.00	50.00	50.00	50.00	25.00	$\bar{R}_b$ = 47.50
C	1	300.0	250.0	200.0	150.0	300.0	350.0	350.0	150.0	350.0	400.0	280.00
	2	275.0	325.0	200.0	200.0	300.0	325.0	350.0	200.0	275.0	400.0	285.00
	3	275.0	250.0	225.0	125.0	300.0	375.0	350.0	200.0	275.0	400.0	277.50
Average		283.33	275.00	208.33	158.33	300.00	350.00	350.00	183.33	300.00	400.00	$\bar{X}_c$ = 280.83
Range		25.00	75.00	25.00	75.00	0.00	50.00	0.00	50.00	75.00	0.00	$\bar{R}_c$ = 37.50
D	1	375.0	275.0	225.0	200.0	450.0	375.0	450.0	150.0	400.0	425.0	332.50
	2	400.0	250.0	200.0	200.0	450.0	375.0	425.0	150.0	375.0	425.0	325.00
	3	400.0	250.0	225.0	200.0	450.0	375.0	400.0	200.0	400.0	425.0	332.50
Average		391.67	258.33	216.67	200.00	450.00	375.00	425.00	166.67	391.67	425.00	$\bar{X}_d$ = 330.00
Range		25.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	50.00	50.00	25.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 20.00
Part Average		**350.00**	**281.25**	**222.92**	**170.83**	**397.92**	**368.75**	**406.25**	**179.17**	**354.17**	**425.00**	$\bar{\bar{X}}$ = 315.63
												R_p = 254.17
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 34.38
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 57.50
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **88.69**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	34.38	No. of OP	4
Item check	S	R_p =	254.17	No. of Trial	3
Position	S1	$\bar{X}_{diff}$ =	57.50	No. of Sample	10

Measurement unit analysis			% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$			
= 3.05 x 34.38	K_1	Trials	%EV = 100[EV/TV]
= 104.84	4.56	2	= **23.58%**
	3.05	3	%Tolerance = 16.78%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$			
= 130.86	K_2	OP	%AV = 100[AV/TV]
n=part ,r=trials	3.65	2	= **29.43%**
	2.30	4	% Tolerance = 20.94%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$			%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 167.68			= **37.72%**
			% Tolerance = 26.83%
Part variation $PV = R_p \times K_3$			%PV = 100[PV/TV]
= 411.75	K_3	Parts	= 92.61%
	1.62	10	% Tolerance = 65.88%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$			
= 444.58			

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	700.0	LSL	75.0
Item check	S	Feature Tolerance		625.0		
Position	S2	Tool name		Tension gage - 11E529		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	400.0	225.0	350.0	150.0	375.0	350.0	400.0	250.0	375.0	450.0	332.50
	2	400.0	300.0	375.0	150.0	400.0	350.0	400.0	200.0	375.0	450.0	340.00
	3	400.0	250.0	300.0	150.0	325.0	350.0	425.0	150.0	375.0	425.0	315.00
Average		400.00	258.33	341.67	150.00	366.67	350.00	408.33	200.00	375.00	441.67	$\bar{X}_a$ = 329.17
Range		0.00	75.00	75.00	0.00	75.00	0.00	25.00	100.00	0.00	25.00	$\bar{R}_a$ = 37.50
B	1	400.0	275.0	300.0	200.0	300.0	375.0	400.0	200.0	375.0	400.0	322.50
	2	400.0	300.0	300.0	200.0	350.0	300.0	450.0	200.0	325.0	400.0	322.50
	3	375.0	275.0	225.0	150.0	350.0	375.0	425.0	150.0	400.0	450.0	317.50
Average		391.67	283.33	275.00	183.33	333.33	350.00	425.00	183.33	366.67	416.67	$\bar{X}_b$ = 320.83
Range		25.00	25.00	75.00	50.00	50.00	75.00	50.00	50.00	75.00	50.00	$\bar{R}_b$ = 52.50
C	1	350.0	275.0	275.0	150.0	325.0	300.0	350.0	150.0	250.0	400.0	282.50
	2	350.0	275.0	275.0	150.0	325.0	300.0	350.0	150.0	250.0	400.0	282.50
	3	350.0	250.0	250.0	175.0	300.0	375.0	400.0	150.0	300.0	425.0	297.50
Average		350.00	266.67	266.67	158.33	316.67	325.00	366.67	150.00	266.67	408.33	$\bar{X}_c$ = 287.50
Range		0.00	25.00	25.00	25.00	25.00	75.00	50.00	0.00	50.00	25.00	$\bar{R}_c$ = 30.00
D	1	375.0	350.0	375.0	175.0	425.0	375.0	400.0	200.0	350.0	425.0	345.00
	2	325.0	250.0	325.0	175.0	400.0	425.0	400.0	250.0	375.0	450.0	337.50
	3	400.0	250.0	300.0	175.0	325.0	375.0	400.0	150.0	400.0	375.0	315.00
Average		366.67	283.33	333.33	175.00	383.33	391.67	400.00	200.00	375.00	416.67	$\bar{X}_d$ = 332.50
Range		75.00	100.00	75.00	0.00	100.00	50.00	0.00	100.00	50.00	75.00	$\bar{R}_d$ = 62.50
Part Average		**377.08**	**272.92**	**304.17**	**166.67**	**350.00**	**354.17**	**400.00**	**183.33**	**345.83**	**420.83**	$\bar{\bar{X}}$ = 317.50
												R_p = 254.17
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 45.63
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 45.00
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **117.71**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	45.63	No. of OP	4
Item check	S	R_p =	254.17	No. of Trial	3
Position	S2	$\bar{X}_{diff}$ =	45.00	No. of Sample	10

Measurement unit analysis			% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$			
= 3.05 x 45.63	K_1	Trials	%EV = 100[EV/TV]
= 139.16	4.56	2	= **31.20%**
	3.05	3	%Tolerance = 22.27%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$			
= 100.33	K_2	OP	%AV = 100[AV/TV]
n=part ,r=trials	3.65	2	= **22.49%**
	2.30	4	% Tolerance = 16.05%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$			%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 171.56			= **38.46%**
			% Tolerance = 27.45%
Part variation $PV = R_p \times K_3$			%PV = 100[PV/TV]
= 411.75	K_3	Parts	= 92.31%
	1.62	10	% Tolerance = 65.88%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$			
= 446.06			

Judge GR&R

Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	700.0	LSL	75.0
Item check	S	Feature Tolerance		625.0		
Position	S3	Tool name		Tension gage - 11E529		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	350.0	250.0	350.0	200.0	375.0	350.0	450.0	200.0	375.0	450.0	335.00
	2	350.0	200.0	400.0	200.0	400.0	350.0	450.0	200.0	350.0	450.0	335.00
	3	400.0	250.0	400.0	200.0	400.0	350.0	425.0	200.0	350.0	450.0	342.50
Average		366.67	233.33	383.33	200.00	391.67	350.00	441.67	200.00	358.33	450.00	$\bar{X}_a$ = 337.50
Range		50.00	50.00	50.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	$\bar{R}_a$ = 22.50
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	400.0	275.0	300.0	175.0	300.0	325.0	400.0	200.0	300.0	400.0	307.50
	2	400.0	300.0	300.0	175.0	350.0	300.0	450.0	200.0	325.0	400.0	320.00
	3	375.0	275.0	350.0	150.0	350.0	350.0	425.0	150.0	350.0	425.0	320.00
Average		391.67	283.33	316.67	166.67	333.33	325.00	425.00	183.33	325.00	408.33	$\bar{X}_b$ = 315.83
Range		25.00	25.00	50.00	25.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	25.00	$\bar{R}_b$ = 40.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	350.00	275.00	275.00	175.00	325.00	300.00	350.00	150.00	250.00	400.00	285.00
	2	350.00	275.00	275.00	175.00	325.00	300.00	350.00	150.00	250.00	400.00	285.00
	3	350.00	250.00	250.00	175.00	300.00	300.00	400.00	150.00	300.00	400.00	287.50
Average		350.00	266.67	266.67	175.00	316.67	300.00	366.67	150.00	266.67	400.00	$\bar{X}_c$ = 285.83
Range		0.00	25.00	25.00	0.00	25.00	0.00	50.00	0.00	50.00	0.00	$\bar{R}_c$ = 17.50
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	425.00	325.00	400.00	175.00	425.00	375.00	450.00	200.00	350.00	425.00	355.00
	2	425.00	275.00	400.00	175.00	400.00	400.00	450.00	250.00	375.00	450.00	360.00
	3	425.00	275.00	400.00	175.00	400.00	375.00	450.00	200.00	350.00	450.00	350.00
Average		425.00	291.67	400.00	175.00	408.33	383.33	450.00	216.67	358.33	441.67	$\bar{X}_d$ = 355.00
Range		0.00	50.00	0.00	0.00	25.00	25.00	0.00	50.00	25.00	25.00	$\bar{R}_d$ = 20.00
Part Average		**383.33**	**268.75**	**341.67**	**179.17**	**362.50**	**339.58**	**420.83**	**187.50**	**327.08**	**425.00**	$\bar{\bar{X}}$ = 323.54
												R_p = 245.83
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 25.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 69.17
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **64.50**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	25.00	No. of OP	4
Item check	S	R_p =	245.83	No. of Trial	3
Position	S3	$\bar{X}_{diff}$ =	69.17	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation	
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$					
= 3.05 x 25.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]	
= 76.25	4.56	2		=	**17.51%**
	3.05	3		%Tolerance =	12.20%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]	
= 158.47	K_2	OP		=	**36.40%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance =	25.36%
	2.30	4			
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]	
= 175.86				=	**40.40%**
				% Tolerance =	28.14%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]	
= 398.25	K_3	Parts		=	**91.48%**
	1.62	10		% Tolerance =	63.72%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$					
= 435.35					

Judge GR&R
Not Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	700.0	LSL	75.0
Item check	S	Feature Tolerance		625.0		
Position	S4	Tool name		Tension gage - 11E529		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	450.0	350.0	350.0	125.0	325.0	125.0	450.0	250.0	375.0	450.0	325.00
	2	475.0	375.0	350.0	125.0	350.0	125.0	400.0	250.0	350.0	450.0	325.00
	3	400.0	350.0	350.0	150.0	325.0	150.0	425.0	175.0	375.0	425.0	312.50
Average		441.67	358.33	350.00	133.33	333.33	133.33	425.00	225.00	366.67	441.67	$\bar{X}_a$ = 320.83
Range		75.00	25.00	0.00	25.00	25.00	25.00	50.00	75.00	25.00	25.00	$\bar{R}_a$ = 35.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	375.0	275.0	275.0	150.0	300.0	150.0	350.0	175.0	325.0	475.0	285.00
	2	375.0	250.0	275.0	150.0	250.0	150.0	350.0	175.0	350.0	475.0	280.00
	3	375.0	250.0	250.0	150.0	350.0	175.0	425.0	150.0	300.0	425.0	285.00
Average		375.00	258.33	266.67	150.00	300.00	158.33	375.00	166.67	325.00	458.33	$\bar{X}_b$ = 283.33
Range		0.00	25.00	25.00	0.00	100.00	25.00	75.00	25.00	50.00	50.00	$\bar{R}_b$ = 37.50
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	400.0	250.0	275.0	150.0	300.0	150.0	350.0	250.0	300.0	400.0	282.50
	2	400.0	300.0	275.0	150.0	300.0	150.0	350.0	250.0	350.0	400.0	292.50
	3	400.0	250.0	275.0	125.0	300.0	125.0	425.0	150.0	300.0	425.0	277.50
Average		400.00	266.67	275.00	141.67	300.00	141.67	375.00	216.67	316.67	408.33	$\bar{X}_c$ = 284.17
Range		0.00	50.00	0.00	25.00	0.00	25.00	75.00	100.00	50.00	25.00	$\bar{R}_c$ = 35.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	450.0	375.0	375.0	175.0	350.0	200.0	400.0	225.0	350.0	450.0	335.00
	2	450.0	350.0	350.0	150.0	300.0	150.0	375.0	200.0	375.0	450.0	315.00
	3	400.0	350.0	375.0	125.0	325.0	175.0	450.0	275.0	300.0	475.0	325.00
Average		433.33	358.33	366.67	150.00	325.00	175.00	408.33	233.33	341.67	458.33	$\bar{X}_d$ = 325.00
Range		50.00	25.00	25.00	50.00	50.00	50.00	75.00	75.00	75.00	25.00	$\bar{R}_d$ = 50.00
Part Average		**412.50**	**310.42**	**314.58**	**143.75**	**314.58**	**152.08**	**395.83**	**210.42**	**337.50**	**441.67**	$\bar{\bar{X}}$ = 303.33
												R_p = 297.92
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 39.38
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 41.67
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **101.59**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	39.38	No. of OP	4
Item check	S	R_p =	297.92	No. of Trial	3
Position	S4	$\bar{X}_{diff}$ =	41.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation	
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$					
= 3.05 x 39.38	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]	
= 120.09	4.56	2		=	**23.73%**
	3.05	3		%Tolerance =	19.22%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]	
= 93.29	K_2	OP		=	**18.44%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance =	14.93%
	2.30	4			
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]	
= 152.07				=	**30.05%**
				% Tolerance =	24.33%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]	
= 482.63	K_3	Parts		=	**95.38%**
	1.62	10		% Tolerance =	77.22%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$					
= 506.02					

Judge GR&R
Not Acceptable

ภาคผนวก ค

ผลการประเมินค่า %GR&R หลังปรับปรุงครั้งที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance		3.5		
Position	Z1	Tool name		Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	2.0	1.2	1.8	2.0	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.10
	2	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.12
	3	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.12
Average		2.00	1.20	1.80	2.13	3.00	1.60	1.80	3.00	1.80	2.80	$\bar{X}_a$ = 2.11
Range		0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ = 0.02
B	1	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	2.0	2.8	1.8	2.8	2.12
	2	2.0	1.4	1.8	2.2	3.2	1.6	1.8	3.0	2.0	2.8	2.18
	3	2.0	1.2	1.6	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.10
Average		2.00	1.27	1.73	2.20	3.07	1.60	1.87	2.93	1.87	2.80	$\bar{X}_b$ = 2.13
Range		0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	$\bar{R}_b$ = 0.12
C	1	2.0	1.4	1.8	2.0	3.0	1.6	1.8	3.2	1.8	3.0	2.16
	2	2.0	1.4	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.2	1.8	2.8	2.16
	3	2.0	1.2	1.6	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.10
Average		2.00	1.33	1.73	2.13	3.00	1.60	1.80	3.13	1.80	2.87	$\bar{X}_c$ = 2.14
Range		0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ = 0.10
D	1	2.0	1.4	1.8	2.4	3.2	1.6	2.0	3.2	1.8	2.8	2.22
	2	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.12
	3	2.0	1.2	1.8	2.2	3.0	1.6	1.8	3.0	1.8	2.8	2.12
Average		2.00	1.27	1.80	2.27	3.07	1.60	1.87	3.07	1.80	2.80	$\bar{X}_d$ = 2.15
Range		0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 0.10
Part Average		**2.00**	**1.27**	**1.77**	**2.18**	**3.03**	**1.60**	**1.83**	**3.03**	**1.82**	**2.82**	$\bar{\bar{X}}$ = 2.14
												R_p = 1.77
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ = 0.09
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.04
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **0.22**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.09	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.77	No. of Trial	3
Position	Z1	$\bar{X}_{diff}$ =	0.04	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.09	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.26	4.56	2		= **9.02%**
	3.05	3		%Tolerance = 7.41%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.08	K_2	OP		= **2.74%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 2.25%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.27				= **9.43%**
				% Tolerance = 7.74%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 2.86	K_3	Parts		= 99.55%
	1.62	10		% Tolerance = 81.77%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$				
= 2.87				

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance		3.5		
Position	Z2	Tool name		Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.4	2.0	3.0	1.8	3.0	2.36
	2	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	3.0	1.8	3.0	2.38
	3	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	2.8	2.0	3.0	2.38
Average		2.40	2.00	2.20	2.80	3.00	1.53	2.00	2.93	1.87	3.00	$\bar{X}_a$ = 2.37
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	$\bar{R}_a$ = 0.06
B	1	2.2	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	2.8	1.8	3.2	2.36
	2	2.4	2.0	2.0	2.8	3.0	1.6	2.2	3.0	1.8	3.0	2.38
	3	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.2	2.8	1.8	3.2	2.40
Average		2.33	2.00	2.13	2.80	3.00	1.60	2.13	2.87	1.80	3.13	$\bar{X}_b$ = 2.38
Range		0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	$\bar{R}_b$ = 0.10
C	1	2.4	2.0	2.2	2.6	3.0	1.6	2.2	3.0	1.8	3.2	2.40
	2	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.2	3.0	1.8	3.2	2.42
	3	2.0	2.0	2.2	2.8	3.2	1.6	2.0	3.0	1.8	3.0	2.36
Average		2.27	2.00	2.20	2.73	3.07	1.60	2.13	3.00	1.80	3.13	$\bar{X}_c$ = 2.39
Range		0.40	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ = 0.12
D	1	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	3.0	2.0	3.2	2.42
	2	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.8	2.0	3.0	1.8	3.0	2.40
	3	2.4	2.0	2.2	2.8	3.0	1.6	2.0	3.0	1.8	3.2	2.40
Average		2.40	2.00	2.20	2.80	3.00	1.67	2.00	3.00	1.87	3.13	$\bar{X}_d$ = 2.41
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.20	0.20	$\bar{R}_d$ = 0.06
Part Average		**2.35**	**2.00**	**2.18**	**2.78**	**3.02**	**1.60**	**2.07**	**2.95**	**1.83**	**3.10**	$\bar{\bar{X}}$ = 2.39
												R_p = 1.50
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ = 0.09
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.03
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **0.22**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.09	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.50	No. of Trial	3
Position	Z2	$\bar{X}_{diff}$ =	0.03	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.09	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.26	4.56	2		= **10.61%**
	3.05	3		%Tolerance = 7.41%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.06	K_2	OP		= **2.47%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 1.72%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.27				= **10.89%**
				% Tolerance = 7.60%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 2.43	K_3	Parts		= 99.41%
	1.62	10		% Tolerance = 69.43%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$				
= 2.44				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance		3.5		
Position	Z3	Tool name		Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	1.4	1.2	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.4	1.4	2.2	1.52
	2	1.4	1.0	1.2	1.4	1.4	1.0	2.4	1.4	1.4	2.2	1.48
	3	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52
Average		1.40	1.07	1.20	1.53	1.40	1.00	2.40	1.47	1.40	2.20	$\bar{X}_a$ = 1.51
Range		0.00	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ = 0.06
B	1	1.6	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.54
	2	1.4	1.0	1.2	1.4	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.50
	3	1.4	1.0	1.0	1.4	1.6	1.2	2.2	1.6	1.4	2.0	1.48
Average		1.47	1.00	1.13	1.47	1.47	1.07	2.33	1.60	1.80	2.13	$\bar{X}_b$ = 1.55
Range		0.20	0.00	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_b$ = 0.14
C	1	1.4	1.0	1.2	1.4	1.6	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52
	2	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.0	1.50
	3	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52
Average		1.40	1.00	1.20	1.53	1.47	1.00	2.40	1.60	1.40	2.13	$\bar{X}_c$ = 1.51
Range		0.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_c$ = 0.06
D	1	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52
	2	1.4	1.0	1.2	1.4	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.50
	3	1.4	1.0	1.2	1.6	1.4	1.0	2.4	1.6	1.4	2.2	1.52
Average		1.40	1.00	1.20	1.53	1.40	1.00	2.40	1.60	1.40	2.20	$\bar{X}_d$ = 1.51
Range		0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 0.02
Part Average		**1.42**	**1.02**	**1.18**	**1.52**	**1.43**	**1.02**	**2.38**	**1.57**	**1.40**	**2.17**	$\bar{\bar{X}}$ = 1.51
												R_p = 1.37
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{R}$ = 0.07
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.04
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **0.18**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.07	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.37	No. of Trial	3
Position	Z3	$\bar{X}_{diff}$ =	0.04	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				%EV = 100[EV/TV]
= 3.05 x 0.07	K_1	Trials		= **9.59%**
= 0.21	4.56	2		%Tolerance = 6.10%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.08	K_2	OP		= **3.74%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 2.38%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.23				= **10.30%**
				% Tolerance = 6.55%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 2.21	K_3	Parts		= 99.47%
	1.62	10		% Tolerance = 63.26%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 2.23				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	3.8	LSL	0.3
Item check	Z	Feature Tolerance		3.5		
Position	Z4	Tool name		Torque meter - 5017E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.00
	2	1.6	1.6	2.0	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.02
	3	1.4	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.4	1.96
Average		1.53	1.60	1.87	1.60	2.20	2.00	2.60	2.00	2.00	2.53	$\bar{X}_a$ = 1.99
Range		0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	$\bar{R}_a$ = 0.06
B	1	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	2.6	1.98
	2	1.6	1.6	1.8	1.6	2.0	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	1.98
	3	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.2	2.0	2.6	2.02
Average		1.60	1.60	1.80	1.60	2.13	2.00	2.53	2.07	1.80	2.60	$\bar{X}_b$ = 1.97
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ = 0.06
C	1	1.6	1.6	2.0	1.4	2.2	1.8	2.6	2.0	2.0	2.6	1.98
	2	1.6	1.8	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.02
	3	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.6	2.0	2.0	2.6	2.00
Average		1.60	1.67	1.87	1.53	2.20	1.93	2.60	2.00	2.00	2.60	$\bar{X}_c$ = 2.00
Range		0.00	0.20	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ = 0.08
D	1	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	2.6	1.98
	2	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	2.6	1.98
	3	1.6	1.6	1.8	1.6	2.2	2.0	2.4	2.0	2.0	2.6	1.98
Average		1.60	1.60	1.80	1.60	2.20	2.00	2.40	2.00	2.00	2.60	$\bar{X}_d$ = 1.98
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 0.00
Part Average		**1.58**	**1.62**	**1.83**	**1.58**	**2.18**	**1.98**	**2.53**	**2.02**	**2.00**	**2.58**	$\bar{\bar{X}}$ = 1.99
												R_p = 1.00
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{R}$ = 0.05
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.03
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **0.13**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.05	No. of OP	4
Item check	Z	R_p =	1.00	No. of Trial	3
Position	Z4	$\bar{X}_{diff}$ =	0.03	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				%EV = 100[EV/TV]
= 3.05 x 0.05	K_1	Trials		= **9.37%**
= 0.15	4.56	2		%Tolerance = 4.36%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.05	K_2	OP		= **3.36%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 1.56%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.16				= **9.95%**
				% Tolerance = 4.63%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 1.62	K_3	Parts		= 99.50%
	1.62	10		% Tolerance = 46.29%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 1.63				

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F1	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	200.0	200.0	240.0	180.0	180.0	200.0	180.0	160.0	240.0	260.0	204.00
	2	200.0	200.0	240.0	200.0	180.0	200.0	180.0	140.0	240.0	260.0	204.00
	3	180.0	200.0	240.0	180.0	180.0	200.0	180.0	140.0	240.0	260.0	200.00
Average		193.33	200.00	240.00	186.67	180.00	200.00	180.00	146.67	240.00	260.00	$\bar{X}_a$ = 202.67
Range		20.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ = 6.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	200.0	200.0	260.0	200.0	180.0	200.0	180.0	160.0	240.0	260.0	208.00
	2	200.0	200.0	260.0	180.0	180.0	200.0	180.0	160.0	240.0	260.0	206.00
	3	200.0	200.0	260.0	200.0	180.0	200.0	180.0	160.0	240.0	240.0	206.00
Average		200.00	200.00	260.00	193.33	180.00	200.00	180.00	160.00	240.00	253.33	$\bar{X}_b$ = 206.67
Range		0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	$\bar{R}_b$ = 4.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	200.0	200.0	260.0	200.0	180.0	200.0	160.0	140.0	240.0	260.0	204.00
	2	200.0	200.0	260.0	180.0	180.0	200.0	160.0	160.0	240.0	260.0	204.00
	3	200.0	200.0	260.0	180.0	180.0	200.0	160.0	160.0	240.0	260.0	204.00
Average		200.00	200.00	260.00	186.67	180.00	200.00	160.00	153.33	240.00	260.00	$\bar{X}_c$ = 204.00
Range		0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ = 4.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	200.0	200.0	260.0	200.0	180.0	200.0	180.0	160.0	240.0	260.0	208.00
	2	200.0	200.0	260.0	200.0	200.0	200.0	180.0	160.0	240.0	260.0	210.00
	3	200.0	200.0	260.0	200.0	180.0	200.0	180.0	160.0	240.0	260.0	208.00
Average		200.00	200.00	260.00	200.00	186.67	200.00	180.00	160.00	240.00	260.00	$\bar{X}_d$ = 208.67
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 2.00
Part Average		**198.33**	**200.00**	**255.00**	**191.67**	**181.67**	**200.00**	**175.00**	**155.00**	**240.00**	**258.33**	$\bar{\bar{X}}$ = 205.50
												R_p = 103.33
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ = 4.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 6.00
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **10.32**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	4.00	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	103.33	No. of Trial	3
Position	F1	$\bar{X}_{diff}$ =	6.00	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 4.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 12.20	4.56	2		= **7.24%**
	3.05	3		%Tolerance = 3.05%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 13.62	K_2	OP		= **8.09%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 3.40%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 18.28				= **10.86%**
				% Tolerance = 4.57%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 167.40	K_3	Parts		= **99.41%**
	1.62	10		% Tolerance = 41.85%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 168.40				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F2	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	340.0	240.0	300.0	240.0	280.0	160.0	240.0	140.0	140.0	280.0	236.00
	2	360.0	240.0	280.0	260.0	300.0	140.0	240.0	140.0	140.0	280.0	238.00
	3	340.0	240.0	300.0	240.0	300.0	160.0	240.0	140.0	160.0	280.0	240.00
Average		346.67	240.00	293.33	246.67	293.33	153.33	240.00	140.00	146.67	280.00	$\bar{X}_a$ = 238.00
Range		20.00	0.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00	20.00	0.00	$\bar{R}_a$ = 12.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	340.0	240.0	300.0	260.0	280.0	140.0	260.0	140.0	160.0	300.0	242.00
	2	340.0	260.0	300.0	260.0	300.0	140.0	260.0	160.0	160.0	300.0	248.00
	3	340.0	240.0	300.0	240.0	280.0	140.0	260.0	160.0	180.0	280.0	242.00
Average		340.00	246.67	300.00	253.33	286.67	140.00	260.00	153.33	166.67	280.00	$\bar{X}_b$ = 242.67
Range		0.00	20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	20.00	20.00	20.00	$\bar{R}_b$ = 12.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	360.0	260.0	300.0	260.0	300.0	140.0	260.0	140.0	160.0	280.0	246.00
	2	340.0	260.0	300.0	260.0	280.0	140.0	260.0	140.0	160.0	280.0	242.00
	3	340.0	260.0	320.0	260.0	280.0	140.0	260.0	140.0	160.0	300.0	246.00
Average		346.67	260.00	306.67	260.00	286.67	140.00	260.00	140.00	160.00	286.67	$\bar{X}_c$ = 244.67
Range		20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	$\bar{R}_c$ = 8.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	340.0	240.0	280.0	260.0	300.0	160.0	260.0	140.0	140.0	300.0	242.00
	2	340.0	240.0	300.0	260.0	300.0	160.0	240.0	160.0	140.0	280.0	242.00
	3	340.0	240.0	300.0	260.0	280.0	160.0	240.0	140.0	140.0	280.0	238.00
Average		340.00	240.00	293.33	260.00	293.33	160.00	246.67	146.67	140.00	286.67	$\bar{X}_d$ = 240.67
Range		0.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	$\bar{R}_d$ = 10.00
Part Average		**343.33**	**246.67**	**298.33**	**255.00**	**290.00**	**148.33**	**251.67**	**145.00**	**153.33**	**286.67**	$\bar{\bar{X}}$ = 241.83
												R_p = 198.33
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ = 10.50
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 6.67
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **27.09**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	10.50	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	198.33	No. of Trial	3
Position	F2	$\bar{X}_{diff}$ =	6.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 10.50	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 32.03	4.56	2		= **9.91%**
	3.05	3		%Tolerance = 8.01%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 14.17	K_2	OP		= **4.39%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 3.54%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 35.02				= **10.84%**
				% Tolerance = 8.76%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 321.30	K_3	Parts		= **99.41%**
	1.62	10		% Tolerance = 80.33%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 323.20				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F3	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	160.0	280.0	120.0	200.0	220.0	120.0	300.0	160.0	160.0	260.0	198.00	
	2	140.0	280.0	100.0	200.0	220.0	120.0	300.0	160.0	160.0	240.0	192.00	
	3	140.0	280.0	100.0	220.0	220.0	140.0	300.0	180.0	160.0	240.0	198.00	
Average		146.67	280.00	106.67	206.67	220.00	126.67	300.00	166.67	160.00	246.67	$\bar{X}_a$ =	196.00
Range		20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	$\bar{R}_a$ =	12.00
B	1	140.0	300.0	100.0	200.0	220.0	140.0	300.0	160.0	180.0	240.0	198.00	
	2	120.0	300.0	100.0	200.0	220.0	140.0	300.0	160.0	160.0	240.0	194.00	
	3	140.0	300.0	120.0	200.0	200.0	120.0	300.0	140.0	180.0	240.0	194.00	
Average		133.33	300.00	106.67	200.00	213.33	133.33	300.00	153.33	173.33	280.00	$\bar{X}_b$ =	199.33
Range		20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	12.00
C	1	120.0	300.0	100.0	200.0	220.0	140.0	300.0	180.0	160.0	240.0	196.00	
	2	120.0	300.0	100.0	200.0	220.0	140.0	300.0	180.0	160.0	260.0	198.00	
	3	140.0	280.0	100.0	200.0	220.0	140.0	300.0	180.0	180.0	260.0	200.00	
Average		126.67	293.33	100.00	200.00	220.00	140.00	300.00	180.00	166.67	253.33	$\bar{X}_c$ =	198.00
Range		20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	20.00	$\bar{R}_c$ =	8.00
D	1	140.0	300.0	100.0	200.0	200.0	140.0	300.0	160.0	160.0	260.0	196.00	
	2	140.0	280.0	100.0	200.0	220.0	120.0	280.0	160.0	160.0	260.0	192.00	
	3	140.0	280.0	100.0	200.0	200.0	120.0	300.0	160.0	160.0	260.0	192.00	
Average		140.00	286.67	100.00	200.00	206.67	126.67	293.33	160.00	160.00	260.00	$\bar{X}_d$ =	193.33
Range		0.00	20.00	0.00	0.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	8.00
Part Average		**136.67**	**290.00**	**103.33**	**201.67**	**215.00**	**131.67**	**298.33**	**165.00**	**165.00**	**250.00**	$\bar{\bar{X}}$ =	195.67
												R_p =	195.00
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	10.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	6.00
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**25.80**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	10.00	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	195.00	No. of Trial	3
Position	F3	$\bar{X}_{diff}$ =	6.00	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 10.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 30.50	4.56	2		= **9.60%**
	3.05	3		%Tolerance = 7.63%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 12.63	K_2	OP		= **3.98%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 3.16%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 33.01				= **10.39%**
				% Tolerance = 8.25%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 315.90	K_3	Parts		= **99.46%**
	1.62	10		% Tolerance = 78.98%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 317.62				

Judge GR&R
Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F4	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	140.0	340.0	180.0	120.0	160.0	200.0	180.0	160.0	200.0	300.0	198.00	
	2	160.0	340.0	180.0	120.0	140.0	200.0	180.0	160.0	200.0	300.0	198.00	
	3	160.0	340.0	180.0	100.0	140.0	200.0	180.0	180.0	200.0	300.0	198.00	
Average		153.33	340.00	180.00	113.33	146.67	200.00	180.00	166.67	200.00	300.00	$\bar{X}_a$ =	198.00
Range		20.00	0.00	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	8.00
B	1	160.0	300.0	200.0	100.0	120.0	200.0	180.0	160.0	200.0	300.0	192.00	
	2	160.0	320.0	200.0	100.0	140.0	180.0	200.0	160.0	200.0	300.0	196.00	
	3	180.0	320.0	200.0	120.0	140.0	200.0	200.0	160.0	200.0	300.0	202.00	
Average		166.67	313.33	200.00	106.67	133.33	193.33	193.33	160.00	200.00	280.00	$\bar{X}_b$ =	194.67
Range		20.00	20.00	0.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	12.00
C	1	180.0	320.0	200.0	100.0	140.0	200.0	220.0	160.0	200.0	300.0	202.00	
	2	180.0	320.0	200.0	100.0	160.0	200.0	200.0	160.0	200.0	320.0	204.00	
	3	160.0	320.0	200.0	120.0	160.0	200.0	200.0	160.0	200.0	300.0	202.00	
Average		173.33	320.00	200.00	106.67	153.33	200.00	206.67	160.00	200.00	306.67	$\bar{X}_c$ =	202.67
Range		20.00	0.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	20.00	$\bar{R}_c$ =	10.00
D	1	160.0	340.0	180.0	100.0	140.0	200.0	200.0	180.0	200.0	300.0	200.00	
	2	160.0	340.0	180.0	100.0	140.0	200.0	220.0	160.0	200.0	280.0	198.00	
	3	160.0	340.0	200.0	100.0	140.0	200.0	180.0	160.0	200.0	280.0	196.00	
Average		160.00	340.00	186.67	100.00	140.00	200.00	200.00	166.67	200.00	286.67	$\bar{X}_d$ =	198.00
Range		0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	40.00	20.00	0.00	20.00	$\bar{R}_d$ =	10.00
Part Average		**163.33**	**328.33**	**191.67**	**106.67**	**143.33**	**198.33**	**195.00**	**163.33**	**200.00**	**298.33**	$\bar{\bar{X}}$ =	198.83
												R_p =	221.67
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	10.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	8.00
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**25.80**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	10.00	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	221.67	No. of Trial	3
Position	F4	$\bar{X}_{diff}$ =	8.00	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 10.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 30.50	4.56	2		= **8.45%**
	3.05	3		%Tolerance = 7.63%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 17.54	K_2	OP		= **4.86%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 4.38%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 35.18				= **9.75%**
				% Tolerance = 8.80%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 359.10	K_3	Parts		= **99.52%**
	1.62	10		% Tolerance = 89.78%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 360.82				

Judge GR&R
Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F5	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	120.0	160.0	240.0	200.0	200.0	200.0	200.0	300.0	220.0	300.0	214.00	
	2	120.0	140.0	240.0	200.0	200.0	200.0	200.0	300.0	220.0	300.0	212.00	
	3	120.0	140.0	220.0	200.0	200.0	200.0	200.0	320.0	220.0	300.0	212.00	
Average		120.00	146.67	233.33	200.00	200.00	200.00	200.00	306.67	220.00	300.00	$\bar{X}_A$ =	212.67
Range		0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	$\bar{R}_A$ =	6.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	120.0	140.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	320.0	200.0	300.0	208.00	
	2	120.0	120.0	200.0	200.0	200.0	200.0	220.0	320.0	200.0	320.0	210.00	
	3	120.0	140.0	200.0	200.0	180.0	200.0	220.0	300.0	200.0	320.0	208.00	
Average		120.00	133.33	200.00	200.00	193.33	200.00	213.33	313.33	200.00	280.00	$\bar{X}_B$ =	205.33
Range		0.00	20.00	0.00	0.00	20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	$\bar{R}_B$ =	10.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	100.0	120.0	220.0	200.0	200.0	200.0	180.0	320.0	220.0	320.0	208.00	
	2	100.0	120.0	240.0	200.0	180.0	200.0	200.0	300.0	220.0	320.0	208.00	
	3	100.0	120.0	240.0	200.0	200.0	200.0	200.0	320.0	220.0	320.0	212.00	
Average		100.00	120.00	233.33	200.00	193.33	200.00	193.33	313.33	220.00	320.00	$\bar{X}_C$ =	209.33
Range		0.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	$\bar{R}_C$ =	8.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	120.0	140.0	220.0	200.0	200.0	220.0	200.0	320.0	240.0	300.0	216.00	
	2	100.0	160.0	220.0	220.0	200.0	220.0	200.0	300.0	240.0	300.0	216.00	
	3	120.0	160.0	220.0	200.0	200.0	220.0	200.0	320.0	240.0	300.0	218.00	
Average		113.33	153.33	220.00	206.67	200.00	220.00	200.00	313.33	240.00	300.00	$\bar{X}_D$ =	216.67
Range		20.00	20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	$\bar{R}_D$ =	8.00
Part Average		**113.33**	**138.33**	**221.67**	**201.67**	**196.67**	**205.00**	**201.67**	**311.67**	**220.00**	**308.33**	$\bar{\bar{X}}$ =	211.83
												R_p =	198.33
([$\bar{R}_A$]+[$\bar{R}_B$]+[$\bar{R}_C$]+[$\bar{R}_D$]) / [#Of operator =				4		]						$\bar{\bar{R}}$ =	8.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	11.33
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**20.64**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	8.00	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	198.33	No. of Trial	3
Position	F5	$\bar{X}_{diff}$ =	11.33	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 8.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV] = **7.55%**
= 24.40	4.56	2		%Tolerance = 6.10%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV] = **7.95%**
= 25.68	K_2	OP		
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 6.42%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV] = **10.96%**
= 35.43				% Tolerance = 8.86%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV] = **99.40%**
= 321.30	K_3	Parts		% Tolerance = 80.33%
	1.62	10		
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ = 323.25				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0
Item check	F	Feature Tolerance		400.0		
Position	F6	Tool name		Torque meter - 0411C		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	300.0	260.0	300.0	300.0	280.0	260.0	260.0	240.0	220.0	200.0	262.00	
	2	300.0	260.0	300.0	300.0	280.0	240.0	260.0	240.0	220.0	200.0	260.00	
	3	300.0	260.0	300.0	300.0	280.0	240.0	260.0	240.0	220.0	200.0	260.00	
Average		300.00	260.00	300.00	300.00	280.00	246.67	260.00	240.00	220.00	200.00	$\bar{X}_A$ =	260.67
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_A$ =	2.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	300.0	240.0	320.0	300.0	280.0	220.0	240.0	220.0	200.0	200.0	252.00	
	2	300.0	240.0	300.0	300.0	260.0	220.0	240.0	220.0	200.0	200.0	248.00	
	3	300.0	240.0	300.0	300.0	260.0	220.0	240.0	220.0	220.0	200.0	250.00	
Average		300.00	240.00	306.67	300.00	266.67	220.00	240.00	220.00	206.67	280.00	$\bar{X}_B$ =	258.00
Range		0.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	$\bar{R}_B$ =	6.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	280.0	240.0	320.0	300.0	260.0	220.0	240.0	220.0	220.0	220.0	252.00	
	2	300.0	240.0	320.0	300.0	260.0	220.0	240.0	220.0	220.0	220.0	254.00	
	3	300.0	240.0	320.0	300.0	280.0	220.0	240.0	220.0	220.0	220.0	256.00	
Average		293.33	240.00	320.00	300.00	266.67	220.00	240.00	220.00	220.00	220.00	$\bar{X}_C$ =	254.00
Range		20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_C$ =	4.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	320.0	240.0	320.0	300.0	280.0	220.0	240.0	220.0	220.0	200.0	256.00	
	2	320.0	240.0	320.0	300.0	280.0	220.0	240.0	220.0	220.0	200.0	256.00	
	3	300.0	240.0	320.0	300.0	280.0	220.0	240.0	220.0	220.0	200.0	254.00	
Average		313.33	240.00	320.00	300.00	280.00	220.00	240.00	220.00	220.00	200.00	$\bar{X}_D$ =	255.33
Range		20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_D$ =	2.00
Part Average		**301.67**	**245.00**	**311.67**	**300.00**	**273.33**	**226.67**	**245.00**	**225.00**	**216.67**	**205.00**	$\bar{\bar{X}}$ =	255.00
												R_p =	106.67
([$\bar{R}_A$]+[$\bar{R}_B$]+[$\bar{R}_C$]+[$\bar{R}_D$]) / [#Of operator =				4		]						$\bar{\bar{R}}$ =	3.50
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	6.67
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**9.03**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	3.50	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	106.67	No. of Trial	3
Position	F6	$\bar{X}_{diff}$ =	6.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 3.50	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV] = **6.14%**
= 10.68	4.56	2		%Tolerance = 2.67%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV] = **8.75%**
= 15.21	K_2	OP		
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 3.80%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV] = **10.69%**
= 18.58				% Tolerance = 4.65%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV] = **99.43%**
= 172.80	K_3	Parts		% Tolerance = 43.20%
	1.62	10		
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ = 173.80				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0	
Item check	F	Feature Tolerance		400.0			
Position	F7	Tool name		Torque meter - 0411C			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	120.0	140.0	100.0	100.0	100.0	240.0	220.0	100.0	140.0	220.0	148.00	
	2	120.0	140.0	120.0	100.0	100.0	240.0	220.0	100.0	140.0	220.0	150.00	
	3	120.0	140.0	100.0	100.0	100.0	240.0	220.0	100.0	140.0	220.0	148.00	
Average		120.00	140.00	106.67	100.00	100.00	240.00	220.00	100.00	140.00	220.00	$\bar{X}_a$ =	148.67
Range		0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	2.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	120.0	140.0	100.0	120.0	100.0	220.0	240.0	100.0	140.0	220.0	150.00	
	2	120.0	140.0	100.0	100.0	100.0	220.0	240.0	100.0	140.0	220.0	148.00	
	3	100.0	160.0	100.0	100.0	100.0	240.0	240.0	100.0	140.0	220.0	150.00	
Average		113.33	146.67	100.00	106.67	100.00	226.67	240.00	100.00	140.00	280.00	$\bar{X}_b$ =	155.33
Range		20.00	20.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	8.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	120.0	140.0	100.0	120.0	100.0	240.0	240.0	100.0	140.0	220.0	152.00	
	2	120.0	140.0	120.0	120.0	100.0	240.0	240.0	120.0	160.0	220.0	158.00	
	3	100.0	140.0	120.0	120.0	100.0	240.0	240.0	100.0	140.0	220.0	152.00	
Average		113.33	140.00	113.33	120.00	100.00	240.00	240.00	106.67	146.67	220.00	$\bar{X}_c$ =	154.00
Range		20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	20.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	8.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	120.0	140.0	100.0	100.0	120.0	240.0	220.0	100.0	140.0	220.0	150.00	
	2	120.0	140.0	100.0	100.0	100.0	240.0	240.0	100.0	140.0	220.0	150.00	
	3	120.0	140.0	100.0	100.0	100.0	240.0	220.0	100.0	140.0	200.0	146.00	
Average		120.00	140.00	100.00	100.00	106.67	240.00	226.67	100.00	140.00	213.33	$\bar{X}_d$ =	148.67
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	20.00	$\bar{R}_d$ =	6.00
Part Average		**116.67**	**141.67**	**105.00**	**106.67**	**101.67**	**236.67**	**231.67**	**101.67**	**141.67**	**218.33**	$\bar{\bar{X}}$ =	150.17
												R_p =	135.00
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =				4		]						$\bar{R}$ =	6.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	6.67
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**15.48**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	6.00	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	135.00	No. of Trial	3
Position	F7	$\bar{X}_{diff}$ =	6.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 6.00	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 18.30	4.56	2		= **8.32%**
	3.05	3		%Tolerance = 4.58%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 14.96	K_2	OP		= **6.80%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 3.74%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 23.64				= **10.75%**
				% Tolerance = 5.91%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 218.70	K_3	Parts		= **99.42%**
	1.62	10		% Tolerance = 54.68%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 219.97				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	400.0	LSL	0.0	
Item check	F	Feature Tolerance		400.0			
Position	F8	Tool name		Torque meter - 0411C			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	180.0	160.0	200.0	160.0	160.0	280.0	280.0	260.0	200.0	300.0	218.00	
	2	180.0	140.0	200.0	160.0	160.0	280.0	280.0	260.0	200.0	300.0	216.00	
	3	200.0	140.0	200.0	160.0	160.0	300.0	280.0	260.0	200.0	300.0	220.00	
Average		186.67	146.67	200.00	160.00	160.00	286.67	280.00	260.00	200.00	300.00	$\bar{X}_a$ =	218.00
Range		20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	6.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	180.0	160.0	200.0	160.0	140.0	300.0	280.0	280.0	200.0	300.0	220.00	
	2	200.0	140.0	200.0	160.0	140.0	300.0	280.0	280.0	200.0	280.0	218.00	
	3	200.0	140.0	200.0	160.0	160.0	300.0	280.0	280.0	200.0	300.0	222.00	
Average		193.33	146.67	200.00	160.00	146.67	300.00	280.00	280.00	200.00	280.00	$\bar{X}_b$ =	218.67
Range		20.00	20.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	$\bar{R}_b$ =	8.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	200.0	140.0	200.0	140.0	160.0	300.0	280.0	240.0	200.0	280.0	214.00	
	2	200.0	140.0	200.0	160.0	140.0	300.0	300.0	240.0	200.0	300.0	218.00	
	3	200.0	140.0	200.0	160.0	140.0	300.0	280.0	240.0	200.0	300.0	216.00	
Average		200.00	140.00	200.00	153.33	146.67	300.00	286.67	240.00	200.00	293.33	$\bar{X}_c$ =	216.00
Range		0.00	0.00	0.00	20.00	20.00	0.00	20.00	0.00	0.00	20.00	$\bar{R}_c$ =	8.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	200.0	140.0	200.0	160.0	140.0	300.0	300.0	240.0	200.0	300.0	218.00	
	2	200.0	160.0	200.0	160.0	140.0	300.0	280.0	240.0	200.0	280.0	216.00	
	3	180.0	140.0	200.0	160.0	140.0	300.0	280.0	240.0	200.0	280.0	212.00	
Average		193.33	146.67	200.00	160.00	140.00	300.00	286.67	240.00	200.00	286.67	$\bar{X}_d$ =	215.33
Range		20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	0.00	0.00	20.00	$\bar{R}_d$ =	8.00
Part Average		**193.33**	**145.00**	**200.00**	**158.33**	**148.33**	**296.67**	**283.33**	**255.00**	**200.00**	**293.33**	$\bar{\bar{X}}$ =	217.33
												R_p =	151.67
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =				4		]						$\bar{R}$ =	7.50
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	3.33
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**19.35**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	7.50	No. of OP	4
Item check	F	R_p =	151.67	No. of Trial	3
Position	F8	$\bar{X}_{diff}$ =	3.33	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 7.50	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 22.88	4.56	2		= **9.27%**
	3.05	3		%Tolerance = 5.72%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 6.43	K_2	OP		= **2.60%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 1.61%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 23.76				= **9.63%**
				% Tolerance = 5.94%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 245.70	K_3	Parts		= **99.54%**
	1.62	10		% Tolerance = 61.43%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 246.85				

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	135.0	LSL	80.0	
Item check	G	Feature Tolerance		55.0			
Position	G1	Tool name		Tension gage - 15C620			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	100.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	100.0	125.0	95.0	130.0	114.50	
	2	100.0	125.0	125.0	100.0	120.0	130.0	100.0	125.0	95.0	130.0	115.00	
	3	100.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	100.0	120.0	95.0	130.0	114.00	
Average		100.00	121.67	125.00	100.00	120.00	130.00	100.00	123.33	95.00	130.00	$\bar{X}_a$ =	114.50
Range		0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	1.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	95.0	115.0	125.0	95.0	120.0	130.0	100.0	125.0	95.0	125.0	112.50	
	2	95.0	120.0	125.0	95.0	120.0	130.0	100.0	125.0	95.0	130.0	113.50	
	3	95.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	100.0	130.0	95.0	130.0	114.50	
Average		95.00	118.33	125.00	96.67	120.00	130.00	100.00	126.67	95.00	128.33	$\bar{X}_b$ =	113.50
Range		0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	5.00	$\bar{R}_b$ =	2.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	100.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	115.0	125.0	90.0	125.0	115.00	
	2	100.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	115.0	125.0	95.0	125.0	115.50	
	3	95.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	115.0	125.0	95.0	125.0	115.00	
Average		98.33	120.00	125.00	100.00	120.00	130.00	115.00	125.00	93.33	125.00	$\bar{X}_c$ =	115.17
Range		5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	1.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	100.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	100.0	125.0	95.0	120.0	113.50	
	2	95.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	100.0	125.0	95.0	125.0	113.50	
	3	95.0	120.0	125.0	100.0	120.0	130.0	100.0	125.0	95.0	125.0	113.50	
Average		96.67	120.00	125.00	100.00	120.00	130.00	100.00	125.00	95.00	123.33	$\bar{X}_d$ =	113.50
Range		5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	$\bar{R}_d$ =	1.00
Part Average		**97.50**	**120.00**	**125.00**	**99.17**	**120.00**	**130.00**	**103.75**	**125.00**	**94.58**	**126.67**	$\bar{\bar{X}}$ =	114.17
												R_p =	35.42
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	1.25
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	1.67
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL$_R$	**3.23**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	1.25	No. of OP	4
Item check	G	R_p =	35.42	No. of Trial	3
Position	G1	$\bar{X}_{diff}$ =	1.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 1.25	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 3.81	4.56	2		= **6.62%**
	3.05	3		%Tolerance = 6.93%
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 3.77	K_2	OP		= **6.54%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 6.85%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 5.36				= **9.30%**
				% Tolerance = 9.75%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 57.38	K_3	Parts		= **99.57%**
	1.62	10		% Tolerance = 104.32%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 57.62				

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	75.0	LSL	0.0	
Item check	A	Feature Tolerance		75.0			
Position	A1	Tool name		Tension gage - 22A450			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	28.0	36.0	52.0	40.0	42.0	32.0	48.0	40.0	52.0	40.0	41.00	
	2	28.0	36.0	50.0	40.0	42.0	32.0	46.0	40.0	52.0	40.0	40.60	
	3	30.0	36.0	52.0	40.0	42.0	32.0	46.0	42.0	52.0	40.0	41.20	
Average		28.67	36.00	51.33	40.00	42.00	32.00	46.67	40.67	52.00	40.00	$\bar{X}_a$ =	40.93
Range		2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	0.80
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	30.0	36.0	50.0	40.0	42.0	32.0	46.0	40.0	50.0	38.0	40.40	
	2	30.0	36.0	50.0	40.0	42.0	32.0	46.0	40.0	52.0	36.0	40.40	
	3	30.0	34.0	50.0	40.0	40.0	32.0	46.0	40.0	52.0	36.0	40.00	
Average		30.00	35.33	50.00	40.00	41.33	32.00	46.00	40.00	51.33	36.67	$\bar{X}_b$ =	40.27
Range		0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	$\bar{R}_b$ =	0.80
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	30.0	36.0	50.0	40.0	42.0	32.0	48.0	40.0	52.0	36.0	40.60	
	2	30.0	36.0	50.0	40.0	42.0	32.0	46.0	40.0	52.0	36.0	40.40	
	3	30.0	36.0	52.0	40.0	40.0	32.0	46.0	40.0	52.0	36.0	40.40	
Average		30.00	36.00	50.67	40.00	41.33	32.00	46.67	40.00	52.00	36.00	$\bar{X}_c$ =	40.47
Range		0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	0.60
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	30.0	38.0	52.0	42.0	42.0	32.0	46.0	40.0	52.0	40.0	41.40	
	2	28.0	36.0	52.0	40.0	42.0	32.0	48.0	40.0	52.0	40.0	41.00	
	3	30.0	36.0	54.0	40.0	42.0	32.0	48.0	40.0	52.0	40.0	41.40	
Average		29.33	36.67	52.67	40.67	42.00	32.00	47.33	40.00	52.00	40.00	$\bar{X}_d$ =	41.27
Range		2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	1.00
Part Average		**29.50**	**36.00**	**51.17**	**40.17**	**41.67**	**32.00**	**46.67**	**40.17**	**51.83**	**38.17**	$\bar{\bar{X}}$ =	40.73
												R_p =	22.33
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.80
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	1.00
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL$_R$	**2.06**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.80	No. of OP	4
Item check	A	R_p =	22.33	No. of Trial	3
Position	A1	$\bar{X}_{diff}$ =	1.00	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 0.80	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 2.44	4.56	2		= **6.72%**
	3.05	3		%Tolerance = 3.25%
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 2.26	K_2	OP		= **6.21%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 3.01%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 3.32				= **9.15%**
				% Tolerance = 4.43%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 36.18	K_3	Parts		= **99.58%**
	1.62	10		% Tolerance = 48.24%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 36.33				

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	75.0	LSL 0.0
Item check	A	Feature Tolerance		75.0	
Position	A2	Tool name		Tension gage - 22A450	

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	30.0	40.0	50.0	42.0	42.0	32.0	42.0	40.0	50.0	42.0	41.00
	2	28.0	42.0	50.0	42.0	44.0	32.0	42.0	42.0	50.0	40.0	41.20
	3	28.0	40.0	50.0	42.0	44.0	32.0	42.0	40.0	50.0	40.0	40.80
Average		28.67	40.67	50.00	42.00	43.33	32.00	42.00	40.67	50.00	40.67	$\bar{X}_a$ = 41.00
Range		2.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	$\bar{R}_a$ = 1.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	28.0	38.0	50.0	40.0	40.0	32.0	44.0	40.0	52.0	40.0	40.40
	2	28.0	40.0	50.0	40.0	42.0	32.0	42.0	40.0	52.0	40.0	40.60
	3	28.0	40.0	50.0	40.0	40.0	32.0	44.0	40.0	52.0	40.0	40.60
Average		28.00	39.33	50.00	40.00	40.67	32.00	43.33	40.00	52.00	40.00	$\bar{X}_b$ = 40.53
Range		0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ = 0.60
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	26.0	40.0	50.0	42.0	42.0	32.0	42.0	42.0	50.0	40.0	40.60
	2	28.0	38.0	50.0	42.0	42.0	32.0	42.0	42.0	52.0	40.0	40.80
	3	28.0	38.0	48.0	40.0	44.0	32.0	44.0	42.0	52.0	38.0	40.60
Average		27.33	38.67	49.33	41.33	42.67	32.00	42.67	42.00	51.33	39.33	$\bar{X}_c$ = 40.67
Range		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	2.00	0.00	2.00	2.00	$\bar{R}_c$ = 1.60
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	28.0	40.0	52.0	40.0	40.0	34.0	42.0	42.0	52.0	40.0	41.00
	2	30.0	40.0	52.0	40.0	40.0	34.0	42.0	42.0	50.0	40.0	41.00
	3	30.0	40.0	50.0	40.0	40.0	32.0	40.0	42.0	52.0	40.0	40.60
Average		29.33	40.00	51.33	40.00	40.00	33.33	41.33	42.00	51.33	40.00	$\bar{X}_d$ = 40.87
Range		2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	2.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 1.00
Part Average		**28.33**	**39.67**	**50.17**	**40.83**	**41.67**	**32.33**	**42.33**	**41.17**	**51.17**	**40.00**	$\bar{\bar{X}}$ = 40.77
												R_p = 22.83
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 1.05
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.47
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **2.71**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	1.05	No. of OP	4
Item check	A	R_p =	22.83	No. of Trial	3
Position	A2	$\bar{X}_{diff}$ =	0.47	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 1.05	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 3.20	4.56	2		= **8.62%**
	3.05	3		%Tolerance = 4.27%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.90	K_2	OP		= **2.42%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 1.20%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 3.33				= **8.96%**
				% Tolerance = 4.44%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 36.99	K_3	Parts		= **99.60%**
	1.62	10		% Tolerance = 49.32%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 37.14				

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	12	LSL 3
Item check	MT	Feature Tolerance		9	
Position	MT1	Tool name		Torque meter - 2512E	

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	4.0	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	6.5	4.0	5.40
	2	4.0	6.0	5.5	4.0	5.0	6.5	5.0	6.0	6.5	4.0	5.25
	3	4.0	5.5	6.0	4.5	5.5	6.5	5.5	6.0	6.5	4.0	5.40
Average		4.00	5.83	5.83	4.17	5.17	6.67	5.17	6.17	6.50	4.00	$\bar{X}_a$ = 5.35
Range		0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ = 0.35
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
B	1	4.0	5.5	6.0	3.5	5.0	7.0	5.5	5.5	7.0	4.0	5.30
	2	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.5	6.0	7.0	4.5	5.45
	3	4.0	5.5	6.0	3.5	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	4.0	5.30
Average		3.83	5.67	6.00	3.67	5.00	7.00	5.33	5.83	7.00	4.17	$\bar{X}_b$ = 5.35
Range		0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	$\bar{R}_b$ = 0.30
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
C	1	4.0	5.5	6.0	3.5	5.0	7.0	5.5	6.0	6.5	4.0	5.30
	2	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	6.5	5.5	6.0	6.5	4.0	5.30
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	7.0	5.5	5.5	7.0	3.5	5.30
Average		3.83	5.50	6.00	3.83	5.17	6.83	5.50	5.83	6.67	3.83	$\bar{X}_c$ = 5.30
Range		0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	$\bar{R}_c$ = 0.35
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
D	1	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	6.5	3.5	5.25
	2	3.5	5.5	6.0	3.5	5.0	7.0	5.5	6.5	6.5	3.5	5.25
	3	3.5	6.0	5.5	4.0	5.0	7.0	5.0	5.5	6.5	3.5	5.15
Average		3.50	5.83	5.83	3.83	5.00	7.00	5.17	6.00	6.50	3.50	$\bar{X}_d$ = 5.22
Range		0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 0.30
Part Average		**3.79**	**5.71**	**5.92**	**3.88**	**5.08**	**6.88**	**5.29**	**5.96**	**6.67**	**3.88**	$\bar{\bar{X}}$ = 5.30
												R_p = 3.08
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.33
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.13
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R **0.84**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.33	No. of OP	4
Item check	MT	R_p =	3.08	No. of Trial	3
Position	MT1	$\bar{X}_{diff}$ =	0.13	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				
= 3.05 x 0.33	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 0.99	4.56	2		= **19.44%**
	3.05	3		%Tolerance = 11.01%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.25	K_2	OP		= **4.86%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 2.75%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 1.02				= **20.04%**
				% Tolerance = 11.35%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 5.00	K_3	Parts		= **97.97%**
	1.62	10		% Tolerance = 55.50%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 5.10				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	12	LSL	3
Item check	MT	Feature Tolerance		9		
Position	MT2	Tool name		Torque meter - 2512E		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	3.5	5.5	5.5	4.0	5.5	6.5	5.0	6.5	6.5	4.0	5.25
	2	3.5	6.0	5.5	4.0	6.0	6.5	5.0	6.5	6.5	3.5	5.30
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	7.0	4.5	6.0	7.0	3.5	5.25
Average		3.50	5.67	5.67	4.00	5.67	6.67	4.83	6.33	6.67	3.67	$\bar{X}_a$ = 5.27
Range		0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	$\bar{R}_a$ = 0.40
B	1	3.5	5.5	5.5	4.0	5.5	7.0	5.0	7.0	6.5	4.0	5.35
	2	3.5	5.5	5.5	4.0	5.0	6.5	5.0	6.5	7.0	3.0	5.15
	3	3.5	6.0	6.0	3.5	5.0	7.0	5.0	6.0	6.0	3.0	5.10
Average		3.50	5.67	5.67	3.83	5.17	6.83	5.00	6.50	6.50	3.33	$\bar{X}_b$ = 5.20
Range		0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00	1.00	1.00	1.00	$\bar{R}_b$ = 0.55
C	1	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.35
	2	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	4.5	6.5	6.5	3.0	5.20
	3	3.0	5.5	5.5	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	6.5	3.0	5.10
Average		3.50	5.67	5.83	4.00	5.00	7.00	4.83	6.50	6.67	3.17	$\bar{X}_c$ = 5.22
Range		1.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	$\bar{R}_c$ = 0.35
D	1	3.5	5.5	6.0	4.0	4.5	6.5	5.0	6.0	6.5	3.0	5.05
	2	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	6.5	5.0	6.0	6.5	3.0	5.15
	3	4.0	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	6.5	3.0	5.30
Average		3.83	5.67	6.00	4.00	4.83	6.67	5.00	6.17	6.50	3.00	$\bar{X}_d$ = 5.17
Range		0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 0.25
Part Average		**3.58**	**5.67**	**5.79**	**3.96**	**5.17**	**6.79**	**4.92**	**6.38**	**6.58**	**3.29**	$\bar{\bar{X}}$ = 5.21
												R_p = 3.50
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 0.39
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 0.10
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL$_R$ **1.00**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.39	No. of OP	4
Item check	MT	R_p =	3.50	No. of Trial	3
Position	MT2	$\bar{X}_{diff}$ =	0.10	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				%EV = 100[EV/TV]
= 3.05 x 0.39	K_1	Trials		= **20.40%**
= 1.18	4.56	2		%Tolerance = 13.13%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.08	K_2	OP		= **1.37%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 0.88%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 1.18				= **20.45%**
				% Tolerance = 13.16%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 5.67	K_3	Parts		= 97.89%
	1.62	10		% Tolerance = 63.00%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 5.79				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	700.0	LSL	75.0
Item check	S	Feature Tolerance		625.0		
Position	S1	Tool name		Tension gage - 11E529		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	400.0	250.0	225.0	175.0	325.0	350.0	425.0	150.0	375.0	425.0	310.00
	2	400.0	225.0	225.0	150.0	325.0	350.0	425.0	150.0	375.0	425.0	305.00
	3	400.0	250.0	250.0	150.0	325.0	350.0	425.0	150.0	375.0	425.0	310.00
Average		400.00	241.67	233.33	158.33	325.00	350.00	425.00	150.00	375.00	425.00	$\bar{X}_a$ = 308.33
Range		0.00	25.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ = 7.50
B	1	400.0	275.0	225.0	150.0	350.0	375.0	400.0	150.0	400.0	425.0	315.00
	2	400.0	275.0	250.0	175.0	350.0	375.0	425.0	150.0	400.0	425.0	322.50
	3	375.0	275.0	225.0	150.0	350.0	375.0	425.0	150.0	400.0	450.0	317.50
Average		391.67	275.00	233.33	158.33	350.00	375.00	416.67	150.00	400.00	433.33	$\bar{X}_b$ = 318.33
Range		25.00	0.00	25.00	25.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	25.00	$\bar{R}_b$ = 12.50
C	1	400.0	250.0	250.0	175.0	300.0	350.0	400.0	175.0	400.0	450.0	315.00
	2	400.0	250.0	250.0	150.0	300.0	350.0	400.0	150.0	400.0	425.0	307.50
	3	400.0	250.0	250.0	175.0	300.0	375.0	400.0	150.0	400.0	425.0	312.50
Average		400.00	250.00	250.00	166.67	300.00	358.33	400.00	158.33	400.00	433.33	$\bar{X}_c$ = 311.67
Range		0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	25.00	$\bar{R}_c$ = 10.00
D	1	400.0	275.0	250.0	200.0	325.0	375.0	400.0	150.0	400.0	450.0	322.50
	2	400.0	250.0	250.0	200.0	325.0	375.0	425.0	150.0	400.0	450.0	322.50
	3	400.0	250.0	225.0	200.0	325.0	375.0	400.0	150.0	400.0	425.0	315.00
Average		400.00	258.33	241.67	200.00	325.00	375.00	408.33	150.00	400.00	441.67	$\bar{X}_d$ = 320.00
Range		0.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	25.00	$\bar{R}_d$ = 10.00
Part Average		**397.92**	**256.25**	**239.58**	**170.83**	**325.00**	**364.58**	**412.50**	**152.08**	**393.75**	**433.33**	$\bar{\bar{X}}$ = 314.58
												R_p = 281.25
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 10.00
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 11.67
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL$_R$ **25.80**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	10.00	No. of OP	4
Item check	S	R_p =	281.25	No. of Trial	3
Position	S1	$\bar{X}_{diff}$ =	11.67	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				%EV = 100[EV/TV]
= 3.05 x 10.00	K_1	Trials		= **6.67%**
= 30.50	4.56	2		%Tolerance = 4.88%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 26.25	K_2	OP		= **5.74%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 4.20%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 40.24				= **8.80%**
				% Tolerance = 6.44%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 455.63	K_3	Parts		= 99.61%
	1.62	10		% Tolerance = 72.90%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 457.40				

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	700.0	LSL	75.0
Item check	S	Feature Tolerance	625.0		
Position	S2	Tool name	Tension gage - 11E529		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	375.0	225.0	300.0	150.0	350.0	350.0	400.0	150.0	375.0	450.0	312.50	
	2	375.0	250.0	325.0	150.0	350.0	350.0	400.0	150.0	375.0	450.0	317.50	
	3	375.0	250.0	325.0	150.0	325.0	325.0	400.0	150.0	375.0	425.0	310.00	
Average		375.00	241.67	316.67	150.00	341.67	341.67	400.00	150.00	375.00	441.67	$\bar{X}_a$ =	313.33
Range		0.00	25.00	25.00	0.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	25.00	$\bar{R}_a$ =	12.50
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	400.0	275.0	300.0	150.0	350.0	350.0	400.0	150.0	375.0	400.0	315.00	
	2	375.0	250.0	300.0	150.0	350.0	350.0	400.0	150.0	375.0	400.0	310.00	
	3	375.0	275.0	300.0	150.0	350.0	375.0	425.0	150.0	375.0	425.0	320.00	
Average		383.33	266.67	300.00	150.00	350.00	358.33	408.33	150.00	375.00	408.33	$\bar{X}_b$ =	315.00
Range		25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	25.00	25.00	0.00	0.00	25.00	$\bar{R}_b$ =	12.50
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	350.0	275.0	275.0	200.0	350.0	350.0	400.0	150.0	350.0	400.0	310.00	
	2	350.0	275.0	275.0	200.0	350.0	350.0	400.0	150.0	375.0	400.0	312.50	
	3	350.0	250.0	300.0	200.0	350.0	375.0	400.0	150.0	350.0	425.0	315.00	
Average		350.00	266.67	283.33	200.00	350.00	358.33	400.00	150.00	358.33	408.33	$\bar{X}_c$ =	312.50
Range		0.00	25.00	25.00	0.00	0.00	25.00	0.00	0.00	25.00	25.00	$\bar{R}_c$ =	12.50
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	375.0	250.0	300.0	200.0	350.0	350.0	400.0	150.0	375.0	425.0	317.50	
	2	375.0	250.0	325.0	200.0	350.0	350.0	400.0	150.0	375.0	425.0	320.00	
	3	375.0	250.0	300.0	200.0	325.0	350.0	400.0	150.0	375.0	400.0	312.50	
Average		375.00	250.00	308.33	200.00	341.67	350.00	400.00	150.00	375.00	416.67	$\bar{X}_d$ =	316.67
Range		0.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	$\bar{R}_d$ =	7.50
Part Average		**370.83**	**256.25**	**302.08**	**175.00**	**345.83**	**352.08**	**402.08**	**150.00**	**370.83**	**418.75**	$\bar{\bar{X}}$ =	314.38
												R_p =	268.75
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{R}$ =	11.25
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	4.17
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**29.03**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	11.25	No. of OP	4
Item check	S	R_p =	268.75	No. of Trial	3
Position	S2	$\bar{X}_{diff}$ =	4.17	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 11.25	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 34.31	4.56	2		= **7.86%**
	3.05	3		%Tolerance = 5.49%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 7.25	K_2	OP		= **1.66%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 1.16%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 35.07				= **8.03%**
				% Tolerance = 5.61%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 435.38	K_3	Parts		= **99.68%**
	1.62	10		% Tolerance = 69.66%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 436.79				

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification USL	700.0	LSL	75.0
Item check	S	Feature Tolerance	625.0		
Position	S3	Tool name	Tension gage - 11E529		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	400.0	250.0	350.0	175.0	350.0	350.0	450.0	175.0	300.0	425.0	322.50	
	2	400.0	225.0	350.0	175.0	325.0	350.0	450.0	175.0	300.0	425.0	317.50	
	3	400.0	225.0	350.0	175.0	325.0	350.0	425.0	175.0	300.0	425.0	315.00	
Average		400.00	233.33	350.00	175.00	333.33	350.00	441.67	175.00	300.00	425.00	$\bar{X}_a$ =	318.33
Range		0.00	25.00	0.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	7.50
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	400.0	275.0	350.0	175.0	325.0	300.0	400.0	175.0	300.0	400.0	310.00	
	2	400.0	250.0	350.0	150.0	350.0	300.0	425.0	175.0	325.0	400.0	312.50	
	3	375.0	250.0	350.0	150.0	350.0	300.0	425.0	150.0	300.0	425.0	307.50	
Average		391.67	258.33	350.00	158.33	341.67	300.00	416.67	166.67	308.33	408.33	$\bar{X}_b$ =	310.00
Range		25.00	25.00	0.00	25.00	25.00	0.00	25.00	25.00	25.00	25.00	$\bar{R}_b$ =	20.00
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	375.0	250.0	350.0	175.0	325.0	300.0	425.0	150.0	300.0	425.0	307.50	
	2	375.0	250.0	350.0	150.0	325.0	300.0	425.0	150.0	300.0	425.0	305.00	
	3	400.0	250.0	350.0	175.0	300.0	300.0	425.0	150.0	300.0	425.0	307.50	
Average		383.33	250.00	350.00	166.67	316.67	300.00	425.00	150.00	300.00	425.00	$\bar{X}_c$ =	306.67
Range		25.00	0.00	0.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	7.50
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	400.0	250.0	375.0	150.0	325.0	375.0	450.0	150.0	300.0	425.0	320.00	
	2	400.0	250.0	375.0	175.0	325.0	350.0	450.0	175.0	300.0	425.0	322.50	
	3	400.0	250.0	375.0	175.0	325.0	375.0	450.0	150.0	300.0	425.0	322.50	
Average		400.00	250.00	375.00	166.67	325.00	366.67	450.00	158.33	300.00	425.00	$\bar{X}_d$ =	321.67
Range		0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	7.50
Part Average		**393.75**	**247.92**	**356.25**	**166.67**	**329.17**	**329.17**	**433.33**	**162.50**	**302.08**	**420.83**	$\bar{\bar{X}}$ =	314.17
												R_p =	270.83
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{R}$ =	10.63
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	15.00
[$\bar{R}$] x [D4] =						D_4 = 2.58 when trials = 3						UCL_R	**27.41**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	10.63	No. of OP	4
Item check	S	R_p =	270.83	No. of Trial	3
Position	S3	$\bar{X}_{diff}$ =	15.00	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{R}$				
= 3.05 x 10.63	K_1	Trials		%EV = 100[EV/TV]
= 32.41	4.56	2		= **7.34%**
	3.05	3		%Tolerance = 5.19%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 33.99	K_2	OP		= **7.70%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 5.44%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 46.96				= **10.64%**
				% Tolerance = 7.51%
Part variation $PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 438.75	K_3	Parts		= **99.43%**
	1.62	10		% Tolerance = 70.20%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 441.26				

Judge GR&R

Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	700.0	LSL	75.0
Item check	S	Feature Tolerance		625.0		
Position	S4	Tool name		Tension gage - 11E529		

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average
A	1	425.0	350.0	325.0	125.0	325.0	125.0	425.0	150.0	325.0	450.0	302.50
	2	425.0	375.0	325.0	125.0	300.0	125.0	400.0	175.0	325.0	450.0	302.50
	3	400.0	350.0	325.0	150.0	325.0	150.0	425.0	150.0	325.0	425.0	302.50
Average		416.67	358.33	325.00	133.33	316.67	133.33	416.67	158.33	325.00	441.67	$\bar{X}_a$ = 302.50
Range		25.00	25.00	0.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	0.00	25.00	$\bar{R}_a$ = 20.00
B	1	400.0	325.0	350.0	125.0	300.0	150.0	400.0	175.0	325.0	450.0	300.00
	2	400.0	325.0	350.0	125.0	300.0	150.0	400.0	175.0	325.0	450.0	300.00
	3	400.0	325.0	350.0	125.0	300.0	125.0	400.0	150.0	325.0	450.0	295.00
Average		400.00	325.00	350.00	125.00	300.00	141.67	400.00	166.67	325.00	450.00	$\bar{X}_b$ = 298.33
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ = 5.00
C	1	400.0	325.0	350.0	125.0	300.0	125.0	375.0	175.0	300.0	450.0	292.50
	2	400.0	300.0	350.0	150.0	300.0	125.0	375.0	175.0	325.0	450.0	295.00
	3	400.0	300.0	350.0	125.0	300.0	125.0	400.0	150.0	325.0	450.0	292.50
Average		400.00	308.33	350.00	133.33	300.00	125.00	383.33	166.67	316.67	450.00	$\bar{X}_c$ = 293.33
Range		0.00	25.00	0.00	25.00	0.00	0.00	25.00	25.00	25.00	0.00	$\bar{R}_c$ = 12.50
D	1	400.0	325.0	325.0	150.0	300.0	125.0	400.0	150.0	325.0	450.0	295.00
	2	425.0	325.0	350.0	125.0	300.0	150.0	375.0	175.0	325.0	450.0	300.00
	3	400.0	325.0	325.0	125.0	325.0	150.0	400.0	150.0	300.0	450.0	295.00
Average		408.33	325.00	333.33	133.33	308.33	141.67	391.67	158.33	316.67	450.00	$\bar{X}_d$ = 296.67
Range		25.00	0.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	0.00	$\bar{R}_d$ = 20.00
Part Average		**406.25**	**329.17**	**339.58**	**131.25**	**306.25**	**135.42**	**397.92**	**162.50**	**320.83**	**447.92**	$\bar{\bar{X}}$ = 297.71
												$\bar{R}_p$ = 316.67
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator = 4]												$\bar{\bar{R}}$ = 14.38
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ = 9.17
[$\bar{R}$] x [D4] =							D_4 = 2.58 when trials = 3					UCL_R **37.09**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	14.38	No. of OP	4
Item check	S	R_p =	316.67	No. of Trial	3
Position	S4	$\bar{X}_{diff}$ =	9.17	No. of Sample	10

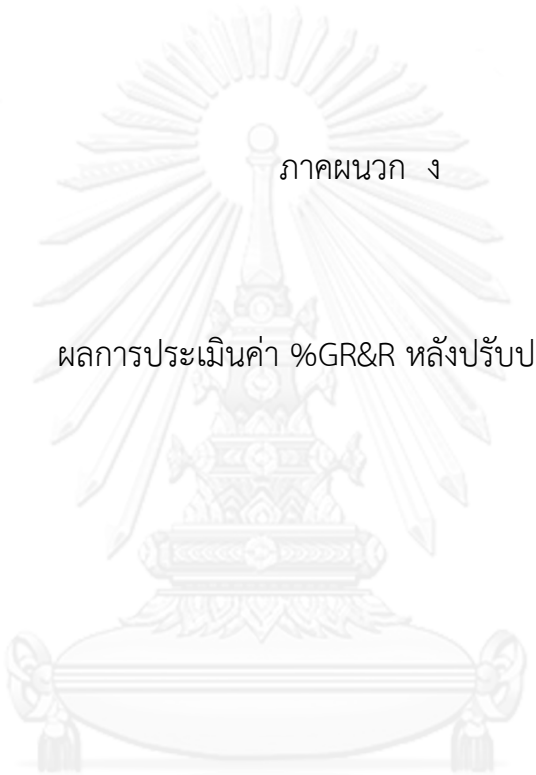
Measurement unit analysis			% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV) $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$			
= 3.05 x 14.38	K_1	Trials	
= 43.84	4.56	2	%EV = 100[EV/TV] = **8.51%**
	3.05	3	%Tolerance = 7.02%
Reproducibility - Appraiser variation (AV) $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$			
= 19.50	K_2	OP	
n=part ,r=trials	3.65	2	%AV = 100[AV/TV] = **3.79%**
	2.30	4	% Tolerance = 3.12%
Repeatability & Reproducibility (GR&R) $GR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$			
= 47.99			%GR&R = 100[GR&R/TV] = **9.31%**
			% Tolerance = 7.68%
Part variation $PV = R_p \times K_3$			
= 513.00	K_3	Parts	%PV = 100[PV/TV] = 99.57%
	1.62	10	% Tolerance = 82.08%
Total variation (TV) $TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$			
= 515.24			

Judge GR&R
Acceptable

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

ผลการประเมินค่า %GR&R หลังปรับปรุงครั้งที่ 2



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	12	LSL	3	
Item check	MT	Feature Tolerance		9			
Position	MT1	Tool name		Torque meter - 2512E			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	4.0	5.35	
	2	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.30	
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	6.5	5.0	6.5	7.0	3.5	5.30	
Average		3.50	5.67	6.00	4.00	5.17	6.83	5.00	6.33	7.00	3.67	$\bar{X}_a$ =	5.32
Range		0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	$\bar{R}_a$ =	0.25
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	3.5'	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.44	
	2	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.30	
	3	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.30	
Average		3.75	5.67	6.00	4.00	5.00	7.00	5.00	6.00	7.00	3.50	$\bar{X}_b$ =	5.29
Range		0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	0.10
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	4.0	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.40	
	2	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	6.5	5.0	6.5	6.5	4.0	5.30	
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	7.0	5.0	6.0	6.5	3.5	5.25	
Average		3.67	5.83	6.00	4.00	5.17	6.83	5.00	6.33	6.67	3.67	$\bar{X}_c$ =	5.32
Range		0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	$\bar{R}_c$ =	0.35
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	3.5	5.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.25	
	2	3.5	5.5	6.0	3.5	5.0	6.5	4.5	6.5	7.0	3.5	5.15	
	3	3.5	5.5	5.5	4.0	5.0	6.5	4.5	6.5	7.0	3.5	5.15	
Average		3.50	5.33	5.83	3.83	5.00	6.67	4.67	6.50	7.00	3.50	$\bar{X}_d$ =	5.18
Range		0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.25
Part Average		**3.59**	**5.63**	**5.96**	**3.96**	**5.08**	**6.83**	**4.92**	**6.29**	**6.92**	**3.58**	$\bar{\bar{X}}$ =	5.28
												R_p =	3.33
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		3	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.24
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.13
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**0.61**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.24	No. of OP	4
Item check	MT	R_p =	3.33	No. of Trial	3
Position	MT1	$\bar{X}_{diff}$ =	0.13	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				%EV = 100[EV/TV]
= 3.05 x 0.24	K_1	Trials		= **13.28%**
= 0.72	4.56	2		%Tolerance = 8.05%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0.28	K_2	OP		= **5.07%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 3.07%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.78				= **14.21%**
				% Tolerance = 8.62%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 5.40	K_3	Parts		= **98.98%**
	1.62	10		% Tolerance = 60.00%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 5.46				

Judge GR&R
Conditionally Accept

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	12	LSL	3	
Item check	MT	Feature Tolerance		9			
Position	MT2	Tool name		Torque meter - 2512E			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	6.5	5.0	6.5	7.0	3.0	5.25	
	2	3.5	6.0	6.0	4.0	5.5	6.5	5.0	6.5	7.0	3.0	5.30	
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	7.0	4.5	6.0	7.0	3.5	5.25	
Average		3.50	5.67	6.00	4.00	5.50	6.67	4.83	6.33	7.00	3.17	$\bar{X}_a$ =	5.27
Range		0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	$\bar{R}_a$ =	0.25
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	7.0	7.0	4.5	5.45	
	2	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.30	
	3	3.5	5.5	6.0	3.5	5.0	7.0	5.0	6.0	6.0	3.5	5.10	
Average		3.50	5.50	6.00	3.83	5.00	7.00	5.00	6.50	6.67	3.83	$\bar{X}_b$ =	5.28
Range		0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	$\bar{R}_b$ =	0.35
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.35	
	2	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	4.5	6.5	6.5	3.5	5.20	
	3	4.0	5.5	5.5	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	6.5	3.0	5.20	
Average		3.83	5.50	5.83	4.00	5.00	7.00	4.83	6.50	6.67	3.33	$\bar{X}_c$ =	5.25
Range		0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	$\bar{R}_c$ =	0.25
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	3.5	5.5	6.0	4.0	4.5	7.0	5.0	6.0	6.5	4.0	5.20	
	2	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	6.5	5.0	6.0	6.5	4.0	5.25	
	3	4.0	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	6.5	4.0	5.40	
Average		3.83	5.67	6.00	4.00	4.83	6.83	5.00	6.17	6.50	4.00	$\bar{X}_d$ =	5.28
Range		0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.25
Part Average		**3.67**	**5.58**	**5.96**	**3.96**	**5.08**	**6.88**	**4.92**	**6.38**	**6.71**	**3.58**	$\bar{\bar{X}}$ =	5.27
												R_p =	3.29
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.28
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.03
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**0.71**

GR&R Evaluation

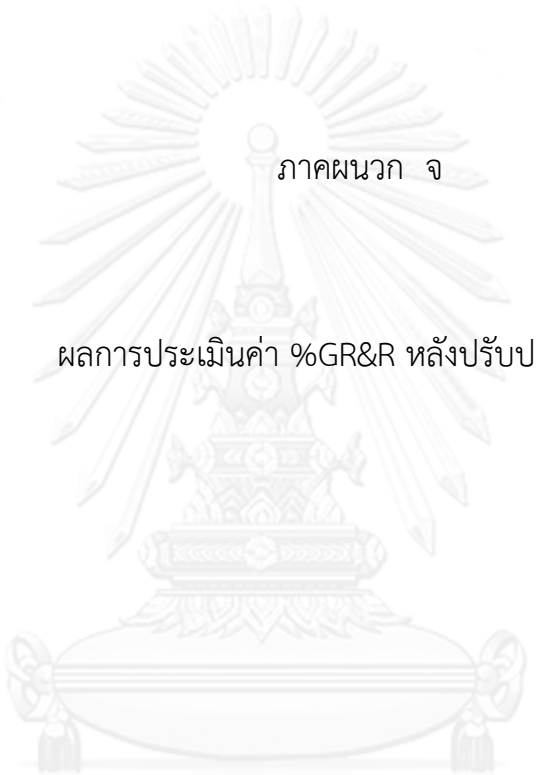
Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.28	No. of OP	4
Item check	MT	R_p =	3.29	No. of Trial	3
Position	MT2	$\bar{X}_{diff}$ =	0.03	No. of Sample	10

Measurement unit analysis				% Total variation
Repeatability - Equipment variation (EV)				
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$				%EV = 100[EV/TV]
= 3.05 x 0.28	K_1	Trials		= **15.54%**
= 0.84	4.56	2		%Tolerance = 9.32%
	3.05	3		
Reproducibility - Appraiser variation (AV)				
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$				%AV = 100[AV/TV]
= 0	K_2	OP		= **0.00%**
n=part ,r=trials	3.65	2		% Tolerance = 0.00%
	2.30	4		
Repeatability & Reproducibility (GR&R)				
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$				%GR&R = 100[GR&R/TV]
= 0.84				= **15.54%**
				% Tolerance = 9.32%
Part variation				
$PV = R_p \times K_3$				%PV = 100[PV/TV]
= 5.33	K_3	Parts		= **98.79%**
	1.62	10		% Tolerance = 59.25%
Total variation (TV)				
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$				
= 5.40				

Judge GR&R
Conditionally Accept

ภาคผนวก จ

ผลการประเมินค่า %GR&R หลังปรับปรุงครั้งที่ 3



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	12	LSL	3	
Item check	MT	Feature Tolerance		9			
Position	MT1	Tool name		Torque meter - 2512E			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	4.0	5.35	
	2	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.25	
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	6.5	5.0	6.5	7.0	3.5	5.30	
Average		3.50	5.50	6.00	4.00	5.17	6.83	5.00	6.33	7.00	3.67	$\bar{X}_a$ =	5.30
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	$\bar{R}_a$ =	0.20
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	3.5'	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.44	
	2	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.30	
	3	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.30	
Average		3.75	5.67	6.00	4.00	5.00	7.00	5.00	6.00	7.00	3.50	$\bar{X}_b$ =	5.29
Range		0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	0.10
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.35	
	2	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	6.5	5.0	6.5	7.0	4.0	5.30	
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.30	
Average		3.67	5.50	6.00	4.00	5.17	6.83	5.00	6.33	7.00	3.67	$\bar{X}_c$ =	5.32
Range		0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	$\bar{R}_c$ =	0.25
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	3.5	5.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.25	
	2	3.5	5.5	6.0	3.5	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.25	
	3	3.5	5.5	5.5	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.25	
Average		3.50	5.33	5.83	3.83	5.00	7.00	5.00	6.50	7.00	3.50	$\bar{X}_d$ =	5.25
Range		0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.15
Part Average		**3.59**	**5.50**	**5.96**	**3.96**	**5.08**	**6.92**	**5.00**	**6.29**	**7.00**	**3.58**	$\bar{\bar{X}}$ =	5.29
												R_p =	3.42
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		3	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.18
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.07
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**0.45**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.18	No. of OP	4
Item check	MT	R_p =	3.42	No. of Trial	3
Position	MT1	$\bar{X}_{diff}$ =	0.07	No. of Sample	10

Measurement unit analysis					% Total variation	
Repeatability - Equipment variation (EV)						
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$					%EV = 100[EV/TV]	
= 3.05 x 0.18	K_1	Trials			=	**9.60%**
= 0.53	4.56	2			%Tolerance =	5.93%
	3.05	3				
Reproducibility - Appraiser variation (AV)						
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$					%AV = 100[AV/TV]	
= 0.12	K_2	OP			=	**2.13%**
n=part ,r=trials	3.65	2			% Tolerance =	1.32%
	2.30	4				
Repeatability & Reproducibility (GR&R)						
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$					%GR&R = 100[GR&R/TV]	
= 0.55					=	**9.83%**
					% Tolerance =	6.07%
Part variation						
$PV = R_p \times K_3$					%PV = 100[PV/TV]	
= 5.54	K_3	Parts			=	99.52%
	1.62	10			% Tolerance =	61.50%
Total variation (TV)						
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$						
= 5.56						

Judge GR&R

Acceptable

GR&R Study

Model	B8	Specification	USL	12	LSL	3	
Item check	MT	Feature Tolerance		9			
Position	MT2	Tool name		Torque meter - 2512E			

Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
A	1	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.30	
	2	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	6.5	5.0	6.5	7.0	3.0	5.25	
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.5	7.0	5.0	6.5	7.0	3.5	5.35	
Average		3.50	5.67	6.00	4.00	5.17	6.83	5.00	6.50	7.00	3.33	$\bar{X}_a$ =	5.30
Range		0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	$\bar{R}_a$ =	0.20
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
B	1	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	6.5	3.0	5.15	
	2	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.5	6.5	3.5	5.25	
	3	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	6.0	3.5	5.15	
Average		3.50	5.50	6.00	4.00	5.00	7.00	5.00	6.17	6.33	3.33	$\bar{X}_b$ =	5.18
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	$\bar{R}_b$ =	0.15
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
C	1	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	7.0	3.5	5.30	
	2	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	4.5	6.0	6.5	3.5	5.15	
	3	4.0	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	6.5	3.5	5.25	
Average		3.83	5.50	6.00	4.00	5.00	7.00	4.83	6.00	6.67	3.50	$\bar{X}_c$ =	5.23
Range		0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.50	0.00	$\bar{R}_c$ =	0.15
Operator	Trial	Part No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	
D	1	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	6.5	3.5	5.20	
	2	3.5	5.5	6.0	4.0	5.0	6.5	5.0	6.0	6.5	3.5	5.15	
	3	3.5	6.0	6.0	4.0	5.0	7.0	5.0	6.0	6.5	3.5	5.25	
Average		3.50	5.67	6.00	4.00	5.00	6.83	5.00	6.00	6.50	3.50	$\bar{X}_d$ =	5.20
Range		0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_d$ =	0.10
Part Average		**3.58**	**5.58**	**6.00**	**4.00**	**5.04**	**6.92**	**4.96**	**6.17**	**6.63**	**3.42**	$\bar{\bar{X}}$ =	5.23
												R_p =	3.50
([$\bar{R}_a$]+[$\bar{R}_b$]+[$\bar{R}_c$]+[$\bar{R}_d$]) / [#Of operator =		4	]									$\bar{\bar{R}}$ =	0.15
[Max $\bar{X}$] - [Min $\bar{X}$] =												$\bar{X}_{diff}$ =	0.12
[$\bar{R}$] x [D4] =					D_4 = 2.58 when trials = 3							UCL_R	**0.39**

GR&R Evaluation

Model	B8	$\bar{\bar{R}}$ =	0.15	No. of OP	4
Item check	MT	R_p =	3.50	No. of Trial	3
Position	MT2	$\bar{X}_{diff}$ =	0.12	No. of Sample	10

Measurement unit analysis					% Total variation	
Repeatability - Equipment variation (EV)						
$EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$					%EV = 100[EV/TV]	
= 3.05 x 0.15	K_1	Trials			=	**8.03%**
= 0.46	4.56	2			%Tolerance =	5.08%
	3.05	3				
Reproducibility - Appraiser variation (AV)						
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - [(EV)^2/(nr)]}$					%AV = 100[AV/TV]	
= 0.26	K_2	OP			=	**4.48%**
n=part ,r=trials	3.65	2			% Tolerance =	2.83%
	2.30	4				
Repeatability & Reproducibility (GR&R)						
$GR\ \&\ R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$					%GR&R = 100[GR&R/TV]	
= 0.52					=	**9.20%**
					% Tolerance =	5.82%
Part variation						
$PV = R_p \times K_3$					%PV = 100[PV/TV]	
= 5.67	K_3	Parts			=	99.58%
	1.62	10			% Tolerance =	63.00%
Total variation (TV)						
$TV = \sqrt{GR\ \&\ R^2 + PV^2}$						
= 5.69						

Judge GR&R

Acceptable

ภาคผนวก ฉ

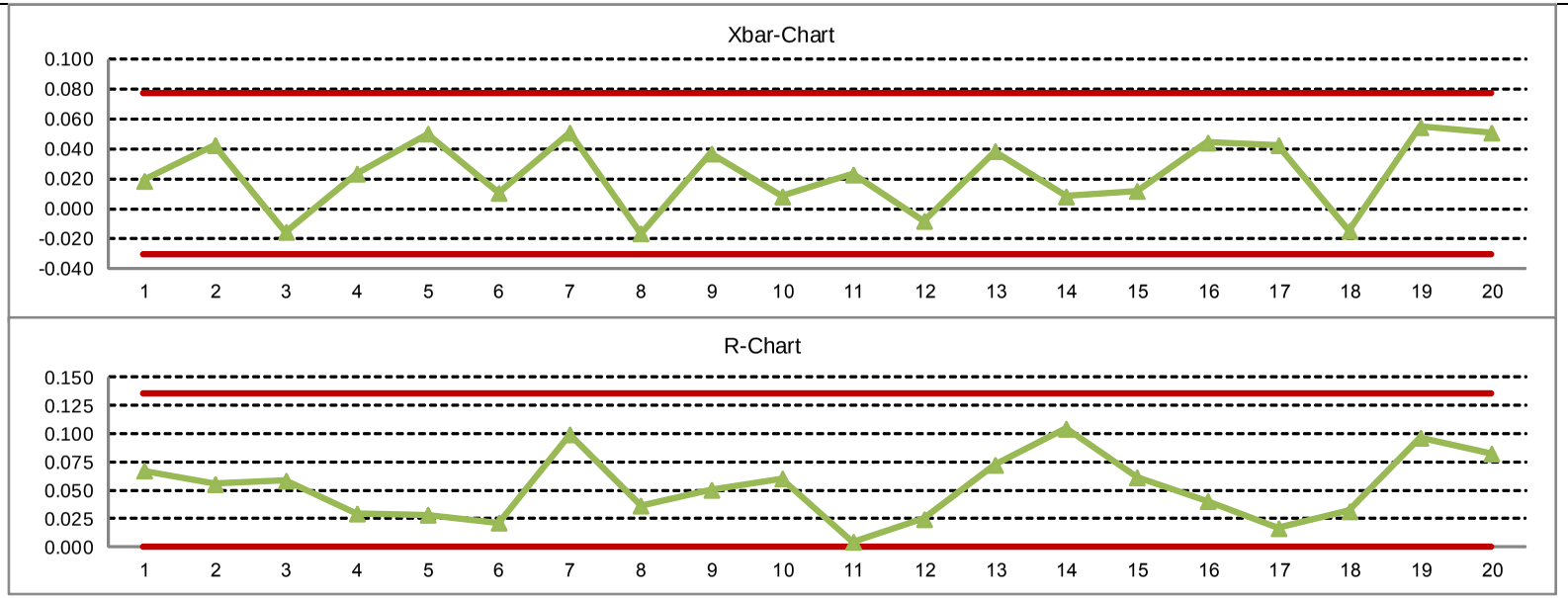
ผลการประเมินความมีเสถียรภาพของเครื่องมือวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ใบประเมินความเสถียร โดยแผนภูมิควบคุมสำหรับค่าวัด (Xbar-R) Model B8

พารามิเตอร์ M	เครื่องมือวัด MMachine	Tool. No 012T	ชื่อผู้วัด
ตำแหน่งการวัด M1	ขนาดตัวอย่าง / ความถี่ 3 ครั้ง / วัน	หน่วยวัด mm.	เวลาวัด

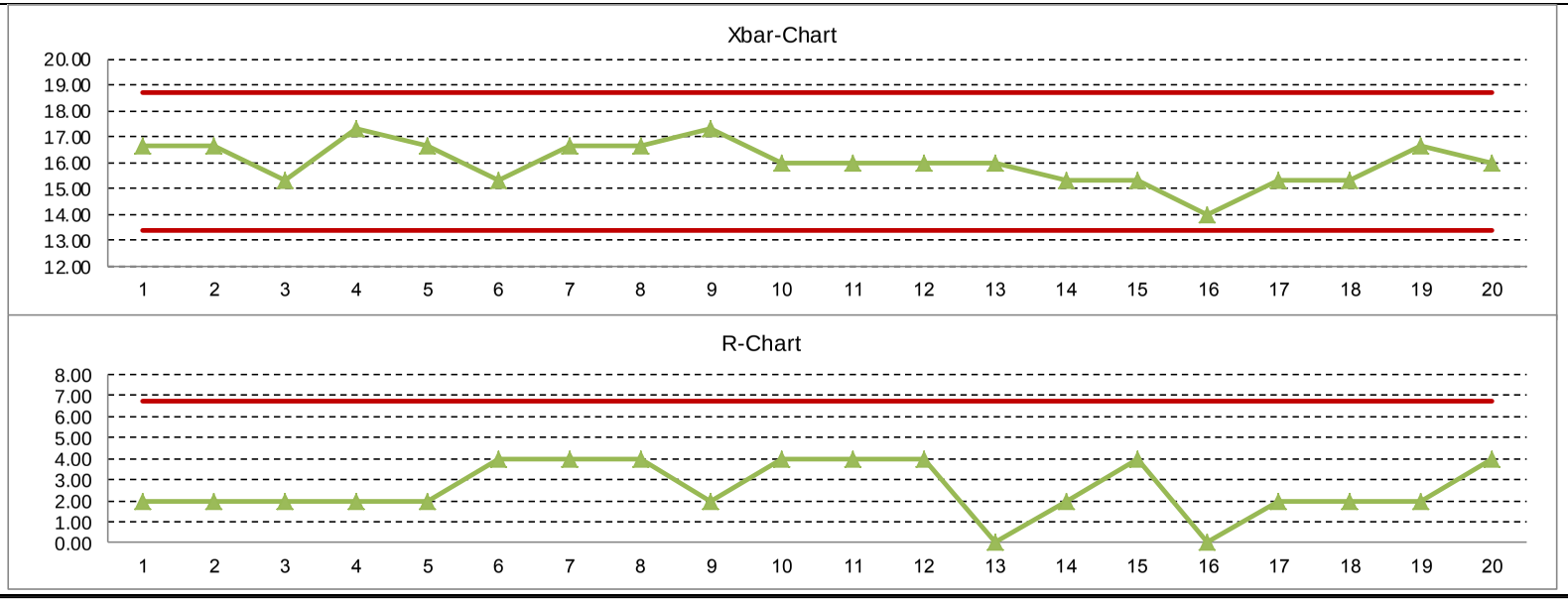
วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AVG
ค่าวัด	1	0.004	0.076	-0.005	0.005	0.058	0.004	0.088	-0.026	0.052	0.031	0.025	0.005	0.079	0.030	0.024	0.029	0.050	-0.028	0.081	0.079	**0.033**
	2	-0.008	0.020	0.009	0.031	0.032	0.003	-0.012	-0.030	0.055	0.024	0.024	-0.009	0.031	-0.055	0.037	0.034	0.045	-0.020	0.090	0.078	**0.019**
	3	0.060	0.032	-0.050	0.035	0.061	0.025	0.077	0.007	0.004	-0.030	0.020	-0.020	0.006	0.050	-0.025	0.070	0.033	0.004	-0.007	-0.004	**0.017**
ผลรวม		0.056	0.128	-0.046	0.071	0.151	0.032	0.153	-0.049	0.111	0.025	0.069	-0.024	0.116	0.025	0.036	0.133	0.128	-0.044	0.164	0.153	
ค่าเฉลี่ย (Xbar)		0.019	0.043	-0.015	0.024	0.050	0.011	0.051	-0.016	0.037	0.008	0.023	-0.008	0.039	0.008	0.012	0.044	0.043	-0.015	0.055	0.051	**0.023**
พิสัย (R)		0.068	0.056	0.059	0.030	0.029	0.022	0.100	0.037	0.051	0.061	0.005	0.025	0.073	0.105	0.062	0.041	0.017	0.032	0.097	0.083	**0.053**



ใบประเมินความเสถียร โดยแผนภูมิควบคุมสำหรับค่าวัด (Xbar-R) Model B8

พารามิเตอร์ Z	เครื่องมือวัด Torque Meter	Tool. No	ชื่อผู้วัด
ตำแหน่งการวัด Z1	ขนาดตัวอย่าง / ความถี่ 3 ครั้ง / วัน	หน่วยวัด Kg.cm	เวลาวัด

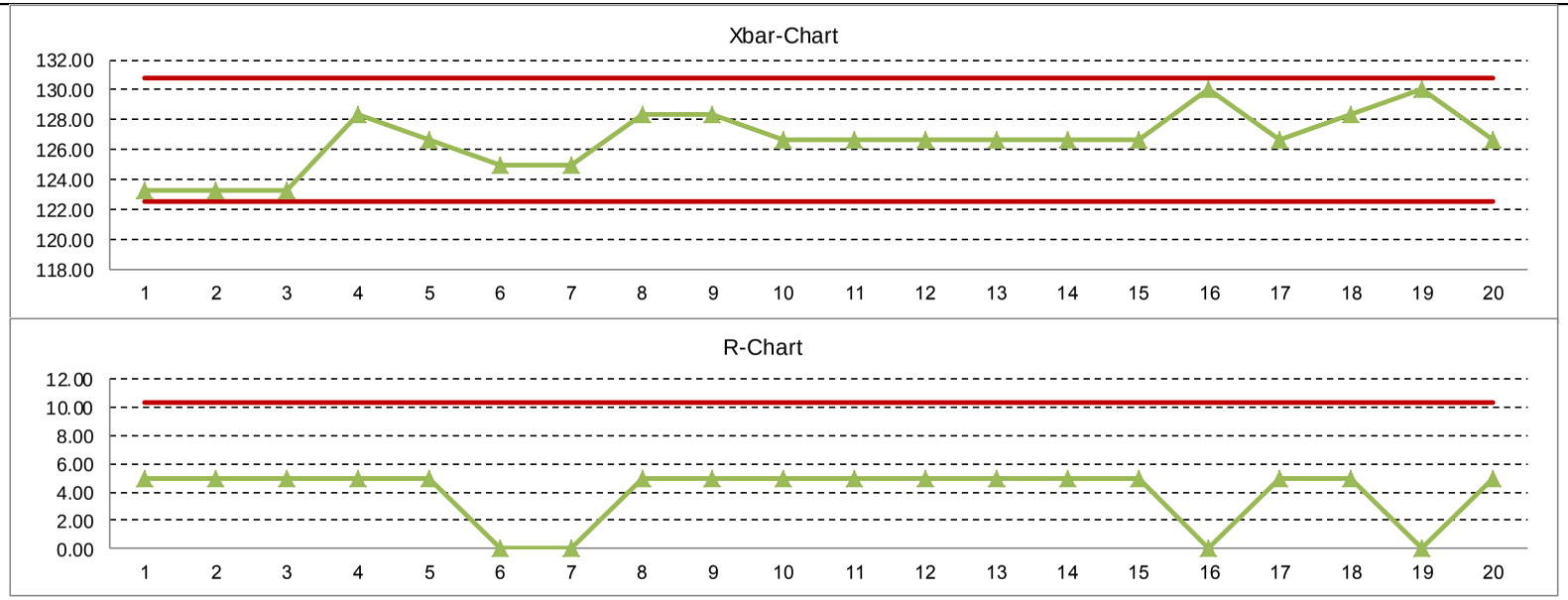
วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AVG
ค่าวัด	1	16	18	16	18	18	18	18	18	18	18	16	16	16	16	14	14	14	14	16	14	**16.3**
	2	16	16	14	18	16	14	18	14	16	14	18	14	16	14	14	14	16	16	18	18	**15.7**
	3	18	16	16	16	16	14	14	18	18	16	14	18	16	16	18	14	16	16	16	16	**16.1**
ผลรวม		50.0	50.0	46.0	52.0	50.0	46.0	50.0	50.0	52.0	48.0	48.0	48.0	48.0	46.0	46.0	42.0	46.0	46.0	50.0	48.0	
ค่าเฉลี่ย (Xbar)		16.7	16.7	15.3	17.3	16.7	15.3	16.7	16.7	17.3	16.0	16.0	16.0	16.0	15.3	15.3	14.0	15.3	15.3	16.7	16.0	**16.0**
พิสัย (R)		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0	4.0	2.0	4.0	4.0	4.0	0.0	2.0	4.0	0.0	2.0	2.0	2.0	4.0	**2.6**



ใบประเมินความเสถียร โดยแผนภูมิควบคุมสำหรับค่าวัด (Xbar-R) Model B8

พารามิเตอร์ G	เครื่องมือวัด Tension Gage	Tool. No	ชื่อผู้วัด
ตำแหน่งการวัด G1	ขนาดตัวอย่าง / ความถี่ 3 ครั้ง / วัน	หน่วยวัด g.	เวลาวัด

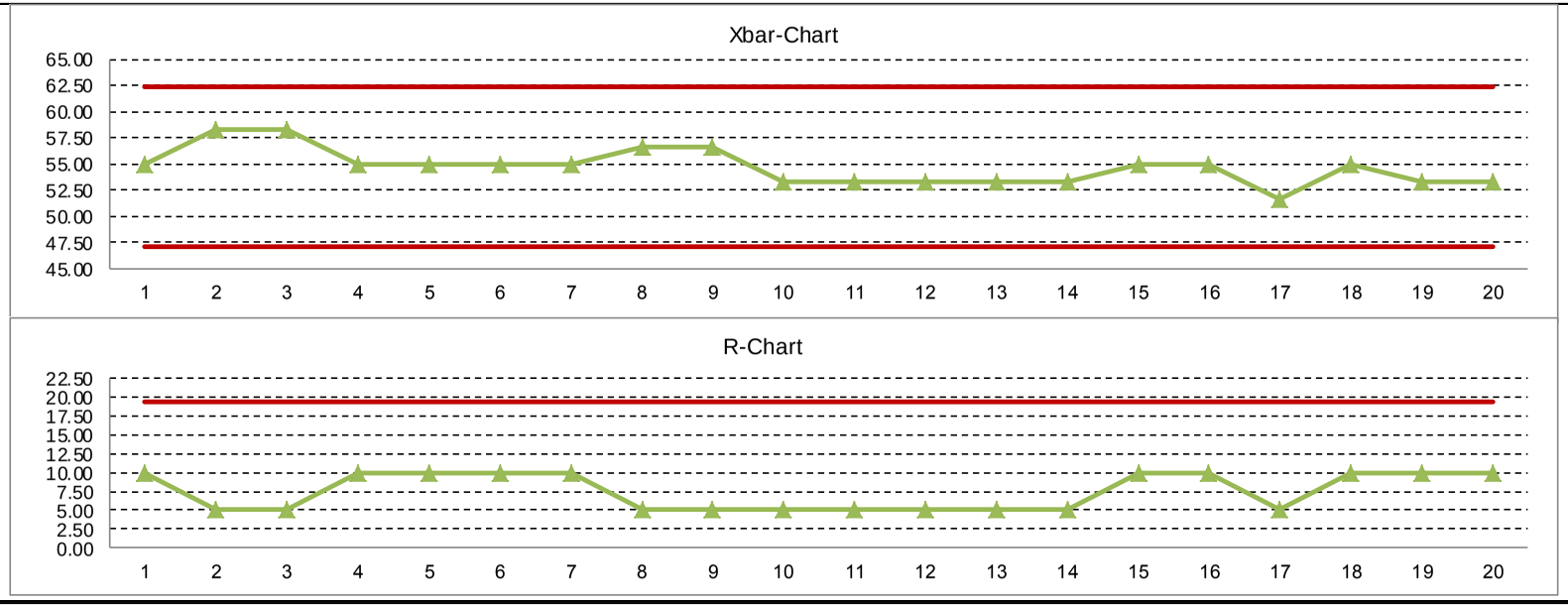
วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AVG
ค่าวัด	1	120	120	125	125	125	125	125	125	130	125	125	125	125	125	125	130	125	125	130	125	**125.3**
	2	125	125	120	130	125	125	125	130	130	130	130	130	130	125	125	130	125	130	130	130	**127.5**
	3	125	125	125	130	130	125	125	130	125	125	125	125	125	130	130	130	130	130	130	125	**127.3**
ผลรวม		370.0	370.0	370.0	385.0	380.0	375.0	375.0	385.0	385.0	380.0	380.0	380.0	380.0	380.0	380.0	390.0	380.0	385.0	390.0	380.0	
ค่าเฉลี่ย (Xbar)		123.3	123.3	123.3	128.3	126.7	125.0	125.0	128.3	128.3	126.7	126.7	126.7	126.7	126.7	126.7	130.0	126.7	128.3	130.0	126.7	**126.7**
พิสัย (R)		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00	0.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	0.00	5.00	5.00	0.00	5.00	**4.00**



ใบประเมินความเสถียร โดยแผนภูมิควบคุมสำหรับค่าวัด (Xbar-R) Model B8

พารามิเตอร์ A	เครื่องมือวัด Tension Gage	Tool. No	ชื่อผู้วัด
ตำแหน่งการวัด A1	ขนาดตัวอย่าง / ความถี่ 3 ครั้ง / วัน	หน่วยวัด g.	เวลาวัด

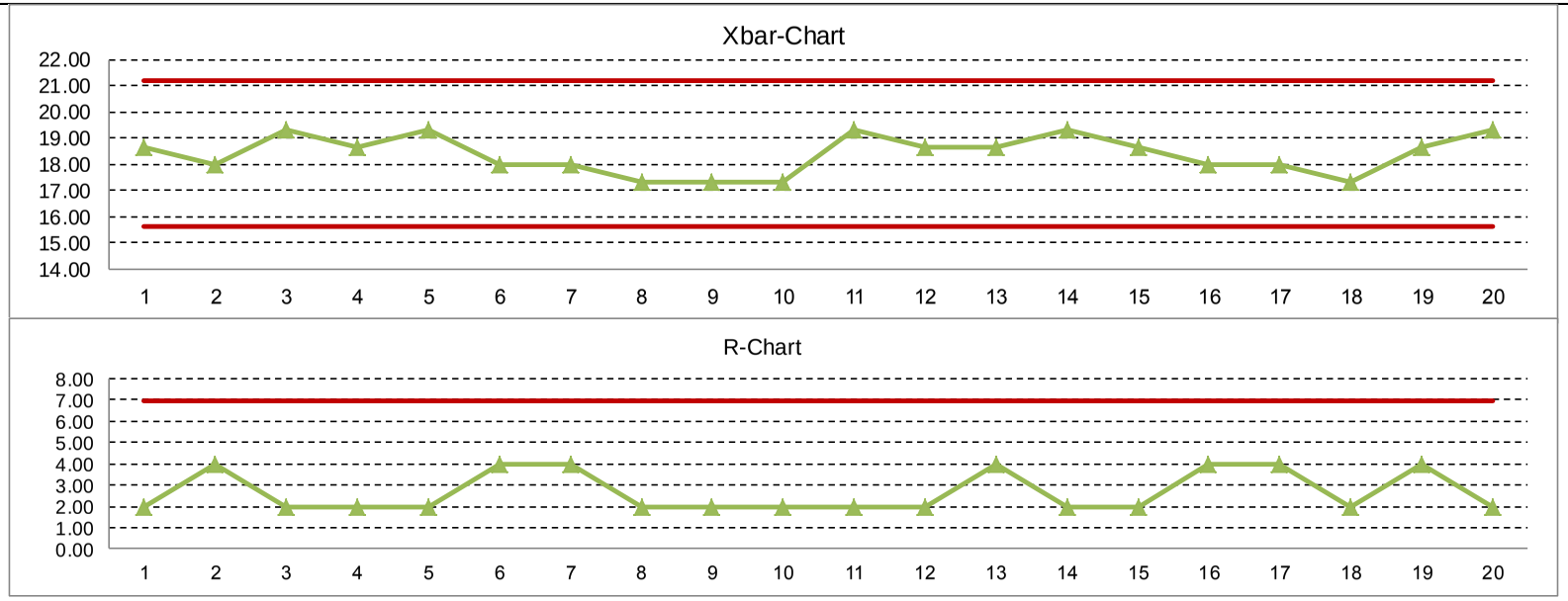
วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AVG
ค่าวัด	1	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	60	50	50	50	50	50	**54.0**
	2	50	60	60	60	60	60	60	60	60	50	50	50	50	50	50	60	50	60	60	50	**55.5**
	3	60	60	60	50	50	50	50	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	50	60	**54.8**
ผลรวม		165.0	175.0	175.0	165.0	165.0	165.0	165.0	170.0	170.0	160.0	160.0	160.0	160.0	160.0	165.0	165.0	155.0	165.0	160.0	160.0	
ค่าเฉลี่ย (Xbar)		55.0	58.3	58.3	55.0	55.0	55.0	55.0	56.7	56.7	53.3	53.3	53.3	53.3	53.3	55.0	55.0	51.7	55.0	53.3	53.3	**54.8**
พิสัย (R)		10.0	5.0	5.0	10.0	10.0	10.0	10.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	10.0	10.0	5.0	10.0	10.0	10.0	**7.5**



ใบประเมินความเสถียร โดยแผนภูมิควบคุมสำหรับค่าวัด (Xbar-R) Model B8

พารามิเตอร์ F	เครื่องมือวัด Torque Meter	Tool. No	ชื่อผู้วัด
ตำแหน่งการวัด F1	ขนาดตัวอย่าง / ความถี่ 3 ครั้ง / วัน	หน่วยวัด g.cm	เวลาวัด

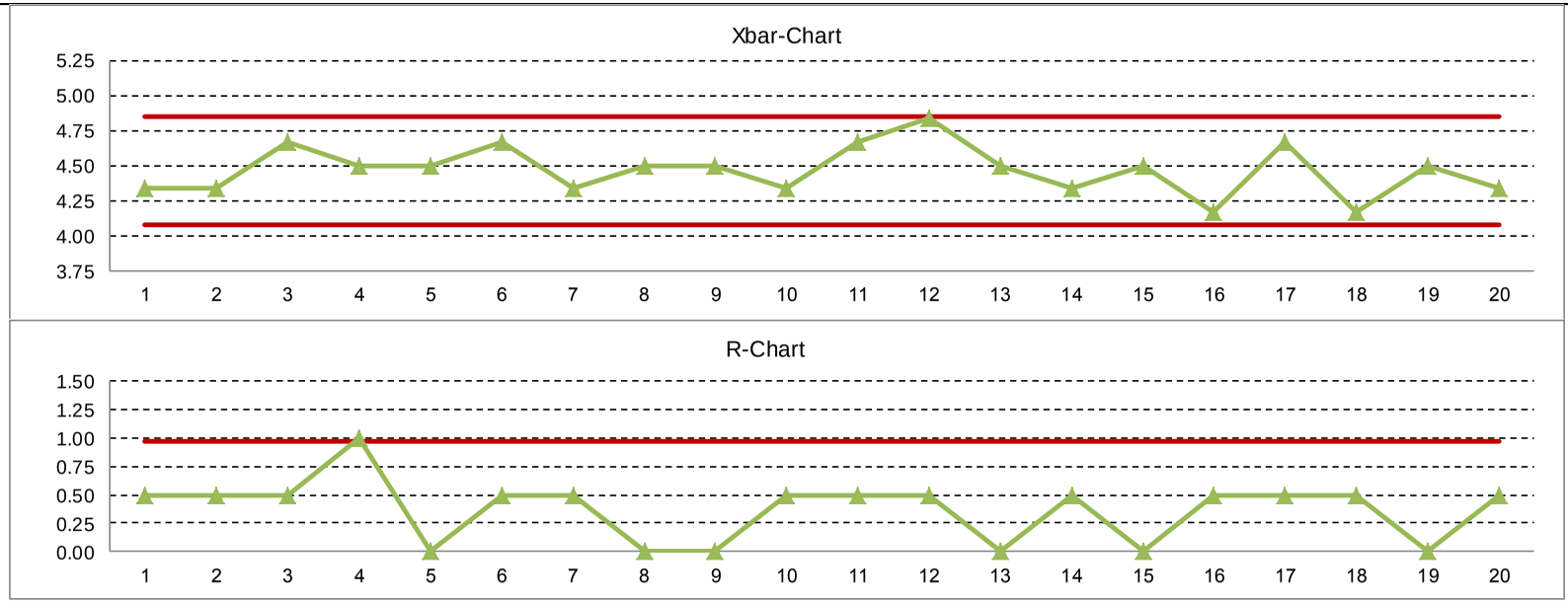
วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AVG
ค่าวัด	1	18	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	16	18	18	16	16	18	16	20	**17.8**
	2	20	16	20	20	20	20	20	16	16	16	20	20	20	20	20	20	20	16	20	20	**19.0**
	3	18	18	20	18	20	16	16	18	18	18	20	18	20	20	18	18	18	18	20	18	**18.4**
ผลรวม		56.0	54.0	58.0	56.0	58.0	54.0	54.0	52.0	52.0	52.0	58.0	56.0	56.0	58.0	56.0	54.0	54.0	52.0	56.0	58.0	
ค่าเฉลี่ย (Xbar)		18.7	18.0	19.3	18.7	19.3	18.0	18.0	17.3	17.3	17.3	19.3	18.7	18.7	19.3	18.7	18.0	18.0	17.3	18.7	19.3	**18.4**
พิสัย (R)		2.0	4.0	2.0	2.0	2.0	4.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0	4.0	4.0	2.0	4.0	2.0	**2.7**



ใบประเมินความเสถียร โดยแผนภูมิควบคุมสำหรับค่าวัด (Xbar-R) Model B8

พารามิเตอร์ MT	เครื่องมือวัด Torque Meter	Tool. No	ชื่อผู้วัด
ตำแหน่งการวัด MT1	ขนาดตัวอย่าง / ความถี่ 3 ครั้ง / วัน	หน่วยวัด Kg.cm	เวลาวัด

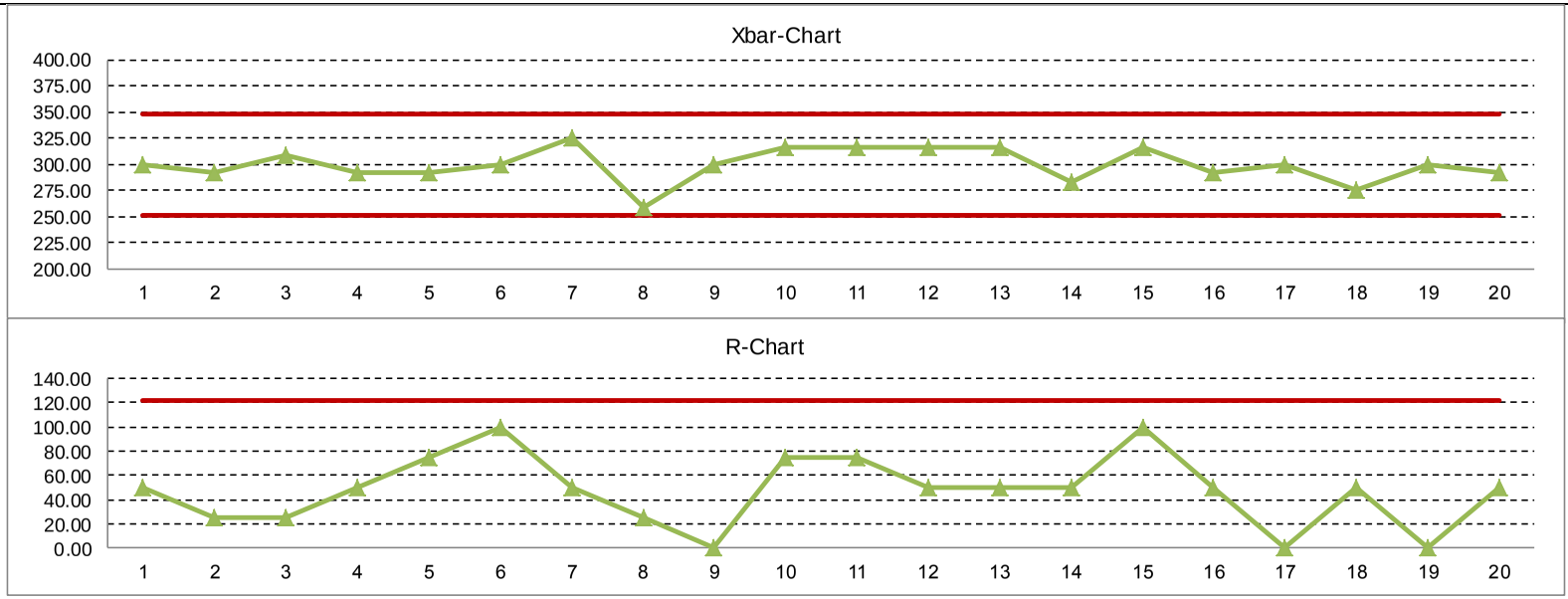
วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AVG
ค่าวัด	1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	5.0	5.0	4.5	4.5	4.5	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	**4.50**
	2	4.5	4.5	5.0	5.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.0	**4.53**
	3	4.0	4.0	4.5	4.0	4.5	5.0	4.0	4.5	4.5	4.0	4.5	5.0	4.5	4.0	4.5	4.0	5.0	4.0	4.5	4.5	**4.38**
ผลรวม		13.00	13.00	14.00	13.50	13.50	14.00	13.00	13.50	13.50	13.00	14.00	14.50	13.50	13.00	13.50	12.50	14.00	12.50	13.50	13.00	
ค่าเฉลี่ย (Xbar)		4.33	4.33	4.67	4.50	4.50	4.67	4.33	4.50	4.50	4.33	4.67	4.83	4.50	4.33	4.50	4.17	4.67	4.17	4.50	4.33	**4.47**
พิสัย (R)		0.50	0.50	0.50	1.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	**0.38**



ใบประเมินความเสถียร โดยแผนภูมิควบคุมสำหรับค่าวัด (Xbar-R) Model B8

พารามิเตอร์ S	เครื่องมือวัด Tension gage - 11E529	Tool. No	ชื่อผู้วัด
ตำแหน่งการวัด S1	ขนาดตัวอย่าง / ความถี่ 3 ครั้ง / วัน	หน่วยวัด g.	เวลาวัด

วันที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	AVG
ค่าวัด	1	300	300	300	275	325	350	350	250	300	325	325	350	350	250	350	275	300	250	300	275	**305.0**
	2	325	300	300	275	300	300	300	275	300	275	275	300	300	300	250	325	300	275	300	325	**295.0**
	3	275	275	325	325	250	250	325	250	300	350	350	300	300	300	350	275	300	300	300	275	**298.8**
ผลรวม		900.0	875.0	925.0	875.0	875.0	900.0	975.0	775.0	900.0	950.0	950.0	950.0	950.0	850.0	950.0	875.0	900.0	825.0	900.0	875.0	
ค่าเฉลี่ย (Xbar)		300.0	291.7	308.3	291.7	291.7	300.0	325.0	258.3	300.0	316.7	316.7	316.7	316.7	283.3	316.7	291.7	300.0	275.0	300.0	291.7	**299.6**
พิสัย (R)		50.0	25.0	25.0	50.0	75.0	100.0	50.0	25.0	0.0	75.0	75.0	50.0	50.0	50.0	100.0	50.0	0.0	50.0	0.0	50.0	**47.5**



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวประภัสวรรณ สวัสดิ์วงษ์ เกิดวันที่ 2 เมษายน พ.ศ.2529 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรประกันคุณภาพงาน ที่บริษัทผลิตกล้องและซูมเลนส์แห่งหนึ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University