กรมอุตุนิยมวิทยา

๔๓๕๓ ถนนสุขุมวิท กรุงเทพฯ 10260

METEOROLOGICAL DEPARTMANT

4353 Sukhumvit Road, Bangkok 10260, THAILAND

เอกสารวิชาการ

การหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) และการนำไปใช้งาน

คณะทำงานการจัดการความรู้ของส่วนอากาศการบินจังหวัด

ส่วนอากาศการบินลำปาง ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ

Determination of measurement uncertainty and applications

Working Team of Knowledge Management of the Provincial

Aviation Weather Observations Sub-division

Lampang Aviation Weather Observations Sub-division

Northern Meteorological Center

เอกสารวิชาการ เลขที่ ๕๕๑.๕๐๑.๙-๐๖-๒๕๖๗

Technical Document No. 551.501.9-06-2024

การหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) และการนำไปใช้งาน

Determination of measurement uncertainty and applications

คณะทำงานการจัดการความรู้
ของส่วนอากาศการบินจังหวัด

ส่วนอากาศการบินลำปาง

ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ

ธันวาคม พ.ศ. 2567

Working Team of Knowledge Management
of the Provincial Aviation Weather
Observation Sub-division

Lampang Aviation Weather Observation
Sub-division

Northern Meteorological Center

December 2024

คำนิยม

ขอขอบพระคุณ ครู อาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ในแขนงวิชาต่างๆ และความรู้ด้านอุตุนิยมวิทยา อุตุนิยมวิทยาการบิน เครื่องมืออุตุนิยมวิทยา ที่ใช้ทำเอกสารวิชาการครั้งนี้ ขอขอบคุณสำหรับคำแนะนำจาก นายพิสูจน์ พรหมสุทธิ์ จากกองเครื่องมืออุตุนิยมวิทยา และขอขอบคุณข้อมูลสนับสนุนจาก นายวิสุทธิ์ ส่องแสง ส่วนสื่อสารและเครื่องมือ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ที่ช่วยให้เอกสารวิชาการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะทำงานการจัดการความรู้ของส่วนอากาศการบินจังหวัด
ส่วนอากาศการบินลำปาง
ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) และการนำไปใช้งาน โดยนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลใบรายงานผลการสอบเทียบ (Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer, Cer.No.TMD 018/66 Digital Thermo Hygrometer, Cer.No.TMD 019/66 Digital Thermo Hygrometer) ของกรมอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากปัญหาการไม่สามารถนำค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) ไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

จากการศึกษาพบว่า แนวทางการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) นั้น ถูกกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานสากล และสำหรับค่าความไม่แน่นอนของการวัดสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (maximum permissible error : MPE) หรือนำไปรวมกับค่าความผิดพลาด (error) เพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดรวมแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (maximum permissible error : MPE) ซึ่งหากค่าความไม่แน่นอนหรือค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (maximum permissible error : MPE) จะถือว่า การตัดสินผลผ่าน สามารถนำเครื่องมือไปใช้งานได้ แต่หากการตัดสินผลไม่ผ่านต้องทำการแก้ไข ซึ่งใช้วิธีการขยายค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (maximum permissible error : MPE) ให้มากขึ้นเท่ากับค่าความแม่นยำ (accuracy) และถ้าหากการตัดสินผลยังคงไม่ผ่านอีกจะใช้วิธีการนำค่าความผิดพลาด (error) มาทำการหักแก้ (correction) อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวยังเป็นเพียงวิธีการพื้นฐานในการพิจารณาการใช้งานเครื่องมือวัดหลังการสอบเทียบ เพราะยังมีวิธีการที่มีความละเอียดมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานเครื่องมือวัดนั้นๆ

Abstract

This study was to determine the uncertainty of measurement and its application. By applying it to the calibration report data (Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer, Cer.No.TMD 018/66 Digital Thermo Hygrometer, Cer.No.TMD 019/66 Digital Thermo Hygrometer) of the Thai Meteorological Department. This was due to the problem that we could not use the uncertainty of measurement correctly.

From the study it was found that guidelines for determining the uncertainty of measurement have been established as international standards. The measurement uncertainty could be used to compare with the maximum permissible error (MPE). Also, it could be combined with error to get the total error and then compared it with maximum permissible error (MPE). If the uncertainty or total error was less than or equal to the maximum permissible error (MPE), it was considered that the decision has passed. But if the decision did not pass, correction must be made. The accuracy must be used instead of maximum permissible error (MPE) and if the decision still did not pass, we must correct the values by errors. However, this was only a basic method for determining the usability of measuring instruments after calibration. Because there are methods that are more details than this, depending on the purpose of using the measuring instrument.

สารบัญเรื่อง

		หน้า
	คำนิยม	ค
	บทคัดย่อ	ง
	Abstract	จ
	สารบัญเรื่อง	ฉ-ช
	สารบัญตาราง	ซ
	สารบัญภาพ	ฌ
	สารบัญภาคผนวก	ญ
1.	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตในการศึกษา	2
	1.2.1 วัตถุประสงค์	2
	1.2.2 ขอบเขตในการศึกษา	2
	1.3 เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาก่อน	2
	1.4 ทฤษฎีและ/หรือแนวคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา	2
	1.4.1 ความหมายของค่าความผิดพลาด (error)	2
	1.4.2 ความหมายของค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement)	3
	1.4.3 ขั้นตอนการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด	6
	1.4.4 การประมาณค่าความไม่แน่นอน Type A ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%	7
	1.4.5 การประมาณค่าความไม่แน่นอน Type B (Systematic error)	11
	1.4.6 การรวมความไม่แน่นอน (Combine Standard Uncertainty : u_c) ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%	17
	1.4.7 การขยายค่าความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	25
	1.4.8 การรายงานค่าความไม่แน่นอน (Report Uncertainty)	26
	1.4.9 การระบุเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) และผลการตัดสินการใช้งานเครื่องมือฯ ตามเกณฑ์	28

1.4.10 การใช้งานค่าความผิดพลาด (error), ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) และค่าความผิดพลาดรวม 29
1.5 วิธีดำเนินการศึกษาโดยสรุป 31
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 31
2. ข้อมูลและวิธีดำเนินการศึกษา 32
2.1 ข้อมูล 32
2.1.1 ค่าความผิดพลาด (error) 0kd (Cer.No.TMD 017/66, 018/66, 019/66) 32
2.1.2 ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) จาก (Cer.No.TMD 017/66, 018/66, 019/66) 34
2.2 วิธีดำเนินการศึกษา 36
2.2.1 การระบุเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) ของ (Cer.No.TMD 017/66, 018/66, 019/66) 36
2.2.2 ค่าความผิดพลาดรวม 36
2.2.3 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดรวมกับเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) 38
2.2.4 วิธีดำเนินการหากผลการตัดสินการใช้งานเครื่องมือฯ คือ ไม่ผ่าน 38
3. ผลการศึกษา 39
3.1 การตัดสินการใช้งานเครื่องมือฯ 39
3.2 การดำเนินการเมื่อผลการตัดสินการใช้งานเครื่องมือ คือ ไม่ผ่าน 46
3.3 ผลการวิเคราะห์ 48
4. บทวิจารณ์ 49
5. สรุปและข้อเสนอแนะ 50
5.1 สรุป 50
5.2 ข้อเสนอแนะ 50
บรรณานุกรม
ภาคผนวก i

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงข้อมูลซึ่งมีการกระจายต่างกัน	7
1.2	แสดงโอกาสของข้อมูลผลวัด	14
1.3	รูปแบบการแจกแจงและระดับความเชื่อมั่น	16
3.1	แสดงผลการตัดสินการใช้งาน Precision Aneroid barometer ที่ MPE = $\pm$ 0.0375 mm-Hg	39
3.2	แสดงผลการตัดสินการใช้งาน Precision Aneroid barometer ที่ MPE = $\pm$ 0.375 mm-Hg	40
3.3	แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดอุณหภูมิ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 0.10 ℃	41
3.4	แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดอุณหภูมิ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 1.0 ℃	41
3.5	แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 0.3%	42
3.6	แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 3%	42
3.7	แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดอุณหภูมิ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 0.10 ℃	43
3.8	แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดงานวัดอุณหภูมิ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 1.0 ℃	44
3.9	แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 0.3%	45
3.10	แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 3%	45
3.11	แสดงการใช้ค่าความผิดพลาดเป็นค่าแก้/ค่าชดเชย ของ Precision Aneroid barometer	46
3.12	แสดงการใช้ค่าความผิดพลาดเป็นค่าแก้/ค่าชดเชย ของ 019/66 66 Digital Thermo-Hygrometer (ความชื้นสัมพัทธ์)	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แสดงค่าความผิดพลาด (error) ที่ส่งผลต่อ accuracy	2
1.2	แสดงช่วงการวัดที่มีค่าที่แท้จริงอยู่	4
1.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) และความแม่นยำ (precision)	4
1.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy กับ precision	4
1.5	แสดงความผันแปรของ Random Error และ Systematic Error	6
1.6	แสดง Measured values	8
1.7	แสดงระดับความน่าจะเป็นหรือระดับความเชื่อมั่นของข้อมูลที่มีการกระจายตัวแบบ Normal Distribution Curve	10
1.8	แสดงฐานของการกระจายตัวหรือ Uncertainty of measurement	11
1.9	แสดงการกระจายแบบปกติ (Normal distribution)	12
1.10	แสดงการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular distribution / Uniform distribution)	12
1.11	แสดงการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular distribution)	12
1.12	แสดงการกระจายแบบยู (U-shaped distribution)	13
1.13	แสดงช่วงค่าของความไม่แน่นอนที่ 1 standard deviation	14
1.14	แสดงการหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68% ของการกระจายแบบปกติ (Normal distribution)	16
1.15	แสดงการหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68% ของการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular distribution / Uniform distribution)	17
1.16	แสดงการหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68% ของการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular distribution)	17
1.17	แสดงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขาออกเมื่อข้อมูลขาเข้า x_i มีการเปลี่ยนแปลง	18
1.18	แสดงการเปรียบเทียบขนาดค่าความผิดพลาดรวมกับขนาดเกณฑ์การยอมรับ	30

สารบัญภาคผนวก

		หน้า
	ภาคผนวกที่	
1.	ตารางแสดงการกระจายแบบ t-distribution ค่าของ t_p	ii
2	Attachment A Operationally desirable Accuracy of Measurement or Observation	iii
3	Summary of performance requirements for surface humidity	iv
4	Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer	v
5	Cer.No.TMD 018/66 Digital Thermo Hygrometer	vii
6	Cer.No.TMD 019/66 Digital Thermo Hygrometer	ix
7	Test Report Service 1 – HMP155 Humidity and Air Temperature Probe	xi
8	Calibration Certificate – PTB330(500-1100) Digital Barometer	xii
9	การประยุกต์ใช้งานค่าต่างๆ ในใบ Cer.No.TMD 017/66, 018/66 หากความกดอากาศสำรองของ AWOS ส่วนอากาศการบินลำปาง ไม่มีข้อมูล	xiii

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ตามเอกสาร Manual of Standards Aeronautical Meteorological Services ของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย Chapter 9 Contingency plan หัวข้อ 9.1.2 MET service provider shall establish a contingency plan that sets out the procedures to be followed if aeronautical meteorological services are interrupted นั้น

เมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2566 ตั้งแต่เวลาประมาณ 18.00 – 19.30 น. เกิดสภาพอากาศร้าย พายุฝนฟ้าคะนองรุนแรงที่สนามบินลำปาง ความเร็วลมสูงสุด 34 นอต ทัศนวิสัยต่ำสุด 650 เมตร ค่า RVR 1,300 เมตร ส่งผลให้ช่วงเวลาดังกล่าวเกิดความเสียหายแก่สิ่งก่อสร้าง อาคารบ้านเรือน ต้นไม้ใหญ่หักโค่นบริเวณสนามบินลำปางและพื้นที่ใกล้เคียง และทำให้กระแสไฟฟ้าขัดข้อง เครื่องปั่นไฟที่หอควบคุมการจราจรทางอากาศลำปางได้รับความเสียหายไม่สามารถทำงานได้ในขณะที่เกิดไฟฟ้าดับ ส่งผลให้ server ของระบบตรวจอากาศอัตโนมัติ AWOS ทำงานได้เพียงช่วงเวลาที่ UPS จะสำรองไฟได้ (ประมาณ 1 ชม.) หลังจากนั้นระบบทั้งหมดของ AWOS ไม่สามารถแสดงผลได้ รวมถึงเครื่องวัดความกดอากาศสำรองแบบดิจิทัล ซึ่งทำให้ผู้ตรวจอากาศไม่มีข้อมูลความกดอากาศที่ใช้ส่งข่าวอากาศการบิน

เครื่องมือวัดความกดอากาศสำรองฉุกเฉินเมื่อเครื่องวัดความกดอากาศสำรองแบบดิจิทัลของระบบ AWOS ใช้งานไม่ได้จึงมีความจำเป็น ส่วนอากาศการบินลำปางจึงได้จัดหา Precision Aneroid barometer มาติดตั้งไว้ที่สถานีตรวจอากาศการบินลำปาง ชั้น 2 เนื่องจากบารอมิเตอร์ประเภทนี้สามารถอ่านค่าได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องหักแก้อัตราผิดประจำเครื่อง อุณหภูมิประจำเครื่อง ความถ่วงตามละติจูด ความถ่วงตามความสูงของกระปุกปรอท และหักแก้ลงหาระดับน้ำทะเลปานกลาง ก่อนนำค่าที่อ่านได้เข้าสู่กระบวนการแปลงค่าเป็นความกดอากาศแบบ QNH

นอกจาก Precision Aneroid barometer แล้ว ส่วนอากาศการบินลำปางยังได้จัดหา Digital Thermo-Hygrometer ซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 2 ประเภท ได้รับการสอบเทียบจากส่วนมาตรฐานเครื่องมือตรวจอากาศ กองเครื่องมืออุตุนิยมวิทยา แต่พบปัญหาว่า หลังจากได้รับ Calibration Certificate แล้ว ส่วนอากาศการบินลำปางยังไม่มีความเข้าใจเรื่อง ค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) หรือค่า Uc ที่ระบุมาใน Calibration Certificate จึงไม่สามารถนำค่าเหล่านั้นไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง และกองเครื่องมืออุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยายังไม่มีการจัดทำเอกสารหรือคู่มือในการอธิบาย การหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) และการนำไปใช้งานให้แก่บุคคลทั่วไปที่สนใจ ส่วนอากาศการบินลำปางจึงหาแนวทางในการจัดทำเอกสารดังกล่าวขึ้นเพื่อนำมาแก้ไขปัญหาในการไม่มีเอกสารอ้างอิงและเพื่อเป็นองค์ความรู้และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตในการศึกษา

1.2.1 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาแนวทางการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement)
2) เพื่อสามารถนำค่าต่างๆ ในใบรายงานผลการสอบเทียบมาใช้งานได้

1.2.2 ขอบเขตในการศึกษา

ศึกษาแนวทางการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) และการนำค่าต่างๆ ในใบรายงานผลการสอบเทียบ (Cer.No.TMD 017/66, 018/66, 019/66) มาใช้งาน

1.3 เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการศึกษามาก่อน

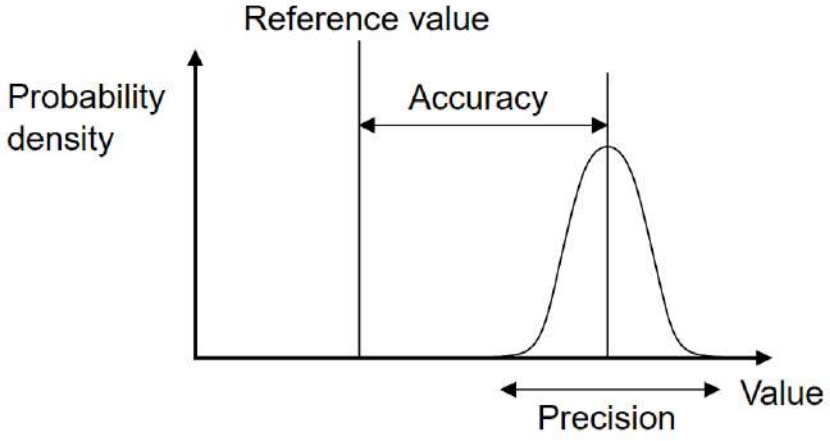
ไม่มี

1.4 ทฤษฎีและ/หรือแนวคิดที่นำมาใช้ในการศึกษา

1.4.1 ความหมายของค่าความผิดพลาด (error)

ความผิดพลาด (error) หรือ difference คือ ค่าของปริมาณที่วัดได้ (เข็มชี้) ลบด้วยค่าของปริมาณที่เป็นค่าอ้างอิง (standard, master, reference) (ภาคผนวก 7) ค่านี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ของเครื่องวัด (maximum permissible error : MPE) จะช่วยให้ตัดสินใจได้ว่าเครื่องมือวัดนั้น จะยอมรับให้นำไปใช้งานตามข้อกำหนดได้หรือไม่ โดยค่าความผิดพลาด (error) ส่งผลต่อความถูกต้อง (trueness) หรือส่วนใหญ่จะใช้กับคำว่า accuracy กล่าวคือ หากค่าความผิดพลาด (error) สูงจะทำให้ accuracy ต่ำ ในขณะที่หากค่าความผิดพลาด (error) ต่ำ จะทำให้ accuracy สูง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1.1

ค่าความผิดพลาด (error) = ค่าเข็มชี้ – ค่าของปริมาณที่เป็นค่าอ้างอิง สมการที่ 1



ภาพที่ 1.1 แสดงค่าความผิดพลาด (error) ที่ส่งผลต่อ accuracy

ตัวอย่าง การแสดงค่าความผิดพลาด (error)

ค่าเข็มชี้ (Indication)	ค่ามาตรฐาน (standard)	ค่าความผิดพลาด (error)	Error = Indication – standard หรือ error = ค่าเข็มชี้ - ค่ามาตรฐานที่ถูกต้องกว่า เช่น 1.0 – 1.01 = -0.01 หน่วย เป็นต้น
1.0	1.01	1.0 – 1.01 = -0.01	
1.2	1.25	1.2 – 1.25 = -0.05	
1.5	1.49	1.5 – 1.49 = +0.01	

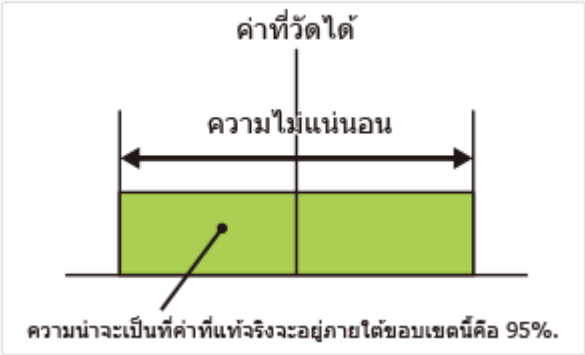
ข้อสังเกต error ต้องมีเครื่องหมายนำหน้าเสมอ

1.4.2 ความหมายของค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement)

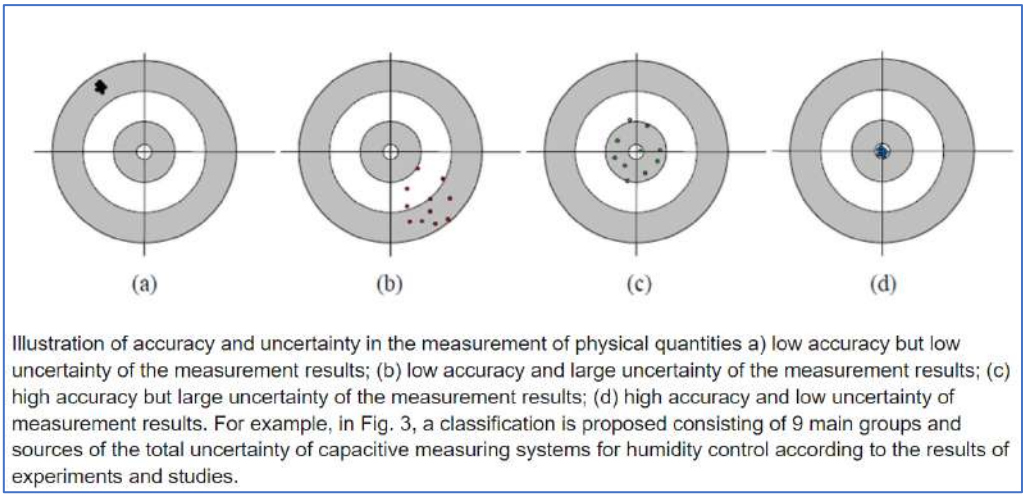
ปัจจุบันเมื่อเราเป็นผู้ให้บริการในฐานะห้องปฏิบัติการสอบเทียบหรือเมื่อเป็นผู้ใช้บริการของห้องปฏิบัติการสอบเทียบก็ตาม ข้อมูลที่มักต้องพบหรือเกี่ยวข้องอยู่ในรายงานผลการสอบเทียบมักจะมีคำว่า ความไม่แน่นอนของการวัดอยู่ด้วยเสมอ

ความสำคัญของการประมาณค่าความไม่แน่นอนในการวัด ในรายงานผลการสอบเทียบซึ่งเป็นการประเมินขนาดของปริมาณที่สนใจให้อยู่ในรูปของข้อมูลเพื่อที่จะใช้ในการวิเคราะห์หรือตัดสินใจว่าเครื่องมือวัดยังมีคุณสมบัติที่จะใช้งานต่อไปได้หรือไม่นั้น สิ่งที่ผู้ใช้ข้อมูลต้องการอย่างยิ่งคือ คุณภาพและความเชื่อถือได้ของข้อมูล ดังนั้นหากปราศจากคำอธิบายที่ชัดเจนว่าข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบมีความถูกต้องและความเชื่อถือได้เพียงใดแล้ว ข้อมูลจากการสอบเทียบดังกล่าวก็จะใช้ประโยชน์ได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งการแสดงค่าความไม่แน่นอนในการวัดไว้ในรายงานผลการสอบเทียบได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้อธิบายความสมบูรณ์ของกระบวนการสอบเทียบได้ดีที่สุด โดยผลการสอบเทียบที่เมื่อไม่นำค่าความไม่แน่นอนในการวัดมาพิจารณาร่วมด้วย จะให้ผลการวิเคราะห์อีกแบบหนึ่ง ดังนั้นเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องตรงตามความประสงค์ของผู้เป็นเจ้าของเครื่องมือวัด ผู้วิเคราะห์จึงควรเข้าใจถึงการใช้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดด้วย

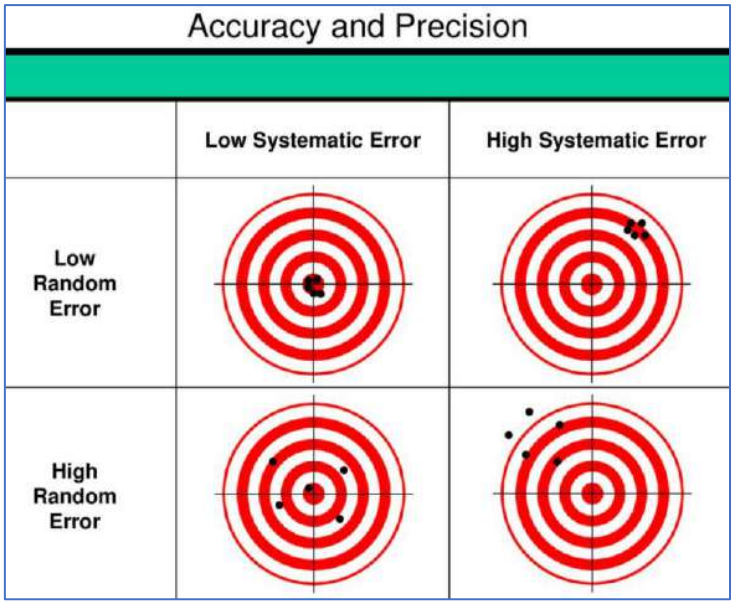
ความไม่แน่นอนของการวัด หมายถึง “ค่าประมาณของ**ช่วง**การวัดที่มีค่าที่แท้จริงอยู่” ดังภาพที่ 1.2 โดยต้องมีการบอก ค่าความเชื่อมั่น (level of confidence) ไว้ด้วย และต้องระบุค่า coverage factor (k-factor) ไว้ด้วย ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ส่งผลต่อความแม่นยำ (precision) กล่าวคือ ถ้าค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) มีค่าสูงจะทำให้ความแม่นยำ (precision) ต่ำและถ้าค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) มีค่าต่ำจะทำให้ความแม่นยำ (precision) สูง ดังภาพที่ 1.3 และความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy กับ precision สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1.4



ภาพที่ 1.2 แสดงช่วงการวัดที่มีค่าที่แท้จริงอยู่



ภาพที่ 1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่แน่นอน (uncertainty)
และความแม่นยำ (precision)



ภาพที่ 1.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Accuracy กับ precision

เนื่องจากค่าที่แท้จริงนั้นไม่สามารถหาได้จากการวัด เราจึงทำได้เพียงประมาณช่วงที่มีค่าที่แท้จริงตามการกระจายของค่าที่วัดได้ ความไม่แน่นอนในการวัดคือค่าเชิงปริมาณของความไม่แน่นอนของค่าที่วัดได้ซึ่งค่าความไม่แน่นอนของการวัดเกิดจากความแปรปรวนของเครื่องมือ ความแปรปรวนของการวัด สภาวะแวดล้อม และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ในกระบวนการทดสอบ / สอบเทียบของห้องปฏิบัติการ ค่าความไม่แน่นอนของการวัดนี้แสดงให้เห็นความไม่สมบูรณ์ของห้องปฏิบัติการทดสอบ / สอบเทียบ ค่าความไม่แน่นอนนี้ ตัวเลขที่รายงานมักจะมีเครื่องหมาย $\pm$ นำหน้า (ภาคผนวก 4-6) เนื่องจากค่าความไม่แน่นอนเป็นค่าที่แสดงความน่าจะเป็นที่มีโอกาสเป็นได้ทั้งบวกหรือลบ และระบุระดับความเชื่อมั่นมาด้วย ตามปกติห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% โดยห้องปฏิบัติการส่วนใหญ่จะรายงานผลการทดสอบ / สอบเทียบ เพียงอย่างเดียว จะไม่ตัดสินผลการสอบเทียบว่าผ่านหรือไม่ผ่าน

ตัวอย่าง เมื่อกำหนดค่าความไม่แน่นอนมาดังนี้

ค่าเข็มชี้ (Indication)	ค่ามาตรฐาน (standard)	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty)
1.0	1.01	$\pm$ 0.01
1.2	1.25	$\pm$ 0.01
1.5	1.49	$\pm$ 0.01

Uncertainty จากการสอบเทียบหมายความว่า ผู้สอบเทียบไม่รู้ค่าจริง (true value) ของ indication ของเครื่องวัด เช่น กรณีเข็มชี้เครื่องวัด 1.0 หน่วย ผู้สอบเทียบเชื่อว่าค่าจริงของเข็มชี้นั้นมีค่าระหว่าง 1.01 – 0.01 ถึง 1.01 + 0.01 คือ 1.00 – 1.02 หน่วย

ตัวอย่าง ในการสอบเทียบเครื่อง Digital volt meter ที่จุด 2.00 V รายงานค่าความไม่แน่นอนประมาณ $\pm$ 6 mV ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% หมายความว่า มี 95 ครั้ง ของการวัดที่รายงานค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่า $\pm$ 6 mV และมีอยู่ 5 ครั้งใน 100 ครั้ง ของการวัดค่าความไม่แน่นอนที่มากกว่า $\pm$ 6 mV

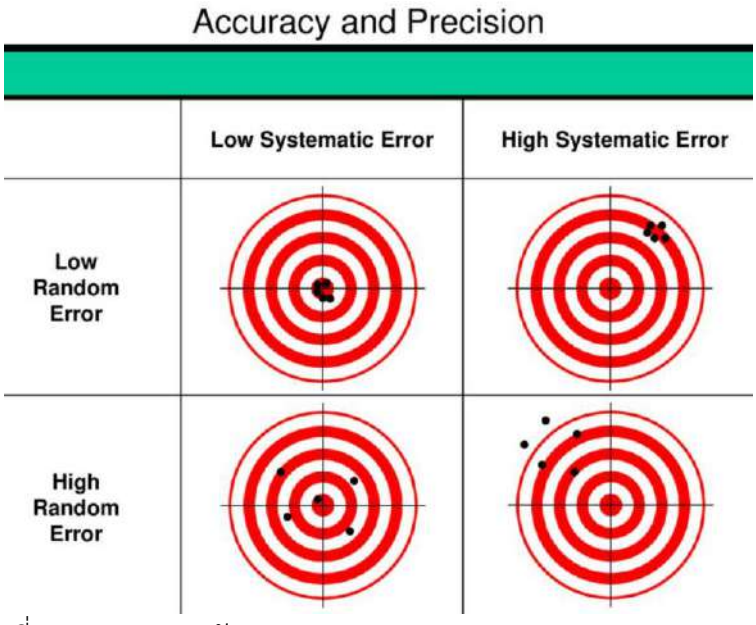
หากพยายามจัดกลุ่มโดยดูถึงแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนแล้ว จะพบว่าสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1) Random Error เป็นแหล่งของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างกันของค่าที่ได้จากการวัดแต่ละครั้ง โดยไม่สามารถอธิบายเหตุผลที่ชัดเจนได้ รวมทั้งมักจะไม่สามารถคาดการณ์แนวโน้มของความแตกต่างได้ด้วย ค่าความไม่แน่นอนที่ประมาณจากแหล่งของความไม่แน่นอนนี้มักจะประมาณภายใต้เงื่อนไขของ Repeatability

2) Systematic Error เป็นแหล่งของความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากความไม่สมบูรณ์ในการวัด ความไม่สมบูรณ์ดังกล่าวมีที่มาหลากหลาย ซึ่งผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญในการวัดจะสามารถคาดการณ์ความผิดพลาดในส่วนนี้ได้ ทั้งนี้อาจจะมีแหล่งที่อ้างอิงได้จากเอกสาร

หลักฐาน หรือข้อมูลต่างๆ รวมทั้งสามารถนำเทคนิคของ correction มาใช้ในการปรับลดความไม่แน่นอนของการวัดจากองค์ประกอบส่วนนี้ได้

หรือสามารถแสดงความผันแปรของ Random Error และ Systematic Error ได้ดังภาพที่ 1.5



ภาพที่ 1.5 แสดงความผันแปรของ Random Error และ Systematic Error

1.4.3 ขั้นตอนการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด

1) การประมาณค่าความไม่แน่นอน Type A ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%

2) การประมาณค่าความไม่แน่นอน Type B (Systematic error)

2.1) รูปแบบการแจกแจง (Distribution type)

2.2) การพิจารณาแหล่งความไม่แน่นอน

2.3) การปรับ Type B uncertainty เป็น 68% Confident Level

3) การรวมความไม่แน่นอน (Combine Standard Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%

3.1) กรณีหน่วยเดียวกัน (โดยวิธี RSS : Root Sum Square)

3.2) กรณีไม่มีหน่วยวัด (โดยวิธี Relative Standard Uncertainty)

4) การขยายค่าความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.1) การหา Effective Degree of Freedom (Veff)

4.2) การเปิดตาราง t- distribution เพื่อหาค่า k-factor

5) การรายงานค่าความไม่แน่นอน (Report Uncertainty)

1.4.4 การประมาณค่าความไม่แน่นอน Type A ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%

Type A นั้น จะได้มาจากการที่เราทำการวัดซ้ำๆ (อย่างน้อยตั้งแต่ 4 ซ้ำ ขึ้นไป โดยทั่วไป 4-10 ซ้ำ) โดยใช้เครื่องมือ วิธีการ และผู้ทดสอบ ใช้หลักสถิติและการกระจายตัวแบบ Normal Curve (การกระจายตัวแบบระฆังคว่ำ)

1) การวัดการกระจายของข้อมูล (measures of dispersion)

การวัดการกระจาย เป็นสถิติประเภทหนึ่งที่คำนวณออกมาเป็นตัวเลข เพื่อใช้อธิบายลักษณะการกระจายของข้อมูล การที่ข้อมูลชุดหนึ่งๆ เช่น คะแนนที่มีค่าต่างๆ กัน เราเรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีการกระจาย ถ้าข้อมูลชุดนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าต่างกันมาก เรียกว่าเป็นข้อมูลที่มีการกระจายมาก ถ้าข้อมูลชุดนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าต่างกันน้อย เรียกว่า เป็นข้อมูลที่มีการกระจายน้อย และถ้าข้อมูลนั้นประกอบด้วยคะแนนที่มีค่าเท่ากันหมด เรียกว่า เป็นข้อมูลที่ไม่มีการกระจายแสดงได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลซึ่งมีการกระจายต่างกัน

ข้อมูลชุดที่	คะแนนในชุดข้อมูล	ลักษณะการกระจาย
1	7 10 35 70 100	มีการกระจายมาก
2	50 58 60 61 67	มีการกระจายน้อย
3	30 30 30 30 30	ไม่มีการกระจาย

การวัดการกระจายนิยมใช้ควบคู่กับการวัดแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์กลาง เพราะจะช่วยอธิบายลักษณะของข้อมูลได้ชัดเจนขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเป็นเพียงการบอกค่ากลางของข้อมูลชุดนั้น แต่เราก็ยังไม่ทราบชัดเจนถึงลักษณะการกระจายของข้อมูลว่าคะแนนต่างๆ ในชุดข้อมูลนั้นมีค่าใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันมาก ถ้าเรามีทั้งค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและค่าการกระจายก็จะทำให้เข้าใจลักษณะข้อมูลนั้นได้ชัดเจนขึ้นมากกว่ามีแต่ค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเพียงอย่างเดียว

<u>ตัวอย่าง</u> นักเรียน 2 กลุ่ม ได้รับการทดสอบก่อนเรียนในวิชาเดียวกัน ด้วยข้อสอบชุดเดียวกัน ผลปรากฏว่าคะแนนทดสอบของทั้ง 2 กลุ่ม มีค่าเฉลี่ยน (mean) 40 คะแนนเท่ากัน ถ้าผู้สอนทราบเพียงว่านักเรียน 2 กลุ่มทำแบบทดสอบก่อนเรียนได้ค่าเฉลี่ยเท่ากันก็จะเข้าใจเพียงว่า นักเรียน 2 กลุ่ม มีความรู้พื้นฐานพอๆ กัน แต่จะไม่ทราบว่าการกระจายของคะแนนหรือความรู้พื้นฐานของนักเรียนแต่ละกลุ่มเป็นอย่างไร แตกต่างกันมากน้อยเพียงไร ลองพิจารณาข้อมูลคะแนนในแต่ละกลุ่ม ดังนี้

กลุ่ม ก 45 31 60 54 21 28 41 (Mean = 40)

กลุ่ม ข 39 45 30 41 32 50 43 (Mean = 40)

จะเห็นว่าในกลุ่ม ก คะแนนแตกต่างกันมากกว่ากลุ่ม ข ช่วยให้ผู้สอนเข้าใจถึงความแตกต่างของความรู้พื้นฐานว่ากลุ่ม ก นักเรียนมีความรู้แตกต่างกันมากกกว่ากลุ่ม ข ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการจัดการเรียนการสอนต่อไป การวัดการกระจายของข้อมูล แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

(1) การวัดการกระจายสัมบูรณ์ (Absolute Variation) คือ การวัดการกระจายของข้อมูลเพียงชุดเดียว เพื่อดูว่าข้อมูลชุดนั้นมีค่าความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด นิยมใช้อยู่ 4 ชนิด

-พิสัย (range)

-ส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (quartile deviation)

-ส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (mean deviation หรือ average deviation)

-ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

(2) การวัดการกระจายสัมพัทธ์ (Relative Variation) คือ การวัดการกระจายของข้อมูลที่มากกว่า 1 ชุด โดยใช้อัตราส่วนของค่าที่ได้จากการวัดการกระจายสัมบูรณ์ กับค่ากลางของข้อมูลนั้นๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูล มีอยู่ 4 ชนิดคือ

-สัมประสิทธิ์ของพิสัย (coefficient of range)

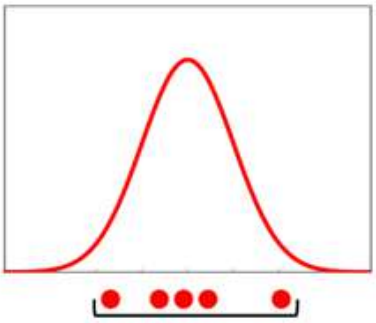
-สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนควอร์ไทล์ (coefficient of quartile deviation)

-สัมประสิทธิ์ของส่วนเบี่ยงเบนเฉลี่ย (coefficient of average deviation)

-สัมประสิทธิ์ของความแปรผัน (coefficient of variation)

2) การหาค่าเฉลี่ยของการวัด (mean ; $\bar{X}$)

คือ การหาค่าเฉลี่ยจากการรวมค่าของข้อมูลทั้งหมดแล้วหารด้วยจำนวนของข้อมูลที่นำมารวมกัน ดังแสดงในภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 แสดง Measured values

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n}$$ สมการที่ 2

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด (mean)

X_i คือ ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

n คือ จำนวนครั้งที่วัด

<u>ตัวอย่าง</u> มีข้อมูลตัวอย่างดังนี้ 1.03 kg, 0.98 kg, 0.99 kg, 1.01 kg, 0.99 kg ให้หาค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด ; $\bar{X}$ (mean)

จากสมการที่ 2 $\bar{X}$ = (1.03+0.98+0.99+1.01+0.99) kg / 5

= 5 kg / 5

= 1.00 [kg]

3) การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (Experimental standard deviation ; s)

-เป็นการวัดค่า “ระยะทางเฉลี่ย” ของข้อมูลจาก ค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด (mean)

-ค่าต้องไม่ติดลบและไม่เป็น 0 เว้นแต่ว่า ค่า “ระยะทางเฉลี่ย” ของข้อมูลมีค่าเท่ากันกับค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด (mean)

-ข้อมูลทุกตัวมีผลกระทบ

$$s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2}{n-1}} \qquad \text{สมการที่ 3}$$

เมื่อ s คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

X_i คือ ค่าที่วัดได้ในแต่ละครั้ง

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด

n คือ จำนวนครั้งที่วัด

<u>ตัวอย่าง</u> มีค่าการวัดของข้อมูลตัวอย่างดังนี้ 1.03 kg, 0.98 kg, 0.99 kg, 1.01 kg, 0.99 kg ให้หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง ; s

จากสมการที่ 1 $\bar{X}$ = (1.03+0.98+0.99+1.01+0.99) kg / 5

= 1.00 [kg]

X_i	$X_i-\bar{X}$	$(X_i-\bar{X})^2$
1.03	1.03 -1 = 0.03	0.0009
0.98	0.98 – 1 = -0.02	0.0004
0.99	0.99 -1 = -0.01	0.0001
1.01	1.01 – 1 = 0.01	0.0001
0.99	0.99 – 1 = -0.01	0.0001
		$\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2$ = 0.0016

จากสมการที่ 3 $s = \sqrt{\frac{0.0016}{5-1}} = 0.02$ [kg]

4) การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างของค่าเฉลี่ย (Experimental standard deviation of the mean ; $s(\bar{X})$)

$$s(\bar{X}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$$ สมการที่ 4

เมื่อ $s(\bar{X})$ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างของค่าเฉลี่ย หรือ ค่าความไม่แน่นอนของ Type A

s คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

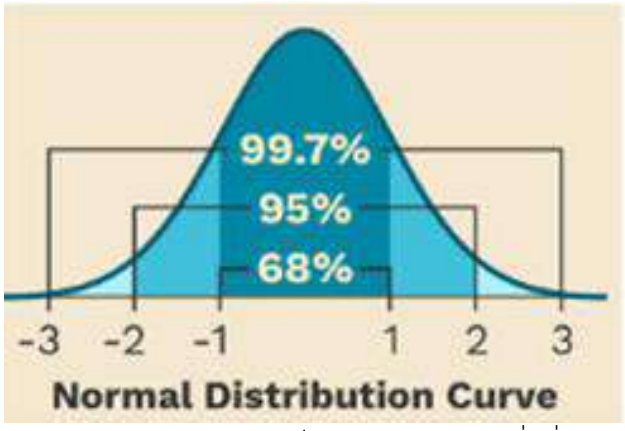
n คือ จำนวนครั้งที่วัด

ตัวอย่าง มีค่าการวัดของข้อมูลตัวอย่างดังนี้ 1.03 kg, 0.98 kg, 0.99 kg, 1.01 kg, 0.99 kg ให้หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างของค่าเฉลี่ย; $s(\bar{X})$

จากสมการที่ 2 และ 3 ได้ $s = 0.02$

จากสมการที่ 4 $s(\bar{X}) = \frac{0.02}{\sqrt{5}} = 0.00894$ [kg]

โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างของค่าเฉลี่ย; $s(\bar{X})$ หรือค่าความไม่แน่นอนของ Type A ณ จุดวัดนั้นๆ มีค่าความน่าจะเป็นที่ 1 s (1 standard deviation) หรือประมาณ 68% ดังแสดงในภาพที่ 1.7

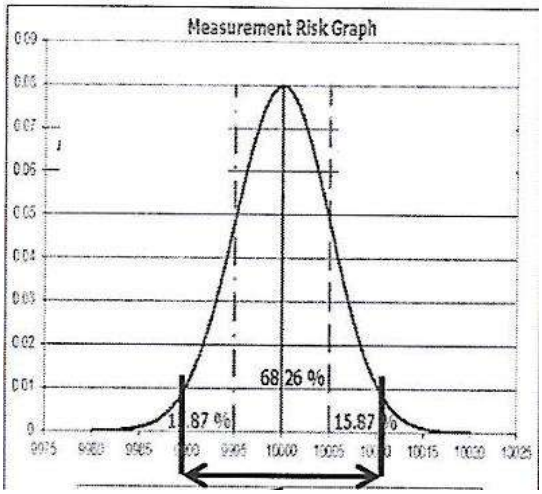


ภาพที่ 1.7 แสดงระดับความน่าจะเป็นหรือระดับความเชื่อมั่นของข้อมูลที่มีการกระจายตัวแบบ Normal Distribution Curve

1.4.5 การประมาณค่าความไม่แน่นอน Type B (Systematic error)

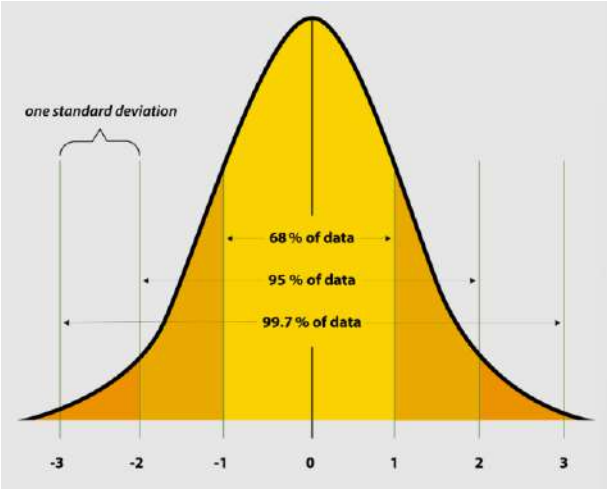
- รูปแบบการแจกแจง (Distribution type)

ช่วงค่าที่แสดงถึงฐานของการกระจายตัว (distribution) ของผลการวัด เรียกว่า Uncertainty of measurement หรือ Measurement uncertainty ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งในการประมาณขนาดจริง (True value) ของสิ่งที่ถูกวัดดังภาพที่ 1.8

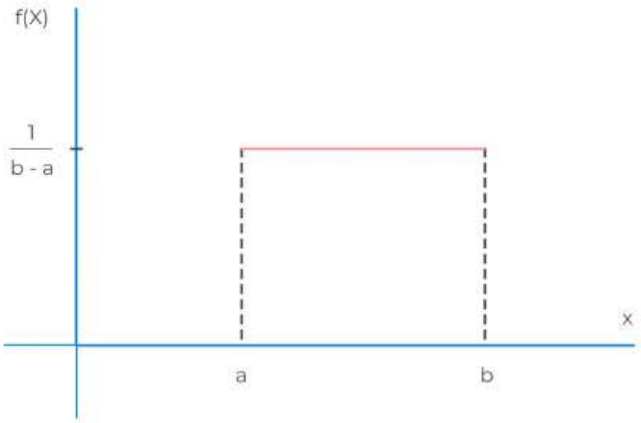


ภาพที่ 1.8 แสดงฐานของการกระจายตัวหรือ Uncertainty of measurement

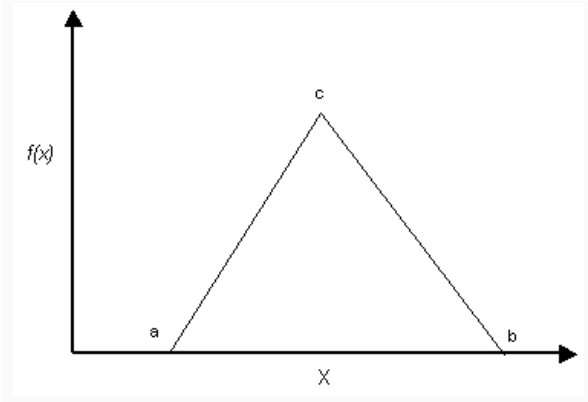
เพื่อที่จะเข้าใจถึงเหตุผลที่ชัดเจนในการตัดสินใจทางสถิติ ความเข้าใจเกี่ยวกับ Probability Distribution จึงเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ ปริมาณ (Random Variable) กับโอกาสของการเกิดค่านั้นในประชากร (population) สำหรับการกระจายของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบ มีลักษณะการกระจายข้อมูลแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ เบื้องต้นดังนี้ การกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ดังภาพที่ 1.9 และการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular distribution / Uniform distribution) ดังภาพที่ 1.10 แต่หากศึกษาให้ลึกซึ้งในรายละเอียดก็อาจพบการแจกแจงที่มีลักษณะการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular distribution) ดังภาพที่ 1.11 การกระจายแบบยู (U-shaped) ดังภาพที่ 1.12 และอื่นๆ



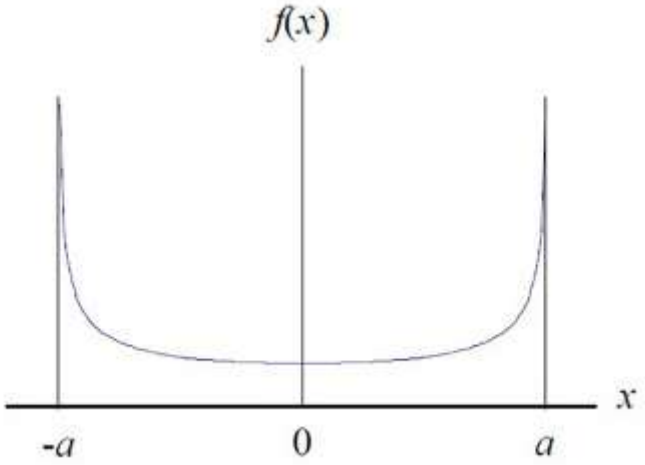
ภาพที่ 1.9 แสดงการกระจายแบบปกติ (Normal distribution)



ภาพที่ 1.10 แสดงการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า
(Rectangular distribution / Uniform distribution)



ภาพที่ 1.11 แสดงการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular distribution)



ภาพที่ 1.12 แสดงการกระจายแบบยู (U-shaped distribution)

- การพิจารณาแหล่งความไม่แน่นอน
  (1) แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก การรายงานผลค่า Uncertainty ในใบ Certificate จากการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการภายนอก
  (2) แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก ค่าความละอียดของเครื่องมือวัด (Resolution)
  (3) แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก Accuracy ของเครื่องมือ
  (4) แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก Drift / Stability ของเครื่องมือ
  (5) แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก สัมประสิทธิ์การขยายตัวของอุณหภูมิ
  (6) แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก รายงานค่าความไม่แน่นอนของวัสดุอ้างอิงรับรอง (CRM)

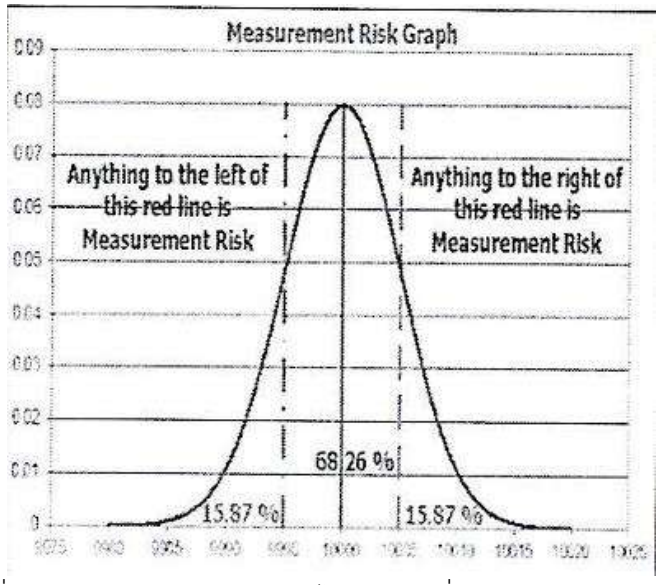
  ซึ่งในแต่ละแหล่งความไม่แน่นอนเหล่านี้มีระดับความเชื่อมั่น (Confidence level) ไม่เท่ากัน ซึ่งเราต้องทำการปรับให้เป็น 68% ก่อนการรวม Type A กับ Type B เข้าด้วยกัน

<u>หมายเหตุ</u> สามารถอ้างอิง Type B Uncertainty ตามมาตรฐานทางวิชาการต่างๆ เช่น M3003, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, GUM-BIPM หรือ มาตรฐานการสอบเทียบของเครื่องมือนั้นๆ ที่ระบุการคำนวณ Uncertainty ไว้ด้วย

ระดับความเชื่อมั่น (Level of confidence)

Level of confidence เป็นการบอกข้อมูลความเชื่อมั่นของผู้สอบเทียบว่า ผลการสอบเทียบนั้นเชื่อมั่นได้เท่าไร ถ้าทำการวัดสอบเทียบซ้ำในระบบวัดเดิมต่อเนื่องไปหลายครั้ง เช่น 95% หมายความว่า ถ้าทำการวัดสอบเทียบซ้ำ 100 ครั้ง เชื่อได้ว่าผลการสอบเทียบที่แจ้งมาจะมีความถูกต้อง 95 ครั้ง เป็นต้น

กรณีตัวอย่างผลการวัดชิ้นงานซึ่งโดยทั่วไปผลการวัดชิ้นงานเดียวกันในระบบการวัดเดียวกันซ้ำหลายๆ ชุด จะให้ผลการวัดมีการกระจายค่าในลักษณะ normal distribution (ระฆังคว่ำ) ซึ่งในตัวอย่างนี้ได้ค่าเฉลี่ยที่ 10,000 หน่วย ถ้าระบบการวัดนี้คำนวณช่วงค่าของความไม่แน่นอนที่ 1 standard deviation = 5 หน่วย จะมีโอกาสของข้อมูลผลวัดที่อยู่ในช่วง 10000±5 หน่วย ประมาณ 68% ซึ่งถือเป็นผลการวัดที่ถูกต้องและโอกาสของข้อมูลผลวัดที่ไม่ถูกต้องประมาณ 32% ดังภาพที่ 1.13



ภาพที่ 1.13 แสดงช่วงค่าของความไม่แน่นอนที่ 1 standard deviation

ตัวอย่างผลการวัดชิ้นงานนี้ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยที่ 10000 หน่วย ถ้าระบบการวัดนี้กำหนดช่วงค่าของความไม่แน่นอนที่ 2 standard deviation = 2*5 = 10 หน่วย จะมีโอกาสของข้อมูลผลวัดที่อยู่ในช่วง 10000 ± 10 หน่วย ซึ่งถือเป็นผลการวัดที่ถูกต้องประมาณ 95.4% และโอกาสของข้อมูลผลวัดที่ไม่ถูกต้องประมาณ 4.6% ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 แสดงโอกาสของข้อมูลผลวัด

Specification Limits	Probability Unit Conforms (%)	Probability Unit Doesn't Conform (%)
±1.0σ	68.3	31.7
±1.5σ	86.6	13.4
±2.0σ	95.4	4.6
±2.5σ	98.8	1.2
±3.0σ	99.7	0.3

ตัวอย่าง Type B Uncertainty Budget

สัญลักษณ์	แหล่งความไม่แน่นอน	ค่าความไม่แน่นอน (+/-)	หน่วย	การกระจายข้อมูล
Ub1	Calibration of Temperature Sensor (Pt 100)	0.100	℃	Normal
Ub2	Resolution of Temperature Display	0.1	℃	Rectangular
Ub3	Resolution of Barometric Pressure	0.5	kPa	Rectangular
Ub4	Certified Reference Material-(CRM) Lube Oil	0.5	℃	Normal
Ub5	Certified Reference Material-(CRM) Diesel Oil	0.5	℃	Normal

- การปรับ Type B uncertainty เป็น 68% Confident Level

เป็นการปรับค่าส่วนประกอบของความไม่แน่นอนให้เข้าสู่ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 68% เพื่อปรับให้ค่าความไม่แน่นอนอยู่ในพื้นฐานเดียวกันโดยใช้ตัวหาร (divisor) นำมาหารส่วนประกอบของความไม่แน่นอน โดยตัวหารดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการแจกแจงความน่าจะเป็น โดยมีหลักการพิจารณาดังนี้คือ

Divisor = 2 สำหรับ การแจกแจงแบบปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Divisor = 3 สำหรับ การแจกแจงแบบปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

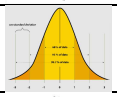
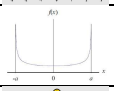
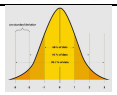
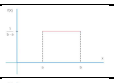
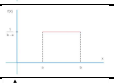
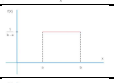
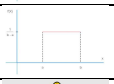
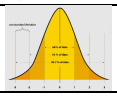
Divisor = $\sqrt{3}$ สำหรับ การแจกแจงแบบสี่เหลี่ยม

Divisor = $\sqrt{6}$ สำหรับ การแจกแจงแบบสามเหลี่ยม

Divisor = $\sqrt{2}$ สำหรับ การแจกแจงแบบยู

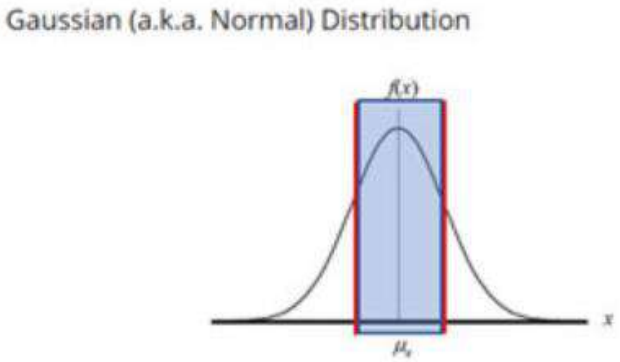
หรือพิจารณาตามตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 รูปแบบการแจกแจงและระดับความเชื่อมั่น

แหล่งความไม่แน่นอน	Divisor	กราฟแสดงการระจายข้อมูล	การกระจายข้อมูล	ระดับความเชื่อมั่น
Temperature	$\sqrt{6}$		Triangle	100%
Repeatability (Type A)	1		Normal	68%
Electricity, Energy, Frequency	$\sqrt{2}$		U-shape	100%
Calibration Certificate Reference Standard (Type B)	2		Normal	95%
Drift/ Stability	$\sqrt{3}$		Rectangular	100%
Resolution	$2\sqrt{3}$		Rectangular	100%
Internal calibrate glasses	$\sqrt{6}$		Triangle	100%
External calibrate glasses	$\sqrt{3}$		Rectangular	100%
Accuracy	$\sqrt{3}$		Rectangular	100%
CRM	2		Normal	95%

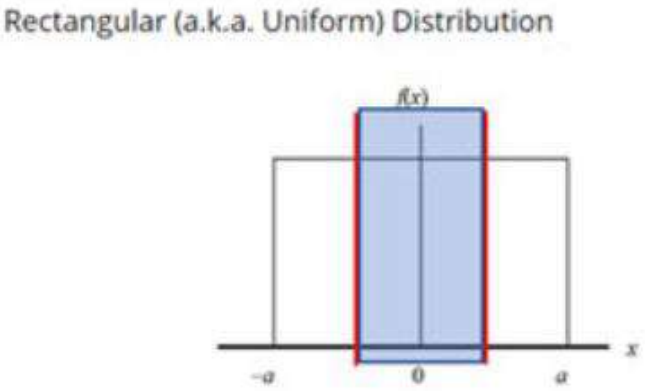
หมายเหตุ Divisor ใช้ในการแปลงระดับความเชื่อมั่นให้เป็น 68%

<u>ตัวอย่าง</u> แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก การรายงานผลค่า Uncertainty ในใบ Certificate จากการสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการภายนอก, มีรูปแบบการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%, ถ้าคำนวณหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68% ของพื้นที่ทั้งหมด จะต้องใช้ Divisor = 2 ดังภาพที่ 1.14



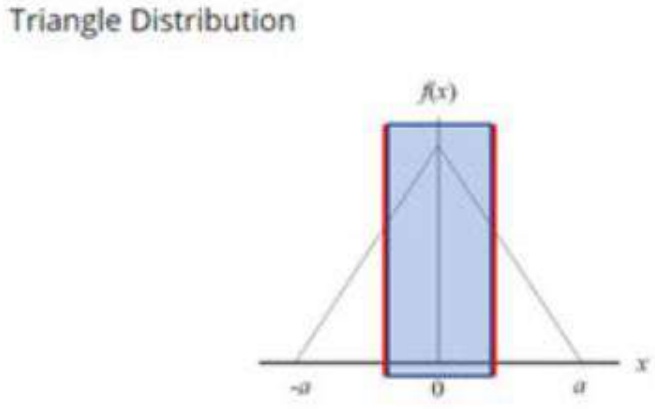
ภาพที่ 1.14 แสดงการหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68% ของการกระจายแบบปกติ (Normal distribution)

ตัวอย่าง แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก ค่าความละอียดของเครื่องมือวัด (Resolution), มีรูปแบบการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular distribution / Uniform distribution), ถ้าคำนวณหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68% ของพื้นที่ทั้งหมด จะต้องใช้ Divisor = $\sqrt{3}$ ดังภาพที่ 1.15



ภาพที่ 1.15 แสดงการหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68%
ของการกระจายแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular distribution / Uniform distribution)

ตัวอย่าง แหล่งความไม่แน่นอนที่ได้จาก ค่าอุณหภูมิที่มีการควบคุม, มีรูปแบบการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular distribution), ถ้าคำนวณหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68% ของพื้นที่ทั้งหมด จะต้องใช้ Divisor = $\sqrt{6}$ ดังภาพที่ 1.16



ภาพที่ 1.16 แสดงการหาพื้นที่จากส่วนกลาง (ค่าเฉลี่ย) เพื่อให้ได้ 68%
ของการกระจายแบบสามเหลี่ยม (Triangular distribution)

1.4.6 การรวมความไม่แน่นอน (Combine Standard Uncertainty : u_c) ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%

ความไม่แน่นอนมาตรฐานของ y เมื่อ y เป็นค่าประมาณของสิ่งที่ถูกวัด (Measurand) Y และผลของการวัดได้มาจากการที่ความไม่แน่นอนมาตรฐานของค่าประมาณ input

รวมกันอย่างเหมาะสม ความไม่แน่นอนของมาตรฐานรวมของค่าประมาณ y นี้ใช้สัญลักษณ์ว่า $u_c(y)$

โดยทั่วไปแล้วปริมาณที่ถูกวัด Y จะไม่ถูกวัดโดยตรง แต่จะตัดสินจากปริมาณอื่นๆ คือ $x_1, x_2, ..., x_n$ (Input quantity) โดยผ่านความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน f

$$Y = f(x_1, x_2, ..., x_n)$$

หรือเขียนโดยใช้สัญลักษณ์ y ได้ว่า

$$y = f(x_1, x_2, ..., x_n)$$

<u>ตัวอย่าง</u>

P = F / A

P : Pressure คือ Measurand

F : Force คือ Input quantity

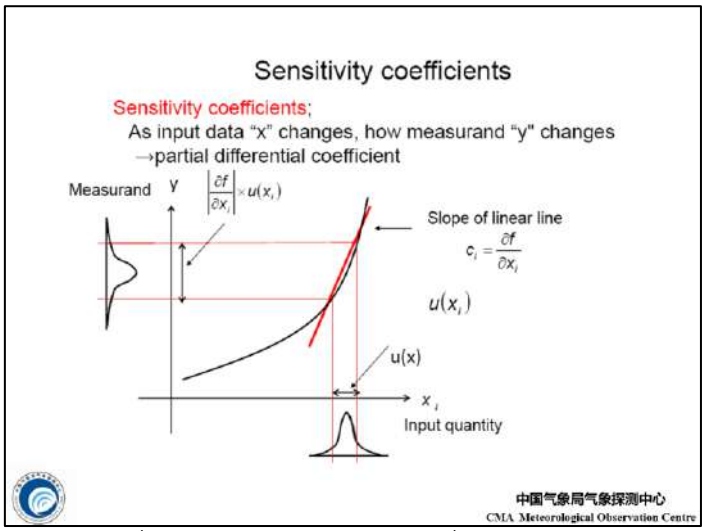
A : Area คือ Input quantity

- กรณีหน่วยเดียวกัน (โดยวิธี RSS : Root Sum Square)

การหาสัมประสิทธิ์ความไม่แน่นอน (Uncertainty coefficient) หรือ c_i เรียกว่า Sensitivity coefficient ค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง) กรณีเป็นหน่วยวัดเดียวกันและ / หรือ ต่างหน่วยแต่สามารถแปลงเป็นหน่วยเดียวกันได้ ส่วนใหญ่ใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบ

$$c_i = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right) \qquad \text{สมการที่ 5}$$

คือ การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขาออกเมื่อข้อมูลขาเข้า x_i มีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไป c_i มีค่าเท่ากับ 1 (กรณีไม่ต้องแปลงหน่วย) ดังภาพที่ 1.17



ภาพที่ 1.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขาออกเมื่อข้อมูลขาเข้า x_i มีการเปลี่ยนแปลง

<u>ตัวอย่าง</u> ให้หาค่า c_i ของ P เมื่อ m มีการเปลี่ยนแปลง (c_m)

เมื่อกำหนดให้ $\overline{m}$ = (1.03+0.98+0.99+1.01+0.99) / 5 = 1.00 [kg]

g = 10.0 [m/s^2]

A = 0.0001 [m^2]

$u(\overline{m})$ = 0.00894 [kg]

P = F / A ; พิจารณาหน่วย [Pa] = [kg] [m/s^2] / [m^2]

จากสมการที่ 5

$$c_m = \frac{\partial P}{\partial m} = g / A$$

$$= 10.0 \text{ [m/s}^2\text{]} / 0.0001 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$= 100000 \text{ [m/s}^2\text{/ m}^2\text{]}$$

ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม $u_c(y)$ คือ รากที่สองที่เป็นผลบวกของความแปรปรวนรวม $u_c{}^2$ กำหนดให้

$$u_c{}^2(y) = (\frac{\partial f}{\partial x_1})^2 u^2(x_1) + (\frac{\partial f}{\partial x_2})^2 u^2(x_2) \ldots + (\frac{\partial f}{\partial x_n})^2 u^2(x_n)$$

$$= c_1{}^2 u^2(x_1) + c_2{}^2 u^2(x_2) + \ldots c_n{}^2 u^2(x_n)$$

ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมมีค่าเป็น

$$u_c(y) = \sqrt{c_1{}^2 u^2(x_1) + c_2{}^2 u^2(x_2) + c_3{}^2 u^2(x_3) + \ldots c_n{}^2 u^2(x_n)} \qquad \text{สมการที่ 6}$$

เมื่อ $c_1, c_2, \ldots, c_n$ คือ ค่า Sensitivity coefficient

$u(x_1), u(x_2), \ldots, u(x_n)$ คือ Standard uncertainty

$$u(y) = |c_i| u(x_i) \qquad \text{สมการที่ 7}$$

<u>ตัวอย่าง</u> ให้หา $u(y) = |c_m| u(\overline{m})$

เมื่อ c_m = 100000 [m/s^2/ m^2]

$u(\overline{m})$ = 0.00894 [kg]

จากสมการที่ 7

$$u(y) = |c_m| u(\overline{m})$$

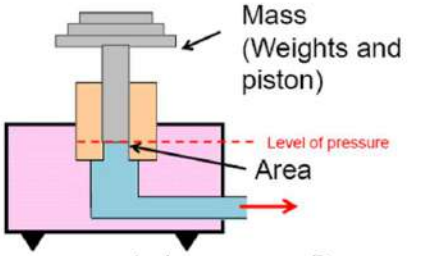
$$= 100000 \text{ [m/s}^2\text{/ m}^2\text{] } 0.00894 \text{ [kg]}$$

$$= 894 \text{ Pa}$$

ตัวอย่าง สถานการณ์

Example situation

(a) Pressure generated by a piston gauge.
(b) Mass (Weights and Piston) are measured five times to calculate generated pressure by this gauge.
The measured values are" 1.03kg, 0.98kg, 0.99kg, 10.1kg, 0.99kg ".
(c) The area of the piston is $0.0001m^2 \pm 0.000001m^2$ ($1cm^2 \pm 0.1cm^2$) according to the manufacture's specification.
(d) The gravity of this calibration place is constant value ($10m/s^2$).



中国气象局气象探测中心
CMA Meteorological Observation Centre

Question

(1) What is the average of generated pressure?

(2) What is the uncertainty of generated pressure?

中国气象局气象探测中心
CMA Meteorological Observation Centre

(1)What is the average of generated pressure?

$$\overline{m} = (1.03 + 0.98 + 0.99 + 1.01 + 0.99)$$

=1.00[kg]

g = 10.0[m/s^2]
A = 0.0001[m^2]

$$P = \frac{\overline{m}g}{A} = \frac{1.00 \times 10.0}{0.0001} = 100000 \ [Pa] (= 1000 \ [hPa])$$

Answer; 100000[Pa] (1000[hPa])

中国气象局气象探测中心
CMA Meteorological Observation Centre

(2)What is the uncertainty of generated pressure?

Budget sheet

Input quantities	Standard uncertainty $u(x_i)$	Evaluation method	Sensitivity coefficients c_i	Contribution to $u(y)$ $\lvert c_i \rvert u(x_i)$
Mass: m	1	2	3	4
Area: A	5	6	7	8

中国气象局气象探测中心
CMA Meteorological Observation Centre

<u>วิธีการหาค่าช่องที่ 1</u>

1) หาค่าเฉลี่ยจากการวัดทั้งหมด ; $\bar{X}$ (mean)

จากสมการที่ 2 $\bar{X}$ = (1.03+0.98+0.99+1.01+0.99) [kg] / 5

= 5 [kg] / 5

= 1.00 [kg]

2) หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง ; s

จากสมการที่ 3 $s = \sqrt{\frac{0.0016}{5-1}}$ = 0.02 [kg]

3) หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างของค่าเฉลี่ย (Experimental standard deviation of the mean ; $s(\bar{X})$)

จากสมการที่ 4 $s(\bar{X}) = \frac{0.02}{\sqrt{5}}$ = 0.00894 [kg]

$u(\overline{m})$ = 0.00894 [kg]

<u>วิธีการหาค่าช่องที่ 2</u>

Type A (five times measurements)

<u>วิธีการหาค่าช่องที่ 3</u>

จากสมการที่ 5

$$c_m = \frac{\partial P}{\partial m} = g / A$$

= 10.0 [m/s^2] / 0.0001 [m^2]

= 100000 [m/s^2/ m^2]

<u>วิธีการหาค่าช่องที่ 4</u>

จากสมการที่ 6

$$u(y) = |c_m| u(\overline{m})$$

= 100000 [m/s^2/ m^2] 0.00894 [kg]

= 894 Pa

<u>วิธีการหาค่าช่องที่ 5</u>

จาก manufacture's specification กำหนดความแม่นยำของ A คือ 0.000001 m^2

จากตารางที่ 1.3 จะได้รูปแบบการแจกแจงของ Accuracy เป็นแบบ Rectangular ซึ่งใช้ Divisor = $\sqrt{3}$ สำหรับการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยม

$u(A)$ = 0.000001 m^2 / $\sqrt{3}$ = 5.77 x 10^{-7} m^2

$u(A)$ = 5.77 x 10^{-7} m^2

วิธีการหาค่าช่องที่ 6

Type B (manufacture's specification)

วิธีการหาค่าช่องที่ 7

จากสมการที่ 5 $c_i = (\frac{\partial f}{\partial x_i})$

ให้หาค่า c_i ของ P เมื่อ A มีการเปลี่ยนแปลง (c_A)

$c_A = \frac{\partial P}{\partial A} = -\frac{mg}{A^2}$ ในที่นี้ใช้ $\overline{m}$ = (1.03+0.98+0.99+1.01+0.99) [kg] / 5 = 1.00 [kg]

= - 1.00 [kg] 10.0 [m/s^2] / 0.0001 [m^2] 0.0001 [m^2]

= - 1.00 x 10^9 [kg] [m/s^2] / [m^4]

วิธีการหาค่าช่องที่ 8

จากสมการที่ 6 $u(y) = |c_i|u(x_i)$

$|c_i|u(x_i) = |c_A|u(A)$ = |- 1.00 x 10^9| [kg] [m/s^2] / [m^4] x 5.77 x 10^{-7} m^2

= 577 Pa

Budget sheet

Input quantities	Standard uncertainty $u(x_i)$	Evaluation method	Sensitivity coefficients c_i	Contribution to $u(y)$ $\lvert c_i \rvert u(x_i)$
Mass: m	$u(\overline{m}) = 0.00894[kg]$	Type A (five times measurements)	$100000\left[\frac{m/s^2}{m^2}\right]$	894[Pa]
Area: A	$u(A) = 5.77\times10^{-7}[m^2]$	Type B (manufacture's specification)	$-1.00\times10^9\left[\frac{kg\times m/s^2}{m^4}\right]$	577[Pa]

Next:

Combined standard uncertainty ?

中国气象局气象探测中心

CMA Meteorological Observation Centre

จากสมการที่ 6 $u_c(y) = \sqrt{c_1{}^2u^2(x_1) + c_2{}^2u^2(x_2) + c_3{}^2u^2(x_3) + \ldots c_n{}^2u^2(x_n)}$

จะได้ $u_c(P) = \sqrt{\left[c_m u(\overline{m})\right]^2 + \left[c_A u(A)\right]^2}$

$= \sqrt{894^2 + 577^2}$

 1065 Pa

 1.1 x 10^3 Pa ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%

Budget sheet

Input quantities	Standard uncertainty $u(x_i)$	Evaluation method	Sensitivity coefficients c_i	Contribution to $u(y)$ $\lvert c_i \rvert u(x_i)$
Mass: m	$u(\overline{m}) = 0.00894[kg]$	Type A (five times measurements)	$100000\left[\frac{m/s^2}{m^2}\right]$	894[Pa]
Area: A	$u(A) = 0.00577[m^2]$	Type B (manufactures specification)	$-1\times10^{-9}\left[\frac{kg\times m/s^2}{m^4}\right]$	577[Pa]
Combined standard uncertainty	$u_c(P) = \sqrt{\left[c_i u(x_i)\right]^2}$			$1065 \cong 1.1\times10^3[Pa]$

中国气象局气象探测中心
CMA Meteorological Observation Centre

- กรณีไม่มีหน่วยวัด (โดยวิธี Relative Standard Uncertainty)

การหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Uncertainty : RSU) แปลงค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานจากแต่ละแหล่งเพื่อทำให้ไม่มีหน่วย กรณีต่างหน่วยวัดและไม่สามารถแปลงเป็นหน่วยวัดเดียวกันได้ ส่วนใหญ่ใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบ

<u>ตัวอย่าง</u> Type B Uncertainty Budget กรณีต่างหน่วยวัดและไม่สามารถแปลงเป็นหน่วยวัดเดียวกันได้

Symbol (1)	Source of Uncertainty (2)	Uncertainty Value (+/-) (3)	Unit (4)	Probability Distribution (5)	Divisor (6)	U_i (7)	Test Point Value (8)	RSU (9)
U_A								
U_{b1}								
U_{b2}								
...								

คอลัมน์ที่ (1) – (5) คล้ายกับ ตัวอย่าง Type B Uncertainty Budget

คอลัมน์ที่ (6) ได้จาก ตารางที่ 1.3 รูปแบบการแจกแจงและระดับความเชื่อมั่น

คอลัมน์ที่ (7) ได้จาก คอลัมน์ที่ (3) / คอลัมน์ที่ (6)

U_i = Uncertainty Value / Divisor

คอลัมน์ที่ (8) ได้จาก ค่าที่เราใช้งานจริงของเครื่องมือนั้น

คอลัมน์ที่ (9) ได้จาก คอลัมน์ที่ (7) / คอลัมน์ที่ (8)

$RSU_{แต่ละแหล่ง}$ = $U_{i\ แต่ละแหล่ง}$ / ค่าจากการวัดของแต่ละแหล่ง (Test point value)

$$u_c = \sqrt{(RSU_1)^2 + (RSU_2)^2 + (RSU_3)^2 + ...} \qquad \text{สมการที่ 8}$$

1.4.7 การขยายค่าความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

<u>ขั้นตอนที่ 1</u>

- การหา Effective Degree of Freedom (γ_{eff})

$$\gamma_{eff} = \frac{u_c{}^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{c_i{}^4 u^4(x_i)}{\gamma_i}} \qquad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ γ_{eff} คือ Effective Degree of Freedom

$u_c(y)$ คือ ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม

$c_i u(x_i)$ คือ ผลคูณของ Sensitivity coefficient และ Standard uncertainty

γ_i คือ องศาความเป็นอิสระ (degree of freedom)

โดยที่ $\gamma_i = n-1$ สมการที่ 10

ขั้นตอนที่ 2

- การเปิดตาราง t- distribution (ภาคผนวก 1) ของค่า t_p เพื่อหาค่า k-factor

โดยใช้ค่า (1) γ_i (degree of freedom), (2) ระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการรายงาน เพื่อหาค่า t_p

ขั้นตอนที่ 3

หาค่า k-factor หรือ ตัวประกอบครอบคลุมของความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Coverage factor) ; k_p

$$k_p = t_p(\gamma_{eff}) \qquad \text{สมการที่ 11}$$

โดยทั่วไป k_p = 2 ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% และ องศาความเป็นอิสระ (degree of freedom) มีค่ามากเข้าใกล้อนันต์

ขั้นตอนที่ 4

หาค่าความไม่แน่นอนขยาย (expanded uncertainty : U) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

$$U = k_p u_c(y) \qquad \text{สมการที่ 12}$$

กรณี u_c ที่ไม่มีหน่วยวัด หรือเป็นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSU) สามารถหาค่าความไม่แน่นอนขยายมาตรฐานสัมพัทธ์ : U_R เพื่อให้มีหน่วยวัดโดย

$$U_R = U * C \qquad \text{สมการที่ 13}$$

เมื่อ C คือ ค่าที่วัดได้ หรือ $\overline{X}$

1.4.8 การรายงานค่าความไม่แน่นอน (Report Uncertainty)

Report result = $C \pm U$

Report result = $C \pm U_R$ (กรณี RSU)

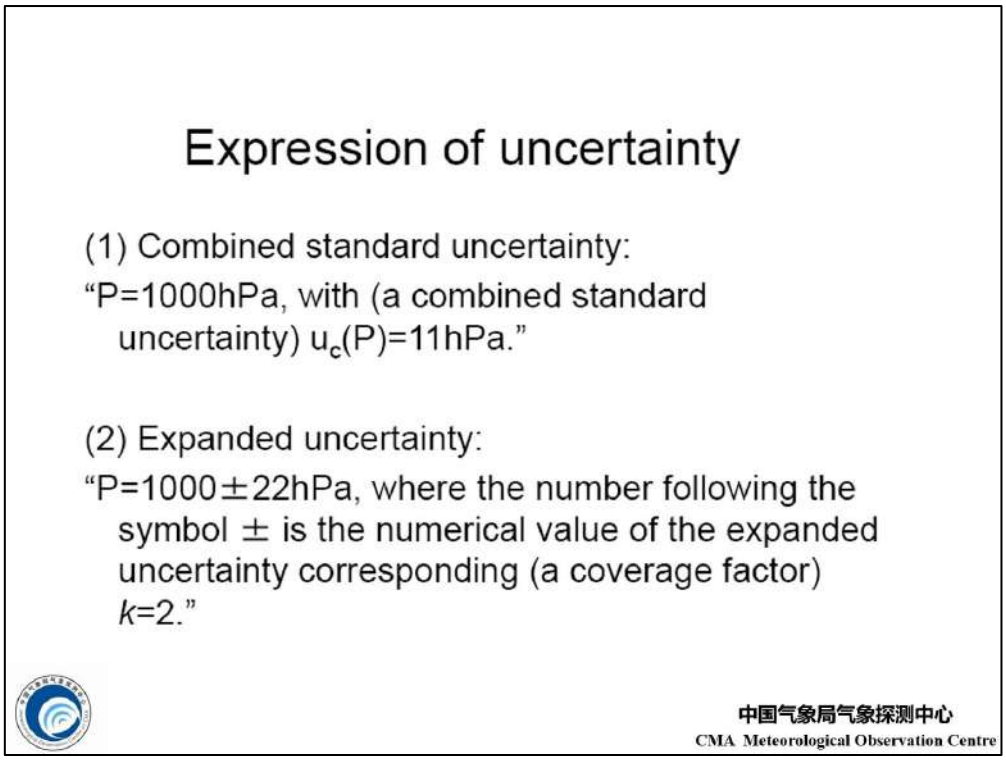
ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อ C คือ ค่าที่วัดได้ หรือ $\overline{X}$

ตัวอย่าง การรายงานผลการสอบเทียบ Platinum Resistance Thermometer ที่จุดสามสถานะของน้ำ (Triple Point of Water) คือ

R(273.16K) = 25.58399Ω $\pm$ 0.00004Ω ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95%

ตัวอย่าง



ตัวอย่าง

ความไม่แน่นอนขยายของการรายงานค่าของตุ้มน้ำหนัก 1 kg ในใบรับรองผลการสอบเทียบเท่ากับ 10 mg ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B ได้ด้วยการหารค่าความไม่แน่นอนที่รายงานด้วยตัวประกอบครอบคลุม k_p ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% ของการแจกแจงปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 ดังนั้น ความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B ซึ่งได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบของตุ้มน้ำหนัก 1 kg ชิ้นนี้ คือ

จากสมการที่ 12 $U = k_p u_c(y)$

U คือ 10 mg

k_p คือ 2

$u_c(y)$ = 10 mg / 2 = 5 mg

ตัวอย่าง

ผลการสอบเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐาน (V_S) ค่า 10 V จากใบรับรองผลการสอบเทียบมีค่าเท่ากับ 10.000 000 2 V โดยมีค่าความไม่แน่นอนของการวัด 24 μV ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95% (ตัวประกอบครอบคลุม k_p = 2) ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B เท่ากับ

จากสมการที่ 12 $U = k_p u_c(y)$

U คือ 24 μV

k_p คือ 2

$u_c(y)$ = 24 μV / 2 = 12 μV

ตัวอย่าง ข้อกำหนดจำเพาะของตัวต้านทานมาตรฐานขนาด 1 kΩ จากผู้ผลิตกำหนดค่าเป็น ± 10 mΩ ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B มีค่าเป็น

จากตารางที่ 1.3 รูปแบบการแจกแจงและระดับความเชื่อมั่น

หากแหล่งความไม่แน่นอนคือ Accuracy จะใช้ Divisor คือ $\sqrt{3}$ ในการแปลงระดับความเชื่อมั่นให้เป็น 68%

$$u_b(x_i) = \frac{10}{\sqrt{3}} \text{ mΩ} = 5.77 \text{ mΩ}$$

ตัวอย่าง เครื่อง Digital Multimeter มีค่าหลักนัยสำคัญที่น้อยที่สุด 0.1 V เครื่องมืออ่านแสดงค่าได้ 119.9 V แต่เครื่องมืออาจวัดได้มีค่าระหว่าง 119.95 V และ 119.85 V ซึ่งผลของความละเอียด 0.1 V จะเป็นเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการปัดค่า ซึ่งค่าอยู่ระหว่าง -0.05 V และ +0.05 V ดังนั้นความไม่แน่นอนมาตรฐานที่เกิดขึ้นจากความละเอียดของเครื่องมือ ± 0.05 V คือ

จากตารางที่ 1.3 รูปแบบการแจกแจงและระดับความเชื่อมั่น

หากแหล่งความไม่แน่นอนคือ Resolution จะใช้ Divisor คือ $2\sqrt{3}$ ในการแปลงระดับความเชื่อมั่นให้เป็น 68%

$$u_b(x_i) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} \text{ V} = 0.029 \text{ V}$$

ตัวอย่าง จากข้อมูลของผู้ผลิต ได้กล่าวอ้างค่าความเสถียรของตัวเก็บประจุเท่ากับ 100 ppm ต่อปี ถ้ากำหนดให้ตัวเก็บประจุสอบเทียบทุกๆ 1 ปี ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน Type B ที่เป็นผลมาจากความเสถียรของตัวเก็บประจุเท่ากับ

จากตารางที่ 1.3 รูปแบบการแจกแจงและระดับความเชื่อมั่น

หากแหล่งความไม่แน่นอนคือ Drift จะใช้ Divisor คือ $\sqrt{3}$ ในการแปลงระดับความเชื่อมั่นให้เป็น 68%

$$u_b(x_i) = \frac{100}{\sqrt{3}} \text{ ppm} = 57.7 \text{ ppm}$$

1.4.9 การระบุเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) และผลการตัดสินการใช้งานเครื่องมือฯ ตามเกณฑ์

เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) คือ ค่าความผิดพลาดของการวัดสูงสุดเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ตามคุณสมบัติเครื่องวัดในการวัดนั้น, เครื่องวัดนั้น, หรือระบบนั้น จะนำไปใช้เปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดรวมซึ่งถ้าค่าความผิดพลาดรวมของเครื่องมือวัดไม่มากกว่า เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ดังภาพที่ 1.18 จึงจะ

สรุปผลว่าเครื่องมือวัดเป็นไปตามเกณฑ์ โดย MPE หมายถึง ความเบี่ยงเบนจากค่าที่ระบุซึ่งกำหนดโดยผู้ผลิตเครื่องวัด ในการวัดกำหนดให้ Measurement Uncertainty มีขนาดไม่ใหญ่มากโดยต้องไม่ใหญ่กว่า 1/3 ของ MPE

การระบุเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) กรณีสอบเทียบ

1) การระบุเกณฑ์การยอมรับเครื่องมือวัด ต้องเหมาะสมต่อความต้องการด้านการวัดในการตัดสินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (ref. ISO10012) โดยกฎ 10 – 1

2) การระบุเกณฑ์การยอมรับโดยดูจาก “ค่าความแม่นยำ” (Accuracy) ที่ระบุในคู่มือจากผู้ผลิตเครื่องมือวัด (ref. ISO10012)

3) การระบุเกณฑ์การยอมรับตามเอกสารมาตรฐานการสอบเทียบหรือมาตรฐานการวัดที่กำหนดไว้ (ref. ISO/IEC 17025 or calibration method by international standard or national standard)

4) ตามวิธีการที่ไม่ใช่มาตรฐานแต่มีการยอมรับ

5) ตามเกณฑ์ที่ลูกค้าเป็นผู้กำหนด

องค์กรสามารถตั้งค่า MPE โดยดูจากความเผื่อ (tolerance) หรือค่าความผิดพลาดของชิ้นงาน / element ที่ยอมรับได้ของการใช้งานของผลิตภัณฑ์

1.4.10 การใช้งานค่าความผิดพลาด (error), ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) และค่าความผิดพลาดรวม

วิธีที่ 1 การใช้งานค่าความผิดพลาด (error)

-ในระบบบริหารคุณภาพ ISO9001 ถ้าขนาดค่าความผิดพลาด (error) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดเกณฑ์การยอมรับ ถือว่า ผ่าน หรือ

ขนาดค่าความผิดพลาด (error) $\leq$ ขนาดเกณฑ์การยอมรับ ถือว่า ผ่าน

ตัวอย่าง การประเมินผลการสอบเทียบ

กำหนดให้ ค่าความผิดพลาด (error) มีค่า 0.02 และเกณฑ์การยอมรับ มีค่า $\pm$ 0.07

วิธีการ เปรียบเทียบขนาดค่า 0.02 อยู่ในช่วงขนาดเกณฑ์การยอมรับซึ่งมีค่า 0.07 ถือว่า ผ่าน

วิธีที่ 2 การใช้งานค่าความไม่แน่นอน (uncertainty)

-ถ้าขนาดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดเกณฑ์การยอมรับ ถือว่า ผ่าน แต่ถ้าขนาดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) มีค่ามากกว่าขนาดเกณฑ์การยอมรับ ถือว่า ไม่ผ่านหรือ

ขนาดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) $\leq$ ขนาดเกณฑ์การยอมรับ ถือว่า ผ่าน

ขนาดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) $>$ ขนาดเกณฑ์การยอมรับ ถือว่า ไม่ผ่าน

ตัวอย่าง การประเมินผลการสอบเทียบ

กำหนดให้ ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) มีค่า ± 0.05 และเกณฑ์การยอมรับมีค่า ± 0.07

วิธีการ เปรียบเทียบขนาดค่า 0.05 อยู่ในช่วงขนาดเกณฑ์การยอมรับซึ่งมีค่า 0.07 ถือว่า ผ่าน

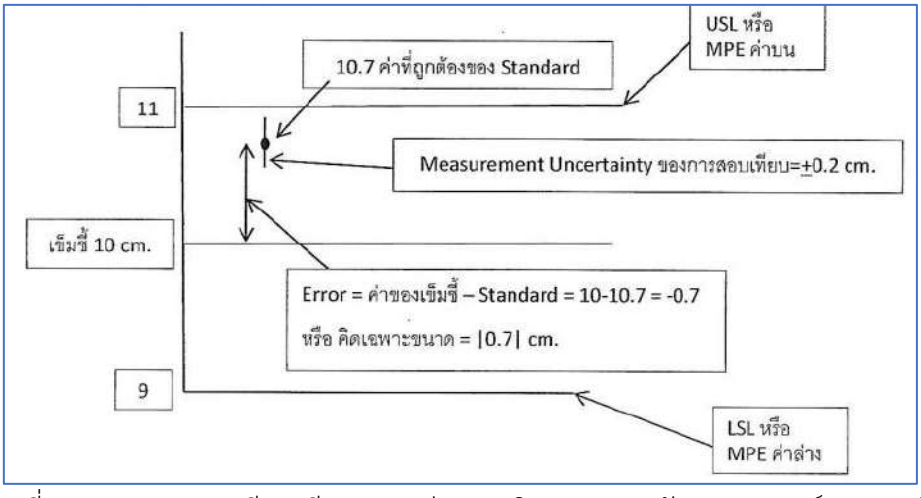
วิธีที่ 3 การใช้งานค่าความผิดพลาดรวม

สำหรับค่าความผิดพลาดรวม คือ การรวมกันระหว่าง ค่าขนาดความผิดพลาด (error) และ ขนาดค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) หรือ

ขนาดค่าความผิดพลาดรวม = ขนาด (error ± uncertainty) สมการที่ 14

-ถ้าขนาดค่าความผิดพลาดรวมมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดเกณฑ์การยอมรับถือว่า ผ่าน ซึ่งเป็นวิธีที่**เหมาะสมที่สุด** หรือ

ขนาดค่าความผิดพลาดรวม ≤ ขนาดเกณฑ์การยอมรับ ถือว่า ผ่าน ดังภาพที่ 1.18



ภาพที่ 1.18 แสดงการเปรียบเทียบขนาดค่าความผิดพลาดรวมกับขนาดเกณฑ์การยอมรับ

ตัวอย่าง การประเมินผลการสอบเทียบ

กำหนดให้ ค่าความผิดพลาด (error) มีค่า -0.7, ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) มีค่า ± 0.2 และขนาดเกณฑ์การยอมรับ มีค่า 11 – 10 = 1.0

วิธีการ หาขนาดค่าความผิดพลาดรวม จากสมการที่ 14

ขนาดค่าความผิดพลาดรวม = ขนาด (error ± uncertainty)

0.7 + 0.2 = 0.9 ซึ่งขนาดค่า 0.9 อยู่ในช่วงขนาดเกณฑ์การยอมรับซึ่งมีค่า 1.0 ถือว่า ผ่าน

1.5 วิธีดำเนินการศึกษาโดยสรุป

ขั้นตอน	รายละเอียด
1) ศึกษาค้นคว้า	-ศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎี แนวคิด หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) รวบรวมข้อมูล	-รวบรวมข้อมูลการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement), การระบุเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้และผลการตัดสินการใช้งานเครื่องมือฯ ตามเกณฑ์
3) เรียบเรียงข้อมูล	-เรียบเรียงข้อมูลการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement), การระบุเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้และผลการตัดสินการใช้งานเครื่องมือฯ ตามเกณฑ์
4) ประยุกต์ใช้ค่าความผิดพลาด (error) และค่าความไม่แน่นอนของการวัด (measurement uncertainty)	-ประยุกต์ใช้ค่าความผิดพลาด (error) และค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) ของเครื่องมือสำหรับ - Precision Aneroid barometer และ -Digital Thermo-Hygrometer เป็นต้น
5) สรุปผล	สรุปผลการศึกษา

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้แนวทางการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) และการนำค่าความผิดพลาดและค่าความไม่แน่นอนของ Precision Aneroid barometer และ Digital Thermo-Hygrometer มาใช้งาน

บทที่ 2
ข้อมูลและวิธีดำเนินการศึกษา

2.1 ข้อมูล

2.1.1 ค่าความผิดพลาด (error) จาก (Cer.No.TMD 017/66, 018/66, 019/66)

1) ค่าความผิดพลาดจาก Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer

ค่าเข็มชี้ (Indication) mm.Hg.	ค่ามาตรฐาน (standard) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาด (error) mm.Hg.	Error = Indication – standard หรือ error = ค่าเข็มชี้ - ค่ามาตรฐานที่ถูกต้องกว่า เช่น 1.0 – 1.01 = -0.01 หน่วย เป็นต้น
742.70	742.43	0.27	
743.00	742.69	0.31	
746.92	746.61	0.31	
750.92	750.67	0.25	
754.00	753.84	0.16	
756.00	755.93	0.07	
761.00	760.98	0.02	
765.93	765.69	0.24	
771.30	771.39	-0.09	
771.51	771.58	-0.07	
777.50	777.54	-0.04	

2) ค่าความผิดพลาดจาก Cer.No.TMD 018/66 Digital Thermo-Hygrometer

2.1) ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ Cer.No.TMD 018/66

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	Error = Indication – standard หรือ error = ค่าเข็มชี้ - ค่ามาตรฐานที่ถูกต้องกว่า เช่น 1.0 – 1.01 = -0.01 หน่วย เป็นต้น
25.9	25.7	0.20	
29.8	29.9	-0.10	
30.6	30.8	-0.20	
31.2	31.3	-0.10	
31.7	31.8	-0.10	

2.2) ค่าความผิดพลาดของความชื้นสัมพัทธ์ Cer.No.TMD 018/66

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	Error = Indication – standard หรือ error = ค่าเข็มชี้ - ค่ามาตรฐานที่ถูกต้องกว่า เช่น 1.0 – 1.01 = -0.01 หน่วย เป็นต้น
51.5	53.3	-1.80	
54.2	57.0	-2.80	
57.6	59.9	-2.30	
60.7	62.8	-2.10	
63.7	66.0	-2.30	

3) ค่าความผิดพลาดจาก Cer.No.TMD 019/66 Digital Thermo-Hygrometer

3.1) ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิ Cer.No.TMD 019/66

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	Error = Indication – standard หรือ error = ค่าเข็มชี้ - ค่ามาตรฐานที่ถูกต้องกว่า เช่น 1.0 – 1.01 = -0.01 หน่วย เป็นต้น
25.9	25.80	0.1	
29.1	29.30	-0.2	
30.4	30.60	-0.2	
31.30	31.30	0.0	
31.70	31.70	0.0	

3.2) ค่าความผิดพลาดของความชื้นสัมพัทธ์ Cer.No.TMD 019/66

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	Error = Indication – standard หรือ error = ค่าเข็มชี้ - ค่ามาตรฐานที่ถูกต้องกว่า เช่น 1.0 – 1.01 = -0.01 หน่วย เป็นต้น
51.9	53.3	-1.4	
54.3	57.0	-2.7	
57.3	59.9	-2.6	
59.9	62.8	-2.9	
59.1	62.7	-3.6	

2.1.2 ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) จาก (Cer.No.TMD 017/66, 018/66, 019/66)

1) ค่าความไม่แน่นอนจาก Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer

ค่าเข็มชี้ (Indication) mm.Hg.	ค่ามาตรฐาน (standard) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาด (error) mm.Hg.	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) mm.Hg.
742.70	742.43	0.27	± 0.15
743.00	742.69	0.31	± 0.15
746.92	746.61	0.31	± 0.15
750.92	750.67	0.25	± 0.15
754.00	753.84	0.16	± 0.15
756.00	755.93	0.07	± 0.15
761.00	760.98	0.02	± 0.15
765.93	765.69	0.24	± 0.15
771.30	771.39	-0.09	± 0.15
771.51	771.58	-0.07	± 0.15
777.50	777.54	-0.04	± 0.15

2) ค่าความไม่แน่นอนจาก Cer.No.TMD 018/66 Digital Thermo-Hygrometer

2.1) ค่าความไม่แน่นอนของอุณหภูมิ Cer.No.TMD 018

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ℃
25.9	25.7	0.20	± 0.14
29.8	29.9	-0.10	± 0.22
30.6	30.8	-0.20	± 0.09
31.2	31.3	-0.10	± 0.05
31.7	31.8	-0.10	± 0.07

2.2) ค่าความไม่แน่นอนของความชื้นสัมพัทธ์ Cer.No.TMD 018

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %
51.5	53.3	-1.80	± 0.34
54.2	57.0	-2.80	± 0.19
57.6	59.9	-2.30	± 0.28
60.7	62.8	-2.10	± 0.58
63.7	66.0	-2.30	± 0.19

3) ค่าความไม่แน่นอนจาก Cer.No.TMD 019/66 Digital Thermo-Hygrometer

3.1) ค่าความไม่แน่นอนของอุณหภูมิ Cer.No.TMD 019

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ℃
25.9	25.80	0.1	± 0.18
29.1	29.30	-0.2	± 0.22
30.4	30.60	-0.2	± 0.09
31.30	31.30	0.0	± 0.05
31.70	31.70	0.0	± 0.07

3.2) ค่าความไม่แน่นอนของความชื้นสัมพัทธ์ Cer.No.TMD 019

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %
51.9	53.3	-1.4	± 0.33
54.3	57.0	-2.7	± 0.21
57.3	59.9	-2.6	± 0.28
59.9	62.8	-2.9	± 0.68
59.1	62.7	-3.6	± 1.85

2.2 วิธีดำเนินการศึกษา

2.2.1 การระบุเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) ของ (Cer.No.TMD 017/66, 018/66, 019/66)

1) Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer

ความกดอากาศ

ค่าความผิดพลาดของความกดอากาศ ที่ยอมรับได้ คือ ± 0.5 hPa หรือ ± 0.375 mm.Hg (อ้างอิงจาก Annex 3)

จากกฎ 10 – 1 สามารถตั้งค่า MPE ของเครื่องมือวัด คือ 0.375 / 10 = ± 0.0375 mm-Hg

2) Cer.No.TMD 018/66, 019/66 Digital Thermo-Hygrometer

อุณหภูมิ

ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิที่ยอมรับได้ คือ ± 1 °C (อ้างอิงจาก Annex 3)

จากกฎ 10 – 1 สามารถตั้งค่า MPE ของเครื่องมือวัด คือ 1 / 10 = ± 0.1 °C

ความชื้นสัมพันธ์

ค่าความผิดพลาดของความชื้นสัมพันธ์ ที่ยอมรับได้ คือ ± 5% (อ้างอิงจาก WMO.No.8)

จากกฎ 10 – 1 สามารถตั้งค่า MPE ของเครื่องมือวัด คือ 5 / 10 = ± 0.5%

2.2.2 ค่าความผิดพลาดรวม

1) ค่าความผิดพลาดรวมจาก Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer

ค่าเข็มชี้ (Indication) mm.Hg.	ค่ามาตรฐาน (standard) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาด (error) mm.Hg.	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาดรวม mm.Hg.
742.70	742.43	0.27	± 0.15	0.42
743.00	742.69	0.31	± 0.15	0.46
746.92	746.61	0.31	± 0.15	0.46
750.92	750.67	0.25	± 0.15	0.40
754.00	753.84	0.16	± 0.15	0.31
756.00	755.93	0.07	± 0.15	0.22
761.00	760.98	0.02	± 0.15	0.17
765.93	765.69	0.24	± 0.15	0.39
771.30	771.39	-0.09	± 0.15	-0.24
771.51	771.58	-0.07	± 0.15	-0.22
777.50	777.54	-0.04	± 0.15	-0.19

2) ค่าความผิดพลาดรวมจาก Cer.No.TMD 018/66 Digital Thermo-Hygrometer

2.1) ค่าความผิดพลาดรวมของอุณหภูมิ Cer.No.TMD 018

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ℃	ค่าความผิดพลาดรวม ℃
25.9	25.7	0.20	± 0.14	0.34
29.8	29.9	-0.10	± 0.22	-0.32
30.6	30.8	-0.20	± 0.09	-0.29
31.2	31.3	-0.10	± 0.05	-0.15
31.7	31.8	-0.10	± 0.07	-0.17

2.2) ค่าความผิดพลาดรวมของความชื้นสัมพัทธ์ Cer.No.TMD 018

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %	ค่าความผิดพลาดรวม %
51.5	53.3	-1.80	± 0.34	-2.14
54.2	57.0	-2.80	± 0.19	-2.99
57.6	59.9	-2.30	± 0.28	-2.58
60.7	62.8	-2.10	± 0.58	-2.68
63.7	66.0	-2.30	± 0.19	-2.49

3) ค่าความผิดพลาดรวมจาก Cer.No.TMD 019/66 Digital Thermo-Hygrometer

3.1) ค่าความผิดพลาดรวมของอุณหภูมิ Cer.No.TMD 019

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ℃	ค่าความผิดพลาดรวม ℃
25.9	25.80	0.1	± 0.18	0.28
29.1	29.30	-0.2	± 0.22	-0.42
30.4	30.60	-0.2	± 0.09	-0.29
31.30	31.30	0.0	± 0.05	0.05
31.70	31.70	0.0	± 0.07	0.07

3.2) ค่าความผิดพลาดรวมของความชื้นสัมพัทธ์ Cer.No.TMD 019

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %	ค่าความผิดพลาดรวม %
51.9	53.3	-1.4	$\pm$ 0.33	-1.73
54.3	57.0	-2.7	$\pm$ 0.21	-2.91
57.3	59.9	-2.6	$\pm$ 0.28	-2.88
59.9	62.8	-2.9	$\pm$ 0.68	-3.58
59.1	62.7	-3.6	$\pm$ 1.85	-5.45

2.2.3 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดรวมกับเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE)

ในที่นี่เลือกใช้วิธีที่ 3

ค่าความผิดพลาดรวม $\leq$ เกณฑ์การยอมรับ ถือว่า ผ่าน

2.2.4 วิธีดำเนินการหากผลการตัดสินการใช้งานเครื่องมือฯ คือ ไม่ผ่าน

1) ขยาย MPE หรือการลด spec

2) ปรับแต่งเครื่องมือแล้วทำการสอบเทียบใหม่

3) ยกเลิกการใช้และติดป้ายห้ามใช้

4) ใช้ค่าแก้ (ค่าชดเชย)

-ถ้าค่าความผิดพลาด (error) เป็น + ต้องลบออก

-ถ้าค่าความผิดพลาด (error) เป็น - ต้องบวกเพิ่ม

บทที่ 3
ผลการศึกษา

3.1 การตัดสินการใช้งานเครื่องมือฯ

1) เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) ของ Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer มีค่า $\pm$ 0.0375 mm-Hg และได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการตัดสินการใช้งาน Precision Aneroid barometer ที่ MPE = $\pm$ 0.0375 mm-Hg

ค่าเข็มชี้ (Indication) mm.Hg.	ค่ามาตรฐาน (standard) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาด (error) mm.Hg.	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาดรวม mm.Hg.	ผลการตัดสิน
742.70	742.43	0.27	$\pm$ 0.15	0.42	ไม่ผ่าน
743.00	742.69	0.31	$\pm$ 0.15	0.46	ไม่ผ่าน
746.92	746.61	0.31	$\pm$ 0.15	0.46	ไม่ผ่าน
750.92	750.67	0.25	$\pm$ 0.15	0.40	ไม่ผ่าน
754.00	753.84	0.16	$\pm$ 0.15	0.31	ไม่ผ่าน
756.00	755.93	0.07	$\pm$ 0.15	0.22	ไม่ผ่าน
761.00	760.98	0.02	$\pm$ 0.15	0.17	ไม่ผ่าน
765.93	765.69	0.24	$\pm$ 0.15	0.39	ไม่ผ่าน
771.30	771.39	-0.09	$\pm$ 0.15	-0.24	ไม่ผ่าน
771.51	771.58	-0.07	$\pm$ 0.15	-0.22	ไม่ผ่าน
777.50	777.54	-0.04	$\pm$ 0.15	-0.19	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 3.1 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งาน Precision Aneroid barometer ตาม Cer.No.TMD 017/66 หากใช้ค่า MPE = $\pm$ 0.0375 mm-Hg ของทุกจุดสอบเทียบ คือ ไม่ผ่าน

<u>หมายเหตุ</u> หากใช้ค่า accuracy of observation เป็นค่า MPE จะได้ $MPE_{(accuracy)}$ = $\pm$ 0.375 mm-Hg จะได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการตัดสินการใช้งาน Precision Aneroid barometer ที่ MPE = ± 0.375 mm-Hg

ค่าเข็มชี้ (Indication) mm.Hg.	ค่ามาตรฐาน (standard) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาด (error) mm.Hg.	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาดรวม mm.Hg.	ผลการตัดสิน
742.70	742.43	0.27	± 0.15	0.42	ไม่ผ่าน
743.00	742.69	0.31	± 0.15	0.46	ไม่ผ่าน
746.92	746.61	0.31	± 0.15	0.46	ไม่ผ่าน
750.92	750.67	0.25	± 0.15	0.40	ไม่ผ่าน
754.00	753.84	0.16	± 0.15	0.31	ผ่าน
756.00	755.93	0.07	± 0.15	0.22	ผ่าน
761.00	760.98	0.02	± 0.15	0.17	ผ่าน
765.93	765.69	0.24	± 0.15	0.39	ไม่ผ่าน
771.30	771.39	-0.09	± 0.15	-0.24	ผ่าน
771.51	771.58	-0.07	± 0.15	-0.22	ผ่าน
777.50	777.54	-0.04	± 0.15	-0.19	ผ่าน

จากตารางที่ 3.2 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งาน Precision Aneroid barometer ตาม Cer.No.TMD 017/66 หากใช้ค่า MPE = ± 0.375 mm-Hg ของค่ามาตรฐาน 742.43, 742.69, 746.61, 750.67 และ 765.69 คือ ไม่ผ่าน แต่สำหรับค่ามาตรฐาน 753.84, 755.93, 760.98, 771.39, 771.58, 777.54 คือ ผ่าน

2) เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) ของ Cer.No.TMD 018/66 Digital Thermo-Hygrometer

2.1) เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของอุณหภูมิ มีค่า ± 0.10 °C และได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดอุณหภูมิ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 0.10 ℃

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ℃	ค่าความผิดพลาดรวม ℃	ผลการตัดสิน
25.9	25.7	0.20	$\pm$ 0.14	0.34	ไม่ผ่าน
29.8	29.9	-0.10	$\pm$ 0.22	-0.32	ไม่ผ่าน
30.6	30.8	-0.20	$\pm$ 0.09	-0.29	ไม่ผ่าน
31.2	31.3	-0.10	$\pm$ 0.05	-0.15	ไม่ผ่าน
31.7	31.8	-0.10	$\pm$ 0.07	-0.17	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 3.3 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งานวัดอุณหภูมิ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ตาม Cer.No.TMD 018/66 หากใช้ค่า MPE = $\pm$ 0.10 ℃ ของทุกจุดสอบเทียบ คือ ไม่ผ่าน

หมายเหตุ หากใช้ค่า accuracy of observation เป็นค่า MPE จะได้ $MPE_{(accuracy)}$ = $\pm$ 1.0 ℃ จะได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดอุณหภูมิ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 1.0 ℃

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ℃	ค่าความผิดพลาดรวม ℃	ผลการตัดสิน
25.9	25.7	0.20	$\pm$ 0.14	0.34	ผ่าน
29.8	29.9	-0.10	$\pm$ 0.22	-0.32	ผ่าน
30.6	30.8	-0.20	$\pm$ 0.09	-0.29	ผ่าน
31.2	31.3	-0.10	$\pm$ 0.05	-0.15	ผ่าน
31.7	31.8	-0.10	$\pm$ 0.07	-0.17	ผ่าน

จากตารางที่ 3.4 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งาน 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ตาม Cer.No.TMD 018/66 หากใช้ค่า MPE = ± 1.0 ℃ ของทุกจุดสอบเทียบ คือ ผ่าน

2.2) เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของความชื้นสัมพัทธ์ มีค่า ± 0.5% และได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = ± 0.5%

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %	ค่าความผิดพลาดรวม %	ผลการตัดสิน
51.5	53.3	-1.80	± 0.34	-2.14	ไม่ผ่าน
54.2	57.0	-2.80	± 0.19	-2.99	ไม่ผ่าน
57.6	59.9	-2.30	± 0.28	-2.58	ไม่ผ่าน
60.7	62.8	-2.10	± 0.58	-2.68	ไม่ผ่าน
63.7	66.0	-2.30	± 0.19	-2.49	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 3.5 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ตาม Cer.No.TMD 018/66 หากใช้ค่า MPE = ± 0.5% ของทุกจุดสอบเทียบ คือ ไม่ผ่าน

หมายเหตุ หากใช้ค่า accuracy of observation เป็นค่า MPE จะได้ $MPE_{(accuracy)}$ = ± 5% จะได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = ± 5%

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %	ค่าความผิดพลาดรวม %	ผลการตัดสิน
51.5	53.3	-1.80	± 0.34	-2.14	ผ่าน
54.2	57.0	-2.80	± 0.19	-2.99	ผ่าน
57.6	59.9	-2.30	± 0.28	-2.58	ผ่าน
60.7	62.8	-2.10	± 0.58	-2.68	ผ่าน
63.7	66.0	-2.30	± 0.19	-2.49	ผ่าน

จากตารางที่ 3.6 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ตาม Cer.No.TMD 018/66 หากใช้ค่า MPE = ± 5% ของทุกจุดสอบเทียบ คือ ผ่าน

3) เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error : MPE) ของ Cer.No.TMD 019/66 Digital Thermo-Hygrometer

3.1) เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของอุณหภูมิ มีค่า ± 0.10 ℃ และได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดอุณหภูมิ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = ± 0.10 ℃

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ℃	ค่าความผิดพลาดรวม ℃	ผลการตัดสิน
25.9	25.80	0.1	± 0.18	0.28	ไม่ผ่าน
29.1	29.30	-0.2	± 0.22	-0.42	ไม่ผ่าน
30.4	30.60	-0.2	± 0.09	-0.29	ไม่ผ่าน
31.30	31.30	0.0	± 0.05	0.05	ผ่าน
31.70	31.70	0.0	± 0.07	0.07	ผ่าน

จากตารางที่ 3.7 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งานอุณหภูมิ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ตาม Cer.No.TMD 019/66 หากใช้ค่า MPE = ± 0.10 ℃ ของค่ามาตรฐาน 25.80, 29.30 และ 30.60 คือ ไม่ผ่าน แต่สำหรับค่ามาตรฐาน 31.30 และ 31.70 คือ ผ่าน

หมายเหตุ หากใช้ค่า accuracy of observation เป็นค่า MPE จะได้ $MPE_{(accuracy)}$ = ± 1.0 ℃ จะได้ผลการตัดสินใจตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดงานวัดอุณหภูมิ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = ± 1.0 ℃

ค่าเข็มชี้ (Indication) ℃	ค่ามาตรฐาน (standard) ℃	ค่าความผิดพลาด (error) ℃	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) ℃	ค่าความผิดพลาดรวม ℃	ผลการตัดสิน
25.9	25.80	0.1	± 0.18	0.28	ผ่าน
29.1	29.30	-0.2	± 0.22	-0.42	ผ่าน
30.4	30.60	-0.2	± 0.09	-0.29	ผ่าน
31.30	31.30	0.0	± 0.05	0.05	ผ่าน
31.70	31.70	0.0	± 0.07	0.07	ผ่าน

จากตารางที่ 3.8 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งานวัดอุณหภูมิ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ตาม Cer.No.TMD 019/66 หากใช้ค่า MPE = ± 1.0 ℃ ของทุกจุดสอบเทียบ คือ ผ่าน

3.2) เกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของความชื้นสัมพัทธ์ มีค่า ± 0.5% และได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 0.5%

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %	ค่าความผิดพลาดรวม %	ผลการตัดสิน
51.9	53.3	-1.4	$\pm$ 0.33	-1.73	ไม่ผ่าน
54.3	57.0	-2.7	$\pm$ 0.21	-2.91	ไม่ผ่าน
57.3	59.9	-2.6	$\pm$ 0.28	-2.88	ไม่ผ่าน
59.9	62.8	-2.9	$\pm$ 0.68	-3.58	ไม่ผ่าน
59.1	62.7	-3.6	$\pm$ 1.85	-5.45	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 3.9 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ตาม Cer.No.TMD 019/66 หากใช้ค่า MPE = $\pm$ 0.5% ของทุกจุดสอบเทียบ คือ ไม่ผ่าน

หมายเหตุ หากใช้ค่า accuracy of observation เป็นค่า MPE จะได้ $MPE_{(accuracy)}$ = $\pm$ 5% จะได้ผลการตัดสินตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงผลการตัดสินการใช้งานวัดความชื้นสัมพัทธ์ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ MPE = $\pm$ 5%

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %	ค่าความผิดพลาดรวม %	ผลการตัดสิน
51.9	53.3	-1.4	$\pm$ 0.33	-1.73	ผ่าน
54.3	57.0	-2.7	$\pm$ 0.21	-2.91	ผ่าน
57.3	59.9	-2.6	$\pm$ 0.28	-2.88	ผ่าน
59.9	62.8	-2.9	$\pm$ 0.68	-3.58	ผ่าน
59.1	62.7	-3.6	$\pm$ 1.85	-5.45	ไม่ผ่าน

จากตารางที่ 3.10 พบว่า ผลการตัดสินการใช้งานความชื้นสัมพัทธ์ 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ตาม Cer.No.TMD 019/66 หากใช้ค่า MPE = $\pm$ 5% ของค่ามาตรฐาน 53.3, 57.0, 59.9, 62.8 คือ ผ่าน แต่สำหรับค่ามาตรฐาน 62.7 คือ ไม่ผ่าน

3.2 การดำเนินการเมื่อผลการตัดสินการใช้งานเครื่องมือ คือ ไม่ผ่าน

1) Precision Aneroid barometer

วิธีที่ 1 ขยายค่า MPE จาก $\pm$ 0.0375 mm-Hg เป็น $MPE_{(accuracy)}$ = 0.375 mm-Hg แต่ยังพบว่ามีจุดที่ผลการตัดสินไม่ผ่าน จึงเพิ่มวิธีที่ 2

วิธีที่ 2 การใช้ค่าแก้ ดังแสดงในตาราง 3.11

ตารางที่ 3.11 แสดงการใช้ค่าความผิดพลาดเป็นค่าแก้/ค่าชดเชย ของ Precision Aneroid barometer

ค่าเข็มชี้ (Indication) mm.Hg.	ค่ามาตรฐาน (standard) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาด (error) mm.Hg.	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) mm.Hg.	ค่าความผิดพลาดรวม mm.Hg.	ผลการตัดสิน	ค่าแก้ mm.Hg.
742.70	742.43	0.27	$\pm$ 0.15	0.42	ไม่ผ่าน	-0.27
743.00	742.69	0.31	$\pm$ 0.15	0.46	ไม่ผ่าน	-0.31
746.92	746.61	0.31	$\pm$ 0.15	0.46	ไม่ผ่าน	-0.31
750.92	750.67	0.25	$\pm$ 0.15	0.40	ไม่ผ่าน	-0.25
754.00	753.84	0.16	$\pm$ 0.15	0.31	ผ่าน	
756.00	755.93	0.07	$\pm$ 0.15	0.22	ผ่าน	
761.00	760.98	0.02	$\pm$ 0.15	0.17	ผ่าน	
765.93	765.69	0.24	$\pm$ 0.15	0.39	ไม่ผ่าน	-0.24
771.30	771.39	-0.09	$\pm$ 0.15	-0.24	ผ่าน	
771.51	771.58	-0.07	$\pm$ 0.15	-0.22	ผ่าน	
777.50	777.54	-0.04	$\pm$ 0.15	-0.19	ผ่าน	

หมายเหตุ หากช่วงที่ใช้งานจริงของความกดอากาศต่ำกว่า 742.43 mm.Hg. ให้ใช้ค่าแก้ คือ -0.30 mm.Hg. โดยประมาณ

2) 018/66 66 Digital Thermo-Hygrometer

2.1) อุณหภูมิ

วิธีที่ 1 ขยายค่า MPE จาก $\pm$ 0.1 °C เป็น $MPE_{(accuracy)}$ = $\pm$ 1.0 °C

2.2) ความชื้นสัมพัทธ์

วิธีที่ 1 ขยายค่า MPE จาก $\pm$ 0.5% เป็น $MPE_{(accuracy)}$ = $\pm$ 5.0%

3) 019/66 66 Digital Thermo-Hygrometer

3.1) อุณหภูมิ

วิธีที่ 1 ขยายค่า MPE จาก $\pm$ 0.1 °C เป็น $MPE_{(accuracy)}$ = $\pm$ 1.0 °C

3.2) ความชื้นสัมพัทธ์

วิธีที่ 1 ขยายค่า MPE จาก $\pm$ 0.5% เป็น $MPE_{(accuracy)}$ = $\pm$ 5.0% แต่ยังพบว่ามีจุดที่ผลการตัดสินไม่ผ่าน จึงเพิ่มวิธีที่ 2

วิธีที่ 2 การใช้ค่าแก้ ดังแสดงในตาราง 3.12

ตารางที่ 3.12 แสดงการใช้ค่าความผิดพลาดเป็นค่าแก้/ค่าชดเชย ของ 019/66 66 Digital Thermo-Hygrometer (ความชื้นสัมพัทธ์)

ค่าเข็มชี้ (Indication) %	ค่ามาตรฐาน (standard) %	ค่าความผิดพลาด (error) %	ค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) %	ค่าความผิดพลาดรวม %	ผลการตัดสิน	ค่าแก้ %
51.9	53.3	-1.4	$\pm$ 0.33	-1.73	ผ่าน	
54.3	57.0	-2.7	$\pm$ 0.21	-2.91	ผ่าน	
57.3	59.9	-2.6	$\pm$ 0.28	-2.88	ผ่าน	
59.9	62.8	-2.9	$\pm$ 0.68	-3.58	ผ่าน	
59.1	62.7	-3.6	$\pm$ 1.85	-5.45	ไม่ผ่าน	3.6

หมายเหตุ หากช่วงที่ใช้งานจริงของความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 62.7% ให้ใช้ค่าแก้ คือ + 3% โดยประมาณ

3.3 ผลการวิเคราะห์

1) Precision Aneroid barometer ที่ส่วนอากาศการบินลำปางได้รับความอนุเคราะห์มาจากส่วนมาตรฐานเครื่องมือตรวจอากาศ กองเครื่องมืออุตุนิยมวิทยานั้น ได้ผลการตัดสินว่า ไม่ผ่าน เมื่อใช้ค่า MPE คือ $\pm$ 0.0375 mm-Hg อาจเนื่องมาจาก

(1) ตัวเครื่องมืออ่านค่าผิดพลาดเมื่อได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเพราะจะทำให้สปริงภายในเครื่องอ่อนลงจะทำให้อ่านค่าความกดอากาศได้สูงขึ้น

(2) การเสื่อมสภาพของวัสดุที่ใช้ทำแคปซูล (Aneroid barometer ที่มีคุณภาพดีควรมีค่า accuracy คือ 0.1 hPa หรือ 0.0750 mm-Hg)

2) 018/66, 019/66 Digital Thermo-Hygrometer ที่ส่วนอากาศการบินลำปางจัดหามาได้ผลการตัดสินว่า ไม่ผ่าน สำหรับ 018/66 และผ่านบางค่าสำหรับ 019/66 (อุณหภูมิ) เมื่อใช้ค่า MPE คือ $\pm$ 0.1 °C อาจเนื่องมาจาก ข้อจำกัดด้านคุณภาพของเซ็นเซอร์ที่ขึ้นอยู่กับราคาที่จำหน่าย

3) การขยายค่า MPE เป็น $MPE_{(accuracy)}$ ช่วยทำให้เครื่องมือ ผ่านเกณฑ์การตัดสิน

บทที่ 4
บทวิจารณ์

1) การพิจารณาแหล่งค่าความไม่แน่นอน Type B อาจต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในการใช้เครื่องมือตรวจวัด

2) หากช่วงข้อมูลที่ทำการสอบเทียบไม่ครอบคลุมค่าการใช้งานจริงจะส่งผลต่อการนำไปใช้ เพราะผู้ใช้ต้องทำการประมาณค่าเอง

3) การกำหนดค่า MPE มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน เพราะค่า MPE ที่สูงขึ้นจะทำให้คุณภาพของชิ้นงานลดลง

4) การขยายค่า MPE เป็น $MPE_{(accuracy)}$ ช่วยทำให้เครื่องมือ ผ่าน เกณฑ์การตัดสินแต่ทั้งนี้ค่าที่ได้ต้องอยู่ในขอบเขตการใช้งาน

5) กฎ 10 – 1 หากเลือกใช้ 10 จะได้ค่า MPE ที่ต่ำมากซึ่งมีความเหมาะสมกับเครื่องมือที่ต้องการความถูกต้องสูง เช่น เครื่องมือวัดที่เป็นตัว Master แต่หากหน้างานไม่ได้ต้องการความละเอียดสูง อาจเลือกค่าที่ต่ำลงมาโดยทั่วไปใช้ค่า 4

6) การกำหนดจุดทดสอบที่ค่ามาตรฐานเป็นค่าไม่ต่อเนื่องซึ่งหากค่าที่ใช้งานอยู่ระหว่างค่ามาตรฐาน 2 ค่า อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

1) ได้แนวทางการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด (uncertainty of measurement) ตามบทที่ 1 หัวข้อ 1.4.2 – 1.4.8

2) ค่าต่างๆ ในใบรายงานผลการสอบเทียบของกรมอุตุนิยมวิทยา (The Result of Calibration) ประกอบด้วยค่าและวิธีใช้งาน ดังต่อไปนี้

(1) **ค่าที่ระบุ** - ค่า Standard หรือ Reference Standard

(2) **ค่าที่ระบุ** - ค่า Tested

(3) ค่าคำนวณ - ค่าความผิดพลาด (error) ได้จากข้อ (1) และข้อ (2)

(4) **ค่าที่ระบุ** - ค่าแก้ (Correction) ได้จากการสลับเครื่องหมายของค่าความผิดพลาดข้อ (3)

(5) **ค่าที่ระบุ** - ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty)

(6) ค่าคำนวณ - ค่าความผิดพลาดรวม ได้จากข้อ (3) และข้อ (5)

(7) ค่าคำนวณ – ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Maximum permissible error) นำมาจาก maximum accuracy หรือค่า Tolerance โดยใช้กฎ 10 – 1

(8) ตัดสินผล – ค่าเปรียบเทียบระหว่างข้อ (6) และข้อ (7)

(9) หากผลการตัดสินว่า ไม่ผ่าน ให้ปรับค่าในข้อ (7) และหากยังไม่ผ่านให้ใช้ค่าในข้อ (4) มาหักแก้

3) หลังจากขยายค่า MPE เป็น $MPE_{(accuracy)}$ แล้วสำหรับ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ผลการตัดสินคือ ผ่าน ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนอากาศการบินลำปางจึงเลือกใช้ 018/66 Digital Thermo-Hygrometer ก่อนเป็นลำดับแรก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้งาน หากในใบรายงานผลการสอบเทียบไม่ระบุ “ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty)” แล้วสามารถเลือกใช้ วิธีที่ 1 ในหัวข้อที่ 1.4.10 ได้

2) การตัดสินผลในเอกสารเล่มนี้ใช้การตัดสินแบบฝั่งเดียว เช่น ถ้าค่าความผิดพลาด (error) เป็นฝั่ง ลบ จะรวมค่าความไม่แน่นอนที่เป็นฝั่ง ลบ ด้วยทางเดียว แต่ในภาคอุตสาหกรรมหรือความคุ้มค่าของเครื่องมืออาจจะพิจารณาค่าความไม่แน่นอนที่เป็นฝั่ง บวก ด้วยแล้วใช้วิธีการตัดสินผลที่ละเอียดขึ้น

บรรณานุกรม

2563. การใช้ผลสอบเทียบ ทวนสอบตามข้อกำหนด ISO 9001 เพื่อประโยชน์สูงสุด. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

2565. มาตรวิทยาเพื่ออุตสาหกรรม. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ.

2015. Evaluation of measurement uncertainty. CMA Meteorological Observation Centre.

Deaw Jaibun. 2011. ค 30203 สถิติเบื้องต้น. Mahidol Wittayanusorn School.

อังคพล. 2565. Uncertainty คืออะไร, https://www.youtube.com/watch?v=oKlU5qTnslI

อังคพล. 2565. การคำนวณ Type A Uncertainty ของการประมาณค่าความไม่แน่นอนในการวัด, https://www.youtube.com/watch?v=27HIr2u4_lU

อังคพล. 2565. การประเมิน Type B Uncertainty Part 1, https://www.youtube.com/watch?v=2mtth67FzU4&t=603s

อังคพล. 2565. Type B Uncertainty กรณีหน่วยเดียวกัน, https://www.youtube.com/watch?v=eEmQ4ckgXQk&t=3618s

NIIGATA Hand Book. คำศัพท์ที่ใช้ในงานสอบเทียบ, https://th.misumi-ec.com/th/pr/technical_zone/product_tips/niigata_handbook201805/calibration/calibration_terms.html#

Equal assurance. เครื่องมือวัดตอนที่ 3, https://eqathaitraining.com/archives/1114

Analysis PREP. Properties of Continuous Uniform Distribution, https://analystprep.com/cfa-level-1-exam/quantitative-methods/properties-of-continous-uniform-distribution/

Department of geography. Systematic vs. Random Errors, https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/c5_p5.html

isobudgets. U-shaped distribution, https://www.isobudgets.com/probability-distributions-for-measurement-uncertainty/u-shaped-distribution-250px/

National Library of Medicine. Distribution, https://www.nlm.nih.gov/oet/ed/stats/02-800.html

ResearchGate. Accuracy and Precision, https://www.researchgate.net/figure/Accuracy-and-Precision-Systematic-and-Random-Error-With-increasing-trueness-and_fig1_368856499

RocSupport User Guide. Triangular Distribution, https://www.rocscience.com/help/rocsupport/documentation/probabilistic-analysis/statistical-distributions/triangular-distribution

Training NIMT.2567. การทวนสอบผลการสอบเทียบ, https://www.youtube.com/watch?v=i3Bm2s7AYM8

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1

ตารางแสดงการกระจายแบบ t-distribution ค่าของ t_p

Degrees of freedom	Values of $t_p(v)$ from the t-distribution for degrees of freedom v that define an interval that encompasses specified fractions p of the corresponding distribution					
v	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

ภาคผนวกที่ 2

ATTACHMENT A. OPERATIONALLY DESIRABLE ACCURACY OF MEASUREMENT OR OBSERVATION

Note.— The guidance contained in this table relates to Chapter 2, 2.2, in particular to 2.2.7, and Chapter 4.

Element to be observed	*Operationally desirable accuracy of measurement or observation**
Mean surface wind	Direction: ± 10° Speed: ± 0.5 m/s (1 kt) up to 5 m/s (10 kt) ± 10% above 5 m/s (10 kt)
Variations from the mean surface wind	± 1 m/s (2 kt), in terms of longitudinal and lateral components
Visibility	± 50 m up to 600 m ± 10% between 600 m and 1 500 m ± 20% above 1 500 m
Runway visual range	± 10 m up to 400 m ± 25 m between 400 m and 800 m ± 10% above 800 m
Cloud amount	± 1 okta
Cloud height	± 10 m (33 ft) up to 100 m (330 ft) ± 10% above 100 m (330 ft)
Air temperature and dew-point temperature	± 1°C
Pressure value (QNH, QFE)	± 0.5 hPa

* The operationally desirable accuracy is not intended as an operational requirement; it is to be understood as a goal that has been expressed by the operators.

Note.— Guidance on the uncertainties of measurement or observation can be found in the Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation *(WMO-No. 8).*

ภาคผนวกที่ 3

Summary of performance requirements for surface humidity

Requirement	*Wet-bulb temperature*	*Relative humidity*	*Dewpoint temperature*
Range	–10 to 35°C	5 to 100%	At least 50 K in the range –60 to 35°C
Target accuracy[a] (uncertainty)	0.1 K high RH 0.2 K mid RH	1% high RH 5% mid RH	0.1 K high RH 0.5 K mid RH
Achievable observing uncertainty[b]	0.2 K	3 to 5%[c]	0.5 K[c]
Reporting code resolution	0.1 K	1%	0.1 K
Sensor time-constant[d]	20 s	40 s	20 s
Output averaging time[e]	60 s	60 s	60 s

ภาคผนวกที่ 4

Cer.No.TMD 017/66 Precision Aneroid barometer

THAI METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 Sukhumvit, Bangna, Bangkok 10260 Tel. 0-2366-9415

Calibration Certificate

Issued by : Standard Met. Instruments Section : Meteorological Instruments Division
Date of Issue 20 June 2566 Cer.No.TMD 017/66
Page : 1 of 2

Object	:	Precision Aneroid barometer
Manufacturer	:	NEGRETTI & ZAMBRA LONDON
Type No.	:	
Mfg Code	:	P/94287
Customer	:	Northern Meteorological Center (Aviation Meteorological Section) Lampang Airport 175 Airport1 Rd. ., Phra Bat Subdistrict, Mueang district, Lampang Province. 52000 Thailand.

Calibration Condition	:	Temperature	25.0 27.0	°C
	:	Relative Humidity	50 60	%Rh
	:	Barometric Pressure	749.30 753.01	hPa.

Standard Barometer : Digital Barometer Vaisala PTB220 No. V1220015
: Digital Barometer Vaisala PTB330 No. K4320001

Checked by
(Mr.Pisood Promsut)
Chief of Standard Met. Instruments Section

(LCDR. Somnuck Sukavanich)
Deputy Director General for Administration
Acting Director of Meteorological Instruments Division

THAI METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 Sukhumvit, Bangna, Bangkok 10260. Tel. 0-2366-9415

The Result of Calibration

Cer.No.TMD 017/66

20 June 2566 Page : 2 of 2

Standard Barometer Pressure (mm.Hg.)	Tested Aneroid Barometer Pressure (mm.Hg.)	Correction (mm.Hg.)	Uc (±)
742.43	742.70	0.27	0.15
742.69	743.00	0.31	0.15
746.61	746.92	0.31	0.15
750.67	750.92	0.26	0.15
753.84	754.00	0.16	0.15
755.93	756.00	0.07	0.15
760.98	761.00	0.02	0.15
765.69	765.93	0.23	0.15
771.39	771.30	0.09	0.15
771.58	771.51	0.07	0.15
777.54	777.50	0.04	0.15

Calibrated by : (Mr.Pisood Promsit)

Chief of Standard Met. Instruments Section

Standard Met. Instruments Section

Meteorological Instruments Division

ภาคผนวกที่ 5

Cer.No.TMD 018/66 Digital Thermo Hygrometer

THAI METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 Sukhumvit, Bangna, Bangkok 10260 Tel. 0-2366-9415

Calibration Certificate

Issued by : Standard Met. Instruments Section : Meteorological Instruments Division

Date of Issue *22 June 2566*

Cer.No.TMD 018/66

Page : 1 of 2

Object	:	*Digital Thermo Hygrometer*
Manufacturer	:	*UNI T*
Type	:	UT333
Serial No.	:	*C223169050*
Customer	:	Northern Meteorological Center *(Aviation Meteorological Section)* *Lampang Airport* *175 Airport1 Rd. ., Phra Bat Subdistrict, Mueang* *Lampang Province. 52000 Thailand.*
Environment	:	Temperature 22 25 °C
	:	Relative Humidity 50 60 %
Standard	:	Standard Thermometer : Thermoschneider No. 918802
	:	Digital Thermometer : Testo, Testo 645 Serial No.02848057

Checked by

(Mr.Pisood Promsut)
Chief of Standard Met. Instruments Section

(LCDR. Somnuck Sukavanich)
Deputy Director General for Administration
Acting Director of Meteorological Instruments Division

THAI METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 Sukhumvit, Bangna, Bangkok 10260. Tel. 0-2366-9415

The Result of Calibration

Cer.No.TMD 018/66

22 June 2566

Reference Standard		Tested Digital Thermo Hygrometer					
Temp. ° C	Humidity % Rh	Temp. ° C	Correction ° C	Uc (±)	Rel. humidity % Rh.	Correction % Rh.	Uc (±)
25.7	53.3	25.9	0.18	0.14	51.5	1.8	0.34
29.9	57.0	29.8	0.12	0.22	54.2	2.8	0.19
30.8	59.9	30.6	0.16	0.09	57.6	2.4	0.28
31.3	62.8	31.2	0.16	0.05	60.7	2.1	0.58
31.8	66.0	31.7	0.10	0.07	63.7	2.2	0.19

Calibrated by :

(Mr.Pisood Promsut)

Chief of Standard Met. Instruments Section

Standard Met. Instruments Section

Meteorological Instruments Division

ภาคผนวกที่ 6

Cer.No.TMD 019/66 Digital Thermo Hygrometer

THAI METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 Sukhumvit, Bangna, Bangkok 10260 Tel. 0-2366-9415

Calibration Certificate

Issued by : Standard Met. Instruments Section : Meteorological Instruments Division

Date of Issue *22 June 2566* Cer.No.TMD 019/66

Page : 1 of 2

Object	:	*Digital Thermo Hygrometer*
Manufacturer	:	*UNI T*
Type	:	UT333
Serial No.	:	*C223169027*
Customer	:	*Northern Meteorological Center* *(Aviation Meteorological Section)* *Lampang Airport* *175 Airport1 Rd. ., Phra Bat Subdistrict, Mueang district,* *Lampang Province. 52000 Thailand.*
Environment	:	Temperature 22 25 °C
	:	Relative Humidity 50 60 % Rh
Standard	:	Standard Thermometer : Thermoschneider No. 918802
	:	Digital Thermometer : Testo, Testo 645 Serial No.02848057

Checked by

(Mr.Pisood Promsut)
Chief of Standard Met. Instruments Section

(LCDR. Somnuck Sukavanich)
Deputy Director General for Administration
Acting Director of Meteorological Instruments Division

THAI METEOROLOGICAL DEPARTMENT

4353 Sukhumvit, Bangna, Bangkok 10260. Tel. 0-2366-9415

The Result of Calibration

Cer.No.TMD 019/66

22 June 2566

Reference Standard		Digital Thermo Hygrometer Reading					
Temp. ° C	Humidity % Rh	Temp. ° C	Correction ° C	Uc (±)	Rel. humidity % Rh.	Correction % Rh.	Uc (±)
25.80	53.3	25.90	0.10	0.18	51.9	1.4	0.33
29.30	57.0	29.10	0.20	0.22	54.3	2.7	0.21
30.60	59.9	30.40	0.20	0.09	57.3	2.6	0.28
31.30	62.8	31.30	0.00	0.05	59.9	2.9	0.68
31.70	62.7	31.70	0.00	0.07	59.1	3.7	1.85

Calibrated by :

(Mr.Pisood Promsut)

Chief of Standard Met. Instruments Section

Standard Met. Instruments Section

Meteorological Instruments Division

ภาคผนวกที่ 7

Test Report Service 1 – HMP155 Humidity and Air Temperature Probe

EXCEL CONSULTANTS CO., LTD.

TEST REPORT SERVICE 1

Sensor Type :	HMP155 Humidity and Air Temperature Probe	**Serial Number :**	T4851210
Airport /ICAO Code :	Lampang, Thailand / VTCL	**Site ID :**	RWY18 METSITE
Date :	2023-12-12		

Humidity

Tests results		
Reference (%)	**Observed (%)**	**Difference (±3%)**
47.32	48	+0.68
48.29	50	+1.71
45.89	47	+1.11

Air Temperature

Tests results		
Reference (°C)	**Observed (°C)**	**Difference (±0.3°C)**
30.74	30.9	+0.16
30.95	31.0	+0.05
31.59	31.5	-0.09

Note:

Test Equipment Used :	**Type**	**Serial Number**	**Calibration Date**
Air Temperature and Humidity	HMP155	J4420018	2023-07-19

Test Remarks

Name : _____ (_____)
Thai Meteorological Department
Date : 14 ธ.ค. 66

Name : _____ (_____)
Excel Consultants
Date : 14 ธ.ค. 66

ภาคผนวกที่ 8

Calibration Certificate – PTB330(500-1100) Digital Barometer

RWY 36 MAIN AWS

VAISALA

1 (1)

Certificate report no. H61-21470021

CALIBRATION CERTIFICATE

Instrument	PTB330(500-1100) Digital Barometer
Serial number	T4730518
Manufacturer	Vaisala Oyj, Finland
Calibration date	24th November 2021

The above instrument was calibrated by comparing the readings of the instrument to the factory working standard of Vaisala.

The pressure readings of the factory working standard have been calibrated at an ISO/IEC 17025 accredited calibration laboratory (FINAS), Vaisala Measurement Standards Laboratory (MSL), by using MSL working standards traceable to NIST.

Calibration results

Reference hPa	Observed hPa	Correction* hPa	Acceptance limit hPa
500.11	500.10	0.01	± 0.05
550.11	550.11	0.00	± 0.05
650.08	650.07	0.01	± 0.05
750.04	750.04	0.00	± 0.05
850.03	850.03	0.00	± 0.05
950.00	950.00	0.00	± 0.05
999.99	999.98	0.01	± 0.05
1049.97	1049.97	0.00	± 0.05
1099.94	1099.94	0.00	± 0.05

*To obtain the true pressure, add the correction to the barometer reading.
Interpolated corrections may be used at intermediate readings of the scale of the barometer.

Equipment used in calibration

Type	Serial number	Calibration date	Certificate number
DHI PPC4	670	2021-08-06	K008-E03636

Uncertainty (95 % confidence level, k=2)

Pressure ± 0.07 hPa

Ambient Conditions

Humidity	32 %RH ± 5 %RH
Temperature	23 °C ± 1 °C
Pressure	1004 hPa ± 1 hPa

Technician

This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of Vaisala.

doc223087-B

Vaisala Oyj | PO Box 26, FI-00421 Helsinki, Finland
Phone +358 9 894 91 | Fax +358 9 8949 2227
Email firstname.lastname@vaisala.com | www.vaisala.com
Domicile Vantaa, Finland | VAT FI01244162 | Business ID 0124416-2

ภาคผนวกที่ 9

การประยุกต์ใช้งานค่าต่างๆ ในใบ Cer.No.TMD 017/66, 018/66

หากความกดอากาศสำรองของ AWOS ส่วนอากาศการบินลำปาง ไม่มีข้อมูล

-ตัวอย่างที่ 1-

1. หาค่า T, Rh จาก 018/66 Digital Thermo-Hygrometer

   ตัวอย่าง วันที่ 22 พฤษภาคม 2567 เวลา 20.07 น.

   T = 29.1 °C

   Rh = 67.1%

2. หา Td

   www.kwangu.com

   Td = 22.4 °C

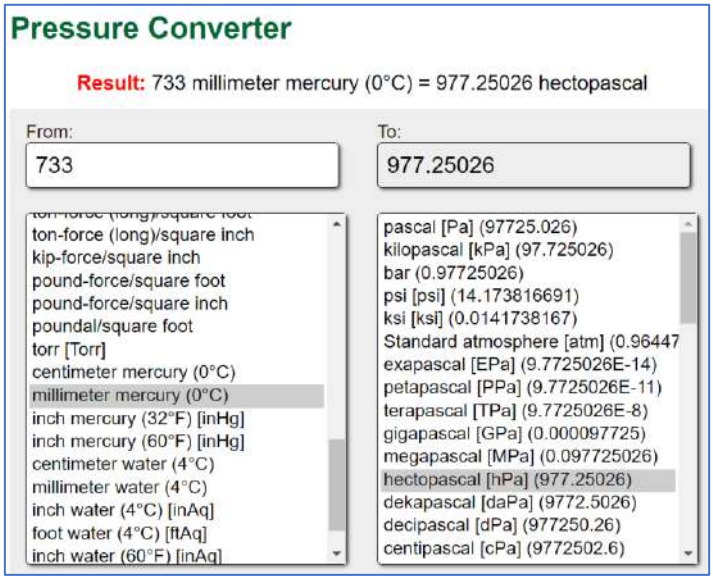
3. หา QFE1 จาก $P_{(real\ atmosphere)}$ หน่วย hPa

   -อ่านค่าความกดอากาศจาก Precision Aneroid barometer คือ 733.3 mm-Hg

   -ใช้ค่าแก้ -0.3 จะได้ค่า 733.3 – 0.3 = 733 แปลงหน่วยจาก mm-Hg เป็น hPa

   www. https://www.unitconverters.net/

   -ได้ QFE1 = 977.25 hPa



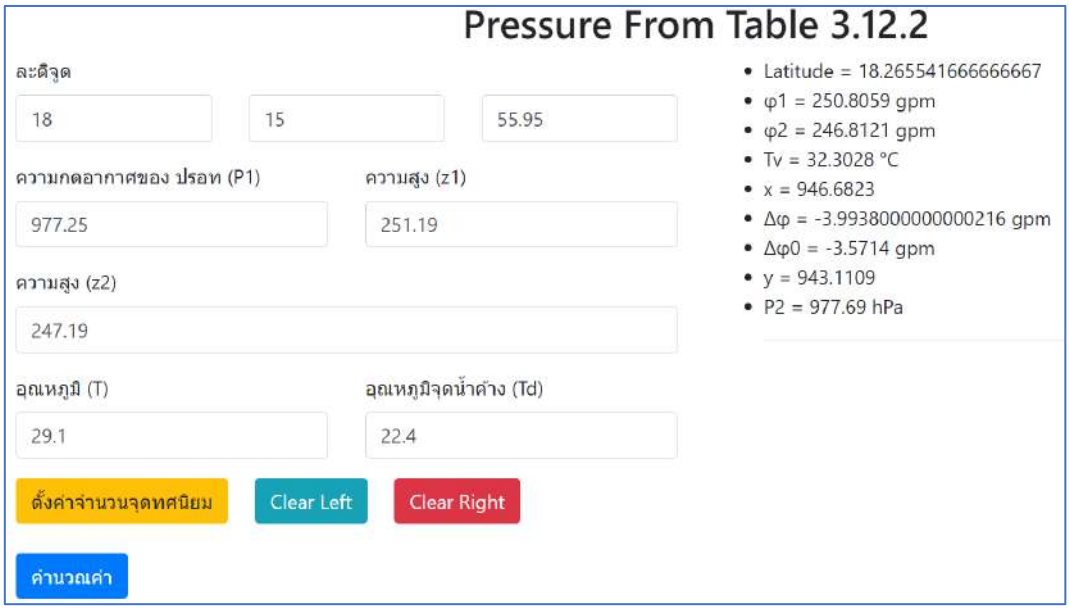
4. หา QFE2

   http://www.cmmet.tmd.go.th/Aeromet/pressure/page1.html

   -latitude 18 15 55.95 N, - QFE1 = 977.25 hPa, -ใช้ความสูง z1 = 251.19 m. (มาจากความสูง TDZ R36 = 247.19 m รวมกับ ความสูงตึก 1 ชั้น = 3 m รวมกับ ความสูงชั้นวาง = 1 m)

-ใช้ความสูง z2 = 247.19 m

-ได้ QFE2 = **977.69 hPa**



5. หา QNH

http://www.cmmet.tmd.go.th/Aeromet/pressure/qnh.html

ได้ QNH = **1006.8** hPa

-ตัวอย่างที่ 2-

1. หาค่า T, Rh จาก 018/66 Digital Thermo-Hygrometer

   ตัวอย่าง วันที่ 24 พฤษภาคม 2567 เวลา 14.00 น.

   T = 30.5 °C

   Rh = 60 %

2. หา Td

   www.kwangu.com

   Td = 21.87 °C

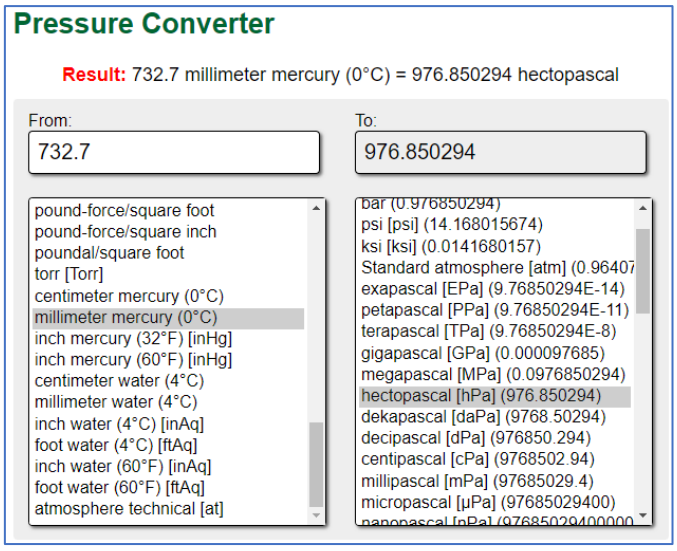
3. หา QFE1 จาก $P_{(real\ atmosphere)}$ หน่วย hPa

   -อ่านค่าความกดอากาศจาก Precision Aneroid barometer คือ 733.3 mm-Hg

   -ใช้ค่าแก้ -0.3 จะได้ค่า 733.0 – 0.3 = 732.7 แปลงหน่วยจาก mm-Hg เป็น hPa

   www. https://www.unitconverters.net/

   -ได้ QFE1 = 976.85 hPa



4. หา QFE2

   http://www.cmmet.tmd.go.th/Aeromet/pressure/page1.html

   -latitude 18 15 55.95 N

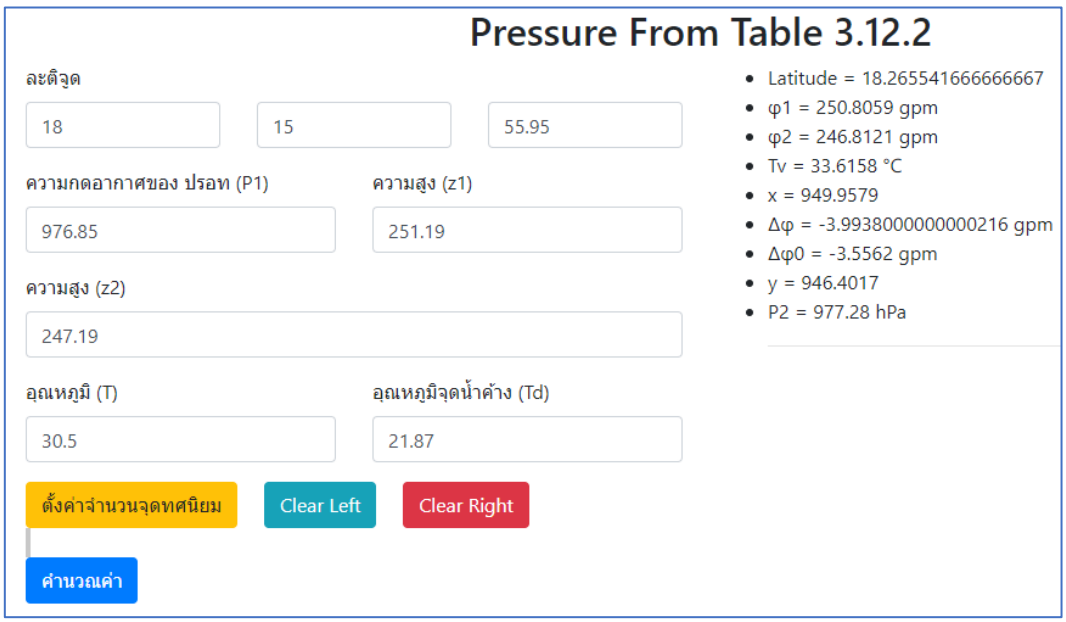
   - QFE1 = 976.85 hPa

   -ใช้ความสูง z1 = 251.19 m.

   (มาจากความสูง TDZ R36 = 247.19 m รวมกับ ความสูงตึก 1 ชั้น = 3 m รวมกับ ความสงชั้นวาง = 1 m)

   -ใช้ความสูง z2 = 247.19 m

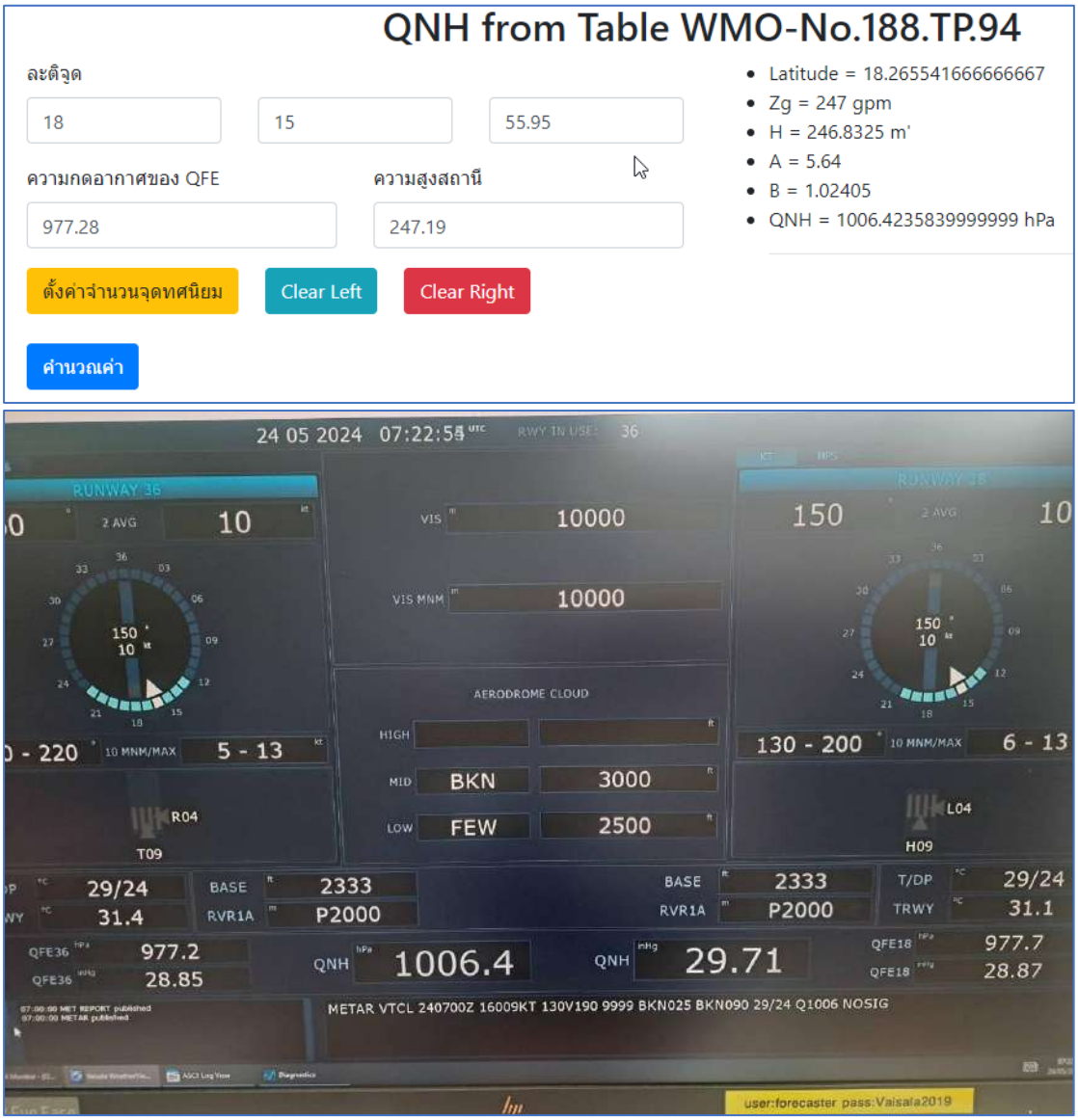
   -ได้ QFE2 = 977.28 **hPa**



5. หา QNH

   http://www.cmmet.tmd.go.th/Aeromet/pressure/qnh.html

   ได้ QNH = **1006.4** hPa



-ตัวอย่างที่ 3-

1. หาค่า T, Rh จาก 018/66 Digital Thermo-Hygrometer

   ตัวอย่าง วันที่ 24 พฤษภาคม 2567 เวลา 17.47 น.

   T = 27.8 °C

   Rh = 69.1%

2. หา Td

   www.kwangu.com

   Td = 21.62 °C

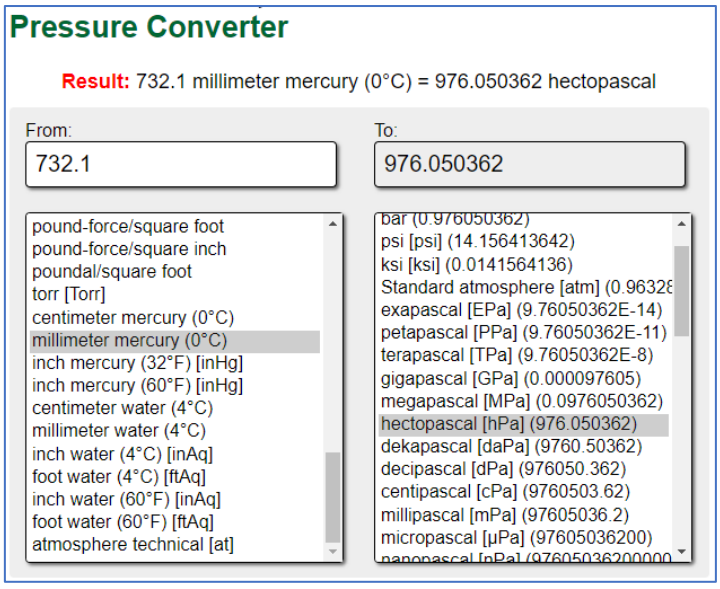
3. หา QFE1 จาก $P_{(real\ atmosphere)}$ หน่วย hPa

   -อ่านค่าความกดอากาศจาก Precision Aneroid barometer คือ 733.3 mm-Hg

   -ใช้ค่าแก้ -0.3 จะได้ค่า 732.4 – 0.3 = 732.1 แปลงหน่วยจาก mm-Hg เป็น hPa

   www. https://www.unitconverters.net/

   -ได้ QFE1 = 976.05 hPa



4. หา QFE2

   http://www.cmmet.tmd.go.th/Aeromet/pressure/page1.html

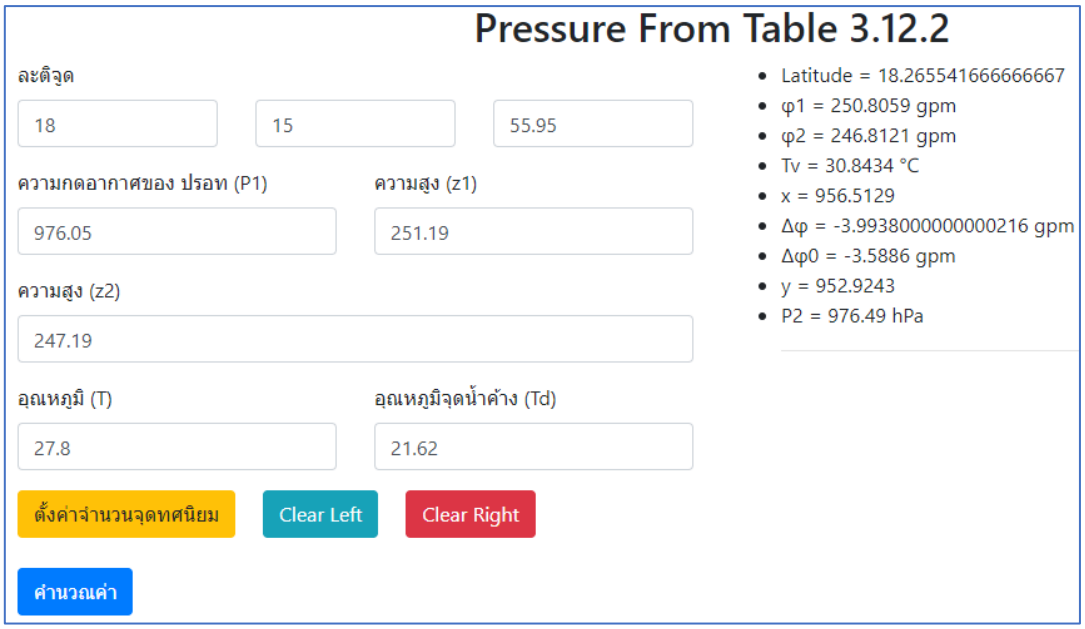
   -latitude 18 15 55.95 N, - QFE1 = 976.05 hPa

   -ใช้ความสูง z1 = 251.19 m.

   (มาจากความสูง TDZ R36 = 247.19 m รวมกับ ความสูงตึก 1 ชั้น = 3 m รวมกับ ความสงชั้นวาง = 1 m)

   -ใช้ความสูง z2 = 247.19 m

   -ได้ QFE2 = 976.49 hPa



5. หา QNH

   http://www.cmmet.tmd.go.th/Aeromet/pressure/qnh.html

   ได้ QNH = **1005.6** hPa

-ตัวอย่างที่ 4-

1. หาค่า T, Rh จาก 018/66 Digital Thermo-Hygrometer

   ตัวอย่าง วันที่ 27 พฤษภาคม 2567 เวลา 09.17 น.

   T = 27.1 ℃

   Rh = 72%

2. หา Td

   www.kwangu.com

   Td = 21.62 ℃

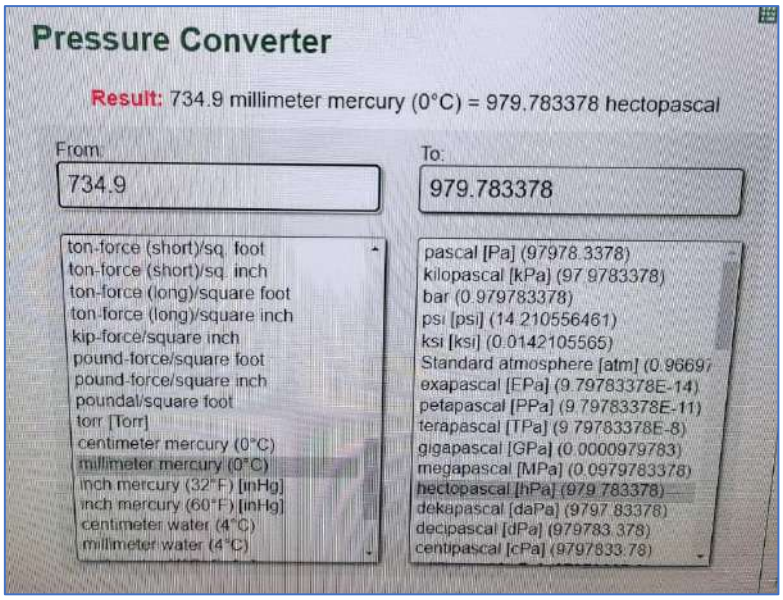
3. หา QFE1 จาก $P_{(real\ atmosphere)}$ หน่วย hPa

   -อ่านค่าความกดอากาศจาก Precision Aneroid barometer คือ 735.2 mm-Hg

   -ใช้ค่าแก้ -0.3 จะได้ค่า 735.2 – 0.3 = 734.9 แปลงหน่วยจาก mm-Hg เป็น hPa

   www. https://www.unitconverters.net/

   -ได้ QFE1 = 979.78 hPa



4. หา QFE2

   http://www.cmmet.tmd.go.th/Aeromet/pressure/page1.html

   -latitude 18 15 55.95 N

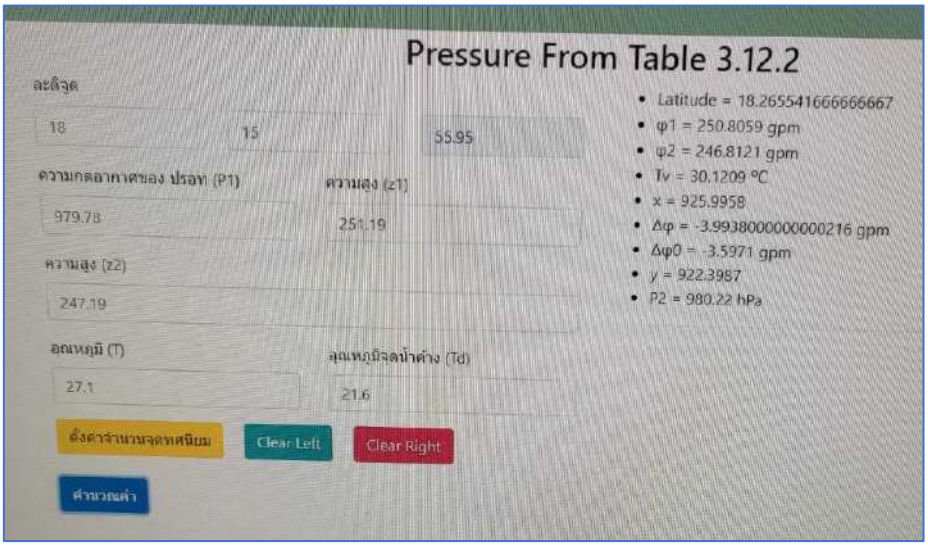
   - QFE1 = 979.78 hPa

   -ใช้ความสูง z1 = 251.19 m.

   (มาจากความสูง TDZ R36 = 247.19 m รวมกับ ความสูงตึก 1 ชั้น = 3 m รวมกับความสูงชั้นวาง = 1 m)

   -ใช้ความสูง z2 = 247.19 m

   -ได้ QFE2 = 980.22 hPa



5. หา QNH

   http://www.cmmet.tmd.go.th/Aeromet/pressure/qnh.html

   ได้ QNH = **1009.4** hPa