วิธีการสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซ (WI-GAS-01)

ฉบับแก้ไขครั้งที่ 1 (มีนาคม 2569)

ห้องปฏิบัติการกองวิศวกรรมการแพทย์

กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ

ผู้จัดทำ	ผู้ทบทวน	ผู้อนุมัติ
(นายณัฐนนท์ ธนทรัพย์เกษม)	(นายแก้วกานต์ แย้มยางบาง)	(นางสาวธนษา ชินภาณุพงศ์)
เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ	หัวหน้าห้องปฏิบัติการ	ผู้จัดการห้องปฏิบัติการ
สอบเทียบอัตราการไหลก๊าซ	สอบเทียบอัตราการไหลก๊าซ	กองวิศวกรรมการแพทย์
2 / ก.พ / 69	16 / ก.พ. / 69	23 / ก.พ. / 69

สารบัญ

1. คำนำ 2
2. ขอบข่าย 2
3. คำนิยาม 3
4. ขั้นตอนการสอบเทียบ 4
   - 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการสอบเทียบ 4
   - 4.2 สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขในการสอบเทียบ 5
   - 4.3 การสอบเทียบอัตราการไหล 5
5. การคำนวณค่าอัตราการไหล 7
6. การวิเคราะห์ข้อมูลและการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบอัตราการไหล 9
   - 6.1 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการทำซ้ำได้ของเครื่องมือมาตรฐาน (Repeatability of Reading Standard) 13
   - 6.2 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการทำซ้ำได้ของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Repeatability of Reading Unit Under Calibration) 13
   - 6.3 ความไม่แน่นอนเนื่องจากเครื่องมือมาตรฐาน (Uncertainty of Standard) 16
   - 6.4 ความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลื่อนค่าของเครื่องมือมาตรฐาน (Drift of Standard) 16
   - 6.5 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านค่าของเครื่องมือมาตรฐาน (Resolution of Standard) 17
   - 6.6 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านค่าของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Resolution of UUC) 17
   - 6.7 ค่าความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากการจับเวลาของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Timer counter as encoder) 18
   - 6.8 ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากเทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้ว (Temperature at Standard) 18
   - 6.9 ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากมาโนมิเตอร์ ที่มากับเครื่องมาตรฐาน (Pressure at Standard) 19
   - 6.10 ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดอุณหภูมิของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Temperature at UUC) 22
   - 6.11 ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดความดันของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Pressure at UUC) 22
   - 6.14 การรวมค่าความไม่แน่นอน และการคำนวณค่าของความไม่แน่นอนมาตรฐานขยายในการสอบเทียบ 23
   - ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ 25
   - ตัวอย่างตารางรวมค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty budget) 28
7. เอกสารอ้างอิง 28
8. ภาคผนวก 29

1. คำนำ

เอกสารวิธีการสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยห้องปฏิบัติการของกองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้วัดหรือวิเคราะห์อัตราการไหลของก๊าซ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้การสอบเทียบเป็นไปอย่างถูกต้อง แม่นยำ และสอดคล้องตามหลักมาตรฐานสากล

การสอบเทียบเครื่องมือวัดอัตราการไหลของก๊าซมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประกันคุณภาพและความน่าเชื่อถือของเครื่องมือทางการแพทย์ โดยเฉพาะเครื่องช่วยหายใจ รวมถึงเครื่องมือวิเคราะห์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดสอบและวิเคราะห์ทางการแพทย์ ซึ่งมีการใช้งานในศูนย์สนับสนุนบริการสุขภาพ และโรงพยาบาลขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ทั้งในภาครัฐและภาคเอกชน ที่มีศักยภาพในการทวนสอบเครื่องมือแพทย์ด้วยตนเอง

เอกสารฉบับนี้จึงมุ่งหวังให้เป็นแนวทางอ้างอิงในการสอบเทียบที่มีมาตรฐาน เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานด้านการตรวจสอบและรับรองความถูกต้องของเครื่องมือแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับก๊าซ อันจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพและความปลอดภัยของระบบบริการสาธารณสุขโดยรวม

2. ขอบข่าย

เป็นการวัดอัตราการไหลของก๊าซโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของก๊าซระหว่างเครื่องมือวิเคราะห์ทวนสอบเครื่องมือแพทย์ กับเครื่องมือมาตรฐานของห้องปฏิบัติการ กองวิศวกรรมการแพทย์ โดยมีตัวกลางเป็นอากาศ (Air) ในหน่วย lite per minute (lpm) ตามช่วงการวัดและขีดความสามารถดังตาราง 1

สาขาการวัด	รายการสอบเทียบ	ขีดความสามารถของการสอบเทียบและการวัด *	มาตรฐาน/เทคนิค/วิธี/ เครื่องมือที่ใช้
Gas flow meter (Air)	Flow rate 1 l/min to 10 l/min	2.0%	Comparison with drum-type gas meter standard

* แสดงเปนคาความไมแนนอน (±) ที่ระดับความเชื่อมั่นประมาณ 95%, k=2

ตารางที่ 1 ช่วงการวัดและขีดความสามารถ

3. คำนิยาม

เครื่องมือวิเคราะห์ทวนสอบเครื่องมือแพทย์ (Master Standard)

หมายถึงเครื่องมือที่ถูกออกแบบให้สามารถทวนสอบเครื่องมือแพทย์ที่ใช้งานในสถานบริการสุขภาพได้ ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภทหากแบ่งตามลักษณะการทำงานคือ (1) เครื่องมือวิเคราะห์ทวนสอบเครื่องมือแพทย์ แบบที่สร้างสัญญาณเป็นการจำลองสัญญาณชีพ (Patient Simulator) เพื่อป้อนสัญญาณดังกล่าวแก่เครื่องมือแพทย์ เพื่อตรวจวิเคราะห์การทำงานของเครื่องมือแพทย์ว่ามีการทำงานที่ถูกต้องหรือไม่ (2) เครื่องมือวิเคราะห์ทวนสอบเครื่องมือแพทย์ แบบที่วัดวิเคราะห์สัญญาณจากเครื่องมือแพทย์ (Medical Device Analyzer)

การเลื่อน (Drift)

การเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องหรือการเปลี่ยนแปลงที่เป็นขั้นตามเวลาในค่าบ่งชี้อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง\สมบัติเชิงมาตรวิทยาของเครื่องมือวัด

การทวนซ้ำได้ของเครื่องมือวัด (Repeatability of a Measuring Instrument)

ความสามารถของเครื่องมือวัด (ในกรณีนี้หมายถึงทั้งเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐานและเทอร์โมมิเตอร์ที่ต้องการสอบเทียบ) ในการให้การตอบสนองที่คล้ายคลึงกัน ใกล้เคียงกันสำหรับการใช้งานซ้ำๆ ด้วยตัวกระตุ้น คงเดิม ภายใต้เงื่อนไขการใช้งานตามนิยามที่กำหนดไว้

ความไม่แน่นอนการวัดขยาย (Expanded Measurement Uncertainty)

ผลคูณของความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานรวมและตัวประกอบคลอบคลุมซึ่งมีค่ามากกว่าหนึ่ง ซึ่งในการรายงานผลการสอบเทียบจะใช้ในการรายงานถึงค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบนั้นๆ

ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐาน (Standard Uncertainty)

ความไม่แน่นอนการวัดซึ่งแสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานรวม (Combined Standard Uncertainty)

ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานซึ่งได้จากการใช้ความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานแต่ละตัวที่เชื่อมสัมพันธ์กับปริมาณเข้าในแบบจำลองการวัด

ความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of Measurement)

พารามิเตอร์ที่ไม่มีค่าเป็นลบที่ใช้บ่งบอกลักษณะเฉพาะของการกระจายของค่าปริมาณของสิ่งที่ถูกวัด โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อมูลที่ใช้ และอาจกล่าวได้ว่าความไม่แน่นอนในการวัดเป็นตัวชี้วัดเชิงปริมาณของคุณภาพของผลการวัด ทำให้ผลการวัดนั้นสามารถเปรียบเทียบกับผลการวัด สิ่งอ้างอิง สมบัติเฉพาะ หรือมาตรฐานอื่นๆได้โดยปกติแล้วการประมาณความไม่แน่นอนโดยเป็นไปตาม GUM ซึ่งได้รับการยอมรับโดยทั่วไป

ตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor)

ตัวเลขที่มากกว่าหนึ่งที่นำมาคูณกับความไม่แน่นอนการวัดมาตรฐานรวมเพื่อให้ได้ความไม่แน่นอนการวัดขยาย

4. การสอบเทียบ

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการสอบเทียบ

เครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบในห้องปฏิบัติการตามตารางที่ 2 ดังต่อไปนี้

ที่	ชื่อเครื่องมือ	ยี่ห้อ	รุ่น	หมายเลขเครื่อง (Serial Number)	ขีดความสามารถ (Capacity)	ช่วงการใช้งาน
1	Gas Flow Meter	Shinagawa	W-NKDa-10-s	537467	±0.5% rdg	0 – 10 lpm
2	Humidity & Temperature Meter	TANDD	TR-73U	F80675D2	±1 %°C ±5 %RH	20 ± 3 °C 50±15 %RH
3	Gas Flow Analyzer	Fluke	VT900A	6075720	±2% rdg	0 – 10 lpm
4	Air flow source	Kanto	WM7040-24V	2007200415-17	-	0 – 10 lpm
5	Flow control valve	HARRIS	861	86062-ARC-30	0.5 lpm	0 – 10 lpm
6	Microcontroller counter	arduino	UNO	-	-	Baud rate 9600
7	Liquid in glass thermometer	Shinagawa	-	-	-	-

ตารางที่ 2 รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสอบเทียบ

Gas Flow Meter

ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับการสอบเทียบนี้ โดยมีการสอบกลับได้ด้วยการส่งไปสอบเทียบ ณ ห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 โดยเครื่องมือที่ห้องปฏิบัติการใช้มีลักษณะเป็น Drum ที่อยู่ภายในของเหลวที่เป็นน้ำมัน เมื่อได้รับอากาศเข้ามาภายใน Drum จึงเกิดการหมุนอย่างอิสระแสดงอัตราการไหลของอากาศผ่านการหมุนของเข็มที่หน้าปัดเป็นจำนวนรอบละ 10 L มีคุณสมบัติดังนี้

- สามารถวัดอัตราการไหลในช่วง 0 – 10 lpm ได้
- จะต้องส่งสอบเทียบและได้รับค่าความไม่แน่นอนในการวัดไม่เกิน 0.5% rdg

Air flow source

ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายอากาศที่มีลักษณะเป็นพัดลมเป่าอากาศ มีตัวกรองอากาศภายในห้องปฏิบัติการก่อนจะเข้ามาภายในพัดลม สามารถสร้าง air flow ได้ในช่วง 0 – 10 lpm ซึ่งมีปุ่มสามารถปรับกำลังจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อปรับอัตราการไหลของอากาศได้ในระดับหนึ่ง (Governor) และผ่านกล่องพักอากาศ (Cushion tank) เพื่อเป็นการผ่อนคลายอัตราการไหลที่มาจาก Blower ให้มีความลื่นไหลลดการกระเพื่อมของอัตราการไหลได้

Flow control valve

ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของก๊าซที่มาจาก Air flow source เพื่อให้ได้อัตราการไหลในจุดที่ต้องการ

Gas Flow Analyzer

ทำหน้าที่เป็นเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิและความดันมาตรฐานของ UUC กรณีเครื่องไม่มีโหมด Standard LPM จำเป็นต้องวัดแบบ Actual Flow โดยการนำเครื่อง Gas Flow Analyzer ต่อระหว่าง Flow control valve กับ UUC หรืออ่านเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบที่ในโหมด Actual Flow ที่แสดงอุณหภูมิและความดันแบบเรียลไทม์

4.2 สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขในการสอบเทียบ

ห้องปฏิบัติการสอบเทียบมีการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการอยู่ที่ 20 °C ± 3 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ที่ 50 %RH ± 15 %RH ในขณะทำการสอบเทียบ

4.3 การสอบเทียบอัตราการไหล

การสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซในห้องปฏิบัติการนี้มีข้อควรระวังที่อาจทำให้เครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ หรือเครื่องมือมาตรฐานเสียหายได้ ขอให้ผู้ปฏิบัติการสอบเทียบอ่านขั้นตอนการสอบเทียบ (4.3.5) ทุกครั้งก่อนดำเนินการสอบเทียบ

4.3.1 การเตรียมเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Unit Under Calibration : UUC)

เครื่องมือที่ถูกสอบเทียบให้ทำการศึกษาคู่มือผู้ผลิตถึงข้อควรระวังเพิ่มเติม วิธีการเปิดใช้งาน การเข้าโหมดการวัด ตรวจสอบทิศทางของช่องก๊าซเข้าและออก ข้อต่อที่ต้องใช้เหมาะกับอุปกรณ์ที่ห้องปฏิบัติการมีหรือไม่ โดยต้องมีการต่อตัวกรองอากาศก่อนช่องก๊าซเข้าเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบก่อนเสมอ นำเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบไว้ภายใต้สภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการก่อนการสอบเทียบเป็นเวลาที่ผู้ผลิตแนะนำก่อนการใช้งาน เพื่อปรับอุณหภูมิของเครื่องมือก่อนการสอบเทียบ ให้อยู่ในสภาวะเสถียรและสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของห้องปฏิบัติการ หากไม่ระบุให้ติดตั้งพร้อมเครื่องมือมาตรฐาน และเริ่มสอบเทียบเมื่อเครื่องมือมาตรฐานพร้อม

หากเครื่องมือ UUC สามารถ convert และแสดงค่าเป็น Standard LPM ให้ใช้หมวดนี้ในการสอบเทียบ

4.3.2 การเตรียมเครื่องมือมาตรฐานและอุปกรณ์ประกอบในการสอบเทียบ

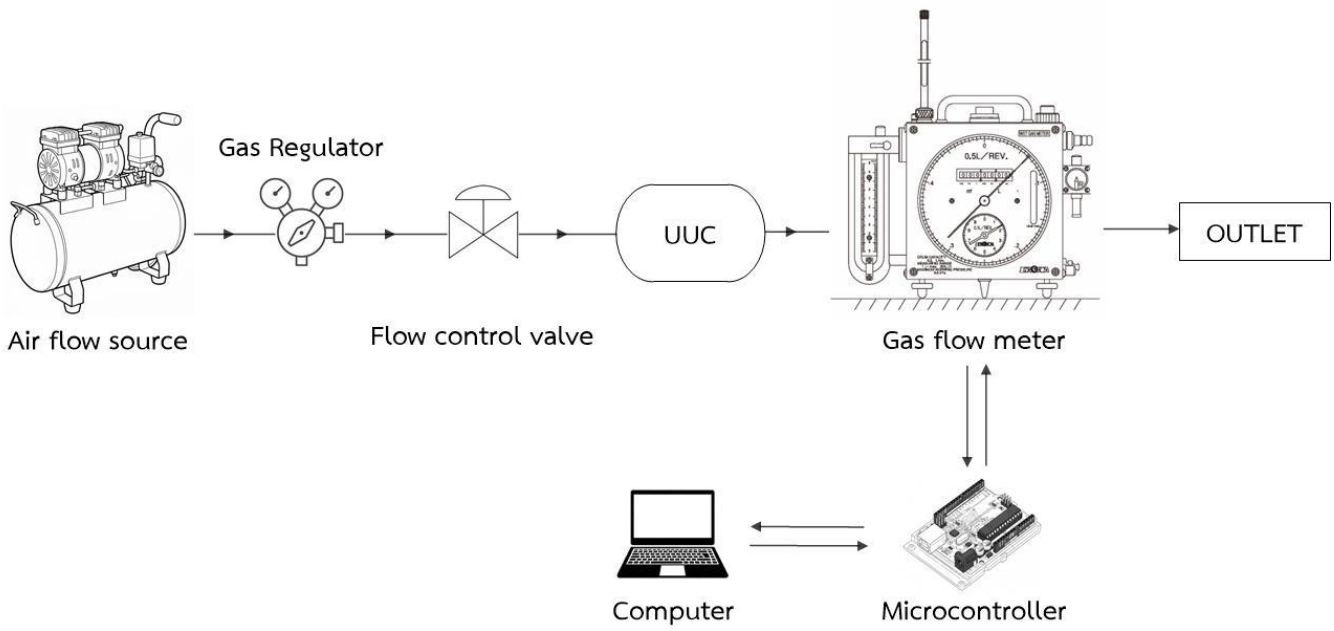
เครื่องมือมาตรฐานให้มีการเตรียมโดยยึดรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินการตามคู่มือผู้ผลิตเป็นหลัก (ทะเบียนเอกสารประกอบประจำห้องปฏิบัติการ : https://rmcplus.com/Device/info/41265-006-00001) ตามลำดับดังนี้

- ติดตั้งเครื่อง gas flow meter หลังจากกลับมาจากการส่งสอบเทียบ เนื่องจากมีการถ่ายน้ำมันระหว่างการขนย้าย ตามคู่มือและทำการทดสอบการรั่วด้วย (leak test)
- ตรวจสอบระดับของเหลว (น้ำมัน) ของเครื่อง Gas flow meter อยู่ในระดับที่เหมาะสม ทุกครั้งก่อนสอบเทียบ

4.3.3 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์

ดำเนินการต่อ Air flow source ที่เป็น pump ที่มีถังเก็บแรงดัน 50 ลิตร ไปยัง regulator เพิ่มปรับแรงดันลงมาให้อยู่ในช่วงที่ใช้งาน (ประมาณ 50 PSI) ต่อไปยัง Flow control valve ผ่านฟิลเตอร์ไปยัง UUC เข้าเครื่องมือ

มาตรฐาน ตามรูปที่ 1 โดยเครื่องมือมาตรฐานมีการอ่านข้อมูลเวลาที่ช่อง Encoder ด้วย Microcontroller (Arduino) และควบคุมด้วยโปรแกรมภาษา python ในคอมพิวเตอร์ (ซอฟแวร์ในภาคผนวก)



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสอบเทียบ

4.3.4 การกำหนดจุดสอบเทียบ

การกำหนดจุดการสอบเทียบตามคำขอของผู้รับบริการ หากไม่ระบุให้กำหนดจุดให้ครอบคลุมพิสัยของเครื่องที่ต้องการสอบเทียบอย่างน้อย 5 จุด ดั้งนี้ 1, 2.5, 5, 7.5, 10 หรือเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานที่ผู้ผลิตUUC อ้างอิง (ถ้ามี)

4.3.5 ขั้นตอนการสอบเทียบและบันทึกผล

1. เปิด pump
2. ปรับ Regulator ไปที่ 50-60 PSI
3. เปิด Flow control valve เพื่อให้อากาศไหลเป็นการทดสอบและปิด Flow ก่อนเชื่อมต่อ UUC (ป้องกันการเปิดปั๊มโดยยังไม่ได้ปิด Flow control valve จนแรงดันกระแทกเข้า UUC เสียหายได้)
4. ต่อ UUC และ STD ทำการทดสอบด้วยการปล่อย Flow 1-10 LPM สังเกต UUC ทำงานเป็นปกติ
5. ทดสอบการรั่วของระบบ ให้เป็นไปตามเกณฑ์ในคู่มือผู้ผลิต (ระดับไม่ลดลงจากที่ตั้ง 1 kPa ไว 3 นาที)
6. ทำการวัด Flow แต่ละจุดสอบเทียบ โดยมีความคลาดเคลื่อนของ UUC 3% (Deviation) ด้วยการปล่อย Flow ให้ UUC แสดงค่าอัตราการไหลใกล้จุดสอบเทียบมากที่สุด ปล่อยให้ Flow ไหลไปสักระยะหนึ่งก่อนเพื่อให้ Flow นิ่ง
7. Start counter ที่โปรแกรม Python รอจนโปรแกรมหยุดทำงาน บันทึกค่าเวลาที่ได้ในแบบบันทึก ซึ่งหมายถึงการหมุนของ drum ของเครื่องมือมาตรฐานหมุนไปจบครบ 10 ลิตร หรือ 1 รอบการหมุน บันทึกค่าอุณหภูมิ

และความดันมาตรฐานของ UUC ถ้าสอบเทียบในโหมด Standard LPM (กรณีที่สอบเทียบแบบ Actual Flow ให้บันทึกค่าจากเครื่อง Gas Flow Analyzer) และบันทึกค่าต่อไปนี้ในขณะวัดแต่ละจุดสอบเทียบ

a. บันทึกอุณหภูมิ ความดัน และความชื้นในห้อง
b. อุณหภูมิ และความดันที่แสดงในเครื่อง UUC (หรือค่าที่แสดงในเครื่อง Gas Flow Analyzer ในโหมด Actual Flow)
c. อุณหภูมิ และความดันที่เครื่องมือมาตฐาน

หมายเหตุ ระหว่างที่บันทึก pump จะต้องไม่ทำงาน เนื่องจากแรงดันในระบบไม่เสถียรมีต่อการวัด

5. การคำนวณค่าอัตราการไหล

ดำเนินการคำนวณค่าแก้ไขตามคู่มือของเครื่องมือมาตรฐาน ดั้งนี้

5.1 คิดค่าแก้จากเครื่องมือมาตรฐาน

$$V_1 = V_0 \left(1 - \frac{e}{100}\right)$$

V_1 : gas volume corrected for deviation (L)
e : deviation (%)
V_0 : reading of gas volume (L)

เช่น ที่จุดสอบเทียบของเครื่องมือมาตรฐาน 10 LPM มีค่าแก้อยู่ที่ -0.23 % ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือมาตรฐานได้จริงคือ 9.84801 L

V_0 = 9.84801 L

e = -0.23 %

จะได้ V1 = $9.84801 \times (1 - (\frac{-0.23}{100}))$

V1 = 9.87066 L

5.2 การ convert ค่าปริมาตรจากจุดที่วัดจากเครื่องมือมาตรฐานไปเป็นปริมาณ ณ จุดที่ถูกสอบเทียบ

$$V_2 = \frac{P_1}{P_2} \frac{T_2}{T_1} V_1$$

V_2: converted volume (L)
P_2: absolute pressure after conversion (Pa)
T_2: absolute temperature after conversion (K)
P_1: absolute pressure at the measurement (Pa)
T_1: absolute temperature at the measurement (K)

เช่น ค่าเครื่องมือมาตรฐานได้จริง V_1=9.87066 L ต้องการ convert เป็น V_2 ที่อุณหภูมิและความดันของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (UUC) ในโหมด STP20 ที่ 20 °C, 760 mmHg (จากคู่มือ UUC)

จากห้องปฏิบัติการวัดค่าต่างๆได้ดั้งนี้

T_1 หมายถึง อุณหภูมิในของเหลวของเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งอ่านจากเทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้ว ในหน่วยเปอร์เซ็น และ convert ในภาคผนวกเป็นหน่วย C แปลงเป็นหน่วย K ด้วยการ K = °C + 273.15

$$T_1 = 22.39 + 273.15$$

$$T_1 = 295.54 \text{ K}$$

P_1 หมายถึง ความดันสมบูรณ์ภายในเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งคู่มือได้แจ้งไว้ว่า

$$P_1 = P_a + P_g - P_v$$

p_a: atmospheric pressure at the measurement (Pa)
p_g: gauge pressure (Pa)
p_v: water vapor pressure (Pa)

P_g ค่าความดัน Pressure Drift ของเครื่องมือมาตรฐาน, P_a ค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดในห้องปฏิบัติการ, P_v ความดันอิ่มตัวของไอน้ำ

$$P_g = 0 \text{ Pa}$$

$$P_a = 1{,}008.6 \text{ hPa } (h = 10^2)$$

$$= 100{,}860 \text{ Pa}$$

P_v คือความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่หาจากอุณหภูมิและความชื้น (ที่เครื่องมือมาตรฐาน) ด้วยโปรแกรม psychrolib (ภาคผนวก)

$$P_v = 1543.7464550 \text{ Pa}$$

ดังนั้น $P_1 = 100860 + 0 - 1543.7464550$

$= 99{,}316.25355$ Pa

T_2 หมายถึง อุณหภูมิของ STD LPM ที่ UUC ตั้งค่าไว้ แปลงเป็นหน่วย K ด้วยการ K = °C + 273.15

$$T_2 = 20 \text{ C}$$

$$= 20+273.15$$

$$T_2 = 293.15 \text{ K}$$

P_2 หมายถึง ความดันของ STD LPM ที่ UUC ตั้งค่าไว้ แปลงเป็นหน่วย Pa (1 mmHg = 133.322 Pa)

$$P_2 = 760 \text{ mmHg}$$

$$= 760 \times 133.322$$

$$P_2 = 101325 \text{ Pa}$$

ดังนั้น $V_2 = \frac{99,316.25355}{101325} \times \frac{293.15}{295.54} \times 9.87066$

V_2 = 9.59663709 L

6. การวิเคราะห์ข้อมูลและการประเมินค่าความไม่แน่นอนในการสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซ

$$V_1 = V_0 \left(1 - \frac{e}{100}\right)$$

V_1 : gas volume corrected for deviation (L)
e : deviation (%)
V_0 : reading of gas volume (L)

$$Q = \frac{V}{t}$$

Q คือ อัตราการไหล (L/min)

V คือ ปริมาณ (L)

T คือ เวลา (min)

กลุ่ม Uncertainty จาก V_1 (เครื่อง wet gas)

- มีค่า u ของ Repeatability จากการอ่านเครื่อง wet gas (L/min ค่าได้จาก arduino)
- มีค่า u ของ Repeatability จากการอ่านเครื่อง UUC (L/min)
- มีค่า u ของ V_1 จากใบเซอร์ หน่วย L/min (0.5%)
- มีค่า u ของ V_1 จาก diff หน่วย L/min โดยนำค่า Accuracy ของสเปคเครื่องมาใช้คือ 0.1%
- ไม่มีค่า u ของการใช้ max flow (10 L/min) ไม่ทำให้เกิด pressure loss (150pa) เกินเกณฑ์ทำให้คลุมสเปคของตัวนี้
- มีค่า u ของ Resolution จากการอ่านเครื่อง wet gas (L/min ค่าได้จาก arduino)
- มีค่า u ของ Resolution จากการอ่าน UUC (L/min)
- มีค่า u ของเวลาที่ได้จากการประมวณผล Arduino (min)
    A. การคำนวณค่า Ci ของเวลาเท่ากับ ปริมาณสเกลของเครื่อง 10L หารด้วยเวลาที่ใช้หมุนครบรอบยกกำลัง2 (ได้จากสมการ $Q=V/t^2$)

$$V_2 = \frac{P_1}{P_2}\frac{T_2}{T_1}V_1$$

V_2: converted volume (L)
P_2: absolute pressure after conversion (Pa)
T_2: absolute temperature after conversion (K)
P_1: absolute pressure at the measurement (Pa)
T_1: absolute temperature at the measurement (K)

กลุ่ม Uncertainty จาก V_2 (ระบบการวัดทั้งหมด)

- มีค่า u ของ T_1 จากการวัดอุณหภูมิที่เครื่องมือมาตรฐาน (หลอดแก้ว)
  A. การคำนวณค่า Ci ของ T_1 เท่ากับ ดิฟค่า Qอัตราการไหลซึ่งสามารถหาค่าที่วัดได้จากค่าที่คอนเวอร์ได้ จากจุดสอบเทียบนั้นแล้ว ตามสมการเช่น ที่จุด 10 L/min, Q=9.56098, T_1=295.544 จะได้ Ci เท่ากับ

หา C_{t_1}

$$C_{T_1} = \frac{\partial Q}{\partial T_1} = \frac{P_1}{P_2}\cdot T_2 \cdot \frac{V_1}{t}\cdot \frac{\partial}{\partial T_1}\left(\frac{1}{T_1}\right)$$

$$\boxed{C_{T_1} = -\frac{P_1}{P_2}\cdot\frac{T_2}{T_1^2}\cdot\frac{V_1}{t}}$$

เขียนในรูป Q

เนื่องจาก $Q = \frac{P_1}{P_2}\cdot\frac{T_2}{T_1}\cdot\frac{V_1}{t}$

$$\boxed{C_{T_1} = -\frac{Q}{T_1}}$$

$$Ci = \frac{Q}{T_1} = \frac{9.56098}{295.544} = 0.3235$$

- มีค่า u ของ P_1 จากการวัดความดันที่เครื่องมือมาตรฐาน (มาจากสมการ)
  A. การคำนวณค่า Ci ของ P_1 เท่ากับ ดิฟค่า Qอัตราการไหลซึ่งสามารถหาค่าที่วัดได้จากค่าที่คอนเวอร์ได้ จากจุดสอบเทียบนั้นแล้ว ตามสมการด้านล่าง

Sensitivity Coefficient (C_i) ของ P_1

สมการ

$$Q = \frac{V_2}{t} = \frac{P_1}{P_2}\cdot\frac{T_2}{T_1}\cdot\frac{V_1}{t}$$

หา C_{P_1}

$$C_{P_1} = \frac{\partial Q}{\partial P_1} = \frac{1}{P_2}\cdot\frac{T_2}{T_1}\cdot\frac{V_1}{t}$$

เขียนในรูป Q:

$$\boxed{C_{P_1} = \frac{Q}{P_1}}$$

- มีค่า u ของ T_2 จากเครื่องวัดVT ในกรณีที่ UUC ถูกวัดในโหมด ATP หรือไม่มี u หาก UUC กำหนดเป็นจุด STD ที่คำนวณมาในเครื่อง UUC เอง

Sensitivity Coefficient (C_i) ของ T_2

สมการ

$$Q = \frac{V_2}{t} = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{V_1}{t}$$

หา C_{T_2}

$$C_{T_2} = \frac{\partial Q}{\partial T_2} = \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{1}{T_1} \cdot \frac{V_1}{t}$$

เขียนในรูป Q:

$$\boxed{C_{T_2} = \frac{Q}{T_2}}$$

- มีค่า u ของ P_2 จากเครื่องวัดVT ในกรณีที่ UUC ถูกวัดในโหมด ATP หรือไม่มี u หาก UUC กำหนดเป็นจุด STD ที่คำนวณมาในเครื่อง UUC เอง

หา C_{P_2}

$$C_{P_2} = \frac{\partial Q}{\partial P_2} = P_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{V_1}{t} \cdot \frac{\partial}{\partial P_2}\left(\frac{1}{P_2}\right)$$

$$C_{P_2} = P_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{V_1}{t} \cdot \left(-\frac{1}{P_2^2}\right)$$

เขียนในรูป Q:

$$\boxed{C_{P_2} = -\frac{Q}{P_2}}$$

$$P_1 = P_a + P_g - P_v$$

p_a: atmospheric pressure at the measurement (Pa)
p_g: gauge pressure (Pa)
p_v: water vapor pressure (Pa)

- มีค่า u ของ Pa มาจากเครื่องวัดอุณหภูมิความชื้นTU-73 (จะอยู่ใน P_1)
- มีค่า u ของ Pg มาจากเครื่องวัด manometer เครื่องมือมาตรฐาน (จะอยู่ใน P_1)
- มีค่า u ของ Pv มาจากสมการ psychrolib ที่ใส่อุณหภูมิและความชื้นจาก TU-73 (จะอยู่ใน P_1)
- มีค่า u ของอุหภูมิ TU73 ในสมการ psychrolib (จะอยู่ใน P1)
- มีค่า u ของความชื้น TU73 ในสมการ psychrolib (จะอยู่ใน P_1)

ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ของการสอบเทียบ มีดังนี้

$$C_{UUC} = (r_{std} - r_{uuc}) + \delta r_{Srep} + \delta r_{Urep} + \delta r_{SP} + \delta r_{SPd} + \delta r_{Sres} + \delta r_{Ures} + \delta r_{Stm} + \delta r_{Stem} + \delta r_{Spre} + \delta r_{Utem} + \delta r_{Upre}$$

เมื่อ

C_{UUC} = Correction of UUC compare with STD

r_{std} = Gas flow rate of STD

r_{uuc} = Gas flow rate of UUC

δr_{Srep} = Repeatability of Reading Standard (STD)

δr_{Urep} = Repeatability of Reading Unit Under Calibration (UUC)

δr_{SP} = Uncertainty of Standard (STD)

δr_{SPd} = Drift of Standard (STD)

δr_{Sres} = Resolution of Standard (STD)

δr_{Ures} = Resolution of Unit Under Calibration (UUC)

δr_{Stm} = Timer counter as encoder

δr_{Stem} = Temperature at Standard (STD)

δr_{Spre} = Pressure at Standard (STD)

δr_{Utem} = Temperature at Unit Under Calibration (UUC)

δr_{Upre} = Pressure at Unit Under Calibration (UUC)

ค่าแก้ต่างๆ ที่เกิดจากความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในการสอบเทียบ จากสมการสามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานได้ในรูปแบบที่เป็น Type A และ Type B โดยการประเมิน Type A เป็นผลมาจากการประเมินทางสถิติซึ่งอยู่ในรูปของส่วนเบี่ยงบนมาตรฐาน ในขณะที่การประเมิน Type B จะใช้วิธีอื่นๆ ที่ไม่ใช่การประเมินทางสถิติ ดังนี้รายละเอียดดังนี้

6.1 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการทำซ้ำได้ของเครื่องมือมาตรฐาน (Repeatability of Reading Standard (STD)), δr_{Srep}

การอ่านค่าทวนซ้ำ (Repeatability) ของการวัดคือความเที่ยงตรงของการวัดภายใต้ชุดของเงื่อนไขการทวนซ้ำได้ของการวัด ค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะได้จากกการประเมิน โดยการวิเคราะห์เชิงสถิติของค่าปริมาณที่วัดซ้ำหลายๆครั้ง ซึ่งการกระจายของความไม่แน่นอนจะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) เท่ากับ จำนวนชุดข้อมูลที่วัดลบด้วยหนึ่ง

ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจากการทวนซ้ำได้ (Repeatability) ของ wet gas meter เครื่องมือมาตรฐาน

$$u(\delta r_{Srep}) = S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \qquad (6.1.1)$$

เมื่อ

$S_{\bar{x}}$ = Experimental standard deviation of the mean (ESDM)

S_x = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการวัด ซึ่งหาได้จากสมการที่ 6.1.2

n = จำนวนครั้งการทำซ้ำของการวัด (สำหรับเครื่องมาตรฐาน n = 5)

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(m-1)}\sum_{i=1}^{m}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (6.1.2)$$

เมื่อ

x_i = ข้อมูลที่ได้จากการวัด

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการวัด ซึ่งหาได้จากสมการที่ 6.1.3

m = จำนวนข้อมูลที่ทำการวัด

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_i}{m} \qquad (6.1.3)$$

6.2 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการทำซ้ำได้ของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Repeatability of Reading Unit Under Calibration (UUC)), δr_{Urep}

ค่าความไม่แน่นอนจากการทวนซ้ำ (Repeatability) ของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นในกรณีของเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งความไม่แน่นอนในการวัดจะสามารถหาได้ตามสมการที่ 6.1.1 – 6.1.3 เช่นกัน

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.1-6.2</u>

จงหาคาความไมแนนอนมาตรฐานในการวัดจากก ารทวนซ้ำของเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือที่นำมาทดสอบ จากผลจากการสอบเทียบเครื่องGas Flow Analyzer (UUC) และ Wet gas มาตรฐาน (STD) ในการสอบเทียบ ดังตารางผลการสอบเทียบ flowrate 10 L/min ที่แปลงค่าอุณหภูมิและความดันที่ โหมดSTP20 (20 °C กับ 760 mmHg)

โหมดการสอบเทียบ	20 °C
STP20	760 mmHg
V2 (STD at UUC SLPM)	UUC Reading SLPM
0.9731	0.99000
0.9887	1.00500
0.9855	1.00500
0.9832	0.99500
0.9907	1.00000
2.4467	2.51000
2.4307	2.48500
2.4431	2.51500
2.4472	2.51000
2.4464	2.50500
4.8319	5.00500
4.8251	4.99500
4.8407	5.01500
4.8258	5.00000
4.8385	5.01000
7.1928	7.49500
7.1915	7.51000
7.2038	7.52000
7.2138	7.51500
7.1983	7.50500
9.5966	10.10000
9.5498	9.99000
9.5569	10.05000
9.5511	10.00000
9.5505	10.10000

- ค่าความไม่แน่นอนจากการทวนซ้ำ (Repeatability) ของเครื่องมือมาตรฐาน $u(\delta r_{Srep})$ จากข้อมูลข้างต้นจะสามารถหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลก๊าซที่เครื่องมือมาตรฐานวัดได้ (สมการ 6.1.3) ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{5} x_i}{5}$$

$$\bar{x} = \frac{47.804885}{5}$$

$$\bar{x} = 9.5609769\ l/min$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าจากการวัดของเครื่องมือมาตรฐาน (สมการ 6.1.2) คือ

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(5-1)}\sum_{i=1}^{5}(x_i - 9.5609769)^2}$$

$$S_x = 0.020134826\ l/min$$

ดังนั้น

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจากการทวนซ้ำ (Repeatability) ของเครื่องมือมาตรฐาน (สมการที่ 6.1.1) คือ

$$u(\delta r_{Srep}) = S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{0.020134826}{\sqrt{5}}$$

$$= 0.009004568\ l/min$$

โดย มีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) = m-1

ดังนั้น Degree of freedom : 5-1 = 4

- ค่าความไม่แน่นอนจากการทวนซ้ำ (Repeatability) ของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ $u(\delta r_{Urep})$ จากข้อมูลข้างต้นจะสามารถหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลก๊าซที่เครื่องมือมาตรฐานวัดได้ (สมการ 6.1.3) ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{5} x_i}{5}$$

$$\bar{x} = \frac{50.240}{5}$$

$$\bar{x} = 10.048\ l/min$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าจากการวัดของเครื่องมือมาตรฐาน (สมการ 6.1.2) คือ

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(5-1)}\sum_{i=1}^{5}(x_i - 10.048)^2}$$

$$S_x = 0.052630789\ l/min$$

ดังนั้น

ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจากการทวนซ้ำ (Repeatability) ของเครื่องมือมาตรฐาน (สมการที่ 6.1.1) คือ

$$u(\delta r_{Srep}) = S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

$$= \frac{0.052630789}{\sqrt{5}}$$

$$= 0.02353720438\ l/min$$

โดย มีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) = m-1

ดังนั้น Degree of freedom : 5-1 = 4

6.3 ความไม่แน่นอนเนื่องจากเครื่องมือมาตรฐาน (Uncertainty of Standard (STD)), δr_{SP}

ความไม่แน่นอนในส่วนนี้สามารถหาค่าได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ (Wet gas meter) ซึ่งการกระจายของความไม่แน่นอนจะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) เท่ากับ ∞

$$u(\delta r_{SP}) = \frac{U_{SP}}{k} \qquad \textbf{(6.3.1)}$$

เมื่อ U_{SP} คือ ค่าความไม่แน่นอนจากใบรับรองผลการสอบเทียบของ Wet gas meter

k คือ ค่าตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) จากใบรับรองผลห้องปฏิบัติการได้ตั้งมาตรฐาน

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.3</u>

ห้องปฏิบัติการได้ตั้งเกณฑ์ยอมรับค่าความไม่แน่นอนของ wet gas meter เครื่องมือมาตรฐาน เท่ากับ ±0.05 l/min ที่ระดับความเชื่อมั่นในการวัด (Confidence level) ที่ 95% ตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor, *k*) เท่ากับ 2 จงหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของ wet gas meter เครื่องมือมาตรฐาน

- ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานของ wet gas meter เครื่องมือมาตรฐาน หาได้จาก (สมการที่ 6.3.1)

$$u(\delta r_{SP}) = \frac{0.05}{2}$$

$$= 0.0250\ l/min$$

6.4 ความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลื่อนค่าของเครื่องมือมาตรฐาน (Drift of Standard (STD)), δr_{SPd}

เมื่อมีการใช้งานของเครื่องมือมาตรฐาน (Wet gas meter) ย่อมเกิดการเลื่อนค่าของเครื่องมือมาตรฐานเกิดขึ้น ซึ่งการเลื่อนค่านี้สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากใบรับรองการสอบเทียบที่ผ่านมาของเครื่องมือมาตรฐานนั้น ๆ ในกรณีที่เครื่องมือมาตรฐานผ่านการสอบเทียบมาเพียงหนึ่งครั้ง จะสามารถหาการเลื่อนค่าของโพรบเทอร์โมมิเตอร์ได้ จากค่าที่ระบุไว้ในคุณลักษณะเฉพาะ (Specification) ของเครื่องมือมาตรฐานนั้นๆ การกระจายของความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลื่อนค่าจะมีการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและจะมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) เท่ากับ ∞

$$u(\delta r_{SPd}) = \frac{drift}{\sqrt{3}} \qquad \textbf{(6.4.1)}$$

เมื่อ $drift$ คือ ค่าเลื่อนค่าที่ระบุไว้ในคุณลักษณะเฉพาะของเครื่องมือมาตรฐาน หรือเปรียบเทียบผลที่ได้จากใบรับรองการสอบเทียบที่ผ่านติดกัน 2 ปี

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.4</u>

ห้องปฏิบัติการได้ตั้งเกณฑ์ยอมรับของ wet gas meter เครื่องมือมาตรฐาน เท่ากับ ±0.05 จงหาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลื่อนค่าของเครื่องมือมาตรฐาน (Drift)

- ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลื่อนค่าของเครื่องมือมาตรฐาน หาได้จาก (สมการที่ 6.4.1)

$$u(\delta r_{SPd}) = \frac{0.05}{\sqrt{3}}$$

$$= 0.0288675\ l/min$$

6.5 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านค่าของเครื่องมือมาตรฐาน (Resolution of Standard (STD)), $\boldsymbol{\delta r_{Sres}}$

เนื่องจากหน่วยแสดงผลมาตรฐานแต่ละชนิดจะมีค่าความละเอียดของการอ่านค่าที่แตกต่างกันดังนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความไม่แน่นอนในการวัดที่จะเกิดจากเหตุนี้ด้วย ซึ่งค่าความละเอียดของหน่วยแสดงผลมาตรฐานนั้นจะถูกกำหนดไว้ในคุณลักษณะเฉพาะของหน่วยแสดงผลมาตรฐานจากผู้ผลิต สำหรับการกระจายของความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากค่าความละเอียดของหน่วยแสดงผลมาตรฐานจะมีการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระเท่ากับ ∞

$$u(\delta r_{Sres}) = \left(\frac{\text{resolution}}{2\sqrt{3}}\right) \qquad (6.5.1)$$

เมื่อ resolution คือ ค่าความละเอียดของหน่วยแสดงผลมาตรฐาน

6.6 ความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดในการอ่านค่าของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Resolution of Unit Under Calibration (UUC)), $\boldsymbol{\delta r_{Ures}}$

เนื่องจากหน่วยแสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบแต่ละชนิดจะมีค่าความละเอียดของการอ่านค่าที่แตกต่างกันดังนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความไม่แน่นอนในการวัดที่จะเกิดจากเหตุนี้ด้วย ซึ่งค่าความละเอียดของหน่วยแสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบนั้นจะถูกกำหนดไว้ในคุณลักษณะเฉพาะของหน่วยแสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบจากผู้ผลิต สำหรับการกระจายของความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากค่าความละเอียดของหน่วยแสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบจะมีการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระเท่ากับ ∞

$$u(\delta r_{Ures}) = \left(\frac{\text{resolution}}{2\sqrt{3}}\right) \qquad (6.6.1)$$

เมื่อ resolution คือ ค่าความละเอียดของหน่วยแสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.5-6.6</u>

หน่วยแสดงผลมาตรฐานมีความละเอียดของการอ่านค่า 0.01 l/min ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจากความละเอียดของเครื่อง wet gas meter คือ

$$u(\delta r_{Sres}) = \left(\frac{0.01}{2}\right) \times \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$= 0.00288675\ l/min$$

หน่วยแสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบมีความละเอียดของการอ่านค่า 0.01 l/min ดังนั้น ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานเนื่องจากความละเอียดของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ คือ

$$u(\delta r_{Ures}) = \left(\frac{0.0001}{2}\right) \times \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$= 0.0000289\ l/min$$

6.7 ค่าความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากการจับเวลาของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Timer counter as encoder), δr_{Stm}

คือนำ Real time clock ของไมโครคอนโทรเลอร์ไปส่งสอบเทียบ หาค่าได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบ Real time clock ซึ่งการกระจายของความไม่แน่นอนจะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) เท่ากับ ∞

$$u(\delta r_{Stm}) = \frac{U_{Stm}}{k} \qquad (6.7.1)$$

เมื่อ U_{Stm} คือ ค่าความไม่แน่นอนจากใบรับรองผลการสอบเทียบของ real time clock

k คือ ค่าตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) จากใบรับรองผลห้องปฏิบัติการได้ตั้งมาตรฐาน

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.7</u>

จากค่าระยะเวลาการส่งข้อมูลของไมโครคอนโทรเลอร์ นาฬิกาจับเวลามีความคลาดเคลื่อน 100 PPM โดยมีระยะเวลาที่วัด 1 นาที ที่ระดับความเชื่อมั่นในการวัด (Confidence level) ที่ 100% ประกอบครอบคลุม (Coverage factor, *k*) เท่ากับ $\sqrt{3}$ จงหาค่าความไม่แน่นอนอันเนื่องมาจากการจับเวลาของไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ

$$\delta r_{Stm} = \frac{100}{1000000} x1\ min = 0.0001\ min$$

$$u(\delta r_{Stm}) = \frac{0.0001}{\sqrt{3}}$$

$$= 0.000057735\ S$$

Ci คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Coefficient)

$$Ci = \frac{10\ L}{1^2}$$

$$= 10\ l/min$$

ดังนั้น

$$u(\delta r_{Stm}) = 0.000057735\ \times 10$$

$$= 0.00057735\ l/min$$

6.8 ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดเทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้วมาตรฐาน (Temperature at Standard (STD)), δr_{Stem}

คือ ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดเทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้วมาตรฐาน ซึ่งได้จากการส่งสอบเทียบหาค่าได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้ว ซึ่งการกระจายของความไม่แน่นอนจะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) เท่ากับ ∞

$$u(\delta r_{Stem}) = \frac{U_{Stem}}{k} \qquad (6.8.1)$$

เมื่อ U_{Stem} คือ ค่าความไม่แน่นอนจากใบรับรองผลการสอบเทียบเทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้ว

k คือ ค่าตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) จากใบรับรองผลห้องปฏิบัติการได้ตั้งมาตรฐาน

ซึ่งรวมกับค่าตวามไม่แน่นอนจากการอ่านซึ่งมี Resolution และการอ่านค่าคลาดเคลื่อนจากมุมสายตา (20% of Resolution) นำค่าทั้งหมดมารวมกับแบบ Root Sum Square (STD+ Resolution+ parallax)

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.8</u>

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดอุณหภูมิและการอ่านค่าคลาดเคลื่อนจากมุมสายตา ของเทอร์โมมิเตอร์ในหลอดแก้ว (Liquid in glass thermometer) เท่ากับ ±0.193649 K ที่ระดับความเชื่อมั่นในการวัด (Confidence level) ที่ 100% ประกอบครอบคลุม (Coverage factor, *k*) เท่ากับ $\sqrt{3}$ จงหาความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากเทอร์โมมิเตอร์หลอดแก้ว คือ

$$u(\delta r_{Stem}) = \frac{0.193649}{\sqrt{3}}$$
$$= 0.111807\ K$$

Ci คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Coefficient) โดยมีค่าเฉลี่ยของ V_2 = 0.999 L, ค่าเฉลี่ย T_1 = 295.54 K

$$Ci = \frac{0.999\ L}{295.54\ K}$$
$$Ci = 0.032351\ lpm/K$$
$$u(\delta r_{Stem}) = 0.111807 \times 0.032351$$
$$= 0.003617\ l/min$$

6.9 ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องความดันที่เครื่องมือมาตรฐาน (Pressure at Standard (STD)), δr_{Spre}

คือ ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากความดันที่เครื่องมือมาตรฐาน Wet gas meter ซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนในการวัดจาก **Pa** ค่าที่อ่านจากเครื่องอ่านความดันในห้องปฏิบัติการ, **Pg** ค่าที่อ่านจากมาโนมิเตอร์ของเครื่องมือมาตรฐาน, **Pv** ค่าความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่หาจากอุณหภูมิและความชื้น (ที่เครื่องมือมาตรฐาน) ดังความสัมพันธ์กับสมการ P1

$$P_1 = P_a + P_g - P_v$$

p_a: atmospheric pressure at the measurement (Pa)
p_g: gauge pressure (Pa)
p_v: water vapor pressure (Pa)

ประกอบด้วยความไม่แน่นอนในการวัดจาก **Pa, Pg, Pv** ดังนี้

Pa ค่าที่อ่านจากเครื่องอ่านความดันในห้องปฏิบัติการ (เครื่องTU-73) ประกอบด้วย สเปคของเครื่องมือ

$$\delta Pa = \delta Pa_{acc}$$

$$= \frac{150}{\sqrt{3}}$$

$$\therefore\ \delta Pa = 86.60254038 \text{ Pa}$$

Pg ค่าที่อ่านจากมาโนมิเตอร์ของเครื่องมือมาตรฐาน ประกอบด้วย สเปคของเครื่องมือ, parallax error, stability การทรงตัวของค่าขณะอ่าน

$$\delta Pg = \delta Pg_{acc} + \delta Pg_{error} + \delta Pg_{stability}$$

ค่า δPg_{acc} ความละเอียดของเครื่องมือ 0.1 ของ 100Pa ต่อขีด (แปลงเป็น Pa = 10 Pa)

$$\delta Pg_{acc} = \frac{\frac{10}{2}}{\sqrt{3}} = 2.88675 \text{ Pa}$$

ค่า δPg_{error} คือการอ่านค่าคลาดเคลื่อนจากมุมสายตา parallax error มีค่า 0.2 mmH_2O
(0.2 mmH2O ≈ 2 Pa)

$$\delta Pg_{error} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15470 \text{ Pa}$$

ค่า $\delta Pg_{stability}$ คือ stability หรือการทรงตัวของค่าขณะอ่านหากของเหลวมีการสั่นไหว มีค่า 0.1 mmH_2O
(0.1 mmH2O ≈ 1 Pa)

$$\delta Pg_{stability} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.57735 \text{ Pa}$$

$$\therefore\ \delta Pg = \sqrt{2.88675^2 + 1.15470^2 + 0.57735^2}$$

$$\delta Pg = 3.16228 \text{ Pa}$$

Pv ค่าความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่หาจากอุณหภูมิและความชื้น (ที่เครื่องมือมาตรฐาน) ด้วยโปรแกรม psychrolib

$$\delta Pv = \delta T_{pv} \delta RH_{\mathrm{pv}}$$

สมการที่ใช้ใน Psychrolib

Psychrolib ใช้สมการ **Antoine / Hyland-Wexler** สำหรับหา Pv:

$$P_v = \phi \times P_{ws}(T)$$

โดยที่:

- **φ** = Relative Humidity (RH)
- **P_ws(T)** = Saturation Pressure ที่อุณหภูมิ T

แหล่ง Uncertainty หลัก

$$u(P_v) = \sqrt{(C_\phi \cdot u(\phi))^2 + (C_T \cdot u(T))^2}$$

Sensitivity Coefficients

C_φ (จาก RH):

$$C_\phi = \frac{\partial P_v}{\partial \phi} = P_{ws}(T)$$

C_T (จาก Temperature):

$$C_T = \frac{\partial P_v}{\partial T} = \phi \cdot \frac{dP_{ws}}{dT}$$

โดย $\frac{dP_{ws}}{dT}$ จาก Clausius-Clapeyron:

$$\frac{dP_{ws}}{dT} \approx \frac{P_{ws} \cdot L}{R_v \cdot T^2}$$

Uncertainty Budget Table

Symbol	Source	Value	Unit	Type	C_i	u_i(Pv) Pa	u_i/Pv
u(φ)	RH Sensor	0.05	-	B	+3169	**158.45**	**10.00%**
u(T)	Thermometer	1.0	K	B	+94.7	**94.70**	**5.98%**
u_c(Pv)	**Combined**					**184.6**	**11.65%**
U(Pv) k=2						**369.2**	**23.30%**

$$\therefore \delta Pv = 184.6\ Pa$$

นำ Pa, Pg, Pv มาร่วมกัน จากสมการนี้

$$\delta r_{Spre} = 86.60254038 \text{ Pa} + 3.16228 \text{ Pa} + 184.6 \text{ Pa}$$

$$\delta r_{Spre} = 274.3648204 \text{ Pa}$$

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.9</u>

ค่าความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากความดันที่เครื่องมือมาตรฐาน Wet gas meter เท่ากับ ±274.3648204 Pa ที่ระดับความเชื่อมั่นในการวัด (Confidence level) ที่ 100% ประกอบครอบคลุม (Coverage factor, *k*) เท่ากับ $\sqrt{3}$ จงหาความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากมาโนมิเตอร์ ที่มากับเครื่อง Wet gas meter

$$u(\delta r_{Spre}) = \frac{274.3648204}{\sqrt{3}}$$

$$= 158.4046029\ Pa$$

Ci คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity Coefficient) โดยมีค่าเฉลี่ยของ V_2 = 0.999 L, ค่าเฉลี่ย P_1 = 99268.5546468 Pa

$$Ci = \frac{0.999\ L}{99268.5546468\ Pa}$$

$$Ci = 9.6265252 \times 10^{-5}\ lpm/Pa$$

ดังนั้น

$$u(\delta r_{Spre}) = 158.4046029\ \cdot (9.6265252 \times 10^{-5})$$
$$= 0.0152489\ l/min$$

6.10 ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดอุณหภูมิของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Temperature at Unit Under Calibration (UUC)), δr_{Utem}

คือ ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดอุณหภูมิของก๊าซขณะสอบเทียบเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ กรณีที่สอบเทียบแบบ Actual Flow ซึ่งมีค่าความไม่แน่นอนตามสเปคของผู้ผลิต ซึ่งการกระจายของความไม่แน่นอนจะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) เท่ากับ ∞

$$u(\delta r_{Utem}) = \frac{U_{Utem}}{k} \qquad \textbf{(6.10.1)}$$

เมื่อ U_{Utem} คือ ค่าความไม่แน่นอนจากค่าความไม่แน่นอนตามสเปคของผู้ผลิต

k คือ ค่าตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) จากใบรับรองผลห้องปฏิบัติการได้ตั้งมาตรฐาน

6.11 ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดความดันของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (Pressure at Unit Under Calibration (UUC)), δr_{Upre}

คือ ความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดความดันของก๊าซขณะสอบเทียบเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ กรณีที่สอบเทียบแบบ Actual Flow ซึ่งมีค่าความไม่แน่นอนตามสเปคของผู้ผลิต ซึ่งการกระจายของความไม่แน่นอนจะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) และมีค่าองศาความเป็นอิสระ (Degree of freedom) เท่ากับ ∞

$$u(\delta r_{Utem}) = \frac{U_{Upre}}{k} \qquad \textbf{(6.11.1)}$$

เมื่อ U_{Upre} คือ ค่าความไม่แน่นอนจากค่าความไม่แน่นอนตามสเปคของผู้ผลิต

k คือ ค่าตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor) จากใบรับรองผลห้องปฏิบัติการได้ตั้งมาตรฐาน

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.10-6.11</u>

เครื่องมือที่ถูกสอบเทียบรองรับการวัดในโหมดการสอบเทียบแบบ Standard LPM โดยที่อุณหภูมิและความดันของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ (UUC) ในโหมด STP20 ที่ 20 °C, 760 mmHg (จากคู่มือ UUC) ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนในการวัดอันเนื่องมาจากการวัดอุณหภูมิและความดันของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ จึงไม่นำมาคำนวณ

$$u(\delta r_{Upre}), u(\delta r_{Utem}) = 0$$

6.12 การรวมค่าความไม่แน่นอน และการคำนวณค่าของความไม่แน่นอนมาตรฐานขยายในการสอบเทียบ

เมื่อทำการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในการสอบเทียบตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ความไม่แน่นอนต่างๆเหล่านั้นสามารถนำมารวมไว้ในรูปแบบของงบรวมของความไม่แน่นอนในการสอบเทียบเพื่อหาว่าความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (Combined standard uncertainty,u_c) ที่เกิดขึ้นในการสอบเทียบนั้นมีค่าเท่าใด ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมสามารถหาได้ตามสมการที่ 6.7.1

$$\boldsymbol{u_c} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} u_{x_i}^2 c_i^2} \qquad \textbf{(6.14.1)}$$

เมื่อ

u_{x_i} คือ ความไม่แน่นอนในการวัดที่ประเมินไว้ตามวิธีการข้างต้น

c_i คือ สัมประสิทธิ์ความไว

ดังนั้น ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมของการสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซ คือ

$$\boldsymbol{u_c} = \sqrt{\begin{gathered}\left(u(\delta r_{Srep})\right)^2 + \left(u(\delta r_{Urep})\right)^2 + \left(u(\delta r_{SP})\right)^2 + \left(u(\delta r_{SPd})\right)^2 + \left(u(\delta r_{Sres})\right)^2 + \left(u(\delta r_{Ures})\right)^2 + \\ \left(u(\delta r_{Stm})\right)^2 + \left(u(\delta r_{Stem})\right)^2 + \left(u(\delta r_{Spre})\right)^2 + \left(u(\delta r_{Utem})\right)^2 + \left(u(\delta r_{Upre})\right)^2\end{gathered}} \qquad \textbf{(6.14.2)}$$

การหาค่าความเป็นอิสระประสิทธิผล (Effective Degree of Freedom) โดยใช้สูตรของ Welch-Satterthwaite ด้วยการนำค่าที่คำนวณได้จาก สมการ **6.7.1** ไปเทียบจากตาราง Student's "t" distribution (ภาคผนวก 1) เพื่อหาค่าตัวประกอบครอบคลุม (Coverage factor, *k*) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ต้องการ

$$V_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\frac{u_1^4(y)}{V_1} + \frac{u_2^4(y)}{V_2} + \cdots + \frac{u_n^4(y)}{V_n}} = \frac{u_C^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{u_i^4(y)}{V_i}} \qquad \textbf{(6.14.3)}$$

เมื่อ

V_{eff} คือ ค่าความเป็นอิสระประสิทธิผล

V_n, V_i คือ ค่าองศาความเป็นอิสระ

ดังนั้น ค่าความเป็นอิสระประสิทธิผลของการสอบเทียบอัตราการไหลของก๊าซ คือ

$$V_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u(\delta_{Srep})^4}{4} + \frac{u(\delta_{Urep})^4}{4}} \qquad \textbf{(6.14.4)}$$

นำความไม่แน่นอนรวม (u_c) ที่ได้จากสมการที่ 5.17.1 คูณด้วยค่าตัวประกอบครอบคลุมจะได้เป็นค่าของความไม่แน่นอนมาตรฐานขยาย (Expanded standard uncertainty, *U*) ดังที่แสดงไว้ในสมการที่ 6.7.5

$$U = ku_c \qquad \textbf{(6.14.5)}$$

<u>ตัวอย่างการคำนวณที่ 6.14</u>

จากการสอบเทียบเครื่อง Gas flow analyzer (UUC) ในโหมด STP20 ที่อุณหภูมิ 20 °C และความดัน 760 mmHg โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบ (Comparison) กับเครื่อง Wet gas meter (STD) มีข้อมูลดังนี้

δr_{Srep}	A	Repeatability of Reading Standard (STD)	0.00900
δr_{Urep}	A	Repeatability of Reading Unit Under Calibration (UUC)	0.02354
δr_{SP}	B	Uncertainty of Standard (STD) = 0.5%	0.02500
δr_{SPd}	B	Drift of Standard (STD) = 0.5%	0.02887
δr_{Sres}	B	Resolution of Standard (STD) = 1000 REV per 10 L	0.00289
δr_{Ures}	B	Resolution of Unit Under Calibration (UUC)	0.00003
δr_{Stm}	B	Timer counter as encoder	0.00058
δr_{Stem}	B	Temperature at Standard (STD)	0.00362
δr_{Spre}	B	Pressure at Standard (STD)	0.01525
δr_{Utem}	B	Temperature at Unit Under Calibration (UUC)	0.00000
δr_{Upre}	B	Pressure at Unit Under Calibration (UUC)	0.00000

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> หาความไม่แน่นอนมาตรฐานรวมของการสอบเทียบ จากสมการที่ 6.14.2 จะได้

$$\boldsymbol{u_c} = \sqrt{0.009005^2 + 0.023537^2 + 0.025^2 + 0.028868^2 + 0.002887^2 + 0.000029^2 + 0.000018^2 + 0.000380^2 + 0.000018^2 + 0 + 0}$$

$$\boldsymbol{u_c} = 0.048452994\ l/min$$

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> หาค่าความเป็นอิสระประสิทธิผล จากสมการที่ 6.14.4 จะได้

$$V_{eff} = \frac{0.048452994^4}{\frac{0.009005^4}{4} + \frac{0.023537^4}{4}}$$

$$V_{eff} = 70.326391$$

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> หาตัวประกอบครอบคลุมจากตาราง Student's "t" distribution (ภาคผนวก 1) จากตาราง Student's "t" distribution

เมื่อ $V_{eff} = 70.326391$ และระดับความเชื่อมั่น (ρ) เท่ากับ 95% จะได้ k = 2

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> หาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานขยาย จากสมการที่ 6.14.5 จะได้

$$U = ku_c$$

$$U = 2 \times 0.048452994$$

$$U = 0.098667268\ L/min$$

1. ตัวอย่างใบรายงานผลการสอบเทียบ

Certificate Number : FLW-69-[redacted]
Page: 1 of 2

Medical Engineering Division
Department of Health Service Support, Ministry of Public Health
88/33 Moo.4 Satharanasuk 8 rd, Taladkwuon subdistrict, Muang district, Nonthaburi, 11000
Tel. /Fax : 0-2149-5691 E-mail : lab.medeng@gmail.com

Certificate of Calibration

Equipment : Gas Flow Analyzer
Manufacturer : [redacted]
Model : [redacted]
Serial Number : [redacted]
ID Number : [redacted]
Department : [redacted]
Address : [redacted]
Environment Condition : Ambient Temperature : 20 °C ± 3 °C
Relative Humidity : 50 %RH ± 15 %RH
Location Calibration : Gas Flow Laboratory (Laboratory and parking building)
Calibration Date : [redacted]

MEASUREMENT METHOD

The Flow Meter Tester was calibrated by comparison with the standard instrument, as described in the traceability table. The calibration was performed using dry air as the test gas. The system was arranged such that the gas flowed through the Flow Meter Tester (Unit Under Calibration, UUC) first, followed by the standard drum-type gas meter (STD), and then discharged to the atmosphere. The standard volume readings from the STD were converted to the corresponding temperature and pressure conditions measured at the inlet of the UUC, in accordance with the UUC's specified operating conditions. The measurement uncertainty was calculated for each calibration point.

UNCERTAINTY OF MEASUREMENT

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor $k=2$ such that the coverage probability corresponds to approximately 95%.

Received Date : [redacted] **Issue Date :** [redacted]

Calibrated by : Nattanon
Mr. Nattanon Thanasapkasem

Approved by : Ch. Thanasa
Miss.Thanasa Chinpanupong

Kaewkan
Mr. Kaewkan Yaembangyang

"The results relate only to the items tested/calibrated or value assigned. Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of MED"

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างใบรายงานผล (แผ่นที่ 1)

Certificate Number : FLW-69-[redacted]
Page: 2 of 2

Medical Engineering Division
Department of Health Service Support, Ministry of Public Health
88/33 Moo.4 Satharanasuk 8 rd, Tumbon Taladkwuon, Umphur Muang, Nonthaburi, 11000
Tel. /Fax : 0-2149-5691 E-mail : lab.medeng@hotmail.com

Certificate of Calibration

TRACEABILITY

The measurement is traceable to SI Unit by Certificate in table below.

Equipment	Manufacturer	Model	Serial No.	Cert. No.	Traceable By	Due Date
Wet Gas Meter	Shinagawa	W-NKDa-10-S	537467	MW-0025-25	NIMT	[redacted]

MEASUREMENT RESULTS :

Technical information and setting of the UUC during calibration are as follows:

Gas Type : Dry Air
UUC Mode : STP20
Pressure/ Temperature : at 760 mmHg / 20 °C

MEASUREMENT RESULTS :

Flow Rate LPM	STD Reading LPM	UUC Reading LPM	Correction LPM	Uncertainty ± LPM
1.00	0.98	1.00	-0.01	0.020
2.50	2.44	2.51	-0.06	0.050
5.00	4.83	5.01	-0.17	0.10
7.50	7.20	7.51	-0.31	0.15
10.00	9.56	10.05	-0.49	0.20

Note. STD = Standard
UUC = Unit Under Calibration
LPM = Liter per minute

End of Certificate

"The results relate only to the items tested/calibrated or value assigned. Advertising the Report/Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of MED"

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างใบรายงานผล (แผ่นที่ 2)

Certificate Number : FLW-69-[redacted]
Page: 2 of 2

Medical Engineering Division
Department of Health Service Support, Ministry of Public Health
88/33 Moo.4 Satharanasuk 8 rd, Tumbon Taladkwuon, Umphur Muang, Nonthaburi, 11000
Tel./Fax: 0-2149-5691 E-mail : lab.medeng@hotmail.com

Certificate of Calibration

TRACEABILITY :

The measurement is traceable to SI Unit by Certificate in table below.

Equipment	Manufacturer	Model	Serial No.	Cert. No.	Traceable By	Due Date
Wet Gas Meter	Shinagawa	W-NKDa-10-8	537467	MW-0025-25	NIMT	[redacted]
Gas Flow Analyzer	Fluke Biomedical	VT900A	6075720	24MD1945	TPA	[redacted]

MEASUREMENT RESULTS :

Technical information and setting of the UUC during calibration are as follows:

Gas Type : Dry Air

UUC Conditions : as actual temperature and pressure

MEASUREMENT RESULTS :

Flow Rate LPM	UUC Gas Temp °C	UUC Pressure hPa	STD Reading LPM	UUC Reading LPM	Correction LPM	Uncertainty ± LPM
1.00	xx.xx	xxxx.x	x.xx	x.xxxx	x.xx	x.xxxx
2.50	xx.xx	xxxx.x	x.xx	x.xxxx	x.xx	x.xxxx
5.00	xx.xx	xxxx.x	x.xx	x.xxxx	x.xx	x.xxxx
7.50	xx.xx	xxxx.x	x.xx	x.xxxx	x.xx	x.xxxx
10.00	xx.xx	xxxx.x	x.xx	x.xxxx	x.xx	x.xxxx

Note. STD = Standard
UUC = Unit Under Calibration
LPM = Liter per minute

End of Certificate

"The results relate only to the items tested/calibrated or value assigned. Advertising the Report Certificate and publicity of the results except in full are prohibited unless written permission is obtained from the governor of MED"

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างใบรายงานผล (แผ่นที่ 2) กรณีวัดแบบ Actual Flow

2. ตัวอย่างตารางรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty budget)

Uncertainty Budget Table								10		lpm	
Symbol	Type	Source of uncertainty	Uncertainty Value (+/-)	uniit	Probability Distribution	Divisor	Sensitivity Coefficient (C_i)	Standard Uncertainty +/- °C	Degree of Freedom		
δr_{Srep}	A	Repeatability of Reading Standard (STD)	0.0090	lpm	Normal	1	1.0	0.0090	4		
δr_{Urep}	A	Repeatability of Reading Unit Under Calibration (UUC)	0.0235	lpm	Normal	1	1.0	0.0235	4		
δr_{SP}	B	Uncertainty of Standard (STD) = 0.5%	0.0500	lpm	Normal	2	1.0	0.0250	∞		
δr_{SPd}	B	Drift of Standard (STD) = 0.5%	0.0500	lpm	Rectangular	1.732	1.0	0.0289	∞		
δr_{Sres}	B	Resolution of Standard (STD) = 1000 REV per 10 L	0.0050	lpm	Rectangular	1.732	1.0	0.0029	∞		
δr_{Ures}	B	Resolution of Unit Under Calibration (UUC)	0.00005	lpm	Rectangular	1.732	1.0	0.00003	∞		
δr_{Stm}	B	Timer counter as encoder	0.0001	min	Rectangular	1.732	10.000	0.000577	∞		
δr_{Stem}	B	Temperature at Standard (STD)	0.19365	K	Rectangular	1.732	0.0324	0.003617	∞		
δr_{Spre}	B	Pressure at Standard (STD)	274.365	Pa	Rectangular	1.732	9.6265E-05	0.0152	∞		
δr_{Utem}	B	Temperature at Unit Under Calibration (UUC)	0.00000	K	Rectangular	1.732	0.0326	0.00000	∞		
δr_{Upre}	B	Pressure at Unit Under Calibration (UUC)	0.00000	Pa	Rectangular	1.732	9.4360E-05	0.0000	∞		
u_c	-	Combinded Standard Uncertainty			Normal			0.0485	70.3		
U	-	Expanded Uncertainty			Normal (K=)			0.0987	2.04	lpm	
								0.99	%		2 %
											0.200 LPM

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด

3. เอกสารอ้างอิง

1. Instruction manual of Wet gas meter : Shinagawa type W-NK WET GAS METER
2. ISO/IEC Guide 98-3:2008 — Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
3. ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
4. ILAC G8:09/2019 Guidelines on Decision Rules and Statements of Conformity
5. M 3003 - The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement," United Kingdom Accreditation Service

4. ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

แสดงค่าของ Student's "t" distribution

Degrees of freedom v	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					
	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

ภาคผนวก 2

แสดงโค้ดภาษา Python ของการใช้ไลบรารี Psychrometrics ชื่อ psychrolib เพื่อคำนวณหาความดันอิ่มตัวของไอน้ำ (P_V)

```
from psychrolib import *
import pandas as pd

# ตั้งหน่วยเป็น SI (°C, Pa)
SetUnitSystem(SI)

# ข้อมูล RH (อัตราส่วน) และ Temp (K)
rh_list = [0.57]+[0.57]+[0.56]+[0.56]+[0.57]
temp_K = [295.54]+[295.54]+[295.54]+[295.54]+[295.54]

# สร้าง DataFrame
df = pd.DataFrame({
    "RH": rh_list,
    "Temp_K": temp_K
})

# คำนวณ Temp °C
df["Temp_C"] = df["Temp_K"] - 273.15

# คำนวณความดันไอน้ำจริง Pv (Pa)
df["Pv_Pa"] = df.apply(lambda row: GetVapPresFromRelHum(row["Temp_C"], row["RH"]), axis=1)

print(df)
```