

หลักการตรวจวัดและขั้นตอนการเปรียบเทียบ สำหรับการตรวจวัดคุณภาพอากาศ

ISBN 978-974-286-257-2

คพ. 03-084



กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

ส่วนคุณภาพอากาศในบรรยากาศ
สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
กรมควบคุมมลพิษ

บทที่ 1

หลักการตรวจวัดและขั้นตอนการปรับเทียบสำหรับการตรวจวัด ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ด้วยวิธี นันดิสเพอร์ซีฟ อินฟราเรด โฟโตเมตรี (Non-Dispersive Infrared Photometry)

หลักการตรวจวัด

1. การตรวจวัดอาศัยหลักการดูดกลืน (Absorption) รังสีอินฟราเรดโดยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในเครื่องวัดแสงแบบนัน-ดิสเพอร์ซีฟ (Non-dispersive photometer) พลังงานอินฟราเรดจากแหล่งกำเนิดจะผ่านเซลล์ (Cell) ซึ่งบรรจุก๊าซตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ไว้ภายใน และวัดปริมาณการดูดกลืนพลังงานโดยก๊าซ CO ในเซลล์ตัวอย่างนั้นด้วยเครื่องวัดแสง (Detector) ที่เหมาะสม การทำให้ Photometer มีความไวต่อก๊าซ CO โดยการบรรจุก๊าซ CO อาจเป็นใน Detector หรือใน Filter cell ใน Optical path ด้วยวิธีนี้ จะจำกัดการดูดกลืนที่ตรวจวัด (Measured absorption) ให้อยู่ในความยาวคลื่นที่ก๊าซ CO ดูดกลืนได้ดี ทั้งนี้ อาจใช้แผ่นกรองแสง (Optical filters) หรือสิ่งอื่น เพื่อจำกัดความไว (Sensitivity) ของ Photometer ให้อยู่ในช่วงแถบสั้น ๆ (Narrow band) ที่สนใจ อาจใช้การออกแบบที่หลากหลายเพื่อให้ได้ศูนย์อ้างอิง (Zero reference) ที่เหมาะสมสำหรับ Photometer ซึ่งการดูดกลืนที่ตรวจวัดได้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซ CO ในเซลล์ที่วัด

2. ข้อพิจารณาในการเก็บตัวอย่าง อาจจะใช้แผ่นกรองอนุภาค (Particle filter) ในท่อนำเข้าตัวอย่าง (Sample inlet) ของเครื่องตรวจวัดก๊าซ CO แบบ NDIR หรือไม่ได้ ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ใช้งานหรือผู้ผลิตเครื่อง การใช้แผ่นกรองควรขึ้นอยู่กับว่าเครื่องตรวจวัดมีความไวต่อสิ่งรบกวน การทำงานผิดพลาด หรือเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากอนุภาคเพียงใด

ขั้นตอนการปรับเทียบ

1. **หลักการ** การปรับเทียบเครื่องตรวจวัดก๊าซ CO เป็นการปรับเทียบแบบ Dynamic multipoint (Dynamic multipoint calibration) ซึ่งอาจดำเนินการด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ต่อไปนี้

1.1 การใช้ถังก๊าซ CO มาตรฐานที่ผ่านการรับรองแล้วโดยตรง โดยเจือจางตามความจำเป็น ด้วย Zero air เพื่อให้ได้ความเข้มข้นตามต้องการที่จะใช้ในการปรับเทียบ เรียกว่า วิธีทำให้เจือจาง (Dilution method)

1.2 การใช้ถังก๊าซ CO มาตรฐานที่ผ่านการรับรองแล้ว หนึ่งถึงต่อหนึ่งความเข้มข้นที่ต้องการ เรียกว่า วิธีใช้หลายถังก๊าซ (Multiple cylinder method)

2. **เครื่องมือ/อุปกรณ์** ส่วนประกอบและรูปแบบของระบบการปรับเทียบทั้ง 2 วิธีข้างต้น มีดังนี้

2.1 อุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ (Flow controller) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถปรับ และควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้ โดยอัตราการไหลที่ใช้สำหรับ Dilution method (รูปที่ 1) จะต้องควบคุมไว้ที่ $\pm 1\%$

2.2 มิเตอร์วัดการไหลของอากาศ (Flow meter) เป็นมิเตอร์สำหรับวัดและตรวจสอบอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว โดยอัตราการไหลของ Dilution method (รูปที่ 1) ต้องมีความแม่นยำ $\pm 2\%$ ของค่าที่วัดได้

2.3 อุปกรณ์ควบคุมความดันอากาศ (Pressure regulator) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความดันสำหรับถังก๊าซ CO มาตรฐาน ซึ่งต้องมี Diaphragm และชิ้นส่วนภายในที่ไม่เกิดปฏิกิริยา และปล่อยความดันได้อย่างเหมาะสม

2.4 ห้องผสม (Mixing chamber) เป็น Chamber ที่ออกแบบเพื่อให้ก๊าซ CO ผสมกับอากาศที่ใช้เจือจางได้อย่างทั่วถึง สำหรับ Dilution method

2.5 Output manifold ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางพอเพียงที่จะแน่ใจว่าไม่เกิด Pressure drop อย่างมีนัยสำคัญที่จุดเชื่อมต่อของเครื่องตรวจวัด โดยช่องระบายอากาศออก (Vent) ของระบบนี้จะต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าเกิดความดันบรรยากาศที่ Manifold และเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ Manifold ได้

3. สารเคมี

3.1 ก๊าซ CO มาตรฐาน ถังก๊าซ CO ซึ่งภายในบรรจุอากาศที่มีก๊าซ CO ที่มีความเข้มข้นเหมาะสม สำหรับช่วงการทำงานของเครื่องตรวจวัด (Analyzer) ขณะทำการเปรียบเทียบ ทั้งนี้ ก๊าซ CO มาตรฐาน ที่ใช้สำหรับ Dilution method อาจจะเป็น Nitrogen matrix หากอัตราส่วนการเจือจางของ Zero air ไม่น้อยกว่า 100:1 การตรวจสอบถังก๊าซจะต้องสามารถสอบกลับได้กับ National Bureau of Standards (NBS) CO ในอากาศ Standard Reference Material (SRM) หรือ NBS/EPA-approved ที่รับรองทางการค้าด้วย CRM (Certified Reference Material)

3.2 ก๊าซที่ใช้เจือจาง (Dilution gas) หรือ Zero air ควรเป็นอากาศที่ไม่มีสิ่งปนเปื้อนที่จะส่งผลกระทบต่อ การตอบสนองของเครื่องตรวจวัดก๊าซ CO ได้ ทั้งนี้ Zero air ควรมีก๊าซ CO ผสมอยู่น้อยกว่า 0.1 ส่วนในล้านส่วน (ppm)

4. ขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อใช้ Dynamic Dilution Method

4.1 ให้ประกอบระบบการเปรียบเทียบแบบ Dynamic ตามรูปที่ 1 โดยก๊าซที่ใช้เปรียบเทียบทั้งหมดรวมทั้ง Zero air ต้องส่งผ่านเข้าสู่ Sample inlet ของระบบเครื่องตรวจวัด

4.2 เพื่อให้แน่ใจว่า Flow meter ทั้งหมดผ่านการปรับเทียบภายใต้สภาวะการใช้งานที่เหมาะสม โดยดำเนินการปรับเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน เช่น Soap-bubble meter หรือ Wet-test meter โดยควรปรับอัตราการไหลเชิงปริมาตรทั้งหมดที่อุณหภูมิ 25°C และความกดอากาศ 760 มม.ปรอท (101 kPa)

4.3 เลือกช่วงการทำงานของเครื่องตรวจวัดก๊าซ CO ที่จะเปรียบเทียบ

4.4 ต่อสัญญาณ Output ของเครื่องตรวจวัดก๊าซ CO เข้ากับ Input ของเครื่องบันทึกข้อมูลชนิด Chart recorder หรืออุปกรณ์รวบรวมข้อมูลชนิดอื่น การปรับใดๆ ในเครื่องตรวจวัดควรพิจารณาตามความเหมาะสมของกระดาษกราฟบันทึก (Strip chart) หรือการอ่านค่าของอุปกรณ์นั้น การอ้างอิงถึงการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดที่กล่าวไว้ในวิธีปฏิบัติข้างล่างนี้ เป็นการอ้างอิงถึงการตอบสนองของ Recorder หรือ เครื่องอ่านข้อมูล

4.5 ปรับระบบเปรียบเทียบให้ปล่อย Zero air เข้าสู่ Output manifold โดยอากาศที่ไหลทั้งหมดต้องมากกว่าปริมาณที่เครื่องตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับ Output manifold ต้องการทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าอากาศภายนอกไม่ถูกดูดเข้าสู่ช่องระบายอากาศของ Manifold (Manifold vent) ให้ปล่อยเครื่องตรวจวัดเก็บตัวอย่างเป็น Zero air จนกระทั่งการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดคงที่ จากนั้นให้ปรับควบคุม Zero ของเครื่องตรวจวัด ทั้งนี้การทำ Offset ให้ปรับ Zero ของเครื่องตรวจวัด อยู่ที่ +5% ของสเกล เพื่อช่วยให้สังเกตพบการเปลี่ยนแปลงค่า Zero ที่เป็นลบได้ (Negative zero drift) จากนั้นบันทึกค่า Zero air ที่เครื่องอ่านได้คงที่แล้ว เป็นค่า Z_{co}

4.6 ปรับการไหลของ Zero air และก๊าซ CO ที่ไหลจากถังก๊าซ CO มาตรฐาน เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของก๊าซ CO เจือจางประมาณ 80% ของขีดจำกัดช่วงบน (Upper range limit: URL) ของช่วงการทำงานของเครื่องตรวจวัด การไหลของอากาศทั้งหมดต้องมากกว่าปริมาณการไหลของอากาศทั้งหมดที่เครื่องตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับ Output manifold ต้องการ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีการดูดอากาศจากภายนอกเข้าสู่ Manifold vent ความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่แน่นอนคำนวณได้จาก

$$[\text{CO}]_{\text{out}} = \frac{[\text{CO}]_{\text{STD}} \times F_{\text{CO}}}{F_{\text{D}} + F_{\text{CO}}} \quad (1)$$

โดย

$[\text{CO}]_{\text{OUT}}$ = ความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่เจือจางแล้ว ณ Output manifold (ส่วนในล้านส่วน)

$[\text{CO}]_{\text{STD}}$ = ความเข้มข้นของก๊าซ CO มาตรฐานที่ยังไม่ได้เจือจาง (ส่วนในล้านส่วน)

F_{CO} = อัตราการไหลของก๊าซ CO มาตรฐาน ปรับแก้ค่าแล้วให้อยู่สภาวะอุณหภูมิ 25°C และความกดอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท (101 kPa) (ลิตรต่อนาที)

F_{D} = อัตราไหลการของอากาศที่ใช้เจือจาง ปรับแก้ค่าแล้วให้อยู่สภาวะอุณหภูมิ 25°C และความกดอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท (101 kPa) (ลิตรต่อนาที)

เก็บตัวอย่างก๊าซ CO ตามความเข้มข้นข้างต้นจนการตอบสนองของเครื่องคั่งที่ จากนั้นปรับควบคุม Span ของเครื่องตรวจวัด เพื่อตรวจเช็คการตอบสนองของ Recorder ตามที่แสดงไว้ข้างล่าง

$$\text{การตอบสนองของ Recorder (\% สเกล)} = \left(\frac{[\text{CO}]_{\text{out}}}{\text{URL}} \right) \times 100 + Z_{\text{CO}} \quad (2)$$

โดย

URL = ขีดจำกัดช่วงบนของช่วงการทำงานของเครื่องตรวจวัด

Z_{CO} = การตอบสนองของเครื่องตรวจวัดต่อ Zero air, % สเกล

หากกำหนดให้มีการปรับควบคุม Span ของเครื่องตรวจวัด อาจจะต้องตรวจเช็คการปรับ Zero และ Span อีกครั้ง โดยดำเนินการตามขั้นตอน 4.5 และ 4.6 ซ้ำอีกครั้ง จากนั้นบันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO และการตอบสนองของเครื่องตรวจวัด

4.7 ผลิตหลายความเข้มข้นเพิ่มเติม (อย่างน้อย 3 ความเข้มข้น ให้ครอบคลุมสเกล ตามคำแนะนำ การตรวจสอบความถูกต้องเชิงเส้น) โดยการลด F_{∞} หรือ เพิ่ม F_{D_u} ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าอากาศที่ไหลทั้งหมดมากกว่า ปริมาณที่เครื่องตรวจวัดต้องการ สำหรับแต่ละความเข้มข้นที่ผลิตขึ้น ให้คำนวณความเข้มข้นของก๊าซ CO โดยใช้ สมการ (1) จากนั้นบันทึกค่าความเข้มข้นและการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดในแต่ละความเข้มข้น พล็อต กราฟการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดเทียบกับค่าความเข้มข้นก๊าซ CO ที่สอดคล้องกัน และวาดหรือคำนวณ กราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

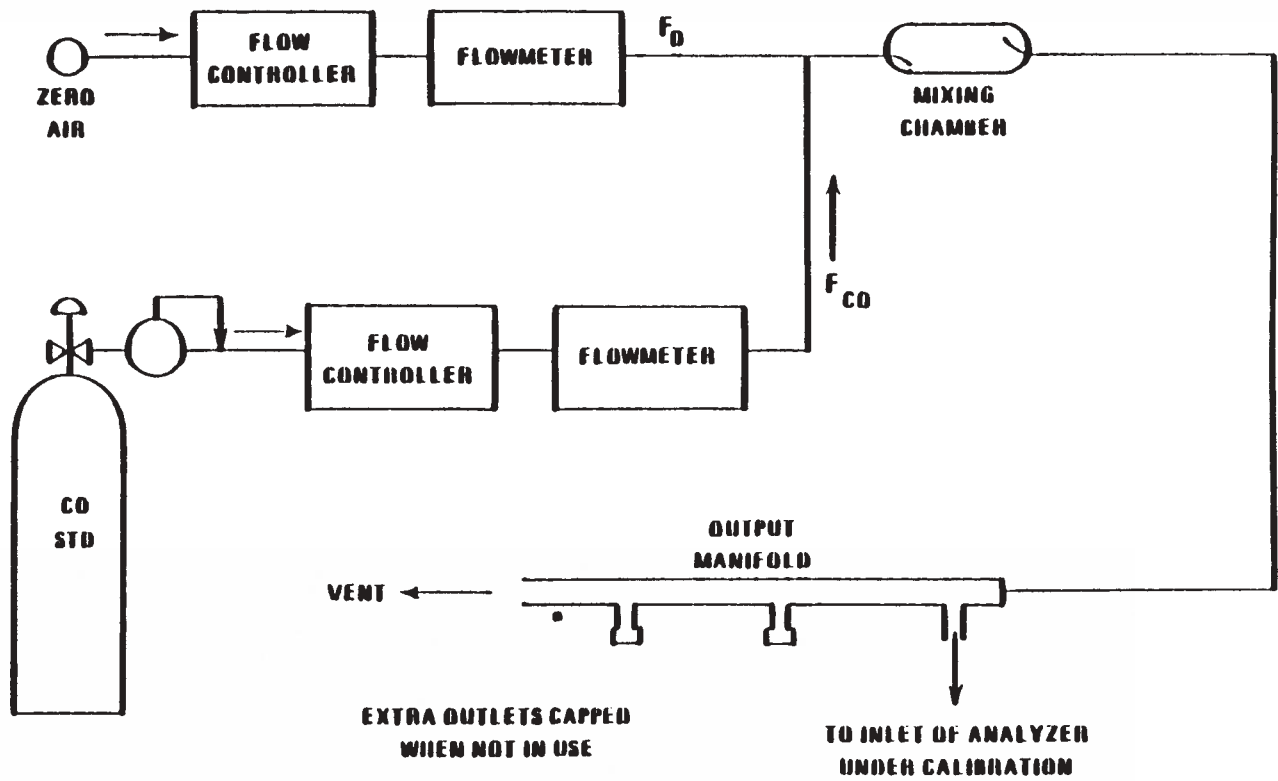
5. ขั้นตอนการปฏิบัติเมื่อใช้ *Multiple cylinder method*

ดำเนินการตามขั้นตอนการปฏิบัติเช่นเดียวกับ *Dynamic Dilution Method* แต่เปลี่ยนแปลงดังนี้

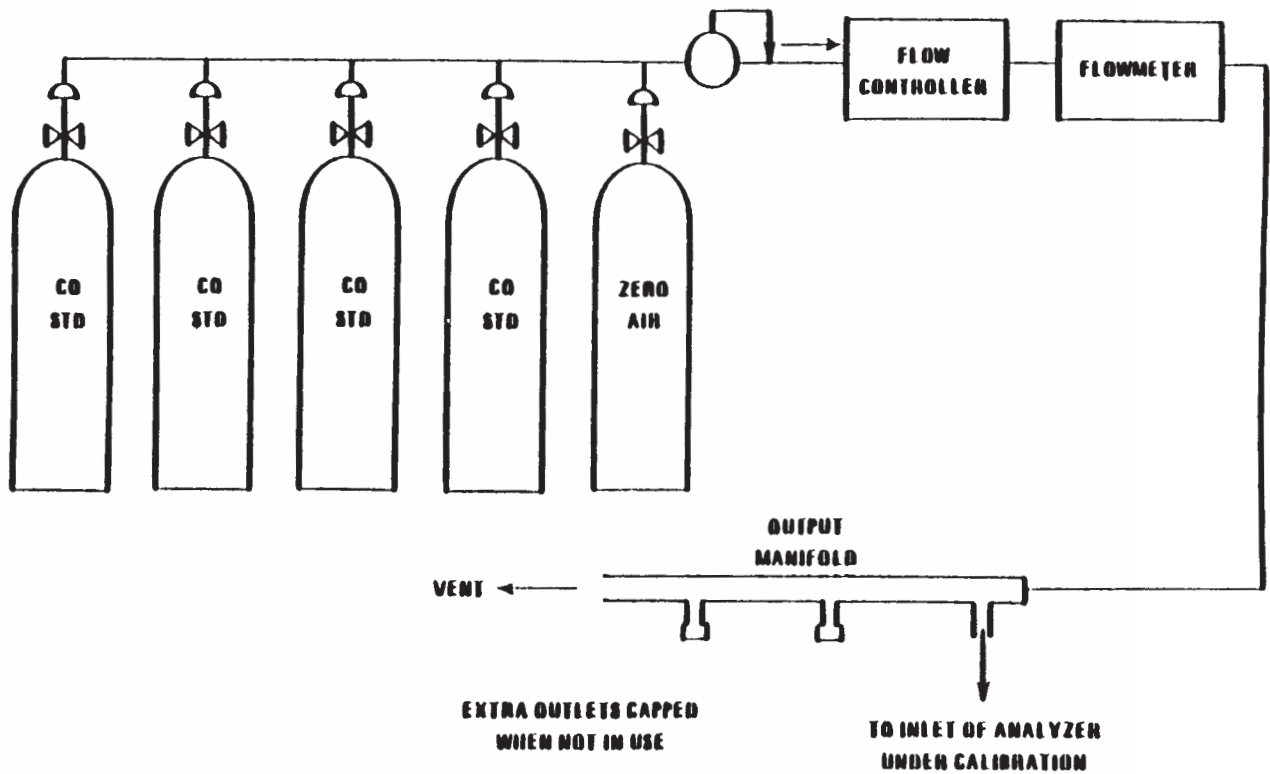
5.1 ใช้ระบบหลายถังก๊าซ ดังรูปที่ 2

5.2 หากการไหลของอากาศใน Output manifold สูงกว่าการไหลของอากาศที่เครื่องตรวจวัดต้องการ ก็ไม่จำเป็นต้องเปรียบเทียบ Flow meter ให้เที่ยงตรงนัก

5.3 ไม่ต้องใช้วิธีทำให้เจือจางเพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซ CO ที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 4.6 และ 4.7 หากเลือกใช้ถังก๊าซมาตรฐานที่ได้รับการรับรองอย่างเหมาะสม



รูปที่ 1 การปรับเทียบเครื่องตรวจวัด CO ด้วยวิธีทำให้เจือจาง (Dilution method)



รูปที่ 2 การปรับเทียบเครื่องตรวจวัด CO ด้วยวิธีใช้หลายถังก๊าซ (Multiple cylinder method)

บทที่ 2

หลักการตรวจวัดและขั้นตอนการปรับเทียบสำหรับการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ด้วยวิธี ก๊าซ เฟส เคมีลูมิเนสเซน (Gas Phase Chemiluminescence)

หลักการตรวจวัด

1. สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในบรรยากาศได้โดยทางอ้อม ด้วยวิธีการตรวจวัดความเข้มของแสงหรือเทียบแสง (Photometry) โดยตรวจวัดความเข้มของแสงที่ความยาวคลื่นมากกว่า 600 นาโนเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีเรืองแสง (Chemiluminescence) ระหว่างไนตริกออกไซด์ (NO) กับโอโซน (O_3) โดยในขั้นตอนแรก Converter จะเปลี่ยน NO_2 เป็น NO จากนั้น NO ที่มีอยู่ทั่วไปในอากาศในบรรยากาศร่วมกับ NO_2 จะผ่าน Converter โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ทำให้ความเข้มข้นทั้งหมดที่เกิดของ NO_x เท่ากับผลรวมของ NO กับ NO_2 หรือ ($\text{NO}+\text{NO}_2$) โดยตัวอย่างอากาศที่ผ่านเข้ามาจะถูกวัดเช่นกันโดยไม่ผ่าน Converter ซึ่งผลการตรวจวัดของ NO ประการหลังนี้ จะถูกลบออกจากผลรวมของ $\text{NO}+\text{NO}_2$ ก่อนหน้านั้น ผลที่ได้จะเป็นค่าการตรวจวัดสุดท้ายของ NO_2 ทั้งนี้อาจตรวจวัดทั้ง NO และ $\text{NO}+\text{NO}_2$ ได้พร้อมๆ กันด้วยร่วม หรือด้วยระบบเดียวกันแต่ตรวจวัดเป็นรอบ แต่ทั้งนี้รอบเวลาจะต้องไม่เกิน 1 นาที

2. ข้อพิจารณาในการเก็บตัวอย่าง

2.1 เครื่องตรวจวัดระบบ Chemiluminescence สำหรับ $\text{NO}/\text{NO}_x/\text{NO}_2$ จะตอบสนองต่อสารประกอบอื่นที่มี ไนโตรเจนปนอยู่ด้วย เช่น Peroxyacetyl nitrate (PAN) ซึ่งอาจจะถูกทำให้กลายเป็น NO ใน Thermal converter ซึ่งความเข้มข้นของสิ่งรบกวนที่มีแนวโน้มในบรรยากาศเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าต่ำเมื่อเทียบกับ NO_2 และอาจทำให้ผลการตรวจวัดของ NO_2 ถูกต้อง แต่ในบางพื้นที่ที่ทราบความเข้มข้นของสิ่งรบกวนที่มีแนวโน้มเหล่านี้ หรือสงสัยว่าจะมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับ NO_2 ขอแนะนำให้ใช้วิธีการตรวจวัดเทียบเท่า (Equivalent method) ในการตรวจวัด NO_2

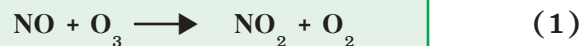
2.2 อาจเลือกใช้ Flask หลายใบร่วมกันในท่อนำส่งตัวอย่างของเครื่องตรวจวัด $\text{NO}/\text{NO}_x/\text{NO}_2$ ระบบ Chemiluminescence หรือไม่ก็ได้ ให้ขึ้นอยู่กับความต้องการ ทั้งนี้ควรคง Residence time ของตัวอย่าง ระหว่างจุดเก็บตัวอย่างกับเครื่องเก็บตัวอย่างไว้ให้น้อยที่สุด เพื่อหลีกเลี่ยงการตรวจวัด NO_2 ผิดพลาด อันเป็นผลมาจากปฏิกิริยาในระบบเก็บตัวอย่าง ระหว่างก๊าซ NO และก๊าซ O_3 ที่มีอยู่ในบรรยากาศ

2.3 อาจเลือกใช้กระดาษกรองสำหรับท่อนำส่งตัวอย่างของเครื่องตรวจวัด $\text{NO}/\text{NO}_x/\text{NO}_2$ ระบบ Chemiluminescence หรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ใช้และผู้ผลิตเครื่อง ในการใช้กระดาษกรองควรขึ้นอยู่กับความไวในการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดต่อสิ่งรบกวน ต่อการทำงานผิดพลาดของเครื่อง หรือต่อความเสียหายที่เกิดจากฝุ่นละอองซึ่งผู้ใช้เครื่องตรวจวัดควรให้ความระมัดระวังเนื่องจากฝุ่นละอองที่สะสมบนกระดาษกรอง อาจทำให้การตรวจวัด NO_2 ผิดพลาดได้ จึงควรเปลี่ยนกระดาษกรองอย่างสม่ำเสมอ

การเปรียบเทียบ

1. ทางเลือก A-- Gas phase titration (GPT) ของก๊าซ NO มาตรฐาน ด้วย O_3 โดยเครื่องมือสำคัญที่ต้องใช้ ประกอบด้วย เครื่องผลิต O_3 ที่คงที่ เครื่องตรวจวัด $NO/NO_x/NO_2$ ด้วยวิธี Chemiluminescence พร้อมเครื่องบันทึกข้อมูล (Strip chart recorder) และก๊าซ NO มาตรฐาน

1.1 หลักการการเปรียบเทียบวิธีนี้อาศัยหลักการทำปฏิกิริยาของก๊าซอย่างรวดเร็วระหว่าง NO และ O_3 ทำให้เกิดปริมาณสมมูลย์ (Stoichiometric quantities) ของ NO_2 ตามสมการดังต่อไปนี้



ด้วยลักษณะเชิงปริมาณของปฏิกิริยานี้ ส่งผลให้เมื่อทราบความเข้มข้นของ NO ก็จะสามารถทราบความเข้มข้นของ NO_2 ด้วย ในระบบการเปรียบเทียบแบบ Dynamic จะมีการเติมโอโซนให้กับ NO ส่วนเกิน และใช้ช่องของ NO ของเครื่องตรวจวัด $NO/NO_x/NO_2$ วิธี Chemiluminescence เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NO เมื่อเติม O_3 ความเข้มข้นของ NO ที่ลดลงที่สังเกตได้จากช่องของ NO ที่ได้เปรียบเทียบแล้ว จะเทียบเท่ากับความเข้มข้นของ NO_2 ที่เกิดขึ้น ปริมาณของ NO_2 ที่เกิดขึ้นนั้นอาจแปรผันได้โดยเติม O_3 ปริมาณต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องกำเนิดโอโซนในระดับคงที่ที่ยังไม่ได้รับการเปรียบเทียบ

1.2 เครื่องมือ/อุปกรณ์ รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบโดยทั่วไปของเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิธี GPT ส่วนประกอบของเครื่องแสดงไว้ดังต่อไปนี้ ทั้งนี้อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างส่วนประกอบแต่ละชิ้นทั้งหมดในระบบการเปรียบเทียบถัดจากเครื่องกำเนิดโอโซน ควรทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาอื่น

(1.2.1) อุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ (Air flow controller) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศได้อย่างคงที่ $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่ต้องการ

(1.2.2) อุปกรณ์ควบคุมการไหลของ NO (NO flow controller) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการไหลของ NO ได้อย่างคงที่ $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่ต้องการ ส่วนประกอบต่างๆ ที่สัมผัสกับ NO ควรทำด้วยวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยา

(1.2.3) มิเตอร์วัดการไหลของอากาศ (Air flowmeters) เป็นมิเตอร์วัดการไหลของอากาศ ที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว มีขีดความสามารถในการวัดและแผ่กระจายอัตราการไหลของอากาศ ด้วยความแม่นยำ $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่วัด

(1.2.4) มิเตอร์วัดการไหลของ NO (NO flowmeter) เป็นมิเตอร์วัดการไหลที่ผ่านการเปรียบเทียบแล้ว มีขีดความสามารถในการวัดและแผ่กระจายอัตราการไหลของ NO ด้วยความแม่นยำ $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่วัด (มีรายงานว่า โรตاميเตอร์ทำงานได้ไม่น่าเชื่อถือนักเมื่อใช้วัดการไหลของ NO ต่ำๆ และไม่แนะนำให้ใช้)

(1.2.5) อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) สำหรับถังก๊าซ NO มาตรฐาน เป็นอุปกรณ์ควบคุม หรือ Regulator ที่ต้องมี Diaphragm และส่วนประกอบภายในอื่นที่ไม่ทำปฏิกิริยา และให้ความดันที่เหมาะสม

(1.2.6) เครื่องผลิตโอโซน (Ozone generator) เป็นเครื่องที่จะต้องมีความสามารถในการผลิต O_3 ในปริมาณที่เพียงพอและในระดับคงที่ได้ เพื่อทำปฏิกิริยากับ NO ให้เกิด NO_2 ณ ช่วงความเข้มข้นที่ต้องการของเครื่องกำเนิดโอโซนประเภท Electric discharge อาจผลิต NO และ NO_2 ได้ และไม่แนะนำให้ใช้

(1.2.7) วาล์ว (Valve) อาจใช้วาล์ว ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อเบี่ยงการไหลของ NO ขณะต้องปล่อย Zero air เข้าสู่ Manifold ทั้งนี้วาล์วควรทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาอื่น

(1.2.8) Reaction chamber เป็น Chamber ที่ทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาอื่น เป็นที่เกิดปฏิกิริยาเชิงปริมาณระหว่าง O_3 กับ NO ที่เหลือ โดยปริมาตรภายใน Chamber ควรพอเพียง (VRC) เพื่อให้ Residence time (t_R) เป็นไปตามข้อกำหนดที่ระบุไว้ในหัวข้อ 1.4 ทั้งนี้ด้วยเหตุผลในทางปฏิบัติ t_R ควรน้อยกว่า 2 นาที

(1.2.9) Mixing chamber เป็น Chamber ที่ทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาอื่น และได้รับการออกแบบเพื่อให้ผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยา และอากาศที่ใช้เจือจาง ผสมกันได้อย่างทั่วถึง ทั้งนี้ Residence time ไม่มีความสำคัญวิกฤต ถ้า Dynamic parameter specification เป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ 1.4

(1.2.10) Output manifold ควรทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยาอื่น และควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางพอเพียงที่จะแน่ใจว่าไม่เกิด Pressure drop อย่างมีนัยสำคัญที่รอยต่อของเครื่องตรวจวัด โดยช่องระบายอากาศออกของระบบจะต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าเกิดความดันบรรยากาศที่ Manifold และเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศภายนอกไหลเข้าสู่ Manifold ได้

1.3 สารเคมี

(1.3.1) ก๊าซ NO มาตรฐาน ถึงก๊าซมาตรฐานภายในบรรจุ NO ใน N_2 ความเข้มข้น 50 ถึง 100 ppm โดยมี NO_2 ปนอยู่ด้วยน้อยกว่า 1 ppm โดยจะต้องสามารถสอบกลับได้กับ National Bureau of Standards (NBS) NO ใน N_2 Standard Reference Material (SRM 1683 หรือ SRM 1684), NBS NO_2 Standard Reference Material (SRM 1629) หรือ NBS/EPA-approved ที่รับรองทางการค้าด้วย Certified Reference Material (CRM)

(1.3.2) Zero air เป็นอากาศที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อนที่จะส่งผลต่อการตอบสนองของเครื่องตรวจวัด $NO/NO_x/NO_2$ ได้ หรือที่อาจทำปฏิกิริยากับ NO, O_3 หรือ NO_2 ในช่วง Gas phase titration

1.4 ลักษณะเฉพาะของ Dynamic parameter

(1.4.1) จะต้องปรับอัตราไหลของอากาศจากเครื่องกำเนิดโอโซน (F_o) และ NO (F_{NO}) (ดูรูปที่ 3) เพื่อให้เกิดความสับสนดังนี้

$$P_R = [NO]_{RC} \times t_R \quad 2.75 \text{ ppm ต่อ นาที} \quad (2)$$

$$[NO]_{RC} = [NO]_{STD} \left(\frac{F_{NO}}{F_o + F_{NO}} \right) \quad (3)$$

$$t_R = \frac{V_{RC}}{F_o + F_{NO}} < 2 \text{ นาที} \quad (4)$$

โดย

- P_R = ลักษณะเฉพาะของ Dynamic parameter หาได้จากการสังเกต เพื่อให้แน่ใจว่าเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ของ O_3 ที่มีอยู่ หน่วยเป็น ppm ต่อนาที
- $[NO]_{RC}$ = ความเข้มข้นของ NO ใน Reaction chamber หน่วยเป็น ppm
- R = Residence time ของก๊าซที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาใน Reaction chamber หน่วยเป็น นาที
- $[NO]_{STD}$ = ความเข้มข้นของ NO มาตรฐาน ที่ไม่ได้เจือจาง หน่วยเป็น ppm
- F_{NO} = อัตราการไหลของ NO หน่วยเป็น scm^3 ต่อนาที
- F_o = อัตราการไหลของอากาศของเครื่องกำเนิด O_3 หน่วยเป็น scm^3 ต่อนาที
- V_{RC} = ปริมาตรของ Reaction chamber หน่วยเป็น scm^3

(1.4.2) ระบุสภาวะการไหลของอากาศที่ต้องใช้ในระบบ GPT ได้ดังนี้

- (a) หาค่า F_T ซึ่งหมายถึงการไหลของอากาศทั้งหมดที่ต้องการ ณ Output manifold (F_T = ความต้องการของเครื่องตรวจวัด บวกเข้ากับ 10 ถึง 50% ที่เกิน)
- (b) กำหนด $[NO]_{OUT}$ เป็นความเข้มข้นสูงสุดของ NO (ppm) ที่ต้องการ ณ Output manifold โดย $[NO]_{OUT}$ ควรเท่ากับประมาณ 90% ของขีดจำกัดระดับสูงกว่า (URL) ของช่วงความเข้มข้นของ NO_2 ที่จะครอบคลุม
- (c) หาค่า F_{NO} ดังนี้

$$F_{NO} = \frac{[NO]_{OUT} \times F_T}{[NO]_{STD}} \quad (5)$$

- (d) เลือกปริมาตรของ Reaction chamber ที่สะดวกหรือที่มี โดยในเบื้องต้นอาจทดลองเลือก V_{RC} ในช่วงประมาณ 200 ถึง 500 scm^3
- (e) คำนวณ F_o ดังนี้

$$F_o = \left(\frac{[NO]_{STD} \times F_{NO} \times V_{RC}}{2.75} \right)^{1/2} - F_{NO} \quad (6)$$

(f) คำนวณ t_R ดังนี้

$$t_R = \frac{V_{RC}}{F_O + F_{NO}} \quad (7)$$

(f) ตรวจสอบความถูกต้องว่า t_R น้อยกว่า 2 นาทีไหม หากไม่เป็นเช่นนั้นให้เลือก Reaction chamber ที่มี V_{RC} เล็กกลง

(g) คำนวณอัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจาง ดังนี้

$$F_D = F_T' F_O' F_{NO} \quad (8)$$

โดย

F_D = อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจาง หน่วยเป็น scm^3 ต่อนาที

(h) หากพบว่า F_O ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติกับระบบที่ต้องการ ให้เลือก Reaction chamber ที่มี V_{RC} ขนาดอื่น และคำนวณ F_O และ F_D อีกครั้ง

หมายเหตุ: อาจใช้ค่า Dynamic parameter ต่ำกว่า 2.75 ppm ต่อนาที หากสามารถระบุได้ด้วยการสังเกตว่าเกิด Quantitative reaction ระหว่าง O_3 กับ NO ขึ้น

1.5 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ

(1.5.1) ให้ประกอบระบบการเปรียบเทียบแบบ Dynamic ตามแสดงในรูปที่ 3.1

(1.5.2) ให้แน่ใจว่ามีเตอร่วัดการไหลของอากาศทุกตัวผ่านการเปรียบเทียบภายใต้สภาวะการใช้งานกับมิเตอร์มาตรฐานที่เชื่อถือได้ เช่น Soap-bubble meter หรือ Wet-test meter ทั้งนี้ควรปรับแก้ค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรเป็นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ 760 มิลลิเมตรปรอท

(1.5.3) ก่อนเริ่มการเปรียบเทียบ จะต้องให้ความระมัดระวังต่อการกำจัด O_2 และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ออกจากอุปกรณ์ควบคุมความดันของ NO และระบบปล่อยก๊าซ (Delivery system) เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ NO มาตรฐานเปลี่ยนเป็น NO_2 หากดำเนินการดังกล่าวล้มเหลว การสอบเทียบจะเกิดความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ อาจลดปัญหานี้ให้น้อยที่สุดได้ โดย (1) การทำความสะอาด Regulator อย่างระมัดระวัง ทั้งนี้ถ้าเป็นไปได้ ให้ทำหลังจากต่อ Regulator เข้ากับถังก๊าซแล้ว และก่อนเปิดวาล์วถังก๊าซ (2) หลังจากที่เปิดวาล์วถังก๊าซแล้ว ใช้ NO ไล่อากาศภายใน Regulator และระบบรับส่งก๊าซ ให้หมด (3) ระหว่างการเปรียบเทียบ อย่าถอด Regulator ออกจากถังก๊าซ นอกจากจำเป็นจริงๆ เท่านั้น

(1.5.4) เลือกช่วงการทำงานของเครื่องตรวจวัด NO/NO_x/NO₂ ที่จะเปรียบเทียบ เพื่อให้การเปรียบเทียบ NO₂ มีความเที่ยงตรงและความแม่นยำสูงสุด ควรตั้งทั้งสามช่อง (Channels) ของเครื่องตรวจวัดไว้ที่ช่วงเดียวกัน แต่หากต้องการให้ช่องของ NO และ NO_x ทำงานที่ช่วงสูงกว่านั้น แนะนำให้ปรับเทียบช่องของ NO และ NO_x อีกครั้ง ณ ช่วงที่สูงนั้นด้วย

หมายเหตุ: การออกแบบเครื่องตรวจวัดบางตัวอาจจะกำหนดช่วงสำหรับ NO NO_x และ NO₂ ในระหว่างการทำงานของเครื่องตรวจวัด

(1.5.5) ต่อสายสัญญาณออกของเครื่องตรวจวัด NO/NO_x/NO₂ เข้ากับช่องสัญญาณเข้าของเครื่องบันทึกแบบ Strip chart (Strip chart recorder) ในการปรับเครื่องตรวจวัดใดๆ ควรยึดผลการอ่านค่าของ strip chart ที่เหมาะสมเป็นหลัก ทั้งนี้การอ้างอิงถึงการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดในขั้นตอนการปฏิบัติงานที่แสดงต่อไปนี้ ให้หมายถึงการตอบสนองของ Recorder

(1.5.6) ทาสภาวะการไหลของ GPT ที่ต้องการเพื่อให้ได้ตามลักษณะเฉพาะของ Dynamic parameter ที่แสดงไว้ในหัวข้อ 1.4

(1.5.7) ปรับการไหลของอากาศที่ใช้เจือจาง และเครื่องกำเนิดไอโซน เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 1.4.2 โดยการไหลของอากาศทั้งหมดจะต้องมากกว่าปริมาณการไหลของอากาศทั้งหมดที่เครื่องตรวจวัดที่ต่อเข้ากับ Output manifold ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าอากาศภายนอกไม่ถูกดูดผ่านเข้ามาใน Manifold vent แล้วปล่อยให้เครื่องตรวจวัดเก็บตัวอย่าง Zero air จนกระทั่งเครื่องตรวจวัดอ่านค่า NO NO_x และ NO₂ คงที่ จากนั้นจึงปรับควบคุม Zero ของเครื่องตรวจวัด

หมายเหตุ: เครื่องตรวจวัดบางตัวอาจมีตัวควบคุม Zero สำหรับ NO NO_x และ NO₂ แยกจากกัน เครื่องตรวจวัดอื่นๆ อาจแยกตัวควบคุม Zero เฉพาะสำหรับ NO และ NO_x ขณะที่บางตัวอาจมีตัวควบคุม Zero เพียงตัวเดียวสำหรับทั้งสามช่องแนะนำให้ทำ Offset โดยปรับ Zero ของเครื่องตรวจวัด ไปที่ +5% ของสเกล เพื่อป้องกันการสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงของ Zero ที่ติดลบ แล้วบันทึกค่าของ Zero air เมื่อการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดคงที่ ให้เป็นค่า Z_{NO} Z_{NOX} และ Z_{NO2}

(1.5.8) การเตรียมกราฟมาตรฐานของ NO และ NO_x (Calibration curve)

(1.5.8.1) การปรับควบคุม Span ของ NO เป็นการปรับการไหลของ NO จากถังก๊าซ NO มาตรฐาน เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของ NO ประมาณ 80% ของช่วงขีดจำกัดบน (URL) ของช่วง NO โดยความเข้มข้นที่แน่นอนของ NO คำนวณได้จาก

$$[\text{NO}]_{\text{OUT}} = \frac{F_{\text{NO}} \times [\text{NO}]_{\text{STD}}}{F_{\text{NO}} + F_{\text{O}} + F_{\text{D}}} \quad (9)$$

โดย

$[\text{NO}]_{\text{OUT}}$ = ความเข้มข้นของ NO ที่เจือจางแล้ว ณ Output manifold หน่วยเป็น ppm

เก็บตัวอย่าง NO ความเข้มข้นนั้น จนเครื่องตรวจวัดตอบสนองต่อค่า NO และ NO_x คงที่ แล้วปรับควบคุม Span ของ NO เพื่อให้การตอบสนองของ Recorder เป็นดังนี้

$$\text{การตอบสนองของ Recorder (\%ของสเกล)} = \left(\frac{[\text{NO}]_{\text{OUT}} \times 100}{\text{URL}} \right) + Z_{\text{NO}} \quad (10)$$

โดย

URL = ช่วงของขีดจำกัดบน ของช่อง NO หน่วยเป็น ppm

หมายเหตุ: เครื่องตรวจวัดบางตัวอาจมีตัวควบคุม Span สำหรับ NO NO_x และ NO₂ แยกออกจากกัน เครื่องตรวจวัดอื่นๆ อาจแยกตัวควบคุม Span เฉพาะสำหรับ NO และ NO_x ขณะที่บางตัวอาจมีตัวควบคุม Span เพียงตัวเดียวสำหรับทั้งสามช่อง ถ้าหากมีตัวควบคุม Span เพียงอันเดียว การปรับ Span ทำได้บนช่องของ NO ของเครื่องตรวจวัด หากจำเป็นต้องปรับควบคุม Span ของ NO อาจจำเป็นต้องตรวจเช็คการปรับ Zero และ Span อีกครั้ง โดยดำเนินการซ้ำขั้นตอน 1.5.7 และ 1.5.8.1 แล้วบันทึกค่าความเข้มข้นของ NO และ NO_x ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้

(1.5.8.2) การปรับควบคุม Span ของ NO_x เมื่อการปรับควบคุม Span ของ NO_x ของเครื่องตรวจวัด จะต้องให้ความสำคัญกรณีที่มี NO₂ ที่ไม่บริสุทธิ์ อยู่ในถังก๊าซ NO มาตรฐาน โดยความเข้มข้นที่แน่นอนของ NO_x คำนวณได้จาก

$$\frac{[\text{NO}]_{\text{X-OUT}}}{F_{\text{NO}} + F_{\text{O}} + F_{\text{D}}} = F_{\text{NO}} \times \frac{([\text{NO}]_{\text{STD}} + [\text{NO}_2]_{\text{IMP}})}{F_{\text{NO}} + F_{\text{O}} + F_{\text{D}}} \quad (11)$$

โดย

[NO]_{X-OUT} = ความเข้มข้นของ NO ที่เจือจางแล้ว ณ Output manifold หน่วยเป็น ppm

[NO₂]_{IMP} = ความเข้มข้นของ NO₂ ที่ไม่บริสุทธิ์ ในถังก๊าซ NO มาตรฐาน หน่วยเป็น ppm

ปรับควบคุม Span ของ NO_x เพื่อให้ได้การตอบสนองของ Recorder ดังนี้

$$\text{การตอบสนองของ Recorder (\%ของสเกล)} = \left(\frac{[\text{NO}]_{\text{X-OUT}} \times 100}{\text{URL}} \right) + Z_{\text{NOX}} \quad (12)$$

หมายเหตุ: ถ้าเครื่องตรวจวัดมีตัวควบคุม Span เพียงตัวเดียว ให้ทำการปรับ Span ที่ช่องของ NO และไม่ต้องปรับใดๆ สำหรับ NO_x

หากจำเป็นต้องปรับควบคุม Span ของ NO_x อาจจำเป็นต้องตรวจเช็คการปรับ Zero และ Span อีกครั้ง โดยทำซ้ำขั้นตอน 1.5.7 และ 1.5.8.2 แล้วบันทึกความเข้มข้นของ NO_x และค่าของ NO_x ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้

(1.5.8.3) เตรียมความเข้มข้นต่างๆ เพิ่มเติม (อย่างน้อย 5 ความเข้มข้น โดยแนะนำให้เป็นค่าความเข้มข้นที่กระจายอย่างสม่ำเสมอ ครอบคลุมสเกลที่มีอยู่เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสภาพเชิงเส้น) โดยลด F_{NO} หรือเพิ่ม F_D ของแต่ละความเข้มข้นที่ทำขึ้นนั้น สามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ NO และ NO_x ได้โดยใช้สมการ (9) และ (11) ตามลำดับ แต่ละความเข้มข้นให้บันทึกค่าของ NO และ NO_x ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้ จากนั้นพล็อตการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดกับค่าความเข้มข้น NO และ NO_x ที่คำนวณได้ แล้วลากเส้นหรือคำนวณกราฟมาตรฐานของ NO และ NO_x ในการปรับเทียบที่จะดำเนินต่อไป ซึ่งตั้งสมมติฐานว่าเป็นสภาพเชิงเส้นนั้น อาจตรวจสอบกราฟเหล่านี้โดยใช้การปรับเทียบ 2 จุด ซึ่งประกอบด้วยจุดของ Zero air และความเข้มข้นของ NO และ NO_x ประมาณ 80% ของ URL

1.5.9 การเตรียมกราฟมาตรฐานของ NO₂

(1.5.9.1) สมมติว่าได้ปรับ Zero ของ NO₂ อย่างเหมาะสมขณะเก็บตัวอย่างของ Zero air ตามขั้นตอน 1.5.7 แล้วปรับ F_O และ F_D ที่ได้จากหัวข้อ 1.4.2 แล้วปรับ F_{NO} เพื่อให้เกิดความเข้มข้นของ NO ใกล้เคียงกับ 90% ของ URL ของช่วง NO โดยเก็บตัวอย่าง NO ความเข้มข้นนี้จนการตอบสนองของ NO และ NO_x คงที่ ซึ่งการใช้กราฟมาตรฐานของ NO ที่ได้จากหัวข้อ 1.5.8 โดยการวัดและบันทึกความเข้มข้นของ NO เป็น [NO]_{orig} และการใช้กราฟมาตรฐานของ NO_x ที่ได้จากหัวข้อ 1.5.8 โดยการวัดและบันทึกความเข้มข้นของ NO_x เป็น [NO_x]_{orig}

(1.5.9.2) ปรับเครื่องกำเนิดโอโซน เพื่อให้ผลิต O₃ อย่างเพียงพอที่จะทำให้ความเข้มข้นของ NO ลดลงมาเทียบเท่ากับประมาณ 80% ของ URL ของช่วง NO₂ ซึ่งการลดนั้น จะต้องไม่เกิน 90% ของความเข้มข้นที่หาได้จากขั้นตอน 1.5.9.1 หลังจากเครื่องตรวจวัดตอบสนองคงที่ ให้บันทึกความเข้มข้นที่เกิดขึ้นของ NO และ NO_x เป็น [NO]_{rem} และ [NO_x]_{rem}

(1.5.9.3) คำนวณความเข้มข้นของ NO₂ ที่เกิดขึ้นได้จาก

$$[\text{NO}_2]_{\text{OUT}} = [\text{NO}]_{\text{orig}} - [\text{NO}]_{\text{rem}} + \left(\frac{F_{\text{NO}} \times [\text{NO}_2]_{\text{IMP}}}{F_{\text{NO}} + F_{\text{O}} + F_{\text{D}}} \right) \quad (13)$$

โดย

[NO₂]_{OUT} = ความเข้มข้นของ NO₂ ที่เจอจากแล้ว ณ Output manifold หน่วยเป็น ppm

[NO]_{orig} = ความเข้มข้นแรกเริ่มของ NO ก่อนที่จะเติม O₃ หน่วยเป็น ppm

[NO]_{rem} = ความเข้มข้นที่เหลือของ NO หลังจากเติม O₃ แล้ว หน่วยเป็น ppm

ปรับควบคุม Span ของ NO_2 เพื่อให้การตอบสนองของ Recorder เป็นดังนี้

$$\text{การตอบสนองของ Recorder (\% ของสเกล)} = \left([\text{NO}_2]_{\text{OUT}} \times 100 \right) + \frac{Z_{\text{NO}_2}}{\text{URL}} \quad (14)$$

หมายเหตุ: ถ้าเครื่องตรวจวัดมีตัวควบคุม Span เพียงตัวเดียวหรือสองตัว ให้ทำการปรับ Span ที่ช่องของ NO หรือที่ช่องของ NO และ NO_x และไม่ต้องปรับใดๆ สำหรับ NO_2

หากจำเป็นต้องปรับ Span ของ NO_2 อาจจำเป็นต้องตรวจเช็คการปรับ Zero และ Span อีกครั้ง โดยทำซ้ำขั้นตอน 1.5.7 และ 1.5.9.3 แล้วบันทึกความเข้มข้นของ NO_2 และการค่าของ NO_2 และ NO_x ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้

(1.5.9.4) คง F_{NO} , F_{O} และ F_{D} ณ ระดับเดียวกับในหัวข้อ 1.5.9.1 ปรับเครื่องกำเนิดไอโซน เพื่อให้ได้ NO_2 หลายๆ ความเข้มข้นซึ่งครอบคลุมช่วง NO_2 (อย่างน้อย 5 ความเข้มข้น โดยแนะนำให้ เป็นค่าความเข้มข้นที่กระจายครอบคลุมสเกลที่มีอยู่)

คำนวณ NO_2 แต่ละความเข้มข้นโดยใช้สมการ (13) และบันทึกของ NO_2 และ NO_x ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้ สำหรับแต่ละความเข้มข้น ให้พล็อตค่า NO_2 ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้ กับแต่ละความเข้มข้นของ NO_2 ที่คำนวณได้ แล้วลากหรือคำนวณกราฟแสดงผลการปรับเทียบของ NO_2

1.5.10 การหาประสิทธิภาพของ Converter

(1.5.10.1) สำหรับแต่ละความเข้มข้นของ NO_2 ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมกราฟแสดงผลการปรับเทียบของ NO_2 (ดูหัวข้อ 1.5.9) ให้คำนวณความเข้มข้นของ NO_2 ที่ได้ถูกเปลี่ยนแล้วดังนี้

$$[\text{NO}_2]_{\text{CONV}} = [\text{NO}_2]_{\text{OUT}} \left(\frac{[\text{NO}_x]_{\text{orig}}}{[\text{NO}_x]_{\text{rem}}} \right) \quad (15)$$

โดย

$[\text{NO}_2]_{\text{CONV}}$ = ความเข้มข้นของ NO_2 ที่ได้ถูกเปลี่ยนแล้ว หน่วยเป็น ppm

$[\text{NO}_x]_{\text{orig}}$ = ความเข้มข้นเริ่มต้นของ NO_x ก่อนที่จะเติม O_3 หน่วยเป็น ppm

$[\text{NO}_x]_{\text{rem}}$ = ความเข้มข้นที่เหลือของ NO_x หลังจากเติม O_3 แล้ว หน่วยเป็น ppm

พล็อต $[\text{NO}_2]_{\text{CONV}}$ (แกน y) กับ $[\text{NO}_2]_{\text{OUT}}$ (แกน x) แล้วลากหรือคำนวณกราฟแสดงประสิทธิภาพของ Converter โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของ Converter หรือ EC คือ ค่าความชันของเส้นกราฟนั้น คูณด้วย 100 ซึ่งค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของ Converter จะต้องมากกว่า 96% หากน้อยกว่านี้ ให้ดำเนินการเปลี่ยนหรือซ่อมบำรุง Converter

2. ทางเลือก B-NO₂ permeation device.

เครื่องมือหลักที่ใช้:

- เครื่องกำเนิดไอโซนในระดับคงที่
- เครื่องตรวจวัด NO/NO_x/NO₂ ระบบ Chemiluminescence พร้อม Strip chart recorder
- ความเข้มข้นของ NO มาตรฐาน
- ความเข้มข้นของ NO₂ มาตรฐาน

2.1 หลักการ

Permeation device จะผลิตบรรยากาศที่มีไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่รู้ความเข้มข้น โดย Permeation device จะปล่อย NO₂ ด้วยอัตราคงที่ที่รู้ค่า โดยอุณหภูมิของเครื่องมือจะต้องคงที่ (+0.1 °C) และเครื่องมือจะต้องผ่านการปรับเทียบอย่างแม่นยำ ณ อุณหภูมิที่ใช้งาน ซึ่ง NO₂ ที่ปล่อยจากเครื่องมือ จะถูกเจือจางด้วย Zero air เพื่อผลิตความเข้มข้นของ NO₂ ที่เหมาะสมสำหรับการปรับเทียบช่องของ NO₂ ของเครื่องตรวจวัด NO/NO_x/NO₂ โดยใช้ ความเข้มข้นของ NO มาตรฐาน ในการปรับเทียบช่องของ NO และ NO_x ของเครื่องตรวจวัด

2.2 เครื่องมือ/อุปกรณ์ ระบบโดยทั่วไปที่เหมาะสมสำหรับการผลิตความเข้มข้นของ NO และ NO₂ ตามที่ต้องการ แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ทั้งนี้ อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างส่วนประกอบแต่ละชิ้นถัดจาก Permeation device ควรทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยา อื่น

(2.2.1) อุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการไหลของอากาศ ให้คงที่ ณ $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่ต้องการ

(2.2.2) อุปกรณ์ควบคุมการไหลของ NO เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการไหลของ NO ให้คงที่ ณ $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่ต้องการ ส่วนประกอบต่างๆ ที่สัมผัสกับ NO ควรทำด้วยวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยา

(2.2.3) มิเตอร์วัดการไหลของอากาศ เป็นมิเตอร์วัดการไหลที่ผ่านการปรับเทียบ โดยมีขีดความสามารถในการวัดและแผ่กระจายอัตราการไหลของอากาศ ด้วยความแม่นยำ $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่วัดได้

(2.2.4) มิเตอร์วัดการไหลของ NO เป็นมิเตอร์วัดการไหลที่ผ่านการปรับเทียบ โดยมีขีดความสามารถในการวัดและแผ่กระจายอัตราการไหลของ NO ด้วยความแม่นยำ $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่วัดได้ (มีรายงานวโรตอมิเตอร์ทำงานได้ไม่น่าเชื่อถือนักเมื่อใช้วัดการไหลต่ำๆ ของ NO และไม่แนะนำให้ใช้)

(2.2.5) อุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure regulator) สำหรับก๊าซ NO มาตรฐาน เป็น Regulator ที่ต้องมี Diaphragm และส่วนประกอบภายในอื่นที่ไม่ทำปฏิกิริยา และปล่อยความดันได้อย่างเหมาะสม

(2.2.6) เครื่องทำให้แห้ง (Drier) เป็นอุปกรณ์ดักจับความชื้นออกจากระบบอากาศของ Permeation device หาก NO₂ Permeation devices ไม่ไวต่อความชื้น ก็อาจใช้หรือไม่ใช้เครื่องที่ทำให้แห้งก็ได้ (ให้อ้างถึงคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้ Permeation device ของผู้ผลิต)

(2.2.7) Chamber ที่มีอุณหภูมิคงที่ เป็น Chamber ที่มีขีดความสามารถในการเป็น Housing ของ NO₂ permeation device และคงอุณหภูมิไว้ได้ $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$

(2.2.8) เครื่องวัดอุณหภูมิ เป็นเครื่องมือที่มีขีดความสามารถในการวัดและแผ่กระจายอุณหภูมิของ NO₂ permeation device ด้วยความแม่นยำ $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$

(2.2.9) วาล์ว อาจใช้วาล์ว ดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อเบี่ยงการไหลของ NO จาก Permeation device เมื่อ Manifold ต้องใช้ Zero air หรือ NO อาจใช้วาล์วตัวที่สองเพื่อเบี่ยงการไหลของ NO เมื่อ Manifold ต้องใช้ Zero air หรือ NO₂ ทั้งนี้ วาล์วควรทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยา อื่น

(2.2.10) ห้องผสม (Mixing chamber) เป็น Chamber ที่ทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุอื่นที่ไม่ทำปฏิกิริยา และได้รับการออกแบบเพื่อให้เกิดการผสมระหว่างการไหลของก๊าซมลพิษ และอากาศที่ใช้เจือจาง

(2.2.11) Output manifold ควรทำด้วยแก้ว Teflon® หรือวัสดุอื่นที่ไม่ทำปฏิกิริยา และควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางพอเพียงที่จะแน่ใจว่าไม่เกิด Pressure drop อย่างมีนัยสำคัญที่รอยต่อของเครื่องตรวจวัด โดยช่องระบายอากาศของระบบจะต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าเกิดความดันอากาศที่ Manifold และเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศในบรรยากาศ ไหลเข้าสู่ Manifold ได้

2.3 สารเคมี

2.3.1 มาตรฐานการเปรียบเทียบ ต้องใช้มาตรฐานการเปรียบเทียบสำหรับทั้ง NO และ NO₂ ทั้งนี้ มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบอาจเป็น NO หรือ NO₂ มาตรฐาน ก็ได้ และสามารถสวอปกลับได้กับ National Bureau of Standards (NBS) NO ใน N₂ Standard Reference Material (SRM 1683 หรือ SRM 1684) และ NBS NO₂ Standard Reference Material (SRM 1629) หรือ NBS/EPA-approved ที่รับรองด้านการค้าด้วย Certified Reference Material (CRM) ทั้งนี้จะต้องใช้ NO หรือ NO₂ มาตรฐาน ที่เลือกเป็นมาตรฐานอ้างอิง เพื่อรับรองมาตรฐานอื่น ๆ ด้วยเพื่อให้การใช้มาตรฐานทั้งสองนั้นถูกต้องตรงกัน

(2.3.1.1) ความเข้มข้นของก๊าซ NO₂ มาตรฐาน Permeation device ที่เหมาะสม ในการผลิตความเข้มข้นของ NO₂ ณ อัตราการไหลตามต้องการโดยครอบคลุมช่วงความเข้มข้นที่ต้องการ หากใช้ Permeation device เป็นมาตรฐานอ้างอิง จะสามารถสวอปกลับได้กับ SRM หรือ CRM ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ 2.3.1 หากใช้ถังก๊าซ NO เป็นมาตรฐานอ้างอิงแล้ว NO₂ permeation device จะต้องได้รับการรับรองโดยเทียบกับ NO มาตรฐาน ซึ่งการใช้ Permeation device จะต้องเป็นไปอย่างเคร่งครัดตามคำแนะนำของประจำเครื่อง

(2.3.1.2) ความเข้มข้นของ NO มาตรฐาน ถังก๊าซที่บรรจุ NO ใน N₂ ความเข้มข้น 50 ถึง 100 ppm โดยมี NO₂ ปนอยู่ด้วยน้อยกว่า 1 ppm หากใช้ถังก๊าซเป็นมาตรฐานอ้างอิงแล้ว ถังก๊าซนั้นจะสามารถสวอปกลับได้กับ SRM หรือ CRM ตามที่ระบุไว้ในหัวข้อ

2.3.2 หากใช้ NO₂ permeation device เป็นมาตรฐานอ้างอิงแล้ว ถังก๊าซ NO จะต้องได้รับการรับรองโดยเทียบกับ NO₂ มาตรฐาน โดยถังก๊าซควรได้รับการรับรองอีกครั้งอย่างสม่ำเสมอ ตามโปรแกรมการควบคุมคุณภาพระดับท้องถิ่น

2.3.3 Zero air เป็นอากาศที่ปราศจากสิ่งเจือปนที่อาจทำปฏิกิริยากับ NO หรือ NO₂ หรือส่งผลต่อการตอบสนองของเครื่องตรวจวัด NO/NO_x/NO₂ เมื่อใช้ Permeation devices ที่มีความไวต่อความชื้น Zero air ที่ผ่าน Permeation device จะต้องแห้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการทำปฏิกิริยาที่ผิวพื้นของเครื่องมือ (ให้อ้างอิงคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้ Permeation device ของผู้ผลิต)

2.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

2.4.1 ให้ประกอบเครื่องมือ/อุปกรณ์ในการปรับเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 2

2.4.2 ให้แน่ใจว่ามีเตอร่วัดการไหลของอากาศทุกตัวผ่านการปรับเทียบภายใต้สภาวะการใช้งานกับมิเตอร์มาตรฐานที่เชื่อถือได้ เช่น มิเตอร์แบบ Soap-bubble หรือ แบบ Wet-test ทั้งนี้ควรแก้ค่าอัตราการไหลที่เกี่ยวกับปริมาตร เป็นที่อุณหภูมิ 25 °C และความกดอากาศ 760 มม.ปรอท

2.4.3 ติดตั้ง Permeation device ไว้ใน Chamber ที่มีอุณหภูมิคงที่ โดยกำหนดให้มีการไหลของอากาศในปริมาณที่น้อย (200-400 scm³ ต่อนาที) ทั้งนี้จะต้องให้อากาศไหลผ่าน Permeation device อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิด NO₂ สะสมอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก และเพื่อให้ช่วงเวลาต่อไปเกิดคงที่ได้อีกครั้ง แล้วให้บันทึกอัตราการไหล เป็นค่า F_p โดยปล่อยให้เครื่องมือมีสภาวะคงที่ภายใต้อุณหภูมิของการปรับเทียบอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จะต้องปรับและควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิดเปลี่ยนแปลงเกินกว่า ± 0.1 °C หรือน้อยกว่าของอุณหภูมิของการปรับเทียบ ซึ่งตรวจวัดค่าด้วยตัววัดอุณหภูมิของเครื่อง

2.4.4 ก่อนเริ่มการปรับเทียบ จะต้องให้ความระมัดระวังต่อการกำจัด O₂ และสิ่งปนเปื้อนอื่น ๆ ออกจาก Regulator ควบคุมความดันของ NO และระบบรับส่งก๊าซ เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยน NO มาตรฐาน เป็น NO₂ หากการดำเนินการดังกล่าวล้มเหลว การปรับเทียบจะเกิดความผิดพลาดอย่างมีนัยสำคัญ อาจลดปัญหานี้ให้น้อยที่สุดได้ โดย (1) ทำความสะอาด Regulator อย่างระมัดระวัง ทั้งนี้ถ้าเป็นไปได้ ให้ทำหลังจากต่อ Regulator เข้ากับถังก๊าซแล้ว และก่อนเปิดวาล์วถังก๊าซ (2) หลังเปิดวาล์วถังก๊าซ แล้ว ให้ใช้ NO ไล่อากาศภายใน Regulator และระบบรับ-ส่งก๊าซ ออกให้หมด (3) ระหว่างการปรับเทียบ อย่าถอด Regulator ออกจากถังก๊าซ นอกจากจำเป็นจริงๆ เท่านั้น

2.4.5 เลือกช่วงการทำงานของเครื่องตรวจวัด NO/NO_x/NO₂ ที่จะปรับเทียบ เพื่อให้การปรับเทียบ NO₂ นั้นมีความเที่ยงตรงและความแม่นยำสูงสุด ควรตั้งช่องทั้งสามของเครื่องตรวจวัดไว้ที่ช่วงเดียวกัน หากต้องการวัดค่า NO และ NO_x ที่ช่วงสูงกว่านั้น แนะนำให้ปรับเทียบช่องของ NO และ NO_x อีกครั้ง ณ ช่วงที่สูงนั้นด้วย

หมายเหตุ : การออกแบบของเครื่องตรวจวัดบางตัวอาจกำหนดช่วงสำหรับ NO NO_x และ NO₂ ระหว่างการทำงานของเครื่องตรวจวัด

2.4.6 ต่อสายสัญญาณออกของเครื่องบันทึกผลของเครื่องตรวจวัด NO/NO_x/NO₂ เข้ากับช่องสัญญาณเข้าของ Strip chart recorder โดยการปรับใด ๆ ของเครื่องตรวจวัด ควรยึดผลการอ่านค่าของ Strip chart ที่เหมาะสมเป็นหลัก ทั้งนี้การอ้างอิงถึงการตอบสนองของเครื่องตรวจวัด ในวิธีการที่แสดงต่อไปนี้ อ้างถึงการตอบสนองของ Recorder

2.4.7 ปิดวาล์วเพื่อระบายการไหลออกจาก Permeation device และปรับอัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจาง (F_D) เพื่อป้อน Zero air ที่ Output manifold ซึ่งการไหลของอากาศทั้งหมดจะต้องมากกว่าการไหลทั้งหมดที่เครื่องตรวจวัดที่ต่อเข้ากับ Output manifold ต้องการ ทั้งนี้ก็เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีอากาศภายนอกถูกดูดเข้าสู่ที่ Manifold vent ปล่อยให้เครื่องตรวจวัดเก็บตัวอย่าง Zero air จนกระทั่งเครื่องตอบสนองต่อ NO NO_x และ NO₂ คงที่ จากนั้นจึงปรับควบคุม Zero ของเครื่องตรวจวัด

หมายเหตุ: เครื่องตรวจวัดบางตัวอาจมีตัวควบคุม Zero สำหรับ NO, NO_x และ NO₂ แยกจากกัน เครื่องตรวจวัดอื่นๆ อาจแยกตัวควบคุม Zero เฉพาะสำหรับ NO และ NO_x ขณะที่บางตัวอาจมีตัวควบคุม Zero ตัวเดียวสำหรับทั้งสามช่อง แนะนำให้ทำ Offset โดยการปรับ Zero ของเครื่องตรวจวัดไปที่ +5% ของสเกล เพื่อช่วยให้สังเกตพบการเปลี่ยนแปลงค่า Zero ที่เป็นลบได้ แล้วบันทึกค่า Zero air ที่เครื่องอ่านได้คงที่ เป็น Z_{NO}, Z_{NOx} และ Z_{NO2}

2.4.8 การเตรียมกราฟมาตรฐานของ NO และ NO_x

(2.4.8.1) เมื่อปรับควบคุม Span ของ NO_x ของเครื่องตรวจวัด จะต้องให้ความสำคัญกรณีที่มี NO₂ ที่ไม่บริสุทธิ์อยู่ในถังก๊าซ NO มาตรฐาน ความเข้มข้นที่แน่นอนของ NO_x คำนวณได้จาก

$$[\text{NO}]_{\text{OUT}} = \frac{F_{\text{NO}} \times [\text{NO}]_{\text{STD}}}{F_{\text{NO}} + F_{\text{D}}} \quad (16)$$

โดย

[NO]_{OUT} = ความเข้มข้นของ NO ที่เจือจางแล้ว ณ Output manifold หน่วยเป็น ppm

F_{NO} = อัตราการไหลของ NO หน่วยเป็น scm³/min

[NO]_{STD} = ความเข้มข้นของ NO มาตรฐาน ที่ยังไม่เจือจาง หน่วยเป็น ppm

F_D = อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจาง หน่วยเป็น scm³ ต่อนาที

เก็บตัวอย่าง NO ความเข้มข้นนั้น จนเครื่องตรวจวัดอ่านค่า NO และ NO_x คงที่ จากนั้นปรับควบคุม Span ของ NO เพื่อให้การตอบสนองของ Recorder เป็นดังนี้

$$\text{การตอบสนองของ Recorder (\% ของสเกล)} = \left(\frac{[\text{NO}]_{\text{OUT}} \times 100}{\text{URL}} \right) + Z_{\text{NO}} \quad (17)$$

$$\text{การตอบสนองของ Recorder (\% ของสเกล)} = \left(\frac{[\text{NO}_x]_{\text{OUT}} \times 100}{\text{URL}} \right) + Z_{\text{NO}_x} \quad (19)$$

โดย

URL = ช่วงขีดจำกัดบน ของช่อง NO หน่วยเป็น ppm

หมายเหตุ: เครื่องตรวจวัดบางตัวอาจมีตัวควบคุม Span สำหรับ NO, NO_x และ NO₂ แยกจากกัน เครื่องตรวจวัดอื่นๆ อาจแยกตัวควบคุม Span เฉพาะสำหรับ NO และ NO_x ขณะที่บางตัวอาจมีตัวควบคุม Span เพียงตัวเดียวสำหรับทั้งสามช่อง หากมีตัวควบคุม Span เพียงอันเดียว ให้ปรับ Span ได้ที่ช่องของ NO ของ

เครื่องตรวจวัด หากจำเป็นต้องปรับควบคุม Span ของ NO อาจจำเป็นต้องตรวจเช็คการปรับ Zero และ Span อีกครั้ง โดยดำเนินการซ้ำขั้นตอน 2.4.7 และ 2.4.8.1 แล้วบันทึกค่าความเข้มข้นของ NO และ NO_x ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้

(2.4.8.2) การปรับควบคุม Span ของ NO_x เมื่อปรับควบคุม Span ของ NO_x ของเครื่องตรวจวัด จะต้องให้ความสำคัญกรณีที่มี NO₂ ที่ไม่บริสุทธิ์อยู่ในถังก๊าซ NO มาตรฐานด้วย ความเข้มข้นที่แน่นอนของ NO_x คำนวณได้จาก

$$[\text{NO}_x]_{\text{OUT}} = \frac{F_{\text{NO}} \times ([\text{NO}]_{\text{STD}} + [\text{NO}_2]_{\text{IMP}})}{F_{\text{NO}} + F_{\text{D}}} \quad (18)$$

โดย

$[\text{NO}_x]_{\text{OUT}}$ = ความเข้มข้นของ NO_x ที่เจือจางแล้ว ณ Output manifold หน่วยเป็น ppm

$[\text{NO}_2]_{\text{IMP}}$ = ความเข้มข้นของ NO₂ ที่ไม่บริสุทธิ์ ในถังก๊าซ NO มาตรฐาน หน่วยเป็น ppm

ปรับควบคุม Span ของ NO_x เพื่อให้ได้การอ่านค่าของเครื่องบันทึกที่เหมาะสมกับการทำงาน ดังนี้

$$\text{การตอบสนองของ Recorder (\% ของสเกล)} = \left(\frac{[\text{NO}_x]_{\text{OUT}} \times 100}{\text{URL}} \right) + Z_{\text{NO}_x} \quad (19)$$

หมายเหตุ: ถ้าเครื่องตรวจวัดมีตัวควบคุม Span เพียงตัวเดียว ให้ปรับ Span ที่ช่องของ NO และไม่ต้องปรับใดๆ สำหรับ NO_x

หากจำเป็นต้องปรับควบคุม Span ของ NO_x อาจจำเป็นต้องตรวจเช็คการปรับ Zero และ Span อีกครั้ง โดยทำซ้ำขั้นตอน 2.4.7 และ 2.4.8.2 แล้วบันทึกความเข้มข้นของ NO_x และการตอบสนองต่อ NO_x ของเครื่องตรวจวัด

(2.4.8.3) เตรียมหลายความเข้มข้นเพิ่มเติม (อย่างน้อย 5 ความเข้มข้น โดยแนะนำให้ เป็นค่าความเข้มข้นที่กระจายอย่างสม่ำเสมอครอบคลุมสเกลที่มีอยู่ เพื่อให้เกิดสภาพเชิงเส้น) โดยการลด F_{NO} หรือเพิ่ม F_D สามารถคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของ NO และ NO_x ของแต่ละความเข้มข้นที่ทำขึ้นได้โดยใช้สมการ (16) และ (18) ตามลำดับ แต่ละความเข้มข้นให้บันทึกค่าของ NO และ NO_x ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้ จากนั้นพล็อตค่าการตอบสนองของเครื่อง กับค่าความเข้มข้น NO และ NO_x ที่คำนวณได้ แล้วลากเส้นหรือคำนวณกราฟมาตรฐานของ NO และ NO_x ในการเปรียบเทียบที่จะดำเนินการต่อไปซึ่งสมมุติว่าเป็นสภาพเชิงเส้นนั้น อาจตรวจสอบกราฟเหล่านี้โดยใช้การเปรียบเทียบแบบ 2 จุด ซึ่งประกอบด้วยจุดของ Zero air และความเข้มข้นของ NO และ NO_x ประมาณ 80% ของ URL

2.4.9 การเตรียมกราฟมาตรฐานของ NO₂

(2.4.9.1) หยุดการไหลของ NO โดยสมมุติว่าได้ปรับ Zero ของ NO₂ อย่างเหมาะสมขณะเก็บตัวอย่าง Zero air ในขั้นตอน 2.4.7 บิดวาล์ว เพื่อป้อน NO₂ เข้าสู่ Output manifold

(2.4.9.2) ปรับ F_D เพื่อให้เกิด NO₂ ความเข้มข้นประมาณ 80% ของ URL ของช่วง NO₂ ขณะปรับเทียบนั้น การไหลของอากาศทั้งหมดจะต้องมากกว่าความต้องการของเครื่องตรวจวัด โดยความเข้มข้นที่แท้จริงของ NO₂ คำนวณได้จาก

$$[\text{NO}_2]_{\text{OUT}} = \frac{R \times K}{F_P + F_D} \quad (20)$$

โดย

[NO₂]_{OUT} = ความเข้มข้นของ NO₂ ที่เจือจางแล้ว ณ Output manifold หน่วยเป็น ppm

R = Permeation rate หน่วยเป็น μg ต่อนาที

K = 0.532 μl NO₂ / μg NO₂ (ที่อุณหภูมิ 25 °C และความกดอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท)

F_P = อัตราการไหลของอากาศที่ผ่าน Permeation device หน่วยเป็น scm³ ต่อนาที

F_D = อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจาง หน่วยเป็น scm³ ต่อนาที

เก็บตัวอย่าง NO₂ ความเข้มข้นนั้น จนการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดต่อ NO_x และ NO₂ คงที่แล้วปรับควบคุม Span ของ NO₂ เพื่อให้การตอบสนองของ Recorder เป็นดังนี้

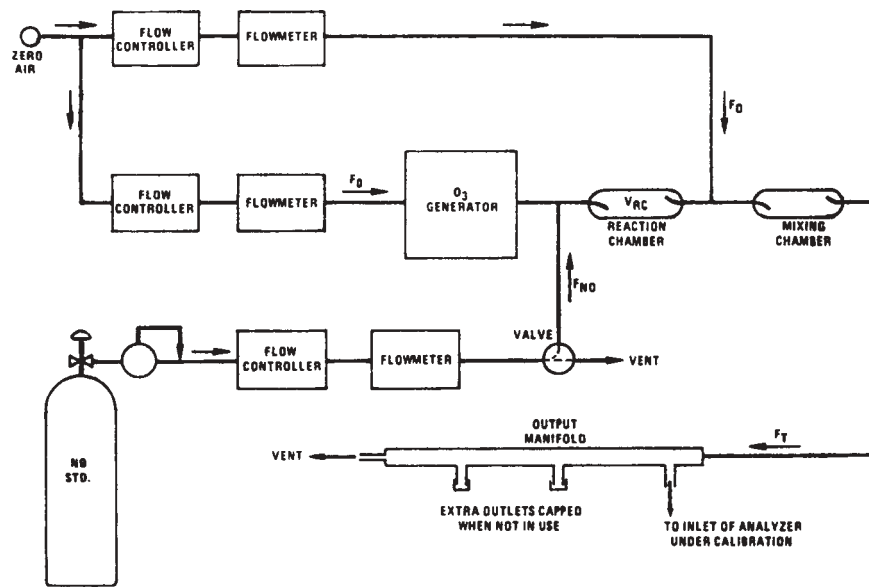
$$\text{การตอบสนองของ Recorder (\% ของสเกล)} = \left(\frac{[\text{NO}_2]_{\text{OUT}} \times 100}{\text{URL}} \right) + Z_{\text{NO}_2} \quad (21)$$

หมายเหตุ: ถ้าเครื่องตรวจวัดมีตัวควบคุม Span เพียงตัวเดียวหรือสองตัว ให้ปรับ Span ที่ช่องของ NO หรือช่องของ NO และ NO_x และไม่ต้องปรับใดๆ สำหรับ NO₂ หากจำเป็นต้องปรับควบคุม Span ของ NO₂ อาจจำเป็นต้องตรวจเช็คการปรับ Zero และ Span อีกครั้ง โดยทำซ้ำขั้นตอน 2.4.7 และ 2.4.9.2 แล้วบันทึกความเข้มข้นของ NO₂ และการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดต่อ NO₂ ทำการวัดและบันทึกค่าความเข้มข้นของ NO_x เป็น [NO_x]_M โดยใช้กราฟมาตรฐานของ NO_x ที่ได้จากขั้นตอน 2.4.8

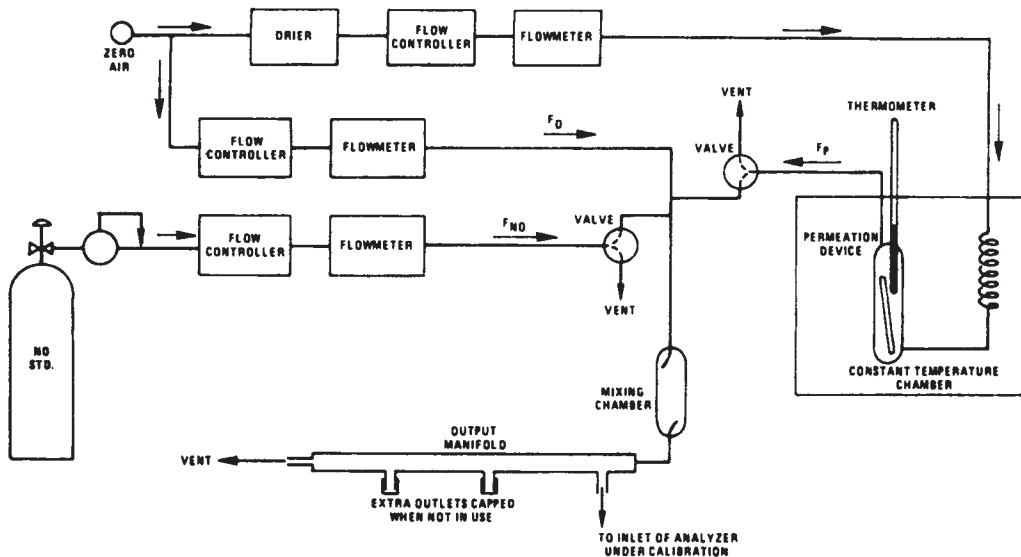
(2.4.9.3) ปรับ F_D เพื่อให้ได้หลายๆ ความเข้มข้นของ NO₂ ที่ครอบคลุมช่วงของ NO₂ (อย่างน้อย 5 ความเข้มข้น โดยแนะนำให้ เป็นค่าความเข้มข้นที่กระจายอย่างสม่ำเสมอครอบคลุมสเกลที่มีอยู่) คำนวณความเข้มข้นของ NO₂ แต่ละตัวได้ด้วยสมการ (20) และแต่ละความเข้มข้นนั้นให้บันทึกค่าของ NO₂ และ NO_x ที่เครื่องตรวจวัดอ่านได้ แล้วพล็อตค่าของ NO₂ ที่เครื่องอ่านได้กับความเข้มข้น NO₂ ที่คำนวณได้ และลากหรือคำนวณกราฟมาตรฐานของ NO₂

(2.4.10) การหาประสิทธิภาพของ Converter โดยการพล็อต $[\text{NO}_x]_{\text{M}}$ (แกน y) กับ $[\text{NO}_2]_{\text{OUT}}$ (แกน x) แล้วลากเส้น หรือคำนวณกราฟแสดงประสิทธิภาพของ Converter โดยค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของ Converter หรือ EC หาได้จากค่าความชัน คูณกับ 100 ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของ Converter จะต้องมากกว่า 96% หากน้อยกว่านี้ ให้เปลี่ยน Converter หรือซ่อมบำรุงรักษา

3. **ความถี่ในการเปรียบเทียบ** โดยความถี่ในการเปรียบเทียบ รวมทั้งจำนวนของจุดที่จำเป็นในการทำกราฟมาตรฐาน และความถี่ของการตรวจเช็คการทำงานอื่นๆ จะแปรผันตามเครื่องตรวจวัดแต่ละเครื่อง ซึ่งโปรแกรมการควบคุมคุณภาพของผู้ใช้ควรให้แนวทางสำหรับการเตรียมการเริ่มแรกสำหรับตัวแปรเหล่านี้ ตลอดจนการตัดแปลงอื่นๆ ที่เกิดขึ้นภายหลังตามประสบการณ์การทำที่สะสมมากขึ้น



รูปที่ 3.1 รูปแบบของระบบการปรับเทียบแบบ GPT



รูปที่ 3.2 รูปแบบของระบบการปรับเทียบโดยใช้ NO_2 Permeation device

บทที่ 3

หลักการตรวจวัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศ ด้วยวิธี พาราโรซานิลิน (Pararosaniline)

1 หลักการตรวจวัด

การตรวจวัดอาศัยหลักการปล่อยให้อากาศที่ตรวจวัดปริมาตรแล้วผ่านสารละลายโปตัสเซียมเตตราคลอโรเมอควิเรต เข้มข้น 0.04 M (Potassium Tetrachloromercurate; TCM) SO_2 ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับสารละลาย TCM เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ตัว คือ โมโนคลอโรซัลโฟเนโตเมอควิเรต (Monochlorosulfonatomercurate) ซึ่งเสถียรและไม่ถูกออกซิไดส์ โดยออกซิเจน หรือ ออกซิแดนท์ที่แรง เช่น โอโซน และออกไซด์ของไนโตรเจน ในการวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป สารประกอบเชิงซ้อนนี้ จะทำปฏิกิริยากับสารละลายพาราโรซานิลิน และฟอร์มัลดีไฮด์ ได้สารประกอบพาราโรซานิลิน เมทิล ซัลฟอนิก แอซิด (Pararosaniline methyl sulfonic acid) ซึ่งมีสีเห็นได้อย่างชัดเจน จากนั้นตรวจวัดสีของสารนี้ ได้จาก เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของ SO_2 ที่มีอยู่ในตัวอย่าง ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ใช้เก็บตัวอย่างคำนวณได้จากอัตราการไหลของอากาศ และระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง จะต้องแก้ค่าปริมาตรอากาศให้เป็นไปตามสภาวะอ้างอิงหน่วยพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.EPA) (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความกดอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท [101 กิโลปาสคาล]) จากนั้นคำนวณความเข้มข้นของ SO_2 ในบรรยากาศ มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{std m}^3$)

2. ช่วงการวัด (Range)

ขีดจำกัดระดับต่ำ (Lower limit) ของการวัดค่า SO_2 ในสารละลาย TCM 10 มิลลิลิตร คือ $0.75 \mu\text{g}$ (ยึดผลวิเคราะห์จากการทดสอบร่วมกับห้องปฏิบัติการอื่นๆ) หมายถึง ความเข้มข้น $25 \mu\text{g SO}_2$ ต่อลูกบาศก์เมตร (0.01 ppm) ในตัวอย่างอากาศ 30 ลิตรมาตรฐาน (การเก็บตัวอย่างช่วงเวลาสั้น) และความเข้มข้น $13 \mu\text{g SO}_2$ ต่อลูกบาศก์เมตร (0.005 ppm) ในตัวอย่างอากาศ 288 ลิตรมาตรฐาน (การเก็บตัวอย่างช่วงเวลานาน) ทั้งนี้สามารถวัดความเข้มข้นที่น้อยกว่า $25 \mu\text{g SO}_2$ ต่อลูกบาศก์เมตร โดยเก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศในปริมาณมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมตัวอย่างได้ จะลดลงอย่างรวดเร็ว ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ตามกฎของเบียร์ (Beer's law) มาใช้ได้กับความเข้มข้นของ SO_2 สูงถึง $34 \mu\text{g}$ ของ SO_2 ในสารละลายสุดท้าย 25 มิลลิลิตร ทั้งนี้ขีดจำกัดระดับบน (Upper limit) ของช่วงการวิเคราะห์ คือ ความเข้มข้น $1,130 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ (0.43 ppm) ในตัวอย่างอากาศ 30 ลิตรมาตรฐาน และความเข้มข้น $590 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ (0.23 ppm) ในตัวอย่างอากาศ 288 ลิตรมาตรฐาน สามารถวัดความเข้มข้นที่สูงกว่านั้นได้โดยเก็บตัวอย่างอากาศในปริมาณน้อยลง และก่อนเริ่มการวิเคราะห์ให้เพิ่มปริมาตรของสารละลายดูดซึม (Absorbing solution) หรือ โดยการเจือจางตัวอย่างที่เก็บมาด้วยสารละลายดูดซับในปริมาตรที่เหมาะสม

3. สิ่งที่เป็นตัวรบกวน (Interference)

สามารถลดผลกระทบ หรือกำจัดสิ่งที่มีแนวโน้มเป็นตัวรบกวนหลักในการตรวจวัด ดังนี้ หากเป็น ไนโตรเจนออกไซด์ ให้เติมกรด Sulfamic หากเป็นโลหะหนัก ให้เติม Ethylenediamine tetracetic acid disodium salt (EDTA) และ กรด Phosphoric หากเป็นโอโซน ให้มีการยี่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ขั้นตอนการปฏิบัติงานของวิธีนี้ จะมีธาตุต่างๆ ที่ยังอยู่ในเคมีดูดซับ 10 มิลลิลิตร ได้แก่ $60 \mu\text{g Fe (III)}$, $22 \mu\text{g V (V)}$, $10 \mu\text{g Cu (II)}$, $10 \mu\text{g Mn (II)}$, และ $10 \mu\text{g Cr (III)}$ สำหรับ $2.3 \mu\text{g NH}_3$ ไม่เป็นสิ่งรบกวนอย่างมีนัยสำคัญ

4. ความเที่ยงตรงและความแม่นยำ (Precision and Accuracy)

4.1 ความเที่ยงตรงของการวิเคราะห์ คือ 4.6% (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) วิเคราะห์จากตัวอย่าง ซัลไฟต์มาตรฐาน

4.2 ผลวิเคราะห์จากการทดสอบร่วมกันกับห้องปฏิบัติการอื่นๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์บรรยากาศที่จำลองขึ้น (SO_2 ในอากาศที่ผ่านการ scrub แล้ว) ซึ่งผลจากการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และ กระบวนการเปรียบเทียบ Sulfite-TCM แสดงให้เห็นว่า

◆ ความผิดพลาดซ้ำ (Replication error) จะแปรผันสภาพเชิงเส้น กับความเข้มข้นตั้งแต่ $+2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับความเข้มข้น $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จนถึง $+7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับความเข้มข้น $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$

◆ การแปรผันในแต่ละวันในห้องปฏิบัติการหนึ่ง เรียกว่า Repeatability เป็นการแปรผันสภาพเชิงเส้นกับความเข้มข้นตั้งแต่ $+18.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ระดับความเข้มข้น $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จนถึง $+50.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ระดับความเข้มข้น $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$

◆ การแปรผันแต่ละวันระหว่างห้องปฏิบัติการ 2 แห่ง หรือมากกว่านั้น เรียกว่า Reproducibility เป็นการแปรผันสภาพเชิงเส้นกับความเข้มข้นตั้งแต่ $+36.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ระดับความเข้มข้น $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จนถึง $+103.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ระดับความเข้มข้น $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ด้วยวิธีนี้ Bias จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้น กล่าวคือ ที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ จะมี Bias อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยค่าของ SO_2 ที่ตรวจวัดได้มีแนวโน้มต่ำกว่าระดับความเข้มข้นของ SO_2 ที่คาดไว้

5. ความคงตัว (Stability)

5.1 จากการเก็บตัวอย่างในสภาวะแวดล้อมที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง $15^\circ \pm 10^\circ \text{C}$ จะสามารถกักเก็บสารประกอบเชิงซ้อน SO_2 -TCM ได้มากกว่า 98.9% โดยตัวอย่างที่เก็บโดยสารละลายนี้ จะสามารถคงตัวที่อุณหภูมิ 5°C ได้นานถึง 30 วัน หากเติม EDTA จะช่วยให้ SO_2 ในสารละลาย TCM คงตัวมากขึ้น และอัตราการหายของตัวอย่าง จะไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ SO_2

6. เครื่องมือ/อุปกรณ์

6.1 การเก็บตัวอย่าง

(6.1.1) Sample probe เป็น Probe ที่ใช้สำหรับผ่านอากาศในบรรยากาศเข้าสู่ชุดระบบเก็บตัวอย่างนั้น โดยปลาย Probe ควรได้รับการออกแบบ หรือจัดวางตำแหน่ง เพื่อให้มีให้เก็บตัวอย่างน้ำฝน อนุภาคขนาดใหญ่ และอื่น ๆ โดย Probe ที่เหมาะสมจะทำมาจากท่อ Teflon® ต่อเข้ากับกรวยคว่ำ

(6.1.2) หลอดดูดซึม (Absorber) สำหรับเก็บตัวอย่างช่วงเวลาสั้น ในการเก็บตัวอย่างช่วงเวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง (หรือน้อยกว่า 24 ชั่วโมง) ให้ใช้ Midget impinger ที่เป็นแก้วทั้งหมด สามารถบรรจุสารละลายได้ 30 มิลลิลิตร และส่วนปลายของ Stem ห่างจากก้นหลอดดูดซึม 4 ± 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4

(6.1.3) หลอดดูดซึม - สำหรับเก็บตัวอย่างช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ให้ใช้หลอด Polypropylene ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร และยาว 164 มิลลิเมตร เป็นหลอดดูดซึม โดยจะต้องมีฝาครอบเป็น polypropylene มีปลายเปิด 2 ด้าน (อย่าใช้ยางเป็นจุกปิด เพราะอาจทำปฏิกิริยากับสารเคมีดูดซับ ทำให้ความเข้มข้นของ SO_2 สูงเกินไป) ใส่ Stem ของ Impinger ที่ทำด้วยแก้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร และยาว 158 มิลลิเมตร เข้าปลายเปิดหนึ่งด้านของฝาครอบหลอดดูดซึม ส่วนปลายของ Stem นี้จะเรียวกึ่งกลางถึงขนาด Orifice เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก (0.4 ± 0.1 มิลลิเมตร) ซึ่งส่วนปลายของ Stem ห่างจากก้นหลอดดูดซึม 6 ± 2 มิลลิเมตร ทั้งนี้เราสามารถทำ Stem ของ Impinger ที่เป็นแก้ว โดยใช้คนเป่าแก้วที่นำเชื้อถือ หรือซื้อจากร้านค้าวัสดุภัณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ เมื่อได้รับ Stem ที่ทำด้วยแก้วแล้ว ให้ทดสอบ Orifice เพื่อหาขนาดของ Orifice ควรทำเครื่องหมายอย่างถาวรบนหลอดดูดซึม เพื่อแสดงระดับปริมาตร 50 มิลลิลิตร รูปที่ 5 แสดงการประกอบหลอดดูดซึม

(6.1.4) หลอดดักความชื้น (Moisture trap) ให้ใช้หลอดดักความชื้นที่เป็นแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 4 หรือ ใช้หลอด Polypropylene ดังแสดงในรูปที่ 5 ติดตั้งไว้ระหว่างหลอดดูดซึมกับอุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ เพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวเล็ดลอดเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมการไหลนี้ได้ ภายในหลอดดักความชื้นบรรจุด้วยซิลิกาเจล ดังแสดงในรูปที่ 5 สำหรับการเก็บตัวอย่างช่วงเวลาสั้น (1 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า) อาจใช้ใยแก้ว (Glass wool) แทนซิลิกาเจล ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4 หรือใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างช่วงเวลานาน (24 ชั่วโมง) ก็ได้ ถ้าการไหลของอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อย

(6.1.5) การปิดผนึกฝาครอบ (Cap seals) จะต้องผนึกฝาครอบของหลอดดูดซึม และหลอดดักความชื้นให้แน่นหนา เพื่อป้องกันการรั่วไหลขณะใช้งาน หากเป็นไปได้ที่ฝาครอบจะหายขณะเก็บตัวอย่างขนส่งตัวอย่าง หรือเก็บรักษา ก็สามารถใช้อุปกรณ์ประเภท Heat-shrink ผนึกฝาครอบให้ปิดสนิทได้ ดังแสดงในรูปที่ 5

(6.1.6) อุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ สำหรับการเก็บตัวอย่างช่วงเวลาสั้น เหมาะสมที่จะใช้ โรตاميเตอร์ (Rotameter) ที่ได้ผ่านการเปรียบเทียบ และ Needle valve รวม ที่สามารถวัด และรักษาระดับของอัตราการไหลของอากาศได้ไม่เกิน $\pm 2\%$ แต่ไม่ควรใช้กับการเก็บตัวอย่างช่วงเวลานาน ทั้งนี้สามารถใช้ Critical orifice เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศสำหรับการเก็บตัวอย่างทั้งช่วงเวลาสั้นและช่วงเวลานาน ในการเก็บตัวอย่างช่วงเวลา 30 นาที อาจใช้ 22-gauge hypodermic needle ยาว 25 มิลลิเมตร เป็น Critical orifice เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้อยู่ใน 1 ลิตรต่อนาที หากเก็บตัวอย่างช่วงเวลา 1 ชั่วโมง อาจใช้ 23-gauge

hypodermic needle ยาว 16 มิลลิเมตร เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้อยู่ใน 0.5 ลิตรต่อนาที และการเก็บตัวอย่างช่วงเวลา 24 ชั่วโมง อาจใช้ 27-gauge hypodermic needle ยาว 9.5 มิลลิเมตร เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้อยู่ในช่วง 0.18 ถึง 0.22 ลิตรต่อนาที

(6.1.7) อุปกรณ์วัดการไหลของอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการปรับเทียบตามรายละเอียดในข้อ 8.4.1 และใช้ในการวัดอัตราการไหลของตัวอย่าง ณ จุดตรวจวัด

(6.1.8) แผ่นกรองอนุภาค ใช้แผ่นกรอง membrane ความพรุน 0.8 ถึง 2 μm เพื่อป้องกันอุปกรณ์ควบคุมการไหลจากอนุภาคขณะเก็บตัวอย่างช่วงเวลานาน หากเก็บตัวอย่างช่วงเวลาสั้นอาจไม่ต้องใช้

(6.1.9) บั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) การเก็บตัวอย่างให้ใช้บั๊มสุญญากาศที่มีเครื่องวัดสุญญากาศด้วย และรักษาระดับความต่างของสัณญากาศระหว่างบริเวณก่อนและหลังอุปกรณ์ควบคุมการไหลได้อย่างน้อย 70 กิโลปาสกาล (0.7 บรรยากาศ) ณ อัตราการไหลเฉพาะที่กำหนด

(6.1.10) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ จะต้องรักษาระดับอุณหภูมิของสารละลายดูดซับขณะเก็บตัวอย่างที่ $15^{\circ} \pm 10^{\circ}\text{C}$ หลังจากเก็บตัวอย่างจนถึงการวิเคราะห์ จะต้องรักษาอุณหภูมิของตัวอย่างให้อยู่ใน $5^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ หากต้องใช้เวลานานในการเคลื่อนย้ายตัวอย่างไปเก็บรักษา ณ อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ก็ควรให้อุณหภูมิในการเก็บรักษาตัวอย่างอยู่ใกล้กับขีดจำกัดระดับต่ำ (Lower limit) ที่ $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$ เพื่อลดการสูญเสียตัวอย่างที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างนั้น โดยอาจใช้ Thermoelectric coolers ซึ่งเป็นสถานะที่ได้รับการออกแบบเฉพาะสำหรับควบคุมอุณหภูมิ มีขายตามท้องตลาด และปกติแล้วควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 5° ถึง 15°C ได้ ทั้งนี้อาจตัดแปลงตู้เย็นขนาดเล็กให้สามารถควบคุมอุณหภูมิช่วงดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตาม ท่อนำส่งตัวอย่าง (Inlet lines) จะต้องฉนวนกันอุณหภูมิต่ำกว่านั้น เพื่อป้องกันการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ เมื่อเก็บตัวอย่างในสภาวะความชื้นมาก หากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำ (ต่ำกว่า 7°C) อาจจำเป็นต้องใช้ Heating pad ขนาดเล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายดูดซับแข็งตัว

(6.1.11) ภาชนะบรรจุชุดเก็บตัวอย่าง จะต้องสามารถป้องกันสารละลายดูดซับจากแสงขณะหรือหลังการเก็บตัวอย่าง ชุดเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะมีกล่องที่ป้องกันแสงมาอยู่แล้ว

(6.1.12) เครื่องตั้งเวลา แนะนำให้ใช้เครื่องตั้งเวลาเพื่อเริ่มต้นและหยุดการเก็บตัวอย่างช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เครื่องตั้งเวลาไม่ใช่อุปกรณ์บังคับ แต่ถ้าไม่ใช่ เจ้าหน้าที่เทคนิคจะต้องเริ่มและหยุดการเก็บตัวอย่างด้วยตนเอง แนะนำให้ใช้มิเตอร์จับเวลาในการเก็บตัวอย่าง (Elapsed time meter)

6.2 การขนส่งตัวอย่าง

6.2.1 ภาชนะสำหรับการส่งตัวอย่าง ให้ใช้ภาชนะสำหรับการขนส่งตัวอย่างที่สามารถรักษาอุณหภูมิตั้งแต่ $5^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ เพื่อขนส่งตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างไปยังห้องปฏิบัติการ พบว่าถ้าใช้ถังน้ำแข็ง หรือภาชนะขนส่งที่แช่ให้เย็นได้ จะได้ผลการวิเคราะห์เป็นที่น่าพอใจ และการใช้ Eutectic cold packs แทนน้ำแข็งจะสามารถรักษาระดับอุณหภูมิให้คงที่ได้ดีกว่า

6.3 การวิเคราะห์

(6.3.1) สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ในการวิเคราะห์ตัวอย่างต้องใช้ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่เหมาะสมกับการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbances) ที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร โดยมีความกว้างของแถบสเปกตรัม (Spectral bandwidth) น้อยกว่า 15 นาโนเมตร หาก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ อ่านค่าเป็นค่าทรานสมิตแทนซ์ (Transmittance) ให้เปลี่ยนเป็นค่า การดูดกลืนแสง ดังนี้

$$A = \log_{10} (1/T) \quad (1)$$

โดย

A = ค่า การดูดกลืนแสง
 T = ค่า ทรานสมิตแทนซ์ ($0 < T < 1$)

ให้ใช้แผ่นรองความยาวคลื่นมาตรฐาน ที่สามารถสอบกลับได้กับ National Bureau of Standards เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการปรับเทียบความยาวคลื่น ตามวิธีการที่ระบุไว้แล้วสำหรับแผ่นรองนั้น ๆ จะต้องตรวจสอบความถูกต้องของการปรับเทียบความยาวคลื่น เมื่อได้รับเครื่องมือครั้งแรก และหลังจากการใช้งานปกติทุก 160 ชั่วโมง หรือทุก 6 เดือน แล้วแต่ว่าสิ่งใดมาก่อน

(6.3.2) เซลล์ของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เซ็ทของเซลล์ที่มี Path length 1 เซนติเมตร เหมาะสำหรับใช้กับแสงที่อยู่ในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (Visible region) หากเซลล์ไม่เหมาะสมแล้ว จะต้องกำหนด Correction factor

(6.3.3) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ระหว่างการวิเคราะห์ตัวอย่าง ขั้นตอนการเกิดสีจะต้อง อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิช่วง 20° ถึง 30°C และควบคุมไม่ให้เกิน +1°C รวมทั้งดำเนินการปรับเทียบ และวิเคราะห์ตัวอย่างภายใต้สภาวะเดียวกันนั้น (ไม่เกิน 1°C) อาจใช้ภาชนะใส่น้ำที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ หรือ Water bath ที่ควบคุมอุณหภูมิแบบไม่อัตโนมัติ หรือห้องควบคุมอุณหภูมิ

(6.3.4) เครื่องแก้ว ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรหลายๆ ขนาด เพื่อเตรียมและทำการ Standardize สารเคมีและมาตรฐานต่างๆ และสำหรับผสมสารละลายขณะวิเคราะห์ตัวอย่าง เครื่องแก้ว ได้แก่ ปิเปต ขวดวัดปริมาตร และบิวเรต

(6.3.5) ภาชนะรองรับสารละลาย TCM ที่ใช้แล้ว ต้องใช้ภาชนะที่ทำด้วยแก้วเพื่อเก็บสารละลาย TCM ที่ใช้แล้ว จะต้องปิดภาชนะ และเก็บไว้ใน Hood ตลอดเวลา

7. สารเคมี

7.1 การเก็บตัวอย่าง

(7.1.1) น้ำกลั่น จะตรวจสอบความความบริสุทธิ์ของน้ำกลั่น ด้วยวิธีการดังนี้

♦ เติสารละลาย Potassium permanganate (0.316 กรัมต่อลิตร) 0.20 มิลลิลิตร น้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และกรด Sulfuric เข้มข้น 1 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วที่ทนต่อสารเคมี ปิดจุกขวด แล้วตั้งทิ้งไว้

♦ หากสีชมพูของ Permanganate ไม่หายไปโดยสิ้นเชิงภายใน 1 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง แสดงว่าเหมาะที่จะนำน้ำกลั่นนั้นมาใช้

♦ หากสีของ Permanganate หายไป น้ำนั้นสามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยการกลั่นอีกครั้งกับหนึ่งผลิตภัณฑ์บรรจุด้วย Barium hydroxide และ Potassium permanganate ใน Glass still ทั้งหมด

(7.1.2) สารละลายดุดซิม (0.04 M Potassium tetrachloromercurate [TCM]): ชั่งสาร ของ Mercuric chloride 10.86 กรัม EDTA 0.066 กรัม และ Potassium chloride 6.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร (ข้อระวัง: Mercuric chloride มีพิษสูงมาก หากหกบนผิวหนัง ให้ล้างด้วยน้ำทันที) pH ของสารละลายนี้ควรอยู่ระหว่าง 3.0 และ 5.0 ตรวจสอบ pH ของสารละลายดุดซิมโดยใช้กระดาษวัด pH หรือมิเตอร์วัด pH หากพบว่า pH ของสารละลายไม่อยู่ระหว่าง 3.0 และ 5.0 ให้ทิ้งสารละลายนั้นตามวิธีที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 12.0 โดยปกติสารละลายดุดซิมนี้จะเก็บได้ถึง 6 เดือน หากเกิดตะกอน ให้ทิ้งตามวิธีที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 12.0

7.2 การวิเคราะห์

(7.2.1) สารละลายกรด Sulfamic (ความเข้มข้น 0.6%): ชั่ง กรด sulfamic 0.6 กรัม ละลาย ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เตรียมใหม่ทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์

(7.2.2) สารละลาย Formaldehyde (ความเข้มข้น 0.2%): เจือจางสารละลาย Formaldehyde (ความเข้มข้น 36-38 %) 5 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เตรียมใหม่ ทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์

(7.2.3) สารละลาย Stock iodine (ความเข้มข้น 0.1 N): ชั่ง Iodine 12.7 กรัม และ Potassium iodide 40 กรัม เติลงในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร คนจนละลายหมด แล้ว ถ่ายไว้ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร

(7.2.4) สารละลาย Iodine (ความเข้มข้น 0.01 N): เจือจางสารละลาย Stock iodine 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

(7.2.5) สารละลาย Starch indicator: ละลาย 0.4 กรัม ของน้ำแป้ง (แป้งชนิดละลายได้) และ 0.002 กรัม ของ Mercuric iodide ด้วยน้ำกลั่นปริมาตรเล็กน้อยแล้วค่อยๆเติมน้ำกลั่นที่กำลังเดือดลงไป จนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร แล้วต้มจนสารละลายใส ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วถ่ายสารละลายลงขวดแก้ว จากนั้นปิดจุก

(7.2.6) กรด Hydrochloric ความเข้มข้น 1 N: เติมกรด Hydrochloric เข้มข้น 86 มิลลิลิตร ลงช้าๆ ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร พร้อมคน ปล่อยให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร

(7.2.7) สารละลาย Potassium iodate: ชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 1.5 กรัม (บันทึกน้ำหนัก) ของ Potassium iodate ที่เป็นเกรดมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard grade) ที่อบแห้งแล้วที่อุณหภูมิ 180 °C อย่างน้อยเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น ละลาย แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรในขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร

(7.2.8) สารละลาย Stock sodium thiosulfate (ความเข้มข้น 0.1 N): ชั่ง Sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 25 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร ที่เพิ่งต้มจนเดือดแล้ว ทิ้งให้เย็นแล้วเติม Sodium carbonate 0.1 กรัม ลงในสารละลาย ตั้งสารละลายทิ้งไว้อย่างน้อย 1 วัน ก่อนทำการตรวจสอบหาความเข้มข้นที่แน่นอน หรือ การทำ Standardize

การทำ Standardize ให้ดูดสารละลาย Potassium iodate (หัวข้อ 7.2.7) 50 มิลลิลิตร ด้วยปิเปต เทลงในขวด Iodine ขนาด 500 มิลลิลิตร เติม Potassium iodide 2.0 กรัม และ 1 N HCl 10 มิลลิลิตร ปิดจุกขวด และตั้งทิ้งไว้ 5 นาที แล้วนำไปไตเตรทกับสารละลาย Stock sodium thiosulfate (หัวข้อ 7.2.8) จนได้สีเหลืองอ่อน แล้วเติมน้ำแฉ่ง 5 มิลลิลิตร (หัวข้อ 7.2.5) และไตเตรทต่อจนสีน้ำเงินหายไป คำนวณความเข้มข้นที่แท้จริง หรือ Normality (N_s) ของสารละลาย Stock sodium thiosulfate ได้ดังนี้

$$N_s = \frac{W}{M} \times 2.80 \quad (2)$$

โดย

- N_s = Normality ของสารละลาย Stock sodium thiosulfate
 M = ปริมาตรของ Thiosulfate ที่ใช้ในการไตเตรท หน่วยเป็น มิลลิลิตร
 W = น้ำหนักของ Potassium iodate หน่วยเป็น กรัม (บันทึกน้ำหนักตามหัวข้อ 8.2.7)
 2.80 = $\frac{10^3 \text{ (แปลงหน่วยจากกรัมเป็นมิลลิกรัม)} \times 0.1 \text{ (fraction iodate ที่ใช้)}}{35.67 \text{ (equivalent weight ของ potassium iodate)}}$

(7.2.9) Sodium thiosulfate titrant (ความเข้มข้น 0.01 N): ปิเปตสารละลาย Stock sodium thiosulfate (หัวข้อ 7.2.8) 100 มิลลิลิตร อย่างแม่นยำ เทลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นเดือดที่เย็นแล้ว จนได้ปริมาตร คำนวณ Normality ของ Sodium thiosulfate titrant (N_T) ได้ดังนี้

$$N_T = N_s \times 0.100 \quad (3)$$

(7.2.10) สารละลาย Sulfite ที่ทำการ Standardize แล้ว สำหรับการเตรียมสารละลาย Sulfite-TCM: ชั่ง Sodium metabisulfite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) 0.30 กรัม หรือ Sodium sulfite (Na_2SO_3) 0.40 กรัม ละลายลงในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วเย็นลง 500 มิลลิลิตร (สารละลาย Sulfite ไม่คงตัว ดังนั้นสิ่งสำคัญคือต้องใช้น้ำที่มีความบริสุทธิ์มากที่สุด เพื่อลดความไม่คงตัวนี้) สารละลายนี้จะมี SO_2 อยู่ถึง 320 ถึง 400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายหาได้โดยเติม iodine ที่มากเกินไป และทำ back-titrate กับสารละลาย Standard sodium thiosulfate

การทำ back-titrate ให้ดูดสารละลาย 0.01 N iodine 50 มิลลิลิตร (หัวข้อ 7.2.4) ใส่ลงในขวด Iodine ขนาด 500 มิลลิลิตร 2 ใบ (A และ B) สำหรับขวด A (Blank) เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร และขวด B (ตัวอย่าง) ใช้ปิเปตเติมสารละลาย Sulfite 25 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดและปล่อยทิ้งไว้ 5 นาที เตรียมสารละลาย Working sulfite-TCM (หัวข้อ 7.2.11) ทันทีก่อนที่จะเติมสารละลาย Iodine ลงในแต่ละขวด ให้ใช้บิวเรตที่บรรจุ Thiosulfate

titrant ความเข้มข้น 0.01 N ที่ทำการ Standardize แล้ว (หัวข้อ 7.2.9) แล้วไตเตรทสารละลายในแต่ละขวดจนเกิดสีเหลืองอ่อน แล้วเติมน้ำแปป (หัวข้อ 7.2.5) 5 มิลลิลิตร และไตเตรทต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินจางหายไป

(7.2.11) สารละลาย Working sulfite-TCM : ใช้ปิเปต ดูดสารละลาย Sulfite มาตรฐาน 5 มิลลิเมตร (หัวข้อ 7.2.10) ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรด้วยสารละลาย TCM ความเข้มข้น 0.04 M คำนวณความเข้มข้นของซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ ใน Working solution ได้ดังนี้

$$C_{\text{TCM/SO}_2} (\mu\text{g SO}_2/\text{mL}) = \frac{(A-B)(N_T)(32,000) \times 0.02}{25} \quad (4)$$

โดย

- A = ปริมาตรของ Thiosulfate titrant ที่ใช้สำหรับ blank หน่วยเป็น มิลลิลิตร
- B = ปริมาตรของ Thiosulfate titrant ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง หน่วยเป็น มิลลิลิตร
- N_T = Normality ของ Thiosulfate titrant ได้จากสมการ (3)
- 32,000 = Milliequivalent weight ของ SO_2 หน่วยเป็น ไมโครกรัม
- 25 = ปริมาตรของสารละลาย Sulfite มาตรฐาน หน่วยเป็น มิลลิลิตร
- 0.02 = Dilution factor

หมายเหตุ: หากเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5°C สารละลายนี้จะคงตัวอยู่ได้นานถึง 30 วัน หากไม่เก็บที่อุณหภูมิดังกล่าว ให้เตรียมใหม่ทุกวัน

(7.2.12) สารละลาย Stock pararosanine (PRA) ที่ทำให้บริสุทธิ์แล้ว (ประมาณ 0.2%)

7.2.12.1 คุณสมบัติของ Dye

◆ เมื่อตรวจสอบด้วยสารละลาย ที่เป็นบัฟเฟอร์ กรด Sodium acetate-a cetic ความเข้มข้น 0.1 M แล้ว dye จะต้องมีการดูดกลืนแสงได้สูงสุด ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร

◆ การดูดกลืนแสงของ Reagent blank ที่มีความไวต่ออุณหภูมิ (0.015 absorbance unit/ $^\circ\text{C}$) จะต้องไม่เกิน 0.170 ณ 22°C โดยมี Optical path length ยาว 1 เซนติเมตร ทั้งนี้เตรียม Blank ตามวิธีการที่กำหนดไว้

◆ กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) (หัวข้อ 10.0) จะต้องมีความชัน เท่ากับ 0.030 ± 0.002 absorbance unit/ $\mu\text{g SO}_2$ ที่ optical path length ยาว 1 เซนติเมตร เมื่อ dye นั้นบริสุทธิ์ และ สารละลาย Sulfite ได้รับการ Standardize อย่างเหมาะสม

7.2.12.2 การเตรียมสารละลาย Stock PRA - สารละลาย Pararosanine ที่มีความบริสุทธิ์เป็นพิเศษ (บริสุทธิ์ 99% ถึง 100%) อาจหาซื้อสารละลาย Pararosanine ที่มีคุณสมบัติข้างต้นได้ตามท้องตลาด ที่มีความเข้มข้น 0.20 % (Harleco Co.) หรืออีกทางหนึ่งอาจทำให้ dye บริสุทธิ์ โดยการเตรียม Stock solution แล้วตรวจสอบเองได้ตามวิธีการที่อธิบายไว้ต่อไปนี้

7.2.12.3 วิธีการทำให้สาร PRA บริสุทธิ์

1) เท 1-butanol และ HCl ความเข้มข้น 1 N อย่างละ 100 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยกขนาดใหญ่ (250 มิลลิลิตร) และเขย่าแล้วรอให้แยกชั้นโดยสมบูรณ์ (แอลกอฮอล์จะอยู่ชั้นบน กรดจะอยู่ชั้นล่าง) ข้อสังเกต: 1-butanol บาง batch จะมีออกซิแดนซ์ อยู่ด้วย ที่ทำลาย SO_2 ดังนั้นก่อนใช้ให้ตรวจสอบโดยเท 1-butanol 20 มิลลิลิตร และร้อยละ 20 ของสารละลาย Potassium Iodide (KI) 5 มิลลิลิตร ลงในกรวยแยก ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้ทั่ว หากเกิดสีเหลืองในชั้นของแอลกอฮอล์ ให้กลั่น 1-butanol อีกครั้ง เพื่อแยกออกจาก Silver oxide และเก็บ Middle fraction หรือซื้อ 1-butanol ใหม่

2) ชั่งน้ำหนัก Pararosaniline hydrochloride dye (PRA) 100 มิลลิกรัม เทลงในบีกเกอร์ขนาดเล็ก เติมน้ำขึ้นกรด (มาจากส่วนเกินของกรวยแยกในข้อ 1) 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ และตั้งทิ้งไว้หลาย ๆ นาที ทั้งส่วนที่เป็นชั้นกรดที่เหลืออยู่ในกรวยแยก

3) เติมน้ำ 1-butanol 50 มิลลิลิตร (ดูด 1-butanol จากส่วนบนของกรวยแยกในข้อ 1) ลงในกรวยแยก ขนาด 125 มิลลิลิตร ถ่ายสารละลายกรด (จากข้อ 2) ที่มี dye อยู่ด้วย ลงในกรวยแล้วเขย่าอย่างระมัดระวัง เพื่อสกัดให้สารปนเปื้อนสีม่วง ขึ้นไปอยู่ในชั้น Organic

4) ถ่ายของเหลวชั้นล่าง (ชั้นกรด) ลงในกรวยแยกอีกอันหนึ่ง เติมน้ำ 1-butanol 20 มิลลิลิตร แล้วสกัดอีกครั้งหนึ่ง

5) ทำการสกัดซ้ำ อีก 3 ครั้ง โดยใช้ 1-butanol ครั้งละ 10 มิลลิลิตร

6) หลังจากการสกัดครั้งสุดท้าย ให้กรองชั้นกรดผ่าน Cotton plug ลงสู่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติม 1 N HCl จนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร Stock reagent นี้ มีสีแดง-เหลือง

7) ในการตรวจสอบความบริสุทธิ์ของ PRA ให้ตรวจสอบและปรับความเข้มข้น (หัวข้อ 7.2.12.4) และเตรียม Reagent blank (หัวข้อ 11.2) ทั้งนี้การดูดกลืนแสงของ Reagent blank ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ควรน้อยกว่า 0.170 ที่อุณหภูมิ 22°C หากภายใต้สภาวะเดียวกันกันนั้น การดูดกลืนแสงมีค่ามากกว่า 0.170 ก็ให้ดำเนินการ สกัดอีกครั้ง

7.2.12.4 วิธีการตรวจสอบ PRA-- จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบความเข้มข้นของ Pararosaniline hydrochloride (PRA) เพียงครั้งเดียวเท่านั้นภายหลังการทำให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังแนะนำด้วยว่าเมื่อแรกซื้อสารละลาย Pararosaniline มา ก็ควรตรวจสอบด้วย ขั้นตอนการตรวจสอบ มีดังนี้

1) เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ 1 M acetate-acetic acid pH 4.79 โดยละลาย Sodium acetate trihydrate 13.61 กรัม ด้วยน้ำกลั่น ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลacial acetic 5.70 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2) ใช้ปิเปต ดูดสารละลาย Stock PRA 1 มิลลิลิตร ที่ได้จากกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ หรือจากห้องตลาด ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3) ถ่ายสารละลาย PRA ที่เจือจางแล้ว จากข้อ 2 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลacial acetic 5 มิลลิลิตร ที่ได้จากข้อ 1 และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

4) ใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายข้างต้น ที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร เทียบค่ากับน้ำกลั่นอ้างอิง เปรียบเทียบร้อยละของความเข้มข้นของ PRA ดังนี้

$$\%PRA = \frac{A \times K}{W}$$

(5)

โดย

- A = ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ของ final mixture (Absorbance units)
- W = น้ำหนักเป็นกรัมของ PRA dye ที่ใช้ในการตรวจสอบ เพื่อเตรียม stock solution 50 มิลลิตร (ยกตัวอย่าง ใช้ dye น้ำหนัก 0.100 กรัม เพื่อเตรียมสารละลาย 50 มิลลิตร ในขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ หากซื้อมาจากท้องตลาด ให้ใช้ความเข้มข้นที่แหล่งผลิตระบุไว้ เพื่อคำนวณหาค่า W ทั้งนี้สำหรับ 98% PRA , W = .098 กรัม)
- K = มีค่าเท่ากับ 21.3 สำหรับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่มีความกว้างแถบสเปกตรา น้อยกว่า 15 นาโนเมตร และ path length เท่ากับ 1 เซนติเมตร

(7.2.13) สารละลาย Pararosaniline : เติมสารละลาย stock PRA 20 มิลลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 มิลลิตร เติม Stock solution อีก 0.2 มิลลิตร สำหรับทุก 1% ของ stock ที่ต่ำกว่า 100 % จากนั้นเติมกรด 3 M phosphoric 25 มิลลิตร แล้วเจือจางจนได้ปริมาตรด้วยน้ำกลั่น สารละลายนี้คงตัวอยู่ได้อย่างน้อย 9 เดือน เก็บให้ห่างจากความร้อนและแสง

8. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

8.1 ข้อพิจารณาทั่วไป ขั้นตอนนี้สำหรับการเก็บตัวอย่างช่วงเวลาสั้น (30 นาทีและ 1 ชั่วโมง) และช่วงเวลานาน (24 ชั่วโมง) อาจเลือกการรวมความแตกต่างของปริมาตรสารละลายดูดซึม อัตราการเก็บตัวอย่าง และระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง ตามความต้องการเฉพาะ สำหรับการรวมอย่างอื่นนอกเหนือจากที่อธิบายไว้นี้ จะต้องมีการปรับสถานะเพื่อให้คงสภาพเชิงเส้น (Linearity) ระหว่างการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นที่ครอบคลุมช่วง Dynamic ได้ ไม่แนะนำให้ใช้สารละลายดูดซึม ปริมาตรที่น้อยกว่า 10 มิลลิตร สำหรับสถานะที่อธิบายไว้นี้ ประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่างจะสูงกว่าร้อยละ 98 อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพอาจต่ำลงเป็นอย่างมากหากเก็บตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่ำกว่า $25 \mu\text{gSO}_2/\text{m}^3$

8.2 การเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง เติมสารละลายดูดซึม TCM 10 มิลลิตร ใส่ลงใน Midget impinger แล้วผนึก Impinger ด้วย Silicon stopcock grease ที่ทำให้เป็นฟิล์มบางๆ (รอบๆ ground glass joint) ใส่ Impinger ที่ผนึกแล้วเข้ากับชุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยให้แน่ใจว่า การเชื่อมต่อทั้งหมดของส่วนประกอบต่างๆ ไม่มีการรั่วไหล อาจใช้ greaseless ball joint fittings, heat shrinkable Teflon® tubing หรือ Teflon® tube fittings ในการผนึกเพื่อไม่ให้เกิดรอยรั่วในส่วนต่างๆ ของชุดเก็บตัวอย่าง ที่สัมผัสกับอากาศที่มี SO_2 อยู่ ให้ป้องกันสารละลายดูดซึมจากแสงอาทิตย์โดยหุ้ม Impinger ด้วยอลูมิเนียม ฟอยล์ หรือบรรจุชุดเก็บตัวอย่างไว้ในกล่องป้องกันแสง หากอัตราการไหล ตามหัวข้อ 8.4.2 สำหรับการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 30 นาที ให้เก็บตัวอย่างที่อัตราการไหลของอากาศ 1 ± 0.10 ลิตรต่อนาที หากเป็นการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ที่ 0.500 ± 0.05 ลิตรต่อนาที บันทึกระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่แน่นอน มีหน่วยเป็นนาที จากนั้นหาปริมาตรของตัวอย่างโดยใช้อัตราการไหลของอากาศและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง บันทึกค่าความกดของอากาศ และ อุณหภูมิด้วย

8.3 การเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เติมนสารละลายดูดซึม TCM 50 มิลลิลิตร ลงในหลอดดูดซึมขนาดใหญ่ ปิดฝาครอบ และหากจำเป็นให้ใช้วัสดุประเภท Heat shrink ดังแสดงในรูปที่ 6 ดูเครื่องหมายที่แสดงไว้บนหลอดดูดซึม ว่าระดับของสารละลายอยู่ที่ 50 มิลลิลิตร นำหลอดดูดซึมที่ผนึกแล้วใส่เข้ากับชุดเก็บตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 5 ถึงตอนนี้ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของหลอดดูดซึม ถูกควบคุมไว้ที่อุณหภูมิ $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ขณะเก็บตัวอย่างจะต้องควบคุมอุณหภูมิของหลอดดูดซึม เพื่อป้องกันมิให้สารประกอบเชิงซ้อนที่เก็บได้เสื่อมสลายจากช่วงเวลาเริ่มเก็บตัวอย่างจนถึงการวิเคราะห์ จะต้องมิให้สารละลายดูดซึมสัมผัสแสงแดดโดยตรง หากอัตราการไหลได้จากในหัวข้อ 8.4.2 เก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมงจากเที่ยงคืนถึงเที่ยงวัน ด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 0.200 ± 0.020 ลิตรต่อนาที เครื่องตั้งเวลาเปิดและปิด จะช่วยเริ่มและหยุดการเก็บตัวอย่าง ในขณะที่มีเทอร์มิเตอร์จับเวลาจะเป็นประโยชน์ในการหาระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

8.4 การวัดการไหล (Flow measurement)

(8.4.1) การเปรียบเทียบ อุปกรณ์วัดการไหลของอากาศ ที่ใช้วัดการไหล ณ จุดเก็บตัวอย่างที่ระบุไว้ในหัวข้อ 8.4.2 จะต้องได้รับการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดการไหลหรือปริมาตรมาตรฐานที่เชื่อถือได้ เช่น เครื่อง NBS Traceable bubble flowmeter หรือ Wet test meter ที่ได้รับการเปรียบเทียบมาแล้ว หากต้องการตรวจสอบการควบคุมคุณภาพ อาจเปรียบเทียบโรตารีมิเตอร์ หรือ Critical orifices ที่ใช้ในชุดเก็บตัวอย่างด้วยก็ได้ แต่ต้องไม่ใช้การเปรียบเทียบนั้นแทนการวัดการไหลของอากาศ ณ จุดเก็บตัวอย่างที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 9.4.2 หากจะเปรียบเทียบโรตารีมิเตอร์ ควรเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่างเดิม โดยในหลอดดูดซึมที่บรรจุสารละลายในปริมาตรที่เหมาะสม

(8.4.2) การหาอัตราการไหล ณ จุดเก็บตัวอย่าง สำหรับการเก็บตัวอย่างช่วงเวลาสั้น การหาอัตราการไหลมาตรฐาน ณ จุดเก็บตัวอย่าง ทั้งช่วงเริ่มต้นเก็บตัวอย่างและหลังเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว โดยใช้ อุปกรณ์วัดการไหลที่ได้รับการเปรียบเทียบแล้ว ต่อเข้ากับช่องทางเข้าตัวอย่างของหลอดดูดซึม สำหรับตัวอย่างที่ได้จากการเก็บตัวอย่างช่วงเวลา 24 ชั่วโมง สามารถหาอัตราการไหลมาตรฐาน ขณะที่ประกอบหลอดดูดซึมเข้ากับชุดเก็บตัวอย่าง และสามารถหาได้อีกครั้งเมื่อถอดหลอดดูดซึมออก เพื่อส่งไปยังห้องปฏิบัติการ โดยใช้ อุปกรณ์วัดการไหลที่ได้รับการเปรียบเทียบแล้ว ต่อเข้ากับช่องทางเข้าตัวอย่าง ของชุดเก็บตัวอย่าง การหาอัตราการไหล จะทำได้ในขณะที่ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบการเก็บตัวอย่างทำงานอยู่ (ยกตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิของหลอดดูดซึม และอุปกรณ์ทำความร้อนให้กล่องบรรจุตัวอย่าง จะต้องอยู่ในขณะทำงานด้วย) อาจใช้สมการ 6 เพื่อหาอัตราการไหลมาตรฐานได้ ต่อเมื่อใช้ Positive displacement meter ที่ได้รับการเปรียบเทียบแล้ว เป็นอุปกรณ์วัดการไหล ทั้งนี้อาจใช้อุปกรณ์วัดการไหลอื่นที่ได้รับการเปรียบเทียบแล้ว เพื่อหาอัตราการไหล ณ จุดเก็บตัวอย่างได้ ต่อเมื่อผู้ใช้ได้ดำเนินการแก้ค่าอย่างเหมาะสม หากเป็นเครื่องมือที่ Output มีค่าแปรผันตามอุณหภูมิและความกดของอากาศ

$$Q_{\text{std}} = Q_{\text{act}} \times P_b - \frac{(1-RH)PH_2O}{P_{\text{std}}} \times \frac{298.16}{(T_{\text{mete}} + 273.16)} \quad (6)$$

โดย

- Q_{std} = อัตราการไหล ที่สภาวะมาตรฐาน หน่วยเป็น ลิตรต่อนาที (25°C และ 760 มิลลิเมตรปรอท)
- Q_{act} = อัตราการไหล ที่สภาวะของจุดเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น ลิตรต่อนาที
- P_b = ความกดของอากาศ ที่สภาวะของจุดเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท หรือ กิโลปาสคาล
- RH = ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขณะกำลังตรวจวัด
- P_{H_2O} = vapor pressure ของน้ำ ที่อุณหภูมิของอากาศ ในการไหลหรือปริมาตรมาตรฐาน หน่วยเดียวกันกับ P_b (สำหรับ Wet volume standards เท่านั้น ตัวอย่างเช่น Bubble flowmeter หรือ Wet test meter และ สำหรับ Dry standards ยกตัวอย่างเช่น Dry test meter, $P_{H_2O} = 0$)
- P_{std} = ความกดของอากาศมาตรฐาน หน่วยเดียวกันกับ P_b (760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 101 กิโลปาสคาล)
- T_{meter} = อุณหภูมิของอากาศในการไหลหรือปริมาตรมาตรฐาน หน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$ (เช่น Bubble flowmeter).

หากไม่มีบารโรมิเตอร์ อาจใช้สมการต่อไปนี้เพื่อหาความกดของอากาศ

$$P_b = 760 - .076(H) \text{ มิลลิเมตรปรอท}$$

หรือ (7)

$$P_b = 101 - .01(H) \text{ กิโลปาสคาล}$$

โดย

H = ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลของจุดเก็บตัวอย่าง

หากอัตราการไหลเริ่มต้น (Q_i) ต่างไปจากอัตราการไหลของ Critical orifice หรือต่างไปจากอัตราการไหลที่มีเทอร์วัดการไหล ในชุดเก็บตัวอย่าง (Q_c) แสดงค่าไว้ มากกว่า 5% ของที่คำนวณได้จากสมการ (8) ให้ตรวจสอบการรั่วไหลและหาค่า Q_i อีกครั้ง

$$\% \text{ Diff} = \frac{Q_i - Q_c}{Q_c} \times 100 \quad (8)$$

จะใช้ตัวอย่างไม่ได้ หากความแตกต่างระหว่างอัตราการไหลเริ่มต้น (Q_i) และสุดท้าย (Q_f) มีค่ามากกว่า 5% ตามที่คำนวณได้จากสมการ (9)

$$\% \text{ Diff} = \frac{Q_i - Q_f}{Q_f} \times 100 \quad (9)$$

8.5 การเก็บรักษาและการขนส่งตัวอย่าง ให้ถอด Impinger หรือหลอดดูดซึม ออกจากชุดเก็บตัวอย่าง และจุกปิดหลอด โดยทันที ให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของหลอดดูดซึมไม่เกิน 25°C ทำเครื่องหมายระดับของสารละลาย ด้วยเครื่องหมายชั่วคราว (เช่น ด้วย grease pencil) หากจะไม่วิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 12 ชั่วโมงหลังการเก็บตัวอย่าง ให้เก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ $5^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ จนกว่าจะวิเคราะห์ ซึ่งต้องดำเนินการภายใน 30 วัน หากการขนส่ง หรือส่งตัวอย่างใช้เวลามากกว่า 12 ชั่วโมง แนะนำให้ใช้ Thermal coolers ที่ใช้ Eutectic ice packs หรือภาชนะขนส่งที่แช่เย็น ฯลฯ ซึ่งใช้เก็บตัวอย่างได้นาน 48 ชั่วโมง เมื่อรับตัวอย่างที่ขนส่งมาให้วัดอุณหภูมิของสารละลาย ในหลอดดูดซึม ตัวอย่างจะใช้ไม่ได้หากอุณหภูมิสูงกว่า 10°C ให้เก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ $5^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ จนกว่าจะวิเคราะห์

9. วิเคราะห์การเปรียบเทียบ

9.1 ความเหมือนกันทั้งขนาดและการดูดกลืนแสงของเซลล์สำหรับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ หากใช้เซลล์สำหรับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ไม่เหมือนกัน จะต้องหา Correction factor ของการดูดกลืนแสง ดังนี้

1) เติมน้ำกลั่นใส่ลงในเซลล์ทั้งหมดและกำหนดให้เซลล์ที่มีค่าการดูดกลืนแสงต่ำที่สุดที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร เป็นเซลล์อ้างอิง (Reference cell) (ควรทำเครื่องหมาย เซลล์อ้างอิงนี้ไว้ เพราะจะใช้อย่างต่อเนื่องเพื่อการนี้ ตลอดการวิเคราะห์ทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต)

2) ใช้เซลล์อ้างอิง เพื่อเป็น Zero เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3) หาค่าการดูดกลืนแสงของเซลล์ที่เหลือ (A_c) โดยสัมพันธ์กับเซลล์อ้างอิง และบันทึกค่าเหล่านั้นไว้เพื่อใช้ในอนาคตทำเครื่องหมายของเซลล์ทั้งหมดเพื่อให้ทราบว่าเซลล์แต่ละตัวที่ถูกแก้ค่านั้นคือตัวใดบ้าง

หาค่าการดูดกลืนแสงที่ได้รับการแก้ค่าเพื่อนำแต่ละเซลล์ไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ต่อไปในอนาคตได้ดังนี้

$$A = A_{\text{obs}} - A_c \quad (10)$$

โดย

A = การดูดกลืนแสงที่แก้ค่าแล้ว (Corrected absorbance)

A_{obs} = การดูดกลืนแสงที่ยังไม่ได้แก้ค่า

A_c = Cell correction

9.2 วิธีการเปรียบเทียบแบบ Static (ทางเลือก1) เตรียมสารละลาย Working sulfite-TCM โดยเจือจางสารละลาย Working sulfite-TCM 10 มิลลิลิตร (หัวข้อ 7.2.11) จนได้ 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายดูดซึม TCM จากตารางต่อไปนี้ ใช้ปิเปตดูดสารละลาย Sulfite-TCM ด้วยปริมาตรที่เที่ยงตรง แล้วเติมลงในชุดของขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายดูดซึม TCM ตามที่ระบุเพื่อให้ปริมาตรในแต่ละขวดเป็น 10 มิลลิลิตร

สารละลาย Sulfite-TCM	ปริมาตรสารละลาย sulfite-TCM	ปริมาตร TCM, มิลลิลิตร	ไมโครกรัมทั้งหมดของ SO ₂ (ประมาณ.*)
Working	4.0	6.0	28.8
Working	3.0	7.0	21.6
Working	2.0	8.0	14.4
Dilute working	10.0	0.0	7.2
Dilute working	5.0	5.0	3.6
	0.0	10.0	0.0

*บนพื้นฐานว่า สารละลาย Working sulfite-TCM ให้ความเข้มข้นเท่ากับ 7.2 µg SO₂/มิลลิลิตร จะต้องคำนวณค่า µg SO₂ ทั้งหมดที่แท้จริง จากสมการ 11 ข้างล่าง

ขวดวัดปริมาตรแต่ละขวด เติมกรด Sulfamic ความเข้มข้น 0.6% 1 มิลลิลิตร (หัวข้อ 7.2.1) จากนั้นใช้ปิเปต ดูดสารละลาย Formaldehyde ความเข้มข้น 0.2% 2 มิลลิลิตร อย่างเที่ยงตรง (หัวข้อ 7.2.2) แล้วเติมสารละลาย Pararosaniline 5 มิลลิลิตร (หัวข้อ 7.2.13) เริ่มจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลาที่ตั้งเวลาไว้ 30 นาที แต่ละขวดให้เติมน้ำกลั่นที่เพิ่งเดือดแล้วเย็นลง จนได้ปริมาตร แล้วคนให้ทั่ว และจะเกิดสีขึ้น (ในช่วงเวลา 30 นาที) โดยอุณหภูมิภายนอกอยู่ที่ 20° ถึง 30 °C และควบคุมไม่ให้เกิน +1 °C เพื่อความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น แนะนำให้ใช้ภาชนะใส่น้ำที่มีอุณหภูมิคงที่ในขั้นตอนการเกิดสี เมื่อ 30 นาทีผ่านไป ให้ทำการดูดกลืนแสงที่แก้ค่าแล้ว สำหรับสารละลายมาตรฐานแต่ละตัวที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร เทียบกับน้ำกลั่นอ้างอิง (หัวข้อ 10.1) ให้ค่าการดูดกลืนแสงนี้เป็น (A) ใช้น้ำกลั่นในเซลล์อ้างอิงแทนที่จะใช้ Reagent blank เพราะ Reagent blank มีสภาพไวต่ออุณหภูมิ คำนวณไมโครกรัมทั้งหมดของ SO₂ ในสารละลายแต่ละตัว

$$\mu\text{g SO}_2 = V_{\text{TCM/SO}_2} \times C_{\text{TCM/SO}_2} \times D \quad (11)$$

โดย

$V_{\text{TCM/SO}_2}$ = ปริมาตรของสารละลาย Sulfite-TCM ที่ใช้ หน่วยเป็น มิลลิลิตร

$C_{\text{TCM/SO}_2}$ = ความเข้มข้นของ SO₂ ใน Working sulfite-TCM หน่วยเป็น µg SO₂ ต่อ มิลลิลิตร (จากสมการ 4)

D = ตัวคูณการเจือจาง (D = 1 สำหรับสารละลาย Working sulfite-TCM ; D = 0.1 สำหรับสารละลาย Working sulfite-TCM ที่เจือจางแล้ว)

หาค่าการเปรียบเทียบ ด้วยวิธี Linear least squares (หัวข้อ 11.1) ไมโครกรัมทั้งหมดของ SO_2 ในสารละลายแต่ละตัวคือตัวแปร x และการดูดกลืนแสงที่แก้ค่าแล้ว (สมการ 10) ของสารละลายแต่ละตัวคือตัวแปร y เพื่อให้การเปรียบเทียบนี้มีผลใช้ได้ ความชันจะต้องอยู่ในช่วง 0.030 ± 0.002 absorbance unit ต่อ $\mu g SO_2$ และ intercept ซึ่งเกิดขึ้นด้วยวิธี Least squares จะต้องเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.170 absorbance unit เมื่อเกิดสีขึ้นที่อุณหภูมิ $22^\circ C$ (ทุก $^\circ C$ ที่สูงกว่า $22^\circ C$ ให้บวก 0.015 เพิ่มจาก 0.170) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ต้องมากกว่า 0.998

หากไม่ได้ตามเกณฑ์นี้ อาจเป็นเพราะ dye ไม่บริสุทธิ์ และ/หรือสารละลาย sulfite-TCM ได้รับการ standardize ไม่เหมาะสม หาค่าตัวคูณการเปรียบเทียบ (Calibration factor; Bs) โดยการคำนวณ reciprocal ของความชัน ซึ่งจะนำไปใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของตัวอย่างต่อไป (หัวข้อ 11.3)

9.3 วิธีการเปรียบเทียบแบบ Dynamic (ทางเลือก 2) เตรียมอากาศในบรรยากาศซึ่งมีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ทราบความเข้มข้น โดยใช้ permeation devices ในระบบที่เป็นแหล่งกำเนิดอากาศนี้ permeation device จะปล่อยก๊าซ SO_2 ในอัตราต่ำ คงที่ และทราบอัตราที่แน่นอน ในขณะที่อุณหภูมิของอุปกรณ์คงที่ ($\pm 0.1^\circ C$) และอุปกรณ์นี้จะต้องผ่านการเปรียบเทียบ ณ อุณหภูมิที่ใช้งาน SO_2 จากอุปกรณ์นี้ จะถูกก๊าซนำพาที่แห้ง (Dry carrier gas) ที่มีอัตราการไหลต่ำเข้าสู่ Mixing chamber ซึ่งภายในนั้นจะเกิดการเจือจางด้วยอากาศที่ไม่มี SO_2 จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ เพื่อป้อนเข้าสู่ช่องระบายออกของ Manifold รูปที่ 7 แสดงระบบดังกล่าว อาจเตรียมหรือซื้อ permeation devices แต่ไม่ว่าจะกรณีใด จะสามารถสอบกลับได้กับ National Bureau of Standards (NBS) Standard Reference Material (SRM 1625, SRM 1626, SRM 1627) หรือ NBS/EPA-approved ที่รับรองทางการค้าด้วย Certified Reference Material (CRM) อัตรา Device permeation ระหว่าง 0.2 ถึง 0.4 μg ต่อนาที การไหลของก๊าซเฉื่อยประมาณ 50 มิลลิลิตรต่อนาที และอัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจางระหว่าง 1.1 ถึง 15 ลิตรต่อนาที จะให้บรรยากาศมาตรฐาน ในช่วง 25 ถึง 600 $\mu g SO_2$ ต่อลูกบาศก์เมตร (0.010 ถึง 0.230 ppm)

(9.3.1) การเปรียบเทียบทางเลือก 2A (ตัวอย่างที่เก็บในช่วงเวลา 30 นาทีและ 1 ชั่วโมง) เตรียมบรรยากาศมาตรฐานที่มี SO_2 รวม 6 ความเข้มข้น (คือ 0, 50, 100, 200, 350, 500, 750 $\mu g/m^3$) โดยปรับอัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจางให้เหมาะสม

$$C_a = \frac{P_r \times 10^3}{Q_d + Q_p} \quad (12)$$

โดย

- C_a = ความเข้มข้นของ SO_2 ที่สภาวะมาตรฐาน หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- P_r = Permeation rate หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อนาที
- Q_d = อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจาง หน่วยเป็น ลิตรต่อนาที
- Q_p = อัตราการไหลของก๊าซนำพา ผ่าน Permeation device หน่วยเป็น ลิตรต่อนาที

ให้แน่ใจว่า อัตราการไหลมาตรฐานทั้งหมด สูงกว่าการไหลของอากาศที่ต้องการของชุดเก็บตัวอย่าง โดยมีการระบายการไหลอากาศส่วนเกิน ด้วยความดันบรรยากาศ เก็บตัวอย่างบรรยากาศแต่ละความเข้มข้นด้วยเครื่องมือที่คล้ายกับที่แสดงไว้ในรูปที่ 4 และภายใต้สภาวะเดียวกับการเก็บตัวอย่างในภาคสนาม (ได้แก่ ใช้

สารละลายดูดซึมที่มีปริมาตรเดียวกัน และเก็บตัวอย่างอากาศด้วยปริมาตรเดียวกันโดยใช้อัตราการไหลเดียวกัน) เนื่องด้วยต้องอาศัยเวลาในการเก็บตัวอย่าง จึงไม่แนะนำให้ใช้วิธีนี้สำหรับการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จ ให้ถ่ายสิ่งที่บรรจุอยู่ใน แต่ละ Impinger ใส่ลงในชุดขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร (หากใช้สารละลายดูดซึม 10 มิลลิลิตร) โดยใช้น้ำกลั่นปริมาณเล็กน้อยเพื่อล้าง (น้อยกว่า 5 มิลลิลิตร) หากใช้สารละลายดูดซึมมากกว่า 10 มิลลิลิตร ให้ปรับปริมาตรของสารละลายในหลอดดูดซึม แต่ละ Impinger จนได้ปริมาตรเดิมด้วยน้ำกลั่น และเปิด สารละลาย 10 มิลลิลิตร ของแต่ละ Impinger ใส่ลงในชุดขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร หากไม่เริ่มขั้นตอนการเกิดสีภายใน 12 ชั่วโมงของการเก็บตัวอย่าง ให้เก็บรักษาสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ $5^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ คำนวณไมโครกรัมทั้งหมดของ SO_2 ในสารละลายแต่ละตัวได้ดังนี้

$$\mu g SO_2 = \frac{C_a \times O_s \times t \times V_a \times 10^{-3}}{V_b} \quad (13)$$

โดย

C_a = ความเข้มข้นของ SO_2 ในบรรยากาศมาตรฐาน หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

O_s = อัตราการไหลขณะเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น ลิตรต่อนาที

t = เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น นาที

V_a = ปริมาตรของสารละลายดูดซึมที่ใช้เพื่อการเกิดสี (10 มิลลิลิตร)

V_b = ปริมาตรของสารละลายดูดซึมที่ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น มิลลิลิตร เติมสารละลายที่เหลือเพื่อการเกิดสีด้วยวิธีการเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 9.2 สำหรับสารละลาย Static คำนวณสมการการปรับเทียบ และตัวคูณการปรับเทียบ (B_g) ตามรายละเอียดในหัวข้อ 9.2

(9.3.2) การปรับเทียบ ทางเลือก 2B (ตัวอย่างที่เก็บได้ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง) เตรียมบรรยากาศมาตรฐานที่มีความเข้มข้นประมาณ $1,050 \mu g SO_2$ ต่อลูกบาศก์เมตร และคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสมการ 12 เตรียมชุดหลอดดูดซึม 6 หลอด ตามแสดงในรูปที่ 5 และต่อเข้ากับ Manifold เพื่อเก็บตัวอย่างบรรยากาศมาตรฐาน โดยให้แน่ใจว่าอัตราการไหลมาตรฐานทั้งหมด สูงกว่าการไหลที่ต้องการ ที่ Sample manifold โดยระบายการไหลส่วนเกินออกด้วยความดันบรรยากาศ จากนั้นปล่อยให้หลอดดูดซึมเก็บตัวอย่างบรรยากาศด้วยเวลาต่างๆ กัน เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่างๆ กันดังนี้ 0, 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 และ $2.2 \mu g SO_2$ ต่อมิลลิลิตร ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายดังกล่าว คำนวณได้ดังนี้

$$t = \frac{V_b \times C_s}{C_a \times Q_s \times 10^{-3}} \quad (14)$$

โดย

- t = ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น นาที
 V_b = ปริมาตรของสารละลายดูดซึมที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (50 มิลลิลิตร)
 C_s = ความเข้มข้นที่ต้องการของ SO_2 ในสารละลายดูดซึม หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
 C_a = ความเข้มข้นของบรรยากาศมาตรฐาน คำนวณได้จากสมการ 12 หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 Q_s = อัตราการไหลของการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น ลิตรต่อนาที

เมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จ ให้ปรับปริมาตรของสารละลายในหลอดดูดซึม ให้เป็นปริมาตรเดิมโดยการเติมน้ำกลั่น แล้วปิเปต สารละลาย 10 มิลลิลิตร จากหลอดดูดซึมแต่ละหลอด ใส่ลงในขวดขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร หากไม่เริ่มขั้นตอนการเกิดสีภายใน 12 ชั่วโมงของการเก็บตัวอย่าง ให้เก็บรักษาสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ $5^\circ \pm 5^\circ C$ เติมน้ำกลั่นที่เหลือสำหรับการทำให้เกิดสีตามรายละเอียดในหัวข้อ 9.2 สำหรับสารละลาย Static คำนวณไมโครกรัมของ SO_2 ทั้งหมดสำหรับแต่ละสารละลายมาตรฐานได้ดังนี้

$$\mu g SO_2 = \frac{C_a \times Q_s \times t \times V_a \times 10^{-3}}{V_b} \quad (15)$$

โดย

- V_a = ปริมาตรของสารละลายดูดซึมที่ใช้เพื่อให้เกิดสี (10 มิลลิลิตร)

สำหรับพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้ระบุไว้แล้วในสมการ 14

คำนวณสมการการเปรียบเทียบ และตัวคูณการเปรียบเทียบ (B_p) ตามวิธีในหัวข้อ 9.2

10. การเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่าง

10.1 การเตรียมตัวอย่าง ให้นำตัวอย่างออกจากภาชนะที่ใช้สำหรับการขนส่ง หากการขนส่งกินเวลามากกว่า 12 ชั่วโมงภายหลังการเก็บตัวอย่าง ให้ตรวจสอบว่าอุณหภูมิของตัวอย่างต่ำกว่า $10^\circ C$ นอกจากนี้เปรียบเทียบระดับของตัวอย่างกับเครื่องหมายที่ทำไว้ชั่วคราวบนหลอดดูดซึม หากอุณหภูมิสูงกว่า $10^\circ C$ หรือมีการสูญเสียตัวอย่างขณะการขนส่งอย่างมีนัยสำคัญ (มากกว่า 10 มิลลิลิตร) ให้บันทึกเป็นหมายเหตุไว้และไม่ให้ใช้ตัวอย่างนั้นเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ดังนี้

1) สำหรับตัวอย่างที่เก็บในช่วงเวลา 30 นาทีหรือ 1 ชั่วโมง: ถ่ายสารละลายดูดซึมทั้ง 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย (น้อยกว่า 5 มิลลิลิตร)

2) สำหรับตัวอย่างที่เก็บในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง: หากปริมาตรของตัวอย่างน้อยกว่าปริมาตรเดิมคือ 50 มิลลิลิตร (ดูเครื่องหมายถาวรบนหลอดดูดซึม) ให้ปรับปริมาตรไปเป็นปริมาตรเดิมด้วยการเติมน้ำกลั่นเพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยไปขณะเก็บตัวอย่าง หากปริมาตรสุดท้ายมากกว่าปริมาตรเดิม ให้วัดปริมาตรด้วย Graduated cylinder ในการวิเคราะห์ใช้ปิเปต ดูดสารละลาย 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร

10.2 การวิเคราะห์ตัวอย่าง ในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง ให้เตรียม reagent blank โดยเติมสารละลายดูดซึม TCM 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร และ control standards ให้มี SO_2 ประมาณ 5 และ 15 $\mu\text{g SO}_2$ ตามลำดับ ทั้งนี้เตรียม Control standards ตามรายละเอียดในหัวข้อ 10.2 หรือ 10.3 ดำเนินการวิเคราะห์ได้ดังนี้

- 1) ปล่อยให้ตัวอย่างทิ้งไว้ 20 นาทีหลังการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ไอโซนสลายตัว (หากเหมาะสม)
- 2) ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร แต่ละขวดที่บรรจุด้วย Reagent blank ตัวอย่าง หรือ สารละลายมาตรฐานควบคุม ให้เติมกรด Sulfamic ความเข้มข้น 0.6% 1 มิลลิลิตร (หัวข้อ 7.2.1) แล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ 10 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา
- 3) ใช้ปิเปต ดูดสารละลาย Formaldehyde ความเข้มข้น 0.2% 2 มิลลิลิตร อย่างเที่ยงตรง (หัวข้อ 7.2.2) และสารละลาย pararosaniline 5 มิลลิลิตร (หัวข้อ 7.2.13) ใส่ลงในแต่ละขวด เริ่มจับเวลา 30 นาทีด้วยนาฬิกาจับเวลา
- 4) ใช้น้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้วเย็นลง ปรับปริมาตรในแต่ละขวดให้ได้ปริมาตร แล้วคนให้ทั่ว
- 5) ในช่วงเวลา 30 นาที สารละลายจะต้องอยู่ภายใต้อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมไว้ในช่วง 20° ถึง 30°C ไม่ให้เกิน $\pm 1^\circ\text{C}$ ขณะการเปรียบเทียบให้ควบคุมอุณหภูมิเดียวกันนี้ไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน 1°C ด้วยเช่นกัน
- 6) ภายหลัง 30 นาที และก่อนหน้า 60 นาที ให้ทำการดูดกลืนแสงที่แก้ค่าแล้ว (สมการ 10) สำหรับสารละลายแต่ละตัว ที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร โดยใช้เซลล์ที่มี Optical path length ยาว 1 เซนติเมตร เทียบกับน้ำกลั่นอ้างอิง (หัวข้อ 9.1) (ใช้น้ำกลั่นเพื่อการอ้างอิงแทนที่จะใช้ Reagent blank เนื่องจาก Reagent blank มีสภาพไวต่ออุณหภูมิ)
- 7) อย่าปล่อยให้สารละลายที่เกิดสีแล้ว ไว้ในเซลล์เพราะอาจเกิดแผ่นฟิล์มพอกสะสม เมื่อใช้งานแล้วให้ทำความสะอาดเซลล์ด้วย Isopropyl alcohol
- 8) Intercept จากสมการการเปรียบเทียบ ที่ได้ตามรายละเอียดในหัวข้อ 9 ของ Reagent blank จะต้องมีค่าเท่ากับ 0.03 absorbance units

10.3 ช่วงการดูดกลืนแสง หากการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง อยู่ในช่วง 1.0 และ 2.0 สามารถเจือจางตัวอย่างกับ Reagent blank ด้วยสัดส่วน 1:1 แล้วหาค่าการดูดกลืนแสงอีกครั้งภายใน 5 นาที สารละลายที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงกวานั้น สามารถเจือจางได้มากถึง 6 เท่าด้วย Reagent blank เพื่อให้ได้สเกลการอ่านน้อยกว่า 1.0 absorbance unit อย่างไรก็ตามแนะนำว่า หากจะเจือจางตัวอย่างมากกว่า 1:1 ก็ให้นำตัวอย่างเดิมในปริมาตรเล็กน้อย (น้อยกว่า 10 มิลลิลิตร) มาวิเคราะห์อีกครั้ง (หากเป็นไปได้)

10.4 การกำจัดสารละลายเคมี จะต้องเก็บรักษาและกำจัดสารละลายเคมีทั้งหมดที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบ ตามวิธีการที่แสดงไว้ในหัวข้อ 13 ก่อนการกำจัด ทั้งนี้สามารถเก็บรักษาสารละลายที่จะกำจัดไว้ในภาชนะแก้วปิด และควรทิ้งไว้ใน Fume hood

11. การคำนวณ

11.1 ความชันของการเปรียบเทียบ, จุดตัดบนแกน y (Intercept), และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ใช้วิธี least squares เพื่อการคำนวณหาสมการการเปรียบเทียบ ดังนี้

$$y = mx + b \quad (16)$$

โดย

- y = การดูดกลืนแสงที่แก้ค่าแล้ว
- m = ความชัน หน่วยเป็น absorbance unit ต่อ $\mu\text{g SO}_2$
- x = ไมโครกรัมของ SO_2
- b = Intercept (absorbance units).

คำนวณความชัน (m) จุดตัดบนแกน y (b) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ได้จาก

$$m = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (17)$$

$$b = \frac{\sum y - m\sum x}{n} \quad (18)$$

$$r = \left(\frac{m(\sum xy - \sum x\sum y/n)}{\sum y^2 - (\sum y)^2/n} \right)^{1/2} \quad (19)$$

โดย n คือจำนวนจุดในการเปรียบเทียบ
การคำนวณความชัน, จุดตัดบนแกน y (Intercept) และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วยมือ หากใช้ฟอร์มข้อมูล (รูปที่ 8) เพื่อจัดการข้อมูลการเปรียบเทียบได้ง่ายขึ้น

11.2 ปริมาตรตัวอย่างทั้งหมด หาปริมาตรที่เก็บตัวอย่างทั้งหมด ภายใต้สภาวะมาตรฐานได้ดังนี้

$$V_{\text{std}} = \frac{Q_i + Q_f}{2} \times t \quad (20)$$

โดย

- V_{std} = ปริมาตรที่เก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น ลิตร
 Q_i = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน วัดค่าขณะเริ่มเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น ลิตรต่อนาที
 Q_f = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน วัดค่าเมื่อเก็บตัวอย่างเสร็จสมบูรณ์ หน่วยเป็น ลิตรต่อนาที
 t = ระยะเวลาทั้งหมดของการเก็บตัวอย่าง หน่วย นาที

11.3 ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ คำนวณและรายงานค่าความเข้มข้นของแต่ละตัวอย่าง ได้ดังนี้

$$\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3 = \frac{(A - A_o)(B_x)(10^3)}{V_{std}} \times \frac{V_b}{V_a} \quad (21)$$

โดย

- A = การดูดกลืนแสงที่แก้ค่าแล้ว ของสารละลายตัวอย่าง จากสมการ (10)
 A_o = การดูดกลืนแสงที่แก้ค่าแล้ว ของ Reagent blank ใช้สมการ (10)
 B_x = ตัวคูณการเปรียบเทียบ เท่ากับ B_s , B_g หรือ B_t ขึ้นอยู่กับวิธีการเปรียบเทียบที่ใช้ จำนวนเลขตรงกันข้าม (reciprocal) ของความชันในสมการการเปรียบเทียบ
 V_a = ปริมาตรของสารละลายในหลอดดูดซึมที่วิเคราะห์ หน่วยเป็น มิลลิลิตร
 V_b = ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายในหลอดดูดซึม (ดูข้อ 10.1-2) หน่วยเป็น มิลลิลิตร
 V_{std} = ปริมาตรอากาศมาตรฐานที่เก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น ลิตร (จากหัวข้อ 11.2)

11.4 Control standard คำนวณปริมาณไมโครกรัมของ SO_2 สำหรับ Control standard แต่ละตัวได้ดังนี้

$$C_q = (A - A_o) \times B_x \quad (22)$$

โดย

- C_q = $\mu\text{g SO}_2$ ที่วิเคราะห์ได้ของ Control standard แต่ละตัว
 A = Corrected absorbance ของ Control standard
 A_o = Corrected absorbance ของ Reagent blank.

ความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริง กับที่วิเคราะห์ได้ จะต้องไม่มากกว่า $1 \mu\text{g}$ หากมากกว่า จะต้องระบุแหล่งที่มาของความแตกต่างชัดเจนและดำเนินการแก้ไข

11.5 การแปลงค่า $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็น ppm (v/v) หากต้องการสามารถแปลงค่าความเข้มข้นของ Sulfur dioxide ภายใต้อากาศอ้างอิง เป็น ppm SO_2 (v/v) ได้ดังนี้

$$\text{ppm SO}_2 = \frac{\mu\text{g SO}_2}{\text{m}^3} \times 3.82 \times 10^{-4} \quad (23)$$

12. จะต้องบำบัดและกำจัดสารละลายดูดซึม TCM และ reagents ใดๆ ที่ปนเปื้อนด้วยสารประกอบปรอท ด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งตามที่แสดงไว้ต่อไปนี้ ทั้ง 2 วิธี สามารถกำจัดปรอท ได้มากกว่า 99.99%

12.1 การกำจัดสารละลายที่มีปรอทปนเปื้อน

12.2 วิธีสำหรับการเกิด Amalgam

1) นำสารละลายที่ไม่ใช้แล้วในภาชนะที่ไม่ปิดฝา ไปไว้ใน Hood
2) สำหรับสารละลายที่ไม่ใช้แล้วแต่ละลิตร ให้เติม Sodium carbonate ประมาณ 10 กรัม จนกระทั่งเป็นกลาง (neutralization) (อาจไม่ต้องใช้ NaOH)

3) หลังจากการทำให้เป็นกลางแล้ว ให้เติม Granular zinc หรือ Magnesium 10 กรัม

4) คนสารละลายใน Hood เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ระมัดระวังเพราะด้วยวิธีบำบัดนี้จะมี ก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้น

5) เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ปลอยทิ้งสารละลายไว้โดยไม่ต้องคน เพื่อให้เกิด Mercury amalgam (วัสดุสีดำแข็ง) และตกตะกอนสู่พื้นก้นของภาชนะที่ใส่

6) ขณะตกตะกอน ให้ถ่ายและทิ้งส่วนที่เป็นของเหลว

7) ถ่ายปริมาณสารที่เป็นของแข็งไปยังภาชนะ และปลอยทิ้งให้แห้ง

8) อาจส่งสารของแข็งไปยัง Mercury reclaiming plant ต้องไม่ทิ้งสารนี้

12.3 วิธีที่ใช้แผ่นอลูมิเนียม ฟอยล์

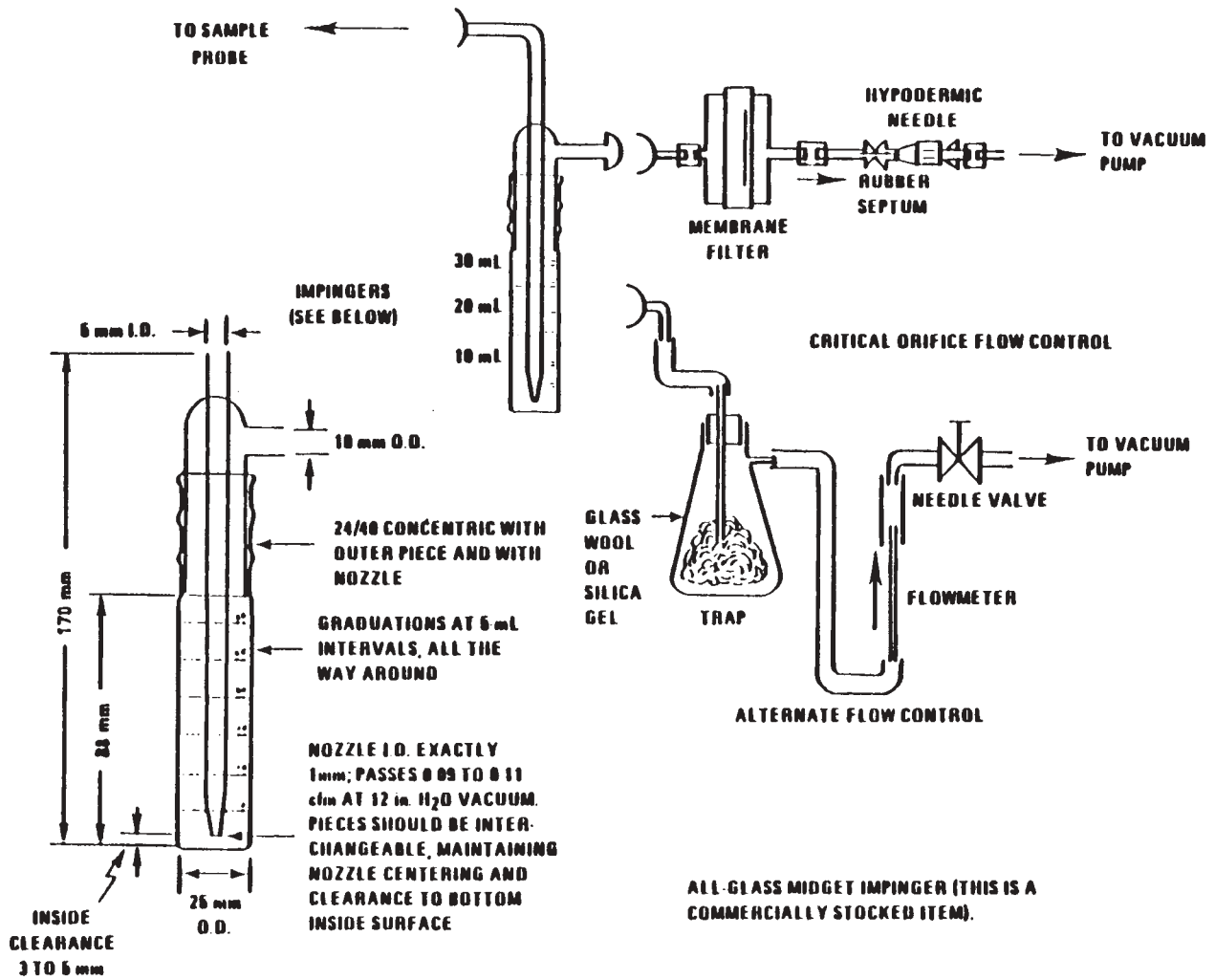
1) นำสารละลายที่ไม่ใช้แล้วที่อยู่ในภาชนะที่ไม่ปิดฝา วางไว้ใน Hood

2) สำหรับสารละลายที่ไม่ใช้แล้วแต่ละลิตร ให้เติม Aluminum foil strips ประมาณ 10 กรัม หาก Aluminum ทั้งหมดสลายตัวไป แต่ไม่เกิดก๊าซ ให้เติม foil เพิ่มอีก 10 กรัม ทำซ้ำจน foil ไม่สลายตัวเพิ่ม และเกิดก๊าซภายใน 24 ชั่วโมง

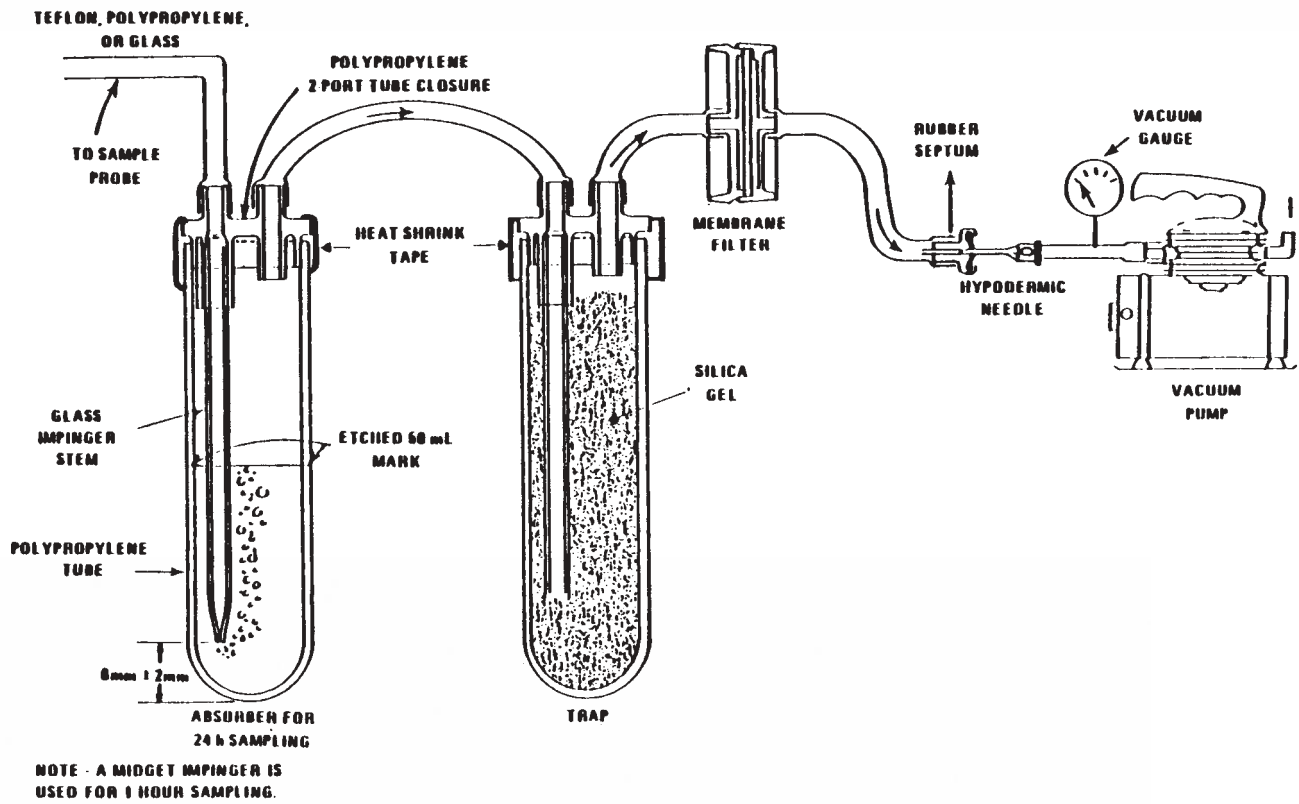
3) ถ่ายส่วนที่เป็นของเหลว และทิ้ง

4) ถ่ายธาตุของปรอทที่ตกสู่พื้นก้นภาชนะไว้ในภาชนะเพื่อจัดเก็บ

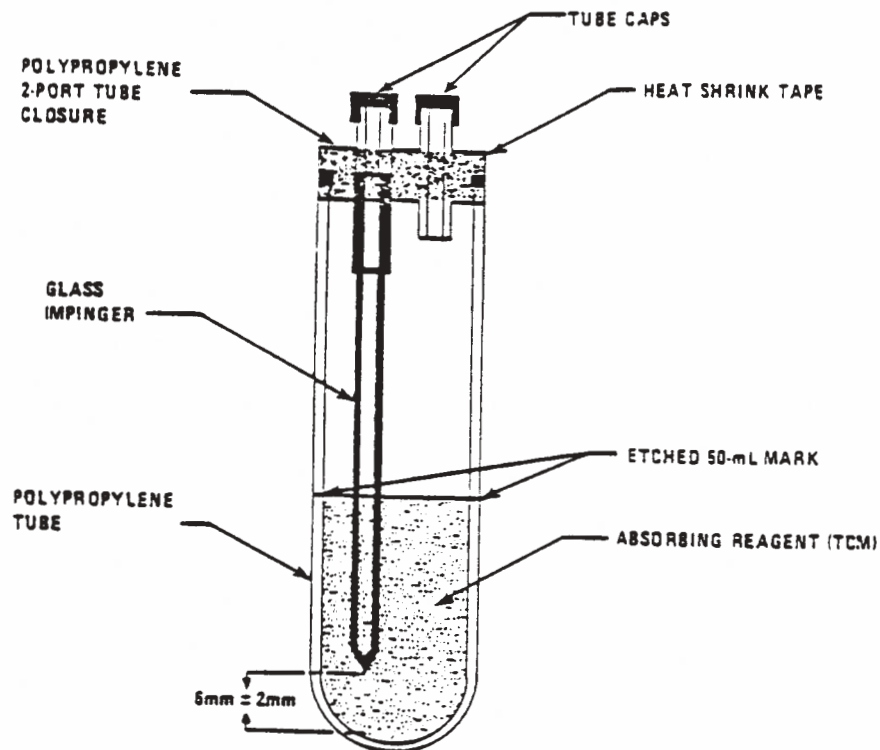
5) อาจส่งสารของแข็งไปยัง Mercury reclaiming plant ต้องไม่ทิ้งสารนี้



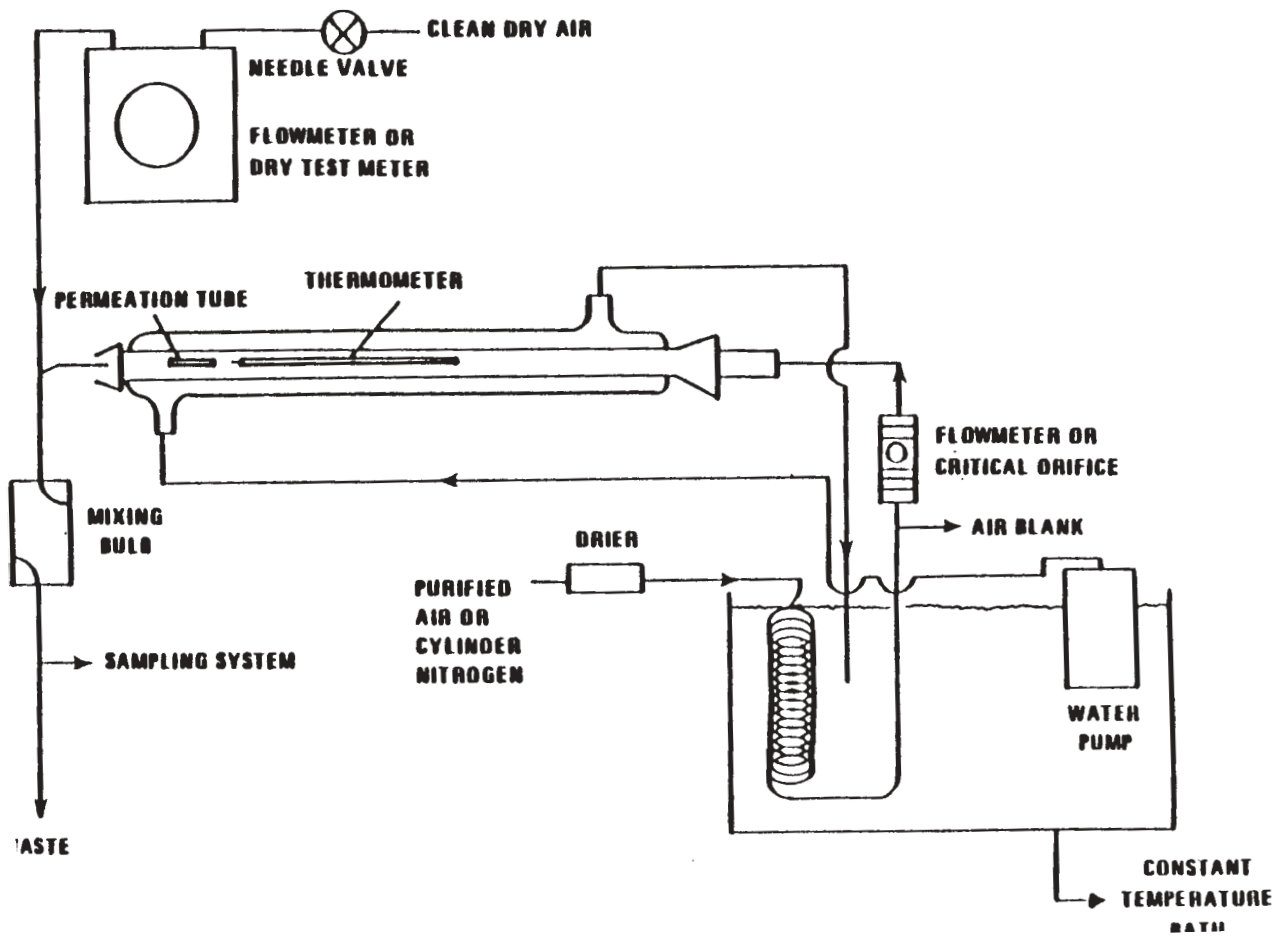
รูปที่ 4 ระบบการเก็บตัวอย่างช่วงเวลาดำเนิน



รูปที่ 5 ระบบการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 6 การเตรียมหลอดดูดซึม (Absorber) สำหรับการขนส่ง



รูปที่ 7 ระบบของ Permeation tube สำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการ

ฟอร์มข้อมูล
[สำหรับการคำนวณ]

ลำดับจุดการเปรียบเทียบ	ไมโครกรัมของ SO ₂	Absorbance units			
	(x)	(y)	x	xy	y
1.....
2.....
3.....
4.....
5.....
6.....

$\Sigma x =$ ___ $\Sigma y =$ ___ $\Sigma x^2 =$ ___ $\Sigma xy =$ ___ $\Sigma y^2 =$ ___ $n =$ ___ (จำนวนคู่ของ coordinates.)

รูปที่ 8 แบบฟอร์มข้อมูลสำหรับการคำนวณด้วยมือ

บทที่ 4

หลักการตรวจวัดและขั้นตอนการเปรียบเทียบสำหรับการตรวจวัดก๊าซโอโซน ด้วยวิธี เคมีลูมิเนสเซน (Chemiluminescence)

หลักการตรวจวัด

การตรวจวัดอาศัยหลักการผ่านอากาศในบรรยากาศ และ ethylene เข้าสู่บริเวณผสม (Mixing zone) พร้อมกัน ซึ่งบริเวณดังกล่าวโอโซนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับ Ethylene และปล่อยแสงออกมา สามารถวัดแสงนั้นได้ด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube) โดยกระแสของแสง (Photocurrent) ที่ได้จะถูกขยาย และอ่านค่าโดยตรงหรือแสดงค่าบนเครื่องบันทึก

การเปรียบเทียบเครื่องตรวจวัด

1. หลักการ

วิธีการเปรียบเทียบเครื่องมือ โดยการตรวจวัดความเข้มข้นของโอโซนด้วยการวัดแสง ในระบบที่มีการไหลอย่างพลวัต (Dynamic flow system) โดยหาค่าความเข้มข้นของโอโซนที่อยู่ในเซลล์ดูดกลืนแสง (Absorption cell) จากการวัดปริมาณของแสงที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ที่ถูกตัวอย่างดูดกลืนไว้ ในการหาค่าดังกล่าว ต้องรู้ค่าอื่นๆ ด้วย ดังนี้ (1) ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง (Absorption coefficient; a) ของโอโซนที่ 254 นาโนเมตร (2) ระยะทางความยาวของทางเดินแสง (Optical path length; l) (3) ค่าทรานสมิตแทนซ์ (Transmittance) ของตัวอย่างที่มีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และ (4) อุณหภูมิ (T) และความดัน (P) ของตัวอย่าง ค่าทรานสมิตแทนซ์ หาได้จากอัตราส่วนของ I/I_0 เมื่อ I คือ ความเข้มของแสงที่ผ่านเซลล์ และเครื่องวัดแสง (Detector) สามารถวัดค่าได้ เมื่อเซลล์นั้นมีตัวอย่างโอโซนบรรจุอยู่ภายใน และ I_0 คือ ความเข้มของแสงที่ผ่านเซลล์ และสามารถวัดค่าได้ด้วยเครื่องวัด เมื่อเซลล์นั้นมี Zero air บรรจุอยู่ภายใน ทั้งนี้สมมุติว่า สภาวะทั้งหมดของระบบ (ยกเว้นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในเซลล์ดูดกลืนแสง) มีสภาวะเดียวกันกับสภาวะขณะวัดค่า I และ I_0 ทั้งนี้ปริมาณของแสงที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น มีความสัมพันธ์ภายใต้กฎการดูดกลืนแสงของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert) ดังนี้

$$\text{Transmittance} = \frac{I}{I_0} = e^{-\alpha c l} \quad (1)$$

โดย

a = ค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสงของโอโซนที่ 254 นาโนเมตร = 308 ± 4 ต่อหนึ่งบรรยากาศ (atm^{-1}) ต่อหนึ่งเซนติเมตร (cm^{-1}) ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความกดของอากาศ 760 ทอร์.

c = ความเข้มข้นของโอโซนในบรรยากาศ

l = ระยะความยาวของทางเดินแสง หน่วยเป็น เซนติเมตร

ในทางปฏิบัติ จะใช้เครื่องกำเนิดโอโซนที่ผลิตโอโซนในระดับคงที่ เป็นแหล่งผลิตโอโซนที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ครอบคลุมช่วงความเข้มข้นที่ต้องการ โดยแต่ละความเข้มข้นของโอโซน หาได้จากการวัดค่าทรานสมิตเทนซ์ (I/I_0) ของตัวอย่างที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร โดยเครื่องเทียบแสง (Photometer) ที่มีระยะความยาวของทางเดินแสง เป็น l และคำนวณค่าจากสมการข้างต้น

$$c(\text{atm}) = \frac{1}{\alpha l} (\ln I/I_0) \quad (2a)$$

หรือ

$$c(\text{ppm}) = \frac{10^6}{\alpha l} (\ln I/I_0) \quad (2b)$$

ความเข้มข้นของโอโซนที่คำนวณได้ จะต้องปรับแก้ค่าเพื่อชดเชยโอโซนที่สูญเสียไป ซึ่งอาจเกิดขึ้นในเครื่องเทียบแสง และให้สอดคล้องกับอุณหภูมิและความดันของตัวอย่าง

2. การนำไปใช้

วิธีการปฏิบัติสำหรับการเปรียบเทียบนี้ จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบเครื่องวัดโอโซนในบรรยากาศ ด้วยการวัดค่าโดยตรงหรือใช้ชุดเปรียบเทียบที่ผ่านการปรับเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard) ที่เรียกว่า Transfer standard

3. เครื่องมือ/อุปกรณ์

ระบบการเทียบแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ที่สมบูรณ์ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดโอโซน Output port หรือ Manifold เครื่องเทียบแสง แหล่งกำเนิด Zero air ที่เหมาะสม และองค์ประกอบอื่นๆ ที่จำเป็น รูปแบบของเครื่องมือจะต้องส่งผลให้ Output ของระบบมีความเข้มข้นของโอโซนในระดับคงที่ อีกทั้งส่งผลให้เครื่องเทียบแสงสามารถตรวจวัดความเข้มข้นของ Output ได้อย่างแม่นยำในระดับความเที่ยงตรงตามที่กำหนดไว้สำหรับเครื่องเทียบแสงนั้นๆ รูปที่ 9 แสดงรูปแบบที่ใช้และวิธีการปรับเทียบตามรูปแบบที่กล่าวถึง หากใช้รูปแบบอื่นอาจต้องมีการดัดแปลงขั้นตอนต่างๆ บ้าง อุปกรณ์ชิ้นต่างๆ ในระบบการปรับเทียบที่ต่อเข้าด้วยกันถัดจากเครื่องกำเนิดโอโซน

ควรทำด้วยแก้ว Teflon หรือวัสดุเฉื่อยอื่น สำหรับการรับรอง Transfer standards ที่มีเครื่องกำเนิดไอโซนรวมอยู่ด้วยนั้น อาจใช้ Transfer standard ตัวนั้นแทนเครื่องกำเนิดไอโซน และอาจเป็นไปได้ที่จะใช้แทนองค์ประกอบอื่นได้ด้วยตามที่แสดงในรูปที่ 9

3.1 เครื่องเทียบแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV Photometer): เครื่องเทียบแสงประกอบด้วยหลอดไอปรอทที่มีความดันต่ำ Collimation optics (อาจไม่มีก็ได้) เซลล์ดูดกลืนแสง เครื่องวัดแสง และการประมวลผลสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9 โดยจะต้องสามารถวัดค่า I/I₀ ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ได้ด้วยความเที่ยงตรง โดยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นที่วัดได้ต้องไม่เกินกว่า 0.005 ส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือ 3%ของความเข้มข้น เนื่องจากหลอดไฟไอปรอทที่มีความดันต่ำ สามารถให้แสงที่มีหลายความยาวคลื่น ดังนั้นเครื่องเทียบแสงที่เหมาะสม ควรเป็นเครื่องที่ไม่ทำให้เกิดไอโซนขึ้นจากหลอดไฟภายในเซลล์ อีกทั้งอย่างน้อย 99.5%ของรังสีที่เครื่องวัดแสงสามารถวัดได้ จะต้องเป็นรังสีที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (ทำได้โดยเลือก optical filter และลักษณะการตอบสนองของเครื่องวัดแสงอย่างรอบคอบ) ระยะเวลาที่แสงผ่านที่ผ่านเซลล์ดูดกลืนแสง จะต้องมีความแม่นยำอย่างน้อย 99.5% นอกจากนี้เซลล์ และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ประกอบต่างๆของระบบจะต้องได้รับการออกแบบให้ลดการสูญเสียไอโซนจากการสัมผัสกับผนังเซลล์ และการรักษาองค์ประกอบของก๊าซ

3.2 อุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมการไหลของอากาศตามที่ต้องการ เพื่อให้ Output ที่ได้มีค่าคงที่ และเป็นไปตามข้อกำหนดความเที่ยงตรงของเครื่องเทียบแสง

3.3 เครื่องกำเนิดไอโซน เป็นเครื่องที่สามารถผลิตไอโซนให้มีระดับคงที่ครอบคลุมช่วงความเข้มข้นต่างๆที่ต้องการ

3.4 Output manifold ควรทำจากแก้ว Teflon หรือวัสดุที่ค่อนข้างเฉื่อยอื่น และควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงพอ เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิด Pressure drop ที่บริเวณเชื่อมต่อของเครื่องเทียบแสง และOutput ports อื่นๆ ระบบจะต้องมีท่อระบายอากาศที่ได้รับการออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าความดันภายใน Manifold นั้น เป็นความดันบรรยากาศ อีกทั้งป้องกันไม่ให้อากาศในบรรยากาศไหลเข้าสู่ Manifold ได้

3.5 วาล์วสองทาง เป็นวาล์วอัตโนมัติหรือไม่อัตโนมัติ หรืออุปกรณ์อื่นที่สามารถสลับการไหลระหว่าง zero air กับ ไอโซน ผ่านเครื่องเทียบแสงได้

3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ มีความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส

3.7 บาร์โรมิเตอร์ หรือเครื่องวัดความกดของอากาศ มีความแม่นยำ ± 2 ทอร์

4. สารเคมี

4.1 Zero air ต้องเป็นอากาศที่ปราศจากสิ่งปนเปื้อนที่จะส่งผลต่อการตอบสนองของเครื่องวัดไอโซน และควรปราศจาก NO₂, C₂H₄ และก๊าซอื่นที่จะทำปฏิกิริยากับไอโซน ทั้งนี้ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 9 Zero air ที่ป้อนเข้าสู่เซลล์ของเครื่องเทียบแสง เพื่อใช้ในการวัด I₀ อ้างอิง นั้น จะต้องมาจากแหล่งเดียวกันกับ Zero air ที่ใช้ในการผลิตไอโซนตามความเข้มข้นที่ต้องการวัด(การวัดค่า I)

5. ขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบ

5.1 การปฏิบัติทั่วไป เครื่องเทียบแสงที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ จะต้องใช้เพื่อการเปรียบเทียบมาตรฐานเท่านั้น ควรใช้ก๊าซเปรียบเทียบที่ผ่านการกรองและสะอาดเสมอ และไม่เคยใช้เก็บตัวอย่างอากาศในบรรยากาศมาก่อนนอกจากนี้ยังมีข้อพิจารณาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสถานที่จัดวางเครื่องเทียบแสงที่ใช้ในการเปรียบเทียบ โดยให้อยู่ในห้องปฏิบัติการที่สะอาด ไม่เคลื่อนย้าย ได้รับการป้องกันจากการสั่นสะเทือนทางกายภาพ ผู้วิเคราะห์ที่มีความรับผิดชอบเป็นผู้ใช้เครื่อง และใช้เป็นมาตรฐานพื้นฐาน ในการเปรียบเทียบในภาคสนามทั้งหมด โดยใช้ Transfer standards

5.2 การเตรียมการ สิ่งสำคัญที่จะนำไปสู่ความแม่นยำของวิธีปฏิบัตินี้ คือ การทำงานได้อย่างเหมาะสมของเครื่องเทียบแสง ขั้นตอนต่อไปนี้จะช่วยในการตรวจสอบการปฏิบัติงานที่เหมาะสมดังกล่าวได้โดย ไม่จำเป็นต้องดำเนินการขั้นตอนเหล่านั้นก่อนการใช้เครื่องเทียบแสงแต่ละครั้ง ในการใช้งานเครื่องเทียบแสงช่วงแรกควรดำเนินการขั้นตอนนั้นบ่อยๆ โดยให้แสดงผลการอ่านค่าเชิงปริมาณทั้งหมด อาจแสดงผลไว้ในรูปของตาราง หรือพล็อตในรูปของกราฟ เมื่อเครื่องเทียบแสงแสดงให้เห็นว่ามีเสถียรภาพดีแล้ว อาจลดความถี่ของการดำเนินการขั้นตอนเหล่านี้ให้สอดคล้องกับเสถียรภาพของเครื่องเทียบแสง

(5.2.1) คู่มือการปฏิบัติงาน ดำเนินการติดตั้ง และปรับเปลี่ยนหรือตรวจเช็ค ตามที่อธิบายไว้ในคู่มือการใช้งานและคำแนะนำของเครื่องเทียบแสง

(5.2.2) การตรวจสอบระบบ ตรวจเช็คระบบของเครื่องเทียบแสง ได้แก่ ความสมบูรณ์ ทั้งหมดของเครื่อง (Integrity) การรั่วไหล ความสะอาด อัตราการไหลที่เหมาะสม เป็นต้น บำรุงรักษาหรือเปลี่ยนกระดาษกรอง และ Zero air scrubbers หรือวัสดุสิ้นเปลืองอื่น ๆ ตามจำเป็น

(5.2.3) สภาพเชิงเส้น (Linearity): ตรวจสอบว่าผู้ผลิตเครื่องเทียบแสง ผลิตเครื่องที่มีความผิดพลาดของสภาพเชิงเส้นน้อยกว่า 3% หรือทดสอบสภาพเชิงเส้นด้วยวิธีการเจือจางดังนี้: ผลิตและวัดค่าความเข้มข้นของไอโซนที่อยู่ใกล้กับขีดจำกัดระดับบน (Upper range limit) ของระบบ (0.5 หรือ 1.0 ส่วนในล้านส่วน) จากนั้นเจือจางความเข้มข้นนั้นอย่างเที่ยงตรงด้วย Zero air แล้ววัดค่าอีกครั้ง ดำเนินการซ้ำโดยใช้หลายอัตราส่วนในการเจือจาง แล้วเปรียบเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นที่วัดได้ กับความเข้มข้นที่เจือจางแล้ว จากนั้นหารด้วยอัตราส่วนที่ใช้เจือจาง ดังนี้

$$E = \frac{A_1 - A_2/R}{A_1} \times 100\%$$

(3)

โดย

E = ความผิดพลาดสภาพเชิงเส้น หน่วยเป็น ร้อยละ

A_1 = ความเข้มข้นเริ่มต้น

A_2 = ความเข้มข้นที่เจือจางแล้ว

R = อัตราส่วนการเจือจาง = การไหลของความเข้มข้นเริ่มต้น หารด้วย การไหลทั้งหมด ความผิดพลาดสภาพเชิงเส้น จะต้องน้อยกว่า 5% เนื่องจากความเที่ยงตรงของอัตราการไหลที่วัดได้ จะส่งผลต่อความผิดพลาดสภาพเชิงเส้นจากการวัดด้วยวิธีนี้ ดังนั้นวิธีทดสอบนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้เป็นข้อสรุป

(5.2.4) การเปรียบเทียบระหว่างกัน หากเป็นไปได้ ควรมีการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องเทียบแสงด้วยกัน อาจเปรียบเทียบโดยตรงหรือผ่าน Transfer standards กับเครื่องเทียบแสงที่ใช้ในการเปรียบเทียบที่ใช้ตามหน่วยงานหรือห้องปฏิบัติการอื่นๆ

(5.2.5) โอโซนที่สูญเสียไป โอโซนบางส่วนอาจสูญเสียไปจากการสัมผัสกับผนังเซลล์ของเครื่องเทียบแสงและการรักษาองค์ประกอบของก๊าซ ซึ่งต้องหาโอโซนที่สูญเสียไป และนำมาปรับแก้ค่าความเข้มข้นของโอโซนที่คำนวณได้ โดยการสูญเสียของโอโซนต้องไม่เกิน 5%

5.3 การวัดความเข้มข้นโอโซน

(5.3.1) อุณหภูมิของเครื่องวัดแสง และปล่อยให้เครื่องมีเสถียรภาพดี

(5.3.2) ตรวจสอบอัตราการไหลที่ผ่านเซลล์ดูดกลืนแสงของเครื่องเทียบแสง, F นั้น ทำให้สิ่งที่อยู่ภายในเซลล์ถูกไล่ออกด้วยช่วงเวลาสั้นๆ ที่เหมาะสม (การไหลปกติ คือ 2 ลิตร/นาท) ความเที่ยงตรงของการวัดจะสัมพันธ์ผกผันกับเวลาที่ใช้ในการไล่สิ่งที่อยู่ในเซลล์ออก ดังนั้นความผิดพลาดของเครื่องเทียบแสงจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามเวลาเพิ่มขึ้น

(5.3.3) ดำเนินการให้แน่ใจว่า อัตราการไหลเข้าสู่ Output manifold อย่างน้อย คือ 1 ลิตร/นาท มากกว่าอัตราการไหลทั้งหมดที่เครื่องเทียบแสงต้องการ และการไหลที่ต้องการ อื่นๆ ที่ต่อเข้ากับ Manifold

(5.3.4) ดำเนินการให้แน่ใจว่า อัตราการไหลของ Zero air หรือ F_z นั้น คือ อย่างน้อย 1 ลิตร/นาท มากกว่าอัตราการไหลที่เครื่องเทียบแสงต้องการ

(5.3.5) ขณะที่ Zero air ไหลอยู่ใน Output manifold นั้น ให้ปรับวาล์วสองทาง เพื่อปล่อยให้เครื่องเทียบแสงเก็บตัวอย่าง Zero air ใน Manifold ก่อน จากนั้นค่อยเก็บตัวอย่างที่ F_z ทั้งนี้ค่าทั้งสองที่วัดได้อ่านจากเครื่องเทียบแสงต้องเท่ากัน ($I = I_0$)

ข้อสังเกต - สำหรับเครื่องเทียบแสงที่มีในห้องตลาดบางตัวนั้น อาจมีการทำงานของวาล์วสองทาง และการทำงานต่างๆ ที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3 แบบโดยอัตโนมัติ

(5.3.6) ปรับเครื่องกำเนิดโอโซน ให้ผลิตโอโซน ณ ความเข้มข้นที่ต้องการ

(5.3.7) ปรับวาล์วสองทาง เพื่อปล่อยให้เครื่องเทียบแสงเก็บตัวอย่าง Zero air จนกระทั่งเซลล์ดูดกลืนแสงถูกไล่อากาศออกจนหมด แล้วบันทึกค่าคงที่ของ I_0 ที่วัดได้

(5.3.8) ปรับวาล์วสองทาง เพื่อปล่อยให้เครื่องเทียบแสงเก็บตัวอย่างความเข้มข้นโอโซน จนกระทั่งเซลล์ดูดกลืนแสงถูกไล่อากาศออกจนหมด แล้วบันทึกค่าคงที่ของ I ที่วัดได้

(5.3.9) บันทึกอุณหภูมิและความดันของตัวอย่างในเซลล์ดูดกลืนแสงของเครื่องเทียบแสง

(5.3.10) คำนวณความเข้มข้นของโอโซนจากสมการ 4 ค่าเฉลี่ยจากการวัดหลายๆ ครั้ง ทำให้มีความเที่ยงตรงมากขึ้น

$$[O_3]_{out} = \left(\frac{-1}{\alpha} \frac{\ln I}{I_0} \right) \left(\frac{T}{273} \right) \left(\frac{760}{P} \right) \times \frac{10^6}{L} \quad (4)$$

โดย

$[O_3]_{OUT}$ = ความเข้มข้นโอโซน หน่วยเป็น ส่วนในล้านส่วน

a = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของโอโซน ที่ 254 นาโนเมตร = 308 ต่อหนึ่งบรรยากาศ ต่อ หนึ่งเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความกดของอากาศ 760 ทอร์

I = ความยาวของทางเดินแสง (Optical path) หน่วยเป็น เซนติเมตร

T = อุณหภูมิของตัวอย่าง หน่วยเป็น เคลวิน

P = ความดันของตัวอย่าง หน่วยเป็น ทอร์

L = ตัวคูณในการปรับแก้ค่าให้ถูกต้อง สำหรับโอโซนที่สูญเสียไปจากข้อ 5.2.5 = $(1 - \text{fraction } O_3 \text{ lost})$

ข้อสังเกต - สำหรับเครื่องเทียบแสงที่มีขายในท้องตลาดบางตัว อาจประเมินค่าสมการ 4 ทั้งหมด หรือบางส่วน ได้โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ผู้ใช้เครื่องจะต้องรับผิดชอบในการหาค่าของข้อมูลทั้งหมดที่แสดงไว้ในสมการ 4 ให้ได้ ไม่ว่าจะโดยอัตโนมัติหรือไม่อัตโนมัติ สำหรับเครื่องเทียบแสงอัตโนมัติสามารถประเมินค่าเทอมแรกของสมการ 4 ด้วยการประมาณเชิงเส้น ทั้งนี้ต้องปรับแก้ค่าความถูกต้องก่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ค่าความเข้มข้นโอโซนสูงๆ ทั้งนี้ให้ศึกษาวิธีการจากคู่มือการใช้เครื่องเทียบแสง

(5.3.11) เตรียมโอโซนที่มีความเข้มข้นมาตรฐานเพิ่มเติมได้ตามความจำเป็นโดยปฏิบัติซ้ำขั้นตอน 5.3.6 ถึง 5.3.10 หรือด้วย ทางเลือก 1

5.4 การรับรอง Transfer standards: Transfer standard จะผ่านการรับรองหากมีความสัมพันธ์ระหว่าง Output ของ Transfer standard กับโอโซนมาตรฐานหนึ่งความเข้มข้นหรือมากกว่านั้น ที่หาค่าได้จากหัวข้อ 5.3 วิธีปฏิบัติจริงจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติ และการออกแบบของ Transfer standard

5.5 การเปรียบเทียบเครื่องตรวจวัดโอโซน เครื่องตรวจวัดโอโซนจะได้รับการเปรียบเทียบโดยการใช้โอโซนมาตรฐานที่ได้โดยตรงจากหัวข้อ 5.3 หรือโดยใช้ Transfer standard ที่ผ่านการรับรองแล้ว

(5.5.1) ให้เวลาเพียงพอในการอุ่นเครื่องตรวจวัดโอโซน และเครื่องเทียบแสง หรือ Transfer standard และให้เครื่องมีเสถียรภาพดี

(5.5.2) ให้เครื่องตรวจวัดโอโซนเก็บตัวอย่าง Zero air จนกระทั่งการตอบสนองของเครื่องฯ คงที่ และปรับควบคุม Zero ของเครื่องฯ แนะนำให้ทำ Offset โดยปรับ Zero ของเครื่องฯ ไปที่ 5% ของสเกล เพื่อช่วยให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของ Zero ที่ติดลบ (Zero drift) ได้ดีขึ้น บันทึกค่าคงที่ของ Zero air ที่อ่านได้ เป็นค่า “Z”

(5.5.3) ผลิตโอโซนมาตรฐานที่ความเข้มข้นประมาณ 80% ของค่าจำกัดระดับบน (Upper range limit, URL) ของเครื่องตรวจวัดโอโซน โดยปล่อยให้เครื่องตรวจวัดโอโซนเก็บตัวอย่างความเข้มข้นโอโซนมาตรฐาน จนเครื่องตอบสนองคงที่

(5.5.4) ปรับควบคุม Span ของเครื่องตรวจวัดโอโซน เพื่อให้สะดวกต่อการตอบสนองของ Recorder ตามที่แสดงดังนี้

$$\text{การอ่านค่าของ Recorder (\%ของสเกล)} = \left(\frac{[\text{O}_3]_{\text{out}} \times 100}{\text{URL}} \right) + Z \quad (5)$$

โดย

URL = ขีดจำกัดระดับบนของเครื่องตรวจวัดโอโซน หน่วยเป็น ส่วนในล้านส่วน

Z = การตอบสนองของเครื่องบันทึกผลเมื่อเก็บตัวอย่าง Zero air หน่วยเป็น ร้อยละของสเกล บันทึกค่าความเข้มข้นของโอโซน และการตอบสนองของเครื่องตรวจวัด หากจำเป็นต้องปรับควบคุม Span ให้ตรวจเช็คการปรับ Zero และ Span อีกครั้ง โดยปฏิบัติซ้ำขั้นตอน 5.5.2 ถึง 5.5.4

(5.5.5) ผลิตโอโซนมาตรฐานหลายความเข้มข้น (อย่างน้อย 5 ความเข้มข้น) ให้ครอบคลุมช่วงสเกลของเครื่องตรวจวัดโอโซน โดยปรับแหล่งผลิตโอโซนหรือด้วยทางเลือก 1 สำหรับแต่ละความเข้มข้นของโอโซนมาตรฐาน ให้บันทึกค่าโอโซนและการตอบสนองของเครื่องตรวจวัด

(5.5.6) พล็อตการตอบสนองของเครื่องตรวจวัดโอโซนกับความเข้มข้นของโอโซน แล้วลากเส้นกราฟมาตรฐานของเครื่องตรวจวัดโอโซน หรือคำนวณตัวคูณของการตอบสนองที่เหมาะสม

(5.5.7) **ทางเลือก 1:** โอโซนหลายความเข้มข้น ที่กำหนดในขั้นตอน 5.3.11 และ 5.5.5 อาจจะได้จากการเจือจางความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตจากขั้นตอน 5.3.6 และ 5.5.3 ทางเลือกนี้จะต้องวัดค่าการไหลที่แน่นอน อาจแปลงระบบการปรับเทียบอย่างพลวัต (Dynamic calibration system) ได้ตั้งแสดงในรูปที่ 10 เพื่อให้สามารถวัดปริมาตรอากาศที่ใช้เจือจาง ที่ไหลผ่านเครื่องกำเนิดโอโซน นอกจากนี้ยังต้องใช้ห้องผสม (Mixing chamber) ที่อยู่ระหว่างเครื่องกำเนิดโอโซน กับ Output manifold ด้วยอัตราการไหลที่ผ่านเครื่องกำเนิดโอโซน (F_o) และอัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจางวัดได้จากการไหลหรือปริมาตรมาตรฐานที่เชื่อถือได้ สามารถสอกลับไปยัง NBS ได้ และสามารถคำนวณแต่ละความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้จากการเจือจาง ดังนี้

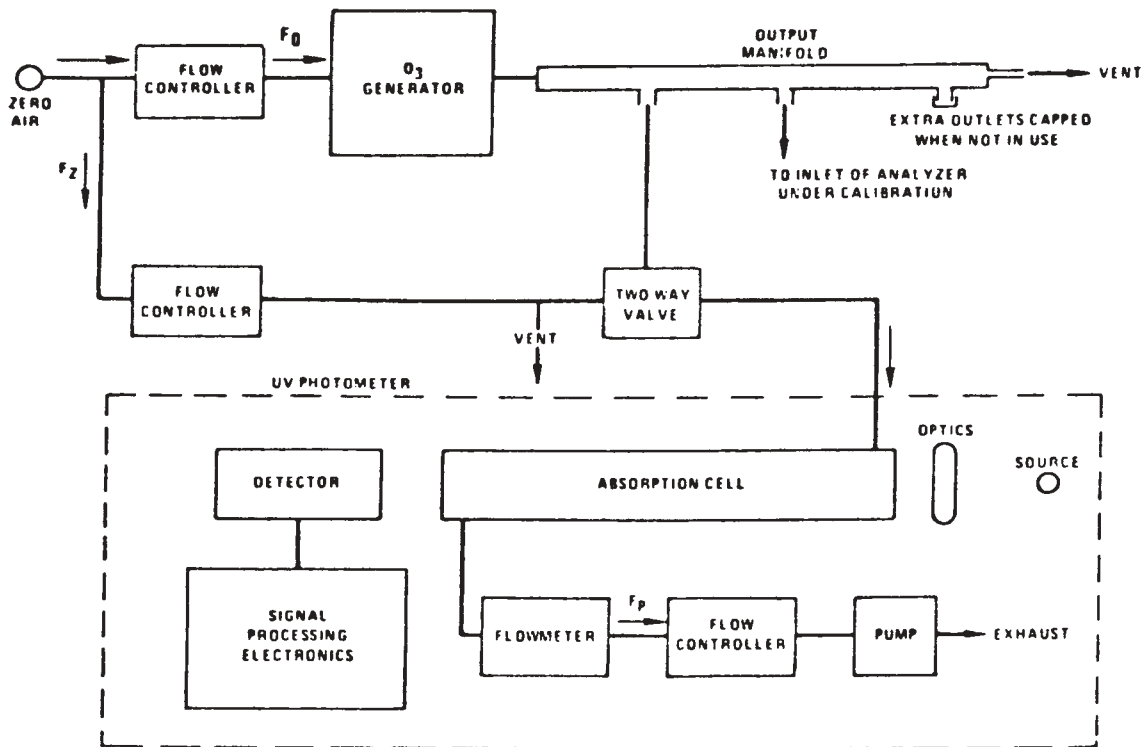
$$[\text{O}_3]'_{\text{OUT}} = [\text{O}_3]_{\text{OUT}} \left(\frac{F_o}{(F_o + F_D)} \right) \quad (6)$$

โดย

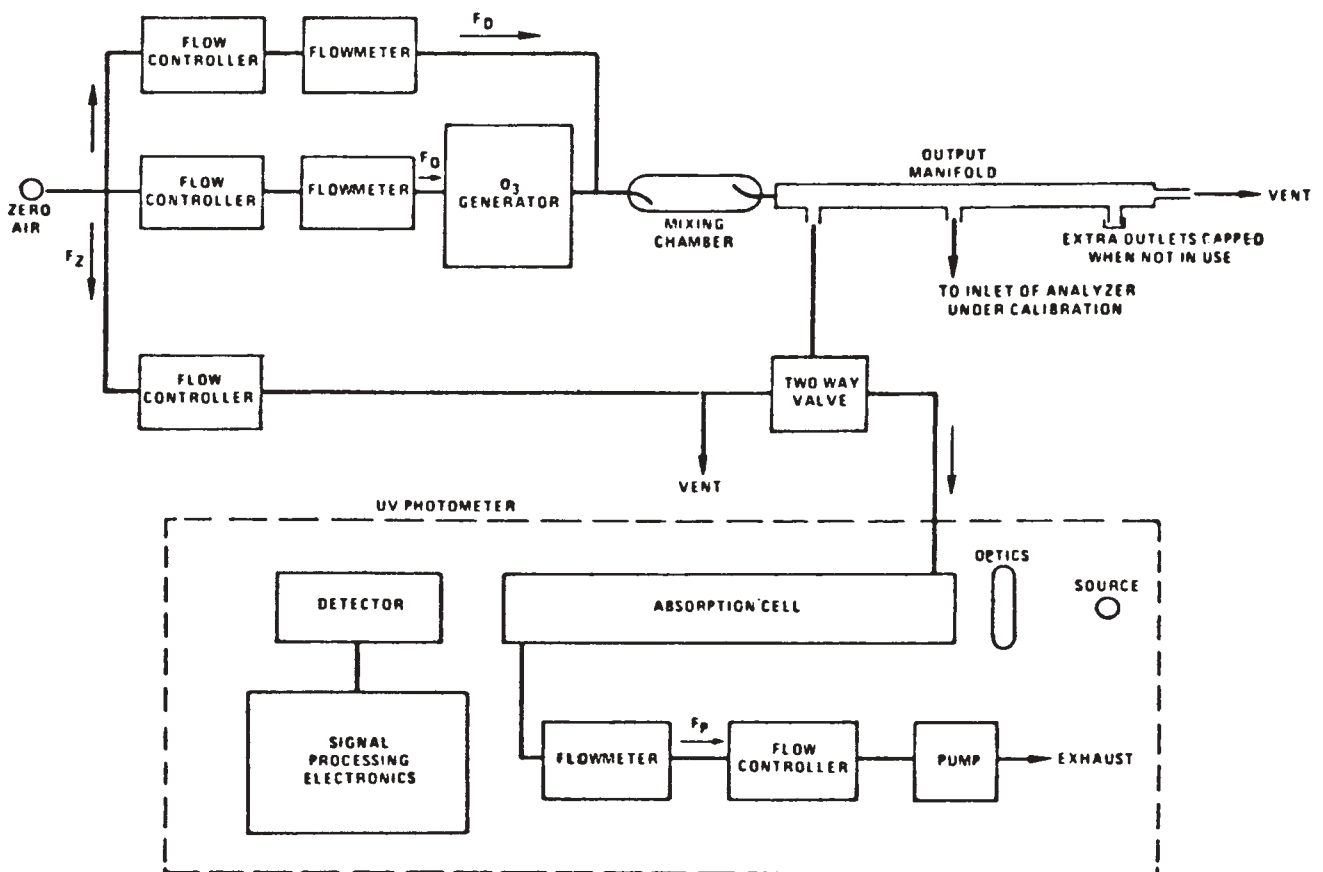
$[\text{O}_3]'_{\text{OUT}}$ = ความเข้มข้นโอโซนที่เจือจางแล้ว หน่วยเป็น ส่วนในล้านส่วน

F_o = อัตราการไหลที่ผ่านเครื่องกำเนิดโอโซน หน่วยเป็น ลิตร/นาที

F_D = อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เจือจาง หน่วยเป็น ลิตร/นาที



รูปที่ 9 แสดงรูปแบบของระบบการปรับเทียบ UV photometric calibration



รูปที่ 10 แสดงรูปแบบของระบบการปรับเทียบ UV photometric calibration (ทางเลือก 1)

บทที่ 5

การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ในบรรยากาศ ด้วยวิธีไฮโวลุ่ม (High - Volume Method)

1. หลักการตรวจวัด

1.1 เครื่องเก็บตัวอย่างซึ่งติดตั้ง ณ จุดตรวจวัดที่เหมาะสม จะดูดตัวอย่างอากาศในบรรยากาศที่วัดปริมาตรแน่นอน เข้าสู่ช่องทางเข้าตัวอย่าง และผ่านกระดาศกรอง ตลอดช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง อัตราการไหลของอากาศที่ถูกดูดเข้าเครื่องฯ และลักษณะโครงสร้างของเครื่องฯ จะสามารถคัดฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 25 ถึง 50 ไมครอน (เส้นผ่าศูนย์กลางที่สมมติว่าฝุ่นละอองมีความหนาแน่น เท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทางลม กระดาศกรองที่ใช้ต้องมีประสิทธิภาพในการกรองเก็บฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอน ได้อย่างน้อยร้อยละ 99 (ดูข้อ 6.1.4)

1.2 ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง จะชั่งน้ำหนักกระดาศกรองที่ผ่านการควบคุมความชื้นแล้ว เพื่อหาน้ำหนักสุทธิของฝุ่นละออง ปริมาตรตัวอย่างอากาศที่คำนวณได้จากผลคูณระหว่างอัตราการไหลของอากาศ และระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง จะต้องปรับค่าเข้าสู่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 101 กิโลปาสคาล) ความเข้มข้นของฝุ่นละออง คำนวณได้จากน้ำหนักสุทธิของฝุ่นละอองหารด้วยปริมาตรตัวอย่างอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ความเข้มข้นที่ได้มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) สำหรับตัวอย่างที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิ และความดันบรรยากาศ ที่แตกต่างจากสภาวะมาตรฐานมาก โดยเฉพาะตัวอย่างที่เก็บจากพื้นที่สูง ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ได้ปรับเข้าสู่สภาวะมาตรฐาน อาจแตกต่างจากความเข้มข้นที่สภาวะจริงมาก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่สภาวะจริง) ซึ่งความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่สภาวะจริง สามารถคำนวณจากค่าความเข้มข้นที่ได้ปรับเข้าสู่สภาวะมาตรฐานแล้ว โดยใช้อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศที่แท้จริงขณะเก็บตัวอย่าง

2. ช่วงการตรวจวัด (Range)

2.1 วิธีการตรวจวัดนี้ สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองได้ตั้งแต่ 2 ถึง 750 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นสูงสุดที่สามารถตรวจวัดได้ หรือขีดจำกัดระดับบน (Upper limit) พิจารณาจากสภาวะที่เครื่องเก็บตัวอย่างไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ได้ตามกำหนด เนื่องจากความดันลด (Pressure drop) เพิ่มขึ้น เพราะกระดาศกรองมีปริมาณฝุ่นละอองสะสมเพิ่มมาก สภาวะที่เกิดขึ้นนี้ มีผลจากการกระจายขนาดของฝุ่นละออง (Particle size distribution) ความชื้นของฝุ่นละออง และความแตกต่างของกระดาศกรอง สำหรับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ หรือขีดจำกัดระดับล่าง (Lower limit) พิจารณาได้จากความไวของเครื่องชั่ง (ดูข้อ 6.10) และความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยอื่นๆ (ดูข้อ 5)

2.2 ที่ความเร็วลมในช่วง 1.3 ถึง 4.5 เมตรต่อวินาที (3 ถึง 10 ไมล์ต่อชั่วโมง) เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุ่ม (High-volume air sampler) จะสามารถเก็บรวบรวมฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 25 ถึง 50 ไมครอนได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความเร็วลมและทิศทางลมด้วย สำหรับลักษณะเฉพาะของกระดาศกรองที่ระบุในข้อ 6.1 จะไม่มีขีดจำกัดล่างของขนาดฝุ่นละอองที่เก็บรวบรวมได้

3. ความเที่ยงตรง (Precision)

จากการทดสอบร่วมกัน พบว่าความเปี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน) สำหรับความเที่ยงตรงของผู้วิเคราะห์เดี่ยว หรือการทำซ้ำ (Repeatability) คือ 3.0% สำหรับความเที่ยงตรงของการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างห้องปฏิบัติการ (Reproducibility) คือ 3.7%

4. ความแม่นยำ (Accuracy)

การตรวจวัดวิธีนี้ไม่ได้กำหนดความแม่นยำสัมบูรณ์ไว้ เนื่องจากความซับซ้อนตามธรรมชาติของฝุ่นละอองในบรรยากาศ และความยากในการหาความเข้มข้นของฝุ่นละออง “จริง” ซึ่งวิธีการตรวจวัดนี้เหมาะสำหรับการนำไปใช้ ตามที่ระบุในข้อ 1.

5. ปัจจัยของความคลาดเคลื่อน (Inherent Sources of Error)

5.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศ

น้ำหนักของสาร (Material) ที่เก็บรวบรวมได้บนกระดาศกรอง เป็นน้ำหนักรวมสะสมที่ได้จากผลคูณระหว่างอัตราการไหลของอากาศและความเข้มข้นของฝุ่นละอองตลอดช่วงเวลาตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่แท้จริง หาได้จากการหารน้ำหนักรวมนี้ด้วยอัตราการไหลของอากาศเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ อัตราการไหลของอากาศต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากอัตราการไหลของอากาศไม่คงที่ มักเกิดจากอัตราการไหลของอากาศและความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ปกติแล้วความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยดังกล่าวจะเกิดขึ้นน้อย แต่สามารถลดลงได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศแบบอัตโนมัติเข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่าง จะทำให้สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ตลอดช่วงเวลาเก็บตัวอย่างได้ ดังนั้น จึงแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศแบบอัตโนมัติ (Constant flow controller)

5.2 การวัดปริมาตรอากาศ

ถ้าอัตราการไหลของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างแล้ว การใช้ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของอากาศก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง อาจทำให้ปริมาตรอากาศที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้ สามารถทำให้การวัดปริมาตรอากาศมีความแม่นยำได้มากขึ้น โดย (1) การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศแบบอัตโนมัติ เข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่าง เพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ตลอดช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง (2) การใช้เครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศแบบอัตโนมัติที่ปรับเทียบแล้ว เพื่อบันทึกอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงอย่างต่อเนื่องขณะช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง และประมวลอัตราการไหลของอากาศตลอดช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง หรือ (3) อุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีความแม่นยำในการวัดปริมาตรตัวอย่างอากาศรวมตลอดช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง

ทั้งนี้ แนะนำให้ใช้เครื่องบันทึกการไหลของอากาศแบบต่อเนื่อง โดยเฉพาะกับเครื่องเก็บตัวอย่างที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหลแบบอัตโนมัติ

5.3 การสูญหายเนื่องจากการระเหย

ฝุ่นละอองที่ระเหยได้บนกระดาดากรอง อาจสูญหายไปภายหลังการเก็บตัวอย่าง หรือขณะขนส่ง และ/หรือ การเก็บรักษากระดาดากรองก่อนการชั่ง น้ำหนักหลังเก็บตัวอย่าง แม้ว่าการสูญหายนี้เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ควรชั่งน้ำหนักกระดาดากรองหลังเก็บตัวอย่างให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.4 ฝุ่นละอองแปลกปลอม (Artifact particulate matter) เป็นฝุ่นละอองที่อาจเกิดขึ้นบนผิวกระดาดากรองใยแก้วที่มีสภาพต่างเนื่องจากการออกซิเดชันของก๊าซที่มีสภาพเป็นกรดในตัวอย่างอากาศทำให้ผลการตรวจวัด TSP สูงกว่าค่าจริง ผลกระทบนี้มักจะเกิดขึ้นก่อนการเก็บตัวอย่าง โดยเกิดจาก PH ของกระดาดากรองและก๊าซที่มีสภาพเป็นกรดอยู่ โดยทั่วไปเชื่อว่าจะทำให้น้ำหนักกระดาดากรองเพิ่มขึ้นได้น้อยมาก แต่อาจส่งผลกระทบมาก อย่างมีนัยสำคัญ หากน้ำหนักของฝุ่นละอองที่รวบรวมได้ค่อนข้างน้อย

5.5 ความชื้น (Humidity) การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ไม่ส่งผลกระทบต่อกระดาดากรองใยแก้ว แต่ฝุ่นละอองที่รวบรวมได้สามารถดูดซึมความชื้นจากอากาศได้ ทั้งนี้ขั้นตอนวิธีการควบคุมสภาวะความชื้นอาจลดปัญหานี้ได้ แต่อาจไม่สามารถขจัดความคลาดเคลื่อนจากความชื้นได้อย่างสมบูรณ์

5.6 การรักษากระดาดากรอง (Filter handing) จำเป็นต้องรักษากระดาดากรองอย่างระมัดระวังระหว่างการชั่งน้ำหนักก่อนการเก็บตัวอย่างและหลังการเก็บตัวอย่าง เพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนเนื่องจากไฟเบอร์หรือฝุ่นละอองสูญหายไปจากกระดาดากรอง แต่สามารถลดความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นจากการรักษากระดาดากรองนี้ได้ โดยการใช้ Cartridge หรือ Cassette บรรจุกระดาดากรอง เพื่อปกป้องกระดาดากรอง (ดูข้อ 2)

5.7 ฝุ่นละอองที่ไม่ได้มาจากการเก็บตัวอย่าง (Nonsampled particulate matter) ลมอาจจะพัดฝุ่นละอองให้ตกสะสมลงบนกระดาดากรองในช่วงที่ไม่ได้เดินเครื่องเก็บตัวอย่าง ความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุนี้สามารถลดลงได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่มีกลไกอัตโนมัติครอบรักษากระดาดากรองไว้ในช่วงเวลาที่ไมเก็บตัวอย่าง หรือโดยการใส่และเก็บกระดาดากรองตามเวลาที่ตั้งไว้ ทั้งก่อนและหลังการเดินเครื่อง เพื่อลดช่วงเวลาที่ไมเก็บตัวอย่างนี้

5.8 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการตั้งเวลา ปกติแล้วอุปกรณ์ตั้งเวลาจะควบคุมการเปิดและปิดเครื่องเก็บตัวอย่างในเวลาที่ยั่งยืน ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง 1,440 นาที อาจเกิดจากกระแสไฟฟ้าขัดข้องขณะช่วงเวลาเก็บตัวอย่างหรือจากความแตกต่างระหว่างเวลาเปิดและปิดเครื่องเก็บตัวอย่างที่ได้บันทึกเป็นข้อมูลของกระดาดากรอง กับเวลาเปิดและปิดเครื่องเก็บตัวอย่างที่แท้จริง ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดจาก (1) Set-point ของอุปกรณ์ตั้งเวลาไม่มีความละเอียด (2) ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ตั้งเวลาเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้อง (3) การไม่ได้ตั้งเวลาไว้หรือ (4) อุปกรณ์ตั้งเวลาทำงานไม่ปกติ โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ตั้งเวลาแบบดิจิทัล-อิเล็กทรอนิกส์ จะมีความละเอียดของ Set-point มากกว่าเครื่องตั้งเวลาแบบ Mechanic แต่ต้องมีระบบไฟฟ้าสำรองเพื่อให้มีการทำงานอย่างต่อเนื่องหลังจากไฟฟ้าขัดข้อง แนะนำให้ใช้เครื่องบันทึกการไหลแบบต่อเนื่อง หรือมิเตอร์จับเวลาการเก็บตัวอย่างที่แสดงเวลาการทำงานของเครื่องเก็บตัวอย่าง รวมทั้งแสดงเวลาที่ไฟฟ้าขัดข้องขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

5.9 การวนกลับมาใหม่ของอากาศที่ผ่านเครื่องเก็บตัวอย่างแล้ว (Recirculation of sampler exhaust) ภายใต้อากาศลมสงบ อากาศที่ผ่านเครื่องเก็บตัวอย่างแล้วอาจถูกดูดกลับเข้าเป็นตัวอย่างได้ซ้ำอีก แม้ว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อตรวจวัด TSP แต่อาจทำให้ตัวอย่างมีปริมาณคาร์บอนและทองแดงเพิ่มขึ้น แต่สามารถลดปัญหานี้ลงได้โดยการทำช่องทางระบายอากาศออกจากเครื่องเก็บตัวอย่างให้ดี ซึ่งควรจะอยู่แนวใต้ลม

6. เครื่องมือ/อุปกรณ์

6.1 กระจาดกรอง (Filter)

- (6.1.1) ขนาด: $20.3 \pm 0.2 \times 25.4 \pm 0.2$ เซนติเมตร (ขนาด 8 x 10 นิ้ว)
- (6.1.2) ขนาดพื้นที่สัมผัส (Exposed area): 406.5 ตารางเซนติเมตร (63 ตารางนิ้ว)
- (6.1.3) วัสดุ: เป็นใยแก้ว หรือวัสดุอื่นที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีและที่ไม่ดูดซับความชื้น
- (6.1.4) ประสิทธิภาพการดักเก็บฝุ่นละออง: มีประสิทธิภาพในการดักเก็บฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ไมครอน ได้อย่างน้อย 99% ด้วยวิธีทดสอบ DOP (ASTM-2986)
- (6.1.5) ช่วงความดันลด (Pressure drop): 42-54 มิลลิเมตรปรอท (5.6 ะ 7.2 กิโลปาสคาล) ที่อัตราการไหล 1.5 ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อนาที ครอบคลุมพื้นที่สัมผัส
- (6.1.6) pH: 6 -10
- (6.1.7) ความมั่นคง (Integrity): จะไม่สูญเสียน้ำหนักเกินกว่า 2.4 มิลลิกรัม
- (6.1.8) ไม่มีรูทะลุ (Pinholes): ไม่มี
- (6.1.9) ความทนต่อแรงฉีก (Tear strength): อย่างน้อย 500 กรัม สำหรับแถบกระจาดกรองกว้าง 20 มิลลิเมตร ที่ตัดจากแผ่นกระจาดกรองส่วนที่ฉีกขาดง่ายที่สุด (ASTM Test D828-60)
- (6.1.10) ความเปราะ (Brittleness): ไม่มีรอยแตก หรือการแยกของวัสดุของกระจาดกรองเมื่อพับตามแนวยาวด้านเดียว

6.2 เครื่องเก็บตัวอย่าง เป็นเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศที่มีอุปกรณ์ในการดูดตัวอย่างอากาศ ผ่านกระจาดกรอง โดยความเร็วของ Face velocity คงที่

- (6.2.1) เครื่องเก็บตัวอย่างควรมีอุปกรณ์ประกอบที่เหมาะสม เพื่อ
 - a. รักษาและยึดกระจาดกรองให้แน่นกับเครื่องเก็บตัวอย่าง
 - b. ให้เปลี่ยนกระจาดกรองได้สะดวก
 - c. ไม่มีรอยรั่วที่เป็นสาเหตุของความคลาดเคลื่อน ในการวัดปริมาณอากาศที่ผ่านกระจาดกรอง
 - d. ปรับแต่งอัตราการไหลอากาศให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจาก Pressure drop ที่เพิ่มขึ้น และสัญญาณไฟฟ้าและระดับความสูงของจุดเก็บตัวอย่าง การปรับแต่งนี้ อาจทำให้สมบูรณ์โดยใช้ อุปกรณ์ควบคุมการไหลแบบอัตโนมัติ หรือโดยอุปกรณ์ปรับการไหลแบบไม่อัตโนมัติ ซึ่งอุปกรณ์ปรับการไหลแบบไม่อัตโนมัตินี้ ต้องได้รับการออกแบบการติดตั้ง Positive detents หรืออุปกรณ์อื่นๆ เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจจากการติดตั้ง
- (6.2.2) อัตราการไหลต่ำสุดของตัวอย่าง ณ สภาวะที่กระจาดกรองสะสมตัวอย่างมาก : 1.1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (39 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นหน่วยปริมาตรอากาศที่แท้จริง ต้องแปลงให้เป็นหน่วยปริมาตรอากาศมาตรฐานตามสภาวะมาตรฐาน โดยการคูณค่าที่ได้นี้ ด้วย $(P_b/P_{std})(298/T)$ โดย P_b คือ ความดันบรรยากาศ หน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท T คือ อุณหภูมิ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส ณ จุดตรวจวัด และ P_{std} คือ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 101 กิโลปาสคาล)
- (6.2.2) อัตราการไหลสูงสุดของตัวอย่าง ที่สภาวะกระจาดกรองสะอาด :1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)

(6.2.3) พัดลมดูดอากาศ (Blower Motor): มอเตอร์ต้องสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง

6.3 โครงสร้างของเครื่องเก็บตัวอย่าง (Shelter)

(6.3.1) โครงสร้างของเครื่องเก็บตัวอย่าง ควรจะ

a. รักษากระดาดกรองให้อยู่ในตำแหน่งแนวระนาบ สูงจากฐานรองเครื่องเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 1 เมตร จะทำให้ตัวอย่างอากาศถูกดูดผ่านมายังกระดาดกรองลงปาด้านล่าง

b. รูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า หลังคาหน้าจั่ว คล้ายกับการออกแบบในรูปที่ 11

c. ครอบและป้องกันกระดาดกรองและเครื่องเก็บตัวอย่าง จากฝนและสภาพอากาศอื่น ๆ

d. ทางออกของอากาศที่ผ่านเครื่องเก็บตัวอย่างแล้ว ควรห่างจากช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ อย่างน้อย 40 เซนติเมตร

e. ออกแบบเพื่อลดการเก็บรวบรวมฝุ่นละอองจากพื้นผิวที่เครื่องเก็บตัวอย่างวางอยู่โดย กั้นขวางระหว่างช่องทางออกของอากาศ กับพื้นผิวที่รองรับเครื่องเก็บตัวอย่าง

(6.3.2) ฝาปิดเครื่องเก็บตัวอย่างหรือหลังคา จะต้องยึดหรือแขวนกับโครงสร้างของเครื่องเก็บตัวอย่างพอประมาณ ดังแสดงในรูปที่ 11 และจะยกขึ้นเล็กน้อยระหว่างฝาปิดและฝาด้านของโครงสร้างเครื่องเก็บตัวอย่าง เพื่อให้มีช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ ที่ควรจะทำกันทุกด้าน ซึ่งขนาดพื้นที่ของช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศทั้งหมด (Sample air inlet area) จะต้องสามารถทำให้ตัวอย่างอากาศไหลผ่านด้วยความเร็ว (Air velocity) ระหว่าง 20 ถึง 35 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่แนะนำให้ใช้ โดยความเร็วนี้ คำนวณจากอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศหารด้วยพื้นที่ของช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ ในแนวระนาบ ณ ขอบล่างสุดของหลังคาเครื่องเก็บตัวอย่าง ตามหลักการแล้ว ควรเลือกพื้นที่ของช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศและอัตราการไหลอากาศ ที่ให้ความเร็วของอากาศไหลผ่านได้ 25 ± 2 เซนติเมตรต่อวินาที

6.4 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

(6.4.1) เครื่องเก็บตัวอย่าง ต้องประกอบด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศที่สามารถวัดอัตราการไหลรวมของเครื่องเก็บตัวอย่าง โดยทั่วไปนิยมใช้อุปกรณ์วัดการไหลอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ (1) Electronic mass flowmeter และ (2) Orifice ที่ติดตั้งกันขวางตัวอย่างอากาศที่ไหลผ่านกระดาดกรอง โดยติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์วัดความดันอากาศที่เหมาะสม เช่น มาร์นอมิเตอร์ หรือ Aneroid โดยอาจจะนำเครื่องบันทึกความดันอากาศใช้ร่วมกับ Orifice เพื่อบันทึกการไหลแบบต่อเนื่อง สำหรับอุปกรณ์วัดการไหลประเภทอื่น ๆ รวมถึงโรตารีมิเตอร์ ถ้ามีความถูกต้องและความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ ก็สามารถใช้ได้

(6.4.2) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล ต้องสามารถปรับเทียบได้ และอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.02 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (สภาวะมาตรฐาน) ตลอดช่วง 1.0 ถึง 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (สภาวะมาตรฐาน)

6.5 เทอร์โมมิเตอร์ ใช้วัดอุณหภูมิขณะที่มีการวัดอัตราการไหลขณะเก็บตัวอย่าง ใช้เมื่อต้องนำค่าอุณหภูมิมาแก้ค่าตามสภาวะมาตรฐาน

(6.5.1) ช่วงการวัด: -40 ถึง 50 องศาเซลเซียส (223-323 องศาเคลวิน)

(6.5.2) ความละเอียด: 2 องศาเซลเซียส (2 องศาเคลวิน)

6.6 บารโรมิเตอร์ ใช้วัดความดันบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่าง ใช้เมื่อต้องนำค่าความดันบรรยากาศมา
แก้ค่าตามสภาวะมาตรฐาน

(6.6.1) ช่วงการวัด: 500 ถึง 800 มิลลิเมตรปรอท (66-106 กิโลปาสคาล)

(6.6.2) ความละเอียด: ± 5 มิลลิเมตรปรอท (0.67 กิโลปาสคาล)

6.7 อุปกรณ์ควบคุม หรือตั้งเวลา

(6.7.1) อุปกรณ์ตั้งเวลา ต้องสามารถเปิดและปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ได้เวลาที่ใช้ในการ
เดินเครื่อง 24 ชั่วโมง ± 1 ชั่วโมง (1,440 ± 60 นาที)

(6.7.2) ความแม่นยำของการตั้งเวลา: ± 30 นาที หรือ ดีกว่า (ดูข้อ 5.8)

6.8 ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน (Flow rate transfer standard) สามารถสอกลับไปยัง
มาตรฐานปฐมภูมิได้

(6.8.1) ช่วงการวัดโดยประมาณ: 1.0 ถึง 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

(6.8.2) ความละเอียด: 0.02 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

(6.8.3) ความเที่ยง (Reproducibility): $\pm 2\%$ (2 เท่าของสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน) ตลอด
ช่วงอุณหภูมิและความดันบรรยากาศปกติของช่วงอัตราการไหลที่กำหนด

(6.8.4) ความดันลดสูงสุด (Maximum pressure drop) ที่ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (สภาวะ
มาตรฐาน) ; 50 เซนติเมตรน้ำ (5 กิโลปาสคาล)

(6.8.5) ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน ต้องต่อเข้ากับช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ
ของเครื่องเก็บตัวอย่างโดยไม่มีกรรวย และวัดอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศทั้งหมด

(6.8.6) ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน ต้องมีอุปกรณ์ที่ทำให้อัตราการไหลของเครื่อง
เก็บตัวอย่างเปลี่ยนแปลงได้ ตลอดช่วง 1.0 ถึง 1.8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (35-64 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) โดยใช้
การต้านทานการไหลหลายระดับระหว่างเครื่องเก็บตัวอย่างกับช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของชุดสอบเทียบอัตรา
การไหลมาตรฐาน

(6.8.7) ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานชนิดที่นิยมใช้กัน ประกอบด้วย ชุด Orifice พร้อม
อุปกรณ์ประกอบที่ต่อเข้ากับช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ ต่อไปยังมาร์โนมิเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นที่ใช้วัด ความดัน
ลดคร่อมอริฟิส (Orifice pressure drop), อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนแปลงอัตราการไหลอากาศ, เทอร์โมมิเตอร์สำหรับ
วัดอุณหภูมิ, และบารโรมิเตอร์สำหรับวัดความดันบรรยากาศ ดังตัวอย่างของ Flow rate transfer standard 2 ชนิด
ที่แสดงในรูปที่ 12(2a) และ 12(2b) โดยรูปที่ 12(2a) แสดงแผ่นต้านทานการไหลของอากาศ (Resistance plates)
ซึ่งแยกออกจากชุด Orifice ที่แต่ละแผ่นใช้ต้านทานการไหลที่แตกต่างกัน ส่วนรูปที่ 12(2b) แสดงชุด Preferable
orifice ที่มี Variable flow restriction อยู่ด้วย สามารถปรับต้านทานการไหลของอากาศจากข้างนอกได้ โดยการ
ใช้งานชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานชนิดที่นิยมใช้กันนี้ จะกล่าวในหัวข้อวิธีการปรับเทียบ (ข้อที่ 7) อย่างไร
ก็ตาม อาจใช้ ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานชนิดอื่น ๆ ก็ได้ ถ้าหากมีคุณสมบัติลักษณะเฉพาะตามที่กล่าวไว้
ข้างต้น ดังชนิดที่แสดงในรูปที่ 12(2c)

6.9 สภาวะแวดล้อมของกระดาศกรอง

(6.9.1) อุณหภูมิที่ควบคุม: ระหว่าง 15 ถึง 30 องศาเซลเซียส ควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน ± 3 องศาเซลเซียส ขณะช่วงเวลากการอบกระดาศกรอง

(6.9.2) ความชื้นที่ควบคุม: ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50 % ควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm 5\%$

6.10 เครื่องชั่งน้ำหนัก

(6.10.1) ความไว: 0.1 มิลลิกรัม

(6.10.2) ช่องสำหรับใส่กระดาศกรองเพื่อชั่ง (Chamber) ได้รับการออกแบบสำหรับกระดาศกรองไม้พับ ขนาด 20.3 x 25.4 เซนติเมตร (8x10 นิ้ว)

6.11 พื้นที่แหล่งกำเนิดแสง (Area light source) คล้ายเครื่องดูฟิล์ม X-ray สำหรับตรวจดูแสงที่ส่องลอดผ่านกระดาศกรอง เพื่อตรวจดูว่ามีรูทะลุหรือไม่

6.12 เครื่องประทับหมายเลขกระดาศกรอง ถ้าซื้อกระดาศกรองที่ไม่มีหมายเลข ให้ประทับหมายเลขบนกระดาศกรองได้ ก่อนนำไปควบคุมตามสภาวะแวดล้อมของกระดาศกรอง

7. ขั้นตอนการดำเนินงาน

7.1 หากยังไม่ได้ทำหมายเลขกระดาศกรองแต่ละแผ่นไว้ ให้ทำรหัสหมายเลขเฉพาะใกล้ขอบกระดาศกรอง

7.2 ตรวจสอบแสงที่ส่องลอดผ่านกระดาศกรองแต่ละแผ่น และการตรวจสอบหารูทะลุ อนุภาค และสิ่งไม่สมบูรณ์อื่น ๆ โดยกระดาศกรองที่เห็นว่าไม่สมบูรณ์ต้องไม่นำมาใช้งาน

7.3 นำกระดาศกรองไปอบ ตามสภาวะแวดล้อมของกระดาศกรอง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

7.4 หลังจากอบกระดาศกรองแล้ว ให้ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองแต่ละแผ่น ให้สามารถอ่านค่าน้ำหนักได้ละเอียดถึงหน่วยมิลลิกรัม และบันทึกน้ำหนักกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (W_i) นี้ไว้ ตามหมายเลขกระดาศกรอง

7.5 ออย่าม้วนหรือพับกระดาศกรอง ก่อนนำไปใช้เก็บตัวอย่าง

7.6 เปิดฝา (หลังคา) เครื่องเก็บตัวอย่าง และใส่กระดาศกรองที่มีหมายเลขและผ่านการชั่ง น้ำหนักแล้วลงในเครื่องเก็บตัวอย่าง ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต ในกรณีที่สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย จะต้องเปลี่ยนกระดาศกรองด้วยความระมัดระวัง เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น เพื่อความสะอาดของกระดาศกรอง และการสูญหายหรือความเสียหายของตัวอย่างจากกระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง ซึ่งการใช้อุปกรณ์สำหรับบรรจุกระดาศกรอง (Cassettes) และนำส่งห้องปฏิบัติการ อาจช่วยลดปัญหานี้ลงได้ (ดูข้อ 5.6)

7.7 ปิดฝา (หลังคา) เครื่องเก็บตัวอย่าง และอุ่นเครื่องเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 5 นาที

7.8 บันทึกค่าการไหลของอากาศที่อ่านได้ หากจำเป็นอาจบันทึกค่าความดันบรรยากาศ (P_3) และอุณหภูมิบรรยากาศ (T_3) ดูหมายเหตุในขั้นตอนข้อ 7.12 จากนั้นหยุดเครื่องเก็บตัวอย่าง แล้วหาอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง (ดูข้อ 9.1) หากอัตราการไหลไม่อยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือ 39-60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ให้ใช้กระดาศกรองแผ่นใหม่ หรือปรับอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง

ข้อควรจำ การปรับการไหลของอากาศมากเกินไป อาจส่งผลต่อการเปรียบเทียบเครื่องวัดการไหลชนิด Orifice ได้ และอาจจำเป็นต้องปรับเทียบใหม่อีกครั้ง

7.9 บันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเก็บตัวอย่าง (หมายเลขกระตาศกรอง จุดเก็บตัวอย่างหรือหมายเลขจุดเก็บตัวอย่าง วันที่ของตัวอย่าง และเวลาเริ่มเดินเครื่อง)

7.10 ตั้งเวลา เปิด-ปิด เครื่องเก็บตัวอย่าง เพื่อเครื่องเก็บตัวอย่างทำงานได้ ครบ 24 ชั่วโมง เริ่มจากเที่ยงคืนถึงเที่ยงคืน (เวลาท้องถิ่น)

7.11 เดินเครื่องเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 5 นาที เพื่ออุ่นเครื่องอีกครั้ง จากนั้นเริ่มเก็บตัวอย่างตามช่วงเวลาที่ตั้งไว้ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้

7.12 บันทึกค่าการไหลของอากาศที่อ่านได้ และหากจำเป็นอาจบันทึกค่าความดันบรรยากาศ (P_3) และอุณหภูมิบรรยากาศ (T_3)

หมายเหตุ ไม่จำเป็นต้องวัดความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ ณ จุดตรวจวัด หากเครื่องวัดการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างไม่ได้กำหนดให้ต้องแก้ค่าความถูกต้องของความดันบรรยากาศและอุณหภูมิ (เช่น Mass flowmeter) หรือหากการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างนั้นได้มีการแก้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตามฤดูกาล และความดันบรรยากาศเฉลี่ย ณ จุดตรวจวัด (ดูขั้นตอนข้อ 8.3.9) หากต้องมีการแก้ค่าความถูกต้องของความดันบรรยากาศและอุณหภูมิในแต่ละครั้งนั้น ให้ใช้ค่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิจากการวัด ณ จุดตรวจวัด หรือจากสถานีตรวจวัดอากาศบริเวณใกล้เคียง สำหรับค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากสนามบินต้องเป็นความดันบรรยากาศของสถานี โดยไม่มีการแก้ค่าความถูกต้องตามระดับน้ำทะเล และอาจจำเป็นต้องแก้ค่าเพื่อชดเชยความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างจุดตรวจวัด กับสนามบิน สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่มีเครื่องบันทึกการไหล แต่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหลคงที่ ควรประมาณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ณ จุดตรวจวัด ขณะช่วงเวลาเก็บตัวอย่างจากสำนักอากาศ หรือแหล่งข้อมูลอื่นที่มี

7.13 หยุดเครื่องเก็บตัวอย่างและนำกระตาศกรองออกด้วยความระมัดระวัง ให้ปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยสัมผัสกระตาศกรองเฉพาะขอบนอกเท่านั้น ดูค่าเตือนในขั้นตอน 7.6

7.14 พับกระตาศกรองตามแนวยาวครึ่งหนึ่ง เพื่อประกบพื้นผิวกระตาศกรองที่ได้รวบรวมฝุ่นละอองไว้เข้าด้วยกัน แล้วนำกระตาศกรองบรรจุในซอง เช่น ซองกระดาษแก้ว หรือ แฟ้มสีน้ำตาล

7.15 บันทึกเวลาสุดท้าย หรือเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ที่อ่านค่าได้จากถ้าไม่จากเวลาที่ตั้งให้เครื่องหยุดทำงาน ก็จากเครื่องจับเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างหรือจากการบันทึกการไหลอย่างต่อเนื่อง ให้เป็นการบันทึกของข้อมูลกระตาศกรอง โดยช่วงเวลาของตัวอย่างที่ยอมรับได้ ต้องเป็น $1,440 \pm 60$ นาที

7.16 บันทึกปัจจัยอื่นๆ เป็นข้อมูลของกระตาศกรอง เช่น สภาพอุณหภูมิวิทยา กิจกรรมการก่อสร้างไฟไหม้ หรือพายุฝุ่น และอื่นๆ ที่อาจเกี่ยวข้องกับการตรวจวัด หากทราบว่าปัจจัยเหล่านี้จะทำให้ตัวอย่างไม่สมบูรณ์ก็ควรหลีกเลี่ยงเวลานี้

7.17 ออบกระตาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง ตามสภาวะแวดล้อมของกระตาศกรอง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

7.18 หลังจากอบกระตาศกรองเสร็จ ให้นำกระตาศกรองมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งทันที โดยให้อ่านสามารถอ่านค่าน้ำหนักได้ถึงหน่วยมิลลิกรัม และบันทึกน้ำหนักทั้งหมด (Gross weight) ตามหมายเลขกระตาศกรอง สำหรับการคำนวณความเข้มข้นของ TSP ดูข้อที่ 9

8. การเปรียบเทียบ

8.1 การเปรียบเทียบเครื่องวัดหรือควบคุมการไหลอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดไฮโดรลิก เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อการตรวจวัดภาคสนามสามารถสอบกลับไปยังอุปกรณ์การตรวจวัดมาตรฐานปฐมภูมิได้ โดยใช้ชุดสอบเทียบมาตรฐาน เปรียบเทียบเครื่องวัดการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง แสดงในรูป 13 (3b) และการหาอัตราการไหลที่ปรับสู่ค่าจริงที่สภาวะมาตรฐานแล้ว จากค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง แสดงในรูปที่ 13 (3c) โดยมีรายละเอียดกล่าวไว้ในข้อ 9.1

หมายเหตุ: ขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบต่อไปนี้สามารถนำไปใช้ได้กับชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานแบบ Orifice และเครื่องวัดการไหลโดยใช้ Orifice อาจนำวิธีการนี้ไปใช้กับชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน ชนิดอื่นได้ หากผู้ผลิตหรือผู้ใช้ ดัดแปลงขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบได้อย่างเหมาะสม และผ่านการรับรองจากองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (EPA)

8.2 การเปรียบเทียบชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน (Flow rate transfer standard)

(8.2.1) เครื่องมือที่ใช้: อุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศโดยการแทนที่ (Positive displacement standard volume meter) เป็นอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐานปฐมภูมิ (Standard volume meter) ที่สามารถสอบกลับไปยัง NBS (National Bureau of Standards) ได้ (เช่น รูทส์มิเตอร์ หรือเทียบเท่า) นาฬิกาจับเวลา มาร์นอมิเตอร์ เทอร์มอมิเตอร์ และบาร์รอมิเตอร์

(8.2.2) ต่อชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน เข้ากับช่องทางเข้าของอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน จากนั้น ต่อมาร์นอมิเตอร์เข้ากับช่องทางเข้าของอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน เพื่อวัดความดันบรรยากาศ แล้ว ต่อ ออร์ฟิสมาร์นอมิเตอร์ เข้ากับท่อส่งสัญญาณความดันของ ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน และต่อปั๊มชนิดปริมาตรอากาศสูง (เช่น พัดลมดูดอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดไฮโดรลิก) เข้ากับช่องทางออกของอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน ดูรูปที่ 13 (3a)

(8.2.3) ตรวจเช็คการรั่ว โดยหนีบสายของมาร์นอมิเตอร์ทั้งสองสายชั่วคราว (เพื่อไม่ให้ของเหลวสูญหาย) และปิด Orifice ด้วยจุกยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม จากนั้นเปิดปั๊มชนิดปริมาตรอากาศสูง และหมายเหตุการเปลี่ยนแปลงทุกอย่างจากค่าที่อ่านได้จาก อุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน ซึ่งค่าที่อ่านได้ควรคงที่ หากพบว่าค่าที่อ่านมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ให้ตรวจเช็คการรั่ว โดยฟังเสียงที่เกิดขึ้น และ/หรือ ทำรอยต่อทุกจุดให้แน่นมากขึ้น ใส่ยางรอง ทุกชั้น ให้ถูกต้องเหมาะสม

(8.2.4) หลังจากตรวจเช็คการรั่วข้างต้นสมบูรณ์เป็นที่น่าพอใจแล้ว ให้ปล่อยสายของมาร์นอมิเตอร์ทั้งสองสายที่ได้หนีบไว้ ออก แล้วเลื่อนสเกลมาร์นอมิเตอร์ทั้งสองชุดไปที่ศูนย์

(8.2.5) ทำให้มีอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมผ่านระบบ ไม่ว่าจะผ่านการต้านทานการไหลของอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงในชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน หรือ ความไม่สม่ำเสมอของกระแสไฟฟ้าสำหรับปั๊มดูดอากาศ ไม่แนะนำให้ใช้แผ่นต้านทานการไหลของอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 12 (2a) เพราะการตรวจเช็คการรั่วไหลข้างต้น ต้องทำซ้ำทุกครั้งที่ย้ายแผ่นต้านทานการไหลแผ่นใหม่) โดยกำหนดให้มีอัตราการไหลคงที่ อย่างน้อย 5 อัตรา ที่กระจายและแตกต่างกัน โดยให้มือน้อย 3 อัตรา อยู่ในช่วงอัตราการไหล 1.1 ถึง 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือ 39-60 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

(8.2.6) วัดและบันทึกข้อมูลการรับรองเป็นหลักฐานนี้ ลงบนแบบฟอร์มตามลำดับขั้นตอนคล้ายกับที่แสดงในรูปที่ 14

(8.2.7) สังเกตค่าความดันบรรยากาศและบันทึกเป็น P_1 (ข้อ 7 ในรูปที่ 14)

(8.2.8) อ่านค่าอุณหภูมิบรรยากาศของพื้นที่ใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน และบันทึกเป็น T_1 (ข้อ 8 ในรูปที่ 14)

(8.2.9) เปิดมอเตอร์ แล้วปรับการไหลของอากาศ จากนั้นปล่อยให้ระบบเดินเครื่อง อย่างน้อย 1 นาที เพื่อให้ความเร็วของมอเตอร์คงที่

(8.2.10) สังเกตค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน และเริ่มนาฬิกาจับเวลา แล้วบันทึกค่าเริ่มต้นของมิเตอร์ (V_i) ลงในคอลัมน์ที่ 1 ของรูปที่ 14

(8.2.11) รักษาอัตราการไหลคงที่นี้ จนมีอากาศไหลผ่านอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน อย่างน้อย 3 ลูกบาศก์เมตร แล้วบันทึกค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากมาร์นอมิเตอร์ที่ได้ต่อกับช่องทางเข้าของอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน โดยบันทึกเป็น ΔP (คอลัมน์ที่ 5 ในรูปที่ 14) และค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากมาร์นอมิเตอร์ที่ได้ต่อกับชุด Orifice บันทึกเป็น ΔH (คอลัมน์ที่ 7 ในรูปที่ 14) ทั้งนี้ ตรวจเช็คหน่วยที่ใช้ตรวจวัดให้ถูกต้อง

(8.2.12) หลังจากมีอากาศไหลผ่านระบบอย่างน้อย 3 ลูกบาศก์เมตรแล้ว ให้สังเกตค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน พร้อมกับหยุดนาฬิกาจับเวลา แล้วบันทึกค่าสุดท้ายที่มิเตอร์อ่านได้ (V_f) ลงในคอลัมน์ที่ 2 และเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (t) ลงในคอลัมน์ที่ 3 ของรูปที่ 14

(8.2.13) คำนวณปริมาตรที่วัดโดยอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน ณ สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศของมิเตอร์ ดังนี้

$$V_m = V_f - V_i$$

แล้วบันทึกลงในคอลัมน์ที่ 4 ของรูปที่ 14

(8.2.14) แก่ค่าปริมาตร เป็นปริมาตรมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐาน; std m^3) ดังนี้

$$V_{std} = V_m \left(\frac{P_1 - \Delta P}{P_{std}} \right) \left(\frac{T_{std}}{T_1} \right)$$

โดย

V_{std} = ปริมาตรมาตรฐานที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

V_m = ปริมาตรแท้จริงที่วัดโดยอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน

P_1 = ความดันบรรยากาศขณะปรับเทียบ หน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท หรือกิโลปาสกาล

ΔP = ความดันบรรยากาศที่แตกต่าง ณ ช่องทางเข้าของอุปกรณ์วัดปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท หรือกิโลปาสกาล

- P_{std} = 760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 101 กิโลปาสกาล
 T_{std} = 298 องศาเซลเซียส
 T_1 = อุณหภูมิบรรยากาศขณะทำการเปรียบเทียบ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

คำนวณอัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐานต่อนาที) ดังนี้

$$Q_{std} = \frac{V_{std}}{t}$$

โดย

- Q_{std} = อัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐานต่อนาที
 t = เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น นาที

จากนั้นให้บันทึกค่าอัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน (Q_{std}) ให้ละเอียดถึงทศนิยมสองตำแหน่ง (0.01) ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐานต่อนาที ลงในคอลัมน์ที่ 6 ของรูปที่ 14

(8.2.15) ดำเนินการซ้ำ ตามขั้นตอน 8.2.9 ถึง 8.2.14 โดยเพิ่มอัตราการไหลคงที่ อย่างน้อย 4 อัตรา ให้อยู่ในช่วงประมาณ 1.0 ถึง 1.8 ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐานต่อนาที (35-64 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)

(8.2.16) คำนวณการไหลของอากาศในแต่ละครั้ง ดังนี้

$$\sqrt{\Delta H (P_1/P_{std}) (298/T_1)}$$

(คอลัมน์ที่ 7a ของรูปที่ 14) และพล็อตค่าที่คำนวณได้นี้ เทียบกับ Q_{std} ดังแสดงในรูปที่ 13(3a) ให้ตรวจเช็คหน่วยความดันบรรยากาศที่ใช้ให้ถูกต้องด้วย (มิลลิเมตรปรอท หรือ กิโลปาสกาล) แล้วลากเส้นกราฟมาตรฐานของชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานชนิด Orifice หรือคำนวณความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (m) และค่าตัดแกน (b) ของเส้นเปรียบเทียบ ดังนี้

$$\sqrt{\Delta H (P_1/P_{std}) (298/T_1)} = m Q_{std} + b$$

รูปที่ 13 และ 14 ซึ่งกราฟมาตรฐาน นี้ควรจะอ่านค่าได้ถึง 0.02 ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐานต่อนาที

(8.2.17) เปรียบเทียบชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานประจำปี อีกครั้ง หรือกำหนดให้เป็นการปฏิบัติในขั้นตอนการควบคุมคุณภาพ

8.3 การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง

หมายเหตุ: เครื่องเก็บตัวอย่างที่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหล ตัวควบคุมการไหลต้องไม่ปล่อยให้มีการเปลี่ยนแปลงการไหลของอากาศ ขณะเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง หรืออาจใช้การเปรียบเทียบอุปกรณ์ควบคุมการไหลที่กล่าวไว้ในข้อ 8.4 สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่ใช้อุปกรณ์วัดการไหลชนิด Orifice อยู่ถัดจากมอเตอร์ลงไป อย่าทำให้อัตราการไหลคงที่ โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าหรือไฟฟ้าสำรอง ให้กับเครื่องเก็บตัวอย่าง

(8.3.1) บันทึกข้อมูลการเปรียบเทียบ ลงในแบบฟอร์มที่คล้ายกับแสดงในรูปที่ 15

(8.3.2) ต่อชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน เข้ากับช่องทางเข้าของเครื่องเก็บตัวอย่าง แล้วต่อมาร์นอมิเตอร์เข้ากับท่อส่งสัญญาณความดันจากชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานชนิด Orifice ดังแสดงในรูปที่ 13(3b) อย่าให้มีการรั่วระหว่างชุด Orifice กับเครื่องเก็บตัวอย่าง

(8.3.3) เดินเครื่องเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 3 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง ก่อนการเปรียบเทียบ

(8.3.4) วัดและบันทึกอุณหภูมิบรรยากาศ (T_2) และความดันบรรยากาศ (P_2) ขณะทำการเปรียบเทียบ

(8.3.5) ปรับการเปลี่ยนแปลงการต้านทานการไหลของอากาศ หรือหากใช้แผ่นต้านทานการไหลของอากาศ ให้ใส่แผ่นที่เหมาะสม (หรือ หมายเลขของแผ่น) เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามต้องการ

(8.3.6) เดินเครื่องเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 2 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง อ่านและบันทึกค่า ความดันลดที่ผ่าน Orifice (DH) และค่าอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างที่อ่านได้ (I) ลงในคอลัมน์ที่เหมาะสมของรูปที่ 15

(8.3.7) คำนวณ

$$\sqrt{\Delta H (P_2/P_{std}) (298/T_2)}$$

และหาอัตราการไหลที่สภาวะมาตรฐาน (Q_{std}) ถ้าไม่ได้จากกราฟมาตรฐาน ก็คำนวณ Q_{std} จากค่าความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (m) และค่าตัดแกน (b) จากกราฟมาตรฐานของชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน ดังนี้

$$Q_{std} = 1/m \sqrt{\Delta H (P_2/P_{std}) (298/T_2)} - b$$

แล้วบันทึกค่าของ Q_{std} ลงแบบฟอร์มในรูปที่ 15

(8.3.8) ดำเนินการซ้ำในขั้นตอน 8.3.5 8.3.6 และ 8.3.7 โดยเพิ่มอัตราการไหลให้กระจายในช่วง 1.1 ถึง 1.7 ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐานต่อนาที

(8.3.9) หากกราฟมาตรฐาน โดยพล็อตค่า I ที่เลือกจากตารางที่ 1 เทียบกับ Q_{std} ในการเลือกใช้ค่า I จากตารางที่ 1 ขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่ใช้ (ดูข้อ 6.4.1) รวมทั้งการที่กราฟมาตรฐานนำความดันบรรยากาศเฉลี่ยตามสภาพภูมิประเทศ (P_a) และอุณหภูมิเฉลี่ยตามฤดูกาล (T_a) มาประมาณเป็นค่า

ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิแท้จริงของจุดตรวจวัด เมื่อค่า P_a และ T_a ของจุดตรวจวัดตลอดช่วงฤดูกาล หาได้จากค่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิที่แท้จริงตลอดช่วงฤดูกาล ณ จุดตรวจวัด ที่มีค่าความดันบรรยากาศแตกต่างจาก P_a ไม่เกิน 60 มิลลิเมตรปรอท (8 กิโลปาสกาล) หรืออุณหภูมิแตกต่างจาก T_a ไม่เกิน ± 15 องศาเซลเซียส จากนั้น เมื่อมีการใช้ P_a และ T_a ก็ไม่จำเป็นต้องคำนวณค่าความดันบรรยากาศและอุณหภูมิอีก เมื่อมีการใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง สำหรับความดันบรรยากาศเฉลี่ยตามสภาพภูมิประเทศ (P_a) อาจจะสามารถได้จากตารางระดับความสูง-ความดันบรรยากาศ หรือการแก้ค่า(ประมาณ) ตามระดับความสูง โดยความดันบรรยากาศจะลดลง 26 มิลลิเมตรปรอท (3.46 กิโลปาสกาล) ทุกระดับความสูง 305 เมตร (1,000 ฟุต) เหนือระดับน้ำทะเล (760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 101 กิโลปาสกาล) และอุณหภูมิเฉลี่ยตามฤดูกาล (T_a) อาจประมาณได้จากสถานีตรวจวัดอากาศ หรือแหล่งข้อมูลอื่น ทั้งนี้ตรวจเช็คหน่วยของความดันบรรยากาศที่ใช้ให้ถูกต้อง (มิลลิเมตรปรอท หรือ กิโลปาสกาล)

(8.3.10) วาดกราฟมาตรฐานของเครื่องเก็บตัวอย่าง หรือ คำนวณความชันของเส้นแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (m) และค่าตัดแกน (b) ของกราฟมาตรฐาน ดังนี้

$$[\text{Expression จาก ตารางที่ 1}] = mQ_{\text{std}} + b$$

กราฟมาตรฐานควรจะสามารถอ่านละเอียดได้ทศนิยมสองตำแหน่ง (0.02) ลูกบาศก์เมตรที่สภาวะมาตรฐานต่อนาที **ดูรูปที่ 13 และ 15**

(8.3.11) สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่อุปกรณ์ควบคุมการไหล จะต้องมีการไหลโดยสามารถปรับให้ระบบควบคุมอัตราการไหลทำงานตามปกติ และปรับให้อัตราการไหลใกล้เคียงกับอัตราการไหลต่ำสุดจนถึงช่วงอัตราการไหลสูงสุดของช่วงอัตราการไหลที่ยอมรับได้ ควรตรวจสอบความถูกต้องของอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศในขั้นตอนนี้ โดยใส่กระดาษกรองสะอาดจำนวนหนึ่งแผ่นเข้าไป จากนั้นใส่กระดาษกรองเพิ่มเป็นสองแผ่นหรือมากกว่านั้นลงในเครื่องเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการไหล ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยเฉพาะ ณ ระดับความสูงมาก อาจทำให้ช่วงของอุปกรณ์ควบคุมการไหลลดลง

8.4 วิธีการเปรียบเทียบอื่นสำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหล อาจเปรียบเทียบเพียงอัตราการไหลเดียวโดยใช้ประวัติการทำงานของเครื่องเก็บตัวอย่างที่แสดงถึงอัตราการไหลคงที่ และเชื่อถือได้ในกรณีนี้ อุปกรณ์วัดการไหลอาจยังไม่ผ่านการเปรียบเทียบ แต่ควรจะใช้เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ต่างๆ ระหว่างการไหลเริ่มต้นและการไหลสุดท้าย และควรเปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอีกหลายครั้ง เพื่อลดความเป็นไปได้ในการสูญเสียตัวอย่างจากการทำงานไม่ปกติของอุปกรณ์ควบคุมการไหล

(8.4.1) ปรับอัตราการไหลของอุปกรณ์ควบคุมการไหล ให้ใกล้เคียงกับอัตราการไหลต่ำสุดของช่วงอัตราการไหลที่ยอมรับ จนถึงช่วงควบคุมสูงสุด

(8.4.2) ใส่กระดาษกรองที่สะอาด ลงในเครื่องเก็บตัวอย่าง และดำเนินการตามขั้นตอน 9.3.2-9.3.4 และ 9.3.6-9.3.7

(8.4.3) ดำเนินการเปรียบเทียบ ให้เพิ่มกระดาษกรองหนึ่งหรือสองแผ่นใส่ลงในเครื่องเก็บตัวอย่าง ต่อชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานอีกครั้ง และเดินเครื่องเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความถูกต้องว่าอุปกรณ์ควบคุมการไหลสามารถรักษาระดับอัตราการไหลได้เหมือนกับอัตราการไหลที่ได้เปรียบเทียบ ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยเฉพาะ ณ ที่ระดับดับสูงมาก ซึ่งอาจจะทำให้ช่วงของการควบคุมการไหลลดลง

9. การคำนวณความเข้มข้นของ TSP

9.1 หาอัตราการไหลเฉลี่ยของเครื่องเก็บตัวอย่าง ขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง ให้สอดคล้องกับ ถ้าไม่ 9.1.1 ก็ 9.1.2 ต่อไปนี้

(9.1.1) สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่ไม่มีอุปกรณ์บันทึกการไหลต่อเนื่อง ให้เลือกใช้ฟังก์ชันการคำนวณที่เหมาะสม (expression) จากตารางที่ 2 ที่สอดคล้องกับตารางที่ 1 ที่ใช้ในขั้นตอน 8.3.9 กล่าวถึงการใช้ฟังก์ชันการคำนวณที่เหมาะสม การหาค่า Q_{std} ของอัตราการไหลเริ่มต้น จากกราฟมาตรฐานของเครื่องเก็บตัวอย่าง ถ้าไม่จากกราฟก็จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ดังนี้

$$Q_{std} = 1/m([\text{expression จากตารางที่ 2}]-b)$$

คล้าย ๆ กับการหา Q_{std} จากค่าอัตราการไหลสุดท้ายที่อ่านได้ และคำนวณอัตราการไหลเฉลี่ยของ Q_{std} เป็นครึ่งหนึ่งของผลรวมอัตราการไหลเริ่มต้นและสุดท้าย

(9.1.2) สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่มีเครื่องบันทึกการไหลต่อเนื่อง ให้หาค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของค่าที่อ่านได้จากเครื่อง (I) ในช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง จากนั้นหาค่าฟังก์ชันการคำนวณ ที่เหมาะสม จากตารางที่ 2 โดยให้สอดคล้องกับค่าฟังก์ชันการคำนวณ ตารางที่ 1 ที่ใช้ในขั้นตอน 8.3.9 จากนั้นนำค่าการใช้ฟังก์ชันการคำนวณนี้ และค่าเฉลี่ยอัตราการไหลที่อ่านได้ มาใช้ในการหา Q_{std} จากกราฟมาตรฐานของเครื่องเก็บตัวอย่าง โดยถ้าไม่อ่านจากกราฟ ก็จากสมการแสดงความสัมพันธ์

$$Q_{std} = 1/m([\text{expression จากตารางที่ 2}] - b)$$

ถ้าหากมีแนวโน้มที่แสดงให้เห็นว่ามีการไหลมีการเปลี่ยนแปลงขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง การจะทำได้ความถูกต้องมากได้โดยการหารช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างออกเป็นช่วง และคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านได้ ก่อนที่จะหา Q_{std}

9.2 คำนวณปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ได้เก็บตัวอย่าง ดังนี้

$$V = Q_{\text{std}} \times t$$

โดย

- V = ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ได้เก็บตัวอย่างที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร
 Q_{std} = อัตราการไหลเฉลี่ยที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
 t = เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น นาที

9.3 คำนวณ และรายงาน ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง ดังนี้

$$\text{TSP} = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V}$$

โดย

- TSP = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมที่สภาวะมาตรฐาน หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 W_i = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม
 W_f = น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม
 V = ปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่างที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร
 10^6 = การแปลงหน่วยจาก กรัม เป็น ไมโครกรัม

9.4 หากจำเป็น สามารถคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่แท้จริง (ดูข้อ 1.2) ดังนี้

$$(\text{TSP})_a = \text{TSP} \left(\frac{P_3}{P_{\text{std}}} \right) \left(\frac{298}{T_3} \right)$$

โดย

- $(\text{TSP})_a$ = ความเข้มข้นที่สภาวะจริง มีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 TSP = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมที่สภาวะมาตรฐาน หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 P_3 = ความดันบรรยากาศเฉลี่ย ขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท
 P_{std} = 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 101 กิโลปาสกาล)
 T_3 = อุณหภูมิในบรรยากาศเฉลี่ย ขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 แสดง Expressions สำหรับการพล็อตกราฟมาตรฐานของเครื่องเก็บตัวอย่าง

TABLE 1. EXPRESSIONS FOR PLOTTING SAMPLER CALIBRATION CURVES

Type of sampler flow rate measuring device	Expression	
	For actual pressure and temperature corrections	For incorporation of geographic average pressure and seasonal average temperature
Mass flowmeter	I	I
Orifice and pressure indicator	$I \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_{std}}\right) \left(\frac{298}{T_2}\right)}$	$I \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_a}\right) \left(\frac{T_a}{T_2}\right)}$
Rotameter, or orifice and pressure recorder having square root scale*	$I \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_{std}}\right) \left(\frac{298}{T_2}\right)}$	$I \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_a}\right) \left(\frac{T_a}{T_2}\right)}$

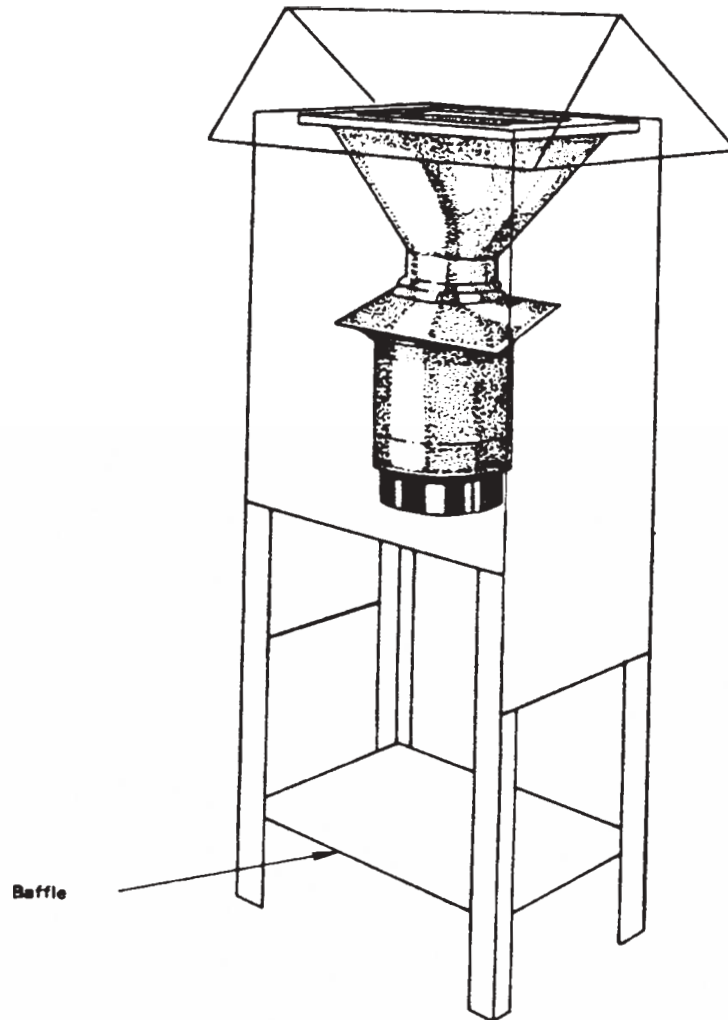
*This scale is recognizable by its nonuniform divisions and is the most commonly available for high-volume samplers.

ตารางที่ 2 Expressions สำหรับการหาอัตราการไหลของอากาศขณะเครื่องเก็บตัวอย่างเดินเครื่อง

TABLE 2. EXPRESSIONS FOR DETERMINING FLOW RATE DURING SAMPLER OPERATION

Type of sampler flow rate measuring device	Expression	
	For actual pressure and temperature corrections	For use when geographic average pressure and seasonal average temperature have been incorporated into the sampler calibration
Mass flowmeter	I	I
Orifice and pressure indicator	$I \sqrt{\left(\frac{P_3}{P_{std}}\right) \left(\frac{298}{T_3}\right)}$	\sqrt{I}
Rotameter, or orifice and pressure recorder having square root scale*	$I \sqrt{\left(\frac{P_3}{P_{std}}\right) \left(\frac{298}{T_3}\right)}$	I

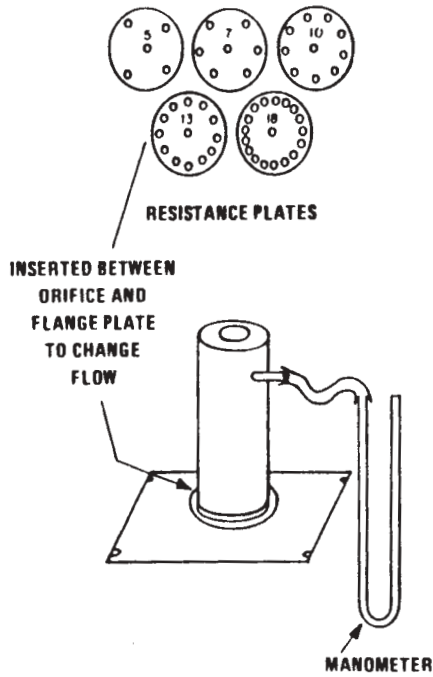
*This scale is recognizable by its nonuniform divisions and is the most commonly available for high-volume samplers.



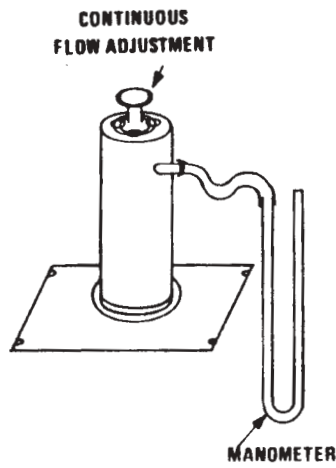
รูปที่ 11 เครื่องเก็บตัวอย่างที่อยู่ใน Shelter

**ORIFICE TYPE FLOW
TRANSFER STANDARDS**

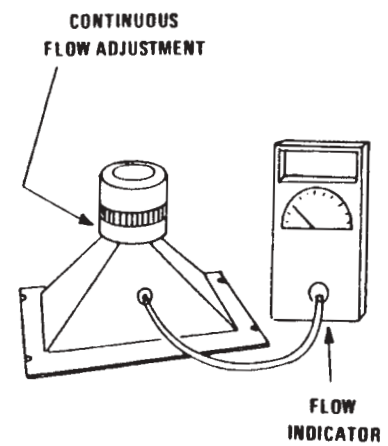
**NONORIFICE TYPE FLOW
TRANSFER STANDARD**



**2a. ORIFICE UNIT USING FIXED
RESISTANCE PLATES.**

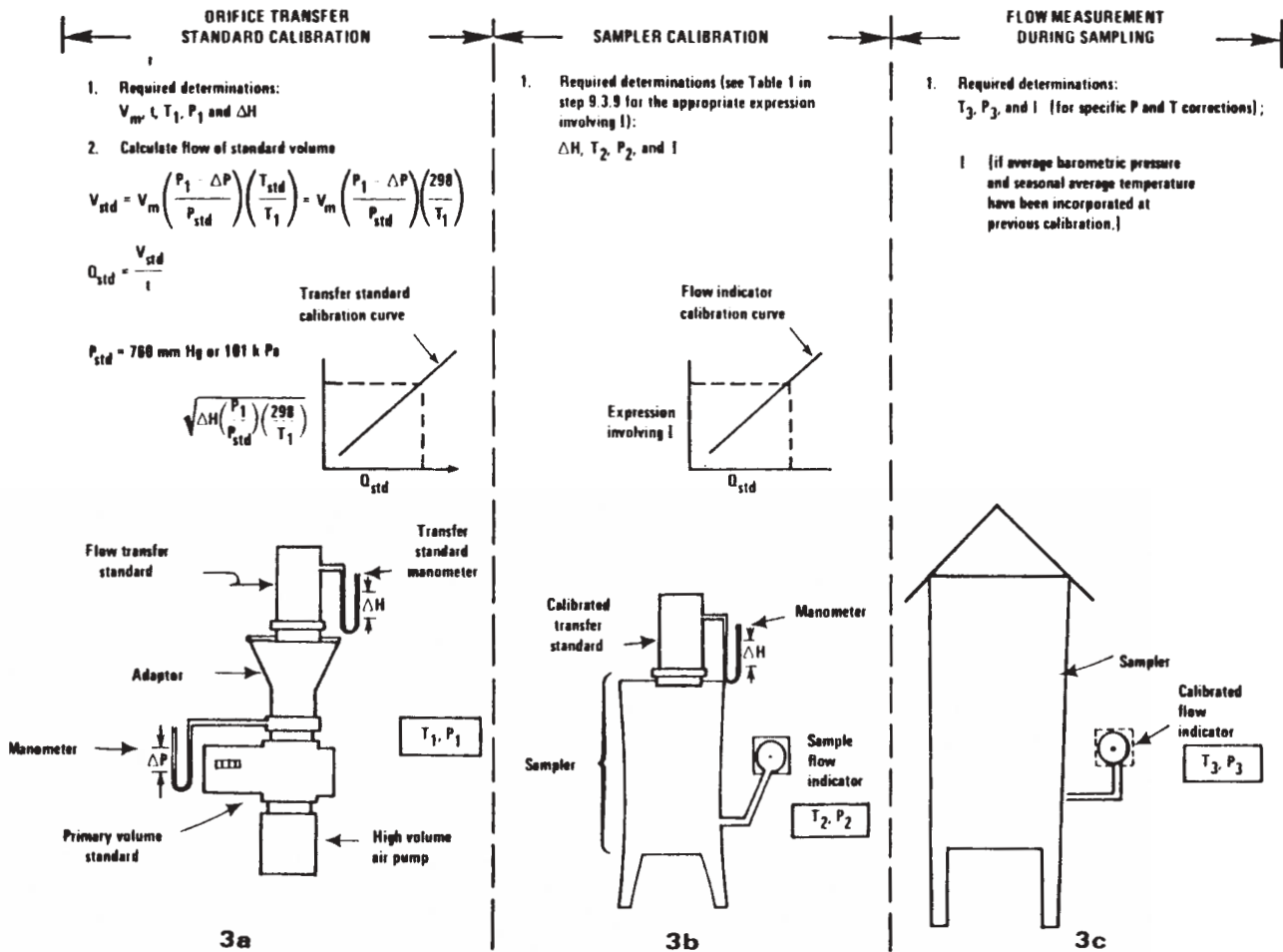


**2b. PREFERABLE ORIFICE UNIT WITH
EXTERNALLY ADJUSTABLE
RESISTANCE.**



**2c. ELECTRONIC FLOWMETER WITH EXTERNALLY
ADJUSTABLE RESISTANCE.**

รูปที่ 12 แสดงประเภทของชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน (Flow transfer standards)



รูปที่ 13 แสดงขั้นตอนการประกอบกรวัดอัตราการไหลของอากาศ

ORIFICE TRANSFER STANDARD CERTIFICATION WORKSHEET

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(7a)
Run No.	Meter reading start V_i (m^3)	Meter reading stop V_f (m^3)	Sampling time t (min)	Volume measured V_m (m^3)	Differential pressure (at inlet to volume meter) ΔP (mm Hg or kPa)	(X) Flow rate Q_{std} (std m^3 /min)	Pressure drop across orifice ΔH <input type="checkbox"/> (in) or <input type="checkbox"/> (cm) of water	(Y) $\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_1} \right)}$
1								
2								
3								
4								
5								
6								

RECORDED CALIBRATION DATA

Standard volume meter no. _____

Transfer standard type: orifice other

Model No. _____ Serial No. _____

(8) P_1 : _____ mm Hg (or kPa) (10) P_{std} : 760 mm Hg (or 101 kPa)

(9) T_1 : _____ K (11) T_{std} : 298 K

Calibration performed by: _____

Date: _____

LEAST SQUARES CALCULATIONS

Linear ($Y = mX + b$) regression equation of $Y = \sqrt{\Delta H(P_1/P_{std})(298/T_1)}$ on $X = Q_{std}$ for Orifice Calibration Unit (i.e., $\sqrt{\Delta H(P_1/P_{std})(298/T_1)} = mQ_{std} + b$)

Slope (m) = _____ Intercept (b) = _____ Correlation coefficient (r) = _____

To use for subsequent calibration: $X = \frac{1}{m}(Y-b)$; $Q_{std} = \frac{1}{m} \left(\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)} - b \right)$

CALCULATION EQUATIONS

$$(1) V_m = V_f - V_i$$

$$(2) V_{std} = V_m \left(\frac{P_1 - \Delta P}{P_{std}} \right) \left(\frac{T_{std}}{T_1} \right)$$

$$(3) Q_{std} = \frac{V_{std}}{t}$$

รูปที่ 14 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มการรับรองของ Orifice transfer standard

HIGH-VOLUME AIR SAMPLER CALIBRATION WORKSHEET

Site Location: _____
 Date: _____ Barometric Pressure, P_2 mm Hg (or kPa) _____
 Calibrated By: _____ Temperature, T_2 (K) _____
 Sampler No. _____ Serial No. _____
 Transfer std. type: _____ Serial No. _____

$P_{std} = 760 \text{ mm Hg (or 101 kPa)}$ Optional: Average barometric pressure: $P_a =$ _____ Seasonal average temperature: $T_a =$ _____				(Y)	
No.	ΔH Pressure drop across orifice <input type="checkbox"/> (in) or <input type="checkbox"/> (cm) of water	$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)}$	(X) Q_{std} (from orifice certification) std m ³ /min	I Sampler flow rate indication (arbitrary)	
				<input type="checkbox"/> I or <input type="checkbox"/> $\sqrt{I \left(\frac{P_2}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)}$ or <input type="checkbox"/> $I \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_{std}} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)}$	<input type="checkbox"/> I or <input type="checkbox"/> $\sqrt{I \left(\frac{P_2}{P_a} \right) \left(\frac{T_a}{T_2} \right)}$ or <input type="checkbox"/> $I \sqrt{\left(\frac{P_2}{P_a} \right) \left(\frac{T_a}{T_2} \right)}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

LEAST SQUARES CALCULATIONS

Linear regression of Y on X: $Y = mX + b$; Y = appropriate expression from Table 1; X = Q_{std} .

Slope (m) = _____ Intercept (b) = _____ Correlation Coeff. (r) = _____

To determine subsequent flow rate during use: $X = \frac{1}{m} (Y - b)$; $Q_{std} = \frac{1}{m} ([\text{appropriate expression from Table 2}] - b)$

รูปที่ 15 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มการเปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง High Volume

บทที่ 6

หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ ด้วยวิธีการวิเมตริก ไฮโวลุ่ม (Gravimetric High Volume)

1. หลักการตรวจวัด

1.1 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ จะดูดอากาศในบรรยากาศด้วยอัตราการไหลคงที่ เข้าสู่ช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ (Inlet) ที่ออกแบบลักษณะพิเศษ ให้สามารถตัดแยกเอาฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และรวบรวมไว้บนกระดาษกรอง ตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ ลักษณะการตัดแยกขนาดฝุ่นละออง (ประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง และ Cutpoint ที่ร้อยละ 50) ของช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง ไว้แล้ว

1.2 ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองแต่ละแผ่น (หลังจากอบกระดาษกรองแล้ว) ทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง เพื่อหาน้ำหนักสุทธิ (มวล) ของ PM_{10} ที่รวบรวมได้ สำหรับปริมาตรตัวอย่างอากาศทั้งหมด ที่คำนวณได้จากอัตราการไหลที่ใช้ตรวจวัด และเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างนั้น ต้องนำมาแก้ค่าตามสภาวะมาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความกดอากาศ 101.3 กิโลปาสคาล) โดยความเข้มข้นของ PM_{10} ในบรรยากาศ คำนวณได้จาก น้ำหนักทั้งหมดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ที่รวบรวมได้ หารด้วยปริมาตรตัวอย่างอากาศ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ได้จะมีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{std m}^3$) สำหรับตัวอย่าง PM_{10} ที่รวบรวมได้ ณ อุณหภูมิ และความกดอากาศ ที่แตกต่างจากสภาวะมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงมากนั้น ค่าความเข้มข้นที่ได้แก้ค่าตามสภาวะมาตรฐานนี้ บางครั้งอาจมีค่าแตกต่างเป็นอย่างมากกับความเข้มข้นที่แท้จริง (ในหน่วย ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่วัดจริง) ถึงแม้ว่าไม่จำเป็นต้องคำนวณหาความเข้มข้นของ PM_{10} ที่แท้จริง แต่หากต้องการก็สามารถคำนวณได้จากค่าความเข้มข้นที่แก้ค่าตามสภาวะมาตรฐานแล้วกับการใช้ค่าอุณหภูมิและความกดอากาศในบรรยากาศ ขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง

2. ช่วงการตรวจวัด (Range)

ขีดจำกัดระดับล่าง (Lower limit) ของช่วงความเข้มข้นของฝุ่นละออง พิจารณาได้จากน้ำหนักของกระดาษกรองเปล่าที่ชั่งซ้ำหลายครั้งแล้วได้ค่าคงที่ (Repeatability) โดยสมมุติว่ามีปริมาตรตัวอย่างอากาศไหลผ่านเครื่องเก็บตัวอย่าง สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่ใช้กลไกการเปลี่ยนกระดาษกรองโดยอัตโนมัติ อาจไม่มีขีดจำกัดระดับบน (Upper limit) ได้ แต่สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่ไม่มีกลไกการเปลี่ยนกระดาษกรองโดยอัตโนมัติ นั้น สามารถหาขีดจำกัดระดับบนได้จากที่กระดาษกรองมีฝุ่นละอองสะสมอยู่มากจนทำให้เครื่องเก็บตัวอย่างไม่สามารถรักษาอัตราการไหลที่ใช้ให้อยู่ในอัตราที่กำหนดได้ เนื่องจากมี Pressure drop เพิ่มขึ้น เมื่อตัวอย่างอากาศไหลผ่าน

กระตาศกรองที่มีปริมาณฝุ่นละอองสะสมอยู่มากทั้งนี้ไม่สามารถระบุขีดจำกัดระดับบนได้อย่างแม่นยำนักเนื่องจากมีความซับซ้อนของการกระจายขนาดและชนิดของอนุภาคในบรรยากาศ ตลอดจนความชื้น ประเภทของกระตาศกรอง และอาจมีปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วย อย่างไรก็ตามเครื่องเก็บตัวอย่างทุกชนิดควรมีขีดความสามารถในการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ได้อย่างน้อย 300 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมาตรฐาน ขณะเดียวกันก็สามารถรักษาอัตราการไหลให้อยู่ในอัตราที่กำหนดได้

3. ความเที่ยงตรง (Precision)

ความเที่ยงตรงของเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ต้องเท่ากับ 5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับ PM_{10} ที่มีค่าความเข้มข้นต่ำกว่า 80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเท่ากับ 7% สำหรับ PM_{10} ที่มีค่าความเข้มข้นสูงกว่า 80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การประเมินความเที่ยงตรงอย่างสม่ำเสมอทำได้โดยการติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างหลายเครื่องให้อยู่ใกล้ ๆ กัน (Collocated samplers) สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ที่ใช้ในเครือข่ายการติดตามตรวจสอบ

4. ความแม่นยำ (Accuracy)

เนื่องจากขนาดของอนุภาคทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศแปรผันเกินช่วงการตรวจวัดที่กว้าง และความเข้มข้นของอนุภาคก็แปรผันตามขนาดของอนุภาคเองด้วย จึงเป็นการยากที่จะกำหนดความแม่นยำสัมบูรณ์ (Absolute accuracy) ของเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ซึ่งลักษณะเฉพาะของประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่างของเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} กำหนดให้ความเข้มข้นที่คาดหวัง (Expected mass concentration) ที่คำนวณจากเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ที่เลือกไว้ ขณะเก็บตัวอย่างอนุภาคที่มีขนาดต่าง ๆ จะต้องอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ของความเข้มข้นที่คำนวณได้จาก ideal sampler ซึ่งได้กำหนดประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่างไว้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคสำหรับการเก็บตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพ 50% จะต้องอยู่ในช่วงขนาด 10 ± 0.5 ไมครอน ลักษณะเฉพาะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับควมแม่นยำ ได้แก่ การวัดการไหลและการปรับเทียบ วัสดุที่ใช้ทำกระตาศกรอง ขั้นตอนวิธีการวิเคราะห์ (การชั่งน้ำหนัก) และ Artifact ให้ประเมินความแม่นยำของอัตราไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ที่ใช้ในเครือข่ายติดตามตรวจสอบ ด้วยการตรวจสอบความถูกต้องของอัตราการไหล (Flow rate audit) เป็นระยะ ๆ

5. สาเหตุที่มีแนวโน้มของความผิดพลาด

5.1 อนุภาคที่ระเหยง่าย (Volatile Particles) อนุภาคที่ระเหยได้ง่ายที่รวบรวมได้บนกระตาศกรองมักมีการสูญหายบ่อยครั้ง ขณะจัดส่งและ/หรือเก็บรักษากระตาศกรอง ก่อนที่จะนำไปชั่งน้ำหนักหลังการเก็บตัวอย่าง ถึงแม้ว่าการนำส่งหรือการเก็บรักษากระตาศกรองหลังการเก็บตัวอย่าง จะเป็นขั้นตอนที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ก็ควรชั่งน้ำหนักกระตาศกรองให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดการสูญหายดังกล่าว

5.2 Artifacts เป็นความผิดพลาดเชิงบวกของการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} ที่อาจเกิดขึ้นจากก๊าซบางชนิดที่ถูกกักเก็บบนกระตาศกรอง ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกรดไนตริก โดยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ถูกกักเก็บบนกระตาศกรอง จะผ่านกระบวนการออกซิเดชัน เป็นซัลเฟต เรียกว่า การเกิด Artifact sulfate ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามสภาพความเป็นต่างของกระตาศกรองที่เพิ่มขึ้น หากกระตาศกรองที่ใช้มีคุณสมบัติทางสภาพต่าง ตามที่ระบุในข้อ 6.2.4 แล้ว จะไม่เกิด Artifact sulfate หรือเกิดน้อยมาก สำหรับการเกิด Artifact

nitrate นั้น เกิดจากกรดไนตริกที่ได้กักเก็บบนกระดาดเป็นสำคัญ และประเภทของกระดาดรองที่ต่างกันก็จะเกิดในระดับต่าง ๆ กันด้วย รวมถึงกระดาดรองที่ทำจากใยแก้ว เซลลูโลสเอสเตอร์ และใยหินหลายชนิด ซึ่งการสูญหายของอนุภาคไนเตรตในบรรยากาศจริง อาจเกิดขึ้นขณะหรือหลังการเก็บตัวอย่างได้ด้วย เนื่องจากการแตกตัวหรือปฏิกิริยาเคมี เคยสังเกตพบสิ่งที่เกิดขึ้นนี้กับกระดาดรอง Teflon® และกระดาดรองใยหิน โดยขนาดความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเกิดไนเตรตในการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} จะแปรผันตามสถานที่และอุณหภูมิบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตาม สำหรับทำเลที่ตั้งของจุดเก็บตัวอย่างส่วนใหญ่แล้ว คาดว่าจะเกิดความผิดพลาดประเภทในลักษณะนี้ได้น้อย

5.3 ความชื้น ผลกระทบของความชื้นในบรรยากาศที่มีต่อตัวอย่างนั้น เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ แต่ขั้นตอนวิธีการอบกระดาดรอง ที่กล่าวไว้ในข้อ 8.0 สามารถนำมาใช้เพื่อลดผลกระทบของความชื้นที่มีต่อวัสดุที่ใช้ทำกระดาดรองให้เหลือน้อยลงได้

5.4 การดูแลรักษากระดาดรอง การดูแลรักษากระดาดรองขณะซึ่งนำหน้าทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่จะทำให้กระดาดรองได้รับความเสียหาย หรืออนุภาคที่รวบรวมได้สูญหายไปจากกระดาดรอง การใช้ Cartridge หรือ Cassette สำหรับบรรจุกระดาดรอง อาจลดความผิดพลาดนี้ได้ ทั้งนี้กระดาดรองจะต้องมีคุณสมบัติของ Integrity ตามที่ระบุไว้ในข้อ 6.2.3 ด้วย

5.5 ความแปรผันของอัตราการไหล ความแปรผันของอัตราการไหลขณะที่เครื่องเก็บตัวอย่างทำงานอยู่นั้น อาจส่งผลต่อลักษณะการคัดแยกขนาดอนุภาคของช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างได้ ซึ่งขนาดความผิดพลาดนี้ จะขึ้นอยู่กับความไวของช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศที่มีต่ออัตราการไหลและการกระจายตัวของอนุภาคในบรรยากาศขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมการไหลเพื่อลดความผิดพลาดนี้ลง (ดูข้อ 6.1.3)

5.6 การวัดปริมาตรอากาศ ความผิดพลาดในการวัดปริมาตรอากาศ อาจเป็นผลมาจากความผิดพลาดของการวัดอัตราการไหล และ/หรือเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง การใช้อุปกรณ์ควบคุมการไหลจะช่วยลดความผิดพลาดในการวัดอัตราการไหล และลดความผิดพลาดของการจับเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยการใช้ Elapsed time meter (ดูข้อ 6.1.5)

6. เครื่องมือ/อุปกรณ์

6.1 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} (รูปที่ 16)

(6.1.1) เครื่องเก็บตัวอย่างจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถ

- ดูดตัวอย่างอากาศเข้าสู่ช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง และไหลผ่านกระดาดรองด้วย Face velocity ที่สม่ำเสมอ
- จับและยึดกระดาดรองในตำแหน่งตามแนวนอน เพื่อดูดตัวอย่างอากาศให้ไหลผ่านกระดาดรอง
- จัดกระดาดรองให้สะดวกต่อการวางและดึงกระดาดรองออก
- ป้องกันกระดาดรองและเครื่องเก็บตัวอย่างจากฝน และป้องกันแมลงและเศษวัสดุอื่น ๆ ถูกดูดเป็นตัวอย่าง
- ลดการรั่วไหลของอากาศ เพราะอาจทำให้การวัดปริมาตรอากาศที่ผ่านกระดาดรองผิดพลาดได้

- f. อากาศที่ระบายออก ควรห่างจากช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง เพื่อลดโอกาสที่จะดูดเอาอากาศที่ได้ระบายออกมาเป็นตัวอย่างอีก
- g. ลดการเก็บรวบรวมเอาฝุ่นละอองจากพื้น

(6.1.2) เครื่องเก็บตัวอย่างจะต้องมีระบบช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ ที่ทำงานได้ตามช่วงอัตราการไหลที่กำหนดไว้ โดยลักษณะการคัดแยกขนาดของอนุภาคกำหนดให้ช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างจะต้องไม่ได้รับผลกระทบจากทิศทางลมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว จะมีลักษณะนี้ได้ ถ้ารูปทรงของช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ เป็นรูปทรงกลมสมมาตรในแนวตั้ง

(6.1.3) เครื่องเก็บตัวอย่างจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการไหล ที่มีขีดความสามารถในการรักษาอัตราการไหล ของเครื่องเก็บตัวอย่างขณะทำงาน ให้อยู่ในอัตราที่กำหนดไว้สำหรับช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศ โดยปกติจะแปรผันตามความต่างศักย์ไฟฟ้า และ Pressure drop ของกระดาชกรอง

(6.1.4) เครื่องเก็บตัวอย่างจะต้องสามารถวัดอัตราการไหลทั้งหมดขณะช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างได้ โดยขอแนะนำ (ไม่ใช่ข้อกำหนด) ให้ใช้เครื่องบันทึกการไหลแบบต่อเนื่อง โดยจะต้องมีอุปกรณ์วัดการไหลที่มีความแม่นยำ $\pm 2\%$

(6.1.5) จะต้องใช้อุปกรณ์จับเวลา/ควบคุมเวลาที่ความสามารถเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องเก็บตัวอย่างได้ เพื่อให้เก็บรวบรวมตัวอย่างได้เป็นเวลา 24 ± 1 ชั่วโมง ($1,440 \pm 60$ นาที) ให้ใช้ Elapsed timer ที่มีความแม่นยำถึง ± 15 นาที ในการจับเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้มิเตอร์ดังกล่าวหากเครื่องเก็บตัวอย่างนั้นติดตั้งเครื่องบันทึกการไหลแบบต่อเนื่อง และจับเวลาได้แม่นยำถึง ± 15 นาที

(6.1.6) เครื่องเก็บตัวอย่างจะต้องมีคู่มือการปฏิบัติงานหรือคู่มือคำแนะนำ รวมถึงรายละเอียดคำแนะนำเกี่ยวกับการเปรียบเทียบ การปฏิบัติงาน และการบำรุงรักษาเครื่องเก็บตัวอย่าง

6.2 กระดาชกรอง

(6.2.1) วัสดุที่ใช้ทำกระดาชกรอง ในท้องตลาดยังไม่มีวัสดุที่ใช้ทำกระดาชกรองที่ดีที่สุดในทุก ๆ ด้านสำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างแต่เป้าหมายในการเก็บตัวอย่างของผู้ใช้เครื่อง คือสิ่งสำคัญที่จะระบุลักษณะของกระดาชกรอง (เช่น ราคา ความยากง่ายต่อการจับต้อง ลักษณะทางกายภาพและเคมี เป็นต้น) ซึ่งสิ่งที่ตามมาคือสามารถเลือกกระดาชกรองใดบ้างอันเป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้กระดาชกรองบางประเภท อาจไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับเครื่องเก็บตัวอย่างบางตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากต้องการเก็บตัวอย่างในปริมาณมาก (ความเข้มข้นโดยมวลสูง) ทั้งนี้ก็เนื่องจากความต้านทานการไหลของกระดาชกรองสูงขึ้นหรือเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนเกินขีดความสามารถของอุปกรณ์ควบคุมการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง อย่างไรก็ตามเครื่องเก็บตัวอย่างที่ติดตั้งกลไกเปลี่ยนกระดาชกรองโดยอัตโนมัติไว้ด้วยแล้ว อาจใช้กระดาชกรองประเภทดังกล่าวได้ รายละเอียดที่แสดงไว้ต่อไปนี้ คือข้อกำหนดขั้นต่ำสุด สำหรับวัสดุของกระดาชกรองที่ยอมรับได้ ที่จะนำมาใช้ในการวัดความเข้มข้นโดยมวลของ PM_{10} เกณฑ์อื่น ๆ ที่ใช้เพื่อประเมินกระดาชกรอง ควรพิจารณาจากวัตถุประสงค์เฉพาะแต่ละครั้งของการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

(6.2.2) ประสิทธิภาพการกรอง กระดาชกรองต้องมีประสิทธิภาพในการกรองเก็บฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ไมครอน ได้อย่างน้อยร้อยละ 99 ด้วยวิธีทดสอบ DOP (ASTM-2986) ณ Face velocity ของเครื่องเก็บตัวอย่าง

(6.2.3) ความมั่นคง (Integrity) ± 5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สมมุติฐานว่ามีปริมาตร ตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างใน 24 ชั่วโมง) วัดค่า Integrity ได้จากความเข้มข้นของ PM_{10} ที่เทียบเท่ากับ ความแตกต่างเฉลี่ยระหว่างน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักสุดท้ายของกระตาศกรองที่สุ่มตัวอย่างนำมาทดสอบ ที่ผ่านการซั่งน้ำหนักและดูแลรักษาภายใต้สภาวะการเก็บตัวอย่างจริงหรือที่จำลองสถานการณ์ขึ้น แต่ไม่มีตัวอย่างอากาศผ่านกระตาศกรอง (หมายถึงกระตาศกรองเปล่า) ซึ่งอย่างน้อยที่สุด ขั้นตอนวิธีการทดสอบนี้จะต้องรวมถึงการอบกระตาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง และการซั่งน้ำหนัก การใส่กระตาศกรองในเครื่องเก็บตัวอย่างที่ไม่ได้เดินเครื่อง การนำกระตาศกรองออกจากเครื่องเก็บตัวอย่าง และการอบกระตาศกรองหลังการเก็บตัวอย่าง และซั่งน้ำหนักขั้นสุดท้าย

(6.2.4) สภาพด่าง (Alkalinity) กระตาศกรองควรมีสภาพด่างที่วัดได้ น้อยกว่า 25 microequivalents/กรัม โดยกระตาศกรองผ่านการเก็บรักษาอย่างน้อย 2 เดือน ในสภาพแวดล้อมที่สะอาด (ไม่มีก๊าซที่เป็นกรดปนเปื้อน) ณ อุณหภูมิและความชื้นห้อง

6.3 ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน (Flow Rate Transfer Standard) ต้องเหมาะสมสำหรับอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างขณะเดินเครื่อง และจะต้องผ่านการปรับเทียบกับเครื่องวัดการไหลปฐมภูมิ (primary flow) หรือ ปริมาตรมาตรฐาน ที่สามารถสอบกลับไปยัง NBS ได้ โดยชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานนี้ต้องสามารถวัดอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างขณะเดินเครื่องได้ด้วยความแม่นยำ $\pm 2\%$

6.4 สภาวะแวดล้อมของกระตาศกรอง

(6.4.1) ช่วงอุณหภูมิ: 15 ถึง 30 องศาเซลเซียส

(6.4.2) การควบคุมอุณหภูมิ: ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน ± 3 องศาเซลเซียส

(6.4.3) ช่วงความชื้น: ความชื้นสัมพัทธ์ 20% ถึง 45%

(6.4.4) การควบคุมความชื้น: ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm 5\%$

6.5 เครื่องซั่งน้ำหนัก

เครื่องซั่งน้ำหนักต้องเหมาะสำหรับการซั่งกระตาศกรองตามประเภทและขนาดที่กำหนดไว้สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างโดยช่วงการวัดและความไว (Sensitivity) ที่เหมาะสม จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักเปล่าของกระตาศกรองและน้ำหนักที่เก็บตัวอย่างได้ โดยปกติหากเป็นเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศที่ใช้ปริมาตรอากาศสูง (อัตราการไหลมากกว่า 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที) แล้ว เครื่องซั่งที่เหมาะสมจะต้องมีความไว 0.1 มิลลิกรัม แต่สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศที่ใช้ปริมาตรอากาศต่ำกวานั้น (อัตราการไหลน้อยกว่า 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที) จะต้องใช้เครื่องซั่งที่มีความไวมากขึ้น

7. การเปรียบเทียบ

7.1 ข้อกำหนดทั่วไป

(7.1.1) ต้องมีการเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง เพื่อที่จะสามารถสอบกลับการตรวจวัดการไหลไปยังมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard) ได้ ดังนั้น จึงใช้ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน ที่ผ่านการปรับเทียบกับเครื่องวัดอัตราการไหลปฐมภูมิ หรือ ปริมาตรมาตรฐาน มาปรับเทียบหรือตรวจสอบความแม่นยำของอุปกรณ์วัดอัตราไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง

(7.1.2) ระบบช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างจะคัดแยกขนาดของอนุภาคอย่างช้า ๆ โดยไม่มีแรงอะไรไปกระตุ้น ด้วย Air velocity ที่กำหนด ดังนั้น อัตราการไหลที่ผ่านช่องทางเข้าตัวอย่าง

อากาศจะต้องคงที่ตามช่วงอัตราการไหลที่ผู้ผลิตกำหนดตลอดช่วงเวลารับตัวอย่าง อัตราการไหลดังกล่าวเป็นอัตราการไหลของปริมาตรอากาศที่แท้จริงที่วัดค่าอุณหภูมิและความกดอากาศ (Q_a) ขณะดำเนินการเก็บตัวอย่าง ทั้งนี้ในการคำนวณความเข้มข้นของ PM_{10} จะต้องใช้ค่าอัตราการไหลที่ได้แก่ค่าตามสภาวะอุณหภูมิและความกดอากาศมาตรฐาน (Q_{std}) แล้ว

7.2 ขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบอัตราการไหล

(7.2.1) เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ใช้อุปกรณ์ควบคุมการไหลและวัดการไหลของอากาศหลากหลายแบบ โดยขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบอัตราไหลหรือตรวจสอบความถูกต้อง จะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ควบคุมการไหลและเครื่องวัดการไหลที่ใช้ โดยทั่วไปแล้วแนะนำให้เปรียบเทียบอัตราการไหลของปริมาตรที่แท้จริง (Q_a) แต่อาจคงใช้การวัดอัตราการไหลอื่น ๆ (เช่น Q_{std}) ได้ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบุไว้ในหัวข้อ 8.1 ซึ่งขั้นตอนวิธีการทั่วไปที่แสดงไว้ ณ ที่นี้ ใช้หน่วยของการไหลของปริมาตรที่แท้จริง (Q_a) และแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการเปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ทั้งนี้ให้ศึกษาคำแนะนำเฉพาะในการเปรียบเทียบเครื่องมือจากคู่มือการปฏิบัติงานของผู้ผลิต

(7.2.2) เปรียบเทียบชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐาน กับเครื่องวัดอัตราการไหลปฐมภูมิ หรือปริมาตรมาตรฐานที่สามารถสอบกลับไปยัง NBS ได้ แล้วหาความสัมพันธ์ของการเปรียบเทียบ (เช่น สมการ หรือ กรู๊ปกราฟเส้น) ที่สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานปฐมภูมิได้ ด้วยความแม่นยำภายใน 2% ตลอดช่วงสภาวะบรรยากาศที่คาดไว้สำหรับนำชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานมาใช้ (อุณหภูมิและความกดของอากาศ) โดยให้ดำเนินการเปรียบเทียบชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานอีก เป็นระยะ ๆ

(7.2.3) ให้ปฏิบัติตามคู่มือคำแนะนำของผู้ผลิต โดยถอดช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างออก แล้วต่อชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานเข้ากับเครื่องเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานสามารถวัดอัตราไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างได้อย่างแม่นยำ ตรวจสอบการรั่วไหลระหว่างชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานกับเครื่องเก็บตัวอย่าง

(7.2.4) เลือกอัตราการไหลอย่างน้อย 3 อัตรา (อัตราการไหลจริง หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ให้ครอบคลุมช่วงอัตราการไหลที่ยอมรับได้ตามที่กำหนดไว้สำหรับช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศได้ (ดูข้อ 6.1.2) โดยการปรับอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างให้เหมาะสมตามจากคู่มือคำแนะนำของผู้ผลิต ให้หาหรือตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์การเปรียบเทียบ ระหว่างอัตราการไหล (อัตราการไหลจริง หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ตามที่ชุดสอบเทียบอัตราการไหลมาตรฐานและเครื่องวัดการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่างอ่านได้ แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิและความกดของอากาศในบรรยากาศ สำหรับอุปกรณ์วัดการไหลบางประเภทอาจจำเป็นต้องแก้ค่าอุณหภูมิและความกดของอากาศให้เป็นค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดอัตราการไหล หากจำเป็นต้องแก้ค่าตามสภาวะมาตรฐาน ควรทำทุกการเก็บตัวอย่างหรือทุกวัน อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการแก้ค่ารายวัน ในการเปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอาจนำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตามฤดูกาลและความกดของอากาศเฉลี่ย ของจุดเก็บตัวอย่างนั้นมาใช้ด้วย สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติม ให้ตรวจสอบกับคู่มือคำแนะนำของผู้ผลิต

(7.2.5) หลังการเปรียบเทียบ ให้ตรวจสอบความถูกต้องของอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง ขณะเดินเครื่องว่าเป็นไปตามอัตราที่กำหนดหรือไม่ (อัตราการไหลจริง หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) โดยใส่กระดาษกรองที่สะอาดจำนวน 1 แผ่น

(7.2.6) ติดตั้งช่องทางเข้าตัวอย่างอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างเข้าที่เดิม

8. ขั้นตอนวิธีการปฏิบัติ

8.1 จะต้องเดินเครื่องเก็บตัวอย่างให้เป็นไปตามคำแนะนำที่ระบุไว้ในคู่มือคำแนะนำของผู้ผลิต โดยขั้นตอนการปฏิบัติทั่วไปที่แสดงไว้ ณ ที่นี้ สมมุติว่าเป็นการปรับเทียบอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง บนพื้นฐานอัตราการไหล ณ สภาวะบรรยากาศ (Q_a) และเป็นการแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10}

8.2 ตรวจสอบ รูพรุน อนุภาค และความไม่สมบูรณ์อื่นๆ ของกระดาศกรองแต่ละแผ่น แล้วบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับกระดาศกรอง และกำหนดหมายเลขของกระดาศกรองแต่ละแผ่น

8.3 ออบกระดาศกรองแต่ละแผ่นภายใต้สภาวะแวดล้อมของกระดาศกรอง (ดูข้อ 6.4) เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

8.4 หลังจากอบกระดาศกรองแล้ว ให้ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองแต่ละแผ่น และบันทึกค่าน้ำหนักก่อนเก็บตัวอย่าง ตามหมายเลขกระดาศกรองแต่ละแผ่น

8.5 นำกระดาศกรองที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้ว ใส่ลงในเครื่องเก็บตัวอย่าง โดยให้ปฏิบัติตามคำแนะนำที่แสดงไว้ในคู่มือคำแนะนำของผู้ผลิต

8.6 เปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง และทิ้งไว้สักครู่เพื่ออุ่นเครื่อง แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดการไหล และหากจำเป็นให้บันทึกอุณหภูมิและความกดอากาศในบรรยากาศด้วย จากนั้นหาค่าอัตราการไหลของเครื่องเก็บตัวอย่าง (อัตราการไหลจริง หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที) ตามคำแนะนำที่ระบุไว้ในคู่มือคำแนะนำของผู้ผลิต ข้อสังเกต - ไม่จำเป็นต้องวัดอุณหภูมิหรือความกดของอากาศ ณ จุดตรวจวัด หากเครื่องวัดการไหลของเครื่องมีเก็บตัวอย่างไม่กำหนดให้มีการแก้ค่าอุณหภูมิหรือความกดอากาศ หรือหากการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างนั้น ได้คำนวณแก้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตามฤดูกาลและความกดของอากาศเฉลี่ยไว้แล้ว (ดูขั้นตอน 7.2.4) หากต้องมีการแก้ค่าอุณหภูมิและความกดของอากาศรายวัน ให้ใช้ค่าอุณหภูมิและความกดของอากาศในบรรยากาศที่ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศบริเวณข้างเคียง ค่าความกดของอากาศที่ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศที่สนามบิน จะต้องเป็นความกดอากาศของสถานี และไม่ต้องแก้ค่าตามระดับน้ำทะเล และอาจจำเป็นต้องแก้ค่าเพื่อชดเชยความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างจุดตรวจวัดกับสถานีที่สนามบิน

8.7 หากอัตราการไหลไม่อยู่ในช่วงที่ผู้ผลิตกำหนด ให้ตรวจสอบการรั่ว และหากจำเป็นให้ปรับอัตราการไหลไปที่ Specified setpoint แล้วหยุดเดินเครื่องเก็บตัวอย่าง

8.8 ตั้งเวลาให้อุปกรณ์ตั้งเวลา เปิด-ปิด เครื่องเก็บตัวอย่างตามเวลาที่กำหนดไว้ โดยตั้งมิเตอร์จับเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างไว้ที่ศูนย์ หรือบันทึกค่าเริ่มต้นที่อ่านได้จากมิเตอร์

8.9 บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่าง (ท่าเลขที่ตั้งหรือหมายเลขของจุดเก็บตัวอย่าง วันที่ของตัวอย่าง หมายเลขกระดาศกรอง และรุ่นและหมายเลขเครื่องเก็บตัวอย่าง)

8.10 เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ± 1 ชั่วโมง

8.11 ขณะเก็บตัวอย่างให้ตรวจสอบและบันทึกค่าอัตราการไหลเฉลี่ยจริง (\bar{Q}_a) จริง หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ตามข้อแนะนำที่ระบุไว้ในคู่มือของผู้ผลิตเครื่อง อ่านมิเตอร์และบันทึกเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง และหากจำเป็นให้บันทึกอุณหภูมิและความกดอากาศเฉลี่ยในบรรยากาศด้วย (อ่านข้อสังเกตในขั้นตอน 8.6)

8.12 นำกระดาศกรองออกจากเครื่องเก็บตัวอย่างด้วยความระมัดระวัง ให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำในคู่มือของผู้ผลิต โดยสัมผัสกระดาศกรองได้เฉพาะขอบเท่านั้น

8.13 นำกระดาศกรองบรรจุไว้ในภาชนะที่บรรจุเหมาะสม เช่น ซองกระดาศกรอน้ำตาล

8.14 บันทึกปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาวะทางอุตุนิยมวิทยา กิจกรรมการก่อสร้างที่เกิดขึ้น ไฟไหม้หรือพายุฝุ่น เป็นต้น ซึ่งอาจส่งผลต่อการตรวจวัด ให้บันทึกเป็นข้อมูลกระดาษกรอง

8.15 นำกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง ไปควบคุมสภาวะแวดล้อมของกระดาษกรองให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อจะได้นำไปอบ และชั่งน้ำหนักต่อไป

8.16 อบกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง ภายใต้สภาวะแวดล้อมของกระดาษกรอง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง ด้วยอุณหภูมิและความชื้นเดียวกับที่ใช้ในการอบกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (ดูข้อ 8.3)

8.17 หลังจากอบกระดาษกรองเสร็จ ให้ชั่งน้ำหนักอีกครั้งทันที และบันทึกน้ำหนักตามหมายเลขกระดาษกรอง

9. การบำรุงรักษาเครื่องเก็บตัวอย่าง

ให้บำรุงรักษาเครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ตามวิธีปฏิบัติที่ระบุไว้ในคู่มือของผู้ผลิตอย่างเคร่งครัด

10. การคำนวณ

10.1 คำนวณอัตราการไหลเฉลี่ยตลอดช่วงเวลากการเก็บตัวอย่าง โดยให้แก้ค่าตามสภาวะมาตรฐาน เป็นค่า \bar{Q}_{std} เมื่อเปรียบเทียบ เครื่องแสดงอัตราการไหลอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างเป็นหน่วยปริมาตรที่แท้จริง (Q_a) แล้ว ให้คำนวณหา \bar{Q}_{std} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\bar{Q}_{std} = \bar{Q}_a \left(\frac{P_{av}}{T_{av}} \right) \left(\frac{T_{std}}{P_{std}} \right)$$

โดย

\bar{Q}_{std} = อัตราการไหลเฉลี่ยตามสภาวะมาตรฐาน หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรมาตรฐานต่อนาที

\bar{Q}_a = อัตราการไหลเฉลี่ยตามสภาวะบรรยากาศจริง หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

P_{av} = ความกดของอากาศเฉลี่ยขณะดำเนินการเก็บตัวอย่าง หรือความกดของอากาศเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น กิโลปาสกาล (หรือ มิลลิเมตรปรอท)

T_{av} = อุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยขณะดำเนินการเก็บตัวอย่าง หรืออุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ยตามฤดูกาลของจุดตรวจวัด หน่วยเป็น องศาเซลเซียส

T_{std} = อุณหภูมิมาตรฐาน คือ 298 องศาเซลเซียส

P_{std} = ความกดอากาศมาตรฐาน คือ 101.3 กิโลปาสกาล (หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท)

10.2 คำนวณปริมาตรอากาศทั้งหมดที่เก็บตัวอย่าง จากสมการดังนี้

$$V_{std} = \bar{Q}_{std} \times t$$

โดย

V_{std} = ปริมาตรตัวอย่างอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน ในหน่วยลูกบาศก์เมตร
 t = ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น นาที

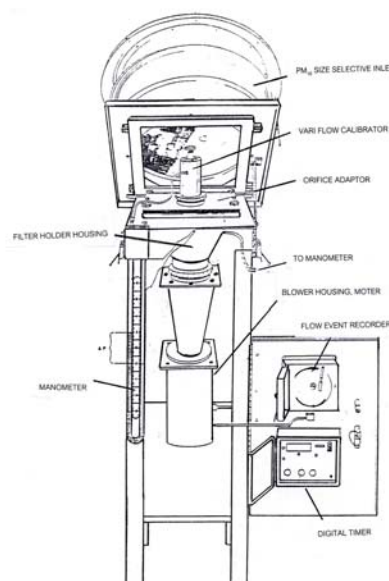
10.3 คำนวณความเข้มข้นของ PM_{10} จากสมการดังนี้

$$PM_{10} = (W_f - W_i) \times 10^6 / V_{std}$$

โดย

PM_{10} = ความเข้มข้นของ PM_{10} ที่สภาวะมาตรฐาน หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 W_f = น้ำหนักกระดาษกรองหลังการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น กรัม
 W_i = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น กรัม
 10^6 = การแปลงหน่วยจาก กรัม เป็น ไมโครกรัม

หมายเหตุ - หากเครื่องเก็บตัวอย่างเก็บรวบรวมอนุภาคที่มากกว่าหนึ่งขนาดภายในช่วงขนาดของ PM_{10} แล้ว ให้ใช้ผลรวมของน้ำหนักสุทธิที่ได้จากกระดาษกรองที่เก็บรวบรวมตัวอย่างได้ในแต่ละแผ่น $[\sum(W_f - W_i)]$ สำหรับ คำนวณหาค่าความเข้มข้นของ PM_{10}



รูปที่ 16 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})



เอกสารอ้างอิง

1. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50, Appendix A, U.S. Government Printing Office, 2005, Washington DC.
2. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50, Appendix B, U.S. Government Printing Office, 2005, Washington DC.
3. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50, Appendix C, U.S. Government Printing Office, 2005, Washington DC.
4. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50, Appendix D, U.S. Government Printing Office, 2005, Washington DC.
5. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50, Appendix F, U.S. Government Printing Office, 2005, Washington DC.
6. Code of Federal Regulations, Title 40, Part 50, Appendix J, U.S. Government Printing Office, 2005, Washington DC.



เอกสารวิชาการ:

หลักการตรวจวัดและขั้นตอนการเปรียบเทียบสำหรับการตรวจวัดคุณภาพอากาศ

ISBN 978-974-286-257-2
 คพ. 03-084
พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2550 จำนวน 500 เล่ม

กรรมสิทธิ์และลิขสิทธิ์ : กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
92 ซอยพหลโยธิน 7 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน พญาไท กทม.10400
โทรศัพท์ : 0 2298 2000 โทรสาร : 0 2298 2002

ผู้จัดทำ : ส่วนคุณภาพอากาศในบรรยากาศ
 สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง

ออกแบบและพิมพ์ที่ : บริษัท สหมิตรพรินต์ติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด โทร. 0-2903-8257-9

