กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

รายงานผลการดำเนินงานตามข้อเสนอการพัฒนานวัตกรรม

ประจำปี 2567

การพัฒนาโปรแกรมการควบคุมคุณภาพและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด รายการการทดสอบค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)

สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Access สำหรับ

1 เพื่อใช้คำนวณผลการทดสอบและการประเมินผลการควบคุมคุณภาพ ผลการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่าง

2 เพื่อใช้ประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty) ของการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่าง

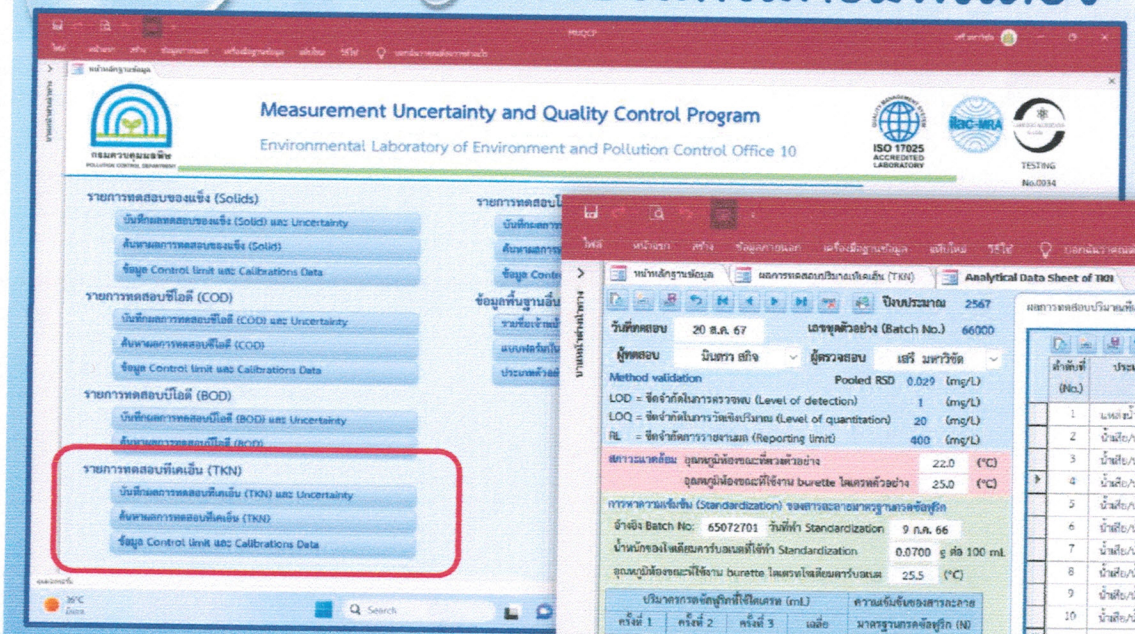
การดำเนินการ/ขั้นตอนการดำเนินงาน

1 **การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Access** สำห
ใช้คำนวนผลการทดสอบและการประเมินผลการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่
และการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty) ของการทดสอบตัวอย

2 **การทดลองใช้งานและการปรับปรุงแก้ไข** ดำเนินการติดตั้งระบบเพื่อทดลองใช้งานและ
ปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่บกพร่องให้มีความเหมาะสมในการใช้งานก่อนการใช้งานระบบจริง

3 **การติดตั้งเพื่อใช้งานและการบำรุงรักษา** ทำการติดตั้งเพื่อใช้งานจริงและดูแลรักษาระบ
เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องตามความต้องการของผู้ใช้งาน

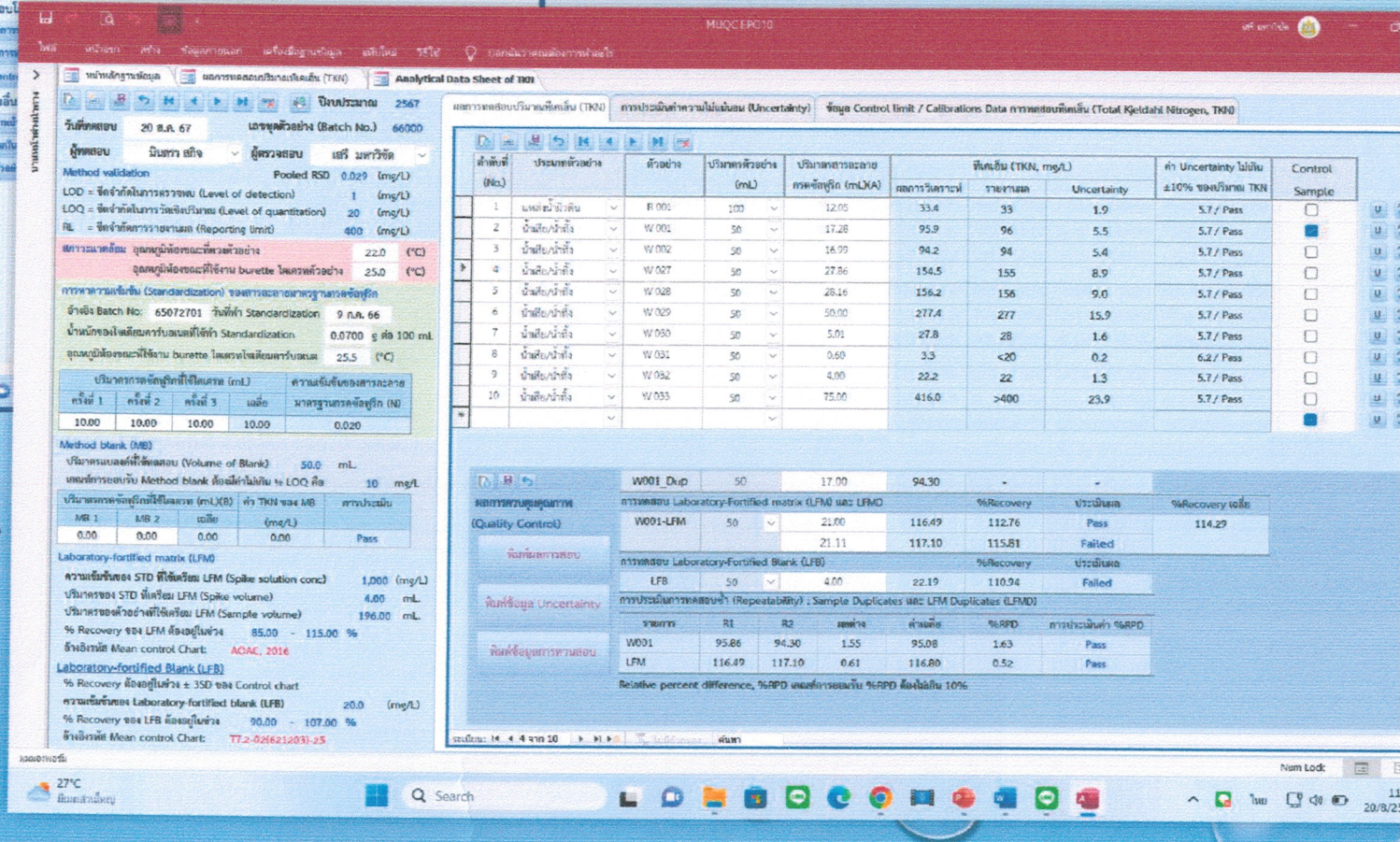
โครงสร้างทั่วไปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์



ประกอบด้วย

1 ข้อมูลการควบคุมคุณภาพและการคำนวณผลการทดสอบ

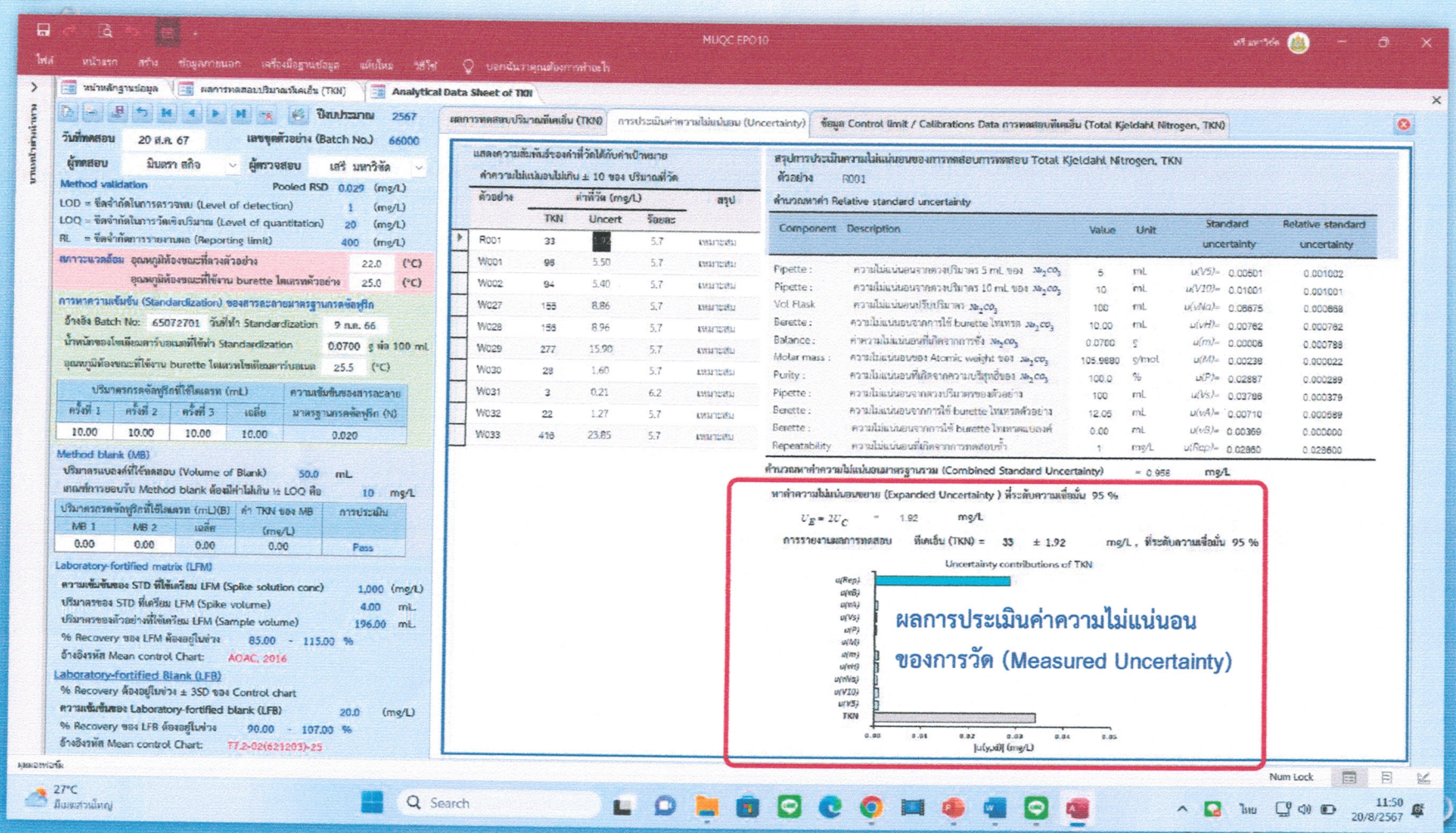
2 ผลการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty)



ข้อมูลการควบคุมคุณภาพและการคำนวนผลการทดสอบ

โครงสร้างทั่วไปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty)



สรุปผลการดำเนินงาน

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้คำนวณผลการทดสอบ การควบคุมคุณภาพและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดรายการทดสอบค่าทีเคเอ็นได้อย่างถูกต้อง เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในผลการทดสอบของผู้เกี่ยวข้องทุกระดับได้ รวมถึงเพื่อรองรับกับการขอขยายขอบข่ายการรับรองความสามารถตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ในอนาคตได้

ข้อเสนอแนะ

1 ควรมีการพัฒนาโปรแกรมการควบคุมคุณภาพและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดรายการการทดสอบหรือพารามิเตอร์อื่นๆ เพิ่มเติม

2 การดำเนินงานของห้องปฏิบัติการของหน่วยงานอื่นๆ ที่มีความคล้ายคลึงกับห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10 สามารถนำโปรแกรมการควบคุมคุณภาพและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด ไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยเฉพาะ สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษอื่นๆ ทั้ง 15 ที่

เอกสารแนบ 1

สรุปผลการประเมินด้านการพัฒนาประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานและการพัฒนานวัตกรรม
ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10 (ขอนแก่น)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2567

ชื่อเรื่อง การพัฒนาโปรแกรมการควบคุมคุณภาพและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด รายการการทดสอบค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN)

1. หลักการ เหตุผล ความจำเป็น

การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เป็นการดำเนินการของห้องปฏิบัติการในการเฝ้าระวัง ตรวจสอบความถูกต้องของการทดสอบ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลการทดสอบที่ถูกต้อง (Accuracy) แม่นยำ (Precision) และน่าเชื่อถือ (Reliability) ของผลการทดสอบก่อนรายงานผล กระบวนการควบคุมคุณภาพต้องครอบคลุมทุกขั้นตอนการวิเคราะห์ ตั้งแต่การสุ่มตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การวิเคราะห์ตัวอย่าง ตลอดจนถึงการรายงานผลการทดสอบ เช่น การวิเคราะห์ Certified Reference Materials (CRMs) การวิเคราะห์ QC check standard (Instrument check standard) การวิเคราะห์รีเอเจนต์แบลงค์หรือแบลงค์ของวิธีทดสอบ (Reagent blank or Method blank) การวิเคราะห์ Spiked sample หรือ การหา % Recovery ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ตลอดช่วงใช้งาน การวิเคราะห์ซ้ำในตัวอย่างเดียวกัน (Duplicate analysis pair) การวิเคราะห์ Check หรือ Control sample การตรวจสอบสมรรถนะ (Performance) ของเครื่องมือ เป็นต้น นอกจากการควบคุมคุณภาพที่ดีจะทำให้ได้มาซึ่งผลการทดสอบที่มีความถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือแล้ว การรายงานผลการทดสอบที่มีความครบถ้วนสมบูรณ์ควรที่จะต้องมีการรายงานค่าการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty) ด้วย

โดยทั่วไปแล้วค่าความไม่แน่นอนของการวัด มักแสดงในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่จะบ่งบอกถึงช่วงค่าที่สามารถเป็นไปได้จากการวัด การรายงานความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องรายงานพร้อมกับผลของการวัดเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รายการทดสอบที่เกี่ยวข้องกับการบังคับใช้กฎหมาย อาทิเช่น รายการทดสอบค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN) ในตัวอย่างน้ำทิ้งจากอาคาร น้ำทิ้งจากที่ดินจัดสรร น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากฟาร์มสุกร เป็นต้น ที่จำเป็นจะต้องนำเอาค่าความไม่แน่นอนของการวัดมาใช้ประกอบการการตัดสินผลการทดสอบว่าอยู่ในเกณฑ์ (ผ่าน) หรือเกินเกณฑ์มาตรฐาน (ตกเกณฑ์/ไม่ผ่าน)

อย่างไรก็ตาม ปัญหาของการประเมินผลการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบตัวอย่างและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะมีความยุ่งยากซับซ้อน ทำให้เสียเวลามากในการแปลผล อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการรายงานผลได้ อีกทั้งการจัดเก็บข้อมูลไม่เป็นระบบ ดังนั้น ห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ ๑๐ จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการประเมินผลการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบตัวอย่างและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด เพื่ออำนวยความสะดวกและลดภาระในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ อันจะเอื้อ

ประโยชน์ต่อการให้บริการทดสอบตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพและได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง แม่นยำและน่าเชื่อถือ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในผลการทดสอบ ของผู้เกี่ยวข้องทุกระดับได้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Access

2.1 เพื่อคำนวนผลการทดสอบและการประเมินผลการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่าง

2.2 เพื่อประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty) ของการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่าง

3. การดำเนินการ/ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Access สำหรับใช้คำนวนผลการทดสอบและการประเมินผลการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่างและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty) ของการทดสอบตัวอย่าง

3.2 การทดลองใช้งานและการปรับปรุงแก้ไข หลังจากได้ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดำเนินการติดตั้งระบบเพื่อทดลองใช้งานและปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่บกพร่องให้มีความเหมาะสมในการใช้งานก่อนการใช้งานระบบจริง

3.3 การติดตั้งเพื่อใช้งานและการบำรุงรักษา หลังจากได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่บกพร่องให้มีความเหมาะสมแล้วทำการติดตั้งเพื่อใช้งานจริงและดูแลรักษาระบบเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องตามความต้องการของผู้ใช้งาน

4. ผลลัพธ์ที่คาดหวัง

มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจัดการข้อมูลผลการทดสอบตัวอย่างที่สามารถใช้คำนวณผลการทดสอบและการประเมินผลการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่างและประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty) ของการทดสอบมีความถูกต้อง เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในผลการทดสอบ ของผู้เกี่ยวข้องทุกระดับได้ รวมถึงเพื่อรองรับการขอขยายขอบข่ายการรับรองความสามารถตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ในอนาคตได้

5. ผลการดำเนินงานและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงอย่างเป็นรูปธรรม

ผลการดำเนินงานในรอบ 12 เดือน ได้ดำเนินการแล้วเสร็จทุกขั้นตอน ดังนี้

5.1 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.1.1 ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบและการประเมินแหล่งที่มาของความไม่แน่นอนในแต่ละส่วนของกระบวนงานการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่างเพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.1.2 ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวนผลการทดสอบและการประเมินผลการควบคุมคุณภาพผลการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่างและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดของห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10 ขอนแก่น โดยใช้โปรแกรม Microsoft Access

5.2 ขั้นตอนการทดลองใช้งานและการปรับปรุงแก้ไข

หลังจากได้ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ดำเนินการติดตั้งระบบเพื่อทดลองใช้งานและอบรมแนะนำการใช้งานโปรแกรมฯ ให้กับเจ้าหน้าที่ผู้ใช้งาน โดยห้องปฏิบัติการได้ทดลองใช้งานโปรแกรมการควบคุมคุณภาพและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดรายการการทดสอบค่าทีเคเอ็น และได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้สามารถใช้งานได้ดีและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นแล้ว

5.3 การติดตั้งเพื่อใช้งานและการบำรุงรักษา

ดำเนินการการติดตั้งเพื่อใช้งานจริงและดูแลรักษาระบบเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องตามความต้องการของผู้ใช้งาน

6. ข้อเสนอแนะเพื่อการดำเนินงานในครั้งต่อไป

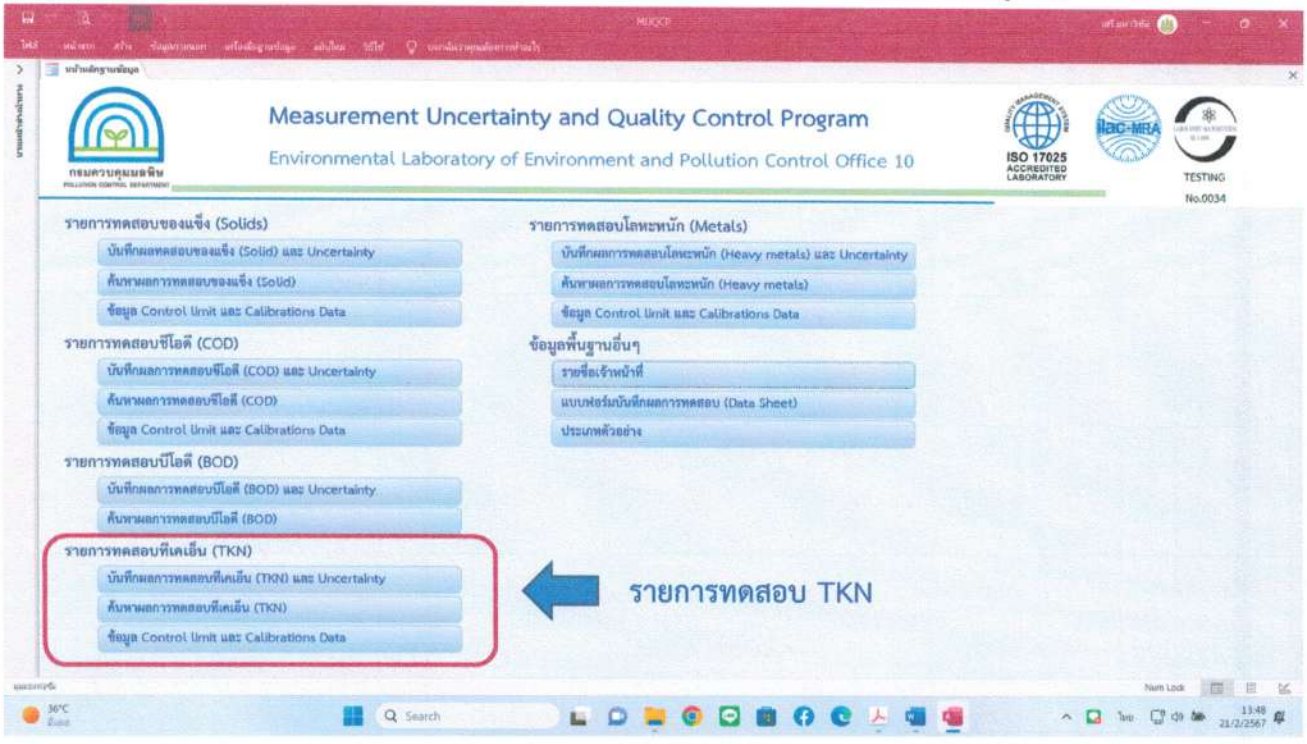
6.1 ควรมีการพัฒนาโปรแกรมการควบคุมคุณภาพและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด รายการการทดสอบหรือพารามิเตอร์อื่นๆ เพิ่มเติม

6.2 การดำเนินงานของห้องปฏิบัติการของหน่วยงานอื่นๆ ที่มีความคล้ายคลึงกับห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10 สามารถนำโปรแกรมการควบคุมคุณภาพและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด รายการการทดสอบค่าทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen: TKN) ไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยเฉพาะ สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษอื่นๆ ทั้ง 15 แห่ง

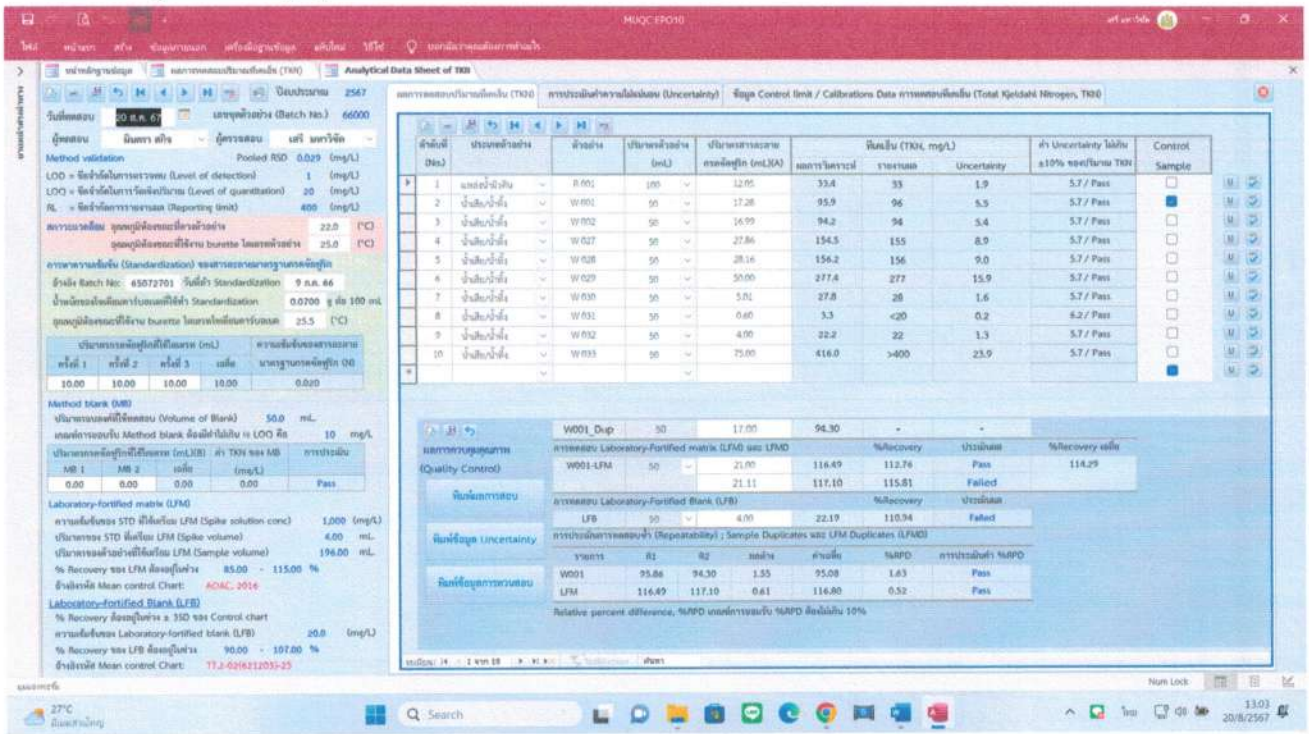
ภาคผนวก

รูปภาพแสดงโครงสร้างทั่วไปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

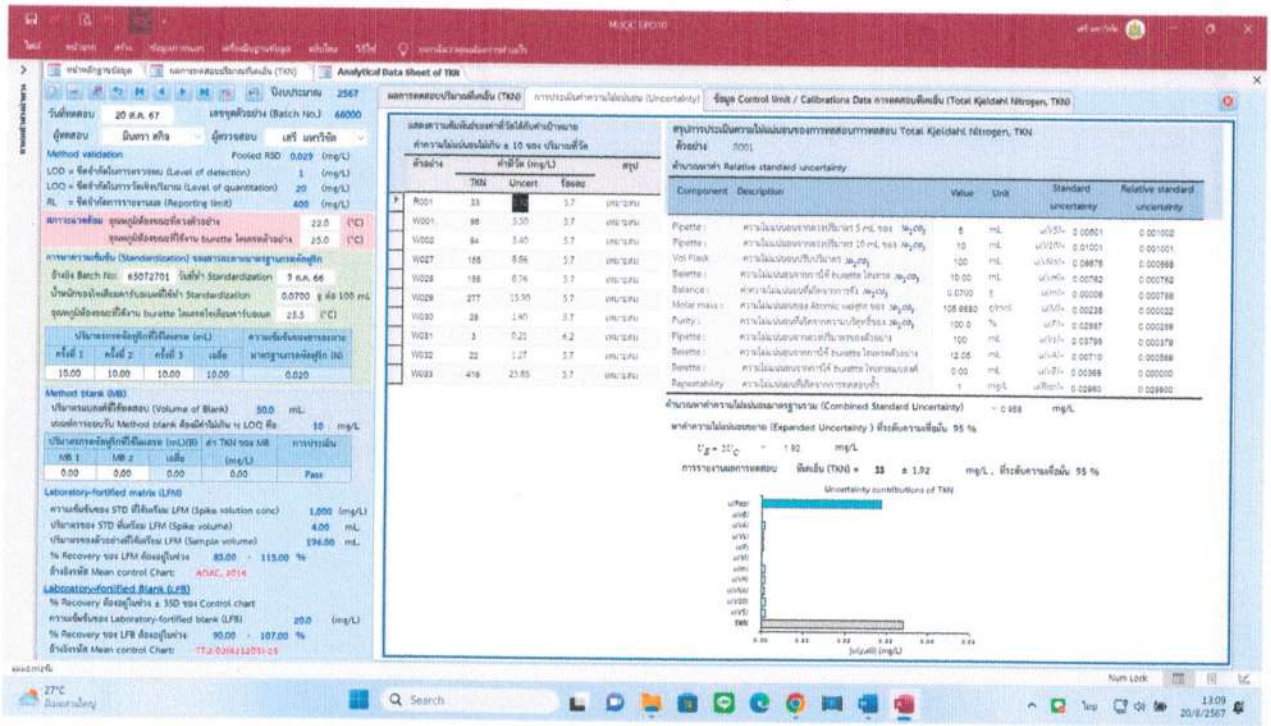
โปรแกรมการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดและการควบคุมคุณภาพ หรือ Measurement Uncertainty and Quality Control Program ที่ใช้สำหรับการทดสอบค่าทีเคเอ็นในตัวอย่าง ดังแสดงในรูป



1 ข้อมูลการควบคุมคุณภาพและการคำนวณผลการทดสอบ



2. การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Measured Uncertainty)



ตัวอย่าง Analytical Data Sheet

Analytical Data Sheet of Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 10 ขอนแก่น

เลขชุดตัวอย่าง 66000 **วันที่ทดสอบ 20 ส.ค. 67**

LOD = ขีดจำกัดในการตรวจพบ (Level of detection) 1 mg/L

LOQ = ขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Level of quantitation) 20 mg/L

RL = ขีดจำกัดการรายงานผล (Reporting limit) 400 mg/L

ความเข้มข้นของ Laboratory-fortified blank (LFB) : 20.0 mg/L

ความเข้มข้นของ STD ที่ใช้เตรียม LFM (Spike solution conc) : 1,000 mg/L

ปริมาตรของ STD ที่ใช้เตรียม LFM (Spike volume) : 4 mL.

ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้เตรียม LFM (Sample volume) : 196 mL.

การหาความเข้มข้น (Standardization) ของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก

วันที่ทำ Standardization **9 ก.ค. 66** อ้างอิง Batch No: **65072701**

น้ำหนักของโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ทำ Standardization **0.0700** g ต่อ 100 mL

ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรท (mL)				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก (N)
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
10.00	10.00	10.00	10.00	0.020

Method blank (MB)

ปริมาตรแบลงค์ที่ใช้ทดสอบ (Volume of Blank) 50 mL.

เกณฑ์การยอมรับ MB ต้องมีค่าไม่เกิน ½ LOQ คือ 10 mg/L

ปริมาตรกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรท (mL)(B)			ค่า TKN ของ MB (mg/L)	การประเมิน
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย		
0.00	0.00	0.00	0.00	Pass

ผลการทดสอบหาปริมาณทีเคเอ็นในตัวอย่าง ที่ 95% confident level, coverage factor k=2

ลำดับที่ (No.)	ประเภทตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ปริมาตรตัวอย่าง (mL)	ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริก (mL)(A)	ทีเคเอ็น (TKN, mg/L) ผลการวิเคราะห์	ทีเคเอ็น (TKN, mg/L) รายงานผล ± Uncertainty*	หมายเหตุ
1	แหล่งน้ำผิวดิน	R001	100	12.05	33.4	33 ± 1.9	
2	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W001	50	17.28	95.9	96 ± 5.5	Control Sample
3	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W002	50	16.99	94.2	94 ± 5.4	
4	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W027	50	27.86	154.5	155 ± 8.9	
5	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W028	50	28.16	156.2	156 ± 9.0	
6	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W029	50	50.00	277.4	277 ± 15.9	
7	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W030	50	5.01	27.8	28 ± 1.6	
8	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W031	50	0.60	3.3	<20	
9	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W032	50	4.00	22.2	22 ± 1.3	
10	น้ำเสีย/น้ำทิ้ง	W033	50	75.00	416.0	>400	
Sample duplicate		W001_Dup	50	17.00	94.30	-	-

Uncertainty* คือ ค่า Uncertainty ต้องไม่เกิน ±10% ของปริมาณ TKN

การควบคุมคุณภาพผลการทดสอบ (Quality control)

การวิเคราะห์หา %Recovery ของ LFM และ LFB ต้องอยู่ในช่วง ± 3SD ของ Control chart (AWWA, 2023)

% Recovery ของ LFB ต้องอยู่ในช่วง 107.00 - 90.00 % อ้างอิงรหัส Control Chart: T7.2-02(621203)-25

% Recovery ของ LFM ต้องอยู่ในช่วง 85.00 - 115.00 % อ้างอิงรหัส Control Chart: AOAC, 2016

รายการ	ปริมาตร (mL)	ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริก (mL)(A)	ทีเคเอ็น, TKN (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การกลับคืน (%Recovery) %Recovery	ค่าเฉลี่ย	การประเมินค่า
Laboratory-Fortified matrix (LFM)	50	21.00	116.49	112.76	114.29	Pass
(W001-LFM)		21.11	117.10	115.81		Failed
Laboratory-Fortified Blank (LFB)	50	4.00	22.19	110.94	-	Failed

การประเมินการทดสอบซ้ำ (Repeatability) ; Sample Duplicates และ LFM Duplicates (LFMD)

รายการ	ผลทดสอบ 1	ผลทดสอบ 2	|ผลต่าง|	ค่าเฉลี่ย	%RPD	การประเมินค่า %RPD
W001	95.86	94.30	1.55	95.08	1.63	Pass
LFM	116.49	117.10	0.61	116.80	0.52	Pass

Relative percent difference, %RPD เกณฑ์การยอมรับ ต้องไม่เกิน 10% (AWWA, 2023)

ผู้ทดสอบ.....(จนท.ทดสอบ) ผู้ตรวจสอบ.....(ผู้จัดการวิชาการ/ผู้ช่วยผู้จัดการวิชาการ)

(มินตรา สถิจ) (เสรี มหาวิชัด)

การประเมินความไม่แน่นอนของการทดสอบการทดสอบ Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

สัญลักษณ์ตัวอย่าง W001 วันที่ทำการทดสอบ 20 ส.ค. 67

1 ข้อมูลสภาวะแวดล้อม (อุณหภูมิห้อง °C)

ตอนใช้ burette ไตเตรทโซเดียมคาร์บอเนต **25.5** °C ตอนใช้ Volumetric pipette ดวงตัวอย่าง **22.0** °C ตอนใช้ burette ไตเตรทแบลงค์และตัวอย่าง **25.0** °C

ตารางแสดงผลการสอบเทียบ (calibration certificate)

Apparatus		Lab.Code	Calibration		Tolarance	unit	Resolution	Calibrate	วันที่สอบเทียบ
Items	Size		Uncertainty, a	K				Temp (°C)	
Burette	10	G57-046	0.0039	2.00	0.020	mL	0.020	20.0	30 ก.ค. 65
Vol.Flask	100	G58-023	0.0060	2.00	0.025	mL	-	20.0	22 ก.ค. 65
Vol. Pipette	5	G58-022	0.0100	2.00	-	mL	-	25.0	8 ก.ค. 66
	10	G58-01010	0.0200	2.00	-	mL	-	25.1	8 ก.ค. 66
	25	G58-025	0.0225	2.00	-	mL	-	25.0	
	50	G58-050	0.0250	2.00	-	mL	-	25.0	
	100	G58-100	0.0210	2.00	-	mL	-	25.0	
Analytical Balance	-	G58-1008	0.000078	2.00	-	g.	-	-	8 ก.ค. 66

2 คำนวณค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard uncertainty) ของแต่ละ component

2.1 ความไม่แน่นอนจากการตวงปริมาตร 5 mL ของ Sodium carbonate (Standard uncertainty ของ Volumetric pipette ขนาด 5 mL), *u(V5)*

Calibration : ความไม่แน่นอนของ Volumetric pipette จาก calibration certificate = 0.0100 และ k = 2

Standard uncertainty ที่เกิดจาก calibration, $u_{cal} = a/k$ = 0.0100 / 2 = 0.0050 mL

Temperature effect : ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของน้ำ = 0.00021 °C^{-1}

อุณหภูมิ ณ จุดสอบเทียบ = 25.00 °C อุณหภูมิ ณ จุดใช้งาน = 25.50 °C อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ จุดสอบเทียบกับจุดที่ใช้งาน = 0.50 °C

Standard uncertainty ที่เกิดจาก Temperature effect : $u_{temp} = FVT/\sqrt{3}$ = (0.00021 X 5 X 0.5) / $\sqrt{3}$ = 0.0003 mL

Standard uncertainty ของ Volumetric pipette ขนาด 5 mL ที่เกิดจาก Calibration และ temperature effect ดังนั้น

$u(V5) = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{temp}^2} = \sqrt{0.0050^2 + 0.0003^2}$ = **0.0050** mL

2.2 ความไม่แน่นอนจากการตวงปริมาตร 10 mL ของ Sodium carbonate (Standard uncertainty ของ Volumetric pipette ขนาด 10 mL), *u(V10)*

Calibration : ความไม่แน่นอนของ Volumetric pipette จาก calibration certificate = 0.0200 และ k = 2

Standard uncertainty ที่เกิดจาก calibration, $u_{cal} = a/k$ = 0.0200 / 2 = 0.0100 mL

Temperature effect : ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของน้ำ = 0.00021 °C^{-1}

อุณหภูมิ ณ จุดสอบเทียบ = 25.10 °C อุณหภูมิ ณ จุดใช้งาน = 25.50 °C อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ จุดสอบเทียบกับจุดที่ใช้งาน = 0.40 °C

Standard uncertainty ที่เกิดจาก Temperature effect : $u_{temp} = FVT/\sqrt{3}$ = (0.00021 X 10 X 0.4) / $\sqrt{3}$ = 0.0005 mL

Standard uncertainty ของ Volumetric pipette ขนาด 10 mL ที่เกิดจาก Calibration และ temperature effect ดังนั้น

$u(V10) = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{temp}^2} = \sqrt{0.0100^2 + 0.0005^2}$ = **0.0100** mL

2.3 ความไม่แน่นอนปรับปริมาตรของ Sodium carbonate (Standard uncertainty ของ Volumetric flash ขนาด 100 mL), *u(vNa)*

Calibration : ความไม่แน่นอนของ Volumetric flask จาก calibration certificate = 0.0060 และ k = 2

Standard uncertainty ที่เกิดจาก calibration, $u_{cal} = a/k$ = 0.0060 / 2 = 0.0030 mL

Temperature effect : ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของน้ำ = 0.00021 °C^{-1}

อุณหภูมิ ณ จุดสอบเทียบ = 20.00 °C อุณหภูมิ ณ จุดใช้งาน = 25.50 °C อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ จุดสอบเทียบกับจุดที่ใช้งาน = 5.50 °C

Standard uncertainty ที่เกิดจาก Temperature effect : $u_{temp} = FVT/\sqrt{3}$ = (0.00021 X 100 X 5.5) / $\sqrt{3}$ = 0.0048 mL

Standard uncertainty ของ VVolumetric flask ขนาด 100 mL ที่เกิดจาก Calibration และ temperature effect ดังนั้น

$u(vNa) = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{temp}^2} = \sqrt{0.0030^2 + 0.0048^2}$ = **0.0668** mL

2.4 ความไม่แน่นอนจากการใช้ burette ไทเทรต Sodium carbonate (Standard uncertainty ของ Burette ขนาด 10 mL), *u(vH)*

Calibration : ความไม่แน่นอนของ Burette จาก calibration certificate = 0.0039 และ k = 2

Standard uncertainty ที่เกิดจาก calibration, $u_{cal} = a/k$ = 0.0039 / 2 = 0.0019 mL

Temperature effect : ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของน้ำ = 0.00021 °C^{-1}

อุณหภูมิ ณ จุดสอบเทียบ = 20.00 °C อุณหภูมิ ณ จุดใช้งาน = 25.50 °C อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ณ จุดสอบเทียบกับจุดที่ใช้งาน = 5.50 °C

Standard uncertainty ที่เกิดจาก Temperature effect : $u_{temp} = FVT/\sqrt{3}$ = (0.00021 X 100 X 5.5) / $\sqrt{3}$ = 0.0067 mL

Bias of the end-point detection Standard uncertainty ที่เกิดจาก End-point, $u_{end\,point} = a/\sqrt{3}$ = 0.0039 / $\sqrt{3}$ = 0.0023

Standard uncertainty ของ VVolumetric flask ขนาด 100 mL ที่เกิดจาก Calibration และ temperature effect ดังนั้น

$u(vH) = \sqrt{u_{cal}^2 + u_{temp}^2 + u_{end-point}^2} = \sqrt{0.0019^2 + 0.0067^2 + 0.0023^2}$ = **0.0076** mL