การออกแบบการทดลองทางมาตรวิทยาสำหรับการพัฒนากระบวนการเรียนรู้

THE DESIGN OF METROLOGY EXPERIMENTS FOR DEVELOPING LEARNING PROCESS

ทันเทวี กีรติเลิศบุญ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE DESIGN OF METROLOGY EXPERIMENTS FOR DEVELOPING LEARNING PROCESS

TANTAVEE KEERATILERTBOON

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบการทดลองทางมาตรวิทยาสำหรับการพัฒนากระบวนการเรียนรู้
The Design of Metrology experiments for developing learning process

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวทันเทวี กีรติเลิศบุญ **รหัสนักศึกษา** 56010481

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2562

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบการทดลองทางมาตรวิทยาสำหรับการพัฒนากระบวนการเรียนรู้
The Design of Metrology experiments for developing learning process

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวทันเทวี กีรติเลิศบุญ รหัสนักศึกษา 56010481
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อเป็นแนวทาง และเครื่องมือให้กับอาจารย์ผู้สอนสำหรับนำไปใช้ในการพัฒนากระบวนการเรียนรู้รายวิชามาตรวิทยา เพื่อเป็นการพัฒนาทักษะในด้านการสอบเทียบของนักศึกษาที่จะจบการศึกษาจากหลักสูตร มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้เรื่องการสอบเทียบทั้งในภาคทฤษฎีและปฏิบัติควบคู่กันไป ในการออกแบบกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือวัดจะใช้เครื่องมือวัดมิติ ได้แก่ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 0-150 มิลลิเมตร / 6 นิ้ว และไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 0-25 มิลลิเมตร / 0-1 นิ้ว เป็นตัวอย่างในการศึกษาการเขียนกระบวนการสอบเทียบ ซึ่งกระบวนการเรียนรู้ดังกล่าวจะทำให้นักศึกษาเข้าใจถึงโครงสร้างของกระบวนการสอบเทียบ และสามารถเชื่อมโยงเข้ากับมาตรฐานระดับสากลที่นำมาใช้ ตลอดจนนำความรู้ไปต่อยอดหรือประยุกต์ใช้ได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Design of Metrology experiments for developing learning process	
Authors	Miss Tantavee	Keeratilertboon
Thesis Advisor	Asst.Prof. Sutham	Satthamsakul
Year	2019	

ABSTRACT

This thesis develops a set of metrological experiments with an aim of educating instrumentation engineering students in the theory and practice of metrology. The design of these experiments begins with instrument calibration whereby two main instruments are considered : Vernier Calipers and Micrometers. Specifically, the 0-150 millimeters / 6 inches Vernier Caliper and a 0-25 millimeters / 0-1 inches Digital Outside Micrometer were considered. Once the instrumental calibration unit is complete, the experimental design focus then shifts to creating examples where students will learn the linkage between the instrumental calibration methods and international calibration standards.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องมาจากการได้รับความอนุเคราะห์ การชี้แนะให้คำปรึกษา ตลอดจนได้รับการเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำ แก้ไข รวมทั้งให้การสนับสนุนด้านเอกสารในการศึกษา และเครื่องมือที่จำเป็นที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ ผู้จัดทำรู้สึกเป็นเกียรติ และซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจด้วยความเป็นห่วงอยู่เสมอ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากโครงงานนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VII
สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 มาตรฐาน 3
2.1.1 มาตรฐาน JIS B 7507-1993 Vernier, dial and digital callipers 4
2.1.2 มาตรฐาน JIS B 7502-1994 Micrometer Callipers 6
2.2 การสอบเทียบ (Calibration) 8
2.3 ความสามารถสอบกลับได้ (Traceability) 8
2.3.1 ปัจจัยหลักของความสามารถสอบกลับได้ 9
2.3.2 ลำดับขั้นของการสอบเทียบ 9
2.3.2.1 การสอบเทียบระดับระหว่างประเทศ 9
2.3.2.2 การสอบเทียบระดับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 10
2.3.2.3 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถ 10
2.3.2.4 การสอบเทียบที่กระทำภายในภาคอุตสาหกรรม 10
2.3.2.5 เมื่อไม่สามารถสอบกลับผลการวัดสู่หน่วยวัด SI 11
2.3 ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement) 11
2.3.1 รูปแบบของความไม่แน่นอนของการวัด 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 การประเมินความไม่แน่นอนของการวัด 12
2.3.2.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนประเภท A 12
2.3.2.2 การประเมินความไม่แน่นอนประเภท B 13
2.3.2.3 ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม 16
2.3.2.4 ความไม่แน่นอนขยาย และระดับความเชื่อมั่น 17
2.3.2.5 การรายงานผลการวัด 17
2.4 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Vernier Caliper) 20
2.4.1 ส่วนประกอบของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ 21
2.4.2 การเตรียมเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ 23
2.4.3 การใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดขนาด 23
2.4.4 วิธีอ่านค่าของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ 24
2.4.5 ค่าความคลาดเคลื่อน 25
2.4.6 ข้อควรระวังในการใช้งาน 26
2.4.7 การเก็บรักษา 26
2.5 ไมโครมิเตอร์วัดนอก (Outside Micrometer) 26
2.5.1 ส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์วัดนอก 28
2.5.2 การใช้ไมโครมิเตอร์วัดนอกวัดขนาด 30
2.5.3 การเตรียมไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 30
2.5.4 วิธีอ่านค่าของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 31
2.5.6 ข้อควรระวังในการใช้งาน 33
2.5.7 การเก็บรักษา 33
2.6 เกจบล็อก (Gauge Block) 34
2.6.1 มาตรฐานของเกจบล็อก 35
2.6.2 การเลือกซื้อเกจบล็อก 35
2.6.3 การเตรียมเกจบล็อกก่อนการใช้งาน 38
2.6.4 การประกอบเกจบล็อก 38
2.6.5 การจัดเก็บ และการบำรุงรักษาเกจบล็อก 38

บทที่ 3 การดำเนินงาน 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1 กำหนดมาตรฐานหลักที่จะนำมาใช้เชื่อมโยงกับกระบวนการการสอบเทียบ 41
3.2 สรุปโครงสร้างหลักของกระบวนการการสอบเทียบ 41
3.2.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ 42
3.2.2 เครื่องมือมาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ 42
3.2.3 การเตรียมความพร้อมก่อนการสอบเทียบ 42
3.2.4 กระบวนการสอบเทียบ 42
3.2.5 บันทึก และประเมินผลการสอบเทียบ 42
3.2.6 รายงานผลการสอบเทียบ 43
3.2.7 ใบรับรองการสอบเทียบ และช่วงเวลาการใช้งาน 43
3.2.8 อื่น ๆ 43
3.3 การเขียนกระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 43
3.4 การเขียนกระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 53

บทที่ 4 สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ 61
4.1 สรุปผลการดำเนินงาน 61
4.2 ข้อเสนอแนะ 61

บรรณานุกรม 62

ภาคผนวก 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางแสดงขอบข่ายงานขององค์กรในระดับมาตรฐานต่าง ๆ 11
2.2 ตารางแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเชื่อมั่น กับ Coverage Factor (k)..... 14
2.3 ตารางแสดงค่าของ $\mathrm{tp}(\mathrm{v})$ สำหรับค่า Degrees of freedom (v) 18
2.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของเกจบล็อกที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด..... 37
3.1 ตารางแสดงค่าความถูกต้องของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 45
3.2 ตาราง Coverage factors (k) for difference effective degreed of freedom..... 52
3.3 ตาราง Coverage factors (k) สำหรับการแจกแจงแบบปกติที่ระดับความเชื่อมั่นต่างกัน..... 52
3.4 ตารางแสดงค่าความถูกต้องของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก 14
2.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม 15
2.3 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบรูปร่างตัวยู 15
2.4 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบธรรมดา 21
2.5 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบดิจิทัล 21
2.6 แสดงส่วนประกอบหลักของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ 21
2.7 แสดงส่วนประกอบโดยละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ 23
2.8 การใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดวัตถุในลักษณะต่าง ๆ 24
2.9 ตัวอย่างการอ่านค่าเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีความละเอียด 0.05 มม. 25
2.10 ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก 27
2.11 ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายใน 27
2.12 ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดความลึก 27
2.13 แสดงส่วนประกอบหลักของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก 28
2.14 แสดงส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก 29
2.15 การวัดชิ้นงานขนาดเล็กใช้มือจับได้ 30
2.16 การวัดชิ้นงานที่อยู่กับที่ 30
2.17 การวัดชิ้นงานโดยยึดไมโครมิเตอร์ด้วยขาตั้ง 30
2.18 การสอบจุดศูนย์ของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 31
2.19 การใช้เกจบล็อกขนาด 25 มม. เพื่อปรับเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 31
2.20 การอ่านค่าของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกโดยตรงจากจอแสดงผล 32
2.21 ตัวอย่างการอ่านค่าของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกแบบอนาล็อก 32
2.22 รูปเกจบล็อกขนาดต่าง ๆ 34
2.23 เกจบล็อกที่ทำมาจากสเตนเลสสตีล 37
2.24 เกจบล็อกที่ทำมาจากเซรามิก 37
2.25 การประกอบเกจบล็อกโดยการนำมาไขว้กัน 39
2.26 การประกอบเกจบล็อกโดยการเลื่อนเข้าหากัน 39
2.27 การถอดเกจบล็อกโดยการเลื่อนออกจากกัน 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.28 การถอดเกจบล็อกโดยการหมุนออกจากกัน 40
3.1 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อรายละเอียดการสอบเทียบ..... 44
3.2 รายละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ในภาคผนวก ก 44
3.3 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์..... 46
หัวข้อการเตรียมเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
3.4 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อการเตรียมเกจบล็อก..... 47
3.5 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์..... 48
หัวข้อการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ด้วยเกจบล็อก
3.6 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์..... 49
หัวข้อการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อก
3.7 ตารางแสดงค่า Stability of length ของความยาวของเกจบล็อก 49
3.8 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 50
หัวข้อการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
3.9 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ 50
3.10 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 50
หัวข้อการคำนวณหาค่าตัวประกอบ
3.11 สมการ Welch - Satterwaite 51
3.12 ตาราง Coverage factors (k) for difference effective degreed of freedom 51
3.13 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก..... 53
หัวข้อรายละเอียดการสอบเทียบ
3.14 รายละเอียดของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกในภาคผนวก ก 54
3.15 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก..... 56
หัวข้อการเตรียมไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก
3.16 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก..... 57
หัวข้อการเตรียมเกจบล็อก
3.17 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก..... 58
หัวข้อการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกด้วยเกจบล็อก
3.18 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก..... 59
หัวข้อการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.19 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 59
หัวข้อการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
3.20 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก 60
หัวข้อการคำนวณหาค่าตัวประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากอุปกรณ์การวัดมีมากมายหลายชนิด มิได้มีเพียงแค่อุปกรณ์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันเท่านั้น หากแต่มีการคิดค้นอุปกรณ์การวัดชนิดใหม่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งหากจะให้ศึกษาและเรียนรู้การทำงานของอุปกรณ์ทุกตัวคงเป็นไปไม่ได้ ประกอบกับการเรียนรู้ก็ไม่ควรที่จะจำกัดแค่การสอบเทียบอุปกรณ์เพียงแค่ไม่กี่ชิ้นเท่านั้น เพราะในอนาคตเมื่อไปเจออุปกรณ์อื่นที่ไม่เคยศึกษามาก่อน ก็จะไม่สามารถทำการสอบเทียบอุปกรณ์นั้นได้

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำภายใต้แนวคิด “ลดเวลาเรียน เพิ่มเวลารู้” มุ่งเน้นไปที่ทักษะจากการลงมือปฏิบัติจริง โดยอาศัยการยกตัวอย่างมาเป็นกรณีศึกษาเพื่อทำความเข้าใจ ซึ่งในกระบวนการการสอบเทียบ (Calibration Procedure) นั้น จะมีการเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการ ขั้นตอนต่าง ๆ ในการสอบเทียบกับมาตรฐานการสอบเทียบในระดับสากล รวมถึงจะมีหลักการในการนำไปเขียนเป็นเอกสารขั้นตอน และวิธีการในการสอบเทียบ ดังนั้นเมื่อเข้าใจหลักการในการเขียนกระบวนการการสอบเทียบแล้ว ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ประเภทใดก็ตาม ก็จะสามารถสร้างกระบวนการการสอบเทียบขึ้นเองได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อเป็นแนวทาง และเครื่องมือให้กับอาจารย์ผู้สอน
2. เพื่อให้อาจารย์ผู้สอนสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาผลการเรียนรู้ให้กับผู้เรียนต่อไป
3. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำความรู้ที่ได้รับจากการศึกษานี้ไปต่อยอด และสามารถนำไปปรับใช้ได้ในอนาคต

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สรุปโครงสร้างของกระบวนการการสอบเทียบ
2. ออกแบบตัวอย่างขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ ได้แก่
   1.1 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier caliper)
   1.2 ไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก (Digital Outside Micrometer)
3. เชื่อมโยงกระบวนการการสอบเทียบเข้ากับมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาเรื่องเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก
2. ศึกษาเรื่องเกจบล็อก
3. ศึกษาเรื่องการสอบเทียบ (Calibration)
4. ศึกษาเรื่องความไม่แน่นอนของการวัด
5. ศึกษาเรื่องความสามารถสอบกลับได้
6. ศึกษาเรื่องมาตรฐาน
7. ศึกษาเรื่องโครงสร้างของกระบวนการการสอบเทียบ
8. ศึกษาการเขียนกระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
9. ศึกษาการเขียนกระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผู้จัดทำโครงการ
   1.1 ได้เพิ่มทักษะ ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรวิทยา และการสอบเทียบ
   1.2 ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการออกแบบกระบวนการเรียนรู้
2. นักศึกษาที่เข้าร่วมโครงการ
   1.1 นักศึกษามีความรู้ และความเข้าใจในเรื่องของขั้นตอนการสอบเทียบ รวมทั้งสามารถเขียนขั้นตอนการสอบเทียบขึ้นมาเองได้
   1.2 นักศึกษาสามารถนำความรู้ที่ได้จากผลงานการวิจัยนี้ไปต่อยอด หรือนำไปปรับใช้ได้ในอนาคต
   1.3 นักศึกษามีความรู้พื้นฐานที่ดีในด้านการสอบเทียบ และสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ในการประกอบวิชาชีพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐาน

คำว่า "มาตรฐาน" ตามที่พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 ได้กำหนดไว้ มีดังนี้ “มาตรฐาน หมายความว่า ข้อกำหนดรายการอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างเกี่ยวกับ

1) จำพวก แบบ รูปร่าง มิติ การทำ เครื่องประกอบ คุณภาพ ชั้น ส่วนประกอบ ความสามารถ ความทนทาน และความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
2) วิธีทำ วิธีออกแบบ วิธีเขียนรูป วิธีใช้ วัตถุที่จะนำมาทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และความปลอดภัยอันเกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
3) จำพวก แบบ รูปร่าง มิติของหีบห่อ หรือสิ่งบรรจุชนิดอื่น รวมตลอดถึงการทำหีบห่อหรือสิ่งบรรจุชนิดอื่น วิธีการบรรจุ หุ้มห่อ หรือผูกมัด และวัตถุที่ใช้ในการนั้นด้วย
4) วิธีทดลอง วิธีวิเคราะห์ วิธีเปรียบเทียบ วิธีตรวจ วิธีทดสอบ และวิธีชั่ง ตวง วัด อันเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
5) คำเฉพาะ คำย่อ สัญลักษณ์ เครื่องหมาย สี เลขหมาย และหน่วยที่ใช้ในทางวิชาการอันเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
6) ข้อกำหนดรายการอย่างอื่นอันเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ตามที่รัฐมนตรีประกาศหรือตามพระราชกฤษฎีกา”

ดังนั้น มาตรฐาน คือหน่วยวัดที่เป็นที่ยอมรับกันในระดับสากล ปัจจุบันนี้จึงมีการใช้มาตรฐานกันอย่างแพร่หลาย โดยที่มาตรฐานของอุปกรณ์แต่ละชนิดก็มีอย่างหลากหลาย ซึ่งมาตรฐานที่ว่าด้วยเรื่องความสามารถของห้องปฏิบัติการในการดำเนินการสอบเทียบ และทดสอบ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการรับรองความสามารถ และความน่าเชื่อถือของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในสากล คือ มาตรฐาน ISO/IEC 17025 เป็นการจัดทำร่วมกันระหว่างองค์การมาตรฐานสากล (International Organization for Standardization : ISO) และคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอเทคนิกส์ (International Electrotechnical Commission : IEC) โดยหากห้องปฏิบัติการสอบเทียบแห่งใดอยากได้รับการรับรอง เป็นที่ยอมรับในระดับสากล จะต้องมีการยื่นคำขอไปยังสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม ถ้าผ่านการรับรองก็จะมีการจัดทำใบรับรอง และมีการเผยแพร่รายชื่อของห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรอง รวมทั้งมีการติดตามผลการรับรองความสามารถอย่างน้อยหนึ่งครั้งต่อปี และมีการตรวจประเมินใหม่ทุก ๆ 3 ปี ดังนั้น หากสินค้าใดก็ตาม ที่มีใบรายงานผลการทดสอบสินค้าจากห้องปฏิบัติการที่ผ่านการรับรองจากมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ประเทศคู่ค้าก็ไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบซ้ำอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีการนำเครื่องมือวัดมาใช้เป็นกรณีศึกษา 2 อุปกรณ์ ประกอบด้วย เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน JIS B 7507-1993 และ JIS B 7502-1994 ตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 มาตรฐาน JIS B 7507-1993 Vernier, dial and digital callipers

สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1) สำหรับการใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มีการกำหนดขอบเขตของย่านการวัดที่สูงที่สุดอยู่ที่ 1000 มม. หรือไม่เกินค่าสูงสุดของย่านการวัดที่กำหนดไว้
   - มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ได้แก่
     JIS B 7506 Gauge blocks
     JIS G 4303 Stainless steel bars
     JIS G 4401 Carbon tool steels
     JIS Z 8103 Glossary of terms used in instrumentation
   - มาตรฐานสากลที่สัมพันธ์กัน ได้แก่
     JIS B 7506 Gauge blocks
     ISO 3599 Vernier callipers reading to 0.1 and 0.05 mm
     ISO 6906 Vernier callipers reading to 0.02 mm
2) คำนิยามหลักจะสอดคล้องกับ JIS Z 8103 ส่วนที่ไม่ใช่คำนิยามหลักได้กำหนดมาในส่วนถัดไป ได้แก่ Vernier calipers, Vernier scale, Dial scale, Electronics type Digital indication และ Instrumental error
3) ชื่อเรียกของแต่ละส่วนประกอบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ประเภท M และเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ประเภท CM รวมทั้งเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบธรรมดา และแบบดิจิทัล
4) ประเภท (Types) ของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ได้แก่ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ประเภท M และเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ประเภท CM
5) ย่านการวัดสูงสุดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์โดยทั่วไปจะเป็น 100 มม., 150 มม., 200 มม., 250 มม., 300 มม., 400 มม., 450 มม., 500 มม., 600 มม. และ 1000 มม. และสำหรับเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ประเภท M ที่มี Fine Adjustment Clamp (ก้านวัดความลึก) จะเป็น 130 มม., 180 มม., 230 มม., 280 มม., 400 มม., 450 มม., 500 มม., 600 มม. และ 1000 มม.
6) แสดงตารางค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของ Instrumental error (ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากเครื่องมือวัด) ของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และความเบี่ยงเบนของ Zero Point (จุดศูนย์) ของก้านวัดความลึกจะมีค่า 0.02 มม. หรือต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) สเกล
   - แสดงตารางจำนวนขั้นของสเกลของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ โดยที่ประเภท M จะมีแค่ 1 ส่วนประเภท CM จะมี 1 (สำหรับการใช้งานทั่วไปของชนิดวัดภายนอก และชนิดวัดภายใน) และ 2 (สำหรับการใช้งานชนิดวัดภายนอก และชนิดวัดภายใน)
   - แนวทางการแบ่งช่อง จะแสดงตามตารางการแบ่งช่องของเวอร์เนียร์ และตารางการแบ่งช่องของ Dial scale
   - แสดง Scale lines ตามตารางแสดงความหนาของ Vernier reading และ Pointer reading
8) ความสูงของตัวอักษรของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ชนิดดิจิทัล จะมีขนาด 4 มม. หรือมากกว่า
9) แสดงรูปร่าง และขนาดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ รวมทั้งแสดงตารางขนาดความยาวสูงสุดต่ำสุดของแต่ละส่วนของแต่ละประเภทที่ถูกกำหนดโดยย่านการวัดสูงสุด
10) โครงสร้าง และการทำงานของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
11) วัสดุ และความแข็งแกร่ง
   - แสดงตารางวัสดุของส่วนประกอบหลักของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์หรือมีคุณสมบัติทางกลเท่ากันหรือสูงกว่า
   - ความแข็งแกร่งของ Measuring faces ของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เมื่อวัสดุเป็นสเตนเลส จะเป็น 550 HV หรือมากกว่า และเมื่อเป็นวัสดุอื่น จะเป็น 700 HV หรือมากกว่า นอกจากนี้ Measuring place จะต้องอยู่บน Measuring faces หรือด้านข้างห่างจาก Measuring faces ไม่เกิน 2 มม.
12) แสดงตัวอย่างวิธีการวัดประเมินประสิทธิภาพของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ โดยการวัดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากเครื่องมือวัด ทั้งจากการวัดภายใน และภายนอก
13) การตรวจสอบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ จะดำเนินการโดยดูจากการดำเนินงาน, สเกลหรือตัวอักษรของชนิดดิจิทัล, รูปร่าง และขนาด, โครงสร้าง และการทำงาน, วัสดุ และความแข็งแกร่ง รวมทั้งผลลัพธ์ที่ได้จะสอดคล้องกับความต้องการตามข้อ 6 ถึง 11
14) เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์จะถูกกำหนดโดยตัวเลข หรือหัวเรื่องของมาตรฐาน ชนิด ย่านการวัดสูงสุด และช่วงขนาด ค่าตัวอ่านที่น้อยที่สุด เป็นประเภทสเกล หรือดิจิทัล และมีก้านวัดความลึกหรือไม่ เช่น
   - JIS B 7507 M150 – 0.05 มม.
   - เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ประเภท CM 600 – 0.02 มม. ที่มีก้านวัดความลึก
   - เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ประเภท M 150 – 0.01 มม. ประเภทดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15) เครื่องหมายของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

- ข้อมูลต่อไปนี้จะต้องถูกทำเครื่องหมายไว้ตามลำดับ
  a) ความยาวสูงสุดของย่านการวัด
  b) ระยะห่างของสเกล, ค่าการอ่านที่ต่ำที่สุด หรือปริมาณที่ระบุที่ต่ำที่สุด
  c) ชื่อ หรือคำย่อของผู้ผลิต
- สำหรับเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ประเภท CM ความยาวของการวัดภายในที่ต่ำที่สุดที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ข้างบน และสำหรับสเกลแบบ 2 ขั้นตอน ความแตกต่างของการใช้งานภายนอกและการใช้งานภายใน จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเจน
- นอกจากนี้เครื่องหมายดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์สามารถเปลี่ยนได้ เพื่อการใช้งานภายนอก และการใช้งานภายใน โดยจะต้องถูกทำเครื่องหมายว่าจะสังเกตเห็นได้ว่าอะไรที่กำลังถูกนำมาใช้

16) ข้อควรระวังในการใช้งาน

- เนื่องจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ไม่ได้มาพร้อมกับอุปกรณ์แรงดันคงที่ ดังนั้นในการวัดจะต้องดำเนินการโดยใช้แรงวัดที่เหมาะสม และสม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อวัดที่ปลายสุดของปากวัด เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับความเสี่ยงของการขยายความผิดพลาดที่จำเป็นต้องมีการดูแล
- สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสัญญาณดิจิทัล การพิจารณาจะต้องจ่ายให้กับความไม่แน่นอนของตัวเลขหนึ่งตัวที่อาจเกิดขึ้นที่จุดปลายของเลขที่ที่ระบุ
- นอกจากนี้ควรให้ความสำคัญกับสภาพแวดล้อมการทำงาน เช่น สนามแม่เหล็ก, สนามไฟฟ้า, ความชื้น ฯลฯ เพราะจะมีอิทธิพลต่อการทำงานของส่วนประกอบที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ได้

2.1.2 มาตรฐาน JIS B 7502-1994 Micrometer Callipers

สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1) สำหรับการใช้ไมโครมิเตอร์วัดภายนอกมีการกำหนดขอบเขตของย่านการวัดที่สูงที่สุดอยู่ที่ 500 มม.
   - มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง ได้แก่
     JIS B 7430 Optical flats
     JIS B 7431 Optical parallels
     JIS B 7506 Gauge blocks
     JIS B 7536 Electrical comparators
     JIS B 7538 Autocollimators

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JIS G 4051 Carbon steels for machine structural use

JIS G 4303 Stainless steel bars

JIS G 4404 Alloy tool steels

JIS H 5501 Cemented carbide alloy of tip

JIS Z 8103 Glossary of terms used in instrumentation

- มาตรฐานสากลที่สัมพันธ์กัน ได้แก่

JIS B 7506 Gauge blocks

ISO 3611 (1978) Micrometer callipers for external measurement

2) คำนิยามหลักจะสอดคล้องกับ JIS Z 8103 ส่วนที่ไม่ใช่คำนิยามหลักก็ได้กำหนดมาในส่วนถัดไป ได้แก่ Micrometer calipers for external measurement, Bar-shaped micrometer calipers for internal measurement (tubular type), Tooth thickness micrometer calipers, Micrometer head, Instrumental error, Deviation of traverse of spindle, Mechanical type digital indication, Electronic type digital indication
3) ชื่อเรียกของแต่ละส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก, ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายใน, Tooth thickness ไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์ และ Micrometer head
4) แสดงย่านการวัดของไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์แต่ละประเภท
5) ตารางความสามารถของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก, ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายใน, Tooth thickness ไมโครมิเตอร์ และ Micrometer head
6) แนวทางการแบ่งช่องของ Sleeve และ Thimble จะแสดงตามตาราง
7) รูปร่าง และขนาดของส่วนประกอบหลักของไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์แต่ละประเภท
8) โครงสร้าง และการทำงานของไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์
9) ตารางวัสดุ และความแข็งแกร่งของส่วนประกอบหลักของไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์
10) แสดงตัวอย่างวิธีการวัดประเมินประสิทธิภาพของไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์ โดยการวัดความเรียบผิว, การตรวจสอบความขนานของหัววัด (Parallelism), ผิดพลาดอันเนื่องมาจากเครื่องมือวัด, การวัดการเบี่ยงเบนของแกนหมุน, การวัดการการจายตัวของแรง, การวัดความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางของแกนวัดในแนวแกนหมุน และการวัดความโก่งตัวของเฟรม
11) การตรวจสอบของไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์จะดำเนินการโดยดูจากย่านการวัด, การดำเนินงาน, ขนาด, รูปร่าง, โครงสร้าง, การทำงาน, วัสดุ และความแข็งแกร่ง รวมทั้งผลลัพธ์ที่ได้จะสอบคล้องกับความต้องการตามข้อ 4 ถึง 9
12) ตารางตัวอย่างของไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์ ที่ถูกกำหนดจากตัวเลขของมาตรฐานนี้ ประเภท ย่านการวัด และเป็นประเภทสเกล หรือดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13) ไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์จะถูกทำเครื่องหมายตามข้อมูลต่อไปนี้
   a) ช่วงขนาด หรือปริมาณบ่งชี้ที่ต่ำที่สุด
   b) ช่วงการวัด
   c) ชื่อ หรือคำย่อของผู้ผลิต
14) ข้อควรระวังในการใช้งาน ควรให้ความสำคัญกับสภาพแวดล้อมการทำงาน เช่น สนามแม่เหล็ก, สนามไฟฟ้า, ความชื้น, สัญญาณรบกวน ฯลฯ เพราะจะมีอิทธิพลต่อการทำงานของส่วนประกอบที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์ได้
15) ตารางแสดงความผิดพลาดโดยรวมของไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์ เมื่อชิ้นส่วนของวัสดุมีคุณภาพเท่ากัน ได้รับการตรวจวัดภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน หรือสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน โดยใช้ไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์ที่สอดคล้องตามตารางที่ 4, 5, 6 และ 7 ซึ่งตารางนี้ไม่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐาน

2.2 การสอบเทียบ (Calibration)

จากเอกสาร VIM (International Vocabulary of Metrology) ได้ให้คำนิยามของการสอบเทียบไว้ดังนี้ “Set of operations that establish, under specified conditions, the relationship between values of quantities indicated by a measuring instrument or measuring system, or values represented by a material measure or a reference material, and the corresponding values realized by standards.” และจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ได้นิยามการสอบเทียบไว้ดังนี้ “ชุดของการดำเนินการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ชี้บอกโดยเครื่องมือวัด หรือระบบการวัด หรือค่าที่แสดงโดยเครื่องวัดที่เป็นวัสดุกับค่าสมนัยที่รู้ของปริมาณที่วัดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้”

ดังนั้น การสอบเทียบ คือ การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด กับค่าที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐานที่ได้จากห้องปฏิบัติการสอบเทียบ ที่มีความสามารถสอบกลับได้ตามมาตรฐานสากล หรือมาตรฐานแห่งชาติ ผลลัพธ์ที่ได้จากการสอบเทียบจะสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ว่าเครื่องมือวัดนั้นยังสามารถใช้งานได้ต่อไป หรือมีความจำเป็นที่จะต้องนำไปปรับแต่งให้กลับมาใช้งานได้อย่างแม่นยำเหมือนเดิม โดยจะต้องทำการสอบเทียบเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด หรือพบว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดคลาดเคลื่อนไปจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ แต่เพราะการสอบเทียบทุกครั้งจะมีค่าใช้จ่าย ถ้ามีการสอบเทียบที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เกินความจำเป็น

2.3 ความสามารถสอบกลับได้ (Traceability)

จากเอกสาร VIM ได้ให้คำนิยามของความสามารถสอบกลับได้ไว้ดังนี้ “Property of the result of a measurement or the value of a standard whereby if can be related to state references, usually national or international standards, through an unbroken chain of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

comparisons all having state uncertainties.” และจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ได้นิยามความสามารถสอบกลับได้ไว้ดังนี้ “สมบัติของผลการวัดที่สามารถโยงไปกับมาตรฐานแห่งชาติที่เป็นที่ยอมรับโดยการเปรียบเทียบกันอย่างไม่ขาดช่วงเป็นลูกโซ่ และจะต้องรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดไว้ด้วย”

ความสามารถสอบกลับได้ เป็นกระบวนการย้อนกลับของการสอบเทียบ จากมาตรฐานสากลสู่มาตรฐานเห่งชาติ ได้รับการถ่ายทอดผ่านห้องปฏิบัติการสอบเทียบหลายระดับจนมาถึงเครื่องมือของผู้ใช้งาน และสามารถอ้างอิงผลการวัดจากผู้ใช้งานกลับมาสู่มาตรฐานสากล หรือมาตรฐานแห่งชาติได้

2.3.1 ปัจจัยหลักของความสามารถสอบกลับได้

ความสามารถสอบกลับได้ของการวัดมีปัจจัยหลักดังนี้

1) มีการสอบเทียบอย่างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่ จากผู้ใช้งานเครื่องมือวัดกลับไปมาตรฐานที่ผู้เกี่ยวข้องยอมรับ โดยทั่วไปคือ มาตรฐานระหว่างประเทศ หรือมาตรฐานแห่งชาติ
2) ในการหาความไม่แน่นอนของการวัด จะต้องมีการคำนวณตามวิธีที่กำหนด เพื่อให้สามารถคำนวณความไม่แน่นอนรวมของทุกขั้นตอนได้
3) การสอบเทียบจะต้องทำตามวิธีดำเนินการที่เป็นเอกสาร และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป รวมทั้งผลของการสอบเทียบก็ต้องทำเป็นเอกสารเช่นกัน
4) ห้องปฏิบัติการ หรือองค์กรที่ทำการสอบเทียบในขั้นตอนหนึ่ง (หรือมากกว่า) ของห่วงโซ่การสอบกลับได้ จะต้องแสดงให้เห็นถึงความสามารถทางเทคนิค ตัวอย่างเช่น แสดงด้วยการได้รับการรับรองความสามารถตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025
5) ถ้าเป็นไปได้ การอ้างถึงหน่วยวัด SI ห่วงโซ่ของการสอบเทียบจะต้องสิ้นสุดลงที่มาตรฐานขั้นปฐมภูมิ
6) การสอบเทียบจะต้องกระทำซ้ำตามช่วงเวลาที่เหมาะสม และระยะของช่วงเวลานี้จะขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย เช่น ความถี่ของการใช้งาน ความเสถียรของเครื่องมือ

2.3.2 ลำดับขั้นของการสอบเทียบ

2.3.2.1 การสอบเทียบระดับระหว่างประเทศ

ความมั่นใจในความถูกต้องในมาตรฐานการวัดแห่งชาติของแต่ละประเทศ ได้มาจากการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างประเทศ ทั้งในระดับทวิภาคี และพหุภาคี แทนการสอบเทียบที่กระทำกันตามปกติ ในระดับระหว่างประเทศนั้น มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standards) ได้มาจากการทำให้เป็นจริง (Realisation) จากนิยามของหน่วยวัด SI โดยหน่วยงานที่มีหน้าที่ดำเนินการให้มีการเปรียบเทียบผลการวัดระหว่างประเทศในระดับที่มีความถูกต้องสูงสุด คือ สำนักงาน ชั่ง ตวง วัดระหว่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 การสอบเทียบระดับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติของแต่ละประเทศ เป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่รักษามาตรฐานทางมาตรวิทยาขั้นสูงสุดของประเทศ มีหน้าที่หลักในการรักษามาตรฐานขั้นปฐมภูมิของหน่วยวัด SI ของประเทศ รวมไปถึงการวิจัย และพัฒนามาตรฐานการวัดให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น ในกรณีที่สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติมีความสามารถถึงขั้นที่นำเอาหน่วยวัด SI จากนิยามมาทำให้เป็นจริงได้นั้น จะสามารถถือได้ว่ามาตรฐานแห่งชาติได้เทียบเท่ามาตรฐานปฐมภูมิ หรือก็คือจะสามารถสอบกลับได้โดยตรงกับหน่วยวัด SI แต่หากยังไม่มีความสามารถถึงขั้นนั้น การสอบกลับได้ถึงหน่วยวัด SI จำทำโดยการถ่ายทอดมาจากมาตรฐานปฐมภูมิของประเทศอื่น แต่ตามปกติแล้ว การสอบเทียบที่กระทำโดยสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ จะจำกัดอยู่ที่การสอบเทียบเพื่อถ่ายทอดมาตรฐานของหน่วยวัด SI ในระดับปฐมภูมิของชาติ มาสู่มาตรฐานระดับทุติยภูมิของห้องปฏิบัติการสอบเทียบในอุตสาหกรรมเท่านั้น

2.3.2.3 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถ

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถ โดยองค์กรที่ให้การรับรองความสามารถอย่างเป็นทางการของแต่ละประเทศ สำหรับในประเทศไทย คือ ส่วนงานรับรองห้องปฏิบัติการสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม (สมอ.) ห้องปฏิบัติการที่ผ่านการรับรองโดยการตรวจประเมินความสามารถทางเทคนิคตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/IEC 17025 แล้ว จะได้รับใบรับรองความสามารถของการวัด พร้อมกับความไม่แน่นอนน้อยที่สุดที่ห้องปฏิบัติการสามารถกระทำได้ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถ จะสามารถทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดจากภาคอุตสาหกรรม เพื่อถ่ายทอดความถูกต้องจากหน่วยวัด SI โดยใช้มาตรฐานอ้างอิงที่ผ่านการสอบเทียบแล้วจากมาตรฐานแห่งชาติ หรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรองความสามารถในระดับสูงกว่า

2.3.2.4 การสอบเทียบที่กระทำภายในภาคอุตสาหกรรม

การสอบเทียบที่กระทำภายในภาคอุตสาหกรรมนั้น เพื่อทำให้มั่นใจว่าเครื่องมือตรวจวัด และทดสอบทั้งหมดที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้รับการสอบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงภายในโรงงาน ซึ่งมาตรฐานอ้างอิงนั้นจะต้องได้รับการสอบเทียบกับมาตรฐานของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ โดยความสามารถในการทำการสอบเทียบภายในโรงงาน ต้องคำนึงถึงความสามารถของผู้ปฏิบัติการ วิธีการในการวัด เครื่องมือวัด มาตรฐานการวัด สภาวะแวดล้อมของห้องปฏิบัติการไปจนถึงระบบการบันทึกผล เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้อง และความแม่นยำของการวัด โดยตารางสรุปขอบข่ายงานขององค์กรในระดับมาตรฐานต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ไปจนถึงเครื่องมือวัดที่ต้องการการสอบเทียบ ดังแสดงตามตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.5 เมื่อไม่สามารถสอบกลับผลการวัดสู่หน่วยวัด SI

หากไม่สามารถสอบกลับผลการวัดสู่หน่วยวัด SI ได้ ห้องปฏิบัติการ ลูกค้า และผู้ที่เกี่ยวข้องอาจตกลงกันที่จะใช้วัสดุอ้างอิงที่ได้รับการรับรองแล้ว (Certified Reference Material : CRM) ใช้วิธีที่บ่งชี้เฉพาะ หรือใช้มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับระหว่างกัน (Consensus standard)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงขอบข่ายงานขององค์กรในระดับมาตรฐานต่าง ๆ

ระดับมาตรฐาน	องค์กร	ขอบข่ายงาน
Traceability System National Standards	สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	- จัดหา รักษา และพัฒนามาตรฐานแห่งชาติ - พัฒนาให้องค์กรเป็นที่ยอมรับ และเชื่อถือในระดับนานาชาติ - เป็นองค์กรนำในการพัฒนา และผลักดันให้เกิดระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ
Secondary Standards	ห้องปฏิบัติการสอบเทียบของภาครัฐและเอกชน	ถ่ายทอดความถูกต้องของมาตรฐานการวัดจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติไปสู่มาตรฐานอ้างอิง (Reference Standards) ของภาคอุตสาหกรรม
Working Standards	ห้องปฏิบัติการสอบเทียบในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ	รักษามาตรฐานขั้นใช้งานทำงาน (Working Standards) ให้สอบกลับได้ (Traceability) ถึงมาตรฐานแห่งชาติ และถ่ายทอดค่าความถูกต้องไปสู่เครื่องมือตรวจวัดและทดสอบในโรงงาน
Measuring Equipment	เครื่องมือตรวจวัด และทดสอบที่ต้องการสอบเทียบ	เครื่องมือตรวจวัด และทดสอบ ที่ใช้แสดงความเป็นไปตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

2.3 ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement)

จากเอกสาร VIM (International Vocabulary of Metrology) ได้ให้คำนิยามของความไม่แน่นอนไว้ดังนี้ “Non-negative parameter characterizing the dispersion of the quantity values being attributed to a measurand , based on the information used.” และทางสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ ได้นิยามความไม่แน่นอนของการวัดไว้ดังนี้ “พารามิเตอร์ที่บ่งบอกลักษณะเฉพาะของการกระจายของค่าปริมาณของสิ่งที่วัด”

ดังนั้น ความไม่แน่นอนของการวัด จึงถูกใช้เป็นมาตรฐานในการบ่งบอกคุณภาพของผลการวัด ว่ามีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด เนื่องจากในการใช้เครื่องมือวัดแต่ละครั้ง จะเกิดค่าความไม่แน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการวัดสะสมขึ้นเรื่อย ๆ ค่าที่ได้นี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถของแต่ละห้องปฏิบัติการ โดยที่ความไม่แน่นอนของการวัดนั้นอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น เครื่องมือวัดที่ไม่แม่นยำ เนื่องจากไม่ได้รับการสอบเทียบ ชิ้นงานที่นำมาวัดไม่เสถียร ผู้ทำการวัดขาดทักษะ สภาวะแวดล้อมขณะทำการวัดเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน เป็นต้น และจะต้องมีการคำนวณค่าความไม่แน่นอนของการวัดด้วยวิธีที่เป็นที่ยอมรับกันในระดับสากลด้วย โดยการคำนวณในแต่ละขั้นตอนจะต้องมีการจัดทำเป็นเอกสารไว้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ทุกเมื่อ ส่วนการรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัด จะต้องรายงานร่วมกับค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดด้วย เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถสอบกลับได้ของการวัด

2.3.1 รูปแบบของความไม่แน่นอนของการวัด

รูปแบบของความไม่แน่นอนของการวัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่

1) **ความไม่แน่นอนแบบสุ่ม (Random)**
   สามารถสังเกตได้จากค่าที่วัดได้จะเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ วิธีที่ใช้ในการประมาณค่าความไม่แน่นอนของการวัด ให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด สามารถทำได้โดยทำการวัดหลาย ๆ ครั้ง แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยออกมา
2) **ความไม่แน่นอนแบบเป็นระบบ (Systematic)**
   สามารถสังเกตได้จากค่าที่วัดได้จะมีค่าซ้ำ ๆ กัน จะไม่ใช้วิธีทำการวัดหลาย ๆ ครั้งเหมือนวิธีการหาความไม่แน่นอนแบบสุ่ม เพราะค่าที่ได้มีค่าเหมือนกันหมดทุกค่า จะใช้วิธีอื่นแทน เช่น เปลี่ยนการคำนวณ หรือเปลี่ยนวิธีการวัด

2.3.2 การประเมินความไม่แน่นอนของการวัด

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ ค่าความไม่แน่นอนประเภท A และค่าความไม่แน่นอนประเภท B

2.3.2.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนประเภท A (Type A Evaluation)

เป็นการประเมินค่าที่จะอยู่บนวิธีทางสถิติที่ได้จากการวัดซ้ำหลายครั้ง หรือได้จากการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ตามสมการที่ 2.1 โดยปกติจะทำการวัดซ้ำ 10 ครั้ง (หรือไม่ต่ำกว่า 4 ครั้ง) ซึ่งผลของการวัดที่ได้จะมีการกระจายที่แตกต่างกัน การกระจายนี้สามารถใช้หลักทางสถิติหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของการวัดซ้ำ n ครั้งจากตัวอย่าง ตามสมการที่ 2.2 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard deviation of mean) ซึ่งจะถือว่าเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของประเภท A อีกด้วย ตามสมการที่ 2.3

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2.2)$$

$$U(X_i) = \sigma = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \quad (2.3)$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม
X_i = ค่าที่วัดได้ของแต่ละครั้ง
n = จำนวนครั้งของการวัด
σ_{n-1} = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
σ_n = ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย
$U(X_i)$ = ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของประเภท A

2.3.2.2 การประเมินความไม่แน่นอนประเภท B (Type B Evaluation)

เป็นการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่ไม่ได้อยู่บนวิธีทางสถิติ ที่ไม่สามารถใช้วิธีการประเมินแบบประเภท A ที่ใช้วิธีทางสถิติได้ เนื่องจากผลการคำนวณที่ได้จะมีความผิดพลาดสูง หรือค่าที่วัดได้จะเป็นค่าเดียวกันทั้งหมด เป็นการประเมินค่าที่ได้จากความคลาดเคลื่อนของระบบ ซึ่งอาจเกิดจากตัวมาตรฐาน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ หรือเกิดจากความละเอียดของเครื่องมือวัดไม่ดีพอ สามารถแบ่งการประเมินได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

ก) การประเมินความไม่แน่นอนที่ถูกกำหนดในรูปของระดับความเชื่อมั่น ที่ได้จากใบรับรองการสอบเทียบ จำเป็นจะต้องระบุระดับความเชื่อมั่นในรูปของค่า Coverage Factor (k) ร่วมกับค่าความไม่แน่นอนที่ระบุความเชื่อมั่น (ค่า Expanded Uncertainty) หากเป็นการแจกแจงความไม่แน่นอนแบบปกติ ก็สามารถหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานได้จากสมการที่ 2.4 นอกจากนี้ ตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเชื่อมั่น และค่า Coverage Factor (k) แสดงดังตารางที่ 2.2

$$\mathrm{U(X_i)} = \frac{\text{Expanded Uncertainty}}{k} \quad (2.4)$$

ข) กรณีที่ไม่ได้มีการกำหนดระดับความเชื่อมั่น มีข้อมูลแค่ขอบเขตของการแจกแจง ขอบเขตบน (a_+) และขอบเขตล่าง (a_-) ของค่าความไม่แน่นอน ให้พิจารณาว่า มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ระดับความเชื่อมั่น 100% จะได้ค่ากึ่งกลางของขอบเขตบน และล่าง ของความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการที่ 2.5 เมื่อ a_i เป็นค่ากึ่งกลางของขอบเขตบนและล่าง ของความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$a_i = \frac{a_+ - a_-}{2} \tag{2.5}$$

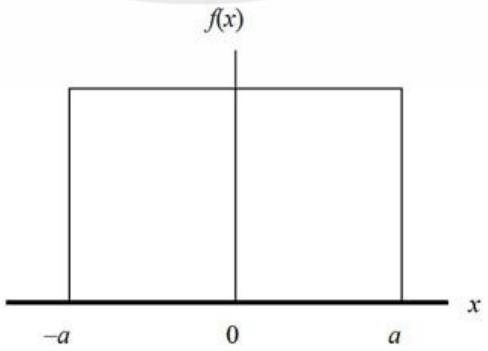
ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเชื่อมั่น กับ Coverage Factor (k)

ระดับความเชื่อมั่น	Coverage Factor (k)
68.30%	1.000
90.00%	1.645
95.00%	1.960
95.45%	2.000
99.00%	2.5760
99.70%	3.000

สำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอนประเภท B มักจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็น ซึ่งนอกจากการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติแล้ว ยังมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม และการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบรูปร่างตัวยูอีกด้วย

a) ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular Distribution หรือ Uniform Distribution) แสดงดังสมการที่ 2.6 และกราฟแสดงค่าฟังก์ชันความหนาแน่นแสดงดังรูปที่ 2.1

$$U(X_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}} \tag{2.6}$$

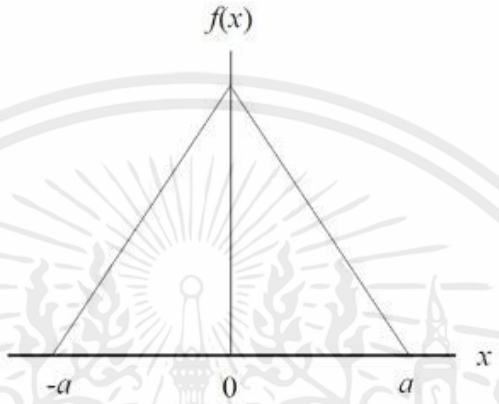


รูปที่ 2.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

b) ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม (Triangular Distribution) แสดงดังสมการที่ 2.7 และกราฟแสดงค่าฟังก์ชันความหนาแน่นแสดงดังรูปที่ 2.2

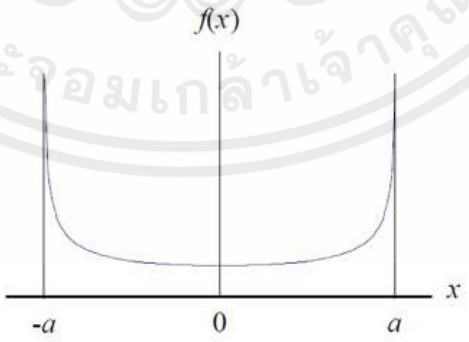
$$\boldsymbol{U(X_i) = \frac{a_i}{\sqrt{6}}} \tag{2.7}$$



รูปที่ 2.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสามเหลี่ยม

c) ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบรูปร่างตัวยู (U-Shape Distribution) แสดงดังสมการที่ 2.8 และกราฟแสดงค่าฟังก์ชันความหนาแน่นแสดงดังรูปที่ 2.3

$$\boldsymbol{U(X_i) = \frac{a_i}{\sqrt{2}}} \tag{2.8}$$



รูปที่ 2.3 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบรูปร่างตัวยู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined Standard Uncertainty)

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม ($U_c(y)$) เป็นผลรวมของค่าความไม่แน่นอนที่ได้จากการประเมินค่าความไม่แน่นอนแบบประเภท A และประเภท B ทั้งหมด ดังสมการที่ 2.8 เมื่อ c_i คือค่า Sensitivity coefficient ซึ่งได้จากการคำนวณหาอนุพันธ์ย่อย ($c_i = \partial f/\partial x$)

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} c_i^2 u^2(x_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} u_i^2(y)} \tag{2.8}$$

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมข้างต้น เป็นการคำนวณเพียง 1 มิติเท่านั้น ถ้าเป็นกรณีที่ผลการวัดเป็น 2 มิติ หรือมากกว่า ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของค่าความไม่แน่นอนสัมพันธ์ (Relative Uncertainty) ดังสมการที่ 2.9 เมื่อ $y = cX_1^{P1}, X_2^{P2}, \ldots, X_n^{Pn}$

$$\frac{U_c(y)}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{p_i u(x_i)}{x_i}\right)^2} \tag{2.9}$$

สำหรับค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมดังสมการที่ 2.8 และ 2.9 นั้น เป็นการแสดงค่าเมื่อปริมาณอินพุตแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน (ไม่มีความสัมพันธ์ร่วมกัน) เท่านั้น แต่ในกรณีที่ปริมาณอินพุตไม่เป็นอิสระต่อกัน จะอยู่ในรูปของค่าความสัมพันธ์ร่วมของปริมาณอินพุต (Correlated input quantities) ซึ่งผลจากความสัมพันธ์ร่วมของปริมาณอินพุตนี้ อาจทำให้ความไม่แน่นอนรวมเปลี่ยนค่าได้ จากความสัมพันธ์ของฟังก์ชันระหว่างปริมาณอินพุต ดังสมการที่ 2.10 เมื่อ r คือค่า Correlation coefficient และเมื่อ $-1 \leq r(x_i, x_j) \leq 1$

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)} \tag{2.10}$$

จากสมการที่ 2.10 ถ้าผลจากความสัมพันธ์ร่วมระหว่าง x_1 และ x_2 ให้ค่า $r(x_i, x_j) = 1$ แล้ว การรวมค่าความไม่แน่นอนจากสมการที่ 2.8 จะทำการรวม $u(x_1)$ และ $u(x_2)$ ก่อน จะได้ผลลัพธ์ดังสมการที่ 2.11

$$U_c(y) = \sqrt{(c_1 u(x_1) + c_2 u(x_2))^2 + (c_3 u(x_3))^2 + \ldots + (c_n u(x_n))^2} \tag{2.11}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4 ความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty) และระดับความเชื่อมั่น (Level of Confidence)

ในการประเมินความไม่แน่นอนของการวัด จำเป็นต้องพิจารณาค่าที่วัด ค่าความไม่แน่นอนรวม รวมทั้งระดับความเชื่อมั่นด้วย เพื่อที่จะสามารถขยายผลของความไม่แน่นอนในระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการได้ อีกทั้งยังสามารถที่จะเปรียบเทียบแต่ละผลการวัด หรือผลการวัดระหว่างห้องปฏิบัติการได้อีกด้วย สามารถคำนวณหาคาตัวประกอบ (Coverage factor : k) โดยเริ่มจากการหาค่าตัวแทนค่าองศาอิสระของความไม่แน่นอนรวม (Degrees of Freedom : v_{eff}) จากสมการ Welch-Satterthwaite ดังสมการที่ 2.12

$$\boldsymbol{v_{eff}} = \frac{\boldsymbol{u_c^4(y)}}{\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \frac{\boldsymbol{u^4(x_i)}}{\boldsymbol{v_i}}} \tag{2.12}$$

เมื่อ v_{eff} = ค่าตัวแทนค่าองศาอิสระของความไม่แน่นอนรวม

v_i = ค่าองศาอิสระของแต่ละส่วนประกอบความน่าจะเป็น

$u_c(y)$ = คาความไม่แน่นอนรวม

$u(x_i)$ = ส่วนประกอบของความไม่แน่นอน ทั้งแบบประเภท A และประเภท B

เมื่อได้ค่าตัวแทนค่าองศาอิสระของความไม่แน่นอนรวมมาแล้ว ก็จะสามารถหาค่าตัวประกอบ (k) หรือ $t_p(v)$ ได้จากตาราง Student's t-distribution ตามระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ โดยที่ค่า p จากตาราง คือค่าระดับความเชื่อมั่น ซึ่งได้กำหนดช่วงระหว่าง $-t_p(v)$ ถึง $+t_p(v)$ ที่ครอบคลุมเศษส่วน p ของการแจกแจง ตามตารางที่ 2.3 สำหรับค่าความไม่แน่นอนขยาย (U) ตามระดับความเชื่อมั่นที่พิจารณา หาได้จากผลคูณของค่าตัวประกอบ (k) หรือ $t_p(v)$ กับค่าความไม่แน่นอนรวม u_c ดังสมการที่ 2.13

$$\boldsymbol{U = t_p(v)u_c(y) = ku_c(y)} \tag{2.13}$$

2.3.2.5 การรายงานผลการวัด (Reporting The Results)

ผลการวัดที่ได้นี้จะแสดงถึงความสามารถในการวัด โดยปกติจะรายงานด้วยค่าปริมาณที่วัดได้ ($\overline{Y}$) ตามด้วยค่าความไม่แน่นอนขยาย (U) ที่จะมีเลขนัยสำคัญไม่เกิน 2 ตำแหน่ง โดยแสดงเป็นค่า $\pm$ และระดับความเชื่อมั่นที่พิจารณา ตามรูปแบบดังนี้ $\overline{Y} \pm U$ ที่ระดับความเชื่อมั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าของ $t_p(v)$ สำหรับค่า Degrees of freedom (v)
(อ้างอิงจาก NIST Technical Note 1297 หัวข้อ Appendix B ตาราง B.1)

Degrees of freedom (v)	Fraction p in percent					
	68.27	**90**	**95**	**95.45 (a)**	**99**	**99.73**
1	1.84	6.31	12.71	13.97	63.66	235.80
2	1.32	2.92	4.30	4.53	9.92	19.21
3	1.20	2.35	3.18	3.31	5.84	9.22
4	1.14	2.13	2.78	2.87	4.60	6.62
5	1.11	2.02	2.57	2.65	4.03	5.51
6	1.09	1.94	2.45	2.52	3.71	4.90
7	1.08	1.89	2.36	2.43	3.50	4.53
8	1.07	1.86	2.31	2.37	3.36	4.28
9	1.06	1.83	2.26	2.32	3.25	4.09
10	1.05	1.81	2.23	2.28	3.17	3.96
11	1.05	1.80	2.20	2.25	3.11	3.85
12	1.04	1.78	2.18	2.23	3.05	3.76
13	1.04	1.77	2.16	2.21	3.01	3.69
14	1.04	1.76	2.14	2.20	2.98	3.64
15	1.03	1.75	2.13	2.18	2.95	3.59
16	1.03	1.75	2.12	2.17	2.92	3.54
17	1.03	1.74	2.11	2.16	2.90	3.51
18	1.03	1.73	2.10	2.15	2.88	3.48
19	1.03	1.73	2.09	2.14	2.86	3.45
20	1.03	1.72	2.09	2.13	2.85	3.42
25	1.02	1.71	2.06	2.11	2.79	3.33
30	1.02	1.70	2.04	2.09	2.75	3.27
35	1.01	1.70	2.03	2.07	2.72	3.23
40	1.01	1.68	2.02	2.06	2.70	3.20
45	1.01	1.68	2.01	2.06	2.69	3.18
50	1.01	1.68	2.01	2.05	2.68	3.16
100	1.005	1.66	1.984	2.025	2.626	3.077
∞	1.000	1.645	1.960	2.000	2.576	3.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรายงานผลการวัด หรือการรายงานผลการประเมินความไม่แน่นอน จะต้องรายงานอย่างถูกต้อง ตรงตามจุดประสงค์ หากมีข้อตกลงกันก็สามารถรายงานผลอย่างง่ายได้ แต่ต้องมีการเก็บข้อมูลไว้เสมอ

1) รายงานผลทดสอบ และใบรับรองการสอบเทียบ (Test Reports and Calibration Certificates) องค์ประกอบของรายงานควรมีดังนี้
   - ชื่อ เช่น “รายงานผลการทดสอบ”
   - ชื่อ และที่อยู่ห้องปฏิบัติการ
   - เลขที่รายงาน
   - ชื่อ และที่อยู่ลูกค้า
   - วิธีทดสอบที่ใช้
   - รายละเอียดสภาพตัวอย่าง
   - วันเดือนปีที่รับตัวอย่าง และทำการทดสอบ
   - อ้างถึงแผนชักตัวอย่าง
   - ผลทดสอบ
   - ชื่อ หน้าที่ และลายมือชื่อผู้ออกรายงาน
   - ข้อความที่ระบุว่า รายงานนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่ทดสอบ

   รวมทั้ง ควรมีหมายเลขหน้า และจำนวนหน้า และมีข้อความ “รายงานต้องไม่ถูกทำสำเนาเพียงบางส่วน ยกเว้นทำสำเนาทั้งฉบับ โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ”
2) รายงานผลทดสอบ ถ้าต้องมีการตีความผลการทดสอบ (Interpretation of Results)
   - ข้อมูลการเบี่ยงเบนจากวิธีทดสอบ และภาวะในการทดสอบ
   - เป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่
   - ค่าความไม่แน่นอนของการวัด
   - ความคิดเห็น และการตีความผล (opinion and interpretation)
   - ข้อมูลเพิ่มเติมตามความต้องการของลูกค้าโดยวิธีการเฉพาะ

   ถ้ารายงานผลการวัดมีการสุ่มตัวอย่างด้วย ให้เพิ่มเติมดังนี้
   - วันที่สุ่มตัวอย่าง
   - ชี้บ่งตัวอย่างที่สุ่ม
   - สถานที่สุ่มตัวอย่าง และแผนผัง หรือภาพการสุ่มตัวอย่าง
   - อ้างอิงถึงแผนสุ่มตัวอย่าง และขั้นตอนดาเนินงาน
   - สภาวะแวดล้อมขณะสุ่มตัวอย่าง
   - ข้อกาหนดเฉพาะในการสุ่มตัวอย่าง

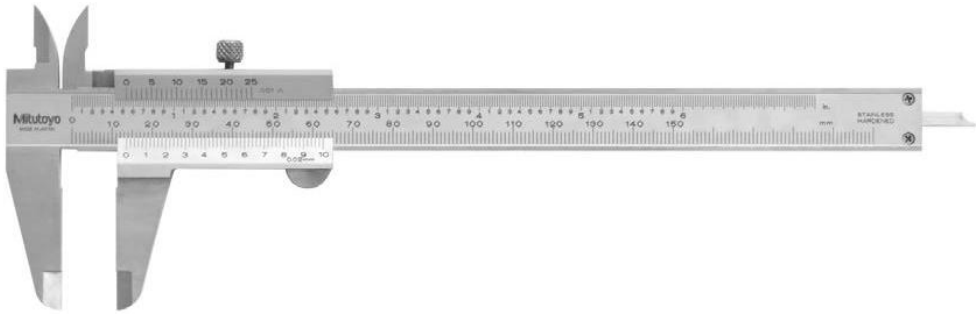
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ใบรับรองสอบเทียบ ให้เพิ่มเติมจาก 1) ดังนี้
   - สภาวะการสอบเทียบ เช่น สภาวะแวดล้อม
   - ค่าความไม่แน่นอนของการวัด
   - หลักฐานแสดงความสอบกลับได้
   - รายงานค่าที่วัดได้ และผลการวัด
   - ถ้าเครื่องมือมีการปรับเปลี่ยน หรือซ่อมบำรุง จะต้องแสดงผลทั้งก่อนและหลังปรับเปลี่ยน หรือซ่อมบำรุง
   - ใบรับรองการสอบเทียบ หรือฉลากสอบเทียบ จะต้องไม่ระบุช่วงเวลาสอบเทียบรอบต่อไป ยกเว้นจะมีการทำข้อตกลงกันกับลูกค้า
4) หากต้องมีการตีความผล หรือให้ความคิดเห็น ห้องปฏิบัติการจะต้องจัดทำเหตุผลพื้นฐานที่ใช้ในการให้ความคิดเห็นไว้เป็นเอกสาร ในใบรายงานผลจะต้องมีสัญลักษณ์บ่งบอกชัดเจนว่าเป็นความคิดเห็น
5) รูปแบบรายงานผลทดสอบ และใบรับรองผลสอบเทียบ ต้องออกแบบให้ไม่ทำให้เกิดความเข้าใจผิด หรือการนำไปใช้ในทางที่ผิด
6) การแก้ไขรายงานหลังจากที่ออกรายงานไปแล้ว การออกรายงานฉบับใหม่จะต้องอ้างอิงรายงานฉบับเดิมที่ยกเลิกไปแล้ว โดยในรายงานฉบับใหม่ต้องมีข้อความดังนี้ “รายงานเพิ่มเติมของรายงาน ฉบับที่....”

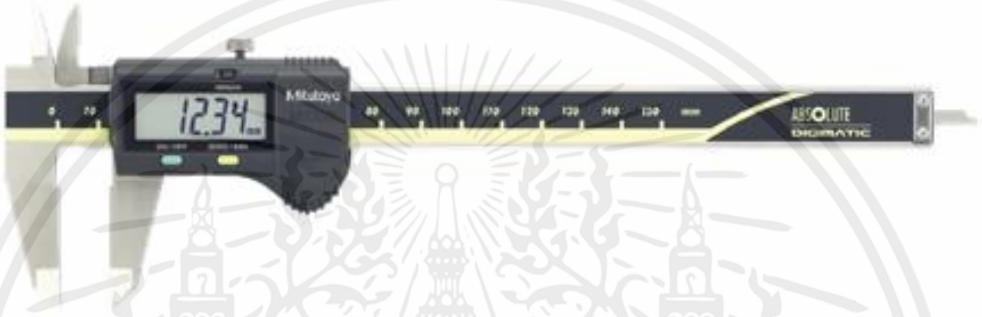
2.4 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (Vernier Caliper)

เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ เป็นคาลิเปอร์ชนิดที่ลักษณะเป็นก้ามปูที่ข้างหนึ่งติดไม้บรรทัดยาว และอีกข้างเป็นไม้บรรทัดอันเล็กที่เลื่อนได้ ไม้บรรทัดทั้งสองมีขีดวัดที่เยื้องกันตามที่กำหนด โดยมีสเกลจากไม้บรรทัดอันเล็กที่ช่วยให้อ่านค่าได้ละเอียดยิ่งขึ้น ทำให้สามารถใช้วัดได้ทั้งความยาว ความกว้าง หรือความลึกของชิ้นงาน ในปัจจุบันมีการใช้งานหลากหลายประเภท โดยบางประเภทอาจนำมาใช้กับงานวัดเฉพาะด้าน เช่น เวอร์เนียร์วัดลึก (Venier Depth Gauge) ใช้วัดความลึก โดยที่การวัดสเกลหลักจะเป็นตัวเคลื่อนที่ ส่วนสเกลเลื่อนจะอยู่กับที่ ทำให้อ่านค่าได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น เวอร์เนียร์ไฮเกจ (Vernier Height Gauge) ใช้วัดความสูง และขีดขนาดความสูงให้ได้ขนาดที่ถูกต้องแม่นยำ หรือเวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบดิจิทัล แสดงตามรูปที่ 2.5 จะแสดงค่าที่วัดได้ออกมาเป็นตัวเลขบนจอแสดงผล ซึ่งเมื่อเทียบกับเวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบธรรมดา แสดงตามรูปที่ 2.4 ที่ต้องใช้สายตาในการอ่าน จะถือว่ามีการใช้งานที่สะดวก และมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่ามาก สามารถอ่านค่าในหน่วยมิลลิเมตรได้ 2 ตำแหน่งหลังจุดทศนิยม ส่วนหน่วยนิ้ววัดได้ 4 ตำแหน่งหลังจุดทศนิยม โดยปกติแล้วมักจะระบุหน่วยการวัดในทั้งรูปของมาตราเมตริก และมาตราอังกฤษไว้ด้วยกัน โดยที่มาตราเมตริกใช้หน่วยการวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) และมาตราอังกฤษใช้หน่วยการวัดเป็นนิ้ว (Inch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบธรรมดา



รูปที่ 2.5 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์แบบดิจิทัล

2.4.1 ส่วนประกอบของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

ส่วนประกอบหลัก ๆ ของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ มี 4 ส่วน ได้แก่ ปากสำหรับวัด (อาจเรียกว่า ก้ามปู หรือเขี้ยววัด) ประกอบด้วย ปากวัดภายนอก และปากวัดภายใน, สเกลหลัก หรือไม้บรรทัดหลัก จะมีขีดบอกสเกลการวัดหลักที่อยู่บนด้ามของเวอร์เนียร์ ซึ่งมีทั้งระบบอิมพีเรียล และระบบเมตริก, สเกลเวอร์เนียร์ (สเกลเลื่อน หรือไม้บรรทัดรอง) ซึ่งจะยึดติดอยู่กับปากวัดภายนอก และปากวัดภายใน และก้านสำหรับวัดความลึก แสดงดังรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบหลักของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบโดยละเอียดของเวอร์เนียร์ แสดงดังรูปที่ 2.7

1) **ปากวัดภายนอก (Outside / External Jaws)**
ใช้วัดขนาดภายนอกของชิ้นงาน โดยการเลื่อนด้านที่แบนให้ประกบกับวัตถุที่ต้องการ เหมาะกับการใช้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ความยาว หรือความหนาของวัตถุ อาจจะนำไปใช้ในการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกตัน ความหนาของชิ้นงาน หรือความยาวของชิ้นงาน

2) **ปากวัดภายใน (inside / internal Jaws)**
ใช้วัดขนาดภายในของชิ้นงาน โดยจะวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของวัตถุ ด้านแบนจะหันออกด้านนอกให้ประกบกับวัตถุให้สามารถใช้วัดได้ง่าย อาจนำไปใช้ในการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของวงแหวน หรือทรงกระบอกกลวง

3) **ก้านวัดความลึก (Depth measuring blade / Depth Bar)**
มีลักษณะเป็นเหล็กเส้นแบนเล็กยื่นออกมาอยู่ที่ส่วนท้ายของสเกลหลัก ใช้สำหรับวัดขนาดความลึก เพื่อหาค่าความลึกของวัตถุ หรือส่วนที่อยู่ลึกบนวัตถุได้ โดยวิธีการการอ่านค่าใช้วิธีเดียวกับปากวัดภายนอก และปากวัดภายใน

4) **สเกลหลัก ระบบเมตริก (Main Scale : Metric Scale)**
สเกลหลักที่อยู่ด้านล่างนี้ จะแสดงค่าที่เป็นหน่วยระบบแบบเมตริก (มิลลิเมตร) ซึ่งแต่ละขีดบนระบบเมตริกจะมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

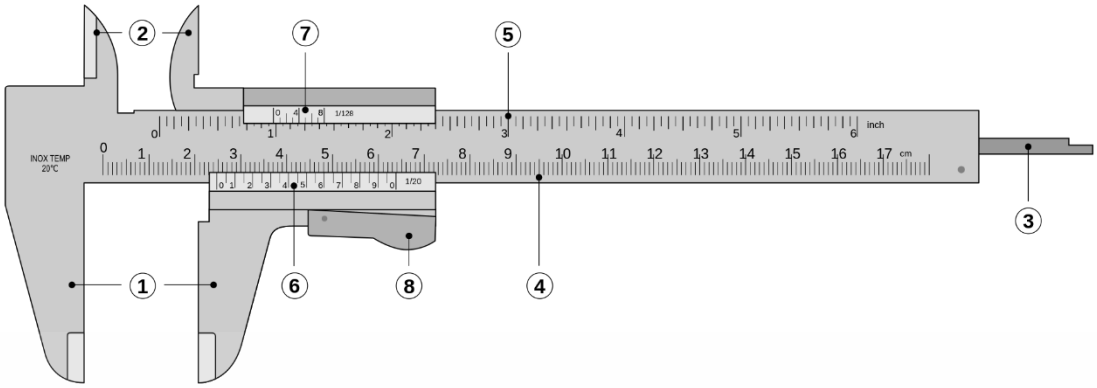
5) **สเกลหลัก ระบบอังกฤษ (Main Scale : Imperial Scale)**
สเกลหลักที่อยู่ด้านบน จะแสดงค่าที่เป็นหน่วยระบบอิมพีเรียล (นิ้ว) ซึ่งแต่ละขีดบนระบบอิมพีเรียลจะมีหน่วยเป็นนิ้ว

6) **สเกลเวอร์เนียร์ ระบบเมตริก (Vernier Scale : Metric Scale)**
สเกลเวอร์เนียร์ หรือสเกลเลื่อน จะแสดงค่าที่เป็นหน่วยระบบแบบเมตริก (มม.) เป็นค่าที่บอกเป็นหลักทศนิยม โดยจะทำการอ่านค่านี้หลังจากอ่านค่าบนสเกลหลัก

7) **สเกลเวอร์เนียร์ ระบบอังกฤษ (Vernier Scale : Imperial Scale)**
สเกลเวอร์เนียร์ หรือสเกลเลื่อน จะแสดงค่าที่เป็นหน่วยระบบอิมพีเรียล (นิ้ว) เป็นค่าที่บอกเป็นหลักทศนิยม โดยจะทำการอ่านค่านี้หลังจากอ่านค่าบนสเกลหลัก

8) **สลักยึด (Locking screw / Clamp screw)**
ใช้สำหรับล็อคตำแหน่งของปากวัดให้คงที่ไม่ให้ไหลไปจากสเกลที่วัดไว้ จะทำให้สเกลเวอร์เนียร์ไม่ขยับขณะที่กำลังอ่านค่าวัดอยู่ โดยจะทำการกดสลักยึดจนกระทั่งขยับเวอร์เนียร์ไม่ได้ แล้วจึงยกออกมาอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงส่วนประกอบโดยละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

2.4.2 การเตรียมเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

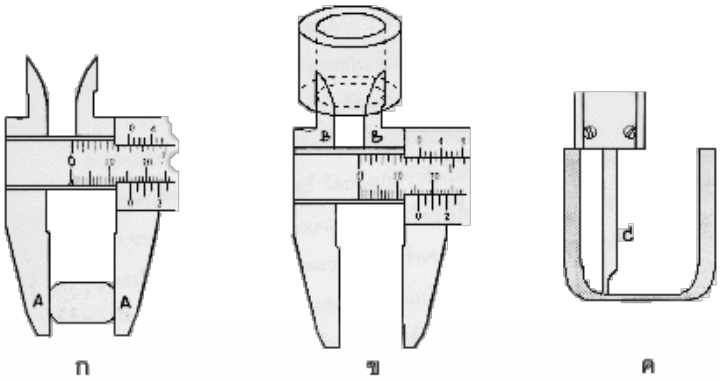
ขั้นตอนการเตรียมเวอร์เนียร์ก่อนที่จะนำมาทำการสอบเทียบมีดังนี้

1) ใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาดทุกชิ้นส่วนของเวอร์เนียร์ก่อนใช้งาน
2) คลายล็อคสกรู แล้วทดลองเลื่อนเวอร์เนียสเกลไปมาอย่างช้า ๆ เพื่อตรวจสอบดูว่าสามารถใช้งานได้คล่องตัวหรือไม่
3) ตรวจสอบปากวัดของเวอร์เนียร์ ทำได้โดยการเลื่อนสเกลเวอร์เนียร์ให้ปากวัดนอกเลื่อนชิดติดกัน จากนั้นยกเวอร์เนียร์ขึ้นส่องดูว่า บริเวณปากวัดมีแสงสว่างผ่านหรือไม่ ถ้าไม่มีแสดงว่าสามารถใช้งานได้ดี แต่ถ้ามีแสงสว่างลอดผ่านได้ แสดงว่าปากวัดชำรุด ไม่ควรนำมาใช้งาน

2.4.3 การใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดขนาด

ในการใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดของชิ้นงาน จะต้องให้ชิ้นงานที่ถูกวัด รวมทั้งเวอร์เนียร์อยู่นิ่งไม่สั่นไหว หรือเอนไปมา โดยสามารถแบ่งการวัดของเวอร์เนียร์ได้เป็น 3 ลักษณะ ดังรูปที่ 2.8 โดยรูปที่ 2.8 (ก) เป็นการใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดภายนอก โดยใช้ปากวัด A (ปากวัดนอก) ทำการกางปากวัดออกจากกัน แล้วค่อย ๆ บีบปากวัดให้เลื่อนเข้า จนปากวัดทั้งคู่สัมผัสกับผิวงาน จากนั้นลงสลักยึดเพื่อล็อคไม่ให้ปากวัดเคลื่อนที่ แล้วจึงยกเวอร์เนียร์ออกมาอ่านค่า ส่วนรูปที่ 2.8 (ข) เป็นการใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดภายใน โดยใช้ปากวัด B (ปากวัดใน) ทำการวัดโดยบีบให้ปากวัดในให้แคบกว่าความกว้างของรูในของชิ้นงานเล็กน้อย แล้วจึงค่อย ๆ เลื่อนปากวัดให้ออกจากกันจนปากวัดสัมผัสกับผิวงาน โดยให้ปากวัดในอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงาน จากนั้นลงสลักยึดเพื่อล็อคไม่ให้ปากวัดเคลื่อนที่ แล้วจึงยกเวอร์เนียร์ออกมาอ่านค่า และรูปที่ 2.8 (ค) เป็นการใช้เวอร์เนียร์วัดความลึกของชิ้นงาน โดยใช้แกน C (ก้านวัดความลึก) ทำการวัด โดยให้ปลายของก้านวัดลึกอยู่เหนือผิวงานเล็กน้อย แล้วจึงค่อย ๆ เลื่อนก้านวัดลงไปจนปลายของก้านวัดสัมผัสผิวงาน จากนั้นลงสลักยึด แล้วจึงยกเวอร์เนียร์ออกมาอ่านค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดวัตถุในลักษณะต่าง ๆ
(ก) การใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดภายนอก
(ข) การใช้เวอร์เนียร์วัดขนาดภายใน
(ค) การใช้เวอร์เนียร์วัดความลึก

2.4.4 วิธีอ่านค่าของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

ก่อนที่ใช้งานเวอร์เนียร์ ต้องมีการตรวจสอบดูว่าเวอร์เนียร์มีค่า least count เท่าใด ค่า least count คือ ค่าความละเอียดที่น้อยสุดที่เวอร์เนียร์สามารถวัดได้ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามรุ่นและขนาดของเวอร์เนียร์ โดยปกติแล้ว ค่า least count มักจะพิมพ์ติดอยู่ที่สเกลเวอร์เนียร์ ถ้าเวอร์เนียร์อันใดไม่มีค่า least count จะต้องทำการหาค่าก่อนที่จะเริ่มทำการวัดเสมอ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14 ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้ s = 1 มม., n = 50 ช่อง จะได้ค่า least count เท่ากับ 0.02 มม. แล้วจึงเริ่มการใช้งานเวอร์เนียร์

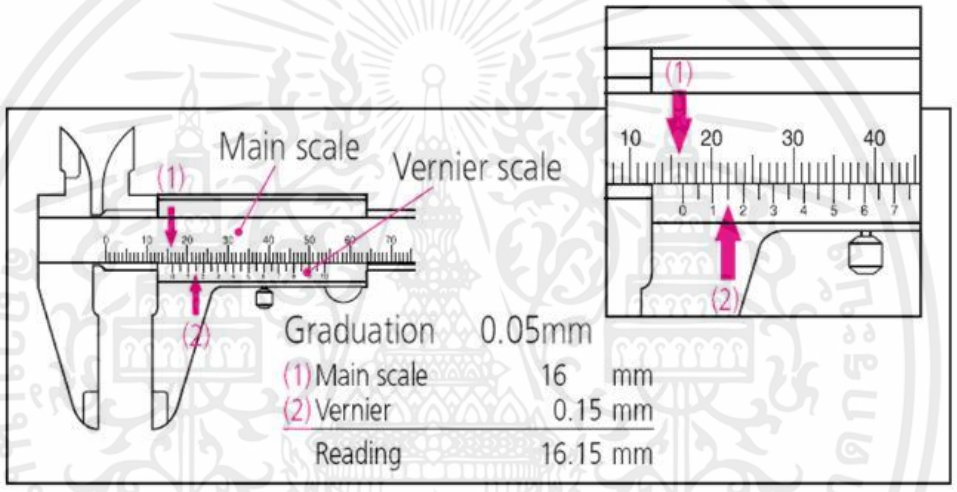
$$\text{Least count} = \frac{s}{n} \tag{2.14}$$

เมื่อ s = 1 ช่องที่เล็กที่สุดบนสเกลหลัก
n = จำนวนช่องทั้งหมดบนสเกลเวอร์เนียร์

การอ่านค่าเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เริ่มจากอ่านค่าบนสเกลหลัก สังเกตว่าขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์อยู่ตรงกับสเกลหลักที่ตำแหน่งใด บันทึกค่าที่อ่านได้จากสเกลหลักในหน่วยมิลลิเมตร (หรือหน่วยนิ้ว) หลังจากนั้นจึงค่อยอ่านค่าบนสเกลเวอร์เนียร์ โดยสังเกตว่าขีดบนสเกลเวอร์เนียร์เส้นใดที่ตรงกับขีดที่อยู่บนสเกลหลัก แล้วนำค่านี้ไปคูณกับค่า least count ของเวอร์เนียร์ โดยผลคูณที่ได้จะเป็นค่าที่อ่านได้จากสเกลเวอร์เนียร์ หรือค่าเศษของมิลลิเมตร ซึ่งจะเป็นค่าที่บอกทศนิยมตัวท้ายสุด และผลการวัดที่ได้จากการอ่านค่าของเวอร์เนียร์ คือ ผลรวมของค่าที่ได้จากการอ่านค่าบนสเกลหลัก และการอ่านค่าบนสเกลเวอร์เนียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการอ่านค่าของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แสดงดังรูปที่ 2.9 เป็นการแสดงวิธีการอ่านค่าของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีความละเอียด 0.05 มม. โดยจะอ่านค่าที่สเกลหลักก่อน สังเกตที่ตำแหน่งขีดศูนย์ด้านล่างของสเกลเวอร์เนียร์ว่าตรงกับช่วงไหนของขีดสเกลหลักทางด้านบน จากรูป จะตรงกันในช่วงขีดที่ 16 มม. ถึง 17 มม. ดังนั้น อ่านค่าที่สเกลหลักได้ 16.00 มม. จากนั้นอ่านค่าที่สเกลเวอร์เนียร์ สังเกตที่ตำแหน่งขีดด้านล่างของสเกลเวอร์เนียร์ว่ามีขีดใดที่ตรงกับขีดสเกลหลักทางด้านบนมากที่สุด จากรูป จะเป็นขีดด้านล่างของสเกลเวอร์เนียร์ขีดที่ 3 จากนั้นนำไปคูณกับค่า least count คือ สเกลขีดที่ 3 x ความละเอียด 0.05 มม. เท่ากับ 0.15 มม. และสุดท้ายนำผลการวัดที่อ่านได้จากสเกลหลัก บวกกับผลการวัดที่อ่านได้จากสเกลเวอร์เนียร์คือ 16.00 มม. + 0.15 มม. จะได้ว่า ผลการวัดที่ได้จากการอ่านค่าของเวอร์เนียร์นี้ มีค่าเท่ากับ 16.15 มม.



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการอ่านค่าเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีความละเอียด 0.05 มม.

2.4.5 ค่าความคลาดเคลื่อน

การหาค่าความคลาดเคลื่อนของเวอร์เนียร์ ทำได้โดยการอ่านค่าจากสเกลที่ใช้จริง โดยเลื่อนรางวัดให้ชิดกัน แล้วตรวจสอบว่าสเกลหลัก และสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับศูนย์หรือไม่ ถ้าอ่านได้ค่าอื่นที่ไม่ใช่ค่าศูนย์ เช่น อ่านค่าได้ 0.10 มม. ค่าความคลาดเคลื่อนจากศูนย์จะเป็น + 0.10 ให้ใช้สมการคำนวณค่าคลาดเคลื่อน ตามสมการที่ 2.15

$$\boldsymbol{T = M + V - E} \tag{2.15}$$

เมื่อ $\boldsymbol{T}$ = ค่าที่อ่านได้จริง

$\boldsymbol{M}$ = สเกลหลัก

$\boldsymbol{V}$ = สเกลเวอร์เนียร์

$\boldsymbol{E}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนจากศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ข้อควรระวังในการใช้งาน

ในการใช้งานเวอร์เนียร์มีข้อควรระวังในการใช้งานดังนี้

1) ทำความสะอาด และลบคมชิ้นงานก่อนทำการวัดทุกครั้ง
2) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของปากวัดก่อนการใช้งาน
3) เมื่อต้องการเปลี่ยนจุดวัดขนาดชิ้นงาน อย่าลากปากวัดไปบนชิ้นงาน เพราะจะทำให้ปากวัดเกิดการสึกได้
4) ทำการวัดขนาดของชิ้นงานให้เวอร์เนียร์อยู่ในตำแหน่งที่ตรง และถูกต้องที่สุด
5) ห้ามวัดชิ้นงานขณะที่ชิ้นงานกำลังหมุน หรือชิ้นงานยังมีการเคลื่อนที่อยู่
6) ห้ามวัดชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานมีอุณหภูมิที่ร้อน หรือเย็นจัด
7) อย่าใช้เวอร์เนียร์เป็นเหล็กขีด หรือวงเวียน
8) ระมัดระวังอย่าให้เวอร์เนียร์ตกกระแทก หรือมีรอยบุบสลาย

2.4.7 การเก็บรักษา

ในการใช้งานเวอร์เนียร์มีข้อควรระวังในการใช้งานดังนี้

1) ทำความสะอาด และทาน้ำมันกันสนิมทุกครั้งหลังจากเลิกใช้งาน
2) แยกเก็บเวอร์เนียร์ไว้ต่างหาก ห้ามวางปนกับเครื่องมือมีคม ควรเก็บเวอร์เนียร์ไว้บนผ้า ฟองน้ำ หรือกล่องเฉพาะ
3) ควรวางแยกจากเครื่องมืออื่น โดยจะต้องมีบริเวณเฉพาะสำหรับวางเวอร์เนียร์ ควรวางบนผ้า หรือแผ่นไม้ ห้ามวางไว้บนเครื่องมือที่มีคม
4) อย่าเก็บเวอร์เนียร์ในที่ร้อนจัด หรือเย็นจัดเกินไป
5) ไม่ควรนำเวอร์เนียร์ใส่กระเป๋าหลังของกางเกง อาจทำให้คองอได้
6) อย่าให้เวอร์เนียร์ตกกระแทกพื้นจะทำให้ค่าที่วัดผิดพลาด
7) ในหนึ่งสัปดาห์ควรชโลมน้ำมันอย่างน้อย 1 ครั้ง
8) ถ้าปากวัดนอก หรือในเกิดรอยบิ่นให้ทำการขัดด้วนหินน้ำมันละเอียด

2.5 ไมโครมิเตอร์วัดนอก (Outside Micrometer)

ไมโครมิเตอร์แบ่งออกเป็นประเภทหลัก ๆ ได้ 3 ประเภท ได้แก่ ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก (Outside micrometer) จะเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด ใช้วัดความกว้าง ความหนา หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุ เช่น เส้นลวด หรือทรงกลม, ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายใน (Inside Micrometer) ใช้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเปิดและท่อ และไมโครมิเตอร์ชนิดวัดความลึก (Depth Micrometer) ใช้วัดความลึกของช่องเปิด นอกจากนี้ ไมโครมิเตอร์ยังมีอีกหลายประเภทให้เลือกใช้ตามวัตถุประสงค์ เช่น หากอยากทราบความหนาของแผ่นเหล็ก ก็เลือกใช้ไมโครมิเตอร์เหล็กกล้ารูปตัว U (U Shape Steel Plate Micrometer) หากอยากวัดร่องของเพลาสลัก ก็เลือกใช้ไมโครมิเตอร์แบบสลัก (Spline Micrometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากอยากวัดความยาวหน้าสัมผัสของฟันเกียร์ ก็เลือกใช้ไมโครมิเตอร์แบบจาน (Disk Micrometer) หากอยากวัดเส้นผ่าศูนย์กลางร่องของเพลา ก็เลือกใช้ไมโครมิเตอร์แบบใบมีด (Blade Micrometer) หากอยากวัดความหนาของแท่นเจาะ ก็เลือกใช้ไมโครมิเตอร์หัวแหลม (Point Micrometer) และหากอยากวัดความหนาของผนังท่อ ก็เลือกใช้ไมโครมิเตอร์หน้าวัดทรงกลม (Spherical face Micrometer) เป็นต้น

ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอกเพียงประเภทเดียว และบางหัวข้อย่อยจะกล่าวถึงเฉพาะไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกเท่านั้น โดยที่ ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอกนั้นจะอาศัยหลักการทำงานของเกลียวที่จะทำให้เกิดค่าระยะพิตช์ (Pitch) เมื่อทำการหมุนเกลียวไป 1 รอบ ก็จะได้ระยะพิตช์เท่ากับ 1 (1 พิตช์) ซึ่งระยะพิตช์นี่เองที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่ของเกลียว 1 ช่อง กับสเกลหลักบรรทัดเหล็ก เช่น ถ้าแบ่งระยะบรรทัดเหล็กออกเป็น 20 ส่วน แล้วหมุนเกลียว 1 ช่อง ผ่านบรรทัดเหล็ก จะได้ระยะ 1 / 20 ของระยะพิตช์

รูปที่ 2.10 ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก

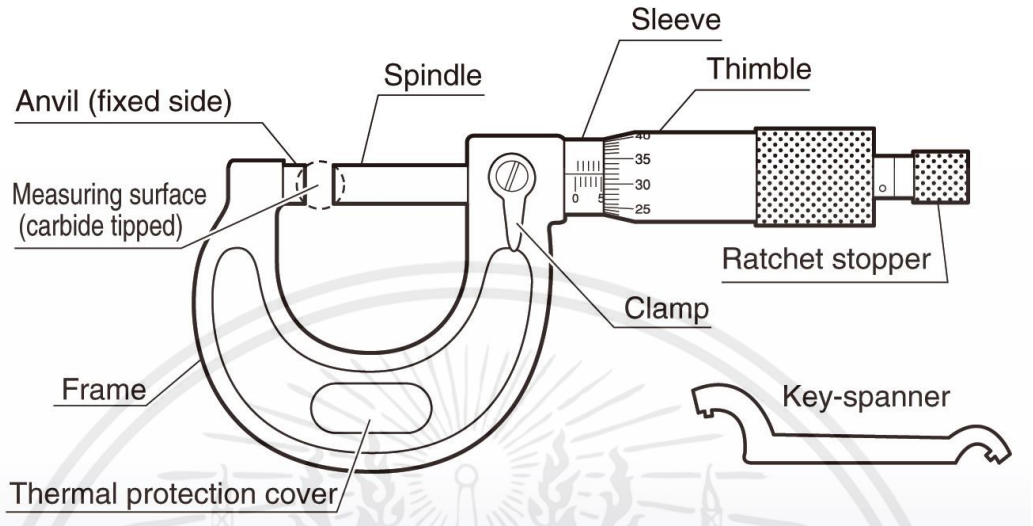
รูปที่ 2.11 ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายใน

รูปที่ 2.12 ไมโครมิเตอร์ชนิดวัดความลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์วัดนอก

ส่วนประกอบหลัก ๆ ของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบหลักของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก

ส่วนประกอบโดยละเอียดของไมโครมิเตอร์วัดนอก แสดงดังรูปที่ 2.14

1) **แกนรับ (Anvil)**
   หรือปากอยู่กับที่ ทำหน้าที่รองรับการวัดที่ผิวสัมผัสของแกนรับ จะชุบผิวแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอ
2) **แกนวัด (Spindle)**
   แกนวัด หรือปากเคลื่อนที่ ทำหน้าที่เลื่อนสัมผัสวัดขนาดของชิ้นงาน ขนาดของแกนวัดจะเท่ากับแกนรับ ผิวสัมผัสจะชุบผิวแข็งเหมือนกับแกนรับ
3) **ปลอกหมุนกระทบเลื่อน / ปลอกหมุนละเอียด (Ratchet stop / Friction Stop)**
   ทำหน้าที่สำหรับหมุนผ่อนแรงขณะที่แกนวัดสัมผัสกับชิ้นงาน เพื่อไม่ให้ไมโครมิเตอร์มีการบีบชิ้นงานจนแน่นเกินไป เป็นการป้องกันแกนวัดเพื่อให้ได้ค่าวัดที่ถูกต้อง
4) **เกลียว**
   เป็นส่วนเดียวกับแกนวัด มีระยะพิตช์ 0.5 มม.
5) **ปลอกหมุนวัด (Thimble)**
   ใช้หมุนเลื่อนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เพื่อให้ปลายของแกนวัดสัมผัสกับชิ้นงานให้ได้มากที่สุด ที่บริเวณส่วนปลายจะมีลักษณะเป็นปลอกพิมพ์ลายเพื่อให้สามารถใช้มือจับได้อย่างสะดวก
6) **กลไกล็อคแกนวัด (Lock nut / Clamp)**
   ใช้ล็อคหรือบีบแกนวัดไม่ให้เคลื่อนที่ และคลายเมื่อต้องการให้แกนวัดเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) **ก้านสเกล (Sleeve)**

ใช้เป็นตัวยึดเกลียว และบอกค่าสเกลหลัก มีลักษณะเป็นปลอกทรงกระบอกสวมติดกับโครงสร้าง สามารถปรับให้ขยับไปมาได้ มีขีดสเกลแบ่งตามแนวยาว มีเส้นกลางขีดอยู่ตรงกลาง ตำแหน่งของสเกลหลักจะไม่ตายตัว อาจอยู่ด้านบน หรืออยู่ด้านล่างเส้นกลางขึ้นอยู่กับผู้ผลิต โดยสังเกตที่เลข 0 หากเลข 0 อยู่ฝั่งไหน จะถือได้ว่าฝั่งนั้นเป็นสเกลหลัก

8) **สเกลหมุน (Thimble Scale)**

สเกลหมุนอยู่บนปลอกหมุนวัด โดยแสดงความละเอียดในหลักทศนิยม ซึ่งจะบอกค่าความละเอียดขีดละ 0.01 มม.

9) **โครง (Frame)**

เป็นตัวรองรับส่วนประกอบต่าง ๆ ของไมโครมิเตอร์ สามารถมีได้หลายขนาด

10) **แผ่นฉนวน (Insulating plate / Thermal protection cover)**

เป็นฝาครอบป้องกันอุณหภูมิ อาจมียี่ห้อ และขนาดวัดติดอยู่ (ขนาดวัด คือ ตัวเลขที่บอกขนาดของไมโครมิเตอร์แต่ละเครื่อง เช่น 0-25 มม. 0.01 มม. หมายถึง ไมโครมิเตอร์นี้สามารถวัดขนาดได้ตั้งแต่ 0-25 มม. และมีค่าความละเอียด 0.01 มม.)

11) **แหวนเกลียว**

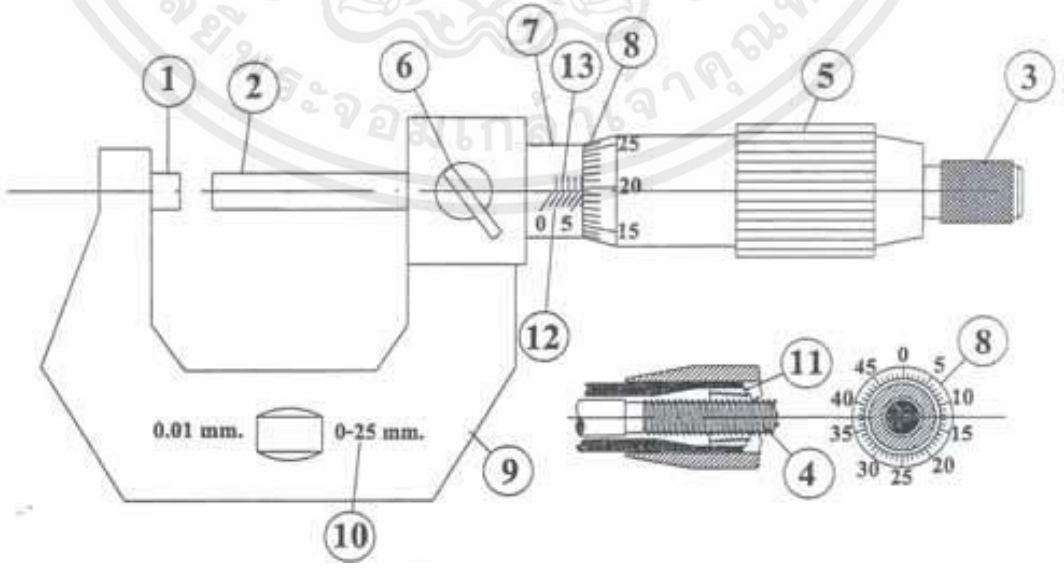
ใช้ปรับความฝืดของปลอกหมุนวัด

12) **สเกลหลัก (Main Scale / Sleeve Scale)**

สเกลหลักอยู่บนก้านสเกล บอกค่าความละเอียดขีดละ 1 มม.

13) **ขีดสเกล 0.5 มม.**

สำหรับบอกค่าความละเอียดขีดละ 0.5 มม. โดยมองประกอบกับขีดสเกลหลัก



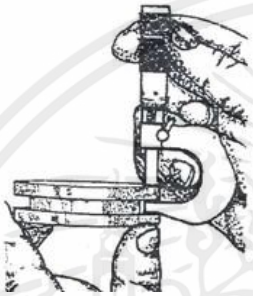
รูปที่ 2.14 แสดงส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การใช้ไมโครมิเตอร์วัดนอกวัดขนาด

วิธีการใช้ไมโครมิเตอร์วัดขนาดของชิ้นงานสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1) เมื่อชิ้นงาน และไมโครมิเตอร์มีขนาดเล็ก สามารถใช้มือจับได้ ให้ใช้มือซ้ายจับชิ้นงาน มือขวาจับไมโครมิเตอร์ โดยใช้นิ้วหัวแม่มือ และนิ้วชี้หมุนปลอกหมุนวัด ดังรูปที่ 2.15
2) เมื่อชิ้นงานอยู่กับที่ ให้ใช้มือซ้ายจับโครง มือขวาหมุนปลอกหมุนวัด ดังรูปที่ 2.16
3) เมื่อยึดไมโครมิเตอร์ด้วยขาตั้ง ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับงานวัดละเอียด เพื่อให้ได้ค่าวัดที่แม่นยำ ให้ใช้มือซ้ายจับชิ้นงาน มือขวาหมุนปลอกหมุนวัด ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.15 การวัดชิ้นงานขนาดเล็กใช้มือจับได้

รูปที่ 2.16 การวัดชิ้นงานที่อยู่กับที่

รูปที่ 2.17 การวัดชิ้นงานโดยยึดไมโครมิเตอร์ด้วยขาตั้ง

2.5.3 การเตรียมไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

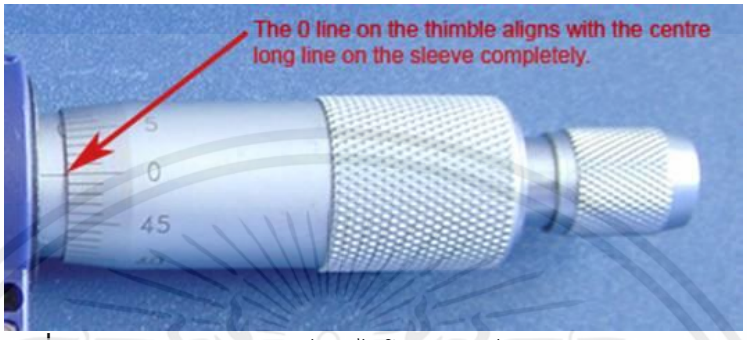
ขั้นตอนการเตรียมไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกก่อนทำการวัด มีขั้นตอนดังนี้

1) เช็ดทำความสะอาดพื้นผิวของชิ้นงานที่จะทำการวัด, ไมโครมิเตอร์, แกนรับ และแกนวัดด้วยผ้าสะอาด (หรือเช็ดด้วยน้ำมันทำความสะอาด)
2) ค่อย ๆ เลื่อนไมโครมิเตอร์ให้ปิดสนิท โดยให้แกนรับ และแกนวัดสัมผัสกัน
3) สอบจุดศูนย์ โดยหมุนปลอกหมุนวัดให้เส้น 0 ตรงกับเส้นยาวตรงกลางของก้านสเกล ดังรูปที่ 2.18 หากใช้ไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกขนาด 25 - 50 มม., ขนาด 50 - 75 มม. หรือใช้ไมโครมิเตอร์ที่มีช่วงใหญ่กว่านี้ จำเป็นต้องใช้เกจบล็อกเพื่อปรับเทียบก่อนทำการวัด เช่น จากรูปที่ 2.19 เป็นการใช้เกจบล็อกขนาด 25 มม. เพื่อปรับเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกขนาด 25 - 50 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) กดปุ่ม ON / OFF ของไมโครมิเตอร์ ถ้าบนหน้าจอแสดงค่า 0 แสดงว่าสามารถเริ่มต้นการวัดได้ แต่ถ้าหากไม่ได้แสดงค่า 0 ให้ปรับปลอกหมุนกระทบเลื่อน และปลอกหมุนวัดจนกว่าจะแสดงค่า 0

5) กดปุ่ม มม. / นิ้ว ของไมโครมิเตอร์ เลือกระบบหน่วยวัดตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.18 การสอบจุดศูนย์ของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

รูปที่ 2.19 การใช้เกจบล็อกขนาด 25 มม. เพื่อปรับเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

2.5.4 วิธีอ่านค่าของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

ในการใช้ไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกวัดค่า ตลอดเวลาที่ทำการวัด ควรเลี่ยงไม่ให้มือสัมผัสพื้นผิวของแกนรับ และแกนวัด เพราะความร้อนที่มือจะทำให้ค่าการวัดที่ได้ไม่ถูกต้อง จำเป็นจะต้องทำให้ผิวส่วนนี้แห้ง และสะอาดอยู่ตลอดเวลา โดยปกติแล้วจะอ่านค่าจากหน้าจอแสดงผลเป็นหลัก เนื่องจากการอ่านแบบดิจิทัลมีความถูกต้องแม่นยำสูง การอ่านแบบอนาล็อกจึงเป็นเพียงการอ่านเพื่อใช้ในการอ้างอิงเท่านั้น

วิธีอ่านค่าโดยตรงจากจอแสดงผล มีขั้นตอนดังนี้

1) หมุนปลอกหมุนกระทบเลื่อนทวนเข็มนาฬิกา เพื่อให้แกนรับ และแกนวัดแยกออกจากกัน

2) วางชิ้นงานที่ต้องการวัดไว้ระหว่างแกนรับ และแกนวัด โดยให้ไมโครมิเตอร์ตั้งฉากกับพื้นผิวที่กำลังทำการวัด

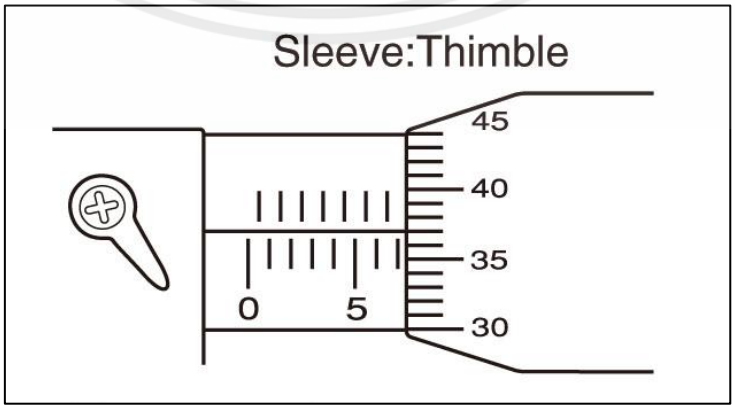
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) หมุนปลอกหมุนกระทบเลื่อนเรื่อย ๆ จนกว่าแกนวัดจะสัมผัสกับชิ้นงานที่ต้องการวัด อย่าหมุนให้แน่นเกินไป ให้แกนรับ และแกนวัดสัมผัสกับชิ้นงานพอดีแค่นั้นก็เพียงพอ โดยจะสามารถหมุนปลอกหมุนกระทบเลื่อนได้อีกประมาณสามรอบเล็ก ๆ เมื่อแกนวัดสัมผัสกับชิ้นงาน

รูปที่ 2.20 การอ่านค่าของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกโดยตรงจากจอแสดงผล

สำหรับวิธีอ่านค่าแบบอนาล็อก โดยการอ่านที่ก้านสเกล และปลอกหมุนวัด มีขั้นตอนดังนี้

1) อ่านค่าจากจุดที่ปลอกหมุนวัดหยุดอยู่ตรงกันกับเส้นหลักที่ก้านสเกล สังเกตเลข 0 ที่ก้านสเกลว่าอยู่ด้านบน หรือด้านล่างเส้นหลัก จากนั้นจึงอ่านค่าจากสเกลหลัก ซึ่งมีค่าความละเอียดขีดละ 1 มม. ตัวอย่างการอ่านค่าแสดงดังรูปที่ 2.21 สังเกตเลข 0 อยู่ด้านล่าง แสดงว่าสเกลหลักอยู่ด้านล่าง ดังนั้นจึงสามารถอ่านค่าได้ 7 มม.
2) อ่านค่าในหลักทศนิยมที่สเกลหมุนบนปลอกหมุนวัด จากรูปที่ 2.21 สามารถอ่านค่าได้ 0.37 มม.
3) รวมผลการวัดที่ได้จากข้อ 1 และ 2 จากรูปที่ 2.21 นำค่า 7 มม. และ 0.37 มม. มารวมกัน จะได้ 7.37 มม. ดังนั้น ค่าที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 7.37 มม.



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างการอ่านค่าของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกแบบอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 ข้อควรระวังในการใช้งาน

1) ควรตรวจสอบความเที่ยงตรงของไมโครมิเตอร์ก่อนใช้งาน
2) งานกลมทรงกระบอกกลม ผิวงานกลม ไม่สามารถบังคับผิวสัมผัสของแกนรับ และแกนวัดให้ตั้งฉากกับผิวของชิ้นงานได้ จึงจำเป็นต้องปรับแนวแกนของไมโครมิเตอร์เพื่อให้ได้ค่าวัดที่ถูกต้อง
3) เมื่อต้องการให้แกนวัดเลื่อนเข้าออกอย่างรวดเร็วให้เลื่อนกับฝ่ามือ
4) ไมโครมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงสูง ไม่ควรทำให้ตกลงพื้น
5) ในการวัดทุกครั้ง ก่อนที่แกนวัดจะสัมผัสชิ้นงาน ควรหมุนหัวหมุนกระทบเลื่อนช้า ๆ และควรใช้ปลอกหมุนกระทบเลื่อนวัดชิ้นงานแทนปลอกหมุนวัดทุกครั้ง เพราะการหมุนปลอกวัดอาจทำให้ผิวของชิ้นงานยุบได้ ทำให้ค่าวัดที่ได้ไม่ตรงความเป็นจริง
6) ในการอ่านตัวเลขบนสเกล จะต้องถือไมโครมิเตอร์ให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวสายตาทางด้านหน้า เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนในการอ่าน
7) ขณะทำการวัดจะต้องให้แนวแกนของไมโครมิเตอร์ อยู่ในแนวเดียวกับแนวแกนวัด ไม่เช่นนั้นค่าวัดที่ได้จะมีค่ามากกว่าขนาดจริงของชิ้นงาน
8) ขณะทำการวัดไม่ควรเลื่อนไมโครมิเตอร์ไปมา เพราะจะทำให้แกนวัดสึกได้
9) เมื่อทำการวัด ควรอ่านค่าชิ้นงานทันที ไม่ควรยกไมโครมิเตอร์ออกจากชิ้นงานเพื่ออ่านค่า เพราะจะทำให้ค่าที่อ่านได้จากการวัดผิดพลาด
10) ไม่ควรใช้ไมโครมิเตอร์วัดชิ้นงานผิวดิบ หรือหยาบเกินไป ควรใช้วัดชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว และควรมีผิวเรียบ
11) ห้ามวัดชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานกำลังหมุน หรือเคลื่อนที่
12) ห้ามวัดชิ้นงานในขณะที่ชิ้นงานมีอุณหภูมิที่ร้อน หรือเย็นจัด
13) ห้ามใช้แรงดันไฟฟ้าบนส่วนใดส่วนหนึ่งของไมโครมิเตอร์ เพื่อไม่ให้วงจรเสียหาย

2.5.7 การเก็บรักษา

1) หลังการใช้งานทุกครั้งควรปิดเครื่องให้เรียบร้อยเพื่อยืดอายุการใช้งาน หากไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานานควรถอดแบตเตอรี่ออก เก็บไว้ในที่แห้ง
2) ทำความสะอาดพื้นผิวของไมโครมิเตอร์ รวมถึงผิวแกนรับ และแกนวัดทุกครั้ง ด้วยผ้า (หรือน้ำมันทำความสะอาด) เก็บไว้ในที่แห้ง หลีกเลี่ยงการเจอแสงแดด หากเก็บไว้เป็นเวลานานควรใช้วาสลินทาแกนวัดทั้งสองด้าน
3) ควรมีการตรวจสอบผิวสัมผัสของแกนรับ และแกนวัดอยู่เสมอ ไม่ให้ฝืด หรือหลวมเกินไป รวามทั้งไม่ควรปล่อยให้ไมโครมิเตอร์สกปรก ขาดการหล่อลื่น
4) ไม่ควรเก็บ หรือวางไมโครมิเตอร์รวมกับเครื่องมืออื่น ๆ ควรเก็บในกล่องไม้ หรือบนผ้านุ่ม และแยกออกจากเครื่องมือมีคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เกจบล็อก (Gauge Block)

เกจบล็อก (Gauge Block) เป็นเครื่องมือวัดที่ถูกใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดอื่น ๆ เนื่องจากตัวเกจบล็อกแต่ละชิ้นถูกสร้างให้มีขนาดคงที่ มีความเที่ยงตรงสูง สามารถนำเกจบล็อกไปใช้ทดสอบเครื่องมือวัดในการวัดขนาดงาน ใช้วัดเปรียบเทียบ หรือใช้เพื่อการสอบเทียบก็ได้ สำหรับการวัดในสายการผลิต สามารถทำได้ทั้งการวัดโดยตรง โดยอ่านจากเครื่องมือวัด หรือการวัดทางอ้อม โดยการนำเกจบล็อกมายืนยันได้ว่าค่าที่เครื่องวัดนั้นอ่านได้ถูกต้อง

เกจบล็อกมีลักษณะเป็นแท่ง มีทั้งรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปทรงกระบอก นิยมทำจากเหล็กแข็ง แต่ปัจจุบันเกจบล็อกที่ให้ค่าความเที่ยงตรงสูงทำมาจากเซรามิกที่มีคุณสมบัติพิเศษที่ทนต่อการสึกหรอน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กแข็ง เรียกว่า “Cera Block” นอกจากนี้ผิวของเกจบล็อกจะมีความเรียบเป็นมันเงา มีขนาดให้เลือกใช้เป็นชุด ๆ ในชุดหนึ่งก็มีขนาดให้เลือกหลายชิ้น เช่น เกจบล็อก 1 ชุด 112 ชิ้น หรือเกจบล็อกชุด 103 ชิ้น เป็นต้น การใช้งานเกจบล็อกจะเป็นการใช้วัดผิวด้านหน้าที่มีลักษณะราบ และขนานกัน เกจบล็อกจะไม่มีค่าบวก - ลบ ที่เอาไว้วัดขนาดของชิ้นงาน มีแต่ค่าจริงหลังจากการวัด หรือการสอบเทียบที่ถูกใช้เป็นค่ามาตรฐานอ้างอิง (สามารถดูได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบ)

รูปที่ 2.22 รูปเกจบล็อกขนาดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 มาตรฐานของเกจบล็อก

เกจบล็อกจะแบ่งเป็นเกรด หรือ Class ได้หลายระดับ ตามค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความระนาบที่ผิวหน้าของเกจบล็อก เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยเกจบล็อกที่จะนำมาใช้งานควรผ่านการสอบเทียบมาก่อน ไม่ว่าจะเป็นการสอบเทียบภายใน หรือให้ห้องปฏิบัติการสอบเทียบเป็นผู้กระทำ ซึ่งเกจบล็อกมาตรฐานแบ่งเป็น 4 เกรด ได้แก่

1) **เกรด K**

เป็นเกจบล็อกสำหรับการวัดค่าที่ต้องการความแม่นยำสูง มีความเที่ยงตรง และความแม่นยำสูงที่สุด ขนาดของเกจบล็อกทุกชิ้นไม่มีความผิดพลาดในการผลิต ใช้งานในห้องปฏิบัติการมาตรฐานเท่านั้น ใช้เป็นเกจบล็อกต้นแบบแล้วนำเกจบล็อกเกรดต่ำกว่ามาสอบเทียบ จะใช้ในการวัดที่ต้องการความละเอียดแม่นยำ โดยจะใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบประเภทได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 เป็นส่วนใหญ่

2) **เกรด 0**

เป็นเกจบล็อกสำหรับการวัดค่าที่ต้องการความแม่นยำ ใช้ในห้องทดลองที่ต้องการตรวจสอบความเที่ยงตรง และความแม่นยำในการสอบเทียบเครื่องมือที่ต้องการความละเอียด จะใช้ในการวัดที่ต้องการความแม่นยำ หรือใช้ในการตรวจสอบเกจบล็อคที่ใช้สำหรับการตรวจวัด การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดต่าง ๆ

3) **เกรด 1**

เป็นเกจบล็อกสำหรับการวัดค่ามาตรฐาน ใช้ตรวจสอบค่ามาตรฐานของเครื่องมือวัดและเกจวัดต่าง ๆ ใช้ในการวัดทั่วไป เช่น การวัดกลึง การตรวจสอบความถูกต้องของเกจ การผลิตเกจ การตรวจสอบชิ้นส่วนของเครื่องจักร

4) **เกรด 2**

เป็นเกจบล็อกสำหรับการวัดค่าในระดับปฏิบัติงาน ใช้ในสายการผลิตในโรงงาน และใช้ประกอบตั้งค่าที่ต้องการความละเอียดในการติดตั้งอุปกรณ์ในโรงงาน เช่น การวัดกลึง การสอบเทียบ ปรับเทียบเครื่องมือวัด การติดตั้ง ปรับแต่งเครื่องจักรต่าง ๆ

2.6.2 การเลือกซื้อเกจบล็อก

ในการสอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียดชนิดต่าง ๆ เช่น ไมโครมิเตอร์วัดนอก ไมโครมิเตอร์วัดใน ไมโครมิเตอร์วัดลึก เกจวัดความสูง หรือเกจหน้าปัดนาฬิกา สามารถที่จะใช้เกจบล็อกเป็นมาตรฐานในการสอบเทียบได้ สำหรับการเลือกซื้อเกจบล็อกนั้น สิ่งสำคัญข้อแรกที่ควรพิจารณา คือ เครื่องมือมาตรฐานจะต้องมีค่าความถูกต้องดีกว่าเครื่องมือวัดที่ต้องการสอบเทียบอย่างน้อย 3 เท่า (1 ใน 3) สำหรับการใช้งานทั่ว ๆ ไป แต่ถ้าจะให้สมบูรณ์แบบจะเป็น 10 เท่า (1 ใน 10) ในการเลือกจำนวนชิ้นของเกจบล็อก ต้องพิจารณาจากการใช้งาน เช่น หากมีการใช้เครื่องมือวัดวัดชิ้นงานเพียงค่าเดียว ก็จัดหาเกจบล็อกให้ตรงกับความยาวของชิ้นงานนั้นก็เพียงพอแล้ว แต่ถ้าหากมีตำแหน่งการวัดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาดแตกต่างกัน ก็ควรจะเลือกเกจบล็อกสำหรับใช้สอบเทียบหลายชิ้น หาได้โดยการกำหนดช่วงของการสอบเทียบออกเป็นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของพิสัยการวัดที่มากที่สุด (10% of full scale) ต้องพิจารณาให้ครอบคลุมทั้งสเกลหลักและสเกลละเอียดด้วย เช่น ถ้าเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มีพิสัยมากที่สุด 150 มม. ให้เอา 10 หาร จะได้ตัวเลขออกมาเป็น 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 และ 150 มม. ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นเพียงสเกลหลักเท่านั้น ต้องมีการหาสเกลเวอร์เนียร์ด้วย ส่วนการสอบเทียบไมโครมิเตอร์นั้น มาตรฐานการวัดได้กำหนดความยาวของการวัดไว้ดังนี้ 2.5, 5.1, 7.7, 10.3, 12.9, 15.0, 17.6, 20.2, 22.8 และ 25.0 มม. หากไมโครมิเตอร์ที่มีพิสัยการวัดมากขึ้น ก็ใช้เกจบล็อกที่มีความยาวตรงกับความยาวที่น้อยที่สุดของไมโครมิเตอร์ มาประกบกับเกจบล็อกข้างต้นก็เพียงพอแล้ว แต่หากต้องการมาตรฐานอ้างอิงก็จะมีอยู่หลายมาตรฐานด้วยกัน เช่น มาตรฐานสากล ISO, มาตรฐานของประเทศเยอรมนี DIN หรือมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น JIS เป็นต้น

การเลือกใช้วัสดุของเกจบล็อกจะต้องคำนึงหลาย ๆ ปัจจัย ปกติแล้วจะเลือกใช้วัสดุที่ตรงจุดประสงค์การใช้งานเป็นหลัก จะต้องสามารถลดเวลาในการดำเนินการ และประหยัดค่าใช้จ่ายได้ ในปัจจุบัน เกจบล็อกมีได้การทำขึ้นมาจากวัสดุหลากหลายชนิดด้วยกัน เช่น สเตนเลสสตีล (Stainless Steel) เซรามิก (Ceramic) ทังสเตนคาร์ไบด์ (Tungstain Carbide) โครมคาร์ไบด์ (Chrome Carbide) เป็นต้น ถ้าอ้างอิงตามทฤษฎีแล้ว ควรเลือกใช้เกจบล็อกที่ทำจากสเตนเลสสตีล เพราะเครื่องมือวัดละเอียดเกือบทุกชนิดทำขึ้นมาจากสเตนเลสสตีล จึงจะมีการชดเชยค่ากันตามธรรมชาติอยู่แล้ว แต่เนื่องจากเกจบล็อกสเตนเลสสตีลสามารถขยายตัวตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่ที่กำลังใช้งานเกจบล็อกสเตนเลสสตีลอยู่ อีกทั้งยังเกิดสนิมขึ้นได้ง่าย ต้องระวังเรื่องการดูแลรักษาด้วย ควรใส่ถุงมือผ้าจับเกจบล็อกทุกครั้ง และทำความสะอาดให้ถูกวิธี แต่หากเป็นเกจบล็อกที่ทำจากเซรามิก ซึ่งเป็นวัสดุที่แตกต่างจากเครื่องมือวัดละเอียดที่ใช้ ที่อุณหภูมิเดียวกันก็จะยาวไม่เท่ากัน แต่ข้อดีคือ การขยายตัวตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยมาก จึงไม่จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิ สามารถใช้ได้ในทุกสภาพแวดล้อม เช่น นำไปใช้ในไลน์การผลิต รวมทั้งเซรามิกยังมีคุณสมบัติไม่เกิดสนิม ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการเช็ดทำความสะอาดทั้งก่อนและหลังใช้งาน ทำให้ประหยัดเวลาได้เยอะขึ้น มีความสะดวกในการใช้งาน ทั้งนี้ จากตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบของเกจบล็อกที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ เซรามิก สเตนเลสสตีล และคาร์ไบด์ สรุปได้ว่า ในแง่ของการใช้งานแล้ว วัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้ไม่ได้แตกต่างกันอย่างชัดเจน การใช้งานในด้านคุณสมบัติ การเกิดรอยขีดข่วน และการเกิดรอยบุน การแตกหัก ไม่มีชนิดใดดีกว่า หรือแย่กว่ากันอย่างเห็นได้ชัด จะมีเกจบล็อกเซรามิกที่คุณสมบัติเฉพาะจะโดดเด่นที่สุด แต่ราคาก็สูงตามไปด้วย เลยไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของเกจบล็อกที่ทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน 3 ชนิด

คุณสมบัติเฉพาะ	เกจบล็อกเซรามิก	เกจบล็อกสเตนเลสสตีล	เกจบล็อกคาร์ไบด์
ความเรียบ	ดี	ดี	ดี
ความขนาน	ดี	ดี	ดี
การนำมาประกบกัน	พอใช้	ดี	ดี
การเกิดรอยขีดข่วน และการเกิดรอยนูน	มีรอยขีดข่วน แต่ไม่เกิดรอยนูน	มีรอยขีดข่วน และเกิดรอยนูน	มีรอยขีดข่วน และเกิดรอยนูน
การแตกหัก	แตกหักง่าย	มีรอยบิ่น แต่ไม่แตก	มีรอยบิ่น และแตก
การขยายตัวตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	น้อยมาก	มาก	มาก
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (α)	$8.0 \times 10^{-6}K^{-1}$	$10.9 \times 10^{-6}K^{-1}$ หรือ $11.5 \times 10^{-6}K^{-1}$	$4.3 \times 10^{-6}K^{-1}$
การเกิดสนิม	ไม่เกิดสนิม	เกิดสนิมได้ง่าย	เกิดสนิมได้ง่าย
การบำรุงรักษา	ไม่ต้องเคลือบน้ำมัน ดูแลรักษาง่าย	ต้องเคลือบน้ำมัน ดูแลรักษายาก	ต้องเคลือบน้ำมัน ดูแลรักษายาก

รูปที่ 2.23 เกจบล็อกที่ทำมาจากสเตนเลสสตีล

รูปที่ 2.24 เกจบล็อกที่ทำมาจากเซรามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การเตรียมเกจบล็อกก่อนการใช้งาน

ก่อนการนำเกจบล็อกมาใช้งาน ควรทำการตรวจสอบเกจบล็อกก่อนว่าไม่มีรอยขีดข่วนบนพื้นผิวของเกจบล็อก ทำความสะอาดฝุ่นที่ติดอยู่บนหน้าผิววัดออกให้หมด สำหรับการทำความสะอาดควรใช้ผ้าชามัวร์ หรือกระดาษอื่นที่ดีกว่า รวมทั้งควรระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อพื้นผิวของวัตถุที่จะทำการวัด หากพบว่ามีเกจบล็อกชำรุด ควรแยกออก และซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดทันที

ในขณะการใช้งานเกจบล็อก ไม่ควรใช้มือเปล่าจับเกจบล็อก เนื่องจากความร้อนจากมือจะทำให้เกจบล็อกขยายตัว ควรสวมถุงมือ หรือใช้ไม้หนีบจับเกจบล็อก

2.6.4 การประกอบเกจบล็อก

หากขนาดของเกจบล็อกที่มีไม่ตรงกับขนาดที่ต้องการวัด จำเป็นต้องใช้เกจบล็อกหลายชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกัน แต่ขนาดที่ได้ก็อาจเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้น จึงต้องใช้เกจบล็อกให้มีจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และควรมีการจดบันทึกอุณหภูมิเฉลี่ยหลังจากประกอบด้วย ก่อนการประกอบควรทำความสะอาดเกจบล็อกก่อน โดยใช้ผ้าสะอาดเช็ดไม่ให้มีคราบน้ำมันหลงเหลืออยู่

ในการประกอบเกจบล็อกจะมีอยู่ 2 วิธี คือ การประกอบโดยการนำมาไขว้กัน และการประกอบโดยการเลื่อนเข้าหากัน ผิวของเกจบล็อกบริเวณที่ต้องการประกอบ จะมีผิวเรียบเป็นมันเงา การประกอบโดยการนำมาไขว้กัน ทำได้โดยการเกจบล็อกสองชิ้นมาวางไขว้กัน เลื่อนกดให้สนิท แล้วหมุนเกจบล็อกสองตัวที่ประกบกันอย่างช้า ๆ ให้หน้าผิววัดเชื่อมต่อกัน ดังรูปที่ 2.25 ส่วนการประกอบโดยการเลื่อนเข้าหากัน เริ่มด้วยการนำเกจบล็อกด้านที่เรียบเป็นเงาเข้ากดเข้าหากันตั้งแต่ขอบ ค่อย ๆ เลื่อน และกดเกจบล็อกลงมาจนกระทั่งเกจบล็อกเสมอกัน ดังรูปที่ 2.26 หลังจากประกอบเกจบล็อกแล้ว ให้ทดสอบการเกาะยึดแน่นของเกจบล็อกทั้งสอง โดยหากดึงเกจบล็อกแล้วเกจบล็อกยึดติดแน่นดีแสดงว่าการประกอบเกจบล็อกถูกต้อง จากนั้นค่อยประกอบเกจบล็อกแผ่นต่อไป (ถ้ามี) โดยควรประกอบเกจบล็อกขนาดใหญ่สุดเข้ากับเกจบล็อกที่มีขนาดใกล้เคียงกันก่อน เพราะเกจบล็อกขนาดใหญ่สามารถยึดติดได้แน่นดีกว่า

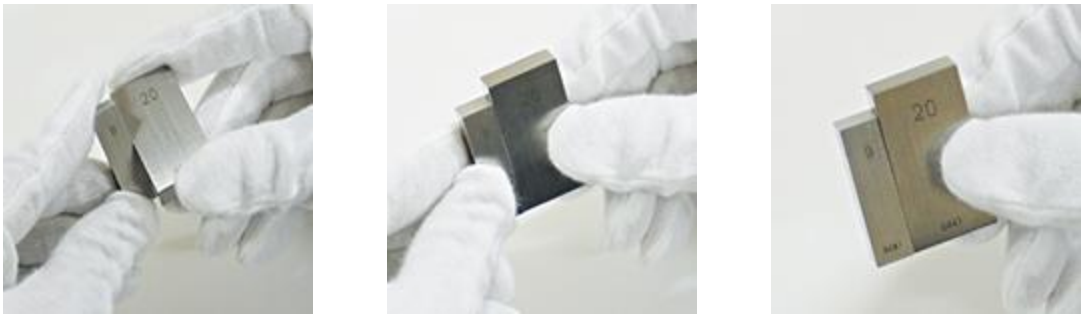
สำหรับการถอดเกจบล็อกสามารถทำได้ 2 วิธี โดยการเลื่อนออกจากกัน ดังรูปที่ 2.27 หรือการหมุนออกจากกัน ดังรูปที่ 2.28 หลังจากถอดเกจบล็อกแล้ว ควรทำความสะอาด ชโลมน้ำมัน และเก็บใส่กล่องที่ตำแหน่งเดิม

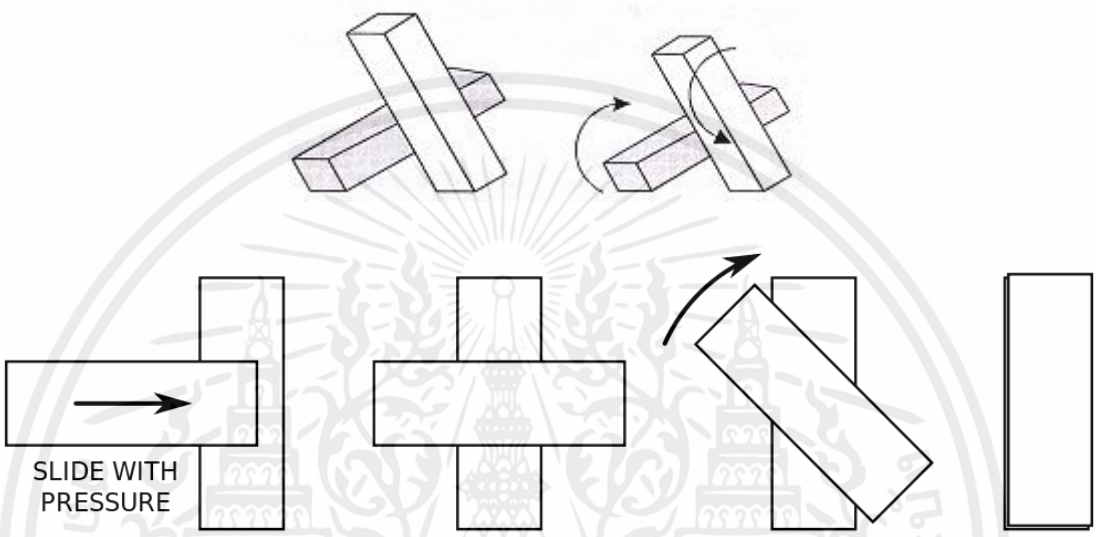
2.6.5 การจัดเก็บ และการบำรุงรักษาเกจบล็อก

ก่อนทำการจัดเก็บเกจบล็อก ควรมีการทาน้ำมันกันสนิมลงบนพื้นผิวก่อน และเก็บรักษาไว้ในที่แห้ง มีอุณหภูมิคงที่ ควรเก็บรักษาไว้ในกล่องไม้ รวมทั้งควรมีการตรวจสอบว่าเกจบล็อกสะอาด ไม่มีเศษคราบใด ๆ ติดอยู่ (อาจใช้ Optical Flat ในการตรวจสอบ)

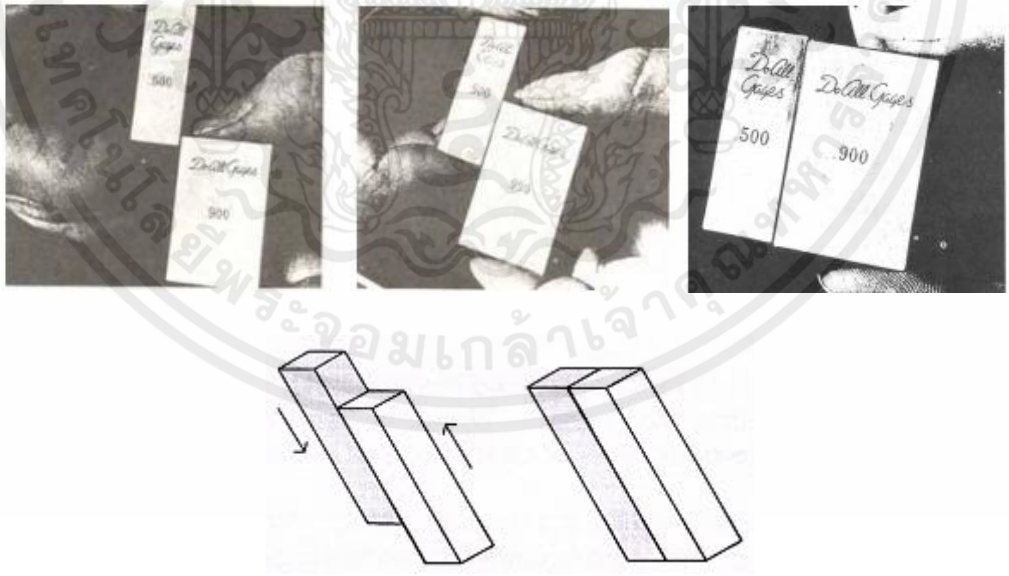
การบำรุงรักษาทำได้โดยการทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ (แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์จะเหมาะสมที่สุด) และเคลือบด้วยวาสลิน หรือน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



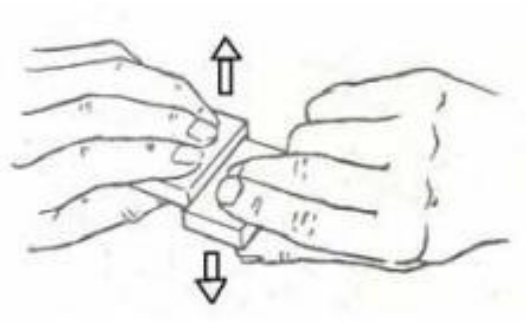


รูปที่ 2.25 การประกอบเกจบล็อกโดยการนำมาไขว้กัน



รูปที่ 2.26 การประกอบเกจบล็อกโดยการเลื่อนเข้าหากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 การถอดเกจบล็อกโดยการเลื่อนออกจากกัน

รูปที่ 2.28 การถอดเกจบล็อกโดยการหมุนออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงาน

3.1 กำหนดมาตรฐานหลักที่จะนำมาใช้เชื่อมโยงกับกระบวนการการสอบเทียบ

ทำการค้นคว้าศึกษาเกี่ยวกับมาตรฐานต่าง ๆ เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการเชื่อมโยงกับกระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก โดยการศึกษาจากเอกสารหลายฉบับ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบพิจารณาว่ามาตรฐานใดเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการเชื่อมโยง โดยกรณีศึกษาในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำมาตรฐานจากประเทศญี่ปุ่นมาใช้เป็นตัวอย่างในการเชื่อมโยงกับกระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกตามมาตรฐานดังนี้

1. กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ จะใช้มาตรฐาน JIS B 7507 (1993) Vernier, dial and digital callipers
2. กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก จะใช้มาตรฐาน JIS B 7502 (1994) Micrometer callipers

3.2 สรุปโครงสร้างหลักของกระบวนการการสอบเทียบ

โครงสร้างหลักของกระบวนการการสอบเทียบ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. รายละเอียดของการสอบเทียบ
- เครื่องมือที่ใช้ (Tools)
- ลักษณะ (Description)
- พิสัย (Range)
- ความละเอียด (Resolution)
- ค่าความถูกต้อง (Accuracy)
- มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง

2. เครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบ
- เครื่องมือที่ใช้ (Tools)
- ลักษณะ (Description)
- พิสัย (Range)
- ความไม่แน่นอน

3. การเตรียมความพร้อมก่อนการสอบเทียบ

4. กระบวนการสอบเทียบ

5. บันทึก และประเมินผลการสอบเทียบ

6. รายงานผลการสอบเทียบ

7. อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 รายละเอียดของการสอบเทียบ

แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของเครื่องมือที่ทำการสอบเทียบ ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้สอบเทียบว่าเป็นเครื่องมือชนิดใด แสดงข้อมูลลักษณะของเครื่องมือว่าเป็นยี่ห้อใด รุ่นใด มีขอบข่ายช่วงการวัดที่พิสัยใด ค่าความละเอียด ค่าความถูกต้องของเครื่องมือ และมาตรฐานที่นำมาใช้อ้างอิงกับกระบวนการการสอบเทียบนี้

3.2.2 เครื่องมือมาตรฐานที่นำมาใช้ในการสอบเทียบ

แสดงรายละเอียดของเครื่องมือที่ต้องการสอบเทียบ และเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ เช่น การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์โดยใช้เกจบล็อก เป็นต้น ควรระบุยี่ห้อ รุ่น พิสัย รวมทั้งความไม่แน่นอนของเครื่องมือมาตรฐานที่จะนำมาใช้สอบเทียบด้วย

3.2.3 การเตรียมความพร้อมก่อนการสอบเทียบ

แสดงขั้นตอนการเตรียมความพร้อมก่อนการสอบเทียบ ของทั้งเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบและเครื่องมือมาตรฐาน ให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์พร้อมทำการสอบเทียบ โดยที่ควรจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่ทำการสอบเทียบด้วย (ปกติแล้วควรให้อยู่ในอุณหภูมิห้อง)

3.2.4 กระบวนการสอบเทียบ

แสดงขั้นตอน กระบวนการที่ใช้ในการสอบเทียบ อาจจะทำการวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ตามที่ต้องการ โดยปกติแล้วมักจะทำการวัดซ้ำอย่างน้อย 10 ครั้ง หรืออย่างน้อยน้อยที่สุดไม่ต่ำกว่า 4 ครั้ง

3.2.5 บันทึก และประเมินผลการสอบเทียบ

บันทึกค่าที่วัดได้จากการสอบเทียบ ควรเขียนเป็นตารางบันทึกค่า เพื่อให้ง่ายต่อการนำค่าไปคำนวนประเมินผลการสอบเทียบต่อไป โดยที่การประเมินผลการสอบเทียบสามารถทำได้โดยการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

1) คำนวณหาค่าบ่งชี้ (Indicating value), $\boldsymbol{x}$
2) คำนวณหาค่าเฉลี่ย , $\bar{\boldsymbol{x}}$
3) คำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
4) คำนวณหาค่าแก้ (Correction)
5) การประเมินความไม่แน่นอนชนิด A
6) การประเมินความไม่แน่นอนชนิด B
7) การประเมินค่าความไม่แน่นอนรวมของการสอบเทียบ (Combine Uncertainty)
8) การประเมินค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 รายงานผลการสอบเทียบ

รายงานผลการสอบเทียบ เป็นการนำผลการสอบเทียบที่ได้ทำการประเมิน วิเคราะห์ แล้วมาสรุปผลการสอบเทียบว่าเครื่องมือวัดนั้น ๆ มีระดับความถูกต้องของเครื่องมือเท่าใด อิงเกณฑ์ใด

3.2.7 ใบรับรองการสอบเทียบ และช่วงเวลาการใช้งาน

ถ้าเครื่องมือวัดนั้นผ่านเกณฑ์การสอบเทียบ ก็จะมีการออกใบรับรองการสอบเทียบ ซึ่งจะมีช่วงเวลาการใช้งานระยะหนึ่ง หากระยะเวลานั้นสิ้นสุดลง ก็ต้องนำเครื่องมือวัดนั้นมาสอบเทียบใหม่

3.2.8 อื่น ๆ

เป็นส่วนที่อาจจะมี หรือไม่มีก็ได้ ตัวอย่างเช่น ความหมายของสัญลักษณ์ คำศัพท์ หรือหน่วย ที่ปรากฏ การเก็บรักษาทั้งอุปกรณ์ รวมไปถึงข้อควรระวังในการปฏิบัติตนของผู้ใช้งานด้วย

3.3 การเขียนกระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

ลำดับขั้นตอนในการเขียนกระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ซึ่งจะมีการเชื่อมโยงเข้ากับมาตรฐาน JIS B 7507 (1993) มีดังนี้

ก) จากรูปที่ 3.1 แสดงหัวข้อกระบวนการการสอบเทียบ ซึ่งในกรณีนี้คือ การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ด้วยเกจบล็อก

ข) จากรูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องมือที่ทำการสอบเทียบ โดยที่รายละเอียดเหล่านี้ได้มาจากอุปกรณ์ที่ใช้ทำการสอบเทียบ ดังรูปที่ 3.2
   (1) ระบุเครื่องมือที่ใช้ ในกรณีนี้คือ เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
   (2) ระบุยี่ห้อ และรุ่น ของเครื่องมือที่ใช้
   (3) ระบุพิสัยของเครื่องมือที่ใช้
   (4) ระบุความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้

ค) จากรูปที่ 3.1 ระบุค่าความถูกต้อง โดยจะมีค่า $\pm$ 0.03 มม. ดังรูปที่ 3.2 หรือสามารถหาได้จากตารางที่ 3.1 อ้างอิงจากมาตรฐาน JIS B 7507 (1993) หน้า 514 ตารางที่ 1 ในกรณีนี้ใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ที่มีพิสัยระหว่าง 50 – 150 มม. จากตาราง จะได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ $\pm$ 0.03 มม.

ง) จากรูปที่ 3.1 บอกมาตรฐานที่จะนำมาใช้อ้างอิงกับกระบวนการการสอบเทียบฉบับนี้ ซึ่งในเอกสารฉบับนี้จะใช้มาตรฐาน JIS B 7507 (1993)

จ) จากรูปที่ 3.1 แสดงวิธีการสอบเทียบที่ใช้ในกระบวนการการสอบเทียบนี้ ซึ่งจะเป็นการสอบเทียบด้านความยาว โดยจะเป็นการวัดความยาวเปรียบเทียบกับเกจบล็อก

ฉ) จากรูปที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องมือมาตรฐานที่จะนำมาสอบเทียบ ว่าเป็นเครื่องมือประเภทใด ซึ่งกรณีนี้เป็นเกจบล็อก รวมทั้งมีการบอกยี่ห้อ รุ่น พิสัยที่ใช้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก **การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์โดยใช้เกจบล็อก**

(Vernier Caliper calibration by using Gauge Blocks)

ข **1. รายละเอียดของเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ**

ข (1)	เครื่องมือที่ใช้ (Tools)	:	Vernier Caliper
ข (2)	ลักษณะ (Description)	:	MOORE & WRIGHT รุ่น MW110-15DBL
ข (3)	พิสัย (Range)	:	0 - 150 mm / 0 - 6”
ข (4)	ความละเอียด (Resolution)	:	0.01 mm / 0.0005”
ค	ค่าความถูกต้อง (Accuracy)	:	± 0.03 mm
ง	มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง (Standards for Reference)	:	JIS B 7507 (1993)
จ	วิธีการสอบเทียบ	:	การวัดความยาวเปรียบเทียบกับเกจบล็อก

ฉ **2. เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ**

เครื่องมือที่ใช้ (Tools)	:	Gauge blocks (Steel) set (47 pcs.)
ลักษณะ (Description)	:	Mitutoyo
พิสัย (Range)	:	0.5 mm - 100 mm

รูปที่ 3.1 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อรายละเอียดการสอบเทียบ

ข (1) **1. VALUE LINE DIGITRONIC CALIPER (เวอร์เนียดิจิตอล)**

รายละเอียด

- Brand : MOORE & WRIGHT ข (2)
- Model : MW110-15DBL
- Capacity : 0 – 150 mm / 0 – 6 inch ข (3)
- Resolution : 0.01 mm / 0.0005 inch ข (4)
- Accuracy: 0.03 mm / 0.001 inch ค

รูปที่ 3.2 รายละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่าความถูกต้องของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
(ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์)

Measuring length	Scale intervals, minimum indicating quantities or minimum reading values (mm)	
	0.1 or 0.05	0.02 or 0.01
50 or under	± 0.05	± 0.02
Over 50 to 100 or under	± 0.06	± 0.03
Over 100 to 200 or under	± 0.07	
Over 200 to 300 or under	± 0.08	± 0.04
Over 300 to 400 or under	± 0.09	
Over 400 to 500 or under	± 0.10	± 0.05
Over 500 to 600 or under	± 0.11	
Over 600 to 700 or under	± 0.12	± 0.06
Over 700 to 800 or under	± 0.13	
Over 800 to 900 or under	± 0.14	± 0.07
Over 900 to 1000 or under	± 0.15	

ช) จากรูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดการเตรียมเครื่องมือที่จะทำการสอบเทียบก่อนที่จะทำการสอบเทียบ ซึ่งในกรณีนี้ จะเป็นการเตรียมเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และรูปด้านล่างเป็นรูปลักษณะโครงสร้างของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ชนิดมาตรฐาน อ้างอิงภาพมาจากมาตรฐาน JIS B 7507 (1993) หน้า 512

ซ) จากรูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดของการเตรียมเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งในกรณีนี้ คือเกจบล็อกก่อนที่จะทำการสอบเทียบ

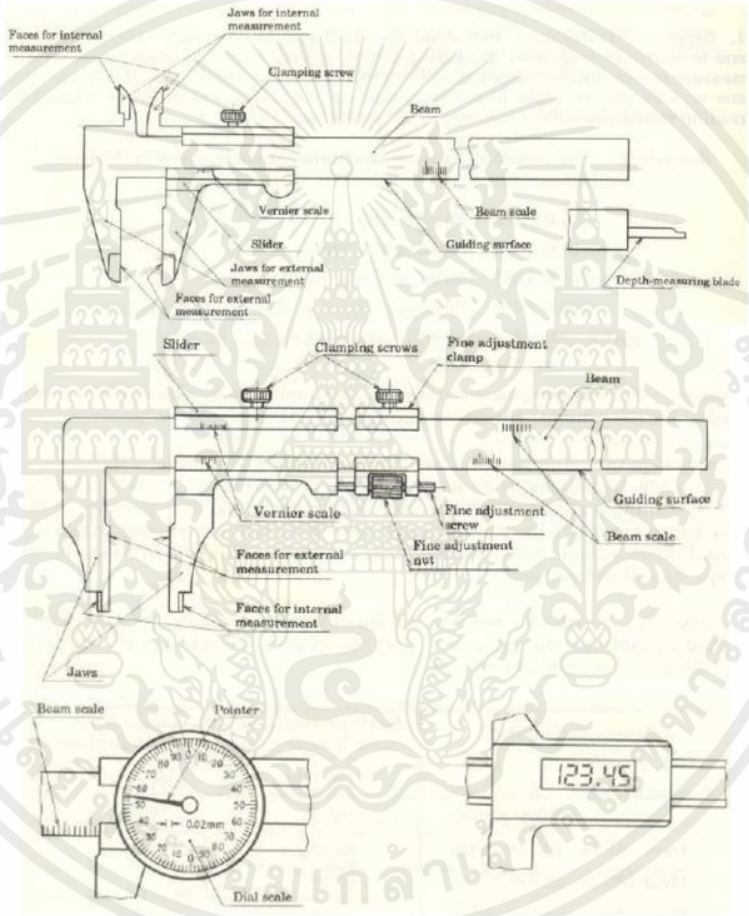
ฌ) จากรูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ด้วยเกจบล็อก โดยที่เมื่อทำการสอบเทียบครบ 10 ครั้งแล้ว ก็จะนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ค่าแก้ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความไม่แน่นอน เพื่อที่จะนำไปประเมินต่อไปว่า เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์นี้ยังคงสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำตามที่ต้องการหรือไม่ ถ้าไม่ หรือค่าที่ได้เกินกว่าค่าที่จะยอมรับได้ ก็จะได้นำเครื่องมือนั้นไปส่งซ่อมบำรุง เพื่อที่จะให้กลับมาใช้งานได้ถูกต้องแม่นยำดังเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเตรียมความพร้อมก่อนการสอบเทียบ

ช **4.1 การเตรียมเวอร์เนียร์คาลิเปอร์**

1) ทำความสะอาดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ก่อนการใช้งาน
2) ปรับตั้งศูนย์เวอร์เนียร์
3) ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แล้วบันทึกรายละเอียด เช่น ตรวจสอบความเรียบของปากวัด นำปากวัดนอกชนกันให้แนบสนิทต้องไม่มีแสงลอดผ่าน สภาพของปากวัด และหน้าสัมผัสต้องไม่มีรอยแตกบิ่น หากพบว่าอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ ให้ยกเลิกการสอบเทียบ



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ชนิดมาตรฐาน

รูปที่ 3.3 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อการเตรียมเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช 4.2 การเตรียมเกจบล็อก

1) ตรวจสอบวันหมดอายุ (Due date) ของเกจบล็อกก่อน ถ้าเกจบล็อกหมดอายุแล้วให้ทำการสอบเทียบก่อนนำมาใช้
2) เลือกขนาดของเกจบล็อกที่นำมาใช้ ตามพิสัยของเวอร์เนียร์ที่ต้องการสอบเทียบ โดยที่ขนาดของเกจบล็อกที่ใช้จะขึ้นอยู่กับพิสัยของเวอร์เนียร์ ในกรณีที่ขนาดของเกจบล็อกไม่ตรงกับตำแหน่งของการวัด ให้ใช้เกจบล็อกประกบกันให้ได้ขนาดตามต้องการ
3) ทำความสะอาดเกจบล็อกที่เลือกแล้วจากข้อ 2 ด้วยแอลกอฮอล์ หนังชามัวร์ หรือกระดาษอื่นที่ดีกว่า ห้ามใช้เศษผ้า หรือแขนเสื้อ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีรอยขีดข่วน ทำความสะอาดฝุ่นที่ติดอยู่ออกให้หมด ควรระมัดระวังไม่ให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อพื้นผิวของวัตถุที่จะทำการวัด หากพบว่ามีเกจบล็อกชำรุด มีรอยเยิน ควรแยกออก และซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดทันที
4) ขณะใช้งาน ไม่ควรใช้มือเปล่าจับเกจบล็อก เนื่องจากความร้อนจากมือจะทำให้เกจบล็อกขยายตัว ควรสวมถุงมือ หรือใช้ไม้หนีบจับเกจบล็อก
5) หลังการใช้งานจะต้องทำความสะอาดเกจบล็อกด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษ และเคลือบด้วยน้ำมัน จากนั้นควรเก็บรักษาในสถานที่ที่เหมาะสม เช่น เก็บในกล่องไม่โดนแสงแดด

รูปที่ 2 เกจบล็อก Set 47 ชิ้น

รูปที่ 3.4 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อการเตรียมเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฌ

5. การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ด้วยเกจบล็อก

1. เลือกขนาดของเกจบล็อกตามพิสัยของเวอร์เนียร์ที่ต้องการสอบเทียบ ถ้าหากขนาดของเกจบล็อกไม่ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการวัดของเวอร์เนียร์ ให้ประกอบเกจบล็อกให้ได้ขนาดตามต้องการ วางไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อปรับอุณหภูมิให้มีความเสถียร หากตำแหน่งที่ต้องการสอบเทียบไม่ตรงกับค่าของเกจบล็อก จะต้องมีการกำหนดตำแหน่งการสอบเทียบกันก่อน

2. ปรับตั้งศูนย์ (0) อ่านค่าที่เวอร์เนียร์ และบันทึกผล

3. วางเกจบล็อกไว้ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของเวอร์เนียร์ ปรับให้ผิวหน้าสัมผัสของเวอร์เนียร์ให้สัมผัสกับเกจบล็อก อ่านค่าที่เวอร์เนียร์ และบันทึกผล

การอ่านค่าเวอร์เนียร์ เริ่มจากอ่านค่าบนสเกลหลัก สังเกตว่าขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์อยู่ตรงกับสเกลหลักที่ตำแหน่งใด บันทึกค่าที่อ่านได้จากสเกลหลัก จากนั้นจึงอ่านค่าบนสเกลเวอร์เนียร์ โดยสังเกตว่าขีดบนสเกลเวอร์เนียร์เส้นใดที่ตรงกับขีดที่อยู่บนสเกลหลัก นำค่านี้ไปคูณกับค่า least count ของเวอร์เนียร์ ผลคูณที่ได้จะเป็นค่าที่อ่านได้จากสเกลเวอร์เนียร์ จะเป็นค่าที่บอกทศนิยมตัวท้ายสุด ผลการวัดที่ได้จากการอ่านค่าของเวอร์เนียร์ คือ ผลรวมของค่าที่ได้จากการอ่านค่าบนสเกลหลัก และการอ่านค่าบนสเกลเวอร์เนียร์

4. ทำซ้ำข้อ 3. จนครบ 10 ครั้ง

5. เปลี่ยนขนาดเกจบล็อกเป็นชิ้นที่ 2 ไปจนถึงชิ้นสุดท้าย และทำการสอบเทียบตามข้อ 3 ถึง 4

6. นำค่าในตารางบันทึกผลการสอบเทียบมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ โดยที่สุดท้ายจะได้ค่าออกมาในรูปของการรายงานผลการประเมินความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

รูปที่ 3 การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ด้วยเกจบล็อก

รูปที่ 3.5 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ด้วยเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญ) จากรูปที่ 3.6 ตารางที่ 1 ค่า Stability of length ของความยาวของเกจบล็อก อ้างอิงจากมาตรฐาน JIS B 7506 (1997) หน้า 372 หัวข้อ 8.4 ตารางที่ 6 ดังรูปที่ 3.7

11.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อก, $u(\delta l_{ds})$

เนื่องจากเกจบล็อกเป็นมาตรฐานที่ทำจากโลหะ (สเตนเลสสตีล) โดยธรรมชาติของโลหะจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ความยาวของเกจบล็อกที่เปลี่ยนแปลงไปต่อระยะเวลา 1 ปี มีค่าดังตารางที่ 1 และมีลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular; $\sqrt{3}$) สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อกได้ดังสมการ (8) และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเกจบล็อกต่อปี มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เพราะฉะนั้น จึงสามารถละทิ้งค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุนี้ได้ และในกรณีที่เกจบล็อกมีประวัติการสอบเทียบมากกว่า 3 ครั้ง (3 ปี) ห้องปฏิบัติการจะต้องประเมินค่าคงตัวหรือค่าการเปลี่ยนแปลงของเกจบล็อกต่อระยะเวลา 1 ปี

ญ ตารางที่ 1 Stability of length ของความยาวของเกจบล็อก (หน่วย μm)

Grade	Maximum permissible change in length
K, 0	$\pm$ [0.02+(0.00025 × l_n)]
1, 2	$\pm$ [0.05+(0.0005 × l_n)]

รูปที่ 3.6 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อก

8.4 Length stability For the length stability of gauge blocks, the change in length by aging shall not exceed the maximum permissible change in length as given in Table 6. The length stability shall be confirmed by the test with a sample, and the sample shall be stored under a state wherein the length stability is free from special influences, i.e., exceptional temperature, vibration, shock, magnetic field or mechanical force during that period. The test period shall be long enough for discerning the change in the length, taking the accuracy of length measurement into account.

Table 6 Stability of length

Unit: μm/year

Grade	Maximum permissible change in length
K, 0	$\pm$ (0.02+0.000 25 · l_n)
1, 2	$\pm$ (0.05+0.000 5 · l_n)

Remarks: l_n: nominal length expressed in mm.

รูปที่ 3.7 ตารางแสดงค่า Stability of length ของความยาวของเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฎ) จากรูปที่ 3.8 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ ระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์กับเกจบล็อก มีค่า $11.5 \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}/\mathrm{m}$ อ้างอิงจาก EA-4/02 (1999) หน้า 61 หัวข้อ S10.4 ดังรูปที่ 3.9

13. การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, $(l_0 \times \bar{\alpha} \times \delta t)$

ในการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ด้วยเกจบล็อก ควรปรับให้อุณหภูมิของเวอร์เนียร์ และเกจบล็อกอยู่ในสภาวะสมดุล โดยควรเก็บไว้เครื่องมือไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 5 °C วัสดุที่ใช้ทำเวอร์เนียร์ และเกจบล็อก ปกติแล้วจะทำจากสเตนเลสสตีล มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ (Coefficient of thermal expansion, α) เท่ากับ $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}$ ซึ่งจะทำให้เกิดการชดเชยค่าความผิดพลาดเป็นไปโดยธรรมชาติ ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเกจบล็อกจึงมีค่าเท่ากับ $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}/\mathrm{m}$ ฎ

รูปที่ 3.8 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

S10.4 Temperature (Δt , $\bar{\alpha}$)

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 3.9 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ

16. การคำนวณหาค่าตัวประกอบ (Coverage factor; k)

การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k สามารถคำนวณได้ดังสมการ (15)

ฎ $$v_{eff} = \frac{u_C^4}{\sum_{i=1}^{n} \frac{u_i^4}{v_i}} \qquad (15)$$

จากสมการที่ (15) จะสามารถคำนวณออกมาได้ว่า $v_{eff} = \infty$ ซึ่งเมื่อนำค่านี้ไปเปรียบเทียบในตารางที่ 2 จะได้ว่า ค่าตัวประกอบ k = 2.00

ฏ ตารางที่ 2 Coverage factors k for difference effective degreed of freedom v_{eff}

v_{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 3.10 กระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ หัวข้อการคำนวณหาค่าตัวประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฎ) จากรูปที่ 3.10 การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k สามารถหาได้โดยใช้การคำนวณจากสมการที่ 15 ซึ่งสมการนี้คือสมการ Welch - Satterwaite อ้างอิงจาก EA-4/02 (1999) หน้า 25 หัวข้อ Appendix E หัวข้อย่อย (b) สมการ E.1 ดังรูปที่ 3.11

ฐ) จากรูปที่ 3.10 ตารางที่ 2 Coverage factors (k) for difference effective degreed of freedom (v_{eff}) อ้างอิงจาก EA-4/02 (1999) หน้า 26 หัวข้อ Appendix E หัวข้อย่อย (b) ตาราง E.1 ดังรูปที่ 3.12 โดยปกติแล้วตารางนี้จะนิยมใช้ในการเปรียบเทียบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ความจริงแล้ว ตารางนี้เป็นการเปรียบเทียบที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45% ถ้าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ค่า K = 1.96 แต่เนื่องจากเป็นความแตกต่างโดยทั่วไปที่ไม่มีนัยสำคัญ และเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน จึงใช้ตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45% แทนการใช้ตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ถ้าหากเป็นที่ระดับความเชื่อมั่นอื่น สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 3.2 อ้างอิงจาก M3003 (2007) หน้า 29 หัวข้อ Appendix B หัวข้อย่อย B7 และหากมีการแจกแจงแบบปกติเหมือนกัน แต่มีระดับความเชื่อมั่นต่างกัน ก็สามารถหาค่า K ได้ดังตารางที่ 3.3 อ้างอิงจาก M3003 (2007) หน้า 17 หัวข้อที่ 3.47

(b) Estimate the effective degrees of freedom ν_{eff} of the standard uncertainty $u(y)$ associated with the output estimate y from the Welch-Satterthwaite formula

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}, \qquad \text{(E.1)}$$

รูปที่ 3.11 สมการ Welch - Satterwaite

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

ν_{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 3.12 ตาราง Coverage factors (k) for difference effective degreed of freedom (v_{eff}) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตาราง Coverage factors (k) for difference effective degreed of freedom (ν_{eff}) ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ

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

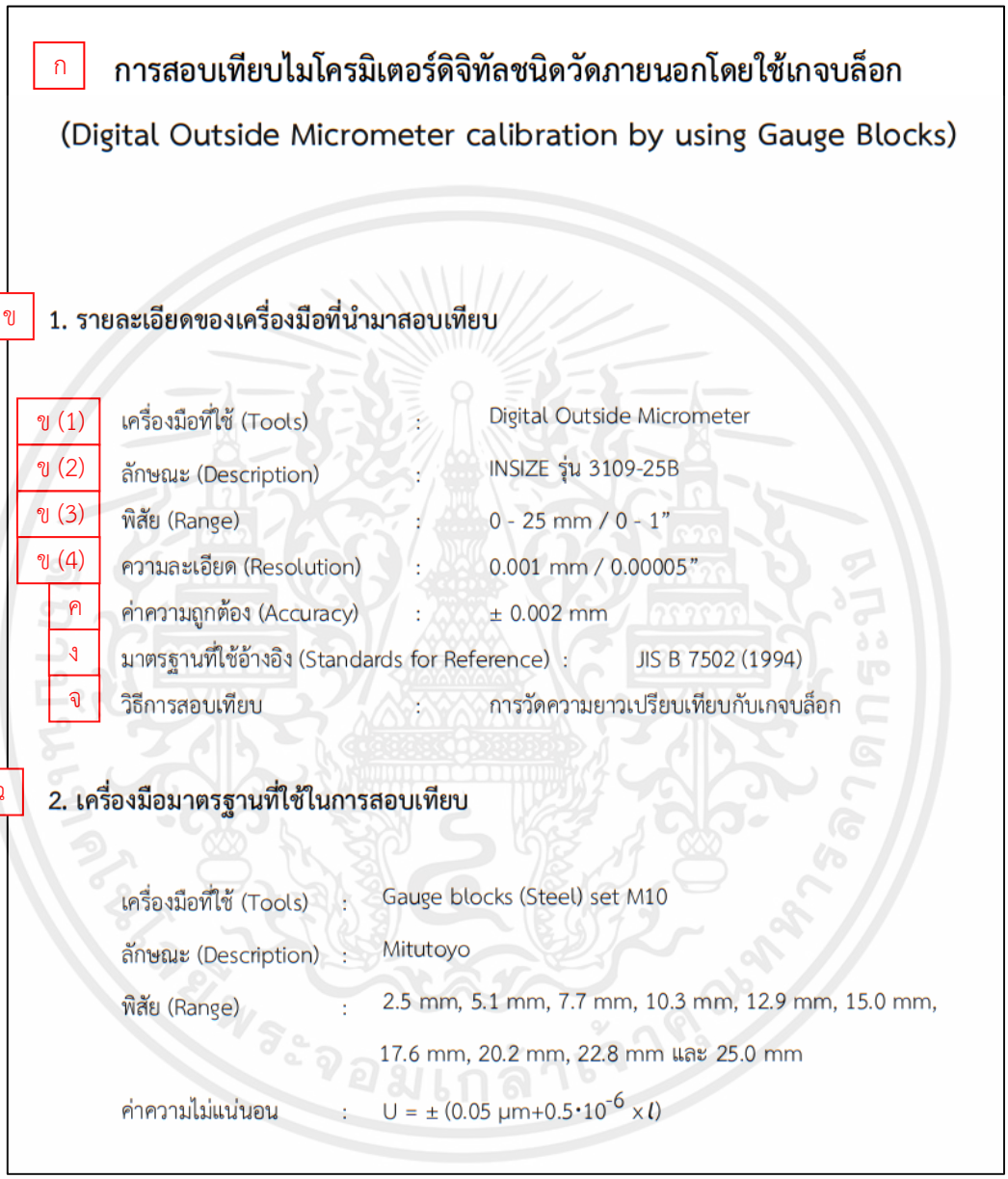
ตารางที่ 3.3 ตาราง Coverage factors (k) สำหรับการแจกแจงแบบปกติที่ระดับความเชื่อมั่นต่างกัน

Coverage probability p	Coverage factor k
90%	1.64
95%	1.96
95.45%	2.00
99%	2.58
99.73%	3.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเขียนกระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

ลำดับขั้นตอนในการเขียนกระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก ซึ่งจะมีการเชื่อมโยงเข้ากับมาตรฐาน JIS B 7502 (1994) มีดังนี้



รูปที่ 3.13 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก หัวข้อรายละเอียดการสอบเทียบ

ก) จากรูปที่ 3.13 แสดงหัวข้อของกระบวนการการสอบเทียบ ซึ่งในกรณีนี้คือ ทำการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกด้วยเกจบล็อก

ข) จากรูปที่ 3.13 แสดงรายละเอียดของเครื่องมือที่ทำการสอบเทียบ โดยที่รายละเอียดเหล่านี้ได้มาจากอุปกรณ์ที่ใช้ทำการสอบเทียบ ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ระบุเครื่องมือที่ใช้ ในกรณีนี้คือ ไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

(2) ระบุยี่ห้อ และรุ่น ของเครื่องมือที่ใช้

(3) ระบุพิสัยของเครื่องมือที่ใช้

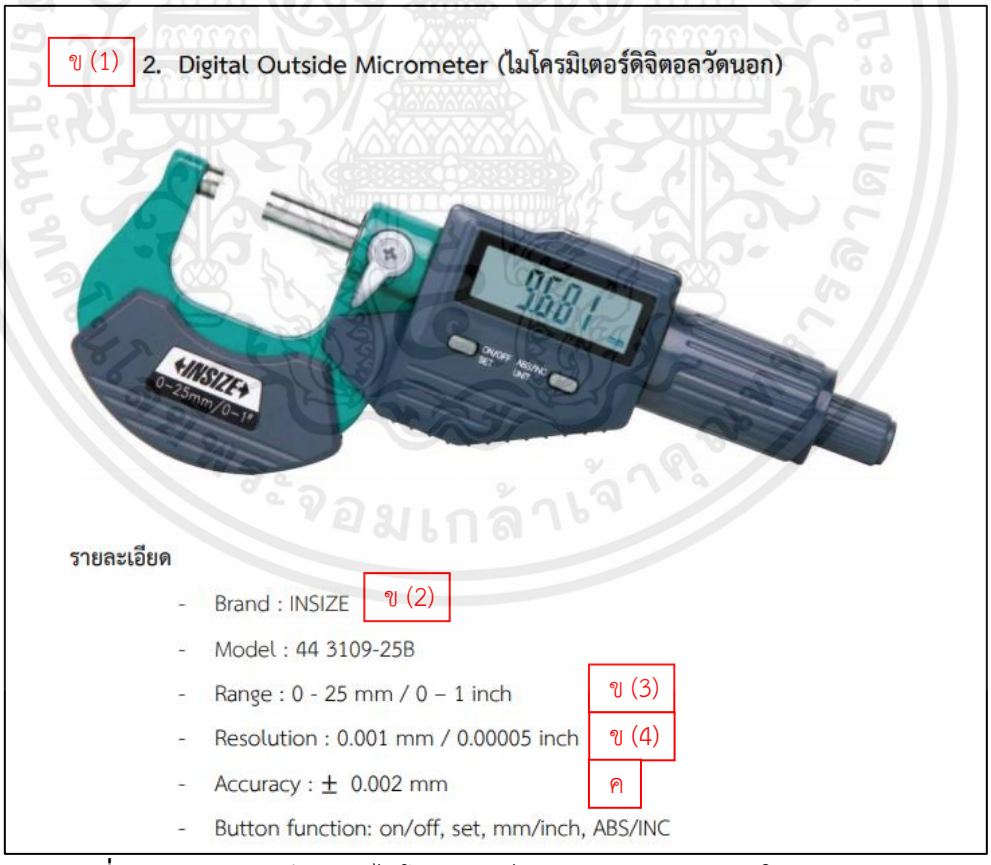
(4) ระบุความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้

ค) จากรูปที่ 3.13 ระบุค่าความถูกต้อง โดยจะมีค่า $\pm$ 0.002 มม. ดังรูปที่ 3.14 หรือสามารถหาได้จากตารางที่ 3.4 อ้างอิงจาก มาตรฐาน JIS B 7502 (1994) หน้า 458 ตารางที่ 4 ในกรณีนี้ใช้ไมโครมิเตอร์ที่มีพิสัยระหว่าง 0 – 25 มม. จากตาราง จะได้ค่าความถูกต้องเท่ากับ $\pm$ 0.002 มม.

ง) จากรูปที่ 3.13 บอกมาตรฐานที่จะนำมาใช้อ้างอิงกับกระบวนการการสอบเทียบฉบับนี้ ซึ่งในเอกสารฉบับนี้จะใช้มาตรฐาน JIS B 7502 (1994)

จ) จากรูปที่ 3.13 แสดงวิธีการสอบเทียบที่ใช้ในกระบวนการการสอบเทียบนี้ ซึ่งจะเป็นการสอบเทียบด้านความยาว โดยจะเป็นการวัดความยาวเปรียบเทียบกับเกจบล็อก

ฉ) จากรูปที่ 3.13 แสดงรายละเอียดของเครื่องมือมาตรฐานที่นำมาสอบเทียบ ว่าเป็นเครื่องมือประเภทใด ซึ่งกรณีนี้เป็นเกจบล็อก รวมทั้งมีการบอกยี่ห้อ รุ่น พิสัยที่ใช้ด้วย



รูปที่ 3.14 รายละเอียดของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่าความถูกต้องของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก
(ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก)

Measuring length	Instrumental error (mm)
0 to 25	± 0.002
25 to 50	
50 to 75	
75 to 100	± 0.003
100 to 125	
125 to 150	
150 to 175	± 0.004
175 to 200	
200 to 225	
225 to 250	± 0.005
250 to 275	
275 to 300	
300 to 325	± 0.006
325 to 350	
350 to 375	

ช) จากรูปที่ 3.15 แสดงรายละเอียดการเตรียมเครื่องมือที่จะทำการสอบเทียบก่อนที่จะทำการสอบเทียบ ในหัวข้อย่อยนี้ จะเป็นการเตรียมไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก และรูปด้านล่าง เป็นรูปลักษณะโครงสร้างของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอกชนิดมาตรฐาน อ้างอิงภาพมาจากมาตรฐาน JIS B 7502 (1994) หน้า 455 รูปที่ 1

ซ) จากรูปที่ 3.16 แสดงรายละเอียดของการเตรียมเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งในกรณีนี้ คือเกจบล็อกก่อนที่จะทำการสอบเทียบ

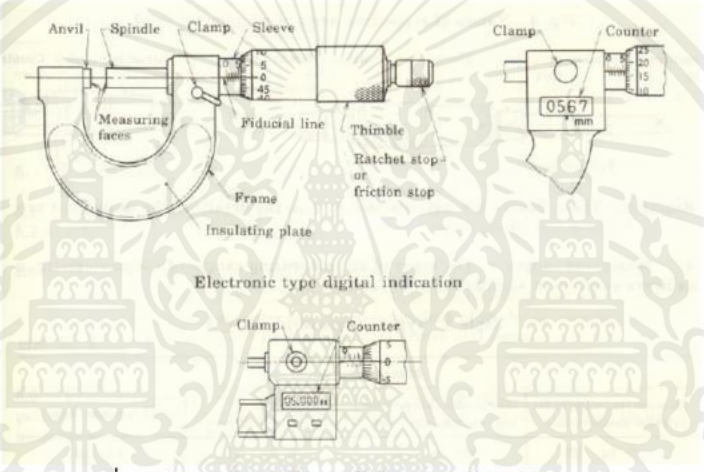
ฌ) จากรูปที่ 3.17 แสดงขั้นตอนการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกด้วยเกจบล็อก โดยที่เมื่อทำการสอบเทียบครบ 10 ครั้งแล้ว ก็จะนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ค่าแก้ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความไม่แน่นอน เพื่อที่จะนำไปประเมินต่อไปว่า ไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกนี้ยังคงสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำตามที่ต้องการหรือไม่ ถ้าไม่ หรือค่าที่ได้เกินกว่าค่าที่จะยอมรับได้ ก็จะได้นำเครื่องมือนั้นไปส่งซ่อมบำรุง เพื่อที่จะให้กลับมาใช้งานได้ถูกต้องแม่นยำดังเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

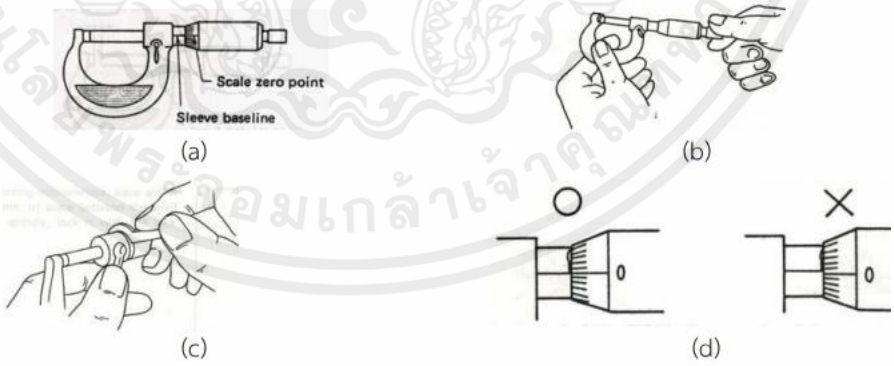
4. การเตรียมความพร้อมก่อนการสอบเทียบ

ช **4.1 การเตรียมไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก**

1) ทำความสะอาดเวอร์เนียรคาลิปเปอร์ก่อนการใช้งาน
2) ปรับตั้งศูนย์ไมโครมิเตอร์
3) ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของไมโครมิเตอร์แล้วบันทึกรายละเอียด เช่น ตรวจสอบความเรียบของปากวัด โดยนำปากวัดนอกชนกันให้แนบสนิทต้องไม่มีแสงลอดผ่าน ความคล่องตัวของการเคลื่อนที่ต้องไม่หลวม หรือฝืดเกินไป ตรวจสอบการใช้งานของปลอกหมุนกระทบเลื่อน หากพบว่าอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ ให้ยกเลิกการสอบเทียบ



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก



รูปที่ 2 การปรับตั้ง "0" ของไมโครมิเตอร์

รูปที่ 3.15 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก หัวข้อการเตรียมไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ

4.2 การเตรียมเกจบล็อก

1) ตรวจสอบวันหมดอายุ (Due date) ของเกจบล็อกก่อน ถ้าเกจบล็อกหมดอายุแล้วให้ทำการสอบเทียบก่อนนำมาใช้
2) เลือกขนาดของเกจบล็อกตามพิสัยของไมโครมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ โดยที่ขนาดของเกจบล็อกที่ใช้จะขึ้นอยู่กับพิสัยของไมโครมิเตอร์ ในกรณีที่ขนาดของเกจบล็อกไม่ตรงกับตำแหน่งของการวัด ให้ใช้เกจบล็อกประกบกันให้ได้ขนาดตามต้องการ
3) ทำความสะอาดเกจบล็อกที่เลือกแล้วจากข้อ 2 ด้วยแอลกอฮอล์ หนังชามัวร์ หรือกระดาษอื่นที่ดีกว่า ห้ามใช้เศษผ้า หรือแขนเสื้อ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีรอยขีดข่วน ทำความสะอาดฝุ่นที่ติดอยู่ออกให้หมด ควรระมัดระวังไม่ให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อพื้นผิวของวัตถุที่จะทำการวัด หากพบว่ามีเกจบล็อกชำรุด มีรอยเยิน ควรแยกออก และซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดทันที
4) ขณะใช้งาน ไม่ควรใช้มือเปล่าจับเกจบล็อก เนื่องจากความร้อนจากมือจะทำให้เกจบล็อกขยายตัว ควรสวมถุงมือ หรือใช้ไม้หนีบจับเกจบล็อก
5) หลังการใช้งานจะต้องทำความสะอาดเกจบล็อกด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษ และเคลือบด้วยน้ำมัน จากนั้นควรเก็บรักษาในสถานที่ที่เหมาะสม เช่น เก็บในกล่องไม่โดนแสงแดด

รูปที่ 3 เกจบล็อก Set M10

รูปที่ 3.16 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก หัวข้อการเตรียมเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฌ

5. การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกด้วยเกจบล็อก

1. เลือกขนาดของเกจบล็อกตามพิสัยของไมโครมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ ถ้าหากขนาดของเกจบล็อกไม่ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการวัดของไมโครมิเตอร์ ให้นำเกจบล็อกประกบกันให้ได้ขนาดตามต้องการ วางไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อปรับอุณหภูมิให้มีความเสถียร หากตำแหน่งที่ต้องการสอบเทียบไม่ตรงกับค่าของเกจบล็อก จะต้องมีการกำหนดตำแหน่งการสอบเทียบกันก่อน

2. ปรับตั้งศูนย์ (0) อ่านค่าที่ไมโครมิเตอร์ และบันทึกผล

3. วางเกจบล็อกชิ้นที่ 1 ขนาด 2.5 mm ไว้ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ ปรับให้ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์สัมผัสกับเกจบล็อก อ่านค่าที่ไมโครมิเตอร์ และบันทึกผล

4. ทำซ้ำข้อ 3. จนครบ 10 ครั้ง

5. เปลี่ยนขนาดเกจบล็อกเป็นชิ้นที่ 2 ไปจนถึงชิ้นสุดท้าย และทำการสอบเทียบตามข้อ 3 ถึง 4

6. นำค่าในตารางบันทึกผลการสอบเทียบมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ โดยที่สุดท้ายจะได้ค่าออกมาในรูปของการรายงานผลการประเมินความไม่แน่นอน ของการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

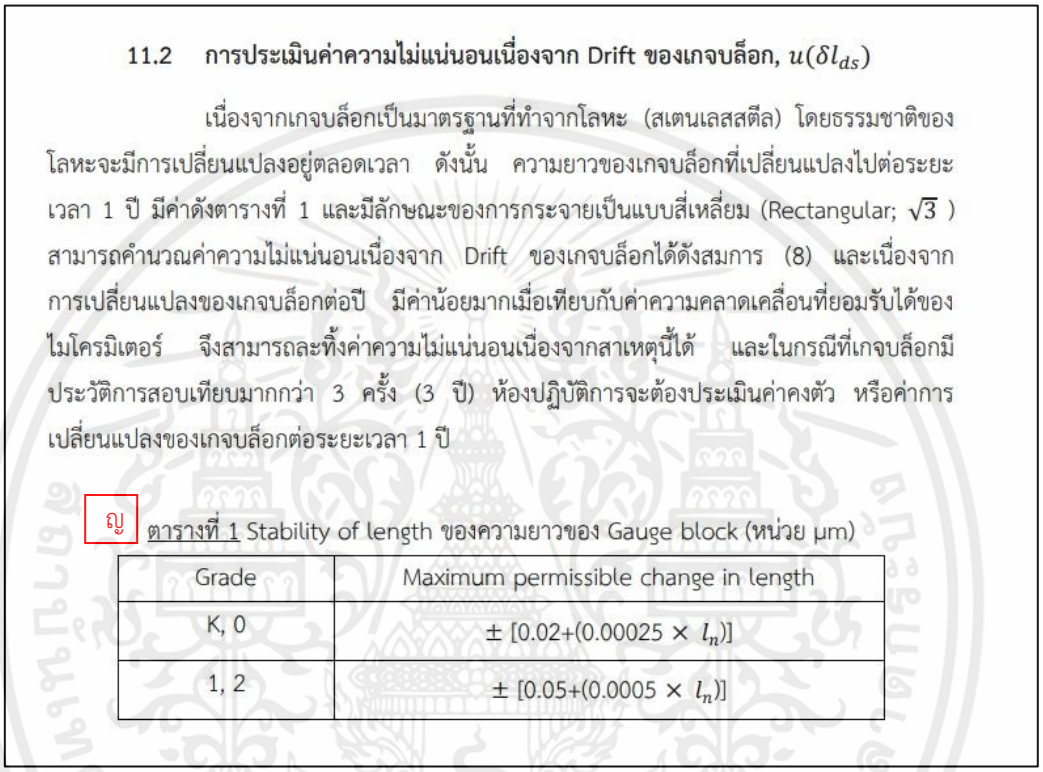
รูปที่ 4 การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกด้วยเกจบล็อก

รูปที่ 3.17 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก หัวข้อการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกด้วยเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญ) จากรูปที่ 3.18 ตารางที่ 1 ค่า Stability of length ของความยาวของเกจบล็อก อ้างอิงจากมาตรฐาน JIS B 7506 (1997) หน้า 372 หัวข้อ 8.4 ตารางที่ 6 ดังรูปที่ 3.7

ฎ) จากรูปที่ 3.19 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ ระหว่างไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก กับเกจบล็อก มีค่า $11.5 \times 10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}/m}$ อ้างอิงจาก EA-4/02 (1999) หน้า 61 หัวข้อ S10.4 ดังรูปที่ 3.9



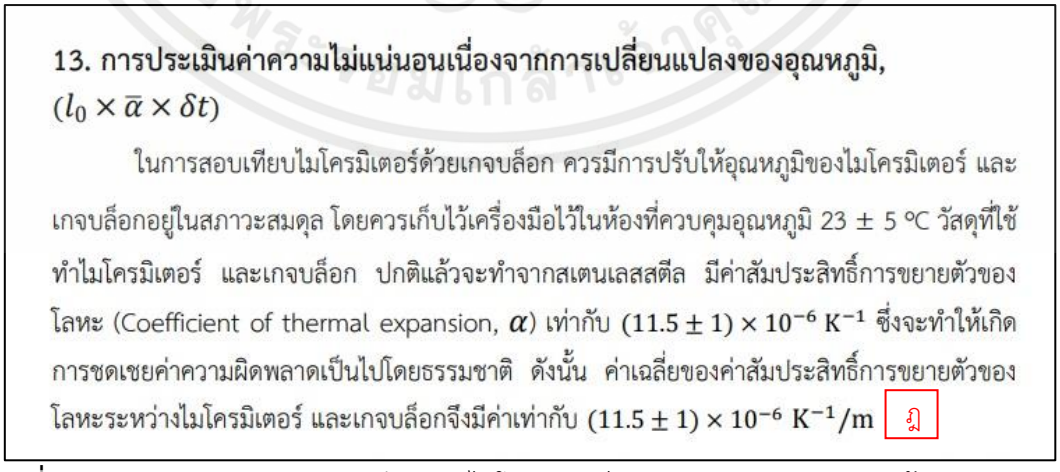
11.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อก, $u(\delta l_{ds})$

เนื่องจากเกจบล็อกเป็นมาตรฐานที่ทำจากโลหะ (สเตนเลสสตีล) โดยธรรมชาติของโลหะจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ความยาวของเกจบล็อกที่เปลี่ยนแปลงไปต่อระยะเวลา 1 ปี มีค่าดังตารางที่ 1 และมีลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular; $\sqrt{3}$) สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อกได้ดังสมการ (8) และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเกจบล็อกต่อปี มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของไมโครมิเตอร์ จึงสามารถละทิ้งค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุนี้ได้ และในกรณีที่เกจบล็อกมีประวัติการสอบเทียบมากกว่า 3 ครั้ง (3 ปี) ห้องปฏิบัติการจะต้องประเมินค่าคงตัว หรือค่าการเปลี่ยนแปลงของเกจบล็อกต่อระยะเวลา 1 ปี

ญ ตารางที่ 1 Stability of length ของความยาวของ Gauge block (หน่วย μm)

Grade	Maximum permissible change in length
K, 0	$\pm$ [0.02+(0.00025 × l_n)]
1, 2	$\pm$ [0.05+(0.0005 × l_n)]

รูปที่ 3.18 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก หัวข้อการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อก



13. การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, $(l_0 \times \bar{\alpha} \times \delta t)$

ในการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ด้วยเกจบล็อก ควรมีการปรับให้อุณหภูมิของไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อกอยู่ในสภาวะสมดุล โดยควรเก็บไว้เครื่องมือไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 5 °C วัสดุที่ใช้ทำไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อก ปกติแล้วจะทำจากสเตนเลสสตีล มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ (Coefficient of thermal expansion, α) เท่ากับ $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}}$ ซึ่งจะทำให้เกิดการชดเชยค่าความผิดพลาดเป็นไปโดยธรรมชาติ ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะระหว่างไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อกจึงมีค่าเท่ากับ $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\ \mathrm{K^{-1}/m}$ ฎ

รูปที่ 3.19 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก หัวข้อการประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฎ) จากรูปที่ 3.20 การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k ที่สามารถหาได้โดยใช้การคำนวณจากสมการที่ 14 ซึ่งสมการนี้คือสมการ Welch - Satterwaite อ้างอิงจาก EA-4/02 (1999) หน้า 25 หัวข้อ Appendix E หัวข้อย่อย (b) สมการ E.1 ดังรูปที่ 3.11

ฐ) จากรูปที่ 3.20 ตารางที่ 2 Coverage factors (k) for difference effective degreed of freedom (v_{eff}) อ้างอิงจาก EA-4/02 (1999) หน้า 26 หัวข้อ Appendix E หัวข้อย่อย (b) ตาราง E.1 ดังรูปที่ 3.12 โดยปกติแล้วตารางนี้จะนิยมใช้ในการเปรียบเทียบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ความจริงแล้ว ตารางนี้เป็นการเปรียบเทียบที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45% ถ้าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จะได้ค่า K = 1.96 แต่เนื่องจากเป็นความแตกต่างโดยทั่วไปที่ไม่มีนัยสำคัญ และเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน จึงใช้ตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45% แทนการใช้ตารางที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) ถ้าหากเป็นที่ระดับความเชื่อมั่นอื่น สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 3.2 อ้างอิงจาก M3003 (2007) หน้า 29 หัวข้อ Appendix B หัวข้อย่อย B7 และหากมีการแจกแจงแบบปกติเหมือนกัน แต่มีระดับความเชื่อมั่นต่างกัน ก็สามารถหาค่า K ได้ดังตารางที่ 3.3 อ้างอิงจาก M3003 (2007) หน้า 17 หัวข้อที่ 3.47

16. การคำนวณหาค่าตัวประกอบ (Coverage factor; k)

การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k สามารถคำนวณได้ดังสมการ (14)

ฎ $$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^{n} \frac{u_i^4}{v_i}} \qquad (14)$$

จากสมการที่ (15) จะสามารถคำนวณออกมาได้ว่า $v_{eff} = \infty$ ซึ่งเมื่อนำค่านี้ไปเปรียบเทียบในตารางที่ 2 จะได้ว่า ค่าตัวประกอบ k = 2.00

ฐ ตารางที่ 2 Coverage factors k for difference effective degreed of freedom v_{eff}

v_{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 3.20 กระบวนการการสอบเทียบของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก หัวข้อการคำนวณหาค่าตัวประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการดำเนินงาน

สามารถดำเนินงานตามแผนการได้ คือ

1) สรุปโครงสร้างของกระบวนการการสอบเทียบ
2) ออกแบบตัวอย่างขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ ซึ่งได้แก่
    1. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
    2. ไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก
3) สามารถเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการการสอบเทียบของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกกับมาตรฐานได้

รวมทั้งข้อมูลที่ได้ศึกษาค้นคว้ามา ก็สามารถนำไปต่อยอดได้ และพัฒนาเพิ่มพูนความรู้ ทักษะต่าง ๆ ได้ในอนาคต เช่น เรื่องมาตรฐานต่าง ๆ เรื่องการสอบเทียบ เรื่องความไม่แน่นอนของการวัด เรื่องความสามารถสอบกลับได้ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์นี้ ได้แก่ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก รวมทั้งเกจบล็อกด้วย ซึ่งเกจบล็อกเองก็เป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญอย่างมากในการสอบเทียบเครื่องมือวัดมิติ

4.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในโครงสร้างหลักของกระบวนการการสอบเทียบ บางหัวข้อก็อาจจะไม่ปรากฏในกระบวนการการสอบเทียบทุกหัวข้อ อาจจะเป็นหัวข้อเล็ก ๆ ที่ถึงแม้จะไม่มีหัวข้อนี้ก็ยังคงเข้าใจได้ หรือบางหัวข้อที่สำคัญแต่ไม่ปรากฏ อาจเป็นไปได้ว่าหัวข้อนั้นได้มีการเชื่อมโยงอ้างอิงกับมาตรฐานอื่น

2) จากข้อที่ 1) มาตรฐานที่ใช้เชื่อมโยงอาจจะมีได้หลายมาตรฐาน เพราะมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงเองก็ยังมีการไปอ้างถึงมาตรฐานอื่น ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องศึกษากระบวนการการสอบเทียบอย่างละเอียด รู้จักศึกษาค้นคว้ามีความรู้กว้างขวางในมาตรฐานอื่นด้วย และควรมีความเข้าใจกระบวนการการสอบเทียบในระดับหนึ่ง ซึ่งปริญญานิพนธ์นี้จะช่วยเพิ่มความรู้ความเข้าใจในเรื่องเกี่ยวกับกระบวนการการสอบเทียบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “**คาลิเปอร์.**” [Online]. Available : https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C. 2560.

[2] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. “**มาตรแวร์นีเย.**” [Online]. Available : https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%99%E0%B8%B5%E0%B9%80%E0%B8%A2. 2557.

[3] ณัฐพงศ์ พูลภักดี. “**ห้องปฏิบัติการสำหรับการสอบเทียบด้านมิติ ต้องทำอะไรบ้าง.**” [Online]. Available : http://tiktraining.blogspot.com/2015/04/blog-post_3.html. 2558.

[4] สืบศักดิ์. “**สอบถามเกี่ยวกับ Gauge Block.**” [Online]. Available : http://www.9engineer.com/index.php?m=webboard&a=show&topic_id=17376. 2553

[5] กระทรวงอุตสาหกรรม. “**ความหมายของมาตรฐานต่างๆ.**” [Online]. Available : http://www.industry.go.th/industry/index.php/th/knowledge/item/10584-2016-05-23-04-35-39. 2559.

[6] พจมาน ท่าจีน. **เรื่องความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement).** วิธีการอ่านค่าเวอร์เนียและไมโครมิเตอร์แบบสเกล

[7] “**วิธีการอ่านค่าเวอร์เนียและไมโครมิเตอร์แบบสเกล.**” [Online]. Available : https://www.sumipol.com/knowledge/scale-reading-2

[8] “**มาตรฐานสากล ISO/IEC 17025 คืออะไร.**” [Online]. Available : http://tools-article.sumipol.com/what-is-isoiec-17025. 2560.

[9] “**งานบริการสอบเทียบด้านมิติ.**” [Online]. Available : http://www.cic.kmutt.ac.th/pages/services_3.html. 2560.

[10] “**การอ่านค่าจากเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แบบอนาล็อค (Vernier Caliper).**” [Online]. Available : https://legatool.com/wp/2753. 2560.

[11] “**การใช้เวอร์เนียร์.**” [Online]. Available : http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/labphysics1/vernier/Vernier3.htm. 2560.

[12] “**การทดลองเรื่องการวัด.**” [Online]. Available : http://science.sut.ac.th/physics/webcomplete/measurement/measurement.htm.

[13] “**การบันทึกค่าการวัด.**” [Online]. Available : www.qcalibration.com/vernier.html. 2560.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] “**เกจบล็อก (GAUGE BLOCK).**” [Online]. Available : http://pse-cal.com/2019/03.

[15] “**เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper).**” [Online]. Available : https://physiclab08.wordpress.com/vernier. 2560.

[15] **ไมโครมิเตอร์ (Micrometer).**” [Online]. Available : http://www.bpcd.net/new_subject/industry/yungyut/metrology%20subject/unit%205/knowledge%20sheet.pdf. 2560.

[16] David Flack. **Measurement Good Practice Guide No. 40.** London : Queen 's Printer and Controller of HMSO. 2014

[17] oilmeter. “**เกจบล็อก.**” [Online]. Available : http://blogsandee.exteen.com/20140510/entry. 2557.

[18] International Organization for Standardization. **ISO 10012-1:1992.** Geneva : ISO 2003. 2013

[19] Calibration Laboratory. “**มาตรวิทยา (Metrology).**” [Online]. Available : http://www.cal-laboratory.com/page_bx.php?cid=21&cno=38. 2560.

[20] Calibration Laboratory. “**Traceability System.**” [Online]. Available : http://www.cal-laboratory.com/page_bx.php?cid=21&cno=39. 2560.

[21] Richard Hogan. “**Probability Distributions for Measurement Uncertainty.**” [Online]. Available : http://www.isobudgets.com/probability-distributions-for-measurement-uncertainty/

[22] “**vernier.**” [Online]. Available : http://www.qcalibration.com/vernier.html. 2560.

[23] “**Vernier Caliper.**” [Online]. Available : https://www.ponpe.com/component/tags/tag/vernier-caliper.html. 2560.

[24] “**How to Use and Read Digital Micrometers Correctly ?.**” [Online]. Available : http://www.tresnainstrument.com/how_to_use_and_read_digital_micrometers.html. 2017.

[25] “**Outside Micrometer (with Calibration Results / Calibration Certificate / Traceability System Image).**” [Online]. Available : https://th.misumi-ec.com/vona2/detail/223005053202.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
อุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

1.1 Vernier Caliper (เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์)

รายละเอียด

- Brand : MOORE & WRIGHT
- Model : MW110-15DBL
- Capacity : 0 – 150 mm / 0 – 6 inch
- Resolution : 0.01 mm / 0.0005 inch
- Accuracy: 0.03 mm / 0.001 inch
- Jaw Length : 40 mm
- Functions: mm/inch conversation, on/off, zero setting and ABS/INC
- Large LCD display, without data output
- All metal parts made of hardened stainless steel
- CR2032 battery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Value Line Digitronic Caliper 110 Series

Features

Standard: DIN 862

- ABS/INC measurement
- Large LCD display
- On/off switch
- Zero point at any position
- Displays values in mm and inch
- All metal parts made of hardened stainless steel
- CR2032 battery

VALUE LINE DIGITRONIC CALIPER 110-DBL SERIES

Code No	Capacity	Resolution	Jaw Length
MW110-15DBL	0-150mm/ 0-6"	0.01mm / 0.0005"	40mm

1.2 Digital Outside Micrometer (ไมโครมิเตอร์ดิจิตอลวัดนอก)

รายละเอียด

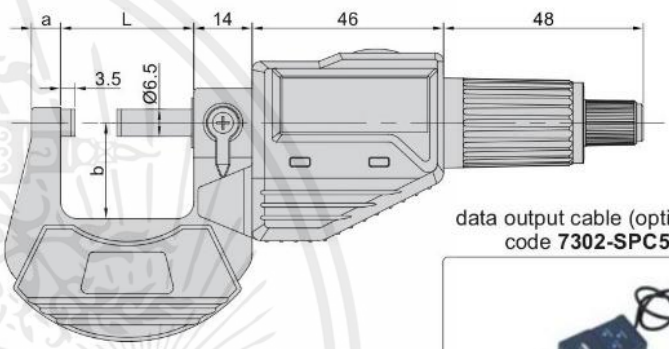
- Brand : INSIZE
- Model : 44 3109-25B
- Range : 0 - 25 mm / 0 – 1 inch
- Resolution : 0.001 mm / 0.00005 inch
- Accuracy : ± 0.002 mm
- Button function: on/off, set, mm/inch, ABS/INC
- Data output
- Battery CR2032, automatic power off (ระบบปิดอัตโนมัติป้องกันการสูญเสียแบตเตอรี่)
- Carbide measuring faces
- Ratchet friction thimble
- Supplied with spherical anvil
- Setting standards are included (except 0 - 25 mm / 0 – 1 inch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL OUTSIDE MICROMETER

3109-25B

Unit: mm



data output cable (optional)
code **7302-SPC5**

- Resolution 0.001mm/0.00005"
- Button function: on/off, set, mm/inch, ABS/INC
- Data output
- Battery CR2032, automatic power off
- Carbide measuring faces
- Friction thimble
- Supplied with spherical anvil
- Setting standards are included (except 0-25mm/0-1")
- Optional accessory: data output cable (code **7302-SPC5**, only for **3109-25B**)

(mm)

Code	Range	Accuracy	L	a	b
3109-25B*	0-25mm/0-1"	±2μm	31.5	7.0	23
3109-50B*	25-50mm/1-2"	±2μm	57.0	8.7	32
3109-75B*	50-75mm/2-3"	±3μm	82.5	7.5	44
3109-100B*	75-100mm/3-4"	±3μm	106.5	8.2	56

*Supplied with manufacturer inspection certificate traceable to DKD Germany

ภาคผนวก ข
กระบวนการการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์
(Calibration Procedure of Vernier Caliper)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์โดยใช้เกจบล็อก

(Vernier Caliper calibration by using Gauge Blocks)

1. รายละเอียดของเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ

เครื่องมือที่ใช้ (Tools)	:	Vernier Caliper
ลักษณะ (Description)	:	MOORE & WRIGHT รุ่น MW110-15DBL
พิสัย (Range)	:	0 - 150 mm / 0 - 6”
ความละเอียด (Resolution)	:	0.01 mm / 0.0005”
ค่าความถูกต้อง (Accuracy)	:	± 0.03 mm
มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง (Standards for Reference)	:	JIS B 7507 (1993)
วิธีการสอบเทียบ	:	การวัดความยาวเปรียบเทียบกับเกจบล็อก

2. เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ

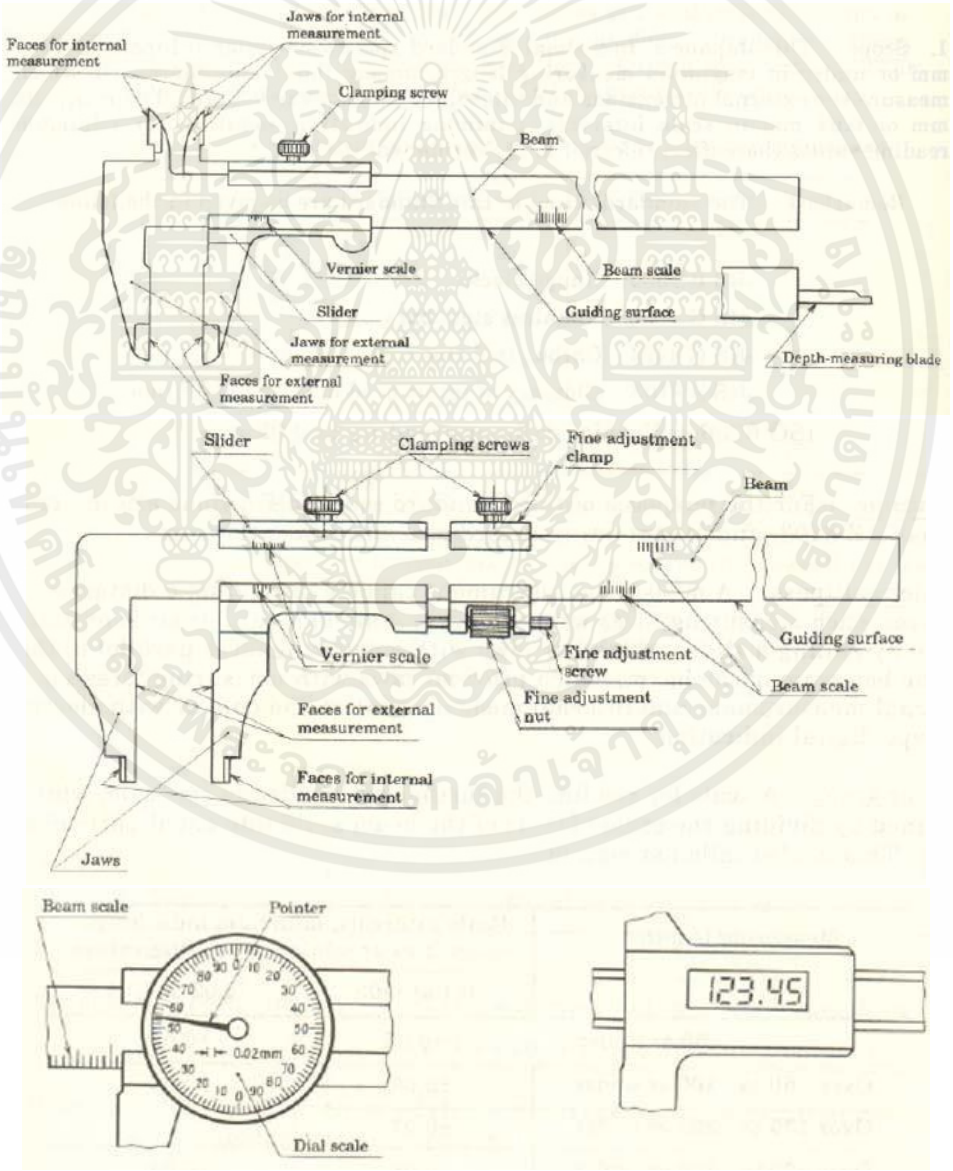
เครื่องมือที่ใช้ (Tools)	:	Gauge blocks (Steel) set (47 pcs.)
ลักษณะ (Description)	:	Mitutoyo
พิสัย (Range)	:	0.5 mm - 100 mm
ค่าความไม่แน่นอน	:	$U = \pm (0.05\ \mu m + 0.5 \cdot 10^{-6} \times l)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเตรียมความพร้อมก่อนการสอบเทียบ

4.1 การเตรียมเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

1) ทำความสะอาดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ก่อนการใช้งาน
2) ปรับตั้งศูนย์เวอร์เนียร์
3) ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แล้วบันทึกรายละเอียด เช่น ตรวจสอบความเรียบของปากวัด นำปากวัดนอกชนกันให้แนบสนิทต้องไม่มีแสงลอดผ่าน สภาพของปากวัด และหน้าสัมผัสต้องไม่มีรอยแตกบิ่น หากพบว่าอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ ให้ยกเลิกการสอบเทียบ



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ชนิดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเตรียมเกจบล็อก

1) ตรวจสอบวันหมดอายุ (Due date) ของเกจบล็อกก่อน ถ้าเกจบล็อกหมดอายุแล้วให้ทำการสอบเทียบก่อนนำมาใช้
2) เลือกขนาดของเกจบล็อกที่นำมาใช้ ตามพิสัยของเวอร์เนียร์ที่ต้องการสอบเทียบ โดยที่ขนาดของเกจบล็อกที่ใช้จะขึ้นอยู่กับพิสัยของเวอร์เนียร์ ในกรณีที่ขนาดของเกจบล็อกไม่ตรงกับตำแหน่งของการวัด ให้ใช้เกจบล็อกประกบกันให้ได้ขนาดตามต้องการ
3) ทำความสะอาดเกจบล็อกที่เลือกแล้วจากข้อ 2 ด้วยแอลกอฮอล์ หนังชามัวร์ หรือกระดาษอื่นที่ดีกว่า ห้ามใช้เศษผ้า หรือแขนเสื้อ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีรอยขีดข่วน ทำความสะอาดฝุ่นที่ติดอยู่ออกให้หมด ควรระมัดระวังไม่ให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อพื้นผิวของวัตถุที่จะทำการวัด หากพบว่ามีเกจบล็อกชำรุด มีรอยเยิน ควรแยกออก และซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดทันที
4) ขณะใช้งาน ไม่ควรใช้มือเปล่าจับเกจบล็อก เนื่องจากความร้อนจากมือจะทำให้เกจบล็อกขยายตัว ควรสวมถุงมือ หรือใช้ไม้หนีบจับเกจบล็อก
5) หลังการใช้งานจะต้องทำความสะอาดเกจบล็อกด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษ และเคลือบด้วยน้ำมัน จากนั้นควรเก็บรักษาในสถานที่ที่เหมาะสม เช่น เก็บในกล่องไม่โดนแสงแดด

รูปที่ 2 เกจบล็อก Set 47 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ด้วยเกจบล็อก

1. เลือกขนาดของเกจบล็อกตามพิสัยของเวอร์เนียร์ที่ต้องการสอบเทียบ ถ้าหากขนาดของเกจบล็อกไม่ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการวัดของเวอร์เนียร์ ให้ประกอบเกจบล็อกให้ได้ขนาดตามต้องการวางไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อปรับอุณหภูมิให้มีความเสถียร หากตำแหน่งที่ต้องการสอบเทียบไม่ตรงกับค่าของเกจบล็อก จะต้องมีการกำหนดตำแหน่งการสอบเทียบกันก่อน

2. ปรับตั้งศูนย์ (0) อ่านค่าที่เวอร์เนียร์ และบันทึกผล

3. วางเกจบล็อกไว้ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของเวอร์เนียร์ ปรับให้ผิวหน้าสัมผัสของเวอร์เนียร์ให้สัมผัสกับเกจบล็อก อ่านค่าที่เวอร์เนียร์ และบันทึกผล

การอ่านค่าเวอร์เนียร์ เริ่มจากอ่านค่าบนสเกลหลัก สังเกตว่าขีดศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์อยู่ตรงกับสเกลหลักที่ตำแหน่งใด บันทึกค่าที่อ่านได้จากสเกลหลัก จากนั้นจึงอ่านค่าบนสเกลเวอร์เนียร์ โดยสังเกตว่าขีดบนสเกลเวอร์เนียร์เส้นใดที่ตรงกับขีดที่อยู่บนสเกลหลัก นำค่านี้ไปคูณกับค่า least count ของเวอร์เนียร์ ผลคูณที่ได้จะเป็นค่าที่อ่านได้จากสเกลเวอร์เนียร์ จะเป็นค่าที่บอกทศนิยมตัวท้ายสุด ผลการวัดที่ได้จากการอ่านค่าของเวอร์เนียร์ คือ ผลรวมของค่าที่ได้จากการอ่านค่าบนสเกลหลัก และการอ่านค่าบนสเกลเวอร์เนียร์

4. ทำซ้ำข้อ 3. จนครบ 10 ครั้ง

5. เปลี่ยนขนาดเกจบล็อกเป็นชิ้นที่ 2 ไปจนถึงชิ้นสุดท้าย และทำการสอบเทียบตามข้อ 3 ถึง 4

6. นำค่าในตารางบันทึกผลการสอบเทียบมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ โดยที่สุดท้ายจะได้ค่าออกมาในรูปของการรายงานผลการประเมินความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

รูปที่ 3 การสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ด้วยเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การคำนวณหาค่าเฉลี่ย

การคำนวณหาค่าเฉลี่ย สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$\overline{\mathrm{X}} = \sum_{i-1}^{n} \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

เมื่อ $\mathrm{X_i}$ = ค่าที่วัดได้ค่าใด ๆ

n = จำนวนครั้งของการวัด

7. การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

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

เมื่อ $\overline{\mathrm{X}}$ = ค่าเฉลี่ยของการวัด

$\sigma_{\mathrm{n-1}}$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

8. การคำนวณหาค่าแก้ (Correction, $\mathrm{C_x}$)

การคำนวณหาค่า $\mathrm{C_x}$ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$\begin{aligned} \mathrm{C_x} &= \mathrm{Standard - Unknown\ value} \\ &= \mathrm{T} - \overline{\mathrm{X}} \end{aligned} \quad (3)$$

เมื่อ T = ค่าที่ถูกต้องของเกจบล็อก (mm)

= $\mathrm{N} + \mathrm{C_s}$

N = ค่าที่ระบุ (Nominal value) ของเกจบล็อก

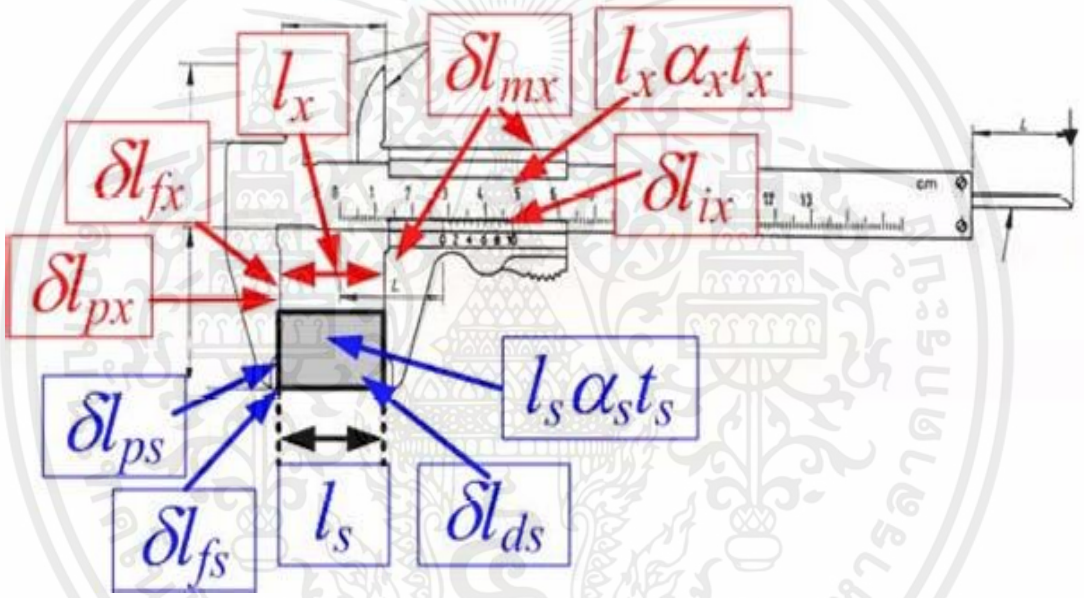
$\mathrm{C_s}$ = ค่าแก้ (Deviation from central length) ของเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ สามารถแบ่งค่าความไม่แน่นอนออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ ค่าความไม่แน่นอน Type A และค่าความไม่แน่นอน Type B

สำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอน สำหรับการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ที่พิสัย 0 mm - 150 mm ความละเอียด 0.01 mm โดยทำการวัด 16 ตำแหน่งครอบคลุมพิสัยการทำงานของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ (0 mm, 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, 50 mm, 75 mm, 100 mm, 125 mm, 150 mm) โดยใช้สตีลเกจบล็อก Set M10 และเกจบล็อก Set 47 ชิ้น สำหรับสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์โดยเฉพาะ



รูปที่ 4 สาเหตุของความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิเปอร์

จากรูปที่ 1 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดของเวอร์เนียร์คาลิเปอร์และสาเหตุที่ทำให้ผลการวัดเกิดความไม่แน่นอนดังสมการที่ (4)

$$\text{Correction of Indication} = \text{Standard Vale} - \text{Unknown value} \quad (4)$$
$$C_x = l_s - l_x + [l_s \alpha_s t_s - l_X \alpha_X t_X]$$

โดยที่หากห้องปฏิบัติการสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ± 5 °C จะประมาณว่าอุณหภูมิของเกจบล็อก และเวอร์เนียร์ต่างกัน 5 °C จะได้ว่า $C_x = l_s - l$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุของความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แสดงดังสมการ (5)

$$C_x = l_s - l_x - \delta l_{ds} + l_0 \times \bar{\alpha} \times \delta t - \delta l_{ix} - \delta l_{fx} - \delta l_{px} - \delta l_{mx} \qquad (5)$$

เมื่อ l_x = ความยาวของเวอร์เนียร์

l_s = ความยาวของเกจบล็อก ณ อุณหภูมิอ้างอิง (t_0) 20 °C

l_0 = ความยาวที่ระบุ

$\bar{\alpha}$ = $\frac{\alpha_s + \alpha_x}{2}$

= ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) ของโลหะระหว่างเกจบล็อก และเวอร์เนียร์

δt = $t_s - t_x$

= ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างเกจบล็อก และเวอร์เนียร์

δl_{ds} = ค่าความคงตัว (Stability) ของเกจบล็อก

δl_{fx} = ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากความไม่เรียบ (Flatness) ของผิวหน้าสัมผัสของเวอร์เนียร์

δl_{px} = ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากความไม่ขนาน (Parallelism) ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของเวอร์เนียร์ ด้าน Anvil และ Spindle

δl_{ix} = ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากความละเอียด (Resolution) ของเวอร์เนียร์

δl_{mx} = ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากระบบโครงสร้าง

10. การประเมินค่าความไม่แน่นอน Type A, $u(l_x)$ / u_A

10.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A ที่ได้จากการวัดซ้ำ (Repeatability)

สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนชนิด A ได้ดังสมการ (6)

$$u(l_x) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \qquad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. การประเมินค่าความไม่แน่นอน Type B

11.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากตัวมาตรฐาน (เกจบล็อก), $u(\boldsymbol{l_S})$

สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากตัวมาตรฐาน (เกจบล็อก) ได้ดังสมการ (7) ในการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่พิสัย 0 – 150 mm จะใช้เกจบล็อกขนาด 50 mm และ 100 mm โดยจะคำนวณหาค่า $\boldsymbol{u(l_S)}$ 50 mm และ $\boldsymbol{u(l_S)}$ 100 mm แยกกันก่อน จากนั้นหาค่า $\boldsymbol{u(l_S)}$ 150 mm โดยนำค่าที่ได้ทั้งคู่มารวมกัน จะได้ว่า Expanded Uncertainty มีค่า 0.05 μm + $0.5 \times 10^{-6} \times l$ (เมื่อ $\boldsymbol{l}$ คือความยาวของเกจบล็อก) และค่า K = 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$u(\boldsymbol{l_S}) = \frac{\text{Expanded uncertainty}}{k} \tag{7}$$

11.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อก, $u(\delta l_{ds})$

เนื่องจากเกจบล็อกเป็นมาตรฐานที่ทำจากโลหะ (สเตนเลสสตีล) โดยธรรมชาติของโลหะจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ความยาวของเกจบล็อกที่เปลี่ยนแปลงไปต่อระยะเวลา 1 ปี มีค่าดังตารางที่ 1 และมีลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular; $\sqrt{3}$) สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อกได้ดังสมการ (8) และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเกจบล็อกต่อปี มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เพราะฉะนั้น จึงสามารถละทิ้งค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุนี้ได้ และในกรณีที่เกจบล็อกมีประวัติการสอบเทียบมากกว่า 3 ครั้ง (3 ปี) ห้องปฏิบัติการจะต้องประเมินค่าคงตัวหรือค่าการเปลี่ยนแปลงของเกจบล็อกต่อระยะเวลา 1 ปี

ตารางที่ 1 Stability of length ของความยาวของเกจบล็อก (หน่วย μm)

Grade	Maximum permissible change in length
K, 0	$\pm$ [0.02+(0.00025 $\times$ l_n)]
1, 2	$\pm$ [0.05+(0.0005 $\times$ l_n)]

$$u(\delta l_{ds}) = \frac{\text{Stability of Gauge block}}{\sqrt{3}} \tag{8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์, $u(\delta l_{ix})$

12.1 ลักษณะการอ่านเป็นแบบดิจิทัล (Digital Reading)

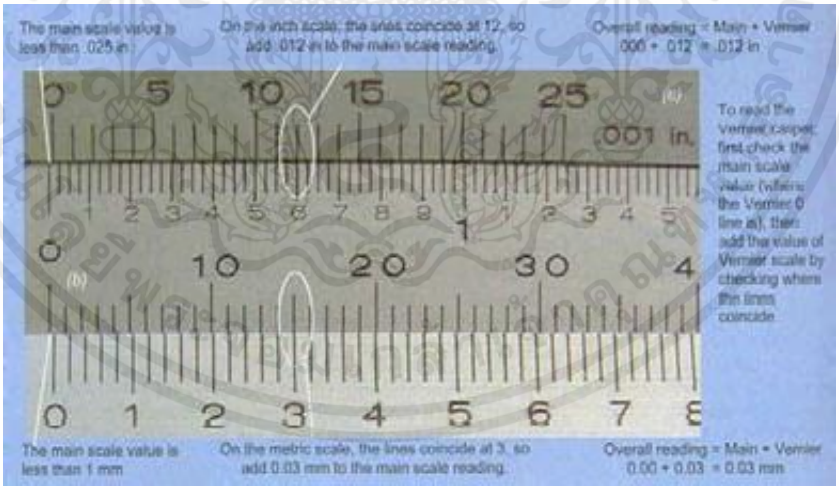
หากใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีความละเอียด 0.01 mm ลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Semi-range, $2\sqrt{3}$) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (9)

$$u(\delta l_{ix}) = \frac{\text{Resolution}}{2\sqrt{3}} \tag{9}$$

12.2 ลักษณะการอ่านเป็นแบบสเกล (Scale Reading)

หากใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีความละเอียด 0.05 mm ลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular, $\sqrt{3}$) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการอ่านสามารถคำนวณได้ดังสมการ (10) เมื่อ Readability คือ ความสามารถในการแบ่งขีดสเกล

$$u(\delta l_{ix}) = \frac{\text{Readability}}{\sqrt{3}} \tag{10}$$



รูปที่ 5 การแบ่งสเกลในการอ่านเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, $(l_0 \times \bar{\alpha} \times \delta t)$

ในการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ด้วยเกจบล็อก ควรปรับให้อุณหภูมิของเวอร์เนียร์ และเกจบล็อกอยู่ในสภาวะสมดุล โดยควรเก็บไว้เครื่องมือไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 5 °C วัสดุที่ใช้ทำเวอร์เนียร์ และเกจบล็อก ปกติแล้วจะทำจากสเตนเลสสตีล มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ (Coefficient of thermal expansion, α) เท่ากับ $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}$ ซึ่งจะทำให้เกิดการชดเชยค่าความผิดพลาดเป็นไปโดยธรรมชาติ ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเกจบล็อกจึงมีค่าเท่ากับ $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}/\mathrm{m}$

ระหว่างที่ทำการวัดนั้น จำเป็นที่จะต้องจับเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเกจบล็อกพร้อมกัน ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเกจบล็อกเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่กำหนดให้อุณหภูมิระหว่าง เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเกจบล็อกแตกต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 3 °C และกำหนดให้มีลักษณะการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular, $\sqrt{3}$) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสามารถคำนวณได้ดังสมการ (11)

13.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิ ระหว่างเกจบล็อกและเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์, $u(\delta t)$

$$u(\delta t) = l_0 \times \bar{\alpha} \times \left(\frac{\delta t}{\sqrt{3}}\right) \qquad (11)$$

$$= l_0 \times \bar{\alpha} \times \left(\frac{t_s - t_x}{\sqrt{3}}\right)$$

13.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ, $u(\bar{\alpha})$

$$u(\bar{\alpha}) = l_0 \times \bar{\alpha} \times \left(\frac{\frac{u(\alpha_s) + \mathrm{u}(\alpha_x)}{2}}{\sqrt{3}}\right) \qquad (12)$$

เมื่อ l_0 = ความยาวที่ระบุ ณ อุณหภูมิอ้างอิง (t_0 = 20 °C)

δt = $t_s - t_x$

= ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเกจบล็อก

= ± 3 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$u(\bar{\alpha})$ = $\frac{u(\alpha_s)+u(\alpha_x)}{2}$

= ค่าความไม่แน่นอนของผลต่างของสัมประสิทธิการขยายตัว (α) ของโลหะระหว่างเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ และเกจบล็อก $\left(2 \times 10^{-6}\ \frac{1}{^{\circ}\mathrm{C}}\right)$

14. การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากระบบโครงสร้างของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์, $u(\delta l_{mx})$

ในการสอบเทียบเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ที่มีพิสัย 0 mm ถึง 150 mm ด้วยเกจบล็อก จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากระบบโครงสร้างของเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Mechanical System) เช่น แรงกดของเวอร์เนียร์ กำหนดให้มีค่าโดยประมาณ 0.01 mm มีลักษณะการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular, $\sqrt{3}$) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากแรงกดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (13)

$$u(\delta l_{mx}) = \frac{\text{Effect from measuring force}}{\sqrt{3}} \quad (13)$$

$$= \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ mm}$$

15. ค่าความไม่แน่นอนรวม, (u_C)

ค่าความไม่แน่นอนรวม เป็นการนำค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุข้างต้น มารวมกันแบบรากที่สองยกกำลังสอง (Root Mean Square) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนรวมสามารถคำนวณได้ดังสมการ (14)

$$u_C = \sqrt{u^2(l_x) + u^2(l_s) + u^2(\delta l_{ds}) + u^2(\delta l_{ix}) + u^2(\delta l_{mx})^2 + u^2(\delta t) + u^2(\bar{\alpha})} \quad (14)$$

16. การคำนวณหาค่าตัวประกอบ (Coverage factor; k)

การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k สามารถคำนวณได้ดังสมการ (15)

$$v_{eff} = \frac{{u_C}^4}{\sum_{i=1}^{n} \frac{{u_i}^4}{v_i}} \quad (15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (15) จะสามารถคำนวณออกมาได้ว่า $v_{eff} = \infty$ ซึ่งเมื่อนำค่านี้ไปเปรียบเทียบในตารางที่ 2 จะได้ว่า ค่าตัวประกอบ k = 2.00

ตารางที่ 2 Coverage factors k for difference effective degreed of freedom v_{eff}

v_{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

17. ค่าความไม่แน่นอน, (Expanded Uncertainty, $U_{95\%}$)

ค่าความไม่แน่นอนสามารถคำนวณได้ดังสมการ (16)

$$U_{95\%} = k \times u_C \tag{16}$$

18. การรายงานผลการสอบเทียบ

การรายงานผลการสอบเทียบ โดยปกติจะรายงานด้วยค่าปริมาณที่วัดได้ $(\overline{Y})$ ตามด้วยค่าความไม่แน่นอนขยาย (U) ที่จะมีเลขนัยสำคัญไม่เกิน 2 ตำแหน่ง โดยแสดงเป็นค่า $\pm$ และตามด้วยระดับความเชื่อมั่นที่พิจารณา ตามรูปแบบดังนี้ $\overline{Y} \pm U$ ที่ระดับความเชื่อมั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
กระบวนการการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก
(Calibration Procedure of Digital Outside Micrometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกโดยใช้เกจบล็อก
(Digital Outside Micrometer calibration
by using Gauge Blocks)

1. รายละเอียดของเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ

เครื่องมือที่ใช้ (Tools)	:	Digital Outside Micrometer
ลักษณะ (Description)	:	INSIZE รุ่น 3109-25B
พิสัย (Range)	:	0 - 25 mm / 0 - 1”
ความละเอียด (Resolution)	:	0.001 mm / 0.00005”
ค่าความถูกต้อง (Accuracy)	:	± 0.002 mm
มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง (Standards for Reference)	:	JIS B 7502 (1994)
วิธีการสอบเทียบ	:	การวัดความยาวเปรียบเทียบกับเกจบล็อก

2. เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ

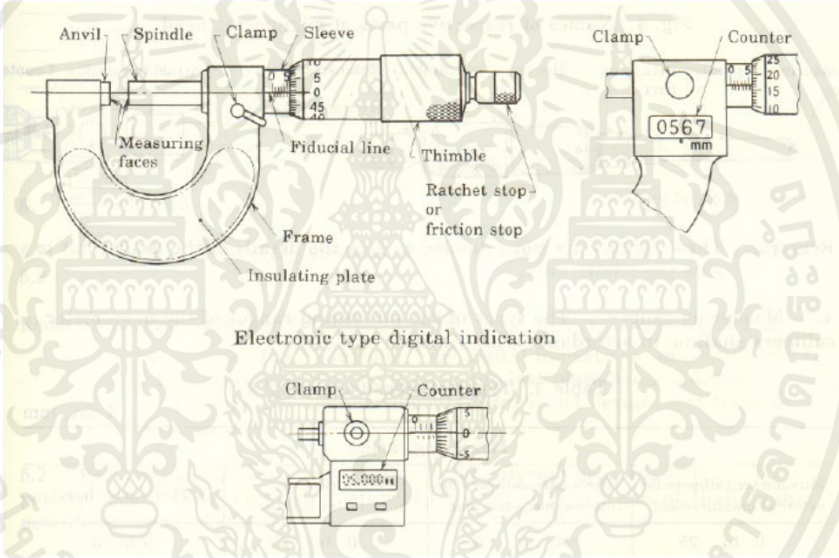
เครื่องมือที่ใช้ (Tools)	:	Gauge blocks (Steel) set M10
ลักษณะ (Description)	:	Mitutoyo
พิสัย (Range)	:	2.5 mm, 5.1 mm, 7.7 mm, 10.3 mm, 12.9 mm, 15 mm 17.6 mm, 20.2mm, 22.8 mm และ 25 mm
ค่าความไม่แน่นอน	:	$U = \pm (0.05\ \mu m + 0.5 \cdot 10^{-6} \times \ell)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเตรียมความพร้อมก่อนการสอบเทียบ

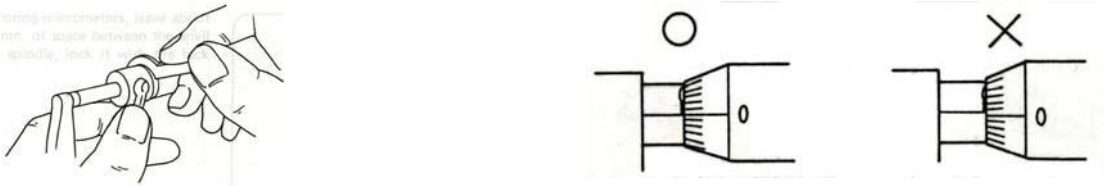
4.1 การเตรียมไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

1) ทำความสะอาดเวอร์เนียรคาลิปเปอร์ก่อนการใช้งาน
2) ปรับตั้งศูนย์ไมโครมิเตอร์
3) ตรวจสอบลักษณะทั่วไปของไมโครมิเตอร์แล้วบันทึกรายละเอียด เช่น ตรวจสอบความเรียบของปากวัด โดยนำปากวัดนอกชนกันให้แนบสนิทต้องไม่มีแสงลอดผ่าน ความคล่องตัวของการเคลื่อนที่ต้องไม่หลวม หรือฝืดเกินไป ตรวจสอบการใช้งานของปลอกหมุนกระทบเลื่อน หากพบว่าอยู่ในสภาพที่ไม่สมบูรณ์ ให้ยกเลิกการสอบเทียบ



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของไมโครมิเตอร์ชนิดวัดภายนอก

(a) (b)



(c) (d)

รูปที่ 2 การปรับตั้ง “0” ของไมโครมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การเตรียมเกจบล็อก

6) ตรวจสอบวันหมดอายุ (Due date) ของเกจบล็อกก่อน ถ้าเกจบล็อกหมดอายุแล้วให้ทำการสอบเทียบก่อนนำมาใช้
7) เลือกขนาดของเกจบล็อกตามพิสัยของไมโครมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ โดยที่ขนาดของเกจบล็อกที่ใช้จะขึ้นอยู่กับพิสัยของไมโครมิเตอร์ ในกรณีที่ขนาดของเกจบล็อกไม่ตรงกับตำแหน่งของการวัด ให้ใช้เกจบล็อกประกบกันให้ได้ขนาดตามต้องการ
8) ทำความสะอาดเกจบล็อกที่เลือกแล้วจากข้อ 2 ด้วยแอลกอฮอล์ หนังชามัวร์ หรือกระดาษอื่นที่ดีกว่า ห้ามใช้เศษผ้า หรือแขนเสื้อ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีรอยขีดข่วน ทำความสะอาดฝุ่นที่ติดอยู่ออกให้หมด ควรระมัดระวังไม่ให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อพื้นผิวของวัตถุที่จะทำการวัด หากพบว่ามีเกจบล็อกชำรุด มีรอยเยิน ควรแยกออก และซ่อมแซมส่วนที่ชำรุดทันที
9) ขณะใช้งาน ไม่ควรใช้มือเปล่าจับเกจบล็อก เนื่องจากความร้อนจากมือจะทำให้เกจบล็อกขยายตัว ควรสวมถุงมือ หรือใช้ไม้หนีบจับเกจบล็อก
10) หลังการใช้งานจะต้องทำความสะอาดเกจบล็อกด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษ และเคลือบด้วยน้ำมัน จากนั้นควรเก็บรักษาในสถานที่ที่เหมาะสม เช่น เก็บในกล่องไม่โดนแสงแดด

รูปที่ 3 เกจบล็อก Set M10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกด้วยเกจบล็อก

1. เลือกขนาดของเกจบล็อกตามพิสัยของไมโครมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ ถ้าหากขนาดของเกจบล็อกไม่ตรงกับตำแหน่งที่ต้องการวัดของไมโครมิเตอร์ ให้นำเกจบล็อกประกบกันให้ได้ขนาดตามต้องการ วางไวประมาณ 15 นาที เพื่อปรับอุณหภูมิให้มีความเสถียร หากตำแหน่งที่ต้องการสอบเทียบไม่ตรงกับค่าของเกจบล็อก จะต้องมีการกำหนดตำแหน่งการสอบเทียบกันก่อน

2. ปรับตั้งศูนย์ (0) อ่านค่าที่ไมโครมิเตอร์ และบันทึกผล

3. วางเกจบล็อกชิ้นที่ 1 ขนาด 2.5 mm ไว้ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ ปรับให้ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์สัมผัสกับเกจบล็อก อ่านค่าที่ไมโครมิเตอร์ และบันทึกผล

4. ทำซ้ำข้อ 3. จนครบ 10 ครั้ง

5. เปลี่ยนขนาดเกจบล็อกเป็นชิ้นที่ 2 ไปจนถึงชิ้นสุดท้าย และทำการสอบเทียบตามข้อ 3 ถึง 4

6. นำค่าในตารางบันทึกผลการสอบเทียบมาคำนวณหาค่าต่าง ๆ โดยที่สุดท้ายจะได้ค่าออกมาในรูปของการรายงานผลการประเมินความไม่แน่นอน ของการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

รูปที่ 4 การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกด้วยเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การคำนวณหาค่าเฉลี่ย

การคำนวณหาค่าเฉลี่ย สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$\overline{\mathrm{X}} = \sum_{i-1}^{n} \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

เมื่อ $\mathrm{X_i}$ = ค่าที่วัดได้ค่าใด ๆ

n = จำนวนครั้งของการวัด

7. การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

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

เมื่อ $\overline{\mathrm{X}}$ = ค่าเฉลี่ยของการวัด

$\sigma_{\mathrm{n-1}}$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

8. การคำนวณหาค่าแก้ (Correction, $\mathrm{C_x}$)

การคำนวณหาค่า $\mathrm{C_x}$ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)

$$\mathrm{C_x} = \mathrm{Standard - Unknown\ value} \quad (3)$$
$$= \mathrm{T} - \overline{\mathrm{X}}$$

เมื่อ T = ค่าที่ถูกต้องของเกจบล็อก (mm)

= $\mathrm{N} + \mathrm{C_s}$

N = ค่าที่ระบุ (Nominal value) ของเกจบล็อก

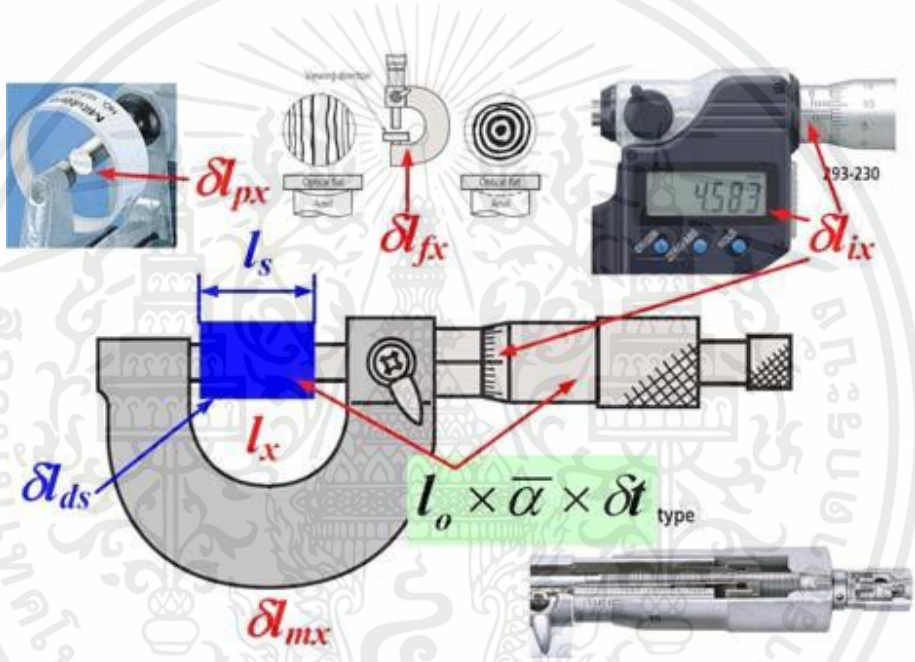
$\mathrm{C_s}$ = ค่าแก้ (Deviation from central length) ของเกจบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลวัดนอก

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ สามารถแบ่งค่าความไม่แน่นอนออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ ได้แก่ ค่าความไม่แน่นอน Type A และค่าความไม่แน่นอน Type B

สำหรับการประเมินค่าความไม่แน่นอน สำหรับการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก พิสัย 0 mm - 25 mm ความละเอียดระบบดิจิทัล 0.001 mm โดยทำการวัด 11 ตำแหน่ง ครอบคลุมพิสัยการทำงานของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก (0 mm, 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) โดยใช้สตีลเกจบล็อก Set M10 สำหรับสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกโดยเฉพาะ



รูปที่ 5 สาเหตุของความไม่แน่นอนของการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

จากรูปที่ 1 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก และสาเหตุที่ทำให้ผลการวัดเกิดความไม่แน่นอนดังสมการที่ (4)

$$\begin{aligned} \text{Correction of Indication} &= \text{Standard Vale} - \text{Unknown value} \\ C_x &= l_s - l_x + [l_s\alpha_s t_s - l_x\alpha_x t_x] \end{aligned} \qquad (4)$$

โดยที่หากห้องปฏิบัติการสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ± 5 °C จะประมาณว่าอุณหภูมิของเกจบล็อก และไมโครมิเตอร์ต่างกัน 5 °C จะได้ว่า $C_x = l_s - l$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาเหตุของความไม่แน่นอนของการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก แสดงดังสมการ (5)

$$C_x = l_s - l_x - \delta l_{ds} + l_0 \times \bar{\alpha} \times \delta t - \delta l_{ix} - \delta l_{fx} - \delta l_{px} - \delta l_{mx} \quad (5)$$

เมื่อ l_x = ความยาวของไมโครมิเตอร์

l_s = ความยาวของเกจบล็อก ณ อุณหภูมิอ้างอิง (t_0) 20 °C

l_0 = ความยาวที่ระบุ

$\bar{\alpha}$ = $\frac{\alpha_s + \alpha_x}{2}$

= ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) ของโลหะระหว่างเกจบล็อกและไมโครมิเตอร์

δt = $t_s - t_x$

= ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างเกจบล็อก และไมโครมิเตอร์

δl_{ds} = ค่าความคงตัว (Stability) ของเกจบล็อก

δl_{fx} = ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากความไม่เรียบ (Flatness) ของผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์

δl_{px} = ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากความไม่ขนาน (Parallelism) ระหว่างผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ ด้าน Anvil และ Spindle

δl_{ix} = ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากความละเอียด (Resolution) ของไมโครมิเตอร์

δl_{mx} = ค่าความเบี่ยงเบนเนื่องจากระบบโครงสร้าง

10. การประเมินค่าความไม่แน่นอน Type A, $u(l_x)$ / u_A

10.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A ที่ได้จากการวัดซ้ำ (Repeatability)

สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนชนิด A ได้ดังสมการ (6)

$$u(l_x) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. การประเมินค่าความไม่แน่นอน Type B

11.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากตัวมาตรฐาน (เกจบล็อก), $u(\boldsymbol{l_S})$

สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากตัวมาตรฐาน (เกจบล็อก) ได้ดังสมการ (7) ในการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ที่พิสัย 0 – 25 mm จะใช้เกจบล็อกขนาด 25 mm และ 100 mm จะได้ว่า Expanded Uncertainty มีค่า 0.05 μm + 0.5 × $\mathbf{10}^{-6}$ × l (เมื่อ l คือความยาวของเกจบล็อก) และค่า K = 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$u(\boldsymbol{l_S}) \;=\; \frac{\text{Expanded uncertainty}}{k} \qquad (7)$$

11.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อก, $u(\delta l_{ds})$

เนื่องจากเกจบล็อกเป็นมาตรฐานที่ทำจากโลหะ (สเตนเลสสตีล) โดยธรรมชาติของโลหะจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น ความยาวของเกจบล็อกที่เปลี่ยนแปลงไปต่อระยะเวลา 1 ปี มีค่าดังตารางที่ 1 และมีลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular; $\sqrt{3}$) สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนเนื่องจาก Drift ของเกจบล็อกได้ดังสมการ (8) และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของเกจบล็อกต่อปี มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของไมโครมิเตอร์ จึงสามารถละทิ้งค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุนี้ได้ และในกรณีที่เกจบล็อกมีประวัติการสอบเทียบมากกว่า 3 ครั้ง (3 ปี) ห้องปฏิบัติการจะต้องประเมินค่าคงตัว หรือค่าการเปลี่ยนแปลงของเกจบล็อกต่อระยะเวลา 1 ปี

ตารางที่ 1 Stability of length ของความยาวของ Gauge block (หน่วย μm)

Grade	Maximum permissible change in length
K, 0	± [0.02+(0.00025 × l_n)]
1, 2	± [0.05+(0.0005 × l_n)]

$$u(\delta l_{ds}) \;=\; \frac{\text{Stability of Gauge block}}{\sqrt{3}} \qquad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก, $u(\delta l_{ix})$

12.1 ลักษณะการอ่านเป็นแบบดิจิทัล (Digital Reading)

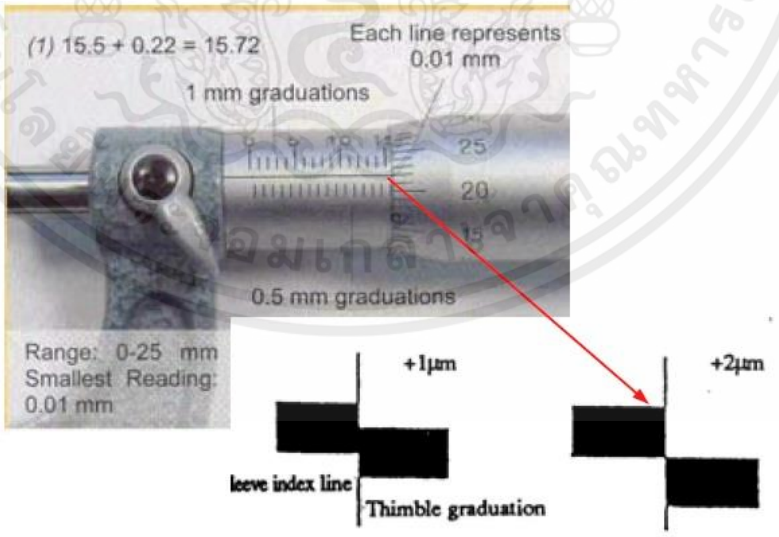
หากใช้ไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกที่มีความละเอียด 0.01 mm ลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Semi-range, $2\sqrt{3}$) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (9)

$$u(\delta l_{ix}) = \frac{\text{Resolution}}{2\sqrt{3}} \tag{9}$$

12.2 ลักษณะการอ่านเป็นแบบสเกล (Scale Reading)

หากใช้ไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอกที่มีความละเอียด 0.01 mm ซึ่งสามารถอ่านค่าสเกลได้ประมาณ 0.002 mm (หรือสามารถแบ่งได้ 5 ช่อง) ลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular, $\sqrt{3}$) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการอ่านสามารถคำนวณได้ดังสมการ (10) เมื่อ Readability คือ ความสามารถในการแบ่งขีดสเกล

$$u(\delta l_{ix}) = \frac{\text{Readability}}{\sqrt{3}} \tag{10}$$



รูปที่ 6 แสดงการแบ่งสเกลในการอ่านไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, $(l_0 \times \bar{\alpha} \times \delta t)$

ในการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ด้วยเกจบล็อก ควรมีการปรับให้อุณหภูมิของไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อกอยู่ในสภาวะสมดุล โดยควรเก็บไว้เครื่องมือไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 5 °C วัสดุที่ใช้ทำไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อก ปกติแล้วจะทำจากสเตนเลสสตีล มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ (Coefficient of thermal expansion, α) เท่ากับ $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}$ ซึ่งจะทำให้เกิดการชดเชยค่าความผิดพลาดเป็นไปโดยธรรมชาติ ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะระหว่างไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อกจึงมีค่าเท่ากับ $(11.5 \pm 1) \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}/\mathrm{m}$

ระหว่างทำการวัด จำเป็นที่จะต้องจับไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อกพร้อมกัน ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้อุณหภูมิระหว่างไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อกแตกต่างกันมากที่สุดไม่เกิน 3 °C และกำหนดให้มีลักษณะการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular, $\sqrt{3}$) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสามารถคำนวณได้ดังสมการ (11)

13.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากผลต่างของอุณหภูมิ ระหว่างเกจบล็อกและไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก, $u(\delta t)$

$$u(\delta t) = l_0 \times \bar{\alpha} \times \left(\frac{\delta t}{\sqrt{3}}\right) = l_0 \times \bar{\alpha} \times \left(\frac{t_s - t_x}{\sqrt{3}}\right) \quad (11)$$

13.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ, $u(\bar{\alpha})$

$$u(\bar{\alpha}) = l_0 \times \bar{\alpha} \times \left(\frac{\frac{u(\alpha_s) + \mathrm{u}(\alpha_x)}{2}}{\sqrt{3}}\right) \quad (12)$$

เมื่อ l_0 = ความยาวที่ระบุ ณ อุณหภูมิอ้างอิง (t_0 = 20 °C)

δt = $t_s - t_x$

= ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อก

= ± 3 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$u(\bar{\alpha})$ = $\frac{u(\alpha_s)+u(\alpha_x)}{2}$

= ค่าความไม่แน่นอนของผลต่างของสัมประสิทธิการขยายตัว (α) ของโลหะระหว่างไมโครมิเตอร์ และเกจบล็อก $\left(2 \times 10^{-6} \ \frac{1}{^{\circ}\mathrm{C}}\right)$

14. การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากระบบโครงสร้าง ของไมโครมิเตอร์ดิจิทัลชนิดวัดภายนอก, $u(\delta l_{mx})$

ในการสอบเทียบไมโครมิเตอร์ พิสัย 0 mm - 25 mm ด้วยเกจบล็อก ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากระบบโครงสร้างของไมโครมิเตอร์ (Mechanical System) จะไม่ส่งผลต่อค่าความถูกต้องของไมโครมิเตอร์ พิสัย 0 mm - 25 mm ดังนั้น จึงไม่พิจารณาค่าความไม่แน่นอนในกรณีนี้

15. ค่าความไม่แน่นอนรวม, (u_{C})

ค่าความไม่แน่นอนรวม เป็นการนำค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุข้างต้น มารวมกันแบบรากที่สองยกกำลังสอง (Root Mean Square) ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนรวมสามารถคำนวณได้ดังสมการ (13)

$$u_{\mathrm{C}} = \sqrt{u^2(l_x) + u^2(l_s) + u^2(\delta l_{ds}) + u^2(\delta l_{ix}) + u^2(\delta l_{mx})^2 + u^2(\delta t) + u^2(\bar{\alpha})} \quad (13)$$

16. การคำนวณหาค่าตัวประกอบ (Coverage factor; k)

การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k สามารถคำนวณได้ดังสมการ (14)

$$v_{eff} = \frac{{u_{\mathrm{C}}}^4}{\sum_{i=1}^{n} \frac{{u_i}^4}{v_i}} \quad (14)$$

จากสมการที่ (15) จะสามารถคำนวณออกมาได้ว่า $v_{eff} = \infty$ ซึ่งเมื่อนำค่านี้ไปเปรียบเทียบในตารางที่ 2 จะได้ว่า ค่าตัวประกอบ k = 2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 Coverage factors k for difference effective degreed of freedom v_{eff}

v_{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

17. ค่าความไม่แน่นอน, (Expanded Uncertainty, $U_{95\%}$)

ค่าความไม่แน่นอนสามารถคำนวณได้ดังสมการ (15)

$$U_{95\%} = k \times u_C \quad (15)$$

18. การรายงานผลการสอบเทียบ

การรายงานผลการสอบเทียบ โดยปกติจะรายงานด้วยค่าปริมาณที่วัดได้ ($\overline{Y}$) ตามด้วยค่าความไม่แน่นอนขยาย (U) ที่จะมีเลขนัยสำคัญไม่เกิน 2 ตำแหน่ง โดยแสดงเป็นค่า $\pm$ และตามด้วยระดับความเชื่อมั่นที่พิจารณา ตามรูปแบบดังนี้ $\overline{Y} \pm U$ ที่ระดับความเชื่อมั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้