ปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัด
CALIBRATION LABORATORY

อธิป ศรีสระ
ปฏิพล ชาครานนท์
ราชทรัพย์ พงศ์พันธ์พาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALIBRATION LABORATORY

ATHIP SRISARA
PATIPOL CHAKRANON
RADCHASUB PONGPANPANIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERRING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัด Calibration Laboratory		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายอธิป	ศรีสระ	รหัสนักศึกษา 59011481
	นายปฏิพล	ชาครานนท์	รหัสนักศึกษา 59010774
	นายราชทรัพย์	พงศ์พันธ์พาณิชย์	รหัสนักศึกษา 59011142
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สุธรรม	สัทธรรมสกุล	
ปีการศึกษา	2562		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างกระบวนการเรียนรู้ ในการออกแบบกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัด ที่มีการอ้างอิงจากหลักการสอบเทียบมาตรฐานในระดับสากล โดยใช้เอกสารกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) มาเชื่อมโยงกับมาตรฐานในระดับสากล เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์และที่มาของรายละเอียดในกระบวนการสอบเทียบ และสร้างเป็นโครงสร้างมาตรฐานของกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบในการสร้างกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ ได้ นอกจากนั้นยังมีการออกแบบการทดลองให้ทำการเชื่อมโยงมาตรฐานระดับสากล มาทดลองเขียนกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ประกอบไปด้วย มิติ และความดัน ทั้งนี้เพื่อเป็นการเสริมสร้างความเข้าใจทำให้สามารถสร้างกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่แตกต่างกันได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทำงานจริงได้ หากต้องไปสร้างกระบวนสอบเทียบเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการสอบเทียบของหน่วยงานหรือโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Calibration Laboratory
Authors	Mr. Athip Srisara
	Mr. Patipol Chakranon
	Mr. Radchasub Pongpanpanit
Thesis Advisor	Asst. Prof. Sutham Satthamsakul
Year	2019

ABSTRACT

The objectives of the thesis is to create a learning process in the design of the calibration process for measuring instrument. Which is referenced from international standard calibration principles by using the dimensional measurement calibration document from the National Institute of Metrology Thailand (NIMT) to connect with the international standard to understand the relationship and source of details in the calibration process and create a standard structure of the instrument calibration process that can be used as a prototype to create the calibration process for other types of measuring instrument. In addition, the experiment is designed to link international standards to experiment writing the testing process to compare different types of measuring instruments consisting of dimensions and pressure. Understanding makes it possible to create a process for calibrating different measuring tools. And able to be applied to real work If having to build a process for the calibration of measuring equipment in the calibration laboratories of different departments or factories.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและดูแลเอาใจใส่โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุธรรม สัทธรรมสกุล ในการแนะนำตรวจแก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ ติดตามความคืบหน้าในการดำเนินการ ผู้จัดทำรู้สึกทราบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง IX
สารบัญรูป X

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 1

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 2
2.1 ความสำคัญของเครื่องมือวัด 2
2.1.1 การวัด 2
2.1.2 จุดมุ่งหมายของการวัด 3
2.2 ความสำคัญของการสอบเทียบเครื่องมือวัด 3
2.3 มาตรวิทยากับระบบคุณภาพ 4
2.3.1 ISO9001 (การรับรองระบบบริหารงานคุณภาพ) 4
2.3.2 ISO/IEC 17025 (General Requirements for the Competence of testing and Calibration Laboratories) 4
2.3.3 ISO14000 (Environmental Management System) 5
2.3.4 ISO15189 (Medical Laboratories Particular Requirements for Quality and Competence) 5
2.3.5 HA (Hospital Accreditation) 5
2.3.6 HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) 6
2.4 องค์ประกอบของการสอบเทียบเครื่องมือวัด 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 การสอบกลับได้ของเครื่องมือวัด 7
2.5.1 ปัจจัยหลักของความสามารถสอบกลับได้ 7
2.5.2 ระบบหน่วยพื้นฐาน 8
2.5.3 ลำดับขั้นของการสอบเทียบ 9
2.5.3.1 การสอบเทียบระดับระหว่างประเทศ 9
2.5.3.2 การสอบเทียบระดับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 9
2.5.3.3 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถ 10
2.5.3.4 การสอบเทียบที่กระทำภายในภาคอุตสาหกรรม 10
2.5.4 เมื่อไม่สามารถสอบกลับผลของการวัดไปสู่หน่วยวัดสากล 11
2.6 มาตรฐานการวัด 11
2.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด 12
2.7.1 นิยามของค่าความไม่แน่นอนของการวัด 12
2.7.2 แหล่งที่มาของความผิดพลาดและความไม่แน่นอน 12
2.7.3 ชนิดของความไม่แน่นอน 13
2.7.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอน 14
2.7.4.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A 14
2.7.4.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B 15
2.7.4.3 การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular 16
2.7.4.4 การกระจายแบบ Triangular 17
2.7.4.5 การกระจายแบบ U-shape 18
2.7.4.6 การกระจายแบบ Normal หรือ Gaussian 18

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 20

3.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารมาตรฐานการสอบเทียบและกระบวนการสอบเทียบ 20
3.1.1 เอกสารการสอบเทียบของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 21
3.1.2 เอกสารการประเมินความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ 21
3.1.3 เอกสารการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ 21
3.1.4 เอกสารการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 ออกแบบกระบวนการสอบเทียบ 22
3.2.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ 22
3.2.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ 22
3.2.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ 23
3.2.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด 23
3.2.5 การคำนวณหาค่าแก้ 23
3.2.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A 23
3.2.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B 23
3.2.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม 23
3.3 นำกระบวนการสอบเทียบไปสอบเทียบกับเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ 23
3.3.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติด้วยเกจบล็อค 24
3.3.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน 25
3.4 เชื่อมโยงมาตรฐานการสอบเทียบกับกระบวนการสอบเทียบ 26

บทที่ 4 ผลการทดลอง 27
4.1 กระบวนการสอบเทียบ 27
4.1.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ 28
4.1.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ 32
4.1.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ 37
4.1.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด 44
4.1.5 การคำนวณหาค่าแก้ 46
4.1.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A 47
4.1.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B 49
4.1.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม 54
4.2 กระบวนการสอบเทียบ Micrometer 56
4.2.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ 57
4.2.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ 58
4.2.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ 59
4.2.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.5 การคำนวณหาค่าแก้ 65
4.2.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A 66
4.2.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B 68
4.2.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม 70
4.3 กระบวนการสอบเทียบ Digital Vernier Caliper 72
4.3.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ 73
4.3.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ 74
4.3.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ 75
4.3.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด 77
4.3.5 การคำนวณหาค่าแก้ 81
4.3.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A 82
4.3.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B 84
4.3.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม 86
4.4 กระบวนการสอบเทียบ Pressure Gauge 88
4.4.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ 89
4.4.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ 90
4.4.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ 91
4.4.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด 92
4.4.5 การคำนวณหาค่าแก้ 94
4.4.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A 95
4.4.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B 97
4.4.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม 100

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 102
5.1 สรุปผลการทดลอง 102
5.1.1 กระบวนการสอบเทียบกลาง 102
5.1.2 กระบวนการสอบเทียบมิติ (ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก) 102
5.1.3 กระบวนการสอบเทียบมิติ (เวอเนียร์ดิจิตอล) 102
5.1.4 กระบวนการสอบเทียบความดัน (เกจวัดความดัน) 103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 ข้อเสนอแนะ 103

บรรณานุกรม..... 104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แสดงหน่วยพื้นฐานของหน่วยระหว่างประเทศ (SI Unit)..... 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular 17
2.2 การกระจายแบบ Triangular 17
2.3 การกระจายแบบ U-Shape 18
2.4 การกระจายตัวแบบ Normal หรือ Gaussian 18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 20
3.2 รูปแบบกระบวนการสอบเทียบ 22
3.3 External Micrometer 3109-25B 24
3.4 เวอร์เนียดิจิตอล MC MW110-15DBL 24
3.5 การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอกด้วยเกจบล็อค 24
3.6 Steel Gauge Block Insize Grade 1 25
3.7 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ 25
3.8 รายละเอียดของการสอบเทียบ 26
4.1 รูปแบบกระบวนการสอบเทียบ 27
4.2 รายละเอียดของการสอบเทียบ 28
4.3 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบ Micrometer ด้วย Gauge Blocks 28
4.4 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบความดัน 29
4.5 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบความดัน (2) 30
4.6 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบอุณหภูมิ 30
4.7 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบน้ำหนัก 31
4.8 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบไฟฟ้า 31
4.9 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ 32
4.10 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ 33
4.11 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน 34
4.12 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน (2) 35
4.13 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 35
4.14 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดไฟฟ้า 36
4.15 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ 37
4.16 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ 37
4.17 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบความดัน 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.18	ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบความดัน (2)	39
4.19	ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบน้ำหนัก	40
4.20	ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบไฟฟ้า	40
4.21	ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบอุณหภูมิ	41
4.22	ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบอุณหภูมิ (2)	42
4.23	ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบอุณหภูมิ (3)	43
4.24	การสอบเทียบเครื่องมือวัด	44
4.25	ตัวอย่างการสอบเทียบไมโครมิเตอร์	44
4.26	ตัวอย่างการสอบเทียบน้ำหนัก	45
4.27	การคำนวณหาค่าแก้	46
4.28	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A	47
4.29	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (2)	48
4.30	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B	49
4.31	ตัวอย่างความไม่แน่นอนชนิด B จากการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก	49
4.32	ตัวอย่างความไม่แน่นอนชนิด B จากการสอบเทียบความดัน	49
4.33	ตัวอย่างความไม่แน่นอนชนิด B จากการสอบเทียบไฟฟ้า	50
4.34	การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular	50
4.35	การกระจายแบบ Triangular	51
4.36	การกระจายแบบ U-shape	51
4.37	การกระจายแบบ Normal หรือ Gaussian	52
4.38	ตารางการแจกแจงค่าความไม่แน่นอนชนิด B	53
4.39	การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม	54
4.40	ตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนรวม	54
4.41	การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย	54
4.42	ตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนขยาย	55
4.43	ตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนขยาย (2)	55
4.44	กระบวนการสอบเทียบ Micrometer	56
4.45	รายละเอียดของการสอบเทียบ Micrometer	57
4.46	เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ Micrometer	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.47	การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Micrometer	59
4.48	การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Micrometer (2)	60
4.49	การสอบเทียบ Micrometer	61
4.50	การสอบเทียบ Micrometer (2)	62
4.51	การสอบเทียบ Micrometer (3)	62
4.52	การสอบเทียบ Micrometer (4)	63
4.53	การสอบเทียบ Micrometer (5)	63
4.54	มาตรฐานการสอบเทียบ Micrometer	64
4.55	การคำนวณหาค่าแก้	65
4.56	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A	66
4.57	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (2)	67
4.58	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (3)	67
4.59	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B	68
4.60	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (2)	69
4.61	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (3)	69
4.62	การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม	70
4.63	การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย	71
4.64	กระบวนการสอบเทียบ Digital Vernier Caliper	72
4.65	รายละเอียดของการสอบเทียบ Digital Vernier Caliper	73
4.66	เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ Digital Vernier Caliper	74
4.67	การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Digital Vernier Caliper	75
4.68	การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (2)	76
4.69	การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper	77
4.70	การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (2)	78
4.71	การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (3)	78
4.72	การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (4)	79
4.73	การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (5)	79
4.74	การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (6)	80
4.75	การคำนวณหาค่าแก้	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.76	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A	82
4.77	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (2)	83
4.78	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (3)	83
4.79	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B	84
4.80	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (2)	85
4.81	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (3)	85
4.82	การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม	86
4.83	การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย	87
4.84	กระบวนการสอบเทียบ Pressure Gauge	88
4.85	รายละเอียดของการสอบเทียบ Pressure Gauge	89
4.86	เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ Pressure Gauge	90
4.87	การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Pressure Gauge	91
4.88	การสอบเทียบ Pressure Gauge	92
4.89	มาตรฐานการสอบเทียบความดัน	93
4.90	การคำนวนหาค่าแก้	94
4.91	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A	95
4.92	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (2)	95
4.93	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (3)	96
4.94	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B	97
4.95	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (2)	98
4.96	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (3)	98
4.97	การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (4)	99
4.98	การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม	100
4.99	การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการสอบเทียบเครื่องมือวัด เนื่องจากข้อกำหนดตามมาตรฐานในงานทางอุตสาหกรรมนั้น เครื่องมือวัดจำเป็นต้องได้รับการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะเครื่องมือวัดที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการรับรองว่าเครื่องมือนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดอยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับได้ ซึ่งจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตรวมถึงตัวผลิตภัณฑ์เอง โครงการนี้สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบการศึกษาหลักการการสอบเทียบให้แก่ผู้ที่สนใจและนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยมีการสอบเทียบซึ่งประกอบด้วย มิติ และความดัน

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1) สร้างต้นแบบการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ที่อ้างอิงตามมาตรฐานระดับสากล
2) สร้างความรู้และความเข้าใจพื้นฐานในการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ
3) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบมีความถูกต้องแม่นยำ
4) เพื่อให้สามารถระบุได้ว่าเครื่องมือวัดนั้นมีความน่าเชื่อถือและอยู่ในมาตรฐานหรือไม่

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1) เอกสารขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ
2) เอกสารขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เข้าใจหลักการและพื้นฐานของการสอบเทียบ
2) สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัด (Measuring Instrument) เป็นอุปกรณ์สำหรับการวัด ปริมาณทางกายภาพ ในสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ การประกันคุณภาพ และวิศวกรรม “การวัด” เป็นกิจกรรมเพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณทางกายภาพของวัตถุและเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณทางกายภาพเหล่านั้น กับมาตรฐานของวัตถุและเหตุการณ์ที่ได้ก่อตั้งขึ้นและถูกใช้เป็นหน่วยอ้างอิงของการวัด กระบวนการของการวัดจะได้ผลออกมาเป็นตัวเลขหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่กำลังทำการวัดอยู่นั้นภายใต้หน่วยอ้างอิงของการวัด เครื่องมือวัดและวิธีการทดสอบอย่างเป็นทางการเป็นตัวกำหนดการใช้เครื่องมือหรือวิธีการที่จะบอกถึงความสัมพันธ์ของตัวเลขเหล่านี้ เครื่องมือวัดทั้งหมดขึ้นอยู่กับปริมาณที่แปรได้ของความผิดพลาดของเครื่องมือวัดและความไม่แน่นอนในการวัด

2.1.1 การวัด

การวัด คือชุดของการปฏิบัติงานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าของปริมาณค่าหนึ่ง (Set of operations having the object of determining a value of a quantity) ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ปริมาณที่ถูกวัดพร้อมทั้งค่าความไม่แน่นนอนของการวัด และ หน่วยวัด ตัวอย่างเช่น ผลที่ได้จากการวัดตุ้มน้ำหนัก 1 กิโลกรัม เท่ากับ 1000.001g+0.001 g เป็นต้น

การวัด ถือเป็นการปฏิบัติงานทางเทคนิคตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบปริมาณที่ถูกวัดกับปริมาณมาตรฐาน (Standard Quantity) ได้ นอกจากการวัดแล้ว เครื่องมือวัดและความรู้ความสามารถรวมทั้งประสบการณ์ของผู้ทำการวัดก็เป็นสิ่งที่สำคัญเช่นเดียวกัน สำหรับเครื่องมือวัดที่นำมาใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความถูกต้องแม่นยำที่ต้องการ อย่างไรก็ดี แม้ว่าจะปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดแล้ว รวมถึงผู้ทำการวัดก็มีความรู้ความสามารถเพียงพอ ก็ไม่สามารถทำให้เกิดความถูกต้องในการวัดได้ ถ้าเครื่องมือวัดที่ใช้งานไม่สามารถสอบกลับความถูกต้องไปสู่มาตรฐานในระดับที่สูงขึ้นไปได้ สิ่งที่ใช้ยืนยันความสามารถในการสอบกลับได้ก็คือ ใบรับรองหรือรายงานผลการสอบเทียบ ที่ออกโดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 หรือสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 จุดมุ่งหมายของการวัด

จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการวัด ได้แก่ การตัดสินปริมาณวัดต่าง ๆ ด้วยความเที่ยงตรง (Precision) และแม่นยำ (Accuracy) เพื่อจุดประสงค์หลากหลายด้าน ตัวอย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือ เพื่อความเป็นธรรมเชิงพาณิชย์ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่มีมาตั้งแต่ในอดีตที่ประเทศต่าง ๆ มีการกำหนดหน่วยวัด มาตราการ ชั่ง ตวง วัด ของตนอยู่ ต่อมาเมื่อมีการค้าขายระหว่างกันมากขึ้น จึงได้กำหนดหน่วยวัดที่เป็นสากลขึ้นใช้ร่วมกัน

2.2 ความสำคัญของการสอบเทียบเครื่องมือวัด

ในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อโลกธุรกิจในปัจจุบันก้าวเข้าสู่ยุคการค้าเสรี การแข่งขันทางการค้ามีความรุนแรงมากขึ้น ทั้งในระดับประเทศและต่างประเทศภายใต้สภาวการณ์เช่นนี้การพัฒนาองค์กรในทุกด้านเพื่อให้มีศักยภาพสอดคล้องตาม มาตรฐานสากล และเป็นที่ยอมรับในระดับโลก ซึ่งหนึ่งในแนวทางที่สำคัญเพื่อเพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการผลิต คือ การสอบเทียบ (calibration) เครื่องมือวัดนั่นเอง การสอบเทียบเครื่องมือวัดมีกระบวนการในการตรวจสอบและสอบเทียบเครื่องมือวัดให้มีความถูกต้องตามขอบข่าย ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้และกำหนดไว้ เพื่อให้ได้มาตรฐานก่อนนำออกจำหน่าย เมื่อสั่งซื้อเครื่องมือดังกล่าว ก็จะได้รับรองผลการตรวจสอบ (inspection certificate) หรือใบรับรองผลการสอบเทียบ (calibration certificate) ของเครื่องมือวัดนั้น ๆ มาด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อตกลงในการสั่งซื้อ ในใบรับรองผลการตรวจสอบหรือผลการสอบเทียบจะระบุสมบัติเฉพาะต่าง ๆ ของเครื่องมือ เช่น พิสัยการวัด (range) ค่าความละเอียด (resolution) ค่าความถูกต้อง (accuracy) และสภาวะแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นที่เครื่องมือสามารถทำงานได้

เครื่องมือวัดเมื่อถูกนำไปใช้งานระยะหนึ่ง อายุของส่วนประกอบและเครื่องมือวัดที่ใช้งานอาจมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งความเปลี่ยนแปลงหรือความคลาดเคลื่อนของผลการวัดที่เกิดขึ้นนี้ อาจเกิดจากการ Drift หรือการลอยเลื่อน (มอก. 235 เล่ม 14) หมายถึง การแปรผันอย่างช้า ๆ ตามเวลาของลักษณะทางมาตรวิทยาของเครื่องมือวัด อันเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ไฟฟ้า เคมี หรือเชิงกล เป็นต้น นอกจากนี้ ผู้ใช้งานเครื่องมือวัดจะต้องตระหนักอยู่เสมอว่า การเสื่อมสภาพของเครื่องมือวัด ยังสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากการใช้งานและการเก็บรักษาอีกด้วย ฉะนั้น เมื่อเครื่องมือวัดอยู่ในสภาวะดังกล่าว สิ่งที่ตามมาคือเครื่องมือวัดที่เคยบอกค่าการวัดที่ถูกต้อง อาจบอกค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากเดิม ส่งผลให้ผลการวัดที่ได้รับไม่น่าเชื่อถือ หรือหากนำเครื่องมือดังกล่าวไปใช้งานย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพของ การออกแบบและกระบวนการผลิต การ Drift หรือการเปลี่ยนแปลงของเครื่องมือวัด ไม่สามารถกำจัดได้ แต่สามารถที่จะตรวจพบและแก้ไขได้โดยผ่านกระบวนการสอบเทียบ ด้วยการใช้ตัวมาตรฐานการวัดที่สามารถสอบกลับได้สู่มาตรฐานแห่งชาติ เพื่อสอบเทียบเครื่องมือวัด ดังนั้นการสอบเทียบจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญ ที่ช่วยสร้างความมั่นใจในผลการวัดของเครื่องมือวัดทุก ๆ ประเภท ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต การทดสอบ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ต่าง ๆ เพราะองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการที่จะทำให้ผลการวัดที่เกิดขึ้นมีความน่าเชื่อถือ คือการใช้เครื่องมือวัด ที่มีความถูกต้องและแม่นยำ เหมาะสมกับการปฏิบัติงานนั่นเอง

2.3 มาตรวิทยากับระบบคุณภาพ

ปัจจุบันนี้การรับรองระบบคุณภาพเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นหลักประกันว่าสินค้าที่ผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีคุณภาพดี มีคุณลักษณะตามความต้องการของลูกค้า ในข้อกำหนดของมาตรฐานการรับรองระบบคุณภาพต่าง ๆ เช่น ISO9001, ISO/IEC17025, ISO14000 เป็นต้น จะมีข้อกำหนดข้อหนึ่งที่ระบุว่า เครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต้องได้รับการสอบเทียบอย่างถูกต้อง เช่น

2.3.1 ISO9001 (การรับรองระบบบริหารงานคุณภาพ)

มีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดคือ ข้อที่ 7.6 เรื่องการควบคุมเฝ้าติดตามและเครื่องมือวัด (Control of Monitoring and Measuring Devices) มีข้อกำหนดข้อหนึ่งที่กล่าวว่า

“เมื่อมีความจำเป็นที่ต้องทำให้แน่ใจว่า ผลของการวัดสามารถยอมรับได้อย่างเป็นทางการ เครื่องมือวัดจะต้อง

ก) ได้รับการสอบเทียบและทวนสอบหรือทั้งคู่ตามช่วงระยะเวลาที่ได้กำหนดก่อนใช้ งานกับมาตรฐานการวัดที่สามารถสอบกลับได้สู่มาตรฐานการวัดแห่งชาติหรือมาตรฐาน การวัดระหว่างประเทศ”

2.3.2 ISO/IEC 17025 (General Requirements for the Competence of testing and Calibration Laboratories)

เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทดสอบ และสอบเทียบ ซึ่งมีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดดังนี้ ข้อที่ 5.4 วิธีการทดสอบและสอบเทียบและการยืนยันวิธีการ (Test and Calibration Methods and Method Validation) กำหนดให้

“ห้องปฏิบัติการจะต้องใช้วิธีการทดสอบและสอบเทียบ รวมไปถึงวิธีการสุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมและเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า”

ข้อที่ 5.5 เครื่องมือ (Equipment) ระบุว่า *“ก่อนการใช้งานเครื่องมือจะต้องได้รับการสอบเทียบหรือตรวจสอบ เพื่อพิสูจน์ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดจำเพาะตามที่ห้องปฏิบัติการต้องการ"*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ISO14000 (Environmental Management System)

เป็นมาตรฐาน ที่ใช้ในการรับรองระบบบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีระบบในการควบคุม ปรับปรุง และรักษาคุณภาพของสิ่งแวดล้อมรวมทั้งป้องกันสุขอนามัยโดยมี ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดดังนี้

ข้อที่ 4.5.1 เรื่องความสามารถของการวัดและสร้างการเฝ้าระวัง (Establish Monitoring and Measurement Capabilities) กำหนดให้โรงงานอุตสาหกรรมจัดให้มี ระบบติดตามเฝ้าระวังและตรวจวัดคุณลักษณะที่สำคัญของการปฏิบัติงาน และกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างสม่ำเสมอ โดยให้โรงงานอุตสาหกรรมมีการสอบเทียบและดูแลรักษาเครื่องมือวัดสม่ำเสมอ เพื่อให้มั่นใจว่าได้ผลการตรวจวัดถูกต้อง

2.3.4 ISO15189 (Medical Laboratories Particular Requirements for Quality and Competence)

เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการรับรองความสามารถของห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ โดยมีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดดังนี้

ข้อที่ 5.3 เครื่องมือ (Equipment) *“มีโปรแกรมการสอบเทียบและตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือ สารเคมี ระบบการตรวจวิเคราะห์ โดยมีการจัดทำเป็นเอกสาร และมีการบันทึกการบำรุงรักษาตามคู่มือของบริษัทผู้ผลิต และอาจนำคู่มือของบริษัทผู้ผลิตหรือเอกสารอื่น ๆ มาใช้เป็นข้อกำหนด เรื่องระยะเวลาการสอบเทียบตามความเหมาะสม”*

ข้อที่ 5.6 การประกันคุณภาพของขั้นตอนการทดสอบ (Assuring Quality of Examination Procedures)

5.6.1 ห้องปฏิบัติมีการออกแบบระบบการควบคุมคุณภาพภายใน ซึ่งสามารถทวนสอบได้ว่าผลการทดสอบมีคุณภาพเป็นไปตามที่กำหนด

5.6.3 แผนการสอบเทียบ การวัด และการยืนยันค่า มีการบ่งชี้และปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนด เพื่อให้แน่ใจได้ว่าผลการวิเคราะห์สามารถสอบกลับไปยังระดับสากลได้

5.6.4 ห้องปฏิบัติการต้องเข้าร่วมการเปรียบเทียบผลการทดสอบ ระหว่างห้องปฏิบัติการ

2.3.5 HA (Hospital Accreditation)

เป็นการรับรองคุณภาพโรงพยาบาล มีข้อกำหนด ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดคือ เรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อที่ 7.6 มีระบบตรวจสอบเพื่อเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ให้พร้อมที่จะใช้งานได้ตลอดเวลา

- มีการกำหนดประเภทของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบความพร้อมเป็นประจำ
- มีการกำหนดลักษณะความพร้อมที่ต้องการ และวิธีการตรวจสอบ
- มีการสอบเทียบความเที่ยงตรงของเครื่องมือที่จำเป็น

2.3.6 HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point)

คือระบบการวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม มีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดคือ

ข้อที่ 4.7 ขั้นตอนการเฝ้าระวัง (Monitoring Procedures) วิธีการเฝ้าระวัง จะรวมถึงการสอบเทียบเครื่องมือวัดและเครื่องมือเฝ้าระวัง

ข้อที่ 4.9 ขั้นตอนการตรวจสอบความจริง (Verification Procedures) เพื่อให้แน่ใจถึงความปลอดภัยของโภชนาการและความต่อเนื่องของการปรับปรุงระบบ จะรวมการสอบเทียบเครื่องมือเฝ้าระวัง

2.4 องค์ประกอบของการสอบเทียบเครื่องมือวัด

สำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัด มีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 อย่างที่ต้องคำนึงถึงได้แก่

1) **การเลือกเครื่องมือวัดอ้างอิง** เครื่องมือวัดอ้างอิง เป็นเครื่องมือมาตรฐานเพื่อให้เครื่องวัดที่นำมาสอบเทียบได้ใช้เปรียบเทียบ โดยเครื่องวัดอ้างอิงนี้จะต้องมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ 3 เท่าขึ้นไป และที่สำคัญคือเครื่องมือวัดอ้างอิงจะต้องสามารถสอบกลับได้ (Traceability) สู่มาตรวัดมาตรฐานหรือหน่วยมูลฐาน SI Unit
2) **วิธีการสอบเทียบที่เหมาะสม** การเลือกวิธีสอบเทียบที่เหมาะสมจะช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องจากการสอบเทียบ รวมถึงได้รับความสะดวกและมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมในการสอบเทียบ
3) **สภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ** ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ มีผลต่อประสิทธิภาพและความถูกต้องของผลการสอบเทียบ จึงจำเป็นต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้ในการปฏิบัติงาน ทั้งการควบคุมในเรื่อง ความชื้น อุณหภูมิ แสงสว่าง รวมถึงการสั่นสะเทือนด้วย นอกจากปัจจัยด้านการควบคุมสภาวะแวดล้อมแล้ว ขนาดของห้องก็จะต้องสัมพันธ์กับจำนวนบุคลากรผู้ปฏิบัติงานด้วย เช่น ถ้ามีเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการ 2 คน ห้องควรมีขนาดอยู่ที่ 4 x 3 เมตร โดยควบคุมอุณหภูมิ 18 – 28 °C (หรือ 23±5°C) และความชื้นสัมพัทธ์ 45-75%RH (หรือ 60±15 %RH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) บุคลากรผู้ทำหน้าที่สอบเทียบ บุคลากรผู้ทำหน้าที่สอบเทียบจะต้องได้รับการศึกษาอบรม และ เก็บสะสมประสบการณ์จนถึงเกณฑ์ที่สามารถให้ผลสอบเทียบที่ถูกต้องตามมาตรฐานได้ ซึ่งนอกจากหน้าที่ในการสอบเทียบให้ถูกต้องแล้ว พวกเขาต้องสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดออกมาได้อย่างถูกต้องอีกด้วย

2.5 การสอบกลับได้ของเครื่องมือวัด

การวัด และการทดสอบที่มีความถูกต้องและแม่นยำเป็นหลักประกันทางเทคนิคที่สำคัญที่สุดสำหรับแสดงว่าผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดทางคุณภาพ ความสำคัญของการวัดและทดสอบได้รับการยอมรับและถือเป็นข้อกำหนดของมาตรฐานการประกันคุณภาพที่สำคัญ ๆ เช่น ISO 9000, ISO 14000 และ ISO/IEC 17025 เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การยืนยันความถูกต้อง และแม่นยำของการวัดก็ต้องอาศัยหลักประกันที่เป็นเอกสารที่สามารถทำให้เกิดความเชื่อถือในความถูกต้อง และความแม่นยำที่อ้างถึงได้เช่นเดียวกัน และหลักประกันดังกล่าวก็คือ ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่แสดงผลการวัด และความไม่แน่นอนของการวัดที่สามารถสอบกลับได้สู่หน่วยวัด SI Units ที่ทำให้เป็นจริง (Realised) และรักษาไว้ในฐานะที่เป็นมาตรฐานการวัดแห่งชาติ ซึ่งรักษาไว้โดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

2.5.1 ปัจจัยหลักของความสามารถสอบกลับได้

ความสามารถสอบกลับได้ของการวัดจะต้องประกอบไปด้วยสิ่งต่อไปนี้

1) **สอบเทียบอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่** จากผู้ใช้งานเครื่องมือวัดกลับไปมาตรฐานที่ผู้เกี่ยวข้องยอมรับ ซึ่งโดยทั่วไปคือ มาตรฐานระหว่างประเทศหรือมาตรฐานแห่งชาติ
2) **มีความไม่แน่นอนของการวัด** ความไม่แน่นอนของการวัดในแต่ละขั้นตอนของความสามารถสอบกลับได้ จะต้องคำนวณตามวิธีที่กำหนดและรายงานค่า เพื่อให้สามารถคำนวณความไม่แน่นอนรวมของทุกขั้นตอนได้
3) **ทำเป็นเอกสาร** การสอบเทียบจะต้องทำตามวิธีดำเนินการที่เป็นเอกสาร และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป อีกทั้งผลของการสอบเทียบก็ต้องทำเป็นเอกสารเช่นกัน
4) **มีความสามารถ** ห้องปฏิบัติการหรือองค์กรที่ทำการสอบเทียบในขั้นตอนหนึ่ง หรือมากกว่าของห่วงโซ่การสอบกลับได้ จะต้องแสดงให้เห็นถึงความสามารถทางเทคนิค (เช่น แสดงด้วยการได้รับการรับรองความสามารถตาม ISO/IEC 17025)
5) **อ้างถึงหน่วยวัด SI** ห่วงโซ่ของการสอบเทียบ ถ้าเป็นไปได้จะต้องสิ้นสุดลงที่มาตรฐานขั้นปฐมภูมิ ที่ทำให้เป็นจริงของหน่วยวัด SI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) **ช่วงระยะเวลาระหว่างการสอบเทียบ** การสอบเทียบจะต้องกระทำซ้ำตามช่วงเวลาที่เหมาะสม และระยะของช่วงเวลานี้จะขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ตัวแปร (เช่น ความไม่แน่นอนที่ต้องการ ความถี่ของการใช้งาน การนำไปใช้ความเสถียรของเครื่องมือ)

2.5.2 ระบบหน่วยพื้นฐาน

หน่วยฐานเอสไอ (อังกฤษ: SI base unit) เป็นหน่วยที่ระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศกำหนดไว้เป็นพื้นฐาน โดยหน่วย เอสไออื่น ๆ ที่เรียกว่าหน่วยอนุพันธ์เอสไอ จะเกิดจากการนำหน่วยฐานเอสไอมาประกอบกันทั้งหมด หน่วยฐานเอสไอมีทั้งหมด 7 หน่วยได้แก่ เมตรสำหรับวัดความยาว, กิโลกรัมสำหรับวัดมวล, วินาทีสำหรับวัดเวลา, แอมแปร์สำหรับวัดกระแสไฟฟ้า, เคลวินสำหรับวัดอุณหภูมิอุณหพลวัติ, แคนเดลลาสำหรับวัดความเข้มของการส่องสว่าง และโมลสำหรับวัดปริมาณของสาร

1) **ความยาว (Length)** : หน่วยวัดความยาวในระบบหน่วย SI คือ เมตร (metre, m) มีนิยามว่า เมตร คือ ระยะทางที่แสงคลื่นที่ในสุญญากาศในช่วงเวลา 1/299 792 458 วินาที
2) **มวล (Mass)** : หน่วยวัดมวลในระบบหน่วย SI คือ กิโลกรัม (kilogram, kg) มีนิยามว่า กิโลกรัม คือ หน่วยของมวล ซึ่งเท่ากับมวลแบบประถมระหว่างประเทศของกิโลกรัม รูปทรงกระบอก ทำจากโลหะผสมระหว่าง Platinum และ Iridium ที่เก็บไว้ที่ BIPM เมือง Sevres ประเทศฝรั่งเศส
3) **เวลา (Time)** : หน่วยวัดเวลาในระบบหน่วย SI คือ วินาที (second, s) มีนิยามว่า วินาที คือ ระยะเวลาเท่ากับ 9 192 631 770 คาบของการแผ่รังสีที่สมนัยกับการเปลี่ยนระดับไฮเปอร์ไฟน์สองระดับของอะตอม Caesium-133 (Cs133) ในสถานะพื้นฐาน
4) **กระแสไฟฟ้า (Electric Current)** : หน่วยวัดกระแสไฟฟ้าในระบบหน่วย SI คือ แอมแปร์ (ampere, A) มีนิยามว่า แอมแปร์ คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดแรงขนาด 2x10-7 นิวตันต่อความยาว 1 เมตร ระหว่างเส้นลวด 2 เส้น ที่มีความยาวอนันต์ มีพื้นที่ภาคตัดขวางเล็กมากจนไม่ต้องคำนึงถึง วางขนานกันด้วยระยะห่าง 1 เมตร ในสุญญากาศ
5) **อุณหภูมิ (Temperature)** : หน่วยวัดอุณหภูมิในระบบหน่วยวัด SI คือ เคลวิน (kelvin, K) มีนิยามว่า เคลวิน คือ หน่วยของอุณหภูมิทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่ง เท่ากับ 1/273.16 ส่วนของอุณหภูมิเทอร์โมไดนามิส์ของจุดสามสถานะของน้ำ
6) **ความเข้มของการส่งสว่าง (Luminous Intensity)** : หน่วยวัดความเข้มการส่องสว่าง คือ แคนเดลลา (candela, cd) ซึ่งมีนิยามว่า แคนเดลลา คือความเข้มของการส่องสว่างในทิศทางกำหนดหนึ่งของแหล่งกำเนินแสง ซึ่งแผ่รังสีเดียวที่มีความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

540x1012 เฮริทซ์ ด้วยความเข้มของการแผ่รังสีขนาด 1/683 วัตต์ต่อสเตอร์เรเดียนในทิศทางเดียวกันนั้น

7) **ปริมาณของสสาร (Amount of Substance)** : หน่วยวัดปริมาณสาร คือ โมล (mole, mol) มีนิยามว่า โมล คือ หน่วยของปริมาณสารของระบบที่ประกอบด้วยองค์ประกอบมูลฐาน ซึ่งมีจำนวนเท่ากับจำนวนอะตอมของ C12 จำนวน 0.012 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.1 แสดงหน่วยพื้นฐานของหน่วยระหว่างประเทศ (SI Unit)

ปริมาณ	หน่วยพื้นฐาน	สัญลักษณ์
ความยาว (Length)	เมตร (meter)	m
มวล (Mass)	กิโลกรัม (kilogram)	kg
เวลา (Time)	วินาที (second)	s
กระแสไฟฟ้า (Electric Current)	แอมแปร์ (ampere)	A
อุณหภูมิ (Temperature)	เคลวิน (kelvin)	K
ปริมาณของสสาร (Amount of Substance)	โมล (mole)	mol
ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity)	แคนเดลลา (candela)	cd

2.5.3 ลำดับขั้นของการสอบเทียบ

2.5.3.1 การสอบเทียบระดับระหว่างประเทศ

ความมั่นใจในความถูกต้อง หรือความเท่าเทียมกันในมาตรฐานการวัดแห่งชาติของแต่ละประเทศ ได้มาจากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างประเทศทั้งในระดับทวิภาคีและพหุภาคีแทนการสอบเทียบที่กระทำกันตามปกติทั่วไป ในระดับระหว่างชาติหรือระหว่างประเทศนั้น มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standards) ได้มาจากการทำให้เป็นจริง (Realisation) จากนิยามของหน่วยวัด SI ซึ่งได้รับการรับรองจากที่ประชุมทั่วไปว่าด้วยการชั่ง ตวง วัด ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบในการดำเนินการให้มีการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างประเทศในระดับที่มีความถูกต้องสูงสุด คือ สำนักงาน ชั่ง ตวง วัด ระหว่างประเทศ

2.5.3.2 การสอบเทียบระดับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติของแต่ละประเทศ เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รักษามาตรฐานทางมาตรวิทยาขั้นสูงสุดของประเทศ เป็นแหล่งที่มาของความสอบกลับได้สำหรับปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องของประเทศนั้น ๆ ในกรณีที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติมีความสามารถถึงขั้นที่นำเอาหน่วยวัด SI จากนิยามมาทำให้เป็นจริงได้นั้น มาตรฐานแห่งชาตินั้นถือได้ว่าเทียบเท่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฐมภูมิหรือสามารถสอบกลับได้โดยตรงกับหน่วยวัด SI อย่างไรก็ดีในกรณีที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติยังไม่มีความสามารถถึงขั้นที่จะนำเอานิยามมาทำให้เป็นจริงได้ การทำให้มั่นใจว่าสามารถสอบกลับได้ถึงหน่วยวัด SI จะกระทำโดยการถ่ายทอดจากมาตรฐานปฐมภูมิของประเทศอื่น

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ มีหน้าที่หลักในการรักษามาตรฐานขั้นปฐมภูมิของหน่วยวัด SI ของประเทศ รวมทั้งการวิจัยและพัฒนามาตรฐานการวัด และวิธีการวัดให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้นตามความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การสอบเทียบที่กระทำโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติตามปกติแล้วจะจำกัดอยู่ที่การสอบเทียบเพื่อถ่ายทอดมาตรฐานของหน่วยวัด SI ในระดับปฐมภูมิของชาติสู่มาตรฐานระดับทุติยภูมิของห้องปฏิบัติการสอบเทียบในอุตสาหกรรมเท่านั้น

2.5.3.3 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถ

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ที่ได้รับการรับรองโดยองค์กรให้การรับรองความสามารถอย่างเป็นทางการของแต่ละประเทศ สำหรับหน่วยงานให้การรับรองอย่างเป็นทางการของประเทศไทยก็คือ ส่วนงานรับรองห้องปฏิบัติการสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ห้องปฏิบัติการที่ผ่านการรับรองโดยการตรวจประเมินความสามารถทางเทคนิค ตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/IEC 17025 แล้ว จะได้รับใบรับรองความสามารถของการวัดพร้อมกับความไม่แน่นอนน้อยที่สุดที่ห้องปฏิบัติการสามารถกระทำได้

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ที่ได้รับการรับรองความสามารถจะทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดจากภาคอุตสาหกรรม เพื่อถ่ายทอดความถูกต้องจากหน่วยวัด SI โดยใช้มาตรฐานอ้างอิงหรือมาตรฐานถ่ายทอดที่ผ่านการสอบเทียบแล้วจากมาตรฐานแห่งชาติ หรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถในระดับสูงกว่า

2.5.3.4 การสอบเทียบที่กระทำภายในภาคอุตสาหกรรม

การสอบเทียบที่กระทำขึ้นเองภายในภาคอุตสาหกรรม เพื่อทำให้มั่นใจว่าเครื่องมือตรวจ และทดสอบทั้งหมดที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการสอบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงภายในโรงงาน โดยที่มาตรฐานอ้างอิงนั้นจะต้องได้รับการสอบเทียบกับมาตรฐานของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ แล้วแต่กรณีซึ่งความสามารถในการทำการสอบเทียบภายในโรงงานจะต้องคำนึงถึง ความสามารถของผู้ปฏิบัติการ (การศึกษา การฝึกอบรม ความชำนาญ และประสบการณ์) วิธีการในการวัด เครื่องมือวัดและมาตรฐานการวัด ห้องปฏิบัติการ (สภาวะแวดล้อม) ตลอดจนระบบการบันทึกผล เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้อง และแม่นยำของการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 เมื่อไม่สามารถสอบกลับผลของการวัดไปสู่หน่วยวัดสากล

ในกรณีที่เป็นไปไม่ได้ที่ จะสอบกลับผลของการวัดไปสู่หน่วยวัดระหว่างประเทศ (SI Unit) ได้ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ลูกค้า และผู้ที่เกี่ยวข้อง อาจตกลงร่วมกันที่จะใช้วัสดุอ้างอิงที่ได้รับการรับรองแล้ว (Certified Reference Material: CRM) หรือการใช้วิธีบ่งชี้เฉพาะหรือมาตรฐานที่ตกลงยอมรับร่วมกันของผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

นิยามของวัสดุอ้างอิงและมาตรฐานที่ยอมรับร่วมกัน เป็นดังนี้

1) **วัสดุอ้างอิงที่ได้รับการรับรองแล้ว (Certified Reference Material)** คือ วัสดุอ้างอิงที่มีใบรับรองแนบมาด้วย ซึ่งค่าลักษณะเฉพาะหนึ่งอย่างหรือหลาย ๆ อย่างของมันได้รับการรับรองด้วยวิธีการอันหนึ่ง ทำให้สามารถสร้างความสามารถสอบกลับได้ไปสู่หน่วยวัดที่ทำให้เป็นจริงได้ และแต่ละค่าที่ได้รับการรับรองจะต้องแนบค่าความไม่แน่นอนที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนดไว้มาด้วย
2) **วัสดุอ้างอิง (Reference Material)** คือ วัสดุหรือสสารที่ค่าลักษณะเฉพาะหนึ่งอย่างหรือหลาย ๆ อย่างของมันมีคุณสมบัติเหมือนกัน และถูกสร้างขึ้นมาเป็นอย่างดีเพื่อใช้สำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัด การประเมินวิธีการวัด หรือสำหรับการกำหนดค่าให้กับวัสดุ วัสดุอ้างอิงอาจอยู่ในรูปของแก๊สบริสุทธิหรือแก๊สผสม ของเหลว หรือของแข็งก็ได้
3) **มาตรฐานที่ยอมรับร่วมกัน (Consensus Standard)** คือ มาตรฐานที่ใช้โดยความตกลงระหว่างองค์กรคู่สัญญา เมื่อไม่มีมาตรฐานแห่งชาติ

2.6 มาตรฐานการวัด

มาตรฐานการวัดที่ใช้กันทั่วไปในระบบมาตรวิทยาและคำนิยาม มีดังนี้

1) **มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard)** หมายถึง มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ หรือเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีคุณสมบัติทางมาตรวิทยาสูงที่สุด ซึ่งค่าของมันเป็นที่ยอมรับโดยไม่ต้องอ้างอิงกับมาตรฐานอื่นที่เป็นปริมาณอันเดียวกัน
2) **มาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard)** หมายถึง มาตรฐานที่ถูกกำหนดขึ้นโดยค่าของมัน จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าของปริมาณอันเดียวกันในมาตรฐานปฐมภูมิ
3) **มาตรฐานการวัดระหว่างประเทศ (International Measurement Standard)** หมายถึง มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยการตกลงร่วมกันระหว่างประเทศ เพื่อใช้อ้างอิงระหว่างประเทศเป็นเหมือนกับพื้นฐานสำหรับการกำหนดค่า กับมาตรฐานอื่นของปริมาณที่เกี่ยวข้อง
4) **มาตรฐานการวัดแห่งชาติ (National Measurement Standard)** หมายถึง มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับโดยพระราชบัญญัติแห่งชาติเพื่อใช้ในประเทศ เป็นเหมือนกับพื้นฐานสำหรับการกำหนดค่ากับมาตรฐานอื่นของปริมาณที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) **มาตรฐานอ้างอิง (Reference Standard)** หมายถึง มาตรฐานทั่วไปซึ่งได้มา จากการวัดที่มีคุณลักษณะทางมาตรวิทยาสูงสุดที่หาได้ง่ายที่จุดใช้งานหรือในหน่วยงาน

6) **มาตรฐานถ่ายทอด (Transfer Standard)** หมายถึง มาตรฐานอันหนึ่งที่ถูกใช้เป็นสื่อกลางเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอื่น

7) **มาตรฐานใช้ทำงาน (Working Standard)** หมายถึง มาตรฐานที่ถูกใช้เพื่อการสอบเทียบหรือตรวจสอบเครื่องวัดที่เป็นวัสดุ เครื่องมือวัด หรือวัสดุอ้างอิงที่ใช้งานเป็นประจำเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือวัดหรือวัสดุอ้างอิงเหล่านี้สามารถวัดค่าได้ถูกต้อง อย่างไรก็ตาม บางครั้งเรียกมาตรฐานใช้ทำงานว่า “มาตรฐานตรวจสอบ" (Check Standard)

2.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด

2.7.1 นิยามของค่าความไม่แน่นอนของการวัด

ความไม่แน่นอนของการวัด หมายถึง พารามิเตอร์ที่ร่วมมากับผลของการวัด ที่บอกลักษณะการกระจายของค่า ซึ่งสามารถอ้างได้อย่างสมเหตุสมผลว่า เป็นของปริมาณที่ถูกวัดนั้น (Parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand : VIM 3.9)

จากนิยามข้างต้น สามารถให้ความหมายของของความไม่แน่นอนของการวัดได้ว่า เป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความไม่สมบูรณ์ของปริมาณที่ถูกวัด ค่าความไม่แน่นอนจะเกิดขึ้นทุกครั้งในการถ่ายทอดค่าความถูกต้องของการวัด ซึ่งในแต่ละระดับของการวัด จะเกิดค่าความไม่แน่นอนสะสมมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายทอดค่าความถูกต้องของการวัดของแต่ละห้องปฏิบัติการ

2.7.2 แหล่งที่มาของความผิดพลาดและความไม่แน่นอน

มีหลายสิ่งหลายอย่างที่ส่งผลต่อความผิดพลาด (Error) ของการวัด ซึ่งอาจสังเกตเห็นได้ เพราะการวัดไม่สามารถทำได้ภายใต้เงื่อนที่สมบูรณ์ โดยความผิดพลาดและความไม่แน่นอนสามารถเกิดได้จากสาเหตุดังต่อไปนี้

1) **อุปกรณ์วัด** ความผิดพลาดของอุปกรณ์วัดอาจมาจาก Bias Error, อายุการใช้งาน, การชำรุดสึกหรอ, ความสามารถในการอ่านค่าซ้ำ ๆ ลดลง, สัญญาณรบกวน และอื่น ๆ เป็นต้น

2) **หัวข้อ/เรื่องที่กำลังถูกวัด** อาจไม่มีเสถียรภาพ เช่น การวัดขนาดของก้อนน้ำแข็งในขณะที่อากาศร้อน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) **กระบวนการวัด** อาจกระทำได้ยากลำบาก เพราะสิ่งที่ถูกวัดเคลื่อนที่ตลอดเวลา

4) **ความไม่แน่นอนของการสอบเทียบหรือความไม่แน่นอนนำเข้า (Imported Uncertainty)** ในการสอบเทียบอุปกรณ์วัดจะได้ค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ ความไม่แน่นอนนี้จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัด

5) **ทักษะของผู้ปฏิบัติงาน** การวัดบางอย่างอาจขึ้นอยู่กับทักษะและการตัดสินใจของผู้ปฏิบัติงาน ผู้ปฏิบัติงานบางคนอาจทำการวัดอย่างละเอียดปราณีตมากกว่าคนอื่น หรืออ่านข้อมูลได้ละเอียดมากกว่าคนอื่น การใช้เครื่องมือ เช่น นาฬิกาจับเวลาจะขึ้นอยู่ กับการตอบสนองของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคน บางคนช้า บางคนเร็ว อย่างไรก็ตามความผิดพลาดที่เกิดจากทักษะของผู้ปฏิบัติงานเหล่านี้ จะเป็นสาเหตุให้เกิดความไม่แน่นอนของการวัด

6) **ปัญหาการสุ่มตัวอย่าง** ตัวอย่างที่สุ่มออกมาจากประชากร ต้องมีวิธีการสุ่มที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของประชากร เช่น การสุ่มตัวอย่างในสายการผลิต (Production Line) โดยทั่วไปจะไม่เอา 10 ชิ้นแรกในกรณีที่เริ่มผลิตในวันจันทร์ เพราะความไม่สมบูรณ์หรือการปรับตั้งสายการผลิตยังไม่เหมาะสม นั่นคือจะมีของเสียเกิดขึ้นมากในเช้าวันจันทร์ หรือหากต้องการวัดอุณหภูมิที่โต๊ะทำงาน จะต้องไม่วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ติดกับผนังใกล้กับทางออกของเครื่องปรับอากาศ

7) **สภาพแวดล้อม** เช่น อุณหภูมิ, ความกดอากาศ, ความชื้น และอื่น ๆ ที่กล่าวไปแล้วอาจส่งผลต่ออุปกรณ์วัดหรือสิ่งที่กำลังถูกวัด เมื่อขนาดและผลของความผิดพลาดเป็นส่งที่รู้ค่า ที่สามารถหาได้จากใบรับรองการสอบเทียบ ดังนั้นการปรับแก้ (Correction) ก็สามารถทำได้กับผลของการวัด แต่ความไม่แน่นอนมาจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน ความไม่แน่นอนเหล่านี้จะถูกนำมารวมกันกลายเป็นความไม่แน่นอนผลรวม ซึ่งไม่สามารถปรับแก้ได้

2.7.3 ชนิดของความไม่แน่นอน

โดยทั่วไปจะแบ่งความผิดพลาด (Error) เป็น 2 ชนิด คือ

1) **ความผิดพลาดสุ่ม (Random Error)** คือ ความแตกต่างระหว่างผลการวัดที่เกิดแบบคาดเดาไม่ได้ เกิดแบบไม่มีระเบียบแบบแผนแน่นอน มักจะมองเป็น “สิ่งรบกวนที่ไม่มีระเบียบแน่นอน” ในกระบวนการวัดความผิดพลาดเหล่านี้จะถูกประเมินค่าโดยวิธีทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความผิดพลาดของระบบ (Systematic) คือ ความแตกต่างจากค่าจริง ซึ่งเกิดจากความไม่สมบูรณ์ในระบบการวัด ความผิดพลาดจากระบบเหล่านี้เป็นผลมาจากสิ่งที่วัดได้ (อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน) และมีผลกระทบสัมพันธ์กับค่าของปริมาณที่ทำการวัดสิ่งอื่น ๆ เช่น การผิดพลาดจากตัวมาตรฐาน เป็นต้น การเกิดความผิดพลาดสุ่มในเวลาหนึ่ง อาจเป็นความผิดพลาดของระบบในอีกด้านหนึ่งได้

2.7.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอน

การประเมินค่าความไม่แน่นอนแบ่งออกเป็น ความไม่แน่นอนชนิด A (Type A Uncertainty) และ ความไม่แน่นอนชนิด B (Type B Uncertainty) โดยความไม่แน่นอนชนิด A เป็นความไม่แน่นอนทางสถิติของข้อมูลจากกการวัด ส่วนความไม่แน่นอนชนิด B เป็นความไม่แน่นอนที่เกิดจากสาเหตุอื่น ๆ นอกเหนือจากค่าไม่แน่นอนชนิด A

2.7.4.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

โดยทั่วไปการหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิด A จะใช้กับข้อมูลที่สามารถวัดซ้ำหรือทำซ้ำได้หรือผลการวัดที่มีการกระจายตัวอย่างแบบสุ่ม (Random) ซึ่งจำเป็นต้องหาค่าเฉลี่ยของผลการวัด ถ้าในการวัดปริมาณ x ใด ๆ ได้ค่าที่เป็นอิสระต่อกันจำนวน n ค่า ค่าเฉลี่ย x หาได้จากสมการที่ 2.1

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \qquad (2.1)$$

สำหรับการกระจายตัวของผลการวัดแบบสุ่ม จะแสดงถึงความสามารถในการทำซ้ำของกระบวนการวัด ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น เครื่องมือที่ใช้วัด วิธีการวัด และบางครั้งก็ขึ้นอยู่กับผู้ทำการวัด การอธิบายที่ดีของการกระจายตัวนี้คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ) ดังแสดงตามสมการที่ 2.2

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (2.2)$$

จากสมการค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะใช้ในกรณีที่ n มีขนาดใหญ่มากซึ่งค่าเฉลี่ยจะเข้าใกล้ศูนย์กลางของการกระจาย (Central Limit of Distribution) และการกระจายข้อมูลของสมการที่ 2.2 มักถูกสมมุติว่าเป็นแบบ Gaussian หรือ Normal Distribution ในกรณีที่ไม่สามารถสุ่มตัวอย่างได้เป็นจำนวนมาก ในทางปฏิบัติจะหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน s(x_i) ได้จากสมการที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \quad (2.3)$$

สำหรับค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ ในสมการ $s(x_i)$ หาได้จากจำนวนตัวอย่างที่แน่นอน n ตัว ซึ่งไม่ใช่ค่าเฉลี่ยที่แท้จริงที่จำนวนตัวอย่างต้องเป็นอนันต์ (Infinity) ดังนั้นค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ จะมีค่าความไม่แน่นอน และค่าความไม่แน่นอนนี้ถูกอ้างถึงเหมือนกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง (Experimental Standard Deviation of the Mean) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.4

$$s(\bar{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

2.7.4.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

มีความเป็นไปได้ที่องค์ประกอบของความไม่แน่นอน ที่เกี่ยวข้องกับระบบ (Systematic Components of Uncertainty) จะถูกประมาณจากค่าความไม่แน่นอนชนิด B ซึ่งจะรวมความผิดพลาดที่เกิดขึ้นคงที่ขณะทำการวัด สิ่งสำคัญมากที่สุดขององค์ประกอบของความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับระบบเหล่านี้สำหรับตัวมาตรฐานอ้างอิง (Reference Standards) คือค่าความไม่แน่นอนนำเข้า (Imported Uncertainty) ที่เกี่ยวข้องกับตัวของมันเอง นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่สนับสนุนปัจจัยอื่น ๆ ที่สำคัญต่อ Systematic Errors ในการวัดที่เกิดขึ้นในห้องปฏิบัติการของผู้ใช้เครื่องมือเอง

การบ่งชี้และการประเมินค่าความไม่แน่นอนเหล่านี้จะสำเร็จได้ ขึ้นอยู่กับความรู้ที่มีเกี่ยวกับกระบวนการวัดและประสบการณ์ของผู้ทำการวัด การป้องกันความผิดพลาดเหล่านี้ไม่สามารถทำได้ ตัวอย่างของความผิดพลาดที่มักพบโดยทั่วไป เช่น ความผิดพลาดของการถอดความ (Transcription Error) และความผิดพลาดของ Software ที่ถูกออกแบบเพื่อการควบคุมหรือเพื่อการรายงานกระบวนการวัด ผลของความผิดพลาดดังกล่าวมักจะไม่รวมอยู่ในการประเมินค่าความไม่แน่นอน

ในการประเมินองค์ประกอบของความไม่แน่นอน จำเป็นต้องพิจารณาแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนที่เป็นไปได้ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1) ความไม่แน่นอนของการสอบเทียบของตัวมาตรฐานอ้างอิง (Reference Standards) และการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ตามเวลา (Drift) หรือความไม่มีเสถียรภาพในการอ่านค่าของตัวมาตรฐานอ้างอิง
2) ความไม่แน่นอนที่เกิดจากอุปกรณ์เสริม เช่น สายต่อ เป็นต้น และการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ตามเวลาหรือความไม่มีเสถียรภาพจากการอ่านค่าของอุปกรณ์เสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ความไม่แน่นอนของอุปกรณ์ที่กำลังทำการวัด และความไม่มีเสถียรภาพใด ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างทำการวัด มันเป็นที่น่าสังเกตุว่าพฤติกรรม ระยะยาวที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Anticipated Long Term Performance) ของอุปกรณ์วัดที่กำลังถูกสอบเทียบ โดยทั่วไปจะไม่ถูกรวมเข้าไป ในการประเมินค่าความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบนั้น ๆ

4) ความไม่แน่นอนที่เกิดจากขั้นตอนการดำเนินการ

5) ความไม่แน่นอนที่เกิดจากผู้ทำการทดลอง (Staff) ที่แตกต่างกัน เมื่อทำการสอบเทียบเครื่องมือชนิดเดียวกัน

6) ความไม่แน่นอนที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ในขณะทำการวัดหรือสอบเทียบ

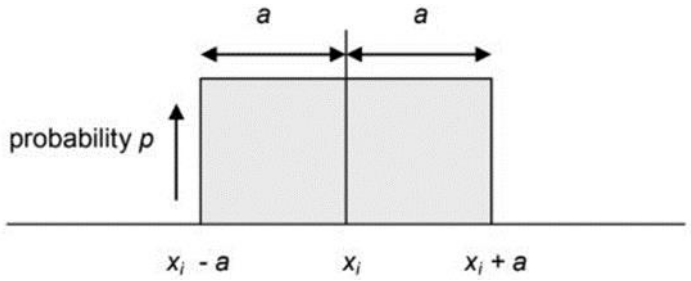
มีความเป็นไปได้ที่จะทำการปรับแก้ (Correction) ความผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบหรือความผิดพลาดของแหล่งที่มาอื่น ๆ โดยทั่วไปค่าความผิดพลาด (Error) จะให้เครื่องหมายเป็นบวกถ้าค่าที่วัดได้มีค่ามากกว่าค่าที่แท้จริง การปรับแก้ความผิดพลาดทำได้โดยการลบค่าความผิดพลาดออกจากค่าที่วัดได้

องค์ประกอบที่เป็นไปได้ของความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับระบบ มักจะอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่ได้จากการทดลองหรือหลักฐานทางทฤษฎี ซึ่งควรจะมีคุณลักษณะเฉพาะในเทอมของความไม่แน่นอนมาตรฐานที่อยู่บนพื้นฐานของการกระจายความเป็นไปได้ (Probability Distribution) การกระจายความเป็นไปได้ของความไม่แน่นอนชนิด B ที่ได้จากการประเมิน อาจมีได้หลายรูปแบบแต่ที่ยอมรับโดยทั่วไปที่จะกำหนดเป็นลักษณะรูปทรงเรขาคณิต (Geometry Shape) ที่ชัดเจน เพื่อให้ความไม่แน่นอนมาตรฐานนั้นง่ายต่อการคำนวณ

2.7.4.3 การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular

สำหรับการวัดใด ๆ ที่มีการกระจายของข้อมูล โดยมีค่าความสูงของความเป็นไปได้ที่เท่า ๆ กัน การกระจายชนิดนี้เรียกว่า “การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular” ดังแสดงตามรูปที่ 2.1 การกระจายแบบ Uniform เป็นการประมาณค่าความไม่แน่นอนแบบอนุรักษ์นิยม คือจะให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด ตัวอย่างของการกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular เช่น การตัดตัวเลข (Numeric Rounding) ของส่วนแสดงผลที่เกิดจากความละเอียดของส่วนแสดงผล คือค่าที่วัดได้จะอยู่ที่ใด ๆ ภายในขอบเขตที่กำหนด ± ครึ่งหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงหนึ่ง Step ของตัวเลขหลักสุดท้ายก็จะแสดงค่าเป็น x_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1 การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular (UKAS, 2012)

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่ามีความเป็นไปได้เท่า ๆ กัน (Equal Probability) ที่ค่าของ x_i จะอยู่ที่ใด ๆ ภายในขอบเขต x_i-a ถึง x_i+a และจะมีความเป็นไปได้เท่ากับศูนย์เมื่อมันอยู่นอกขอบเขตของ a ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะกล่าวว่าตำแหน่งของ x_i ใด ๆ ภายในขอบเขตที่กำหนดมีความเป็นไปได้มากกว่าหรือน้อยกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้การกระจายที่เป็นไปได้ของสิ่งที่ถูกวัดเป็นการสะท้อนถึงความรู้ที่สามารถหาได้ ในหลาย ๆ กรณีถ้ามีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะตัดสินใจได้ว่ามันมีการกระจายในรูปแบบใด มักจะสมมุติว่ามันมีการกระจายความเป็นไปได้แบบ Uniform หรือ Rectangular

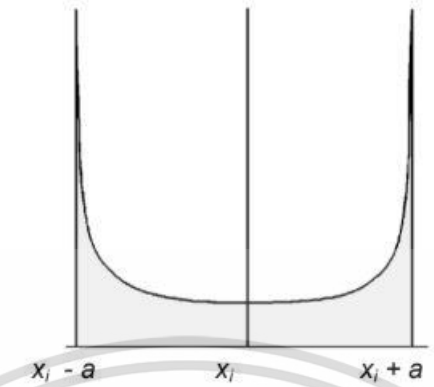
2.7.4.4 การกระจายแบบ Triangular

รูป 2.2 การกระจายแบบ Triangular (UKAS, 2012)

การกระจายแบบ Triangular มักใช้กับกระบวนการสร้างแบบจำลอง (Modeling Process) เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นสิ่งที่รู้ค่า แต่มีข้อมูลไม่เพียงพอเพราะต้องใช้ต้นทุนที่สูง นอกจากนี้การกระจายความเป็นไปได้แบบ Triangular อาจเกิดจากการรวมกันของการกระจายความเป็นไปได้แบบ Rectangular ที่มีขนาด เท่ากันสองอัน ซึ่งแต่ละอันมีขนาด ±a จะได้การกระจายความเป็นไปได้แบบ Triangular หนึ่งอันที่มีขนาด ±2a ดังแสดงตามรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4.5 การกระจายแบบ U-shape

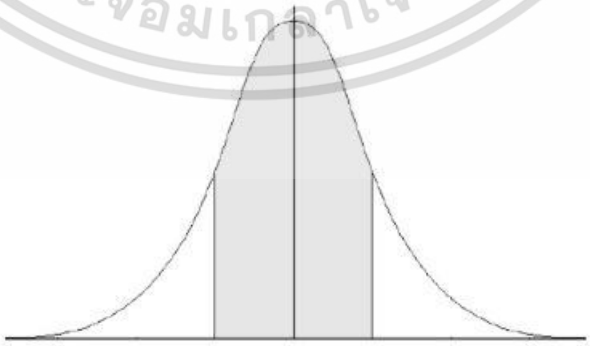


รูป 2.3 การกระจายแบบ U-Shape (UKAS, 2012)

การกระจายแบบ U-shape เกิดขึ้นเมื่อทำการวัดกำลังงานของความถี่วิทยุ (Radio Frequency Power) ความไม่แน่นอนอันหนึ่งที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเข้าคู่ที่ไม่สมบูรณ์ (Mismatching) ระหว่างต้นทางและปลายทาง การเข้าคู่ที่ไม่สมบูรณ์นี้เกี่ยวข้องกับมุมเฟส (Phase Angle) ที่ไม่รู้ค่า หมายความว่า Cosine Function แสดงถึงคุณสมบัติของการกระจายค่าความเป็นไปได้ของความไม่แน่นอน Harris และ Warner ดังแสดงตามรูปที่ 2.3 การกระจายแบบ U-shape ที่มีความสมมาตรกันเกิดขึ้นจากการเข้าคู่ที่ไม่สมบูรณ์นี้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติเป็นไปได้ที่ x_i จะเข้าใกล้ขอบด้านใดด้านหนึ่ง ซึ่งเป็นชนิดไม่สมมาตร

2.7.4.6 การกระจายแบบ Normal หรือ Gaussian

การประเมินปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถทำซ้ำได้ (Non-repeatability) ที่กระทำด้วยวิธีทางสถิติ โดยทั่วไปจะให้การกระจายแบบ Normal หรือ Gaussian ดังแสดงตามรูปที่ 2.4



รูป 2.4 การกระจายตัวแบบ Normal หรือ Gaussian (UKAS, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อการกระจายจำนวนหนึ่งที่อยู่ในรูปแบบใด ๆ ถูกนำมารวมกัน มันได้แสดงให้เห็นว่า (กรณีทั่วไป) การกระจายความเป็นไปได้ผลลัพธ์มีแนวโน้มที่จะอยู่ในรูปของ Normal ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีลิมิตศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) สิ่งสำคัญของเรื่องนี้คือทำให้มันเป็นไปได้ที่จะกำหนดระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level) ในเทอมของความเป็นไปได้ (Probability) ให้กับความไม่แน่นอนที่นำมารวมกัน (Combined Uncertainty) ส่วนกรณียกเว้นจะเกิดขึ้นเมื่อสิ่งสนับสนุนหรือความไม่แน่นอนอันหนึ่งมีอิทธิพลเหนือกว่าความไม่แน่นอนตัวอื่น ๆ ในกรณีเช่นนี้การกระจายที่เป็นผลลัพธ์ (Resulting Distribution) จะมีลักษณะเหมือนกับการกระจายของความไม่แน่นอนของตัวที่มีอิทธิพลมากกว่า ตัวอย่างเช่นถ้าความไม่แน่นอนของตัวที่มีอิทธิพลมากกว่ามีการกระจายแบบ Normal แน่นอนว่าการกระจายที่เป็นผลลัพธ์ย่อมเป็น Normal ด้วย

การกระจายแบบ Normal หรือ Gaussian ที่ได้จากการรวมกันของการกระจายจำนวนหนึ่งที่มีรูปแบบใด ๆ และเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขของทฤษฎีลิมิตศูนย์กลาง ในทางปฏิบัติถ้าการกระจายสามหรือสี่อันที่มีขนาดเท่ากัน เมื่อนำมารวมกันจะถูกประมาณว่าการกระจายที่เป็นผลลัพธ์เป็นรูปแบบ Normal ขนาดของการกระจายนี้ถูกอธิบายได้ในเทอมของ “ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน” พื้นที่ที่แรเงาแทน $\pm\sigma$ จากศูนย์กลางของการกระจายซึ่งสอดคล้องกับพื้นที่ใต้เคิร์ฟ 68%

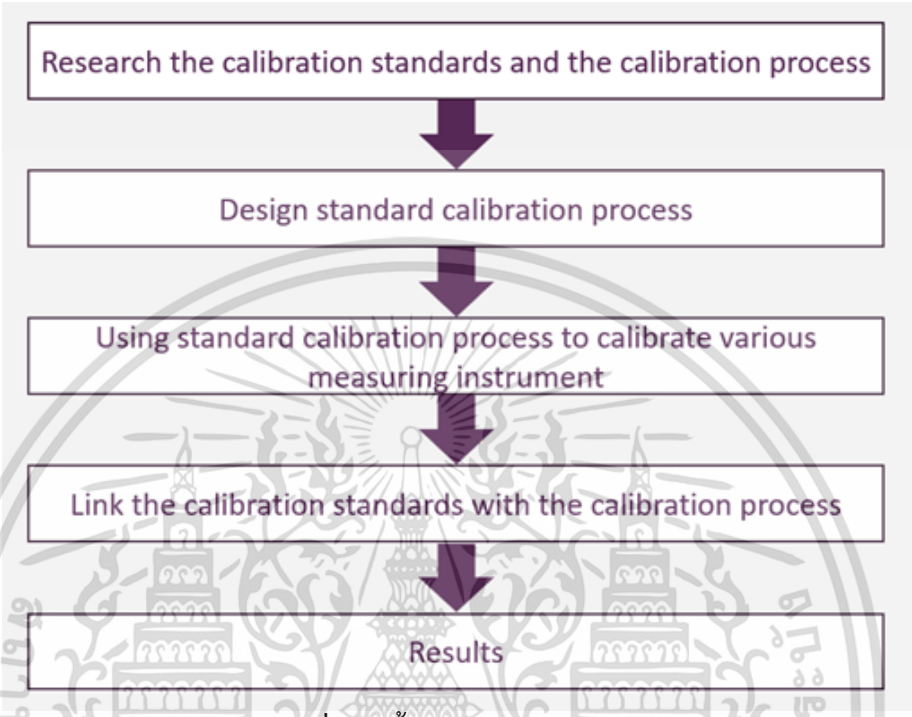
เมื่อนำความไม่แน่นอนอินพุท (Input Uncertainties) มารวมกัน ตามปกติจะได้การกระจายแบบ Normal การกระจายแบบนี้สามารถอธิบายได้ในเทอมของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อความไม่แน่นอนอินพุทบางตัวถูกแสดงในรูปของค่าขอบเขต (Limit Values) เช่น การกระจายแบบ Rectangular ต้องมีกระบวนการบางอย่างที่จะเปลี่ยนค่าขอบเขตของมันไปสู่การกระจายแบบ Normal ซึ่งทำให้ทราบค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty) และถูกอ้างอิงเหมือนกับค่า $u(x_i)$

เมื่อเป็นไปได้ที่จะประเมินขอบเขตด้านบน และด้านล่างของความผิดพลาดของการกระจายความเป็นไปได้แบบ Rectangular ให้อยู่ในรูปของค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดนั้น ดังนั้นถ้าให้ a_i เป็นครึ่งหนึ่งของขอบเขต (Semirange Limit) ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของการกระจายแบบ Rectangular จะเท่ากับ $u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารมาตรฐานการสอบเทียบและกระบวนการสอบเทียบ

ศึกษาเอกสารมาตรฐาน และกระบวนการสอบเทียบที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ จากหลายแหล่งข้อมูล เนื่องจากการที่จะสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ควรมีมาตรฐานในการสอบเทียบเครื่องมือวัดระดับสากลมาใช้ในการอ้างอิง เพื่อที่จะได้เข้าใจถึงกระบวนการการสอบเทียบเครื่องมือวัด อุปกรณ์และเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ สภาพแวดล้อมระหว่างการสอบเทียบ รวมไปถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการเทียบเครื่องมือวัด อีกทั้งยังทำให้การสอบเทียบเครื่องมือวัดมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการยืนยันว่าเครื่องมือวัดนั้นได้รับการสอบเทียบอย่างถูกต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดที่ยอมรับได้ โดยเอกสารการสอบเทียบมาตรฐานที่ได้นำมาใช้ในการศึกษาและอ้างอิงในการออกแบบกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติและความดันได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 เอกสารการสอบเทียบของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

1) NIMT-CNL-SP No.101 Standard Procedure for Calibration of digital Multimeter Type/Model : DMM 6 ½ digits
2) NIMT-CNL-SP No.301 Standard Procedure for Calibration of Weight class F1, 1 mg to 20 kg
3) NIMT-CNL-SP No.401 Standard Procedure for Calibration of Industrial Platinum Resistance Thermometers
4) NIMT-CNL-SP No.501 Standard Procedure for Calibration of External Micrometer Range : 0-25 mm
5) NIMT-CNL-SP No.601 Standard Procedure for Calibration of Pressure Measuring Instruments Type/Model : Hydraulic Type

3.1.2 เอกสารการประเมินความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ

1) M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement (November 2012)
2) EA-4/02-1999 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration

3.1.3 เอกสารการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ

1) JIS B 7506-1997 Gauge blocks
2) JIS B 7502-1994 Micrometer callipers
3) AS 2102-1978 EXTERNAL MICROMRTERS
4) ISO 3611-1978 Micrometer callipers for external measurement
5) ISO 3611-2010 Geometrical product specifications (GPS)-Dimensional measuring equipment : Micrometer for external measurements-Design and metrological characteristics
6) JIS B 7507-1993 Vernier, dial and digital callipers
7) AS 1984-1977 VERNIER CALLIPERS
8) ISO 3559-1976 Vernier callipers reading to 0.1 and 0.05 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 เอกสารการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน

1) DKD-R 6-1-2014 Calibration of Pressure Gauges

2) EAL-G26-1997 Calibration of Pressure Balances

3.2 ออกแบบกระบวนการสอบเทียบ

จากการศึกษาเอกสารมาตรฐาน และกระบวนการสอบเทียบที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ทำให้สามารถออกแบบกระบวนการสอบเทียบที่มีความเป็นกลาง ช่วยให้เกิดความเข้าใจกระบวนการสอบเทียบได้อย่างครบถ้วน โดยกระบวนการสอบเทียบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ได้ ซึ่งได้ทำการกำหนดหัวข้อที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ โดยแบ่งออกได้เป็น 8 หัวข้อหลัก ดังแสดงตามรูปที่ 3.2

1. รายละเอียดของการสอบเทียบ
2. เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้
3. การเตรียมการก่อนสอบเทียบ
4. การสอบเทียบเครื่องมือวัด
5. การคำนวณหาค่าแก้
6. การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A
7. การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B
8. การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

รูปที่ 3.2 รูปแบบกระบวนการสอบเทียบ

3.2.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ : ระบุเกี่ยวกับรายละเอียดหรือคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่จะนำมาสอบเทียบ ซึ่งจะประกอบไปด้วย ลักษณะ พิสัยการวัด ความละเอียด ค่าความถูกต้องหรือค่าความไม่แน่นอน และวิธีการสอบเทียบ

3.2.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ : เครื่องมือวัดอ้างอิงเพื่อให้เครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบได้ใช้เปรียบเทียบ โดยเครื่องมือวัดอ้างอิงนี้จะต้องมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ ประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะที่ทำการสอบเทียบ คุณสมบัติของอุปกรณ์มาตรฐาน และชนิดของอุปกรณ์มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ : การเตรียมเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบ ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ที่แตกต่างกันตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ

3.2.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด : อธิบายถึงขั้นตอนการสอบเทียบของเครื่องมือวัดในแต่ละชนิด เพื่อที่จะให้แน่ใจว่า เครื่องมือวัดที่นำมาใช้งานนั้นมีความถูกต้องตามมาตรฐาน ซึ่งอาจจะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้นำมาสอบเทียบเครื่องมือ โดยเครื่องมือวัดแต่ละชนิดก็จะมีขั้นตอนการสอบเทียบและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม

3.2.5 การคำนวณหาค่าแก้ : ค่าที่ชดเชยสำหรับค่าผิดพลาดโดยนำมาบวกกับค่าที่ยังไม่ปรับแก้ของการวัด ซึ่งในแต่ละย่านการวัดก็จะมีค่าต่างกัน

3.2.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A : ความไม่แน่นอนทางสถิติของข้อมูลที่ได้จากวัดซ้ำหรือการสุ่มเก็บตัวอย่างในกระบวนการวัด ส่วนประกอบแบบสุ่มของความไม่แน่นอนอาจจะไม่มีผลต่อความไม่แน่นอนรวมของทั้งระบบเลย ซึ่งค่าความไม่แน่นอนชนิด A มีค่าเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง

3.2.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B : ความไม่แน่นอนที่ได้จากวิธีอื่นที่ไม่ใช่วิธีทางสถิติ เป็นการใช้ข้อมูลจากประสบการณ์ จากใบรับรองการสอบเทียบ จากข้อกำหนดจำเพาะของโรงงานผู้ผลิต จากข้อมูลที่ถูกตีพิมพ์หรือจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ

3.2.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม : การรวมองค์ประกอบของความไม่แน่นอนมาตรฐานเข้าด้วยกัน เป็นค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ โดยใช้กฎของการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) หรือวิธี Root mean square มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลรวมของปริมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานกำลังสอง

3.3 นำกระบวนการสอบเทียบไปสอบเทียบกับเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ

จากการที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการการสอบเทียบหลาย ๆ เรื่อง จนมีความเข้าใจทำให้สามารถออกแบบกระบวนการสอบเทียบ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการสอบเทียบอุปกรณ์เครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ที่ต้องการนำมาสอบเทียบ โดยในการนำกระบวนการสอบเทียบไปสอบเทียบกับเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ สามารถทำได้ตามรูปแบบและขั้นตอนตามที่ได้กล่าวไว้ในกระบวนการสอบเทียบ ซึ่งวิธีการสอบเทียบเครื่องมือวัดในแต่ละชนิดก็จะมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของเครื่องมือวัดที่นำมาทำการสอบเทียบ โดยจะกล่าวถึงการสอบเทียบมิติ และการสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบความดัน เพื่อความเข้าใจที่มากขึ้น จึงได้ทำการยกตัวอย่างของการนำกระบวนการสอบเทียบไปสอบเทียบกับเครื่องมือวัดมิติ และเครื่องมือวัดความดัน

3.3.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติด้วยเกจบล็อค

รูปที่ 3.3 External Micrometer 3109-25B

รูปที่ 3.4 เวอร์เนียดิจิตอล MC MW110-15DBL

3 การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ด้วยเกจบล็อก

4.3.1 วาง Gauge Block ขนาด 2.5 mm ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ด้าน Anvil และ Spindle และปรับให้ผิวหน้าของไมโครมิเตอร์สัมผัสกับ Gauge Block อ่านค่าที่ไมโครมิเตอร์ และบันทึกผลลงในฟอร์มบันทึกผลการสอบเทียบ

4.3.2 ทำซ้ำข้อ 4.3.1 อีก 3 ครั้ง

4.3.3 เปลี่ยนขนาด Gauge Block ตามตารางในฟอร์มบันทึกการสอบเทียบ และทำการสอบเทียบตามข้อ 4.3.1 ถึง 4.3.2 จนครบ

4.3.4 คำนวณหาค่าเฉลี่ย

4.3.5 คำนวณหาค่าแก้

4.3.6 คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.7 คำนวณหาค่าความแน่นอน

รูปที่ 3.5 การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอกด้วยเกจบล็อค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 Steel Gauge Block Insize Grade 1

3.3.2 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1. ติดตั้งอุปกรณ์ดังรูป
2. กดเปิดใช้งาน Reference Pressure Gauge(หมายเลข 1) ตรวจสอบหน่วยที่ใช้ว่าเป็นหน่วย PSI หรือไม่
3. เปิดวาล์วระบายความดัน(หมายเลข 2) ของ High Pressure Calibration Manifold (HPM) หมุนวาล์วปรับค่าความละเอียด(หมายเลข 3) ออกมาประมาณ 4-5 นิ้ว แล้วปิดวาล์วระบายความดัน
4. กด Set Zero ตัว Reference Pressure Gauge
5. เปิดวาล์วความดันขาเข้า(หมายเลข 4)
6. ยก Hand Pump(หมายเลข 5) ขึ้นลงให้ได้ความดันที่ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการสอบเทียบ จากนั้นปิดวาล์วความดันขาเข้า
7. หมุนวาล์วปรับค่าความละเอียด จนเข็มของ Pressure Gauge หรือ UUC (หมายเลข 6) ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการสอบเทียบ
8. บันทึกค่าการสอบเทียบ Pressure Gauge ตั้งแต่ 0 ถึง 600 psi ทั้งขาขึ้นและขาลง โดยขาลงให้ค่อยๆคลายความดันให้ได้ความดันใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการสอบเทียบ ลงในตาราง (ทำซ้ำ 2 รอบ)

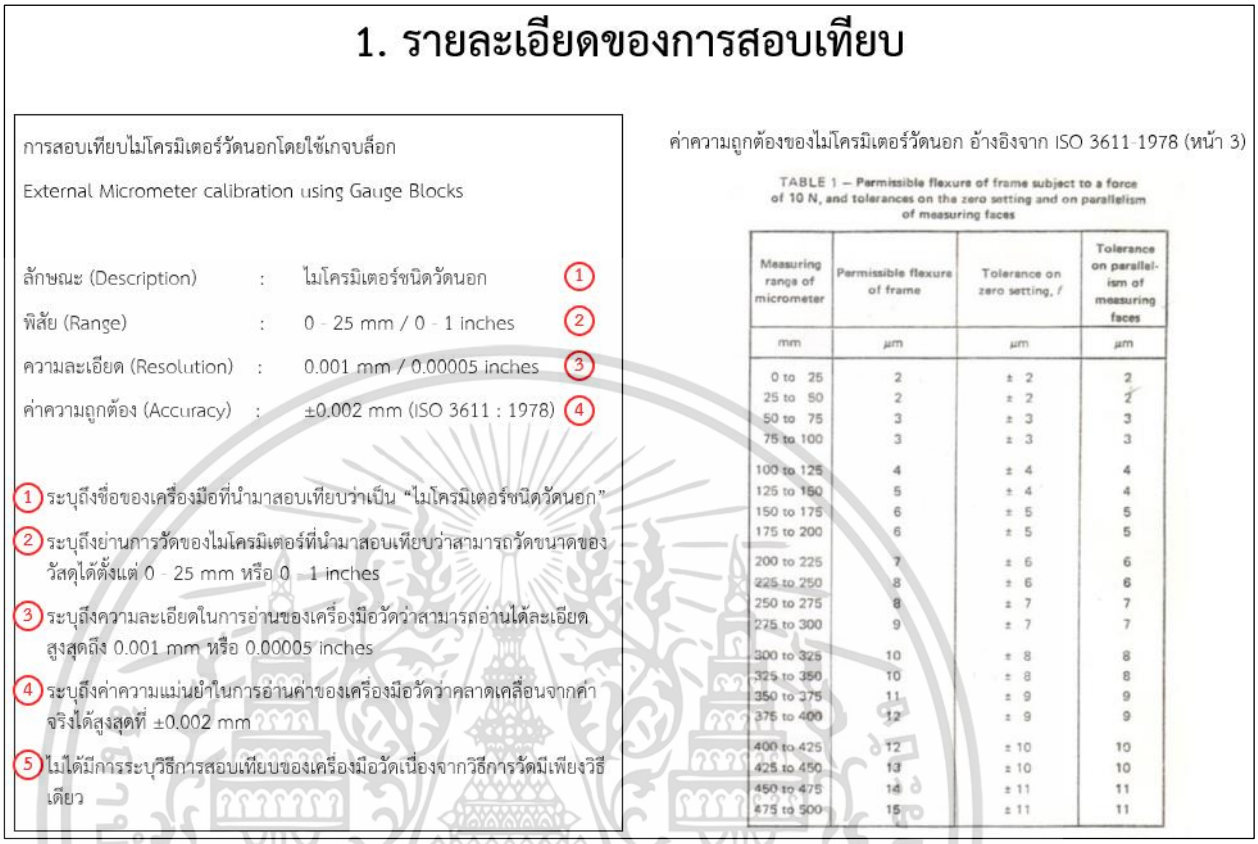
High Pressure Calibration Manifold (HPM)

High Pressure Pneumatic Test Pump (700HPPK)

รูปที่ 3.7 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เชื่อมโยงมาตรฐานการสอบเทียบกับกระบวนการสอบเทียบ



รูปที่ 3.8 รายละเอียดของการสอบเทียบ

จากการศึกษาเอกสารมาตรฐาน และกระบวนการสอบเทียบที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ จึงได้ทำการเชื่อมโยงโดยนำเอกสารการสอบเทียบมาตรฐานมาอ้างอิงกับกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้กระบวนการสอบเทียบมีความถูกต้องน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากรูปที่ 3.8 เป็นตัวอย่างการเชื่อมโยงมาตรฐานของค่าความถูกต้องของไมโครมิเตอร์วัดนอก โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ISO 3611-1978 หน้า 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการศึกษาเอกสารมาตรฐาน และกระบวนการสอบเทียบที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ จากหลายแหล่งข้อมูล เพื่อนำมาสร้างกระบวนการสอบเทียบที่สามารถนำไปใช้สอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ ได้ โดยได้นำเอกสารมาตรฐานสากลมาใช้ในการอ้างอิงเพื่อให้สามารถเชื่อมโยงกระบวนการสอบเทียบกับมาตรฐานสากลได้อย่างถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือ

4.1 กระบวนการสอบเทียบ

จากการศึกษาเอกสารมาตรฐาน และกระบวนการสอบเทียบที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ทำให้สามารถออกแบบกระบวนการสอบเทียบที่มีความเป็นกลาง โดยกระบวนการสอบเทียบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ ได้ ซึ่งได้ทำการกำหนดหัวข้อที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ โดยแบ่งออกได้เป็น 8 หัวข้อหลัก ดังแสดงตามรูปที่ 4.1

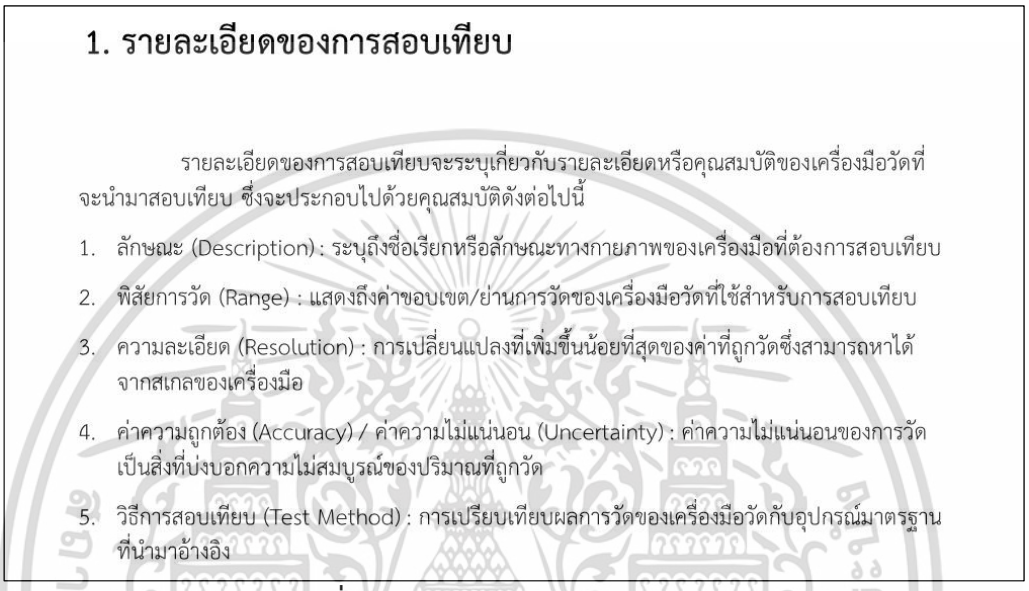
1. รายละเอียดของการสอบเทียบ
2. เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้
3. การเตรียมการก่อนสอบเทียบ
4. การสอบเทียบเครื่องมือวัด
5. การคำนวณหาค่าแก้
6. การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A
7. การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B
8. การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

รูปที่ 4.1 รูปแบบกระบวนการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ

ระบุเกี่ยวกับรายละเอียดหรือคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่จะนำมาสอบเทียบ (UUC) ซึ่งจะประกอบไปด้วย ลักษณะ (Description) พิสัยการวัด (Range) ความละเอียด (Resolution) ค่าความถูกต้อง (Accuracy) หรือค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) และวิธีการสอบเทียบ (Test Method) ดังแสดงตามรูปที่ 4.2



1. รายละเอียดของการสอบเทียบ

รายละเอียดของการสอบเทียบจะระบุเกี่ยวกับรายละเอียดหรือคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่จะนำมาสอบเทียบ ซึ่งจะประกอบไปด้วยคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ลักษณะ (Description) : ระบุถึงชื่อเรียกหรือลักษณะทางกายภาพของเครื่องมือที่ต้องการสอบเทียบ
2. พิสัยการวัด (Range) : แสดงถึงค่าขอบเขต/ย่านการวัดของเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับการสอบเทียบ
3. ความละเอียด (Resolution) : การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดของค่าที่ถูกวัดซึ่งสามารถหาได้จากสเกลของเครื่องมือ
4. ค่าความถูกต้อง (Accuracy) / ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) : ค่าความไม่แน่นอนของการวัดเป็นสิ่งที่บ่งบอกความไม่สมบูรณ์ของปริมาณที่ถูกวัด
5. วิธีการสอบเทียบ (Test Method) : การเปรียบเทียบผลการวัดของเครื่องมือวัดกับอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาอ้างอิง

รูปที่ 4.2 รายละเอียดของการสอบเทียบ

ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบ Micrometer ด้วย Gauge Blocks

Standard Procedure for Calibration of External Micrometer Range : 0 - 25 mm Page 2

ลักษณะ (Description)	:	ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก	①
พิสัย (Range)	:	0-25 mm	②
ความละเอียด (Resolution)	:	0.001 mm	③
ค่าความถูกต้อง (Accuracy)	:	±0.002 mm (ISO 3611: 1987)	④

① ระบุถึงชื่อของเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบว่าเป็น “ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก”

② ระบุถึงย่านการวัดของไมโครมิเตอร์ที่นำมาสอบเทียบว่าสามารถวัดขนาดของวัสดุได้ตั้งแต่ 0 ถึง 25 มิลลิเมตร

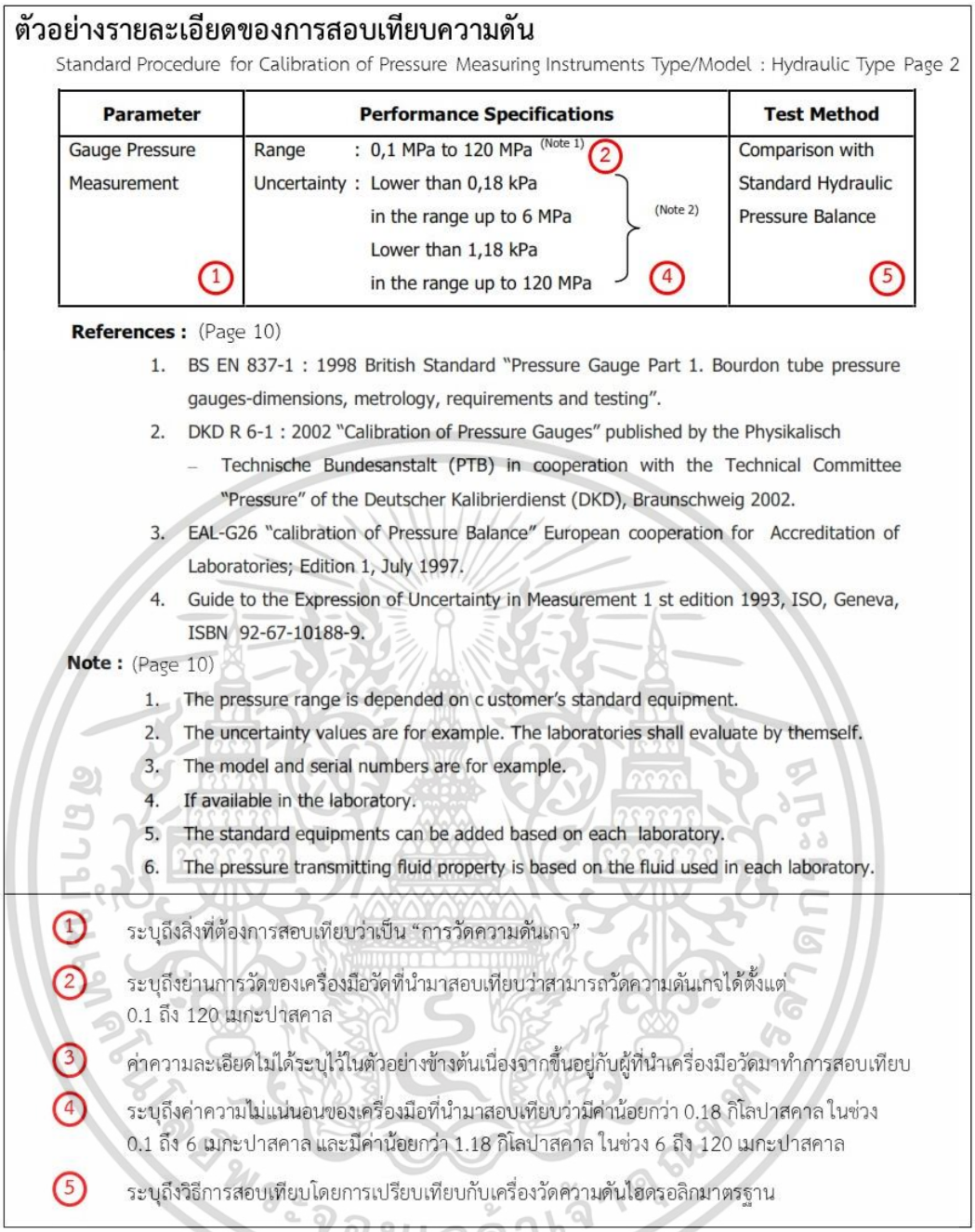
③ ระบุถึงความละเอียดในการอ่านของเครื่องมือวัดว่าสามารถอ่านได้ละเอียดสูงสุดถึง 0.001 มิลลิเมตร

④ ระบุถึงค่าความแม่นยำในการอ่านค่าของเครื่องมือวัดว่าคลาดเคลื่อนจากค่าจริงได้สูงสุดที่ ±0.002 มิลลิเมตร

⑤ ไม่ได้มีการระบุวิธีการสอบเทียบของเครื่องมือวัดเนื่องจากวิธีการวัดมีเพียงวิธีเดียว

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบ Micrometer ด้วย Gauge Blocks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบความดัน

Standard Procedure for Calibration of Pressure Measuring Instruments Type/Model : Hydraulic Type Page 2

Parameter	Performance Specifications	Test Method
Gauge Pressure Measurement (1)	Range : 0,1 MPa to 120 MPa (Note 1) (2) Uncertainty : Lower than 0,18 kPa in the range up to 6 MPa Lower than 1,18 kPa in the range up to 120 MPa (Note 2) (4)	Comparison with Standard Hydraulic Pressure Balance (5)

References : (Page 10)

1. BS EN 837-1 : 1998 British Standard "Pressure Gauge Part 1. Bourdon tube pressure gauges-dimensions, metrology, requirements and testing".
2. DKD R 6-1 : 2002 "Calibration of Pressure Gauges" published by the Physikalisch
   - Technische Bundesanstalt (PTB) in cooperation with the Technical Committee "Pressure" of the Deutscher Kalibrierdienst (DKD), Braunschweig 2002.
3. EAL-G26 "calibration of Pressure Balance" European cooperation for Accreditation of Laboratories; Edition 1, July 1997.
4. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement 1 st edition 1993, ISO, Geneva, ISBN 92-67-10188-9.

Note : (Page 10)

1. The pressure range is depended on c ustomer's standard equipment.
2. The uncertainty values are for example. The laboratories shall evaluate by themself.
3. The model and serial numbers are for example.
4. If available in the laboratory.
5. The standard equipments can be added based on each laboratory.
6. The pressure transmitting fluid property is based on the fluid used in each laboratory.

(1) ระบุถึงสิ่งที่ต้องการสอบเทียบว่าเป็น "การวัดความดันเกจ"

(2) ระบุถึงย่านการวัดของเครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบว่าสามารถวัดความดันเกจได้ตั้งแต่ 0.1 ถึง 120 เมกะปาสคาล

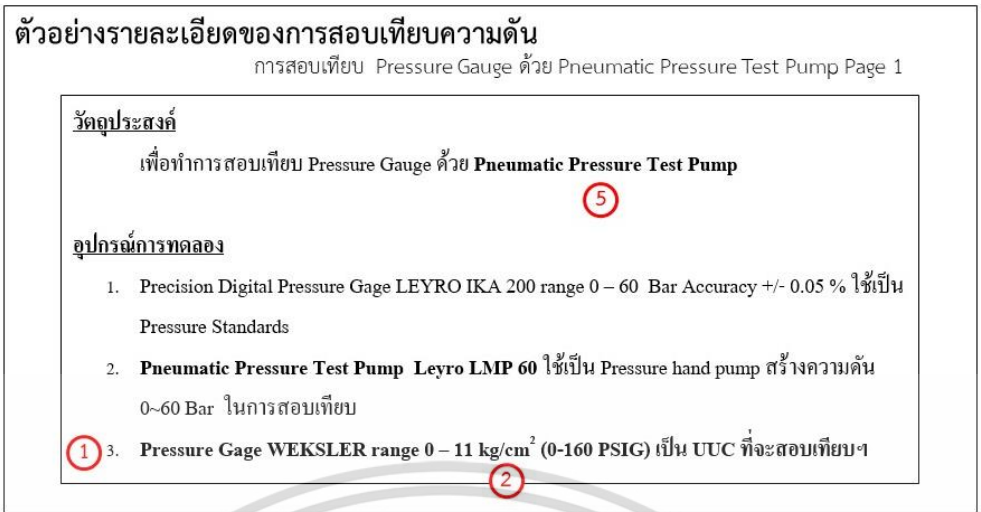
(3) ค่าความละเอียดไม่ได้ระบุไว้ในตัวอย่างข้างต้นเนื่องจากขึ้นอยู่กับผู้ที่นำเครื่องมือวัดมาทำการสอบเทียบ

(4) ระบุถึงค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบว่ามีค่าน้อยกว่า 0.18 กิโลปาสคาล ในช่วง 0.1 ถึง 6 เมกะปาสคาล และมีค่าน้อยกว่า 1.18 กิโลปาสคาล ในช่วง 6 ถึง 120 เมกะปาสคาล

(5) ระบุถึงวิธีการสอบเทียบโดยการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความดันไฮดรอลิกมาตรฐาน

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบความดัน

การสอบเทียบ Pressure Gauge ด้วย Pneumatic Pressure Test Pump Page 1

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการสอบเทียบ Pressure Gauge ด้วย **Pneumatic Pressure Test Pump** (5)

อุปกรณ์การทดลอง

1. Precision Digital Pressure Gage LEYRO IKA 200 range 0 – 60 Bar Accuracy +/- 0.05 % ใช้เป็น Pressure Standards
2. **Pneumatic Pressure Test Pump Leyro LMP 60** ใช้เป็น Pressure hand pump สร้างความดัน 0~60 Bar ในการสอบเทียบ
3. (1) **Pressure Gage WEKSLER range 0 – 11 kg/cm^2 (0-160 PSIG) เป็น UUC ที่จะสอบเทียบฯ** (2)

(1) ระบุถึงชื่อของเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบว่าเป็น “Pressure Gauge WEKSLER”

(2) ระบุถึงย่านการวัดของ Pressure Gauge ที่นำมาสอบเทียบว่าสามารถวัดความดันได้ตั้งแต่ 0 - 11 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (0-160 PSIG)

(3) ไม่ได้มีการระบุค่าความละเอียดของเครื่องมือวัด

(4) ไม่ได้มีการระบุค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด

(5) ระบุถึงวิธีการสอบเทียบโดยวิธีการ Pneumatic Pressure Test Pump

รูปที่ 4.5 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบความดัน (2)

ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบอุณหภูมิ

Standard Procedure for Calibration of Industrail Platinum Resistance Thermomrters Type/Model : PT100 Page 2

Type/Model	:	PT100 (1)				
Temperature Range	:	- 40 °C to + 550 °C (2)				
Best Measurement Capability	:	0.03 °C from	– 40 °C	to	0 °C	
		0.03 °C from	> 0 °C	to	250 °C	
		0.03 °C from	> 250 °C	to	420 °C	
		0.05 °C from	> 420 °C	to	550 °C	

References : EN DIN 60751 : 1995

(1) ระบุถึงชื่อของเครื่องมือวัดว่าเป็น “RTD PT100”

(2) ระบุถึงช่วงอุณหภูมิทำงานของอุปกรณ์ที่จะนำมาทำการสอบเทียบว่าสามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40 ถึง 550 °C

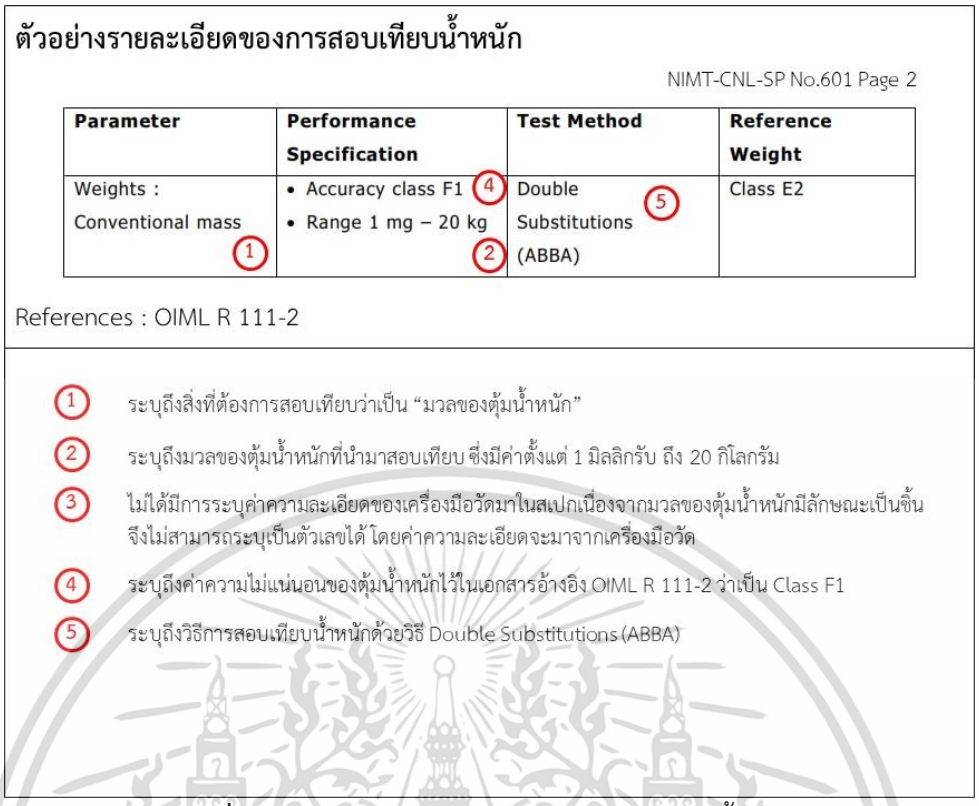
(3) ค่าความละเอียดไม่ได้กำหนด เนื่องจากลักษณะเอาต์พุตของ RTD PT100 จะเป็นค่าความต้านทานที่แปรผันกับอุณหภูมิ ไม่สามารถระบุเป็นค่าความละเอียดได้

(4) ระบุถึงค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการวัดในแต่ละย่าน

(5) ไม่ได้มีการระบุวิธีการสอบเทียบของเครื่องมือวัด

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบน้ำหนัก

NIMT-CNL-SP No.601 Page 2

Parameter	Performance Specification	Test Method	Reference Weight
Weights : Conventional mass (1)	• Accuracy class F1 (4) • Range 1 mg – 20 kg (2)	Double Substitutions (5) (ABBA)	Class E2

References : OIML R 111-2

(1) ระบุถึงสิ่งที่ต้องการสอบเทียบว่าเป็น “มวลของตุ้มน้ำหนัก”

(2) ระบุถึงมวลของตุ้มน้ำหนักที่นำมาสอบเทียบ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 มิลลิกรัม ถึง 20 กิโลกรัม

(3) ไม่ได้มีการระบุค่าความละเอียดของเครื่องมือวัดมาในสเปกเนื่องจากมวลของตุ้มน้ำหนักมีลักษณะเป็นชิ้น จึงไม่สามารถระบุเป็นตัวเลขได้ โดยค่าความละเอียดจะมาจากเครื่องมือวัด

(4) ระบุถึงค่าความไม่แน่นอนของตุ้มน้ำหนักไว้ในเอกสารอ้างอิง OIML R 111-2 ว่าเป็น Class F1

(5) ระบุถึงวิธีการสอบเทียบน้ำหนักด้วยวิธี Double Substitutions (ABBA)

รูปที่ 4.7 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบน้ำหนัก

ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบไฟฟ้า

Standard Procedure for Calibration of Digital Multimeter Type/Model : DMM 6 ½ digits Page 2

Parameter to be measured (1)	Nominal Values (2) + (3)	Method (5)
DC Voltage	Range : 100 mV to 1000 V	Using direct Measurement
AC Voltage	Range : 100 mV to 750 V Frequency range : 10Hz to 1MHz	
DC Current	Range : 10 mA to 3 A	
AC Current	Range : 100 mA to 3 A Frequency : 10 Hz to 5 kHz	
Resistance	Range : 100 Ω to 100 MΩ	

(1) ระบุถึงการสอบเทียบค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าทั้งที่เป็นกระแสตรงและกระแสสลับ รวมถึงค่าความต้านทาน

(2) ระบุถึงย่านการวัดโดยแยกตามค่าที่ต้องการวัด

(3) ค่าความละเอียดไม่ได้ระบุตรงๆ แต่สามารถประเมินได้จากค่าต่ำสุดของแต่ละย่านการวัด เช่น DC volt ที่ระบุไว้ที่ 100mV แสดงว่าค่าที่น้อยที่สุดที่สามารถเริ่มวัดค่าได้คือ 100mV

(4) ไม่ได้มีการระบุค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด

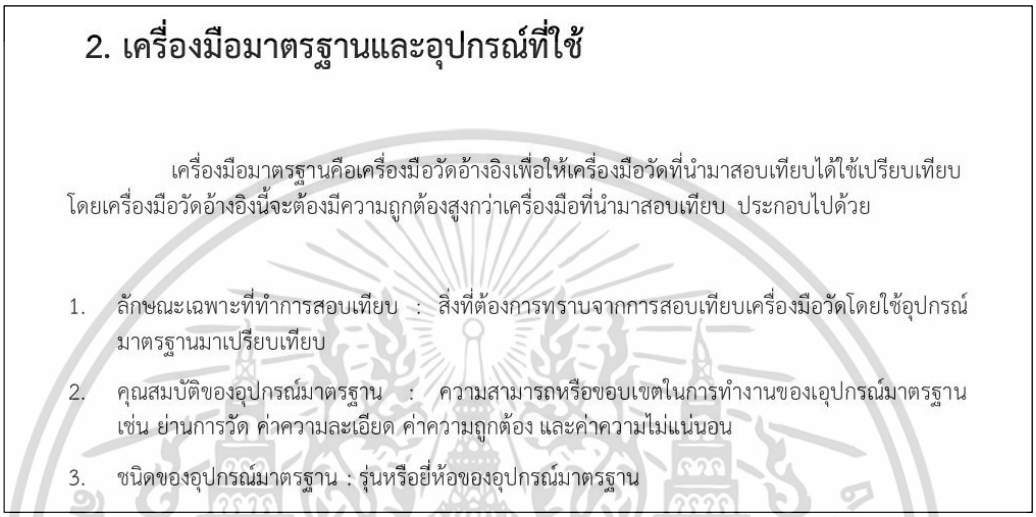
(5) ระบุถึงวิธีการที่ใช้ในการสอบเทียบ คือ การวัดความดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต้านทานโดยตรง

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างรายละเอียดของการสอบเทียบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องมือวัดอ้างอิงเพื่อให้เครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบได้ใช้เปรียบเทียบ โดยเครื่องมือวัดอ้างอิงนี้จะต้องมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ ประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะที่ทำการสอบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์มาตรฐาน และชนิดของอุปกรณ์มาตรฐาน ดังแสดงตามรูปที่ 4.9



2. เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องมือมาตรฐานคือเครื่องมือวัดอ้างอิงเพื่อให้เครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบได้ใช้เปรียบเทียบ โดยเครื่องมือวัดอ้างอิงนี้จะต้องมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ ประกอบไปด้วย

1. ลักษณะเฉพาะที่ทำการสอบเทียบ : สิ่งที่ต้องการทราบจากการสอบเทียบเครื่องมือวัดโดยใช้อุปกรณ์มาตรฐานมาเปรียบเทียบ
2. คุณสมบัติของอุปกรณ์มาตรฐาน : ความสามารถหรือขอบเขตในการทำงานของเอุปกรณ์มาตรฐาน เช่น ย่านการวัด ค่าความละเอียด ค่าความถูกต้อง และค่าความไม่แน่นอน
3. ชนิดของอุปกรณ์มาตรฐาน : รุ่นหรือยี่ห้อของอุปกรณ์มาตรฐาน

รูปที่ 4.9 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ

Standard Procedure for Calibration of External Micrometer Range : 0 - 25 mm Page 3

① ชื่อ / ลักษณะเฉพาะ	② รายละเอียด / สมบัติเฉพาะ	③ ชนิด
- ความยาว (Length, Distance)	Gauge Blocks (Stainless Steel) พิสัย : 2.5 mm, 5.1 mm, 7.7 mm, 10.3 mm, 12.9 mm, 15.0 mm, 17.6 mm, 20.2 mm, 22.8 mm, 25.0 mm ค่าความไม่แน่นอน : U = ±(0.07 μm+0.8x10^{-6} xl)	ยี่ห้อ : Mitutoyo รุ่น : 516-996
- ความเรียบและความขนาน	Optical Parallels ความหนา (Thickness) : 12.00 mm, 12.12 mm, 12.25 mm, 12.37 mm Uncertainty : Flatness : ±0.03 μm Thickness : ±(0.1μm+0.6x10^{-6}xl) Parallelism : ±(0.04μm+0.6x10^{-6}xl)	ยี่ห้อ : Mitutoyo รุ่น : 157-105 ถึง 157-108

① ระบุถึงลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัด เช่น Gauge Blocks นำมาใช้ในการสอบเทียบความยาวและ Optical Parallels นำมาใช้ในการสอบเทียบความเรียบและความขนานของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก

② ระบุถึงคุณสมบัติของอุปกรณ์มาตรฐาน เช่น Gauge Blocks ที่มีความยาวแตกต่างกัน และมีค่าความไม่แน่นอนที่ ± (0.07 μm+0.8x10^{-6} x ความยาวของ Gauge Blocks) และ Optical Parallels ที่มีความหนาแตกต่างกัน และค่าความไม่แน่นอน 3 ค่าคือ ค่าความไม่แน่นอนความเรียบ ความหนา และความขนาน

③ ระบุถึงรุ่นและยี่ห้อของอุปกรณ์มาตรฐาน คือ Gauge Blocks และ Optical Parallels เป็นยี่ห้อ Mitutoyo

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน

Standard Procedure for Calibration of Pressure Measuring Instruments Type/Model : Hydraulic Type 2

(1) Equipment used	(2) Specifications Requirement	(3) Calibration Equipments
1. Pressure Balance, Model AAA with Piston & Cylinder Model : xxx S/N : 111 Model : yyy S/N : 222 Mass set Model : zzz S/N : 333	 Range : 0,1 MPa to 6 MPa Uncertainty (k=2) : $\pm 8{,}0*10^{-5}*Pe$ Not lower than 0,18 kPa Range : 2 MPa to 120 MPa Uncertainty (k=2): $\pm 8{,}0*10^{-5}*Pe$ Not lower than 1,18 kPa Range : 50 kg Uncertainty (k=2) : $\pm 10*10^{-6}*m$	 1 Piston & Cylinder Model : xxx S/N : 111 2 Piston & Cylinder Model : yyy S/N : 222 3 Mass set Model : zzz S/N : 333
2. Piston & Cylinder Indicator (Note 4) Model : uuu S/N : 444	 Uncertainty (k=2, for temperature measurement) : $\pm 0{,}5$ °C	 4 Piston & Cylinder Indicator Mode : uuu S/N : 444
3. Steel Ruler S/N : 555	 Uncertainty (k=2) : $\pm 0{,}04$ mm	 5 Steel Ruler S/N : 555
4. Pressure Transmitting (Note 6) Fluid = Hydraulic oil	 Density : (914 ± 10) kg/m^3 Surface Tension : $(0{,}031 \pm 0{,}003)$ N/m	
5. Digital Multimeter Model : mmm S/N : 666	 Range : 0 – 100 Vdc Uncertainty : 10 ppm Range : 0 – 100 mAdc Uncertainty : 50 ppm	

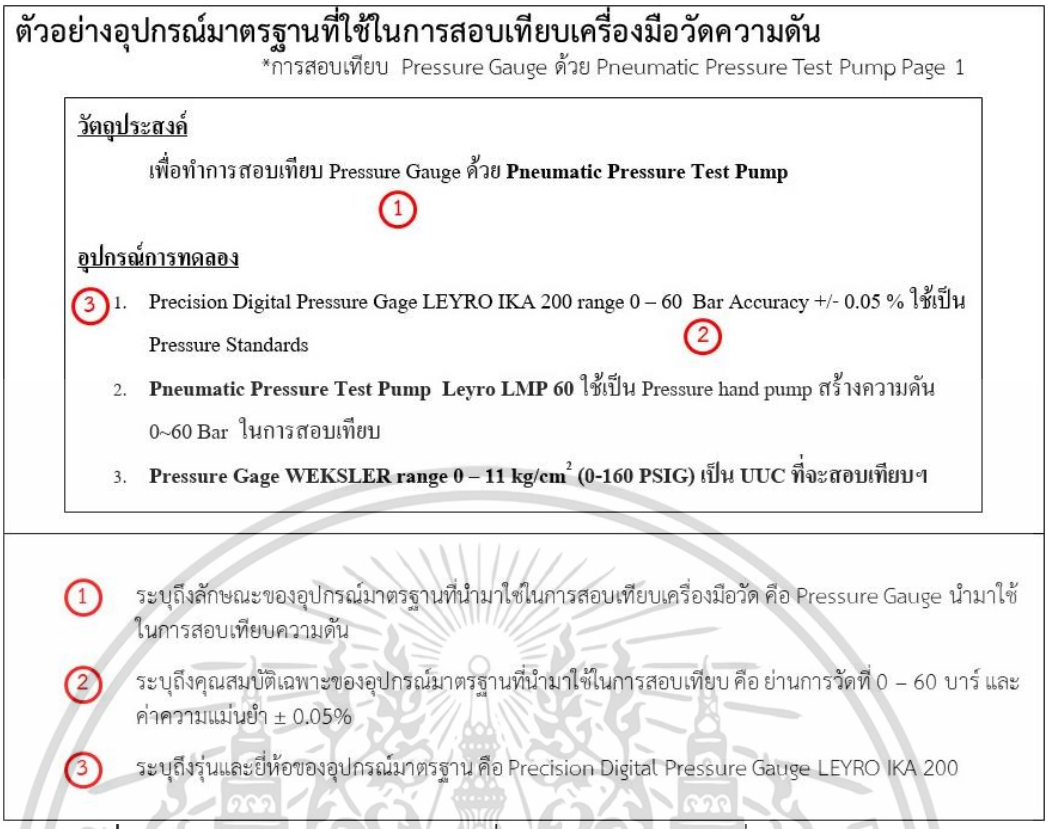
(1) ระบุถึงอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบความดัน ประกอบด้วย Pressure Balance, Piston &Cylinder Indicator, Steel Ruler, Pressure Transmitting และ Digital Multimeter

(2) ระบุถึงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ เช่น ย่านการวัด ค่าความไม่แน่นอน ความหนาแน่น และค่าความตึงผิว

(3) ระบุถึงรุ่นของอุปกรณ์มาตรฐาน

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน

*การสอบเทียบ Pressure Gauge ด้วย Pneumatic Pressure Test Pump Page 1

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการสอบเทียบ Pressure Gauge ด้วย **Pneumatic Pressure Test Pump** (1)

อุปกรณ์การทดลอง

(3) 1. **Precision Digital Pressure Gage LEYRO IKA 200 range 0 – 60 Bar Accuracy +/- 0.05 % ใช้เป็น Pressure Standards** (2)

2. **Pneumatic Pressure Test Pump Leyro LMP 60** ใช้เป็น Pressure hand pump สร้างความดัน 0~60 Bar ในการสอบเทียบ

3. **Pressure Gage WEKSLER range 0 – 11 kg/cm^2 (0-160 PSIG) เป็น UUC ที่จะสอบเทียบฯ**

(1) ระบุถึงลักษณะของอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัด คือ Pressure Gauge นำมาใช้ในการสอบเทียบความดัน

(2) ระบุถึงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ คือ ย่านการวัดที่ 0 – 60 บาร์ และค่าความแม่นยำ ± 0.05%

(3) ระบุถึงรุ่นและยี่ห้อของอุปกรณ์มาตรฐาน คือ Precision Digital Pressure Gauge LEYRO IKA 200

รูปที่ 4.12 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน (2)

ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

Standard Procedure for Calibration of Industrail Platinum Resistance Thermomrters Type/Model : PT100 Page 4

(1) Description	(2) Specification		Model/Type (3)
1. Apparatus	Usable Range	: – 40°C to 550°C	See 6.1 for details
	Uniformity	: ≤ 0.03°C or depend on capability	
	Stability	: ≤ 0.03°C or depend on capability	
2. Reference Thermometer	Usable Range	: – 40°C to 660°C	See 6.2 for details
	Uncertainty	: ≤ 0.02°C or depend on capability	
3 Measurement Instruments	Usable Range	: – 40°C to 660°C	See 6.3 for details
	Uncertainty	: depend on capability	

(1) ระบุถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ ได้แก่ RTD PT100 เทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน และเครื่องมือวัด

(2) ระบุถึงคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ ได้แก่ ย่านการวัด ค่าความไม่แน่นอน ความเสถียรภาพ และ Uniformity

(3) ระบุถึงรุ่นของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ

รูปที่ 4.13 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดไฟฟ้า

Standard Procedure for Calibration of Digital Multimeter Type/Model : DMM 6 ½ digits Page 2

① Test Equipment Type	② Abbreviated Specifications	③ Test Equipment Model Number
Multifunction Calibration	DCV range : 100 mV to 1000 V ACV range : 10mV to 1000 V Frequency range : 10Hz to 1MHz DCI range : 1 mA to 10 A ACI range : 1 mA to 10 A Frequency range : 10 Hz to 100 kHz Resistance range : 100 Ω to 100 MΩ	Any model The accuracy ratios should be better than 4:1

① ระบุถึงอุปกรณ์ที่สามารถนำมาสอบเทียบไฟฟ้าได้หลายฟังก์ชัน

② ระบุถึงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในสอบเทียบ ได้แก่ ย่านการวัดแรงดันฟ้ากระแสตรง กระแสสลับที่ย่านความถี่ 10 Hz ถึง 1 MHz ย่านการวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงกระแสสลับที่ย่านความถี่ 10 Hz ถึง 100 kHz และย่านการวัดความต้านทาน

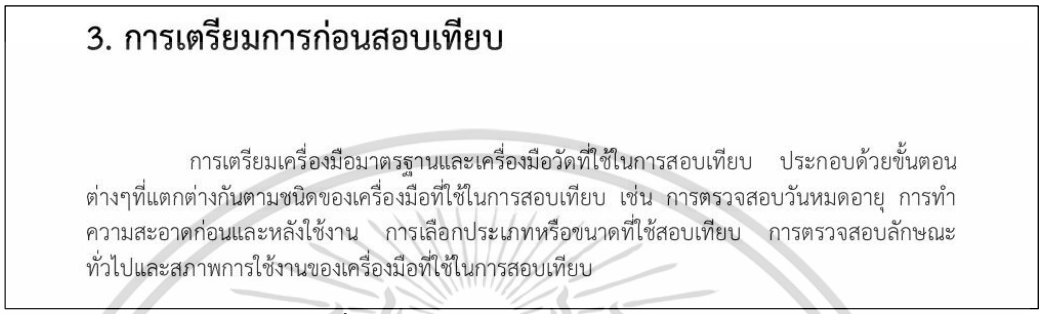
③ ระบุถึงรุ่นของอุปกรณ์มาตรฐานที่มีอันตราส่วนค่าความถูกต้องมากกว่า 4 : 1

รูปที่ 4.14 ตัวอย่างอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ

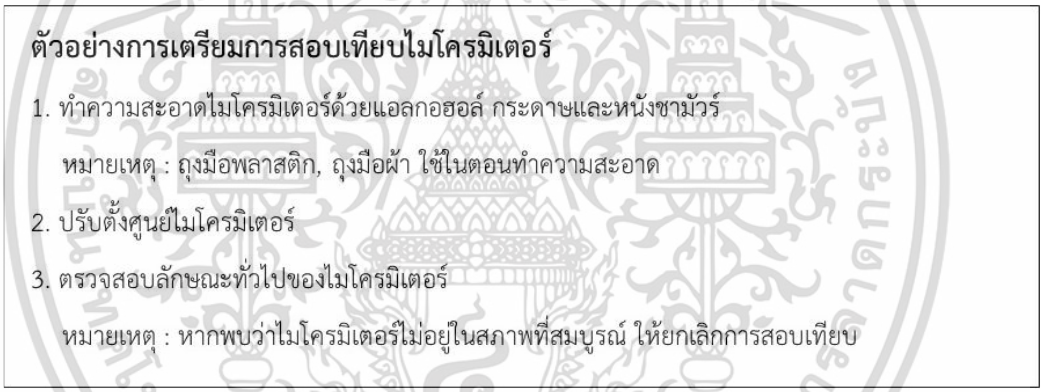
การเตรียมเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ที่แตกต่างกันตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ เช่น การตรวจสอบวันหมดอายุ การทำความสะอาดก่อนและหลังใช้งาน การเลือกประเภทหรือขนาดที่ใช้สอบเทียบ การตรวจสอบลักษณะทั่วไป และสภาพการใช้งานของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ ดังแสดงตามรูปที่ 4.15



3. การเตรียมการก่อนสอบเทียบ

การเตรียมเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆที่แตกต่างกันตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ เช่น การตรวจสอบวันหมดอายุ การทำความสะอาดก่อนและหลังใช้งาน การเลือกประเภทหรือขนาดที่ใช้สอบเทียบ การตรวจสอบลักษณะทั่วไปและสภาพการใช้งานของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ

รูปที่ 4.15 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ



ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบไมโครมิเตอร์

1. ทำความสะอาดไมโครมิเตอร์ด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษและหนังซามัวร์

   หมายเหตุ : ถุงมือพลาสติก, ถุงมือผ้า ใช้ในตอนทำความสะอาด

2. ปรับตั้งศูนย์ไมโครมิเตอร์

3. ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของไมโครมิเตอร์

   หมายเหตุ : หากพบว่าไมโครมิเตอร์ไม่อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ให้ยกเลิกการสอบเทียบ

รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบไมโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบความดัน

1. Read the entire procedure before beginning a calibration.

2. Visual check the Unit Under Calibration (UUC) to ensure that :

   The line voltage required of the UUC has been set to 220 VAC, 50 Hz. If the UUC line voltage cannot be selected to be 220 VAC, the proper adapter is required.

   IMPORTANT NOTE :
   - ***CLEAN GLOVES WITHOUT TALCUM POWDER MUST BE WORN WHILE HANDLING PISTON & CYLINDER OF THE STANDARD PRESSURE BALANCE AND DURING CALIBRATION.***
   - ***REFERENCE LEVEL OF THE UUC SHALL BE IDENTIFIED.***

3. Connect equipment as shown in figure 1 or figure 2 by using short, clean and appropriate pressure tubes. The reference level of UUC should be the same level as the reference of the standard ± 2 centimeters. If not the different level shall be measured and taken into consideration.

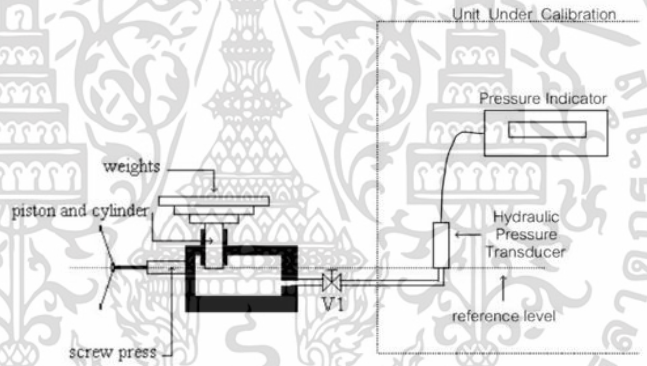


Figure 1

รูปที่ 4.17 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

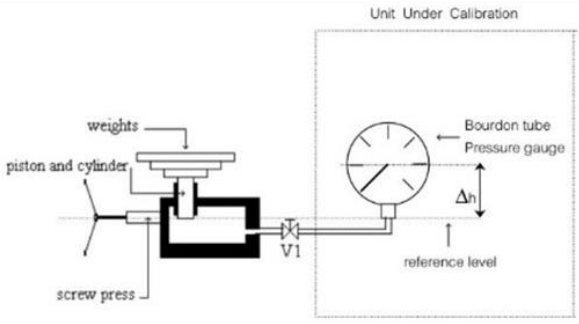


Figure 2

4. If the UUC is needed to measure an electrical output, voltage or current; and the measuring instrument is not provided. It can be calibrated using the laboratory digital multimeter. However it shall be stated in the calibration certificate provided to the customer.
5. Care must be taken to ensure that no leakage of pressure between the standard pressure balance and the UUC which will cause some confusion or incorrect reading.

Pressure Cycle Exercise:

Unless otherwise specified, the pressure cycles must be applied to exercise (preloading) the UUC according to the accuracy class stated in the DKD R 6-1 : 2002, pressure calibration guideline. The pressure cycle must be consisted of starting at zero, going to full scale then back to zero pressure as described in table 1 below.

Table 1: Calibration sequences

Calibration sequence	Measurement uncertainty aimed at, in % of the measurement span (*)	Number of measurement points with zero up/down	Number of preloadings	Load change + waiting time (**) seconds	Waiting time at upper limit of measurement range (***) minutes	Number of measurement series up	down
A	< 0,1	9	3	>30	2	2	2
B	0,1 ... 0,6	9	2	>30	2	2	1
C	> 0,6	5	1	>30	2	1	1

(*) Reference to the span was used to allow the sequence (necessary calibration effort) to be selected from the table, as the accuracy specifications of the manufacturers are usually related to the measurement span.

(**) One has in any case to wait until steady-state conditions (sufficiently stable indication of standard and calibration item are reached.

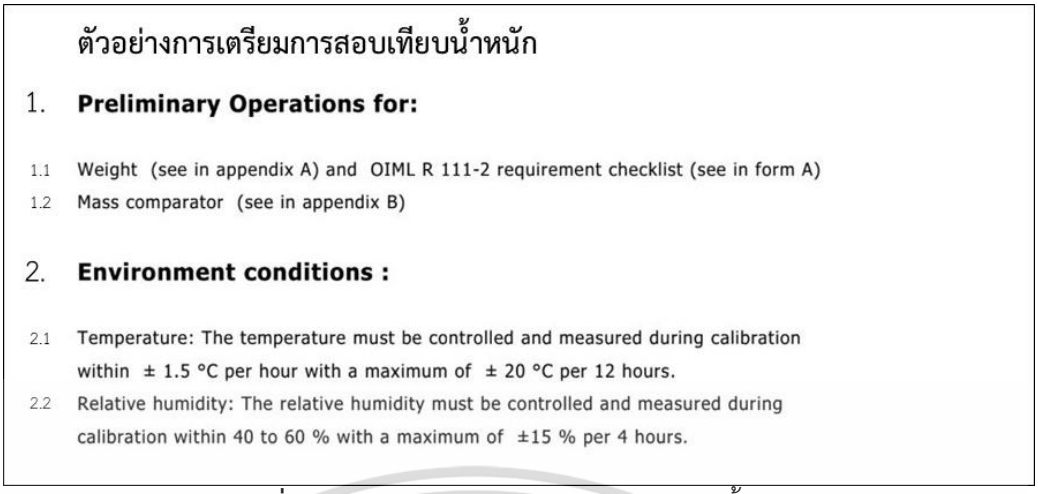
(***) For Bourdon tube pressure gauges, a waiting time of five minutes is to be observed. For quasi-static calibrations (piezoelectric sensor principle), the waiting times can be reduced.

IMPORTANT NOTE :

PRESSURE SURGES CAN DAMAGE THE PRESSURE SENSOR, SMOOTH PRESSURE CHANGES IS REQUIRED THROUGHOUT THE CALIBRATION.

รูปที่ 4.18 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบความดัน (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบน้ำหนัก

1. **Preliminary Operations for:**

1.1 Weight (see in appendix A) and OIML R 111-2 requirement checklist (see in form A)

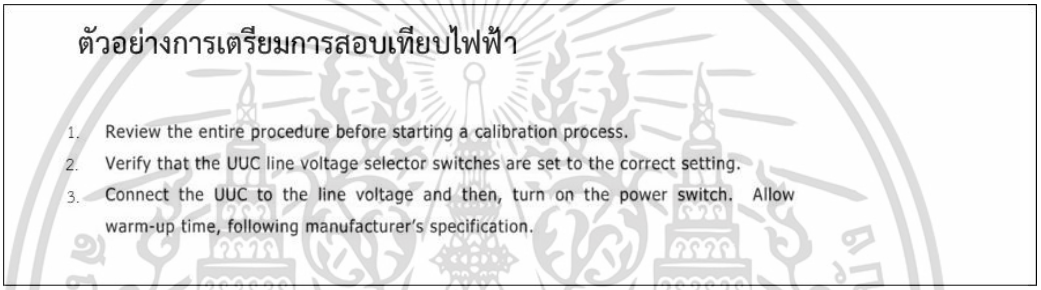
1.2 Mass comparator (see in appendix B)

2. **Environment conditions :**

2.1 Temperature: The temperature must be controlled and measured during calibration within ± 1.5 °C per hour with a maximum of ± 20 °C per 12 hours.

2.2 Relative humidity: The relative humidity must be controlled and measured during calibration within 40 to 60 % with a maximum of ±15 % per 4 hours.

รูปที่ 4.19 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบน้ำหนัก

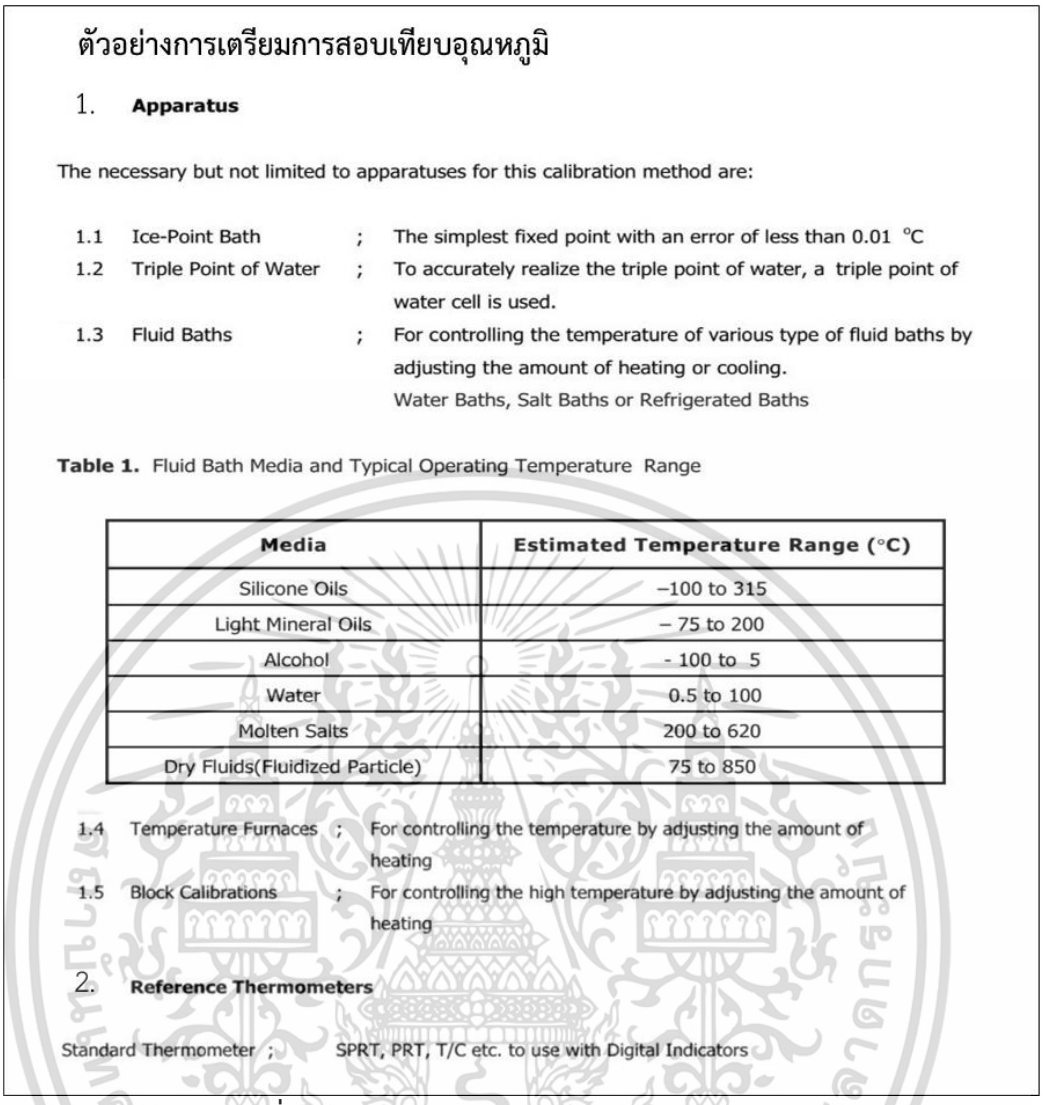


ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบไฟฟ้า

1. Review the entire procedure before starting a calibration process.
2. Verify that the UUC line voltage selector switches are set to the correct setting.
3. Connect the UUC to the line voltage and then, turn on the power switch. Allow warm-up time, following manufacturer's specification.

รูปที่ 4.20 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบอุณหภูมิ

1. **Apparatus**

The necessary but not limited to apparatuses for this calibration method are:

1.1	Ice-Point Bath	;	The simplest fixed point with an error of less than 0.01 °C
1.2	Triple Point of Water	;	To accurately realize the triple point of water, a triple point of water cell is used.
1.3	Fluid Baths	;	For controlling the temperature of various type of fluid baths by adjusting the amount of heating or cooling. Water Baths, Salt Baths or Refrigerated Baths

Table 1. Fluid Bath Media and Typical Operating Temperature Range

Media	Estimated Temperature Range (°C)
Silicone Oils	–100 to 315
Light Mineral Oils	– 75 to 200
Alcohol	- 100 to 5
Water	0.5 to 100
Molten Salts	200 to 620
Dry Fluids(Fluidized Particle)	75 to 850

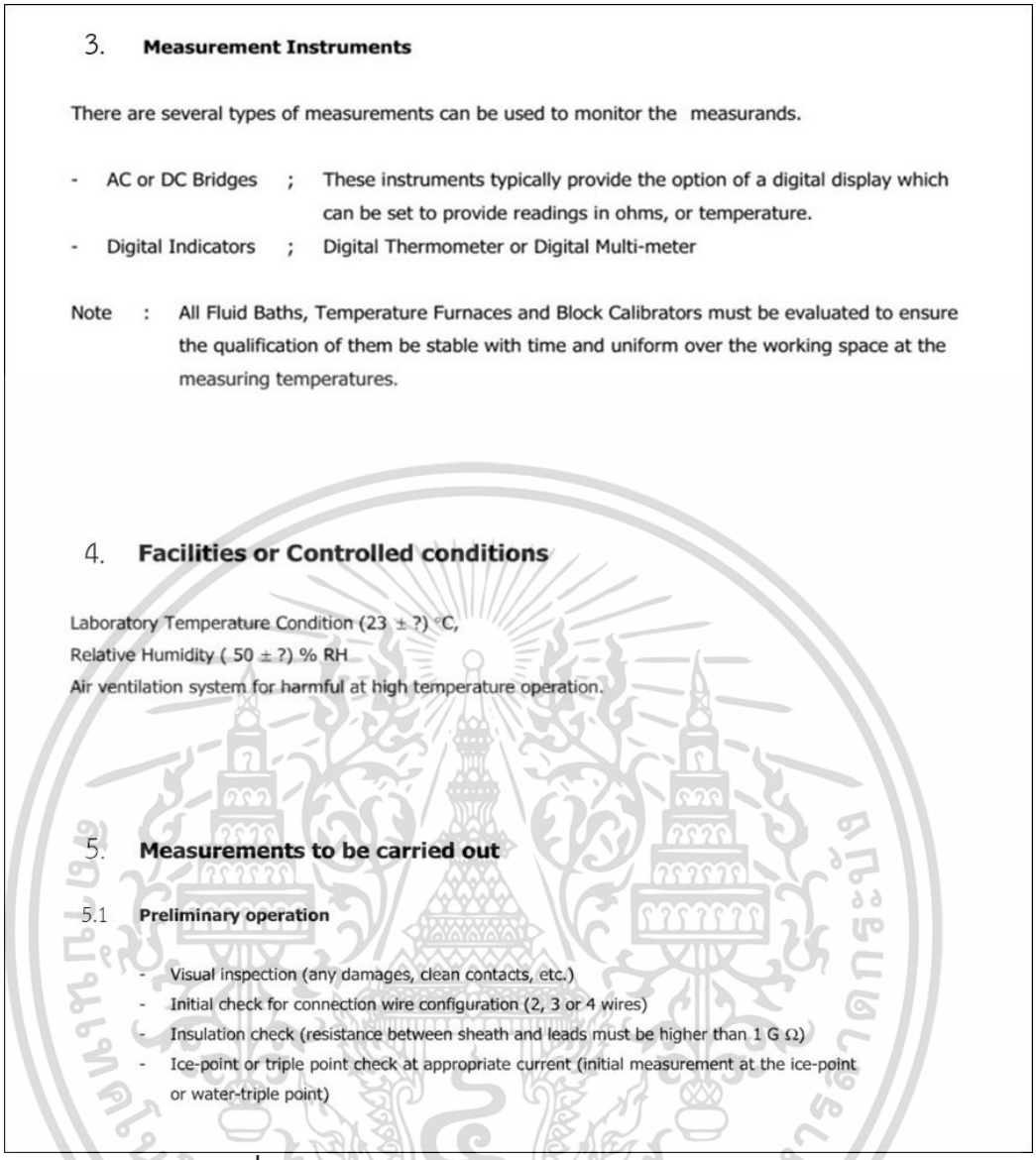
1.4	Temperature Furnaces	;	For controlling the temperature by adjusting the amount of heating
1.5	Block Calibrations	;	For controlling the high temperature by adjusting the amount of heating

2. **Reference Thermometers**

Standard Thermometer ; SPRT, PRT, T/C etc. to use with Digital Indicators

รูปที่ 4.21 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3. **Measurement Instruments**

There are several types of measurements can be used to monitor the measurands.

- AC or DC Bridges ; These instruments typically provide the option of a digital display which can be set to provide readings in ohms, or temperature.
- Digital Indicators ; Digital Thermometer or Digital Multi-meter

Note : All Fluid Baths, Temperature Furnaces and Block Calibrators must be evaluated to ensure the qualification of them be stable with time and uniform over the working space at the measuring temperatures.

4. **Facilities or Controlled conditions**

Laboratory Temperature Condition (23 ± ?) °C,
Relative Humidity (50 ± ?) % RH
Air ventilation system for harmful at high temperature operation.

5. **Measurements to be carried out**

5.1 **Preliminary operation**

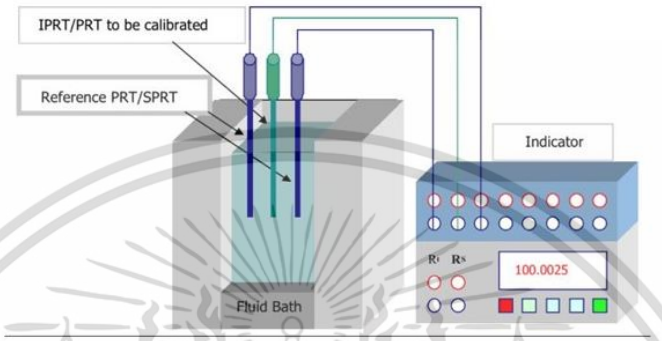
- Visual inspection (any damages, clean contacts, etc.)
- Initial check for connection wire configuration (2, 3 or 4 wires)
- Insulation check (resistance between sheath and leads must be higher than 1 G Ω)
- Ice-point or triple point check at appropriate current (initial measurement at the ice-point or water-triple point)

รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบอุณหภูมิ (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 **Preconditioning**

- The IPRTs which require to calibrate exceed 400 °C should be annealing at 450 °C at lease two hours before proceeding of measurements.
- Then measure the IPRT's resistance value at ice point or WTP, the difference between before and after annealing should not greater than 6 m Ω which corresponding to temperature about 15 mK.
- Prepare calibration system as figure below ; (one or two SPRTs can be selected and assigned as reference standards)



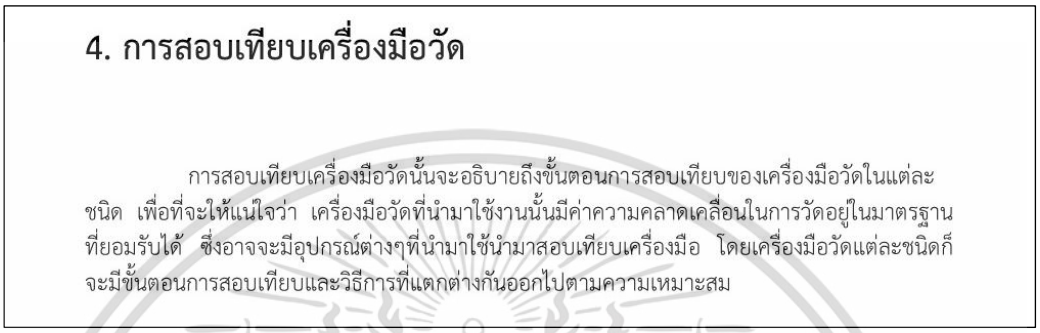
- Carry out the measurements according to the step 7.3 and complete the result sheets.

รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการเตรียมการสอบเทียบอุณหภูมิ (3)

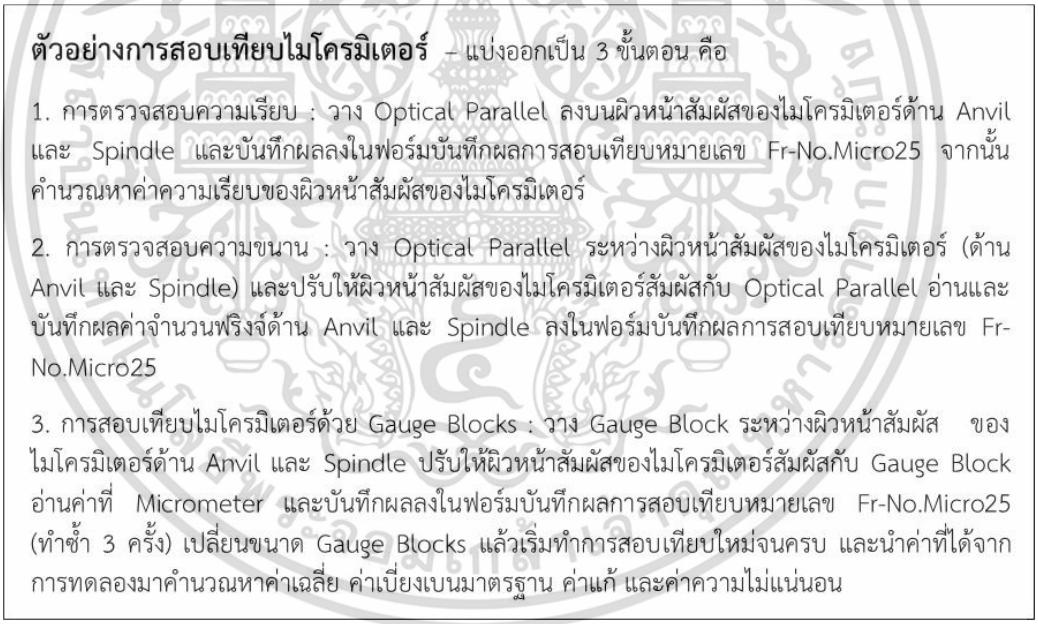
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด

อธิบายถึงขั้นตอนการสอบเทียบของเครื่องมือวัดในแต่ละชนิด เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดที่นำมาใช้งานนั้นมีความถูกต้องตามมาตรฐาน ซึ่งอาจจะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้นำมาสอบเทียบเครื่องมือ โดยเครื่องมือวัดแต่ละชนิดก็จะมีขั้นตอนการสอบเทียบและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม ดังแสดงตามรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 การสอบเทียบเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.25 ตัวอย่างการสอบเทียบไมโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการสอบเทียบน้ำหนัก

Calibration Process :

1 Place the reference weight (r) on the pan of the mass comparator, then wait until the indicated value is stable. Notice the number of seconds it takes. Tare and record the mass comparator reading as *Ir1i*.

2 Remove the reference weight from the pan of the mass comparator.

3 Place the test weight (t) on the pan of mass comparator, wait for the same amount of time as 4.1 and then record the mass comparator reading as *It1i*.

4 Remove the test weight from the pan of the mass comparator.

5 Place the test weight on the pan of mass comparator, wait for the same amount of time as 4.1 and then record the mass comparator reading as *It2i*.

6 Remove the test weight from the pan of the mass comparator.

7 Place the reference weight on the pan of the mass comparator, wait for the same amount of time as 4.1 and then record the mass comparator reading as *Ir2i*, (the first weighing cycle is completed.)

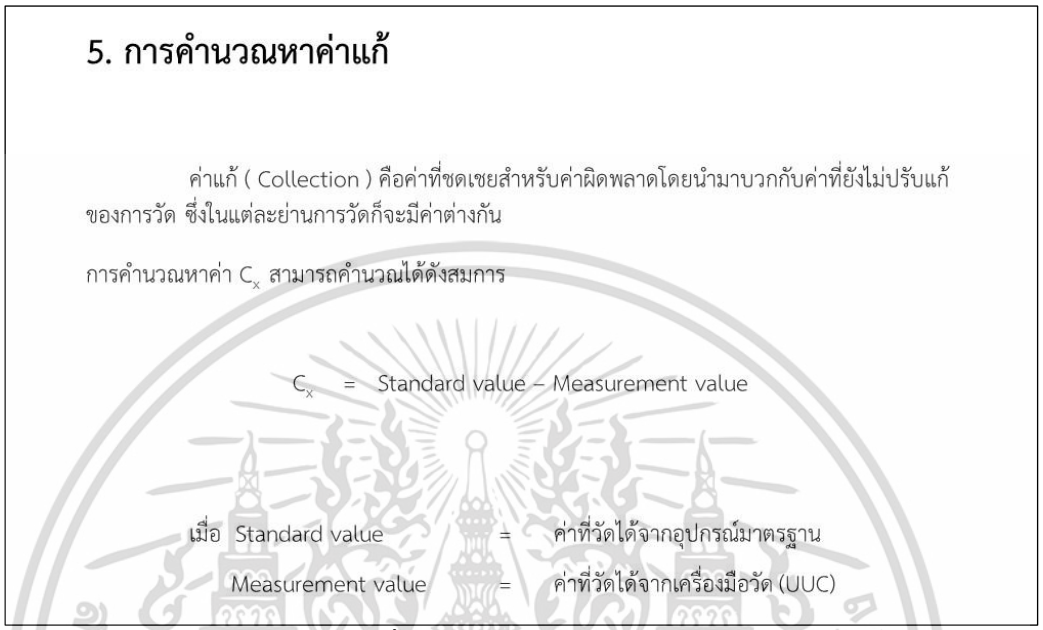
8 Repeat the step 4.1 through 4.7 without zero setting, until the results of desired weighing cycles are obtained. (normally 3 weighing cycles)

รูปที่ 4.26 ตัวอย่างการสอบเทียบน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การคำนวณหาค่าแก้

ค่าที่ชดเชยสำหรับค่าผิดพลาดโดยนำมาบวกกับค่าที่ยังไม่ปรับแก้ของการวัด ซึ่งในแต่ละย่านการวัดก็จะมีค่าต่างกัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 การคำนวณหาค่าแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

ความไม่แน่นอนทางสถิติของข้อมูลที่ได้จากวัดซ้ำ หรือการสุ่มเก็บตัวอย่างในกระบวนการวัด ส่วนประกอบแบบสุ่มของความไม่แน่นอนอาจจะไม่มีผลต่อความไม่แน่นอนรวมของทั้งระบบเลย ซึ่งค่าความไม่แน่นอนชนิด A มีค่าเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงตามรูปที่ 4.28

6. การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

Type A Uncertainty (ความไม่แน่นอนชนิด A) เป็นความไม่แน่นอนทางสถิติของข้อมูลที่ได้จากวัดซ้ำหรือการสุ่มเก็บตัวอย่างในกระบวนการวัด ส่วนประกอบแบบสุ่มของความไม่แน่นอนอาจจะไม่มีผลต่อความไม่แน่นอนรวมของทั้งระบบเลย ซึ่งค่าความไม่แน่นอนชนิด A มีค่าเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง (Experimental Standard Deviation of the Mean)

6.1 ค่าเฉลี่ย (Average) คือ ค่ากลางที่ได้จากการรวมข้อมูลทั้งหมดของการวัดจากเครื่องมือวัดแต่ละชนิด แล้วแบ่งให้ได้จำนวนเท่าๆกัน จากผลรวมของข้อมูลการวัดทั้งหมด สมการที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย คือ

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

เมื่อ X_i = ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

n = จำนวนครั้งของการวัด

6.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ ค่าเฉลี่ยที่บอกว่า โดยเฉลี่ยจากข้อมูลแต่ละตัวที่เราได้นำมาหาค่าเฉลี่ย มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยอยู่เท่าไร สามารถเรียกได้อีกอย่างคือค่า SD (Standard Deviation) สมการที่ใช้ในการหาค่า SD คือ

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

เมื่อ X_i = ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของการวัด

n = จำนวนครั้งของการวัด

รูปที่ 4.28 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ความไม่แน่นอน Type A สามารถคำนวนได้ดังสมการ

$$\mathbf{u(l_x)} = \mathbf{s(\bar{x}_i)} = \frac{\mathbf{s(x_i)}}{\sqrt{\mathbf{n}}}$$

เมื่อ σ_{n-1} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

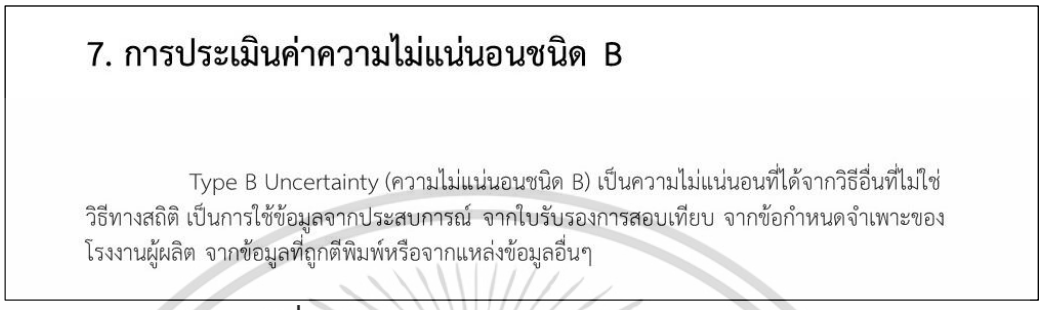
n = จำนวนครั้งของการวัด

รูปที่ 4.29 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

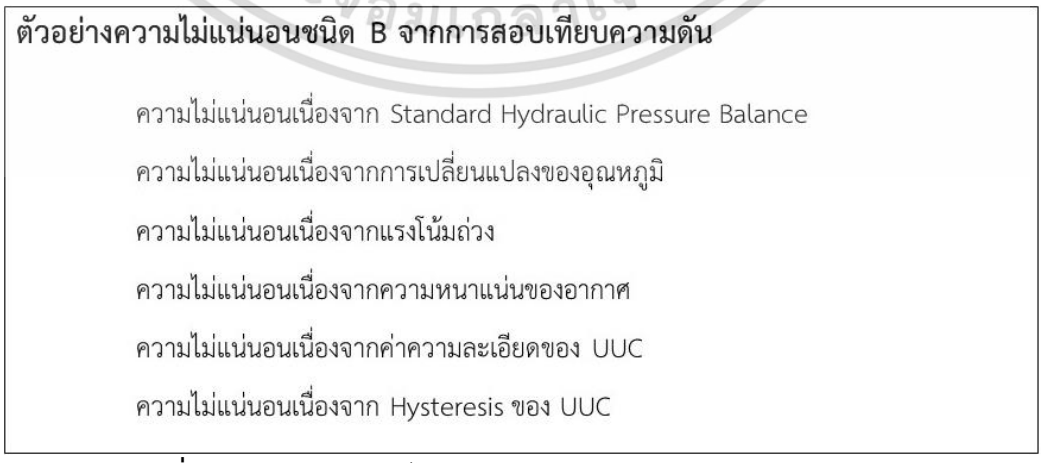
4.1.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

ความไม่แน่นอนที่ได้จากวิธีอื่นที่ไม่ใช่วิธีทางสถิติ เป็นการใช้ข้อมูลจากประสบการณ์จากใบรับรองการสอบเทียบ จากข้อกำหนดจำเพาะของโรงงานผู้ผลิต จากข้อมูลที่ถูกตีพิมพ์หรือจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ดังแสดงตามรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

รูปที่ 4.31 ตัวอย่างความไม่แน่นอนชนิด B จากการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก



รูปที่ 4.32 ตัวอย่างความไม่แน่นอนชนิด B จากการสอบเทียบความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างความไม่แน่นอนชนิด B จากการสอบเทียบไฟฟ้า

ความไม่แน่นอนเนื่องจากใบรับรอบการสอบเทียบ

ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift จากการสอบเทียบครั้งล่าสุด

ความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลกำลังไฟฟ้า

ความไม่แน่นอนเนื่องจาก Thermal EMF ตรงจุดต่อของโลหะ

รูปที่ 4.33 ตัวอย่างความไม่แน่นอนชนิด B จากการสอบเทียบไฟฟ้า

การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular

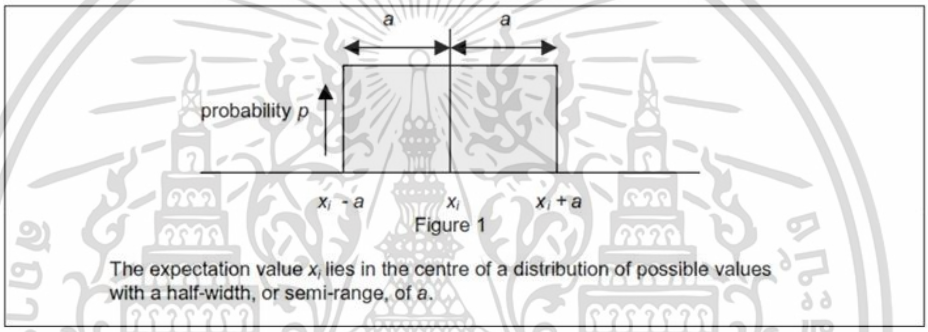


Figure 1

The expectation value x_i lies in the centre of a distribution of possible values with a half-width, or semi-range, of a.

การวัดใดๆที่มีการกระจายของข้อมูล โดยมีค่าความสูงของความเป็นไปได้ที่เท่าๆกัน เรียกว่า “การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular” เป็นการประมาณค่าความไม่แน่นอนแบบอนุรักษ์นิยม โดยจะให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด

รูปที่ 4.34 การกระจายแบบ Uniform หรือ Rectangular

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายแบบ Triangular

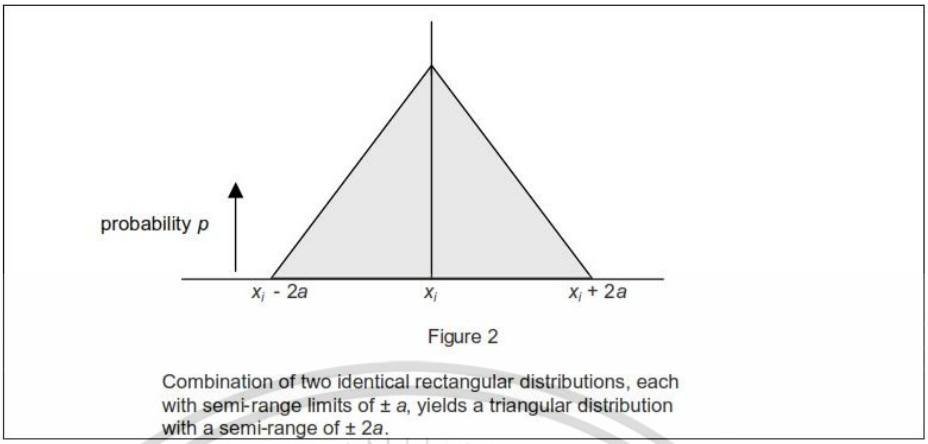


Figure 2

Combination of two identical rectangular distributions, each with semi-range limits of ± *a*, yields a triangular distribution with a semi-range of ± 2*a*.

การกระจายความเป็นไปได้แบบ Triangular มักใช้กับกระบวนการสร้างแบบจำลอง (Modeling Process) เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นสิ่งที่รู้ค่า แต่มีข้อมูลไม่เพียงพอเพราะต้องใช้ต้นทุนที่สูง การกระจายความเป็นไปได้แบบ Triangular อาจเกิดจากการรวมกันของการกระจายความเป็นไปได้แบบ Rectangular ที่มีขนาดเท่ากันสองอัน

รูปที่ 4.35 การกระจายแบบ Triangular

การกระจายแบบ U-shape

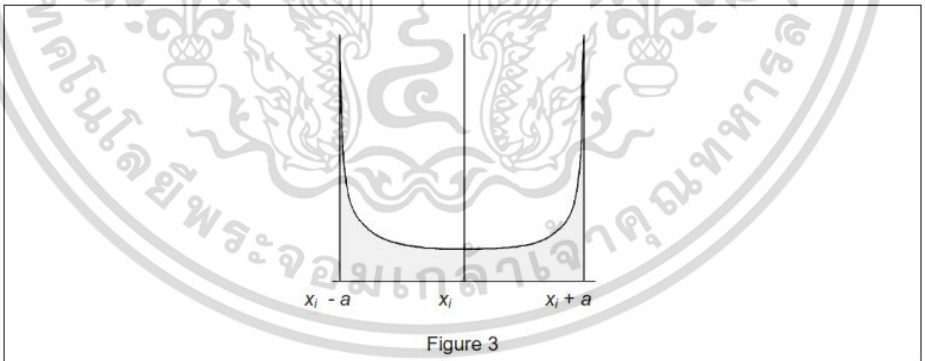


Figure 3

U-shaped distribution, associated with RF mismatch uncertainty. For this situation, x_i is likely to be close to one or other of the edges of the distribution.

การกระจายแบบ U-shape เกิดขึ้นเมื่อทำการวัดกำลังงานของความถี่วิทยุ (Radio Frequency Power) ความไม่แน่นอนอันหนึ่งที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเข้าคู่ที่ไม่สมบูรณ์ (Mismatching) ระหว่างต้นทางและปลายทาง การเข้าคู่ที่ไม่สมบูรณ์นี้เกี่ยวข้องกับมุมเฟส (Phase Angle) ที่ไม่รู้ค่า

รูปที่ 4.36 การกระจายแบบ U-shape

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายแบบ Normal หรือ Gaussian

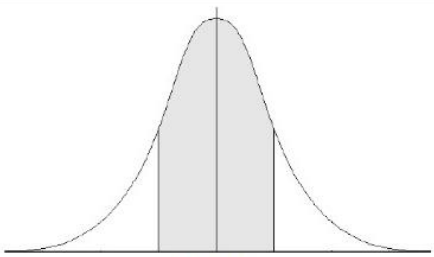


Figure 4

The normal, or Gaussian, probability distribution. This is obtained when a number of distributions, of any form, are combined and the conditions of the Central Limit Theorem are met. In practice, if three or more distributions of similar magnitude are present, they will combine to form a reasonable approximation to the normal distribution. The size of the distribution is described in terms of a *standard deviation*. The shaded area represents ± 1 standard deviation from the centre of the distribution. This corresponds to approximately 68% of the area under the curve.

การประเมินปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถทำซ้ำได้ (Non-repeatability) ที่กระทำด้วยวิธีทางสถิติ โดยทั่วไปจะให้การกระจายแบบ Normal หรือ Gaussian เมื่อการกระจายจำนวนหนึ่งที่อยู่ในรูปแบบใดๆถูกนำมารวมกัน มันได้แสดงให้เห็นว่าการกระจายความเป็นไปได้ผลลัพธ์มีแนวโน้มที่จะอยู่ในรูปของ Normal ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีลิมิตศูนย์กลาง (Central Limit Theorem)

รูปที่ 4.37 การกระจายแบบ Normal หรือ Gaussian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

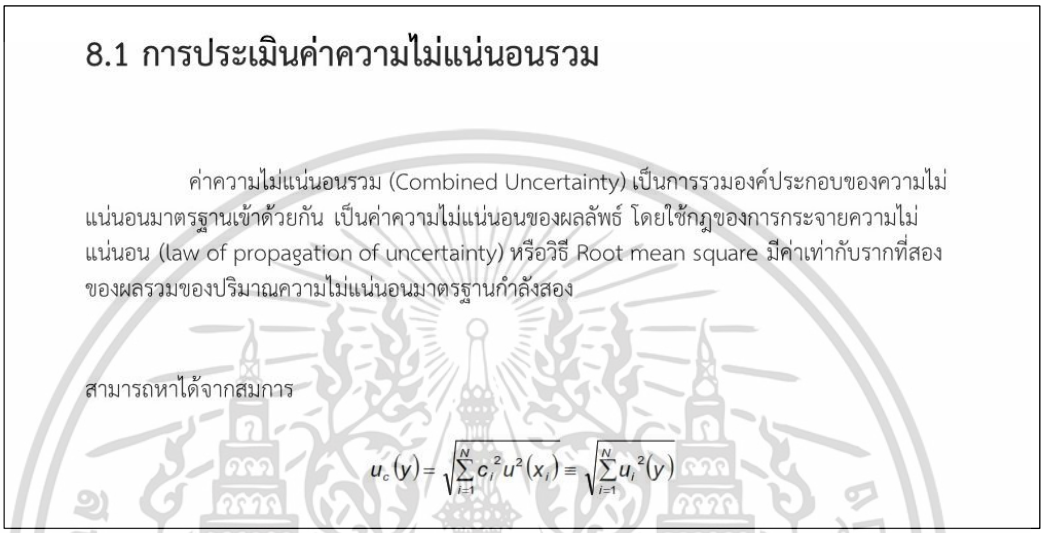
Assumed probability distribution	Expression used to obtain the standard uncertainty	Comments or examples
Rectangular	$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$	A digital thermometer has a least significant digit of 0.1°C. The numeric rounding caused by finite resolution will have semi-range limits of 0.05°C. Thus the corresponding standard uncertainty will be $u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}} = \frac{0.05}{1.732} = 0.029°C.$
U-shaped	$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{2}}$	A mismatch uncertainty associated with the calibration of an RF power sensor has been evaluated as having semi-range limits of 1.3%. Thus the corresponding standard uncertainty will be $u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{2}} = \frac{1.3}{1.414} = 0.92\%$
Triangular	$u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{6}}$	A tensile testing machine is used in a testing laboratory where the air temperature can vary randomly but does not depart from the nominal value by more than 3°C. The machine has a large thermal mass and is therefore most likely to be at the mean air temperature, with no probability of being outside the 3°C limits. It is reasonable to assume a triangular distribution, therefore the standard uncertainty for its temperature is $u(x_i) = \frac{a_i}{\sqrt{6}} = \frac{3}{2.449} = 1.2°C$
Normal *(from repeatability evaluation)*	$u(x_i) = s(\bar{q})$	A statistical evaluation of repeatability gives the result in terms of one standard deviation; therefore no further processing is required.
Normal *(from a calibration certificate)*	$u(x_i) = \frac{U}{k}$	A calibration certificate normally quotes an expanded uncertainty U at a specified, high coverage probability. A coverage factor, k, will have been used to obtain this expanded uncertainty from the combination of standard uncertainties. It is therefore necessary to divide the expanded uncertainty by the same coverage factor to obtain the standard uncertainty.
Normal *(from a manufacturer's specification)*	$u(x_i) = \frac{\text{Tolerance limit}}{k}$	Some manufacturers' specifications are quoted at a given coverage probability (sometimes referred to as *confidence level*), e.g. 95% or 99%. In such cases, a normal distribution can be assumed and the tolerance limit is divided by the coverage factor k for the stated coverage probability. For a coverage probability of 95%, $k = 2$ and for a coverage probability of 99%, $k = 2.58$. If a coverage probability is not stated then a rectangular distribution should be assumed.

รูปที่ 4.38 ตารางการแจกแจงค่าความไม่แน่นอนชนิด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

การรวมองค์ประกอบของความไม่แน่นอนมาตรฐานเข้าด้วยกัน เป็นค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ โดยใช้กฎของการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) หรือวิธี Root mean square มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลรวมของปริมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานกำลังสอง ดังแสดงตามรูปที่ 4.39

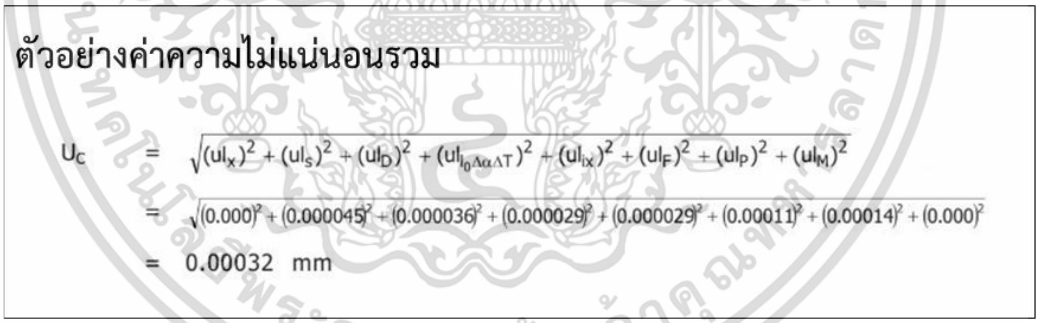

8.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

ค่าความไม่แน่นอนรวม (Combined Uncertainty) เป็นการรวมองค์ประกอบของความไม่แน่นอนมาตรฐานเข้าด้วยกัน เป็นค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ โดยใช้กฎของการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) หรือวิธี Root mean square มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลรวมของปริมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานกำลังสอง

สามารถหาได้จากสมการ

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

รูปที่ 4.39 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

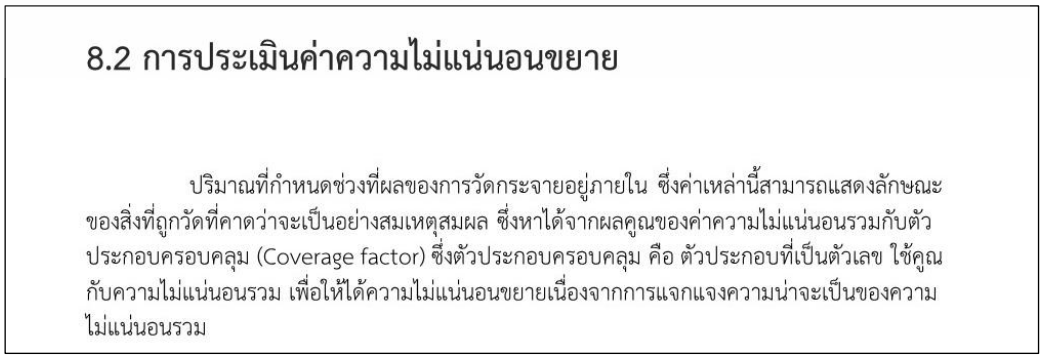

ตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนรวม

$$U_C = \sqrt{(u_{l_X})^2 + (u_{l_S})^2 + (u_{l_D})^2 + (u_{l_{\alpha\Delta\alpha\Delta T}})^2 + (u_{l_{IX}})^2 + (u_{l_F})^2 + (u_{l_P})^2 + (u_{l_M})^2}$$

$$= \sqrt{(0.000)^2 + (0.000045)^2 + (0.000036)^2 + (0.000029)^2 + (0.000029)^2 + (0.00011)^2 + (0.00014)^2 + (0.000)^2}$$

$$= 0.00032 \text{ mm}$$

รูปที่ 4.40 ตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนรวม


8.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย

ปริมาณที่กำหนดช่วงที่ผลของการวัดกระจายอยู่ภายใน ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถแสดงลักษณะของสิ่งที่ถูกวัดที่คาดว่าจะเป็นอย่างสมเหตุสมผล ซึ่งหาได้จากผลคูณของค่าความไม่แน่นอนรวมกับตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) ซึ่งตัวประกอบครอบคลุม คือ ตัวประกอบที่เป็นตัวเลข ใช้คูณกับความไม่แน่นอนรวม เพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนขยายเนื่องจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอนรวม

รูปที่ 4.41 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนขยาย

การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k_p จากสมการ ***Welch-Satterwaite Equation*** อ้างอิง EA-4/02, Appendix E, สมการ E.1 สามารถคำนวณได้

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^{n} \frac{u_i^4}{\nu_i}} = \frac{u_c^4}{\frac{u^4(l_x)}{n-1} + \frac{u^4(l_s)}{\infty} + \frac{u^4\delta l_d}{\infty} + \frac{u^4(\Delta\alpha\Delta t)}{\infty} + \frac{u^4(l_{ix})}{\infty} + \frac{u^4(l_F)}{\infty} + \frac{u^4(l_p)}{\infty} + \frac{u^4(l_m)}{\infty}} \quad (22)$$

$$= \frac{0.00032^4}{\left(\frac{0.000^4}{4-1}\right)}$$

$$= \infty$$

$\therefore$ สามารถประมาณค่าตัวประกอบ k_p ซึ่ง $\nu_{eff} = \infty$เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ν_{eff} ในตาราง Effective degree of freedom พบว่าค่าที่คำนวณได้มีค่าเป็น ∞ จากตาราง E1 ดังนั้นค่าตัวประกอบ k_p = 2.00

รูปที่ 4.42 ตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนขยาย

Coverage factors k for difference effective degreed of freedom ν_{eff}

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k_p	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.13	2.05	2.00

หมายเหตุ : ตาราง E1 อ้างอิงจาก EA-4/02, หน้า 26

ค่าความไม่แน่นขยาย (Expanded Uncertainty; $U_{95\%}$) แสดงดังสมการ

$$U_{(95\%)} = k_p \times u_c$$
$$= 2 \times 0.00032 \text{ mm}$$
$$= 0.00064 \text{ mm}$$
$$\therefore U_{report95\%} \approx \mathbf{0.0006} \text{ mm}$$

รูปที่ 4.43 ตัวอย่างค่าความไม่แน่นอนขยาย (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 กระบวนการสอบเทียบ Micrometer

จากการนำกระบวนการสอบเทียบที่สร้างขึ้นมา ไปใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ คือ ไมโครมิเตอร์วัดนอก (External Micrometer) และนำเอกสารมาตรฐานการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก เกจบล็อค และการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องมือวัดมาเชื่อมโยง เพื่อให้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือและให้ทราบถึงที่มาของกระบวนการการสอบเทียบแต่ละขั้นตอน ดังแสดงตามรูปที่ 4.44

รูปที่ 4.44 กระบวนการสอบเทียบ Micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ

ระบุเกี่ยวกับรายละเอียดหรือคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่จะนำมาสอบเทียบ (UUC) ซึ่งจะประกอบไปด้วย ลักษณะ (Description) พิสัยการวัด (Range) ความละเอียด (Resolution) ค่าความถูกต้อง (Accuracy) หรือค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) และวิธีการสอบเทียบ (Test Method) ดังแสดงตามรูปที่ 4.45

1. รายละเอียดของการสอบเทียบ

การสอบเทียบไมโครมิเตอร์วัดนอกโดยใช้เกจบล็อก

External Micrometer calibration using Gauge Blocks

ลักษณะ (Description) : ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก (1)

พิสัย (Range) : 0 - 25 mm / 0 - 1 inches (2)

ความละเอียด (Resolution) : 0.001 mm / 0.00005 inches (3)

ค่าความถูกต้อง (Accuracy) : ±0.002 mm (ISO 3611 : 1978) (4)

(1) ระบุถึงชื่อของเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบว่าเป็น "ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก"

(2) ระบุถึงย่านการวัดของไมโครมิเตอร์ที่นำมาสอบเทียบว่าสามารถวัดขนาดของวัสดุได้ตั้งแต่ 0 - 25 mm หรือ 0 - 1 inches

(3) ระบุถึงความละเอียดในการอ่านของเครื่องมือวัดว่าสามารถอ่านได้ละเอียดสูงสุดถึง 0.001 mm หรือ 0.00005 inches

(4) ระบุถึงค่าความแม่นยำในการอ่านค่าของเครื่องมือวัดว่าคลาดเคลื่อนจากค่าจริงได้สูงสุดที่ ±0.002 mm

(5) ไม่ได้มีการระบุวิธีการสอบเทียบของเครื่องมือวัดเนื่องจากวิธีการวัดมีเพียงวิธีเดียว

ค่าความถูกต้องของไมโครมิเตอร์วัดนอก อ้างอิงจาก ISO 3611-1978 (หน้า 3)

TABLE 1 — Permissible flexure of frame subject to a force of 10 N, and tolerances on the zero setting and on parallelism of measuring faces

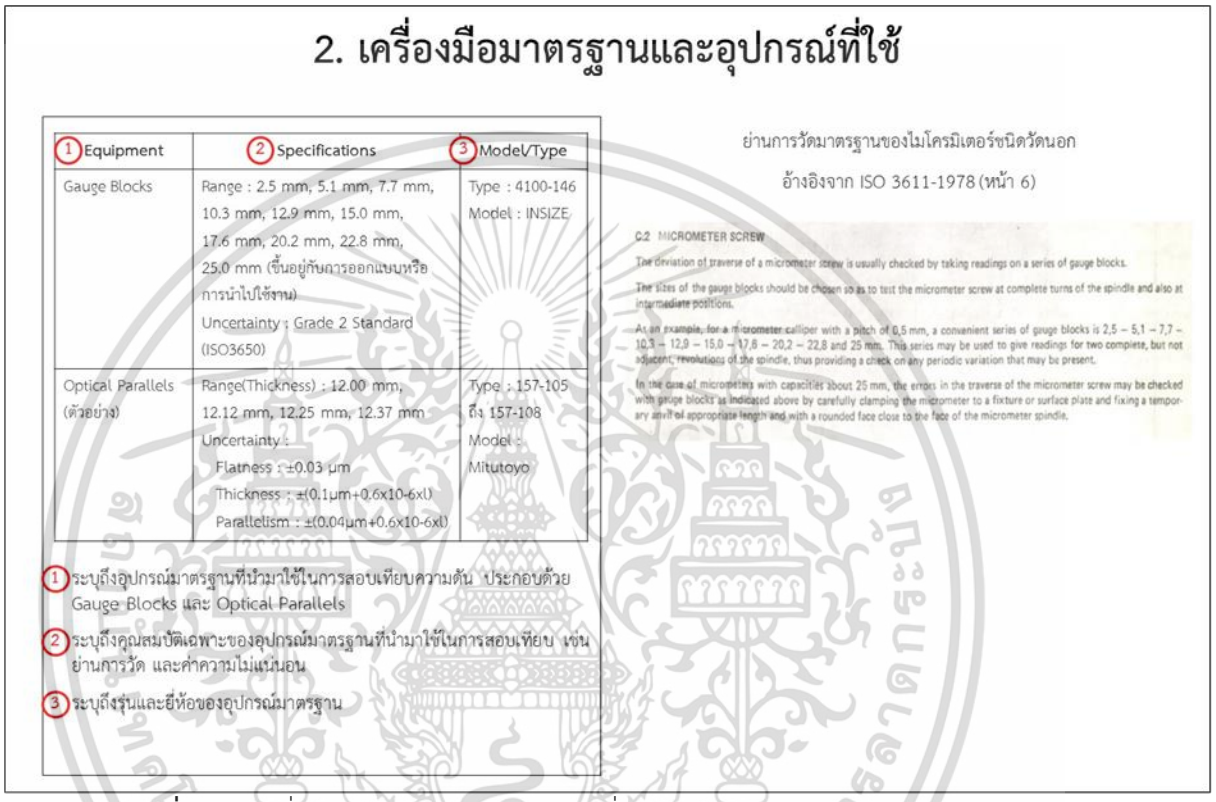
Measuring range of micrometer	Permissible flexure of frame	Tolerance on zero setting, f	Tolerance on parallelism of measuring faces
mm	µm	µm	µm
0 to 25	2	± 2	2
25 to 50	2	± 2	2
50 to 75	3	± 3	3
75 to 100	3	± 3	3
100 to 125	4	± 4	4
125 to 150	5	± 4	4
150 to 175	6	± 5	5
175 to 200	6	± 5	5
200 to 225	7	± 6	6
225 to 250	8	± 6	6
250 to 275	8	± 7	7
275 to 300	9	± 7	7
300 to 325	10	± 8	8
325 to 350	10	± 8	8
350 to 375	11	± 9	9
375 to 400	12	± 9	9
400 to 425	12	± 10	10
425 to 450	13	± 10	10
450 to 475	14	± 11	11
475 to 500	15	± 11	11

รูปที่ 4.45 รายละเอียดของการสอบเทียบ Micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องมือวัดอ้างอิงเพื่อให้เครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบได้ใช้เปรียบเทียบ โดยเครื่องมือวัดอ้างอิงนี้จะต้องมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ ประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะที่ทำการสอบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์มาตรฐานและชนิดของอุปกรณ์มาตรฐาน ดังแสดงตามรูปที่ 4.46



2. เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

1 Equipment	2 Specifications	3 Model/Type
Gauge Blocks	Range : 2.5 mm, 5.1 mm, 7.7 mm, 10.3 mm, 12.9 mm, 15.0 mm, 17.6 mm, 20.2 mm, 22.8 mm, 25.0 mm (ขึ้นอยู่กับการออกแบบหรือการนำไปใช้งาน) Uncertainty : Grade 2 Standard (ISO3650)	Type : 4100-146 Model : INSIZE
Optical Parallels (ตัวอย่าง)	Range(Thickness) : 12.00 mm, 12.12 mm, 12.25 mm, 12.37 mm Uncertainty : Flatness : ±0.03 µm Thickness : ±(0.1µm+0.6x10-6xl) Parallelism : ±(0.04µm+0.6x10-6xl)	Type : 157-105 ถึง 157-108 Model : Mitutoyo

1. ระบุถึงอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบความดัน ประกอบด้วย Gauge Blocks และ Optical Parallels
2. ระบุถึงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ เช่น ย่านการวัด และค่าความไม่แน่นอน
3. ระบุถึงรุ่นและยี่ห้อของอุปกรณ์มาตรฐาน

ย่านการวัดมาตรฐานของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก

อ้างอิงจาก ISO 3611-1978 (หน้า 6)

C.2 MICROMETER SCREW

The deviation of traverse of a micrometer screw is usually checked by taking readings on a series of gauge blocks.

The sites of the gauge blocks should be chosen so as to test the micrometer screw at complete turns of the spindle and also at intermediate positions.

As an example, for a micrometer calliper with a pitch of 0,5 mm, a convenient series of gauge blocks is 2,5 – 5,1 – 7,7 – 10,3 – 12,9 – 15,0 – 17,6 – 20,2 – 22,8 and 25 mm. This series may be used to give readings for two complete, but not adjacent, revolutions of the spindle, thus providing a check on any periodic variation that may be present.

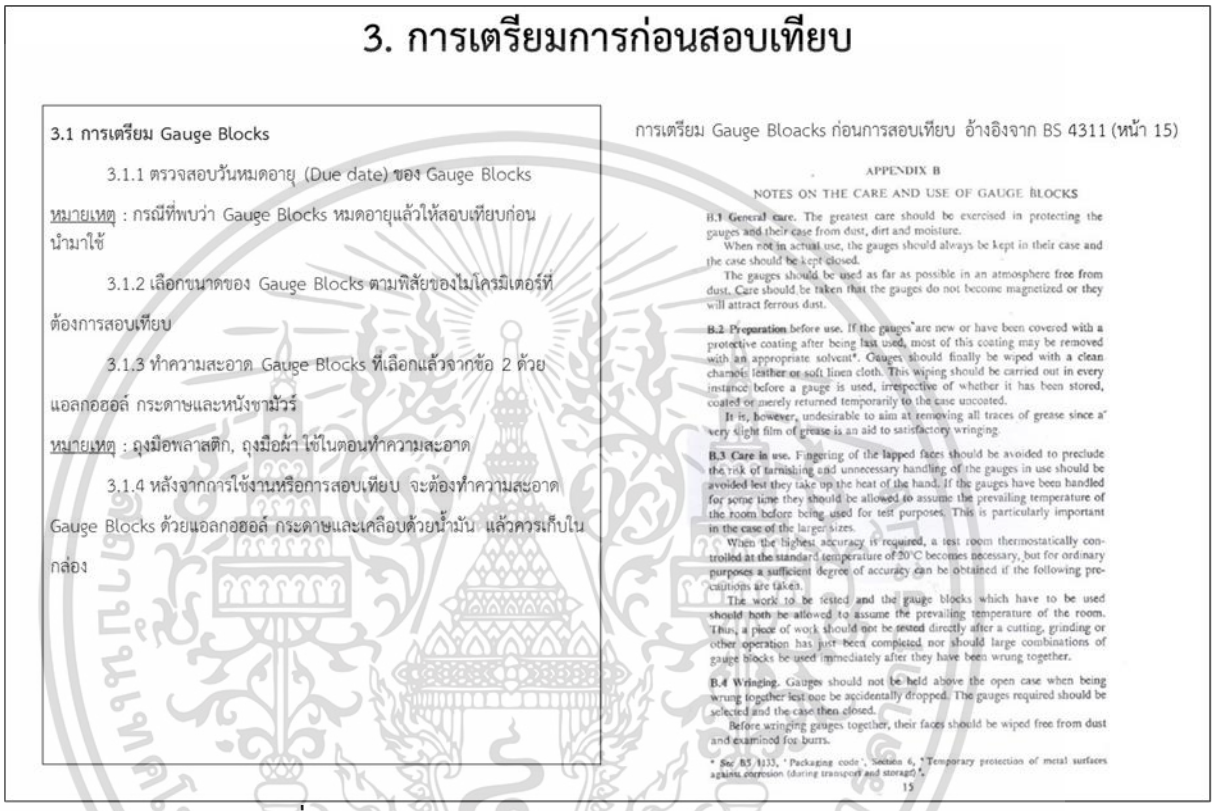
In the case of micrometers with capacities about 25 mm, the errors in the traverse of the micrometer screw may be checked with gauge blocks as indicated above by carefully clamping the micrometer to a fixture or surface plate and fixing a temporary anvil of appropriate length and with a rounded face close to the face of the micrometer spindle.

รูปที่ 4.46 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ Micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ

การเตรียมเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ที่แตกต่างกันตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ เช่น การตรวจสอบอายุ การทำความสะอาดก่อนและหลังใช้งาน การเลือกประเภทหรือขนาดที่ใช้สอบเทียบ การตรวจสอบลักษณะทั่วไปและสภาพการใช้งานของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ ดังแสดงตามรูปที่ 4.47



3. การเตรียมการก่อนสอบเทียบ

3.1 การเตรียม Gauge Blocks

3.1.1 ตรวจสอบวันหมดอายุ (Due date) ของ Gauge Blocks

หมายเหตุ : กรณีที่พบว่า Gauge Blocks หมดอายุแล้วให้สอบเทียบก่อนนำมาใช้

3.1.2 เลือกขนาดของ Gauge Blocks ตามพิสัยของไมโครมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ

3.1.3 ทำความสะอาด Gauge Blocks ที่เลือกแล้วจากข้อ 2 ด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษและหนังชามัวร์

หมายเหตุ : ถุงมือพลาสติก, ถุงมือผ้า ใช้ในตอนทำความสะอาด

3.1.4 หลังจากการใช้งานหรือการสอบเทียบ จะต้องทำความสะอาด Gauge Blocks ด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษและเคลือบด้วยน้ำมัน แล้วควรเก็บในกล่อง

การเตรียม Gauge Bloacks ก่อนการสอบเทียบ อ้างอิงจาก BS 4311 (หน้า 15)

APPENDIX B

NOTES ON THE CARE AND USE OF GAUGE BLOCKS

B.1 General care. The greatest care should be exercised in protecting the gauges and their case from dust, dirt and moisture.

When not in actual use, the gauges should always be kept in their case and the case should be kept closed.

The gauges should be used as far as possible in an atmosphere free from dust. Care should be taken that the gauges do not become magnetized or they will attract ferrous dust.

B.2 Preparation before use. If the gauges are new or have been covered with a protective coating after being last used, most of this coating may be removed with an appropriate solvent*. Gauges should finally be wiped with a clean chamois leather or soft linen cloth. This wiping should be carried out in every instance before a gauge is used, irrespective of whether it has been stored, coated or merely returned temporarily to the case uncoated.

It is, however, undesirable to aim at removing all traces of grease since a very slight film of grease is an aid to satisfactory wringing.

B.3 Care in use. Fingering of the lapped faces should be avoided to preclude the risk of tarnishing and unnecessary handling of the gauges in use should be avoided lest they take up the heat of the hand. If the gauges have been handled for some time they should be allowed to assume the prevailing temperature of the room before being used for test purposes. This is particularly important in the case of the larger sizes.

When the highest accuracy is required, a test room thermostatically controlled at the standard temperature of 20°C becomes necessary, but for ordinary purposes a sufficient degree of accuracy can be obtained if the following precautions are taken.

The work to be tested and the gauge blocks which have to be used should both be allowed to assume the prevailing temperature of the room. Thus, a piece of work should not be tested directly after a cutting, grinding or other operation has just been completed nor should large combinations of gauge blocks be used immediately after they have been wrung together.

B.4 Wringing. Gauges should not be held above the open case when being wrung together lest one be accidentally dropped. The gauges required should be selected and the case then closed.

Before wringing gauges together, their faces should be wiped free from dust and examined for burrs.

* See BS 1133, "Packaging code", Section 6, "Temporary protection of metal surfaces against corrosion (during transport and storage)".

15

รูปที่ 4.47 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียม Optical Parallels

3.2.1 ตรวจสอบวันหมดอายุของ Optical Parallels

หมายเหตุ : กรณีที่พบว่า Optical Parallels หมดอายุแล้วให้สอบเทียบก่อนนำมาใช้

3.2.2 ทำความสะอาด Optical Parallels โดยใช้แอลกอฮอล์ กระดาษและหนังชามัวร์

หมายเหตุ : ถุงมือพลาสติก, ถุงมือผ้า ใช้ในตอนทำความสะอาด

3.2.3 หลังจากการใช้งานหรือการสอบเทียบ จะต้องทำความสะอาด Optical Parallels ด้วยแอลกอฮอล์และกระดาษ แล้วควรเก็บในกล่อง

3.3 การเตรียมไมโครมิเตอร์

3.3.1 ทำความสะอาดไมโครมิเตอร์ด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษและหนังชามัวร์

หมายเหตุ : ถุงมือพลาสติก, ถุงมือผ้า ใช้ในตอนทำความสะอาด

3.3.2 ปรับตั้งศูนย์ไมโครมิเตอร์

3.3.3 ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของไมโครมิเตอร์

หมายเหตุ : หากพบว่าไมโครมิเตอร์ไม่อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ให้ยกเลิกการสอบเทียบ

รูปที่ 4.48 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Micrometer (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด

อธิบายถึงขั้นตอนการสอบเทียบของเครื่องมือวัดในแต่ละชนิด เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดที่นำมาใช้งานนั้นมีความถูกต้องตามมาตรฐาน ซึ่งอาจจะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้นำมาสอบเทียบเครื่องมือ โดยเครื่องมือวัดแต่ละชนิดก็จะมีขั้นตอนการสอบเทียบและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม ดังแสดงตามรูปที่ 4.49

รูปที่ 4.49 การสอบเทียบ Micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 คำนวณหาค่าความเรียบของผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ดังสมการ

$$F = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

เมื่อ F = ความเรียบ (Flatness)

n = จำนวนฟริงจ์

λ = ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ (แสงสีแดงจากหลอดนีออน ≈ 0.64 μm)

หมายเหตุ : จำนวน Fringes ที่วัดได้ด้าน Anvil หรือ Spindle ไม่ควรเกิน 4 Fringes

รูปที่ 4.50 การสอบเทียบ Micrometer (2)

4.2 การตรวจสอบความขนาน (Parallelism)

4.2.1 วาง Optical Parallel ขนาด 12.00 mm ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ (ด้าน Anvil และ Spindle) และปรับให้ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์สัมผัสกับ Optical Parallel อ่านค่าจำนวนฟริงค์ด้าน Anvil และ Spindle และบันทึกผลลงในฟอร์มบันทึกผลการสอบเทียบ

4.2.2 วาง Optical Parallel ขนาด 12.12 mm ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ (ด้าน Anvil และ Spindle) และปรับให้ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ สัมผัสกับ Optical Parallel อ่านค่าจำนวนฟริงค์ด้าน Anvil และ Spindle และบันทึกผลลงในฟอร์มบันทึกผลการสอบเทียบ

4.2.3 วาง Optical Parallel ขนาด 12.25 mm ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ (ด้าน Anvil และ Spindle) และปรับให้ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์สัมผัสกับ Optical Parallel อ่านค่าจำนวนฟริงค์ด้าน Anvil และ Spindle และบันทึกผลลงในฟอร์มบันทึกผลการสอบเทียบ

การตรวจสอบความขนาน อ้างอิงจาก JIS B 7502-1994 (หน้า 465-466)

10.2 Measuring method of parallelism of measuring face The measuring method of the parallelism of the measuring face shall be in accordance with Table 13. This may be exempt from application, provided that the measurement can be made with measuring accuracy equal to or superior to this.

Table 13. Measuring method of parallelism of measuring face

No.	Type	Measuring method	Figure	Measuring instruments	Remarks
1	Micrometer callipers for external measurement	(a) Bring optical parallel or combination of optical parallel and gauge block into close contact with measuring face of anvil to an extent that interference fringes get one colour or closed curve appear), turn the ratchet of the micrometer callipers and take reading of number of red interference fringes which are produced by white light and appears on measuring face of spindle.	Optical parallel, Gauge block, Optical parallel	The optical parallels of grade 1 specified in JIS B 7421, and the gauge block of grade 0 or grade 1 specified in JIS B 7506 or the gauge equal to or superior to these	Measure successively not only at the places of integer number of rotation of the spindle but also at four places where the revolutional fraction equals to a multiple of $\frac{1}{4}$ revolution, and take the largest value thus obtained as the parallelism. Further, as to those exceeding 175 mm in maximum measuring length, follow the method of (b).
No.	Type	Measuring method	Figure	Measuring instruments	Remarks
1 (continued)		(b) Interpose a gauge block in the middle of both measuring faces, turn the ratchet of the micrometer callipers and take its reading. Next, interpose the gauge block at four corners successively, take readings thereof, and obtain the maximum difference.	Gauge block, Positions of gauge block, Measuring face, Numerals mean the measuring order	The gauge block of grade 0 or grade 1 specified in JIS B 7506 or the gauge equal to or superior to this	For micrometers of the maximum measuring length exceeding 175 mm, it should be preferable to follow the method described below. Bring a gauge block of which dimension is equal to the minimum measuring length into close contact with the measuring face of anvil, insert a separate gauge block in the clearance between the gauge block above-mentioned and the measuring face of the spindle, change successively the position of the latter block, and take readings of each measurement.

รูปที่ 4.51 การสอบเทียบ Micrometer (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 วาง Optical Parallel ขนาด 12.37 mm ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ (ด้าน Anvil และ Spindle) และปรับให้ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์สัมผัสกับ Optical Parallel อ่านค่าจำนวนฟริงค์ด้าน Anvil และ Spindle และบันทึกผลลงในฟอร์มบันทึกผลการสอบเทียบ

4.2.5 คำนวณหาค่าความขนานของผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ดังสมการ

$$P = (n_{Avil} + n_{Spindle}) \times \frac{\lambda}{2}$$

เมื่อ P = ความขนาน (Parallelism)

n_{Anvil} = จำนวนฟริงจ์ด้าน Anvil

$n_{Spindle}$ = จำนวนฟริงจ์ด้าน Spindle

λ = ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ (แสงสีแดงจากหลอดนีออน = 0.64 µm)

หมายเหตุ : จำนวน Fringes ที่วัดได้ด้าน Anvil และ Spindle รวมกันไม่เกินเกิน 8 Fringes

การตรวจสอบความขนาน อ้างอิงจาก AS2102-1978 (หน้า 13)

A3 PARALLELISM OF MEASURING FACES.

A3.1 Micrometers up to 25 mm Capacity. The parallelism of the measuring faces of 0-25 mm micrometers may be conventiently tested by utilizing the same principle of optical interference. For this purpose, use is made of a number of optical parallels of different thicknesses the opposite faces of which are accurately parallel as well as flat. These optical parallels are placed in turn between the measuring faces as though their thicknesses were being measured, and in each case attention is paid to the number of interference bands which are formed simultaneously on the two faces. By carefully moving the optical parallel between the faces the number of bands visible on both faces is then counted. For the parallelism to comply with the requirements of this standard, no more than eight bands of the same colour should be visible.

The object of making the test with optical parallels of different thicknesses is to check the parallelism of the faces for different angular positions of the face on the micrometer spindle. To do this effectively, four optical parallels are generally used the thicknesses of which differ in succession by approximately 0.125 mm so that the test is carried out at four positions during a complete rotation of the micrometer spingle.

รูปที่ 4.52 การสอบเทียบ Micrometer (4)

4.3 การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ด้วยเกจบล็อก

4.3.1 วาง Gauge Block ขนาด 2.5 mm ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ด้าน Anvil และ Spindle และปรับให้ผิวหน้าของไมโครมิเตอร์สัมผัสกับ Gauge Block อ่านค่าที่ไมโครมิเตอร์ และบันทึกผลลงในฟอร์มบันทึกผลการสอบเทียบ

4.3.2 ทำซ้ำข้อ 4.3.1 อีก 3 ครั้ง

4.3.3 เปลี่ยนขนาด Gauge Block ตามตารางในฟอร์มบันทึกการสอบเทียบ และทำการสอบเทียบตามข้อ 4.3.1 ถึง 4.3.2 จนครบ

4.3.4 คำนวณหาค่าเฉลี่ย

4.3.5 คำนวณหาค่าแก้

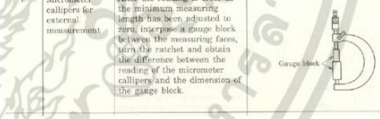
4.3.6 คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.7 คำนวณหาค่าความแน่นอน

การสอบเทียบไมโครมิเตอร์อ้างอิงจาก JIS B 7502-1994 (หน้า 466-467)

10.3 Measuring methods of instrumental errors The measuring methods of instrumental errors shall be in accordance with Table 14. However, these may be exempt from application, provided that it is capable of measuring with the measuring accuracy equal to or superior to these.

Table 14. Measuring methods of instrumental errors

No.	Type	Measuring method	Figure	Measuring instruments	Remarks
1	Micrometer callipers for external measurement	After the reading of error at the minimum measuring length has been adjusted to zero, interpose a gauge block between the measuring faces, turn the ratchet and obtain the difference between the reading of the micrometer callipers and the dimension of the gauge block.		The gauge block of grade 0 or grade 1 specified in JIS B 7506 or the gauge equal to or superior to this	

รูปที่ 4.53 การสอบเทียบ Micrometer (5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสอบเทียบไมโครมิเตอร์อ้างอิงจาก AS2102-1978 (หน้า 14)

A4 CALIBRATION OF MEASURING HEAD.

A4.1 Micrometers up to 50 mm Capacity. The accuracy of the readings of a 0-25 mm micrometer is usually checked by taking readings on a series of gauge blocks. The sizes of these gauge blocks should be chosen so as to test the micrometer not only at a complete turn of its spindle but also at intermediate positions. This is required as a check on the accuracy of the graduations around the thimble.

The following sizes of gauges serve for testing a micrometer both for progressive errors throughout its range and also for periodic errors:

2.5 5.1 7.7 10.3 12.9 15.0 17.6 20.2 22.8 25.0 mm.

This series gives readings which work around the thimble twice and provide a double check on any periodic error which may be present.

A series with somewhat fewer gauge blocks could be used, if desired, with sizes as follows:

3.1 6.5 9.7 12.5 15.8 19.0 21.9 25.0 mm.

This series would not, however, give quite as close a test of progressive and periodic errors as those first given.

As a check on the vernier graduations of a micrometer, readings should be taken on the following sizes of gauge blocks:

2.002 2.004 2.006 2.008 2.010 mm.

In order to facilitate the accurate reading of the micrometer during such a calibration the thimble may be viewed with a low-power magnifying lens.

The above method can be extended to cover micrometers reading up to 50 mm capacity.

รูปที่ 4.54 มาตรฐานการสอบเทียบ Micrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การคำนวณหาค่าแก้

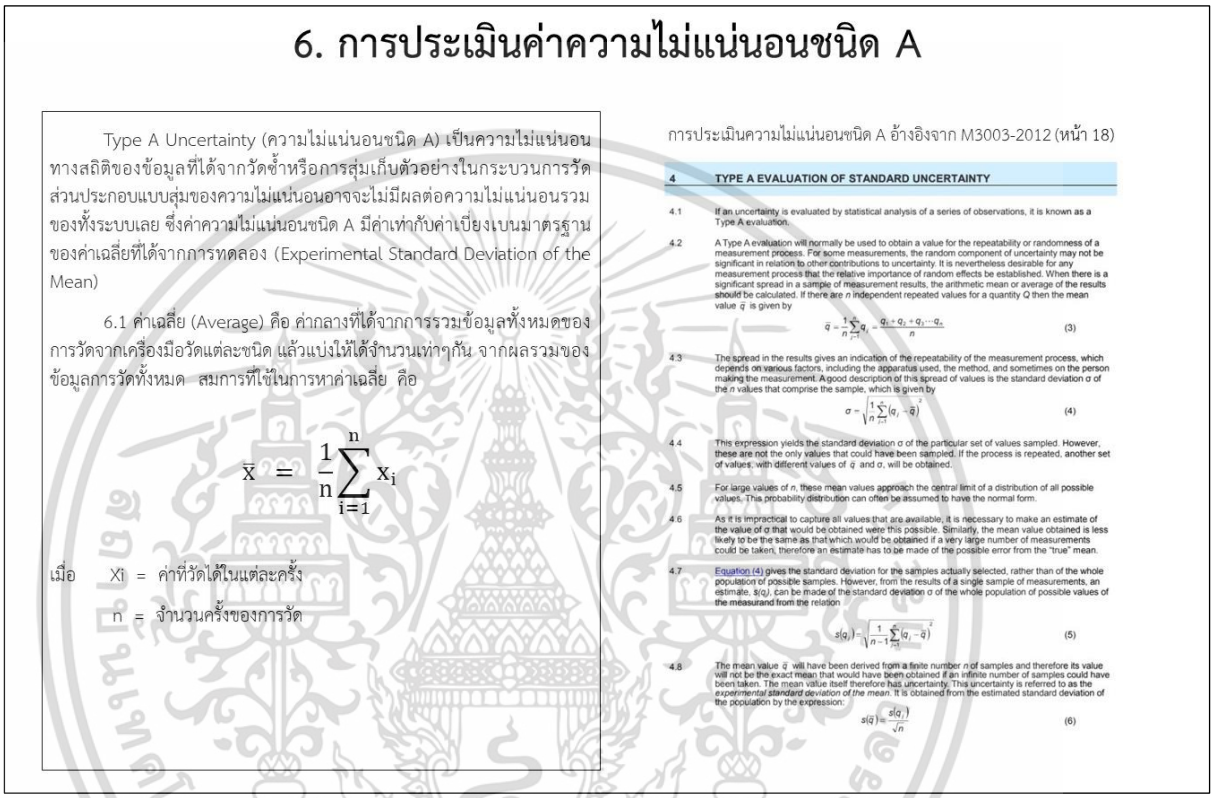
ค่าที่ชดเชยสำหรับค่าผิดพลาดโดยนำมาบวกกับค่าที่ยังไม่ปรับแก้ของการวัด ซึ่งในแต่ละย่านการวัดก็จะมีค่าต่างกัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.55

รูปที่ 4.55 การคำนวณหาค่าแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

ความไม่แน่นอนทางสถิติของข้อมูลที่ได้จากวัดซ้ำ หรือการสุ่มเก็บตัวอย่างในกระบวนการวัด ส่วนประกอบแบบสุ่มของความไม่แน่นอนอาจจะไม่มีผลต่อความไม่แน่นอนรวมของทั้งระบบเลย ซึ่งค่าความไม่แน่นอนชนิด A มีค่าเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงตามรูปที่ 4.56



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

รูปที่ 4.56 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ ค่าเฉลี่ยที่บอกว่า โดยเฉลี่ยจากข้อมูลแต่ละตัวที่เราได้นำมาหาค่าเฉลี่ย มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยอยู่เท่าไร สามารถเรียกได้อีกอย่างคือค่า SD (Standard Deviation)สมการที่ใช้ในการหาค่า SD คือ

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

เมื่อ Xi = ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของการวัด

n = จำนวนครั้งของการวัด

รูปที่ 4.57 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (2)

6.3 ความไม่แน่นอน Type A สามารถคำนวนได้ดังสมการ

$$\mathbf{u(l_x) = s(\bar{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}}$$

เมื่อ σ_{n-1} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

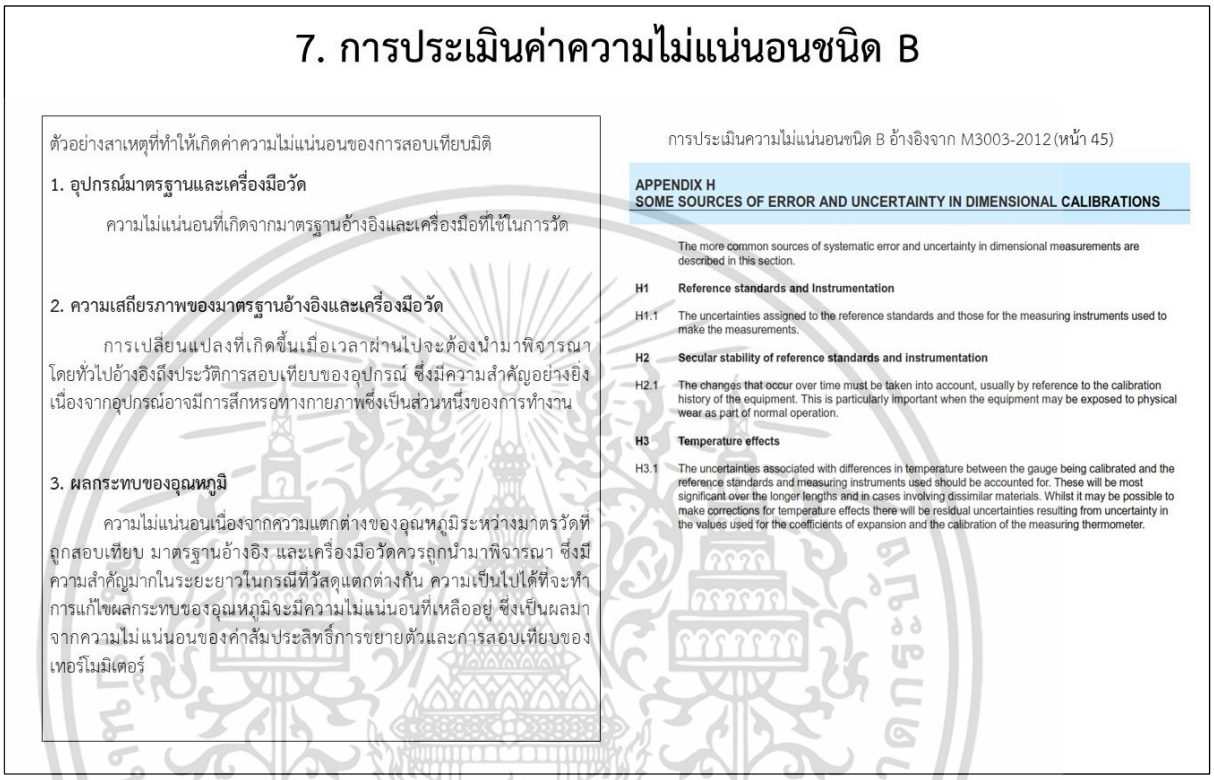
n = จำนวนครั้งของการวัด

รูปที่ 4.58 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

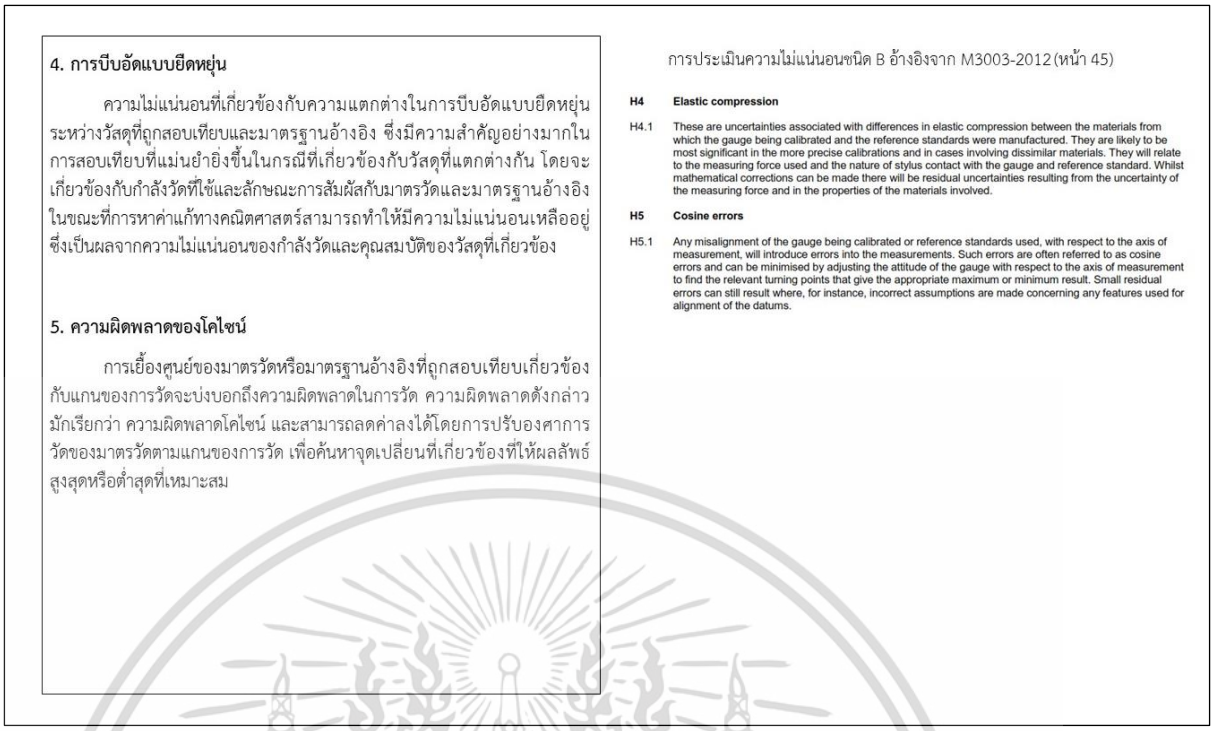
4.2.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

ความไม่แน่นอนที่ได้จากวิธีอื่นที่ไม่ใช่วิธีทางสถิติ เป็นการใช้ข้อมูลจากประสบการณ์จากใบรับรองการสอบเทียบ จากข้อกำหนดจำเพาะของโรงงานผู้ผลิต จากข้อมูลที่ถูกตีพิมพ์หรือจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ดังแสดงตามรูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. การบีบอัดแบบยืดหยุ่น

ความไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องกับความแตกต่างในการบีบอัดแบบยืดหยุ่นระหว่างวัสดุที่ถูกสอบเทียบและมาตรฐานอ้างอิง ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในการสอบเทียบที่แม่นยำยิ่งขึ้นในกรณีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่แตกต่างกัน โดยจะเกี่ยวข้องกับกำลังวัดที่ใช้และลักษณะการสัมผัสกับมาตรวัดและมาตรฐานอ้างอิง ในขณะที่การหาค่าแก้ทางคณิตศาสตร์สามารถทำให้มีความไม่แน่นอนเหลืออยู่ ซึ่งเป็นผลจากความไม่แน่นอนของกำลังวัดและคุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้อง

5. ความผิดพลาดของโคไซน์

การเยื้องศูนย์ของมาตรวัดหรือมาตรฐานอ้างอิงที่ถูกสอบเทียบเกี่ยวข้องกับแกนของการวัดจะบ่งบอกถึงความผิดพลาดในการวัด ความผิดพลาดดังกล่าวมักเรียกว่า ความผิดพลาดโคไซน์ และสามารถลดค่าลงได้โดยการปรับองศาการวัดของมาตรวัดตามแกนของการวัด เพื่อค้นหาจุดเปลี่ยนที่เกี่ยวข้องที่ให้ผลลัพธ์สูงสุดหรือต่ำสุดที่เหมาะสม

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก M3003-2012 (หน้า 45)

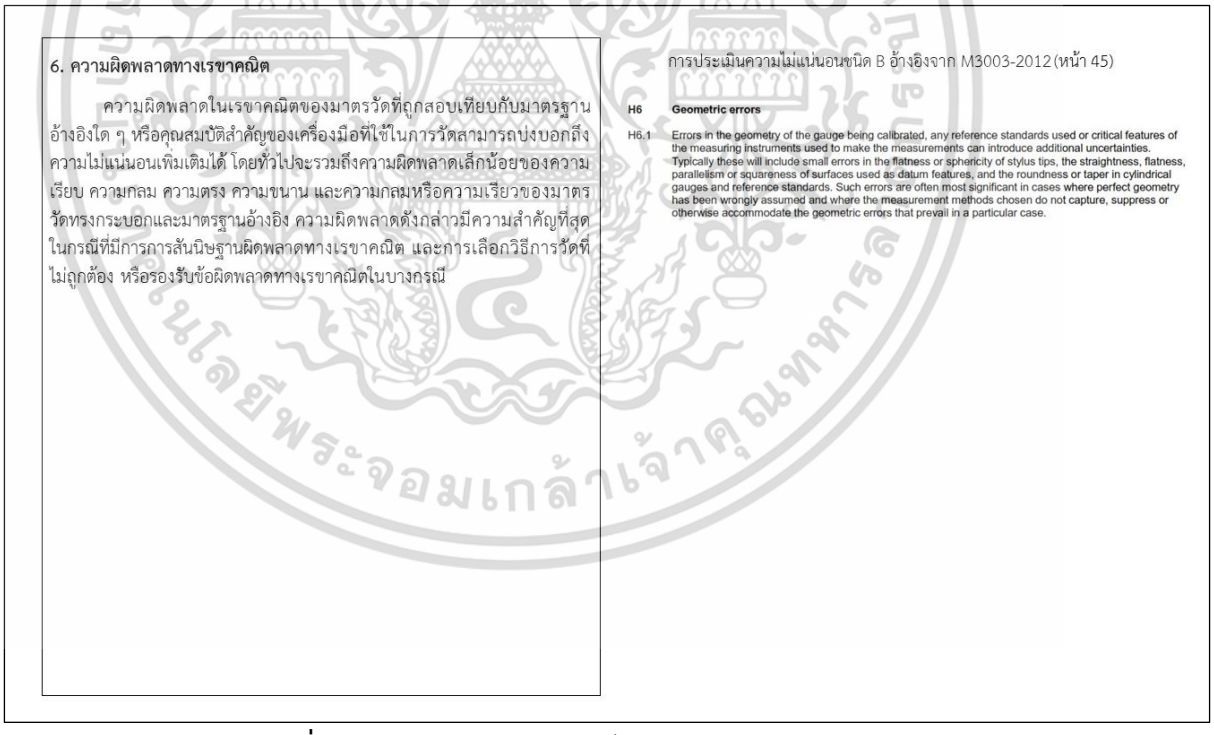
H4 Elastic compression

H4.1 These are uncertainties associated with differences in elastic compression between the materials from which the gauge being calibrated and the reference standards were manufactured. They are likely to be most significant in the more precise calibrations and in cases involving dissimilar materials. They will relate to the measuring force used and the nature of stylus contact with the gauge and reference standard. Whilst mathematical corrections can be made there will be residual uncertainties resulting from the uncertainty of the measuring force and in the properties of the materials involved.

H5 Cosine errors

H5.1 Any misalignment of the gauge being calibrated or reference standards used, with respect to the axis of measurement, will introduce errors into the measurements. Such errors are often referred to as cosine errors and can be minimised by adjusting the attitude of the gauge with respect to the axis of measurement to find the relevant turning points that give the appropriate maximum or minimum result. Small residual errors can still result where, for instance, incorrect assumptions are made concerning any features used for alignment of the datums.

รูปที่ 4.60 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (2)



6. ความผิดพลาดทางเรขาคณิต

ความผิดพลาดในเรขาคณิตของมาตรวัดที่ถูกสอบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงใด ๆ หรือคุณสมบัติสำคัญของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสามารถบ่งบอกถึงความไม่แน่นอนเพิ่มเติมได้ โดยทั่วไปจะรวมถึงความผิดพลาดเล็กน้อยของความเรียบ ความกลม ความตรง ความขนาน และความกลมหรือความเรียวของมาตรวัดทรงกระบอกและมาตรฐานอ้างอิง ความผิดพลาดดังกล่าวมีความสำคัญที่สุดในกรณีที่มีการการสันนิษฐานผิดพลาดทางเรขาคณิต และการเลือกวิธีการวัดที่ไม่ถูกต้อง หรือรองรับข้อผิดพลาดทางเรขาคณิตในบางกรณี

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก M3003-2012 (หน้า 45)

H6 Geometric errors

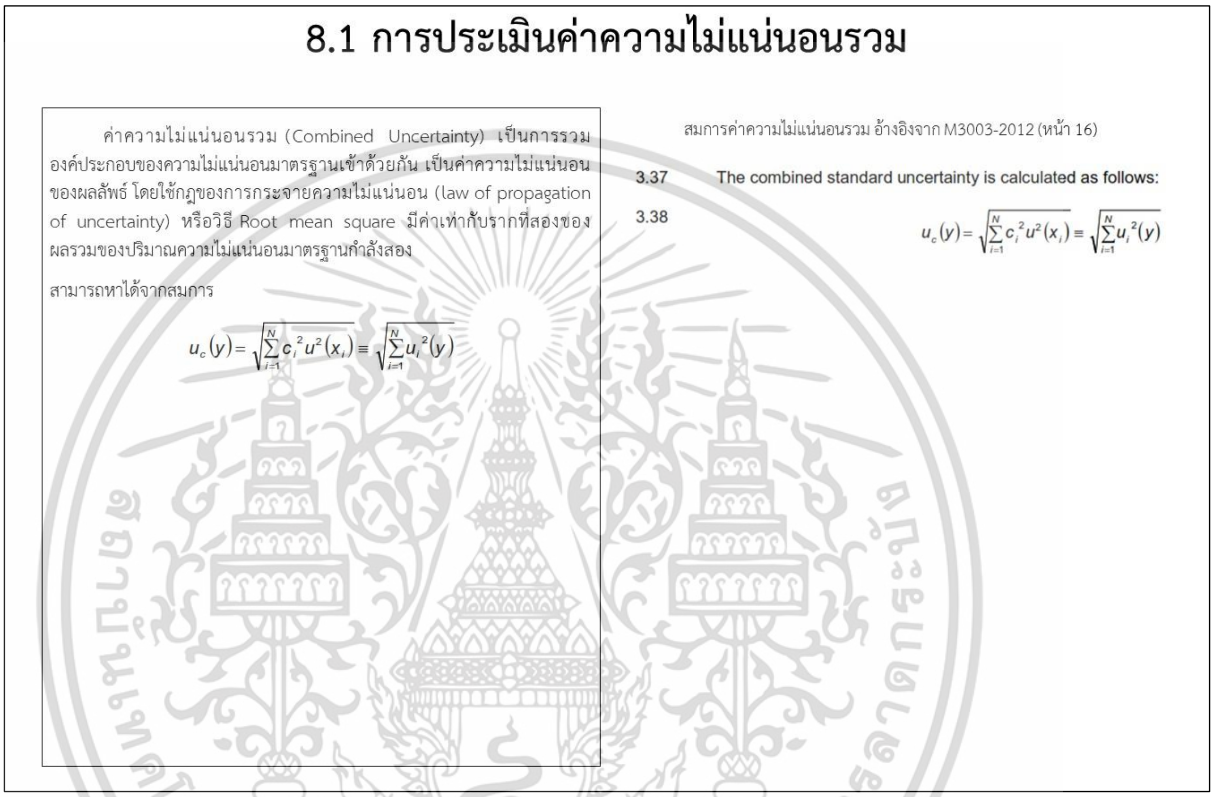
H6.1 Errors in the geometry of the gauge being calibrated, any reference standards used or critical features of the measuring instruments used to make the measurements can introduce additional uncertainties. Typically these will include small errors in the flatness or sphericity of stylus tips, the straightness, flatness, parallelism or squareness of surfaces used as datum features, and the roundness or taper in cylindrical gauges and reference standards. Such errors are often most significant in cases where perfect geometry has been wrongly assumed and where the measurement methods chosen do not capture, suppress or otherwise accommodate the geometric errors that prevail in a particular case.

รูปที่ 4.61 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

การรวมองค์ประกอบของความไม่แน่นอนมาตรฐานเข้าด้วยกัน เป็นค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ โดยใช้กฎของการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) หรือวิธี Root mean square มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลรวมของปริมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานกำลังสอง ดังแสดงตามรูปที่ 4.62



รูปที่ 4.62 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย

ปริมาณที่กำหนดช่วงที่ผลของการวัดกระจายอยู่ภายใน ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถแสดงลักษณะของสิ่งที่ถูกวัดที่คาดว่าจะเป็นอย่างสมเหตุสมผล ซึ่งหาได้จากผลคูณของค่าความไม่แน่นอนรวมกับตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) ซึ่งตัวประกอบครอบคลุม คือ ตัวประกอบที่เป็นตัวเลข ใช้คูณกับความไม่แน่นอนรวม เพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนขยายเนื่องจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอนรวม

สามารถหาค่าตัวประกอบร่วม(k) ได้จากสมการ

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

สามารถหาค่าความไม่แน่นอนขยาย ได้จากสมการ

$$\mathbf{U_{(95\%)} = k \times u_C}$$

เมื่อ k = ค่าตัวประกอบ (Coverage factor) = 2.00 (95%)

สมการหาค่าตัวประกอบร่วม (k) อ้างอิงจาก M3003-2012 (หน้า 28)

B3 In order to obtain a value for k_p it is necessary to obtain an estimate of the effective degrees of freedom, v_{eff}, of the combined standard uncertainty $u_c(y)$. The GUM recommends that the Welch-Satterthwaite equation is used to calculate a value for v_{eff} based on the degrees of freedom, v_i, of the individual standard uncertainties $u_i(y)$; therefore

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (9)$$

ตารางค่า Coverage Factors (k) อ้างอิงจาก EA-4/02-1999 (หน้า 26)

(c) Obtain the coverage factor k from the table of values given as Table E.1 of this annex. This table is based on a t-distribution evaluated for a coverage probability of 95,45%. If n_{eff} is not an integer, which will usually be the case, truncate n_{eff} to the next lower integer.

Table E.1: Coverage factors k for different effective degrees of freedom n_{eff}.

n_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

รูปที่ 4.63 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กระบวนการสอบเทียบ Digital Vernier Caliper

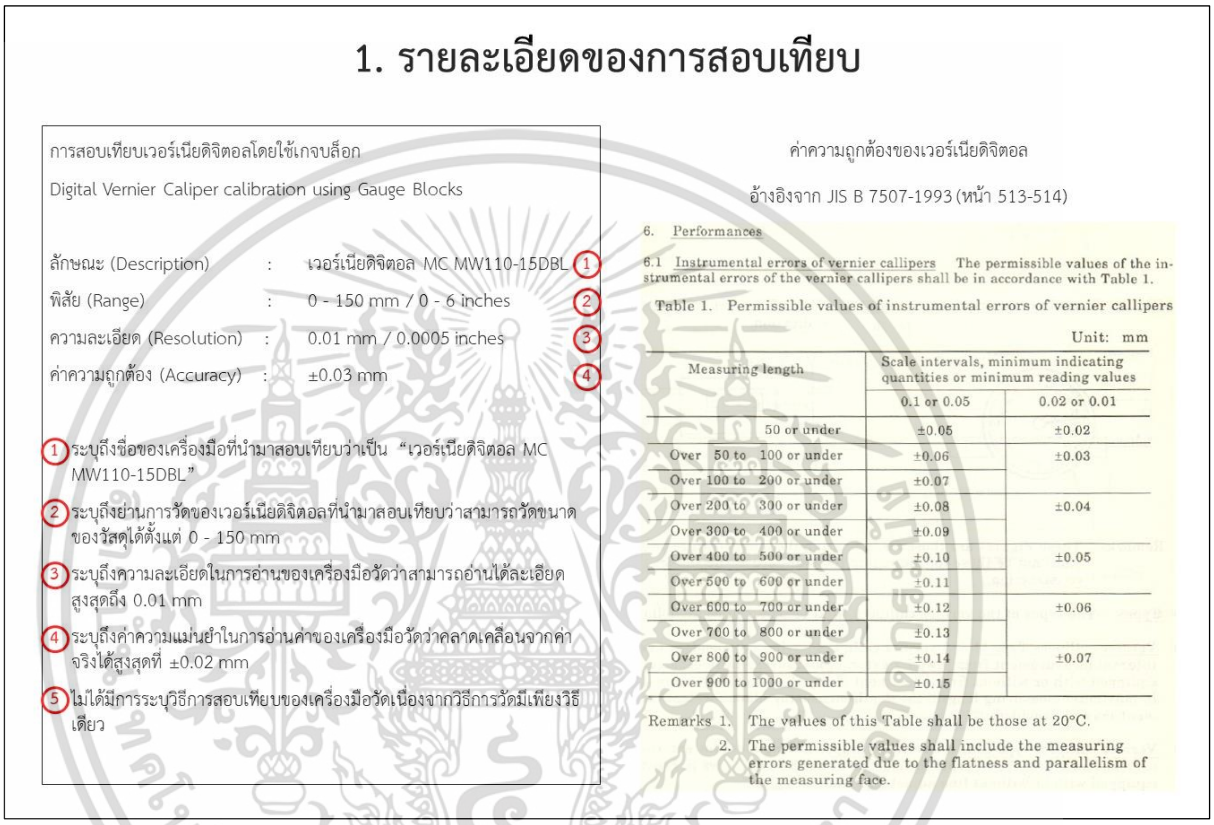
จากการนำกระบวนการสอบเทียบที่สร้างขึ้นมา ไปใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ คือ เวอเนียร์ดิจิตอล (Digital Vernier Caliper) และนำเอกสารมาตรฐานการสอบเทียบของเวอเนียร์ดิจิตอล เกจบล็อค และการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องมือวัดมาเชื่อมโยง เพื่อให้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือและให้ทราบถึงที่มาของกระบวนการการสอบเทียบแต่ละขั้นตอน ดังแสดงตามรูปที่ 4.64

รูปที่ 4.64 กระบวนการสอบเทียบ Digital Vernier Caliper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ

ระบุเกี่ยวกับรายละเอียดหรือคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่จะนำมาสอบเทียบ (UUC) ซึ่งจะประกอบไปด้วย ลักษณะ (Description) พิสัยการวัด (Range) ความละเอียด (Resolution) ค่าความถูกต้อง (Accuracy) หรือค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) และวิธีการสอบเทียบ (Test Method) ดังแสดงตามรูปที่ 4.65



รูปที่ 4.65 รายละเอียดของการสอบเทียบ Digital Vernier Caliper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องมือวัดอ้างอิงเพื่อให้เครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบได้ใช้เปรียบเทียบ โดยเครื่องมือวัดอ้างอิงนี้จะต้องมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ ประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะที่ทำการสอบเทียบ คุณสมบัติของอุปกรณ์มาตรฐาน และชนิดของอุปกรณ์มาตรฐาน ดังแสดงตามรูปที่ 4.66

2. เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

(1) Equipment	(2) Specifications	(3) Model/Type
Gauge Blocks	Range : 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm, 120 mm, 130 mm, 140mm, 150mm, (ขึ้นอยู่กับการออกแบบหรือการนำไปใช้งาน) Uncertainty : Grade 2 Standard (ISO3650)	Type : 4100-146 Model : INSIZE
Knife Edge	Range : 100 mm / 4 inches Uncertainty : Standard DIN 874-2	Type : 528-102 Model : Mitutoyo

(1) ระบุถึงอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบความดัน ประกอบด้วย Gauge Blocks และ Knife Edge

(2) ระบุถึงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ เช่น ย่านการวัด และค่าความไม่แน่นอน

(3) ระบุถึงรุ่นและยี่ห้อของอุปกรณ์มาตรฐาน

อุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเวอร์เนียดิจิตอล

อ้างอิงจาก ISO 3599-1976 (หน้า 4)

A.2 MEASURING FACES

A.2.1 Flatness

The flatness of the faces for external measurement may be checked by applying a "knife edge" straightedge, or by another appropriate method.

A.2.2 Parallelism

The parallelism of the faces for external measurement may be checked by inserting gauge blocks between them at different points of the jaws and at different measured lengths by varying the sizes of the gauge blocks.

The parallelism of the faces for external measurement shall not be affected by clamping the slider. This may be checked by leaving a narrow gap between the measuring faces and observing this gap when clamping the slider.

The parallelism of the faces for internal measurement may be checked by means of a micrometer. To ensure that the radius is not too large, the combined jaws may be checked with a plain ring gauge of 5, 10 or 20 mm diameter, as applicable.

A.2.3 Scale lines

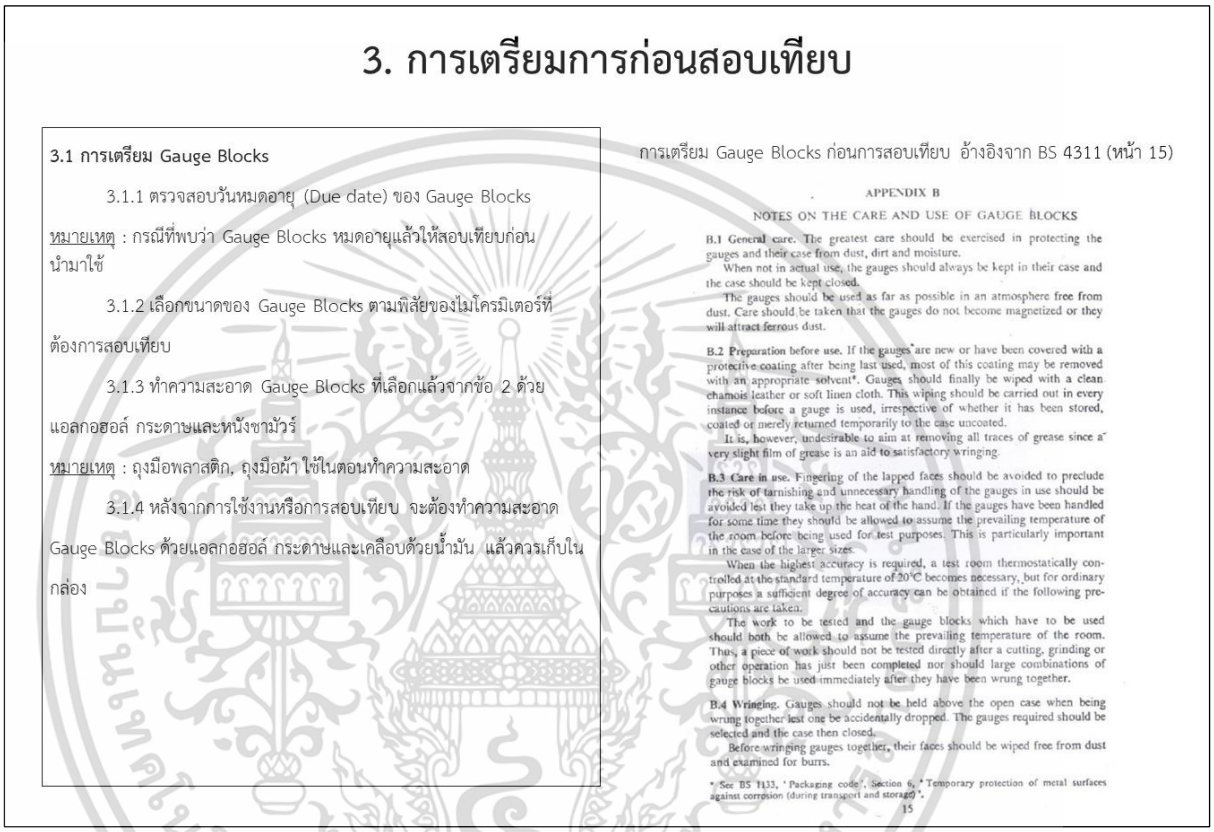
The thickness of the scale lines may be checked by direct measurement with a microscope fitted with a micrometric device.

รูปที่ 4.66 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ Digital Vernier Caliper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ

การเตรียมเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ที่แตกต่างกันตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ เช่น การตรวจสอบอายุ การทำความสะอาดก่อนและหลังใช้งาน การเลือกประเภทหรือขนาดที่ใช้สอบเทียบ การตรวจสอบลักษณะทั่วไปและสภาพการใช้งานของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ ดังแสดงตามรูปที่ 4.67



3. การเตรียมการก่อนสอบเทียบ

3.1 การเตรียม Gauge Blocks

3.1.1 ตรวจสอบวันหมดอายุ (Due date) ของ Gauge Blocks

หมายเหตุ : กรณีที่พบว่า Gauge Blocks หมดอายุแล้วให้สอบเทียบก่อนนำมาใช้

3.1.2 เลือกขนาดของ Gauge Blocks ตามพิสัยของไมโครมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ

3.1.3 ทำความสะอาด Gauge Blocks ที่เลือกแล้วจากข้อ 2 ด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษและหนังชามัวร์

หมายเหตุ : ถุงมือพลาสติก, ถุงมือผ้า ใช้ในตอนทำความสะอาด

3.1.4 หลังจากการใช้งานหรือการสอบเทียบ จะต้องทำความสะอาด Gauge Blocks ด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษและเคลือบด้วยน้ำมัน แล้วควรเก็บในกล่อง

การเตรียม Gauge Blocks ก่อนการสอบเทียบ อ้างอิงจาก BS 4311 (หน้า 15)

APPENDIX B

NOTES ON THE CARE AND USE OF GAUGE BLOCKS

B.1 General care. The greatest care should be exercised in protecting the gauges and their case from dust, dirt and moisture.

When not in actual use, the gauges should always be kept in their case and the case should be kept closed.

The gauges should be used as far as possible in an atmosphere free from dust. Care should be taken that the gauges do not become magnetized or they will attract ferrous dust.

B.2 Preparation before use. If the gauges are new or have been covered with a protective coating after being last used, most of this coating may be removed with an appropriate solvent*. Gauges should finally be wiped with a clean chamois leather or soft linen cloth. This wiping should be carried out in every instance before a gauge is used, irrespective of whether it has been stored, coated or merely returned temporarily to the case uncoated.

It is, however, undesirable to aim at removing all traces of grease since a very slight film of grease is an aid to satisfactory wringing.

B.3 Care in use. Fingering of the lapped faces should be avoided to preclude the risk of tarnishing and unnecessary handling of the gauges in use should be avoided lest they take up the heat of the hand. If the gauges have been handled for some time they should be allowed to assume the prevailing temperature of the room before being used for test purposes. This is particularly important in the case of the larger sizes.

When the highest accuracy is required, a test room thermostatically controlled at the standard temperature of 20°C becomes necessary, but for ordinary purposes a sufficient degree of accuracy can be obtained if the following precautions are taken.

The work to be tested and the gauge blocks which have to be used should both be allowed to assume the prevailing temperature of the room. Thus, a piece of work should not be tested directly after a cutting, grinding or other operation has just been completed nor should large combinations of gauge blocks be used immediately after they have been wrung together.

B.4 Wringing. Gauges should not be held above the open case when being wrung together lest one be accidentally dropped. The gauges required should be selected and the case then closed.

Before wringing gauges together, their faces should be wiped free from dust and examined for burrs.

* See BS 1133, 'Packaging code', Section 6, 'Temporary protection of metal surfaces against corrosion (during transport and storage)'.

15

รูปที่ 4.67 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Digital Vernier Caliper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียม Knife Edge และ Gauge Block Holder

3.2.1 เลือก Gauge Block Holder ขนาดที่เหมาะสมกับเวอร์เนียดิจิตอล

3.2.2 ทำความสะอาด Knife Edge และ Gauge Block Holder โดยใช้แอลกอฮอล์ กระดาษและหนังซามัวร์ทำความสะอาด

3.3 การเตรียมเวอร์เนียดิจิตอล

3.3.1 ทำความสะอาดเวอร์เนียดิจิตอลด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษและหนังซามัวร์

หมายเหตุ : ถุงมือพลาสติก, ถุงมือผ้า ใช้ในตอนทำความสะอาด

3.3.2 ปรับตั้งศูนย์เวอร์เนียดิจิตอล

3.3.3 ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของเวอร์เนียดิจิตอล

หมายเหตุ : หากพบว่าเวอร์เนียดิจิตอลไม่อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ให้ยกเลิกการสอบเทียบ

รูปที่ 4.68 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

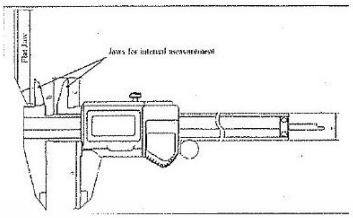
4.3.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด

อธิบายถึงขั้นตอนการสอบเทียบของเครื่องมือวัดในแต่ละชนิด เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดที่นำมาใช้งานนั้นมีความถูกต้องตามมาตรฐาน ซึ่งอาจจะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้นำมาสอบเทียบเครื่องมือ โดยเครื่องมือวัดแต่ละชนิดก็จะมีขั้นตอนการสอบเทียบและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม ดังแสดงตามรูปที่ 4.69

รูปที่ 4.69 การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ตรวจสอบความเรียบปากวัดใน โดยวาง Knife Edge ให้สัมผัสกับผิวหน้าของปากวัดในของเวอร์เนียดิจิตอลดังรูป แล้วสังเกตแสงลอดผ่าน (ปากวัดในของ UUC ที่อยู่ในสภาพปกติต้องไม่มีแสงลอดผ่าน หากพบว่ามีแสงลอดผ่านให้ทดสอบด้วยวิธีการที่เหมาะสมเพื่อหาค่าความเรียบ) โดยตรวจสอบทั้งสองด้านของปากวัดในและทำการบันทึกผลลงในแบบฟอร์มการสอบเทียบ



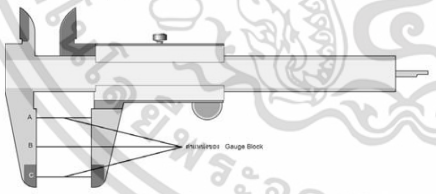
การตรวจสอบความเรียบด้วย Knife Edge

รูปที่ 4.70 การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (2)

4.2 การตรวจสอบความขนาน (Parallelism)

4.2.1 การตรวจสอบค่าความขนานของปากวัดนอก

1. วาง Gauge Block ขนาดประมาณช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลายของพิสัยระหว่างผิวหน้าสัมผัสปากวัดนอกของเวอร์เนียดิจิตอล ณ ตำแหน่ง A,B และ C ดังรูป และปรับผิวหน้าสัมผัสของเวอร์เนียดิจิตอลให้สัมผัสกับ Gauge Block อ่านค่าจากเวอร์เนียดิจิตอล และบันทึกผลการสอบเทียบลงในตารางบันทึกผลการสอบเทียบในแบบฟอร์ม
2. คำนวณหาค่าความขนาน ในแต่ละช่วงและบันทึกค่าความขนานลงในแบบฟอร์ม โดยกำหนดให้ค่าความขนาน = ค่าที่อ่านได้สูงสุด – ค่าที่อ่านได้ต่ำสุด (Maximum-Minimum)



การตรวจสอบค่าความขนานปากวัดนอก

การตรวจสอบความขนานภายนอก อ้างอิงจาก AS 1984-1977 (หน้า 19)

A3 PARALLELISM OF FACES FOR EXTERNAL MEASUREMENT. The parallelism of the faces for external measurement may be checked by inserting the corner of a gauge block combination between the faces at various positions over their area. By varying the size of the gauge block combination this test may be made at various positions of separation of the faces. For larger distances of separation, an internal micrometer may be used.

การตรวจสอบความขนานภายนอก อ้างอิงจาก ISO 3599-1976 (หน้า 4)

A.2.2 Parallelism

The parallelism of the faces for external measurement may be checked by inserting gauge blocks between them at different points of the jaws and at different measured lengths by varying the sizes of the gauge blocks.

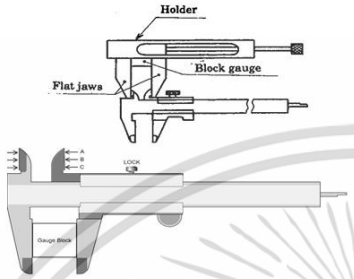
The parallelism of the faces for external measurement shall not be affected by clamping the slider. This may be checked by leaving a narrow gap between the measuring faces and observing this gap when clamping the slider.

รูปที่ 4.71 การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การตรวจสอบค่าความขนานของปากวัดใน

1. เตรียม Gauge Block ขนาดประมาณช่วงต้น ช่วงกลาง และช่วงปลาย ของพิสัยของ Caliper ที่ทำการวัด และประกบทั้งสองด้านของ Gauge Block ด้วย Knife Edge
2. ตรวจสอบความขนานของปากวัดใน โดยวัดความกว้างของช่องว่างที่เกิดจากการเตรียมตามข้อที่ 1 ณ ตำแหน่ง A, B และ C ดังรูปและบันทึกผลลงในแบบฟอร์มการสอบเทียบ
3. คำนวณหาค่าความขนาน ในแต่ละช่วงและบันทึกค่าความขนานลงในแบบฟอร์ม โดยกำหนดให้ค่าความขนาน = ค่าที่อ่านได้สูงสุด – ค่าที่อ่านได้ต่ำสุด (Maximum-Minimum)



การตรวจสอบค่าความขนานปากวัดใน

การตรวจสอบความขนานภายใน อ้างอิงจาก AS 1984-1977 (หน้า 19-20)

A6 PARALLELISM OF FACES FOR INTERNAL MEASUREMENT. The parallelism of the faces for internal measurement may be checked by using an external micrometer and taking readings over the length of the measuring face. It should be noted that this test will not be effective if the distance at the free ends is greater than at their roots.

In such a contingency the whole of the calliper faces may be covered with the micrometer faces and the lack of parallelism may be estimated by viewing the gap against a well illuminated background.

การตรวจสอบความขนานภายใน อ้างอิงจาก ISO 3599-1976 (หน้า 4)

A.2.2 Parallelism

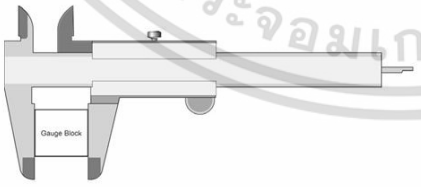
The parallelism of the faces for internal measurement may be checked by means of a micrometer. To ensure that the radius is not too large, the combined jaws may be checked with a plain ring gauge of 5, 10 or 20 mm diameter, as applicable.

รูปที่ 4.72 การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (4)

4.3 การสอบเทียบเวอร์เนียดิจิตอลด้วยเกจบล็อก

4.3.1 การสอบเทียบเวอร์เนียดิจิตอลแบบ External Measurement

1. กำหนดจุดสอบเทียบไม่น้อยกว่า 5 จุด โดยครอบคลุมช่วงพิสัยการวัดทั้งสเกลหลักและสเกลย่อย คือ 10 mm, 20 mm, 30 mm, 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm, 100 mm, 110 mm, 120 mm, 130 mm, 140 mm, 150 mm
2. วาง Gauge Block ระหว่างผิวสัมผัสปากวัดนอกของเวอร์เนียดิจิตอล เลื่อนให้ผิวหน้าสัมผัสปากวัดนอกของเวอร์เนียดิจิตอล สัมผัส Gauge Block อ่านค่าจากเวอร์เนียดิจิตอลดังรูป และบันทึกผลลงในแบบฟอร์มการสอบเทียบ
3. ทำซ้ำตามตั้งแต่แรกจบครบ 3 ครั้ง
4. เปลี่ยนขนาด Gauge Block ตามจุดสอบเทียบที่กำหนดตามข้อ 1 และทำซ้ำข้อ 2 ถึง 3 จนครบทุกตำแหน่งของการสอบเทียบ



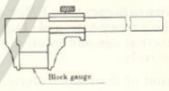
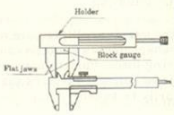
การสอบเทียบเวอร์เนียดิจิตอลแบบ External Measurement

การสอบเทียบเวอร์เนียดิจิตอลด้วยเกจบล็อก

อ้างอิงจาก JIS B 7507-1993 (หน้า 521)

12. Measuring methods of performances. An example of the measuring methods of the performances of the vernier callipers shall be given in Table 9.

Table 9. Measuring methods of performances of vernier callipers (example)

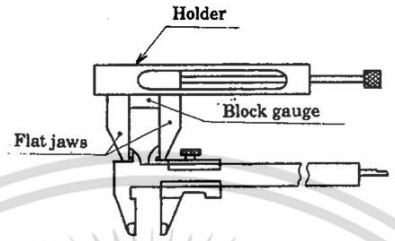
No.	Item	Measuring method	Diagram	Measuring instruments
1	Instrumental error of external measurement	Insert the block gauge or gauges equal to or superior to it between the faces for external measurement, measure at the root and tip of the measuring faces, and obtain by subtracting the dimension of the gauge from the reading of the vernier callipers.		Grade 2 block gauge specified in JIS B 7506 or the gauge equal to or superior to this and limit gauge.
2	Instrumental error of internal measurement	Using the block gauge and its accessories or the equipment equal to or superior to them, measure the internal dimension by the faces for internal measurement, and obtain by subtracting the dimension of the gauge or the numerical value given by the equipment from the reading of the vernier callipers.		Grade 2 block gauge specified in JIS B 7506 and the holder and flat jaws type A which are the accessories of the block gauge specified in Annex of the Standard, or the gauge equal to or superior to this.

รูปที่ 4.73 การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การสอบเทียบเวอร์เนียดิจิตอลแบบ Internal Measurement

1. กำหนดจุดสอบเทียบอย่างน้อย 1 จุด
2. วาง Gauge Block ขนาดตามจุดสอบเทียบที่กำหนดใน Gauge Block Holder ประกบทั้งสองด้านของ Gauge Block ด้วย Knife Edge ทำการล็อก Gauge Block Holder
3. เลื่อนผิวสัมผัสปากวัดในให้สัมผัสกับ Knife Edge แล้วเลื่อนหาจุดที่ค่าชี้บอกต่ำสุด โดยอ่านค่าที่เวอร์เนียดิจิตอลดังรูป และบันทึกผลลงในแบบฟอร์มการสอบเทียบ
4. ทำซ้ำตามข้อ 3 จนครบ 3 ครั้ง



การสอบเทียบเวอร์เนียดิจิตอลแบบ Internal Measurement

รูปที่ 4.74 การสอบเทียบ Digital Vernier Caliper (6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 การคำนวณหาค่าแก้

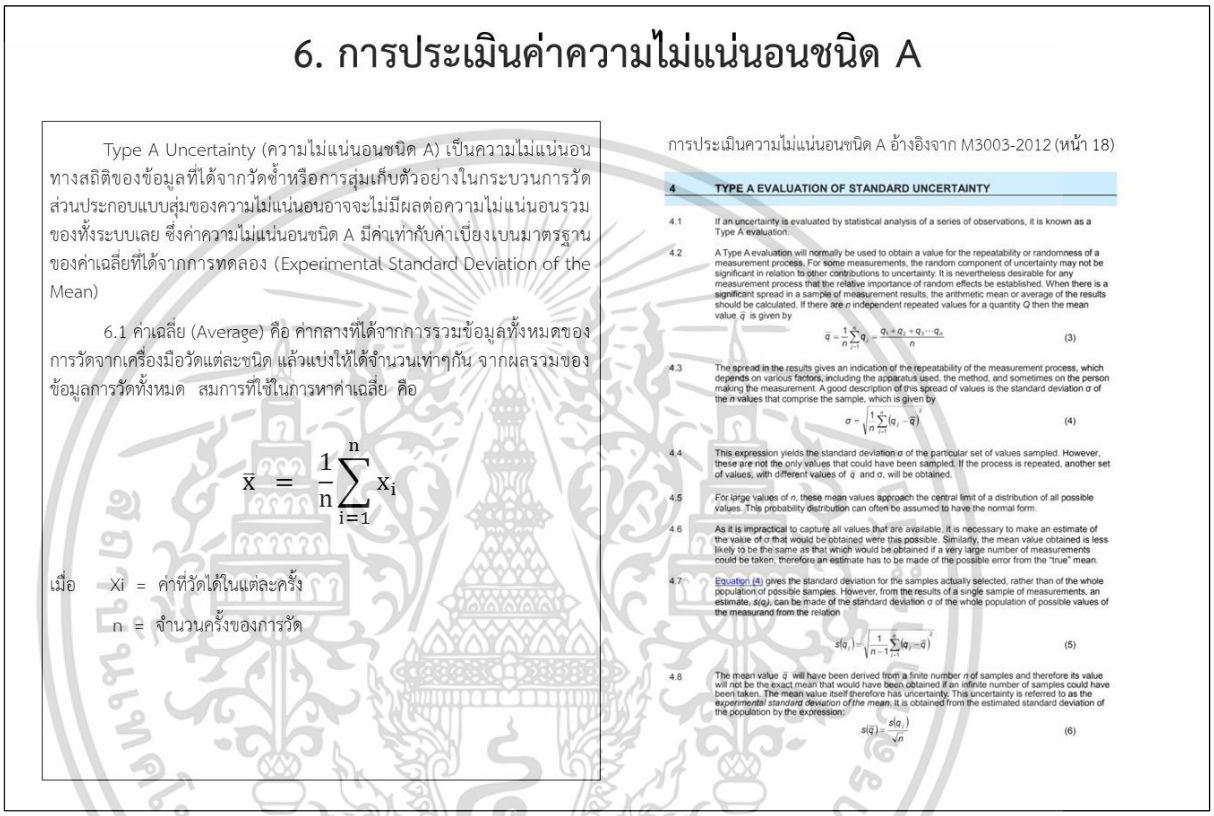
ค่าที่ชดเชยสำหรับค่าผิดพลาดโดยนำมาบวกกับค่าที่ยังไม่ปรับแก้ของการวัด ซึ่งในแต่ละย่านการวัดก็จะมีค่าต่างกัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.75

รูปที่ 4.75 การคำนวณหาค่าแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

ความไม่แน่นอนทางสถิติของข้อมูลที่ได้จากวัดซ้ำหรือการสุ่มเก็บตัวอย่างใน กระบวนการวัด ส่วนประกอบแบบสุ่มของความไม่แน่นอนอาจจะไม่มีผลต่อความไม่แน่นอนรวมของทั้งระบบเลย ซึ่งค่าความไม่แน่นอนชนิด A มีค่าเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงตามรูปที่ 4.76



6. การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

Type A Uncertainty (ความไม่แน่นอนชนิด A) เป็นความไม่แน่นอนทางสถิติของข้อมูลที่ได้จากวัดซ้ำหรือการสุ่มเก็บตัวอย่างในกระบวนการวัด ส่วนประกอบแบบสุ่มของความไม่แน่นอนอาจจะไม่มีผลต่อความไม่แน่นอนรวมของทั้งระบบเลย ซึ่งค่าความไม่แน่นอนชนิด A มีค่าเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง (Experimental Standard Deviation of the Mean)

6.1 ค่าเฉลี่ย (Average) คือ ค่ากลางที่ได้จากการรวมข้อมูลทั้งหมดของการวัดจากเครื่องมือวัดแต่ละชนิด แล้วแบ่งให้ได้จำนวนเท่าๆกัน จากผลรวมของข้อมูลการวัดทั้งหมด สมการที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย คือ

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

เมื่อ Xi = ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

n = จำนวนครั้งของการวัด

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด A อ้างอิงจาก M3003-2012 (หน้า 18)

4 TYPE A EVALUATION OF STANDARD UNCERTAINTY

4.1 If an uncertainty is evaluated by statistical analysis of a series of observations, it is known as a Type A evaluation.

4.2 A Type A evaluation will normally be used to obtain a value for the repeatability or randomness of a measurement process. For some measurements, the random component of uncertainty may not be significant in relation to other contributions to uncertainty. It is nevertheless desirable for any measurement process that the relative importance of random effects be established. When there is a significant spread in a sample of measurement results, the arithmetic mean or average of the results should be calculated. If there are *n* independent repeated values for a quantity Q then the mean value $\bar{q}$ is given by

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} q_j = \frac{q_1 + q_2 + q_3 \cdots q_n}{n} \quad (3)$$

4.3 The spread in the results gives an indication of the repeatability of the measurement process, which depends on various factors, including the apparatus used, the method, and sometimes on the person making the measurement. A good description of this spread of values is the standard deviation σ of the *n* values that comprise the sample, which is given by

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(q_j - \bar{q})^2} \quad (4)$$

4.4 This expression yields the standard deviation σ of the particular set of values sampled. However, these are not the only values that could have been sampled. If the process is repeated, another set of values, with different values of $\bar{q}$ and σ, will be obtained.

4.5 For large values of *n*, these mean values approach the central limit of a distribution of all possible values. This probability distribution can often be assumed to have the normal form.

4.6 As it is impractical to capture all values that are available, it is necessary to make an estimate of the value of σ that would be obtained were this possible. Similarly, the mean value obtained is less likely to be the same as that which would be obtained if a very large number of measurements could be taken, therefore an estimate has to be made of the possible error from the "true" mean.

4.7 Equation (4) gives the standard deviation for the samples actually selected, rather than of the whole population of possible samples. However, from the results of a single sample of measurements, an estimate, $s(q_j)$, can be made of the standard deviation σ of the whole population of possible values of the measurand from the relation

$$s(q_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(q_j - \bar{q})^2} \quad (5)$$

4.8 The mean value $\bar{q}$ will have been derived from a finite number *n* of samples and therefore its value will not be the exact mean that would have been obtained if an infinite number of samples could have been taken. The mean value itself therefore has uncertainty. This uncertainty is referred to as the *experimental standard deviation of the mean*, it is obtained from the estimated standard deviation of the population by the expression:

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q_j)}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

รูปที่ 4.76 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ ค่าเฉลี่ยที่บอกว่า โดยเฉลี่ยจากข้อมูลแต่ละตัวที่เราได้นำมาหาค่าเฉลี่ย มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยอยู่เท่าไร สามารถเรียกได้อีกอย่างคือค่า SD (Standard Deviation)สมการที่ใช้ในการหาค่า SD คือ

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

เมื่อ Xi = ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของการวัด

n = จำนวนครั้งของการวัด

รูปที่ 4.77 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (2)

6.3 ความไม่แน่นอน Type A สามารถคำนวนได้ดังสมการ

$$u(l_x) = s(\bar{x}_i) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}$$

เมื่อ σ_{n-1} = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

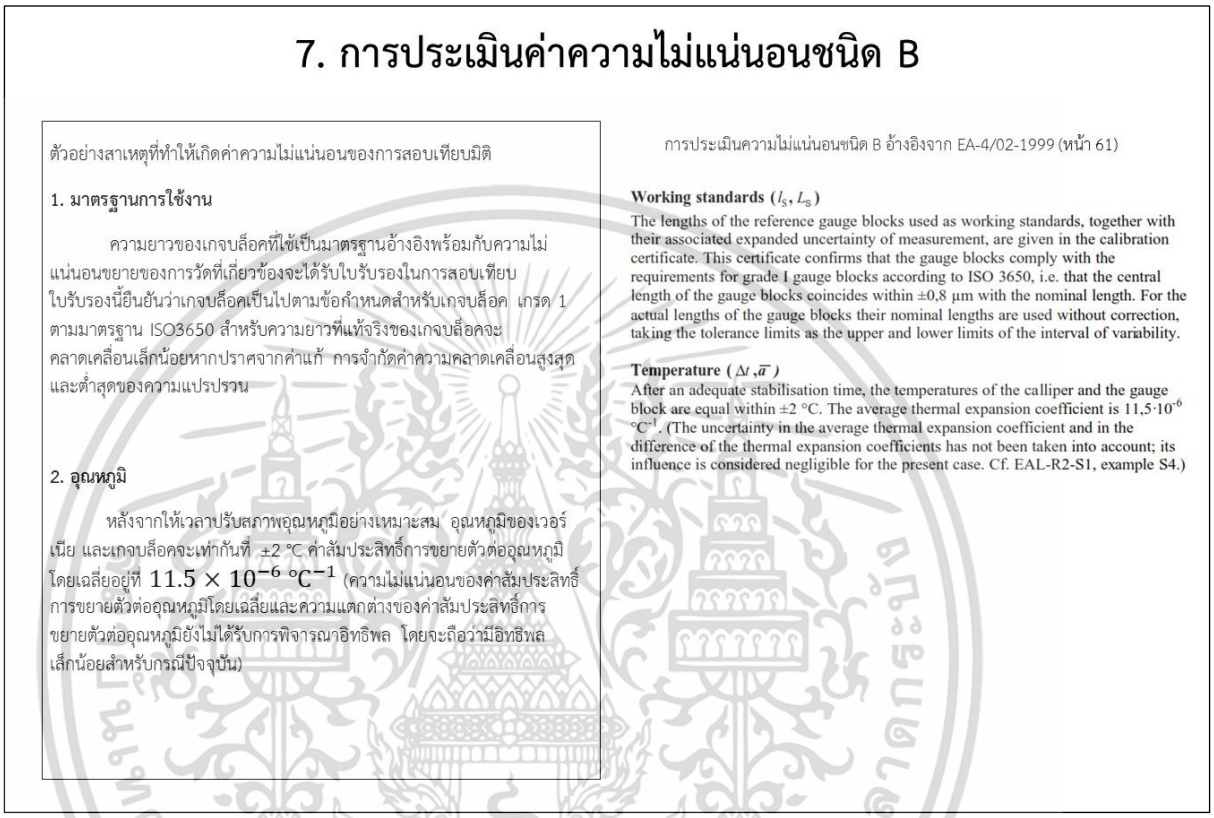
n = จำนวนครั้งของการวัด

รูปที่ 4.78 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

ความไม่แน่นอนที่ได้จากวิธีอื่นที่ไม่ใช่วิธีทางสถิติ เป็นการใช้ข้อมูลจากประสบการณ์จากใบรับรองการสอบเทียบ จากข้อกำหนดจำเพาะของโรงงานผู้ผลิต จากข้อมูลที่ถูกตีพิมพ์หรือจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ดังแสดงตามรูปที่ 4.79



7. การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

ตัวอย่างสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบมิติ

1. มาตรฐานการใช้งาน

ความยาวของเกจบล็อคที่ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงพร้อมกับความไม่แน่นอนขยายของการวัดที่เกี่ยวข้องจะได้รับใบรับรองในการสอบเทียบ ใบรับรองนี้ยืนยันว่าเกจบล็อคเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับเกจบล็อค เกรด 1 ตามมาตรฐาน ISO3650 สำหรับความยาวที่แท้จริงของเกจบล็อคจะคลาดเคลื่อนเล็กน้อยหากปราศจากค่าแก้ การจำกัดค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดและต่ำสุดของความแปรปรวน

2. อุณหภูมิ

หลังจากให้เวลาปรับสภาพอุณหภูมิอย่างเหมาะสม อุณหภูมิของเวอร์เนีย และเกจบล็อคจะเท่ากันที่ ±2 °C ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ออุณหภูมิโดยเฉลี่ยอยู่ที่ $11.5 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$ (ความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ออุณหภูมิโดยเฉลี่ยและความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ออุณหภูมิยังไม่ได้รับการพิจารณาอิทธิพล โดยจะถือว่ามีอิทธิพลเล็กน้อยสำหรับกรณีปัจจุบัน)

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก EA-4/02-1999 (หน้า 61)

Working standards (l_S, L_S)

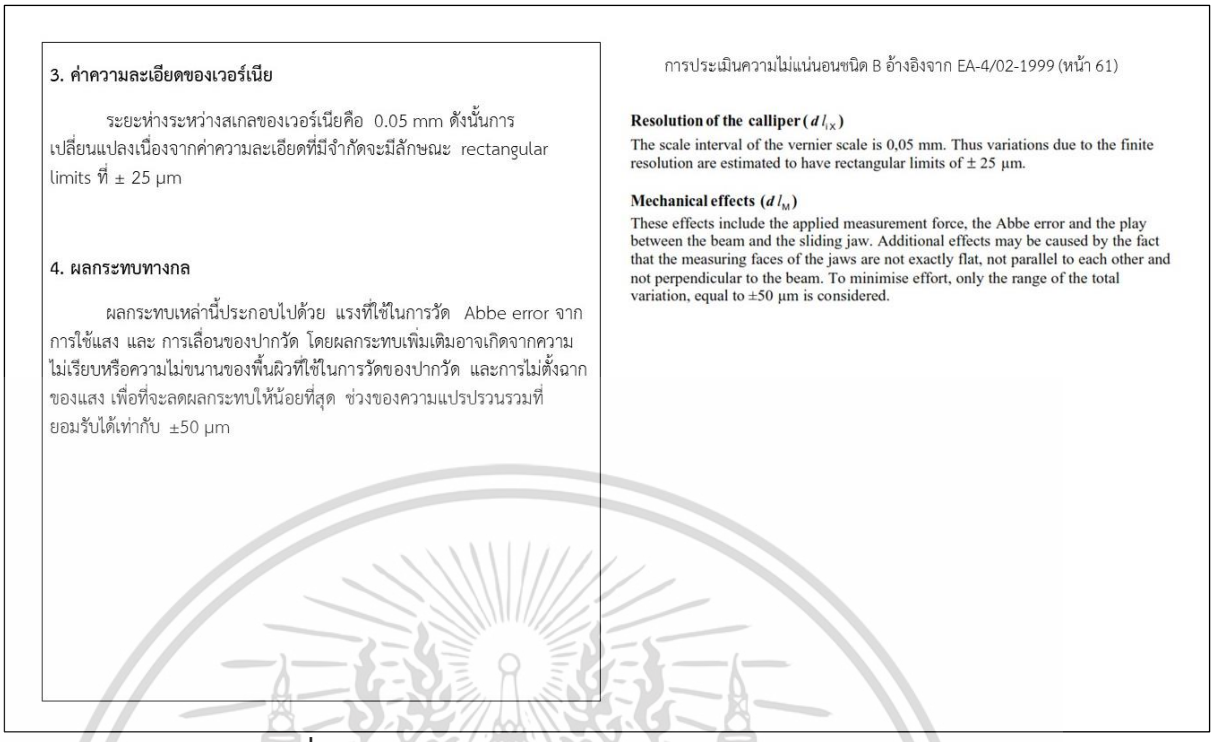
The lengths of the reference gauge blocks used as working standards, together with their associated expanded uncertainty of measurement, are given in the calibration certificate. This certificate confirms that the gauge blocks comply with the requirements for grade I gauge blocks according to ISO 3650, i.e. that the central length of the gauge blocks coincides within ±0,8 µm with the nominal length. For the actual lengths of the gauge blocks their nominal lengths are used without correction, taking the tolerance limits as the upper and lower limits of the interval of variability.

Temperature (Δt ,$\overline{\alpha}$)

After an adequate stabilisation time, the temperatures of the calliper and the gauge block are equal within ±2 °C. The average thermal expansion coefficient is $11{,}5 \cdot 10^{-6}$ $°C^{-1}$. (The uncertainty in the average thermal expansion coefficient and in the difference of the thermal expansion coefficients has not been taken into account; its influence is considered negligible for the present case. Cf. EAL-R2-S1, example S4.)

รูปที่ 4.79 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3. ค่าความละเอียดของเวอร์เนีย

ระยะห่างระหว่างสเกลของเวอร์เนียคือ 0.05 mm ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าความละเอียดที่มีจำกัดจะมีลักษณะ rectangular limits ที่ ± 25 µm

4. ผลกระทบทางกล

ผลกระทบเหล่านี้ประกอบไปด้วย แรงที่ใช้ในการวัด Abbe error จากการใช้แสง และ การเลื่อนของปากวัด โดยผลกระทบเพิ่มเติมอาจเกิดจากความไม่เรียบหรือความไม่ขนานของพื้นผิวที่ใช้ในการวัดของปากวัด และการไม่ตั้งฉากของแสง เพื่อที่จะลดผลกระทบให้น้อยที่สุด ช่วงของความแปรปรวนรวมที่ยอมรับได้เท่ากับ ±50 µm

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก EA-4/02-1999 (หน้า 61)

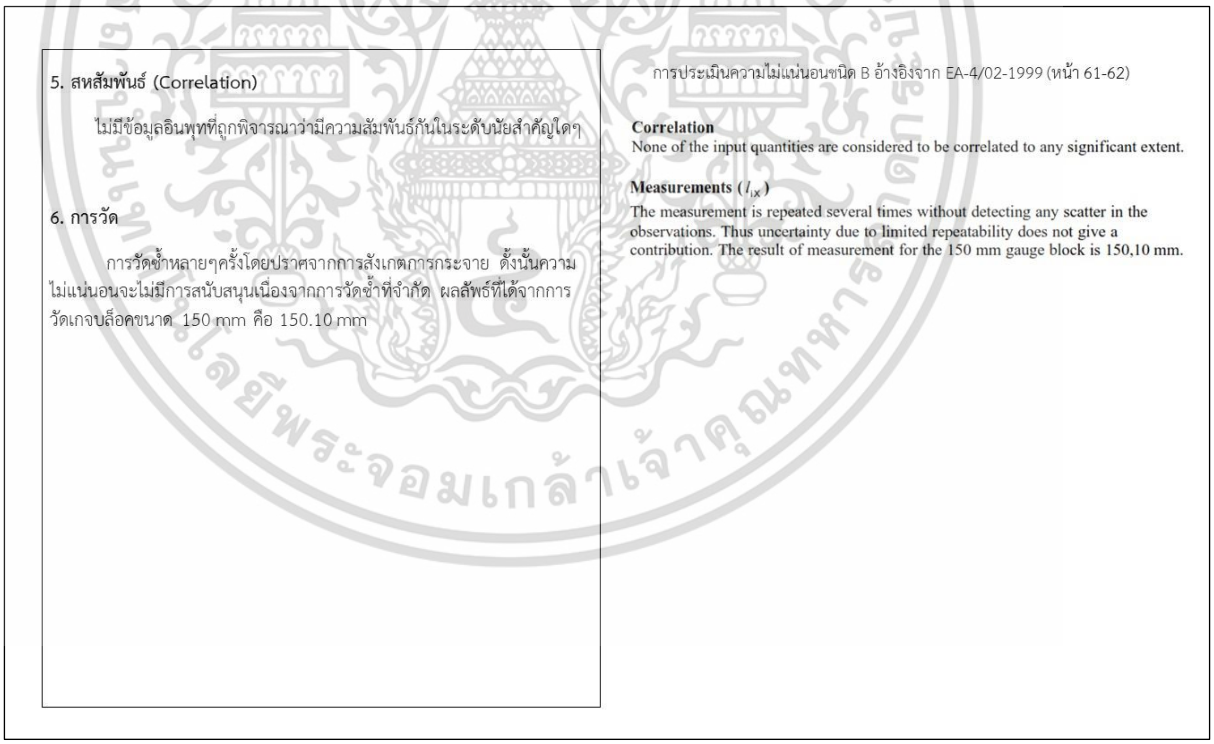
Resolution of the calliper ($d\,l_{IX}$)

The scale interval of the vernier scale is 0,05 mm. Thus variations due to the finite resolution are estimated to have rectangular limits of ± 25 µm.

Mechanical effects ($d\,l_{M}$)

These effects include the applied measurement force, the Abbe error and the play between the beam and the sliding jaw. Additional effects may be caused by the fact that the measuring faces of the jaws are not exactly flat, not parallel to each other and not perpendicular to the beam. To minimise effort, only the range of the total variation, equal to ±50 µm is considered.

รูปที่ 4.80 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (2)



5. สหสัมพันธ์ (Correlation)

ไม่มีข้อมูลอินพุทที่ถูกพิจารณาว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับนัยสำคัญใดๆ

6. การวัด

การวัดซ้ำหลายๆครั้งโดยปราศจากการสังเกตการกระจาย ดังนั้นความไม่แน่นอนจะไม่มีการสนับสนุนเนื่องจากการวัดซ้ำที่จำกัด ผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดเกจบล็อคขนาด 150 mm คือ 150.10 mm

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก EA-4/02-1999 (หน้า 61-62)

Correlation

None of the input quantities are considered to be correlated to any significant extent.

Measurements (l_{IX})

The measurement is repeated several times without detecting any scatter in the observations. Thus uncertainty due to limited repeatability does not give a contribution. The result of measurement for the 150 mm gauge block is 150,10 mm.

รูปที่ 4.81 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

การรวมองค์ประกอบของความไม่แน่นอนมาตรฐานเข้าด้วยกัน เป็นค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ โดยใช้กฎของการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) หรือวิธี Root mean square มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลรวมของปริมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานกำลังสอง ดังแสดงตามรูปที่ 4.82

8.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

ค่าความไม่แน่นอนรวม (Combined Uncertainty) เป็นการรวมองค์ประกอบของความไม่แน่นอนมาตรฐานเข้าด้วยกัน เป็นค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ โดยใช้กฎของการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) หรือวิธี Root mean square มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลรวมของปริมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานกำลังสอง

สามารถหาได้จากสมการ

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

สมการค่าความไม่แน่นอนรวม อ้างอิงจาก M3003-2012 (หน้า 16)

3.37 The combined standard uncertainty is calculated as follows:

3.38

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

รูปที่ 4.82 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย

ปริมาณที่กำหนดช่วงที่ผลของการวัดกระจายอยู่ภายใน ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถแสดงลักษณะของสิ่งที่ถูกวัดที่คาดว่าจะเป็นอย่างสมเหตุสมผล ซึ่งหาได้จากผลคูณของค่าความไม่แน่นอนรวมกับตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) ซึ่งตัวประกอบครอบคลุม คือ ตัวประกอบที่เป็นตัวเลข ใช้คูณกับความไม่แน่นอนรวม เพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนขยายเนื่องจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอนรวม

สามารถหาค่าตัวประกอบร่วม(k) ได้จากสมการ

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

สามารถหาค่าความไม่แน่นอนขยาย ได้จากสมการ

$$\mathbf{U_{(95\%)} = k \times u_C}$$

เมื่อ k = ค่าตัวประกอบ (Coverage factor) = 2.00 (95%)

สมการหาค่าตัวประกอบร่วม (k) อ้างอิงจาก M3003-2012 (หน้า 28)

B3 In order to obtain a value for k_p it is necessary to obtain an estimate of the effective degrees of freedom, v_{eff}, of the combined standard uncertainty $u_c(y)$. The GUM recommends that the Welch-Satterthwaite equation is used to calculate a value for v_{eff} based on the degrees of freedom, v_i, of the individual standard uncertainties $u_i(y)$; therefore

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (9)$$

ตารางค่า Coverage Factors (k) อ้างอิงจาก EA-4/02-1999 (หน้า 26)

(c) Obtain the coverage factor k from the table of values given as Table E.1 of this annex. This table is based on a t-distribution evaluated for a coverage probability of 95,45%. If n_{eff} is not an integer, which will usually be the case, truncate n_{eff} to the next lower integer.

Table E.1: Coverage factors k for different effective degrees of freedom n_{eff}.

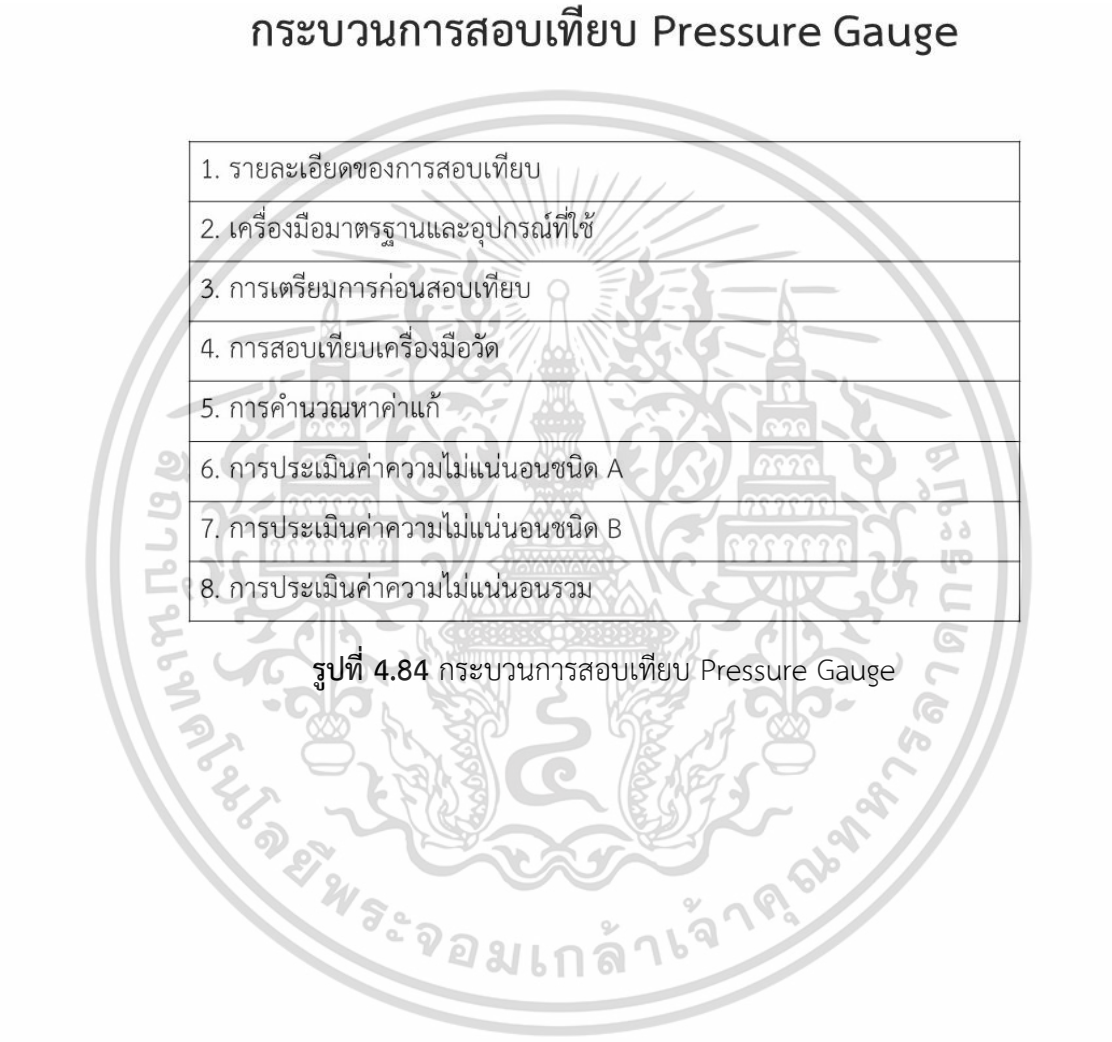
n_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

รูปที่ 4.83 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กระบวนการสอบเทียบ Pressure Gauge

จากการนำกระบวนการสอบเทียบที่สร้างขึ้นมา ไปใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน คือ เกจวัดความดัน (Pressure Gauge) และนำเอกสารมาตรฐานการสอบเทียบของเกจวัดความดัน และการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องมือวัดมาเชื่อมโยง เพื่อให้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือและให้ทราบถึงที่มาของกระบวนการการสอบเทียบแต่ละขั้นตอน ดังแสดงตามรูปที่ 4.84

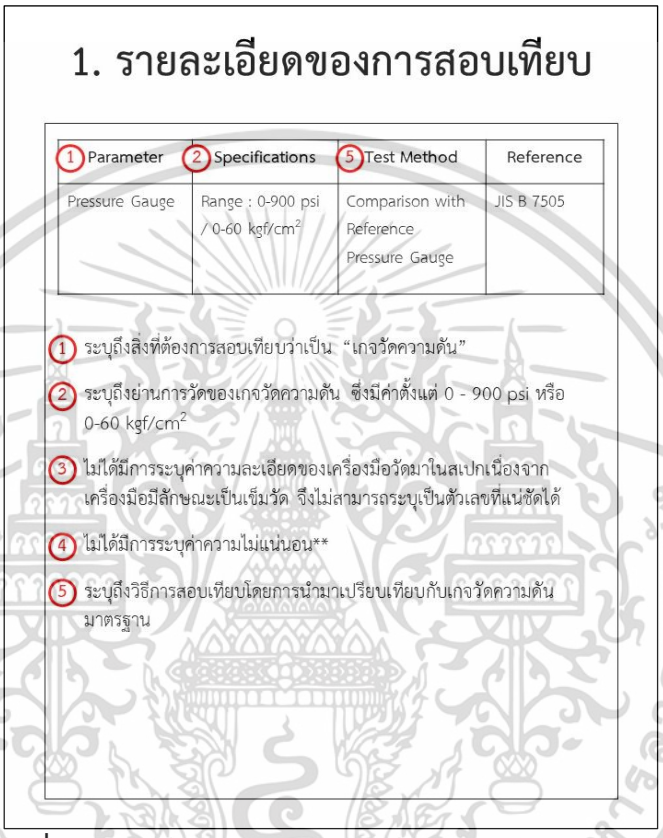


รูปที่ 4.84 กระบวนการสอบเทียบ Pressure Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ

ระบุเกี่ยวกับรายละเอียดหรือคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่จะนำมาสอบเทียบ (UUC) ซึ่งจะประกอบไปด้วย ลักษณะ (Description) พิสัยการวัด (Range) ความละเอียด (Resolution) ค่าความถูกต้อง (Accuracy) หรือค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) และวิธีการสอบเทียบ (Test Method) ดังแสดงตามรูปที่ 4.85

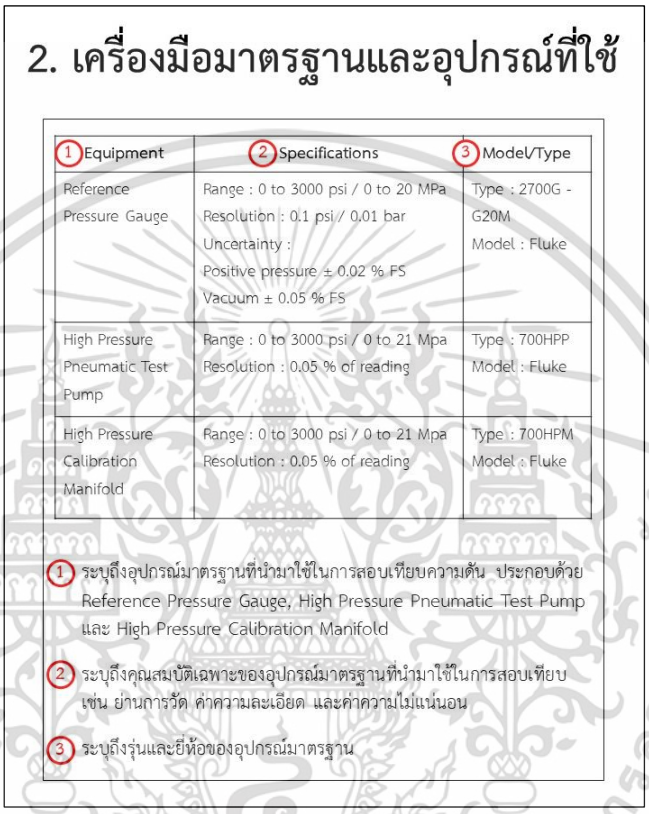


รูปที่ 4.85 รายละเอียดของการสอบเทียบ Pressure Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

เครื่องมือวัดอ้างอิงเพื่อให้เครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบได้ใช้เปรียบเทียบ โดยเครื่องมือวัดอ้างอิงนี้จะต้องมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ ประกอบไปด้วยลักษณะเฉพาะที่ทำการสอบเทียบ คุณสมบัติของอุปกรณ์มาตรฐาน และชนิดของอุปกรณ์มาตรฐาน ดังแสดงตามรูปที่ 4.86



2. เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้

(1) Equipment	(2) Specifications	(3) Model/Type
Reference Pressure Gauge	Range : 0 to 3000 psi / 0 to 20 MPa Resolution : 0.1 psi / 0.01 bar Uncertainty : Positive pressure ± 0.02 % FS Vacuum ± 0.05 % FS	Type : 2700G - G20M Model : Fluke
High Pressure Pneumatic Test Pump	Range : 0 to 3000 psi / 0 to 21 Mpa Resolution : 0.05 % of reading	Type : 700HPP Model : Fluke
High Pressure Calibration Manifold	Range : 0 to 3000 psi / 0 to 21 Mpa Resolution : 0.05 % of reading	Type : 700HPM Model : Fluke

(1) ระบุถึงอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบความดัน ประกอบด้วย Reference Pressure Gauge, High Pressure Pneumatic Test Pump และ High Pressure Calibration Manifold

(2) ระบุถึงคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์มาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ เช่น ย่านการวัด ค่าความละเอียด และค่าความไม่แน่นอน

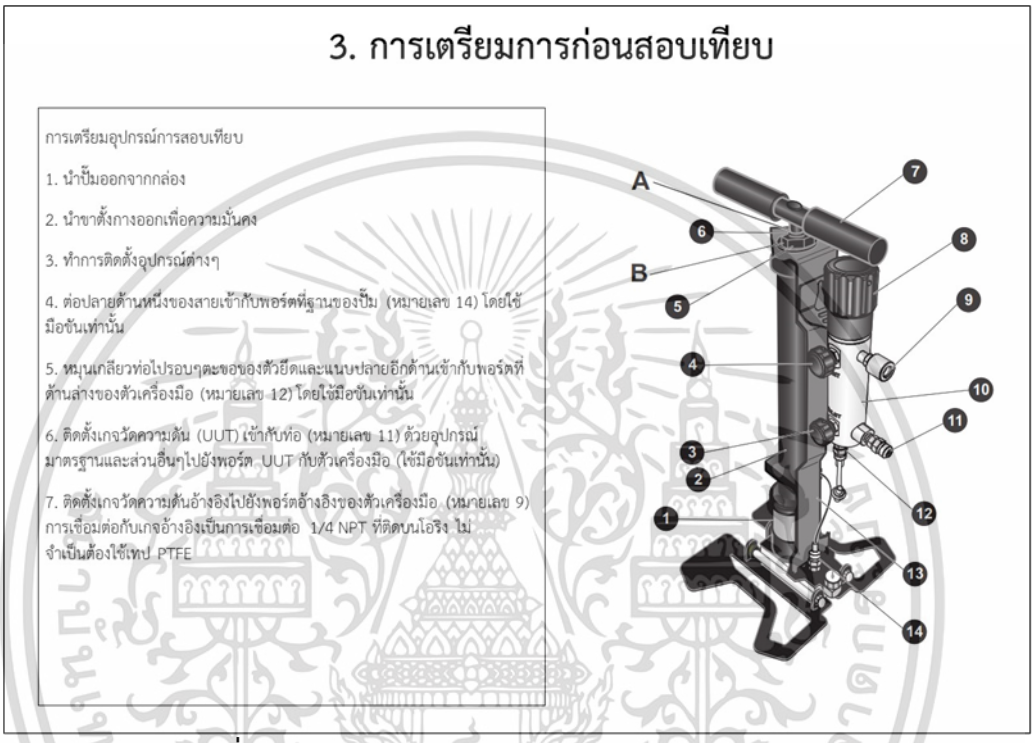
(3) ระบุถึงรุ่นและยี่ห้อของอุปกรณ์มาตรฐาน

รูปที่ 4.86 เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ Pressure Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ

การเตรียมเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือวัดที่ใช้ในการสอบเทียบประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ที่แตกต่างกันตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ เช่น การตรวจสอบอายุ การทำความสะอาดก่อนและหลังใช้งาน การเลือกประเภทหรือขนาดที่ใช้สอบเทียบ การตรวจสอบลักษณะทั่วไปและสภาพการใช้งานของเครื่องมือที่ใช้ในการสอบเทียบ ดังแสดงตามรูปที่ 4.87

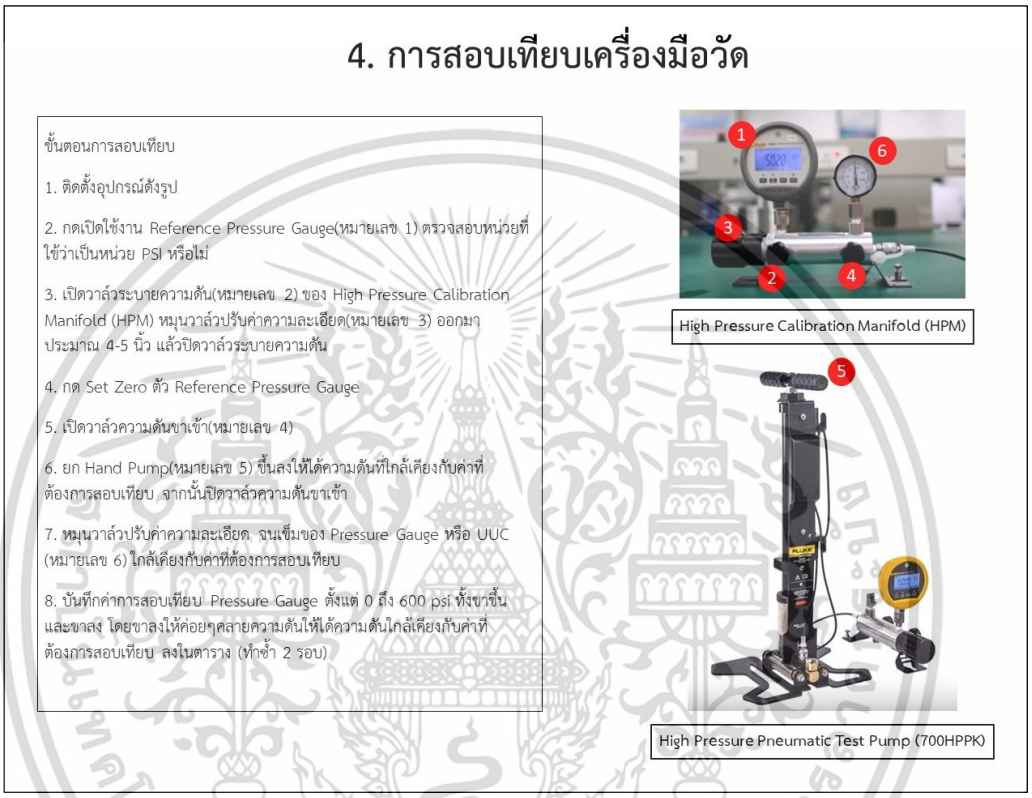


รูปที่ 4.87 การเตรียมการก่อนสอบเทียบ Pressure Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัด

อธิบายถึงขั้นตอนการสอบเทียบของเครื่องมือวัดในแต่ละชนิด เพื่อที่จะให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดที่นำมาใช้งานนั้นมีความถูกต้องตามมาตรฐาน ซึ่งอาจจะมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาใช้นำมาสอบเทียบเครื่องมือ โดยเครื่องมือวัดแต่ละชนิดก็จะมีขั้นตอนการสอบเทียบและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม ดังแสดงตามรูปที่ 4.88



รูปที่ 4.88 การสอบเทียบ Pressure Gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการสอบเทียบความดัน อ้างอิงจาก DKD-R 6-1 -2014 (หน้า 11)

DKD	Calibration of Pressure Gauges	DKD-R 6-1	
		Version:	03/2014
		Revision:	2
		Page:	11 of 51

7. Calibration method

- The pressure gauge is to be calibrated as a whole (measuring chain), if possible.
- The required mounting position is to be considered.
- The calibration is to be carried out at equally distributed measurement points across the calibration range.
- Depending on the desired measurement uncertainty, one or more measurement series are necessary (see Table 1 or Figure 2, respectively).
- If the calibration item's behaviour regarding the influence of the torque is not sufficiently known during mounting, the reproducibility must be determined by an additional clamping. In this case, the value of the torque is to be documented.
- The difference in altitude between the reference altitudes of the standard and the calibration item is to be minimized or the correction is to be calculated.

Upon request, further influence quantities (e.g. temperature influence from further measurement series at different temperatures) can be determined.

The comparison of the measured value between calibration item and reference or working standard is feasible in two ways:

- adjustment of the pressure according to the indication of the calibration item
- adjustment of the pressure according to the indication of the standard

The preloading time at the highest value and the time between two preloadings should at least be 30 seconds. After preloading and after steady conditions have been reached, the indication of the calibration item is set to zero - provided that this is supported by the calibration item. The zero reading is carried out immediately afterwards. As to the pressure step variation of a measurement series, the time between two successive load steps should be the same and not shorter than 30 seconds, and the reading should be performed no earlier than 30 seconds after the start of the pressure change. Especially Bourdon tube pressure gauges have to be slightly tapped to minimize any frictional effect of the pointer system. The measured value for the upper limit of the calibration range is to be registered before and after the waiting time. The zero reading at the end of a measurement series is carried out at the earliest 30 seconds after the complete relief.

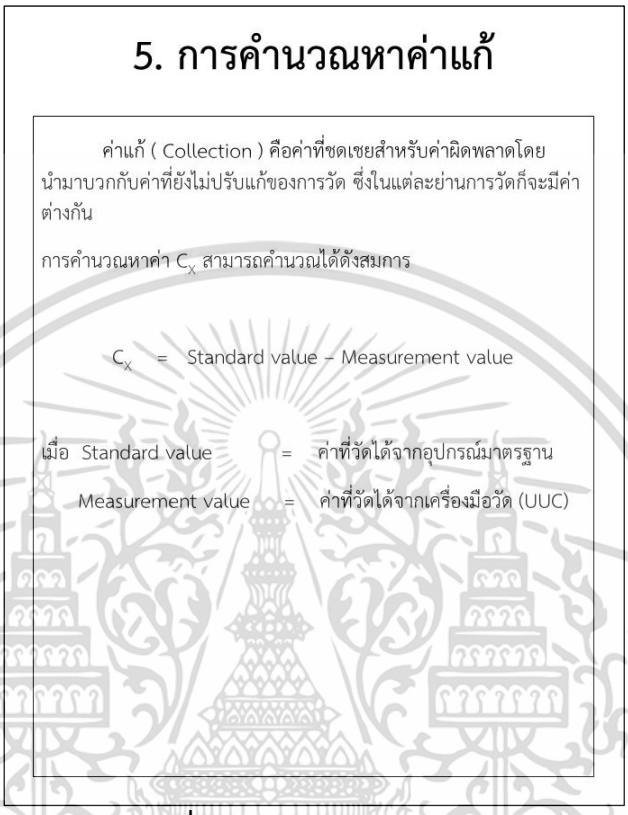
The calibration effort in dependence on the desired measurement uncertainty (cf. Note 2, Section 3) is illustrated in Figure 2 which shows the sequence of the calibration:

รูปที่ 4.89 มาตรฐานการสอบเทียบความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5 การคำนวณหาค่าแก้

ค่าที่ชดเชยสำหรับค่าผิดพลาดโดยนำมาบวกกับค่าที่ยังไม่ปรับแก้ของการวัด ซึ่งในแต่ละย่านการวัดก็จะมีค่าต่างกัน ดังแสดงตามรูปที่ 4.90

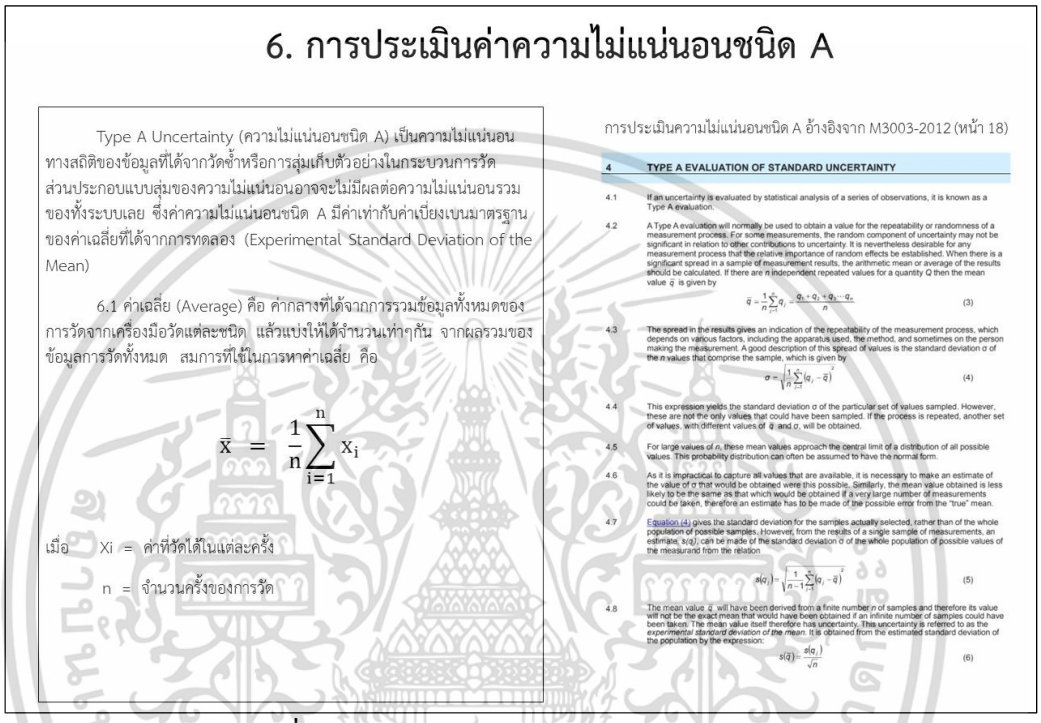


รูปที่ 4.90 การคำนวนหาค่าแก้

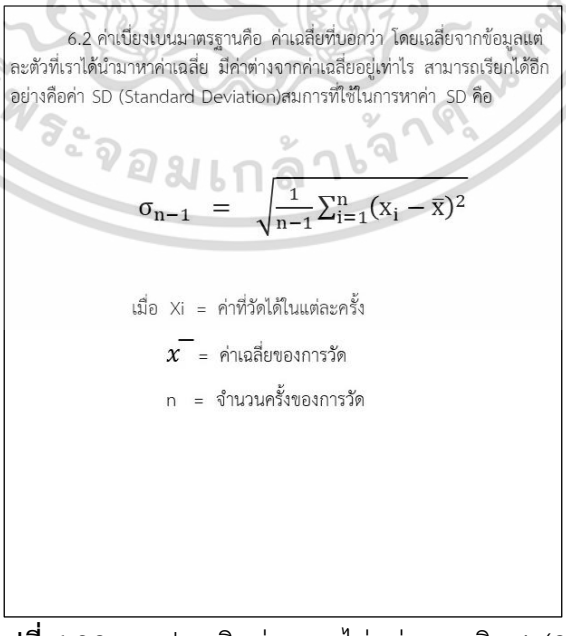
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A

ความไม่แน่นอนทางสถิติของข้อมูลที่ได้จากวัดซ้ำ หรือการสุ่มเก็บตัวอย่างในกระบวนการวัด ส่วนประกอบแบบสุ่มของความไม่แน่นอนอาจจะไม่มีผลต่อความไม่แน่นอนรวมของทั้งระบบเลย ซึ่งค่าความไม่แน่นอนชนิด A มีค่าเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงตามรูปที่ 4.91

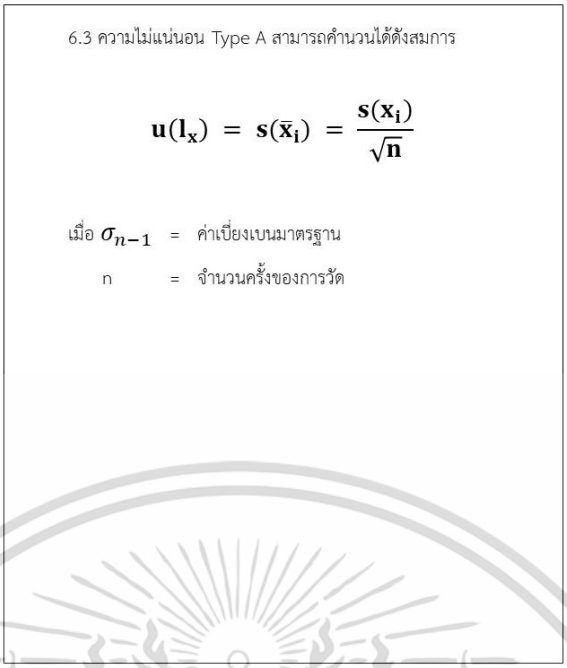


รูปที่ 4.91 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A



รูปที่ 4.92 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

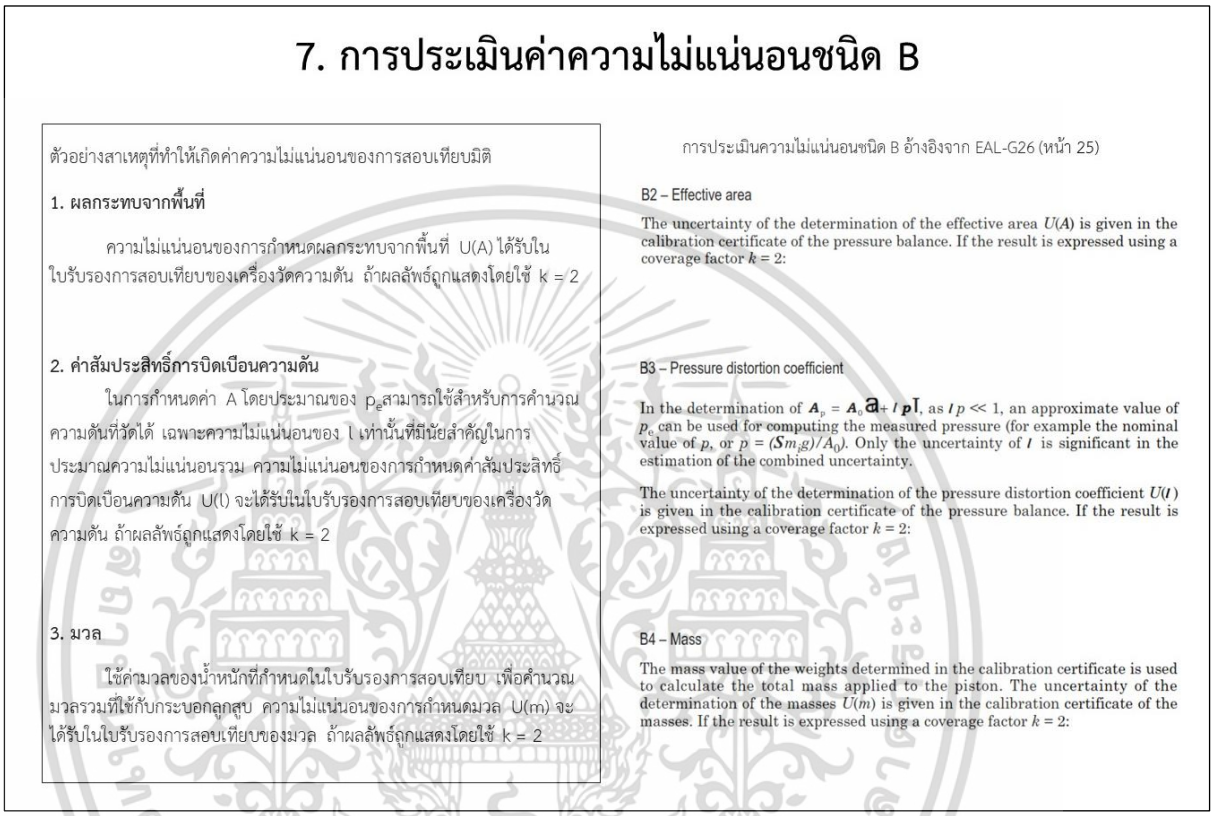


รูปที่ 4.93 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

ความไม่แน่นอนที่ได้จากวิธีอื่นที่ไม่ใช่วิธีทางสถิติ เป็นการใช้ข้อมูลจากประสบการณ์จากใบรับรองการสอบเทียบ จากข้อกำหนดจำเพาะของโรงงานผู้ผลิต จากข้อมูลที่ถูกตีพิมพ์หรือจากแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ดังแสดงตามรูปที่ 4.94



7. การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

ตัวอย่างสาเหตุที่ทำให้เกิดค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบมิติ

1. ผลกระทบจากพื้นที่

ความไม่แน่นอนของการกำหนดผลกระทบจากพื้นที่ U(A) ได้รับในใบรับรองการสอบเทียบของเครื่องวัดความดัน ถ้าผลลัพธ์ถูกแสดงโดยใช้ k = 2

2. ค่าสัมประสิทธิ์การบิดเบือนความดัน

ในการกำหนดค่า A โดยประมาณของ p_cสามารถใช้สำหรับการคำนวณความดันที่วัดได้ เฉพาะความไม่แน่นอนของ l เท่านั้นที่มีนัยสำคัญในการประมาณความไม่แน่นอนรวม ความไม่แน่นอนของการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การบิดเบือนความดัน U(l) จะได้รับในใบรับรองการสอบเทียบของเครื่องวัดความดัน ถ้าผลลัพธ์ถูกแสดงโดยใช้ k = 2

3. มวล

ใช้ค่ามวลของน้ำหนักที่กำหนดในใบรับรองการสอบเทียบ เพื่อคำนวณมวลรวมที่ใช้กับกระบอกลูกสูบ ความไม่แน่นอนของการกำหนดมวล U(m) จะได้รับในใบรับรองการสอบเทียบของมวล ถ้าผลลัพธ์ถูกแสดงโดยใช้ k = 2

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก EAL-G26 (หน้า 25)

B2 – Effective area

The uncertainty of the determination of the effective area $U(A)$ is given in the calibration certificate of the pressure balance. If the result is expressed using a coverage factor $k = 2$:

B3 – Pressure distortion coefficient

In the determination of $A_p = A_0(1 + lp)$, as $lp \ll 1$, an approximate value of p_c can be used for computing the measured pressure (for example the nominal value of p, or $p = (\Sigma m_i g)/A_0$). Only the uncertainty of l is significant in the estimation of the combined uncertainty.

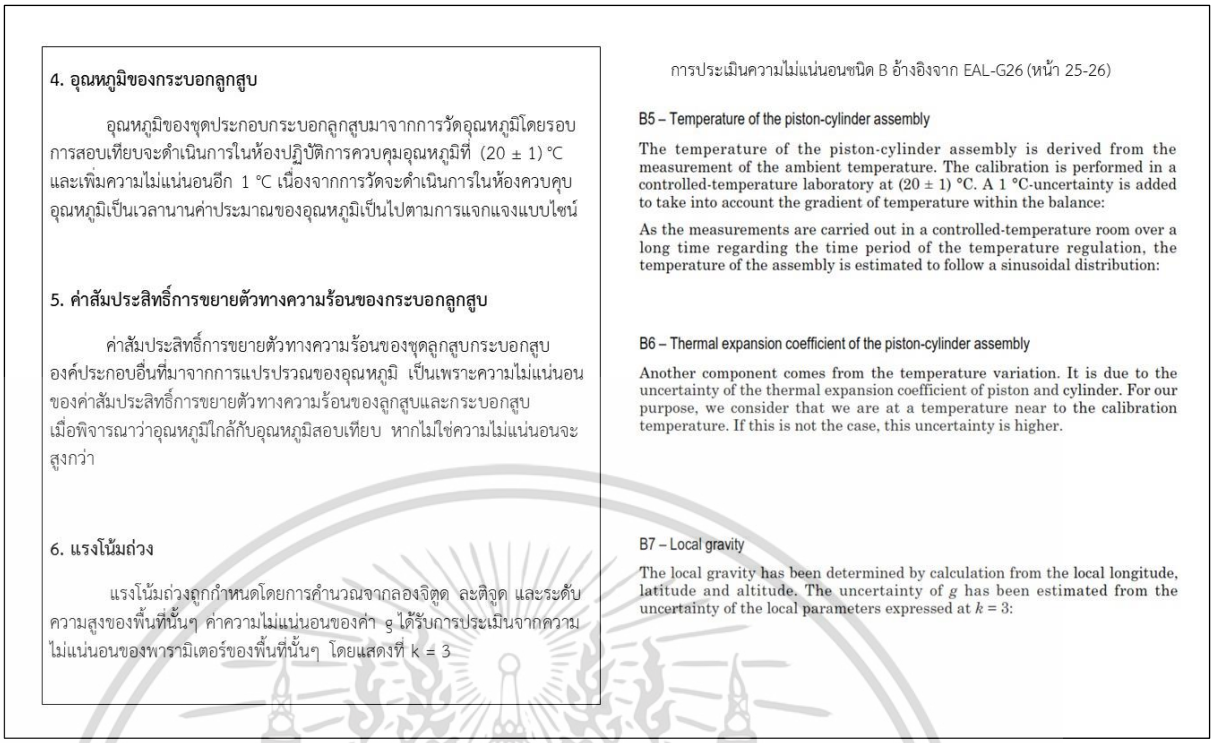
The uncertainty of the determination of the pressure distortion coefficient $U(l)$ is given in the calibration certificate of the pressure balance. If the result is expressed using a coverage factor $k = 2$:

B4 – Mass

The mass value of the weights determined in the calibration certificate is used to calculate the total mass applied to the piston. The uncertainty of the determination of the masses $U(m)$ is given in the calibration certificate of the masses. If the result is expressed using a coverage factor $k = 2$:

รูปที่ 4.94 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. อุณหภูมิของกระบอกลูกสูบ

อุณหภูมิของชุดประกอบกระบอกลูกสูบมาจากการวัดอุณหภูมิโดยรอบการสอบเทียบจะดำเนินการในห้องปฏิบัติการควบคุมอุณหภูมิที่ (20 ± 1) ℃ และเพิ่มความไม่แน่นอนอีก 1 ℃ เนื่องจากการวัดจะดำเนินการในห้องควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลานานค่าประมาณของอุณหภูมิเป็นไปตามการแจกแจงแบบไซน์

5. ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของกระบอกลูกสูบ

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของชุดลูกสูบกระบอกสูบองค์ประกอบอื่นที่มาจากการแปรปรวนของอุณหภูมิ เป็นเพราะความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของลูกสูบและกระบอกสูบ เมื่อพิจารณาว่าอุณหภูมิใกล้กับอุณหภูมิสอบเทียบ หากไม่ใช่ความไม่แน่นอนจะสูงกว่า

6. แรงโน้มถ่วง

แรงโน้มถ่วงถูกกำหนดโดยการคำนวณจากลองจิตูด ละติจูด และระดับความสูงของพื้นที่นั้นๆ ค่าความไม่แน่นอนของค่า g ได้รับการประเมินจากความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ของพื้นที่นั้นๆ โดยแสดงที่ k = 3

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก EAL-G26 (หน้า 25-26)

B5 – Temperature of the piston-cylinder assembly

The temperature of the piston-cylinder assembly is derived from the measurement of the ambient temperature. The calibration is performed in a controlled-temperature laboratory at (20 ± 1) °C. A 1 °C-uncertainty is added to take into account the gradient of temperature within the balance:

As the measurements are carried out in a controlled-temperature room over a long time regarding the time period of the temperature regulation, the temperature of the assembly is estimated to follow a sinusoidal distribution:

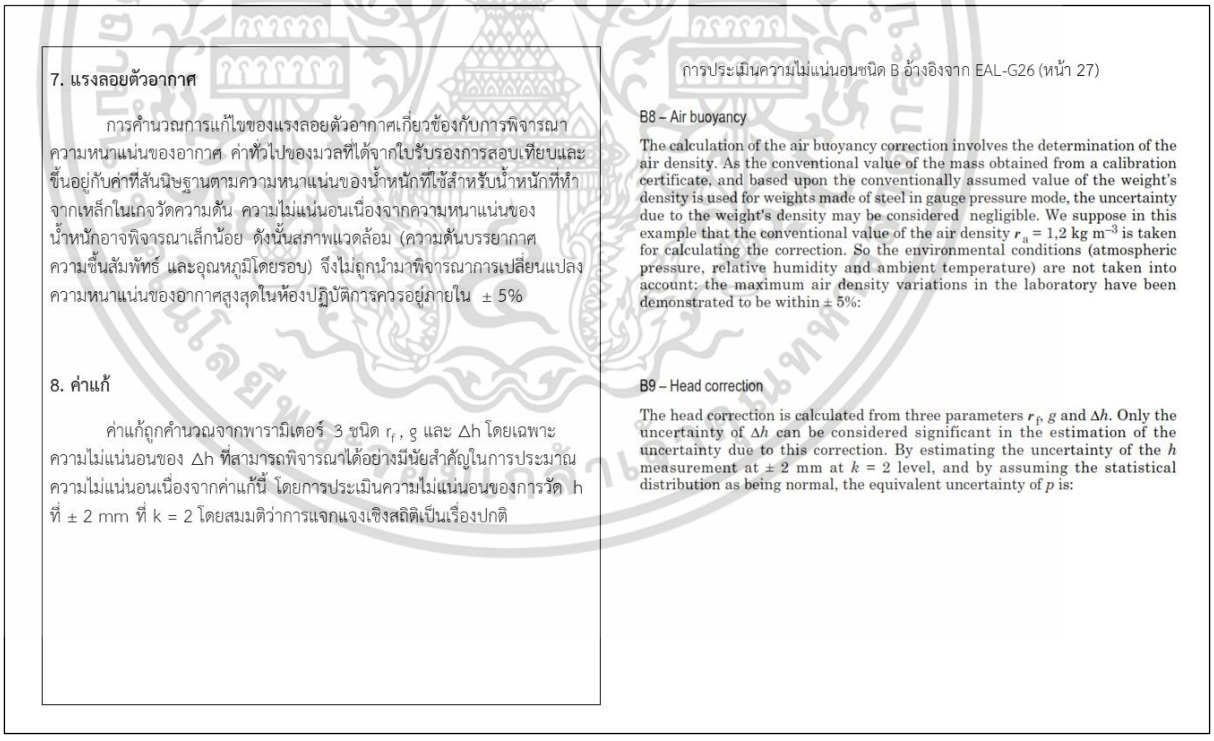
B6 – Thermal expansion coefficient of the piston-cylinder assembly

Another component comes from the temperature variation. It is due to the uncertainty of the thermal expansion coefficient of piston and cylinder. For our purpose, we consider that we are at a temperature near to the calibration temperature. If this is not the case, this uncertainty is higher.

B7 – Local gravity

The local gravity has been determined by calculation from the local longitude, latitude and altitude. The uncertainty of g has been estimated from the uncertainty of the local parameters expressed at $k = 3$:

รูปที่ 4.95 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (2)



7. แรงลอยตัวอากาศ

การคำนวณการแก้ไขของแรงลอยตัวอากาศเกี่ยวข้องกับการพิจารณาความหนาแน่นของอากาศ ค่าทั่วไปของมวลที่ได้จากใบรับรองการสอบเทียบและขึ้นอยู่กับค่าที่สันนิษฐานตามความหนาแน่นของน้ำหนักที่ใช้สำหรับน้ำหนักที่ทำจากเหล็กในเกจวัดความดัน ความไม่แน่นอนเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำหนักอาจพิจารณาเล็กน้อย ดังนั้นสภาพแวดล้อม (ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิโดยรอบ) จึงไม่ถูกนำมาพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศสูงสุดในห้องปฏิบัติการควรอยู่ภายใน ± 5%

8. ค่าแก้

ค่าแก้ถูกคำนวณจากพารามิเตอร์ 3 ชนิด r_f , g และ Δh โดยเฉพาะความไม่แน่นอนของ Δh ที่สามารถพิจารณาได้อย่างมีนัยสำคัญในการประมาณความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าแก้นี้ โดยการประเมินความไม่แนนอนของการวัด h ที่ ± 2 mm ที่ k = 2 โดยสมมติว่าการแจกแจงเชิงสถิติเป็นเรื่องปกติ

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก EAL-G26 (หน้า 27)

B8 – Air buoyancy

The calculation of the air buoyancy correction involves the determination of the air density. As the conventional value of the mass obtained from a calibration certificate, and based upon the conventionally assumed value of the weight's density is used for weights made of steel in gauge pressure mode, the uncertainty due to the weight's density may be considered negligible. We suppose in this example that the conventional value of the air density $r_a = 1{,}2$ kg m^{-3} is taken for calculating the correction. So the environmental conditions (atmospheric pressure, relative humidity and ambient temperature) are not taken into account; the maximum air density variations in the laboratory have been demonstrated to be within ± 5%:

B9 – Head correction

The head correction is calculated from three parameters r_f, g and Δh. Only the uncertainty of Δh can be considered significant in the estimation of the uncertainty due to this correction. By estimating the uncertainty of the h measurement at ± 2 mm at $k = 2$ level, and by assuming the statistical distribution as being normal, the equivalent uncertainty of p is:

รูปที่ 4.96 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เกณฑ์การแยกแยะ(ความไวต่อการลอยตัว)

การแยกแยะคือความดันที่สอดคล้องกับมวลที่ใหญ่ที่สุดที่ไม่สามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงความดันที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจถูกนำมาพิจารณาเมื่อไม่มีการประมาณความน่าเชื่อถือของการวัดซ้ำของความดัน

10. ความเสถียรในระยะยาว

ค่าของส่วนประกอบนี้ได้มาจากประวัติของเครื่องมือวัด โดยนำไปใช้กับค่าของมวลและพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพของกระบอกลูกสูบ การวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับการสอบเทียบอย่างต่อเนื่อง ค่าที่ต่ำกว่าของส่วนประกอบนี้อาจได้รับจากการสอบเทียบหลายๆครั้ง ประวัติการสอบเทียบอาจอนุญาตให้มีการกำหนดกฎการเปลี่ยนแปลงด้วยเวลา ทำให้เป็นไปได้ที่จะคาดการณ์ค่าที่แท้จริง

การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B อ้างอิงจาก EAL-G26 (หน้า 28)

B11 – Discrimination threshold (cross-floating sensitivity)

The discrimination is the pressure corresponding to the largest mass that produces no detectable change in the generated pressure. It may be taken into account when there is no reliable estimation of the repeatability of the pressure balance.

B12 – Long term stability

The value of this component is obtained from the history of the instrument. It applies to the values of both the masses and the effective area of the piston-cylinder assembly. The analysis is based on successive calibrations.

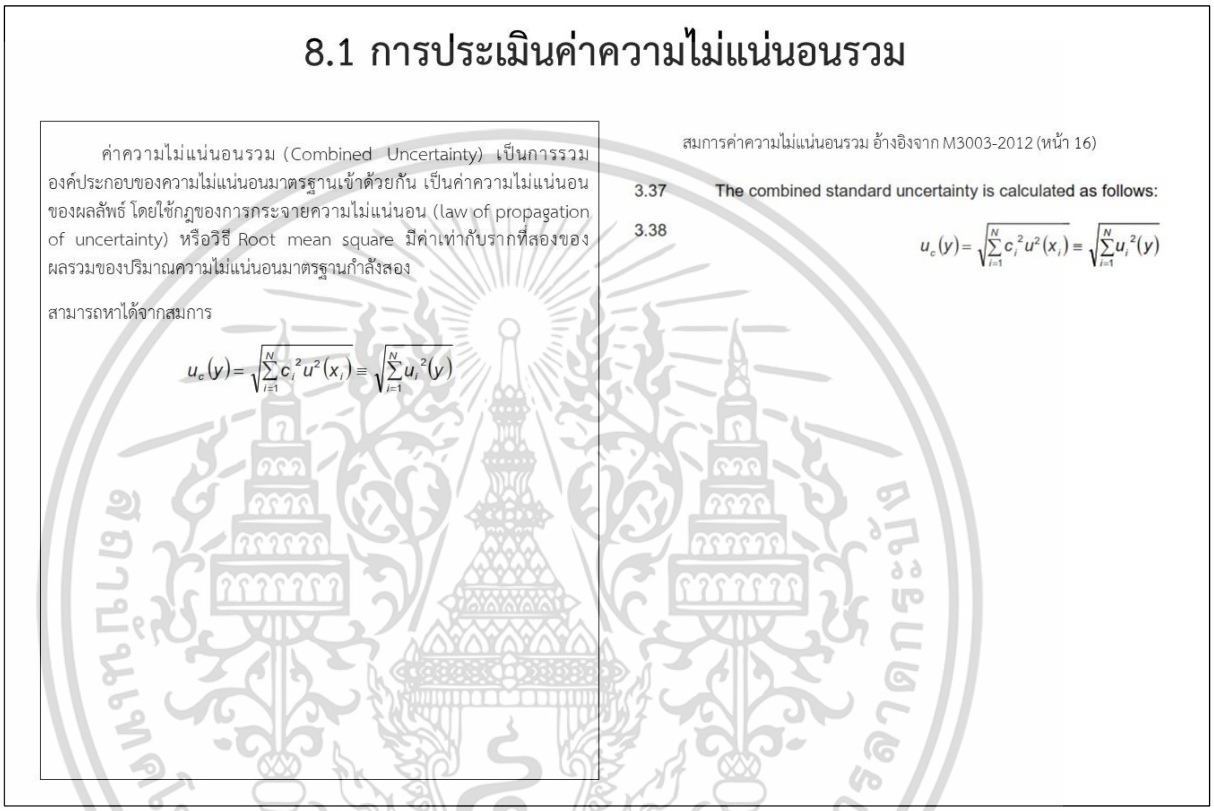
A lower value of this component may be obtained from more frequent calibrations. A long history may allow determination of a law of variation with time, making it possible to anticipate the actual value by extrapolation.

รูปที่ 4.97 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B (4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

การรวมองค์ประกอบของความไม่แน่นอนมาตรฐานเข้าด้วยกัน เป็นค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ โดยใช้กฎของการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) หรือวิธี Root mean square มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลรวมของปริมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานกำลังสอง ดังแสดงตามรูปที่ 4.98



8.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

ค่าความไม่แน่นอนรวม (Combined Uncertainty) เป็นการรวมองค์ประกอบของความไม่แน่นอนมาตรฐานเข้าด้วยกัน เป็นค่าความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ โดยใช้กฎของการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) หรือวิธี Root mean square มีค่าเท่ากับรากที่สองของผลรวมของปริมาณความไม่แน่นอนมาตรฐานกำลังสอง

สามารถหาได้จากสมการ

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

สมการค่าความไม่แน่นอนรวม อ้างอิงจาก M3003-2012 (หน้า 16)

3.37 The combined standard uncertainty is calculated as follows:

3.38

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

รูปที่ 4.98 การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย

ปริมาณที่กำหนดช่วงที่ผลของการวัดกระจายอยู่ภายใน ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถแสดงลักษณะของสิ่งที่ถูกวัดที่คาดว่าจะเป็นอย่างสมเหตุสมผล ซึ่งหาได้จากผลคูณของค่าความไม่แน่นอนรวมกับตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) ซึ่งตัวประกอบครอบคลุม คือ ตัวประกอบที่เป็นตัวเลข ใช้คูณกับความไม่แน่นอนรวม เพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนขยายเนื่องจากการแจกแจงความน่าจะเป็นของความไม่แน่นอนรวม

สามารถหาค่าตัวประกอบร่วม(k) ได้จากสมการ

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

สามารถหาค่าความไม่แน่นอนขยาย ได้จากสมการ

$$\mathbf{U_{(95\%)} = k \times u_C}$$

เมื่อ k = ค่าตัวประกอบ (Coverage factor) = 2.00 (95%)

สมการหาค่าตัวประกอบร่วม (k) อ้างอิงจาก M3003-2012 (หน้า 28)

B3 In order to obtain a value for k_p it is necessary to obtain an estimate of the effective degrees of freedom, v_{eff}, of the combined standard uncertainty $u_c(y)$. The GUM recommends that the Welch-Satterthwaite equation is used to calculate a value for v_{eff} based on the degrees of freedom, v_i, of the individual standard uncertainties $u(y)$; therefore

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_i^4(y)}{v_i}} \quad (9)$$

ตารางค่า Coverage Factors (k) อ้างอิงจาก EA-4/02-1999 (หน้า 26)

(c) Obtain the coverage factor k from the table of values given as Table E.1 of this annex. This table is based on a t-distribution evaluated for a coverage probability of 95,45%. If n_{eff} is not an integer, which will usually be the case, truncate n_{eff} to the next lower integer.

Table E.1: Coverage factors k for different effective degrees of freedom n_{eff}.

n_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

รูปที่ 4.99 การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างกระบวนการการสอบเทียบ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ ได้ โดยนำเอกสารมาตรฐานที่เกี่ยวข้องการสอบเทียบเครื่องมือวัดมาใช้ในการอ้างอิงและเชื่อมโยงเข้ากับกระบวนการการสอบเทียบ เพื่อให้ผู้ที่มีความสนใจหรือต้องการที่จะศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการการสอบเทียบเครื่องมือวัดสามารถเข้าใจ และทราบถึงที่มาและความสำคัญของการสอบเทียบเครื่องมือวัดแต่ละขั้นตอน อีกทั้งสามารถนำความรู้ไปใช้ต่อในภายหลังได้ จากการดำเนินงาน ทำให้สามารถสร้างกระบวนการสอบเทียบดังนี้

5.1.1 กระบวนการสอบเทียบกลาง

กระบวนการสอบเทียบกลาง เป็นต้นแบบของกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดซึ่งสามารถนำไปใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิดอื่น ๆ ได้ โดยมีการแบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอน คือ 1) รายละเอียดของการสอบเทียบ 2) เครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ที่ใช้ 3) การเตรียมการก่อนสอบเทียบ 4) การสอบเทียบเครื่องมือวัด 5) การคำนวณหาค่าแก้ 6) การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A 7) การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด B 8) การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวม และมีการอธิบายในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงกระบวนการการสอบเทียบ

5.1.2 กระบวนการสอบเทียบมิติ (ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก)

กระบวนการสอบเทียบมิติ (ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก) เป็นการนำกระบวนการสอบเทียบกลาง มาใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ(ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดนอก) โดยดำเนินการตามกระบวนการทั้ง 8 ขั้นตอนจากข้อที่ 1 อีกทั้งยังนำเอกสารมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ และการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาอ้างอิง เพื่อให้ทราบถึงที่มาของกระบวนการการสอบเทียบ และเพื่อให้มีความน่าเชื่อถือ

5.1.3 กระบวนการสอบเทียบมิติ (เวอเนียร์ดิจิตอล)

กระบวนการสอบเทียบมิติ (เวอเนียร์ดิจิตอล) เป็นการนำกระบวนการสอบเทียบกลาง มาใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ(เวอเนียร์ดิจิตอล) โดยดำเนินการตามกระบวนการทั้ง 8 ขั้นตอนจากข้อที่ 1 อีกทั้งยังนำเอกสารมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ และการประเมิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความไม่แน่นอนมาอ้างอิง เพื่อให้ทราบถึงที่มาของกระบวนการการสอบเทียบ และเพื่อให้มีความน่าเชื่อถือ

5.1.4 กระบวนการสอบเทียบความดัน (เกจวัดความดัน)

กระบวนการสอบเทียบความดัน (เกจวัดความดัน) เป็นการนำกระบวนการสอบเทียบกลาง มาใช้กับการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน(เกจวัดความดัน) โดยดำเนินการตามกระบวนการทั้ง 8 ขั้นตอนจากข้อที่ 1 อีกทั้งยังนำเอกสารมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน และการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาอ้างอิง เพื่อให้ทราบถึงที่มาของกระบวนการการสอบเทียบและเพื่อให้มีความน่าเชื่อถือ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทำโครงงานนี้ประสบปัญหาในด้านการจัดหาเอกสารมาตรฐาน ซึ่งใช้ในการอ้างอิงกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดในบางหัวข้อ จึงควรมีงบประมาณที่เพิ่มขึ้น เพื่อที่จะสามารถจัดหาเอกสารมาตรฐานการสอบเทียบเครื่องมือวัดได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้โครงงานนี้มีเนื้อหารายละเอียดที่มีความสมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] รศ. ดร.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์, มาตรวิทยา, กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2019

[2] สมาคมมาตรวิทยาแห่งประเทศไทย (Metrology Society of Thailand), “ความรู้มาตรวิทยาเบื้องต้น” [Online]. Available: http://www.mst.or.th/. [Accessed: Sep. 9, 2019].

[3] Sumipol Corporation Limited, “Knowledge Category” [Online]. Available: https://www.sumipol.com/. [Accessed: Sep. 15, 2019].

[4] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology Thailand), [Online]. Available: http://www.nimt.or.th/main/. [Accessed: Sep. 15, 2019].

[5] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology Thailand), “NIMT-CNL-SP No.101 Standard Procedure for Calibration of digital Multimeter Type/Model : DMM 6 ½ digits”, 2004.

[6] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology Thailand), “NIMT-CNL-SP No.301 Standard Procedure for Calibration of Weight class F1, 1 mg to 20 kg”, 2004.

[7] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology Thailand), “NIMT-CNL-SP No.401 Standard Procedure for Calibration of Industrial Platinum Resistance Thermometers”, 2004.

[8] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology Thailand), “NIMT-CNL-SP No.501 Standard Procedure for Calibration of External Micrometer Range : 0-25 mm”, 2004.

[9] สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Institute of Metrology Thailand), “NIMT-CNL-SP No.601 Standard Procedure for Calibration of Pressure Measuring Instruments Type/Model : Hydraulic Type”, 2004.

[10] United Kingdom Accreditation Service, “M3003 The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement”, 2012

[11] European co-operation for Accreditation, “EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration”, 1999.

[12] Japanese Industrial Standard, “JIS B 7506 Gauge blocks”, 1997.

[13] Japanese Industrial Standard, “JIS B 7502 Micrometer callipers”, 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] Standard Association of Australia, “AS 2102 EXTERNAL MICROMRTERS”, 1978.

[15] International Standard, “ISO 3611 Micrometer callipers for external measurement”, 1978.

[16] International Standard, “ISO 3611 Geometrical product specifications (GPS)-Dimensional measuring equipment : Micrometer for external measurements-Design and metrological characteristics”, 2010.

[17] Japanese Industrial Standard, “JIS B 7507 Vernier, dial and digital callipers”, 1993.

[18] Standard Association of Australia, “AS 1984 VERNIER CALLIPERS”, 1977.

[19] International Standard, “ISO 3559 Vernier callipers reading to 0.1 and 0.05 mm”, 1976.

[20] Accreditation Body of Deutscher Kalibrierdienst, “DKD-R 6-1 Calibration of Pressure Gauges”, 2014.

[21] European cooperation for Accreditation of Laboratories, “EAL-G26 Calibration of Pressure Balances”, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้