การปรับปรุงขั้นตอนการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ

นายปฏิพล มูสิกะปาละ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Improvement of the calibration process of the digital dial gauge

Mr. Patipon Musigapala

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงขั้นตอนการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ
โดย	นายปฏิพล มูสิกะปาละ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

---------- กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

---------- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปฏิพล มูสิกะปาละ : การปรับปรุงขั้นตอนการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ. (Improvement of the calibration process of the digital dial gauge) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ซึ่งเป็นหนึ่งในขั้นตอนของกระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ เพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติทั้งการสอบเทียบในสถานที่ตั้ง และนอกสถานที่ตั้ง เนื่องจากปัญหาส่วนใหญ่ที่พบมาจากงานสอบเทียบนอกสถานที่ตั้ง ต้องบริหารจัดการงานให้ได้ตามแผนงานที่กำหนดไว้ในแต่ละวัน ถ้าไม่สามารถทำการสอบเทียบได้ทันตามแผนงาน ส่งผลให้เกิดเป็นงานค้างในระบบ เสียเวลา และเสียค่าใช้จ่ายในการเดินทาง จากการทบทวนขั้นตอนการปฏิบัติงาน พบว่าก่อนเริ่มใช้งานเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ และเกจบล็อก ทุกครั้งต้องตั้งเครื่องมือไว้ที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 120 นาที จึงเป็นสาเหตุทำให้ระยะเวลาการสอบเทียบนานจึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาหาระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่สามารถเริ่มใช้เครื่องดิจิทัลไดอัลเกจวัดค่าได้ และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการวัดค่า กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ชุดเครื่องมือวัด ระยะเวลารอ และอุณหภูมิเกจบล็อก ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, แผนภูมิควบคุมคุณภาพ และค่าสัดส่วน เพื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่ใช้ในการทดลอง จากการทดลองพบว่าสามารถลดระยะเวลาการเตรียมเครื่องมือวัดได้จากเดิม 120 นาที เหลือเพียง 60 นาที โดยที่ค่าวัดไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ส่งผลให้ระยะเวลาในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติลดลงได้ถึง 10.34% ในรุ่นที่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า และ 41.38% ในรุ่นที่ไม่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6270149821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Calibration, Digital dial gauge, Uncertainty, Quality system

Patipon Musigapala : Improvement of the calibration process of the digital dial gauge. Advisor: Prof. Somkiat Tangjitsitcharoen, Ph.D.

The objectives of this research are to improve the calibration method of digital dial gauges. It can reduce the calibration process time of the Titrator. As most problems arise from on-site calibration, because of work have limited time and must be to manage the work according to the plan, if a job cannot complete following plan this results in backlogs in the system, time-consuming and costly traveling. From the review of work instruction, before using the digital dial gauge and gauge block, the instrument had to be set at the laboratory for 120 minutes, causing long calibration times. Therefore, experiments were designed to study the minimum time that a digital dial gauge can be used for the measurement. Determine the variables used in the experiment, such as Set of tools, lead time, and temperature of the gage block under specified experimental conditions. Using analysis of variance at 95% confidence level, control chart, and En ratio to measure the effectiveness of the experimental method. From the experiment, it was found that the preparation time of the measuring instrument could be reduced from 120 minutes to 60 minutes without exceeding the tolerance, which results in a reduction in the calibration time of the Titrator can be reduced up to 10.34% for the electrical-calibrated model and 41.38% for the non-electrical calibrate the model.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Industrial Engineering	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การปรุงกระบวนการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ฉบับนี้สำเร็จผลได้ด้วยดี เพราะได้รับความใส่ใจ แนะนำแนวทาง และช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิทเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้ใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือสำหรับทำการศึกษาทดลอง และสละเวลาในการให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ รวมถึงรองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ในการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และปรับปรุงข้อบกพร่องตั้งแต่เริ่มต้นตลอดจนสำเร็จสมบูรณ์ ตลอดจนความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่านในขณะศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้วิจัยขอขอบคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษา ผู้จัดการฝ่ายบริการ ทีมวิศกรสอบเทียบ และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่เกี่ยวข้องที่ให้ความร่วมมือระดมความคิดเห็น คอยอำนวยความสะดวก และตอบคำถามข้อสงสัยให้เป็นอย่างดีขณะทำการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา บุคคลในครอบครัว และเพื่อนๆ ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้การศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ทั้งนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ

ปฏิพล มูสิกะปาละ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญภาพ ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. บทนำ 1

1.2. ข้อมูลทั่วไป 1

1.3. การศึกษากระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ 4

1.4. ศึกษาสภาพปัญหาและความสำคัญของปัญหา 5

1.5. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5

1.6. ขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์ 5

1.7. ขั้นตอนการดำเนินงาน 6

1.8. ประโยชน์ที่ได้รับ 6

1.9. แผนการดำเนินการวิจัย 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1. เครื่องมือวัดไดอัลเกจ 8

2.1.1 การใช้งานไดอัลเกจในการวัด 8

2.1.2 วิธีการสอบเทียบไดอัลเกจ 9

2.2. มาตรฐานค่าของ Gauge Block 9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 การเลือกใช้เกจบล็อก 11
2.2.2 ความเรียบของหน้าของผิวหน้าวัด 12
2.3. แผนผังก้างปลา 13
2.4. การวัด 14
2.4.1 วัตถุประสงค์ของการวัด 14
2.4.2 องค์ประกอบของขนาด มิติ และความยาว (Dimension) 14
2.4.3 ประเภทของการวัด 14
2.5. การเลือกใช้เครื่องมือวัด 15
2.6. วิธีการตรวจสอบเครื่องมือ 15
2.7. การทวนสอบ (Verification) 16
2.8. การสร้างความมั่นใจในความใช้ได้ของผล (Ensuring the Validity of result) 16
2.9. การตั้งข้อกำหนดของการวัดและเครื่องมือวัดตามการใช้งาน 17
2.9.1 การตั้งข้อกำหนดของการวัด 17
2.9.2 การตั้งข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัด 19
2.10. การประเมินระบบการวัด 21
2.10.1 ความสามารถสอบกลับได้ (Traceability System) 21
2.10.2 ความผิดพลาดในระบบการวัด 22
2.10.3 สาเหตุของความผิดพลาดในการวัด 22
2.11. ค่าไม่แน่นอนในการวัด 23
2.11.1 ค่าความไม่แน่นอนชนิด A 25
2.11.2 ค่าความไม่แน่นอนชนิด B 27
2.12. แหล่งความไม่แน่นอนของการสอบเทียบด้านมิติ และความยาว 31
2.12.1 ความไม่เที่ยงของไดอัลเกจ (Repeatability) 31
2.12.2 ความผิดพลาดของค่าชี้บอก 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.12.3 ค่าความแม่นยำของเครื่องมือ และค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบ (Accuracy & Uncertainty) 31
2.12.4 ความละเอียดเครื่องมือ (Resolution) 31
2.12.5 อุณหภูมิ (Temperature) 32
2.13. ค่าความแม่นยำ (Accuracy) 33
2.13.1 การเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าที่ยอมรับ (reference value) 33
2.13.2 การตรวจสอบค่าคืนกลับ (recovery test) 33
2.14. ค่าความเที่ยง (Precision) 34
2.14.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; RSD) 34
2.14.3 สัมประสิทธ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation; CV) 34
2.15. การประเมินผลจากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการ 34
2.16. การกำหนดจำนวนรอบทำซ้ำของการทดลอง (Number of Replications) 35
2.17. มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ใช้ในการทดลอง 35
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการออกแบบการทดลอง 37
3.1. ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ 37
3.2. ข้อจำกัดด้านเครื่องมือวัด 41
3.3. ตัวแปรในการทดลอง 41
3.3.1 ตัวแปรควบคุม 41
3.3.2 ตัวแปรไม่ควบคุม 42
3.3.3 ค่ามาตรฐานที่ใช้ควบคุมภายในห้องปฏิบัติการ 42
3.4. เงื่อนไขการศึกษาทดลอง 43
3.5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 43
3.5.1 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 43
3.5.2 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6. วิธีการดำเนินการทดลอง....46
3.6.1 การดำเนินการทดลอง....46
3.6.2 จำนวนการทำการทดลองซ้ำ (Number of Replication)....47
3.6.3 ขั้นตอนการทดลองเพื่อสอบเทียบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ....48
บทที่ 4 ผลการดำเนินการทดลอง....51
4.1. ค่าวัดจากการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ....52
4.2. ค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ....53
4.3. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ....59
4.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัด....59
4.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความไม่แน่นอน....63
4.3.3 วิเคราะห์และอภิปรายผลของอิทธิพลหลัก....66
4.3.4 วิเคราะห์และอภิปลายผลของอิทธิพลร่วม....69
4.4. การเลือกใช้เครื่องมือวัด....74
4.4.1 เกณฑ์การยอมรับของเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ISO 10012....74
4.4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1....77
4.4.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 2....80
4.4.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 3....84
4.4.5 การวิเคราะห์ค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัด....87
4.5. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ....88
4.5.1 กราฟเส้นตรงจากสมการถดถอยเชิงเส้นของค่าวัด โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1....89
4.5.2 กราฟเส้นตรงจากสมการถดถอยเชิงเส้นของค่าวัด โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3....90
4.6. การประเมินประสิทธิภาพความใช้ได้ของวิธีการที่ใช้สอบเทียบ....91
4.7. การเปรียบเทียบผลการลดระยะเวลาและสรุปผล....92
4.8. การปรับใช้กับการปฏิบัติงานจริง....93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 96
5.1. สรุปผลการวิจัย 96
5.2. ข้อเสนอแนะ 97
บรรณานุกรม 99
ภาคผนวก ก 101
ก.1. ตัวอย่างการวัดค่า 102
ก.2. ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ 104
ก.2.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดเอ (Type A) 105
ก.2.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดบี (Type B) 105
ก.2.3 ค่าความไม่แน่นอนรวม (Uncertainty Combine) 108
ก.2.4 ค่าองศาแห่งความอิสระ (Degree of freedom; $veff$) 108
ก.2.5 ค่าความไม่แน่นอนส่วนขยาย (Expanded Uncertainty; U) 109
ก.3. ค่าวัดเฉลี่ย 110
ก.4. ตัวอย่างการคำนวณค่า $En\ Ratio$ จากการสอบเทียบ 110
ก.5. การวิเคราะห์สมการถดถอยพหูคูณของค่าวัด 111
ก.5.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัดที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร 111
ก.5.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัดที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร 113
ก.6. การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าความไม่แน่นอนในการวัด 115
ก.6.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร 115
ก.6.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร 117
ภาคผนวก ข 119
ข.1. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.2. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 2 123
ข.3. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 3 126
ประวัติผู้เขียน 129

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงานวิจัย 7
ตารางที่ 2-1 ค่ามาตรฐานของเกจบล็อกในแต่ละระดับตามาตรฐาน ISO 3650:1999 10
ตารางที่ 2-2 การประยุกต์ใช้เกจบล็อกตามลักษณะของงาน 11
ตารางที่ 2-3 ตารางการกระจายแบบ T-Distribution 30
ตารางที่ 3-1 วิเคราะห์สาเหตุหลัก และต้นเหตุที่ส่งผลต่อการสอบเทียบ 39
ตารางที่ 3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับสาเหตุ 40
ตารางที่ 3-3 ข้อจำกัดเครื่องมือวัดในการทดลอง 41
ตารางที่ 3-4 การจัดชุดเครื่องมือวัดที่ใช้ในแต่ละห้องปฏิบัติการ 42
ตารางที่ 3-5 กลุ่มตัวแปรที่ส่งผลต่อระยะเวลาในขั้นตอนการตรวจสภาพเครื่องมือวัด 42
ตารางที่ 3-6 ตัวชี้วัดการทดลอง 43
ตารางที่ 3-7 เงื่อนไขการศึกษาทดลอง 43
ตารางที่ 3-8 รายละเอียดเครื่องมือและอุปกรณ์ 44
ตารางที่ 3-9 ผลการวัดค่าฉลี่ยเพื่อหาจำนวนการทำซ้ำของการทดลอง 47
ตารางที่ 3-10 แหล่งความไม่แน่นอนการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ และรูปแบบการกระจายตัวข้อมูล 49
ตารางที่ 3-11 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 50
ตารางที่ 4-1 ค่าวัด(UUC) ในแต่ละช่วงระยะเวลา โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 52
ตารางที่ 4-2 ค่าวัด(UUC) ในแต่ละช่วงระยะเวลา โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 2 52
ตารางที่ 4-3 ค่าวัด(UUC) ในแต่ละช่วงระยะเวลา โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3 53
ตารางที่ 4-4 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 5 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1 53

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 30 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1.....54

ตารางที่ 4-6 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 50 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1.....54

ตารางที่ 4-7 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 5 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 2.....55

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 30 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 2.....55

ตารางที่ 4-9 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 50 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 2.....56

ตารางที่ 4-10 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 5 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 3.....56

ตารางที่ 4-11 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 30 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 3.....57

ตารางที่ 4-12 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 50 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 3.....57

ตารางที่ 4-13 ค่าวัดเฉลี่ย และค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย เทียบกับระยะเวลารอ ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร58

ตารางที่ 4-14 ค่าวัดเฉลี่ย และค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย เทียบกับระยะเวลารอ ที่ระยะ 30 มิลลิเมตร 58

ตารางที่ 4-15 ค่าวัดเฉลี่ย และค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย เทียบกับระยะเวลารอ ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร 58

ตารางที่ 4-16 การเทียบค่าวัดเฉลี่ยของเครื่องมือวัดภายใต้เกณฑ์การยอมรับ ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร 74

ตารางที่ 4-17 การเทียบค่าวัดเฉลี่ยของเครื่องมือวัดภายใต้เกณฑ์การยอมรับ ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร 75

ตารางที่ 4-18 การเทียบค่าวัดเฉลี่ยของเครื่องมือวัดภายใต้เกณฑ์การยอมรับ ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร 76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4-19 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร 77

ตารางที่ 4-20 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร 78

ตารางที่ 4-21 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร 79

ตารางที่ 4-22 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร 80

ตารางที่ 4-23 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร หลังตัดข้อมูล 81

ตารางที่ 4-24 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร 82

ตารางที่ 4-25 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร 83

ตารางที่ 4-26 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร 84

ตารางที่ 4-27 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร 85

ตารางที่ 4-28 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร 86

ตารางที่ 4-29 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (%RSD).....87

ตารางที่ 4-30 ค่า $En\ Ratio$ ระหว่างค่าวัดจากเครื่องมือวัดชุดที่1 กับค่าวัดจากห้องปฏิบัติการอ้างอิง 91

ตารางที่ 4-31 ประสิทธิผลของการลดระยะเวลากระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ 92

ตารางที่ 4-32 ค่าวัดเฉลี่ยด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ระยะเวลา 60 นาที และ 120 นาที.....93

ตารางที่ 4-33 ค่าวัดเฉลี่ยด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 ที่ระยะเวลา 60 นาที.....94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-34 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 ที่ระยะเวลา 60 นาที ...95
ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างการบันทึกผลการวัดค่าที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร 102
ตารางที่ ก-2 แหล่งค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลารอ 60 นาที 104
ตารางที่ ก-3 ค่าวัด และค่าความไม่แน่นอน จากใบรายงานผลการสอบเทียบเกจบล็อกที่ใช้งาน ... 105
ตารางที่ ก-4 ค่าวัด และค่าความไม่แน่นอน ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร..... 110
ตารางที่ ข-1 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 5 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่1 120
ตารางที่ ข-2 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 30 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่1..... 121
ตารางที่ ข-3 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 50 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่1..... 122
ตารางที่ ข-4 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 5 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่2..... 123
ตารางที่ ข-5 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 30 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่2..... 124
ตารางที่ ข-6 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 50 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่2..... 125
ตารางที่ ข-7 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 5 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่3..... 126
ตารางที่ ข-8 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 30 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่3..... 127
ตารางที่ ข-9 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 50 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่3..... 128

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 ปริมาณงานสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติในปี 2019 3

รูปที่ 1-2 กระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ 4

รูปที่ 2-1 Dial Gauge scale และ Digital Dial Gauge 8

รูปที่ 2-2 การติดตั้งเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจตามมาตรฐาน JIS B 7503:2017 9

รูปที่ 2-3 ลักษณะของเกจบล็อก 12

รูปที่ 2-4 การสอบกลับข้อมูลของเกจบล็อก 12

รูปที่ 2-5 แผนผังก้างปลา 13

รูปที่ 2-6 ระยะเวลาการตรวจสอบเครื่องมือระหว่างใช้งาน 15

รูปที่ 2-7 การควบคุมต้องทวนสอบสถานะทั้งก่อนและหลัง 16

รูปที่ 2-8 แผนภูมิควบคุมการตัดสินคุณภาพของการวัดค่าตามมาตรฐาน ISO 14253-1 19

รูปที่ 2-9 สาเหตุที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการวัด 23

รูปที่ 2-10 การกระจายข้อมูลแบบโค้งปกติ 25

รูปที่ 2-11 ลักษณะการกระจายของข้อมูลค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มบนรูปการกระจายแบบโค้งปกติ 26

รูปที่ 2-12 การกระจายข้อมูลแบบสี่เหลี่ยม 27

รูปที่ 3-1 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลาย 37

รูปที่ 3-2 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการสอบเทียบ 38

รูปที่ 3-3 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อค่าวัด 40

รูปที่ 3-4 แผนผังการดำเนินงานและวิเคราะห์ผลการทดลอง 46

รูปที่ 3-5 แผนผังการแสดงแหล่งของค่าความไม่แน่นอนในการวัด 49

รูปที่ 3-6 ลักษณะแผนภูมิควบคุมตรวจสอบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจตามมาตรฐาน ISO 10012 50

รูปที่ 4-1 แผนผังการทดลองสอบเทียบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ 51

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัดเต็มรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร 59
รูปที่ 4-3 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับตัวแปรศึกษาเต็มรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร**.....60
รูปที่ 4-4 **สมการถดถอยเต็มรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 50 มิลลิเมตร** 60
รูปที่ 4-5 **ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์เต็มรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 50 มิลลิเมตร** ..60
รูปที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัดหลังลดรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร.....61
รูปที่ 4-7 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร** 61
รูปที่ 4-8 **สมการถดถอยหลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 50 มิลลิเมตร**.....62
รูปที่ 4-9 **ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์หลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 50 มิลลิเมตร** 62
รูปที่ 4-10 วิเคราะห์ตัวแบบคณิตศาสตร์กับค่าวัด ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร 62
รูปที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปวนของค่าความไม่แน่นอนที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร...63
รูปที่ 4-12 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร**.....63
รูปที่ 4-13 **สมการถดถอยเต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 50 มิลลิเมตร** 64
รูปที่ 4-14 **สรุปผลภาพรวมการวิเคราะห์** 64
รูปที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปวนของค่าความไม่แน่นอนหลังลดรูปรูปแบบที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร 64
รูปที่ 4-16 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร** 65
รูปที่ 4-17 **สมการถดถอยหลังลดรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 50 มิลลิเมตร**.....65
รูปที่ 4-18 **ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์หลังลดรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 50 มิลลิเมตร**.....65
รูปที่ 4-19 วิเคราะห์ตัวแบบคณิตศาสตร์กับค่าวัด ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร 66
รูปที่ 4-20 อิทธพลหลักที่ส่งผลต่อค่าวัดที่ความยาวทุกระยะ.....67
รูปที่ 4-21 อิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวทุกระยะ.....68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-22 อิทธิพลร่วมทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าวัดที่ความยาวทุกระยะ....70
รูปที่ 4-23 อิทธิพลร่วมทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวทุกระยะ....71
รูปที่ 4-24 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองค่าวัด และค่าความไม่แน่นอนนการวัด ระหว่างตัวแปรอุณหภูมิกับระยะเวลารอ....72
รูปที่ 4-25 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองค่าวัด และความไม่แน่นอนในการวัด ระหว่างตัวแปรอุณหภูมิกับเครื่องมือวัด....73
รูปที่ 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1....89
รูปที่ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 30 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1...89
รูปที่ 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1...89
รูปที่ 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3....90
รูปที่ 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 30 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3...90
รูปที่ 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3...90
รูปที่ ก-1 การตัดทิ้งแบบถอยหลัง ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร.... 111
รูปที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัดหลังลดรูปแบบที่ระยะ 5 มิลลิเมตร.... 112
รูปที่ ก-3 **ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์หลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 5 มิลลิเมตร**.... 112
รูปที่ ก-4 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร**.... 112
รูปที่ ก-5 **สมการถดถอยหลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 5 มิลลิเมตร**.... 112
รูปที่ ก-6 การตัดทิ้งแบบถอยหลัง ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร.... 113
รูปที่ ก-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัดหลังลดรูปแบบที่ระยะ 30 มิลลิเมตร 114
รูปที่ ก-8 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร**.... 114
รูปที่ ก-9 **ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์หลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 30 มิลลิเมตร**.... 114

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ ก-10 สมการถดถอยหลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 30 มิลลิเมตร 114
รูปที่ ก-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความไม่แน่นอนเต็มรูปแบบที่ระยะ 5 มิลลิเมตร 115
รูปที่ ก-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาเต็มรูปแบบที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร 115
รูปที่ ก-13 ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์เต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 5 มิลลิเมตร 116
รูปที่ ก-14 สมการถดถอยเต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 5 มิลลิเมตร 116
รูปที่ ก-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความไม่แน่นอนเต็มรูปแบบที่ระยะ 30 มิลลิเมตร 117
รูปที่ ก-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาเต็มรูปแบบที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร 117
รูปที่ ก-17 ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์เต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 30 มิลลิเมตร 118
รูปที่ ก-18 สมการถดถอยเต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 30 มิลลิเมตร 118

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1. บทนำ

การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration) คือ กระบวนการยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของเครื่องมือวัด โดยนำเครื่องมือวัดที่ใช้งานไปเปรียบเทียบกับเครื่องมืออ้างอิงมาตรฐาน (Reference Standard) หรือเครื่องมือวัดที่ทราบค่าความถูกต้อง ทำการรายงานผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด และนำผลการสอบเทียบของเครื่องมือวัดเข้าสู่กระบวนการประเมินปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือวัดให้สามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้องตามเครื่องมืออ้างอิงมาตรฐาน และเชื่อถือ สาเหตุที่ต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด เพราะปกติเครื่องมือวัดจะมีการเสื่อมสภาพตามระยะเวลาการใช้งาน หรือเกิดการชำรุด ดังนั้นการใช้งานเครื่องมือวัดในช่วงแรกจะสามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ แต่เมื่อมีการใช้เครื่องมือวัดนั้นเป็นประจำ เครื่องมือวัดจะเริ่มอ่านค่าได้ไม่เที่ยงตรงและมีความแม่นยำน้อยลง ในกระบวนการสอบเทียบต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และสภาวะแวดล้อมต่างๆที่เหมาะสมตามมาตรฐานอุตสาหกรรม หรือตามมาตรฐานที่เลือกใช้อ้างอิงเป็นตัวกำหนด เพราะจะส่งผลต่อค่าความยาวของเครื่องมือวัดได้ ดังนั้นการสอบเทียบด้านมิติ และความยาว จึงใช้ระยะเวลาในการรอ เพื่อให้เครื่องมืออยู่ในสภาพที่พร้อมจะทำการสอบเทียบ ดังนั้นการตรวจสอบสภาพเครื่องมือวัดก่อนใช้งาน (Intermediate Check) จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อให้ทราบว่าเครื่องมือวัดที่จะใช้งานยังวัดค่าและอ่านค่าได้ปกติ การกำหนดจุดสอบเทียบเพื่อวัดและอ่านค่า จะกำหนดจุดสอบเทียบตามช่วงพิสัย (Range) ของเครื่องมือวัดชนิดนั้น หรือตามจุดที่ใช้งาน เพื่อให้เกิดความแม่นยำจะต้องการวัดซ้ำ (Repeatability) โดยนำผลการวัดมาคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error value) หรือค่าความถูกต้อง (Corrective value) ในแต่ละจุดที่สอบเทียบ และค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) เพื่อออกรายงานในใบรับรองผลการสอบเทียบ ดังนั้นเราจะต้องมั่นใจกับผลการวัดที่ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2. ข้อมูลทั่วไป

เนื่องจากทางบริษัทกรณีศึกษามีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ประเทศ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่นำมาจำหน่ายในประเทศไทยจะถูกนำเข้าผ่านบริษัทตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยเท่านั้น โดยผลิตภัณฑ์ของบริษัทคือเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ (Titrator) เครื่องจ่ายสารละลายอัติโนมัติที่ถูกผลิตขึ้นจะได้รับการ

ตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์จากทางสำนักงานใหญ่ ตามระบบมาตรฐาน ISO 9001 แต่ยังไม่เพียงพอสำหรับกลุ่มผู้ใช้งาน เนื่องจากผู้ใช้งานไม่เชื่อมั่นในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้บริษัทตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทยต้องทำการขอการรับรองห้องปฏิบัติการ ตามระบบมาตรฐาน ISO 17025 เพื่อที่จะตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่าเป็นไปตามที่โรงงานผลิตกำหนดค่าไว้หรือไม่ แต่ทางบริษัทจะรับสอบเทียบเครื่องมือ เฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นของทางบริษัทเพียงเท่านั้น สามารถแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องจ่ายสารละลายได้ดังนี้

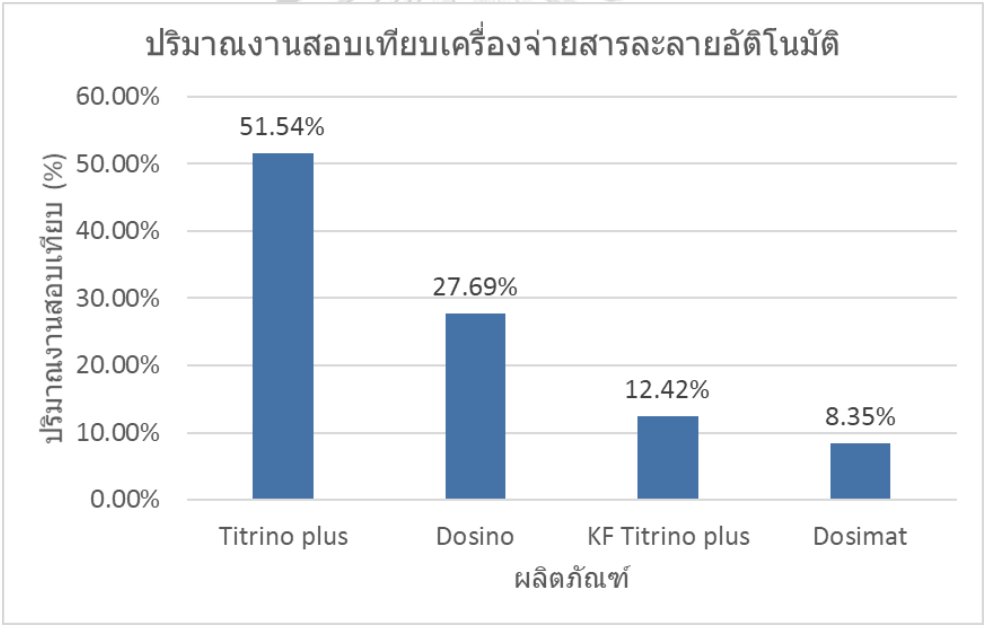
(1) กลุ่มผลิตภัณฑ์ Titrino plus, Titrando

(2) กลุ่มผลิตภัณฑ์ KF Titrino plus และ KF Titrando

(3) กลุ่มผลิตภัณฑ์ Dosimat

(4) กลุ่มผลิตภัณฑ์ Dosino

สามารถจัดลำดับปริมาณงานการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ จากข้อมูลปี 2019 ได้ดังรูปภาพที่ 1-1

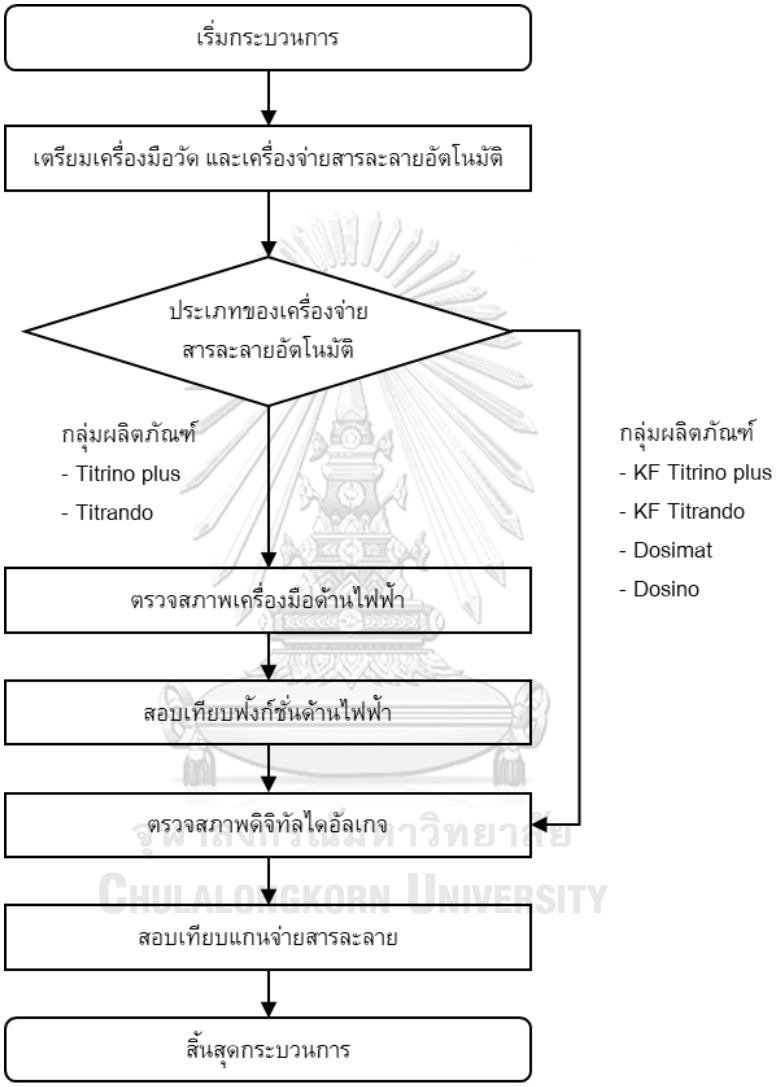


รูปที่ 1-1 ปริมาณงานสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติในปี 2019

ทางบริษัทได้ให้บริการสอบเทียบเครื่องมือทั้งแบบภายในสถานที่ตั้ง (In-House) และแบบนอกสถานที่ตั้ง (On-site) โดยขอบข่ายที่ให้การรับรองการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติจะมีด้วยกันทั้งหมด 2 ด้าน ได้แก่ ด้านไฟฟ้า และด้านมิติ ความยาว ดังนั้นบริษัทจะต้องพยายามควบคุมคุณภาพการสอบเทียบให้มีประสิทธิภาพ ทั้งการสอบเทียบเครื่องมือภายในสถานที่ตั้ง และภายนอกสถานที่ตั้ง

1.3. การศึกษากระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ

ในบริษัทกรณีศึกษาจะใช้กระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติด้วยวิธีเดียวกัน ทั้งการสอบเทียบภายในสถานที่ตั้ง และภายนอกสถานที่ตั้ง โดยแยกตามกลุ่มของผลิตภัณฑ์ดังรูปภาพที่ 1-2



รูปที่ 1-2 กระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ

จากข้อมูลการประมาณระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติตั้งแต่เริ่มกระบวนการ จนสิ้นสุดกระบวนการจากทางบริษัทกรณีศึกษา การสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติจะใช้ ระยะเวลาประมาณ 145 นาที ต่อการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ 1 เครื่อง ทั้งการสอบเทียบภายในสถานที่ตั้ง และนอกสถานที่ตั้ง

1.4. ศึกษาสภาพปัญหาและความสำคัญของปัญหา

จากวิธีการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติจะใช้วิธีการเดียวกันทั้งการสอบเทียบในสถานที่ตั้ง และนอกสถานที่ตั้ง ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบใช้ระยะเวลาเท่ากัน ซึ่งงานส่วนใหญ่ของบริษัทกรณีศึกษาเป็นการสอบเทียบนอกสถานที่ตั้ง โดยการสอบเทียบที่ใช้ระยะเวลานานส่งผลทำให้งานบางครั้งเสร็จไม่ทันตามแผนที่กำหนด ทำให้เกิดเป็นงานค้างในระบบ จึงทำการทบทวนกระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ พบว่าการเตรียมเครื่องมือดิจิทัลไดอัลเกจก่อนนำมาใช้งาน ในขั้นตอนตรวจสภาพเครื่องมือดิจิทัลไดอัลเกจ ใช้ระยะเวลารอมากที่สุด เนื่องจากในขั้นตอนการปฏิบัติบัติงาน (Work Instruction) ของบริษัทกรณีศึกษา ระบุไว้ว่าก่อนนำเครื่องมือใช้งานต้องทำการตรวจสภาพก่อนทุกครั้ง โดยตั้งเครื่องมือไว้ที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 120 นาที ก่อนเริ่มตรวจสภาพ และใช้งานเครื่องมือได้ เนื่องจากบริษัทไม่มีแผนการบำรุงรักษาเครื่องมือ จึงต้องมีขั้นตอนนี้เกิดขึ้นเพื่อยืนยันความใช้ได้ของเครื่องมือ และด้วยระยะเวลาสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติที่ใช้ระยะเวลานาน ในบางครั้งการสอบเทียบงานนอกสถานที่ตั้งเสร็จภายในช่วงระยะเวลาพักกลางวันของลูกค้าทำให้มีข้อร้องเรียนเรื่องเวลาการทำงานเกิดขึ้น

1.5. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงขั้นตอนและลดเวลาในกระบวนการสอบเทียบทั้งในสถานที่ตั้ง และนอกสถานที่ตั้ง

1.6. ขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์

(1) ออกแบบระบบสอบเทียบไดอัลเกจ ทำการทดลองสอบเทียบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป เพื่อทดสอบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าการวัด

(2) ประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของวิธีการสอบเทียบไดอัลเกจที่ได้ทำการออกแบบจะต้องใช้ในงานสอบเทียบได้จริง

(3) ในการตรวจสภาพเครื่องมือวัดด้านมิติ และความยาวก่อนใช้งาน จำกัดระยะเวลาในการรอน้อยสุดที่ยอมรับได้คือ 60 นาที ซึ่งเท่ากับระยะเวลาการรอที่ใช้ในการตรวจสภาพเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้า

(4) ในการทดลองใช้พนักงานสอบเทียบคนเดิมตลอดการทดลอง เพื่อลดเรื่องความเอนเอียง (Bias)

(5) ใช้ชุดเกจบล็อกขนาด 5, 30 และ 50 มิลลิเมตร ชุดเดิมตลอดการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7. ขั้นตอนการดำเนินงาน

(1) รวบรวมข้อมูลของการสอบเทียบเครื่องมือวัดไดอัลเกจ และรายละเอียดต่างๆของไดอัลเกจ

(2) ศึกษาขั้นตอนและวิธีการวัดและสอบเทียบไดอัลเกจ

(3) ศึกษาเครื่องมืออ้างอิงมาตรฐานที่จะนำมาใช้ในการสอบเทียบ ณ ที่นี้คือเกจบล็อก

(4) ออกแบบการศึกษาอุณหภูมิที่ส่งผลต่อเครื่องมือวัด

(5) สร้างไฟล์ใบแบบบันทึกผลการทดลองเพื่อบันทึกค่าที่วัดและคำนวณค่าความถูกต้อง

(6) ทดสอบไฟล์ใบแบบบันทึกผลการทดลอง และแก้ไขส่วนที่ผิดพลาด

(7) ทดลองใช้ในงานสอบเทียบไดอัลเกจจริง

(8) สรุปประเมินผลความสามารถและความน่าเชื่อถือของระบบสอบเทียบไดอัลเกจที่ได้

1.8. ประโยชน์ที่ได้รับ

(1) สามารถลดระยะเวลาในกระบวนการสอบเทียบได้

(2) เพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

(3) สามารถนำระบบสอบเทียบที่ออกแบบไปใช้การสอบเทียบได้จริง

(4) สามารถนำแนวทางที่ออกแบบการทดลองไปประยุกต์ใช้กับขอบข่ายอื่นๆได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.9. แผนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะการดำเนินงานวิจัย												
		ต.ค. 63	พ.ย. 63	ธ.ค. 63	ม.ค. 64	ก.พ. 64	มี.ค. 64	เม.ย. 64	พ.ค. 64	มิ.ย. 64	ก.ค. 64	ส.ค. 64	ก.ย. 64	ต.ค. 64
1	ศึกษาการสอบเทียบเครื่อง Titrator & Dial Gauge													
2	ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง													
3	กำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการสอบเทียบ													
4	ออกแบบการทดลอง													
5	ทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัย และวิเคราะห์													
6	ตรวจสอบผลหลังการสอบเทียบ													
7	วิเคราะห์ผลที่ได้โดยใช้วิธีการทางสถิติ													
8	สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ													
9	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์													

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. เครื่องมือวัดไดอัลเกจ

ไดอัลเกจเป็นเครื่องมือที่อ่านค่าระยะการเคลื่อนที่ของแกนวัด โดยอ่านค่าความแตกต่างที่ได้จากการอ้างอิงค่ามาตรฐานใดๆใช้วัดระดับความเป็นระนาบ ความขนาน ระยะเยื้องศูนย์ เช่น วัดเพื่อหาศูนย์ในการกลึงได้ละเอียดมาก ไดอัลเกจสามารถอ่านค่าได้จากหน้าปัดมีทั้งอ่านค่าแบบสเกล (Scale reading) และอ่านค่าแบบดิจิทัล (Digital reading)

รูปที่ 2-1 Dial Gauge scale และ Digital Dial Gauge

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.1 การใช้งานไดอัลเกจในการวัด

(1) การเริ่มใช้งานไดอัลเกจจะต้องทำการติดตั้งเอาไว้บนฐานตั้งสำหรับสอบเทียบ หรืออุปกรณ์จับก่อนทำการวัด จากนั้นใช้หัววัด (Gauge Head) สัมผัสกับชิ้นงานที่ต้องการวัด

(2) เมื่อหัววัดสัมผัสกับชิ้นงาน ให้ปรับระดับไดอัลเกจให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมก่อนเริ่มใช้งานวัดค่า

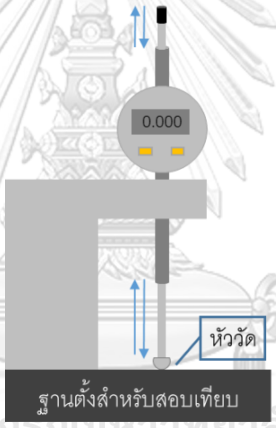
- ไดอัลเกจหน้าปัดแสดงผลแบบสเกล จะต้องทำการค่อยๆเลื่อนปรับตำแหน่งของไดอัลเกจจากฐานสอบเทียบ ให้หัววัดสัมผัสกับพื้นของฐานสอบเทียบ โดยสังเกตให้เข็มยาวและเข็มสั้นบนหน้าปัดเดินมาที่ตำแหน่ง 0 ทั้งบริเวณเข็มยาว และเข็มสั้น ก่อนเริ่มใช้งานวัดค่า

- ไดอัลเกจหน้าปัดแสดงผลแบบดิจิทัล สามารถทำการเลื่อนปรับตำแหน่งไดอัลเกจจากฐานสอบเทียบ ให้หัววัดสัมผัสกับพื้นของฐานสอบเทียบ และกดปุ่มตั้งศูนย์ เพื่อให้จำตำแหน่งเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 0 ก่อนเริ่มใช้งาน

(3) ข้อควรระวังเกี่ยวกับการใช้ไดอัลเกจคือ ส่วนหัววัดจะต้องขนานกับพื้นผิววัสดุที่ต้องการวัดและอยู่ในทิศทางการวัดมุมที่เหมาะสม

2.1.2 วิธีการสอบเทียบไดอัลเกจ

ในส่วนของวิธีการสอบเทียบไดอัลเกจ สามารถอ้างอิงวิธีมาตรฐานสากล หรือนำมาประยุกต์ใช้ หรือคิดค้นวิธีขึ้นมาใหม่ได้ ไม่ว่าจะเลือกวิธีการแบบใดต้องสามารถพิสูจน์ความใช้ได้ของวิธีนั้นได้ โดยอ้างอิงกับมาตรฐานสากลที่จะใช้ ในการทดลองนี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน JIS B 7503:2017 และใช้วิธีตามมาตรฐานกำหนด (JIS B 7503, 2017)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2-2 การติดตั้งเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจตามมาตรฐาน JIS B 7503:2017

โดยวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการทดลองจะเป็นวิธีมาตรฐานเพื่อศึกษาความไม่เที่ยงของไดอัลเกจ (Repeatability) จะได้ทราบว่าไดอัลเกจสามารถอ่านค่าได้ตามข้อกำหนดของเครื่องมือ (Specification) ที่กำหนดไว้หรือไม่

2.2. มาตรฐานค่าของ Gauge Block

เกจบล็อกทุกชิ้นจะมีค่าความยาวระบุที่ชิ้นเกจบล็อก ค่าความยาวที่ระบุไว้จะต้องผ่านการสอบเทียบค่าเพื่อให้รู้ค่าที่แท้จริงของเกจบล็อกชิ้นนั้นว่ามีความถูกต้องแม่นยำเพียงใด ทั้งนี้วัสดุที่นำมาผลิตเกจบล็อก กรรมวิธีการผลิต รวมถึงรูปร่าง และลักษณะการใช้งานของเกจบล็อกจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 3650:1999 และด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้ต้องใช้ค่าความยาวของเกจบล็อกสอบเทียบ

ให้กับไดอัลเกจ เพราะเหตุนี้การเลือกใช้เกจเบล็อก จึงมีความสำคัญต่อการถ่ายค่าความถูกต้องให้กับไดอัลเกจดังกล่าวข้างต้น รวมทั้งยังใช้เป็นมาตรฐานในการถ่ายค่าความถูกต้องไปยังเครื่องมือวัดด้านความยาวชนิดอื่นๆ (ISO 3650, 1999)

ค่าความยาวของเกจบล็อคที่เป็นมาตรฐานระดับ (Grade) K, 0, 1 และ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มากและน้อยสุดตามข้อกำหนดของ ISO 3650:1999 แบ่งตามระดับเกรด แสดงได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ค่ามาตรฐานของเกจบล็อกในแต่ละระดับตามมาตรฐาน ISO 3650:1999

Nominal Length				grade K		grade 0		grade 1		grade 2	
				Limit deviation of length at any point from nominal length	Tolerance for the variation in length	Limit deviation of length at any point from nominal length	Tolerance for the variation in length	Limit deviation of length at any point from nominal length	Tolerance for the variation in length	Limit deviation of length at any point from nominal length	Tolerance for the variation in length
		l_n		$\pm t_e$	t_v	$\pm t_e$	t_v	$\pm t_e$	t_v	$\pm t_e$	t_v
		(mm)		(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
0.5	≤	l_n	≤ 10	0.2	0.05	0.12	0.1	0.2	0.16	0.45	0.3
10	<	l_n	≤ 25	0.3	0.05	0.14	0.1	0.3	0.16	0.6	0.3
25	<	l_n	≤ 50	0.4	0.06	0.2	0.1	0.4	0.18	0.8	0.3
50	<	l_n	≤ 75	0.5	0.06	0.25	0.12	0.5	0.18	1	0.35
75	<	l_n	≤ 100	0.6	0.07	0.3	0.12	0.6	0.2	1.2	0.35
100	<	l_n	≤ 150	0.8	0.08	0.4	0.14	0.8	0.2	1.6	0.4
150	<	l_n	≤ 200	1	0.09	0.5	0.16	1	0.25	2	0.4
200	<	l_n	≤ 250	1.2	0.1	0.6	0.16	1.2	0.25	2.4	0.45
250	<	l_n	≤ 300	1.4	0.1	0.7	0.18	1.4	0.25	2.8	0.5
300	<	l_n	≤ 400	1.8	0.12	0.9	0.2	1.8	0.3	3.6	0.5
400	<	l_n	≤ 500	2.2	0.14	1.1	0.25	2.2	0.35	4.4	0.6
500	<	l_n	≤ 600	2.6	0.16	1.3	0.25	2.6	0.4	5	0.7
600	<	l_n	≤ 700	3	0.18	1.5	0.3	3	0.45	6	0.7
700	<	l_n	≤ 800	3.4	0.2	1.7	0.3	3.4	0.5	6.5	0.8
800	<	l_n	≤ 900	3.8	0.2	1.9	0.35	3.8	0.5	7.5	0.9
900	<	l_n	≤ 1000	4.2	0.25	2	0.4	4.2	0.6	8	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.1 การเลือกใช้เกจบล็อก

ผู้ใช้งานควรพิจารณาให้รอบคอบในการเลือกซื้อหรือเลือกใช้ระดับชั้น (เกรด) ของเกจบล็อกให้เหมาะสมกับงานโดยอาศัยข้อแนะนำ (สมโภชน์ บุญสนิท, 2563)

ตารางที่ 2-2 การประยุกต์ใช้เกจบล็อกตามลักษณะของงาน

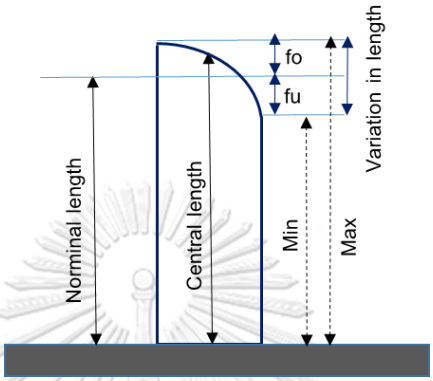
ลักษณะงาน	การประยุกต์ใช้	เกรด
งานวัดทั่วไป	- ปรับเครื่องจักรเพื่อการกลึงกัด - ทำหรือผลิตเกจ (Gage) - สอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียด	2 1 หรือ 2
งานตรวจสอบหรือทดสอบ	- ตรวจสอบชิ้นงาน หรือเครื่องมือ -ตรวจสอบความแม่นของเกจ (Gage) - สอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียด	1 หรือ 2 0 หรือ 1
งานสอบเทียบ	- สอบเทียบเกจยบล็อกที่มีเกรดต่ำกว่า - สอบเทียบเกจบล็อกที่ใช้งานตรวจสอบหรือทดสอบ - สอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียด	K หรือ 0
มาตรฐานอ้างอิง	- สอบเทียบเกจบล็อกที่ใช้ในงานสอบเทียบ - การศึกษา วิจัย	K

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- เกรด 2 เหมาะสำหรับงานวัดทั่วไป เพื่อเปรียบเทียบกับลักษณะชิ้นงานในการปรับหรือเทียบค่า และใช้สอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียด เช่น เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
- เกรด 1 เหมาะสำหรับงานตรวจสอบชิ้นงาน งานสอบเทียบ Plug gauge และ Snap gauge และงานปรับตั้งเครื่องมือวัดอิเลคทรอนิค
- เกรด 0 เหมาะสำหรับการใช้ภายในห้องที่ได้รับการควบคุมสภาพแวดล้อม เพื่อเป็นมาตรฐานอ้างอิงนการปรับหรือสอบเทียบเครื่องมือวัดที่มีความเที่ยงตรงสูง และการสอบเทียบเกจบล็อกที่มีเกรดต่ำกว่า ทั้งนี้ควรใช้โดยผู้ปฏิบัติที่มีลักษณะความชำนาญ
- เกรด K เหมาะสำหรับการใช้ภายในห้องตรวจสอบชิ้นงาน ที่ได้รับการควบคุมสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิ หรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ โดยควรใช้ร่วมกับรายงานผลการสอบเทียบเพื่อเป็นมาตรฐานอ้างอิง หรือเพื่อการสอบเทียบเกจบล็อกที่มีเกรดต่ำกว่า

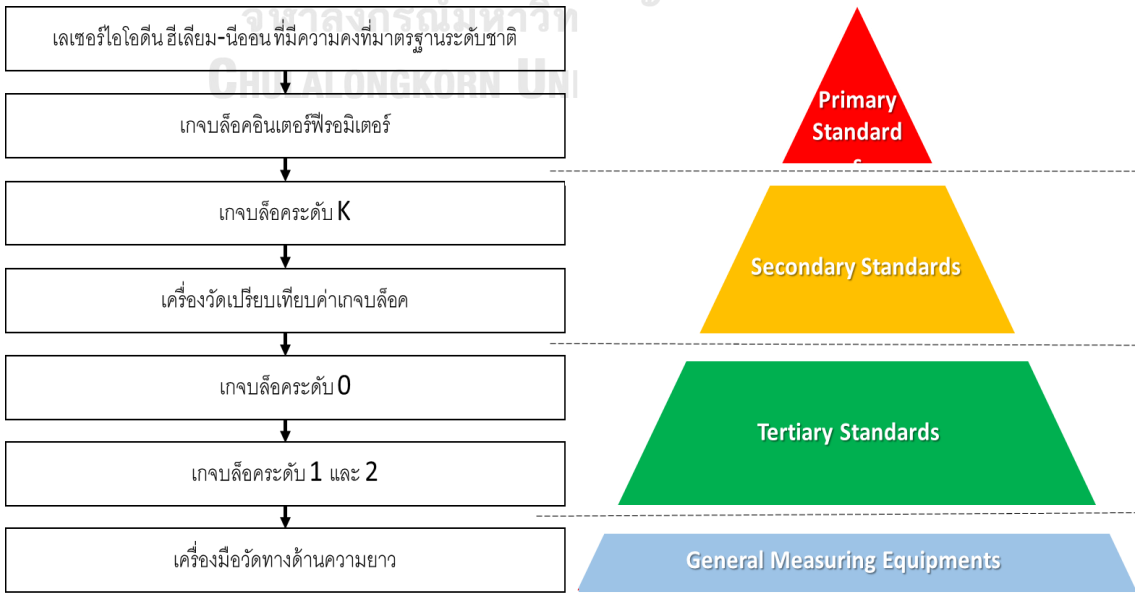
2.2.2 ความเรียบของหน้าของผิวหน้าวัด

ผิวหน้าของเกจบล็อกต้องได้รับการขัดจนมีความเรียบ สามารถนำมาประกบกับเกจบล็อกชิ้นอื่นให้ยึดติดกันได้ อย่างไรก็ตามอาจยอมรับความไม่เรียบที่เกิดจากรอยขีดข่วนเพียงเล็กน้อยได้ หากไม่กระทบต่อความยึดแน่นในการต่อเกจบล็อก (สุรชัย จันทร์สุข, 2549)



รูปที่ 2-3 ลักษณะของเกจบล็อก

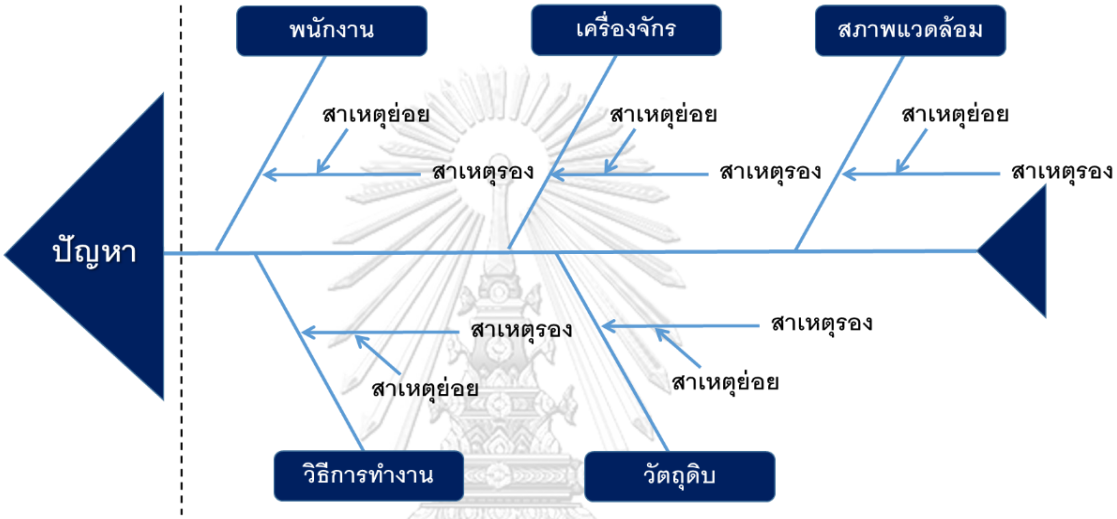
เกจบล็อคตามมาตรฐาน ISO 3650:1999 ที่ใช้เป็นตัวถ่ายเทค่าความยาวมาตรฐานซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐาน 1 ใน 7 หน่วยของระบบ SI (International System of Unit) มีขั้นตอนการสอบกลับค่ามาตรฐานความยาว (Traceability of meter) ดังแผนภาพที่ 2-4 (แผนกวารสารวิชาการ ฝ่ายสำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2552)



รูปที่ 2-4 การสอบกลับข้อมูลของเกจบล็อก

2.3. แผนผังก้างปลา

ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือ แผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งมีชื่อทางการว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1943 โดย ศาสตราจารย์ คาโอรุ อิชิกาว่า จาก มหาวิทยาลัยโตเกียว เป็นแผนผังความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่โอกาสอาจก่อให้เกิดปัญหานั้น แผนผังก้างปลา ถูกนำมาใช้เพื่อหาสาเหตุในการเกิดปัญหานั้นๆ โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการด้านต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แผนผังก้างปลา

กำหนดหัวข้อปัญหาที่ส่วนหัวปลาของแผนผัง แบ่งแยกให้ชัดเจน และมีความเป็นไปได้ หากกำหนดปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่เริ่ม จะทำให้ใช้เวลาในการค้นหาสาเหตุ และทำแผนผังก้างปลานานมากขึ้น ควรกำหนดหัวข้อของปัญหาในเชิงลบ หรือผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้น

การกำหนดปัจจัย (Factors) บนก้างปลา โดยใช้หลักการ 4M 1E เพื่อจะนำไปสู่การวิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆ สามารถจำแนกได้ดังนี้

M – Man	: คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร
M – Machine	: เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
M – Material	: วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
M – Method	: กระบวนการทำงาน
E – Environment	: อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

การกำหนดแผนผังก้างปลาไม่จำเป็นจะต้องใช้หลัก 4M 1E เพียงอย่างเดียว ยังมีหลักอื่นๆ เช่น ปัจจัย 4P (Place , Procedure, People และ Policy), 4S (Surrounding, Supplier, System และ Skill), MILK (Management, Information, Leadership, Knowledge) เป็นต้น โดยผู้ใช้แผนผังก้างปลาสามารถเลือก หรือกำหนดกลุ่มปัจจัยให้เหมาะสมกับปัญหาตั้งแต่ต้น หากทราบสาเหตุของปัญหานั้นอยู่ก่อนแล้ว

2.4. การวัด

การวัด คือ การกำหนดปริมาณให้กับคุณสมบัติ (Properties) ของวัตถุหรือเหตุการณ์ ดังนั้นการวัดจึงเป็นบอกถึงคุณสมบัติ คุณลักษณะของวัตถุหรือเหตุการณ์ และรวมถึงสิ่งที่ไม่ใช่วัตถุหรือเหตุการณ์ โดยรูปแบบการวัดในทางปฏิบัติก็คือ การเปรียบเทียบกับสิ่งที่เป็นตัวมาตรฐานอ้างอิง

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการวัด

- การวัดเพื่อให้มาซึ่งข้อมูล
- การวัดเพื่อควบคุมหรือการตรวจสอบ

2.4.2 องค์ประกอบของขนาด มิติ และความยาว (Dimension)

- จุดเริ่มต้น คือ ตำแหน่งพิกัดจุด ที่จะทำการเริ่มต้นวัดเป็นจุดแรก และระนาบอ้างอิง
- ทิศทาง คือ การกำหนดทิศทาง มิติของการวัดของเป้าหมาย กับระนาบอ้างอิง
- ระยะทาง คือ การกำหนดระยะทาง หรือขนาด หรือความยาว จากจุดเริ่มต้นไปตามทิศทางที่กำหนดจนถึงจุดสุดท้ายโดยระยะความยาวที่วัดได้จะเทียบกับขนาดความยาวมาตรฐาน
- จุดสุดท้าย คือ การกำหนดพิกัดตำแหน่งจุดสุดท้ายในการวัดที่ชัดเจน ที่สำคัญคือ จุดตำแหน่งสุดท้ายต้องอยู่ในระยะพิสัยของเครื่องมือที่นำมาใช้วัดค่า

2.4.3 ประเภทของการวัด

(1) การวัดทางตรง คือ การวัดขนาดของชิ้นงานโดยการใช้เครื่องมือวัดสัมผัสกับชิ้นงาน สามารถอ่านค่าวัดโดยตรงจากสเกลหรือชุดแสดงผลของเครื่องมือวัด

(2) การวัดทางอ้อม คือ การวัดขนาดที่ต้องการของชิ้นงานโดยผ่านการถ่ายทอดค่าของขนาดหรือค่าวัด จากอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ หรือวิธีการอื่นๆ ที่สามารถปรับแต่งค่าวัดให้สอดคล้อง

กับขนาดหรือปริมาณในหน่วยที่ต้องการ เพราะไม่สามารถวัดค่าตามหน่วยที่ต้องการได้โดยตรง ซึ่งค่าที่วัดได้ส่วนมากจะเป็นค่าที่คลาดเคลื่อนสูง

2.5. การเลือกใช้เครื่องมือวัด

ก่อนที่จะลงมือวัดค่าขนาดของชิ้นงาน สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรก คือ การอ่านแบบของชิ้นงาน แล้วเลือกใช้เครื่องมือวัดให้สอดคล้องกับขนาด ชิ้นงาน ค่าที่วัด โดยการเลือกเครื่องมือวัดขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน วิธีการใช้ และ หน่วยการวัด

(1) การวัดเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล เนื่องจากชิ้นงานเองไม่ได้กำหนดขนาด แต่จะมีเพียงแบบกำหนดทิศทางการวัด จุดวัด ค่าความผิดพลาดของการวัดเท่านั้นเพราะฉะนั้นจะต้องเลือกใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับข้อกำหนดต่างๆของเครื่องมือวัด

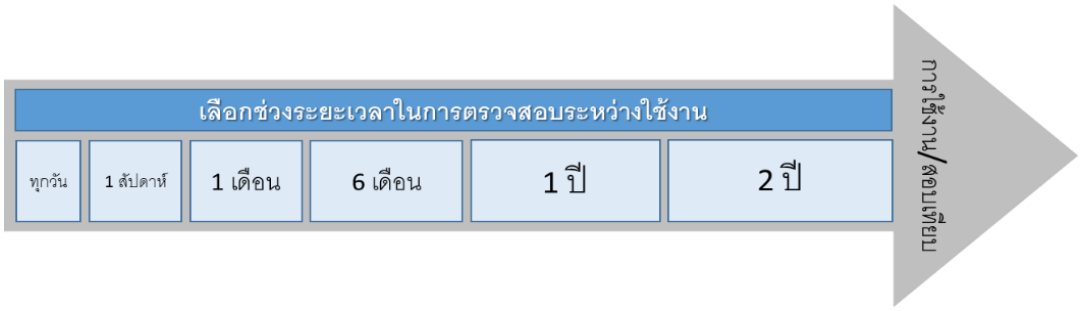
(2) การวัดเพื่อควบคุมหรือตรวจสอบ โดยปกติถ้าอยู่ในระหว่างกระบวนการผลิตและหลังกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีการกำหนดขนาดและค่าพิกัดความเผื่อของชิ้นงาน ดังนั้นการเลือกเครื่องมือวัดต้องเลือกตามค่าพิกัดความเผื่อของชิ้นงาน

2.6. วิธีการตรวจสอบเครื่องมือ

(1) การตรวจสอบเครื่องมือวัดก่อนใช้งาน ตรวจสอบเครื่องมือวัดเป็นประจำก่อนเริ่มใช้งานเครื่องมือวัด เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด

(2) การตรวจสอบเครื่องมือวัดระหว่างการใช้งาน (Intermediate Check) คือการตรวจสอบเครื่องมือวัดที่ได้รับการสอบเทียบ โดยกำหนดให้ดำเนินการในระหว่างที่ใช้งาน เพื่อตรวจสอบสถานะการสอบเทียบว่ายังสามารถให้ค่าการวัดเป็นไปตามที่ทำการสอบเทียบก่อนหน้าหรือไม่ (สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์, 2555)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2-6 ระยะเวลาการตรวจสอบเครื่องมือระหว่างใช้งาน

2.7. การทวนสอบ (Verification)

การทวนสอบ คือ การยืนยันโดยการตรวจสอบเครื่องมือ พร้อมข้อมูลหลักฐานแสดงความเป็นไปตามที่ข้อกำหนดระบุเกี่ยวกับเครื่องมือวัด เพื่อยืนยันว่าเครื่องมือวัดที่ใช้งานมีคุณลักษณะเฉพาะ (Measuring equipment characteristic) ตรงตามข้อกำหนดของการวัด (Metrological requirement) ที่กำหนดขึ้นตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ผลการทวนสอบทำให้ตัดสินใจได้ว่า จะยังคงใช้เครื่องมือวัดต่อไป หรือจะต้องทำการปรับ หรือจะต้องซ่อม หรือลดเกรด หรือแจ้งยกเลิกการใช้งาน ต้องมีรายละเอียดการทวนสอบที่เป็นลายลักษณ์อักษร และเก็บรักษาไว้ในประวัติของเครื่องมือวัดแต่ละเครื่อง

สำหรับการทวนสอบเครื่องมือที่นำออกจากการควบคุม เมื่อเครื่องมือถูกนำออกนอกการควบคุม จะต้องตรวจสอบสถานะเครื่องมือว่ายังสามารถให้ค่าการวัดเป็นไปตามช่วงที่กำหนดหรือไม่ หากเมื่อนำเครื่องมือไปใช้นอกสถานที่ หรือนำกลับเข้ามาสู่กระบวนการควบคุมตามเดิม

รูปที่ 2-7 การควบคุมต้องทวนสอบสถานะทั้งก่อนและหลัง

ดังนั้น การทวนสอบจึงเป็นเงื่อนไขสำคัญในการจัดการเครื่องมือวัดตามระบบคุณภาพ โดยองค์กรจะต้องกำหนดแผน วิธีการ และดำเนินการทวนสอบเครื่องมือวัด เพื่อยืนยันว่ากิจกรรมการวัดภายในองค์กรเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของกระบวนการวัดในระบบคุณภาพนั้นๆ

2.8. การสร้างความมั่นใจในความใช้ได้ของผล (Ensuring the Validity of result)

การสร้างความมั่นใจในความใช้ได้ของผล เป็นส่วนหนึ่งของข้อกำหนดที่ระบุอยู่ในระบบมาตรฐาน ISO 17025:2017 เพื่อให้ห้องปฏิบัติการมีขั้นตอนการดำเนินงานในการเฝ้าระวังความใช้ได้ของผล ข้อมูลของผลการเฝ้าระวังต้องได้รับการบันทึกในลักษณะที่สามารถตรวจสอบแนวโนมได้ และถ้าทำได้ต้องนำเทคนิคทางสถิติมาใช้ในการทบทวนผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9. การตั้งข้อกำหนดของการวัดและเครื่องมือวัดตามการใช้งาน

การตั้งข้อกำหนดของการวัดและเครื่องมือวัด ต้องมีการยืนยันว่าเครื่องมือวัดนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การใช้งาน ห้องปฏิบัติการจะต้องตั้งเกณฑ์ของการวัด รวมถึงข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัด (สมโภชน์ บุญสนิท, 2563)

2.9.1 การตั้งข้อกำหนดของการวัด

(1) ข้อกำหนดของการวัดทั่วไป

- ปริมาณที่ต้องการวัด เช่น ความยาว ความหนา เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มุม ความกลม ตำแหน่ง หรือความเรียบผิว เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อกำหนดชนิดเครื่องมือวัดที่สามารถวัดปริมาณที่ต้องการวัดได้
- ขนาดโดยประมาณของสิ่งที่ต้องการวัดเพื่อกำหนดช่วงการใช้งานของเครื่องมือวัดให้ครอบคลุมขนาดของปริมาณที่วัด
- ขอบเขตความผิดพลาดของผลการวัดที่สามารถยอมรับได้ (Maximum permissible error) ถ้าเกิดความผิดพลาดของผลการวัดแล้วอยู่ภายในของเขตดังกล่าว จะเกิดไม่ส่งผลกระทบต่องานที่ทำ ทั้งนี้เพื่อกำหนดเกณฑ์ค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดที่ยอมได้ (Permissible uncertainty) ในการใช้เครื่องมือวัดตามวัตถุประสงค์การใช้งาน

(2) ข้อกำหนดของการวัดในการทดสอบตามวิธีมาตรฐาน

ห้องปฏิบัติการหรือหน่วยงานจะเลือกใช้วิธีมาตรฐานในการทดสอบ หรือนำวิธีมาตรฐานมีประยุกต์หรือปรับใช้ให้เหมาะสมกับการใช้งานของตนได้ โดยวิธีมาตรฐานจะมีรายละเอียดขั้นตอนการทดสอบ ตลอดจนคุณลักษณะของเครื่องมือที่ใช้ กำหนดไว้ ผู้ปฏิบัติต้องเลือกใช้เครื่องมือให้ตรงกับคุณลักษณะที่กำหนด มาตรฐานเหล่านั้นจะเป็นตัวกำหนดคุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องมือวัด เช่น ในการทดสอบตามวิธีมาตรฐานของ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) และ Japanese Industrial Standards (JIS) มีการกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบ

(3) ข้อกำหนดของการวัดในกระบวนการผลิต

เพื่อยืนยันความเป็นตามข้อกำหนดใน และเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการควบคุมการผลิต ป้องกันการเกิดข้อบกพร่องและลดการสูญเสียในสายการผลิต

- แบบ (Engineering drawing)

แบบ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิต ทั้งในขั้นตอนการผลิตและการตรวจสอบชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ โดยแบบจะกำหนดขนาดและรูปทรงของชิ้นงาน พร้อมระบุขอบเขตของความคลาดเคลื่อนที่ยอมได้ (Tolerance) ดังนั้น แบบ จึงต้องมีรายละเอียดที่ชัดเจน ในการวัดต้องคำนึงถึงข้อกำหนดลักษณะทางเทคนิคและชนิดของเครื่องมือวัด ความไม่แน่นอนของผลการวัด และสภาวะแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

- ค่าความคลาดเคลื่อน (Tolerance)

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตจากโรงงาน จะมีขนาดรูปทรงสัดส่วนไม่คงที่ มีความปรวนแปรที่เกิดจากสาเหตุต่างๆ เช่น เครื่องจักร วัสดุ ผู้ปฏิบัติงาน การวัด การขาดการบำรุงรักษาเครื่องมือวัด และการขาดการฝึกอบรม เป็นต้น การออกแบบจะต้องเข้าใจและคำนึงถึงข้อจำกัดเหล่านี้ เพราะจะต้องกำหนดขอบเขตของความความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Tolerance) ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์ ไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ เพื่อยืนยันความเป็นไปตามแบบของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์

- อุณหภูมิมาตรฐานอ้างอิง

จาก ISO 1:2002 ระบุไว้ว่า อุณหภูมิมาตรฐานอ้างอิงของข้อกำหนดทางขนาดรูปทรงของผลิตภัณฑ์ เพื่อยืนยันความเป็นไปตามข้อกำหนด คือ 20 ºC ดังนั้น ทั้งขนาดและมิติต่างๆ และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Tolerance) ของแบบ ต้องอ้างอิงจากขนาดและมิติของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 20 ºC ถ้ามีการใช้งานที่อุณหภูมิอื่นต้องมีการชดเชยผลกระทบจากอุณหภูมิ ต้องวัดค่าที่อุณหภูมิของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง 20 ºC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

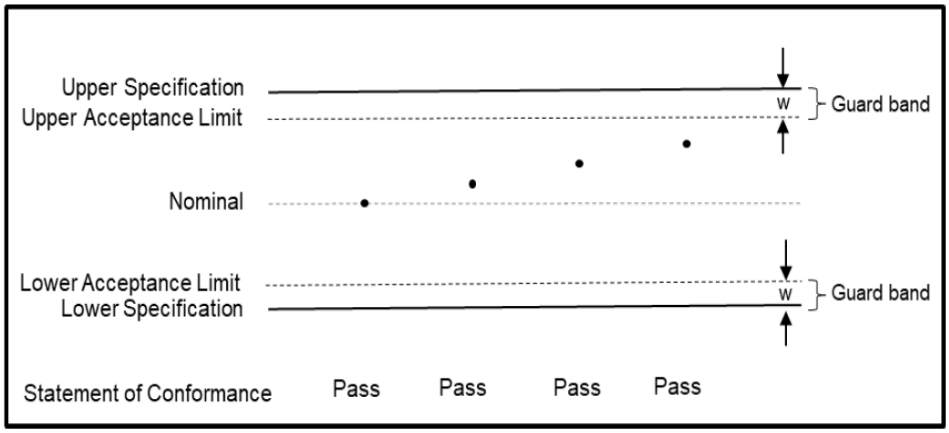
- การวัดในขั้นตอนของการออกแบบ

ในขณะที่ทำการออกแบบชิ้นงาน ผู้ออกแบบต้องตั้งคำถามอยู่เสมอว่า จะต้องวัด (ปริมาณ) อะไร จะวัดได้หรือไม่ จะใช้เครื่องมืออะไรวัด และวัดแล้วยืนยันได้หรือไม่ว่า ชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์นั้นจะมีลักษณะตรงตามแบบ ที่กำหนด ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ที่กำหนดช่วงเล็กเกินไป ดังนั้น ในขั้นตอนของการออกแบบ ควรออกแบบชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ให้สามารถวัดได้อย่างเหมาะสม ในบางครั้งการปรับปรุงแบบเพียงเล็กน้อยอาจทำให้การวัดง่ายขึ้นด้วยและใช้ต้นทุนที่ไม่สูงเกินไป

- เกณฑ์ในการตัดสินคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 14253-1

ISO 14253-1 เป็นมาตรฐานที่กำหนดเกณฑ์ในการตัดสินความเป็นไปตามข้อกำหนดของชิ้นงานและผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดว่าการตรวจสอบความเป็นไปตามข้อกำหนดที่มีความสำคัญต่อชิ้นงานให้ใช้เกณฑ์ดังนี้

ในขั้นตอนการออกแบบ ความเป็นไปตามข้อกำหนด (In Specification) คือพื้นที่ที่อยู่ระหว่างขีดจำกัดบน และขีดจำกัดล่าง (Upper Specification Limit : USL and Lower Specification Limit : LSL) ซึ่งเรียกว่า Specification Zone ส่วนพื้นที่ที่อยู่นอกขอบเขตนี้ คือ บริเวณที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (Out of Specification) (ISO 14253-1, 2017)



รูปที่ 2-8 แผนภูมิควบคุมการตัดสินคุณภาพของการวัดค่าตามมาตรฐาน ISO 14253-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การยืนยันความเป็นไปตามข้อกำหนดจะต้องพิสูจน์โดย ผลการวัดที่รวมค่าความไม่แน่นอนด้วยแล้ว ตกอยู่ในช่วง Specification Zone ส่วนการยืนยันความไม่เป็นไปตามข้อกำหนด พิสูจน์โดยผลการวัดที่นวมค่าความไม่แน่นอนด้วยแล้ว ตกอยู่นอกช่วง Specification Zone ในกรณีที่พบว่าผลการวัดที่รวมค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดไว้ด้วยแล้ว มีค่าคาบเกี่ยวอยู่นอกและใน Specification Zone ให้ถือว่าไม่สามารถยืนยันได้ว่าชิ้นงานนั้นเป็นไปหรือไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

2.9.2 การตั้งข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัด

เมื่อได้ข้อกำหนดของการวัดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การใช้งานแล้วอย่างครบถ้วน ต้องกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัดให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของการวัด เพื่อเป็นแนวทางในการจัดซื้อ จัดหา หรือการเลือกใช้เครื่องมือวัด โดยกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัด ดังนี้

- ปริมาณที่สามารถวัด

จากข้อกำหนดต้องระบุลักษณะ หรือปริมาณในการวัด ดังนั้นจึงต้องกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัด ให้สามารถวัดในลักษณะ หรือปริมาณนั้นได้ เช่น ความยาว ความหนา ความลึก เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน มุม หรือความเรียบผิว

- ช่วงการวัด (Range)

เครื่องมือวัดมีช่วงการวัดที่จำกัด การกำหนดช่วงการวัดของเครื่องมือวัด จึงต้องกำหนดให้ครอบคลุมขนาดของปริมาณที่ต้องการวัด ในทางปฏิบัติควรกำหนดช่วงการวัดของเครื่องมือวัดให้กว้างกว่าช่วงการวัดตามแบบที่กำหนด

- ความละเอียดของเครื่องมือวัด (Resolution)

ความละเอียดของเครื่องมือวัด คือ ปริมาณความแตกต่างที่น้อยที่สุดของที่สามารถอ่านได้จากเครื่องมือวัด สำหรับเครื่องมือวัดที่อ่านค่าเป็นตัวเลข (Digital display) ความละเอียดหรือความจำแนกชัดมีค่าเท่ากับค่าปริมาณที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงที่น้อยที่สุดที่เครื่องสามารถแสดงค่าได้ ส่วนเครื่องมือวัดที่อ่านค่าจากขีดชี้หรือเข็มชีบนขีดสเกล ความละเอียด (Graduation) จะมีค่าเท่ากับ 1 ช่องสเกล ทั้งนี้ผู้วัดสามารถประมาณค่าเมื่อเข็มชี้ตกอยู่ระหว่างขีดสเกลได้ เช่น 1 ใน 2 หรือ 1 ใน 5 หรือ 1 ใน 10 ของช่องสเกล โดยเรียกค่าเศษส่วนที่น้อยที่สุดของ 1 ช่องสเกลที่ผู้วัดยังสามารถประมาณค่าได้อย่างน่าเชื่อถือนี้ว่า ความสามารถในนการอ่านค่า (Readability) โดยการกำหนดความละเอียดของเครื่องมือวัด อาจอาศัยคำแนะนำตาม Measuring Systems Analysis ซึ่งระบุว่า ความจำแนกชัดจะต้องมีค่าน้อย โดยมีค่าไม่เกิน 1 ใน 10 ของค่าแปรปรวนของกระบวนการผลิต หรือค่า Specification limits

- ค่าความผิดพลาดที่ยอมให้สูงสุด (Maximum permissible error) หรือค่าความไม่แน่นอนที่ยอมให้ (Permissible Uncertainty) หรือค่าความไม่แน่นอนเป้าหมาย (Target Uncertainty)

การกำหนดขอบเขตความไม่แน่นอนของผลการวัดที่สามารถยอมรับได้ สามารถกำหนดได้โดยการประเมินจากความเสี่ยงหรือผลกระทบต่องานที่ทำ เช่น ความแม่นของเครื่องมือวัด ทักษะความชำนาญของผู้วัด และสภาวะแวดล้อมของการวัด ทั้งนี้อาจกำหนดเป็นค่าผิดพลาดที่ยอมให้สูงสุด (Maximum permissible error) หรือค่าความไม่แน่นอนที่ยอมให้ (Permissible Uncertainty)

หรือค่าความไม่แน่นอนเป้าหมาย (Target Uncertainty) เมื่อพิจารณาตามหลักเกณฑ์การยืนยันความเป็นไปได้ตามมาตรฐาน ISO 14253-1 อย่างไรก็ตาม การลดอัตรส่วนระหว่างค่าความไม่แน่นอนของผลการวัด ต่อ Tolerance มักจะทำให้ต้นทุนของการวัดสูงขึ้น เนื่องจากอาจต้องเพิ่มความแม่นของเครื่องมือวัด ทักษะความชำนาญของผู้วัด และการควบคุมสภาวะแวดล้อมของการวัดที่เข้มงวดขึ้น ดังนั้นผู้เกี่ยวข้องจึงควรวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขของการวัดที่กำหนดไว้

- แรงที่ใช้ขณะวัด (Measuring Force)

ด้วยโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องมือวัด ทำให้เกิดแรงกดบริเวณหัววัดที่สัมผัสกับชิ้นงานซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานยุบตัวลง ส่งผลให้ค่าที่วัดได้ไม่ถูกต้อง หากผลกระทบนี้มีนัยสำคัญข้อกำหนดของการวัดควรระบุค่าแรงกดสำหรับการวัดชิ้นงาน (Measuring Force) ด้วย

- คุณลักษณะอื่นๆ

การตั้งข้อกำหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัด ควรพิจารณาจากความเหมาะสมประเด็นอื่นๆ ควบคู่กันไปด้วย เช่น ประสิทธิภาพของการวัด สภาพบริเวณที่ใช้เครื่องมือวัด และต้นทุนของการวัด การตั้งข้อกหนดคุณลักษณะของเครื่องมือวัดจึงอาจกำหนดให้ แสดงค่าวัดแบบตัวเลขดิจิตอล หรือให้ความสามารถกันน้ำได้

2.10. การประเมินระบบการวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การตรวจวัดที่มีค่าความละเอียดสูงๆ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับผลกระทบต่างๆ ที่จะก่อให้เกิดความผิดพลาดต่อผลลัพธ์หรือข้อมูลที่ทำการวัด เนื่องจากในกระบวนการตรวจวัดอาจมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เกิดขึ้นระหว่างการวัดได้ตลอดเวลา และการวัดนั้นต้องได้รับการยอมรับซึ่งถือเป็นข้อกำหนดของมาตรฐานการประกันคุณภาพ

2.10.1 ความสามารถสอบกลับได้ (Traceability System)

นิยามผลการวัดจะไม่มีความหมายถ้าไม่สามารถโยง หรืออ้างอิงสู่มาตรฐานแห่งชาติ คุณสมบัติดังกล่าวของผลการวัด เรียกว่า ความสามารถสอบกลับได้ คำว่า ความสามารถสอบกลับได้ ได้รับคำนิยามไว้ว่า “สมบัติของผลการวัดที่สามารถโยงไปกับมาตรฐานแห่งชาติที่เป็นที่ยอมรับโดยการเปรียบเทียบกันอย่างไม่ขาดช่วงเป็นลูกโซ่และจะต้องรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดด้วย” ดังนั้น ความสามารถสอบกลับได้จึงเป็นการส่งต่อหน่วยวัดตามนิยาม SI จากจุดเริ่มต้นจนถึงผู้ใช้งาน

ความสามารถสอบกลับได้ของผลการวัด จึงต้องได้นับการถ่ายทอดผ่านห้องปฏิบัติการสอบเทียบหลายระดับจนกวาจะถึงผู้ใช้งาน

2.10.2 ความผิดพลาดในระบบการวัด

เพื่อหาหนทางในการลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในระบบการวัดจึงมีความพยายามในการจำแนกความคลาดเคลื่อนในการวัดออกเป็นหมวดหมู่โดยทั่วไปจะถูกจำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ๆ 2 ประเภท คือ ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error) และความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error)

(1) ความผิดพลาดเคลื่อนเชิงระบบ

เกิดจากคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด สาเหตุอาจเกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การสั่นสะเทือน ความดัน สัญญาณรบกวนที่ปนมากับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งส่งผลต่อการทำงานของเครื่องมือวัด หรืออาจเกิดจากคุณสมบัติอันบกพร่องอื่นๆของตัวเครื่องมือวัดเอง เป็นต้น ความคลาดเคลื่อนนี้จะคงอยู่ ถึงแม้จะทำการวัดซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงไม่สามารถกำจัดความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ออกไปได้ โดยทั่วไปความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้ได้รับการกำหนดค่าโดยผู้ผลิตอุปกรณ์เครื่องมือวัด หรืออาจจะได้จากใบรายงานผลสอบเทียบ

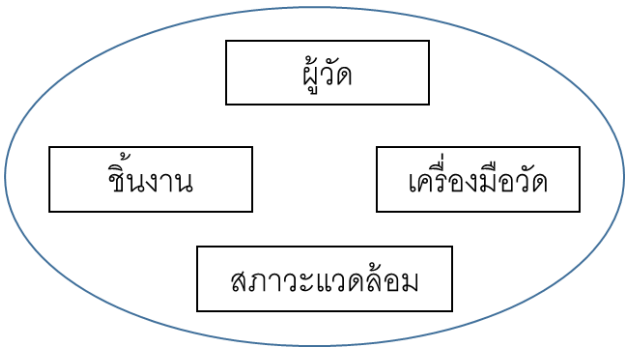
(2) ความผิดพลาดแบบสุ่ม

เกิดจากคุณสมบัติด้านความเที่ยงตรง (Precision) ของระบบการวัด อันเนื่องมาจากความผันแปรแบบสุ่มของการสังเกตหรือการตรวจวัดทุกครั้งที่ทำการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยลักษณะการเกิดขึ้นไม่สามารถคาดการณ์ได้ ทั้งยังไม่มีรูปแบบที่แน่นอนอีกด้วย และในบางครั้งก็อาจจะมีความผิดพลาดระบบซึ่งมีรูปแบบการเกิดเป็นช่วงเวลารวมอยู่ด้วย ตัวอยางเช่นความผิดพลาดเนื่องจากวิธีการวัด การเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมบางขณะที่ส่งผลต่อความถูกต้องของการวัด ฯลฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.10.3 สาเหตุของความผิดพลาดในการวัด

ความผิดพลาดจากการวัดค่าชิ้นงานเดียวกันในแต่ละครั้ง ค่าที่วัดได้อาจแตกต่างกัน หรือใช้ผู้วัดต่างกัน วัดชิ้นงานเดียวกันด้วยวิธีและเครื่องมือเหมือนกัน แต่ได้ค่าวัดต่างกัน ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะใช้การวัดเพียง 1 ครั้งแล้วได้ค่าวัดที่ถูกต้องซึ่งขนาดที่วัดได้มานั้นจะถูกต้องหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของสาเหตุดังต่อไปนี้



รูปที่ 2-9 สาเหตุที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการวัด

(1) ความผิดพลาดจากผู้วัด การวัดโดยมากจะผิดพลาดจากผู้วัดเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ค่าที่วัดได้ผิดไป บางครั้งเกิดจากวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการวัด

(2) ความผิดพลาดจากชิ้นงาน โดยปกติมักจะเกิดจากชิ้นงานสกปรก มีครีบ ผิวชิ้นงานไม่เรียบพอ ชิ้นงานไม่ได้รูปทรงเรขาคณิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งผิวของชิ้นงานและรูปทรงเรขาคณิตจะต้องสัมพันธ์กับค่า Accuracy ของเครื่องมือวัดนั้น

(3) ความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด เครื่องมือวัดที่ผลิตออกมาจากโรงงานผลิตปกติจะมีค่าคุณลักษณะต่างๆตามมาตรฐาน แต่เมื่อมาใช้งานโดยผิดวิธี ขาดการบำรุงรักษา ก็จะทำให้คุณลักษณะต่างๆของเครื่องมือวัดเกินค่ามาตรฐานโดยเฉพาะค่า Accuracy ก็จะต่ำลง ดังนั้นต้องทำการแก้ไขโดยการสอบเทียบ หรือ ทวนสอบ

(4) ความผิดพลาดจากสภาวะแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดดันบรรยากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.11. ค่าไม่แน่นอนในการวัด

การรายงานผลการวัดทุกประเภทต้องประกอบด้วยปริมาณที่วัดได้และค่าความไม่แน่นอนในการวัดซึ่งก็คือ ปริมาณที่บ่งบอกถึงความถูกต้องแม่นยำของผลการวัด และบอกลักษณะการกระจายเชิงสถิติของผลการวัด ระดับความเชื่อมั่นสากลของผลการวัดโดยปกติกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 95% และมีค่าตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor): k=2 ค่าความไม่แน่นอนจากการวัดมีแหล่งที่ได้หลายแหล่ง เช่น การวัดทวนซ้ำ (Repeatability) ใบรับรองผลการสอบเทียบ (Certificate) และ ผลกระทบเนื่องจากสภาวะแวดล้อม (Effect of Environment) (สมโภชน์ บุญสนิท, 2563)

องค์กรระบบคุณภาพ (International Organization for Standardization; ISO) แนะนำให้ใช้ความแน่นอนของการวัดเป็นมาตรการในการบอกความน่าเชื่อถือของผลการวัด โดยใช้หลักการ

พื้นฐานของ Guide to the Expression of Uncertainty in Measuring (GUM) และ European Cooperation for Accreditation of Laboratories (EAL) ซึ่งมีแนวคิดดังนี้

ปริมาณ “Y” ที่เป็นผลจากการวัดจะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณที่วัดได้ที่เรียกว่าปริมาณตัวแปรเหตุ (Input, x) ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการวัดหรือ

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1)$$

แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติเราไม่ทราบค่าที่แท้จริงของตัวแปรเหตุเหล่านี้ได้ เนื่องจากตัวแปรเหตุที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวัดนั้นล้วนแล้วแต่มีค่าความไม่แน่นอนติดมาด้วยเสมอ ดังนั้นผลการวัด “Y” จึงเป็นเพียงค่าประมาณ “y” พร้อมกับความไม่แน่นอนของการวัด “U” ที่เกิดจากตัวแปรเหตุเหล่านั้นด้วยในการรายงานผลปริมาณที่วัดได้ “Y” จึงอยู่ในรูปของ

$$Y = y \pm U \quad (2)$$

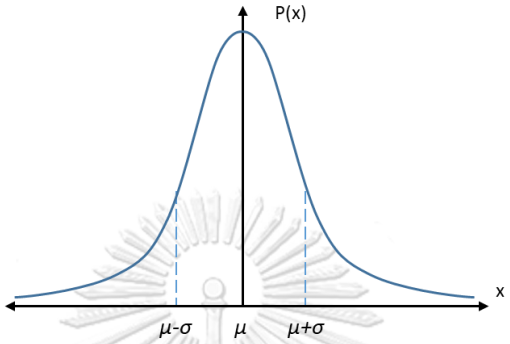
ค่าความไม่แน่นอน U ได้มาจากประเมินองค์ประกอบรวมของตวามไม่แน่นอน การประเมินค่าความไม่แน่นอนของปริมาณตัวแปรเฟตุทั้งหมดในการสอบเทียบนั้นประกอบด้วยความไม่แน่นอน 2 ประเภท คือ ความไม่แน่นอนประเภท A (Type A) และประเภท B (Type B) การประเมินความไม่แน่นอนประเภท A นั้น ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากการวัดซ้ำหลายๆครั้ง และนำมาหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ประเภท B คือ ความไม่แน่นอนในการวัดที่เป็นผลมาจากองค์ประกอบอื่นๆ ในการสอบเทียบที่ไม่ใช่การประเมินทางสถิติ โดยจะอยู่ในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มาจากใบรับรองผลการสอบเทียบหรือ ข้อกำหนดจำเพาะของเครื่องมือ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผู้วัดจำเป็นต้องวินิจฉัยว่าความไม่แน่นอนนั้นมาจากปัจจัยมีสาเหตุใดบ้าง ปัจจัยแต่ละปัจจัยส่งผลให้เกิดความไม่แน่นอนขนาดเท่าใด ในการพิจารณาผู้วัดจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลหรือสมมติฐานที่บ่งบอกถึงลักษณะการกระจายของค่าความไม่แน่นอนของแต่ละสาเหตุ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงลักษณะการกระจาย 2 แบบ คือ การกระจายแบบโค้งปกติ (Normal distribution) และการกระจายแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular distribution)

2.11.1 ค่าความไม่แน่นอนชนิด A

โดยปกติจะใช้สำหรับการหาค่าที่เกิดจากการทำซ้ำหรือการสุ่มจากกระบวนการวัด โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยปกติจะมีการกรระจายแบบแจกแจงความถี่เป็นแบบปกติ (Normal Distribution) มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำที่สมมาตรซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2-10



รูปที่ 2-10 การกระจายข้อมูลแบบโค้งปกติ

ในกรณีนี้ผลการวัดส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ดังนั้นในการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลชนิดนี้จึงใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองหารด้วยตัวหาร (Devisor) มีค่าเท่ากับ 1 จากรูปที่ 2-10 เป็นการกระจายของจำนวนข้อมูล ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น μ และค่าความแปรปรวนเป็น σ^2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น σ สิ่งที่ใช้แทนค่าความไม่แน่นอนชนิด A ก็คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งไม่ทราบค่าแต่จะประมาณจากการสุ่มค่าจากตัวอย่าง n ตัว มาทั้งหมด j กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $\overline{x}$ สามารถหาได้จากสมการ

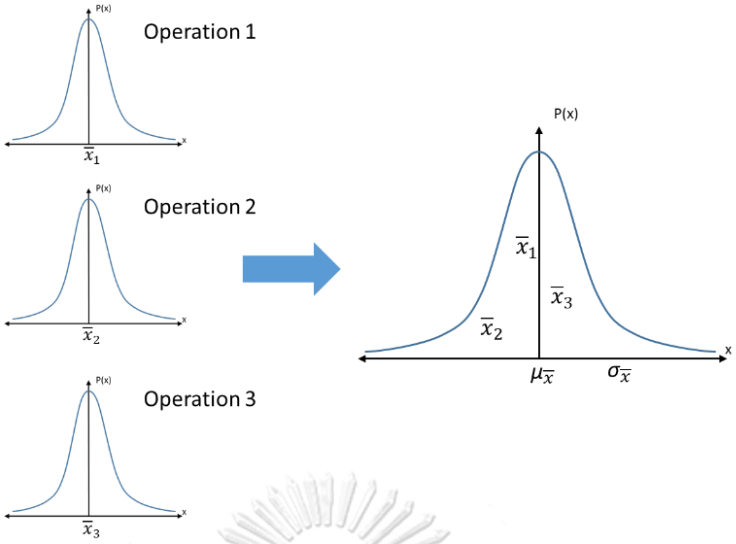
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (3)$$

โดยที่ค่า x_i คือ ค่าอุณหภูมิที่สุ่มได้ครั้งที่ i

$\overline{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิจากการสุ่ม n ครั้ง

ที่ค่า $\overline{x}$ แต่ละค่าจะมีค่าความถี่ของ $\overline{x}$ เท่ากับ f_i และค่าความถี่สัมพันธ์ $f(\overline{x})$ มีค่าเท่ากับ $\frac{f_i}{j}$ เมื่อนำค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละกลุ่มมาวาดกราฟการแจกแจงความถี่ จะได้กราฟแจกแจงความถี่ของค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละกลุ่มแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2-11 ลักษณะการกระจายของข้อมูลค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่มบนรูปการกระจายแบบโค้งปกติ

ค่าเฉลี่ยข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างจากการวัดสุ่ม n ครั้ง เป็นจำนวน j กลุ่ม สามารถหาได้จากสมการ

$$\mu_{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^{c} f_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^{c} f_i} \quad (4)$$

โดยที่ค่า f_i คือ ค่าของความถี่ของค่าเฉลี่ยครั้งที่ i

$\bar{x}_i$ คือ ค่าเฉลี่ยครั้งที่ i

c คือ จำนวนครั้งของความถี่ f_i ที่เกิดขึ้น

และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างในการวัด n ครั้งเป็นจำนวน j กลุ่ม สามารถหาได้จากสมการ

Chulalongkorn University

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{c} f_i (\bar{x}_i - \mu_{\bar{x}})^2}{\sum_{i=1}^{c} f_i}} \quad (5)$$

ในการวัดจริงไม่สามารถวัดได้หลายกลุ่ม แต่สามารถวัดได้เพียงกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น จึงประมาณค่าของ $\sigma_{\bar{x}}$ ด้วยสมการ

$$S_j(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

ดังนั้นสามารถประมาณค่าของ σ จากการสุ่มวัดเพียงกลุ่มเดียวได้จากสมการ

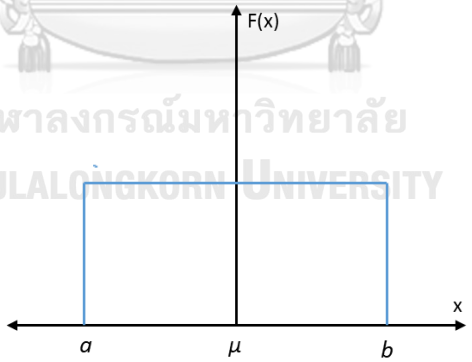
$$S(\overline{x}) = \frac{S_j(\overline{x})}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

ค่าของ $S(\overline{x})$ เป็นค่าประมาณของ σ เราจะใช้แทนค่าความไม่แน่นอนชนิด A จากแหล่งความไม่แน่นอนแต่ละแหล่งได้แก่เครื่องวัดอุณหภูมิอ้างอิง และเครื่องวัดอุณหภูมิที่สอบเทียบจากสมการ

$$u(x_i) = S(\overline{x}) \quad (8)$$

2.11.2 ค่าความไม่แน่นอนชนิด B

โดยปกติจะเป็นค่าความไม่แน่นอนของระบบ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นผลของความผิดพลาดของการวัดคงที่ทุกครั้งที่ทำการทดสอบ โดยไม่สามารถทำให้ลดลงโดยการทำซ้ำได้ วิธีการหาค่าความไม่แน่นอนชนิด B จากแหล่งข้อมูลแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันเช่น กรณีที่ทราบการกระจายที่แน่นอนจากผู้ผลิตจะให้ค่าความไม่แน่นอนที่มีการกระจายรูปแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular) มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2-12 ผลการวัดมีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนมากหรือคลาดเคลื่อนน้อยในขอบเขตหนึ่งได้เท่าๆกัน เช่น ค่าของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง ค่าของอุณหภูมิของห้อง ค่าอุณหภูมิที่ชิ้นงาน เป็นต้น ค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลชนิดนี้จะหารดวยตัวหารที่มีค่าเท่ากับ $\sqrt{3}$



รูปที่ 2-12 การกระจายข้อมูลแบบสี่เหลี่ยม

การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B ก็จะสามารถหาได้จากสมการ

$$u(x_i) = \frac{S}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

โดยที่ $S = b - u = u - a$ คือค่า Semi-range ซึ่งค่ากระจายจะอยู่ระหว่าง a ถึง b

กรณีที่การประเมินจากค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ก็จะมีการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งค่าความไม่แน่นอนชนิด B สามารถประเมินได้เช่นเดียวกันกับกรณีทราบการกระจายแน่นอนจากผู้ผลิต หรือกรณีที่ประเมินจากค่า Resolution ของเครื่องมือวัดแบบดิจิทัล สามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B ได้จากสมการ

$$u(x_i) = \frac{\textbf{Resolution}}{2\sqrt{3}} \tag{10}$$

กรณีแหล่งความไม่แน่นอนชนิด B ที่ทราบการกระจายแน่นอนจากการส่งเครื่องมือไปสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการภายนอกที่ได้รับการรับรอง หรือการประเมินจากค่าความไม่แน่นอนจากใบรายงานผลการสอบเทียบเครื่องมือที่ส่งไปสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการภายนอก สามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B ได้จากสมการ

$$u(x_i) = \frac{Uncertainty}{2} \tag{11}$$

เมื่อได้ค่าความไม่แน่นอนย่อยในแต่ละปัจจัยแล้ว ผู้วัดจำเป็นต้องนำค่าความไม่แน่นอนในแต่ละปัจจัยมาคำนวณค่าความไม่แน่นอนรวม (Combine Standard Uncertainty; $u_c(y)$) โดยอาศัยหลักเกณฑ์ว่า ค่าความไม่แน่นอนแต่ปัจจัยต้องอยู่ในหน่วยเดียวกัน มีระดับความเชื่อมั่นเท่ากัน และการรวมค่าความไม่แน่นอนทั้งหมดจะต้องเป็นการรวมแบบรากที่สองของผลรวมของค่าที่ยกกำลังสอง (Root sum of the square) จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวจะทำให้เขียนสมการหาค่าของ $u_c(y)$ ได้เป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} c_i^2 u^2(x_i)} \tag{12}$$

เมื่อ c_i คือ สัมประสิทธิ์ความไว (Sensitivity coefficient) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ทำให้หน่วยของ ตัวแปรเหตุ (Input) แต่ละตัวสามารถนำมารวมกันได้ผลลัพธ์สุดท้ายคือหน่วยของตัวแปรผล (Output)

$u(x_i)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของตัวแปรเหตุแต่ละตัว

ในกรณีที่ตัวแปรอยู่ในหน่วยเดียวกันแล้ว ค่าของ c_i จะมีค่าเท่ากับ 1 และได้สมการความไม่แน่นอนรวมเป็น

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} u^2(x_i)} \tag{13}$$

ในการรายงานผลค่าความไม่แน่นอนของการวัดจำเป็นจะต้องรายงานค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่น 95.5% ถึง 99.7% ซึ่งเป็นการรายงานค่าความไม่แน่นอนส่วนขยาย (Expanded Uncertainty; U) หรือปริมาณที่กำหนดช่วงที่มีการกระจายของผลการวัดอยู่ภายใน ค่าเหล่านี้แสดงลักษณะของสิ่งที่วัดและคาดหวังว่าจะได้อยู่ในช่วงที่กำหนดด้วยระดับความเชื่อมั่นสูง ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$U = ku_c(y) \tag{14}$$

เมื่อ k คือตัวประกอบครอบคลุม (Coverage Factor) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้คูณกับค่าความไม่แน่นอนรวม (u_c) เพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนส่วนขยายค่า k นี้ขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด โดยทั่วไปกำหนดให้ค่า k มีค่าเท่ากับ 2 ถึง 3 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.46% ถึง 99.7% ซึ่งสามารถประเมินได้จากการกระจายของข้อมูลและระดับความเชื่อมั่นที่ใช้ โดยปกติถ้าเราทำการวัดซ้ำมากกว่า 2 ครั้ง และค่าความไม่แน่นอนชนิด A เป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการ

$$\frac{Type\ A}{u_c(y)} < 0.5 \tag{15}$$

การประเมินค่าความไม่แน่นอนส่วนขยายในงานวิจัยนี้ตั้งอยู่บนสมติฐานที่ว่า ค่า $u_c(y)$ มีการกระจายแบบโค้งปกติ และนิยมรายงานค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95.46% หรือตัวประกอบครอบคลุมที่เหมาะสมมีค่า k=2 ซึ่งหมายความว่า ค่าองศาแห่งความอิสระ (Degree of freedom; v_{eff}) มีค่าเท่ากับค่าอนันต์ (Infinity; ∞)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แต่ถ้าค่าองศาแห่งความอิสระไม่เท่ากับค่าอนันต์เราจำเป็นต้องตรวจสอบค่าตัวประกอบครอบคลุมจากสมการของ Welch-Satterthwaite ดังนี้

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_i^4(y)}{v_i}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{c_i^4 u_i^4(x_i)}{v_i}} \tag{16}$$

เมื่อ $u_i(y)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนของตัวแปรเหตุแต่ละตัว ซึ่งรวมค่าสัมประสิทธิ์ความไว

v_i คือ ค่าองศาแห่งความอิสระของตัวแปรเหตุแต่ละตัว สำหรับความไม่แน่นอนประเภท A จะมีค่าเท่ากับ n-1

N คือ จำนวนตัวแปรเหตุ

ตารางที่ 2-3 ตารางการกระจายแบบ T-Distribution

ค่าองศาอิสระ (Degree of freedom)	ระดับความเชื่อมั่น					
	68.27%	90%	95%	95.45%	99%	99.73%
1	1.84	6.31	12.71	13.97	63.66	235.80
2	1.32	2.92	4.30	4.53	9.92	19.21
3	1.20	2.35	3.18	3.31	5.84	9.22
4	1.14	2.13	2.78	2.87	4.60	6.62
5	1.11	2.02	2.57	2.65	4.03	5.51
6	1.09	1.94	2.45	2.52	3.71	4.90
7	1.08	1.89	2.36	2.43	3.50	4.53
8	1.07	1.86	2.31	2.37	3.36	4.28
9	1.06	1.83	2.26	2.32	3.25	4.09
10	1.05	1.81	2.23	2.28	3.17	3.96
11	1.05	1.80	2.20	2.25	3.11	3.85
12	1.04	1.78	2.18	2.23	3.05	3.76
13	1.04	1.77	2.16	2.21	3.01	3.69
14	1.04	1.76	2.14	2.20	2.98	3.64
15	1.03	1.75	2.13	2.18	2.95	3.59
16	1.03	1.75	2.12	2.17	2.92	3.54
17	1.03	1.74	2.11	2.16	2.90	3.51
18	1.03	1.73	2.10	2.15	2.88	3.48
19	1.03	1.73	2.09	2.14	2.86	3.45
20	1.03	1.72	2.09	2.13	2.85	3.42
25	1.02	1.71	2.06	2.11	2.79	3.33
30	1.01	1.70	2.04	2.09	2.75	3.27
35	1.01	1.70	2.03	2.07	2.72	3.23
40	1.01	1.68	2.02	2.06	2.70	3.20
45	1.01	1.68	2.01	2.06	2.69	3.18
50	1.01	1.68	2.01	2.05	2.68	3.16
100	1.005	1.660	1.984	2.025	2.626	3.077
1000	1.003	1.646	1.962	2.003	2.581	3.007
∞	1.000	1.645	1.960	2.000	2.576	3.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากนั้นจึงนำค่าองศาอิสระ (Degree of freedom; ν_{eff}) และระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการไปเทียบกับตารางการกระจายแบบที (T-distribution) ที่แสดงไว้ดังตารางที่ 2-3 เพื่อหาตัวประกอบครอบคลุมค่า (k) ที่เหมาะสมต่อไป

2.12. แหล่งความไม่แน่นอนของการสอบเทียบด้านมิติ และความยาว

2.12.1 ความไม่เที่ยงของไดอัลเกจ (Repeatability)

ความไม่เที่ยงของไดอัลเกจสะท้อนให้เห็นได้จากการวัดซ้ำหลายๆครั้งแล้วพบว่า ผลการวัดมีค่าแตกต่างกัน การคำนวณค่าความไม่เที่ยงเป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_{n-1}) สามารถนำไปใช้ประเมินค่าความไม่แน่นอนตามหลักการประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A ได้ โดยความไม่เที่ยงของไม่โครมิเตอร์ เป็นสาเหตุหนึ่งของความไม่แน่นอนของการวัด

2.12.2 ความผิดพลาดของค่าชี้บอก

ความผิดพลาดของค่าชี้บอกเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนได้ หรือเป็นสาเหตุของการประเมินค่าความไม่แน่นอนของผลการวัด การประเมินค่าความไม่แน่นอนของผลการวัดจากสาเหตุนี้จำเป็นต้องคำนึงถึงค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบด้วย โดยประเมินให้ค่าความไม่แน่นอนมีค่าเท่ากับค่าผิดพลาดหรือค่าปรับแก้กับค่าไม่แน่นอนของการสอบเทียบ

2.12.3 ค่าความแม่นยำของเครื่องมือ และค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบ (Accuracy & Uncertainty)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยปกติทางโรงงานผู้ผลิตเครื่องมือจะบอกค่าความแม่นยำในการวัดของเครื่องมือ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสม เครื่องมือที่นำมาใช้ในงานสอบเทียบจะต้องทำการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO17025: 2017 และสามารถสอบกลับเพื่อใช้อ้างอิงได้ เมื่อเครื่องมือได้รับการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการที่ได้การรับรอง จะได้รับใบรายงานผลการสอบเทียบพร้อมค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด ทำให้ค่าความแม่นยำ และค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือเป็นแหล่งของค่าความไม่แน่นอนเพราะส่งผลต่อค่าการวัด

2.12.4 ความละเอียดเครื่องมือ (Resolution)

ความละเอียดของเครื่องมือเป็นข้อจำกัดข้อหนึ่งของเครื่องมือวัด ในการชี้บอกค่าวัดที่ถูกต้องและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าชี้บอกมีความไม่แน่นอน การประเมินค่าความไม่แน่นอนจะต้องสอดคล้องกับวิธีชี้บอกค่าของเครื่องมือวัด และวิธีอ่านค่าของผู้วัด ในกรณีที่เครื่องมือวัดชี้บอกค่าด้วย

ระบบตัวเลข (Digital reading) ตัวเลขหลักสุดท้ายของค่าชี้บอกจะมีความไม่แน่นอน เนื่องจากอาจเป็นตัวเลขที่ได้มาจากการปัดค่าขึ้นหรือลง

2.12.5 อุณหภูมิ (Temperature)

วัสดุของชิ้นงานที่นำมาวัดค่า จะมีการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและจะหดตัวเมื่ออุณหภูมิลดลง ขนาดหรือความยาวของชิ้นงานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของวัตถุ จากมาตรฐาน ISO 1 กำหนด “อุณหภูมิมาตรฐานอ้างอิงของการตั้งข้อกำหนดรูปทรงของผลิตภัณฑ์ และการยืนยันความเป็นไปตามข้อกำหนด คือ 20 °C” เพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องเข้าใจความหมายอย่างถูกต้องตรงกันและสามารถปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสม (Phillips et al., 2016)

วัสดุแต่ละชนิดที่มีอัตราการขยายตัวที่แตกต่างกัน ดังนั้น ชิ้นงานที่ทำจากวัสดุต่างชนิดกันจะมีอัตรการเปลี่ยนแปลงความยาวหรือขนาดไม่เท่ากันเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเท่ากัน ค่าของความยาวของชิ้นงานที่เปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1 °C เมื่อเทียบกับความยาวเดิม เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน (Thermal expansion coefficient) ซึ่งเป็นคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิด

(1) กรณีเครื่องมือวัดและสิ่งที่วัดมีอุณหภูมิต่างกัน

ในกรณีที่เครื่องมือวัดและชิ้นงานมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดความคลาดเคลื่อนของการวัดขึ้นจากสาเหตุความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือวัดกับชิ้นงาน ซึ่งเป็นไปตามสมการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\Delta L = \Delta t \times \alpha \times L \quad (17)$$

เมื่อ ΔL คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือกับชิ้นงาน

Δt คือ ค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือวัดกับชิ้นงาน

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเฉลี่ยระหว่างเครื่องมือวัดและชิ้นงานเฉลี่ย

L คือ ค่าความยาวที่ต้องการวัด

(2) กรณีเครื่องมือวัดและสิ่งที่วัดมีอุณหภูมิต่างจาก 20 ºC

ในกรณีเครื่องมือวัดและชิ้นงานมีอุณหภูมิต่างจาก 20 ºC และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่างกัน จะเกิดความคลาดเคลื่อนของการวัดขึ้น ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\Delta L = \Delta t \times \alpha \times L = (t - 20℃) \times \Delta\alpha \times L \qquad (18)$$

เมื่อ ΔL คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือกับชิ้นงาน

Δt คือ ค่าแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของเครื่องมือวัดและชิ้นงานเฉลี่ย เทียบกับอุณหภูมิอ้างอิง

$\Delta\alpha$ คือ ผลต่างค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเครื่องมือวัดและชิ้นงาน

L คือ ค่าความยาวที่ต้องการวัด

2.13. ค่าความแม่นยำ (Accuracy)

จากในทางปฏิบัติยากที่จะทราบค่าจริง จึงใช้วิธีเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมรับแทน เป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงความสอดคล้องกับค่าจริง (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2555) การตรวจสอบความแม่นของวิธีทดสอบทำได้ 2 แบบ

2.13.1 การเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าที่ยอมรับ (reference value)

สามารถทำได้ 2 วิธี คือ ทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุอ้างอิง (Reference Material; RM) ซึ่งวัสดุอ้างอิง ควรจะสอบกลับ (traceable) ไปยังระบบมาตรฐานสากลซึ่งถ้าเป็นไปได้ควรไปถึง SI unit โดยทั่วไปวัสดุที่สอบกลับไปถึง SI unit คือวัสดุอ้างอิงรับรอง (Certified Reference Material ; CRM) และอีกวิธีโดยการทดสอบตัวอย่างกับวิธีอื่นที่อ้างอิงได้ เช่น Reference / Standard method และเปรียบเทียบผลโดยใช้หลักทางสถิติ เช่น T-Test, F-test, Least square regression เป็นต้น

2.13.2 การตรวจสอบค่าคืนกลับ (recovery test)

กรณีไม่มีวัสดุอ้างอิง การตรวจสอบความแม่น ให้ทำโดยการ เติมธาตุที่ทดสอบซึ่งเป็นสารมาตรฐานและรู้ค่าที่แน่นอน ปริมาณน้อยลงในตัวอย่าง (spike/fortified sample) แล้วทดสอบ และคำนวณหา % recovery แทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.14. ค่าความเที่ยง (Precision)

คือความแม่นของกระบวนการวัด แสดงโดยความใกล้เคียงกันระหว่างค่าที่ได้จากการวัดตัวอย่างเดียวกันซ้ำหลายๆครั้ง แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ

(1) Repeatability คือ การแสดงความแม่นของการวัดโดยการวัดซ้ำ ที่ทำในสภาวะเดียวกันในระยะเวลาที่ห่างกันไม่นาน

(2) Intermediate precision คือ การแสดงความแม่นของการวัด ที่วัดซ้ำโดยมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยในการวิเคราะห์ภายในห้องปฏิบัติการเดียวกัน เช่น เปลี่ยนเครื่องมือ เปลี่ยนพนักงานสอบเทียบ เปลี่ยนวัน

(3) Reproducibility คือ การแสดงความแม่นของการวัด ที่วัดโดยห้องปฏิบัติการหลายห้องโดยทั่วไปใช้ในการนำเสนอวิธีใหม่ที่จะใช้เป็นวิธีมาตรฐานเฉพาะ

2.14.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; RSD)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) เป็นการวัดการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่มีหน่วย ซึ่งต่างจากการวัดค่าการกระจายตัวอื่นๆ ที่กล่าวมาแล้วซึ่งมีหน่วยเช่นเดียวกับข้อมูล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยค่าเฉลี่ยที่มีหน่วยเดียวกันกับข้อมูลจึงทาให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ไม่มีหน่วย ทาให้สามารถใช้เปรียบเทียบข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไปได้อย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าข้อมูลจะมีหน่วยต่างกัน หรือมีขนาดที่ต่างกัน ดังสูตรต่อไปนี้

$$RSD = \frac{S}{\overline{x}} \tag{19}$$

โดย S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, $\overline{x}$ คือ ค่าเฉลี่ย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.14.3 สัมประสิทธ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation; CV)

ค่าสัมประสิทธ์ความแปรผัน (CV) ก็คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ ในการเปรียบเทียบ ถ้ามีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันน้อยกว่า 5 % ถือว่าเครื่องมือมีความเที่ยงตรง โดยใช้สูตรต่อไปนี้ (นันทนา กันยานุวัฒน์, 2555)

$$CV = \%RSD = \frac{S}{\overline{x}} \times 100 \tag{20}$$

2.15. การประเมินผลจากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการ

สำหรับห้องปฏิบัติการสอบเทียบ เมื่อต้องการเปรียบเทียบผลการสอบเทียบหรือวิธีการที่ใช้สอบเทียบของห้องปฏิบัติว่ามีความแม่นยำ หรือมีประสิทธิภาพหรือไม่ วิธีการประเมินผลวิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปคือ การคำนวณค่าสัดส่วน E_n (ISO 13528, 2015) แสดงไว้ในสมการดังนี้

$$E_n = \frac{X_{LAB} - X_{REF}}{\sqrt{U_{LAB}^2 + U_{REF}^2}} \quad (21)$$

เมื่อ X_{LAB} คือ ผลการวัดของห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัด

U_{LAB} คือ ค่าความไม่แน่นอนที่มีค่ามากที่สุดของห้องปฏิบัติการที่ครอบคลุมตลอดช่วงการวัด

X_{REF} คือ ค่าอ้างอิงของการเปรียบเทียบผลการวัด

U_{REF} คือ ค่าความไม่แน่นอนของห้องปฏิบัติการอ้างอิงที่เข้าร่วมเปรียบเทียบผลการวัด

ค่าสัดส่วน E_n ที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถตีความได้ดังต่อไปนี้ เมื่อสัดส่วน E_n มีค่าน้อยหรือเท่ากับ 1 หมายความว่า ผลการวัดนั้นมีความแม่นยำ มีประสิทธิภาพสอดคล้องกับค่าอ้างอิง แต่ถ้าขนาดสัดส่วน E_n มากกว่า 1 แสดงว่าผลการวัดนั้นไม่มีประสิทธิภาพไม่สอดคล้องกับค่าอ้างอิง

2.16. การกำหนดจำนวนรอบทำซ้ำของการทดลอง (Number of Replications)

จำนวนรอบทำซ้ำขึ้นอยู่กับช่วงความเชื่อมันของผลลัพธ์ที่ต้องการเริ่มต้นต้องทำการทดลองแบบคร่าว ๆ ก่อนเพื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล โดยสามารถประมาณค่าได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลอง จากนั้นไปคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ดังสมการ (อัฏฐภูมิ เหลืองทองคา, 2554)

$$R = \left(\frac{t_{(\alpha/2, R_0 - 1)} \times S_0}{\varepsilon}\right) \quad (22)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ ε คือ ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้

R_0 คือ จำนวนรอบทำซำเริ่มต้น

S_0 คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

α คือ ระดับนัยสำคัญ

2.17. มาตรฐานอุตสาหกรรมที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้จะอ้างอิงหลักวิชาการ และวิธีการสอบเทียบ ตามข้อกำหนดทีระบุไว้ในมาตรฐานอุตสาหกรรมฉบับต่างๆ ที่ใช้สำหรับห้องห้องปฏิบัติการทดสอบ หรือสอบเทียบ ดังนี้

(1) มาตรฐานอุตสาหกรรม International Standard ISO 17025, 2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. เป็นมาตรฐานสากลที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องข้อกำหนดที่สำหรับขอการรับรองห้องปฏิบัติการ

ในการทดลองจะพิจารณาในการในข้อกำหนดด้านทรัพยากร และข้อกำหนดด้านกระบวนการให้เป็นไปตามมาตรฐาน

(2) มาตรฐานอุตสาหกรรม Japanese industrial standard JIS B 7503, 2017, Mechanical dial gauges. เป็นมาตรฐานจากประเทศญี่ปุ่น ที่มีการระบุข้อกำหนดของเครื่องมือไดอัลเกจ และวิธีการสอบเทียบที่เป็นมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์

(3) มาตรฐานอุตสาหกรรม International Standard ISO 3650, 1999, Geometrical product specifications (GPS) – Length standards – Gauge block ข้อกำหนดของเกจบล็อกในแต่ละระดับ และวิธีการสอบเทียบที่เป็นมาตรฐานมาตรฐานเกจบล็อก

(4) มาตรฐานอุตสาหกรรม International Standard ISO 10012, 2003, Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment เป็นมาตรฐานที่ว่าด้วยข้อกำหนด และคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในงานสอบเทียบ

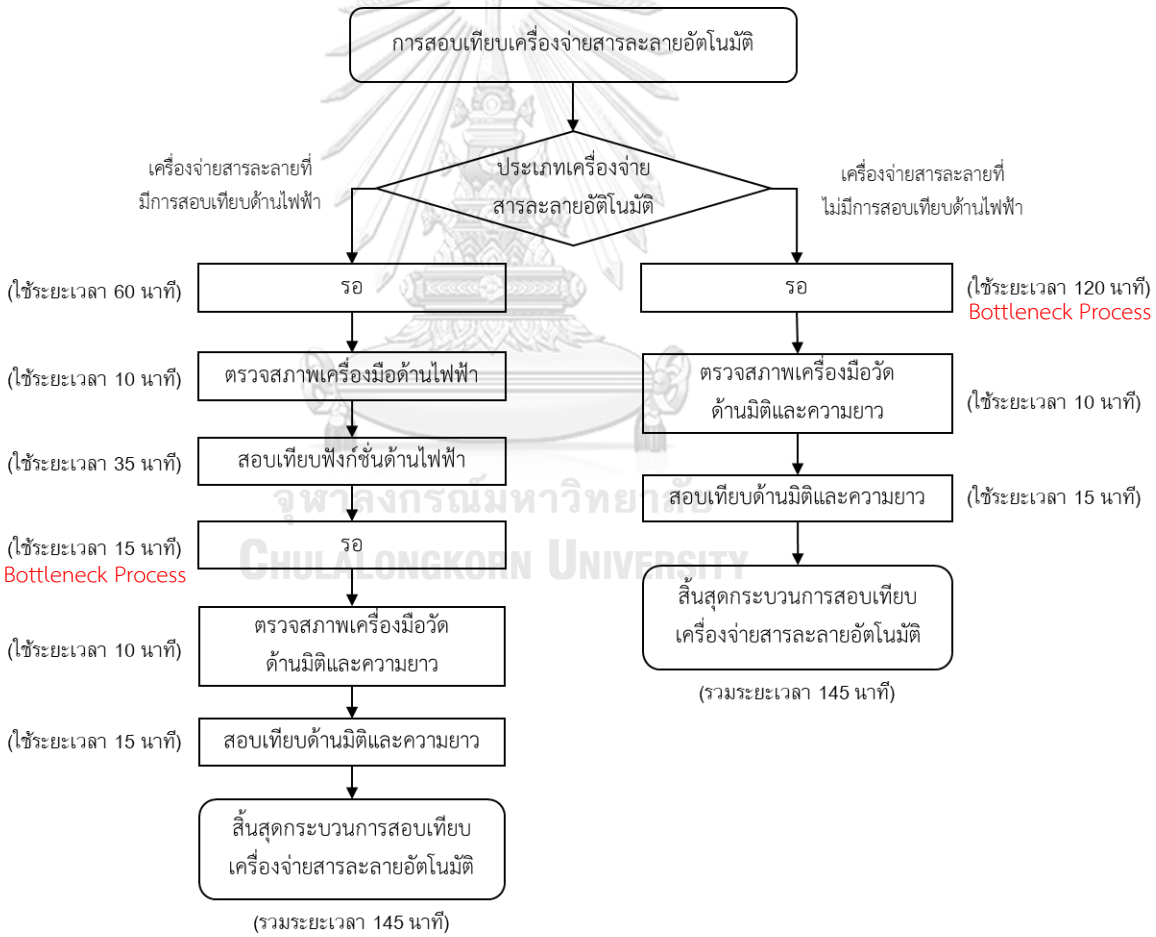
(5) มาตรฐานอุตสาหกรรม International Standard ISO 14253-1, 2017, Geometrical product specifications (GPS) – Inspection by measurement of work pieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules for verifying conformity or nonconformity with specifications. เป็นมาตรฐานสากลที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับเรื่องการตั้งข้อกำหนด และการตั้งเกณฑ์การตัดสินคุณภาพของการวัดและเครื่องมือวัด ซึ่งจะนำวิธีการตั้งเกณฑ์มาใช้ในการทดลองครั้งเพื่อชี้วัดคุณภาพจากผลการทดลอง

(6) มาตรฐานอุตสาหกรรม International Standard ISO 1, 2016, Standard Reference Temperature for the specification of Geometrical and Dimensional Properties. เป็นมาตรฐานสากลที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับข้อกำหนดด้านอุณหภูมิของเครื่องมือวัดและชิ้นงาน ด้านมิติ และความยาว โดยกำหนดค่าอ้างอิงอุณหภูมิระหว่างทำการวัดค่าเครื่องมือที่ 20 °C

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการออกแบบการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนกระบวนการดำเนินงานและการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ (Titrator) ในส่วนของขั้นตอนการตรวจสภาพเครื่องมือก่อนสอบเทียบแกนจ่ายสารละลายอัตโนมัติ เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาจากนั้นทำการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องและดำเนินการวางแผนออกแบบการทดลองเพื่อนำปัจจัยเหล่านั้นมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุง

3.1. ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ

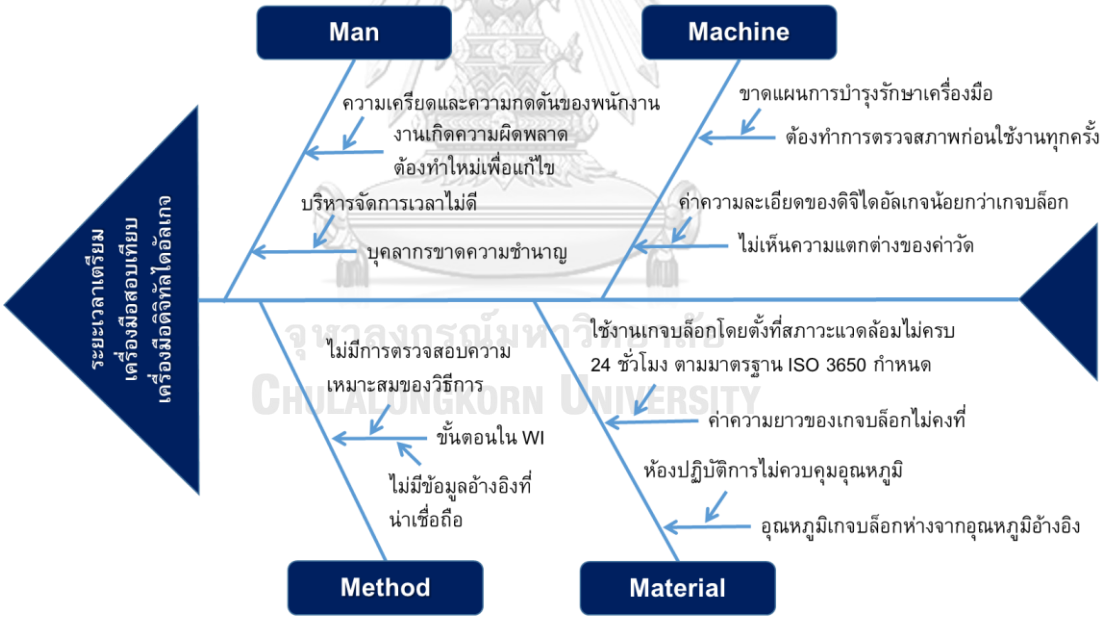


รูปที่ 3-1 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลาย

เครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ ได้ถูกออกแบบมาให้มีคุณสมบัติการใช้งานที่แตกต่างตามวัตถุประสงค์การใช้งานของลูกค้า จากรูปภาพ 3-1 ในขั้นตอนการสอบเทียบสามารถแบ่งออกเป็น 2

กลุ่ม คือ กลุ่มที่ต้องมีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า และกลุ่มที่ไม่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า ระยะเวลาในการสอบเทียบทั้งสองกลุ่มจะใช้ระยะเวลาโดยประมาณ 145 นาที และทางบริษัทกรณีศึกษาได้กำหนดขั้นตอนของการเตรียมเครื่องมือก่อนตรวจสภาพเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจไว้ โดยต้องนำเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจตั้งไว้ที่อุณหภูมิของห้องปฏิบัติการที่จะทำการสอบเทียบ เป็นระยะเวลา 120 นาที ก่อนจะเริ่มนำเครื่องมือวัดมาตรวจสภาพ และใช้งานสอบเทียบในขั้นตอนถัดไป จากขั้นตอนที่บริษัทกรณีศึกษากำหนดขึ้นทำให้เกิดช่วงระยะเวลาการรอก่อนทำการตรวจสภาพเครื่องมือเป็นระยะเวลา 15 นาที สำหรับการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติที่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า และ 60 นาที สำหรับการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติที่ไม่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า

จากรูปที่ 3-1 ทำให้ทราบจุดคอขวดของกระบวนการสอบเทียบที่ส่งผลต่อระยะเวลาการสอบเทียบ คือ ขั้นตอนที่ของการเตรียมเครื่องมือดิจิทัลไดอัลเกจก่อนใช้งาน ที่มีการกำหนดให้ใช้ระยะเวลาในการรอก่อนเริ่มใช้งานเครื่องมือนานเกินไป สามารถเขียนแผนผังก้างปลา (Fish bone diagram) ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้ดังนี้



รูปที่ 3-2 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อระยะเวลาในการสอบเทียบ

จากการวิเคราะห์แผนผังก้างปลา ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหานี้ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในรูปที่ 3-2 พบว่าการระยะเวลารอก่อนการตรวจสภาพดิจิทัลไดอัลเกจก่อนใช้งานนานเกินไป มีสาเหตุมาจากหลายหลายสาเหตุ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การลดระยะเวลาการรอในขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือดิจิทัลไดอัลเกจ และเกจบล็อกก่อนทำการตรวจสภาพดิจิทัลไดอัลเกจ หรือสอบ

เทียบดิจิทัลไดอัลเกจ เพื่อทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติลดลง โดยสาเหตุที่ทำให้ระยะเวลาการเตรียมเครื่องมือก่อนการตรวจสภาพ หรือสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจก่อนใช้งานนานเกินไปที่ สามารถระบุสาเหตุหลัก สาเหตุรอง ดังแสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 วิเคราะห์สาเหตุหลัก และต้นเหตุที่ส่งผลต่อการสอบเทียบ

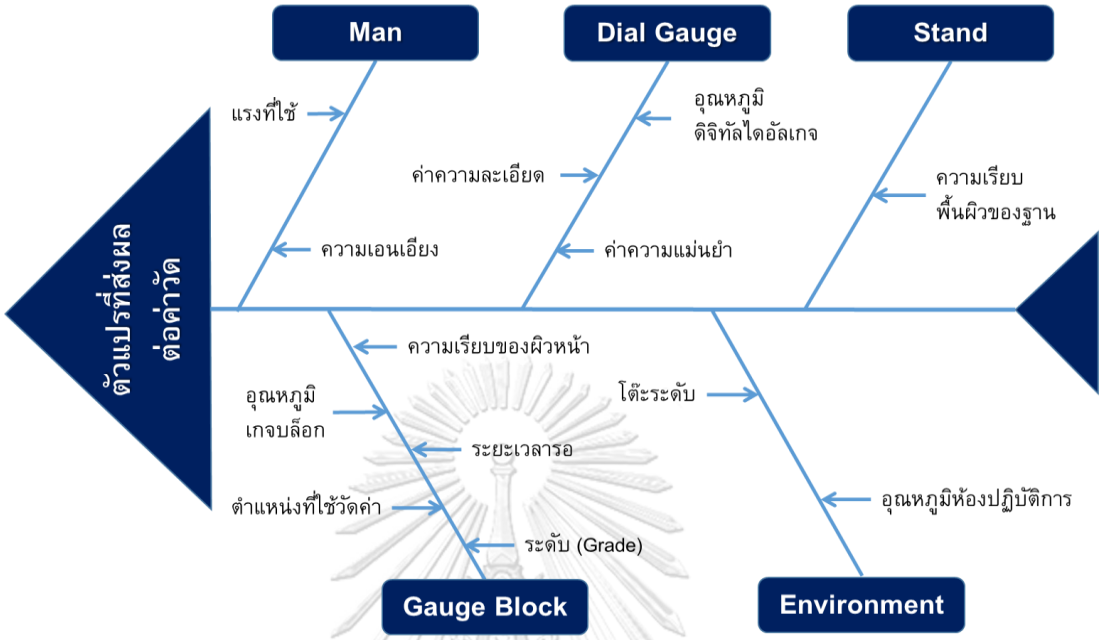
ลำดับ	กลุ่มตัวแปร	สาเหตุ	ต้นเหตุ
1	Man	งานเกิดความผิดพลาด ต้องทำใหม่เพื่อแก้ไข	ความเครียดและความกดดันของพนักงาน
2	Man	บริหารจัดการเวลาได้ไม่ดี	บุคลากรขาดความชำนาญ
3	Machine	ต้องทำการตรวจสภาพเครื่องมือก่อนใช้งานทุกครั้ง	ขาดแผนบำรุงรักษาเครื่องมือ
4	Machine	ไม่เห็นความแตกต่างของค่าวัด	ความละเอียดของเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ น้อยกว่าความละเอียดของเกจบล็อก
5	Material	ค่าความยาวของเกจบล็อกไม่คงที่	ห้องปฏิบัติการไม่ควบคุมอุณหภูมิ
6	Material	อุณหภูมิเกจบล็อกห่างจากอุณหภูมิอ้างอิงมากเกินไป	ใช้งานเกจบล็อกโดยตั้งที่สภาวะแวดล้อมไม่ครบ 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ISO 3650 กำหนด
7	Method	ขั้นตอนใน WI ไม่เหมาะสม	ไม่มีการตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีการ
			ไม่มีข้อมูลอ้างอิงที่น่าเชื่อถือ

จากตารางที่ 3-1 สามารถเลือกตัวแปรจากสาเหตุหลักที่ส่งผลต่อระยะเวลารอในขั้นตอนการตรวจสภาพ หรือสอบเทียบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจก่อนใช้งาน จะไม่เลือกตัวแปรที่มาจากกลุ่มตัวแปรประภทบุคคล (Man) มาพิจารณา เนื่องจากเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นในแต่ละบุคคล จึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแปรเพื่อศึกษาได้ ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้พนักงานสอบเทียบ 1 คน และเป็นพนักงานสอบเทียบคนเดิมตลอดระยะเวลาการทดลอง ทำให้ไม่เกิดผลการทดลองเอนเอียงของค่าวัด และไม่เลือกกลุ่มตัวแปรประเภทวิธีการ (Method) มาพิจารณา เนื่องจากไม่สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงวิธีการ หรืออุปกรณ์ที่ใช้อยู่ได้

ในการพิจารณาเลือกตัวแปรควบคุมในการทดลองจะพิจาณาจากกลุ่มตัวแปร เครื่องมือหรือเครื่องจักร(Machine) ในที่นี้คือดิจิทัลไดอัลเกจ และชิ้นงานหรือวัตถุดิบ (Material) ในที่นี้คือชิ้นเกจบล็อก เพื่อหาตัวแปรที่ส่งผลต่อระยะเวลารอในขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือวัดก่อนการตรวจสภาพก่อนใช้งาน หรือการสอบเทียบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ(การสอบเทียบด้านมิติและความยาว) จากการปรึกษาทีมวิศวะกรสอบเทียบของบริษัท มีความเห็นว่าการปรับปรุงจะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คุณภาพการวัดค่า จึงต้องมีการทำแผนภูมิก้างปลาขึ้นมาอีก 1 ตัวเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่ทำให้ส่งผลกระทบต่อค่าวัดในการสอบเทียบได้



รูปที่ 3-3 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อค่าวัด

จากรูปที่ 3-3 ตัวแปรที่ได้จะศึกษามาจากเทคนิคการสอบเทียบไดอัลเกจ และการสอบเทียบเกจบล็อก โดยตัวแปรพวกนี้จะอยู่ในส่วนของแหล่งของความไม่แน่นอนในการวัด ซึ่งจะส่งผลต่อค่าวัดด้วยเช่นกัน จะเห็นได้ว่าในส่วนของเกจบล็อก มีตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าวัดมากที่สุด และจัดอยู่ในกลุ่มของชิ้นงานหรือวัตถุดิบ (Material) ในรูปที่ 3-2 และรองลงมาคือในส่วนของดิจิทัลไดอัลเกจ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มตัวแปรประเภทเครื่องมือหรือเครื่องจักร (Machine) เมื่อนำก้างปลาในรูปที่ 3-2 และ 3-3 มาวิเคราะห์ร่วมกันจะได้ตัวแปรเหตุที่สอดคล้องกับสาเหตุ ตามตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับสาเหตุ

ลำดับ	กลุ่มตัวแปร	ตัวแปรเหตุ	สาเหตุ	ต้นเหตุ
4	Machine	ค่าความละเอียด	ไม่เห็นความแตกต่างของค่าวัด	ความละเอียดของเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจน้อยกว่าความละเอียดของเกจบล็อก
5	Material	อุณหภูมิเกจบล็อก	ค่าความยาวของเกจบล็อกไม่คงที่	ห้องปฏิบัติการไม่ควบคุมอุณหภูมิ
6	Material	ระยะเวลารอ	อุณหภูมิเกจบล็อกห่างจากอุณหภูมิอ้างอิงมากเกินไป	ใช้งานเกจบล็อกโดยตั้งที่สภาวะแวดล้อมไม่ครบ 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ISO 3650 กำหนด

จากตารางที่ 3-2 แสดงให้เห็นตัวแปรเหตุที่ส่งผลต่อค่าวัด และส่งผลต่อระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ ในการพิจารณาเลือกตัวแปรในการศึกษาทดลอง จะเลือกตัวแปรลำดับที่ 4, 5 และ 6 เป็นตัวแปรเหตุที่จะนำมาใช้ในการทดลอง เพราะมีความสอดคล้องกับสาเหตุที่ทำการวิเคราะห์ไว้

3.2. ข้อจำกัดด้านเครื่องมือวัด

ในการทดลองชนิดจะเลือกใช้เครื่องมือวัดตามคุณลักษณะตามมาตรฐาน จะมีค่าความแม่นยำ และค่าความละเอียดเครื่องมือที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ข้อจำกัดเครื่องมือวัดในการทดลอง

ชนิดเครื่องมือวัด	ฐานสอบเทียบ	ความแม่นยำ (มิลลิเมตร)	ความละเอียด (มิลลิเมตร)	ช่วงการวัดของเครื่องมือ (มิลลิเมตร)
ดิจิทัลไดอัลเกจ	- ชนิดหินแกรนิต - เอ็กซ์เซ้นจ์ยูนิต	± 0.006	0.001	0 ถึง 100
ดิจิไมโคร	- ชนิดเซรามิค	± 0.001	0.0001	0 ถึง 50

3.3. ตัวแปรในการทดลอง

ปัจจัยห้องปฏิบัติการจะถูกกำหนดการใช้ชุดเครื่องมือวัดกับฐานสอบเทียบสำหรับวัดค่า แตกต่างกันตามสภาวะอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการ และฐานสอบเทียบแต่ละแบบสามารถติดตั้งดิจิทัลไดอัลเกจได้เฉพาะรุ่นที่รองรับเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถกำหนดชุดเครื่องมือสอบเทียบรายละเอียด ตามตารางที่ 3-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.1 ตัวแปรควบคุม

(1) เครื่องมือวัดชุดที่ 1 เครื่องมือวัดดิจิทัลไดอัลเกจ คู่กับฐานสอบเทียบหินแกรนิต ใช้ภายในห้องปฏิบัติการของบริษัทกรณีศึกษา มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยกำหนดเป็น ห้องปฏิบัติการควบคุม 1

(2) เครื่องมือวัดชุดที่ 2 เครื่องมือวัดดิจิไมโคร คู่กับฐานสอบเทียบเซรามิค ใช้ภายในห้องปฏิบัติการของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมอุตสหการ มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยกำหนดเป็นห้องปฏิบัติการควบคุม 2

(3) เครื่องมือวัดชุดที่ 3 เครื่องมือวัดดิจิทัลไดอัลเกจ คู่กับฐานสอบเทียบเอ็กซ์เซ้นจ์ยูนิต ใช้ภายใน ห้องปฏิบัติการของลูกค้าที่ใช้บริการสอบเทียบแบบนอกสถานที่ตั้ง และไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยกำหนดเป็นห้องปฏิบัติการไม่ควบคุม

(4) ระยะเวลารอ จะเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับที่เริ่มวัดค่า โดยวัดตามระยะเวลาที่กำหนด คือ 60, 90 และ 120 นาที

3.3.2 ตัวแปรไม่ควบคุม

- อุณหภูมิของเกจบล็อก ผันแปรตามอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมห้องปฏิบัติการ

3.3.3 ค่ามาตรฐานที่ใช้ควบคุมภายในห้องปฏิบัติการ

- สอบเทียบในห้องปฏิบัติการควบคุม
    - อุณหภูมิ 23 ± 3 องศาเซลเซียส
    - ความชื้น 55 ± 15 %RH
- สอบเทียบในห้องปฏิบัติการไม่ควบคุม
    - อุณหภูมิ 15 ถึง 30 องศาเซลเซียส
    - ความชื้น 50 ± 20 %RH

ตารางที่ 3-4 การจัดชุดเครื่องมือวัดที่ใช้ในแต่ละห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการ	ข้อจำกัด	
	สภาวะห้องปฏิบัติการ (ºC / %RH)	ชุดเครื่องมือที่ใช้สอบเทียบ
ควบคุม 1	ห้องปฏิบัติการควบคุม (23 ± 3 / 55 ± 15)	ชุดที่ 1 (ฐานสอบเทียบชนิดหินแกรนิต + ดิจิทัลไดอัลเกจ)
ควบคุม 2	ห้องปฏิบัติการควบคุม (23 ± 3 / 55 ± 15)	ชุดที่ 2 (ฐานสอบเทียบชนิดเซรามิค + ดิจิไมโคร)
ไม่ควบคุม	ห้องปฏิบัติการไม่ควบคุม (15 ถึง 30 / 50 ± 20)	ชุดที่ 3 (ฐานสอบเทียบเอ็กซ์เซ้นจ์ยูนิต + ดิจิทัลไดอัลเกจ)

ตารางที่ 3-5 กลุ่มตัวแปรที่ส่งผลต่อระยะเวลาในขั้นตอนการตรวจสภาพเครื่องมือวัด

ตัวแปร	ตัวแปรต้น	สาเหตุ
X_1	ชุดเครื่องมือวัด	ไม่เห็นความแตกต่างของค่าวัด
X_2	อุณหภูมิของเกจบล็อก	ค่าความยาวของเกจบล็อกไม่คงที่
X_3	ระยะเวลารอ	อุณหภูมิเกจบล็อกห่างจากอุณหภูมิอ้างอิงมากเกินไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากกลุ่มตัวแปรที่ทำการกำหนดขึ้นเพื่อใช้ศึกษาทดลองจะวัดผล หรือประมาณค่าโดย ใช้ค่าวัดที่อ่านได้จากเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจเป็นตัวชี้วัดตัวแรกในการวิเคราะห์ผล และนำค่าวัดที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนในการวัดเพื่อเป็นตัวชี้วัดตัวที่สองในการวิเคราะห์ผล หลังจากได้ตัวชี้วัดทั้งสองตัวแล้ว จะนำวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องมือวัด และความใช้ได้ของวิธีการสอบเทียบต่อไป

ตารางที่ 3-6 ตัวชี้วัดการทดลอง

ตัวชี้วัด	รายละเอียด	หน่วย	นิยาม
Y_1	ค่าวัด	มิลลิเมตร	ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดของเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจได้โดยตรง โดยใช้เกจบล็อกที่ทราบค่าแน่นอนเป็นตัวเปรียบเทียบแล้วอ่านค่า เพื่อยืนยันความใช้ได้ของเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ ว่าสามารถอ่านค่าวัดได้แตกต่างจากชิ้นเกจบล็อกหรือไม่
Y_2	ค่าความไม่แน่นอนในการวัด	มิลลิเมตร	ค่าบ่งชี้ให้ทราบถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวัด สามารถคำนวณหาได้จากแหล่งความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องมือวัด

3.4. เงื่อนไขการศึกษาทดลอง

จากการวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือ หรือสอบเทียบมือดิจิทัลไดอัลเกจก่อนใช้งาน มีทั้งหมด 3 ตัวแปร สามารถจัดเงื่อนไขสำหรับการทดลองได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

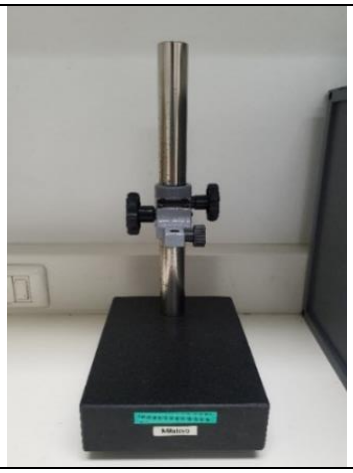
ตารางที่ 3-7 เงื่อนไขการศึกษาทดลอง

เงื่อนไข	ห้องปฏิบัติการ		
	ควบคุม 1	ควบคุม 2	ไม่ควบคุม
ชุดเครื่องมือ	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
ระยะเวลารอ (นาที)	60, 90, 120	60, 90, 120	60, 90, 120
อุณหภูมิเกจบล็อก (°C)	บันทึกขณะที่ทำการวัด ต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดตามข้อที่ 3.3.3		

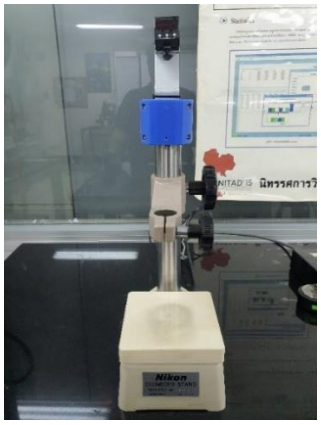
3.5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.5.1 เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3-8 รายละเอียดเครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์	รายละเอียด	รูป
ดิจิทัลไดอัลเกจ (Digital Dial Gage)	เครื่องมือวัดความยาว ยี่ห้อที่ใช้ในการทดลองคือ Sylvac รุ่น S_Dial Work Advanced: 805.5661 มีช่วงการวัด 0-100 mm แสดงตำแหน่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง มีค่าความแม่นยำของเครื่องมือ (Accuracy) เท่ากับ 6 µm ที่อุณหภูมิ 20 °C	
ดิจิไมโคร (Digi micro)	เครื่องมือวัดความยาว ยี่ห้อที่ใช้ในการทดลองคือ Nikon รุ่น MF-501 หน้าจอแสดงผลรุ่น MFC-101A มีช่วงการวัด 0-50 mm. แสดงตำแหน่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง มีค่าความแม่นยำของเครื่องมือ (Accuracy) เท่ากับ 1 µm ที่อุณหภูมิ 20 °C	
เกจบล็อก (Gauge Block)	เป็นแท่งเหล็กมาตรฐานที่มีค่าความยาวมาตรฐาน ยี่ห้อที่ใช้ในการทดลองคือ Metrology ระดับ 1 ขนาด 5, 30 และ 50 mm อ้างอิงค่าความแม่นยำ (Accuracy) ตามมาตรฐาน ISO 3650:1998 หรือ JIS 7506:2017	
ฐานสอบเทียบ (Stand)	ฐานสอบเทียบหินแกรนิต รุ่น 215-151	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อุปกรณ์	รายละเอียด	รูป
ฐานสอบเทียบ (Stand) (ต่อ)	ฐานสอบเทียบเซรามิค รุ่น MS-11C	
	Exchange Unit ฐานสอบเทียบที่ทางบริษัทกรณีศึกษาจัดทำขึ้น เพื่อใช้สำหรับใช้ในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ และมีการปรับแก้ให้สามารถใช้ในการทดสอบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจได้	
เครื่องจดบันทึกอุณหภูมิและความชื้นอัตโนมัติ (Data Logger)	ยี่ห้อ Elitech รุ่น RC-4HC เพื่อบันทึกสภาวะแวดล้อมระหว่างทำการทดลอง โดยค่าความแม่นยำของอุณหภูมิช่วง -20 ถึง 40 °C เท่ากับ ±0.5 °C และค่าความแม่นยำของความชื้นช่วง 20-80 %RH เท่ากับ ±3%RH	
เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น (Thermo-Hygrometer)	รุ่น HTC-2 จะแสดงค่าที่ตรวจวัดได้ ณ เวลานั้น โดยค่าความแม่นยำของอุณหภูมิช่วง -50 ถึง 70 °C เท่ากับ ±1 °C และค่าความแม่นยำของความชื้นช่วง 10-99 %RH เท่ากับ ±5%RH	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

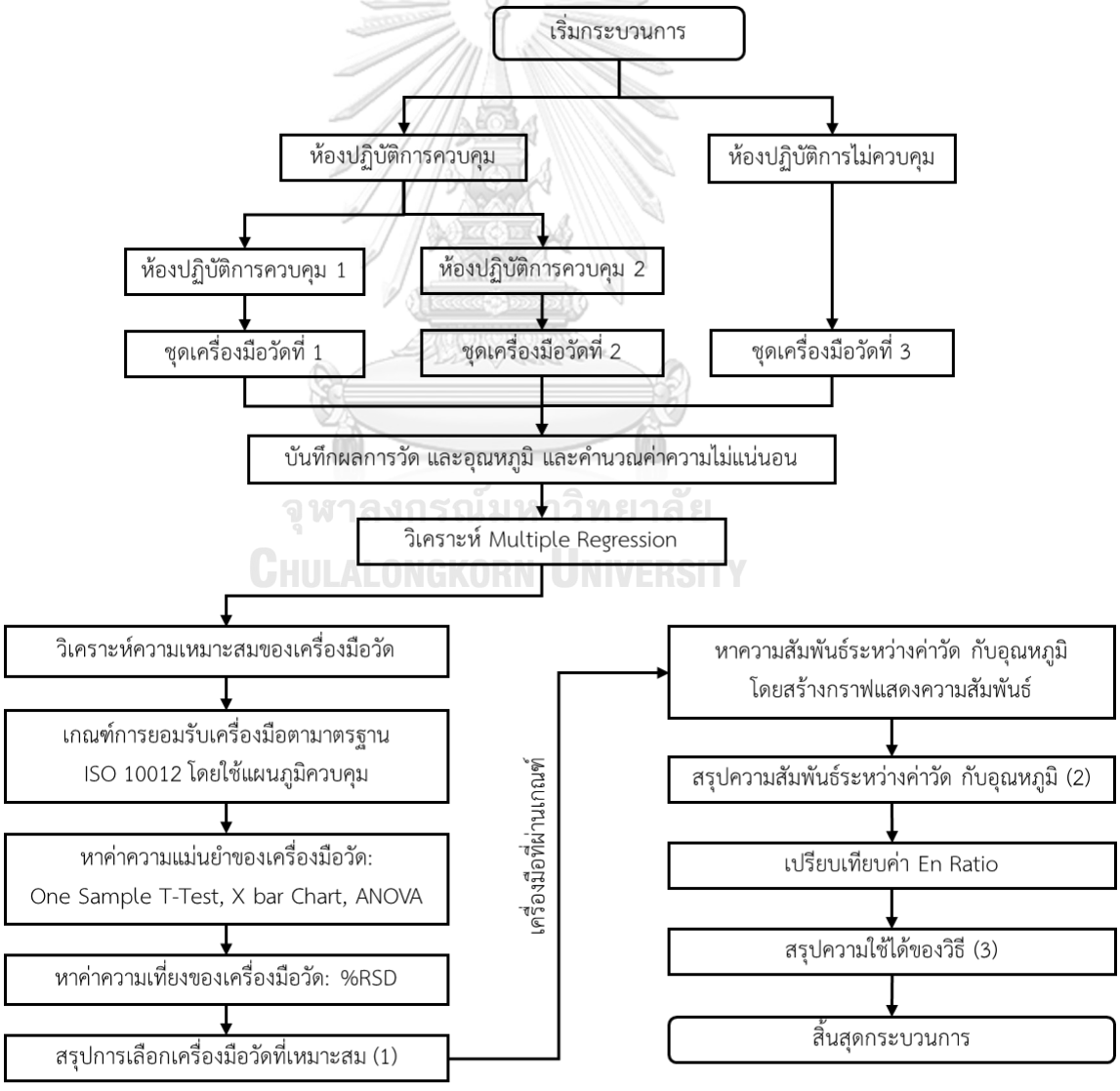
3.5.2 โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

- Microsoft Excel
- Minitab

3.6. วิธีการดำเนินการทดลอง

3.6.1 การดำเนินการทดลอง

ในการทดลองจะทำการสอบเทียบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ ในสภาวะห้องปฏิบัติการที่กำหนด และบันทึกผลการวัด เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สนใจ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแบ่งวิเคราะห์ตามกลุ่มตัวแปร ได้ดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 แผนผังการดำเนินงานและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.6.2 จำนวนการทำการทดลองซ้ำ (Number of Replication)

จำนวนการทำการทดลองซ้ำขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ เบื้องต้นกำหนดทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง โดยทำการวัดค่า เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ค่ามากสุดมาใช้คำนวณเพื่อหาจำนวนการทำการทดลองซ้ำที่เหมาะสม โดยในการทดลองจะวัดซ้ำจุดละ 4 ครั้ง และใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ คือ 5% ดังตารางที่ 3-9 (อัฏฐภูมิ เหลืองทองคา, 2554)

ตารางที่ 3-9 ผลการวัดค่าฉลี่ยเพื่อหาจำนวนการทำซ้ำของการทดลอง

No.	ค่าวัดเฉลี่ยตามระยะเกจบล็อก (มิลลิเมตร)								
	ห้องปฏิบัติการควบคุม 1			ห้องปฏิบัติการควบคุม 2			ห้องปฏิบัติการไม่ควบคุม		
	5	30	50	5	30	50	5	30	50
1	5.002	30.001	50.000	5.0013	30.0020	50.0029	5.004	30.003	50.006
2	5.002	30.002	50.001	5.0013	30.0020	50.0027	5.003	30.003	50.006
3	5.002	30.001	50.002	5.0004	30.0013	50.0030	5.002	30.002	50.006
4	5.002	30.002	50.002	5.0004	30.0012	50.0030	5.002	30.003	50.006
5	5.002	30.002	50.000	5.0006	30.0031	50.0030	5.004	30.005	50.007
6	5.002	30.001	50.000	5.0010	30.0035	50.0028	5.002	30.005	50.004
7	5.002	30.002	50.002	5.0013	30.0020	50.0030	5.003	30.003	50.007
8	5.002	30.002	50.003	5.0007	30.0019	50.0029	5.001	30.003	50.005
9	5.002	30.002	50.001	5.0004	30.0012	50.0030	5.002	30.003	50.005
10	5.002	30.001	50.000	5.0005	30.0014	50.0030	4.999	30.001	50.005
Mean	5.0021	30.0015	50.0012	5.0008	30.0019	50.0029	5.0024	30.0030	50.0058
STDEV	0.0001	0.0003	0.0008	0.0004	0.0008	0.0001	0.0014	0.0011	0.0008

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการทดลองวัด พบว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากสุดมีค่าเท่ากับ 0.0014 จึงนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้ไปใช้คำนวณหาจำนวนการทำการทดลองซ้ำที่เหมาะสมได้ดังนั้น

$$R = \frac{t_{(0.05/2,10-1)} \times 0.0014}{0.05}$$

$$= \frac{3.18 \times 0.0014}{0.05}$$

$$= 0.08904$$

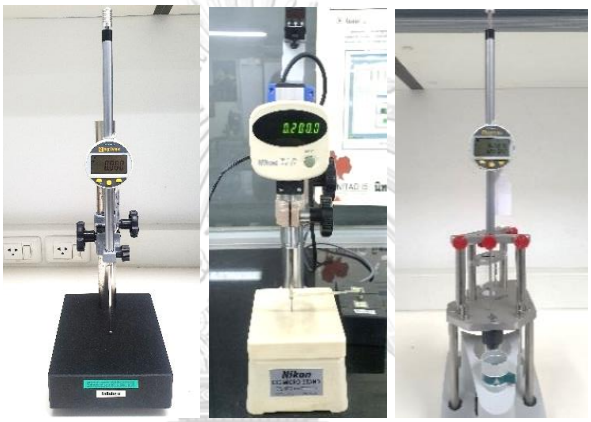
ประมาณ $\approx$ 1 รอบ

จากการคำนวณพบว่าจำนวนการทำการทดลองซ้ำที่เหมาะสม คือ1 รอบเป็นอย่างน้อย แต่ในการทดลองได้กำหนดจำนวนการทดลองซ้ำไว้ 10 รอบ จึงเพียงพอและเหมาะสมกับวิธีการวัดที่ใช้วัดค่าแล้ว

3.6.3 ขั้นตอนการทดลองเพื่อสอบเทียบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ

(1) จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือวัด ทำความสะอาดเกจบล็อก และติดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิไว้ที่เกจบล็อกขนาด 50 มิลลิเมตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้องปฏิบัติการ

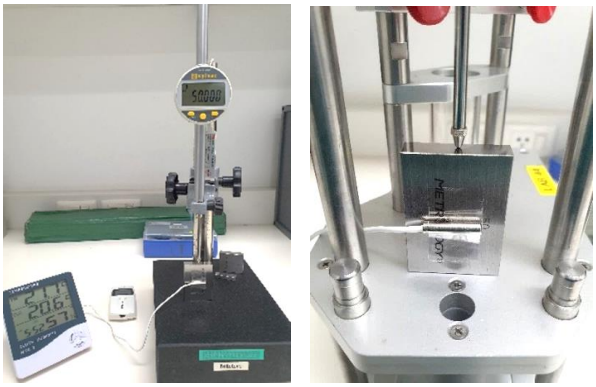
(2) ประกอบติดตั้ง เครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ กับฐานสอบเทียบ ตามวิธีมาตรฐาน JIS B 7503: 2017



(3) ปรับระดับให้หัววัดของเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ สูงขึ้นจากพื้นระดับของฐานสอบเทียบ และกดปุ่มตั้งศูนย์

(4) ปรับระดับให้หัววัดของเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ สัมผัสกับพื้นระดับของฐานสอบเทียบ อ่านค่าวัดที่หน้าจอแสดงผลให้ได้ระยะประมาณ 0.2 มิลลิเมตร พร้อมกดปุ่มตั้งจุดศูนย์ใหม่อีกครั้งเพื่อให้เตรียมพร้อมใช้งาน

(5) นำเกจบล็อกขนาด 5, 30 และ 50 มิลลิเมตร มาทำการวัดค่าบริเวณจุดกึ่งกลางของเกจบล็อก โดยจะทำการวัดซ้ำจำนวน 4 ครั้ง ต่อเกจบล็อก 1 ชิ้น ตามระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ พร้อมบันทึกอุณหภูมิ ณ เวลาที่เริ่มวัดค่า



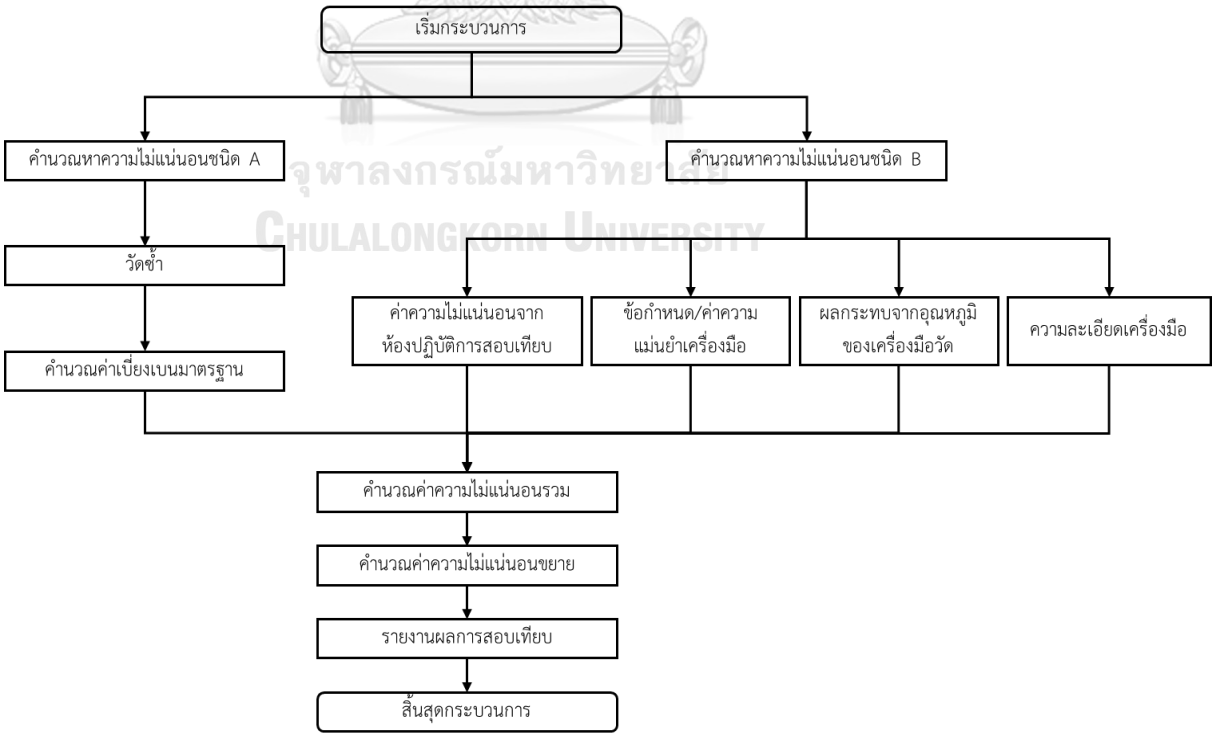
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(6) นำผลการวัดมาบันทึกค่าเพื่อเป็นค่าชี้วัดตัวแรก

(7) นำผลการวัดมาคำนวณค่าความไม่แน่นอนเพื่อเป็นค่าชี้วัดตัวที่สอง โดยแหล่งของค่าความไม่แน่นอนในการวัดจะ (สมโภชน์ บุญสนิท, 2563)

ตารางที่ 3-10 แหล่งความไม่แน่นอนการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ และรูปแบบการกระจายตัวข้อมูล

Type	สัญลักษณ์	แหล่งความไม่แน่นอน	แบบการกระจายตัวข้อมูล	ตัวหาร
A	σ_{rep}	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดซ้ำ	Normal	$\sqrt{n}$
B	L_{im-STD}	ค่าความไม่แน่นอนจากใบรายงานผลของเครื่องมืออ้างอิงที่ผ่านการสอบเทียบ	Normal	2
B	$L_{spc-STD}$	ข้อกำหนด/ค่าความแม่นยำของเครื่องมืออ้างอิง	Rectangular	$\sqrt{3}$
B	$L_{temp-Diff}$	ผลกระทบจากอุณหภูมิระหว่างเครื่องมือวัดกับเครื่องมืออ้างอิง	Rectangular	$\sqrt{3}$
B	$L_{temp-effect}$	ผลกระทบจากอุณหภูมิระหว่างเครื่องมืออ้างอิงกับอุณหภูมิอ้างอิง	Rectangular	$\sqrt{3}$
B	$\delta_{res-STD}$	ความละเอียดเครื่องมืออ้างอิง	Rectangular	$2\sqrt{3}$
B	$\delta_{res-UUC}$	ความละเอียดเครื่องมือวัด	Rectangular	$2\sqrt{3}$



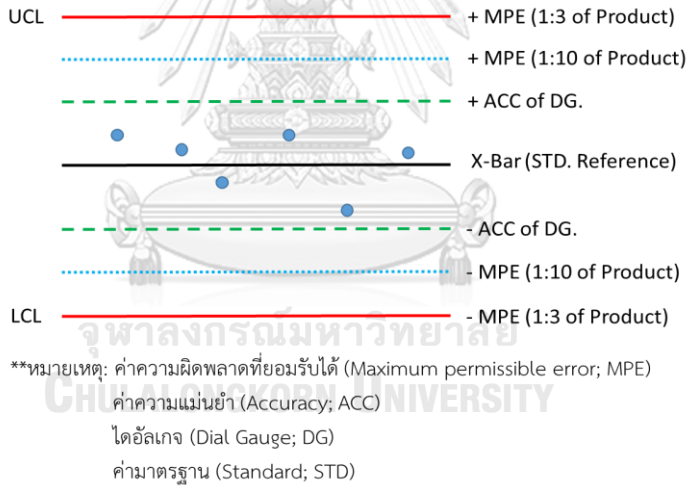
รูปที่ 3-5 แผนผังการแสดงแหล่งของค่าความไม่แน่นอนในการวัด

(8) คำนวณหา ANOVA หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัด กับตัวแปร

(9) สร้างแผนภูมิควบคุมจากผลการวัดค่าเฉลี่ยในแต่ละระยะเวลา ผลที่ได้จะต้องไม่เกินค่า Maximum permissible error (MPE) ของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ มีค่าความเคลื่อนที่ยอมรับได้ของแกนจ่ายสารละลายอยู่ที่ ± 0.070 มิลลิเมตร (ISO 10012, 2003), (ชนินธ์ พิมพ์ศรี, 2561)

ตารางที่ 3-11 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

เกณฑ์การยอมรับ	รายละเอียด	ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (มิลลิเมตร)
ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด (Accuracy of Dial Gauge)	ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด	± 0.006
1:10 ของผลิตภัณฑ์ (1:10 of Product)	เครื่องมือวัดมีความละเอียดมากกว่า 10 เท่าของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ	± 0.007
1:3 ของผลิตภัณฑ์ (1:3 of Product)	เครื่องมือวัดมีความละเอียดมากกว่า 3 เท่าของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ	± 0.023



**หมายเหตุ: ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error; MPE)
ค่าความแม่นยำ (Accuracy; ACC)
ไดอัลเกจ (Dial Gauge; DG)
ค่ามาตรฐาน (Standard; STD)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-6 ลักษณะแผนภูมิควบคุมตรวจสอบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจตามมาตรฐาน ISO 10012

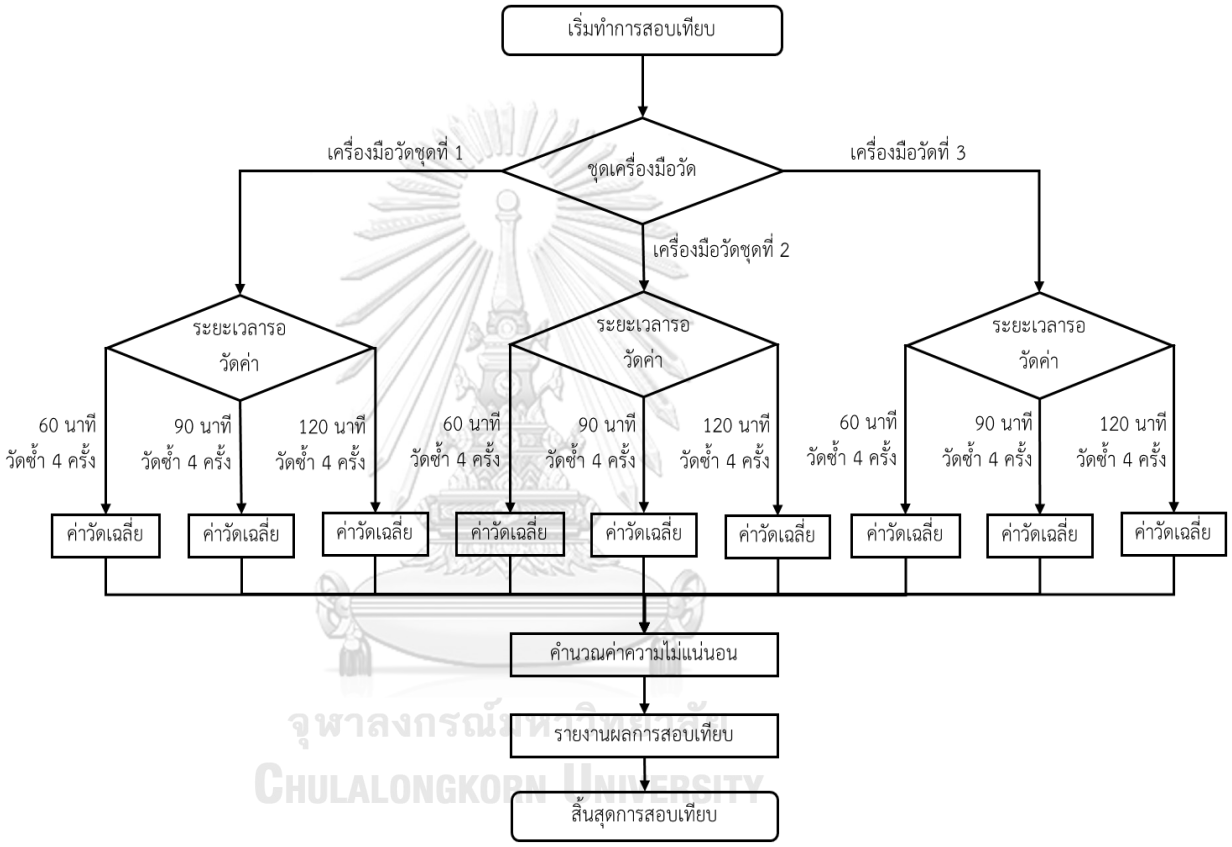
(10) เลือกเครื่องมือวัดที่เหมาะสม โดยสังเกตจากค่าความแม่นยำการในการวัดค่าของเครื่องมือวัด สามารถใช้ One Sample T-Test ในวิเคราะห์ และค่าความเที่ยงในการวัดของเครื่องมือวัดได้จากค่า %RSD โดยจะต้องมีค่า %RSD < 5%

(11) สร้างกราฟพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัด กับตัวแปรไม่ควบคุม

(12) นำผลการวัด และค่าความไม่แน่นอน มาประเมินค่า $E_n\ Ratio$ เพื่อดูประสิทธิภาพของวิธีการที่ใช้ในการทดลอง โดยจะยอมรับวิธีการทดลองว่ามีประสิทธิภาพ เมื่อค่า $E_n\ Ratio$ อยู่ระหว่าง -1 กับ 1

บทที่ 4
ผลการดำเนินการทดลอง

จากที่ได้วิธีการดำเนินการออกแบบการทดลองแล้ว จึงทำการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนด ทำการวัดค่า และนำไปคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด ตามแผนผังตามรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แผนผังการทดลองสอบเทียบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ

หลังจากทำการทดลองนำผลการวัดค่า และค่าความไม่แน่นอนในการวัดไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรศึกษาที่ส่งผลกระทบต่อผลการวัดค่า และค่าความไม่แน่นอนในการวัด เพื่อทำการลดระยะเวลารอสำหรับการสอบเทียบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ โดยข้อมูลดิบจากการทดลองดูเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณผลการวัด และค่าความไม่แน่นอนในการวัดสามารถดูเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก.1 และ ก.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1. ค่าวัดจากการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ

ตารางที่ 4-1 ค่าวัด(UUC) ในแต่ละช่วงระยะเวลา โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1

รอบที่	ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร			ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร			ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	5.002	5.003	5.003	30.001	30.002	30.002	50.001	50.001	50.001
2	5.003	5.003	5.003	30.002	30.002	30.002	50.002	50.002	50.002
3	5.003	5.003	5.003	30.002	30.002	30.002	50.002	50.002	50.002
4	5.003	5.002	5.002	30.002	30.002	30.002	50.002	50.003	50.003
5	5.003	5.003	5.003	30.001	30.002	30.002	50.001	50.001	50.001
6	5.003	5.003	5.003	30.001	30.002	30.002	50.001	50.001	50.001
7	5.004	5.003	5.003	30.002	30.003	30.003	50.003	50.003	50.003
8	5.003	5.003	5.001	30.003	30.003	30.003	50.003	50.003	50.003
9	5.003	5.003	5.002	30.002	30.002	30.002	50.001	50.001	50.001
10	5.002	5.002	5.002	30.002	30.001	30.001	50.002	50.002	50.002
ค่าเฉลี่ย	5.003	5.003	5.003	30.002	30.002	30.002	50.002	50.002	50.002

หมายเหตุ: ข้อมูลการวัด(UUC) จากภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-1, ข-2 และ ข-3

ตารางที่ 4-2 ค่าวัด(UUC) ในแต่ละช่วงระยะเวลา โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 2

รอบที่	ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร			ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร			ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	5.0014	5.0005	5.0005	30.002	30.0015	30.0013	50.0029	50.0022	50.0018
2	5.0014	5.0005	5.0005	30.002	30.0015	30.0013	50.0028	50.0021	50.0018
3	5.0008	5.0007	5.0005	30.0019	30.0017	30.0014	50.0030	50.0025	50.0022
4	5.0008	5.0008	5.0005	30.0019	30.0018	30.0014	50.0030	50.0026	50.0022
5	5.0008	5.0007	5.0005	30.0019	30.0017	30.0014	50.0030	50.0025	50.0022
6	5.0008	5.0007	5.0005	30.0019	30.0017	30.0013	50.0029	50.0024	50.0021
7	5.0008	5.0007	5.0005	30.0019	30.0017	30.0014	50.0030	50.0025	50.0022
8	5.0008	5.0007	5.0005	30.0019	30.0017	30.0014	50.0030	50.0023	50.0022
9	5.0008	5.0007	5.0005	30.0019	30.0017	30.0014	50.0030	50.0025	50.0022
10	5.0008	5.0008	5.0005	30.0019	30.0018	30.0014	50.0031	50.0026	50.0021
ค่าเฉลี่ย	5.0009	5.0007	5.0005	30.0019	30.0017	30.0014	50.0030	50.0024	50.0021

หมายเหตุ: ข้อมูลการวัด(UUC) จากภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-4, ข-5 และ ข-6

ตารางที่ 4-3 ค่าวัด(UUC) ในแต่ละช่วงระยะเวลา โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3

รอบที่	ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร			ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร			ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	5.004	5.003	5.003	30.004	30.003	30.003	50.007	50.005	50.005
2	5.004	5.003	5.003	30.003	30.003	30.003	50.007	50.005	50.004
3	5.003	5.003	5.003	30.004	30.002	30.001	50.006	50.006	50.007
4	5.003	5.003	5.003	30.004	30.004	30.004	50.006	50.006	50.006
5	5.003	5.003	5.002	30.003	30.003	30.002	50.008	50.007	50.007
6	5.003	5.003	5.003	30.003	30.003	30.002	50.008	50.006	50.006
7	5.003	5.003	5.003	30.005	30.005	30.004	50.007	50.006	50.006
8	5.003	5.003	5.003	30.004	30.004	30.004	50.006	50.006	50.005
9	5.003	5.003	5.003	30.005	30.004	30.004	50.006	50.006	50.005
10	5.003	5.003	5.003	30.004	30.004	30.003	50.006	50.005	50.005
ค่าเฉลี่ย	5.003	5.003	5.003	30.004	30.004	30.003	50.007	50.006	50.006

หมายเหตุ: ข้อมูลการวัด(UUC) จากภาคผนวก ข. ตารางที่ ข-7, ข-8 และ ข-9

4.2. ค่าความไม่แน่นอนในการวัดจากการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ

ตารางที่ 4-4 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 5 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.00088	0.00066	0.00066
2	0.00067	0.00067	0.00067
3	0.00067	0.00067	0.00067
4	0.00066	0.00067	0.00067
5	0.00066	0.00066	0.00066
6	0.00066	0.00066	0.00066
7	0.00066	0.00066	0.00066
8	0.00066	0.00066	0.00066
9	0.00066	0.00066	0.00066
10	0.00066	0.00066	0.00066
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.00068	0.00066	0.00066

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 30 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.0015	0.0014	0.0014
2	0.0015	0.0015	0.0016
3	0.0017	0.0016	0.0017
4	0.0015	0.0016	0.0016
5	0.0015	0.0014	0.0014
6	0.0015	0.0014	0.0014
7	0.0014	0.0013	0.0013
8	0.0014	0.0014	0.0013
9	0.0014	0.0014	0.0014
10	0.0014	0.0014	0.0014
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.0015	0.0014	0.0015

ตารางที่ 4-6 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 50 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.0021	0.0021	0.0021
2	0.0023	0.0024	0.0025
3	0.0025	0.0024	0.0024
4	0.0024	0.0025	0.0024
5	0.0021	0.0021	0.0021
6	0.0021	0.0021	0.0021
7	0.0021	0.0020	0.0020
8	0.0021	0.0020	0.0020
9	0.0021	0.0021	0.0021
10	0.0020	0.0020	0.0020
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.0022	0.0022	0.0022

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-7 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 5 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 2

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.00039	0.00037	0.00036
2	0.00039	0.00036	0.00036
3	0.00039	0.00038	0.00037
4	0.00039	0.00039	0.00037
5	0.00039	0.00038	0.00037
6	0.00039	0.00037	0.00036
7	0.00039	0.00038	0.00037
8	0.00039	0.00037	0.00037
9	0.00039	0.00038	0.00037
10	0.00040	0.00039	0.00037
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.00039	0.00038	0.00037

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 30 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 2

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.0018	0.0016	0.0016
2	0.0018	0.0016	0.0016
3	0.0019	0.0018	0.0017
4	0.0019	0.0018	0.0017
5	0.0019	0.0018	0.0017
6	0.0018	0.0017	0.0016
7	0.0019	0.0018	0.0017
8	0.0018	0.0017	0.0017
9	0.0019	0.0018	0.0017
10	0.0019	0.0018	0.0016
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.0019	0.0017	0.0017

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-9 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 50 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 2

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.0029	0.0027	0.0026
2	0.0029	0.0026	0.0026
3	0.0030	0.0029	0.0027
4	0.0030	0.0029	0.0027
5	0.0030	0.0029	0.0027
6	0.0029	0.0028	0.0026
7	0.0030	0.0029	0.0027
8	0.0030	0.0028	0.0027
9	0.0030	0.0029	0.0027
10	0.0031	0.0029	0.0027
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.0030	0.0028	0.0027

ตารางที่ 4-10 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 5 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 3

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.00091	0.00091	0.00091
2	0.00071	0.00070	0.00070
3	0.00093	0.00092	0.00072
4	0.00073	0.00072	0.00071
5	0.00093	0.00071	0.00091
6	0.00069	0.00068	0.00090
7	0.00069	0.00068	0.00068
8	0.00070	0.00069	0.00068
9	0.00073	0.00072	0.00072
10	0.00073	0.00071	0.00070
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.00078	0.00074	0.00076

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-11 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 30 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 3

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.0021	0.0020	0.0021
2	0.0022	0.0020	0.0021
3	0.0025	0.0022	0.0022
4	0.0025	0.0023	0.0022
5	0.0024	0.0022	0.0020
6	0.0020	0.0018	0.0017
7	0.0019	0.0017	0.0018
8	0.0020	0.0018	0.0018
9	0.0024	0.0022	0.0023
10	0.0023	0.0021	0.0021
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.0022	0.0022	0.0022

ตารางที่ 4-12 แสดงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ในแต่ละรอบการทดลอง ที่ระยะ 50 mm โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 3

การทดลองรอบที่	ค่าความไม่แน่นอน (มิลลิเมตร)		
	60 นาที	90 นาที	120 นาที
1	0.0032	0.0032	0.0032
2	0.0034	0.0033	0.0033
3	0.0038	0.0036	0.0035
4	0.0039	0.0036	0.0035
5	0.0037	0.0034	0.0031
6	0.0030	0.0027	0.0026
7	0.0030	0.0027	0.0027
8	0.0031	0.0029	0.0029
9	0.0038	0.0036	0.0036
10	0.0037	0.0034	0.0031
ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.0035	0.0035	0.0035

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลการทดลองค่าวัด และการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด สามารถนำมาสรุปในรูปแบบของค่าเฉลี่ยได้ตามตารางที่ 4-13, 4-14 และ 4-15

ตารางที่ 4-13 ค่าวัดเฉลี่ย และค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย เทียบกับระยะเวลารอ ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

เวลารอ (นาที)	ค่าวัดเฉลี่ย (มิลลิเมตร)				± ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)			
	เครื่องมือ ชุดที่ 1	เครื่องมือ ชุดที่ 2	เครื่องมือ ชุดที่ 3	ค่าอ้างอิง	เครื่องมือ ชุดที่ 1	เครื่องมือ ชุดที่ 2	เครื่องมือ ชุดที่ 3	ค่าอ้างอิง
60	5.003	5.0009	5.003	5.0002	0.00068	0.00039	0.00078	0.0019
90	5.003	5.0007	5.003		0.00066	0.00038	0.00074	
120	5.003	5.0005	5.003		0.00066	0.00037	0.00076	

ตารางที่ 4-14 ค่าวัดเฉลี่ย และค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย เทียบกับระยะเวลารอ ที่ระยะ 30 มิลลิเมตร

เวลารอ (นาที)	ค่าวัดเฉลี่ย (มิลลิเมตร)				± ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)			
	เครื่องมือ ชุดที่ 1	เครื่องมือ ชุดที่ 2	เครื่องมือ ชุดที่ 3	ค่าอ้างอิง	เครื่องมือ ชุดที่ 1	เครื่องมือ ชุดที่ 2	เครื่องมือ ชุดที่ 3	ค่าอ้างอิง
60	30.002	30.0019	30.004	30.0017	0.0015	0.0019	0.0022	0.0019
90	30.002	30.0017	30.004		0.0014	0.0017	0.0022	
120	30.002	30.0014	30.003		0.0015	0.0017	0.0022	

ตารางที่ 4-15 ค่าวัดเฉลี่ย และค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย เทียบกับระยะเวลารอ ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

เวลารอ (นาที)	ค่าวัดเฉลี่ย (มิลลิเมตร)				± ค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)			
	เครื่องมือ ชุดที่ 1	เครื่องมือ ชุดที่ 2	เครื่องมือ ชุดที่ 3	ค่าอ้างอิง	เครื่องมือ ชุดที่ 1	เครื่องมือ ชุดที่ 2	เครื่องมือ ชุดที่ 3	ค่าอ้างอิง
60	50.002	50.0030	50.007	50.0009	0.0022	0.0030	0.0035	0.0019
90	50.002	50.0024	50.006		0.0022	0.0028	0.0035	
120	50.002	50.0021	50.006		0.0022	0.0027	0.0035	

หมายเหตุ: ค่าอ้างอิง คือ ค่าจากการสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการภายนอกที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 17025

จากการพิจารณาแนวโน้มผลของการทดลองในเบื้องต้น พบว่าค่าวัดเฉลี่ยมีผลการวัดที่ไม่แตกต่างกันมากจนเห็นถึงการเปลี่ยนแปลง จึงไม่สามารถนำมาอธิบายผลกระทบจากตัวแปรศึกษาได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงใช้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดเฉลี่ยมาเป็นตัวอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบจากตัวแปรที่กำลังศึกษา เพราะค่าความไม่แน่นอนที่ได้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน โดยจุดสังเกตค่าความไม่แน่นอนที่ทุกระยะความยาวจะมีแนวโน้มค่าน้อยลง เมื่อใช้ระยะเวลารอนานขึ้น แสดงว่าระยะเวลามีผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัด เมื่อสังเกตค่าความไม่แน่นอนที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่าความไม่แน่นอนมากที่สุด รองลงมาคือที่ระยะเวลายาว 30 มิลลิเมตร และความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร จะมีค่าความไม่แน่นอนน้อยที่สุด เมื่อเทียบในระยะเวลารอที่เท่ากัน แสดงว่าที่ระยะความยาวต่างกันจะส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัด และค่าความไม่แน่นอนจากวัดด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 2 จะให้ค่าความไม่แน่อนน้อยที่สุด รองลงมาคือเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 จะให้ค่าความไม่แน่นอนมากที่สุด ในการเลือกใช้ชุดเครื่องมือวัดจะใช้ตามสภาะวะของห้องปฏิบัติการ โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดชุดที่ 2 จะถูกใช้ภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการควบคุมอุณหูมิ และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 จะใช้ภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการไม่ควบคุมอุณหภูมิ จึงตั้งข้อสังเกตว่าอุณหภูมิแวดล้อม อาจจะมีผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัดด้วยเช่นกัน

4.3. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

การทดสอบทางสถิติจะทำการเลือกใช้ผลของค่าวัด และค่าความไม่แน่นอนในการวัด ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดและค่าความไม่แน่นอนในการวัด กับตัวแปรที่ศึกษา คือ ระยะเวลารอ; Time, เครื่องมือวัด; Tool, และสภาวะแวดล้อม; Environment เนื่องจากในการรายงานผลทางการสอบเทียบ ค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่มีค่ามากที่สุดจะเป็นตัวกำหนดค่าความไม่แน่นอนในการวัดค่าตลอดช่วงของเครื่องมือวัดนั้น โดยค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่มีค่ามากที่สุดที่ได้ในการทดลองนี้ อยู่ที่ช่วงการวัดค่าที่ระยะความยาว 50 มิลลิเมตร สามารถดูข้อมูลการวัดค่าได้จากภาคผนวก ข

4.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัด

โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งกำหนดให้ความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้อยู่ที่ 95% (α = 0.05)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	11	0.000270	0.000025	60.33	0.000
Time	1	0.000000	0.000000	0.46	0.497
Temp	1	0.000002	0.000002	3.76	0.056
Tool	2	0.000032	0.000016	39.53	0.000
Time*Temp	1	0.000000	0.000000	1.00	0.321
Time*Tool	2	0.000000	0.000000	0.13	0.875
Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	0.44	0.646
Time*Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	0.30	0.739
Error	78	0.000032	0.000000		
Lack-of-Fit	43	0.000017	0.000000	0.96	0.551
Pure Error	35	0.000015	0.000000		
Total	89	0.000301			

รูปที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัดเต็มรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัด เพื่อพิสูจน์ว่าตัวแปรที่ทำการศึกษาทดลองตัวใดมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 4-2 ตัวแปรด้านระยะเวลารอ ของค่าวัดที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.497 ซึ่งมีค่า P-Value มากกว่า α แสดงว่าตัวแปรด้านระยะเวลารอไม่มีนัยสำคัญจึงไม่ส่งผลต่อค่าวัด ตัวแปรด้านอุณหภูมิ ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.056 ให้ค่า P-Value มากกว่า α แสดงว่าตัวแปรอุณหภูมิไม่มีนัยสำคัญจึงไม่ส่งผลต่อการวัดค่า และตัวแปรด้านเครื่องมือวัด ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 น้อยกว่า α แสดงว่ามีโอกาสที่ตัวแปรด้านเครื่องมือวัดส่งผลต่อค่าวัดอย่างมีนัยสำคัญ

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	50.0018	0.0003	150818.86	0.000	
Time	-0.000231	0.000338	-0.68	0.497	25.07
Temp	0.000493	0.000254	1.94	0.056	14.14
Tool					
2	0.000207	0.000508	0.41	0.684	12.68
3	0.003188	0.000411	7.76	0.000	8.30
Time*Temp	-0.000259	0.000259	-1.00	0.321	14.86
Time*Tool					
2	0.000213	0.000483	0.44	0.660	17.01
3	0.000013	0.000417	0.03	0.976	12.71
Temp*Tool					
2	0.00068	0.00102	0.66	0.508	9.62
3	-0.000182	0.000345	-0.53	0.599	7.24
Time*Temp*Tool					
2	-0.000033	0.000744	-0.04	0.965	6.87
3	0.000253	0.000342	0.74	0.462	10.07

รูปที่ 4-3 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับตัวแปรศึกษาเต็มรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร**

Regression Equation in Uncoded Units

Tool			
1	UUC_50	=	49.9822 + 0.000140 Time + 0.000870 Temp - 0.000006 Time*Temp
2	UUC_50	=	49.9703 + 0.000167 Time + 0.00135 Temp - 0.000007 Time*Temp
3	UUC_50	=	50.0011 - 0.000006 Time + 0.000200 Temp - 0.000000 Time*Temp

รูปที่ 4-4 **สมการถดถอยเต็มรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 50 มิลลิเมตร**

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0006374	89.48%	88.00%	85.57%

รูปที่ 4-5 **ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์เต็มรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 50 มิลลิเมตร**

จากรูปที่ 4-5 แสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถอธิบายถึงความเหมาะสมของสมการถดถอยได้ 89.48% และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2_{adj}) อยู่ที่

88.00% พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว สามารถอธิบายความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์ (Model) ได้น้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ 1.48% แสดงว่าตัวแบบคณิตศาสตร์มีเหมาะสมกับข้อมูลแล้ว แต่**เนื่องจากผล**การวิเคราะห์การถดถอย ดังรูปที่ 4-4 พบว่า ในสมการถดถอยมีบางตัวแปร ที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 นั่นแสดงถึงว่าตัวแปรนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับค่าวัดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อยืนยันว่าตัวแปรนั้นไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการลดรูปสมการถดถอย โดยการตัดตัวแปรกลุ่มดังกล่าวออกและคำนวณสมการถดถอยใหม่ ได้ดังรูปที่ 4-6

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	0.000269	0.000054	138.17	0.000
Time	1	0.000001	0.000001	3.19	0.078
Temp	1	0.000003	0.000003	6.64	0.012
Tool	2	0.000076	0.000038	97.10	0.000
Time*Temp	1	0.000002	0.000002	4.73	0.032
Error	84	0.000033	0.000000		
Lack-of-Fit	49	0.000018	0.000000	0.89	0.648
Pure Error	35	0.000015	0.000000		
Total	89	0.000301			

รูปที่ 4-6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัดหลังลดรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัด ตัวแปรด้านระยะเวลารอของค่าวัดที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.078 ซึ่งมีค่า P-Value มากกว่า α แสดงว่าตัวแปรด้านระยะเวลารอไม่ส่งผลต่อค่าวัด ตัวแปรด้านอุณหภูมิที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.012 ให้ค่า P-Value น้อยกว่า α แสดงว่ามีโอกาสที่ตัวแปรอุณหภูมิจะส่งผลต่อการวัดค่าอย่างมีนัยสำคัญ และตัวแปรด้านเครื่องมือวัด ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ให้ค่า P-Value น้อยกว่า α แสดงว่ามีโอกาสที่ตัวแปรด้านเครื่องมือวัดส่งผลต่อค่าวัดอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	50.0017	0.0002	218242.27	0.000	
Time	-0.000125	0.000070	-1.79	0.078	1.11
Temp	0.000418	0.000162	2.58	0.012	6.04
Tool					
2	0.000573	0.000298	1.92	0.058	4.56
3	0.003152	0.000378	8.34	0.000	7.35
Time*Temp	-0.000145	0.000067	-2.17	0.032	1.04

รูปที่ 4-7 **ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร**

Regression Equation in Uncoded Units

Tool			
1	UUC_50	=	49.9887 + 0.000079 Time + 0.000575 Temp - 0.000004 Time*Temp
2	UUC_50	=	49.9892 + 0.000079 Time + 0.000575 Temp - 0.000004 Time*Temp
3	UUC_50	=	49.9918 + 0.000079 Time + 0.000575 Temp - 0.000004 Time*Temp

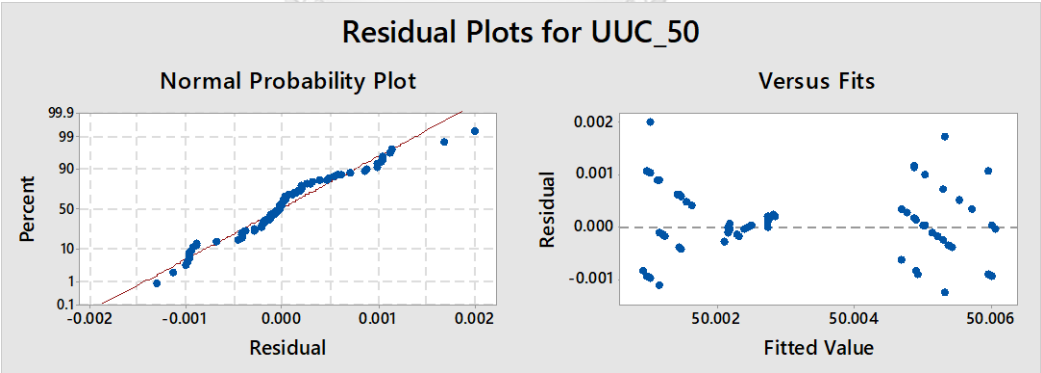
รูปที่ 4-8 สมการถดถอยหลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0006236	89.16%	88.51%	87.08%

รูปที่ 4-9 ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์หลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4-9 แสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถอธิบายถึงความเหมาะสมของสมการถดถอยได้ 89.16% และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2_{adj}) อยู่ที่ 88.51% พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว สามารถอธิบายความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์ (Model) ได้น้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ 0.65% แสดงว่าการตัดข้อข้อมูลบางตัวออกจะไม่ส่งผลต่อตัวแบบคณิตศาสตร์ แสดงว่าตัวแบบคณิตศาสตร์มีเหมาะสมกับข้อมูล



รูปที่ 4-10 วิเคราะห์ตัวแบบคณิตศาสตร์กับค่าวัด ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4-10 พบว่าในการตรวจสอบข้อมูลกราฟ Normal Probability Plot ข้อูมลมีการกระจายตัวรอบแนวเส้นตรง สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าเท่ากับ 89.16% แสดงว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ (Model) สามารถคำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาที่แผนภาพเศษเหลือ (Residual plot) ข้อมูลกระจายรอบ ๆทั้งด้านบนและด้านล่างเท่า ๆกัน แสดงว่าตัวแบบคณิตศาสตร์มีความเหมาะสมกับข้อมูล

4.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความไม่แน่นอน

โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งกำหนดให้ความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้อยู่ที่ 95% (α = 0.05)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	11	0.000024	0.000002	1645.74	0.000
Time	1	0.000000	0.000000	0.23	0.635
Temp	1	0.000001	0.000001	623.79	0.000
Tool	2	0.000000	0.000000	4.28	0.017
Time*Temp	1	0.000000	0.000000	0.23	0.633
Time*Tool	2	0.000000	0.000000	1.84	0.166
Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	120.53	0.000
Time*Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	0.10	0.901
Error	78	0.000000	0.000000		
Lack-of-Fit	43	0.000000	0.000000	7.59	0.000
Pure Error	35	0.000000	0.000000		
Total	89	0.000024			

รูปที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปวนของค่าความไม่แน่นอนที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความไม่แน่นอน เพื่อพิสูจน์ว่าตัวแปรที่ทำการศึกษาทดลองตัวใดมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 4-11 ตัวแปรด้านระยะเวลารอ ของค่าความไม่แน่นอนที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.635 ซึ่งมีค่า P-Value มากกว่า α แสดงว่าตัวแปรด้านระยะเวลารอไม่มีนัยสำคัญจึงไม่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอน ตัวแปรด้านอุณหภูมิที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ให้ค่า P-Value น้อยกว่า α แสดงว่าตัวแปรอุณหภูมิมีโอกาสส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนอย่างมีนัยสำคัญ และตัวแปรด้านเครื่องมือวัด ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.017 น้อยกว่า α แสดงว่ามีโอกาสที่ตัวแปรด้านเครื่องมือวัดส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.002616	0.000019	138.29	0.000	
Time	-0.000009	0.000019	-0.48	0.635	25.07
Temp	0.000362	0.000015	24.98	0.000	14.14
Tool					
2	0.000028	0.000029	0.96	0.338	12.68
3	0.000067	0.000023	2.85	0.006	8.30
Time*Temp	-0.000007	0.000015	-0.48	0.633	14.86
Time*Tool					
2	-0.000006	0.000028	-0.21	0.832	17.01
3	0.000034	0.000024	1.45	0.152	12.71
Temp*Tool					
2	0.000186	0.000058	3.19	0.002	9.62
3	0.000305	0.000020	15.52	0.000	7.24
Time*Temp*Tool					
2	-0.000003	0.000042	-0.06	0.948	6.87
3	-0.000009	0.000020	-0.45	0.652	10.07

รูปที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร

Regression Equation in Uncoded Units

Tool			
1	Uncertainty_50	=	-0.002863 + 0.000004 Time + 0.000235 Temp - 0.000000 Time*Temp
2	Uncertainty_50	=	-0.00559 + 0.000005 Time + 0.000353 Temp - 0.000000 Time*Temp
3	Uncertainty_50	=	-0.007718 + 0.000010 Time + 0.000439 Temp - 0.000000 Time*Temp

รูปที่ 4-13 สมการถดถอยเต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0000364	99.57%	99.51%	99.40%

รูปที่ 4-14 สรุปผลภาพรวมการวิเคราะห์

จากรูปที่ 4-14 แสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถอธิบายถึงความเหมาะสมของสมการถดถอยได้ 99.57% และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2_{adj}) อยู่ที่ 99.51% พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว สามารถอธิบายความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์ (Model) ได้น้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ 0.06% แสดงว่าการตัดข้อข้อมูลบางตัวออกจะไม่ส่งผลต่อตัวแบบคณิตศาสตร์ แสดงว่าตัวแบบคณิตศาสตร์มีเหมาะสมกับข้อมูลแล้ว แต่เนื่องจากผลการวิเคราะห์การถดถอย ดังรูปที่ 4-14 พบว่า ในสมการถดถอยมีบางตัวแปร ที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 นั่นแสดงถึงว่าตัวแปรนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับค่าวัดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อยืนยันว่าตัวแปรนั้นไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการลดรูปสมการถดถอย โดยการตัดตัวแปรกลุ่มดังกล่าวออกและคำนวณสมการถดถอยใหม่ ได้ดังรูปที่ 4-15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	0.000024	0.000005	3619.19	0.000
Temp	1	0.000001	0.000001	641.21	0.000
Tool	2	0.000000	0.000000	9.81	0.000
Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	130.38	0.000
Error	84	0.000000	0.000000		
Lack-of-Fit	49	0.000000	0.000000	7.22	0.000
Pure Error	35	0.000000	0.000000		
Total	89	0.000024			

รูปที่ 4-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปวนของค่าความไม่แน่นอนหลังลดรูปรูปแบบที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความไม่แน่นอน เพื่อพิสูจน์ว่าตัวแปรที่ทำการศึกษาทดลองตัวใดมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 4-15 ตัวแปรด้านระยะเวลารอ ในค่าความไม่แน่นอนที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร ถูกตัดออกไป แสดงว่าตัวแปรด้านระยะเวลารอไม่มีนัยสำคัญจึงไม่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอน ตัวแปรด้านอุณหภูมิ ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ให้ค่า P-Value น้อยกว่า α แสดงว่าตัวแปรอุณหภูมิมีโอกาสส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนอย่างมีนัยสำคัญ และตัวแปรด้านเครื่องมือวัด ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 น้อยกว่า α แสดงว่ามีโอกาสที่ตัวแปรด้านเครื่องมือวัดส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนอย่างมีนัยสำคัญ

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.002615	0.000019	140.14	0.000	
Temp	0.000361	0.000014	25.32	0.000	13.66
Tool					
2	0.000009	0.000022	0.41	0.682	7.29
3	0.000078	0.000023	3.44	0.001	7.76
Temp*Tool					
2	0.000255	0.000032	7.92	0.000	2.94
3	0.000300	0.000019	15.91	0.000	6.63

รูปที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

Regression Equation in Uncoded Units

Tool			
1	Uncertainty_50	=	-0.002512 + 0.000218 Temp
2	Uncertainty_50	=	-0.006120 + 0.000372 Temp
3	Uncertainty_50	=	-0.006690 + 0.000400 Temp

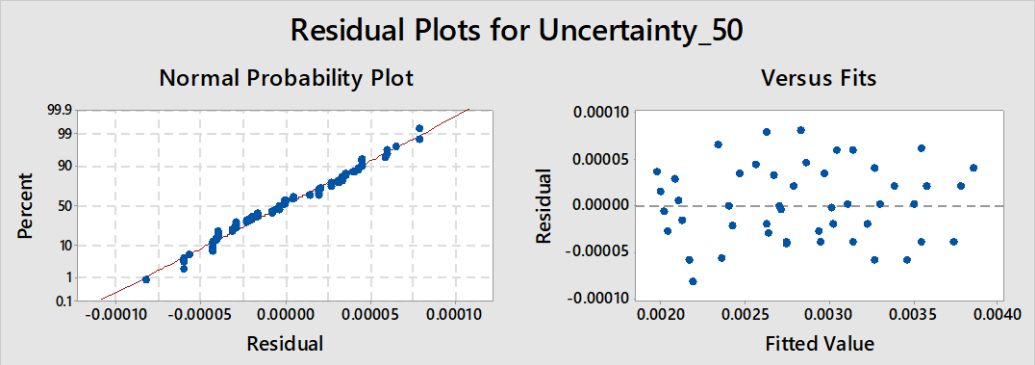
รูปที่ 4-17 สมการถดถอยหลังลดรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0000364	99.54%	99.51%	99.46%

รูปที่ 4-18 ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์หลังลดรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4-18 แสดงผลของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สามารถอธิบายถึงความเหมาะสมของสมการถดถอยได้ 99.54% และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว (R^2_{adj}) อยู่ที่ 99.51% พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับค่าแล้ว สามารถอธิบายความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์ (Model) ได้น้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ 0.03% แสดงว่าการตัดข้อข้อมูลบางตัวออกจะไม่ส่งผลต่อตัวแบบคณิตศาสตร์ แสดงว่าตัวแบบคณิตศาสตร์มีเหมาะสมกับข้อมูล



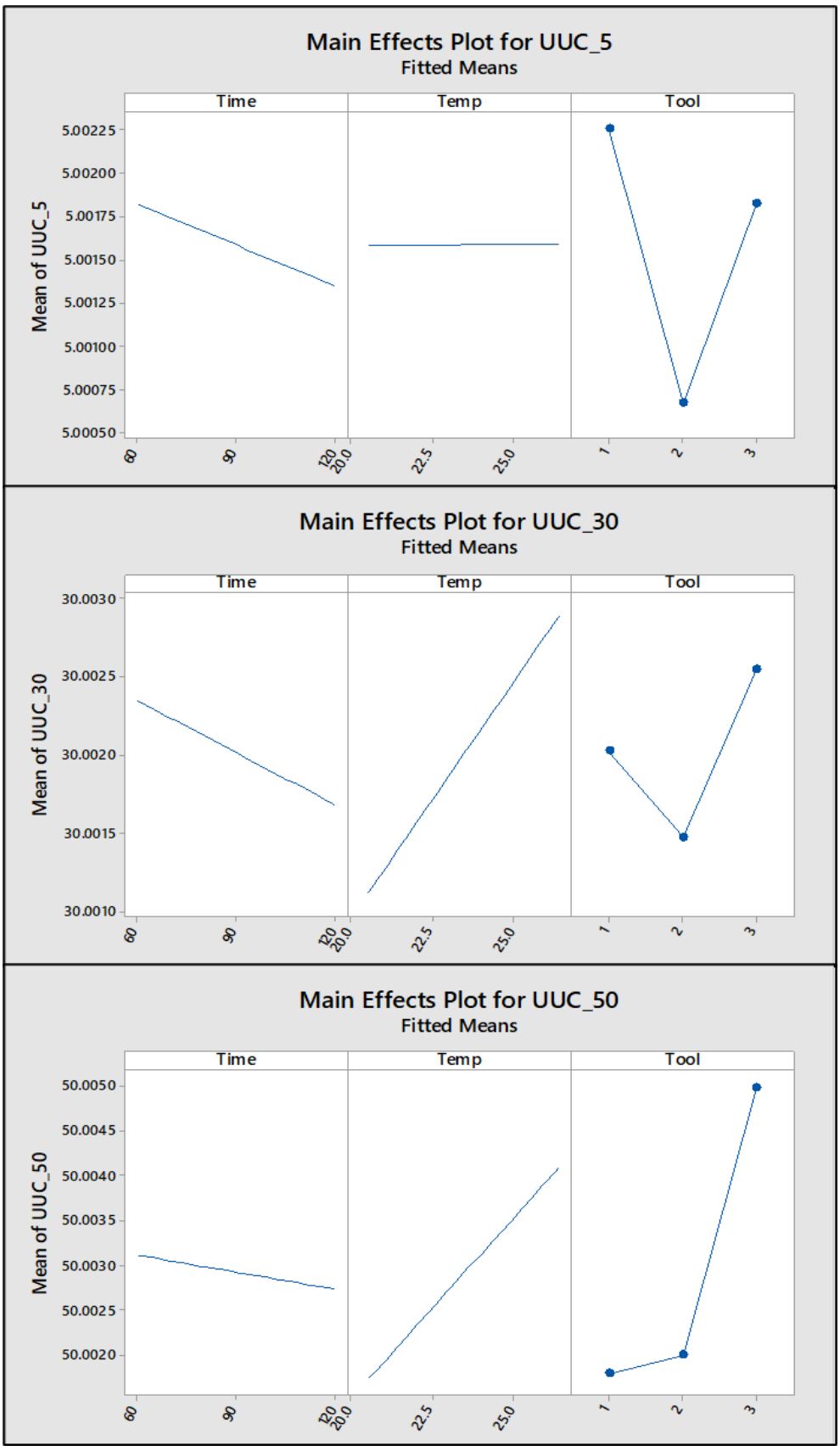
รูปที่ 4-19 วิเคราะห์ตัวแบบคณิตศาสตร์กับค่าวัด ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4-19 พบว่าในการตรวจสอบข้อมูลกราฟ Normal Probability Plot ข้อูมลมีการกระจายตัวรอบแนวเส้นตรง สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าเท่ากับ 99.54% แสดงว่าตัวแบบคณิตศาสตร์ (Model) สามารถคำนวณค่าได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาที่แผนภาพเศษเหลือ (Residual plot) ข้อมูลกระจายรอบ ๆทั้งด้านบนและด้านล่างเท่า ๆกัน แสดงว่าตัวแบบคณิตศาสตร์มีความเหมาะสมกับข้อมูล

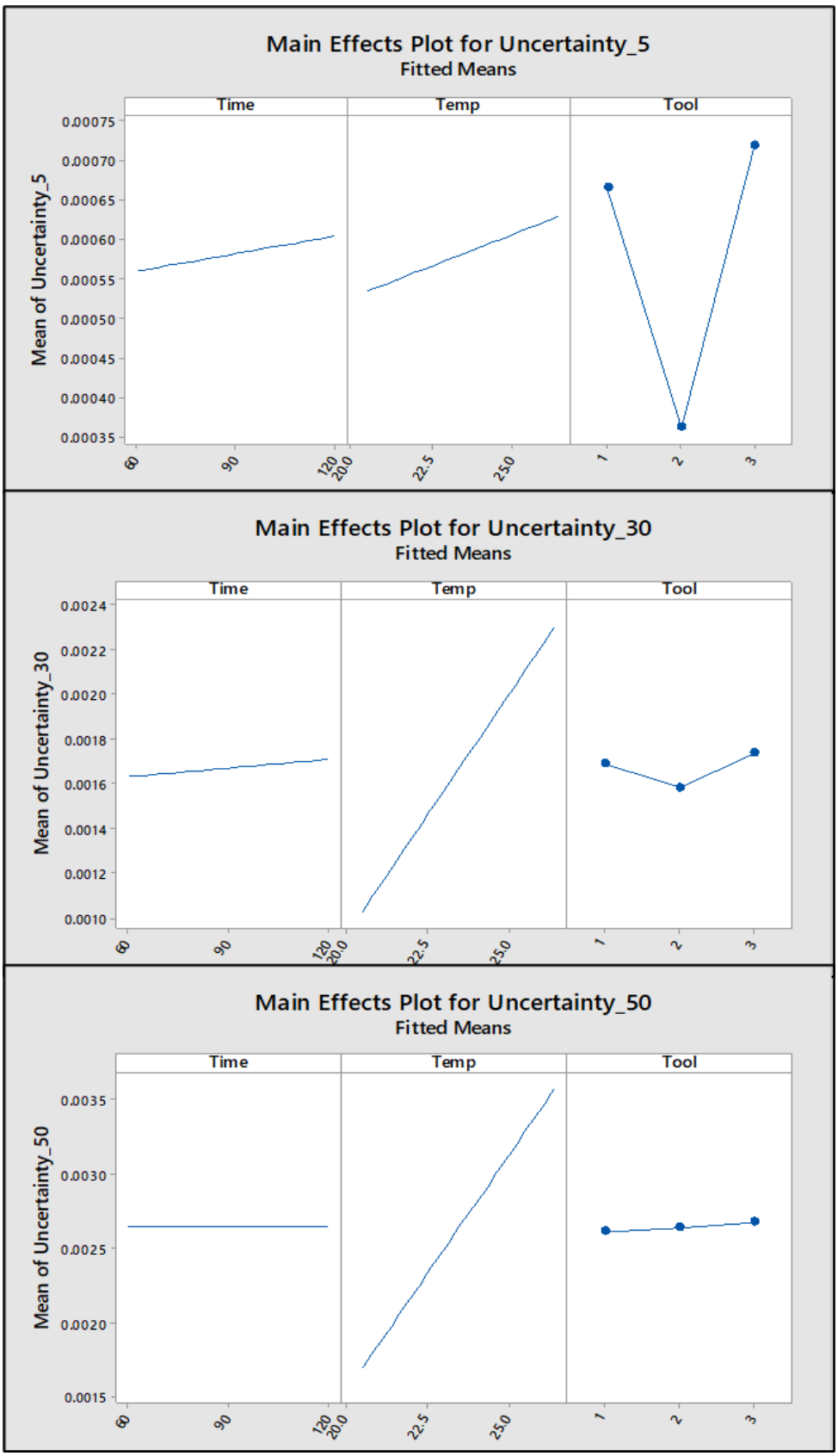
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.3 วิเคราะห์และอภิปรายผลของอิทธิพลหลัก

จากตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัด และค่าไม่แน่นอนในการวัดที่ผ่านมา พบว่าตัวแปรที่นำมาศึกษา สามารถนำตัวแปรหลักในการทดลอง มาอธิบายเปรียบเทียบในแต่ละระยะความยาวที่วัด ได้ดังรูปที่ 4-20 และ 4-21



รูปที่ 4-20 อิทธพลหลักที่ส่งผลต่อค่าวัดที่ความยาวทุกระยะ



รูปที่ 4-21 อิทธิพลหลักที่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวทุกระยะ

จากรูปที่ 4-20 และ 4-21 อิทธิพลหลักทั้ง 3 ตัวแปร สามารถอภิปรายผล ได้ดังนี้

(1) ระยะเวลารอ; Time

การสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจในแต่ละระยะเวลาก่อนนำไปสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ เพื่อเป็นการทดสอบว่าเครื่องดิจิทัลได้อัลเกจอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานหรือไม่ โดยปกติจะทำการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจหลังจากที่ตั้งเครื่องมือไว้ที่อุณหภูมิแวดล้อมครบ 120 นาที (ระเบียบปฏิบัติงานกำหนดไว้) เพื่อพิสูจน์ว่าสามารถลดระยะเวลารอในขั้นตอนนี้ได้จะสามารถลดระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติได้ ในการทดลองจึงกำหนดระยะเวลารอใหม่ที่ 90 นาที และ 60 นาที สามารถบอกได้ว่าค่าวัดแปรผกผันกับระยะเวลารอ แต่ค่าความไม่แน่นอนไม่ขึ้นกับเวลา

(2) อุณหภูมิขณะวัดค่า; Temp.

อุณหภูมิเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้สำหรับการทดลองนี้ ซึ่งในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติบริษัทกรณีศึกษามีการสอบเทียบในสภาวะแวดล้อมที่มีการควบคุมอุณหภูมิและไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยกำหนดช่วงอุณหภูมิไว้ที่ 15 ถึง 30 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิส่งผลต่อค่าวัดที่ได้ โดยค่าวัด และค่าความไม่แน่นอนจะแปรผันตามอุณหภูมิแวดล้อม ดังนั้นการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลถึงความพร้อมของเครื่องมือและคุณภาพในการวัด

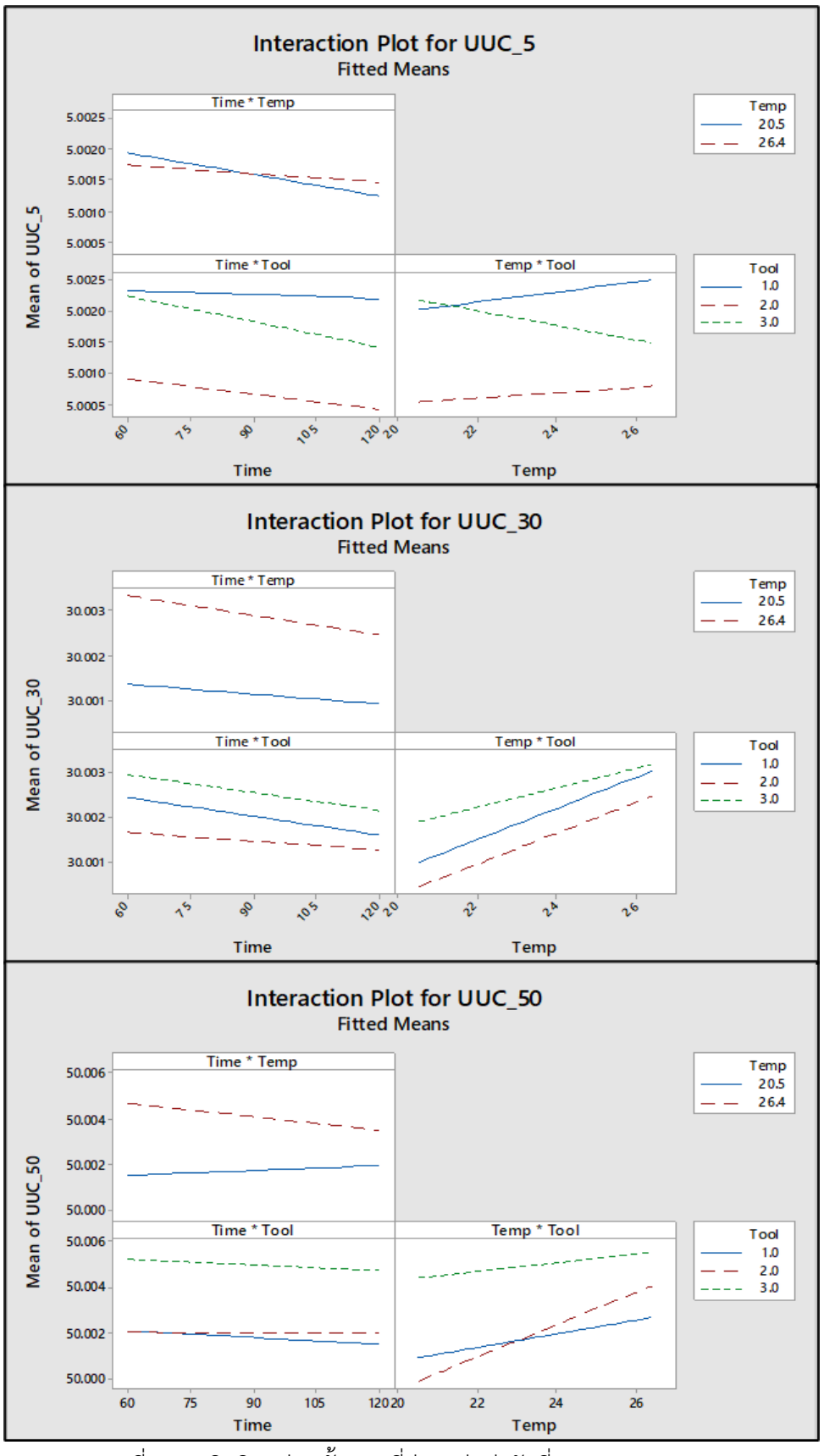
(3) ชุดเครื่องมือวัด; Tool

เพื่อทดสอบความเหมาะสมของชุดเครื่องมือที่นำมาใช้ในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ โดยนำเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 มีค่าความละเอียดละเอียดเครื่องมือเท่ากับ 0.001 มม. และเครื่องมือชุดที่ 2 มีค่าความละเอียดเครื่องมือ 0.0001 มม. โดยเครื่องมือวัดแต่ละชุดจะใช้ฐานสอบเทียบต่างชนิดกัน และเพื่อที่จะได้เห็นความแตกต่างของค่าวัดของแต่ละชุดเครื่องมือว่ามีประสิทธิภาพในการวัดค่าที่แตกต่างกันหรือไม่ โดยค่าวัด และค่าความไม่แน่นอนจะแปรผกผันกับค่าความละเอียดของชุดเครื่องมือวัด

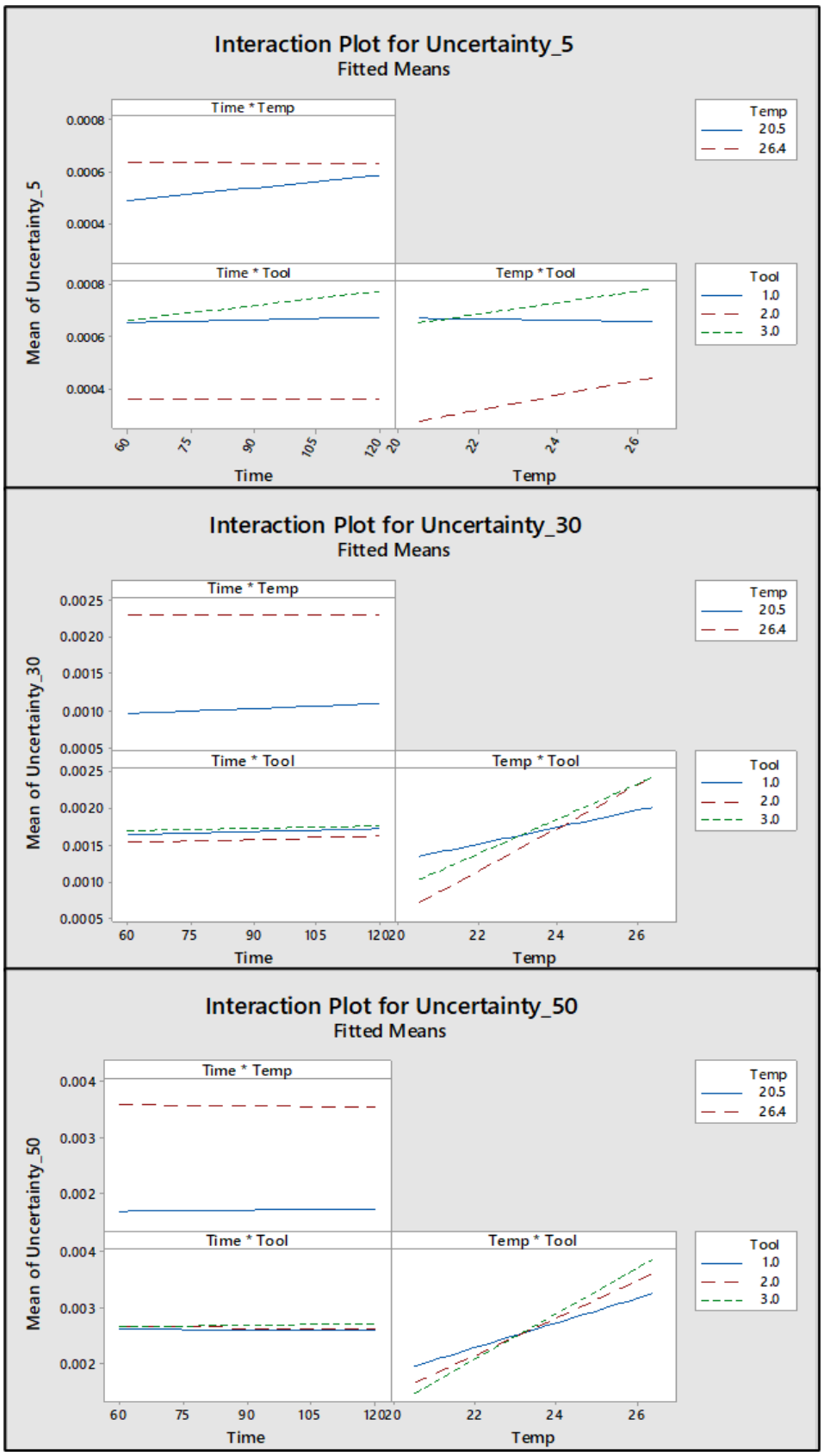
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.4 วิเคราะห์และอภิปลายผลของอิทธิพลร่วม

จากตารางผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัด และค่าความไม่แน่นอนในการวัด สามารถนำตัวแปรจากอิทธิพลหลักในการทดลองมาอธิบายเปรียบเทียบในแต่ละระยะความยาวที่วัดได้ดังรูปที่ 4-22 และ 4-23



รูปที่ 4-22 อิทธิพลร่วมทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าวัดที่ความยาวทุกระยะ

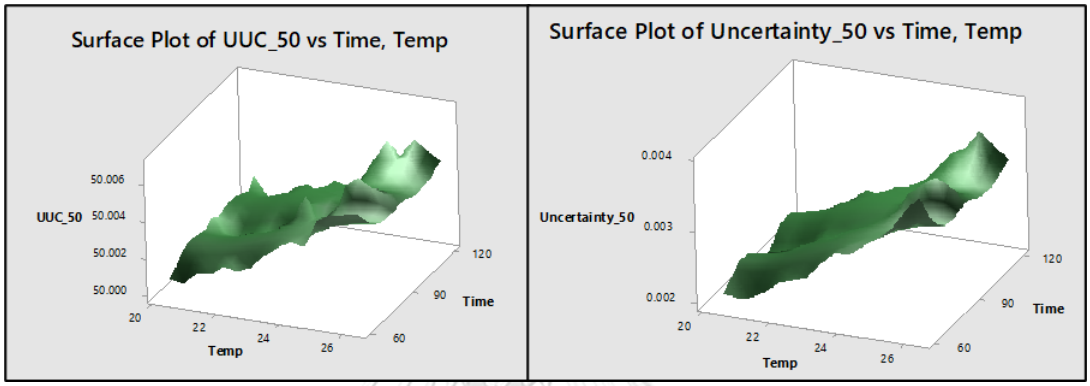


รูปที่ 4-23 อิทธิพลร่วมทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวทุกระยะ

ในการวิเคราะห์อิทธิพลร่วม จะใช้ผลการวิเคราะห์ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าเกิดอิทธิพลร่วมที่มีนัยสำคัญต่อค่าวัด และค่าความไม่แน่นอนและพบอิทธิพลร่วมที่มีนัยสำคัญเกิดขึ้นที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร เพียงระยะเดียวเท่านั้น

(1) วิเคราะห์ผลการทดลองระหว่างระยะเวลารอ กับ อุณหภูมิ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างระยะเวลารอกับอุณหภูมิ ที่ส่งผลต่อค่าวัดอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4-24 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองค่าวัด และค่าความไม่แน่นอนการวัด ระหว่างตัวแปรอุณหภูมิกับระยะเวลารอ

- ที่อุณหภูมิ 20.5 °C (Temp) เมื่อระยะเวลารอ (Time) 60 นาที เปลี่ยนเป็น 120 นาที จะส่งผลให้ค่าวัด (UUC) เพิ่มขึ้น 0.0004 มิลลิเมตร (จาก 50.0016 เป็น 50.0020 มิลลิเมตร) และไม่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty)

- ที่อุณหภูมิ 26.4 °C (Temp) เมื่อระยะเวลารอ (Time) 60 นาที เปลี่ยนเป็น 120 นาที จะส่งผลให้ค่าวัด (UUC) ลดลง 0.0014 มิลลิเมตร (จาก 50.0050 เป็น 50.0036 มิลลิเมตร) และไม่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty)

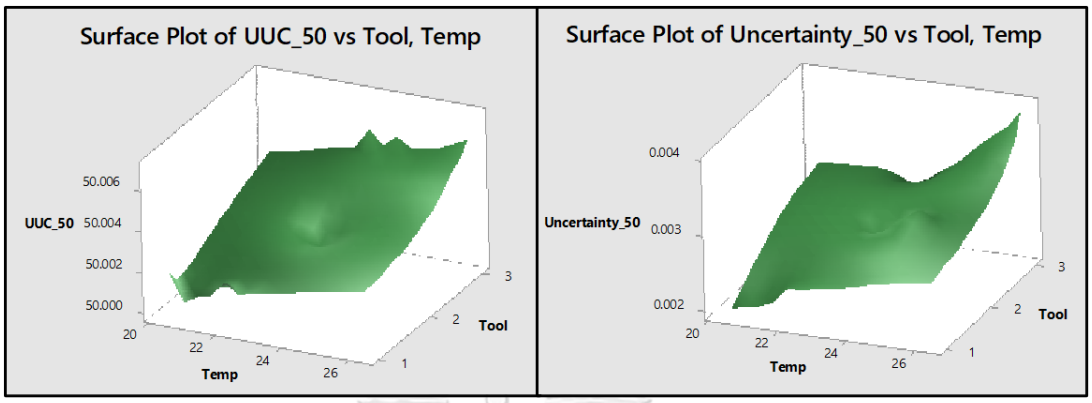
<u>วิจารณ์ผลการทดลอง</u>

จากการวัดค่าที่อุณหภูมิ (Temp) 20.5 องศาเซลเซียส จะให้ค่าวัด (UUC) และค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) น้อยกว่าการวัดที่อุณหภูมิ (Temp) 26.4 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าของเกจบล็อกจะเริ่มคงที่เมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ 20°C และการวัดค่าเมื่อใช้ระยะเวลารอ (Time) 60 นาที ค่าวัด (UUC) และค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) น้อยกว่าการวัดค่าระยะเวลารอ (Time) ที่ 120 นาที เพราะเกจบล็อกยังมีการหดตัวอยู่เมื่อใช้ระยะเวลารอนานเกจบล็อกจะเข้าใกล้ค่าคงที่มากขึ้น ดังนั้นการปรับปรุงการวัดค่าควรนำเครื่องมือวัดตั้งไว้บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เป็นระยะเวลานานที่สุดที่สามารถรอได้สำหรับงานนั้นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(2) วิเคราะห์ผลการทดลองระหว่างเครื่องมือวัด กับ อุณหภูมิ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างเครื่องมือวัดกับอุณหภูมิ ที่ส่งผลต่อค่าความไม่แน่นอนในการวัดอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4-25 แผนภาพพื้นผิวตอบสนองค่าวัด และความไม่แน่นอนในการวัด ระหว่างตัวแปรอุณหภูมิกับเครื่องมือวัด

- เครื่องมือวัดชุดที่ 1 และอุณหภูมิ 20.5 °C เปลี่ยนเป็น 26.4 °C จะส่งผลให้ค่าวัด เพิ่มขึ้น 0.001 มิลลิเมตร (จาก 50.001 เป็น 50.002 มิลลิเมตร) และส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอน เพิ่มขึ้น 0.0014 มิลลิเมตร (จาก 0.0018 เป็น 0.0032 มิลลิเมตร)

- เครื่องมือวัดชุดที่ 2 และอุณหภูมิ 20.5 °C เปลี่ยนเป็น 26.4 °C จะส่งผลให้ค่าวัด เพิ่มขึ้น 0.0060 มิลลิเมตร (จาก 49.9980 เป็น 50.0040 มิลลิเมตร) และส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอน เพิ่มขึ้น 0.002 มิลลิเมตร (จาก 0.0015 เป็น 0.0035 มิลลิเมตร)

- เครื่องมือวัดชุดที่ 3 และอุณหภูมิ 20.5 °C เปลี่ยนเป็น 26.4 °C จะส่งผลให้ค่าวัด เพิ่มขึ้น 0.002 มิลลิเมตร (จาก 50.004 เป็น 50.006 มิลลิเมตร) และส่งผลให้ค่าความไม่แน่นอน เพิ่มขึ้น 0.0024 มิลลิเมตร (จาก 0.0012 เป็น 0.0036 มิลลิเมตร)

<u>วิจารณ์ผลการทดลอง</u>

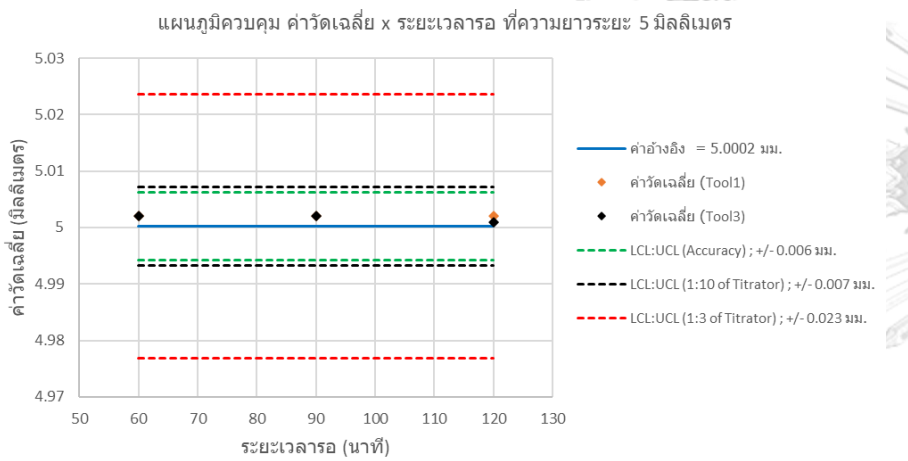
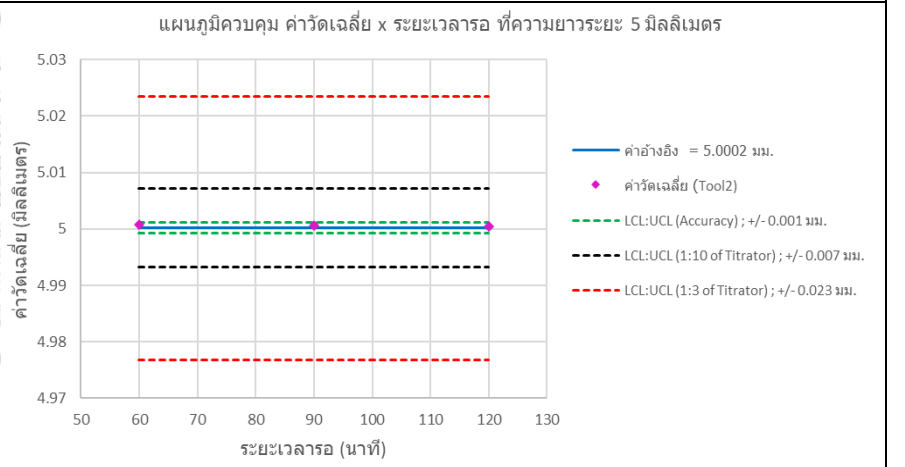
จากการวัดค่าด้วยชุดเครื่องมือวัด (Tool) ทั้ง 3 ชุด เมื่อวัดค่าที่อุณหภูมิ (Temp) 20.5 องศาเซลเซียส จะให้ค่าวัด (UUC) และให้ค่าไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) น้อยกว่าการวัดค่าที่อุณหภูมิ (Temp) 26.4 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าของเกจบล็อกจะเริ่มคงที่เมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ 20°C และการวัดค่าด้วยชุดเครื่องมือวัด (Tool) 1 ค่าวัด (UUC) และให้ค่าไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) น้อยกว่าการวัดด้วยชุดเครื่องมือ (Tool) 3 และ 2 ตามลำดับ เพราะเครื่องมือวัดมีค่าความละเอียดน้อยทำให้แยกค่าวัดได้หยาบกว่าเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดมาก ดังนั้นการปรับปรุงการวัดค่าควรวัดค่าที่อุณหภูมิต่ำ และเลือกเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดเหมาะสมกับงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4. การเลือกใช้เครื่องมือวัด

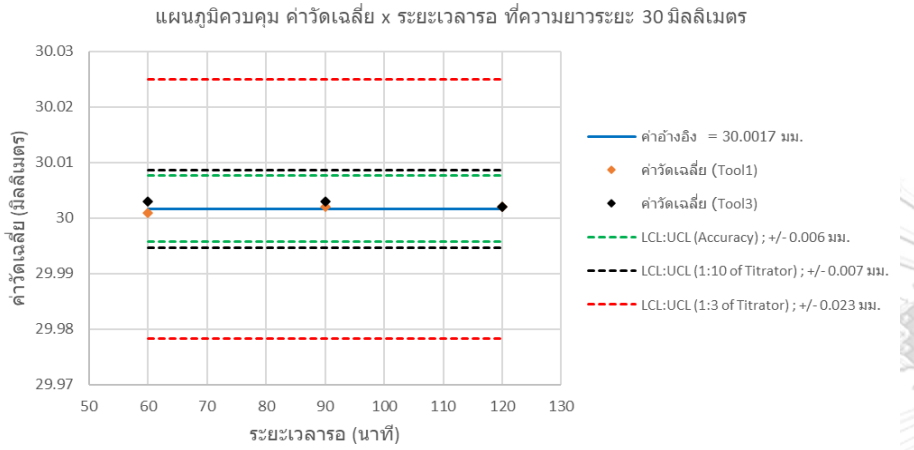
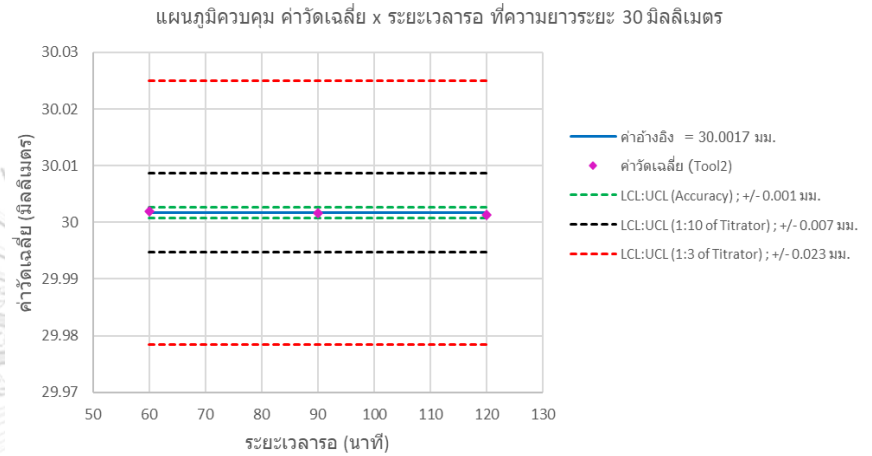
4.4.1 เกณฑ์การยอมรับของเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ISO 10012

ตารางที่ 4-16 การเทียบค่าวัดเฉลี่ยของเครื่องมือวัดภายใต้เกณฑ์การยอมรับ ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

<table>
<tr><td colspan="4">แผนภูมิควบคุมข้อกำหนดของเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ISO 10012</td></tr>
<tr><td colspan="2">เครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 (ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร)</td><td colspan="2">เครื่องมือวัดชุดที่ 2 (ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.001 มิลลิเมตร)</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">เกณฑ์การยอมรับ</td><td colspan="3">ชุดเครื่องมือวัด</td></tr>
<tr><td>ชุดที่ 1; Tool1</td><td>ชุดที่ 2; Tool2</td><td>ชุดที่ 3; Tool3</td></tr>
<tr><td>ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด; Accuracy</td><td>Pass</td><td>Pass</td><td>Pass</td></tr>
<tr><td>เครื่องมือวัดมีความละเอียดมากกว่า 10 เท่าของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ; 1:10 of Titrator</td><td>Pass</td><td>Pass</td><td>Pass</td></tr>
<tr><td>เครื่องมือวัดมีความละเอียดมากกว่า 3 เท่าของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ; 1:3 of Titrator</td><td>Pass</td><td>Pass</td><td>Pass</td></tr>
</table>

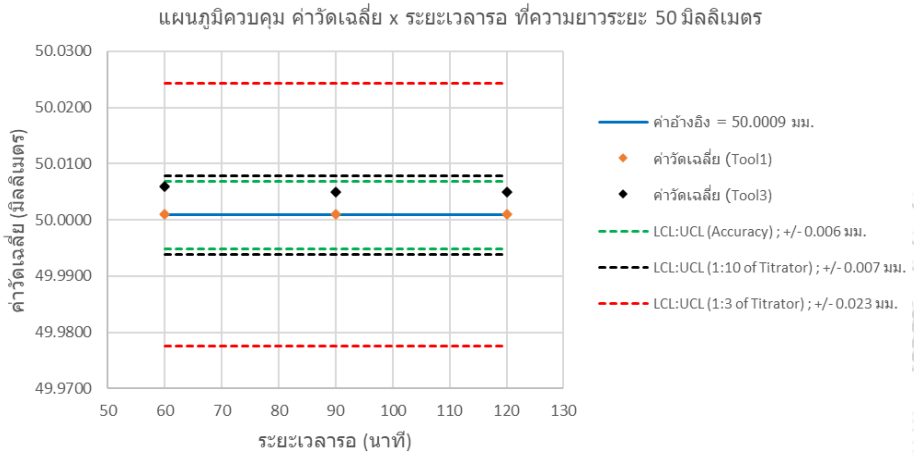
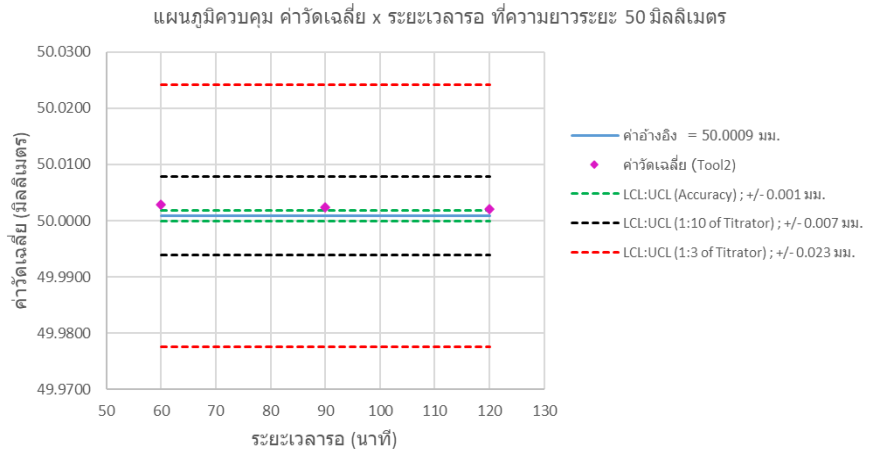
หมายเหตุ: ใช้ค่าวัดเฉลี่ยจากตารางที่ 4-13, 4-14 และ 4-15, Pass; ค่าวัดเฉลี่ยทุกจุดอยู่ภายใต้เกณฑ์การยอมรับ, Fail; มีค่าวัดเฉลี่ยบางจุดไม่อยู่ภายใต้เกณฑ์การยอมรับ

ตารางที่ 4-17 การเทียบค่าวัดเฉลี่ยของเครื่องมือวัดภายใต้เกณฑ์การยอมรับ ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

<table>
<tr><td colspan="4">แผนภูมิควบคุมข้อกำหนดของเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ISO 10012</td></tr>
<tr><td colspan="2">เครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 (ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร)</td><td colspan="2">เครื่องมือวัดชุดที่ 2 (ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.001 มิลลิเมตร)</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">เกณฑ์การยอมรับ</td><td colspan="3">ชุดเครื่องมือวัด</td></tr>
<tr><td>ชุดที่ 1; Tool1</td><td>ชุดที่ 2; Tool2</td><td>ชุดที่ 3; Tool3</td></tr>
<tr><td>ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด; Accuracy</td><td>Pass</td><td>Pass</td><td>Pass</td></tr>
<tr><td>เครื่องมือวัดมีความละเอียดมากกว่า 10 เท่าของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ; 1:10 of Titrator</td><td>Pass</td><td>Pass</td><td>Pass</td></tr>
<tr><td>เครื่องมือวัดมีความละเอียดมากกว่า 3 เท่าของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ; 1:3 of Titrator</td><td>Pass</td><td>Pass</td><td>Pass</td></tr>
</table>

หมายเหตุ: ใช้ค่าวัดเฉลี่ยจากตารางที่ 4-13, 4-14 และ 4-15, Pass; ค่าวัดเฉลี่ยทุกจุดอยู่ภายใต้เกณฑ์การยอมรับ, Fail; มีค่าวัดเฉลี่ยบางจุดไม่อยู่ภายใต้เกณฑ์การยอมรับ

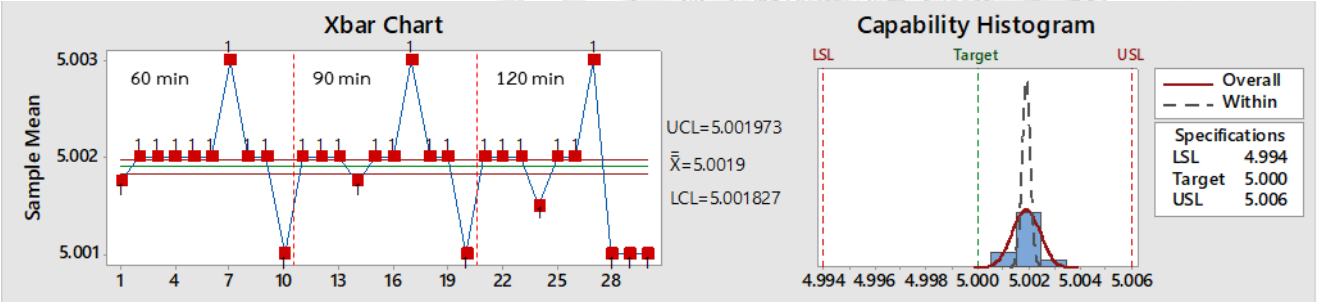
ตารางที่ 4-18 การเทียบค่าวัดเฉลี่ยของเครื่องมือวัดภายใต้เกณฑ์การยอมรับ ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร

<table>
<tr><td colspan="4">แผนภูมิควบคุมข้อกำหนดของเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน ISO 10012</td></tr>
<tr><td colspan="2">เครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 (ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร)</td><td colspan="2">เครื่องมือวัดชุดที่ 2 (ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.001 มิลลิเมตร)</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">เกณฑ์การยอมรับ</td><td colspan="3">ชุดเครื่องมือวัด</td></tr>
<tr><td>ชุดที่ 1; Tool1</td><td>ชุดที่ 2; Tool2</td><td>ชุดที่ 3; Tool3</td></tr>
<tr><td>ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด; Accuracy</td><td>Pass</td><td>Fail</td><td>Pass</td></tr>
<tr><td>เครื่องมือวัดมีความละเอียดมากกว่า 10 เท่าของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ; 1:10 of Titrator</td><td>Pass</td><td>Pass</td><td>Pass</td></tr>
<tr><td>เครื่องมือวัดมีความละเอียดมากกว่า 3 เท่าของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ; 1:3 of Titrator</td><td>Pass</td><td>Pass</td><td>Pass</td></tr>
</table>

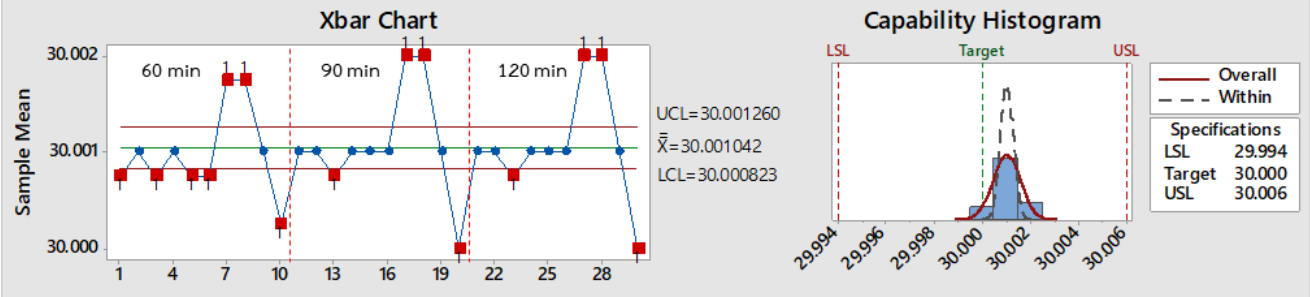
หมายเหตุ: ใช้ค่าวัดเฉลี่ยจากตารางที่ 4-13, 4-14 และ 4-15, Pass; ค่าวัดเฉลี่ยทุกจุดอยู่ภายใต้เกณฑ์การยอมรับ, Fail; มีค่าวัดเฉลี่ยบางจุดไม่อยู่ภายใต้เกณฑ์การยอมรับ

4.4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1

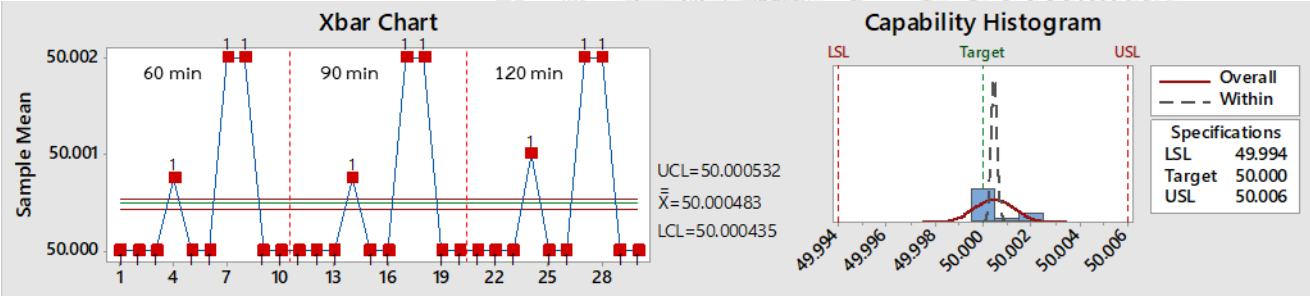
ตารางที่ 4-19 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

<table>
<tr><th>เครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร</th><th>ผลการวิเคราะห์</th></tr>
<tr><td>- One Sample T-Test
Descriptive Statistics
N Mean StDev SE Mean 95% CI for μ
30 5.00210 0.00071 0.00013 (5.00183, 5.00237)
μ: mean of UUC_5.1
Test
Null hypothesis $H_0: \mu = 5$
Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 5$
T-Value P-Value
16.16 0.000</td><td>ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 5 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ</td></tr>
<tr><td>- X bar Chart: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร
 
</td><td>ค่าวัดไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดค่าเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด</td></tr>
<tr><td>- ANOVA (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ)
Analysis of Variance
Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value
Time 2 0.000000 0.000000 0.00 1.000
Error 27 0.000015 0.000001
Total 29 0.000015</td><td>ให้ค่า P-Value เท่ากับ 1.000 มีค่ามากกว่า α แสดงว่า ค่าวัดไม่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป</td></tr>
</table>

ตารางที่ 4-20 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

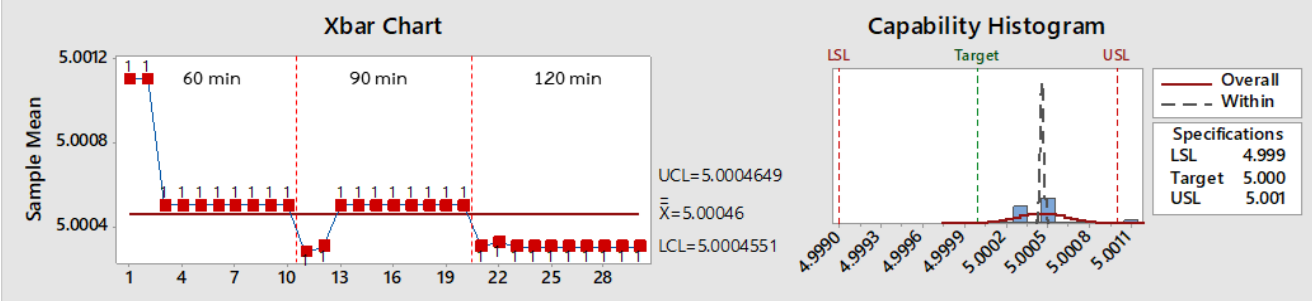
เครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร	ผลการวิเคราะห์
- One Sample T-Test **Descriptive Statistics** N Mean StDev SE Mean 95% CI for μ 30 30.0013 0.0007 0.0001 (30.0011, 30.0016) *μ: mean of UUC_30.1* **Test** Null hypothesis $H_0: \mu = 30$ Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 30$ T-Value P-Value 11.05 0.000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 30 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ
- X bar Chart: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร  	ค่าวัดไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดค่าเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด
- ANOVA (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ) **Analysis of Variance** Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value Time 2 0.000000 0.000000 0.07 0.931 Error 27 0.000013 0.000000 Total 29 0.000013	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.931 มีค่ามากกว่า α แสดงว่าค่าวัดไม่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4-21 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร

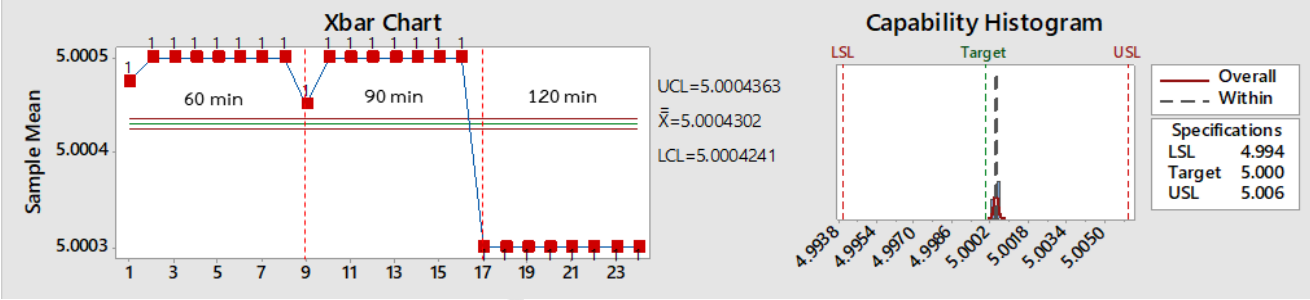
เครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร	ผลการวิเคราะห์
- One Sample T-Test **Descriptive Statistics** N Mean StDev SE Mean 95% CI for μ 30 50.0012 0.0008 0.0001 (50.0009, 50.0015) *μ: mean of UUC_50.1* **Test** Null hypothesis $H_0: \mu = 50$ Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 50$ T-Value P-Value 8.16 0.000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 50 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ
- X bar Chart: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร 	ค่าวัดไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดค่าเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด
- ANOVA (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ) **Analysis of Variance** Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value Time 2 0.000000 0.000000 0.15 0.866 Error 27 0.000019 0.000001 Total 29 0.000019	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.866 มีค่ามากกว่า α แสดงว่า ค่าวัดไม่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

4.4.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 2

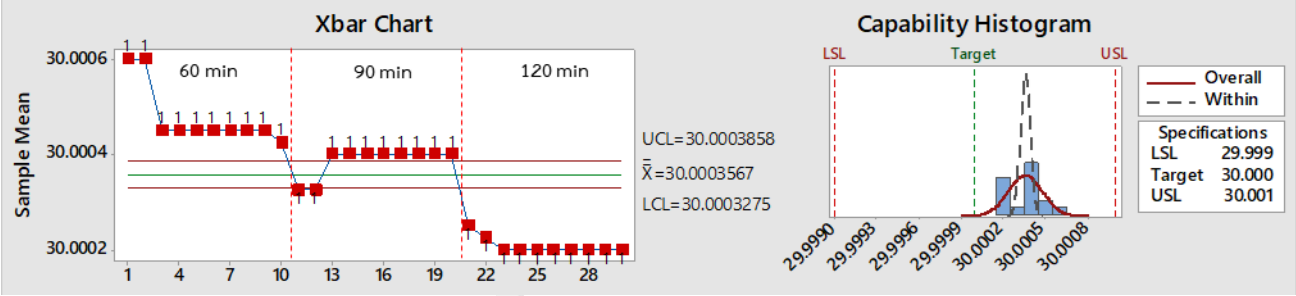
ตารางที่ 4-22 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

<table>
<tr><th>เครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร</th><th>ผลการวิเคราะห์</th></tr>
<tr><td>- <u>One Sample T-Test</u>
Descriptive Statistics
N Mean StDev SE Mean 95% CI for μ
30 5.00065 0.00021 0.00004 (5.00058, 5.00073)
μ: mean of UUC_5.2
Test
Null hypothesis $H_0: \mu = 5$
Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 5$
T-Value P-Value
17.34 0.000</td><td>ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 5 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ</td></tr>
<tr><td>- <u>X bar Chart</u>: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.001 มิลลิเมตร
 
</td><td>ค่าวัดไม่อยู่ในช่วงควบคุม และมีข้อมูลบางจุดที่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด คือจุดที่ 1, 2 จึงทำการตัดชุดข้อมูลจุดที่ 1, 2, 11, 12, 21 และ 22 ออก และวิเคราะห์ใหม่อีกครั้งตามตารางที่ 4-29</td></tr>
<tr><td>- <u>ANOVA</u> (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ)
Analysis of Variance
Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value
Time 2 0.000001 0.000000 11.91 0.000
Error 27 0.000001 0.000000
Total 29 0.000001</td><td>ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่า ค่าวัดมีความแตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป</td></tr>
</table>

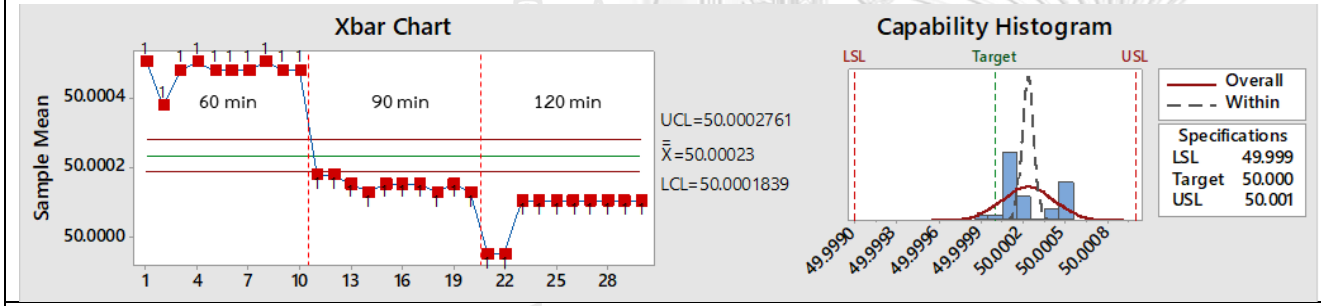
ตารางที่ 4-23 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร หลังตัดข้อมูล

เครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร	ผลการวิเคราะห์
- <u>One Sample T-Test</u> **Descriptive Statistics** N = 24, Mean = 5.00068, StDev = 0.00013, SE Mean = 0.00003, 95% CI for μ = (5.00062, 5.00073) *μ: mean of UUC* **Test** Null hypothesis H_0: μ = 5 Alternative hypothesis H_1: μ ≠ 5 T-Value = 24.92, P-Value = 0.000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 5 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ
- <u>X bar Chart</u>: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.001 มิลลิเมตร  	ค่าวัดไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดค่าเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด
- <u>ANOVA</u> (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ) **Analysis of Variance** Source: Time, DF = 2, Adj SS = 0.000000, Adj MS = 0.000000, F-Value = 273.00, P-Value = 0.000 Error, DF = 21, Adj SS = 0.000000, Adj MS = 0.000000 Total, DF = 23, Adj SS = 0.000000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่า ค่าวัดมีความแตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4-24 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

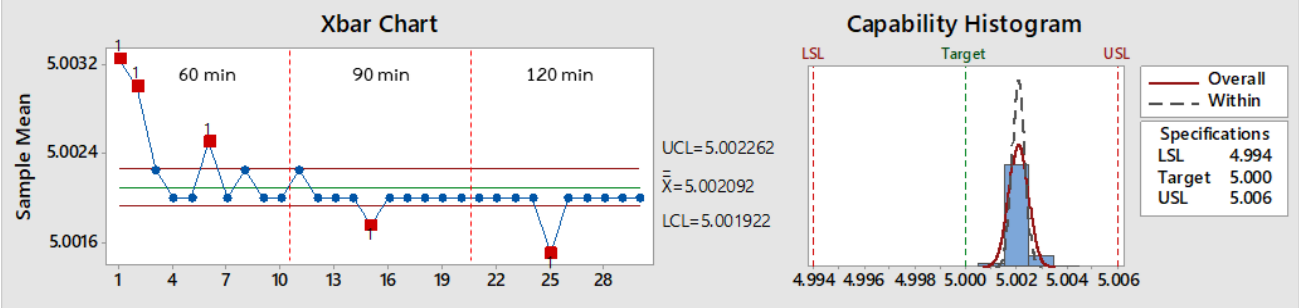
เครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร	ผลการวิเคราะห์
- <u>One Sample T-Test</u> **Descriptive Statistics** N: 30 Mean: 30.0016 StDev: 0.0002 SE Mean: 0.0000 95% CI for μ: (30.0015, 30.0017) *μ: mean of UUC_30.2* **Test** Null hypothesis $H_0: \mu = 30$ Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 30$ T-Value: 36.09 P-Value: 0.000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 30 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ
- <u>X bar Chart</u>: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.001 มิลลิเมตร 	ค่าวัดไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดค่าเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด
- <u>ANOVA</u> (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ) **Analysis of Variance** Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value Time 2 0.000002 0.000001 96.82 0.000 Error 27 0.000000 0.000000 Total 29 0.000002	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่า ค่าวัดมีความแตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4-25 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร

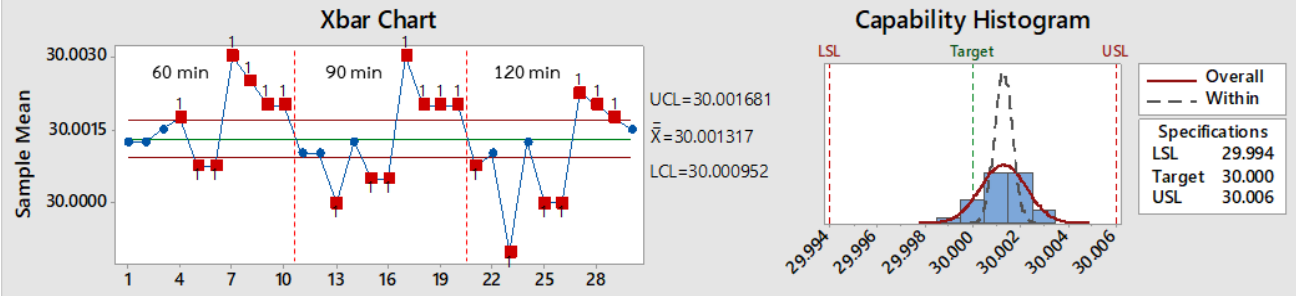
เครื่องมือวัดชุดที่ 2 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร	ผลการวิเคราะห์
- One Sample T-Test **Descriptive Statistics** N: 30 Mean: 50.0024 StDev: 0.0004 SE Mean: 0.0001 95% CI for μ: (50.0023, 50.0026) μ: mean of UUC_50.2 **Test** Null hypothesis H_0: μ = 50 Alternative hypothesis H_1: μ ≠ 50 T-Value: 34.79 P-Value: 0.000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 50 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ
- X bar Chart: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.001 มิลลิเมตร  	ค่าวัดไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด
- ANOVA (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ) **Analysis of Variance** Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value Time 2 0.000004 0.000002 98.31 0.000 Error 27 0.000001 0.000000 Total 29 0.000004	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่า ค่าวัดมีความแตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

4.4.4 การวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัดค่าด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 3

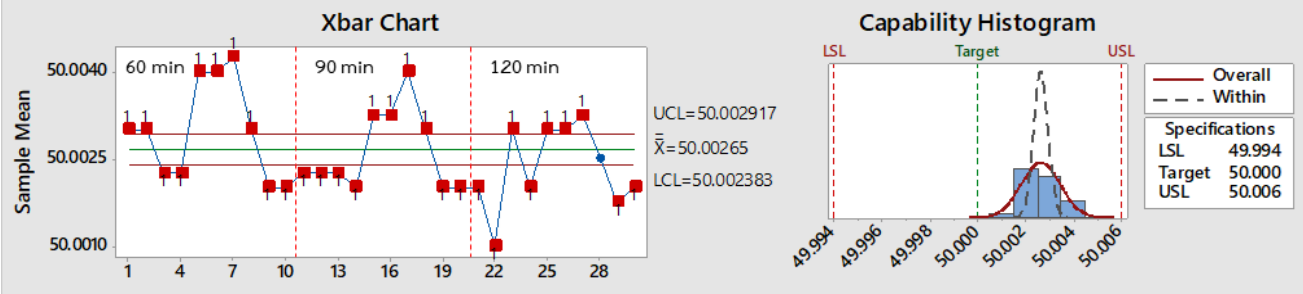
ตารางที่ 4-26 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

เครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร	ผลการวิเคราะห์
- One Sample T-Test **Descriptive Statistics** N Mean StDev SE Mean 95% CI for μ 30 5.00167 0.00092 0.00017 (5.00132, 5.00201) *μ: mean of UUC_5.3* **Test** Null hypothesis H_0: μ = 5 Alternative hypothesis H_1: μ ≠ 5 T-Value P-Value 9.90 0.000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 5 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ
- X bar Chart: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร 	ค่าวัดบางจุดไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด
- ANOVA (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ) **Analysis of Variance** Source DF Adj SS Adj MS F-Value P-Value Time 2 0.000001 0.000001 0.73 0.491 Error 27 0.000023 0.000001 Total 29 0.000025	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.491 มีค่ามากกว่า α แสดงว่า ค่าวัดไม่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4-27 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

เครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร	ผลการวิเคราะห์
- One Sample T-Test **Descriptive Statistics** N: 30, Mean: 30.0029, StDev: 0.0010, SE Mean: 0.0002, 95% CI for μ: (30.0025, 30.0032) μ: mean of UUC_30.3 **Test** Null hypothesis $H_0: \mu = 30$ Alternative hypothesis $H_1: \mu \neq 30$ T-Value: 15.58, P-Value: 0.000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 30 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ
- X bar Chart: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร 	ค่าวัดบางจุดไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดค่าเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด
- ANOVA (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ) **Analysis of Variance** Source: Time, DF: 2, Adj SS: 0.000005, Adj MS: 0.000003, F-Value: 2.80, P-Value: 0.078 Error, 27, 0.000024, 0.000001 Total, 29, 0.000029	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.078 มีค่ามากกว่า α แสดงว่า ค่าวัดไม่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 4-28 ผลการทดสอบความเหมาะสมของเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร

เครื่องมือวัดชุดที่ 3 ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร	ผลการวิเคราะห์
- One Sample T-Test **Descriptive Statistics** N: 30, Mean: 50.0053, StDev: 0.0008, SE Mean: 0.0001, 95% CI for μ: (50.0050, 50.0056) μ: mean of UUC_50.3 **Test** Null hypothesis H_0: μ = 50 Alternative hypothesis H_1: μ ≠ 50 T-Value: 36.75, P-Value: 0.000	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 มีค่าน้อยกว่า α แสดงว่าปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 ค่าวัดที่ได้มีค่าไม่เท่ากับ 50 มิลลิเมตร อธิบายได้ว่าเครื่องมือวัดมีค่าความแม่นยำต่ำ
- X bar Chart: Sub group size = 4, ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด ± 0.006 มิลลิเมตร 	ค่าวัดส่วนใหญ่ไม่อยู่ในช่วงควบคุม แสดงว่ามีบางปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าวัดเฉลี่ย เนื่องจากชิ้นเกจบล็อกมีการขยายตัวตามอุณหภูมิทำให้ค่าไม่คงที่ อาจปรับปรุงโดยการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ แต่ค่าวัดที่ได้ในกระบวนการไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของเครื่องมือวัด
- ANOVA (หาความแตกต่างของค่าวัด เทียบกับระยะเวลารอ) **Analysis of Variance** Time: DF 2, Adj SS 0.000003, Adj MS 0.000001, F-Value 2.58, P-Value 0.094 Error: DF 27, Adj SS 0.000015, Adj MS 0.000001 Total: DF 29, Adj SS 0.000018	ให้ค่า P-Value เท่ากับ 0.094 มีค่ามากกว่า α แสดงว่า ค่าวัดไม่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป

4.4.5 การวิเคราะห์ค่าความเที่ยงของเครื่องมือวัด

ตารางที่ 4-29 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (%RSD)

ระยะเวลารอ	5 มิลลิเมตร			30 มิลลิเมตร			50 มิลลิเมตร		
	Tool 1	Tool 2	Tool 3	Tool 1	Tool 2	Tool 3	Tool 1	Tool 2	Tool 3
60 นาที	5.002	5.0014	5.004	30.001	30.0020	30.004	50.001	50.0029	50.007
	5.003	5.0014	5.004	30.002	30.0020	30.003	50.002	50.0028	50.007
	5.003	5.0008	5.003	30.002	30.0019	30.004	50.002	50.0030	50.006
	5.003	5.0008	5.003	30.002	30.0019	30.004	50.002	50.0030	50.006
	5.003	5.0008	5.003	30.001	30.0019	30.003	50.001	50.0030	50.008
	5.003	5.0008	5.003	30.001	30.0019	30.003	50.001	50.0029	50.008
	5.004	5.0008	5.003	30.002	30.0019	30.005	50.003	50.0030	50.007
	5.003	5.0008	5.003	30.003	30.0019	30.004	50.003	50.0030	50.006
	5.003	5.0008	5.003	30.002	30.0019	30.005	50.001	50.0030	50.006
	5.002	5.0008	5.003	30.002	30.0019	30.004	50.002	50.0031	50.006
90 นาที	5.003	5.0005	5.003	30.001	30.0015	30.003	50.001	50.0022	50.005
	5.003	5.0005	5.003	30.002	30.0015	30.003	50.002	50.0021	50.005
	5.003	5.0007	5.003	30.002	30.0017	30.002	50.002	50.0025	50.006
	5.002	5.0008	5.003	30.002	30.0018	30.004	50.002	50.0026	50.006
	5.003	5.0007	5.003	30.001	30.0017	30.003	50.001	50.0025	50.007
	5.003	5.0007	5.003	30.001	30.0017	30.003	50.001	50.0024	50.006
	5.003	5.0007	5.003	30.002	30.0017	30.005	50.003	50.0025	50.006
	5.003	5.0007	5.003	30.003	30.0017	30.004	50.003	50.0023	50.006
	5.003	5.0007	5.003	30.002	30.0017	30.004	50.001	50.0025	50.006
	5.002	5.0008	5.003	30.002	30.0018	30.004	50.002	50.0026	50.005
120 นาที	5.003	5.0005	5.003	30.003	30.0013	30.003	50.005	50.0018	50.005
	5.003	5.0005	5.003	30.003	30.0013	30.003	50.004	50.0018	50.004
	5.003	5.0005	5.003	30.001	30.0014	30.001	50.007	50.0022	50.007
	5.002	5.0005	5.003	30.004	30.0014	30.004	50.006	50.0022	50.006
	5.003	5.0005	5.002	30.002	30.0014	30.002	50.007	50.0022	50.007
	5.003	5.0005	5.003	30.002	30.0013	30.002	50.006	50.0021	50.006
	5.003	5.0005	5.003	30.004	30.0014	30.004	50.006	50.0022	50.006
	5.001	5.0005	5.003	30.004	30.0014	30.004	50.005	50.0022	50.005
	5.002	5.0005	5.003	30.004	30.0014	30.004	50.005	50.0022	50.005
	5.002	5.0005	5.003	30.003	30.0014	30.003	50.005	50.0021	50.005

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-29 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (%RSD) (ต่อ)

ระยะ	5 มิลลิเมตร			30 มิลลิเมตร			50 มิลลิเมตร		
เวลารอ	Tool 1	Tool 2	Tool 3	Tool 1	Tool 2	Tool 3	Tool 1	Tool 2	Tool 3
Mean	5.003	5.0007	5.004	30.003	30.0017	30.004	50.004	50.0025	50.007
STDEV	0.00058	0.00023	0.00032	0.00096	0.00024	0.00094	0.00200	0.00039	0.00093
%RSD	0.012%	0.005%	0.006%	0.003%	0.001%	0.003%	0.004%	0.001%	0.002%

หมายเหตุ: เครื่องมือวัดชุดที่ 1; Tool 1, เครื่องมือวัดชุดที่ 2; Tool 2, เครื่องมือวัดชุดที่ 3; Tool 3

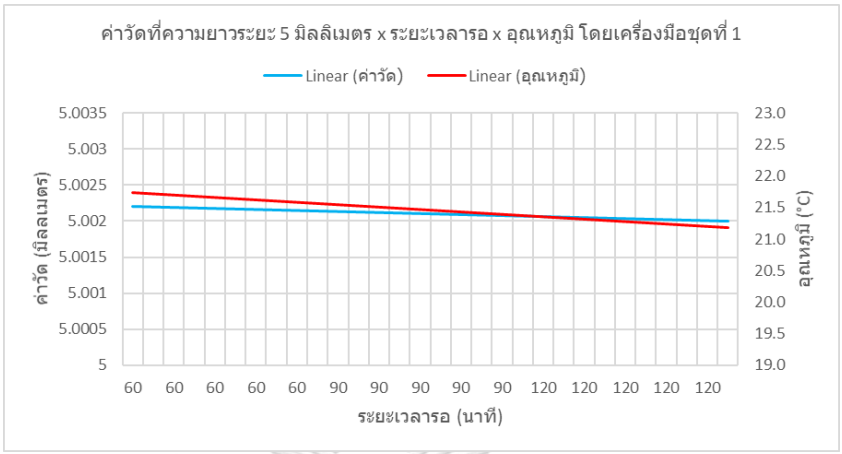
จากผลการวิเคราะห์เครื่องมือวัด พบว่าเครื่องมือวัดชุดที่1 และ 3 ค่าวัดเฉลี่ยอยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับตามระบบมาตรฐาน ISO 10012 ทุกระยะความยาว แต่เครื่องมือวัดชุดที่ 2 มีค่าวัดเฉลี่ยบางจุด ในบางระยะความยาวไม่อยู่ในช่วงเกณฑ์การยอมรับตามระบบมาตรฐาน ISO 10012 ในด้านของความแม่นยำในการวัดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี One Sample T-test สามารถบอกได้ว่าเครื่องมือวัดทุกชุดในการทดลองให้ค่าความแม่นยำในการวัดต่ำ และในส่วนของค่าความเที่ยงในการวัดจากการวิเคราะห์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (%RSD) พบว่าเครื่องมือวัดทุกชุดในการทดลองให้ค่า %RSD น้อยกว่า 5% จึงสามารถบอกได้ว่าเครื่องมือวัดทุกชุดให้ค่าความเที่ยงในการวัดสูง กล่าวได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดที่ทดลองมีประสิทธิภาพใกล้เคียง ดังนั้นการตัดสินใจในการเลือกใช้เครื่องมือวัด โดยเครื่องมือวัดนั้นจะต้องให้ค่าวัดไม่แตกต่างกันเมื่อวัดค่าในระยะเวลาช่วง 60 ถึง 120 นาที จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า เครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 สามารถวัดค่าโดยให้ค่าวัดไม่แตกต่างกันเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงไป จึงเป็นเครื่องมือวัดที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

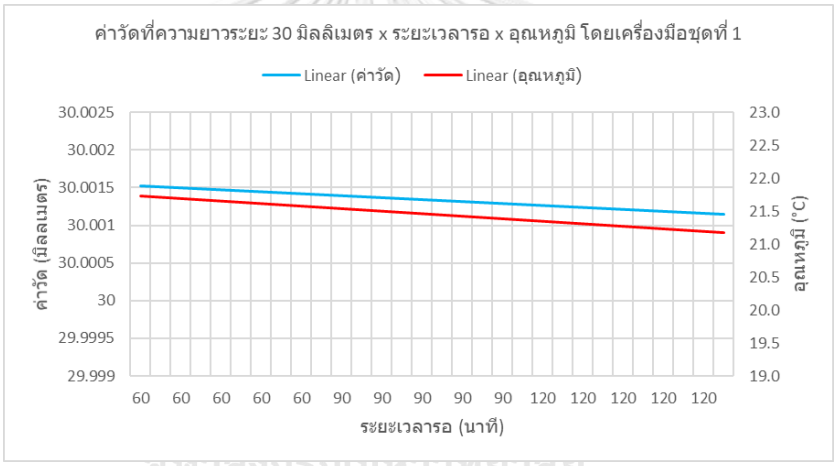
4.5. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัด อิทธิพลหลักจากอุณหภูมิขณะวัดค่า เป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าวัดมีนัยสำคัญ ในส่วนนี้จึงทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไป โดยเลือกใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 ในการวิเคราะห์เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ผ่านการพิจารณาตามหัวข้อที่4.4 และเครื่องมือวัดแต่ละชุดเป็นตัวแทนของสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 เป็นเครื่องมือที่ใช้ภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิ และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 เป็นเครื่องมือวัดภายใต้สภาวะไม่ควบคุมอุณหภูมิ ในการวิเคราะห์จะสร้างกราฟเส้นตรง (Linear) ระหว่างค่าวัดและอุณหภูมิที่บันทึกได้ขณะทำการวัด ที่ระยะเวลา 60, 90 และ 120 นาที

4.5.1 กราฟเส้นตรงจากสมการถดถอยเชิงเส้นของค่าวัด โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1

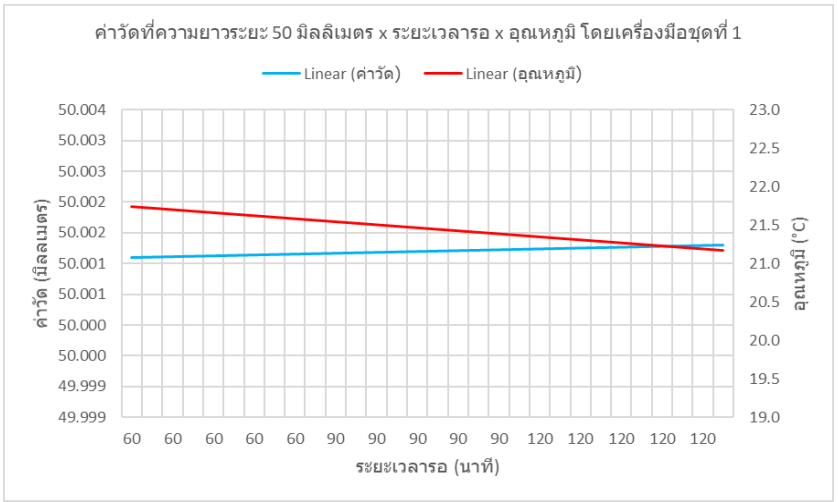


รูปที่ 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1



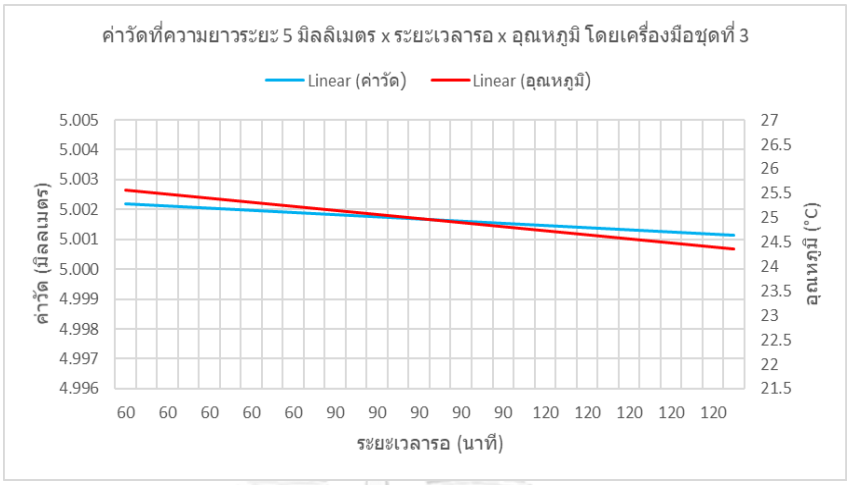
รูปที่ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 30 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

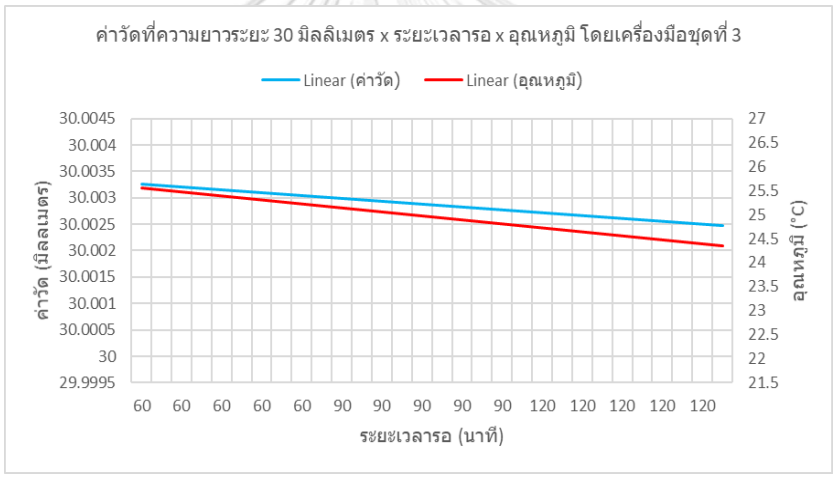


รูปที่ 4-28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1

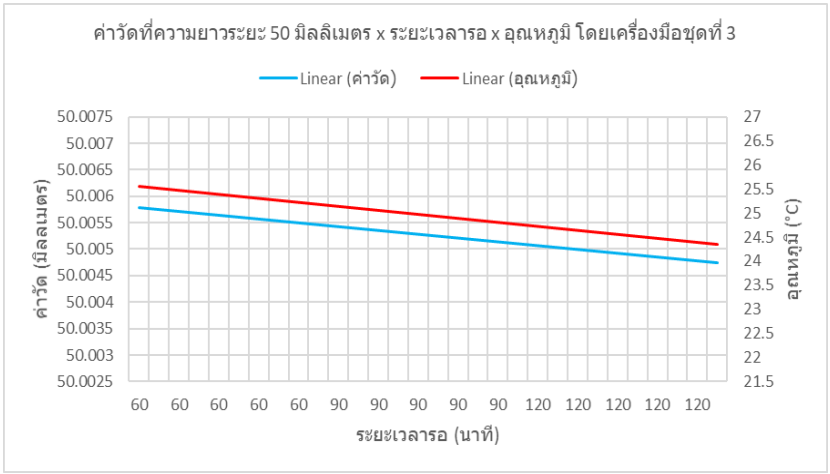
4.5.2 กราฟเส้นตรงจากสมการถดถอยเชิงเส้นของค่าวัด โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3



รูปที่ 4-29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 5 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3



รูปที่ 4-30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 30 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3



รูปที่ 4-31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับอุณหภูมิ ที่ระยะ 50 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 3

จากการวิเคราะห์กราฟเส้นตรงของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 พบว่าเมื่อระยะเวลาเปลี่ยนแปลงจาก 60 เป็น 120 นาที อุณหภูมิขณะวัดมีค่าลดลง โดยค่าวัดที่ได้มีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิที่ลดต่ำลง โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าวัดน้อยกว่าเครื่องมือวัดชุดที่ 3 เนื่องจากเครื่องมือวัดชุดที่ 1 มีการวัดค่าภายใต้ห้องปฏิบัติการที่มีสภาวะควบคุมอุณหภูมิ ส่งผลให้เกจบล็อกมีการหดตัว/ขยายตัวน้อย จะสังเกตได้จากความชันของกราฟเส้นตรง โดยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 มีความชันของกราฟเส้นตรงน้อยกว่าเครื่องมือวัดชุดที่ 3

4.6. การประเมินประสิทธิภาพความใช้ได้ของวิธีการที่ใช้สอบเทียบ

การประเมินประสิทธิภาพวิธีการที่ใช้สอบเทียบ สามารถทำได้ด้วยการคำนวณหาค่า E_n Ratio จากค่าวัดเฉลี่ย และค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุดของห้องปฏิบัติการทดสอบจากตารางที่ 4-13, 4-14 และ 4-15 เปรียบเทียบกับค่าวัดและค่าความไม่แน่นอนของห้องปฏิบัติการอ้างอิง การทดสอบความใช้ได้ของวิธีจะต้องทำภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกัน ในที่นี้ห้องปฏิบัติการอ้างอิงทำการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจภายใต้สภาวะแวดล้อมควบคุมอุณหภูมิ จึงต้องเปรียบเทียบกับค่าวัดเฉลี่ย และค่าความไม่แน่นอนเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดชุดที่ 1 เพราะทำการวัดค่าภายใต้สภาวะแวดล้อมควบคุมอุณหภูมิเช่นกัน สามารถดูตัวอย่างการคำนวณได้ในภาคผนวก ก.3

ตารางที่ 4-30 ค่า E_n *Ratio* ระหว่างค่าวัดจากเครื่องมือวัดชุดที่1 กับค่าวัดจากห้องปฏิบัติการอ้างอิง

ระยะความยาว (มิลลิเมตร)	คำนวณค่า En Ratio		
	ระยะเวลารอ (นาที)		
	60	90	120
5	0.703	0.714	0.715
30	-0.074	-0.034	-0.039
50	0.144	0.146	0.150

จากตารางที่ 4-30 พบว่า ค่า E_n *Ratio* ที่ได้จากค่าวัดความยาวทุกระยะ มีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 สามารถอธิบายได้ว่า วิธีการสอบเทียบในการทดลองนี้ให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากห้องปฏิบัติการภายนอกที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 17025

4.7. การเปรียบเทียบผลการลดระยะเวลาและสรุปผล

ตารางที่ 4-31 ประสิทธิผลของการลดระยะเวลากระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ

ชุดเครื่องมือ	ระยะเวลารอ (นาที)	ระยะเวลาการสอบเทียบก่อนปรับปรุง (นาที)	ระยะเวลาการสอบเทียบหลังปรับปรุง (นาที)	
			มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า	ไม่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า
1	60	145	130 (ลดลง 10.34%)	85 (ลดลง 41.38%)
	90		130 (ลดลง 10.34%)	115 (ลดลง 20.69%)
	120		145	145
2	60		≥ 145	≥ 145
	90			
	120			
3	60		130 (ลดลง 10.34%)	85 (ลดลง 41.38%)
	90		130 (ลดลง 10.34%)	115 (ลดลง 20.69%)
	120		145	145

จุดประสงค์ของการทดลองคือต้องการลดระยะเวลาการสอบเทียบ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าวัดของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 สามารถเริ่มวัดค่าได้ตั้งแต่ระยะเวลา 60 นาที โดยให้ค่าวัดไม่แตกต่างกัน ทำให้เครื่องมือวัดชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 เหมาะสมกับการใช้วัดค่าในการทดลองนี้ โดยเครื่องมือวัดทั้งสองชุดสามารถลดระยะเวลารอในขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือวัดได้จาก 120 นาที เหลือ 60 และ 90 นาทีได้ ในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติที่มีสอบเทียบด้านไฟฟ้า หากเลือกลดระยะเวลารอเป็น 60 และ 90 นาที ทั้งสองช่วงเวลาจะใช้เวลาในการสอบเทียบก่อนปรับปรุง 145 นาที หลังปรับปรุงใช้เวลา 130 นาที ประหยัดเวลาได้ถึง 10.34% และในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติที่ไม่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า ก่อนปรับปรุงใช้เวลา 145 นาที ถ้าเลือกลดระยะเวลารอเป็น 60 นาที หลังปรับปรุงใช้เวลา 85 นาที ประหยัดเวลาได้ถึง 41.38% และถ้าเลือกลดระยะเวลารอเป็น 90 นาที หลังปรับปรุงใช้เวลา 115 นาที ประหยัดเวลาได้ถึง 20.69% หากต้องการจะใช้งานเครื่องมือชุดที่ 2 อาจจะต้องใช้ระยะเวลารอในขั้นตอนการตรียมเครื่องมือวัดนานมากกว่า 120 นาที เพื่อให้เกจบล็อกมีอุณหภูมิต่ำลง ทำให้ค่าเกจบล็อกคงที่ทำให้ค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าเกจบล็อก และไม่เกินเกณฑ์ค่าความแม่นยำของเครื่องมือ

4.8. การปรับใช้กับการปฏิบัติงานจริง

การปรับใช้กับการปฏิบัติงานของบริษัทกรณีศึกษา เลือกใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1 เป็นชุดเครื่องมืออ้างอิง วัดภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิ หรือการสอบเทียบภายในสถานที่ตั้ง และทำการวัดค่าเมื่อตั้งชุดเครื่องมือที่อุณหภูมิห้องครบตามระยะเวลา 60 นาที โดยเทียบกับค่าวัดที่ระยะเวลารอ 120 นาที ตามตารางที่ 4-32

ตารางที่ 4-32 ค่าวัดเฉลี่ยด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ระยะเวลา 60 นาที และ 120 นาที

No.	5 มิลลิเมตร		30 มิลลิเมตร		50 มิลิเมตร	
	60 นาที	120 นาที	60 นาที	120 นาที	60 นาที	120 นาที
1	5.002	5.002	30.001	30.001	50.000	50.001
2	5.002	5.002	30.002	30.002	50.001	50.002
3	5.003	5.002	30.002	30.001	50.002	50.001
4	5.002	5.003	30.002	30.002	50.002	50.002
5	5.002	5.002	30.001	30.001	50.000	50.001
6	5.003	5.002	30.002	30.001	50.000	50.001
7	5.002	5.003	30.001	30.002	50.002	50.002
8	5.003	5.003	30.001	30.002	50.003	50.002
9	5.001	5.001	30.001	30.001	50.001	50.001
10	5.001	5.001	30.000	30.000	50.000	50.000
ค่าเฉลี่ย	5.002	5.002	30.001	30.001	50.001	50.001

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4-32 พบว่าการสอบเทียบภายในสถานที่ตั้ง หรือการวัดค่าภายใต้สภาวะแวดล้อมควบคุมอุณหภูมิ ได้ค่าวัดเฉลี่ยเท่ากันทั้งในระยะเวลา 60 นาที และ 120 นาที โดยใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1

สำหรับงานสอบเทียบการวัดค่าภายใต้สภาวะแวดล้อมไม่ควบคุมอุณหภูมิ หรือการสอบเทียบภายนอกสถานที่ตั้ง ห้องปฏิบัติการเลือกใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 3 เทียบกับค่าวัดของเครื่องมือวัดชุดที่ 1 โดยการถ่ายค่าความผิดพลาดของเครื่องมือเพื่อปรับค่าวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ให้ใกล้เคียงกับค่าวัดจากเครื่องมือชุดที่ 1 ตามตารางที่ 4-33

ตารางที่ 4-33 ค่าวัดเฉลี่ยด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 ที่ระยะเวลา 60 นาที

No.	ค่าวัดเฉลี่ย					
	5 มิลลิเมตร		30 มิลลิเมตร		50 มิลลิเมตร	
	Tool 1	Tool3	Tool 1	Tool 3	Tool 1	Tool 3
1	5.002	5.004	30.001	30.003	50.000	50.006
2	5.002	5.003	30.002	30.003	50.001	50.006
3	5.002	5.001	30.002	30.003	50.002	50.006
4	5.003	5.002	30.002	30.004	50.002	50.006
5	5.002	5.002	30.001	30.003	50.000	50.007
6	5.002	5.001	30.001	30.002	50.000	50.004
7	5.003	5.002	30.002	30.004	50.002	50.007
8	5.003	5.002	30.002	30.004	50.003	50.005
9	5.001	5.002	30.001	30.004	50.001	50.005
10	5.001	5.002	30.000	30.004	50.000	50.005
ค่าเฉลี่ย	5.002	5.002	30.001	30.003	50.001	50.006
Error Value		0.000		0.002		0.005

หมายเหตุ Tool 1; ชุดเครื่องมือวัดชุดที่ 1 เป็นเครื่องมืออ้างอิง , Tool 3; ชุดเครื่องมือวัดชุดที่ 3

Error Value; ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือ = $X_{tool\ 3} - X_{tool\ 1}$

จากตารางที่ 4-33 พบว่าค่าวัดเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ให้ค่าวัดเฉลี่ยสูงกว่าค่าวัดจากเครื่องมือวัดชุดที่ 1 เมื่อเริ่มวัดค่าที่ระยะเวลา 60 นาที ทำให้มีค่าความผิดพลาดของเครื่องมือ (Error Value) เกิดขึ้น ดังนั้นในการใช้งานเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ต้องรวมค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัดเข้ากับค่าวัดเฉลี่ยที่ได้ เพื่อให้ค่าวัดมีคุณภาพใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดชุดที่ 1

ในการกำหนดความสามารถของห้องปฏิบัติการต้องใช้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดเป็นตัวกำหนด ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนสำหรับขอบข่ายที่ทำการสอบเทียบต้องเป็นค่าที่ครอบคลุมช่วงที่ใช้งาน จึงใช้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร มาพิจารณาเพราะมีค่าความไม่แน่นอนในการวัดมากที่สุดจากความยาวทุกระยะ โดยเปรียบเทียบค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ได้จากค่าวัดที่ระยะเวลารอ 60 นาที และ120 นาที ทั้งเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 ดังตารางที่ 4-34

ตารางที่ 4-34 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 และ 3 ที่ระยะเวลา 60 นาที

No.	ค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 50 มิลลิเมตร			
	Tool 1		Tool 3	
	60 นาที	120 นาที	60 นาที	120 นาที
1	0.0021	0.0021	0.0032	0.0032
2	0.0023	0.0025	0.0034	0.0033
3	0.0025	0.0024	0.0038	0.0035
4	0.0024	0.0024	0.0039	0.0035
5	0.0021	0.0021	0.0037	0.0031
6	0.0021	0.0021	0.0030	0.0026
7	0.0021	0.0020	0.0030	0.0027
8	0.0021	0.0020	0.0031	0.0029
9	0.0021	0.0021	0.0038	0.0036
10	0.0020	0.0020	0.0037	0.0031
Minimum	0.0020	0.0020	0.0030	0.0026

หมายเหตุ Tool 1; ชุดเครื่องมือวัดชุดที่ 1 เป็นเครื่องมืออ้างอิง , Tool 3; ชุดเครื่องมือวัดชุดที่ 3
Minimum; ค่าความไม่แน่นอนในการวัดน้อยสุดที่ห้องปฏิบัติการสามารถทำได้

จากตารางที่ 4-34 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของห้องปฏิบัติการในสภาวะแวดล้อมแวดล้อมควบคุมอุณหภูมิ หรือการสอบเทียบภายในสถานที่ตั้ง ด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1 ที่ระยะเวลารอ 60 นาที มีค่าความไม่แน่นอนในการวัดน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0020 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ระยะเวลารอ 120 นาที และค่าความไม่แน่นอนในการวัดของห้องปฏิบัติการในสภาวะแวดล้อมแวดล้อมไม่ควบคุมอุณหภูมิ หรือการสอบเทียบนอกสถานที่ตั้ง ด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 3 วัดที่ระยะเวลารอ 60 นาที มีค่าความไม่แน่นอนในการวัดน้อยสุดเท่ากับ 0.0030 มิลลิเมตร และวัดที่ระยะเวลารอ 120 นาที มีค่ามค่าความไม่แน่นอนในการวัดน้อยสุดเท่ากับ 0.0026 มิลลิเมตร พบว่าค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ระยะเวลารอ 60 นาที ให้ค่าสูงกว่าค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ระยะเวลารอ 120 นาที อยู่ 0.0004 มิลลิเมตร แต่ในการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจในขั้นตอนนี้ไม่ได้ถ่ายค่าความไม่แน่นอนไปใช้ต่อในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ เพียงแต่เป็นการตรวจสอบเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจว่ามีสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ เป็นการนำเสนอแนวทางการประยุกต์โดยใช้หลักการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้ระยะเวลามากที่สุดเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่นๆในกระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงและลดระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ โดยสาเหตุทีระยะเวลานานเกิดจากขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือวัดก่อนใช้งาน มีสาเหตุมาจาก ระยะเวลารอ ความละเอียดของเครื่องมือวัด และอุณหภูมิ มีความไม่เหมาะสม

5.1. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ใช้ระยะเวลามากในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ โดยแบ่งช่วงเวลาการวัดเป็น 3 ช่วงเวลา โดยเริ่มวัดที่ระยะเวลา 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ มีการใช้ชุดเครื่องมือวัด 3 ชุด แต่ละชุดมีค่าความละเอียด ค่าความแม่นยำไม่เท่ากัน และมีสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน

- การสอบเทียบภายใต้สภาวะแวดล้อมควบคุมอุณหภูมิ หรืองานสอบเทียบในสถานที่ตั้ง

ชุดเครื่องมือวัดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ ในสภาวะแวดล้อมควบคุมอุณหภูมิ คือเครื่องมือวัดชุดที่ 1 โดยเริ่มวัดค่าเมื่อระยะเวลาตั้งเครื่องมือครบ 60 นาที เนื่องจากในช่วงเวลา 60 นาที ให้ค่าวัดเฉลี่ยไม่เกินเกณฑ์ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด และค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 1 ใน 3 ของเครื่องจ่ายสารละลายอัติโนมัติตามที่ระเบียบการปฏิบัติงานของบริษัทกรณีศึกษากำหนด โดยมีขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการเท่ากับ 0.0020 มิลลิเมตร

- การสอบเทียบภายใต้สภาวะแวดล้อมไม่ควบคุมอุณหภูมิ หรืองานสอบเทียบนอกสถานที่ตั้ง

ชุดเครื่องมือวัดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติ ในสภาวะแวดล้อมไม่ควบคุมอุณหภูมิ คือเครื่องมือวัดชุดที่ 3 โดยเริ่มวัดค่าเมื่อระยะเวลาตั้งเครื่องมือครบ 60 นาที พบว่าค่าวัดเฉลี่ยบางช่วงที่เกินเกณฑ์ค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัด จึงต้องใช้ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือมาปรับค่าวัดให้ใกล้เคียงค่าอ้างอิง โดยที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร ให้ค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.002 มิลลิเมตร และ ที่ความยาวระยะ 50 มิลลิเมตร ให้ค่าความผิดพลาด

0.005 มิลลิเมตร จากค่าวัดส่วนใหญ่ไม่เกินค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 1 ใน 3 ของเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติโนมัติตามที่ระเบียบการปฏิบัติงานของบริษัทกรณีศึกษากำหนด โดยมีขีดความสามารถของห้องปฏิบัติการเท่ากับ 0.0030 มิลลิเมตร

ในกระบวนการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติระยะเวลาสอบเทียบก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 145 นาที/เครื่อง ระยะเวลาหลังปรับปรุงของการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติที่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า โดยวัดค่าที่ระยะเวลา 60 นาที จะสามารถลดระยะเวลารวมในการสอบเทียบได้ 10.34% และการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติที่ไม่มีการสอบเทียบด้านไฟฟ้า ถ้าวัดค่าที่ระยะเวลา 60 นาที จะสามารถลดระยะเวลาการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติได้ 41.38% และเพื่อยืนยันความใช้ได้ของวิธีที่ใช้ในการทดลองนี้จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพกับห้องปฏิบัติการอ้างอิง พบว่าค่า $\boldsymbol{E_n\ Ratio}$ อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 ทุกระยะความยาว และทุกระยะเวลารอที่ใช้ แสดงว่าวิธีการสอบเทียบในการทดลองนี้ให้ประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากห้องปฏิบัติการอ้างอิง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเลือกใช้เครื่องมือวัดชุดที่ 1 และเครื่องมือวัดชุดที่ 3 เริ่มวัดค่าเมื่อตั้งเครื่องมือที่อุณหภูมิห้องครบระยะเวลา 60 นาที จะสามารถลดระยะเวลาในการสอบเทียบเครื่องจ่ายสารละลายอัตโนมัติได้ 10.34 ถึง 41.38%

5.2. ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้ได้ทำเก็บข้อมูลจากผู้สอบเทียบเพียงคนเดียวเท่านั้น ไม่สามารถนำผลการวิเคราะห์ร่วมกับผู้สอบเทียบคนอื่นๆได้ เนื่องจากความชำนาญ และความเอนเอียงของการตัดสินผลแตกต่างกัน จำเป็นจะต้องทำการทดลองกับผู้สอบเทียบคนอื่นๆเพื่อเก็บข้อมูลพิ่มเติม แล้ววิเคราะห์ใหม่เพื่อให้สามารถใช้งานได้ครอบคลุมทุกคน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรที่มีอิทธิพลหลักทั้งหมด 3 ตัวแปร ยังมีส่วนของตัวแปรอื่นๆ ที่ผู้วิจัยที่ไม่ได้นำมาศึกษาร่วมเนื่องจากพยายามทำตามลักษณะของงานบริษัทกรณีศึกษา เช่น ความเรียบของฐานสอบเทียบ ลักษณะหัววัดดิจิทัลไดอัลเกจที่มีต่างกัน ระดับของเกจบล็อก เป็นต้น

3. การศึกษาขั้นตอนการสอบเทียบสำหรับการปรับปรุงคุณภาพด้านระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการวัด หรือการเตรียมเครื่องมือวัด โดยสามารถนำแนวคิดไปใช้กับเครื่องมือวัดชนิดอื่น แต่การศึกษาต้องใช้ระยะเวลา, พนักงานที่ปฏิบัติงานในการทดสอบ และตัวแปรของเครื่องมือวัดแตกต่างกัน ต้องศึกษาความผันแปรของระบบการวัดของแต่ละเครื่องมือแต่ละชนิดจึงจะสามารถนำแนวคิดไประยุกต์ใช้

4. ในการศึกษาทดลองในครั้งนี้ได้ศึกษาระยะเวลารอที่น้อยที่สุดสำหรับตรวจสภาพเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจ ซึ่งกำหนดให้ระยะเวลารอน้อยที่สุดที่สามารถทำได้อยู่ที่ 60 นาที จากเดิมใช้ระยะเวลารออยู่ที่ 120 นาที เนื่องจากต้องการปรับระยะเวลารอให้เท่ากับการตรวจสภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการใช้ระยะเวลารอ 60 นาที เพื่อให้สามารถนำไปปรับใช้กับระเบียบการปฏิบัติงานที่ใช้อยู่ได้จริง ดังนั้นการศึกษาทดลองเพิ่มเติมอาจจะมีการศึกษาระยะเวลารอสำหรับการตรวจสภาพเครื่องดิจิทัลไดอัลเกจที่น้อยกว่า 60 นาทีเพิ่มเติม

5. จากการศึกษาทดลองในส่วนของค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ใช้ในการทดลองนี้จะถูกคำนวณให้อยู่ในรูปแบบของค่าสัมบูรณ์ (Absolute) เพราะในการนำไปใช้ปฏิบัติงานจริงทางด้านการสอบเทียบเครื่องมือจะต้องทำให้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดอยู่ในรูปแบบของค่าสัมบูรณ์แล้วเท่านั้น หากต้องการศึกษาเพิ่มเติมสามารถนำค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่อยู่ในรูปแบบของค่าสัมบูรณ์ มาแปลงเปลี่ยนเป็นค่าสัมพัทธ์ (Relative) แล้วศึกษาในเชิงลึกของแต่ละปัจจัยเพิ่มเติมได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

แผนกวารสารวิชาการ ฝ่ายสำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). (2552). การสอบเทียบเครื่องมือวัด. แผนกวารสารวิชาการ ฝ่ายสำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ชนินธ์ พิมพ์ศรี. (2561). การเลือกเครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับการใช้งาน(ด้านมิติ). กรมวิทยาศาสตร์บริการ

นันทนา กันยานุวัฒน์, นุชนาท นาคา. (2555). แนวทางการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบทางเคมี. สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

สถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานผลิตภัณฑ์. (2555). แนวทางปฏิบัติในการตรวจสอบทวนสอบ และสอบเทียบเครื่องชั่ง.

สมโภชน์ บุญสนิท. (2563). เอกสารประกอบการอบรม เรื่องการสอบเทียบไมโครมิเตอร์และเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ด้วยเกจบล็อก.

สุรชัย จันทร์สุข. (2549). เกจบล็อค มาตรฐานของเครื่องมือวัดพื้นฐาน. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, *1*.

อัฏฐภูมิ เหลืองทองคา, เรือเอก. (2554). การศึกษาการประยุกต์ใช้เลเซอร์อินเตอร์เฟียโรมิเตอร์ในการสอบเทียบเกจบล็อก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์]. กรุงเทพฯ.

G103 – A2LA. (2008). Guide for estimation of uncertainty of dimensional calibration and testing result. In *The american association for laboratory accreditation*.

ILAC-G8:09. (2019). Guidelines on Decision Rules and Statements of Conformity. In *International laboratory accreditation cooperation*.

ISO 3650. (1999). Geometrical Product Specifications (GPS) — Length standards — Gauge blocks. In *British standard*.

ISO 10012. (2003). Measurement management systems — Requirements for measurement processes and measuring equipment. In *International standard*.

ISO 13528. (2015). Statistical methods for use in proficiency testing by inter laboratory comparison. In *International standard*.

ISO 14253-1. (2017). Geometrical product specifications (GPS)– Inspection by measurement of work pieces and measuring equipment – Part 1: Decision rules

for verifying conformity or nonconformity with specifications. In *International standard*.

ISO 17025. (2017). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. . In *International standard*.

JIS B 7503. (2017). Mechanical dial gauges. In *Japanese industrial standard*.

Mahshid, R., Mansourvar, Z., & Hansen, H. N. (2018). Tolerance analysis in manufacturing using process capability ratio with measurement uncertainty. *Precision Engineering*, *52*, 201-210.

Phillips, S. D., Shakarji, C. M., Balsamo, A., Krystek, M., & Morse, E. (2016). The 2016 Revision of ISO 1 - Standard Reference Temperature for the Specification of Geometrical and Dimensional Properties. *J Res Natl Inst Stand Technol*, *121*, 498-504.

Salsbury, J. G., & Morse, E. P. (2012). Measurement uncertainty in the performance verification of indicating measuring instruments. *Precision Engineering*, *36*(2), 218-228.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม

ก.1. ตัวอย่างการวัดค่า

ก.2. ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ

ก.2.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดเอ

- การวัดซ้ำ; σ_{rep}

ก.2.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดบี

- ใบรายงานผลของเครื่องมืออ้างอิงที่ผ่านการสอบเทียบ; $l_{im\text{-}STD}$
- ข้อกำหนด/ค่าความแม่นยำของเครื่องมืออ้างอิง; $l_{spc\text{-}STD}$
- ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องมือวัดกับเครื่องมืออ้างอิง; $l_{temp\text{-}tools}$
- ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องมือกับอุณหภูมิอ้างอิง; $l_{temp\text{-}effect}$
- ค่าความละเอียดเครื่องมืออ้างอิง; $\delta_{res\text{-}STD}$
- ค่าความละเอียดเครื่องมือวัด; $\delta_{res\text{-}UUC}$

ก.2.3 ค่าความไม่แน่นอนรวม (Uncertainty Combine)

ก.2.4 ค่าองศาแห่งความอิสระ (Degree of freedom; Veff)

ก.2.5 ค่าความไม่แน่นอนส่วนขยาย (Expanded Uncertainty; U)

ก.3. ตัวอย่างการคำนวณค่า En Ratio จากการสอบเทียบ

ก.4 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัด

ก.4.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัดที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

ก.4.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัดที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

ก.5. การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าความไม่แน่นอนในการวัด

ก.5.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัดที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

ก.5.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัดที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

ก.1. ตัวอย่างการวัดค่า

ผลการทดลองที่ได้จะถูกบันทึกผลการวัดค่าลงในแบบตามแบบตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 ตัวอย่างการบันทึกผลการวัดค่าที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

Time (min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	26.5	30.001	30.001	30.001	30.002	30.001	0.00224	-0.00012	30.003	0.00050

ตัวอย่างการคำนวณ : การวัดค่าที่ความยาวระยะ 30 มิลเมตร และระยะเวลารอที่ 60 นาที

<u>ส่วนที่ 1</u> ระยะเวลารอ (Time) : ระบุระยะเวลารอที่ทำการวัดค่า โดยในการทดลองจากศึกษาค่าความยาวที่ระยะเวลารอ 60, 90 และ 120 นาที

<u>ส่วนที่ 2</u> อุณหภูมิ (Temperature) : บันทึกอุณหภูมิของชิ้นเกจบล็อก ขณะที่ทำการวัด

<u>ส่วนที่ 3</u> ค่าที่วัดได้ (Measuring) : ค่าที่อ่านได้จากหน้าปัดของดิจิทัลไดอัลเกจ

<u>ส่วนที่ 4</u> ค่าวัดเฉลี่ย (Mean) : การหาค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าซ้ำ 4 ซ้ำ ที่อ่านได้จากส่วนที่ 3 โดยแทนค่าลงในสมการที่ (3)

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

$$\overline{x} = \frac{1}{4} \times (30.001 + 30.001 + 30.001 + 30.002)$$

= 30.001 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ส่วนที่ 5</u> ค่าความยาวจากการขยายตัว (Thermal Expansion) : ค่าความยาวของเกจบล็อกมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อม โดยเกจบล็อกที่ใช้งานเป็นชนิดสแตนเลสสตีล มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) 11.5 × 10^{-6} °C^{-1} ตามที่ระบุไว้ใน ISO 3650 และค่าอุณหภูมิอ้างอิงอยู่ที่ 20°C ตามมาตรฐาน ISO 1 โดยแทนค่าลงในสมการที่ (18)

$$\Delta L = (T - 20) \times \alpha \times L$$

= (24.9 - 20) × (11.5 × 10^{-6}) × 30.00

= 0.002 มิลลิเมตร

<u>ส่วนที่ 6</u> ค่าความผิดพลาดของเกจบล็อก (Correct Value) : ผลต่างระหว่างค่าของเกจบล็อกที่ได้จากการสอบเทียบ กับค่าเกจบล็อกอ้างอิง ซึ่งจะอยู่ในใบรายงานผลการสอบเทียบเครื่องมือนั้นๆ

<u>ส่วนที่ 7</u> ค่าวัดจากการสอบเทียบ (Unit Under Calibration; UUC) : คือค่าความยาวเฉลี่ยที่รวมค่าความยาวจากการขยายตัว และค่าความผิดพลาดของเกจบล็อก

UUC = Mean + Correct Temp. + Correct Value

= 30.001 + 0.002 + (-0.00012)

= 30.003 มิลลิเมตร

<u>ส่วนที่ 8</u> ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) : เพื่อหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากค่าวัด 4 ซ้ำที่ได้จาก ส่วนที่ 3 เพื่อนำไปใช้คำนวณเป็นแหล่งความไม่แน่นอน Type A ต่อไป โดยแทนค่าลงในสมการที่ (6)

$$S_j(\overline{x}) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{(4-1)} \times (30.001 - 30.001)^2 \times (30.001 - 30.001)^2 \times (30.001 - 30.001)^2 \times (30.002 - 30.001)^2}$$

= 0.00050 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก.2. ตัวอย่างการคำนวณค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ

ใช้ผลการวัดค่าจากตารางที่ ก-1 จะได้ค่าความไม่แน่นอนตามตามรางที่ ก-2 การคำนวณจะแบ่งตามความไม่แน่นอนสามารถดูจากหัวข้อที่ ก.2.1 และ ก.2.2

ตารางที่ ก-2 แหล่งค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร ที่ระยะเวลารอ 60 นาที

Type	$u(x_n)$	Symbol	Source	Absolute (+/-) mm.	Probability Distribution	Devisor	Sensitive Coefficient	Uncertainty Contribution	Effective degree of freedom (v_{eff})
A	$u(x_1)$	σ_{rep}	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดซ้ำ	0.00050	Normal	$\sqrt{4}$	1	0.000250	3
B	$u(x_2)$	$I_{im\text{-}STD}$	ค่าความไม่แน่นอนจากใบรายงานผลของเครื่องมืออ้างอิงที่ผ่านการสอบเทียบ	0.00011	Normal	2	1	0.000055	∞
B	$u(x_3)$	$I_{spc\text{-}STD}$	ข้อกำหนด/ค่าความแม่นยำของเครื่องมืออ้างอิง	0.0004	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.000231	∞
B	$u(x_4)$	$I_{temp\text{-}tools}$	ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องมือวัดกับเครื่องมืออ้างอิง	0.000960	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.000554	∞
B	$u(x_5)$	$I_{temp\text{-}effect}$	ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องมืออ้างอิงกับอุณหภูมิอ้างอิง	0.001755	Rectangular	$\sqrt{3}$	1	0.001013	∞
B	$u(x_6)$	$\delta_{res\text{-}STD}$	ความละเอียดเครื่องมืออ้างอิง	0.00001	Rectangular	$2\sqrt{3}$	1	0.000003	∞
B	$u(x_7)$	$\delta_{res\text{-}UUC}$	ความละเอียดเครื่องมือวัด	0.001	Rectangular	$2\sqrt{3}$	1	0.000289	∞
Combined uncertainty					T-Distribution			0.001239	1809.866
Expanded uncertainty			ตัวประกอบครอบคลุม (Coverage Factor; k)	2.00				0.002478	

หมายเหตุ: รูปแบบการกระจายตัวข้อมูล (Probability Distribution) และตัวหาร (Devisor) มีการกำหนดไว้ในตารางที่ 3-10

ก.2.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดเอ (Type A)

(1) แหล่งความไม่แน่นอนจากการวัดซ้ำ; $\boldsymbol{\sigma_{rep}}$

ผลการวัดในการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจ ได้ทำการวัดเกจบล็อกที่ขนาดความยาวระบุ 30 มิลลิเมตร โดยทำการวัดจำนวน 4 ครั้ง ดังนั้นการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดซ้ำ ค่าของ $S(\overline{x})$ เป็นค่าประมาณของ σ เราจะใช้แทนค่าความไม่แน่นอนชนิดA โดยแทนค่าลงในสมการที่ (7)

$$u(x_1) = S(\overline{x}) = \frac{S_j(\overline{x})}{\sqrt{n}}$$

แทนค่า $= \frac{\mathbf{0.00050}}{\sqrt{4}}$

$= 0.00025$ มิลลิเมตร

ก.2.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดบี (Type B)

(1) แหล่งความไม่แน่นอนจากใบรายงานผลของเครื่องมืออ้างอิงที่ผ่านการสอบเทียบ; $l_{im\text{-}STD}$

ค่าความยาวของเกจบล็อกอ้างอิง จากใบรับรองการสอบเทียบมีค่าความยาวระบุ 5, 30 และ 50 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความเบี่ยงเบนของความยาวเท่ากับ 0.04, 012 และ 0.09 μm ตามลำดับ และมีค่าความไม่แน่นอนอยู่ที่ ± 0.09, 0.11 และ 0.13 μm. ที่ระดับความเชื่อมัน 95 % กำหนดให้มีลักษณะของการกระจายตัวของค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลเป็นแบบปกติ (Normal Distribution) มีค่าตัวประกอบร่วม k= 2 ตามรูปที่ ก-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก-3 ค่าวัด และค่าความไม่แน่นอน จากใบรายงานผลการสอบเทียบเกจบล็อกที่ใช้งาน

Item	Nominal Size (mm)	Deviation of central length from nominal size (μm)	Uncertainty (±μm)
1	5	**0.04**	**0.09**
2	30	0.12	0.11
3	50	0.09	0.13

การคำนวณในตารางที่ ก-1 จะใช้ความยาวของเกจบล็อกคือ 30 มิลลิเมตร ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากความยาวของเกจบล็อกอ้างอิงสามารถคำนวณได้โดยแทนค่าลงในสมการที่ (11)

$$u(x_2) = l_{im\text{-}STD} = \frac{Uncertainty}{2}$$

แทนค่า $= \frac{\mathbf{0.00011}}{\mathbf{2}}$

$= 0.000055$ มิลลิเมตร

(2) แหล่งความไม่แน่นอนจากข้อกำหนด/ค่าความแม่นยำของเครื่องมืออ้างอิง; $l_{spc\text{-}STD}$

สามารถดูได้จาก ตารางที่ 2-1 ค่ามาตรฐานของเกจบล็อกในแต่ละระดับตามมาตรฐาน ISO 3650 โดยเกรดเกจบล็อกที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้คือ เกรด 1 ในตัวอย่างการคำนวณจะใช้เกจบล็อกขนาด 30 มิลลิเมตร โดยแทนค่าลงในสมการที่ (9)

$u(x_3) = l_{spc\text{-}STD} = \frac{Specification}{\sqrt{3}}$

แทนค่า $= \frac{\mathbf{0.0004}}{\sqrt{3}}$

$= 0.000231$ มิลลิเมตร

(3) แหล่งความไม่แน่นอนจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องมือวัดกับเครื่องมืออ้างอิง; $l_{temp\text{-}tools}$

โดยกำหนดสัมประสิทธิ์การขยายตัวเกจบล็อก ชนิดสแตนเลสสตีล มีค่าเท่ากับ 0.0000115 $°C^{-1}$ ตามมาตรฐาน ISO 3650 ระบุไว้ ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างเกจบล็อก กับดิจิทัลไดอัล เกจที่บริษัทกรณีศึกษายอมรับได้ มีค่าเท่ากับ 2 ^{o}C จากตัวอย่างการคำนวณ กำหนดใช้เกจบล็อกที่ขนาด 30 มิลลิเมตร โดยแทนค่าลงในสมการที่ (17) และ (9)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การขยายตัวของเกจบล็อก = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเกจบล็อก × ความแตกต่างของอุณหภูมิเครื่องมือที่ยอมรับได้ × ขนาดของเกจบล็อก

แทนค่า = 0.0000115 × 2 ×30 มิลลิเมตร

= 0.000960 มิลลิเมตร

เมื่อนำไปคำนวณหาค่าความไม่แน่นอน

$u(x_4) = l_{temp\text{-}tools} = \frac{\text{การขยายตัวของเกจบล็อก}}{\sqrt{3}}$

แทนค่า $= \frac{\mathbf{0.000960}}{\sqrt{3}}$

$= 0.000554$ มิลลิเมตร

(4) ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเครื่องมือกับอุณหภูมิอ้างอิง; $l_{temp\text{-}effect}$

โดยกำหนดแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเครื่องมือ มีค่าเท่ากับ 9.00×10^{-6} °C^{-1} ความแตกต่างแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเครื่องมือ กับอุณหภูมิอ้างอิง มีค่าเท่ากับ 20 ^{o}C ตาม ISO 1 จากตัวอย่างการคำนวณ กำหนดใช้เกจบล็อกที่ขนาด 30 มิลลิเมตร วัดขณะอุณหภูมิ 26.5 ^{o}C โดยแทนค่าลงในสมการที่ (18) และ (9)

การขยายตัวของเครื่องมือ = ความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเครื่องมือ × ความแตกต่างของอุณหภูมิเครื่องมือกับอุณหภูมิอ้างอิง × ขนาดของเกจบล็อก

แทนค่า = 0.000009 × (26.5 - 20) × 30

= 0.001755 มิลลิเมตร

เมื่อนำไปคำนวณหาค่าความไม่แน่นอน

$$u(x_5) = l_{temp\text{-}effect} = \frac{\text{การขยายตัวของเครื่องมือ}}{\sqrt{3}}$$

แทนค่า $= \frac{\mathbf{0.001755}}{\sqrt{3}}$

= 0.001013 มิลลิเมตร

(5) แหล่งความไม่แน่นอนจากค่าความละเอียดเครื่องมืออ้างอิง; $\delta_{res\text{-}STD}$

สามารถประเมินได้จากผู้ผลิต หรือกรณีที่ประเมินจากค่าความละเอียดของเครื่องมือวัดแบบดิจิทัล โดยเครื่องมืออ้างอิงในการทดลองนี้ คือ เกจบล็อก โดยกำหนดมีค่าความละเอียด 0.00001 มิลลิเมตร โดยแทนค่าลงในสมการที่ (10)

$$u(x_6) = \delta_{res\text{-}STD} = \frac{\mathbf{Resolution}}{2\sqrt{3}}$$

แทนค่า $= \frac{\mathbf{0.00001}}{2\sqrt{3}}$

= 0.000003 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(6) แหล่งความไม่แน่นอนจากค่าความละเอียดเครื่องมือวัด; $\delta_{\text{res-UUC}}$

สามารถประเมินได้จากผู้ผลิต หรือกรณีที่ประเมินจากค่าความละเอียดของเครื่องมือวัดแบบดิจิทัล โดยเครื่องมือวัดในการทดลองนี้ คือ ดิจิทัลไดอัลเกจ มีค่าทศนิยมความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร สังเกตได้จากหน้าปัดที่แสดงค่าวัด โดยแทนค่าลงในสมการที่ (10)

$$u(x_7) = \delta_{res\text{-}UUC} = \frac{\text{Resolution}}{2\sqrt{3}}$$

$$= \frac{0.001}{2\sqrt{3}}$$

= 0.000289 มิลลิเมตร

ก.2.3 ค่าความไม่แน่นอนรวม (Uncertainty Combine)

เป็นการนำค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดเอ และบี มารวมกัน ในกรณีนี้ตัวแปรอยู่ในหน่วยเดียวกันแล้ว ค่าของ c_i จะมีค่าเท่ากับ 1 และได้สมการความไม่แน่นอนรวมเป็น โดยแทนค่าลงในสมการที่ (13)

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} u^2(x_i)}$$

$$= \sqrt{\begin{matrix}0.000250^2 + 0.000055^2 + 0.000231^2 + 0.000554^2 + 0.001013^2 \\ +0.000003^2 + 0.000289^2\end{matrix}}$$

= 0.001239 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.2.4 ค่าองศาแห่งความอิสระ (Degree of freedom; ν_{eff})

ค่าองศาแห่งความอิสระ จะมีค่าเท่ากับค่าอนันต์ (Infinity; ∞) แต่ถ้าค่าองศาแห่งความอิสระไม่เท่ากับค่าอนันต์เราจำเป็นต้องตรวจสอบค่าตัวประกอบครอบคลุมจากสมการของ Welch-Satterthwaite โดยแทนค่าลงในสมการที่ (16) ได้ดังนี้

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{c_i^4 u_i^4(x_i)}{\nu_i}}$$

$$= \frac{0.001239^4}{\frac{0.00025^4}{3}+\frac{0.000055^4}{\infty}+\frac{0.000231^4}{\infty}+\frac{0.0000554^4}{\infty}+\frac{0.001060^4}{\infty}+\frac{0.000003^4}{\infty}+\frac{0.000289^4}{\infty}}$$

= 1809.866

เมื่อได้ค่า ν_{eff} แล้วจึงนำไปเทียบกับตาราง T-Distribution จะได้ค่า k = 2.00

ก.2.5 ค่าความไม่แน่นอนส่วนขยาย (Expanded Uncertainty; U)

ปริมาณที่กำหนดช่วงที่มีการกระจายของผลการวัดอยู่ภายใน ค่าเหล่านี้แสดงลักษณะของสิ่งที่วัดและคาดหวังว่าจะได้อยู่ในช่วงที่กำหนดด้วยระดับความเชื่อมั่นสูง โดยแทนค่าลงในสมการที่ (14)

$$U = ku_c(y)$$

= 2.00 × 0.001239

= 0.002478 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก.3. ค่าวัดเฉลี่ย

ก.4. ตัวอย่างการคำนวณค่า E_n $Ratio$ จากการสอบเทียบ

ตารางที่ ก-4 ค่าวัด และค่าความไม่แน่นอน ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

แหล่งข้อมูล	ค่าวัด	ค่าความไม่แน่นอน
ค่าจากทดลอง	5.002	0.0022
ค่าอ้างอิง	5.00002	0.0019

หมายเหตุ: ค่าอ้างอิง คือ ค่าที่มาจากการส่งเครื่องมือวัดไปสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการภายนอก โดยค่าอ้างอิงจะอยู่ในใบรายงานผลการสอบเทียบ

การหาค่า E_n $Ratio$ จากตารางที่ ก-2 นำมาแทนค่าในสมการ (21)

$$E_n \text{ ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร } = \frac{X_{LAB}-X_{REF}}{\sqrt{U_{LAB}^2+U_{REF}^2}}$$

$$\text{แทนค่า } = \frac{5.002-5.0002}{\sqrt{0.0022^2+0.0019^2}} = 0.703$$

ถ้าค่าที่ได้อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 แสดงว่าวิธีการที่ใช้ในการทดลอง มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการภายนอก จึงยอมรับวิธีการ หรือผลการทดลองในครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.5. การวิเคราะห์สมการถดถอยพหูคูณของค่าวัด

ก.5.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัดที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

Backward Elimination of Terms

Candidate terms: Time, Temp, Tool, Time*Temp, Time*Tool, Temp*Tool, Time*Temp*Tool

	-------Step 1-------		-------Step 2-------		-------Step 3-------	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	5.00226		5.00226		5.00225	
Time	-0.000052	0.887	-0.000029	0.907	0.000001	0.992
Temp	0.000131	0.631	0.000128	0.632	0.000124	0.640
Tool	-0.001586	0.015	-0.001643	0.005	-0.001632	0.004
Time*Temp	-0.000043	0.876	-0.000025	0.888		
Time*Tool	-0.000282	0.817	-0.000316	0.658	-0.000369	0.131
Temp*Tool	-0.000322	0.681	-0.000319	0.675	-0.000314	0.678
Time*Temp*Tool	0.000267	0.943				
S		0.0006830		0.0006749		0.0006708
R-sq		50.62%		50.54%		50.53%
R-sq(adj)		43.65%		44.98%		45.64%
R-sq(pred)		34.17%		36.52%		38.52%
Mallows' Cp		12.00		8.12		6.14

	-------Step 4-------		-------Step 5-------		-------Step 6-------	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	5.00205		5.00210		5.00210	
Time	-0.000000	0.997	-0.000000	1.000	-0.000156	0.030
Temp	-0.000040	0.821				
Tool	-0.001385	0.000	-0.001447	0.000	-0.001447	0.000
Time*Temp						
Time*Tool	-0.000336	0.166	-0.000328	0.165		
Temp*Tool						
Time*Temp*Tool						
S		0.0006659		0.0006621		0.0006685
R-sq		50.05%		50.02%		47.83%
R-sq(adj)		46.44%		47.04%		46.01%
R-sq(pred)		40.15%		42.05%		42.68%
Mallows' Cp		2.89		0.94		0.40

α to remove = 0.1
If a term has more than one coefficient, the largest in magnitude is shown.

รูปที่ ก-1 การตัดทิ้งแบบถอยหลัง ที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	0.000035	0.000012	26.28	0.000
Time	1	0.000002	0.000002	4.85	0.030
Tool	2	0.000033	0.000017	37.00	0.000
Error	86	0.000038	0.000000		
Lack-of-Fit	51	0.000024	0.000000	1.11	0.373
Pure Error	35	0.000015	0.000000		
Total	89	0.000074			

รูปที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัดหลังลดรูปแบบที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0006685	47.83%	46.01%	42.68%

รูปที่ ก-3 ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์หลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5.00210	0.00012	40982.35	0.000	
Time	-0.000156	0.000071	-2.20	0.030	1.00
Tool					
2	-0.001447	0.000173	-8.38	0.000	1.33
3	-0.000433	0.000173	-2.51	0.014	1.33

รูปที่ ก-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

Regression Equation in Uncoded Units

Tool			
1	UUC_5	=	5.00267 - 0.000006 Time
2	UUC_5	=	5.00122 - 0.000006 Time
3	UUC_5	=	5.00224 - 0.000006 Time

รูปที่ ก-5 สมการถดถอยหลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

ก.5.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าวัดที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

Backward Elimination of Terms

Candidate terms: Time, Temp, Tool, Time*Temp, Time*Tool, Temp*Tool, Time*Temp*Tool

	-------Step 1-------		-------Step 2-------		-------Step 3-------	
	Coef	P	Coef	P	Coef	P
Constant	30.0020		30.0020		30.0019	
Time	-0.000341	0.334	-0.000163	0.498	-0.000153	0.519
Temp	0.000566	0.035	0.000540	0.040	0.000444	0.011
Tool	-0.000548	0.071	-0.000573	0.037	0.000576	0.000
Time*Temp	-0.000249	0.357	-0.000104	0.541	-0.000095	0.570
Time*Tool	0.000181	0.919	0.000087	0.843	-0.000077	0.798
Temp*Tool	-0.000213	0.833	-0.000188	0.858		
Time*Temp*Tool	0.000369	0.771				
S		0.0006609		0.0006547		0.0006479
R-sq		59.19%		58.92%		58.76%
R-sq(adj)		53.44%		54.30%		55.24%
R-sq(pred)		43.53%		45.81%		48.44%
Mallows' Cp		12.00		8.52		4.82

	-------Step 4-------		-------Step 5-------	
	Coef	P	Coef	P
Constant	30.0019		30.0019	
Time	-0.000164	0.025	-0.000160	0.030
Temp	0.000441	0.010	0.000487	0.004
Tool	0.000577	0.000	0.000503	0.000
Time*Temp	-0.000114	0.102		
Time*Tool				
Temp*Tool				
Time*Temp*Tool				
S		0.0006419		0.0006485
R-sq		58.54%		57.18%
R-sq(adj)		56.07%		55.17%
R-sq(pred)		50.83%		51.05%
Mallows' Cp		1.26		1.84

α to remove = 0.1
If a term has more than one coefficient, the largest in magnitude is shown.

รูปที่ ก-6 การตัดทิ้งแบบถอยหลัง ที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	0.000048	0.000012	28.38	0.000
Time	1	0.000002	0.000002	4.86	0.030
Temp	1	0.000004	0.000004	8.53	0.004
Tool	2	0.000013	0.000006	15.18	0.000
Error	85	0.000036	0.000000		
Lack-of-Fit	50	0.000016	0.000000	0.60	0.953
Pure Error	35	0.000019	0.000001		
Total	89	0.000083			

รูปที่ ก-7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าวัดหลังลดรูปแบบที่ระยะ 30 มิลลิเมตร

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	30.0019	0.0002	127280.00	0.000	
Time	-0.000160	0.000072	-2.21	0.030	1.11
Temp	0.000487	0.000167	2.92	0.004	5.87
Tool					
2	-0.000452	0.000308	-1.47	0.146	4.52
3	0.000503	0.000390	1.29	0.201	7.25

รูปที่ ก-8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดกับตัวแปรศึกษาหลังลดรูปแบบที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0006485	57.18%	55.17%	51.05%

รูปที่ ก-9 ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์หลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 30 มิลลิเมตร

Regression Equation in Uncoded Units

Tool			
1	UUC_30	=	29.9956 - 0.000006 Time + 0.000294 Temp
2	UUC_30	=	29.9951 - 0.000006 Time + 0.000294 Temp
3	UUC_30	=	29.9961 - 0.000006 Time + 0.000294 Temp

รูปที่ ก-10 สมการถดถอยหลังลดรูปแบบของค่าวัดที่ระยะ 30 มิลลิเมตร

ก.6. การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าความไม่แน่นอนในการวัด

ก.6.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	11	0.000002	0.000000	61.14	0.000
Time	1	0.000000	0.000000	0.08	0.775
Temp	1	0.000000	0.000000	0.02	0.876
Tool	2	0.000000	0.000000	35.45	0.000
Time*Temp	1	0.000000	0.000000	0.35	0.554
Time*Tool	2	0.000000	0.000000	0.81	0.449
Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	0.80	0.454
Time*Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	1.78	0.175
Error	78	0.000000	0.000000		
Lack-of-Fit	43	0.000000	0.000000	0.72	0.845
Pure Error	35	0.000000	0.000000		
Total	89	0.000003			

รูปที่ ก-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความไม่แน่นอนเต็มรูปแบบที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.000666	0.000031	21.29	0.000	
Time	0.000009	0.000032	0.29	0.775	25.07
Temp	-0.000004	0.000024	-0.16	0.876	14.14
Tool					
2	-0.000303	0.000048	-6.33	0.000	12.68
3	0.000053	0.000039	1.38	0.172	8.30
Time*Temp	0.000015	0.000024	0.59	0.554	14.86
Time*Tool					
2	-0.000009	0.000046	-0.20	0.845	17.01
3	0.000036	0.000039	0.92	0.359	12.71
Temp*Tool					
2	0.000050	0.000096	0.52	0.603	9.62
3	0.000040	0.000033	1.23	0.224	7.24
Time*Temp*Tool					
2	-0.000017	0.000070	-0.24	0.809	6.87
3	-0.000060	0.000032	-1.87	0.065	10.07

รูปที่ ก-12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาเต็มรูปแบบที่ความยาวระยะ 5 มิลลิเมตร

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0000601	89.61%	88.14%	86.13%

รูปที่ ก-13 ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์เต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

Regression Equation in Uncoded Units

Tool			
1	Uncertainty_5	=	0.00144 - 0.000008 Time - 0.000034 Temp + 0.000000 Time*Temp
2	Uncertainty_5	=	-0.00043 + 0.000001 Time + 0.000034 Temp - 0.000000 Time*Temp
3	Uncertainty_5	=	-0.00234 + 0.000028 Time + 0.000123 Temp - 0.000001 Time*Temp

รูปที่ ก-14 สมการถดถอยเต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 5 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.6.2 การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณของค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	11	0.000008	0.000001	348.52	0.000
Time	1	0.000000	0.000000	2.08	0.153
Temp	1	0.000000	0.000000	107.81	0.000
Tool	2	0.000000	0.000000	11.10	0.000
Time*Temp	1	0.000000	0.000000	3.96	0.050
Time*Tool	2	0.000000	0.000000	0.02	0.975
Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	36.77	0.000
Time*Temp*Tool	2	0.000000	0.000000	4.28	0.017
Error	78	0.000000	0.000000		
Lack-of-Fit	43	0.000000	0.000000	1.45	0.130
Pure Error	35	0.000000	0.000000		
Total	89	0.000008			

รูปที่ ก-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความไม่แน่นอนเต็มรูปแบบที่ระยะ 30 มิลลิเมตร

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	0.001690	0.000024	70.72	0.000	
Time	0.000035	0.000024	1.44	0.153	25.07
Temp	0.000190	0.000018	10.38	0.000	14.14
Tool					
2	-0.000105	0.000037	-2.88	0.005	12.68
3	0.000049	0.000030	1.65	0.104	8.30
Time*Temp	0.000037	0.000019	1.99	0.050	14.86
Time*Tool					
2	-0.000004	0.000035	-0.13	0.900	17.01
3	-0.000007	0.000030	-0.22	0.824	12.71
Temp*Tool					
2	0.000294	0.000073	4.01	0.000	9.62
3	0.000203	0.000025	8.19	0.000	7.24
Time*Temp*Tool					
2	-0.000086	0.000054	-1.61	0.112	6.87
3	-0.000069	0.000025	-2.78	0.007	10.07

รูปที่ ก-16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอนกับตัวแปรศึกษาเต็มรูปแบบที่ความยาวระยะ 30 มิลลิเมตร

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0000459	98.01%	97.72%	97.10%

รูปที่ ก-17 ความเหมาะสมของตัวแบบคณิตศาสตร์เต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 30 มิลลิเมตร

Regression Equation in Uncoded Units

Tool			
1	Uncertainty_30	=	0.000788 - 0.000020 Time + 0.000033 Temp + 0.000001 Time*Temp
2	Uncertainty_30	=	-0.00796 + 0.000030 Time + 0.000402 Temp - 0.000001 Time*Temp
3	Uncertainty_30	=	-0.005589 + 0.000019 Time + 0.000308 Temp - 0.000001 Time*Temp

รูปที่ ก-18 สมการถดถอยเต็มรูปแบบของค่าความไม่แน่นอนที่ระยะ 30 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบจากการทดลอง

ข.1. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1

ข.2. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 2

ข.3. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.1. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 1

ตารางที่ ข-1 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 5 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่1

Time (Min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	21.0	5.002	5.001	5.002	5.002	5.002	0.00006	-0.00004	5.002	0.00050
	22.3	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00013	-0.00004	5.003	0.00000
	22.8	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00016	-0.00004	5.003	0.00000
	22.2	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00013	-0.00004	5.003	0.00000
	21.0	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00006	-0.00004	5.003	0.00000
	21.0	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00006	-0.00004	5.003	0.00000
	21.0	5.003	5.003	5.003	5.003	5.003	0.00006	-0.00004	5.004	0.00000
	21.1	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00006	-0.00004	5.003	0.00000
	21.5	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00009	-0.00004	5.003	0.00000
	23.2	5.001	5.001	5.001	5.001	5.001	0.00018	-0.00004	5.002	0.00000
90	21.2	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00007	-0.00004	5.003	0.00000
	22.5	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00014	-0.00004	5.003	0.00000
	22.5	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00014	-0.00004	5.003	0.00000
	22.8	5.001	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00016	-0.00004	5.002	0.00050
	21.2	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00007	-0.00004	5.003	0.00000
	21.2	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00007	-0.00004	5.003	0.00000
	20.5	5.003	5.003	5.003	5.003	5.003	0.00003	-0.00004	5.003	0.00000
	20.7	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00004	-0.00004	5.003	0.00000
	21.4	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00008	-0.00004	5.003	0.00000
	22.8	5.001	5.001	5.001	5.001	5.001	0.00016	-0.00004	5.002	0.00000
120	21.1	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00006	-0.00004	5.003	0.00000
	22.5	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00014	-0.00004	5.003	0.00000
	22.6	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00015	-0.00004	5.003	0.00000
	22.6	5.001	5.002	5.002	5.001	5.002	0.00015	-0.00004	5.002	0.00058
	21.1	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00006	-0.00004	5.003	0.00000
	21.1	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00006	-0.00004	5.003	0.00000
	20.6	5.003	5.003	5.003	5.003	5.003	0.00003	-0.00004	5.003	0.00000
	20.5	5.001	5.001	5.001	5.001	5.001	0.00003	-0.00004	5.001	0.00000
	21.2	5.001	5.001	5.001	5.001	5.001	0.00007	-0.00004	5.002	0.00000
	22.8	5.001	5.001	5.001	5.001	5.001	0.00016	-0.00004	5.002	0.00000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข-2 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 30 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่1

Time (min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	21.0	30.001	30.000	30.001	30.001	30.001	0.00035	-0.00012	30.001	0.00050
	22.3	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00079	-0.00012	30.002	0.00000
	22.8	30.001	30.000	30.001	30.001	30.001	0.00097	-0.00012	30.002	0.00050
	22.2	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00076	-0.00012	30.002	0.00000
	21.0	30.001	30.000	30.001	30.001	30.001	0.00035	-0.00012	30.001	0.00050
	21.0	30.001	30.000	30.001	30.001	30.001	0.00035	-0.00012	30.001	0.00050
	21.0	30.002	30.002	30.001	30.002	30.002	0.00035	-0.00012	30.002	0.00050
	21.1	30.002	30.002	30.001	30.002	30.002	0.00038	-0.00012	30.003	0.00050
	21.5	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00052	-0.00012	30.002	0.00000
	23.2	30.000	30.000	30.001	30.000	30.000	0.00110	-0.00012	30.002	0.00050
90	21.2	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00041	-0.00012	30.002	0.00000
	22.5	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00086	-0.00012	30.002	0.00000
	22.5	30.001	30.000	30.001	30.001	30.001	0.00086	-0.00012	30.002	0.00050
	22.8	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00097	-0.00012	30.002	0.00000
	21.2	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00041	-0.00012	30.002	0.00000
	21.2	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00041	-0.00012	30.002	0.00000
	20.5	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00017	-0.00012	30.003	0.00000
	20.7	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00024	-0.00012	30.003	0.00000
	21.4	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00048	-0.00012	30.002	0.00000
	22.8	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	0.00097	-0.00012	30.001	0.00000
120	21.1	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00038	-0.00012	30.002	0.00000
	22.5	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00086	-0.00012	30.002	0.00000
	22.6	30.001	30.000	30.001	30.001	30.001	0.00090	-0.00012	30.002	0.00050
	22.6	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00090	-0.00012	30.002	0.00000
	21.1	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00038	-0.00012	30.002	0.00000
	21.1	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00038	-0.00012	30.002	0.00000
	20.6	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00021	-0.00012	30.003	0.00000
	20.5	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00017	-0.00012	30.003	0.00000
	21.2	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00041	-0.00012	30.002	0.00000
	22.8	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	0.00097	-0.00012	30.001	0.00000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข-3 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 50 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่1

Time (min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	21.0	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00058	-0.00009	50.001	0.00000
	22.3	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00132	-0.00009	50.002	0.00000
	22.8	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00161	-0.00009	50.002	0.00000
	22.2	50.001	50.000	50.001	50.001	50.001	0.00127	-0.00009	50.002	0.00050
	21.0	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00058	-0.00009	50.001	0.00000
	21.0	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00058	-0.00009	50.001	0.00000
	21.0	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00058	-0.00009	50.003	0.00000
	21.1	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00063	-0.00009	50.003	0.00000
	21.5	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00086	-0.00009	50.001	0.00000
	23.2	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00184	-0.00009	50.002	0.00000
90	21.2	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00069	-0.00009	50.001	0.00000
	22.5	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00144	-0.00009	50.002	0.00000
	22.5	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00144	-0.00009	50.002	0.00000
	22.8	50.001	50.000	50.001	50.001	50.001	0.00161	-0.00009	50.003	0.00050
	21.2	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00069	-0.00009	50.001	0.00000
	21.2	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00069	-0.00009	50.001	0.00000
	20.5	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00029	-0.00009	50.003	0.00000
	20.7	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00040	-0.00009	50.003	0.00000
	21.4	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00080	-0.00009	50.001	0.00000
	22.8	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00161	-0.00009	50.002	0.00000
120	21.1	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00063	-0.00009	50.001	0.00000
	22.5	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00144	-0.00009	50.002	0.00000
	22.6	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00150	-0.00009	50.002	0.00000
	22.6	50.001	50.001	50.001	50.001	50.001	0.00150	-0.00009	50.003	0.00000
	21.1	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00063	-0.00009	50.001	0.00000
	21.1	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00063	-0.00009	50.001	0.00000
	20.6	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00035	-0.00009	50.003	0.00000
	20.5	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00029	-0.00009	50.003	0.00000
	21.2	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00069	-0.00009	50.001	0.00000
	22.8	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	0.00161	-0.00009	50.002	0.00000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข.2. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 2

ตารางที่ ข-4 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 5 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่2

Time (Min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	24.3	5.0011	5.0011	5.0011	5.0011	5.0011	0.00025	-0.00004	5.0014	0.000000
	24.3	5.0011	5.0011	5.0011	5.0011	5.0011	0.00025	-0.00004	5.0014	0.000000
	24.5	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00026	-0.00004	5.0008	0.000000
	24.5	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00026	-0.00004	5.0008	0.000000
	24.5	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00026	-0.00004	5.0008	0.000000
	24.3	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00025	-0.00004	5.0008	0.000000
	24.5	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00026	-0.00004	5.0008	0.000000
	24.4	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00025	-0.00004	5.0008	0.000000
	24.5	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00026	-0.00004	5.0008	0.000000
	24.6	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00026	-0.00004	5.0008	0.000000
90	23.6	5.0003	5.0003	5.0002	5.0003	5.0003	0.00021	-0.00004	5.0005	0.000050
	23.5	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00020	-0.00004	5.0005	0.000000
	24.1	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00024	-0.00004	5.0007	0.000000
	24.3	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00025	-0.00004	5.0008	0.000000
	24.1	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00024	-0.00004	5.0007	0.000000
	23.9	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00022	-0.00004	5.0007	0.000000
	24.1	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00024	-0.00004	5.0007	0.000000
	23.9	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00022	-0.00004	5.0007	0.000000
	24.1	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00024	-0.00004	5.0007	0.000000
	24.3	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	5.0005	0.00025	-0.00004	5.0008	0.000000
120	23.3	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00019	-0.00004	5.0005	0.000000
	23.3	5.0003	5.0003	5.0003	5.0004	5.0003	0.00019	-0.00004	5.0005	0.000050
	23.8	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00022	-0.00004	5.0005	0.000000
	23.8	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00022	-0.00004	5.0005	0.000000
	23.8	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00022	-0.00004	5.0005	0.000000
	23.5	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00020	-0.00004	5.0005	0.000000
	23.8	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00022	-0.00004	5.0005	0.000000
	23.7	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00021	-0.00004	5.0005	0.000000
	23.8	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00022	-0.00004	5.0005	0.000000
	23.6	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	5.0003	0.00021	-0.00004	5.0005	0.000000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข-5 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 30 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่2

Time (min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	24.3	30.0006	30.0006	30.0006	30.0006	30.0006	0.00148	-0.00012	30.0020	0.000000
	24.3	30.0006	30.0006	30.0006	30.0006	30.0006	0.00148	-0.00012	30.0020	0.000000
	24.5	30.0005	30.0005	30.0004	30.0004	30.0005	0.00155	-0.00012	30.0019	0.000058
	24.5	30.0005	30.0005	30.0004	30.0004	30.0005	0.00155	-0.00012	30.0019	0.000058
	24.5	30.0005	30.0005	30.0004	30.0004	30.0005	0.00155	-0.00012	30.0019	0.000058
	24.3	30.0005	30.0005	30.0004	30.0004	30.0005	0.00148	-0.00012	30.0019	0.000058
	24.5	30.0005	30.0005	30.0004	30.0004	30.0005	0.00155	-0.00012	30.0019	0.000058
	24.4	30.0005	30.0005	30.0004	30.0004	30.0005	0.00152	-0.00012	30.0019	0.000058
	24.5	30.0005	30.0005	30.0004	30.0004	30.0005	0.00155	-0.00012	30.0019	0.000058
	24.6	30.0004	30.0005	30.0004	30.0004	30.0004	0.00159	-0.00012	30.0019	0.000050
90	23.6	30.0003	30.0004	30.0003	30.0003	30.0003	0.00124	-0.00012	30.0015	0.000050
	23.5	30.0003	30.0004	30.0003	30.0003	30.0003	0.00121	-0.00012	30.0015	0.000050
	24.1	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	0.00141	-0.00012	30.0017	0.000000
	24.3	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	0.00148	-0.00012	30.0018	0.000000
	24.1	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	0.00141	-0.00012	30.0017	0.000000
	23.9	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	0.00135	-0.00012	30.0017	0.000000
	24.1	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	0.00141	-0.00012	30.0017	0.000000
	23.9	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	0.00135	-0.00012	30.0017	0.000000
	24.1	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	0.00141	-0.00012	30.0017	0.000000
	24.3	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	30.0004	0.00148	-0.00012	30.0018	0.000000
120	23.3	30.0002	30.0002	30.0003	30.0003	30.0003	0.00114	-0.00012	30.0013	0.000058
	23.3	30.0002	30.0002	30.0002	30.0003	30.0002	0.00114	-0.00012	30.0013	0.000050
	23.8	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	0.00131	-0.00012	30.0014	0.000000
	23.8	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	0.00131	-0.00012	30.0014	0.000000
	23.8	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	0.00131	-0.00012	30.0014	0.000000
	23.5	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	0.00121	-0.00012	30.0013	0.000000
	23.8	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	0.00131	-0.00012	30.0014	0.000000
	23.7	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	0.00128	-0.00012	30.0014	0.000000
	23.8	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	0.00131	-0.00012	30.0014	0.000000
	23.6	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	30.0002	0.00124	-0.00012	30.0014	0.000000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข-6 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 50 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่2

Time (min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	24.3	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00247	-0.00009	50.0029	0.000000
	24.3	50.0004	50.0004	50.0003	50.0004	50.0004	0.00247	-0.00009	50.0028	0.000050
	24.5	50.0004	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00259	-0.00009	50.0030	0.000050
	24.5	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00259	-0.00009	50.0030	0.000000
	24.5	50.0004	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00259	-0.00009	50.0030	0.000050
	24.3	50.0004	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00247	-0.00009	50.0029	0.000050
	24.5	50.0004	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00259	-0.00009	50.0030	0.000050
	24.4	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00253	-0.00009	50.0030	0.000000
	24.5	50.0004	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00259	-0.00009	50.0030	0.000050
	24.6	50.0004	50.0005	50.0005	50.0005	50.0005	0.00265	-0.00009	50.0031	0.000050
90	23.6	50.0002	50.0001	50.0002	50.0002	50.0002	0.00207	-0.00009	50.0022	0.000050
	23.5	50.0002	50.0001	50.0002	50.0002	50.0002	0.00201	-0.00009	50.0021	0.000050
	24.1	50.0002	50.0002	50.0001	50.0001	50.0002	0.00236	-0.00009	50.0025	0.000058
	24.3	50.0002	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00247	-0.00009	50.0026	0.000050
	24.1	50.0002	50.0002	50.0001	50.0001	50.0002	0.00236	-0.00009	50.0025	0.000058
	23.9	50.0002	50.0002	50.0001	50.0001	50.0002	0.00224	-0.00009	50.0024	0.000058
	24.1	50.0002	50.0002	50.0001	50.0001	50.0002	0.00236	-0.00009	50.0025	0.000058
	23.9	50.0001	50.0002	50.0001	50.0001	50.0001	0.00224	-0.00009	50.0023	0.000050
	24.1	50.0002	50.0002	50.0001	50.0001	50.0002	0.00236	-0.00009	50.0025	0.000058
	24.3	50.0002	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00247	-0.00009	50.0026	0.000050
120	23.3	50.0000	50.0000	49.9999	49.9999	50.0000	0.00190	-0.00009	50.0018	0.000058
	23.3	50.0000	50.0000	49.9999	49.9999	50.0000	0.00190	-0.00009	50.0018	0.000058
	23.8	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00219	-0.00009	50.0022	0.000000
	23.8	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00219	-0.00009	50.0022	0.000000
	23.8	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00219	-0.00009	50.0022	0.000000
	23.5	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00201	-0.00009	50.0021	0.000000
	23.8	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00219	-0.00009	50.0022	0.000000
	23.7	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00213	-0.00009	50.0022	0.000000
	23.8	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00219	-0.00009	50.0022	0.000000
	23.6	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	50.0001	0.00207	-0.00009	50.0021	0.000000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข.3. ผลการวัดด้วยเครื่องมือวัดชุดที่ 3

ตารางที่ ข-7 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 5 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่3

Time (Min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	26.5	5.004	5.003	5.003	5.003	5.003	0.00037	-0.00004	5.004	0.00050
	25.4	5.003	5.003	5.003	5.003	5.003	0.00031	-0.00004	5.004	0.00000
	26.2	5.002	5.003	5.002	5.002	5.002	0.00036	-0.00004	5.003	0.00050
	26.4	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00037	-0.00004	5.003	0.00000
	26.1	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00035	-0.00004	5.003	0.00000
	25.4	5.003	5.003	5.002	5.002	5.003	0.00031	-0.00004	5.003	0.00058
	24.3	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00025	-0.00004	5.003	0.00000
	24.5	5.003	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00026	-0.00004	5.003	0.00050
	26.2	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00036	-0.00004	5.003	0.00000
	26.1	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00035	-0.00004	5.003	0.00000
90	24.6	5.002	5.002	5.002	5.003	5.002	0.00026	-0.00004	5.003	0.00050
	24.9	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00028	-0.00004	5.003	0.00000
	25.7	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00033	-0.00004	5.003	0.00000
	25.7	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00033	-0.00004	5.003	0.00000
	25.8	5.002	5.002	5.002	5.001	5.002	0.00033	-0.00004	5.003	0.00050
	24.8	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00028	-0.00004	5.003	0.00000
	23.5	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00020	-0.00004	5.003	0.00000
	24.1	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00024	-0.00004	5.003	0.00000
	25.7	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00033	-0.00004	5.003	0.00000
	25.2	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00030	-0.00004	5.003	0.00000
120	24.8	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00028	-0.00004	5.003	0.00000
	25.0	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00029	-0.00004	5.003	0.00000
	25.6	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00032	-0.00004	5.003	0.00000
	25.5	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00032	-0.00004	5.003	0.00000
	25.4	5.002	5.002	5.001	5.001	5.002	0.00031	-0.00004	5.002	0.00058
	24.6	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00026	-0.00004	5.003	0.00000
	23.3	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00019	-0.00004	5.003	0.00000
	23.8	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00022	-0.00004	5.003	0.00000
	25.6	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00032	-0.00004	5.003	0.00000
	24.6	5.002	5.002	5.002	5.002	5.002	0.00026	-0.00004	5.003	0.00000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข-8 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 30 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่3

Time (min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	26.5	30.001	30.001	30.001	30.002	30.001	0.00224	-0.00012	30.004	0.00050
	25.4	30.001	30.001	30.002	30.001	30.001	0.00186	-0.00012	30.003	0.00050
	26.2	30.001	30.001	30.002	30.002	30.002	0.00214	-0.00012	30.004	0.00058
	26.4	30.002	30.002	30.001	30.002	30.002	0.00221	-0.00012	30.004	0.00050
	26.1	30.001	30.001	30.001	30.000	30.001	0.00210	-0.00012	30.003	0.00050
	25.4	30.001	30.001	30.001	30.000	30.001	0.00186	-0.00012	30.003	0.00050
	24.3	30.003	30.003	30.003	30.003	30.003	0.00148	-0.00012	30.005	0.00000
	24.5	30.002	30.003	30.002	30.003	30.003	0.00155	-0.00012	30.004	0.00058
	26.2	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00214	-0.00012	30.005	0.00000
	26.1	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00210	-0.00012	30.004	0.00000
90	24.6	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00159	-0.00012	30.003	0.00000
	24.9	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00169	-0.00012	30.003	0.00000
	25.7	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	0.00197	-0.00012	30.002	0.00000
	25.7	30.001	30.001	30.001	30.002	30.001	0.00197	-0.00012	30.004	0.00050
	25.8	30.001	30.000	30.001	30.000	30.001	0.00200	-0.00012	30.003	0.00058
	24.8	30.001	30.000	30.001	30.000	30.001	0.00166	-0.00012	30.003	0.00058
	23.5	30.003	30.003	30.003	30.003	30.003	0.00121	-0.00012	30.005	0.00000
	24.1	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00141	-0.00012	30.004	0.00000
	25.7	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00197	-0.00012	30.004	0.00000
	25.2	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00179	-0.00012	30.004	0.00000
120	24.8	30.000	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00166	-0.00012	30.003	0.00050
	25.0	30.001	30.001	30.001	30.001	30.001	0.00173	-0.00012	30.003	0.00000
	25.6	29.999	29.999	29.999	29.999	29.999	0.00193	-0.00012	30.001	0.00000
	25.5	30.001	30.001	30.001	30.002	30.001	0.00190	-0.00012	30.004	0.00050
	25.4	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	0.00186	-0.00012	30.002	0.00000
	24.6	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	0.00159	-0.00012	30.002	0.00000
	23.3	30.002	30.002	30.002	30.003	30.002	0.00114	-0.00012	30.004	0.00050
	23.8	30.002	30.002	30.002	30.002	30.002	0.00131	-0.00012	30.004	0.00000
	25.6	30.002	30.002	30.002	30.001	30.002	0.00193	-0.00012	30.004	0.00050
	24.6	30.002	30.001	30.002	30.001	30.002	0.00159	-0.00012	30.003	0.00058

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข-9 ผลการสอบเทียบดิจิทัลไดอัลเกจที่ระยะ 50 mm โดยเครื่องมือวัดชุดที่3

Time (min)	Temp (°C)	Measuring (mm)								
		1st	2nd	3rd	4th	Mean	Thermal Expansion	Correct Value	UUC	STDEV
60	26.5	50.003	50.003	50.003	50.003	50.003	0.00374	-0.00009	50.007	0.00000
	25.4	50.003	50.003	50.003	50.003	50.003	0.00311	-0.00009	50.007	0.00000
	26.2	50.003	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00357	-0.00009	50.006	0.00050
	26.4	50.002	50.002	50.003	50.002	50.002	0.00368	-0.00009	50.006	0.00050
	26.1	50.004	50.004	50.004	50.004	50.004	0.00351	-0.00009	50.008	0.00000
	25.4	50.004	50.004	50.004	50.004	50.004	0.00311	-0.00009	50.008	0.00000
	24.3	50.004	50.004	50.005	50.004	50.004	0.00247	-0.00009	50.007	0.00050
	24.5	50.003	50.003	50.003	50.003	50.003	0.00259	-0.00009	50.006	0.00000
	26.2	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00357	-0.00009	50.006	0.00000
	26.1	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00351	-0.00009	50.006	0.00000
90	24.6	50.003	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00265	-0.00009	50.005	0.00050
	24.9	50.003	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00282	-0.00009	50.005	0.00050
	25.7	50.003	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00328	-0.00009	50.006	0.00050
	25.7	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00328	-0.00009	50.006	0.00000
	25.8	50.003	50.004	50.003	50.003	50.003	0.00334	-0.00009	50.007	0.00050
	24.8	50.003	50.004	50.003	50.003	50.003	0.00276	-0.00009	50.006	0.00050
	23.5	50.004	50.004	50.004	50.004	50.004	0.00201	-0.00009	50.006	0.00000
	24.1	50.003	50.003	50.003	50.003	50.003	0.00236	-0.00009	50.006	0.00000
	25.7	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00328	-0.00009	50.006	0.00000
	25.2	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00299	-0.00009	50.005	0.00000
120	24.8	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00276	-0.00009	50.005	0.00000
	25.0	50.001	50.001	50.001	50.001	50.001	0.00288	-0.00009	50.004	0.00000
	25.6	50.003	50.003	50.003	50.003	50.003	0.00322	-0.00009	50.007	0.00000
	25.5	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00316	-0.00009	50.006	0.00000
	25.4	50.003	50.003	50.003	50.003	50.003	0.00311	-0.00009	50.007	0.00000
	24.6	50.003	50.003	50.003	50.003	50.003	0.00265	-0.00009	50.006	0.00000
	23.3	50.003	50.003	50.003	50.004	50.003	0.00190	-0.00009	50.006	0.00050
	23.8	50.002	50.003	50.002	50.003	50.003	0.00219	-0.00009	50.005	0.00058
	25.6	50.002	50.002	50.001	50.002	50.002	0.00322	-0.00009	50.005	0.00050
	24.6	50.002	50.002	50.002	50.002	50.002	0.00265	-0.00009	50.005	0.00000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปฏิพล มูสิกะปาละ
วัน เดือน ปี เกิด	13 พฤศจิกายน 2534
สถานที่เกิด	สุราษฎร์ธานี
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีการอาหาร จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2557 กำลังศึกษาต่อ ในระดับมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2562

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University