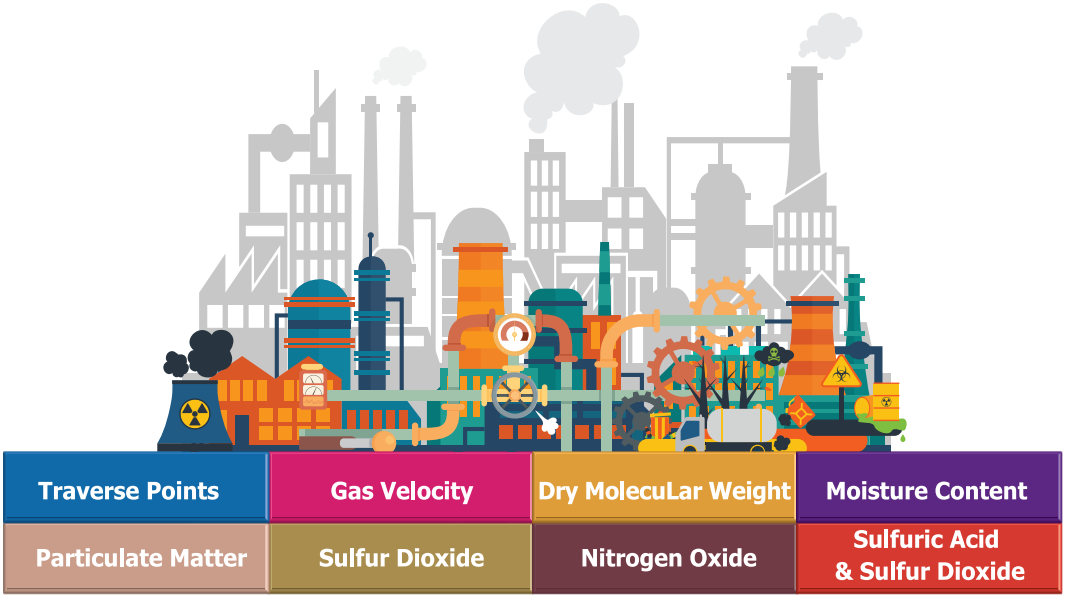
คู่มือ
การตรวจวัดมลพิษทางอากาศ
จากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย
ฉบับที่ 1



กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

ISBN 974-9879-57-0
คพ. 03-071

กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

คู่มือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ฉบับที่ 1
ISBN 974-9879-57-0 คพ. 03-071
ตีพิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2562

คู่มือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย
ฉบับที่ 1

พิมพ์ครั้งแรก	มีนาคม 2549	จำนวน	1,000	เล่ม
พิมพ์ครั้งที่ 2 (แก้ไขเพิ่มเติม)	มีนาคม 2562	จำนวน	500	เล่ม

จัดทำโดย
ส่วนมลพิษจากอุตสาหกรรม กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
กรมควบคุมมลพิษ

เลขเรียกหนังสือมาตรฐานสากล (ISBN) 974-9879-57-0

พิมพ์ที่ บริษัท รีปริ้น จำกัด
208/19 ซ.แจ้งวัฒนะ 6 แยก 2, ถนนแจ้งวัฒนะ
แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

คำนำ

โรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบกิจการอุตสาหกรรมจัดเป็นแหล่งกำเนิดที่มีการระบายมลพิษหลายชนิดออกสู่สิ่งแวดล้อม การตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องระบายอากาศเสียของโรงงานอุตสาหกรรม จึงเป็นวิธีการที่ใช้ในการติดตามตรวจสอบและควบคุมการระบายมลพิษให้เป็นไปตามมาตรฐาน ควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิด ดังนั้น กองการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ จึงได้จัดทำคู่มือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ฉบับที่ 1 ขึ้น เพื่อให้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิควิธีการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ได้แก่ การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน โดยเริ่มตั้งแต่การกำหนดจุดเจาะปล่อง การคำนวณจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่อง การหาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศในปล่อง การหาองค์ประกอบของอากาศในปล่อง รวมทั้งการหาค่าความชื้นของอากาศภายในปล่อง ทั้งนี้ได้เรียบเรียงโดยอ้างอิงวิธีการตรวจวัดตามมาตรฐานสากลวิธีที่ 1-8 ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (United States of Environmental Potection Agency : U.S.EPA) เพื่อมุ่งเน้นให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งส่วนราชการ และภาคเอกชน ตลอดจนประชาชนผู้สนใจ นำไปใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการตรวจวัดสารมลพิษจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าว รวมทั้งใช้เป็นวิธีอ้างอิงเพื่อให้เป็นแนวทางปฏิบัติตามมาตรฐานสากลต่อไป

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ฉบับที่ 1 จะช่วยทำให้การปฏิบัติงานด้านการตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของโรงงานอุตสาหกรรมมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งเพื่อให้ผลการตรวจวัดมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือต่อไป

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
กรมควบคุมมลพิษ
มีนาคม 2562

สารบัญ

หน้า

แผนผังขั้นตอนการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย 1

วิธีที่ 1 การกำหนดจุดเจาะปล่อง การคำนวณจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Method of Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources) 5

วิธีที่ 2 การหาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Method of the Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate) 27

วิธีที่ 3 การหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Method of Gas Analysis for the Determination of Dry Molecular Weight) 57

วิธีที่ 4 การหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Method for the Determination of Moisture Content in Stack Gases) 75

หน้า

วิธีที่ 5 การหาปริมาณการระบายฝุ่นละอองจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources) 101

วิธีที่ 6 การหาปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources) 157

วิธีที่ 7 การหาปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources) 177

วิธีที่ 8 การหาปริมาณกรดซัลฟูริกและการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Determination of Sulfuric Acid and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources) 197

เอกสารอ้างอิง

แผนผังขั้นตอนการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย

ออกแบบวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศเสียจากปล่อง

- กำหนดปล่องที่จะทำการเก็บตัวอย่าง
- เลือกวิธีการเก็บ ปริมาตรอากาศ และการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศเสียจากปล่องให้ตรงกับประเภทของมลพิษที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมหรือตรงตามวัตถุประสงค์
- กำหนดบุคลากรที่จำเป็นและเพียงพอกับการปฏิบัติงาน
- กำหนดระยะเวลาการปฏิบัติงานให้มีความเหมาะสม
- พิจารณากฎหมายที่เกี่ยวข้อง (ถ้ามี) เพื่อให้สามารถรับรองผลการตรวจวัดและสร้างความน่าเชื่อถือได้

สิ่งจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบสำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศเสียจากปล่อง

- ข้อมูลหรือวัตถุประสงค์ที่ต้องการจากการตรวจวัดที่ปล่อง
- เมื่อดำเนินการตรวจวัดที่ปล่องแล้วจะต้องได้ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ
- ประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างจากปล่อง
- ค่ามาตรฐานการระบายมลพิษทางอากาศจากปล่อง

ข้อมูลพื้นฐานของโรงงานอุตสาหกรรมที่ควรทราบ

- กระบวนการผลิต
- ประเภทของมลพิษที่ปล่อยออกจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม
- ลักษณะสภาพโดยทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม
- ตำแหน่งหรือจุดปล่อยมลพิษจากกระบวนการผลิต
- ข้อมูลผลการตรวจวัดเดิมของโรงงานอุตสาหกรรม (ถ้ามี) ได้แก่ ค่าความชื้น อุณหภูมิภายในปล่อง เป็นต้น
- ศึกษาวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศเสียจากปล่อง

การประสานงานกับโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้จัดเตรียมข้อมูล สถานที่ และอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่อง

- ให้โรงงานอุตสาหกรรมจัดหาเจ้าหน้าที่สำหรับการติดต่อประสานงาน
- ให้ข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมในการที่จะเข้าดำเนินการตรวจวัด เช่น วัตถุประสงค์ที่จะทำการตรวจวัด วิธีการตรวจวัด เป็นต้น
- ให้โรงงานอุตสาหกรรมจัดเตรียมความพร้อมของสถานที่ที่จะทำการตรวจวัด ได้แก่
    - ตรวจสอบความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน (platform, บันได, ราวกันตก ฯลฯ)
    - เตรียมแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อใช้ในการปฏิบัติงาน
    - เตรียมจุดเก็บตัวอย่าง (port) ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในวิธีที่ 1
    - จัดทำภาพแผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่าง

แผนผังขั้นตอนการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย (ต่อ)

การเตรียมความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างอากาศเสียจากปล่อง

- จัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ กระดาษกรอง และสารเคมีตามวิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างที่กำหนด รวมทั้งเตรียมอุปกรณ์อะไหล่และอุปกรณ์เก็บรักษาตัวอย่างอากาศ ทั้งนี้ควรทำรายการอุปกรณ์ต่างๆ แยกตามวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อใช้ในการตรวจเช็ค
- ปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องมือและอุปกรณ์ เช่น Dry Gas, Meter Pitot, Tube Nozzle เป็นต้น
- เตรียมแบบบันทึกผลการเก็บตัวอย่าง พร้อมทั้งโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณผล

การเตรียมการก่อนเก็บตัวอย่างอากาศเสียจากปล่อง

- ติดต่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่โรงงานและทำการขนย้ายอุปกรณ์ต่างๆ ไปยังบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน
- เตรียมสารเคมีและประกอบชุดเก็บตัวอย่างตามชนิดของสารมลพิษที่ต้องการเก็บ และวิเคราะห์ ปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องมือและอุปกรณ์ เช่น Dry Gas, Meter Pitot, Tube Nozzle เป็นต้น
- หาความเร็วของอากาศเสียตามวิธีที่ 2
- หาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศเสียโดยวิธีที่ 3 หรือใช้ข้อมูลเดิม
- หาปริมาณความชื้นของอากาศเสียโดยวิธีที่ 4 หรือใช้ข้อมูลเดิม
- ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นให้คำนวณจุดเก็บตัวอย่างตามวิธีที่ 1 โดยทำเครื่องหมายแสดงระยะจุดเก็บตัวอย่าง บนท่อเก็บตัวอย่าง (Probe) และคำนวณหาขนาดหัว Nozzle
- ทำการตรวจสอบอัตราการรั่วซึมของชุดเก็บตัวอย่างโดยใช้อัตราการไหลตามที่กำหนดไว้ในแต่ละวิธี

แผนผังขั้นตอนการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย (ต่อ)

บันทึกข้อมูลต่างๆ ตามที่ระบุไว้ในแบบบันทึก เช่น
- หมายเลขตัวอย่าง
- ชื่อผู้ตรวจวัด
- ค่า DGM เริ่มต้น
- อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหัว Nozzle
- % ความชื้น
- % o_2 ของอากาศเสีย
- ค่า K
- อัตราการรั่วไหล เป็นต้น

การเริ่มเก็บตัวอย่างอากาศเสียจากปล่อง
- บันทึกเวลาที่เริ่มเก็บตัวอย่าง
- เปิดปั๊มและปรับอัตราความเร็วในการเก็บตัวอย่างให้ได้ตามที่คำนวณไว้
- เก็บตัวอย่างอากาศในแต่ละจุดตามปริมาตรและระยะเวลาที่คำนวณไว้
- บันทึกค่าต่างๆ ตลอดเวลาที่เก็บตัวอย่าง ดังนี้
  - ลำดับของจุดเก็บตัวอย่าง (Traverse point)
  - ระยะเวลาเก็บตัวอย่างในแต่ละจุด
  - ค่า DGM, ΔP, ΔH
  - อุณหภูมิภายในปล่อง อุณหภูมิที่ผ่าน DGM, Probe, Heating Box, Exit impinger เป็นต้น
  - ค่าความดันสุญญากาศ
  - ค่าความดันภายในปล่อง เป็นต้น
- ทำการปรับค่า ΔH ตลอดเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้การเก็บตัวอย่างเป็นแบบ Isokenetic
- ทำการเก็บตัวอย่างจนได้ปริมาตรตัวอย่างตามที่ต้องการ ปิดปั๊ม หยุดเวลา และบันทึกค่า DGM สุดท้าย
- ทำการเก็บตัวอย่างซ้ำในจุดเก็บตัวอย่าง

การตรวจสอบอัตราการรั่วซึมของชุดเก็บตัวอย่าง
- ให้ตรวจสอบอัตราการรั่วซึมโดยปรับค่าความดันสุญญากาศตามค่าความดันสุญญากาศสูงสุดขณะที่ทำการเก็บตัวอย่าง
- ทำการตรวจสอบอัตราการรั่วซึมของชุดเก็บตัวอย่างโดยใช้อัตราการไหลตามที่กำหนดไว้ในแต่ละวิธี
- บันทึกอัตราการรั่วซึมหลังเก็บตัวอย่างอากาศ

การทำความสะอาดและเก็บรักษาตัวอย่าง
- ทำความสะอาดและถ่ายตัวอย่างลงในภาชนะที่กำหนดในบริเวณที่สะอาด
- ปิดผนึกฝาภาชนะให้แน่น
- ติดฉลากแสดงรายละเอียดของตัวอย่างข้างภาชนะบรรจุ และทำขีดบอกระดับปริมาตรของตัวอย่างให้เห็นชัดเจน
- เก็บภาชนะบรรจุตัวอย่างอย่างระมัดระวังเพื่อนำส่งไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

แผนผังขั้นตอนการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย (ต่อ)

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

- ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างตามวิธีการที่กำหนด
- เตรียมข้อมูลผลการวิเคราะห์สำหรับใช้ในการคำนวณผล

การคำนวณผล

- ปริมาณความชื้นของอากาศเสียภายในปล่อง
- % O_2 ของอากาศเสีย
- น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศเสีย
- ปริมาตรตัวอย่างอากาศเสียที่สภาวะมาตรฐาน
- ความเข้มข้นต่อปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน
- อัตราการไหลของอากาศเสียภายในปล่อง
- อัตราการระบายมลพิษ

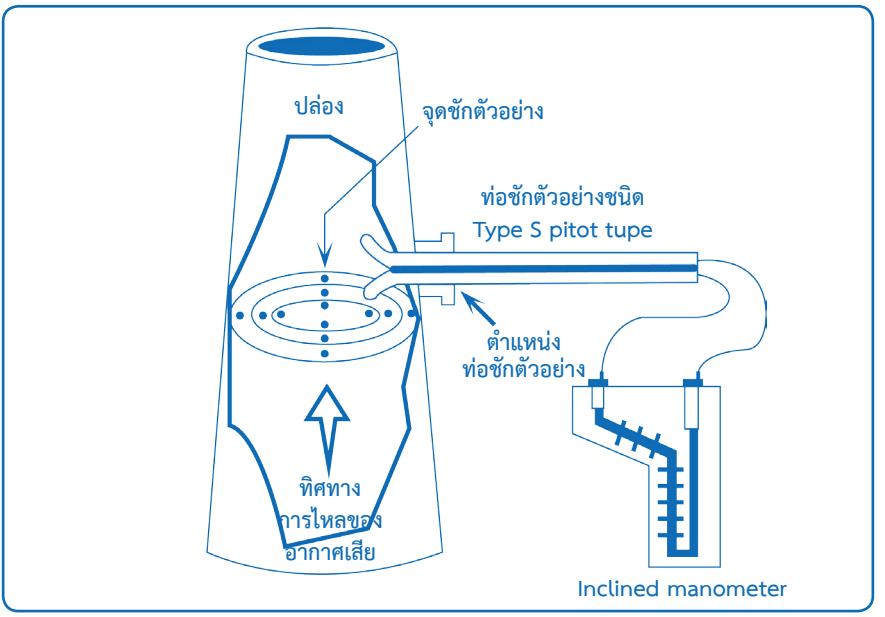
การรายงานผลการตรวจวัด

- เขียนรายงานผลการวิเคราะห์และผลการคำนวณ
- แนบข้อมูลวิธีการตรวจวัดและการวิเคราะห์ตัวอย่าง
- แนบข้อมูลการเก็บตัวอย่างพร้อมทั้งรายละเอียดการคำนวณผล
- เตรียมข้อมูลทางกฎหมายหรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ประกอบการคำนวณผล
- ให้ผู้ทำการเก็บตัวอย่างและผู้วิเคราะห์ตัวอย่างลงชื่อรับรองผลการตรวจวัด

วิธีที่ 1 การกำหนดจุดเจาะปล่อง การคำนวณจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Method of Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources)

1. หลักการและขอบเขตของวิธีการ (Principle and Applicability)

1.1 หลักการ (Principle) ใช้สำหรับกำหนดจุดเจาะปล่อง รวมทั้งการคำนวณจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่อง ดังภาพที่ 1-1 ในการตรวจวัดการระบายมลพิษหรือการตรวจวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษ โดยการกำหนดจุดเจาะปล่องจะพิจารณาจากการไหลของอากาศในท่อส่งอากาศเสีย (Duct) หรือปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย (Stack) ของแหล่งกำเนิดมลพิษ ส่วนการกำหนดจุดชักตัวอย่างจะทำโดยแบ่งพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ ที่มีขนาดเท่ากันในระนาบของภาคตัดขวางเดียวกัน แล้วกำหนดจุดชักตัวอย่างอากาศในพื้นที่ย่อยๆ เหล่านั้น



ภาพที่ 1-1 จุดเจาะปล่อง และจุดชักตัวอย่าง

1

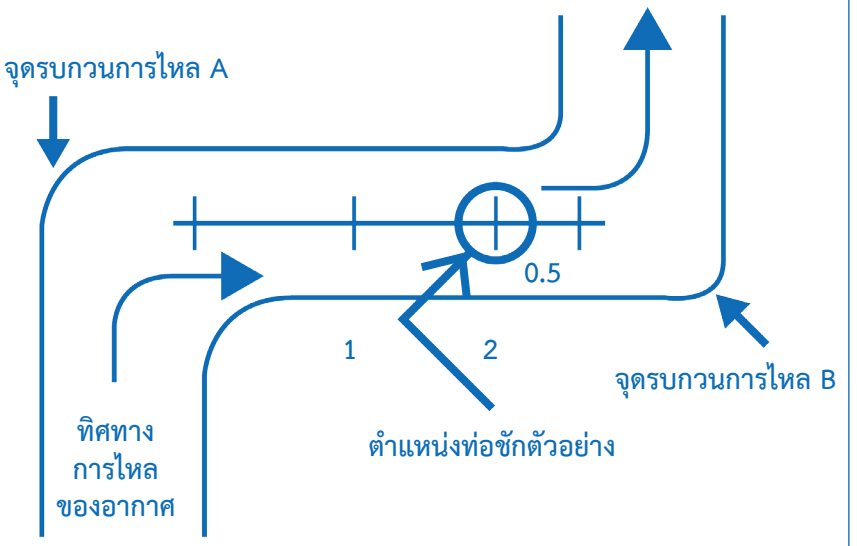
การกำหนดจุดเจาะปล่อง การคำนวณจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่อง ตามที่กำหนดไว้ในคู่มือเล่มนี้ได้นำหลักเกณฑ์ตามที่กำหนดไว้ใน 40 CFR Part 60 Appendix A Method 1 Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources, 1995 Edition ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกามาประยุกต์โดยได้ปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

1.2 ขอบเขตของวิธีการ (Applicability) ใช้สำหรับกำหนดจุดเจาะปล่องรวมทั้งคำนวณหาจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในท่อหรือปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย แต่ไม่สามารถใช้ได้ในกรณีดังต่อไปนี้

(1) สภาพการไหลของอากาศภายในปล่องเกิดการไหลวนหรือมีความแปรปรวนสูง ทำให้การไหลของอากาศเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ (ตามรายละเอียดในข้อ 2.4)

(2) ท่อหรือปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.3 เมตร (หรือ 12 นิ้ว) หรือมีขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางน้อยกว่า 0.071 ตารางเมตร (หรือ 113 ตารางนิ้ว)

(3) จุดเจาะปล่องอยู่ปลายทางการไหลของอากาศจากจุดรบกวนการไหล (Downstream from a Flow Disturbance) (เช่น ข้องอ, ท่อขยาย, ท่อลด หรือจุดที่มีการเผาไหม้ เป็นต้น) น้อยกว่า 2 เท่าของระยะเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง หรือจุดเจาะปล่องอยู่ต้นทางการไหลของอากาศจากจุดรบกวนการไหล (Upstream from a Flow Disturbance) น้อยกว่า 0.5 เท่าของระยะเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง ดังภาพที่ 1-2

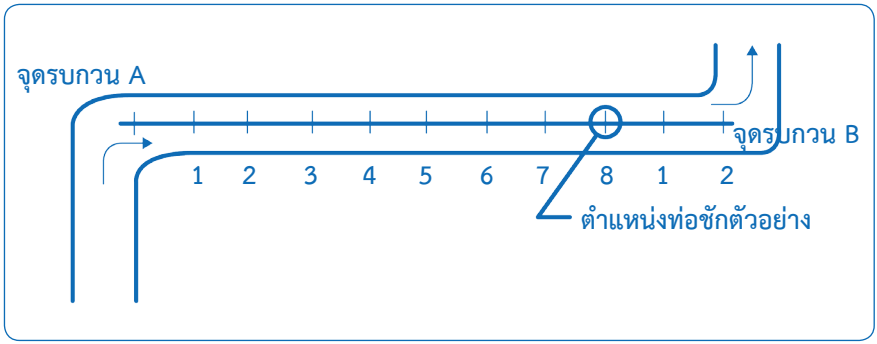


ภาพที่ 1-2 จุดเจาะปล่องที่ไม่เหมาะสม

2. วิธีการกำหนดจุดเจาะปล่อง การคำนวณจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Procedure)

2.1 การกำหนดจุดเจาะปล่อง (Selection of Measurement) เพื่อใช้สำหรับหาความเร็วของอากาศ หรืออัตราการไหลของอากาศในปล่อง รวมทั้งใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย จุดเจาะปล่องต้องอยู่ปลายทางการไหลของอากาศ (Downstream) จากจุดรบกวนการไหล (เช่น ข้องอ ท่อขยาย ท่อลด หรือจุดที่มีการเผาไหม้) อย่างน้อย 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในปล่อง และต้องอยู่ต้นทางการไหลของอากาศ (Upstream) จากจุดรบกวนการไหลอย่างน้อย 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในปล่อง ดังภาพที่ 1-3

1



ภาพที่ 1-3 จุดเจาะปล่องที่เหมาะสม

หากไม่สามารถกำหนดจุดเจาะปล่องได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อาจเลือกจุดเจาะปล่องที่อยู่ปลายทางการไหลของอากาศจากจุดรบกวนอย่างน้อย 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในปล่อง หรืออยู่ต้นทางการไหลของอากาศ (Upstream) จากจุดรบกวนการไหลอย่างน้อย 0.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในปล่อง

กรณีปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมทำให้ไม่สามารถวัดระยะเส้นผ่านศูนย์กลางได้ ให้ใช้ระยะเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (D_e) จากสมการ ที่ 1-1

$$D_e = \frac{2(L)(W)}{L + W}$$ สมการที่ 1-1

เมื่อ L = ความยาวของท่อสี่เหลี่ยม

W = ความกว้างของท่อสี่เหลี่ยม

2.2 การคำนวณจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่อง (Determining the Number of Traverse Points)

2.2.1 การคำนวณจำนวนจุดชักตัวอย่างสำหรับหาปริมาณฝุ่นละอองในปล่อง (Particulate Traverses) มีวิธีการดังนี้

(1) *กรณีจุดเจาะปล่องมีระยะเป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน 2.1* จำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องเป็นดังนี้

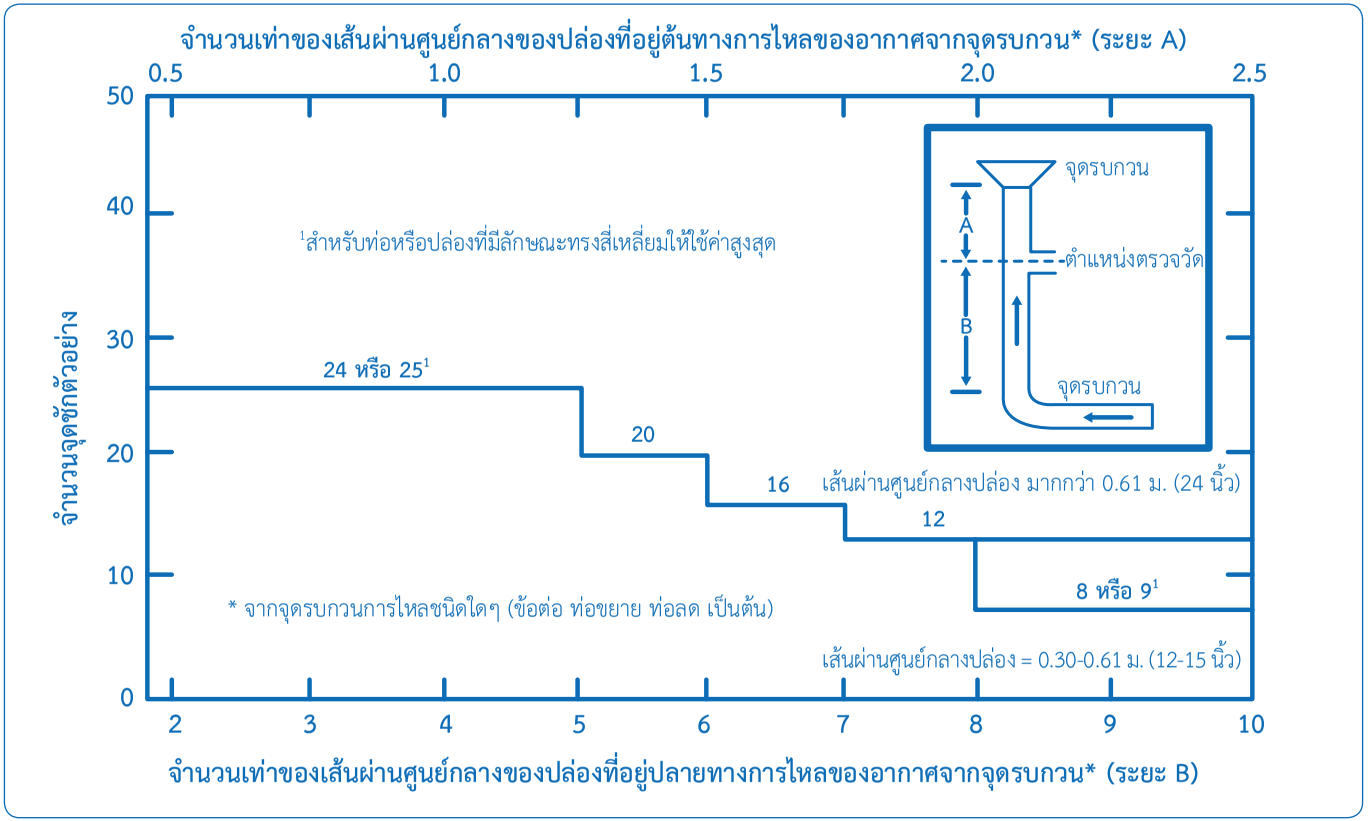
- 12 จุด สำหรับปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีลักษณะทรงกระบอก ซึ่งมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางหรือทรงเหลี่ยม ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า 0.61 เมตร (หรือ 24 นิ้ว)
- 8 จุด สำหรับปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีลักษณะทรงกระบอก ซึ่งมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.30 - 0.61 เมตร (หรือ 12 - 24 นิ้ว)
- 9 จุด สำหรับปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าอยู่ระหว่าง 0.30 - 0.61 เมตร (หรือ12 - 24 นิ้ว)

(2) *กรณีจุดเจาะปล่องมีระยะไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อ 2.1* การกำหนดจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องขั้นต่ำให้เป็นไปตามรายละเอียดในภาพที่ 1 -4 โดยกำหนดจำนวนจุดชักตัวอย่างดังนี้

1) วัดระยะทางจากจุดเจาะปล่องที่อยู่ต้นทางการไหลของอากาศจากจุดรบกวน (ระยะ A) จากภาพที่ 1-4 หารด้วยระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือระยะเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า

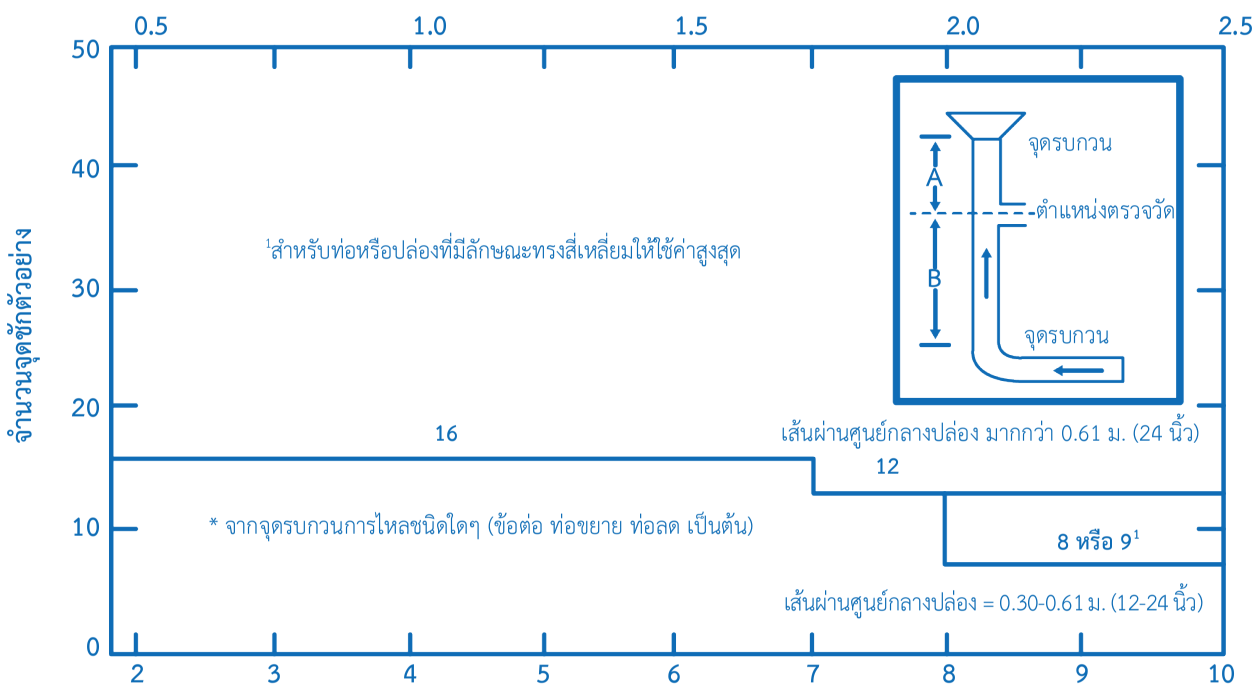
2) วัดระยะทางจากจุดเจาะปล่องที่อยู่ปลายทางการไหลของอากาศจากจุดรบกวน (ระยะ B) จากภาพที่ 1-4 หารด้วยระยะเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือระยะเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า

3) ให้เลือกจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องจากข้อ 1) และ 2) ที่มีค่ามากกว่านำมาใช้ ถ้าปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยม จำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องให้เป็นไปตามรายละเอียดในตารางที่ 1-1



ภาพที่ 1-4 การกำหนดจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศ สำหรับหาปริมาณฝุ่นละออง

2.2.2 การกำหนดจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องสำหรับหาความเร็ว อัตราการไหลของอากาศในปล่อง (Velocity Traverses) กรณีที่มีการหาความเร็ว หรืออัตราการไหลของอากาศในปล่อง (แต่ไม่ใช่ฝุ่นละออง) ให้ใช้ขั้นตอนเดียวกันกับการกำหนดจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องสำหรับหาปริมาณฝุ่นละออง (ขั้นตอนใน 2.2.1) แต่ใช้ภาพที่ 1-5 แทนภาพที่ 1-4



ภาพที่ 1-5 การกำหนดจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศ สำหรับหาความเร็วหรืออัตราการไหลของอากาศในปล่อง

2.3 การคำนวณตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง (Cross-Sectional Layout and Location of Traverse Points)

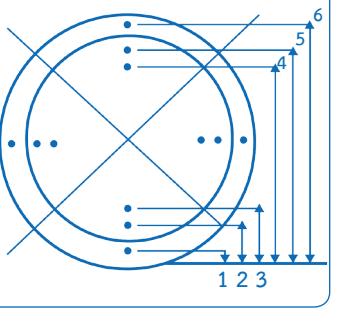
2.3.1 ปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีลักษณะทรงกระบอก (Circular Stack) จุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องจะอยู่บนเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งตั้งฉากตัดกัน 2 เส้น ดังรายละเอียดในตารางที่ 1-2 และตัวอย่างการวางตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องเป็นไปตามที่แสดงไว้ในภาพที่ 1-6 สำหรับจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่องบนพื้นที่ภาคตัดขวาง ซึ่งคาดว่าปริมาณความเข้มข้นของมลพิษจะมีความแปรปรวนสูง เช่น หลังข้องอ จะต้องเพิ่มระยะของจุดเจาะปล่องให้อยู่ห่างจากจุดรบกวนออกไป

1

ตารางที่ 1-2 แสดงระยะของจุดชักตัวอย่างในแต่ละจุด ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งเก็บตัวอย่าง สำหรับปล่องที่มีลักษณะทรงกระบอก (ระยะเป็นร้อยละนับจากผนังด้านในปล่องถึงจุดชักตัวอย่างแต่ละจุด เพื่อนำมาคำนวณเทียบกับระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง)

ตำแหน่งชุดชักตัวอย่าง	จำนวนชุดชักตัวอย่างบนแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่องหนึ่งแนว											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1	14.6	6.7	4.4	3.2	2.6	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1
2	85.4	25.0	14.6	10.5	8.2	6.7	5.7	4.9	4.4	3.9	3.5	3.2
3	.....	75.0	29.6	19.4	14.6	11.8	9.9	8.5	7.5	6.7	6.0	5.5
4	.....	93.3	70.4	32.3	22.6	17.7	14.6	12.5	10.9	9.7	8.7	7.9
5	.....	.....	85.4	67.7	34.2	25.0	20.1	16.9	14.6	12.9	11.6	10.5
6	.....	.....	95.6	80.6	65.8	35.6	26.9	22.0	18.8	16.5	14.6	13.2
7	.....	.....	.....	89.5	77.4	64.4	36.6	28.3	23.6	20.4	18.0	16.1
8	.....	.....	.....	96.8	85.4	75.0	63.4	37.5	29.6	25.0	21.8	19.4
9	.....	.....	.....	.....	91.8	82.3	73.1	62.5	38.2	30.6	26.2	23.0
10	.....	.....	.....	.....	97.4	88.2	79.9	71.7	61.8	38.8	31.5	27.2
11	.....	.....	.....	.....	.....	93.3	85.4	78.0	70.4	61.2	39.3	32.3
12	.....	.....	.....	.....	.....	97.9	90.1	83.1	76.4	69.4	60.7	39.8
13	.....	.....	.....	.....	.....	.....	94.3	87.5	81.2	75.0	68.5	60.2
14	.....	.....	.....	.....	.....	.....	98.2	91.5	85.4	79.6	73.8	67.7
15	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	95.1	89.1	83.5	78.2	72.8
16	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	98.4	92.5	87.1	82.0	77.0
17	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	95.6	90.3	85.4	80.6
18	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	98.6	93.3	88.4	83.9
19	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	96.1	91.3	86.8
20	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	98.7	94.0	89.5
21	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	96.5	92.1
22	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	98.9	94.5
23	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	96.8
24	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	98.9

จุดชักตัวอย่างที่	ระยะเป็นร้อยละของระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง
1	4.4
2	14.7
3	29.5
4	70.5
5	85.3
6	95.6



ภาพที่ 1-6 แสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องที่แบ่งเป็นพื้นที่

กรณีปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.61 เมตร (หรือ 24 นิ้ว) จุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องจะต้องอยู่ห่างจากผนังด้านในปล่องอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร (หรือ 1 นิ้ว) ส่วนปล่องที่มีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.61 เมตร (หรือ 24 นิ้ว) จุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องจะต้องอยู่ห่างจากผนังด้านในปล่องอย่างน้อย 1.3 เซนติเมตร (หรือ 0.5 นิ้ว)

ตัวอย่างการคำนวณจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่อง

โรงงานแห่งหนึ่งมีปล่องระบายอากาศเสียจากหม้อไอน้ำจำนวน 1 ปล่อง ซึ่งมีความสูงทั้งหมดประมาณ 12 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เมตร ระยะนับจากจุดรบกวนที่อยู่ต้นทางการไหลของอากาศถึงจุดเจาะปล่องที่อยู่ปลายทางการไหลประมาณ 6.5 เมตร และระยะนับจากจุดรบกวนที่อยู่ปลายทางการไหลของอากาศถึงจุดเจาะปล่องที่อยู่ต้นทางการไหลประมาณ 5.5 เมตร

1. ระยะ B = 6.5 /1= 6.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง
2. ระยะ A = 5.5 /1 = 5.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง
3. จำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศของระยะ B ในภาพที่ 1-4 = 16 จุด
4. จำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศของระยะ A ในภาพที่ 1-4 = 12 จุด

1

5. ดังนั้นจึงต้องใช้จำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศ 16 จุด ในการชักตัวอย่างสำหรับหาปริมาณฝุ่นละอองหรืออนุภาค โดยแบ่งเป็น 2 แนวๆ ละ 8 จุด บนเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งตั้งฉากกัน 2 เส้น

6. ตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศทั้ง 8 จุด บนแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง สามารถคำนวณตามตารางที่ 1-2 ได้ดังนี้

- ตำแหน่งที่ 1 = (3.2x1)/100 = 0.032 เมตร (หรือ 3.2 เซนติเมตร)
- ตำแหน่งที่ 2 = (10.5x1)/100 = 0.105 เมตร (หรือ 10.5 เซนติเมตร)
- ตำแหน่งที่ 3 = (19.4x1)/100 = 0.194 เมตร (หรือ 19.4 เซนติเมตร)
- ตำแหน่งที่ 4 = (32.3x1)/100 = 0.323 เมตร (หรือ 32.3 เซนติเมตร)
- ตำแหน่งที่ 5 = (67.7x1)/100 = 0.677 เมตร (หรือ 67.7 เซนติเมตร)
- ตำแหน่งที่ 6 = (80.6x1)/100 = 0.806 เมตร (หรือ 80.6 เซนติเมตร)
- ตำแหน่งที่ 7 = (89.5x1)/100 = 0.895 เมตร (หรือ 89.5 เซนติเมตร)
- ตำแหน่งที่ 8 = (96.8x1)/100 = 0.968 เมตร (หรือ 96.8 เซนติเมตร)

หมายเหตุ: เลข “1” หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง

(1) ปล่องที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.61 เมตร (หรือ 24 นิ้ว) เมื่อจุดชักตัวอย่างอากาศที่คำนวณได้ตามรายละเอียดใน 2.3.1 อยู่ห่างจากผนังด้านในปล่องน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร (หรือ 1.0 นิ้ว) จะต้องเลื่อนจุดชักตัวอย่างอากาศออกไปให้อยู่ในตำแหน่งดังต่อไปนี้ โดยให้เลือกตำแหน่งที่มีระยะห่างจากผนังปล่องมากกว่าเป็นเกณฑ์

(1.1) ที่ตำแหน่งเท่ากับ 2.5 เซนติเมตร (หรือ 1.0 นิ้ว) นับจากผนังด้านในปล่อง ตามข้อ (1.2)

(1.2) ที่ตำแหน่งเท่ากับระยะเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวชักตัวอย่าง (Nozzle)

(2) ปล่องที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.61 เมตร (หรือ 24 นิ้ว) ให้ใช้วิธีการกำหนดจุดชักตัวอย่างอากาศลักษณะเช่นเดียวกับที่กำหนดไว้ใน 2.3.1 (1) โดยหากจุดชักตัวอย่างอากาศที่คำนวณได้อยู่ห่างจากผนังด้านในปล่องน้อยกว่า 1.3 เซนติเมตร (หรือ 0.5 นิ้ว) จะต้องเลื่อนจุดชักตัวอย่างออกไปให้อยู่ที่ตำแหน่งดังต่อไปนี้ โดยให้เลือกตำแหน่งที่มีระยะห่างจากผนังปล่องมากกว่าเป็นเกณฑ์

(2.1) ที่ตำแหน่งเท่ากับ 1.3 เซนติเมตร (หรือ 0.5 นิ้ว) นับจากผนังด้านในปล่อง ตามข้อ (2.2)

(2.2) ที่ตำแหน่งเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวชักตัวอย่าง (Nozzle)

หากตำแหน่งที่เลื่อนมาใหม่นี้ทับซ้อนกับจุดชักตัวอย่างอื่น ให้ชักตัวอย่างอากาศและบันทึกข้อมูลที่ตำแหน่งนี้ซ้ำ 2 ครั้ง โดยให้ถือเสมือนว่าเป็นคนละจุดกัน

2.3.2 ปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยม

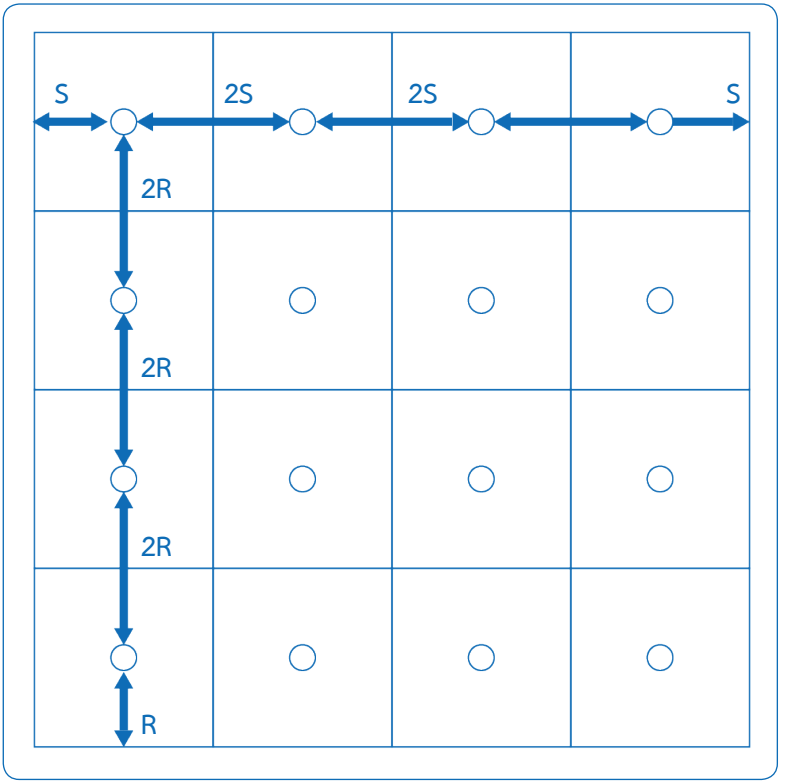
(1) การกำหนดจุดชักตัวอย่างอากาศให้เป็นไปตามรายละเอียดในข้อ (2.1), (2.2) และตารางที่ 1-1 โดยให้แบ่งพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องออกเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ หลายๆ ช่องที่มีขนาดเท่ากันและให้มีจำนวนเท่ากับจำนวนจุดชักตัวอย่างที่คำนวณได้ จากนั้นให้กำหนดจุดชักตัวอย่างอากาศลงบนจุดกึ่งกลางของพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่แบ่งไว้นั้น ตามรายละเอียดในภาพที่ 1-7

ตารางที่ 1-1 จำนวนจุดชักตัวอย่างสำหรับปล่องที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยม

จำนวนจุดชักตัวอย่าง	การแบ่งพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง
9	3x3
12	4x3
16	4x4
20	5x4
25	5x5
30	6x5
36	6x6
42	7x6
49	7x7

(2) กรณีที่ต้องการจะชักตัวอย่างอากาศมากกว่าจำนวนจุดชักตัวอย่างที่คำนวณได้ สามารถเพิ่มจำนวนจุดชักตัวอย่างได้ โดยเพิ่มการแบ่งพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง ตามรายละเอียดในตารางที่ 1-1 โดยจะเพิ่มจำนวนเข้าไปที่ด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้ง 2 ด้านของการแบ่งพื้นที่ก็ได้ ตัวอย่างเช่น การแบ่งพื้นที่ที่มีจำนวนจุดชักตัวอย่างทั้งหมด 12 จุด (หรือแบบ 4x3) ต้องการขยายให้เป็น 36 จุด ก็สามารถแบ่งออกได้เป็น 9x4 หรือ 12x3 โดยไม่จำเป็นต้องใช้การแบ่งพื้นที่แบบ 6x6 เพราะจะทำให้ต้องเพิ่มจุดเจาะปล่อง (Port) เพื่อใช้ในการชักตัวอย่างอากาศเพิ่มขึ้น หลังจากที่ได้แบ่งพื้นที่แบบใหม่แล้วให้กำหนดจุดชักตัวอย่างอากาศลงบนกึ่งกลางของพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่แบ่งไว้นั้น

ภาพที่ 1-7 แสดงการกำหนดตำแหน่งจุดชักตัวอย่าง 16 จุด ของปล่องที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยม



หมายเหตุ S คือ ระยะความยาวในแนวนอนจากผนังด้านในปล่องจนถึงจุดกึ่งกลางในแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ

R คือ ระยะความยาวในแนวตั้งจากผนังด้านในปล่องจนถึงจุดกึ่งกลางในแต่ละพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ

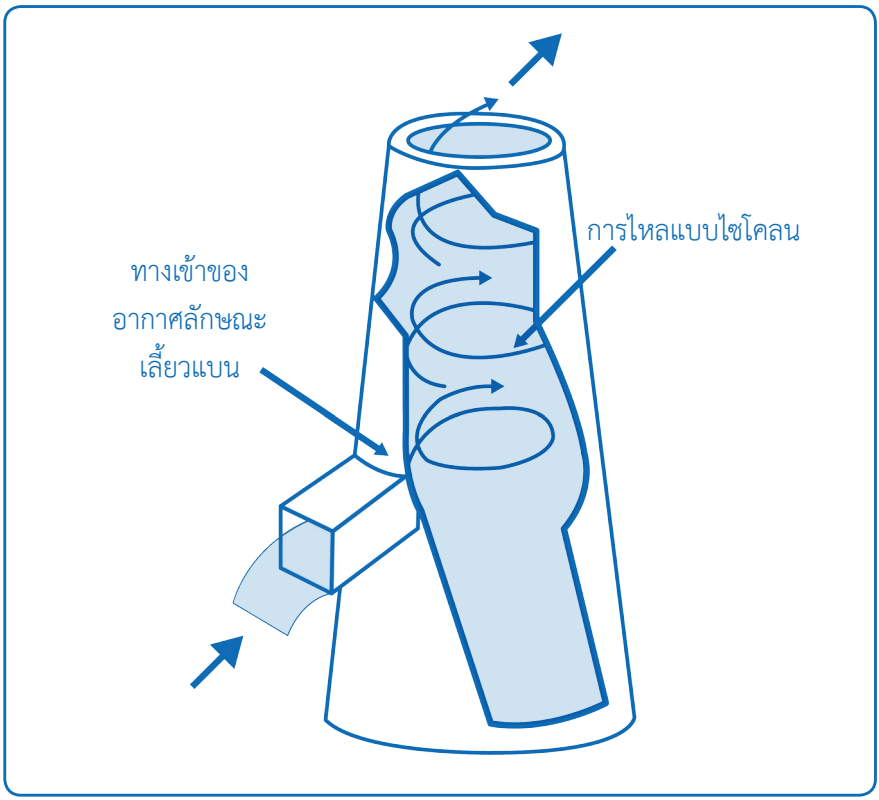
2.4 การตรวจสอบลักษณะการไหลของอากาศแบบไม่สม่ำเสมอ (Verification of Absence of Cyclonic Flow) โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีการไหลของอากาศภายในปล่องที่สม่ำเสมอและมีทิศทางเดียวกันกับผนังปล่อง อย่างไรก็ตามลักษณะการไหลของอากาศแบบไม่สม่ำเสมออาจเกิดขึ้นได้ในกรณีดังต่อไปนี้

1

(1) อากาศเสียไหลผ่านระบบบำบัดมลพิษทางอากาศแบบไซโคลน และเวนทูรี่สครับเบอร์

(2) ปล่องซึ่งมีทางเข้าของอากาศลักษณะเลี้ยวเบน ดังภาพที่ 1-8 ซึ่งทำให้เกิดการไหลแบบไซโคลน

เนื่องจากการชักตัวอย่างจากบริเวณที่มีลักษณะการไหลของอากาศแบบไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง การตรวจสอบว่ามีการไหลของอากาศแบบไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นที่บริเวณจุดชักตัวอย่างหรือไม่นั้น จึงจำเป็นที่จะต้องกระทำถ้าตำแหน่งท่อชักตัวอย่างมีระยะไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดใน 2.2.1 (1) โดยให้ดำเนินการดังนี้



ภาพที่ 1-8 ปล่องซึ่งมีทางเข้าของอากาศลักษณะเลี้ยวเบน

2.4.1 ปรับระดับและตั้งค่าศูนย์ของเครื่องวัดความดันแตกต่าง (Manometer)

2.4.2 ต่อ Type S Pitot Tube ดังภาพที่ 1-1 เข้ากับเครื่องวัดความดันแตกต่าง แล้วนำ Type S Pitot Tube เข้าไปในปล่องตามตำแหน่งจุดชักตัวอย่าง

2.4.3 หัน Type S Pitot Tube โดยให้พื้นที่ภาคตัดขวางของท่อชักตัวอย่าง ตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง ซึ่งตำแหน่งนี้เรียกว่า ตำแหน่งอ้างอิงที่ศูนย์องศา (0° Reference)

2.4.4 บันทึกค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้ของแต่ละตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศ (Differential Pressure : ΔP) ถ้าอ่านค่าได้เท่ากับศูนย์ แสดงว่าสามารถยอมรับลักษณะการไหลของอากาศที่ตำแหน่งจุดชักตัวอย่างนี้ได้ แต่ถ้าค่าที่อ่านได้มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ให้หมุน Type S Pitot Tube ไปมาให้อยู่ระหว่าง ±90 องศา จนกระทั่งสามารถอ่านค่าความดันแตกต่างได้เท่ากับศูนย์ บันทึกค่ามุม (Δ) ของ Type S Pitot Tube ที่ตรวจวัดได้จากตำแหน่งจุดชักตัวอย่างทุกจุด แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่ามุมที่ได้ทั้งหมด ถ้าค่าเฉลี่ยมีค่ามากกว่า 20 องศา แสดงว่าไม่สามารถยอมรับลักษณะการไหลของอากาศที่ตำแหน่งจุดชักตัวอย่างนั้นได้

1

3. การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณ (Data Analysis and Calculation)

ในการคำนวณผลให้คงจำนวนเลขนัยสำคัญไว้มากกว่าจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง และเมื่อได้ผลลัพธ์สุดท้าย ของการคำนวณ ให้ปัดเลขนัยสำคัญตัวสุดท้ายตามหลักคณิตศาสตร์ เช่น สมมติว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4 ดังนั้น ค่าในระหว่างการคำนวณจะต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง และเมื่อสิ้นสุดการคำนวณ ผลลัพธ์สุดท้ายต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ (Nomenclature)

D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า

L = ความยาว

n = จำนวนจุดชักตัวอย่างทั้งหมด

P_i = มุม Pitch angle ที่จุดชักตัวอย่าง i มีหน่วยเป็นองศา

R_{avg} = ค่ามุมเฉลี่ย มีหน่วยเป็นองศา

R_i = ค่ามุมที่จุดชักตัวอย่างแต่ละจุด มีหน่วยเป็นองศา

S_d = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีหน่วยเป็นองศา

W = ความกว้าง

3.2 การคำนวณหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า สำหรับปล่องที่มีภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้คำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$D_e = \frac{2(L)(W)}{L + W}$$ สมการที่ 1-1

3.3 การคำนวณมุมเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด ให้คำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$R_{avg} = \sum R_i / n$$ สมการที่ 1-2

3.4 การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviations)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(R - R_{avg})^2}{n-1}}$$ สมการที่ 1-3

4. การรายงานผล (Reporting)

ให้ผู้ตรวจวัดจัดทำรายงานผลการกำหนดตำแหน่งตรวจวัดและจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรมโดยให้ใช้แบบ คพ. 1-1 และแบบ คพ. 1-2

1

แบบ คพ. 1-1 การกำหนดจำนวนและตำแหน่งของจุดชักตัวอย่างสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองและความเร็วของอากาศในปล่อง (สำหรับปล่องที่มีภาพตัดขวางเป็นวงกลม)

Plant:_____ Date:_____

Plant Location :_____

Sampling Location :_____ Run No:_____

Sample Team Operator :_____

Sketch of stack geometry (including distances from sample site to any disturbances)

Interior duct cross-section dimension :_____ft

Stack cross-sectional area :_____ft^2

Sampling port diameter:_____in

Sampling port nipple length :_____cm

Sampling site :

Diameter downstream of disturbance :_____ft

Diameter upstream of disturbance :_____ft

Minimum number of traverse points :_____*(from Figure 1-4, 1-5)*

Traverse Point No.	Circular stack % diametr *(from Table 1-2)*	Distance from Inside Stack Wall (inch)	Distance from Sample Port Opening (inch)	Sketch of Stack X-Section showing Location of Traverse Points
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

แบบ คพ. 1-2 การกำหนดจำนวนและตำแหน่งของจุดชักตัวอย่างสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองและความเร็วของอากาศในปล่อง (สำหรับปล่องที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยม)

Plant:_____ Date:_____

Plant Location :_____

Sampling Location :_____ Run No:_____

Sample Team Operator :_____

Sketch of stack geometry (including distances from sample site to any disturbances)

Interior duct cross-section dimension :_____ft

Stack cross-sectional area :_____ft^2

Sampling port diameter:_____in

Sampling port nipple length :_____cm

Sampling site :

Diameter downstream of disturbance :_____ft

Diameter upstream of disturbance :_____ft

Minimum number of traverse points :_____*(from Figure 1-4, 1-5)*

Traverse Point No.		Distance from Inside Stack Wall (inch)	Distance from Sample Port Opening (inch)	Sketch of Stack X-Section showing Location of Traverse Points
Row 1	Point 1			
	Point 2			
	Point 3			
	Point 4			
	Point 5			
	Point 6			
Row 2	Point 1			
	Point 2			
	Point 3			
	Point 4			
	Point 5			
	Point 6			
Row 3	Point 1			
	Point 2			
	Point 3			
	Point 4			
	Point 5			
	Point 6			

Traverse Point No.		Distance from Inside Stack Wall (inch)	Distance from Sample Port Opening (inch)	Sketch of Stack X-Section showing Location of Traverse Points
Row 4	Point 1			
	Point 2			
	Point 3			
	Point 4			
	Point 5			
	Point 6			
Row 5	Point 1			
	Point 2			
	Point 3			
	Point 4			
	Point 5			
	Point 6			
Row 6	Point 1			
	Point 2			
	Point 3			
	Point 4			
	Point 5			
	Point 6			

วิธีที่ 2 การหาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Method of The Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate)

1. หลักการและขอบเขตของวิธีการ (Principle and Applicability)

1.1 หลักการ (Principle) ใช้ Type S Pitot Tube หาค่าความหนาแน่นของอากาศเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษ

การหาค่าความเร็วเฉลี่ยของอากาศตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ได้นำหลักเกณฑ์ตามที่กำหนดไว้ใน 40 CFR Part 60 Appendix A Method 2 Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube), 2001 Edition ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์โดยได้ปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

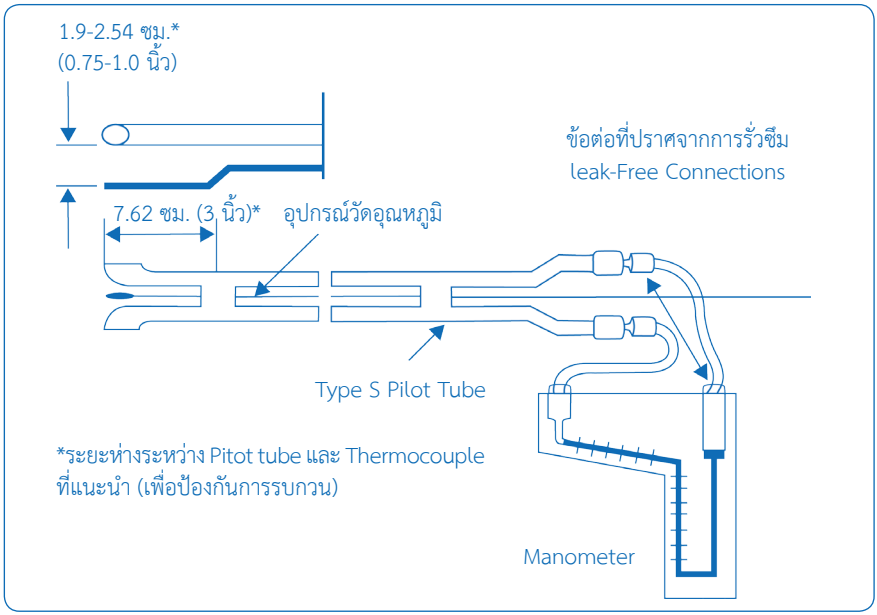
1.2 ขอบเขตของวิธีการ (Applicability) เพื่อใช้หาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่

2. เครื่องมือ
(Apparatus)

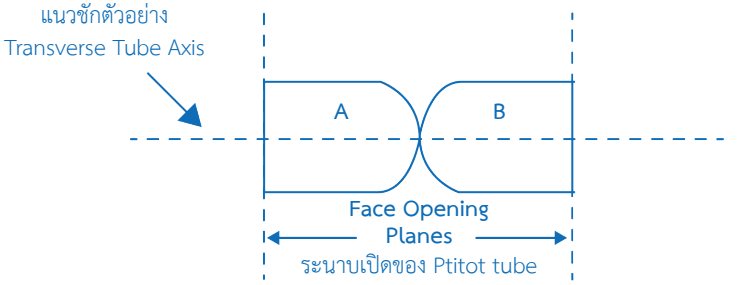
2

เครื่องมือที่จะนำมาใช้ตรวจวัดหาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษจะต้องทำการปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration) และทำการทดสอบหาอัตราการรั่วซึมก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง เครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วย

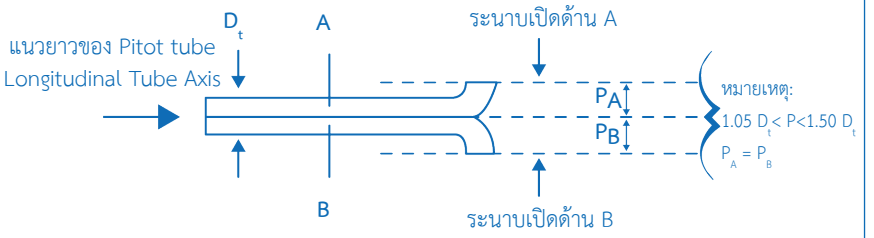
2.1 Type S Pitot Tube ทำจากท่อโลหะทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอกตั้งแต่ 0.48 - 0.95 เซนติเมตร หรือ 3/16 - 3/8 นิ้ว จำนวน 2 ท่อเชื่อมติดกันในแนวขนานโดยมีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิติดตั้งไว้ระหว่างท่อทั้งสอง และที่ปลายท่อด้านที่เปิดออกจะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวดิ่งห่างจากกัน ตั้งแต่ 1.05 แต่ไม่เกิน 1.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหรืออาจมีแนวเฉียง ตามที่กำหนดไว้ ส่วนปลายท่ออีกด้านหนึ่งใช้สำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องมือวัด ค่าความดันแตกต่างของอากาศ ตามภาพที่ 2-1 ภาพที่ 2-2 และภาพที่ 2-3



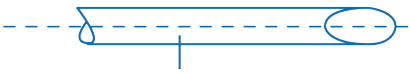
ภาพที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบของ Type S Pitot Tube



(1)



(2)



(3)

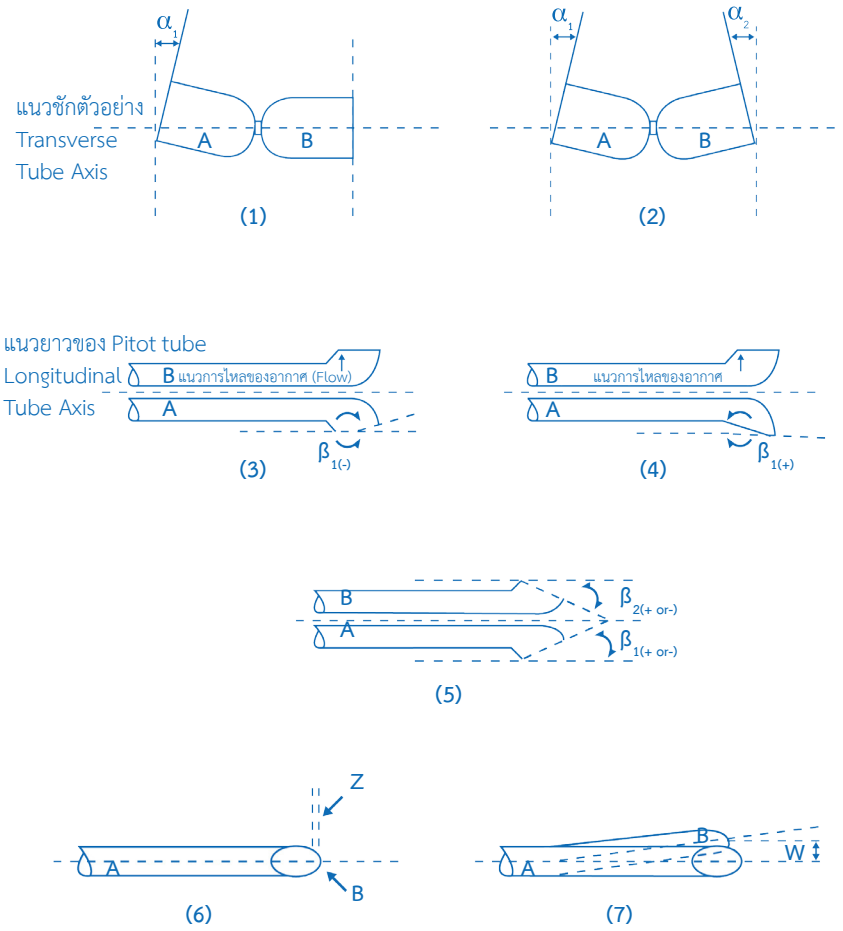
(1) ภาพปลายท่อ; ระนาบเปิดของท่อในแนวตั้งฉากกับแนวชักตัวอย่าง

(2) ภาพด้านบน; ระนาบเปิดของท่อในแนวขนานกับแนวท่อ

(3) ภาพด้านข้าง; ความยาวและแนวแกนกลางของทั้งด้าน A และ B เท่ากัน ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.84

ภาพที่ 2-2 แสดงลักษณะที่ถูกต้องของ Type S Pitot Tube

2



ระนาบปลายเปิดของ Pitot Tube ที่เบี่ยงเบนไปจะไม่มีผลต่อค่า $C_{p(s)}$ เมื่อ α_1 และ α_2 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10 องศา β_1 และ β_2 น้อยกว่า หรือเท่ากับ 5 องศา z น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.32 ซม. (1/8 นิ้ว) และ w เท่ากับหรือน้อยกว่า 0.08 ซม. (1/32 นิ้ว)

ภาพที่ 2-3 แสดงระนาบปลายปิดของ Type S Pilot Tube ซึ่งมีการเบี่ยงเบนไป

Type S Pitot Tube ที่ใช้ต้องรู้ค่าสัมประสิทธิ์แน่นอนตามวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดไว้ในข้อ 4 และเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการหาค่าสัมประสิทธิ์ให้ผู้ตรวจวัดใช้ปากกาชนิดถาวรเขียนรหัสกำกับไว้ที่ด้านบนของแต่ละท่อด้วย

กรณีที่ใช้ Standard Pitot Tube แทน Type S Pitot Tube ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ใน 2.7 และ 4.2 และต้องระมัดระวังมิให้มีฝุ่นละอองเข้าไปอุดตันในช่อง Static ของ Standard Pitot Tube

กรณีความแตกต่างของค่าความดันอากาศในตำแหน่งชักตัวอย่างสุดท้ายมีค่าต่ำมาก ให้สำรวจว่าตำแหน่งชักตัวอย่างอากาศอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมหรือไม่ ถ้าไม่เหมาะสมให้เปลี่ยนตำแหน่งชักตัวอย่างไปยังตำแหน่งอื่นที่เหมาะสมแทน

2.2 เครื่องวัดความดันแตกต่าง แบบ Inclined Manometer หรือแบบอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าต้องมีขีดบอกระดับน้ำในแนวดิ่งไม่น้อยกว่า 25 เซนติเมตรน้ำ หรือ 10 นิ้วน้ำ และมีขีดบอกระดับน้ำในแนวเฉียงไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตรน้ำ หรือ 1 นิ้วน้ำ โดยขีดบอกระดับน้ำต้องสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.25 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.01 นิ้วน้ำ และสามารถวัดค่าความดันแตกต่างได้ต่ำสุดถึง 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.5 นิ้วน้ำ

ผู้ตรวจวัดจะต้องนำสมการที่ 2-1 มาใช้คำนวณเพื่อคัดเลือกเครื่องวัดความดันแตกต่างให้เหมาะสมกับกรณีดังนี้

(1) ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของค่าความดันแตกต่างในจุดชักตัวอย่างอากาศทุกๆ จุดมีค่าความดันแตกต่างต่ำกว่า 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.5 นิ้วน้ำ หรือ

(2) ปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีจำนวนจุดชักตัวอย่างอากาศมากกว่าหรือเท่ากับ 12 จุด และมีค่าความดันแตกต่างต่ำกว่า 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.5 นิ้วน้ำ เกินกว่าร้อยละ 10 ของจำนวนจุดชักตัวอย่างทั้งหมด หรือ

(3) ปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีจุดชักตัวอย่างน้อยกว่า 12 จุด และมีค่าความดันแตกต่างต่ำกว่า 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.5 นิ้วน้ำ มากกว่า 1 จุดขึ้นไป

โดยถ้า “T” (Sensitivity Factor) ในสมการที่ 2-1 มีค่ามากกว่า 1.05 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดความดันแตกต่างดังกล่าวไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนเครื่องวัดความดันแตกต่างให้สามารถวัดค่าความดันแตกต่างได้ต่ำกว่า 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.5 นิ้วน้ำ

กรณีเครื่องวัดความดันแตกต่างเป็นแบบ Magnehelic Gauge หรือแบบอื่นๆ ให้ทำการปรับเทียบความถูกต้องตามวิธีการที่กำหนดไว้สำหรับเครื่องมือนั้นทุกครั้งหลังจากเสร็จสิ้นการทดสอบ

2.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Gauge) แบบ Thermocouple, Liquid-Filled Bulb Thermometer, Bimetallic Thermometer, Mercury-ln-Glass Thermometer หรือแบบอื่นที่สามารถวัดค่าอุณหภูมิต่ำสุดของปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 1.5 โดยให้ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิไว้กับชุด Type S Pitot Tube ในตำแหน่งที่ไม่กีดขวางการไหลของอากาศและบริเวณที่ใช้ตรวจจับอุณหภูมิจะต้องไม่สัมผัสกับโลหะใดๆ

2.4 เครื่องวัดความดันสถิต (Pressure Probe and Gauge) ให้ใช้เครื่องวัดความดันสถิตแบบ Piezometer Tube, Mercury หรือ Water-Filled U-Tube Manometer ชนิดที่สามารถวัดแรงดันในปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียได้ละเอียดถึง 2.5 มิลลิเมตรปรอท หรือ 0.1 นิ้วปรอท โดยสามารถใช้ขาของ Standard Pitot Tube ด้านที่มี Static Tab หรือขาของ Type S Pitot Tube ด้านที่เปิดออกเพื่อรับการไหลของอากาศแทนท่อของเครื่องตรวจวัดความดันสถิตได้

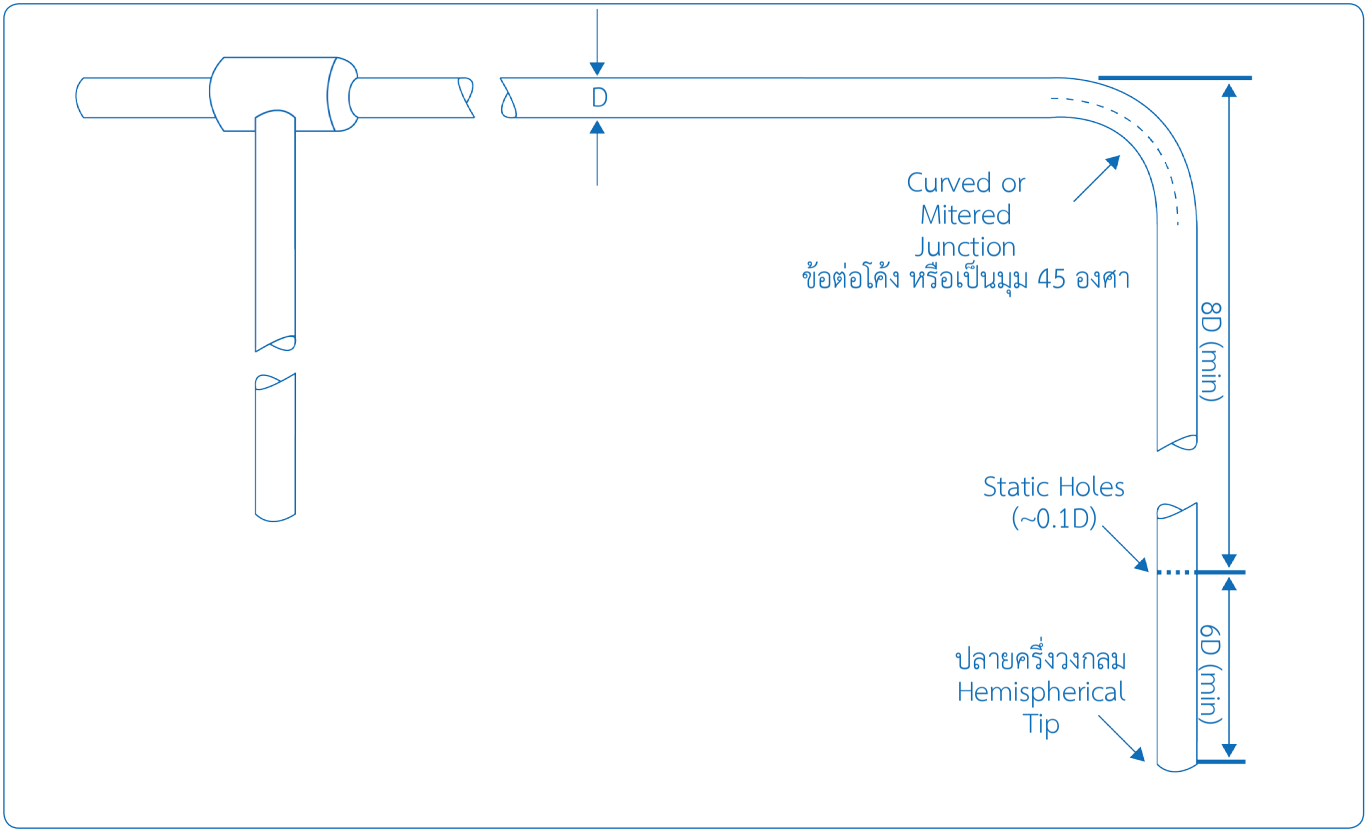
2.5 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ (Barometer) ให้ใช้แบบ Mercury หรือแบบ Aneroid หรือแบบอื่นที่สามารถวัดค่าความดันบรรยากาศได้ละเอียดถึง 2.5 มิลลิเมตรปรอท หรือ 0.1 นิ้วปรอท

กรณีมีสถานีตรวจวัดสภาพอากาศตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องการตรวจวัด อาจใช้ผลการตรวจวัดความดันบรรยากาศจากสถานีดังกล่าวแทนการติดตั้งเครื่องวัดความดันบรรยากาศได้ โดยให้นำค่า 2.5 มิลลิเมตรปรอท หรือ 0.1 นิ้วปรอท ลบออกจากค่าความดันบรรยากาศที่สถานีตรวจวัดสภาพอากาศนั้นๆ ตรวจวัดได้ที่ทุกๆ ระยะความสูง 30 เมตร หรือ 100 ฟุตจากระดับน้ำทะเล หรือบวกเพิ่มจากค่าความดันบรรยากาศที่สถานีตรวจวัดสภาพอากาศนั้นๆ ตรวจวัดได้ที่ทุกๆ ระยะ 30 เมตร หรือ 100 ฟุต ที่อยู่ต่ำจากระดับน้ำทะเลก่อนนำมาใช้คำนวณ

2.6 เครื่องวิเคราะห์ความหนาแน่นของอากาศ (Gas Density Determination Equipment) ให้ใช้วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษ และวิธีการหาปริมาณความชื้นของอากาศหรือวิธีการหาปริมาณฝุ่นละอองจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษ หรือวิธีการอื่นที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่า

2.7 การปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ในข้อ 4 โดยให้ปรับเทียบกับ Standard Pitot Tube ที่มีหลักฐานรับรองมาตรฐานจากผู้ผลิตหรือได้รับมาตรฐานจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ซึ่ง Standard Pitot Tube ที่นำมาใช้ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์อยู่ระหว่าง 0.99 ± 0.01 รวมทั้งต้องมีคุณลักษณะเฉพาะอื่นๆ ดังนี้

2.7.1 บริเวณปลายเปิดต้องมีลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลม วงรี หรือรูปกรวย ตามภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 แสดงข้อกำหนดแสดงคุณลักษณะของ Standard Pitot Tube

2.7.2 ช่องวัดความดันสถิต (Static Tab) ต้องมีระยะห่างจากปลายเปิดไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ

2.7.3 ช่องวัดความดันสถิต (Static Tab) ต้องห่างแนวเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณข้อโค้ง 90 องศา ไม่น้อยกว่า 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ

2.7.4 ช่องวัดความดันสถิต (Static Tab) ต้องมีขนาดเท่าๆ กันทุกช่อง และอยู่ในแนวเดียวกัน บนพื้นที่รอบวงกลมของท่อโดยมีขนาด 0.1 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

2.7.5 บริเวณข้อโค้ง 90 องศา ต้องมีลักษณะเป็นท่อโค้งมนไม่มีจุดหักมุม

2.8 เครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่างที่ใช้สำหรับปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ให้ใช้แบบ Inclined Manometer หรือแบบอื่น โดยมีคุณสมบัติดังนี้

(1) กรณีการปรับเทียบความถูกต้องค่าความเร็วเดี่ยวให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในข้อ 4 โดยเครื่องวัดความดันแตกต่างที่ใช้ต้องสามารถอ่านค่าละเอียดได้ไม่น้อยกว่า 0.13 มิลลิเมตรน้ำ (0.005 นิ้วน้ำ)

(2) กรณีการปรับเทียบความถูกต้องค่าความเร็วร่วม (Multivelocity Calibration) ที่มีค่าความดันแตกต่าง (ΔP) ระหว่าง 1.3 - 25 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.05 - 1.0 นิ้วน้ำ หรือมีค่าความดันแตกต่างใกล้เคียง 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.05 นิ้วน้ำ และมีค่าความดันแตกต่าง (ΔP) สูงกว่า 25 มิลลิเมตรน้ำ (1.0 นิ้วน้ำ) ให้ใช้เครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่างที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.13 มิลลิเมตรน้ำ (0.005 นิ้วน้ำ) สำหรับกรณีที่มีค่าความดันแตกต่าง (ΔP) ต่ำกว่า 1.3 มิลลิเมตรน้ำ (0.05 นิ้วน้ำ) ให้ผู้ตรวจวัดใช้เครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่างที่สามารถวัดค่าความดันแตกต่างได้ต่ำกว่า 1.3 มิลลิเมตรน้ำ (0.05 นิ้วน้ำ)

3. วิธีการตรวจวัด (Procedure)

การตรวจวัดเพื่อหาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศจากปล่องให้ดำเนินการ ดังนี้

3.1 การประกอบเครื่องมือ ตามรายละเอียดในภาพที่ 2-1 ทั้งนี้ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นจากความชื้นในตัวอย่างอากาศซึ่งจะทำให้ค่าความดันแตกต่าง (ΔP) ขึ้นลงไม่สม่ำเสมอ ให้ติดตั้ง Capillar Tube หรือถังพัก (Surge Tanks) ไว้ระหว่าง Pitot Tube กับเครื่องวัดความดันแตกต่าง โดยให้ทดสอบหาอัตราการรั่วซึมของชุดชักตัวอย่างเบื้องต้น ดังนี้

3.1.1 เป่าอากาศเข้าทางปลายเปิดของ Type S Pitot Tube ด้านรับการไหลของอากาศจากปล่อง (Velocity Pressure) จนกระทั่งอ่านค่าความดันแตกต่างได้ไม่น้อยกว่า 7.6 เซนติเมตรน้ำ หรือ 3 นิ้วน้ำ ใช้นิ้วมือหรือจุกยางปิดปลายท่อให้แน่น ทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 15 วินาที ค่าความดันของอากาศจะต้องอยู่ในระดับคงที่

3.1.2 ดูดอากาศออกจากปลายเปิดของ Type S Pitot Tube ด้านที่หงายรับอากาศจากภายนอกปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย (Static Pressure) จนกระทั่งอ่านค่าความดันแตกต่างได้ไม่น้อยกว่า 7.6 เซนติเมตรน้ำ หรือ 3 นิ้วน้ำ ใช้นิ้วมือหรือจุกยางปิดปลายท่อให้แน่นทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 15 วินาที ค่าความดันของอากาศจะต้องอยู่ในระดับคงที่

3.2 การตั้งระดับและการตั้งค่าศูนย์ของเครื่องวัดค่าความดันแตกต่าง (Level and Zero Manometer) ตรวจสอบระดับน้ำและการตั้งค่าศูนย์ของเครื่องมือให้อยู่ในระดับคงที่ตลอดระยะที่ทำการตรวจวัด และบันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึกข้อมูลความเร็วของอากาศจากปล่องบริเวณตำแหน่งชักตัวอย่างอากาศ แบบ คพ. 2-1

3.3 การตรวจวัดความเร็วและอุณหภูมิของอากาศจากปล่องบริเวณตำแหน่งชักตัวอย่างอากาศ ตามที่กำหนดไว้ในประกาศกรมควบคุมมลพิษ วิธีที่ 1 การกำหนดตำแหน่งท่อชักตัวอย่าง จำนวนจุดชักตัวอย่างและจุดชักตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ให้ดำเนินการ ดังนี้

3.3.1 ตรวจสอบเครื่องวัดความดันแตกต่างให้มีช่วงค่าของการตรวจวัดครอบคลุมถึงค่าความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจริงจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ตามที่กำหนดไว้ใน 2.2

3.3.2 ให้ตรวจวัดค่าความดันแตกต่าง และอุณหภูมิของอากาศใหม่ กรณีที่มีการเปลี่ยนเครื่องวัดความดันแตกต่างที่ละเอียดขึ้นกว่าเดิม รวมทั้งให้จดบันทึกผลการตรวจวัดทุกๆ ตำแหน่งลงในแบบบันทึกข้อมูลความเร็วของอากาศจากปล่องบริเวณตำแหน่งชักตัวอย่างอากาศ แบบ คพ. 2-1

3.3.3 ทดสอบหาอัตราการรั่วซึมของชุดเก็บตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างอากาศอีกครั้งหนึ่งเพื่อยืนยันผลการรั่วซึมใน 3.1 ถ้าผลการทดสอบในครั้งหลังปรากฏว่ามีการรั่วซึมเกิดขึ้นให้ดำเนินการตรวจวัดใหม่

3.4 ตรวจวัดค่าความดันสถิตจากปล่อง (Measure the Static Pressure) ทุกๆ ตำแหน่งที่มีการชักตัวอย่างอากาศอย่างน้อยตำแหน่งละ 1 ครั้ง และบันทึกลงในแบบบันทึกข้อมูลความเร็วของอากาศจากปล่องบริเวณตำแหน่งชักตัวอย่างอากาศ แบบ คพ. 2-1

3.5 ตรวจวัดค่าความดันบรรยากาศ (Determine the Atmospheric Pressure) และบันทึกผลลงในแบบบันทึกข้อมูลความเร็วของอากาศจากปล่องบริเวณตำแหน่งชักตัวอย่างอากาศ แบบ คพ. 2-1

3.6 กรณีอากาศเสียที่ปล่อยทิ้งจากแหล่งกำเนิดมลพิษเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) การหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศจากปล่องให้ดำเนินการตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ วิธีที่ 3 วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่

แต่ถ้าการเผาไหม้มิได้เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและไม่สามารถหาค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศจากปล่องได้ ให้ใช้ค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศเท่ากับ 29.0 กรัม/กรัม-โมล

3.7 การหาความชื้นของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ให้ใช้วิธีที่ 4 การหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ หรือใช้วิธีที่ 5 การหาปริมาณการระบายฝุ่นละอองจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ แทนวิธีการหาความชื้นของอากาศจากปล่อง

3.8 การหาพื้นที่หน้าตัดของปล่อง (Determine the Cross-Sectional Area of the Stack) บริเวณตำแหน่งซักตัวอย่างอากาศ ควรหาโดยการตรวจวัดจากสภาพของปล่องตามความเป็นจริง ไม่ควรนำข้อมูลในแบบพิมพ์เขียวมาใช้ในการหาพื้นที่หน้าตัดของปล่อง เพราะขนาดของปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียจะผุกร่อนไปตามสภาพของการใช้งานและทำให้ขนาดไม่ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้

4. การปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration)

4.1 Type S Pitot Tube ให้ตรวจสอบในเบื้องต้นว่า Type S Pitot Tube มีรูปร่างลักษณะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความยาวและปลายเปิดของท่อเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในภาพ 2-2 หรือ 2-3 และตามคุณสมบัติเฉพาะที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามที่กำหนดให้เปลี่ยน Type S Pitot Tube ใหม่ โดย Type S Pitot Tube ที่มีคุณลักษณะตามที่กำหนดไว้ให้สันนิษฐานว่า (1) ค่า D_t P_a และ P_b เป็นไปตามที่กำหนดและสามารถปรับเทียบความถูกต้องได้ตามวิธีการใน 4.1.2 - 4.1.5 หรือ (2) ท่อ Type S Pitot Tube มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.84 และสามารถนำไปใช้ตรวจวัดได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อท่อ Type S Pitot Tube ถูกนำไปใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่นๆ ในการเก็บตัวอย่างและการหาความเร็วของอากาศในปล่อง จะต้องปรับเทียบความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์อีกครั้งหนึ่ง ดังนี้

4.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Type S Pitot Tube เมื่อนำไปใช้ร่วมกับเครื่องมืออื่นๆ เช่น เครื่องวัดอุณหภูมิ ท่อชักตัวอย่างอากาศ (Probe) หรือหัวชักตัวอย่างอากาศ (Nozzle) ในการเก็บตัวอย่างและการหาความเร็วของอากาศในปล่อง อาจมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งจะต้องมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ตามที่กำหนดไว้ เช่น อุปกรณ์ที่นำมาใช้ต้องมีลักษณะเป็น Aerodynamic หรือขาของ Type S Pitot Tube ด้านที่ขนานไปกับการไหลของอากาศ (Velocity Pressure) ต้องอยู่ต่ำกว่าหัวชักตัวอย่างอากาศ (Nozzle) เป็นต้น แต่ตำแหน่งและระยะของการติดตั้งต้องเป็นไปตามภาพที่ 2-5 - 2-6 กรณีการประกอบ Type S Pitot Tube แตกต่างไปจากภาพที่ 2-5 - 2-6 ไม่ว่าทั้งหมดหรือบางส่วนจะต้องปรับเทียบความถูกต้องใหม่ตามที่กำหนดไว้ใน 4.1.2 - 4.1.5 และบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับระยะห่างของหัวชักตัวอย่างอากาศตัววัดอุณหภูมิหรือท่อชักตัวอย่างอากาศกับ Type S Pitot Tube ไว้ด้วย

4.1.2 การเตรียมชุดปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration Setup) การปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ให้ทำสัญลักษณ์ A ไว้ที่ขาด้านหนึ่งและทำสัญลักษณ์ B ไว้กับขาด้านที่เหลือ โดยควรทำการปรับเทียบความถูกต้องกับระบบที่มีการไหลเวียนของอากาศที่สามารถควบคุมการไหลของอากาศได้ เช่น อุโมงค์ลม ดังนี้

(1) การไหลของอากาศในแนวพื้นที่หน้าตัดของท่ออุโมงค์ลมจะต้องสม่ำเสมอ โดยอุโมงค์ลมที่ใช้เป็นรูปทรงกระบอกต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 30.5 เซนติเมตร หรือ 12 นิ้ว สำหรับอุโมงค์ลมที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมต้องมีด้านที่สั้นที่สุดอย่างน้อย 25.4 เซนติเมตร หรือ 10 นิ้ว

(2) อุโมงค์ลมที่เป็นรูปทรงกระบอกต้องมีขนาดพื้นที่หน้าตัดคงที่เท่ากันตลอดช่วงระยะความยาวซึ่งไม่น้อยกว่า 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสำหรับอุโมงค์ลมที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมให้คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าจากสมการที่ 2-2 แล้วจึงหาระยะที่เป็น 10 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

ทั้งนี้ เพื่อให้การปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ในอุโมงค์ลมมีความเที่ยงตรงและมีความน่าเชื่อถือในการนำไปใช้ตรวจวัดในภาคสนามและในการทดสอบ จุดที่ใช้ปรับเทียบความถูกต้องของอุโมงค์ลมจะต้องอยู่ห่างจากต้นทางการไหลของอากาศในบริเวณที่มีการรบกวนไม่น้อยกว่า 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ลม และห่างจากปลายทางการไหลของอากาศในบริเวณที่มีการรบกวนไม่เกิน 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ลม

(3) ความเร็วของอากาศภายในอุโมงค์ลมสำหรับการปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ควรมีค่าประมาณ 915 เมตรต่อนาที หรือ 3,000 ฟุตต่อนาที และอยู่ในระดับคงที่ตลอดเวลาที่ทำการปรับเทียบความถูกต้อง โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงที่ความเร็วของอากาศสูงกว่า 305 เมตร/นาที หรือ 1,000 ฟุต/นาที ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ ± 3 และในช่วงที่ความเร็วของอากาศมีค่าระหว่าง 180 - 305 เมตร/นาที หรือ 600 - 1,000 ฟุต/นาที ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ ± 5 - 6 แต่ถ้าต้องการให้ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง

ค่าสัมประสิทธิ์กับค่าความเร็วของอากาศมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ให้แบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ช่วง โดยให้ครอบคลุมทุกๆ ช่วงความเร็วตั้งแต่ 180 - 1,525 เมตร/นาที หรือ 600 - 5,000 ฟุต/นาที

(4) ตำแหน่งที่ใช้ปรับเทียบความถูกต้อง ให้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตำแหน่งที่ใช้สำหรับ Standard Pitot Tube และตำแหน่งที่ใช้สำหรับ Type S Pitot Tube โดยทั้งสองตำแหน่งอาจจะอยู่ด้านเดียวกันหรือห่างจากกันเล็กน้อย หรืออยู่ตรงข้ามกันก็ได้ โดยในขณะที่ทำการปรับเทียบความถูกต้องปลายท่อของ Standard Pitot Tube และปลายเปิดของ Type S Pitot Tube จะต้องอยู่ในแนวระนาบหน้าตัดเดียวกัน

4.1.3 การปรับเทียบความถูกต้องสำหรับของ Type S Pitot Tube เพียงอย่างเดียว ให้ผู้ตรวจวัดดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

(1) ตรวจสอบคุณลักษณะของเครื่องวัดความดันแตกต่างให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ใน 2.2 ทดสอบการรั่วซึมของระบบ ตรวจสอบน้ำสีบอกระดับไม่ให้มีสิ่งเจือปนและให้มีค่าความหนาแน่นตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ หากพบความผิดปกติให้แก้ไขหรือเปลี่ยนเครื่องวัดความดันแตกต่างใหม่

(2) ปรับระดับของเครื่องวัดความดันแตกต่างให้อยู่ในสภาวะสมดุล และปรับค่าระดับน้ำให้อยู่ในระดับศูนย์ “0” เปิดพัดลมและปรับระดับความเร็วของอากาศให้อยู่ในระดับคงที่ ปิดช่องสำหรับปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ให้สนิท

(3) ตรวจสอบว่าการปรับระดับของเครื่องมือและเครื่องมือวัดความดันแตกต่างอยู่ในระดับตามที่ปรับแต่งไว้ใน 4.1.3 (2) ให้ปลายท่อของ Standard Pitot Tube ในอุโมงค์ลมอยู่ในทิศที่สวนกับการไหลของอากาศและอยู่ในตำแหน่งตามที่กำหนดไว้ใน 4.1.5 (1) หรือไม่ เพื่อป้องกันการเกิด Yaw Angles หรือ Pitch Angles ปิดช่องว่างโดยรอบที่ใส่ Standard Pitot Tube ให้แน่นไม่ให้มีอากาศรั่วไหลออกจากระบบในขณะที่ตรวจวัดเพราะจะทำให้ผลการตรวจวัดผิดพลาดได้

(4) อ่านและบันทึกค่าความดันแตกต่าง (ΔP_{std}) ลงในแบบรายงานผลการปรับเทียบค่าความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ลงในแบบ คพ. 2-2 ถอดท่อ Standard Pitot Tube ออกจากเครื่องวัดความดันแตกต่างและปิดช่องที่ใช้ตรวจวัดให้แน่นสนิท

(5) นำ Type S Pitot Tube เชื่อมต่อกับเครื่องวัดความดันแตกต่าง ตรวจสอบตำแหน่งและระดับน้ำของเครื่องวัดค่าความดันแตกต่างให้อยู่ในระดับสมดุล ปรับระดับน้ำให้อยู่ที่เลขศูนย์ “0” เปิดช่องสำหรับปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube แล้วจึงสอดท่อ Type S Pitot Tube ด้านที่เปิดรับลมด้าน A เข้าไปในช่องที่เปิดไว้ในแนวระนาบเดียวกับ Standard Pitot Tube โดยปลายของ Type S Pitot Tube ต้องอยู่ในแนวตรงสวนทางกับทิศทางการไหลของอากาศ ปิดช่องว่างโดยรอบที่ใส่ Type S Pitot Tube ให้แน่นไม่ให้มีอากาศรั่วไหลออกจากระบบเพราะจะทำให้ผลการตรวจวัดผิดพลาดได้

(6) อ่าน และบันทึกค่าความดันแตกต่างลงในแบบรายงานผลการปรับเทียบค่าความถูกต้องของ Type S Pitot Tube แบบ คพ. 2-2 ถอดท่อ Type S Pitot Tube ออกจากเครื่องวัดค่าความดันแตกต่างออก และปิดช่องที่ใช้ตรวจวัดให้แน่นสนิท

(7) ดำเนินการตาม 4.1.3 (3) - 4.1.3 (6) ซ้ำจนกระทั่งได้ค่าความดันแตกต่างของ Pitot Tube แต่ละชนิดไม่น้อยกว่า 3 ค่าและให้บันทึกค่าที่ได้ลงในแบบรายงานผลการปรับเทียบค่าความถูกต้องของ Type S Pitot Tube แบบ ค.พ. 2-2

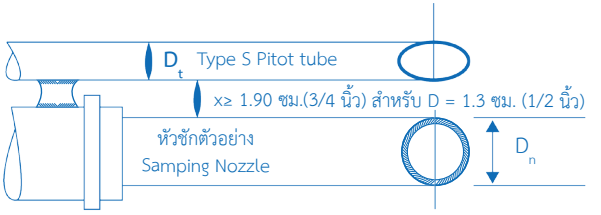
(8) ดำเนินการตาม 4.1.3 (3) - 4.1.3 (6) ซ้ำกับ Type S Pitot Tube ด้าน B จนกระทั่งได้ค่าความดันแตกต่างของ Pitot Tube แต่ละชนิดไม่น้อยกว่า 3 ค่า และให้บันทึกค่าที่ได้ลงในแบบรายงานผลการปรับเทียบค่าความถูกต้องของ Type S Pitot Tube แบบ ค.พ. 2-2

(9) คำนวณผลลัพธ์ที่ได้ตาม 5.5 และ 5.6

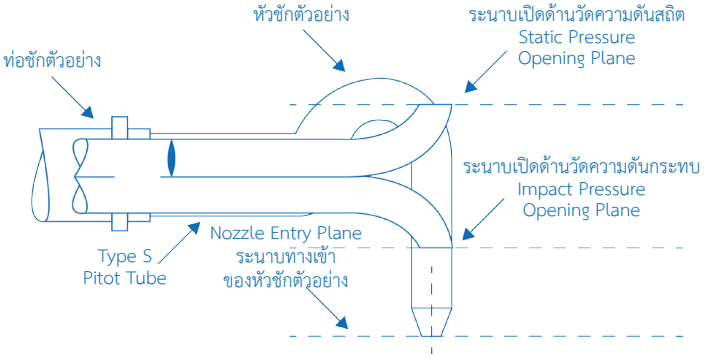
4.1.4 ข้อกำหนดเฉพาะ

(1) การเลือกตำแหน่งปรับเทียบความถูกต้องบนอุโมงค์ลม

(1.1) การเลือกตำแหน่งปรับเทียบความถูกต้อง ให้เลือกตำแหน่งบริเวณกึ่งกลางของอุโมงค์ลมหรือบริเวณใกล้เคียงตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ใน 4.1.3 และ 4.1.4 โดยตลอดระยะเวลาที่ทำการปรับเทียบความถูกต้อง Type S Pitot Tube จะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยด้าน A และด้าน B ไม่เกินกว่าที่กำหนดไว้ และถ้าใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น หัวชักตัวอย่างอากาศ หรือเครื่องวัดอุณหภูมิ จะต้องมีการป้องกันมิให้อุปกรณ์ดังกล่าวไปกีดขวางทางเดินของอากาศที่จะเข้าไปสู่ Type S Pitot Tube ตามภาพที่ 2-5 และ 2-6

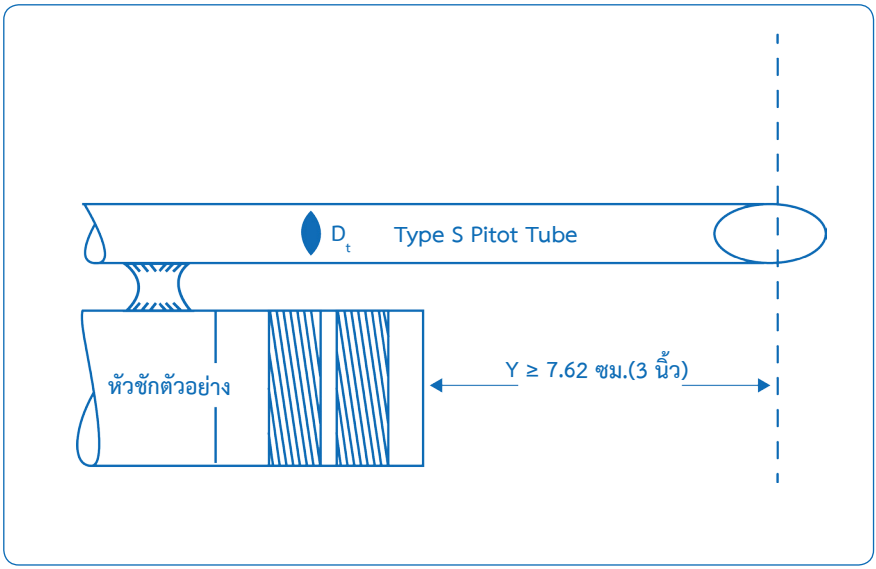


(1) ภาพจากด้านล่างแสดงระยะห่างน้อยสุดระหว่าง Pitot tube และหัวชักตัวอย่าง



(2) ภาพด้านข้างแสดงระนาบเปิดด้านวัดความดันกระทบต้องเท่ากับหรือเหนือระนาบทางเข้าของหัวชักตัวอย่างเพื่อป้องกันการรบกวนของอากาศเสียที่กระทบหัวชักตัวอย่าง

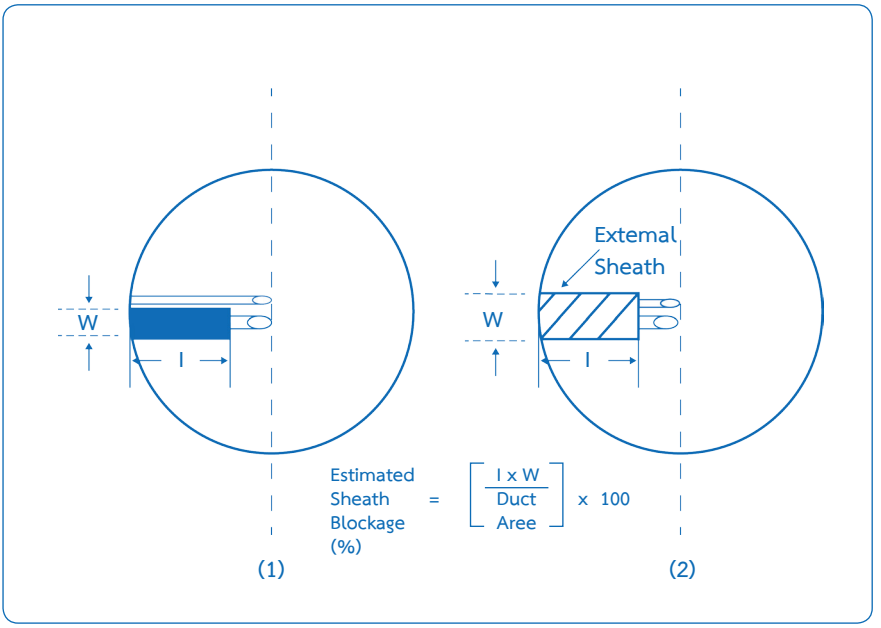
ภาพที่ 2-5 แสดงการติดตั้ง Pitot Tube และหัวเก็บตัวอย่าง (Nozzle) ที่เหมาะสม



ภาพที่ 2-6 แสดงระยะห่างอย่างต่ำระหว่าง Type S Pitot Tube กับหัวชักตัวอย่างเพื่อป้องกันสิ่งรบกวน

(1.2) การเลือกตำแหน่งปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ที่มีอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิอยู่ในชุดเดียวกันแต่ไม่รวมท่อชักตัวอย่างอากาศ ให้ใส่ Type S Pitot Tube เข้าไปในตำแหน่งกึ่งกลางของอุโมงค์ลมหรือบริเวณใกล้เคียงตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ใน 4.1.3 และ 4.1.4 โดยตลอดระยะเวลาที่ทำการปรับเทียบความถูกต้อง Type S Pitot Tube จะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ตามที่กำหนดไว้ รวมทั้งต้องมีการป้องกันมิให้อุปกรณ์อื่นๆ ไปกีดขวางทางเดินของอากาศที่จะเข้าไปสู่ Type S Pitot Tube ตามภาพที่ 2-5 และ 2-6

(1.3) การเลือกตำแหน่งปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ที่มีท่อชักตัวอย่างอากาศประกอบรวมอยู่ในชุดเดียวกัน กรณีไม่สามารถสอดท่อเข้าไปในตำแหน่งกึ่งกลางของอุโมงค์ลมได้ให้สอดท่อเข้าไปในตำแหน่งที่ห่างจากจุดกึ่งกลางของอุโมงค์ลมประมาณ 1-2 นิ้ว เพื่อป้องกันมิให้ท่อชักตัวอย่างอากาศกีดขวางทางเดินอากาศที่จะเข้าสู่ Type S Pitot Tube ซึ่งจะทำให้หาค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลงไปจากความเป็นจริง ตามภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 แสดงลักษณะการวาง Typt S Pitot Tube ภายในปล่อง

กรณีผู้ตรวจวัดไม่ปฏิบัติตามที่กำหนดไว้ในวรรคหนึ่ง ให้ปรับแก้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ตามสมการที่ 2-6

Type S Pitot Tube ที่ติดตั้งแยกจากท่อชักตัวอย่างอากาศจะต้องมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 2 ของพื้นที่ภาคตัดขวางภายในอุโมงค์ลม และ Type S Pitot Tube ที่ติดตั้งรวมกับท่อชักตัวอย่างอากาศเป็นชุดเดียวกันจะต้องมีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 3 ของพื้นที่ภาคตัดขวางภายในอุโมงค์ลม

(2) Type S Pitot Tube ที่มีทั้งท่อและหัวชักตัวอย่างอากาศในชุดเดียวกัน และขนาดของหัวชักตัวอย่างอากาศไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ตาม ภาพที่ 2-5 ให้ปรับเทียบความถูกต้องขนาดของหัวเก็บตัวอย่างอากาศแต่ละหัวเก็บไปพร้อมๆ กับท่อชักตัวอย่างอากาศ เพราะค่าสัมประสิทธิ์ของ Type S Pitot Tube $C_p(s)$ จะผันแปรไปตามขนาดของหัวชักตัวอย่างอากาศ

หัวชักตัวอย่างอากาศที่จะนำมาใช้ปรับเทียบความถูกต้องหาค่าความเร็วเฉลี่ยในปล่องช่วง 910 เมตร/นาที หรือ 3,000 ฟุต/นาที ต้องมีขนาด

กว้างไม่เกิน 0.635 เซนติเมตร หรือ 1/4 นิ้ว และไม่จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างแบบ Isokinetic ขณะที่ทำการปรับเทียบความถูกต้อง

(3) การปรับเทียบความถูกต้องของ Type S Pitot Tube ที่ประกอบติดเป็นชุดเดียวกันกับท่อชักตัวอย่างอากาศ ให้ปรับเทียบเฉพาะด้านที่รับการไหลของอากาศเท่านั้นและคุณลักษณะของปลายท่อที่เปิดรับลม ต้องเป็นไปตามภาพที่ 2-2 หรือ 2-3 รวมทั้งต้องมีค่าความเบี่ยงเบนเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.01

4.1.5 การนำไปใช้ในภาคสนามและการปรับเทียบความถูกต้องซ้ำ

(1) การนำไปใช้ในภาคสนาม

(1.1) Type S Pitot Tube เพียงอย่างเดียว หรือที่ประกอบร่วมกับอุปกรณ์อื่นจะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ถูกต้องตรงตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้หรือมีค่าเป็นไปตามที่คำนวณได้จากสมการหาค่าความเร็วของอากาศในปล่อง โดยให้ผู้ตรวจวัดปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะด้าน A หรือด้าน B ที่จะใช้รับการไหลของอากาศเท่านั้น และสามารถนำเอาค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของด้าน A และด้าน B ดังกล่าว มาใช้ทดสอบความผิดพลาดของด้านที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องวัดความดันแตกต่างได้ด้วย

(1.2) ปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่จะทำการตรวจวัดต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 12 - 36 นิ้วขึ้นไป เพราะถ้าปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 12 นิ้ว จะทำให้ท่อชัก (Pitot Sampling Probe Assemblies) และปลอกป้องกันท่อชักตัวอย่างอากาศ (Probe Sheath) ไปกีดขวางทางเดินของอากาศที่จะเข้าสู่ Type S Pitot Tube ซึ่งจะทำให้สัมประสิทธิ์เปลี่ยนแปลงไปจากความจริง

(2) การปรับเทียบความถูกต้องซ้ำ (Recalibration)

(2.1) กรณีผู้ตรวจวัดพบว่า รูปร่างและลักษณะของ Type S Pitot Tube ยังคงอยู่ในสภาพเดิมตามรายละเอียดในภาพที่ 2-2 และ 2-3 ให้สันนิษฐานว่าค่าสัมประสิทธิ์ของ Type S Pitot Tube ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

แต่ถ้าตรวจพบว่า Type S Pitot Tube มีความชำรุดบกพร่องเกิดขึ้นให้รีบดำเนินการซ่อมแซมแก้ไขและปรับเทียบความถูกต้องใหม่ก่อนนำไปใช้งาน เว้นแต่จะชำรุดบกพร่องมากจนไม่สามารถซ่อมแซมหรือแก้ไขได้จึงให้จัดหาของใหม่มาทดแทน

(2.2) กรณีผู้ตรวจวัดได้ดำเนินตาม 4.1.5 (2.1) แล้วพบว่า Type S Pitot Tube ที่ประกอบรวมกันเป็นชุดกับเครื่องมืออื่นๆ (ไม่รวมถึงท่อชักตัวอย่างอากาศ) ยังคงมีสภาพเดิมและระยะห่างของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ประกอบต่างๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ให้สันนิษฐานว่าค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดทั้งชุดไม่มีการเปลี่ยนแปลงและสามารถนำไปใช้งานได้ต่อไป แต่ถ้าตรวจพบว่า Type S Pitot Tube มีความชำรุดบกพร่องหรือระยะห่างของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ให้รีบดำเนินการซ่อมแซมแก้ไขทันทีและปรับเทียบความถูกต้องใหม่ก่อนนำไปใช้งาน เว้นแต่จะชำรุดบกพร่องมากจนไม่สามารถซ่อมแซมหรือแก้ไขได้จึงให้จัดหาของใหม่มาทดแทน

4.2 Standard Pitot Tube ซึ่งใช้แทน Type S Pitot Tube เพื่อหาค่าความเร็วเฉลี่ยของอากาศ Standard Pitot Tube ต้องมีรูปร่างลักษณะคุณสมบัติเฉพาะตาม 2.7 และมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.99 รวมทั้งเมื่อนำไปติดตั้งร่วมกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ แล้วจะต้องไม่ไปรบกวนการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆ ด้วย

4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Gauges) ต้องปรับเทียบความถูกต้องทุกครั้งเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานให้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 10 ของอุณหภูมิสัมบูรณ์เฉลี่ยของอากาศในปล่อง

กรณีอุณหภูมิในปล่องมีค่าไม่เกินกว่า 405 องศาเซลเซียส หรือ 761 องศาฟาเรนไฮต์ ให้ผู้ตรวจวัดปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดอุณหภูมิกับ ASTM

Mercury-in-Glass Reference Thermometer หรือปรับเทียบความถูกต้องกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอื่นที่มีหนังสือรับรองจากสถาบัน ASTM หรือปรับเทียบความถูกต้องกับ Thermocouple and Potentiometer ที่มีหนังสือรับรองจาก NBS หรือให้ปรับเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิที่มีค่าคงที่แน่นอน เช่น ชุดควบแน่น (Ice Bath) หรือกับน้ำเดือด (Boiling Water) สำหรับปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีอุณหภูมิในปล่องสูงกว่า 405 องศาเซลเซียส หรือสูงถึง 761 องศาฟาเรนไฮต์ ให้ปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดอุณหภูมิกับ Thermocouple and Potentiometer ที่มีหนังสือรับรองจาก NBS หรือเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอื่น

การปรับเทียบผลระหว่างเครื่องวัดอุณหภูมิกับเครื่องปรับเทียบอุณหภูมิดังกล่าวข้างต้นเพื่อหาค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ จะต้องมีค่าความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 1.5 และให้ทำการตรวจวัดใหม่ถ้าผลการตรวจวัดไม่เป็นตามที่กำหนดไว้

4.4 เครื่องวัดความดันบรรยากาศ (Barometer) ให้ทำการปรับเทียบความถูกต้องโดยเปรียบเทียบกับ Mercury Barometer

5. วิธีการคำนวณ (Calculation)

ในระหว่างการคำนวณผล ให้คงจำนวนเลขนัยสำคัญไว้มากกว่าจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง และเมื่อได้ผลลัพธ์สุดท้ายของการคำนวณ ให้ปัดเลขนัยสำคัญตัวสุดท้ายตามหลักคณิตศาสตร์ เช่น สมมติว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4 ดังนั้น ค่าในระหว่างการคำนวณจะต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง และเมื่อสิ้นสุดการคำนวณผลลัพธ์สุดท้ายต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

5.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ (Nomenclature)

A = พื้นที่ภาคตัดขวางภายในท่อหรือปล่อง มีหน่วยเป็นตารางเมตร หรือตารางฟุต

B_{ws} = สัดส่วนปริมาณความชื้นของอากาศภายในท่อหรือปล่อง มีหน่วยเป็นร้อยละ

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot Tube

$C_{p(s)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Type S Pitot Tube

$C_{p(std)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Standard Pitot Tube ให้ใช้ค่า 0.99 หากไม่ทราบค่าที่แท้จริงจากผู้ผลิต โดย Standard Pitot Tube จะต้องมีคุณลักษณะตามข้อ 2.7

D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าของท่อหรือปล่องมีหน่วยเป็นเมตร หรือนิ้ว

K = 0.127 มิลลิเมตรน้ำ สำหรับหน่วยเมตริก

= 0.005 นิ้วน้ำ สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_p = ค่าคงที่ในสมการหาความเร็วเฉลี่ยของอากาศในปล่อง (V_s)

L = ความยาวของท่อหรือปล่องมีหน่วยเป็นเมตร หรือนิ้ว

M_d = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศภายในท่อหรือปล่อง (dry basis) มีหน่วยเป็นกรัมต่อกรัม-โมล หรือปอนด์ต่อปอนด์-โมล

M_s = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศภายในท่อหรือปล่อง (wet basis) มีหน่วยเป็นกรัมต่อกรัม-โมล หรือปอนด์ต่อปอนด์-โมล

= $M_d (1- B_{ws}) + 18.0 B_{ws}$

n = จำนวนจุดชักตัวอย่างทั้งหมด

P_{bar} = ค่าความดันบรรยากาศที่บริเวณจุดชักตัวอย่างอากาศมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท หรือนิ้วปรอท

P_g = ค่าความดันสถิตภายในท่อหรือปล่องมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท หรือนิ้วปรอท

P_s = ค่าความดันสมบูรณ์ของอากาศภายในท่อหรือปล่อง $P_{bar} + P_g$ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท หรือนิ้วปรอท

P_{std} = ค่าความดันสมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐานให้มีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 29.92 นิ้วปรอท

Q_{std} = ค่าอัตราการไหลของปริมาตรอากาศแห้งภายในท่อหรือปล่องที่สภาวะมาตรฐานมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง หรือลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง

T_s = ค่าอุณหภูมิภายในท่อหรือปล่องมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส หรือองศาฟาเรนไฮต์

T = ค่า Sensitivity Factor สำหรับความดันแตกต่างที่ตรวจวัดได้

$T_{s(abavg)}$ = ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ของอากาศภายในท่อหรือปล่องมีหน่วยเป็นองศาเคลวิน หรือองศาแรงคิน

= $273 + T_s$ สำหรับหน่วยเมตริก องศาเคลวิน

= $460 + T_s$ สำหรับหน่วยอังกฤษ องศาแรงคิน

T_{std} = ค่าอุณหภูมิสมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐานให้มีค่าเท่ากับ 298 องศาเคลวิน หรือ 536 องศาแรงคิน

V_s = ค่าความเร็วเฉลี่ยของอากาศในท่อหรือปล่องมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที หรือฟุตต่อวินาที

W = ความกว้างของท่อหรือปล่องมีหน่วยเป็นเมตร หรือนิ้ว

Δp = ค่าความดันแตกต่างของอากาศในท่อหรือปล่องมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรน้ำ หรือนิ้วน้ำ

Δp_i = ค่าความดันแตกต่างที่บันทึกได้จากจุดชักตัวอย่างตำแหน่งที่ 1 ด้วยเครื่องวัดความดัน มีหน่วยเป็น 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือ 0.5 นิ้วน้ำ

Δp_s = ค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้จาก Type S Pitot Tube มีหน่วยเป็นเซนติเมตรน้ำ หรือนิ้วน้ำ

Δp_{std} = ค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้จาก Standard Pitot Tube มีหน่วยเป็นเซนติเมตรน้ำ หรือนิ้วน้ำ

3,600 = ค่าที่ใช้ปรับหน่วยเวลา (Conversion Factor) มีหน่วยเป็นวินาทีต่อชั่วโมง

18.0 = ค่าน้ำหนักโมเลกุลของน้ำมีหน่วยเป็นกรัมต่อกรัม-โมล หรือปอนด์ต่อปอนด์-โมล

5.2 ค่า Sensitivity Factor (T) สำหรับความดันแตกต่างที่ตรวจวัดได้ให้คำนวณโดยใช้สมการที่ 2-1

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{\Delta p_i + K}}{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{\Delta p_i}} \qquad \text{สมการที่ 2-1}$$

5.3 เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า ให้คำนวณโดยใช้สมการที่ 2-2

$$D_e = \frac{2LW}{L + W} \qquad \text{สมการที่ 2-2}$$

5.4 สัมประสิทธิ์ของ Type S Pitot Tube นำค่าที่ได้จากการอ่านและบันทึกในแบบรายงานผลการปรับเทียบค่าความถูกต้องของ Type S Pitot Tube แบบ ค.พ. 2-2 คือค่าของ Standard Pitot Tube และ Type S Pitot Tube ด้าน A จำนวน 3 คู่ และค่าของ Standard Pitot Tube และ Type S Pitot Tube ด้าน B จำนวน 3 คู่ ตาม 4.1.3 มาคำนวณเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Type S Pitot Tube ตามสมการ 2-3

$$C_{p(s)} = C_{p(std)} \sqrt{\frac{\Delta p_{std}}{\Delta p}} \qquad \text{สมการที่ 2-3}$$

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยของ Type S Pitot Tube โดยวิธีดังต่อไปนี้

(1) นำค่าเฉลี่ยของ Standard Pitot Tube ลบออกด้วยค่าเฉลี่ยของ Type S Pitot Tube นำผลลัพธ์ที่ได้มาเป็นตัวตั้งและลบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของ Standard Pitot Tube

(2) นำค่าเฉลี่ยของ Standard Pitot Tube ลบออกด้วยค่าเฉลี่ยของ Type S Pitot Tube นำผลลัพธ์ที่ได้เป็นตัวตั้งและลบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของ Type S Pitot Tube

(3) นำค่าใน (1) ลบออกด้วยค่าใน (2) เพื่อหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

5.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Deviation) ของแต่ละด้านได้จากการนำค่าสัมประสิทธิ์ของ Type S Pitot Tube ลบด้วยค่าเฉลี่ยของ Type S Pitot Tube ด้าน A หรือ B ตามสมการที่ 2-4 ดังนี้

$$\text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน} = C_{p(s)} - \bar{C}_{p(A \text{ or } B)} \qquad \text{สมการที่ 2-4}$$

5.6 ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยของ Type S Pitot Tube ด้าน A และ B คำนวณ โดยใช้สมการที่ 2-5 ดังนี้

$$\sigma_{(A \text{ or } B)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| C_{p(s)} - \bar{C}_{p(A \text{ or } B)} \right|}{3} \qquad \text{สมการที่ 2-5}$$

Type S Pitot Tube ที่ใช้ต้องมีค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยขาด้าน A และขาด้าน B น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.01 และค่าสัมประสิทธิ์เฉลี่ยขาด้าน A และขาด้าน B น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.01

5.7 ค่าความเร็วเฉลี่ยของอากาศในท่อหรือปล่อง คำนวณโดยใช้สมการที่ 2-6

$$v_s = K_p C_p \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{\Delta p_i}}{n} \right] \sqrt{\frac{T_{s(abavg)}}{P_s M_s}} \qquad \text{สมการที่ 2-6}$$

แปลงเป็นหน่วยเมตริกโดยคูณด้วย ค่า $K_p = 34.97 \frac{m}{sec} \left[\frac{(g/g.mole)(mmHg)}{(^{\circ}K)(mmH_2O)} \right]^{1/2}$

แปลงเป็นหน่วยอังกฤษโดยคูณด้วย ค่า $K_p = 85.49 \frac{ft}{sec} \left[\frac{(lb/lb\text{-}mole)(in.Hg)}{(^{\circ}R)(in.H_2O)} \right]^{1/2}$

5.8 น้ำหนักโมเลกุลของอากาศเสีย คำนวณโดยใช้สมการที่ 2-7

$$M_s = M_d (1 - B_{ws}) + 18.0 B_{ws} \qquad \text{สมการที่ 2-7}$$

5.9 ค่าอัตราการไหลของปริมาตรอากาศแห้งภายในท่อหรือปล่องที่สภาวะมาตรฐาน คำนวณโดยใช้สมการที่ 2-8

$$Q_{std} = 3{,}600(1 - B_{ws}) v_s A \left[\frac{T_{std} P_s}{T_{s(abavg)} P_{std}} \right] \qquad \text{สมการที่ 2-8}$$

สำหรับการเปลี่ยนแปลงหน่วยของ Q_{std} จากลูกบาศก์เซนติเมตรต่อชั่วโมง หรือ ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง เป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ให้นำค่า Q_{std} มาหารด้วย 60

6. การรายงานผล
(Reporting)

2

การรายงานผลการหาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ ให้จัดทำรายงานตามแบบและมีรายละเอียดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ดังนี้

6.1 รายงานผลการหาค่าความเร็วเฉลี่ยและอัตราการไหลของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียจากแหล่งกำเนิดมลพิษ ให้ใช้แบบ คพ. 2-1

แบบ คพ. 2-1 แบบบันทึกข้อมูลความเร็วของอากาศจากปล่องบริเวณตำแหน่งชักตัวอย่างอากาศ

Plant _____

Date _____ Run No._____

Stack Dia. Or Dimension, m (in)_____

Barometric Press., mm Hg (in, Hg)_____

Cross Sectional Area, m^2 (ft^2)_____

Operators_____

Pitot Tube I.D. No._____

Avg. Coefficient, Cp =_____

Last Date Calibrated _____

Schematic of Stack_____

CROSS SECTION

Point. No.	Vel. Hd., Δ p mm (in.) H_2O	Stack Temperature T_s, °C (°F)	Pg mm Hg (in. Hg)	Δ p
Average				

แบบ คพ. 2-2 แบบรายงานผลการปรับเทียบค่าความถูกต้องของ Type S Pitot Tube

2

Calibrated By : _____

	"A" Side Calibration			
Run No.	ΔP_{std} cm H_2O (in.) H_2O	$\Delta P_{(s)}$ cm H_2O (in.) H_2O	$C_{p(s)}$	Deviation $C_{p(s)} - C_p$ (A)
1				
2				
3				
		$C_{p.avg}$ (Side A)		

	"B" Side Calibration			
Run No.	ΔP_{std} cm H_2O (in.) H_2O	$\Delta P_{(s)}$ cm H_2O (in.) H_2O	$C_{p(s)}$	Deviation $C_{p(s)} - C_p$ (B)
1				
2				
3				
		$C_{p,avg}$ (Side B)		

$$G \text{ (A or B)} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{3} \left| C_{p(s)} - \overline{C}_{p(AorB)} \right|\right)}{3}$$

[Cp,avg (side A) - Cp,avg (side B)] ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.01

วิธีที่ 3 การหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่
(Method of Gas Analysis for the Determination of Dry Molecular Weight)

1. หลักการและขอบเขตของวิธีการ (Principle and Applicability)

1.1 หลักการ (Principle) เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศเพื่อหาค่าความเข้มข้นเป็นร้อยละ โดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ในตัวอย่างอากาศในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม โดยวิเคราะห์ด้วยชุดวิเคราะห์ Orsat Analyzer หรือ Fyrite Analyzer หรือชุดวิเคราะห์แบบอื่น

การหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่องตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ ได้นำวิธีการวิเคราะห์ตามที่กำหนดไว้ใน 40 CFR Part 60 Appendix A, Method 3 Gas Analysis for the Determination of Dry Molecular Weight, 2000 Edition. ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกามาประยุกต์ โดยได้ปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

1.2 ขอบเขตของวิธีการ (Applicability) ใช้สำหรับวิเคราะห์หาความเข้มข้นเป็นร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) เพื่อมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของตัวอย่างอากาศเสียที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือจากกระบวนการอื่น

วิธีการอื่นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง ได้แก่

1) ใช้วิธีการชักตัวอย่างอากาศแบบหลายจุด (Multi-point, Grab Sampling Method) โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ Orsat Analyzer สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละจุด

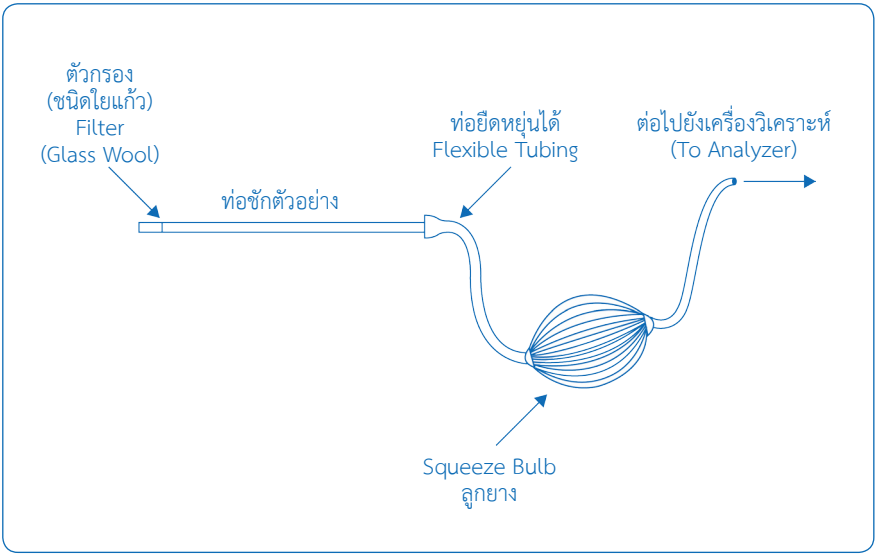
2) ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) เพื่อใช้คำนวณค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้ง (Dry Molecular weight) โดยใช้สมการสมดุลทางเคมี (Stoichiometric Calculation) แทนการตรวจวัดจริง

3) กรณีอากาศเสียจากปล่องเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน หรือน้ำมัน ให้ใช้ค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้งเท่ากับ 30.0 แทนวิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่องตามวิธีที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ โดยวิธีการตรวจวัดและการประยุกต์ใช้ต้องผ่านความเห็นชอบจากกรมควบคุมมลพิษ นอกจากนี้สามารถประยุกต์ใช้วิธีการนี้เพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศเสียที่เกิดจากกระบวนการอื่นๆ เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบอื่นนอกเหนือจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน ซึ่งมีความเข้มข้นเจือจางและไม่กระทบต่อการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นเป็นร้อยละขององค์ประกอบอากาศเสียในปล่อง

2. อุปกรณ์และวัสดุ (Equipment and Supplies)

เครื่องมือที่ใช้สำหรับชักและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศเพื่อหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย มีดังนี้

2.1 ชุดชักตัวอย่างอากาศแบบแยก (Grab Sampling) รายละเอียดในภาพที่ 3-1 ประกอบด้วย



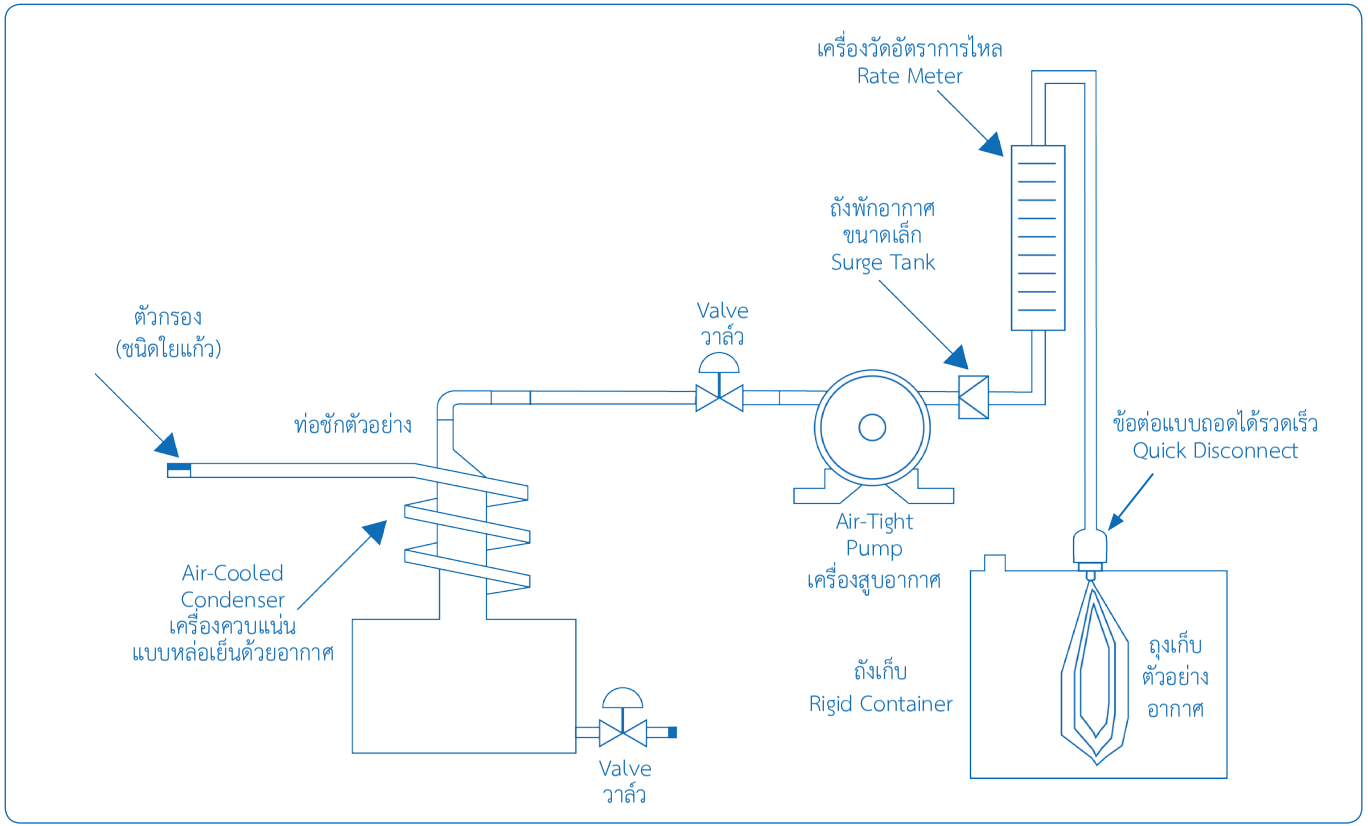
ภาพที่ 3-1 ชุดชักตัวอย่างอากาศแบบแยก (Grab Sampling Train)

2.1.1 ท่อชักตัวอย่างอากาศ (Probe) ทำด้วยเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) หรือแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate) โดยมีอุปกรณ์กรองฝุ่นละออง เช่น ใยแก้ว (Glass Wool) บรรจุไว้ภายในท่อชักตัวอย่างอากาศตรงบริเวณส่วนที่สอดเข้าไปภายในปล่อง (In-stack filter) หรือตรงบริเวณส่วนที่ไม่ได้สอดเข้าไปภายในปล่อง (Out-of-stack filter)

ท่อชักตัวอย่างอากาศตามวรรคหนึ่งอาจทำจากวัสดุอื่นที่สามารถทนต่ออุณหภูมิของตัวอย่างอากาศภายในปล่องและไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน วัสดุดังกล่าว ได้แก่ อะลูมิเนียม (Aluminium) ทองแดง (Copper) ควอตซ์ (Quartz) และเทฟล่อน (Teflon)

2.1.2 ลูกยางสูบอากาศแบบไหลทิศทางเดียว (One-way Squeeze Bulb) หรืออุปกรณ์สูบอากาศแบบอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า สำหรับสูบตัวอย่างอากาศไปยังชุดวิเคราะห์

2.2 ชุดชักตัวอย่างอากาศจุดเดียวหรือหลายจุดแบบรวม (Single-Point or Multi-Point, Integrated sampling) รายละเอียดในภาพที่ 3-2.



ภาพที่ 3-2 ชุดชักตัวอย่างอากาศแบบรวม (Integrated Gas-Sampling Train)

2.2.1 ท่อชักตัวอย่างอากาศ (Probe) ที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ในข้อ 2.1.1

2.2.2 เครื่องควบแน่น (Condenser) สำหรับกำจัดความชื้นส่วนเกินในตัวอย่างอากาศที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานของเครื่องสูบอากาศและเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศได้ เครื่องควบแน่นอาจเป็นแบบหล่อเย็นด้วยอากาศ (Air-cooled Condenser) หรือแบบหล่อเย็นด้วยน้ำ (Water-cooled Condenser) ซึ่งมีปริมาตรไม่เกิน 250 มิลลิลิตร และไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน

2.2.3 วาล์วแบบเข็ม (Needle Valve) สำหรับปรับอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศ

2.2.4 เครื่องสูบอากาศ (Pump) เป็นแบบไดอะแฟรม (Diaphragm-Type Pump) หรือแบบอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า สำหรับใช้สูบตัวอย่างอากาศเข้าถุงชักตัวอย่างอากาศ (Flexible Bag) โดยมีถังพักอากาศขนาดเล็ก (Surge Tank) ติดตั้งไว้ระหว่างเครื่องสูบอากาศกับเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow Rate Meter) เพื่อลดผลกระทบจากจังหวะการเต้นของแผ่นไดอะเฟรม ทำให้อัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

2.2.5 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow Rate Meter) เป็นแบบ Rotameter หรือแบบอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า ซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 2 โดยให้เลือกเก็บตัวอย่างอากาศในช่วงค่าอัตราการไหลระหว่าง 500 - 1,000 มิลลิลิตรต่อนาที หรือ 0.018 - 0.035 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

2.2.6 ถุงเก็บตัวอย่างอากาศ (Flexible Bag) ทำจากพลาสติกที่ไม่มีการรั่วซึม (Leak Free Plastic) ได้แก่ เทดลาร์ (Tedlar) ไมลาร์ (Mylar) เทฟล่อน (Teflon) หรือทำจากพลาสติกที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม (Plastic-Coated Aluminum) ได้แก่ อะลูมิไนซ์ไมลาร์ (Aluminized Mylar) หรือวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า

ซึ่งมีปริมาตรตั้งแต่ 55 - 90 ลิตร หรือ 1.942 - 3.178 ลูกบาศก์ฟุต หรือมีปริมาตรที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของอากาศและระยะเวลาที่จะใช้ในการชักตัวอย่างอากาศ

ให้ตรวจสอบรอยรั่วถุงเก็บตัวอย่างอากาศทุกครั้งก่อนนำมาใช้งาน การต่อถุงเก็บตัวอย่างอากาศกับเครื่องมานอมิเตอร์ (Manometer) แล้วอัดอากาศเข้าในถุงซึ่งต่อกับเครื่องวัดความดันอากาศ (Pressure Gauge) ให้มีค่าความดันอากาศระหว่าง 5 - 10 เซนติเมตรน้ำ (cm H_2O) หรือ 2 - 4 นิ้วน้ำ (in. H_2O) ปล่อยทิ้งไว้ 10 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงของเครื่องมานอมิเตอร์ หรืออาจใช้วิธีอัดอากาศระหว่าง 5 - 10 เซนติเมตรน้ำ (cm H_2O) หรือ 2 - 4 นิ้วน้ำ (in. H_2O) ปล่อยทิ้งไว้ 8 - 12 ชั่วโมง ถ้าความดันอากาศเปลี่ยนไปหรือถุงแฟบลงแสดงว่าถุงมีรอยรั่ว

2.2.7 มาตรวัดความดันอากาศ (Pressure Gauge) เป็นมานอมิเตอร์รูปตัวยูที่มีน้ำบรรจุไว้ข้างใน (Water-Filled U-Type Manometer) ซึ่งมีขีดบอกระดับน้ำไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร หรือ 12 นิ้ว หรือเครื่องวัดความดันอากาศแบบอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าสำหรับใช้ตรวจสอบรอยรั่วของถุงเก็บตัวอย่างอากาศ

2.2.8 มาตรวัดสุญญากาศ (Vacuum Gauge) เป็นมานอมิเตอร์แบบปรอท (Mercury Manometer) ซึ่งวัดค่าสุญญากาศได้ไม่น้อยกว่า 760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 30 นิ้วปรอท หรือเครื่องวัดสุญญากาศแบบอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าสำหรับใช้ตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศ

2.3 ชุดวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ (Analysis) แบบ Orsat Analyzer หรือ Fyrite Analyzer ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในตัวอย่างอากาศที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยการดูแลรักษาและขั้นตอนการใช้งานของชุดวิเคราะห์ให้เป็นไปตามรายละเอียดคู่มือการใช้งานของผู้ผลิต

3. การเก็บตัวอย่าง การเก็บรักษา การบรรจุ และการขนย้าย (Sample Collection, Preservation, Storage, and Transport)

3.1 วิธีชักตัวอย่างอากาศจุดเดียวแบบแยก (Single-Point, Grab Sampling Procedure) ให้ดำเนินการ ดังนี้

3.1.1 จุดชักตัวอย่างอากาศต้องอยู่บริเวณกึ่งกลางของพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย หรือมีระยะห่างจากขอบผนังด้านในของปล่องไม่น้อยกว่า 1 เมตร (3.3 ฟุต)

3.1.2 ประกอบชุดชักตัวอย่างอากาศตามรายละเอียดในภาพที่ 3-1 ตรวจสอบจุดเชื่อมต่อทุกจุดให้แน่นสนิทเพื่อป้องกันรอยรั่ว ถ้าใช้ชุด Orsat analyzer ในการวิเคราะห์ให้ทดสอบการรั่วซึมตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในหัวข้อ 6 ก่อน

3.1.3 สอดท่อชักตัวอย่างอากาศเข้าไปในปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย โดยให้ตำแหน่งของปลายท่ออยู่ที่จุดชักตัวอย่างอากาศ บีบลูกยางเพื่อไล่อากาศก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อให้อากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียเข้ามาแทนที่อากาศที่ค้างอยู่ในท่อชักตัวอย่างอากาศ จากนั้นชักตัวอย่างอากาศเข้าไปในชุดวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศแล้วทำการวิเคราะห์หาร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในตัวอย่างอากาศทันที

3.2 วิธีชักตัวอย่างอากาศจุดเดียวแบบรวม (Single-Point, Integrated Sampling Procedure) ให้ดำเนินการ ดังนี้

3.2.1 จุดชักตัวอย่างอากาศต้องเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.1.1

3.2.2 ตรวจสอบรอยรั่วของถุงเก็บตัวอย่างอากาศตามขั้นตอนในข้อ 2.2.6 ประกอบชุดชักตัวอย่างอากาศตามรายละเอียดในภาพที่ 3-2 ตรวจสอบรอยรั่ว

ของชุดชักตัวอย่างอากาศ โดยติดตั้งมาตรวัดสุญญากาศไว้ที่ตำแหน่งทางเข้าของเครื่องควบแน่น แล้วสร้างสุญญากาศของชุดชักตัวอย่างอากาศโดยเปิดเครื่องสูบอากาศเพื่อดึงอากาศออกจากเครื่องควบแน่นทางด้านข้อต่อเร็ว (Quick Disconnect) จนกระทั่งเข็มเครื่องวัดสุญญากาศอ่านค่าได้ไม่น้อยกว่า 250 มิลลิเมตรปรอท หรือ 10 นิ้วปรอท ปิดทางออกของอากาศที่ข้อต่อเร็วและปิดเครื่องสูบอากาศทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 30 วินาที ถ้าค่าสุญญากาศของเครื่องวัดอยู่ในระดับคงที่ แสดงว่าการตรวจสอบรอยรั่วชุดเก็บตัวอย่างผ่าน สูบอากาศออกจากถุงเก็บตัวอย่างอากาศให้หมด ต่อท่อชักตัวอย่างอากาศให้เข้ากับชุดชักตัวอย่างอากาศ สอดท่อชักตัวอย่างอากาศเข้าไปในปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย โดยให้ตำแหน่งของปลายท่ออยู่ที่จุดชักตัวอย่างอากาศไล่อากาศที่ค้างอยู่ในชุดชักตัวอย่างอากาศด้วยอากาศเสียจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียจนแน่ใจว่าอากาศในชุดชักตัวอย่างถูกแทนที่ด้วยอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียทั้งหมด หลังจากนั้นจึงต่อถุงเก็บตัวอย่างอากาศให้เข้ากับชุดชักตัวอย่างอากาศตรวจสอบจุดเชื่อมต่อทุกจุดให้แน่นสนิท

กรณีการตรวจสอบรอยรั่วชุดชักตัวอย่างอากาศไม่ผ่าน ให้ตรวจสอบอุปกรณ์และการต่อเชื่อมอุปกรณ์ทั้งหมดของชุดเก็บตัวอย่างอากาศ และทำการตรวจสอบรอยรั่วใหม่จนกว่าการตรวจสอบจะผ่าน

3.2.3 ทำการชักตัวอย่างอากาศโดยควบคุมการชักตัวอย่างอากาศให้มีอัตราการไหลของอากาศคงที่ตลอดระยะเวลาที่ชักตัวอย่างอากาศ (คลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10) และให้ชักตัวอย่างอากาศในขณะที่มีการหาอัตราการระบายสารมลพิษ โดยให้มีระยะเวลาการชักตัวอย่างเท่ากัน และให้ได้ปริมาตรอากาศรวมกันไม่น้อยกว่า 28 ลิตร หรือ 1 ลูกบาศก์ฟุต

การชักตัวอย่างอากาศที่มีปริมาตรแตกต่างจากที่กำหนดข้างต้น ให้ผู้ตรวจวัดบันทึกสาเหตุที่ไม่สามารถชักตัวอย่างอากาศตามปริมาตรที่กำหนดลงในแบบรายงานผลการหาอัตราการชักตัวอย่างแบบ คพ. 3-1 และแนบเอกสารอื่นๆ ที่จำเป็น

3.2.4 ให้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศดังกล่าวภายใน 8 ชั่วโมง นับแต่เวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเสร็จ นำตัวอย่างอากาศที่เก็บมาวิเคราะห์หาร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน ด้วยชุดวิเคราะห์ ตัวอย่างอากาศตามข้อ 2.3 ด้วยการใช้ลูกยางหรือเครื่องสูบอากาศ เพื่อให้ตัวอย่างอากาศเกิดการผสมกัน และมีปริมาตรรวมกันตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.2.3

หมายเหตุ *ในกรณีที่ใช้ชุดวิเคราะห์ Orsat ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซอาจจะเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับค่าที่อ่านได้จากชุดวิเคราะห์ Fyrite* ***เพื่อเป็นการยืนกันผลการวิเคราะห์***

3.3 วิธีชักตัวอย่างอากาศหลายจุดแบบรวม (Multi-Point, Integrated Sampling) ให้ดำเนินการดังนี้

3.3.1 จุดชักตัวอย่างในกรณีที่ปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีลักษณะทรงกระบอก (Circular Stacks) และเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.61 เมตร หรือ 24 นิ้ว ต้องมีจุดชักตัวอย่างอากาศบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง (Traverse Points) อย่างน้อย 8 จุด แต่ถ้าปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีลักษณะทรงสี่เหลี่ยม (Rectangular Stacks) และเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าน้อยกว่า 0.61 เมตร หรือ 24 นิ้ว ต้องมีจุดชักตัวอย่างอากาศบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องอย่างน้อย 9 จุด สำหรับปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียที่มีลักษณะรูปทรงและขนาดอย่างอื่น ต้องมีจุดชักตัวอย่างอากาศบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องอย่างน้อย 12 จุด โดยตำแหน่งและจำนวนจุดเก็บตัวอย่างอากาศต้องเป็นไปตามวิธีการหาตำแหน่งชักตัวอย่างตามวิธีที่ 1 ทั้งนี้

3.3.2 วิธีชักตัวอย่างอากาศ และวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.2.2 - 3.2.4 และต้องชักตัวอย่างให้ครบทุกจุดเก็บตัวอย่างอากาศตามที่กำหนดไว้ โดยแต่ละจุดต้องใช้ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างอากาศที่เท่าๆ กัน แบบบันทึกข้อมูลการชักตัวอย่างให้เป็นไปตามแบบ คพ. 3-1

4. การควบคุมคุณภาพ
(Quality Control)

หัวข้อ	การควบคุมคุณภาพ	วัตถุประสงค์
3.2	ใช้ผลการตรวจวัดที่ได้จากชุดวิเคราะห์ Fyrite ในการยืนยันผลการตรวจวัดจากชุดวิเคราะห์ Orsat	เพื่อความแม่นยำในการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกซิเจน
5.1	กำหนดช่วงเวลาในการตรวจสอบความถูกต้องของชุดวิเคราะห์และการปฏิบัติงาน	เพื่อให้มั่นใจว่าชุดวิเคราะห์สามารถใช้งานได้อย่างปกติ และผู้ปฏิบัติงานทำการตรวจวัดได้ถูกต้องและแม่นยำ
6.3	ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่ชักตัวอย่างอากาศแบบรวมซ้ำ	ลดความผิดพลาดในการทดลอง

5. การปรับเทียบความถูกต้องและการปรับเทียบมาตรฐาน
(Calibration and Standardization)

5.1 ชุดวิเคราะห์ ควรมีการกำหนดช่วงเวลาเพื่อทดสอบความถูกต้องของชุดวิเคราะห์และวิธีการวิเคราะห์โดยการนำ Manifold ที่บรรจุอากาศที่รู้อัตราส่วนผสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนมาทำการวิเคราะห์ตามวิธีในข้อ 6.3 ทำการวิเคราะห์ซ้ำจนผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนจากค่าที่กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 5 และให้ทดสอบความถูกต้องตามวิธีที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งานของชุดวิเคราะห์

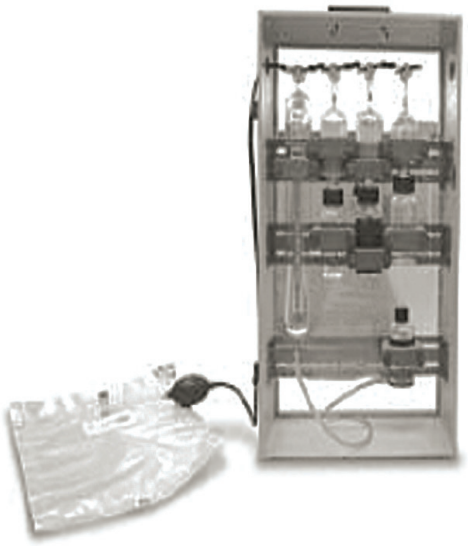
5.2 โรตามิเตอร์ (Rotameter) สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศ ให้ทำความสะอาดและบำรุงรักษาตามคู่มือของผู้ผลิต

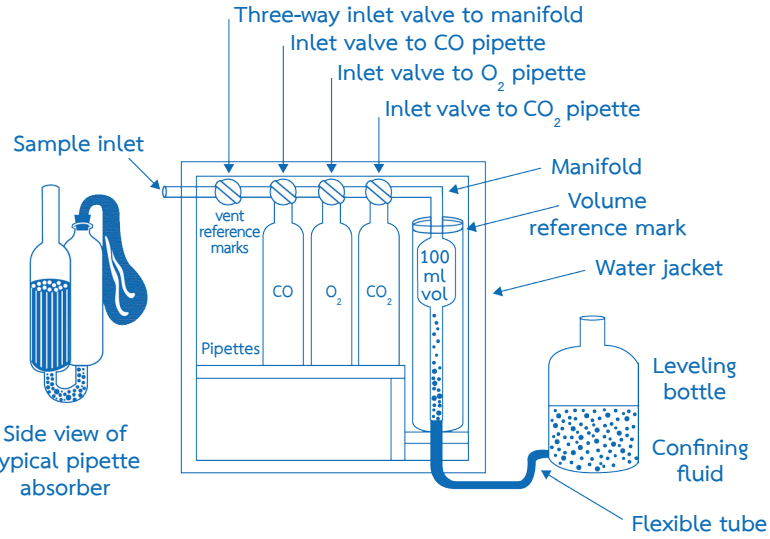
6. วิธีการวิเคราะห์
(Analytical Procedure)

6.1 การบำรุงรักษาชุด Orsat Analyzer และ Fyrite ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ในคู่มือของผู้ผลิต

6.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่ชักตัวอย่างแบบแยก (Grab Sampling Analysis) โดยใช้ชุดวิเคราะห์ Orsat ดังภาพที่ 3-3 หรือ Fyrite ดังภาพที่ 3-4 เพื่อหาความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับใช้หาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง ให้ดำเนินการตามวิธีที่ระบุไว้ในคู่มือวิเคราะห์ ในกรณีที่ใช้ชุดวิเคราะห์ Orsat ให้มีการทดสอบการรั่วตามข้อ 6.3 และคำนวณผลการวิเคราะห์ตามข้อ 7 ให้ทำการชักตัวอย่าง วิเคราะห์ และคำนวณซ้ำจนกระทั่งได้ค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้งของตัวอย่างอากาศที่มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้งของแต่ละตัวอย่างไม่เกิน 0.3 กรัมต่อกรัม-โมล หรือ 0.3 ปอนด์ต่อปอนด์-โมล จำนวน 3 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้งของทั้ง 3 ค่า และรายงานผลในรูปทศนิยม 1 ตำแหน่ง

3





ภาพที่ 3-3 ชุดวิเคราะห์ Orsat สำหรับตรวจวัด %O_2, %CO_2, และ%CO

ภาพที่ 3-4 ชุดวิเคราะห์ Fyrite

6.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศที่ชักตัวอย่างแบบรวม (Integrated Sampling Analysis) ทำการวิเคราะห์ตามข้อ 6.2

6.4 การปรับเทียบมาตรฐาน (Standardization) กำหนดให้มีการปรับเทียบมาตรฐานสารเคมีและตรวจสอบวิธีการวิเคราะห์อย่างน้อย 1 ครั้งในการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ 3 ครั้ง ตามวิธีการในข้อ 5

6.5 การตรวจสอบรอยรั่วของชุดวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศแบบ Orsat Analyzer

การเคลื่อนย้ายชุดวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศแบบ Orsat Analyzer อาจทำให้เกิดรอยรั่วขึ้นได้ จึงควรทำการตรวจสอบเพื่อหารอยรั่วของชุดวิเคราะห์แบบ Orsat Analyzer ทุกครั้งก่อนดำเนินการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศ ขั้นตอนการตรวจสอบรอยรั่วของชุดวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศแบบ Orsat Analyzer มีดังนี้

6.5.1 ปรับระดับของเหลวในแต่ละปิเปต (Pipette) ให้อยู่ในระดับอ้างอิง (Reference Mark) บนหลอดแคปิลลารี่ (Capillary Tube) และปิด Valve เหนือปิเปตนั้นๆ

6.5.2 ยกขวดปรับระดับ (Leveling Bulb) ขึ้นลง เพื่อปรับระดับของเหลว (Confining Liquid) ในบิวเรต (Burette) ให้อยู่ที่ขีดบอกระดับของบิวเรต แล้วปิด Valve ของ Manifold เพื่อหยุดการไหลของของเหลวในบิวเรต

6.5.3 บันทึกค่าระดับของเหลวที่อ่านได้จากบิวเรต

6.5.4 สังเกตระดับของเหลวในบิวเรต และปิเปตเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 4 นาที

6.5.5 ชุดวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศแบบ Orsat Analyzer ที่ผ่านการตรวจสอบรอยรั่ว จะต้องมีลักษณะดังนี้

(1) ระดับของเหลวในแต่ละปิเปตต้องไม่ลดต่ำกว่าส่วนล่างสุดของหลอดแคปิลลารี่ในช่วงเวลา 4 นาที

(2) ระดับของเหลวในบิวเรตต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกิน 0.2 มิลลิลิตร ในช่วงเวลา 4 นาที

6.5.6 กรณีการตรวจสอบรอยรั่วชุดวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศไม่ผ่าน ให้ทำการตรวจสอบใหม่โดยการตรวจสอบจุดเชื่อมต่อต่างๆ และตำแหน่งของ Valve ที่ใช้ปิดกั้นการไหลของของเหลวในชุดวิเคราะห์หรือถอดอุปกรณ์ต่างๆ มาทำความสะอาดและทาไขข้น (Grease) บริเวณ Valve ที่ใช้ปิดกั้นการไหลของของเหลวในส่วนต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดรอยรั่ว หรือเปลี่ยนสายยางที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อจุดต่างๆ ใหม่ เป็นต้น จากนั้นจึงประกอบชุดวิเคราะห์แล้วทำการตรวจสอบรอยรั่วใหม่

7. การวิเคราะห์ข้อมูล และการคำนวณ (Data Analysis and Calculations)

7.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณ (Nomenclature)

M_d = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย มีหน่วยเป็นกรัมต่อกรัม-โมล หรือปอนด์ต่อปอนด์-โมล

$\%CO_2$ = ร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยปริมาตรที่สภาวะอากาศแห้ง

$\%O_2$ = ร้อยละของก๊าซออกซิเจนโดยปริมาตรที่สภาวะอากาศแห้ง

%CO = ร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยปริมาตรที่สภาวะอากาศแห้ง

$\%N_2$ = ร้อยละของก๊าซไนโตรเจนโดยปริมาตรที่สภาวะอากาศแห้ง

0.440 = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หารด้วย 100

0.320 = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซออกซิเจน หารด้วย 100

0.280 = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจน หารด้วย 100 หรือน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ หารด้วย 100

7.2 การวิเคราะห์หาค่าร้อยละของก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยปริมาตรที่สภาวะอากาศแห้ง โดยนำค่า 100 ลบด้วยผลรวมของค่าร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจน ตามแบบรายงาน 3 - 2

7.3 การคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย ให้ใช้สมการดังนี้

$$M_d = 0.440(\%CO_2) + 0.320(\%O_2) + 0.280(\%CO + \%N_2) \quad \text{สมการ 3-1}$$

8. การรายงานผล
(Reporting)

ให้ผู้ตรวจวัดจัดทำรายงานโดยมีรายละเอียดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ดังนี้

8.1 รายงานผลการหาอัตราการชักตัวอย่างอากาศโดยใช้แบบ คพ. 3-1

8.2 รายงานผลการหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศโดยใช้แบบ คพ. 3-2

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

แบบ คพ. 3-1 การรายงานผลการหาอัตราการชักตัวอย่างอากาศ

แหล่งกำเนิดมลพิษ.....
วัน เดือน ปี.....
จุดตรวจวัด.....
ตัวอย่างอากาศที่.....

เวลาในการชักตัวอย่าง	จุดชักตัวอย่างที่	อัตราการชักตัวอย่าง (Q_i) (ลิตร/นาที หรือ ลบ.ฟุต/นาที)	ร้อยละของค่าเบี่ยงเบน (% Deviation)
ค่าเฉลี่ย (Q_{avg})			

สูตรคำนวณ

* ร้อยละของค่าเบี่ยงเบน (% Deviation) $= \frac{Q_i - Q_{avg}}{Q_{avg}} X100$ (ต้อง ≤ ± 10%)

เมื่อ Q_i = อัตราการชักตัวอย่างอากาศที่จุดชักตัวอย่าง มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

Q_{avg} = อัตราการชักตัวอย่างอากาศเฉลี่ย มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

* ถ้าร้อยละของค่าเบี่ยงเบน (% Deviation) มีค่าเกินร้อยละ ± 10 ให้ดำเนินการชักและวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศใหม่

หมายเหตุ

.....
.....
.....

ลงชื่อ.....
(.....)
ตำแหน่ง.....
หน่วยงาน.....
ผู้ตรวจวัด

แบบ คพ. 3-2 การรายงานผลการหาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศ

แหล่งกำเนิดมลพิษ.....

วัน เดือน ปี.....

จุดตรวจวัด.....

ตัวอย่างอากาศที่.....

รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เกณฑ์ที่กำหนด
$\%CO_2$				
$\%O_2$				
$\%(CO+N_2) = 100 - \%CO_2 - \%O_2$				
M_d (กรัม/กรัม-โมล หรือปอนด์/ปอนด์-โมล)				
เฉลี่ย M_d ทั้ง 3 ค่า (Mean)				
ค่าความแตกต่างของค่า M_d กับค่าเฉลี่ย (Mean) (กรัม/กรัม-โมล หรือปอนด์/ปอนด์-โมล)				≤น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.300
ค่า M_d ที่เลือกไว้ในการรายงานผล (กรัม/กรัม-โมล หรือปอนด์/ปอนด์-โมล) เนื่องจากมีค่าความแตกต่างใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0.100				ใกล้เคียง 0.1
สัดส่วนปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง (B_{ws})				
M_s (กรัม/กรัม-โมล หรือปอนด์/ปอนด์-โมล)				

สูตรคำนวณ

$$M_d = 0.440(\%CO_2) + 0.320\ (\%O_2) + 0.280\ (\%CO + \%N_2)$$

$$M_s = M_d\ (1 - B_{ws}) + 18.0\ B_{ws}$$

หมายเหตุ

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

หน่วยงาน.....

ผู้ตรวจวัด

วิธีที่ 4 วิธีการหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่
(Method for the Determination of Moisture Content in Stack Gases)

1. หลักการและขอบเขตของวิธีการ (Principle and Applicability)

1.1 หลักการ (Principle) ดึงตัวอย่างอากาศจากปล่องของแหล่งกำเนิดมลพิษด้วยอัตราคงที่ผ่านเครื่องควบแน่นเพื่อหาปริมาณความชื้นด้วยวิธีชั่งน้ำหนัก การหาปริมาณความชื้นของอากาศตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ ได้นำวิธีการตามที่กำหนดไว้ใน 40 CFR Part 60, Appendix A, Method 4 Determination of Moisture Content in Stack Gases, 2001 Edition ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์ใช้โดยได้ปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

1.2 ขอบเขตของวิธีการ (Applicability) เพื่อหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรมสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

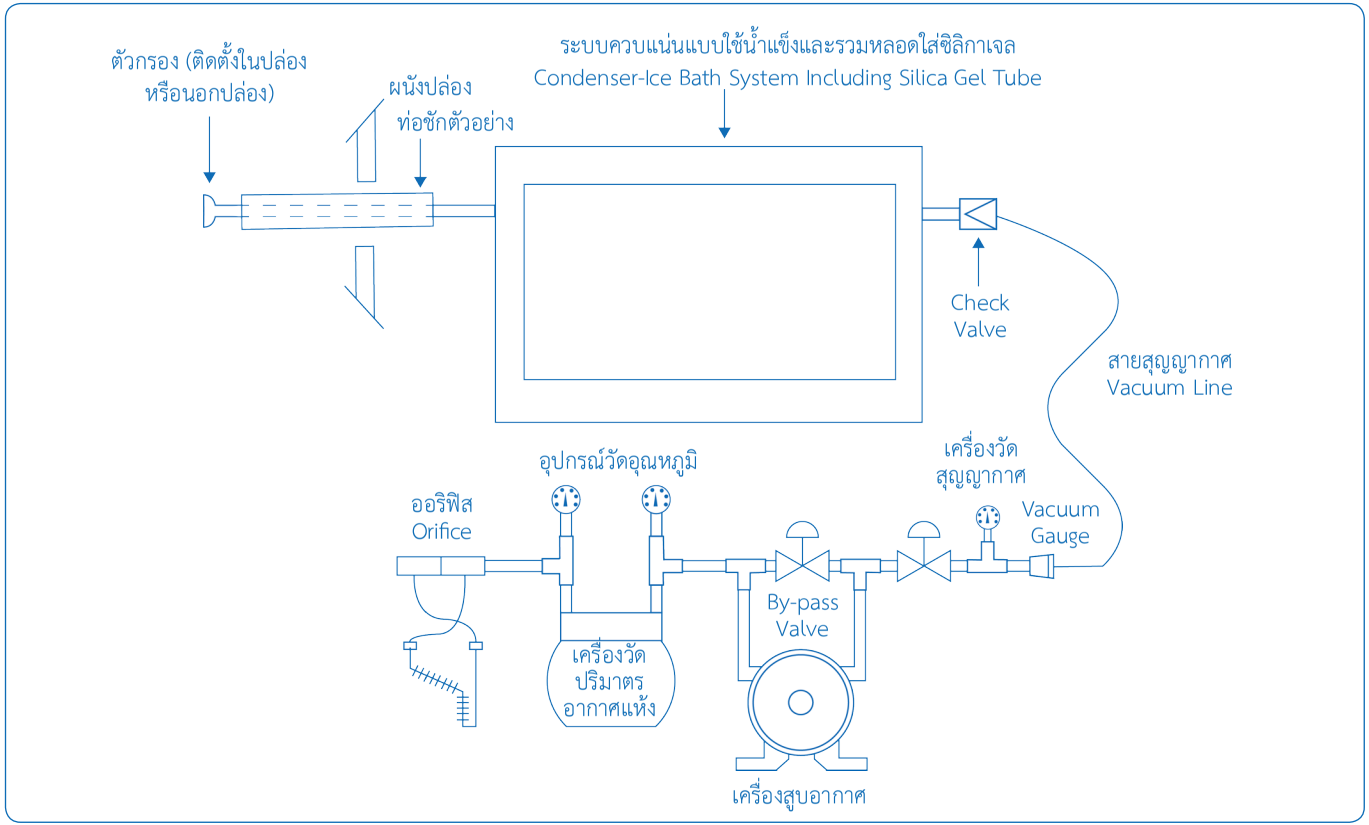
1.2.1 วิธีอ้างอิง (Reference Method) ใช้สำหรับการหาปริมาณความชื้นที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำ ซึ่งปกติจะทำวิธีนี้ควบคู่กับการหาปริมาณการระบายสารมลพิษ โดยในการคำนวณหาค่าร้อยละของไอโซไคเนติก (Isokinetic) และค่าการระบายสารมลพิษของตัวอย่างที่เก็บในแต่ละครั้งนั้นๆ จะต้องใช้ค่าปริมาณความชื้นที่หาได้ด้วยวิธีอ้างอิงนี้

1.2.2 วิธีการประมาณ (Approximation Method) ใช้สำหรับการหาปริมาณความชื้น เพื่อนำไปใช้ในการปรับอัตราการชักตัวอย่างอากาศให้ได้ตามแบบไอโซไคเนติก วิธีการประมาณนี้อาจทำได้โดยการใช้เทคนิคอื่นๆ ได้แก่ Drying Tubes, Wet Bulb - Dry Bulb การควบแน่น การคำนวณจาก Stoichiometric หรือใช้ข้อมูลผลการตรวจวัดเดิม เป็นต้น

2. การหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องด้วยวิธีอ้างอิง (Reference Method)

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

ชุดเก็บตัวอย่างที่ใช้สำหรับวิธีอ้างอิงนี้ แสดงดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 แสดงชุดเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีอ้างอิง (Reference Method)

ที่มา: ฉบับที่ 1 คู่มือการตรวจวัดและวิเคราะห์มลพิษทางอากาศจากปล่องระบายของแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่

2.1.1 ท่อชักตัวอย่าง (Probe) ทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) หรือแก้ว มีการให้ความร้อนเพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำและมีการติดตั้งตัวกรองฝุ่น เช่น ใช้ใยแก้ว (Glass Wool) อุดปลายท่อชักอากาศด้านที่อยู่ในปล่อง หรือติดตั้งตัวกรองฝุ่นที่ท่อชักอากาศตรงส่วนที่อยู่ด้านนอกปล่อง ลักษณะเช่นเดียวกับวิธีที่ 5

2.1.2 เครื่องควบแน่น (Condenser) ตามวิธีที่ 5

2.1.3 ระบบหล่อเย็น (Cooling System) ใช้ภาชนะบรรจุน้ำแข็งบด (หรือเทียบเท่า) เพื่อช่วยในการควบแน่นความชื้นในตัวอย่างอากาศ

2.1.4 ระบบเครื่องตรวจวัด (Metering System) ตามวิธีที่ 5 ยกเว้นห้ามใช้ระบบที่ออกแบบไว้ที่อัตราการไหลมากกว่า 0.0283 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

2.1.5 บารอมิเตอร์ (Barometer) ตามวิธีที่ 5

2.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Balance) ตามวิธีที่ 5

4

2.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

2.2.1 การหาค่าเบื้องต้น

(1) กรณีปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีลักษณะทรงกระบอกและมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.61 เมตร (หรือ 24 นิ้ว) จะต้องมีจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง (Traverse Points) อย่างน้อย 8 จุด หรือกรณีปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมและมีเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่าน้อยกว่า 0.61 เมตร (หรือ 24 นิ้ว) จะต้องมีจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องอย่างน้อย 9 จุด หรือกรณีปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียมีลักษณะเป็นอย่างอื่น ให้มีจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องอย่างน้อย 12 จุด ในการกำหนดตำแหน่งจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องให้ปฏิบัติตามวิธีที่ 1

(2) ความยาวของท่อชักตัวอย่างอากาศ ต้องเหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง โดยสามารถชักตัวอย่างอากาศได้ครบทุกจุดบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง หรือกรณีที่ปล่องมีขนาดใหญ่มาก อาจชักตัวอย่างจากตำแหน่งจุดเจาะปล่องที่อยู่ตรงข้ามกันของปล่องก็ได้ (ตามวิธีที่ 1)

(3) กำหนดระยะเวลาการชักตัวอย่างอากาศของจุดแต่ละจุดบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องเท่าๆ กัน โดยให้สามารถเก็บปริมาตรอากาศได้ทั้งหมดอย่างน้อย 0.60 ลูกบาศก์เมตร (หรือ 21 ลูกบาศก์ฟุต) ที่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท) และที่อัตราการชักตัวอย่างไม่เกิน 0.021 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (หรือ 0.75 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)

กรณีหาปริมาณความชื้นด้วยวิธีนี้ควบคู่กับการหาปริมาณการระบายสารมลพิษ ให้กำหนดระยะเวลาการชักตัวอย่างอากาศเช่นเดียวกับที่ใช้ในการหาปริมาณการระบายสารมลพิษ

2.2.2 การเตรียมชุดเก็บตัวอย่าง

(1) เตรียมเครื่องควบแน่น ดังนี้

(1.1) Impinger ที่ 1 และที่ 2 ให้เติมน้ำกลั่นประมาณ 100 มิลลิลิตร

(1.2) Impinger ที่ 3 ปล่อยว่างไว้

(1.3) Impinger ที่ 4 ให้ใส่สารดูดความชื้นประเภทซิลิกาเจล (Silica Gel) ที่มีขนาด 6 - 16 Mesh ประมาณ 200-300 กรัม กรณีสารดูดความชื้นที่ผ่านการใช้งานแล้ว ให้นำไปอบที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส (หรือ 350 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนนำมาใช้

(1.4) ชั่งน้ำหนัก Impinger ให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม และบันทึกผลลงในแบบรายงานผลการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีอ้างอิง (Reference Method) (แบบ คพ. 4-1)

(2) ประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศตามรายละเอียดในภาพที่ 4-1 โดยควรติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส (หรือ 2 องศาฟาเรนไฮต์) ไว้กับปลายทางออกของอากาศของ Impinger ตัวที่ 4

2.2.3 การตรวจสอบรอยรั่วก่อนการชักตัวอย่าง

(1) ระบบเครื่องตรวจวัด ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับวิธีที่ 5

(2) ชุดเก็บตัวอย่างให้ใช้จุกอุดปลายทางเข้าของท่อชักตัวอย่างอากาศ และเปิดเครื่องสูบอากาศให้ระบบเป็นสุญญากาศเท่ากับ 380 มิลลิเมตรปรอท (หรือ

15 นิ้วปรอท) ตรวจสอบอัตราการรั่วไหลของชุดเก็บตัวอย่างอากาศ โดยต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 4 ของอัตราการชักตัวอย่าง และไม่เกิน 0.00057 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (หรือ 0.020 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) เปิดปลายท่อชักตัวอย่าง แล้วจึงปิดเครื่องสูบอากาศ (เพื่อป้องกันของเหลวใน Impinger ไหลมารวมกัน) บันทึกค่าอัตราการรั่วไหลของอากาศ

2.2.4 การชักตัวอย่าง ให้ชักตัวอย่างด้วยอัตราคงที่ (คลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 10) และในระหว่างการชักตัวอย่างอากาศ ให้บันทึกค่าตามที่ระบุไว้ในแบบรายงานผลการชักตัวอย่างเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีอ้างอิง (Reference Method) (แบบ คพ. 4-2.1) โดยเฉพาะค่าปริมาตรอากาศที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Dry Gas Meter) ในตอนเริ่มต้นและสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง และในแต่ละจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง รวมทั้งเมื่อใดก็ตามที่มีการหยุดเวลาในระหว่างการชักตัวอย่าง

กรณีที่ใช้วิธีนี้ควบคู่กับวิธีชักตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic Method) เช่น วิธีที่ 5 เป็นต้น ให้ใช้อัตราการชักตัวอย่างตามวิธีแบบไอโซไคเนติกแทน

(1) เปิดเครื่องให้ความร้อนท่อชักตัวอย่างและตัวกรองฝุ่น โดยให้มีอุณหภูมิประมาณ 120 องศาเซลเซียส (หรือ 248 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำก่อนผ่านเข้าเครื่องควบแน่น รอจนกว่าอุณหภูมิของท่อชักตัวอย่างและตัวกรองฝุ่นคงที่ เติมน้ำแข็งบดลงในระบบหล่อเย็น ทั้งนี้ อาจต้องมีการเติมน้ำแข็งและเกลือเพิ่มในระหว่างการชักตัวอย่างเพื่อควบคุมอากาศที่ออกจาก Impinger ใบสุดท้าย (Impinger ตัวที่ 4) ให้มีอุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส (หรือ 68 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดระยะเวลาการชักตัวอย่าง

(2) เริ่มชักตัวอย่างอากาศ โดยให้ปลายท่อชักตัวอย่างอยู่ที่จุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องจุดแรก เปิดเครื่องสูบอากาศและปรับอัตราการชักตัวอย่างให้ได้ตามที่กำหนดไว้ พร้อมกับเริ่มจับเวลา เปลี่ยนจุดชักตัวอย่างเมื่อครบกำหนดระยะเวลาที่จะเก็บตัวอย่างในแต่ละจุดบนพื้นที่ภาคตัดขวาง

(3) เสร็จสิ้นการชักตัวอย่างอากาศ (เมื่อชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางได้ครบทุกจุดตามระยะเวลาที่กำหนด) ให้ปิดเครื่องสูบอากาศ และให้ตรวจสอบ

รอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศอีกครั้งตามข้อ 2.2.3 ถ้าผลการตรวจสอบไม่ผ่านเกณฑ์ นั่นคืออัตราการรั่วไหลของอากาศมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ให้ยกเลิกผลการตรวจวัดนั้นๆ หรือให้ทำการปรับแก้ปริมาตรของตัวอย่างอากาศตามวิธีที่ 5

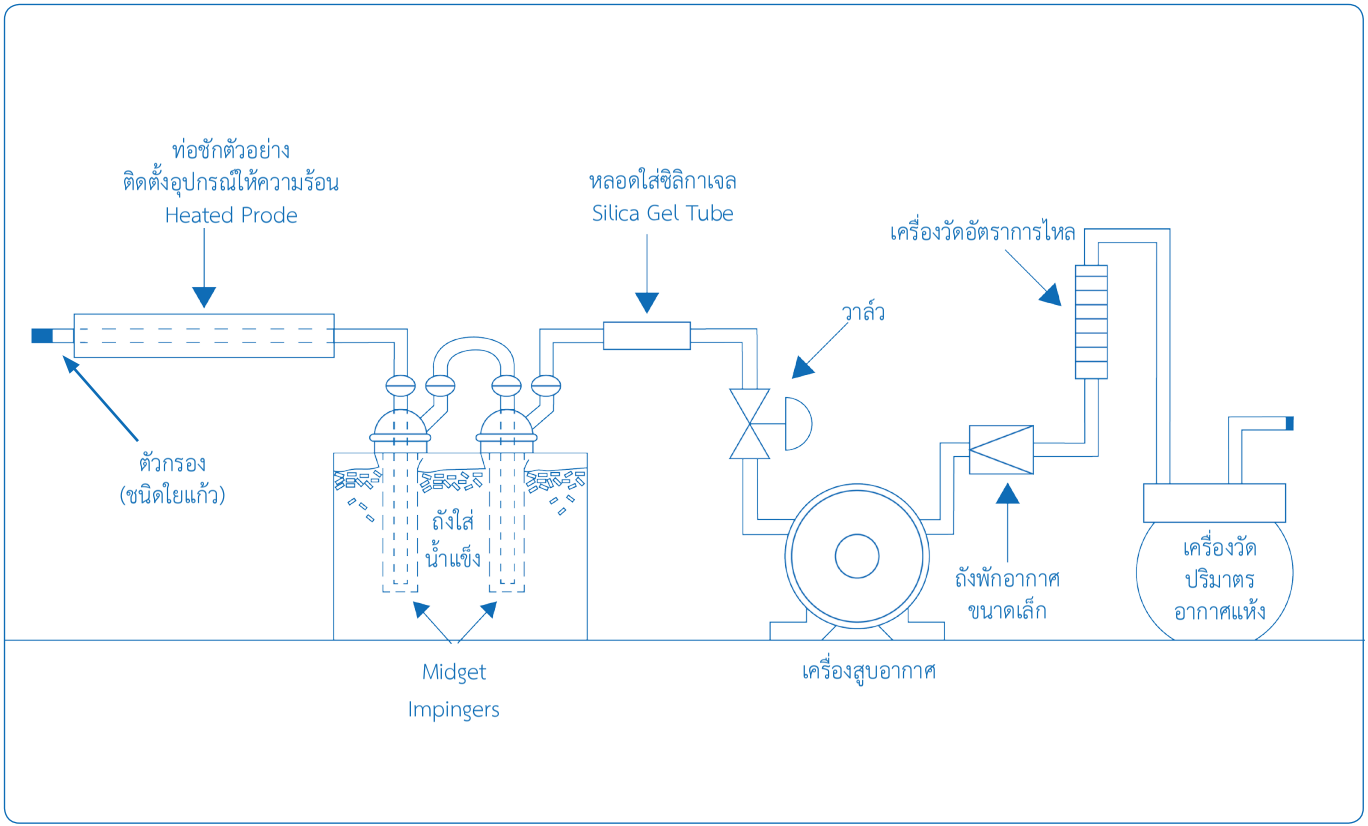
2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

2.3.1 เมื่อเสร็จสิ้นการชักตัวอย่าง ให้ชั่งน้ำหนักของแต่ละ Impinger (จำนวน 4 ใบ) โดยที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม และบันทึกผลลงในแบบรายงานผลการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีอ้างอิง (Reference Method) (แบบ คพ. 4-1)

2.3.2 คำนวณหาปริมาณความชื้นของอากาศ โดยใช้สมการใน 5.1

3. การหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องด้วยวิธีการประมาณ (Approximation Method)

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ ชุดเก็บตัวอย่างที่ใช้สำหรับวิธีการประมาณนี้ แสดงดังภาพที่ 4-2 ประกอบด้วย



ภาพที่ 4-2 แสดงชุดเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีการประมาณ (Approximation Method)

3.1.1 ท่อชักตัวอย่าง (Probe) ตามข้อ 2.1.1

3.1.2 ชุด Impingers ชนิด Midget Impinger ขนาด 30 มิลลิลิตร (หรือเทียบเท่า) จำนวน 2 ใบ

3.1.3 ระบบหล่อเย็น (Cooling System) ใช้ภาชนะบรรจุน้ำแข็งบด (Ice Bath หรือเทียบเท่า) เพื่อช่วยในการควบแน่นความชื้นของอากาศใน Impingers

3.1.4 Drying Tube หรือ Impinger บรรจุสารดูดความชื้นประเภทซิลิกาเจล (Silica Gel) ขนาด 6 - 16 Mesh (หรือสารดูดความชื้นประเภทอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า) เพื่อใช้ดูดความชื้นจากตัวอย่างอากาศและป้องกันความเสียหายต่อเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งและเครื่องสูบอากาศ

3.1.5 วาล์ว (Valve) ใช้เป็นแบบเข็ม (Needle Valve) สำหรับปรับอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศ

3.1.6 เครื่องสูบอากาศ (Pump) ใช้ชนิดไดอะแฟรม (Diaphragm) แบบไม่มีรอยรั่ว (หรือเทียบเท่า) สำหรับดึงตัวอย่างอากาศผ่านชุดเก็บตัวอย่าง

3.1.7 เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Dry Gas Meter) มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 โดยผ่านการปรับเทียบความถูกต้องตลอดช่วงอัตราการไหลและสภาวะที่ใช้ขณะเก็บตัวอย่าง

3.1.8 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow Rate Meter) ใช้โรตามิเตอร์ (Rotameter) (หรือเทียบเท่า) โดยสามารถวัดอัตราการไหลของอากาศได้ในช่วงระหว่าง 0 - 3 ลิตรต่อนาที (หรือ 0 - 0.11 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)

3.1.9 ถังพักอากาศขนาดเล็ก (Surge Tank) ติดตั้งไว้ระหว่างเครื่องสูบอากาศและเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ เพื่อให้อัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

3.1.10 กระบอกตวง (Graduated Cylinder) ขนาด 25 มิลลิลิตร

3.1.11 บารอมิเตอร์ (Barometer) ตามวิธีที่ 5

3.1.12 เครื่องวัดสุญญากาศ (Vacuum Gauge) ต้องวัดได้อย่างน้อย 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 30 นิ้วปรอท) ใช้สำหรับตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่าง

3.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

3.2.1 เติมน้ำกลั่นประมาณ 5 มิลลิลิตรลงใน Impinger แต่ละใบ (จำนวน 2 ใบ)

3.2.2 ชั่งน้ำหนัก Impinger แต่ละใบที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม และบันทึกผลลงในแบบรายงานผลการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศ ด้วยวิธีการประมาณ (Approximation Method) (แบบ คพ. 4-1)

3.2.3 ประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศตามรายละเอียดในภาพที่ 4-2 และตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่าง ใช้จุกปิดปลายท่อชักตัวอย่างอากาศ เปิดเครื่องสูบอากาศ รอจนกระทั่งเครื่องวัดสุญญากาศอ่านค่าได้ไม่ต่ำกว่า 250 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 10 นิ้วปรอท) และสังเกตอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าที่หน้าปัดเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งหรืออาจติดตั้งโรตามิเตอร์ที่ปลายด้านออกของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งไว้เป็นการชั่วคราวเพื่อวัดอัตราการรั่วไหลของอากาศก็ได้ โดยที่อัตราการรั่วไหลของอากาศต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 2 ของวัตราการชักตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ย

ข้อควรระวัง : *ให้เปิดปลายท่อชักตัวอย่างอากาศอย่างช้าๆ ก่อนปิดเครื่องสูบอากาศทุกครั้ง*

3.2.4 ชักตัวอย่างอากาศด้วยอัตราคงที่ 2 ลิตรต่อนาที (หรือ 0.071 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) เก็บตัวอย่างจนกระทั่งเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งอ่านค่าได้ประมาณ 30 ลิตร (หรือ 1.1 ลูกบาศก์ฟุต) หรือจนกระทั่งสังเกตเห็นหยดน้ำกำลังจะถูกสูบจาก Impinger 1 ไปยัง Impinger 2 ให้บันทึกค่าอุณหภูมิความดันบรรยากาศ อัตราการไหล และปริมาตรอากาศแห้งลงในแบบรายงาน ผลการชักตัวอย่างเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีการประมาณ (Approximation Method) (แบบ คพ. 4-2)

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

3.3.1 เมื่อเสร็จสิ้นการชักตัวอย่าง ให้ชั่งน้ำหนักของแต่ละ Impinger (จำนวน 2 ใบ) โดยที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม และบันทึกผลลงในแบบรายงานผลการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีการประมาณ (Approximation Method) (แบบ คพ. 4-1)

3.3.2 คำนวณหาปริมาณความชื้นของอากาศ โดยใช้สมการใน 5.2

4. การปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration)

4.1 การหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องด้วยวิธีอ้างอิง ให้ทำการปรับเทียบความถูกต้องอุปกรณ์ต่อไปนี้ ระบบเครื่องตรวจวัด เทอร์โมมิเตอร์ และบารอมิเตอร์ ตามวิธีที่ 5 เรื่องวิธีการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องมือในวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

4.2 การหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องด้วยวิธีการประมาณ ให้ทำการปรับเทียบความถูกต้องของบารอมิเตอร์ ระบบเครื่องตรวจวัด (Metering System) ตามวิธีที่ 5 และตามวิธีที่ 6 ตามลำดับ

หมายเหตุ: *ควรมีสมุดบันทึกสำหรับเก็บผลการปรับเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์ทุกชนิด*

5. การวิเคราะห์ข้อมูลและการคำนวณ (Data Analysis and Calculation)

ในระหว่างการคำนวณให้คงจำนวนเลขนัยสำคัญไว้มากกว่าจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง และเมื่อได้ผลลัพธ์สุดท้ายของการคำนวณ ให้ปัดเลขนัยสำคัญตัวสุดท้ายตามหลักคณิตศาสตร์ เช่น จำนวนเลขนัยสำคัญของค่าที่ได้จากการตรวจวัดเท่ากับ 4 ค่าในระหว่างการคำนวณต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง และเมื่อสิ้นสุดการคำนวณ ผลลัพธ์สุดท้ายต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4

5.1 การหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องด้วยวิธีอ้างอิง

สัญลักษณ์ที่ใช้ (Nomenclature)

B_{ws} = สัดส่วนปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง (โดยปริมาตร)

M_w = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำมีค่าเท่ากับ 18.0 กรัมต่อกรัม-โมล (หรือ 18.0 ปอนด์ต่อปอนด์-โมล)

P_m = ความดันสัมบูรณ์ที่อ่านค่าได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง หรือค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท (หรือนิ้วปรอท)

P_{std} = ความดันสัมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 29.92 นิ้วปรอท)

R = ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ

= 0.06236 [(มม.ปรอท)(ลบ.ม.)]/[(กรัม-โมล)(เคลวิน)] สำหรับหน่วยเมตริก

= 21.85 [(นิ้วปรอท)(ลบ.ฟ.)]/[(ปอนด์-โมล)(แรงคิน)] สำหรับหน่วยอังกฤษ

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นองศาเคลวิน (หรือองศาแรงคิน)

T_{std} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 298 องศาเคลวิน (หรือ 537 องศาแรงคิน)

V_f = ปริมาตรของไอน้ำที่ควบแน่น มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_i = ปริมาตรตั้งต้นของไอน้ำที่ควบแน่น มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_m = ปริมาตรอากาศแห้งที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

ΔV_m = ปริมาตรอากาศแห้งที่เพิ่มขึ้นในแต่ละจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวาง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

$V_{m(std)}$ = ปริมาตรอากาศแห้งที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งและได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน 298 องศาเคลวิน (หรือ 537 องศาแรงคิน) และ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 29.92 นิ้วปรอท) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

$V_{wc(std)}$ = ปริมาตรของไอน้ำที่ควบแน่นใน Impinger ที่ 1 - 3 และได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน 298 องศาเคลวิน (หรือ 537 องศาแรงคิน) และ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 29.92 นิ้วปรอท) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

$V_{wsg(std)}$ = ปริมาตรของไอน้ำควบแน่นที่ถูกดักในซิลิกาเจลและได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

W_i = น้ำหนักรวมของ Impinger ที่ 1 - 4 ก่อนเริ่มการชักตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม

W_f = น้ำหนักรวมของ Impinger ที่ 1 - 4 หลังเสร็จสิ้นการชักตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม

Y = ค่าสัมประสิทธิ์จากการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 0.9982 กรัมต่อมิลลิลิตร (0.002201 ปอนด์ต่อมิลลิลิตร)

5.1.1 ปริมาตรของไอน้ำที่ควบแน่นใน Impinger

$$V_{wc(std)} = \frac{(V_f - V_i)\rho_w RT_{std}}{P_{std} M_w} = K_1 (V_f - V_i)$$ สมการ 4-1

เมื่อ K_1 = 0.001356 ลูกบาศก์เมตรต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยเมตริก

= 0.04795 ลูกบาศก์ฟุตต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยอังกฤษ

5.1.2 ปริมาตรของไอน้ำที่ควบแน่นที่ถูกดักในซิลิกาเจล

$$V_{wsg(std)} = \frac{(W_f - W_i)RT_{std}}{P_{std} M_w K_2} = K_3 (W_f - W_i)$$ สมการ 4-2

เมื่อ K_2 = 1.0 กรัมต่อกรัม สำหรับหน่วยเมตริก

= 453.6 กรัมต่อปอนด์ สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_3 = 0.001358 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม สำหรับหน่วยเมตริก

= 0.04803 ลูกบาศก์ฟุตต่อกรัม สำหรับหน่วยอังกฤษ

5.1.3 ปริมาตรตัวอย่างอากาศแห้ง

$$V_{m(std)} = \frac{V_m Y P_m T_{std}}{P_{std} T_m} = K_4 Y \frac{V_m P_m}{T_m}$$ สมการ 4-3

เมื่อ K_4 = 0.3921 เคลวินต่อมิลลิเมตรปรอท สำหรับหน่วยเมตริก

= 17.95 แรงคินต่อนิ้วปรอท สำหรับหน่วยอังกฤษ

หมายเหตุ: *ถ้าผลการตรวจสอบอัตราการรั่วซึมของชุดเก็บตัวอย่างอากาศหลังการชักตัวอย่าง (ตามข้อ 2.2.3) มีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ ค่าของ V_m ที่ใช้ในสมการข้างต้นจะต้องเป็นค่าที่ได้ปรับแก้แล้ว ตามวิธีที่ 5*

5.1.4 ปริมาณความชื้นของอากาศ

$$B_{ws} = \frac{V_{wc(std)} + V_{wsg(std)}}{V_{wc(std)} + V_{wsg(std)} + V_{m(std)}}$$ สมการ 4-4

5.1.5 การตรวจสอบความคงที่ของอัตราการชักตัวอย่าง ให้หาค่า ΔV_m โดยคำนวณจากปริมาตรอากาศแห้งที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงเวลาของจุดชักตัวอย่างแต่ละจุด และหาค่าเฉลี่ยของ ΔV_m ถ้ามีค่า ΔV_m ของช่วงเวลาของจุดชักตัวอย่างใดที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของ ΔV_m มากกว่าร้อยละ 10 ให้ยกเลิกผลการชักตัวอย่างนั้น และทำการชักตัวอย่างใหม่

4

5.2 การหาปริมาณความชื้นของอากาศจากปล่องด้วยวิธีประมาณ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณ (Nomenclature)

B_{wm} = สัดส่วนโดยประมาณของปริมาณไอน้ำในตัวอย่างอากาศที่ออกจาก Impinger ที่ 2 (โดยปริมาตร) มีค่าเท่ากับ 0.025

B_{ws} = สัดส่วนปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง (โดยปริมาตร)

M_w = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ มีค่าเท่ากับ 18.0 กรัมต่อกรัม-โมล (หรือ 18.0 ปอนด์ต่อปอนด์-โมล)

P_m = ความดันสัมบูรณ์ที่อ่านค่าได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง หรือค่าความดันบรรยากาศที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท (หรือ นิ้วปรอท)

P_{std} = ความดันสัมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 29.92 นิ้วปรอท)

R = ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ

= 0.06236 [(มม.ปรอท)(ลบ.ม.)]/[(กรัม-โมล)(เคลวิน)] สำหรับหน่วยเมตริก

= 21.85 [(นิ้วปรอท)(ลบ.ฟ.)]/[(ปอนด์-โมล)(แรงคิน)] สำหรับหน่วยอังกฤษ

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมีหน่วยเป็นองศาเคลวิน (หรือองศาแรงคิน)

T_{std} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 298 องศาเคลวิน (หรือ 537 องศาแรงคิน)

V_f = ปริมาตรของเหลวใน Impinger มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_i = ปริมาตรของเหลวใน Impinger ก่อนทำการชักตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_m = ปริมาตรอากาศแห้งที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

$V_{m(std)}$ = ปริมาตรอากาศแห้งที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งและได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน 298 องศาเคลวิน (หรือ 537 องศาแรงคิน) และ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 29.92 นิ้วปรอท) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

$V_{wc(std)}$ = ปริมาตรของไอน้ำที่ควบแน่นใน Impinger ทั้ง 2 ใบ และได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน 298 องศาเคลวิน (หรือ 537 องศาแรงคิน) และ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 29.92 นิ้วปรอท) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

W_i = น้ำหนักรวมของ Impinger ทั้ง 2 ใบ ก่อนเริ่มการชักตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม

W_f = น้ำหนักรวมของ Impinger ทั้ง 2 ใบ หลังเสร็จสิ้นการชักตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม

Y = ค่าสัมประสิทธิ์จากการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 0.9982 กรัมต่อมิลลิลิตร (0.002201 ปอนด์ต่อมิลลิลิตร)

5.2.1 ปริมาตรของไอน้ำที่ควบแน่นใน Impinger

วิธีวัดปริมาตร

$$V_{wc(std)} = \frac{(V_f - V_i)_w RT_{std}}{P_{std} M_w} \quad \text{สมการ 4-5.1}$$

$$= K_1 (V_f - V_i)$$

เมื่อ K_1 = 0.001356 ลูกบาศก์เมตรต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยเมตริก

= 0.04795 ลูกบาศก์ฟุตต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยอังกฤษ

วิธีชั่งน้ำหนัก

$$v_{wc(std)} = \frac{(W_f - W_i) RT_{std}}{P_{std} M_w K_2} \quad \text{สมการ 4-5.2}$$

$$= K_3 (W_f - W_i)$$

เมื่อ K_2 = 1.0 กรัมต่อกรัม สำหรับหน่วยเมตริก

= 453.6 กรัมต่อปอนด์ สำหรับหน่วยอังกฤษ

เมื่อ K_3 = 0.001358 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม สำหรับหน่วยเมตริก

= 0.04803 ลูกบาศก์ฟุตต่อกรัม สำหรับหน่วยอังกฤษ

5.2.2 ปริมาตรตัวอย่างอากาศแห้ง

$$v_{wc(std)} = \frac{(V_f - V_i)\rho_w RT_{std}}{P_{std} M_w} \quad \text{สมการ 4-6}$$

$$= K_5 (V_f - V_i)$$

เมื่อ K_6 = 0.3921 ลูกบาศก์เมตรต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยเมตริก

5.2.3 ปริมาณความชื้นของอากาศ โดยวิธีประมาณ

$$B_{ws} = \frac{V_{wc(std)}}{V_{wc(std)} + V_{m(std)}} + B_{wm} \qquad \text{สมการ 4-7}$$

$$= \frac{V_{wc(std)}}{V_{wc(std)} + V_{m(std)}} + 0.025$$

6. การรายงานผล (Reporting)

การรายงานผลการหาปริมาณความชื้นของอากาศให้จัดทำรายงานตามแบบและมีรายละเอียดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ดังนี้

5.1 ผลการชั่งน้ำหนัก

5.1.1 วิธีอ้างอิง (Reference Method) ให้ใช้แบบ คพ. 4-1

5.1.2 วิธีการประมาณ (Approximation Method) ให้ใช้แบบ คพ. 4-2

5.2 ผลการชักตัวอย่างอากาศ

5.2.1 วิธีอ้างอิง (Reference Method) ให้ใช้แบบ คพ. 4-3

5.2.2 วิธีการประมาณ (Approximation Method) ให้ใช้แบบ คพ. 4-4

5.3 ผลการหาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง

5.3.1 วิธีอ้างอิง (Reference Method) ให้ใช้แบบ คพ. 4-5

5.3.2 วิธีการประมาณ (Approximation Method) ให้ใช้แบบ คพ. 4-6

แบบ คพ. 4-1 แบบรายงานผลการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีอ้างอิง (Reference Method)

แหล่งกำเนิดมลพิษ..... ตัวอย่างอากาศที่.....

จุดตรวจวัด..... วัน/เดือน/ปี.....

น้ำหนัก	Impinger ที่ 1 (กรัม)	Impinger ที่ 2 (กรัม)	Impinger ที่ 3 (กรัม)	Impinger ที่ 4 (กรัม)	รวม (กรัม)
ก่อนชักตัวอย่าง					
หลังชักตัวอย่าง					
ค่าความแตกต่าง					

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

หน่วยงาน.....

ผู้ตรวจวัด

แบบ คพ. 4-2 แบบรายงานผลการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีการประมาณ (Approximation Method)

แหล่งกำเนิดมลพิษ..... ตัวอย่างอากาศที่.....

จุดตรวจวัด..... วัน/เดือน/ปี.....

น้ำหนัก	Impinger ที่ 1 (กรัม)	Impinger ที่ 2 (กรัม)	Impinger ที่ 3 (กรัม)	Impinger ที่ 4 (กรัม)	รวม (กรัม)
ก่อนชักตัวอย่าง					
หลังชักตัวอย่าง					
ค่าความแตกต่าง					

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

หน่วยงาน.....

ผู้ตรวจวัด

แบบ คพ. 4-3 แบบรายงานผลการชักตัวอย่างเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีอ้างอิง (Reference Method)

แหล่งกำเนิดมลพิษ..... ตัวอย่างอากาศที่.....
จุดตรวจวัด..... วัน/เดือน/ปี.....
อุณหภูมิบรรยากาศ..... องศาเซลเซียล หรือองศาฟาเรนไฮต์
ความดันบรรยากาศ..... มิลลิเมตรปรอท หรือนิ้วปรอท
ความยาวท่อชักตัวอย่างอากาศ.....เมตร

อัตราการรั่วไหลของอากาศ :

เกณฑ์ที่กำหนด.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
ก่อนชักตัวอย่าง.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
หลังชักตัวอย่าง.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

จุดเก็บตัวอย่างที่	เวลาการเก็บตัวอย่าง (นาที)	อุณหภูมิปล่อง (°C,°F)	ค่าความแตกต่างของความดันเฉลี่ยต่อมออริฟิส (นิ้วน้ำ, มม.น้ำ)	ปริมาตรอากาศที่อ่านได้ (ลบ.ม,ลบ.ฟ)	ΔV_m (ลบ.ม, ลบ.ฟ)	อุณหภูมิตัวอย่างอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง		อุณหภูมิก๊าซที่ Impinger ใบชุดท้าย (°C,°F)
						ทางเข้า (Tmi) (°C,°F)	ทางออก (Tm) (°C,°F)	
Total								
Average								

ลงชื่อ.....
(.....)
ตำแหน่ง.....
หน่วยงาน.....
ผู้ตรวจวัด

แบบ คพ. 4-4 แบบรายงานผลการชักตัวอย่างเพื่อหาปริมาณความชื้นอากาศด้วยวิธีการประมาณ (Approximation Method)

แหล่งกำเนิดมลพิษ..... ตัวอย่างอากาศที่.....
จุดตรวจวัด..... วัน/เดือน/ปี.....
อุณหภูมิบรรยากาศ..... องศาเซลเซียส หรือองศาฟาเรนไฮต์
ความดันบรรยากาศ..... มิลลิเมตรปรอท หรือนิ้วปรอท
ความยาวท่อชักตัวอย่างอากาศ.....เมตร

อัตราการรั่วไหลของอากาศ :

เกณฑ์ที่กำหนด.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
ก่อนชักตัวอย่าง.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
หลังชักตัวอย่าง.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

เวลา	ปริมาตรตัวอย่างอากาศผ่านเครื่องวัดปริมาตรอากาศ (V_m) (ลบ.เมตร หรือ ลบ.ฟุต)	อัตราการชักตัวอย่างอากาศ (ลบ.เมตร/นาที หรือ ลบ.ฟุต/นาที)	อุณหภูมิที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศ (°C,°F)

ลงชื่อ.....
(.....)
ตำแหน่ง.....
หน่วยงาน.....
ผู้ตรวจวัด

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

แบบ คพ. 4-5 แบบรายงานผลการหาปริมาณความชื้นอากาศ ด้วยวิธีอ้างอิง (Reference Method)

แหล่งกำเนิดมลพิษ..... ตัวอย่างอากาศที่.....
จุดตรวจวัด..... วัน/เดือน/ปี.....
อุณหภูมิบรรยากาศ..... องศาเซลเซียล หรือองศาฟาเรนไฮต์
ความดันบรรยากาศ..... มิลลิเมตรปรอท หรือนิ้วปรอท
ความยาวท่อชักตัวอย่างอากาศ.....เมตร

อัตราการรั่วไหลของอากาศ :

เกณฑ์ที่กำหนด.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
ก่อนชักตัวอย่าง.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
หลังชักตัวอย่าง.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

4

รายการ	ค่าการคำนวณ	หน่วย
1. การคำนวณค่า $V_{wsg(std)}$		
1.1 W_f	.....	.....
1.2 W_i	.....	.....
1.3 R	.....	.....
1.4 T_{std}	.....	.....
1.5 P_{std}	.....	.....
1.6 M_w	.....	.....
1.7 $V_{wsg\ (std)} = \frac{(W_f - W_i)RT_{std}}{P_{std} M_w K_2}$	.....	.....
2. การคำนวณคำ $V_{m\ (sld)}$		
2.1 V_m	.....	.....
2.2 Y	.....	.....
2.3 P_m	.....	.....
2.4 T_{std}	.....	.....
2.5 P_{std}	.....	.....
2.6 T_m	.....	.....
2.7 $V_{m(std)} = \frac{V_m Y(P_m)(T_{std})}{P_{std} T_m}$	.....	.....

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

รายการ	ค่าการคำนวณ	หน่วย

3. การคำนวณค่า $V_{ws(std)}$

3.1 วิธีวัดปริมาตร

3.1.1 V_f ....

3.1.2 V_i ....

3.1.3 ρ_w ....

3.1.4 R ....

3.1.5 T_{std} ....

3.1.6 P_{std} ....

3.1.7 M_w ....

3.1.8 $V_{wc\ (std)} = \frac{(V_f - V_i)\,\rho_w RT_{std}}{P_{std} M_w}$ ....

3.2 วิธีชั่งน้ำหนัก

3.2.1 W_f ....

3.2.2 W_i ....

3.2.3 R ....

3.2.4 T_{std} ....

3.2.5 P_{std} ....

3.2.6 M_w ....

3.2.7 $V_{wc\ (std)} = \frac{(W_f - W_i)\,RT_{std}}{P_{std} M_w K_2}$ ....

4. การคำนวณค่า B_{ws}

4.1 $V_{wc(std)}$ ....

4.2 $V_{wsg(std)}$ ....

4.3 $V_{m(std)}$ ....

4.4 $V_{wc(std)} + V_{wsg\ (std)}$ ....

4.5 $V_{wc(std)} + V_{wsg(std)} + V_{m(std)}$ ....

4.6 $B_{ws} = \frac{V_{wc\ (std)} + V_{wsg\ (std)}}{V_{wc(std)} + V_{wsg(std)} + V_{m(std)}}$ ....

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

แบบ คพ. 4-6 แบบรายงานผลการหาปริมาณความชื้นอากาศ ด้วยวิธีประมาณ (Approximation Method)

แหล่งกำเนิดมลพิษ..... ตัวอย่างอากาศที่.....
จุดตรวจวัด..... วัน/เดือน/ปี.....
อุณหภูมิบรรยากาศ..... องศาเซลเซียล หรือองศาฟาเรนไฮต์
ความดันบรรยากาศ..... มิลลิเมตรปรอท หรือนิ้วปรอท
ความยาวท่อชักตัวอย่างอากาศ.....เมตร

อัตราการรั่วไหลของอากาศ :

เกณฑ์ที่กำหนด.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
ก่อนชักตัวอย่าง.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
หลังชักตัวอย่าง.....ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที

4

รายการ	ค่าการคำนวณ	หน่วย
1. การคำนวณค่า $V_{wc(std)}$		
1.1 วิธีวัดปริมาตร		
1.1.1 V_f	.....	.....
1.1.2 V_i	.....	.....
1.1.3 ρ_w	.....	.....
1.1.4 R	.....	.....
1.1.5 T_{std}	.....	.....
1.1.6 P_{std}	.....	.....
1.1.7 M_w	.....	.....
1.1.8 $V_{wc\,(std)} = \frac{(V_f - V_i)\,\rho_w\,RT_{std}}{P_{std}\,M_w}$	.....	.....
1.2 วิธีชั่งน้ำหนัก		
1.2.1 W_f	.....	.....
1.2.2 W_i	.....	.....
1.2.3 R	.....	.....
1.2.4 T_{std}	.....	.....

รายการ	ค่าการคำนวณ	หน่วย
1.2.5 P_{std}	.....	.....
1.2.6 M_w	.....	.....
1.2.7 $V_{wc\ (std)} = \frac{(W_f - W_m) RT_{std}}{P_{std} M_w K_2}$	.....	.....

2. การคำนวณค่า $V_{m\ (sld)}$

2.1 V_m	.....	.....
2.2 Y	.....	.....
2.3 P_m	.....	.....
2.4 T_{std}	.....	.....
2.5 P_{std}	.....	.....
2.6 T_m	.....	.....
2.7 $V_{m\ (std)} = \frac{V_m - YP_m T_{std}}{P_{std} T_m}$	.....	.....

3. การคำนวณค่า B_{ws}

3.1 $V_{wc\ (std)}$	.....	.....
3.2 $V_{m(std)}$	.....	.....
3.3 $V_{wc(std)} + V_{m(std)}$	.....	.....
3.4 $B_{ws} = \frac{V_{wc(std)}}{V_{wc\ (std)} + V_{m(std)}} + (0.025)$	.....	.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

หน่วยงาน.....

ผู้ตรวจวัด

วิธีที่ 5 การหาปริมาณการระบายฝุ่นละอองจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources)

1. หลักการและขอบเขตของวิธีการ (Principle and Applicability)

1.1 หลักการ (Principle) เก็บตัวอย่างอากาศแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic Sampling) จากปล่องของแหล่งกำเนิดมลพิษ ผ่านกระดาษกรองใยแก้วที่อุณหภูมิ 120 ± 14 องศาเซลเซียส (248 ± 25 องศาฟาเรนไฮต์) และเครื่องควบแน่น เพื่อหาปริมาณฝุ่นละอองที่กรองและเก็บได้โดยวิธีการชั่งน้ำหนักหลังจากระเหยความชื้นออกหมดแล้ว

การเก็บตัวอย่างอากาศแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic Sampling) หมายความว่า การชักตัวอย่างอากาศจากปล่องด้วยอัตราความเร็วเท่ากับอัตราความเร็วของอากาศเสีย

การหาปริมาณการระบายฝุ่นละอองจากปล่องตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ ได้นำวิธีการตามที่กำหนดไว้ใน 40 CFR Part 60 Appendix A Method 5 Determination of Particulate Matter Emissions from Stationary Sources, 1995 Edition ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์ใช้โดยได้ปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

1.2 ขอบเขตของวิธีการ (Applicability) เพื่อหาปริมาณการระบายฝุ่นละอองจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

การหาปริมาณการระบายฝุ่นละอองตามวิธีการนี้ ต้องอาศัยขั้นตอนในการตรวจวัดการระบายมลพิษทางอากาศตามวิธีที่ 1, 2 และ 3 เพื่อให้ได้ผลการตรวจวัดที่เชื่อถือได้

2. อุปกรณ์และวัสดุ
(Equipment and Supplies)

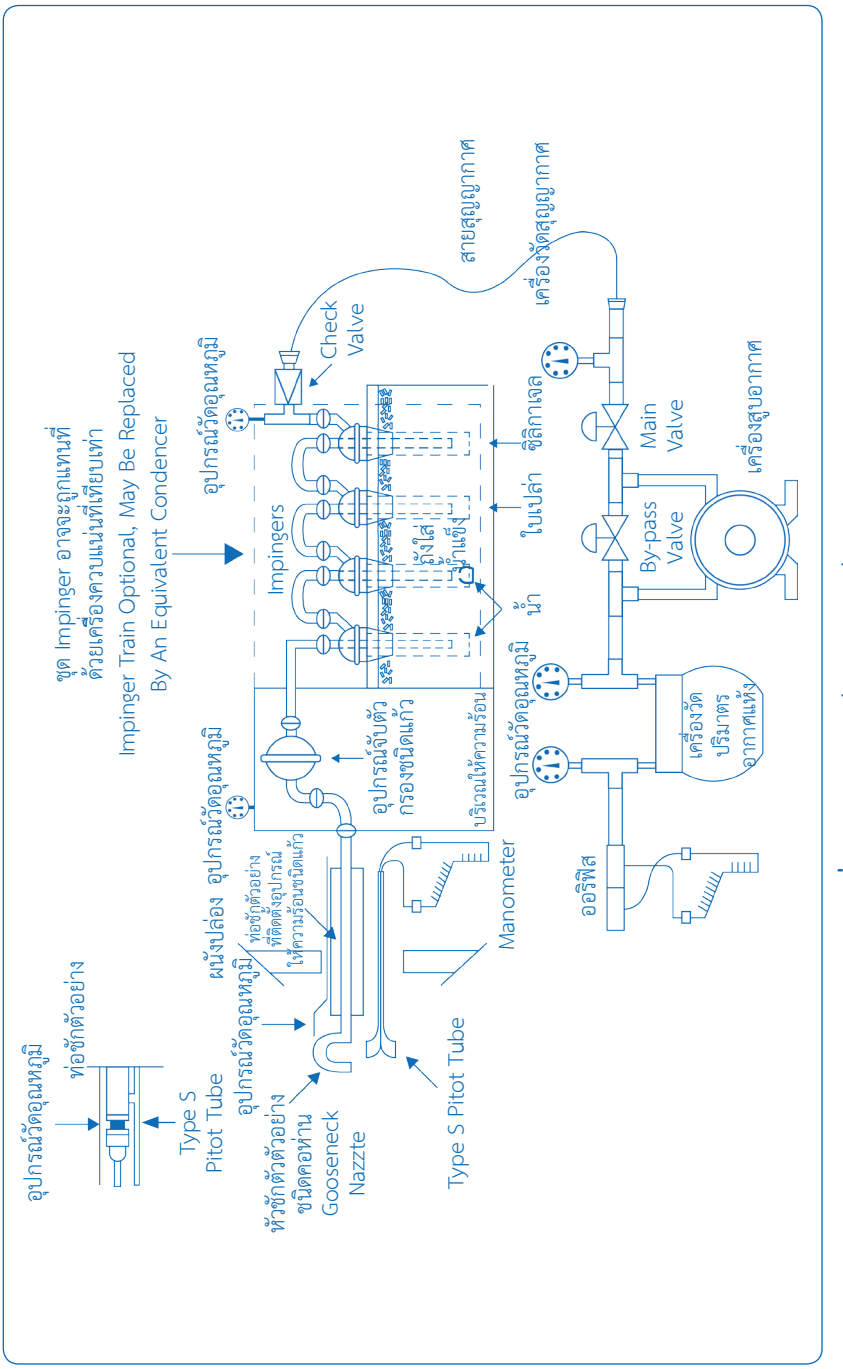
2.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

2.1.1 ชุดเก็บตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 5-1 ประกอบด้วย

(1) หัวเก็บตัวอย่าง (Probe Nozzle) ทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel 316) หรือแก้ว มีปลายแหลมด้านนอก เอียงทำมุม 30 องศา มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในคงที่และไม่มีรอยต่อ หัวเก็บตัวอย่างต้องมีลักษณะเป็นแบบตะขอเกี่ยว (Botton-Hook) หรือแบบข้องอ (Elbow) ดังภาพที่ 5-2 ควรมีหัวเก็บตัวอย่างหลายขนาดเพื่อความเหมาะสมในการเก็บฝุ่นให้เป็นแบบไอโซไคเนติก โดยทั่วไปขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจะอยู่ในช่วง 0.32 - 1.27 เซนติเมตร (หรือ 1/8 - 1/2 นิ้ว) โดยมีขนาดเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.16 เซนติเมตร (หรือ 1/16 นิ้ว) ในกรณีที่ใช้ชุดเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูงอาจใช้หัวเก็บตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่านี้ได้ หัวเก็บตัวอย่างอากาศจะต้องได้รับการปรับเทียบตามขั้นตอนในข้อ 6.1 ก่อนการใช้งานทุกครั้ง

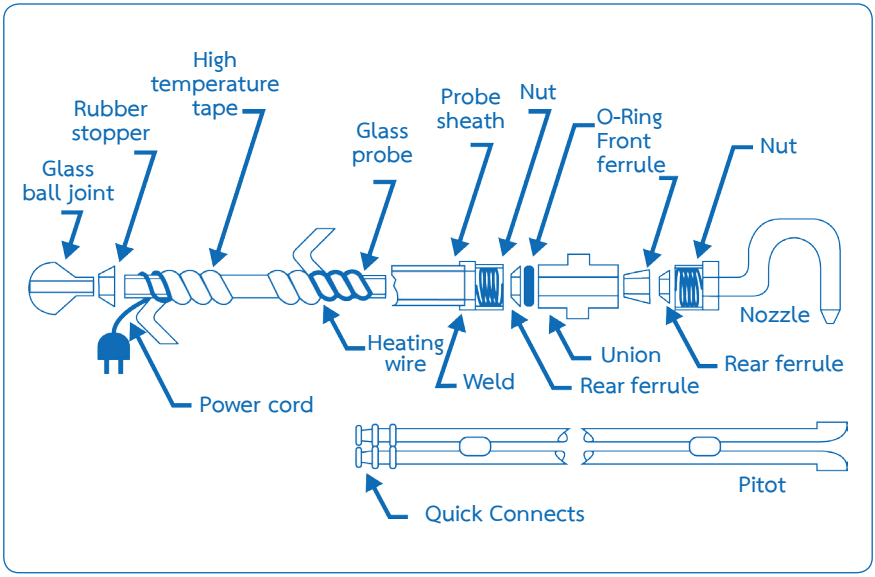
(2) ท่อชักตัวอย่าง (Probe Liner) ทำจากแก้วโบโรซิลิเคท (Borosilicate) หรือแก้วควอซ์ท (Quartz) โดยมีอุปกรณ์ให้ความร้อนเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของอากาศในท่อชักตัวอย่างในช่วงระหว่างการเก็บตัวอย่างให้ได้ 120 ± 14 องศาเซลเซียส (หรือ 248 ± 25 องศาฟาเรนไฮต์) ท่อชักตัวอย่างที่ทำจากแก้วทั้ง 2 ชนิด สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 480 องศาเซลเซียส (หรือ 900 องศาฟาเรนไฮต์) ได้ โดยเฉพาะท่อชักตัวอย่างที่ทำจากแก้วควอซ์ท สามารถใช้งานได้ถึงอุณหภูมิระหว่าง 480 - 900 องศาเซลเซียส (หรือ 900 - 1,650 องศาฟาเรนไฮต์)

ท่อชักตัวอย่างอาจทำจากโลหะที่ไม่มีรอยต่อ เช่น เหล็กไร้สนิม 316 หรือโลหะที่ทนต่อการกัดกร่อน เป็นต้น



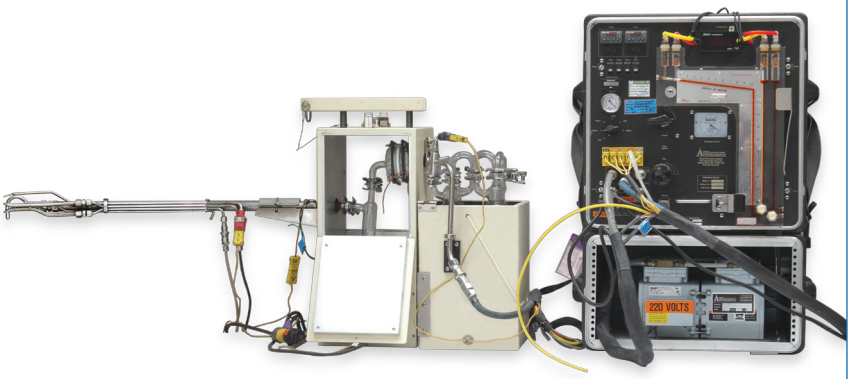
ภาพที่ 5-1 แสดงชุดเก็บตัวอย่างเก็บฝุ่นละออง

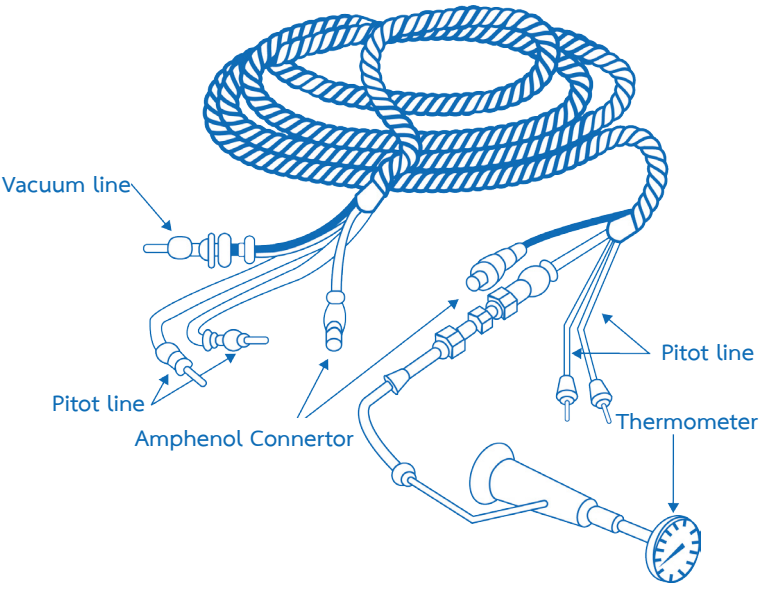
5



ภาพที่ 5-1ก แสดงรายละเอียดของท่อชัก

(3) Pitot Tube เป็นแบบ S (Type S Pitot Tube) มีลักษณะตามรายละเอียดของวิธีที่ 2 Pitot Tube ต้องสามารถประกอบติดกับท่อชักตัวอย่างได้ (ดังภาพที่ 5-1ก และภาพที่ 5-1ข) เพื่อให้สามารถวัดความเร็วของอากาศในปล่องได้ตลอดเวลาที่ชักตัวอย่างอากาศ ในขณะเก็บตัวอย่างอากาศปลายเปิดของ Pitot Tube ด้านที่หันเข้าหากระแสอากาศในปล่อง (Impact Pressure Opening Plane) จะต้องอยู่ระดับเดียวกับหรือเหนือกว่าปลายหัวเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 5-2) ชุดประกอบ Pitot Tube แบบ S ต้องมีการหาค่าสัมประสิทธิ์ตามรายละเอียดของวิธีที่ 2

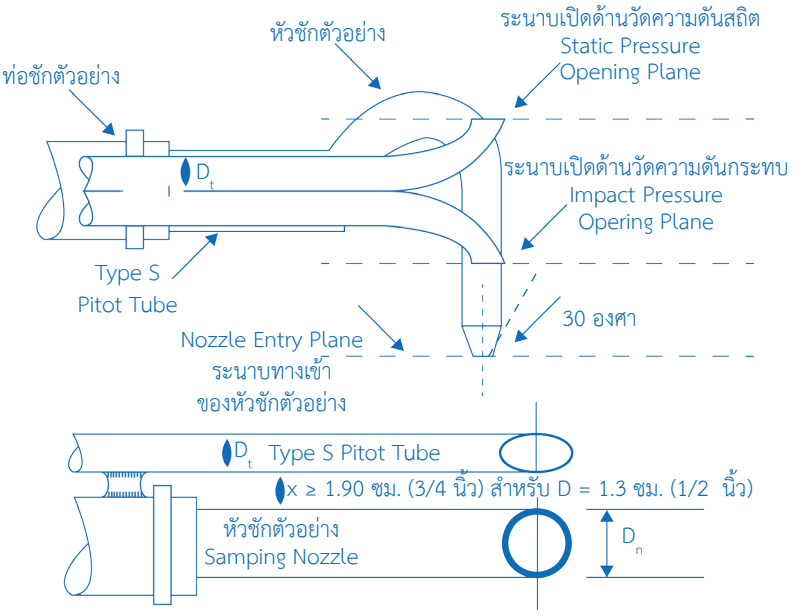




ภาพที่ 5-1ข แสดงรายละเอียดของสายชักตัวอย่างอากาศ

(4) เกจวัดค่าความแตกต่างของความดัน (Differential Pressure Gauge) ใช้ Inclined Manometer หรือเทียบเท่า (ตามรายละเอียดของวิธีที่ 2) จำนวน 2 ตัว โดยตัวที่ 1 ใช้สำหรับอ่านค่าความแตกต่างของความดันเนื่องจากความเร็วของอากาศภายในปล่อง (Velocity Head ; ΔP) และตัวที่ 2 ใช้อ่านค่าความแตกต่างของความดันตกคร่อมออริฟิส (Orifice Differential Pressure ; ΔH)

(5) Filter Holder ทำจากแก้วโบโรซิลิเคท โดยมีแผ่น Glass frit สำหรับรองรับกระดาษกรอง แสดงดังภาพที่ 5-3 และมีประเก็นยางทำจากซิลิโคน Filter Holder ต้องออกแบบให้ภายในมีความดันเป็นบวก (Positive pressure) เพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกรั่วซึมเข้ามาในระบบ ในการประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศให้ต่อ Filter Holder กัดจากปลายด้านขาออก (Outlet) ของท่อชักตัวอย่าง (หรือไซโคลน)



ภาพที่ 5-2 แสดงลักษณะของหัวเก็บตัวอย่างและ Pitot Tube

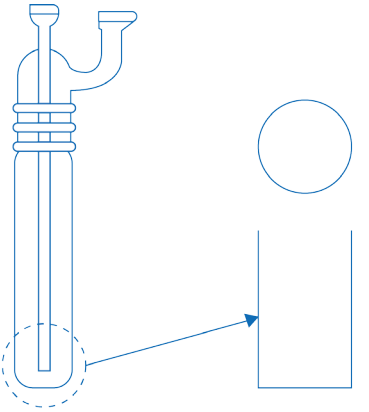
ภาพที่ 5-3 Filter Holder

(6) อุปกรณ์ให้ความร้อนกระดาษกรอง (Filter Heating System) ที่สามารถรักษาระดับอุณหภูมิรอบๆ Filter Holder ให้อยู่ที่ 120 ± 14 องศาเซลเซียส (หรือ 248 ± 25 องศาฟาเรนไฮต์) ได้ในขณะชักตัวอย่างอากาศ พร้อมทั้งให้มีการตรวจสอบอุณหภูมิตลอดการชักตัวอย่างอากาศ

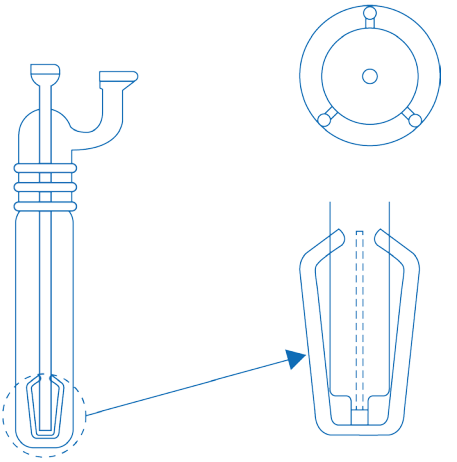
(7) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) สามารถวัดอุณหภูมิที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 3 องศาเซลเซียส (หรือ ± 5.4 องศาฟาเรนไฮต์) โดยต้องติดตั้งให้ด้านปลายของอุปกรณ์สัมผัสโดยตรงกับอากาศในปล่องเพื่อให้สามารถวัดอุณหภูมิของอากาศเสียที่ปล่อยออกจากปล่องได้ และให้สามารถวัดอุณหภูมิรอบๆ Filter Holder ได้ในระหว่างทำการเก็บตัวอย่างอากาศ

(8) ชุดควบแน่น (Condenser) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หาปริมาณความชื้นของอากาศเสียภายในปล่อง ประกอบด้วย Impinger 4 ใบ เรียงต่อกันด้วยข้อต่อทำด้วยแก้วปราศจากรอยรั่ว โดยที่ Impinger ใบที่ 1, 3 และ 4 เป็นแบบ Modified Greenburg-Smith แบบท่อแก้วที่มีด้านปลายเป็นลักษณะท่อตรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 1.3 เซนติเมตร (หรือ 1/3 นิ้ว) สูงจากก้นของ Impinger ประมาณ

1.3 เซนติเมตร (หรือ 1/3 นิ้ว) ส่วน Impinger ใบที่ 2 ใช้แบบ Greenburg-Smith (Standard) ที่ท่อแก้วด้านในมีปลายท่อเป็นแบบมาตรฐาน ลักษณะของ Impinger ทั้งสองแบบแสดงดังภาพที่ 5-4



(1) Modified Greenburg Smith Impinger



(2) Greenburg Smith Impinger

ภาพที่ 5-4 แสดงลักษณะของ Impinger

Impinger ใบที่ 1 และ 2 ใช้สำหรับใส่น้ำกลั่นปริมาณ 100 มิลลิลิตร ส่วนใบที่ 3 ปล่อยว่างไว้ และใบที่ 4 ใส่สารดูดความชื้นซิลิกาเจล (Silica Gel) ประมาณ 200-300 กรัม โดยให้ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส (หรือ 2 องศาฟาเรนไฮต์) ที่ปลายด้านขาออกของ Impinger ใบที่ 4 เพื่อใช้ควบคุมระดับอุณหภูมิของอากาศที่ออกจาก Impinger ใบที่ 4

(9) ระบบเครื่องตรวจวัด (Metering System) ประกอบด้วย เครื่องวัดสุญญากาศ (Vacuum Gauge) เครื่องสูบอากาศชนิดปราศจากรอยรั่ว (Leak-free Pump) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 องศาเซลเซียส (หรือ 5.4 องศาฟาเรนไฮต์) เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Dry Gas Meter) ที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 และอุปกรณ์อื่นๆ แสดงดังภาพที่ 5-1

2.1.2 บารอมิเตอร์ (Barometer) สามารถวัดความดันบรรยากาศที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2.5 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 0.1 นิ้วปรอท) ดังภาพที่ 5-5

ภาพที่ 5-5 แสดงลักษณะของ Barometer

2.1.3 อุปกรณ์หาความหนาแน่นของอากาศ (Gas Density Determination Equipment) ใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและเกจวัดความดันของวิธีที่ 2 และใช้เครื่องวิเคราะห์อากาศของวิธีที่ 3 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิต้องประกอบติดกับ Pitot Tube หรือท่อชักตัวอย่างอากาศ โดยที่ปลายของอุปกรณ์จะต้องอยู่เกินปลอกหุ้มท่อชักตัวอย่างและไม่สัมผัสกับโลหะใดๆ

2.2 ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่าง

2.2.1 แปรงล้างท่อชักตัวอย่างและหัวเก็บตัวอย่าง (Probe-Liner and Probe-Nozzle Brushes) ขนแปรงทำด้วยไนลอน มีด้ามจับเป็นลวดทำจากเหล็กไร้สนิม ซึ่งสามารถต่อด้ามให้มีความยาวอย่างน้อยที่สุดเท่ากับความยาวของท่อชักตัวอย่าง

2.2.2 ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash Bottle) ทำด้วยแก้วหรือโพลีเอทิลีน จำนวน 2 ใบ ในกรณีที่ใช้ขวดทำด้วยโพลีเอทีลีนใส่อะซิโตน (Acetone) ไม่ควรเก็บไว้นานเกิน 1 เดือน

2.2.3 ขวดเก็บตัวอย่าง ทำด้วยแก้วหรือโพลีเอทิลีน ขนาด 500 หรือ 1,000 มิลลิลิตร มีฝาปิดเป็นแบบเกลียว ด้านในมียางกันซึมทำด้วยเทฟล่อน หรือวัสดุที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยากับอะซิโตน

2.2.4 Petri Dish ทำด้วยแก้วหรือโพลีเอทิลีน ใช้สำหรับบรรจุตัวอย่างฝุ่นละอองบนกระดาษกรอง

2.2.5 เครื่องชั่ง (Balance) มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม

2.2.6 ขวดพลาสติก สำหรับบรรจุซิลิกาเจล (Silica Gel)

2.2.7 กรวย (Funnel) ทำด้วยแก้วหรือโพลีเอทิลีน

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.3.1 จานแก้วสำหรับชั่งน้ำหนัก (Glass Weighing Dish)

2.3.2 ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

2.3.3 เครื่องชั่ง (Balance) มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม

2.3.4 เครื่องชั่ง (Balance) มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม

2.3.5 บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.3.6 ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) สำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์ในห้องปฏิบัติการ

2.3.7 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) สำหรับวัดอุณหภูมิในห้องปฏิบัติการ

3. สารเคมี (Reagents)

3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

3.1.1 กระดาษกรอง ทำด้วยใยแก้ว ไม่มีสารอินทรีย์เจือปนและมีคุณสมบัติเก็บฝุ่นของ Dioctyl Phthalate ขนาด 0.3 ไมครอน ได้อย่างน้อยที่สุดร้อยละ 99.95 กระดาษกรองต้องผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการกรองตามวิธี ASTM Method D 2986-71, 78 หรือ 95a ในกรณีที่อากาศในปล่องมีก๊าซ SO_2 หรือ SO_3 กระดาษกรองต้องทำจากวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารดังกล่าวด้วย

3.1.2 สารดูดความชื้นประเภทซิลิกาเจล (Silica Gel) ขนาด 6 - 16 mesh หรือเทียบเท่า กรณีที่เป็นซิลิกาเจลใช้แล้ว ให้อบแห้งที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส (หรือ 350 องศาฟาเรนไฮต์) ประมาณ 2 ชั่วโมง

3.1.3 น้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ (Deionized Distilled Water)

3.1.4 น้ำแข็งบด

3.1.5 ไขข้นซิลิโคน (Silicone Grease) ใช้สำหรับทาข้อต่อให้ประกอบกันได้สนิท โดยสามารถทนความร้อนและไม่ละลายในอะซิโตน ยกเว้นกรณีที่ข้อต่อเป็นเกลียวเทฟล่อนหรือเป็นประเก็นยางไม่จำเป็นต้องใช้ไขข้นซิลิโคนก็ได้

3.1 ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่าง

3.2.1 อะซิโตน เกรดสารเคมี (Reagent Grade) ชนิดที่มีกากตกค้าง (Residue) ไม่เกินร้อยละ 0.001 และต้องบรรจุในขวดแก้ว

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3.1 อะซิโตน คุณสมบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1

3.3.2 สารดูดความชื้น (Desiccant) ประเภทแคลเซียมซัลเฟตชนิดปราศจากน้ำ (Anhydrous Calcium Sulfate)

4. การเก็บตัวอย่าง การเก็บรักษา การบรรจุ และการขนย้าย (Sample Collection, Preservation, Storage, and Transport)

4.1 การเตรียมการก่อนเก็บตัวอย่าง (Pretest Preparation)

4.1.1 ตรวจสภาพของกระดาษกรอง โดยส่องผ่านแสงเพื่อดูว่าไม่มีสิ่งผิดปกติ หรือรอยขีดข่วน หรือรูฉีกขาดใดๆ แล้วจึงใส่กระดาษกรองแต่ละแผ่นแยกลงใน Petri Dish แต่ละใบ และติดฉลากบอกหมายเลขของกระดาษกรองไว้ที่ Petri Dish แต่ละใบ โดยให้เก็บกระดาษกรองไว้ใน Petri Dish นั้นๆ ตลอดเวลา ยกเว้นช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง

4.1.2 อบกระดาษกรองในตู้ดูดความชื้นที่อุณหภูมิ 20 ± 5.6 องศาเซลเซียส (หรือ 68 ± 10 องศาฟาเรนไฮต์) ณ ความดันบรรยากาศอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นให้ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองทุกๆ 6 ชั่วโมง จนกระทั่งชั่งได้น้ำหนักคงที่ (เปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมจากน้ำหนักที่ชั่งได้ครั้งก่อน) ให้บันทึกผลน้ำหนักคงที่ที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม

ในการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้ง กระดาษกรองจะต้องไม่สัมผัสกับอากาศภายนอกนานเกิน 2 นาที

4.2 การหาค่าเบื้องต้น (Preliminary Determinations)

4.2.1 กำหนดตำแหน่งและจำนวนจุดชักตัวอย่าง ตามขั้นตอนในวิธีที่ 1

4.2.2 หาค่าความดัน อุณหภูมิ และความแตกต่างของความดันเนื่องจากความเร็วของอากาศภายในปล่อง (Velocity Head) ตามวิธีที่ 2

4.2.3 หาค่าความชื้นของอากาศในปล่อง ตามวิธีที่ 4

4.2.4 หาค่าน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง ตามวิธีที่ 3

4.2.5 เลือกขนาดหัวเก็บตัวอย่าง โดยสามารถคำนวณหาขนาดหัวเก็บตัวอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับ Velocity Head ได้จากสมการ 5-1 ตามขั้นตอนใน 8.2 เพื่อให้การเก็บตัวอย่างฝุ่นเป็นแบบไอโซไคเนติก ทั้งนี้ ห้ามเปลี่ยนขนาดหัวเก็บตัวอย่างในขณะเก็บตัวอย่าง

4.2.6 เลือกชนิดและขนาดความยาวของท่อชักตัวอย่างให้เหมาะสมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง เพื่อให้สามารถชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง (Traverse Point) ได้ทุกจุด ในกรณีที่ปล่องมีขนาดใหญ่ อาจใช้วิธีการชักตัวอย่างจากด้านทั้งสองที่อยู่ตรงข้ามกันของปล่อง เพื่อลดขนาดความยาวของท่อชักตัวอย่างอากาศ

4.2.7 กำหนดระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง โดยต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ดังนี้

(1) ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างแต่ละจุดต้องเท่ากันและไม่น้อยกว่า 2 นาที (ควรกำหนดระยะเวลาเป็นจำนวนเต็มหรือครึ่งนาที เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการจับเวลา)

(2) ปริมาตรของตัวอย่างอากาศทั้งหมด (ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐานแล้ว) ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าปริมาตรต่ำสุดของตัวอย่างอากาศที่ได้กำหนดไว้ สำหรับแต่ละประเภทอุตสาหกรรม

4.3 การเตรียมชุดเก็บตัวอย่างอากาศ (Preparation of Sampling Train)

4.3.1 ในระหว่างการเตรียมอุปกรณ์และการประกอบชุดเก็บตัวอย่าง ให้ปิดปลายเปิดของอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดเก็บตัวอย่างจนกว่าจะได้นำมาประกอบเป็นชุดเก็บตัวอย่างก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันไม่ให้ชุดเก็บตัวอย่างเกิดการปนเปื้อน การเตรียมชุดควบแน่นให้ปฏิบัติดังนี้

(1) Impinger ใบที่ 1 และ 2 ให้เติมน้ำกลั่นใบละ ประมาณ 100 มิลลิลิตร

(2) Impinger ใบที่ 3 ให้ปล่อยว่างไว้

(3) Impinger ใบที่ 4 ให้ใส่ซิลิกาเจลประมาณ 200 - 300 กรัม

(4) ชั่งน้ำหนัก Impinger แต่ละใบที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม และบันทึกค่าลงในแบบรายงานผลการชั่งน้ำหนัก (แบบ คพ. 5-1)

4.3.2 ใช้ปากคีบหรือถุงมือผ้าตัดที่สะอาดหยิบกระดาษกรองที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ลงใน Filter Holder โดยวางให้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางและให้ปะเก็นอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกซึมเข้าปนเปื้อนกระดาษกรอง หลังจากเสร็จสิ้นการประกอบให้ตรวจสอบสภาพของกระดาษกรองว่ามีรอยฉีกขาดหรือไม่

4.3.3 กรณีที่ใช้ท่อชักตัวอย่างอากาศที่ทำด้วยแก้ว ให้ใช้วงแหวน (O-ring) ชนิด Viton A ในการประกอบหัวเก็บตัวอย่างสำหรับปล่องที่มีอุณหภูมิในปล่องต่ำกว่า 260 องศาเซลเซียส (หรือ 500 องศาฟาเรนไฮต์) หรือให้ใช้ปะเก็นที่ทนความร้อนถ้าอุณหภูมิของอากาศในปล่องสูงกว่านี้ หรืออาจใช้อุปกรณ์ประกอบที่ทำจากเหล็กไร้สนิม 316 หรือเทฟล่อนก็ได้ หรือกรณีที่ท่อชักตัวอย่างอากาศเป็นโลหะ ให้ประกอบหัวเก็บตัวอย่างตามที่อธิบายข้างต้นหรือใช้ข้อต่อชนิดปราศจากรอยรั่ว (Leak-free Direct Mechanical Connection) จากนั้นให้ใช้ปากกาที่ใช้หมึกกันน้ำทำเครื่องหมายที่ท่อชักตัวอย่างเพื่อบอกตำแหน่งระยะของจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่องแต่ละจุด

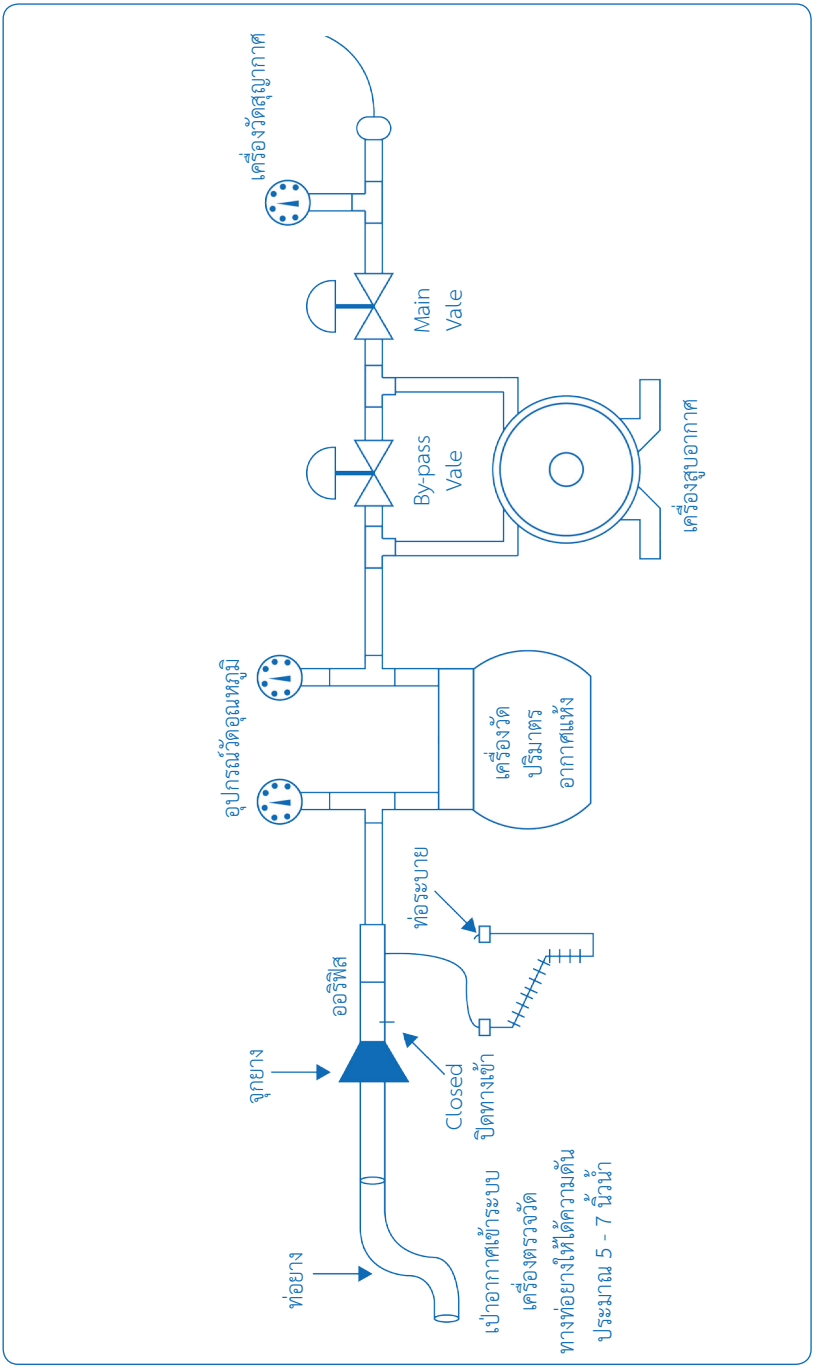
4.3.4 ประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศ ดังภาพที่ 5-1 โดยใช้ไขข้นซิลิโคนทาบางๆ ที่ข้อต่อแก้ว โดยให้ทาบริเวณด้านนอกเพื่อหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของซิลิโคน ทั้งนี้อาจใช้ไซโคลนทำด้วยแก้วประกอบระหว่างท่อชักตัวอย่างกับ Filter Holder เพื่อใช้ดักฝุ่นกรณีที่คาดว่าจะมีปริมาณฝุ่นเกิน 100 มิลลิกรัม หรือกรณีมีหยดน้ำปนอยู่ในตัวอย่างอากาศที่ชักออกจากปล่อง

4.3.5 ใส่น้ำแข็งบดรอบๆ Impinger

ภาพที่ 5-6 แสดงลักษณะของไซโคลน

4.4 การตรวจสอบรอยรั่ว (Leak-Check Procedures)

4.4.1 การตรวจสอบรอยรั่วระบบเครื่องตรวจวัด (Leak Check of Metering System) ให้ทำการตรวจสอบทุกครั้งที่เริ่มมีการใช้งานหรือขนย้าย โดยให้ตรวจสอบตั้งแต่เครื่องสูบอากาศจนถึงเครื่องวัดค่าความแตกต่างของความดันตกคร่อมออริฟิส (ΔH) ดังภาพที่ 5-7 เนื่องจากหากเกิดรอยรั่วในบริเวณดังกล่าวจะทำให้ปริมาตรอากาศที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมีค่าน้อยกว่าปริมาตรอากาศที่เก็บได้จริง การตรวจสอบรอยรั่วให้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5-7 แสดงการตรวจสอบของระบบเครื่องตรวจวัด

5

(1) ปิดวาล์วปรับอัตราการไหลแบบหยาบ (Main valve) ของระบบเครื่องตรวจวัด

(2) อุดปลายด้านขาออกของออริฟิสด้วยจุกยางที่มีรู 1 รู และต่อเข้ากับท่อยางสำหรับเป่าอากาศเข้าเพื่อทดสอบรอยรั่ว

(3) ปลดสายมานอมิเตอร์ด้านที่ความดันต่ำโดยให้ปลายสายเปิดสู่บรรยากาศ และให้ปิดห้วก๊อกที่ใช้สำหรับต่อสายมานอมิเตอร์นั้นให้สนิท

(4) เป่าอากาศเข้าระบบเครื่องตรวจวัดทางท่อยางให้ได้ความดันประมาณ 13 - 18 เซนติเมตรน้ำ (หรือ 5 - 7 นิ้วน้ำ) บีบท่อยางให้แน่น และให้สังเกตระดับความดันที่มานอมิเตอร์ หากพบว่ามีระดับลดลง แสดงว่าเกิดรอยรั่วที่ระบบเครื่องตรวจวัด ให้ทำการปรับแก้จนกระทั่งระดับความดันที่มานอมิเตอร์มีค่าคงที่

4.4.2 การตรวจสอบรอยรั่วก่อนการชักตัวอย่าง (Pre-test Leak Check) ขั้นตอนนี้อาจไม่จำเป็นต้องทำก็ได้ แต่หากต้องการจะทำการตรวจสอบให้ปฏิบัติดังนี้

(1) หลังจากประกอบชุดเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว ให้เปิดสวิตช์ อุปกรณ์ให้ความร้อนกับกระดาษกรองและท่อชักตัวอย่าง โดยตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิที่จะใช้ขณะเก็บตัวอย่าง

ถ้าใช้ข้อต่อชนิดปราศจากรอยรั่ว (Leak-free Connection) เช่น Viton A O-ring ในการประกอบหัวเก็บตัวอย่างกับท่อชักตัวอย่าง ให้ตรวจสอบรอยรั่วโดยการอุดที่ปลายหัวเก็บตัวอย่างและดึงอากาศให้ระบบเป็นสุญญากาศที่ 380 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 15 นิ้วปรอท)

แต่กรณีถ้าใช้สายทนความร้อน (Heat-resistant String) ให้แยกท่อชักตัวอย่างออกจากชุดเก็บตัวอย่าง และทำการตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่างโดยอุดที่ปลายด้านเข้าของ Filter Holder (กรณีถ้าใช้ไซโคลนให้อุดที่ปากไซโคลน) ดึงอากาศให้ระบบเป็นสุญญากาศที่ 380 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 15 นิ้วปรอท) จากนั้นให้ประกอบท่อชักตัวอย่างเข้ากับชุดเก็บตัวอย่างแล้วจึงทำการตรวจสอบ

รอยรั่วที่ค่าสุญญากาศประมาณ 25 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 1 นิ้วปรอท) ทั้งนี้ อาจทำการตรวจสอบรอยรั่วของท่อชักตัวอย่างกับชุดเก็บตัวอย่างพร้อมกันครั้งเดียว ที่ค่าสุญญากาศ 380 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 15 นิ้วปรอท) ก็ได้

อัตราการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศ จะต้องมีค่าไม่เกิน 0.00057 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (0.020 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) และไม่เกินร้อยละ 4 ของอัตราการชักตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ย โดยค่าสุญญากาศที่ใช้ในการตรวจสอบอาจน้อยกว่า 380 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 15 นิ้วปรอท) ก็ได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่าค่าสุญญากาศขณะเก็บตัวอย่าง

(2) การตรวจสอบรอยรั่ว ให้ปฏิบัติดังนี้

(2.1) ให้มั่นใจว่าวาล์วปรับอัตราการไหลแบบละเอียด (By-pass Valve หรือ Fine Adjust Valve) ถูกเปิดจนสุด และวาล์วปรับอัตราการไหลแบบหยาบ (Main Valve หรือ Coarse Adjust Valve) ปิดสนิท แล้วจึงเริ่มเปิดเครื่องสูบอากาศ

(2.2) เปิดวาล์วปรับอัตราการไหลแบบหยาบเพียงบางส่วนและค่อยๆ ปิดวาล์วปรับอัตราการไหลแบบละเอียดอย่างช้าๆ จนกระทั่งได้ค่าสุญญากาศตามที่ต้องการ ในการปรับค่าสุญญากาศห้ามหมุนวาล์วปรับอัตราการไหลกลับ เพราะจะทำให้น้ำไหลกลับเข้าไปใน Filter Holder ถ้าค่าสุญญากาศที่ปรับไว้มีค่าสูงกว่าค่าที่ต้องการให้คงการตรวจสอบที่ค่าสุญญากาศนั้นๆ หรือให้สิ้นสุดการตรวจสอบและเริ่มทำการตรวจสอบรอยรั่วใหม่อีกครั้ง

(3) เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจสอบรอยรั่วแล้วค่อยๆ ปล่อยจุกยางที่อุดปลายท่อชักตัวอย่างออกอย่างช้าๆ แล้วจึงปิดเครื่องสูบอากาศทันที ทั้งนี้ เพื่อเป็นการป้องกันน้ำจากในชุด Impinger ถูกดึงไหลย้อนกลับเข้า Filter Holder และป้องกันซิลิกาเจลกลับเข้าไปปนใน Impinger ใบที่ 3

4.4.3 การตรวจสอบรอยรั่วระหว่างการชักตัวอย่าง (Leak Checks During Sample Run) กรณีหากจำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์บางตัวในระหว่างการชักตัวอย่าง เช่น Filter Holder หรือ Impinger ต้องทำการตรวจสอบรอยรั่วทันทีก่อนที่

จะมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ โดยให้ปฏิบัติตามขั้นตอนในข้อ 4.4.2 ยกเว้นให้ทำการตรวจสอบที่ค่าสุญญากาศเท่ากับหรือมากกว่าค่าสูงสุดที่ได้บันทึกไว้ในช่วงระหว่างการชักตัวอย่าง โดยหากอัตราการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศมีค่าไม่เกินร้อยละ 4 ของอัตราการชักตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ย และไม่เกิน 0.00057 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (0.020 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ก็ไม่จำเป็นต้องมีการปรับปริมาตรอากาศที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง แต่ถ้าอัตราการรั่วมีค่าเกินกว่านั้น ให้บันทึกค่าอัตราการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อทำการปรับค่าปริมาตรอากาศตามขั้นตอนในข้อ 8.3 หรือให้ยกเลิกผลการตรวจวัดนั้นๆ

เมื่อใดที่มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ ในการประกอบชุดเก็บตัวอย่าง ควรทำการตรวจสอบรอยรั่วอีกครั้งตามขั้นตอนในข้อ 4.4.2

4.4.4 การตรวจสอบรอยรั่วหลังการชักตัวอย่าง (Post-Test Leak Check) ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องทำสำหรับการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง การตรวจสอบรอยรั่วให้ปฏิบัติตามขั้นตอนในข้อ 4.4.2 ยกเว้นให้ทำการตรวจสอบที่ค่าสุญญากาศเท่ากับหรือมากกว่าค่าสุญญากาศสูงสุดที่ได้บันทึกไว้ในช่วงระหว่างการชักตัวอย่าง โดยหากอัตราการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศมีค่าไม่เกินร้อยละ 4 ของอัตราการชักตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ย และไม่เกิน 0.00057 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (0.020 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ก็ไม่จำเป็นต้องมีการปรับปริมาตรอากาศที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง แต่ถ้าอัตราการรั่วมีค่าเกินกว่านั้น ให้บันทึกค่าอัตราการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อทำการปรับค่าปริมาตรอากาศตามขั้นตอนในข้อ 8.3 หรือให้ยกเลิกผลการตรวจวัดนั้นๆ

4.5 การชักตัวอย่างอากาศ (Sampling Train Operation) ให้คงอัตราการชักตัวอย่างแบบไอโซไคเนติกโดยมีค่าไอโซไคเนติกคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 10 และในขณะที่ชักตัวอย่างอากาศ ให้รักษาระดับอุณหภูมิรอบๆ Filter Holder ไว้ที่ 120 ± 14 องศาเซลเซียส (หรือ 248 ± 25 องศาฟาเรนไฮต์)

4.5.1 ในการเก็บตัวอย่างอากาศแต่ละครั้งให้บันทึกข้อมูลลงในแบบรายงานข้อมูลภาคสนาม (แบบ คพ.5-1) โดยอย่างน้อยที่สุดต้องมีข้อมูลปริมาตรอากาศที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง ณ ขณะเวลาดังต่อไปนี้ (1) ขณะเริ่มต้นทำการชักตัวอย่าง (2) ขณะเริ่มต้นและขณะสิ้นสุดการชักตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา (3) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการชักตัวอย่าง (4) ก่อนและหลังจากการตรวจสอบรอยรั่วแต่ละครั้ง และ (5) เมื่อสิ้นสุดการชักตัวอย่าง นอกจากนี้ ให้บันทึกค่าอื่นๆ ตามที่ระบุในแบบรายงานข้อมูลภาคสนามอย่างน้อย 1 ครั้งในแต่ละจุดชักตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เช่น กรณีมีการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างของความดันตกคร่อมออริฟิส (ΔH) เกินร้อยละ 20 ทั้งนี้ เพื่อจะได้นำข้อมูลมาใช้ช่วยในการปรับอัตราการชักตัวอย่าง

ให้หมั่นตรวจสอบระดับและตั้งค่าศูนย์ของมานอมิเตอร์ (Level and Set Zero) เมื่อมีการเปลี่ยนจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง เนื่องจากระดับและค่าศูนย์ของมานอมิเตอร์อาจคลาดเคลื่อนได้เมื่อมีการสั่นสะเทือน หรือเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

4.5.2 ควรทำความสะอาดบริเวณจุดเจาะปล่อง (Portholes) เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นที่ตกค้างอยู่บริเวณดังกล่าวถูกดึงเข้ามาในระบบเก็บตัวอย่างอากาศเมื่อเริ่มเก็บตัวอย่าง ก่อนเริ่มต้นชักตัวอย่างให้มั่นใจว่าอุณหภูมิของกระดาษกรองและท่อชักตัวอย่างมีค่าสูงถึงค่าที่ต้องการแล้ว ให้วาง Pitot Tube และท่อชักตัวอย่างในตำแหน่งที่เหมาะสม และให้หัวเก็บตัวอย่างอยู่ที่ตำแหน่งแรกของจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง โดยปลายหัวเก็บตัวอย่างหันเข้าหากระแสอากาศภายในปล่อง จากนั้น จึงเริ่มเปิดเครื่องสูบอากาศ และปรับอัตราการไหลให้การชักตัวอย่างเข้าสู่สภาวะไอโซไคเนติก

ในการปรับอัตราการชักตัวอย่างอากาศให้เข้าสู่สภาวะไอโซไคเนติก อาจใช้โนโมกราฟ (Nomograph) ช่วยในการคำนวณเพื่อให้การปรับสะดวกยิ่งขึ้นได้เฉพาะกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot Tube แบบ S (C_p) มีค่าเท่ากับ 0.85 ± 0.02 และน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง (M_d) มีค่าเท่ากับ 29 ± 4 เท่านั้น

4.5.3 กรณีที่ภายในปล่องมีความดันเป็นลบ (Negative Pressure) ให้ปิดวาล์วปรับอัตราการไหลแบบหยาบให้สนิทก่อนใส่ท่อชักตัวอย่างเข้าในปล่อง เพื่อป้องกันน้ำจาก Impinger ถูกดึงไหลย้อนกลับเข้า Filter Holder โดยหากจำเป็นอาจต้องเปิดเครื่องสูบอากาศในขณะที่วาล์วปรับอัตราการไหลแบบหยาบยังปิดอยู่

4.5.4 เมื่อวางท่อชักตัวอย่างได้ในตำแหน่งแล้ว ให้อุดช่องเปิดของผนังปล่องรอบๆ ท่อชักตัวอย่างเพื่อป้องกันการเจือจางอากาศภายในปล่อง

4.5.5 ให้ระมัดระวังการเปลี่ยนตำแหน่งจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่ภาคตัดขวางของปล่อง (ตามที่กำหนดไว้ในวิธีที่ 1) โดยเฉพาะตำแหน่งใกล้ผนังปล่องไม่ให้ปลายหัวเก็บตัวอย่างชนหรือกระแทกกับผนังปล่อง มิเช่นนั้นเศษฝุ่นอาจปะปนเข้าไปในท่อชักตัวอย่างได้

4.5.6 ในระหว่างการชักตัวอย่าง ให้รักษาระดับอุณหภูมิรอบๆ Filter Holder และให้ใส่น้ำแข็งและเกลือ (ถ้าจำเป็น) เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของชุดควบแน่นให้ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส (หรือ 68 องศาฟาเรนไฮต์) และหมั่นตรวจสอบระดับและค่าศูนย์ของมานอมิเตอร์ตลอดระยะเวลาการชักตัวอย่าง

4.5.7 หากความดันลด (Pressure Drop) ที่กระดาษกรองเริ่มมีค่าสูงเกินไปจนยากต่อการปรับสภาวะของการชักตัวอย่างให้เป็นแบบไอโซไคเนติก อาจจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนกระดาษกรองในระหว่างการชักตัวอย่าง โดยควรเปลี่ยนกระดาษกรองและ Filter Holder พร้อมกันทั้งชุดมากกว่าการเปลี่ยนเฉพาะกระดาษกรองอย่างเดียว ทั้งนี้ ให้ตรวจสอบรอยรั่วก่อนทำการเปลี่ยนชุดกระดาษกรอง (ดูข้อ 4.4.3)

4.5.8 เมื่อสิ้นสุดการชักตัวอย่างให้ปิดวาล์วปรับอัตราการไหลแบบหยาบ ปิดเครื่องสูบอากาศ ดึงท่อชักตัวอย่างออกจากปล่อง บันทึกค่าปริมาตรอากาศสุดท้ายที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง และให้ทำการตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศตามขั้นตอนในข้อ 4.4.4 และตรวจสอบรอยรั่วของ Pitot Tube ตามขั้นตอนในวิธีที่ 2

4.6 การคำนวณร้อยละของไอโซไคเนติก (ดูข้อ 8.11) เพื่อตรวจสอบว่าผลการเก็บตัวอย่างอากาศครั้งนี้ยอมรับได้หรือไม่

4.7 การเก็บรักษาตัวอย่าง (Sample Recovery)

4.7.1 ให้เริ่มทำความสะอาดท่อชักตัวอย่างทันทีที่ดึงท่อชักตัวอย่างออกจากปล่อง โดยควรปล่อยให้ท่อชักตัวอย่างอากาศเย็นลงก่อนสักครู่เพื่อความปลอดภัยในขณะปฏิบัติการ

4.7.2 ให้เช็ดฝุ่นที่ติดอยู่ภายนอกหัวเก็บตัวอย่างออกให้หมด แล้วปิดจุกครอบปลายหัวเก็บตัวอย่างทันทีเพื่อป้องกันฝุ่นเข้าหรือออกจากตัวอย่างอากาศที่เก็บได้ แต่อย่าปิดจุกให้แน่นเกินไปในขณะที่ชุดเก็บตัวอย่างกำลังเย็นตัวลง เนื่องจากอาจเกิดสุญญากาศขึ้นใน Filter Holder และดึงน้ำจากชุด Impinger ไหลย้อนกลับมายัง Filter Holder ได้

4.7.3 ก่อนการเคลื่อนย้ายชุดเก็บตัวอย่างอากาศ

(1) ให้แยกท่อชักตัวอย่างออกจากชุดเก็บตัวอย่าง เช็ดไขซิลิโคนออกให้หมด และปิดครอบปลายเปิดทั้งหมดของท่อชักตัวอย่างและทางเข้าของอากาศที่ต่อไปยัง Filter Holder ในส่วนที่ต่อกับท่อชักตัวอย่างอย่างระมัดระวัง อย่าให้สูญเสียของเหลวควบแน่นใดๆ ที่ปรากฏในอุปกรณ์ดังกล่าว

(2) ถอดสายเก็บตัวอย่าง (Umbilical Cord) ออกจาก Impinger ใบสุดท้าย และปิดครอบปลายเปิด Impinger

(3) กรณีถ้าใช้สายท่อเก็บตัวอย่างในการต่อระหว่าง Impinger ใบแรกกับ Filter Holder ให้ปลดสายด้านที่ต่อกับ Filter Holder ออกแล้วเอียงสายท่อให้น้ำหรือของเหลวไหลลงสู่ Impinger จากนั้นให้เช็ดไขซิลิโคนออกแล้วปิดครอบปลายเปิดของ Filter Holder และ Impinger ใบแรก

การปิดครอบปลายเปิด อาจใช้จุกแก้วหรือฝาปิดทำด้วยพลาสติก หรือแผ่นพาราฟิล์ม (Paraffin Film) ก็ได้

4.7.4 ควรเคลื่อนย้ายท่อชักตัวอย่าง Filter Holder และชุด Impinger ไปยังบริเวณที่สะอาดก่อนเริ่มทำการเก็บรักษาตัวอย่าง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนตัวอย่าง

4.7.5 ให้เก็บอะซิโตนที่จะใช้ในการเก็บรักษาตัวอย่าง ปริมาณ 200 มิลลิลิตร บรรจุลงในขวดเก็บตัวอย่าง ปิดผนึก และติดฉลากบอกว่าเป็น “อะซิโตนแบลงค์” (Acetone Blank)

4.7.6 ให้สังเกตและบันทึกสิ่งผิดปกติใดๆ ที่เกิดขึ้น (ถ้ามี) ก่อนและระหว่างการแยกประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศ

4.7.7 Petri Dish เก็บตัวอย่างหมายเลข 1 ให้ใช้ปากคีบหรือถุงมือผ่าตัดที่สะอาดในการเอากระดาษกรองออกจาก Filter Holder แล้ววางลงใน Petri Dish ใบเดิมของกระดาษกรองแผ่นนี้ (ติดฉลากบอกไว้แล้วในข้อ 4.1.1) จากนั้นจึงค่อยปิดผนึกในกรณีถ้าจำเป็นต้องพับกระดาษกรองให้พับด้านที่เก็บฝุ่นเข้าด้านใน

4.7.8 ขวดเก็บตัวอย่างหมายเลข 2 ให้ระมัดระวังฝุ่นที่ติดอยู่ผิวด้านนอกของท่อชักตัวอย่างปนเปื้อนกับตัวอย่างอากาศ ล้างฝุ่นหรือของเหลวที่ควบแน่นจากหัวเก็บตัวอย่าง ข้อต่อ ท่อชักตัวอย่าง และส่วนอื่นๆ รวมทั้งฝาครอบด้านหน้าของ Filter Holder ด้วยอะซิโตน และเก็บน้ำล้างอะซิโตนลงในขวดเก็บตัวอย่าง ดังขั้นตอนต่อไปนี้

(1) ถอดหัวเก็บตัวอย่าง ล้างผิวด้านในด้วยอะซิโตนโดยใช้ขวดฉีดและแปรงผิวด้านในโดยใช้แปรงขนไนลอน จนกระทั่งมองไม่เห็นฝุ่นตกค้างในน้ำล้างอะซิโตน จากนั้นจึงล้างผิวด้านในครั้งสุดท้ายด้วยอะซิโตนอีกครั้ง

(2) ให้ล้างและแปรงผิวด้านในของข้อต่อต่างๆ ด้วยอะซิโตน ปฏิบัติเช่นเดียวกับ 4.7.8 (1) จนกระทั่งไม่มีฝุ่นตกค้างให้มองเห็นได้

(3) ล้างผิวด้านในท่อชักตัวอย่างด้วยอะซิโตน โดยให้เอียงและหมุนท่อชักตัวอย่างในขณะฉีดอะซิโตนเข้าทางปลายด้านบนของท่อชักตัวอย่าง จนกระทั่งผิวด้านในเปียกจนทั่วหมด แล้วปล่อยให้น้ำล้างอะซิโตนไหลออกปลายด้านล่างลงขวดเก็บตัวอย่าง

โดยอาจใช้กรวยช่วยในการถ่ายน้ำล้างลงขวดเก็บตัวอย่าง จากนั้นให้แปรงด้านในท่อชักตัวอย่าง โดยให้เอียงท่อชักตัวอย่างและฉีดอะซิโตนเข้าทางปลายด้านบนของท่อชักตัวอย่าง ในขณะเดียวกันให้สอดแปรงล้างและบิดหมุนให้ทั่วผิวด้านในท่อชักตัวอย่าง นำขวดเก็บตัวอย่างรองด้านล่างของท่อชักตัวอย่างเพื่อเก็บน้ำล้างและฝุ่นที่แปรงออกจากท่อชักตัวอย่าง ใช้แปรงล้างอย่างน้อย 3 ครั้ง จนกระทั่งมองไม่เห็นฝุ่นตกค้างในน้ำล้างอะซิโตน กรณีที่ใช้ท่อชักตัวอย่างที่ทำจากโลหะ ใช้แปรงล้างอย่างน้อย 6 ครั้ง เนื่องจากผิวโลหะอาจมีรอยแยกเล็กๆ ซึ่งทำให้มีฝุ่นตกค้างอยู่ได้ และเมื่อเสร็จสิ้นการแปรงล้างให้ล้างแปรงและล้างท่อชักตัวอย่างเป็นครั้งสุดท้ายด้วยอะซิโตน ให้เก็บน้ำล้างทั้งหมดลงในขวดเก็บตัวอย่าง

(4) ควรให้มีเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการในการเก็บรักษาตัวอย่าง 2 คน เพื่อลดโอกาสการสูญเสียตัวอย่างให้มากที่สุด นอกจากนี้ หลังจากเสร็จสิ้นการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ให้ล้างแปรงให้สะอาดเพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อน

(5) เช็ดไขซิลิโคนตามข้อต่อของฝาครอบด้านหน้าของ Filter Holder ออกให้หมด และใช้แปรงขนไนลอนแปรงล้างด้านในของฝาครอบด้านหน้าของ Filter Holder แล้วล้างด้วยอะซิโตน ให้ล้างแต่ละชิ้นส่วนอย่างน้อย 3 ครั้ง จนกระทั่งมองไม่เห็นฝุ่นตกค้าง แล้วจึงล้างแปรงและล้างฝาครอบด้านหน้าของ Filter Holder อีกครั้งด้วยอะซิโตน และในกรณีที่ใช้ไซโคลนให้ล้างด้วยอะซิโต เช่นเดียวกัน เมื่อเสร็จสิ้นการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำล้างอะซิโตนและฝุ่นลงในขวดเก็บตัวอย่างแล้ว ให้ปิดผนึกฝาขวดให้แน่น ติดฉลากบอกรายละเอียด และทำเครื่องหมายบอกระดับของของเหลวภายในขวด

4.7.9 ชั่งน้ำหนัก Impinger แต่ละใบให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม และบันทึกค่าลงในแบบรายงานผลการชั่งน้ำหนัก (แบบ คพ. 5-1) เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างอากาศต่อไป

4.8 การขนย้ายตัวอย่าง (Sample Transport) ให้ภาชนะเก็บตัวอย่างอยู่ในสภาพที่ตั้งขึ้นตลอดเวลาในระหว่างที่มีการขนย้าย

5. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

5.1 การตรวจสอบรอยรั่วและการปรับเทียบความถูกต้องอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ ให้มั่นใจว่าค่าผลการตรวจวัดอัตราการชักตัวอย่างอากาศและปริมาตรตัวอย่างอากาศถูกต้องแม่นยำ

5.2 การตรวจสอบระบบเครื่องตรวจวัด (Volume Metering System Checks) ควรมีการทดสอบค่าการปรับเทียบความถูกต้องของระบบเครื่องตรวจวัดในภาคสนามก่อนเริ่มทำการเก็บตัวอย่าง แต่ทั้งนี้อาจไม่จำเป็นต้องทำการตรวจสอบในขั้นตอนนี้ก็ได้

5.2.1 การตรวจสอบแผ่นออริฟิส (Meter Orifice Check) ให้ใช้ข้อมูลการปรับเทียบความถูกต้องจากข้อ 6.3 ในการคำนวณหาค่า $\Delta H_{@}$ ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของความดันคร่อมออริฟิส (ΔH, นิ้วน้ำ) และได้ปรับเป็นที่อัตราการสูบอากาศ 0.75 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ที่อุณหภูมิ 528 องศาฟาเรนไฮต์ และความดัน 29.92 นิ้วปรอท โดยคำนวณตามขั้นตอนใน 8.3

(1) ก่อนเริ่มการทดสอบในภาคสนาม (โดยทั่วไปจะทำการเก็บตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง) ให้เปิดระบบเครื่องตรวจวัด (ได้แก่ เครื่องสูบอากาศ เครื่องวัดปริมาตรอากาศ และออริฟิส) ที่ค่าความแตกต่างของความดันคร่อมออริฟิส ($\Delta H_{@}$) นานประมาณ 10 นาที บันทึกค่าปริมาตรอากาศ อุณหภูมิของอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง และความดันบรรยากาศ และให้คำนวณค่าการตรวจสอบสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (DGM Calibration Check Value; Y_c) ตามขั้นตอนใน 8.4

(2) ให้เปรียบเทียบค่า Y_c กับค่า Y โดยที่ Y_c ควรมีค่าอยู่ในช่วง $0.97Y < Y_c < 1.03Y$ จึงเริ่มการทดสอบได้

5.5.2 **แผ่นออริฟิสวิกฤติ**ที่ได้รับการปรับเทียบความถูกต้องแล้ว (Calibrated Critical Orifice) โดยได้รับการปรับเทียบความถูกต้องด้วยเครื่อง Wet test Meter หรือเครื่อง Spirometer และใช้ติดตั้งที่ปลายด้านขาเข้าของเครื่องตรวจวัดตัวอย่างอากาศ อาจใช้เป็นการตรวจสอบตามขั้นตอนในข้อ 9.2

6. การปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration)

ให้เก็บข้อมูลการปรับเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์ต่อไปนี้ในสมุดบันทึกของห้องปฏิบัติการทุกครั้งเมื่อมีการปรับเทียบ

6.1 หัวเก็บตัวอย่าง (Probe Nozzle) ต้องมีการปรับเทียบก่อนการใช้งาน โดยใช้ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) วัดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหัวเก็บตัวอย่างที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตร (หรือ 0.001 นิ้ว) 3 ครั้ง โดยให้ใช้แนวเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่างกันในแต่ละครั้ง แล้วนำค่าทั้ง 3 มาหาค่าเฉลี่ยความแตกต่างของค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร (หรือ 0.004 นิ้ว) และหากหัวเก็บตัวอย่างมีรอยบากหรือบิ่น ต้องทำการปรับแก้รูปร่างและปรับเทียบความถูกต้องให้ได้ก่อนการใช้งาน

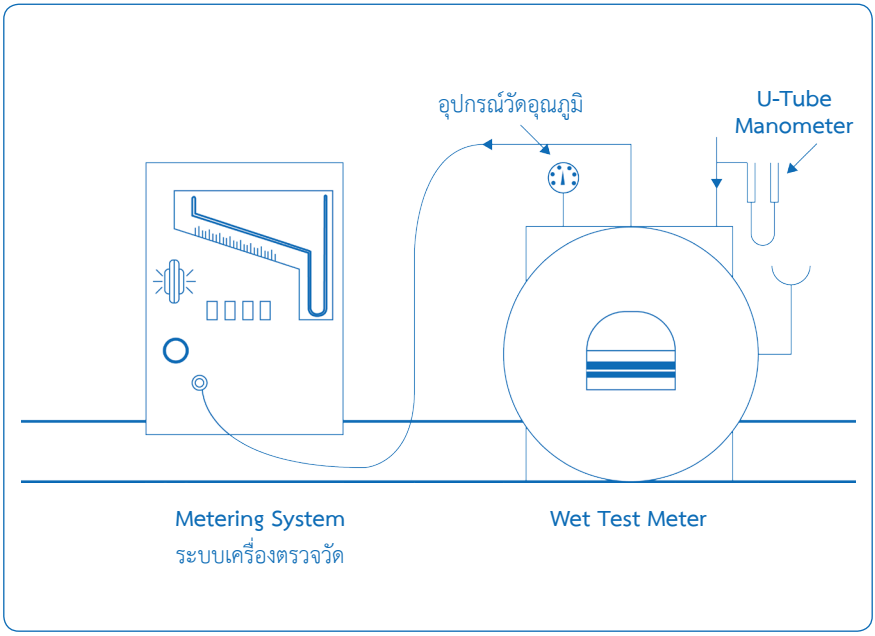
6.2 Pitot Tube ต้องมีการปรับเทียบตามขั้นตอนในวิธีที่ 2

6.3 ระบบเครื่องตรวจวัด (Metering System)

6.3.1 การปรับเทียบความถูกต้องก่อนการใช้งาน ให้ปฏิบัติดังนี้

(1) ต่อปลายด้านขาเข้าของระบบเครื่องตรวจวัดเข้ากับด้านขาออกของเครื่อง Wet Test Meter ดังภาพที่ 5-8 ที่มีความแม่นยำอยู่ในช่วงร้อยละ 1

ควรใช้เครื่อง Wet Test Meter ที่มีขนาด 30 ลิตรต่อรอบ (หรือ 1 ลูกบาศก์ฟุตต่อรอบ) หรืออาจใช้เครื่อง Spirometer ที่มีขนาดอย่างน้อย 400 ลิตร (หรือ 14 ลูกบาศก์ฟุต) หรือเทียบเท่าก็ได้ ควรมีการปรับเทียบเครื่อง Wet Test Meter ด้วยเครื่อง Spirometer เป็นระยะ เพื่อให้มั่นใจในความแม่นยำของเครื่อง Wet Test Meter



ภาพที่ 5-8 แสดงการจัดเรียงอุปกรณ์ในการปรับเทียบความถูกต้องของระบบเครื่องตรวจวัด

(2) เปิดเครื่องสูบอากาศของระบบเครื่องตรวจวัดนานประมาณ 15 นาที เพื่อเป็นการอุ่นเครื่องและทำให้ผิวด้านในของเครื่อง Wet Test Meter เปียกจนทั่วหมด โดยให้ระดับความดันที่มานอมิเตอร์ที่วัดคร่อมออริฟิสอยู่ในช่วงที่คาดว่าจะอ่านได้ในระหว่างการชักตัวอย่างจริงในภาคสนาม

(3) ให้ทำการตั้งค่ามานอมิเตอร์ที่วัดคร่อมออริฟิสอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้ดึงก๊าซผ่านเครื่อง Wet Test Meter และบันทึกค่าปริมาตร

อากาศที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของเครื่อง Wet Test Meter และอุณหภูมิที่ด้านขาเข้าและขาออกเครื่องวัด ปริมาตรอากาศแห้งในการตั้งค่าออริฟิสแต่ละครั้งให้ใช้ปริมาตรอากาศอย่างน้อย 0.14 ลูกบาศก์เมตร (หรือ 5 ลูกบาศก์ฟุต)

(4) ให้เลือกค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าออริฟิสที่ตั้งไว้ เพื่อกำหนดเป็นช่วงการใช้งานในภาคสนาม

(5) บันทึกข้อมูลทั้งหมดลงในแบบรายงานผลการปรับเทียบความถูกต้องของระบบเครื่องตรวจวัด (แบบ คพ.5-2) การตั้งค่าออริฟิสแต่ละครั้งให้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (DGM Calibration Factor; Y) และค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของแผ่นออริฟิส (Orifice Calibration Factor; $\Delta H_@$) โดยความคลาดเคลื่อนของค่า Y และค่า $\Delta H_@$ ที่ยอมรับได้ มีค่าเท่ากับ ± 0.02 และ ± 0.20 จากค่าเฉลี่ย ตามลำดับ

หมายเหตุ: *ควรทำการตรวจสอบรอยรั่วของระบบเครื่องตรวจวัดก่อนการปรับเทียบทุกครั้ง และในกรณีที่ใช้เครื่องสูบอากาศแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) วิธีการตรวจสอบรอยรั่วปกติอาจไม่สามารถตรวจพบรอยรั่วของเครื่องสูบอากาศได้ ดังนั้น ให้ทำการตรวจสอบรอยรั่ว ดังนี้:- ในการปรับเทียบความถูกต้องให้ใช้อัตราการสูบอากาศที่ 0.00057 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (หรือ 0.020 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) นานเป็นเวลา 10 นาที และเมื่อสิ้นสุดการปรับเทียบให้บันทึกค่าปริมาตรอากาศที่อ่านได้จากเครื่อง Wet Test Meter และเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง คำนวณหาอัตราการรั่วซึมของระบบโดยการนำค่าความแตกต่างของปริมาตรทั้งสองค่ามาหารด้วยสิบ โดยที่อัตราการรั่วซึมจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.00057 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (หรือ 0.020 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)*

6.3.2 การปรับเทียบความถูกต้องหลังการใช้งาน ให้ใช้ค่าออริฟิสค่าเดียวซึ่งเป็นค่าที่ใช้งานในภาคสนาม ทำการปรับเทียบ 3 ครั้ง ที่ค่าสุญญากาศสูงสุดที่ทำได้ในช่วงการเก็บตัวอย่าง การปรับค่าสุญญากาศให้ใช้วาล์วที่อยู่ระหว่างเครื่อง Wet Test Meter และเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง ให้คำนวณหาค่าเฉลี่ยของ

ค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง โดยถ้าค่าสัมประสิทธิ์แต่ละค่ามีค่าต่างกันเกินร้อยละ 5 ให้ทำการปรับเทียบระบบเครื่องตรวจวัดใหม่ตลอดช่วงค่าออริฟิสที่กำหนดไว้ตามขั้นตอนในข้อ 6.3.1

6.3.3 การแปรผันของการปรับเทียบความถูกต้องที่ยอมรับได้ (Acceptable Variation in Calibration) ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งที่คำนวณได้ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างมีค่าต่างกันเกินร้อยละ 5 ให้ยกเลิกตัวอย่างนั้น หรือใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่ให้ค่าปริมาตรตัวอย่างอากาศที่ต่ำกว่าในการคำนวณสำหรับตัวอย่างนั้นๆ

6.4 อุปกรณ์ให้ความร้อนท่อชักตัวอย่าง (Probe Heater) ให้ความร้อนแก่อากาศจนร้อนถึงอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดที่จะทำการเก็บตัวอย่าง ดึงอากาศร้อนนี้ผ่านท่อชักตัวอย่างที่อัตราการชักตัวอย่างอากาศที่ใช้ปกติ และวัดอุณหภูมิด้านขาเข้าและขาออกของท่อชักตัวอย่างที่ค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ต่างๆ กัน นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้กับค่าอุณหภูมิด้านขาออกของท่อชักตัวอย่างที่อุปกรณ์สามารถทำได้จริง

การปรับเทียบความถูกต้องอุปกรณ์ให้ความร้อนท่อชักตัวอย่าง ต้องทำก่อนเริ่มการใช้งานในภาคสนาม

6.5 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนใน 6.3 วิธีที่ 2 โดยให้ทำการปรับเทียบเทอร์โมมิเตอร์แบบหน้าปัด (Dial Thermometer) ที่ใช้สำหรับวัดด้านขาออกของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งและของชุดควบแน่นด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท (Mercury-in-glass)

6.6 บารอมิเตอร์ (Barometer) ให้ปรับเทียบความถูกต้องด้วยบารอมิเตอร์แบบปรอท (Mercury Barometer)

7. วิธีการวิเคราะห์ (Analytical Procedure)

ให้วิเคราะห์ฝุ่นที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง ดังนี้

7.1 กระดาษกรองใน Petri Dish ตัวอย่างหมายเลข 1

7.1.1 ให้อบแห้ง Petri Dish เก็บตัวอย่างหมายเลข 1 ในตู้ดูดความชื้นที่ใช้แคลเซียมซัลเฟตชนิดปราศจากน้ำ (Anhydrous Calcium Sulfate) เป็นสารดูดความชื้น เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง หรือกรณีที่ใช้ Petri Dish ทำด้วยแก้วอาจอบแห้งในตู้อบร้อนที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส (หรือ 220 องศาฟาเรนไฮต์) นานประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง แล้วจึงปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น

7.1.2 ถ่ายกระดาษกรองและฝุ่นที่ตกค้างใน Petri Dish ลงในจานแก้ว ชั่งน้ำหนักที่หักน้ำหนักออกแล้วชั่งน้ำหนักรวมของกระดาษกรองและฝุ่นจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม หรือไม่เกินร้อยละ 1 จากน้ำหนักที่ชั่งครั้งก่อน โดยในระหว่างการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้งซึ่งควรห่างกันไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง กระดาษกรองที่เก็บฝุ่นจะต้องอยู่ในตู้ดูดความชื้นตลอดเวลา

7.1.3 บันทึกผลน้ำหนักคงที่ที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม

7.2 ขวดเก็บตัวอย่างหมายเลข 2

7.2.1 ให้สังเกตระดับของของเหลวภายในขวดว่ามีการรั่วไหลระหว่างการขนย้ายหรือไม่ หากพบว่าปริมาณการรั่วไหลมีมากจนสังเกตเห็นได้ชัดให้ยกเลิกตัวอย่างนั้น

7.2.2 เตรียมภาชนะสำหรับชั่งน้ำหนัก โดยใช้บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ล้างด้วยอะซิโตน นำไปอบแห้งในตู้อบร้อนที่อุณหภูมิ 104 องศาเซลเซียส (หรือ 220 องศาฟาเรนไฮต์) นานประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ มีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม

จากน้ำหนักที่ชั่งครั้งก่อน ให้บันทึกผลน้ำหนักคงที่ของบีกเกอร์ที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม

7.3.3 ถ่ายของเหลวจากขวดเก็บตัวอย่างลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ในข้อ 7.3.2 ระเหยอะซิโตนในบีกเกอร์ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปอบแห้งในตู้ดูดความชื้นนาน 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ บันทึกผลน้ำหนักของบีกเกอร์และฝุ่นที่ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม

7.4 ขวดเก็บอะซิโตนแบลงค์ ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับขวดเก็บตัวอย่างหมายเลข 2 ในข้อ 7.3

การระเหยอะซิโตนในข้อ 7.3 และ 7.4 อาจทำที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องได้ แต่ให้ปฏิบัติด้วยความระมัดระวัง โดยให้ระเหยที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของอะซิโตนเพื่อป้องกันอะซิโตนร้อนจนเดือด เนื่องจากอะซิโตนเป็นสารไวไฟ และมีจุดวาบไฟต่ำ

8. การวิเคราะห์ข้อมูล และการคำนวณ (Data Analysis and Calculations)

ในระหว่างการคำนวณผล ให้คงจำนวนเลขนัยสำคัญไว้มากกว่าจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง และเมื่อได้ผลลัพธ์สุดท้ายของการคำนวณ ให้ปัดเลขนัยสำคัญตัวสุดท้ายตามหลักคณิตศาสตร์ เช่น สมมติว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4 ดังนั้น ค่าในระหว่างการคำนวณจะต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง และเมื่อสิ้นสุดการคำนวณ ผลลัพธ์สุดท้ายต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

8.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ (Nomenclature)

A_n = พื้นที่ภาคตัดขวางของหัวเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นตารางเมตร (หรือตารางฟุต)

B_{ws} = สัดส่วนปริมาณความชื้นของอากาศในปล่องโดยปริมาตร (ให้ใช้ข้อมูลจากวิธีที่ 4)

C_a = ความเข้มข้นของอะซิโตนแบลงค์ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot Tube

C_s = ความเข้มข้นฝุ่นของอากาศในปล่องที่สภาวะแห้ง และได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน (25 องศาเซลเซียส และ 760 มิลลิเมตรปรอท) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (หรือเกรนต่อลูกบาศก์ฟุต)

D_n = ขนาดหัวเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

I = ร้อยละของการเก็บตัวอย่างแบบไอโซไคเนติก

K_1 = 0.3921 องศาเคลวินต่อมิลลิเมตรปรอท สำหรับหน่วยเมตริก

= 17.93 องศาแรงคินต่อนิ้วปรอท สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_2 = 0.001356 ลูกบาศก์เมตรต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยเมตริก

= 0.04795 ลูกบาศก์ฟุตต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_3 = 0.001 กรัมต่อมิลลิกรัม สำหรับหน่วยเมตริก
= 0.0154 เกรนต่อมิลลิกรัม สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_4 = 0.00345 ((มม.ปรอท)(ลบ.ม.))/((มิลลิลิตร)(เคลวิน))
= 0.00267 ((นิ้วปรอท)(ลบ.ฟุต))/((มิลลิลิตร)(แรงคิน))

K_5 = 4.251 สำหรับหน่วยเมตริก
= 0.0929 สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_6 = 0.001356 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัม สำหรับหน่วยเมตริก
= 0.04795 ลูกบาศก์ฟุตต่อกรัม สำหรับหน่วยอังกฤษ

L_1 = อัตราการรั่วซึมที่สังเกตได้ในช่วงการตรวจสอบรอยรั่วก่อนเริ่มมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ เป็นครั้งแรก มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที (หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)

L_a = อัตราการรั่วซึมที่ยอมรับได้สูงสุดของการตรวจสอบรอยรั่วก่อนการชักตัวอย่าง หรือการตรวจสอบรอยรั่วหลังจากมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ มีค่าเท่ากับ 0.00057 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (หรือ 0.20 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) หรือร้อยละ 4 ของอัตราการชักตัวอย่างโดยเฉลี่ย ให้ใช้ค่าใดค่าหนึ่งที่มีค่าน้อยกว่า

L_i = อัตราการรั่วซึมที่สังเกตได้ในช่วงการตรวจสอบรอยรั่วก่อนมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ครั้งที่ i (โดยที่ i เท่ากับ 1, 2, 3...n) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที (หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)

L_p = อัตราการรั่วซึมที่สังเกตได้ในช่วงการตรวจสอบรอยรั่วหลังการชักตัวอย่าง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที (หรือลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)

m_a = น้ำหนักตกค้างของอะซิโตนหลังการระเหย มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม

m_n = น้ำหนักทั้งหมดของฝุ่นที่เก็บได้ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม

m_w = น้ำหนักของไอน้ำที่ควบแน่นในชุด Impinger มีหน่วยเป็นกรัม

M_d = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย มีหน่วยเป็นกรัมต่อกรัม-โมล หรือปอนด์ต่อปอนด์-โมล

M_s = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง มีหน่วยเป็นกรัมต่อกรัม-โมล (ให้ใช้ข้อมูลจากวิธีที่ 3) = $M_d (1 - B_{ws}) + M_W B_{WS}$

M_w = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ มีค่าเท่ากับ 18.0 กรัมต่อกรัม-โมล (หรือ 18.0 ปอนด์ต่อปอนด์-โมล)

P_{bar} = ความดันบรรยากาศ ณ จุดเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท (หรือนิ้วปรอท)

P_g = ความดันสถิตของอากาศในปล่อง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

P_m = ความดันสถิตของตัวอย่างอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

P_s = ความดันสัมบูรณ์ของอากาศในปล่อง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท (หรือนิ้วปรอท) (ให้ใช้ข้อมูลจากวิธีที่ 2)

= $P_{bar} \pm P_g$

P_{std} = ความดันสัมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 29.92 นิ้วปรอท)

Q_m = อัตราการชักตัวอย่างอากาศผ่านเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

R = ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ มีค่าเท่ากับ
0.06236 [(มิลลิเมตรปรอท)(ลูกบาศก์เมตร)]/[(กรัม-โมล)(เคลวิน)]
(หรือ 21.85 [(นิ้วปรอท)(ลูกบาศก์ฟุต)]/[(ปอนด์-โมล)(แรงคิน)])

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์โดยเฉลี่ยของตัวอย่างอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมีหน่วยเป็นองศาเคลวิน (หรือองศาแรงคิน)

T_s = อุณหภูมิสัมบูรณ์โดยเฉลี่ยของอากาศในปล่อง มีหน่วยเป็นองศาเคลวิน (หรือองศาแรงคิน)

T_{std} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 298 องศาเคลวิน (หรือ 537 องศาแรงคิน)

V_a = ปริมาตรของอะซิโตนแบลงค์ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_{aw} = ปริมาตรของน้ำล้างอะซิโตนที่ใช้ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_m = ปริมาตรอากาศแห้งที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

V_{lc} = ปริมาตรของน้ำที่อยู่ใน Impinger และซิลิกาเจล มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

$V_{m(std)}$ = ปริมาตรอากาศแห้งที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งที่สภาวะมาตรฐาน (25 องศาเซลเซียส และ 760 มิลลิเมตรปรอท) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

$V_{w(std)}$ = ปริมาตรของไอน้ำที่ควบแน่นในชุด Impinger ที่สภาวะมาตรฐาน (25 องศาเซลเซียส และ 760 มิลลิเมตรปรอท) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

V_s = ความเร็วของอากาศในปล่อง (ให้คำนวณโดยใช้สมการในวิธีที่ 2) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (หรือฟุตต่อวินาที)

W_a = น้ำหนักตกค้างของน้ำล้างอะซิโตน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัม

Y = ค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง

Y_c = ค่าการตรวจสอบสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง

ΔH = ค่าความแตกต่างของความดันเฉลี่ยคร่อมออริฟิส มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรน้ำ (หรือนิ้วน้ำ)

Δp_{avg} = ค่าความแตกต่างของความดันเนื่องจากความเร็วของอากาศในปล่อง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรน้ำ (ให้ใช้ข้อมูลจากวิธีที่ 2)

$\Delta H_@$ = ค่าความแตกต่างของความดันคร่อมออริฟิส มีหน่วยเป็นนิ้วน้ำ ที่สภาวะอัตราการไหลของอากาศ เท่ากับ 0.75 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ที่สภาวะมาตรฐาน 537 องศาแรงคิน และ 29.92 นิ้วปรอท (หรือ 298 องศาเคลวิน และ 760 มิลลิเมตรปรอท)

ρ_a = ความหนาแน่นของอะซิโตน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (ให้ดูฉลากที่ติดบนขวดสารเคมี)

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ มีค่าเท่ากับ 0.9982 กรัมต่อมิลลิลิตร (หรือ 0.002201 ปอนด์ต่อมิลลิลิตร)

θ = เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นนาที

θ_1 = ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เริ่มต้นเก็บตัวอย่างจนถึงเมื่อมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ เป็นครั้งแรก มีหน่วยเป็นนาที

θ_i = ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างระหว่างการเปลี่ยนอุปกรณ์แต่ละครั้งโดยเริ่มจากช่วงเวลาระหว่างเมื่อมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ครั้งแรกจนถึงครั้งที่สอง มีหน่วยเป็นนาที

θ_p = ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เมื่อมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ครั้งสุดท้าย (ครั้งที่ n) จนถึงเมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นนาที

0.0313 = (0.0557 นิ้วปรอท/องศาแรงคิน) (0.75 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)^2

0.0011 = (2.550 มิลลิเมตรปรอท/องศาแรงคิน) (0.021 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)^2

10 = ระยะเวลาในการทดสอบแต่ละครั้ง มีหน่วยเป็นนาที

13.6 = ความถ่วงจำเพาะของปรอท

60 = วินาทีต่อนาที

100 = ร้อยละ

8.2 ขนาดหัวเก็บตัวอย่าง คำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$D_n = \sqrt{\frac{6.0758 Q_m P_m}{T_m C_p (1-B_{ws})}} \sqrt{\frac{T_s M_s}{P_s (\Delta p)_{avg}}}$$ สมการที่ 5-1

เมื่อ 6.0758 สำหรับหน่วยเมตริก (หรือ 0.0358 สำหรับหน่วยอังกฤษ)

8.3 ค่าความแตกต่างของความดันคร่อมออริฟิส คำนวณโดยใช้สมการดังนี้

$$\Delta H_@ = 0.0011 \Delta H \frac{T_m \theta^2}{P_{bar} Y^2 V^2_m}$$ สมการที่ 5-2

เมื่อ 0.0011 สำหรับหน่วยเมตริก (หรือ 0.0313 สำหรับหน่วยอังกฤษ)

8.4 ความแตกต่างของความดันเฉลี่ยคร่อมออริฟิส

$$\Delta H = \left[8.0089\, D_n^4\, \Delta H_@\, C_p^2\, (1-B_{ws})^2\, \frac{M_d\, T_m\, P_s}{M_s\, T_s\, P_m} \right] \Delta P \qquad \text{สมการที่ 5-3}$$

เมื่อ 8.0089 สำหรับหน่วยเมตริก (หรือ 846.72 สำหรับหน่วยอังกฤษ)

8.5 ค่าการตรวจสอบสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง

$$Y_c = \frac{10}{V_m} \left[\frac{0.0011 T_m}{P_{bar}} \right]^{1/2} \qquad \text{สมการที่ 5-4}$$

เมื่อ 0.0011 สำหรับหน่วยเมตริก (หรือ 0.0313 สำหรับหน่วยอังกฤษ)

8.6 อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง และความดันลดเฉลี่ยคร่อมออริฟิส (ดูจากตารางข้อมูลในแบบ คพ.5-1)

8.7 ปริมาตรอากาศแห้ง ให้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส และ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 68 องศาฟาเรนไฮต์ และ 29.92 นิ้วปรอท) โดยใช้สมการ 5-5

$$V_{m(std)} = V_m Y \frac{T_{std} \left[P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6} \right]}{T_m P_{std}}$$

$$= K_1 V_m Y \frac{P_{bar} + \left[\frac{\Delta H}{13.6} \right]}{T_m} \qquad \text{สมการที่ 5-5}$$

ถ้า L_p หรือ L_i มีค่าไม่เกิน L_a ให้คำนวณค่า $V_{m(std)}$ โดยใช้สมการ 5-5 แต่ถ้า L_p หรือ L_i มีค่าเกิน L_a ให้คำนวณค่า $V_{m(std)}$ โดยแทนคำ V_m ในสมการ 5-5 ด้วยเทอมข้างล่าง ดังต่อไปนี้

(ก) กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ ระหว่างการเก็บตัวอย่าง

$$(v_m - (L_p - L_a) \theta)$$

(ข) กรณีที่มีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ ระหว่างการเก็บตัวอย่าง ให้แทนค่าเฉพาะ L_i หรือ L_p ที่มีค่าเกิน L_a

$$\left[V_m - (L_1 - L_a) \theta_1 - \sum_{i=2}^{n} (L_1 - L_a) \theta_i - (L_p - L_a) \theta_p \right]$$

8.8 ปริมาตรของไอน้ำที่ควบแน่น

$$V_{w(std)} = \frac{V_{lc} \rho_w RT_{std}}{M_w P_{std}} = K_2 V_{lc}$$ สมการที่ 5-6

$$V_{w(std)} = \frac{RT_{std}}{M_w P_{std}} \quad m_w$$

8.9 ปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง

$$B_{ws} = \frac{V_{w(std)}}{V_{m(std)} - V_{w(std)}}$$ สมการที่ 5-7

กรณีที่อากาศในปล่องมีสภาวะอิ่มตัว ให้คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นของอากาศในปล่องโดย 2 วิธี คือ (1) ใช้สมการ 5-7 และ (2) ใช้สมมติฐานของสภาวะอิ่มตัว โดยให้เลือกใช้ค่าปริมาณความชื้นจากวิธีที่ให้ค่าที่ต่ำกว่า การคำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สมมติฐานของสภาวะอิ่ม โดยใช้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในปล่องจากตารางข้อมูลในแบบ คพ.5-1 และให้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิมีความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส (หรือ 2 องศาฟาเรนไฮต์)

8.10 ความเข้มข้นของอะซิโตนแบลงค์

$$C_a = \frac{m_a}{V_a \rho_a}$$ สมการที่ 5-8

8.11 น้ำหนักตกค้างของน้ำล้างอะซิโตน

$$W_a = C_a V_{aw} \rho_a$$ สมการ 5-9

8.12 น้ำหนักทั้งหมดของฝุ่น ให้คำนวณจากผลรวมของน้ำหนักฝุ่นที่ได้จาก Petri Dish เก็บตัวอย่างหมายเลข 1 และจากขวดเก็บตัวอย่างหมายเลข 2 โดยหักน้ำหนักตกค้างของน้ำล้างอะซิโตนออก น้ำหนักตกค้างของน้ำล้างอะซิโตนต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 0.001 ของน้ำหนักของน้ำล้างอะซิโตน

8.13 ความเข้มข้นของฝุ่นของอากาศในปล่อง

$$C_S = \frac{K_3 m_n}{V_{m(std)}}$$ สมการที่ 5-10

8.14 แฟคเตอร์การแปลงหน่วย (Conversion Factors)

จากเดิม	แปลงเป็น	คูณด้วย
ลูกบาศก์ฟุต	ลูกบาศก์เมตร	0.02832
เกรน	มิลลิกรัม	64.80004
เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	2288.4
มิลลิกรัม	กรัม	0.001
เกรน	ปอนด์	1.429×10^{-4}

8.15 ค่าการเบี่ยงเบนจากไอโซไคเนติก (Isokinetic Variation)

8.15.1 คำนวณจากข้อมูลดิบ (Raw Data)

$$I = \frac{100 T_s \left[K_4 V_{lc} + \left(\frac{V_m Y}{T_m} \right) \left(P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6} \right) \right]}{60 V_s \Theta P_s A_n}$$ สมการที่ 5-11

8.15.2 คำนวณจากค่ามัธยฐาน (Intermediate Values)

$$I = \frac{100 T_s V_{m(std)} P_{std}}{60 T_{std} V_s \Theta A_n P_s (1 - B_{ws})}$$ สมการที่ 5-12

$$I = K_5 \frac{T_s V_{m(std)}}{P_s V_s A_n \Theta (1 - B_{ws})}$$

8.15.3 หากค่า I ที่คำนวณได้มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 90 และ 110 ให้ถือว่าผลการเก็บตัวอย่างอากาศนี้สามารถยอมรับได้ แต่หากค่า I มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 90 หรือมากกว่าร้อยละ 110 ให้ยกเลิกผลการเก็บตัวอย่างนั้น และเริ่มต้นทำการเก็บตัวอย่างใหม่

8.16 ความเร็วและอัตราการไหลของอากาศในปล่อง (Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate) ให้ใช้สมการตามที่ระบุไว้ในวิธีที่ 2

9. ขั้นตอนวิธีการอื่น (Alternative Procedures)

9.1 กรณีใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งเป็นอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐาน (Dry Gas Meter as a Calibration Standard) อาจให้มีการใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งเป็นอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐานแทนการใช้เครื่อง Wet Test Meter ตามที่อธิบายไว้ในข้อ 6.3 ได้ หากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งได้รับการปรับเทียบความถูกต้องอย่างเป็นระยะก่อนเริ่มการใช้งาน ดังนี้

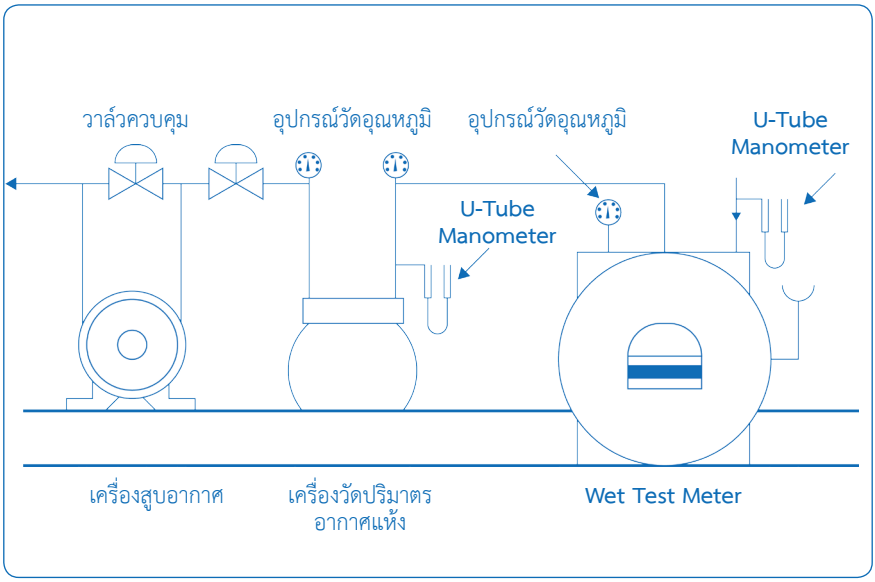
9.1.1 การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมาตรฐาน (Standard Dry Gas Meter Calibration)

(1) เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งที่จะใช้เป็นอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐาน ควรมีคุณภาพที่ดีและมีขนาดที่เหมาะสม เช่น ขนาด 3 ลิตรต่อรอบ (หรือ 0.1 ลูกบาศก์ฟุตต่อรอบ) เป็นต้น การปรับเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์ปรับเทียบ

มาตรฐานนี้ โดยปกติจะใช้เครื่อง Wet Test Meter ขนาด 30 ลิตรต่อรอบ (หรือ 1 ลูกบาศก์ฟุตต่อรอบ) และสามารถวัดปริมาตรที่คลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1.0 โดยเครื่อง Wet Test Meter นี้ ควรมีการทดสอบความแม่นยำในการตรวจวัดเปรียบเทียบกับเครื่อง Spirometer หรือเครื่อง Liquid Displacement Meter

อาจใช้เครื่อง Spirometer ที่มีขนาดอย่างน้อย 400 ลิตร (หรือ 14 ลูกบาศก์ฟุต) หรือเทียบเท่าในการปรับเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐานนี้ก็ได้

(2) จัดเตรียมอุปกรณ์ปรับเทียบดังภาพที่ 5-9 โดยอาจใช้เครื่อง Spirometer หรือเทียบเท่า แทนเครื่อง Wet Test Meter ได้ ให้เปิดเครื่องสูบอากาศที่อัตรา 10 ลิตรต่อนาที (หรือ 0.35 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) อย่างน้อยประมาณ 5 นาที เพื่อปรับสภาพผิวด้านในของเครื่อง Wet Test Meter พยายามให้ค่าความดันลดที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ด้านขาเข้าของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมีค่าน้อยที่สุด คือ ไม่เกิน 100 มิลลิเมตรน้ำ (หรือ 4 นิ้วน้ำ) ที่อัตรา 30 ลิตรต่อนาที (หรือ 1 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) โดยการใช้ข้อต่อและท่อตรงขนาดใหญ่ขึ้น



ภาพที่ 5-9 แสดงการจัดเรียงอุปกรณ์ในการปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง

(3) บันทึกข้อมูลลงในแบบรายงานผลการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมาตรฐาน (แบบ คพ. 5-3) ให้ทำการปรับเทียบที่อัตราการสูบอากาศต่างๆ กันอย่างน้อย 5 ค่า โดยที่อัตราการสูบอากาศแต่ละค่าให้ทำการปรับเทียบ 3 ครั้ง ค่าอัตราการสูบอากาศควรอยู่ในช่วง 10 - 34 ลิตรต่อนาที (หรือ 0.35 - 1.2 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) หรือให้มากกว่าค่าที่คาดว่าจะใช้ในการเก็บตัวอย่างจริง

(4) ในการปรับเทียบแต่ละครั้ง ให้คำนวณค่าอัตราการสูบอากาศ (Q) และค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (DGM Coefficient; Y_{ds}) จากค่าปริมาตรที่อ่านได้จากเครื่อง Wet Test Meter (V_w) และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับเทียบแต่ละครั้ง โดยใช้สมการดังนี้

$$Q = K_1 \frac{P_{bar} V_w}{(t_w + t_{std})\theta} \qquad \text{สมการ 5-13}$$

$$Y_{ds} = \frac{V_w}{V_{ds}} \frac{(t_{ds} + t_{std})}{(t_w + t_{std})} \frac{P}{\left(P_{bar} + \frac{\Delta p}{13.6}\right)} \qquad \text{สมการ 5-14}$$

เมื่อ K_1 = 0.3921 องศาเคลวิน/มิลลิเมตรปรอท สำหรับหน่วยเมตริก
= 17.95 องศาแรงคิน/นิ้วปรอท สำหรับหน่วยอังกฤษ

V_w = ปริมาตรที่อ่านได้จากเครื่อง Wet Test Meter มีหน่วยเป็นลิตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

V_{ds} = ปริมาตรที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นลิตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

T_{ds} = อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (หรือองศาฟาเรนไฮต์)

T_{adj} = 273 องศาเซลเซียส สำหรับหน่วยเมตริก
= 460 องศาฟาเรนไฮต์ สำหรับหน่วยอังกฤษ

T_w = อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของเครื่อง Wet Test Meter มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (หรือองศาฟาเรนไฮต์)

P_{bar} = ความดันบรรยากาศ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท (หรือนิ้วปรอท)

Δp = ค่าความแตกต่างของความดันที่ด้านขาเข้าของเครื่องวัดปริมาตรอากาศ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท (หรือนิ้วปรอท)

θ = ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับเทียบแต่ละครั้ง มีหน่วยเป็นนาที

(5) เปรียบเทียบค่า Y_{ds} ทั้งสามค่าที่คำนวณได้ ที่แต่ละค่าอัตราการสูบอากาศ โดยค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดไม่ควรมีค่าแตกต่างกันเกิน 0.030 หากมีค่าเกินกว่านี้ ให้ทำการปรับเทียบทั้ง 3 ครั้งซ้ำใหม่อีกครั้ง นอกจากนี้ ค่า Y_{ds} ควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.95 - 1.05 โดยไม่ควรใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งนี้เป็นอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐาน ถ้าหากค่า Y_{ds} ที่คำนวณได้มีค่านอกเหนือจากช่วงที่กำหนดไว้นี้ ให้นำค่า Y_{ds} ทั้งสามค่ามาหาค่าเฉลี่ยที่แต่ละค่าอัตราการสูบอากาศ ดังนั้นจะมีค่าเฉลี่ยของ Y_{ds} จำนวนทั้งหมด 5 ค่า

(6) สร้างกราฟปรับเทียบมาตรฐาน (Calibration Curve) ระหว่างค่า Y_{ds} กับค่า Q ของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง ให้ใช้กราฟนี้อ้างอิงสำหรับการใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งนี้ในการปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งอื่นต่อไป และใช้ในการประเมินว่าต้องมีการปรับเทียบซ้ำ (Recalibration) หรือไม่

9.1.2 การปรับเทียบความถูกต้องซ้ำ (Standard Dry Gas Meter Recalibration)

(1) ให้ทำการปรับเทียบเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมาตรฐานซ้ำด้วยเครื่อง Wet Test Meter หรือเครื่อง Spirometer ปีละ 1 ครั้ง หรือเมื่อมีการใช้งานครบ 200 ชั่วโมงอย่างใดอย่างหนึ่งที่ถึงกำหนดก่อน ทั้งนี้ หากมีการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าวอย่างผิดวัตถุประสงค์ อาจจำเป็นต้องทำการปรับเทียบซ้ำบ่อยครั้งขึ้น

(2) ในการปรับเทียบซ้ำตามกำหนดในข้อ 9.1.2 (1) อาจทำการทดสอบเบื้องต้นก่อน โดยให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับการปรับเทียบปกติ แต่ให้ทดสอบที่ค่าอัตราการสูบอากาศเพียง 2 ค่าเท่านั้น (โดยปกติใช้ที่ 14 และ 30 ลิตรต่อนาที (หรือ 0.5 และ 1.0 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งที่อัตราการสูบอากาศสองค่านี้ จากนั้นให้เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สองค่านี้กับค่าที่อ่านได้จากกราฟปรับเทียบมาตรฐานของเครื่องวัดปริมาตรนี้ โดยหากมีค่าแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 1.5 ก็ไม่จำเป็นต้องทำการปรับเทียบซ้ำจนกระทั่งถึงกำหนดการปรับเทียบซ้ำครั้งต่อไป

9.2 กรณีใช้แผ่นออริฟิสวิกฤตเป็นอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐาน (Critical Orifices as Calibration Standards) อาจให้มีการใช้แผ่นออริฟิสวิกฤตเป็นอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐานแทนการใช้เครื่อง Wet Test Meter เช่นเดียวกับข้อ 9.1 ได้ หากแผ่นออริฟิสวิกฤตได้รับการคัดเลือกและการปรับเทียบความถูกต้อง ดังนี้

9.2.1 การคัดเลือกแผ่นออริฟิสวิกฤต (Selection of Critical Orifices) กรณีใช้ Hypodermic Needles หรือ Stainless Steel Needle Tubings เป็นแผ่นออริฟิสวิกฤต (ทั้งนี้ อาจใช้แผ่นออริฟิสแบบอื่นแทนได้ หากมีค่าสุญญากาศวิกฤต (Critical Vacuum) ตามที่อธิบายไว้ในข้อ 9.2.2 (2.3)) ให้เลือกแผ่นออริฟิสจำนวน 5 แผ่น ที่มีขนาดครอบคลุมช่วงอัตราการไหลระหว่าง 10 - 34 ลิตรต่อนาที (หรือ 0.35 - 1.2 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) หรือช่วงอัตราการไหลที่คาดว่าจะมีการใช้งานในภาคสนาม โดยในจำนวนนี้ให้มี 2 แผ่น ใช้สำหรับค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของช่วงอัตราการไหลที่คาดว่าจะมีการใช้งาน ซึ่งโดยปกติจะใช้เป็นแผ่นสำรอง (Spares) และให้มีอย่างน้อย 3 แผ่น ในการปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง ค่าอัตราการไหลโดยประมาณที่ขนาดของ Needles และความยาวของ Tubings ต่างๆ กัน

9.2.2 การปรับเทียบแผ่นออริฟิสวิกฤต (Critical Orifice Calibration) ให้ใช้เครื่องตรวจวัด (Meter Box Configuration) ของวิธีที่ 5 พร้อมด้วยเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งตามข้อ 2.1.1 (9) ในการปรับเทียบแผ่นออริฟิสวิกฤต

(1) การปรับเทียบเครื่องตรวจวัด (Calibration of Meter Box) ให้ปรับเทียบแผ่นออริฟิสวิกฤตในเครื่องตรวจวัดที่จะใช้จริง (ไม่ควรมีข้อต่อใดๆ ประกอบที่ด้านขาเข้าของแผ่นออริฟิส)

(1.1) ก่อนการปรับเทียบเครื่องตรวจวัด ให้ทำการตรวจสอบรอยรั่วดังนี้ เปิดวาล์วปรับอัตราการไหลแบบหยาบจนสุด และปิดวาล์วปรับอัตราการไหลแบบละเอียดให้สนิท จากนั้นอุดท่อด้านขาเข้า แล้วจึงเปิดเครื่องสูบอากาศ ให้สังเกตว่ามีการรั่วซึมหรือไม่ โดยอัตราการรั่วซึมต้องมีค่าเป็นศูนย์ (นั่นคือ ต้องไม่เห็นเข็มหน้าปัดเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งขยับเป็นเวลา 1 นาที)

(1.2) ให้ตรวจสอบรอยรั่วชุดเก็บตัวอย่างอากาศระหว่างเครื่องสูบอากาศ และเครื่องวัดค่าความแตกต่างของความดันตกคร่อมออริฟิส โดยปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4.4.1

(1.3) หลังจากผ่านการตรวจสอบรอยรั่วแล้ว ให้ทำการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องตรวจวัดตามขั้นตอนในข้อ 6.3 และให้มั่นใจว่าเครื่อง Wet Test Meter เป็นไปตามข้อกำหนดในข้อ 9.1.1 ให้ตรวจสอบระดับน้ำของเครื่อง Wet Test Meter และบันทึกค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Y)

(2) การปรับเทียบความถูกต้องแผ่นออริฟิสวิกฤต (Calibration of Critical Orifices)

(2.1) ให้เดินเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งเป็นเวลานาน 15 นาที เพื่อทำให้มีอุณหภูมิเดียวกันทั่วทั้งเครื่อง

(2.2) ตรวจสอบรอยรั่วของระบบ เช่นเดียวกับในข้อ 9.2.2 โดยอัตราการรั่วซึมต้องมีค่าเป็นศูนย์

(2.3) ก่อนการปรับเทียบความถูกต้องแผ่นออริฟิสวิกฤต ให้ประเมินความเหมาะสมและค่าสุญญากาศที่ใช้จริงในภาคสนาม ดังนี้ เปิดเครื่องสูบอากาศและเปิดวาล์วปรับอัตราการไหลแบบหยาบจนสุด จากนั้น ค่อยๆ ปรับวาล์วอัตราการไหลแบบละเอียดจนอ่านค่าสุญญากาศได้ประมาณครึ่งหนึ่งของค่าความดันบรรยากาศ ให้สังเกตค่าที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ วัดค่าความดันตกคร่อมออริฟิสที่ตู้เครื่องตรวจวัด (ΔH) โดยค่อยๆ ปรับให้ค่าสุญญากาศเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งค่าที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์มีค่าคงที่ ให้บันทึกค่าคงที่นี้เป็นค่าสุญญากาศวิกฤต (Critical Vacuum) สำหรับแผ่นออริฟิสนั้นๆ หากไม่สามารถปรับให้ได้ค่าสุญญากาศวิกฤตคงที่ ห้ามใช้แผ่นออริฟิสนั้นเป็นแผ่นออริฟิสวิกฤต เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจสอบรอยรั่วแล้วค่อยๆ ปล่อยจุกยางที่อุดปลายท่อชักตัวอย่างออกอย่างช้าๆ แล้วจึงปิดเครื่องสูบอากาศ

(2.4) อ่านค่าจากบารอมิเตอร์ในข้อ 2.1.2 ให้บันทึกค่าความดันบรรยากาศ (P_{bar}) ในหน่วยมิลลิเมตรปรอท (หรือนิ้วปรอท)

(2.5) ให้ทำการทดสอบซ้ำที่ค่าสุญญากาศสูงกว่าค่าสุญญากาศวิกฤต 25 - 50 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 1 - 2 นิ้วปรอท) โดยในการทดสอบแต่ละครั้งให้ใช้เวลาอย่างน้อย 5 นาที และค่าปริมาตรที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงต้องครบรอบหมุนของเครื่องวัดปริมาตร นอกจากนี้ช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้งไม่ควรต่างกันเกิน 3 วินาที (รวมระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนอุณหภูมิของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง) เพื่อให้ K' มีค่าต่างกันไม่เกินร้อยละ ± 0.5 (ดูสมการ 5-15) ให้บันทึกข้อมูลลงในแบบ คพ. 5-4

(2.6) คำนวณหาค่า K' โดยใช้สมการ 5-15

$$K' = \frac{K_1 Y_m Y \left(P_{bar} + \frac{\Delta H}{13.6}\right)\sqrt{T_{amb}}}{P_{bar} T_m \theta}$$ สมการ 5-15

เมื่อ K' = ค่าสัมประสิทธิ์ของแผ่นออริฟิสวิกฤต (Critical Orifice Coefficient) มีหน่วยเป็น

[(ลบ.ม.)(เคลวิน)$^{1/2}$]/[(มม.ปรอท)(นาที)] สำหรับหน่วยเมตริก

[(ลบ.ฟ.)(แรงคิน)$^{1/2}$]/[(นิ้วปรอท)(นาที)]} สำหรับหน่วยอังกฤษ

T_{amb} = อุณหภูมิบรรยากาศสัมพัทธ์ มีหน่วยเป็นเคลวิน (หรือแรงคิน) ให้คำนวณค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่า K' โดยค่า K' แต่ละค่าไม่ควรแตกต่างจากค่าเฉลี่ยเกินร้อยละ ± 0.5

9.2.3 การใช้แผ่นออริฟิสวิกฤตเป็นอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐาน (Using the Critical Orifices as Calibration Standards)

(1) บันทึกค่าความดันบรรยากาศ

(2) ให้ปรับเทียบความถูกต้องระบบเครื่องตรวจวัดตามขั้นตอนในข้อ 9.2.2 และบันทึกข้อมูลลงในแบบ คพ. 5-5

(3) คำนวณค่าปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐานที่ผ่านเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งและแผ่นออริฟิสวิกฤต และค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Y) โดยใช้สมการข้างล่างนี้

$$V_{m(std)} = K_1 V_m Y \left[\frac{P_{bar} + \left[\frac{\Delta H}{13.6} \right]}{T_m} \right] \qquad \text{สมการที่ 5-16}$$

$$V_{cr(std)} = K' \frac{P_{bar}\,\Theta}{T_{amd}} \qquad \text{สมการที่ 5-17}$$

$$Y = \frac{V_{cr(std)}}{V_{m(std)}} \qquad \text{สมการที่ 5-18}$$

เมื่อ $V_{cr(std)}$ = ปริมาตรตัวอย่างอากาศผ่านแผ่นออริฟิสวิกฤต และได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

K_1 = 0.3921 เคลวิน/มิลลิเมตรปรอท สำหรับหน่วยเมตริก หรือ 17.95 องศาแรงคิน/นิ้วปรอท สำหรับหน่วยอังกฤษ

(4) หาค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้อง เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งที่ค่าอัตราการไหลแต่ละค่าโดยค่าของสัมประสิทธิ์ การปรับเทียบแต่ละค่าไม่ควรต่างจากค่าเฉลี่ยเกินร้อยละ ± 2 ที่แต่ละค่าอัตราการไหล

(5) การประเมินความจำเป็นในการทำการปรับเทียบแผ่นออริฟิสวิกฤตซ้ำ ให้เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Y) ที่ได้จากการใช้แผ่นออริฟิส 2 แผ่นที่มีขนาดใกล้กัน เช่น ถ้าต้องการทดสอบแผ่นออริฟิสขนาด 13/2.5 ให้ใช้แผ่นออริฟิสขนาด 12/10.2 และ 13/5.1 โดยหากค่า Y ที่ได้จากการใช้แผ่นออริฟิสวิกฤตใดๆ มีค่าต่างจากค่าอื่นเกินร้อยละ 2 ให้ทำการปรับเทียบความถูกต้องแผ่นออริฟิสวิกฤตซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 9.2.2

10. การรายงานผล (Reporting)

การรายงานผลการหาปริมาณการระบายฝุ่นละอองให้จัดทำรายงานตามแบบและมีรายละเอียดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ดังนี้

10.1 ผลการชักตัวอย่างอากาศ

10.1.1 ข้อมูลภาคสนามในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองให้ใช้แบบ คพ. 5-1

10.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณฝุ่นละอองและปริมาณความชื้น

10.2.1 ผลการชั่งน้ำหนักให้ใช้แบบ คพ. 5-1

10.2.2 ผลการหาปริมาณฝุ่นละอองและปริมาณความชื้นให้ใช้แบบ คพ. 5-1

10.3 ผลการปรับเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์ตรวจวัด

10.3.1 ข้อมูลการปรับเทียบความถูกต้องของระบบเครื่องตรวจวัดให้ใช้แบบ คพ. 5-2

10.3.2 ข้อมูลการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งให้ใช้แบบ คพ. 5-3

10.3.3 ข้อมูลในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ K' ให้ใช้แบบ คพ. 5-4

10.3.4 ข้อมูลในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ Y ของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งให้ใช้แบบ คพ. 5-5

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

แบบ คพ. 5-1 แบบบันทึกข้อมูลการหาปริมาณการระบายฝุ่นละออง

Plant : ..... Date : .....

Plant Location : .....

Sampling Location : ..... Run No : .....

Sample Team Operator : .....

Note :

Min. Total sample gas volume :

Min. Gas sampling time : 2 min / Sampling point

Leak Test :

Pre-test leak rate: .....cfm @.....15.....in Hg

Post-test leak rate: .....cfm @.....in Hg

(Leak rate must be less than 0.02 cfm or 4% of sampling rate)

Time: Start.....Finish.....Duration.....min

Avg. Square root of Velocity pressure of stack gas ($\sqrt{\Delta p}$) avg : .....in H_2O ***(Method 2)***

Orifice Pressure Differential @ 0.75 cfm, std. ($\Delta H_@$): .....in H_2O

Pitot tube coefficient (C_p) : ..... Dry Gas Meter Calibrationm Factor (Y) : .....

Gas Composition : $\%O_2$..... $\%CO_2$..... Moisture content (B_{ws}) : ..... ***(Method 4)***

Molecular weight of stack gas : Wet basis (M_s) : ..... Dry basis (M_d) : ..... ***(Method 3)***

Assumed volumetric flow rate through meter (Q_m) : .....ft^3/min

Absolute pressure at meter (P_m) : .....in Hg Absolute pressure at stack (P_s) : .....in Hg

Absolute temperature at meter (T_m) : .....°R Absolute temperature at stack (T_s) : .....°R

Nozzle diameter (Calculated) : .....mm Nozzle diameter (Actual) (D_n) : .....mm

Reduced terms in isokinetic equation (K) : .....

Ambient temperature : .....°F Barometric pressure (P_b) : .....in Hg

Traverse Point No.	Sampling Time θ (min)	Dry Gas Meter Reading (ft^3)	Velocity Press. ΔP (in H_2O)	Office Press. Differntial ΔH (in H_2O)	Stack Temp T_s (°F)	Probe Temp (°F)	Hot Box Temp (248 ±25) (°F)	Impgr. Exit Temp (<68) (°F)	Dry Gas Meter Temp		Vacuum (in-Hg)	P_g (in H_2O)
									T_m Inlet (°F)	T_m Outlet (°F)		
	Total =	$\sum V_m$ =	$\overline{\sqrt{\Delta P}}$ =	$\Delta\overline{H}$ =	$\overline{T}_s$ =				$\overline{T}_s$ =			$\overline{P}_g$ =

% Isokinetic : _____

Plant : ..... Date : .....

Sampling Location : ..... Run No : .....

Weight (g)	Filter _____	Impinger 1	Impinger 2	Impinger 3	Impinger 4	Total (m_w)
Initial						
Final						
Difference						

Standard volume of dry sample gas ($V_{m\,std}$) = $V_m * Y * (T_{std} / P_{std}) * (P_m / T_m)$ *where* : $P_m = P_b + [(\Delta H)_{avg} / 13.6]$

= $V_m * Y * (17.95\ ^{\circ}R / \text{in Hg}) * P_m / T_m$

= _____

= _____ ft^3

Standard volume of water vapor condensed and collected in impingers ($V_{w\,std}$) = $(0.04795\ ft^3/g) * m_w$

= _____

= _____ ft^3

Moisture content (B_{ws}) = $100\% [(V_{w\,std}] / [(V_{w\,std} + (V_{m\,std}]$

= _____

= _____ %

5

แบบ คพ. 5-2 แบบรายงานผลการปรับเทียบความถูกต้องของระบบเครื่องวัด

Date : _____ Metering System Identification : _____

Barometric pressure, P_b = _____ in. Hg

Orifice manometer setting (H in. H_2O)	Spirometer (wet meter) gas volume, (V_w, ft^3)	Dry gas meter volume,(V_m, ft^3)	Temperatures				Time (min)
			Spirometer (wet meter) (T_w, °F)	Dry Gas Meter			
				Inlet (T_{11}, °F)	Outlet (T_O, °F)	Average (T_m, °F)	

Calculations

ΔH (in H_2O)	Y				ΔH@		
Average							

Y = Ratio of reading of wet test meter to dry test meter; tolerance for individual values ± 0.02 from average.

*H@ = Orifice pressure differential that equates to 0.75 cfm of air @ 68 °F and 29.92 inches of mercury, in. H_2O; tolerance for individual values ± 0.20 from average.

แบบ คพ. 5-3 แบบรายงานข้อมูลการปรับเทียบความถูกต้องของระบบเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมาตรฐาน

Date : _____

Dry Gas Meter Identification : _____

Barometric Pressure (P) : _____in. Hg

Approximate Flow Rate (Q) cfm	Spirometer (Wet Meter) Gas Volume (V_s) ft^3	Dry Gas Meter Volume (V_{ds})	Temperatures				Dry Gas Meter Pressure (Δp) in. H_2O	Time (q) ft^3	Flow Rate (Q) cfm	Meter Coefficient (Y_{ds})	Average Meter Coefficient (Y_{ds})
			Spirometer (Wet Meter) (T_s) °F	Dry Gas Meter							
				Inlet (T_i) °F	Outlet (T_o) °F	Average (T_m) °F					
0.40											
0.60											
0.80											
1.00											
1.20											

$$Q = K_1 \frac{P_{bar} V_w}{(T_w + T_{std} Q)} \qquad V_{ds} = \frac{V_w (T_{ds} + T_{std}) P_{bar}}{V_{ds} (T_w + T_{std}) [P_{bar} + P]}$$

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

แบบ คพ. 5-4 แบบรายงานข้อมูลในการคำนวนค่าสัมประสิทธิ์ K'

Date_____

Train ID_____

DGM cal. factor_____

Critical orifice ID_____

Dry gas meter		Run number	
		1	2
Final reading	m^3 (ft^3)		
Initial reading	m^3 (ft^3)		
Difference, V_m	m^3 (ft^3)		
Inlet/Outlet temperatures:			
Initial	°C (°F)	/	/
Final	°C (°F)	/	/
Avg. Temperature, t_m	°C (°F)		
Time,	min/sec	/	/
	min		
Orifice man. rdg., H	mm (in.) H_2O		
Bar. Pressure, P_{bar}	mm (in.) Hg		
Ambient temperature, t_{amb}	°C (°F)		
Pump vacuum	mm (in.) Hg		
K' factor			
Average			

5

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

แบบ คพ. 5-5 แบบรายงานข้อมูลในการคำนวนค่าสัมประสิทธิ์ Y ของ Dry Gas Meter

Date_____

Train ID_____

Critical orifice ID_____

Critical orifice K' factor_____

Dry gas meter		Run number	
		1	2
Final reading	m^3 (ft^3)		
Initial reading	m^3 (ft^3)		
Difference, V_m	m^3 (ft^3)		
Inlet/Outlet temperatures:	°C (°F)		
Initial	°C (°F)	/	/
Final	°C (°F)	/	/
Avg. Temperature, t_m	min/sec		
Time,	min		
	mm (in.) H_2O		
Orifice man. rdg., ΔH	mm (in.) H_2O		
Bar. Pressure, P_{bar}	°C (°F)		
Ambient temperature, t_{amb}	mm (in.) Hg		
Pump vacuum	m^3 (ft^3)		
$V_{m(std)}$	m^3 (ft^3)		
$V_{cr(std)}$			
DGM cal. Factor, Y			

5

วิธีที่ 6 การหาปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources)

1. หลักการและขอบเขตของวิธีการ (Principle and Applicability)

1.1 หลักการ (Principle) เก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสีย โดยแยกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ รวมถึงที่อยู่ในรูปของละอองกรดซัลเฟอร์ใดๆ โดยวิธีการไตเตรทด้วยแบเรียม-ธอริน

การหาปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ ได้นำวิธีการตามที่กำหนดไว้ใน 40 CFR Part 60 Appendix A Method 6 Determination of Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources, 2001 Edition ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกามาประยุกต์ใช้โดยได้ปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

1.2 ขอบเขตของวิธีการ (Applicability) เพื่อหาปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่

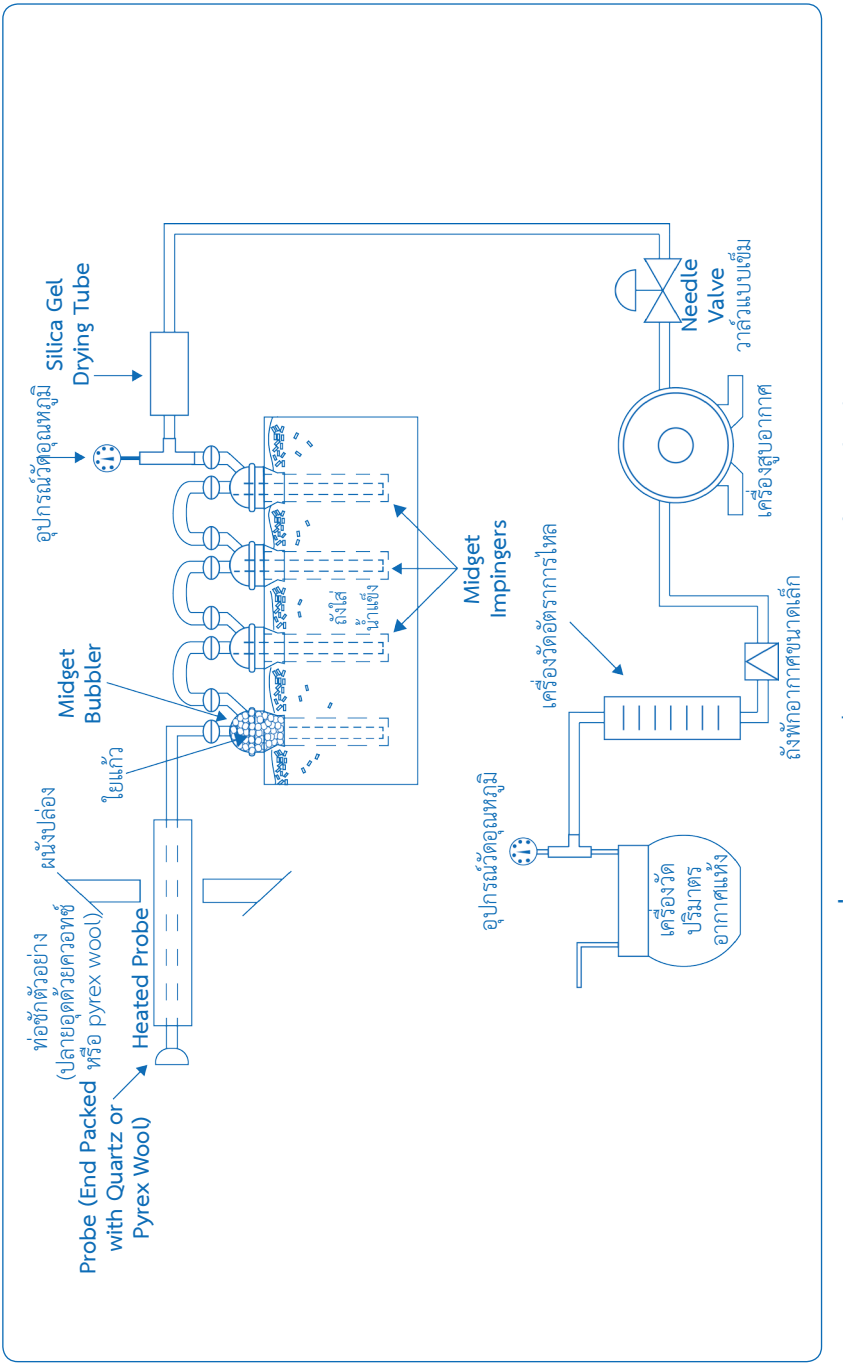
การหาปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามวิธีการนี้ ต้องอาศัยขั้นตอนในการตรวจวัดการระบายมลพิษทางอากาศตามวิธีที่ 1, 2, 3, 5 และ 8 เพื่อให้ได้ผลการตรวจวัดที่เชื่อถือได้

2. อุปกรณ์และวัสดุ
(Equipment and Supplies)

2.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

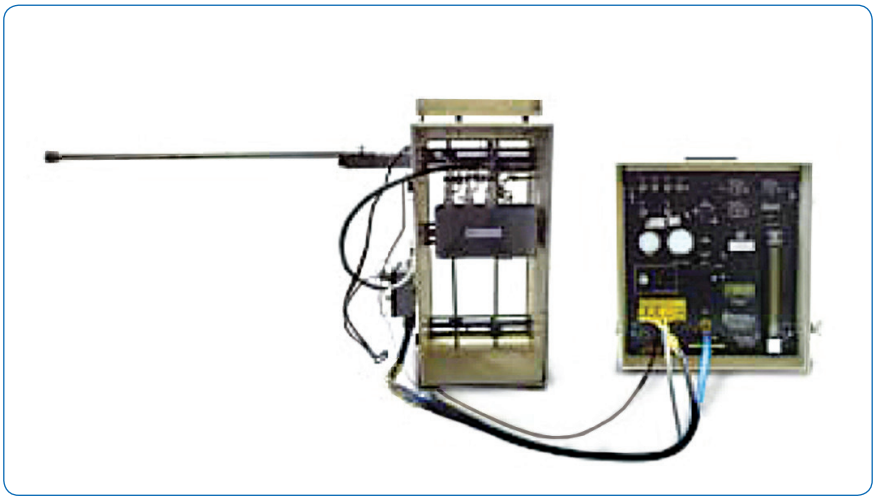
2.1.1 ชุดเก็บตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 6-1 และภาพที่ 6-2 อาจจะใช้ชุดเก็บตัวอย่างของวิธีที่ 8 แทนชุดเก็บตัวอย่างของวิธีที่ 6 ได้ อย่างไรก็ตาม ชุดเก็บตัวอย่างของวิธีที่ 8 ต้องมีการปรับแต่งโดยใส่ตัวกรองที่ติดตั้งระบบทำความร้อนระหว่างท่อชักตัวอย่าง และ Isopropanol Impinger และต้องทำการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างที่อัตราการไหลและปริมาตรของสารละลายที่กำหนดในวิธีที่ 8 อีกทางเลือกหนึ่งก็คืออาจจะหาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปพร้อมกับฝุ่นละอองและความชื้นโดย (1) แทนที่น้ำในระบบ Impinger ของวิธีที่ 5 ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 หรือ (2) แทนที่น้ำในระบบ Impinger ของวิธีที่ 5 ด้วย Isopropanol-filter-H_2O_2 การวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต้องเป็นไปตามขั้นตอนของวิธีที่ 8 ชุดเก็บตัวอย่างของวิธีที่ 6 ประกอบด้วย

6



ภาพที่ 6-1 แสดงชุดเก็บตัวอย่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์

6



ภาพที่ 6-2 แสดงชุดเก็บตัวอย่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์

(1) ท่อเก็บตัวอย่าง (Probe) ทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel 316) หรือแก้วโบโรซิลิเคท (Borosilicate) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 6 มิลลิเมตร (0.25 นิ้ว) และประกอบด้วยระบบทำความร้อนเพื่อป้องกันการควบแน่นของอากาศกลายเป็นหยดน้ำบริเวณท่อเก็บตัวอย่าง รวมทั้งตัวกรองที่ติดตั้งอยู่ภายในหรือภายนอกปล่อง (กระดาษกรองหรือใยแก้ว) เพื่อดักจับฝุ่นละออง รวมทั้งละอองกรดซัลฟูริก

(2) Bubbler และ Impinger ประกอบด้วย Midget Bubbler 1 ใบ ซึ่งบรรจุด้วย Glass wool อย่างหยาบ ทำจากใยแก้วชนิดควอทซ์หรือโบโรซิลิเคท ด้านบน Impinger (ดังภาพที่ 6-1) เพื่อดักจับละอองกรดซัลฟูริก และ Impinger ขนาดเล็ก (Midget Impinger) ขนาด 30 มิลลิลิตร 3 ใบ โดยต่อ Midget Bubbler (แกนกลางเป็นหลอดปลายแหลม) และ Midget Impinger (แกนกลางเป็นหลอดปลายตัด) เข้าด้วยกันแบบอนุกรมด้วยข้อต่อแก้วปราศจากรอยรั่ว โดยอาจจะใช้ซิลิโคนทาเพื่อป้องกันการรั่ว ทั้งนี้อาจจะใช้ Midget Impinger แทน Midget Bubbler ได้

(3) ใยแก้วทำจากโบโรซิลิเคท หรือควอทซ์

(4) ไขข้นสำหรับทาจุกปิด (Stopcock Grease) ทำจากซิลิโคนที่มีคุณสมบัติไม่ละลายในอะซิโตนและทนความร้อน

(5) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) เป็นแบบ Dial Thermometer หรือเทียบเท่า สามารถวัดอุณหภูมิของก๊าซที่จากชุดเก็บตัวอย่างที่ความคลาดเคลื่อน ± 1 องศาเซลเซียส (หรือ ± 2 องศาฟาเรนไฮต์)

(6) Drying Tube เป็นหลอดที่บรรจุด้วยสารดูดความชื้นประเภทซิลิกาเจล (Silica Gel) ขนาด 6-16 mesh หรือเทียบเท่า กรณีที่เป็นซิลิกาเจลใช้แล้วให้อบแห้งที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส (หรือ 350 องศาฟาเรนไฮต์) ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อที่จะทำให้ตัวอย่างแห้ง และเพื่อที่จะปกป้องเครื่องมือวัดและเครื่องสูบอากาศ

(7) วาล์ว (Valve) เป็นแบบเข็ม (Needle Valve) สำหรับใช้ปรับอัตราการไหลของตัวอย่างอากาศ

(8) เครื่องสูบอากาศ (Pump) แบบ Leak-Free Diaphragm Pump หรือเครื่องสูบอากาศแบบอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า โดยมีถังพักอากาศขนาดเล็ก (Surge Tank) ติดตั้งไว้ระหว่างเครื่องสูบอากาศและเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ เพื่อให้อัตราการไหลของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

(9) เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแบบโรตามิเตอร์ (Rotameter) หรือแบบอื่นที่เทียบเท่า สามารถวัดอัตราการไหลได้ภายในร้อยละ 2 ของอัตราการไหลที่ 1 ลิตรต่อนาที (0.035 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)

(10) เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Dry Gas Meter) ที่สามารถวัดปริมาตรอากาศแห้งได้ละเอียดถึงร้อยละ 2 และมีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบ Dial Thermometer หรือเทียบเท่าที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 3 องศาเซลเซียส หรือ 5.4 องศาฟาเรนไฮต์

2.1.2 บารอมิเตอร์ (Barometer) แบบปรอท หรือแอนนิรอยด์ (Aneroid) หรือแบบอื่นที่เทียบเท่าที่สามารถวัดความดันบรรยากาศได้ถึง 2.5 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 0.1 นิ้วปรอท)

2.1.3 เครื่องวัดสุญญากาศ (Vacuum Gauge) และโรตามิเตอร์ สำหรับใช้ทดสอบรอยรั่วของชุดชักตัวอย่างอากาศ โดยสามารถวัดค่าความเป็นสุญญากาศได้ไม่ต่ำกว่า 760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 30 นิ้วปรอท และโรตามิเตอร์ที่สามารถวัดอัตราการไหลได้ระหว่าง 0-40 มิลลิลิตรต่อนาที

2.2 ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่าง

2.2.1 ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash Bottle) ทำด้วยโพลีเอทิลิน ขนาด 500 มิลลิลิตร

2.2.2 ขวดเก็บตัวอย่าง ทำด้วยโพลีเอทิลิน ขนาด 100 มิลลิลิตร เพื่อเก็บตัวอย่างจาก Impinger (1 ขวดต่อ 1 ตัวอย่าง)

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.3.1 ปิเปต ขนาด 5 มิลลิลิตร 20 มิลลิลิตร (1 ขนาด ต่อ 1 ตัวอย่าง) และ 25 มิลลิลิตร

2.3.2 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร (1 ขนาด ต่อ 1 ตัวอย่าง) และ 1,000 มิลลิลิตร

2.3.3 บิวเรต (Burette) ขนาด 5 และ 50 มิลลิลิตร

2.3.4 ขวดชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร 3 ขวด สำหรับใส่ตัวอย่าง Blank และสารมาตรฐาน

2.3.5 ขวดบรรจุสารที่มีหลอดหยดในตัว (Dropping Bottle) ขนาด 125 มิลลิลิตร สำหรับเติม Indicator

2.3.6 กระบอกตวง (Graduated Cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.3.7 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) เพื่อวัดการดูดซึมที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร

3. สารเคมี และสารมาตรฐาน (Reagents and Standards)

3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

3.1.1 น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์ (Deionized Distilled Water)

3.1.2 สารละลายไอโซโพรพานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตร โดยผสมไอโซโพรพานอล 80 มิลลิลิตร กับน้ำ 20 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

ตรวจสอบหาสารเปอร์ออกไซด์ในไอโซโพรพานอลตามขั้นตอนดังนี้ ผสมไอโซโพรพานอล 10 มิลลิลิตรกับสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 แล้วเขย่า เตรียม Blank ด้วยวิธีการเดียวกันแต่ใช้น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แทน หลังจาก 1 นาที อ่านค่าการดูดซึมจากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร ถ้าค่าการดูดซึมเกิน 0.1 ห้ามใช้ไอโซโพรพานอลนั้น

3.1.3 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยปริมาตร โดยผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กับน้ำ 90 มิลลิลิตร ให้เตรียมสารละลายเมื่อจะใช้งาน

3.1.4 สารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 น้ำหนักต่อปริมาตร โดยละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ 10 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร เตรียมเมื่อต้องการใช้

3.2 ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่าง

3.2.1 น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์

3.2.2 ไอโซโพรพานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตร ตาม 3.1.2

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3.1 น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์

3.3.2 ไอโซโพรพานอล ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยปริมาตร

3.3.3 Thorin Indicator ใช้ 1-(o-arsonophenylazo)-2-naphthol-3, 6-disulfonic acid, disodium salt หรือเทียบเท่า โดยละลายปริมาณ 0.20 กรัม ในน้ำ 100 มิลลิลิตร

3.3.4 สารละลายมาตรฐานแบเรียม (Barium Standard Solution) ความเข้มข้น 0.01 N โดยละลาย Barium Perchlorate Trihydrate [$Ba(ClO_4)_2$ $3H_2O$] ในน้ำ 200 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยไอโซโพรพานอลให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร หรือใช้ Barium Chloride Dihydrate [$BaCl_2$ $2H_2O$] 1.22 กรัม แทน Barium Perchlorate Trihydrate

3.3.5 สารมาตรฐานกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid Standard) ความเข้มข้น 0.01 N โดยซื้อสารมาตรฐานกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.01 N หรือทำการปรับเทียบความเข้มข้นมาตรฐาน โดยใช้ NaOH 0.01 N มีค่าความคลาดเคลื่อนได้ ± 0.0002 N แต่ต้องปรับเทียบความเข้มข้นมาตรฐาน NaOH 0.01 N โดยใช้ Potassium Acid Phthalate ซึ่งเป็นสารมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard Grade)

4. การเก็บตัวอย่าง การเก็บรักษา การบรรจุ และการขนย้าย (Sample Collection, Preservation, Storage, and Transport)

4.1 การเตรียมชุดเก็บตัวอย่างอากาศ (Preparation of Sampling Train)

ใส่ไอโซโพรพานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงใน Midget Bubbler และใส่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ลงใน Midget Impinger 2 ใบๆ ละ 15 มิลลิลิตร ส่วน Midget Impinger ใบสุดท้ายทิ้งไว้ให้แห้ง หรือใส่ซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้น ประกอบชุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 6-1 ตั้งค่าอุณหภูมิของตัวควบคุมความร้อนให้ร้อนพอที่จะป้องกันการควบแน่น ใส่น้ำแข็งบดและน้ำรอบๆ Impinger ทุกใบ

4.2 การตรวจสอบรอยรั่ว (Leak-Check Procedures) การตรวจสอบรอยรั่วก่อนการเก็บตัวอย่างไม่จำเป็นต้องทำก็ได้ แต่ต้องทำการตรวจสอบรอยรั่วหลังการเก็บตัวอย่าง โดยให้ปฏิบัติดังนี้

4.2.1 ติดตั้ง Rotameter ขนาดที่เหมาะสม เช่น 0-40 มิลลิลิตรต่อนาที เข้ากับทางออกของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งและวางเครื่องวัดสุญญากาศใกล้กับทางเข้าของท่อชักตัวอย่าง อุดปลายท่อเก็บตัวอย่างด้านที่ดึงอากาศเข้า (inlet) และดึงอากาศให้ระบบเป็นสุญญากาศที่ 250 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 10 นิ้วปรอท) บันทึกค่าอัตราการไหลจาก Rotameter อัตราการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศจะต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 2 ของอัตราการชักตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ย

ข้อควรระวัง *เมื่อเสร็จสิ้นการตรวจสอบรอยรั่วแล้วค่อยๆ ปล่อยจุกยางที่อุดปลายท่อชักตัวอย่างออกอย่างช้าๆ แล้วจึงปิดเครื่องสูบอากาศ*

4.3 การชักตัวอย่างอากาศ (Sampling Train Operation)

4.3.1 บันทึกค่าเริ่มต้นของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง และความดันบรรยากาศ ให้วางปลายท่อชักตัวอย่างในตำแหน่งชักตัวอย่าง ต่อท่อชักตัวอย่างเข้ากับชุด Impinger แล้วเริ่มเปิดเครื่องสูบอากาศ ปรับอัตราการชักตัวอย่างให้คงที่ประมาณ 1.0 ลิตรต่อนาที ให้คงอัตราการชักตัวอย่างที่ร้อยละ ± 10 ในขณะที่ชักตัวอย่างอากาศ

4.3.2 บันทึกค่าดังนี้ ปริมาตรอากาศแห้ง อุณหภูมิที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งและที่ทางออกของ Impinger ใบสุดท้าย และอัตราการไหลของอากาศทุกๆ 5 นาทีเป็นอย่างน้อย ให้รักษาระดับอุณหภูมิระหว่างการชักตัวอย่างโดยใส่น้ำแข็งเพิ่มเพื่อให้ก๊าซที่ออกจาก Impinger ใบสุดท้ายมีอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส (หรือ 68 องศาฟาเรนไฮต์) หรือต่ำกว่า ลงในแบบ คพ. 6-1

4.3.3 เมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างอากาศแต่ละครั้ง ให้ปิดเครื่องสูบอากาศ ดึงท่อชักตัวอย่างออกจากปล่อง และบันทึกค่าปริมาตรอากาศสุดท้ายที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง และให้ทำการตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศตามขั้นตอนใน 4.2 โดยหากอัตราการรั่วซึมของชุดเก็บตัวอย่างอากาศมีค่าไม่เกินร้อยละ 4 ของอัตราการชักตัวอย่างอากาศโดยเฉลี่ย และไม่เกิน 0.00057 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (0.020 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ก็ไม่จำเป็นต้องมีการปรับปริมาตรอากาศที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง แต่ถ้าอัตราการรั่วซึมมีค่าเกินกว่านั้น ให้บันทึกค่าอัตราการรั่วซึมของชุดเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อทำการปรับค่าปริมาตรอากาศตามขั้นตอนในข้อ 4.3.1 หรือให้ยกเลิกผลการตรวจวัดนั้นๆ

4.3.4 ปล่อยน้ำในถังน้ำแข็งทิ้ง และทำการไล่อากาศ (Purging) ที่ยังคงค้างอยู่ภายในชุดเก็บตัวอย่างออกโดยการดูดอากาศสะอาดในบรรยากาศเข้าระบบเป็นเวลา 15 นาที ด้วยอัตราเดียวกันกับอัตราการชักตัวอย่างอากาศสะอาด เตรียมโดยดูดอากาศจากภายนอกผ่านตัวกรองชนิดถ่าน (Charcoal Filter) หรือผ่าน Midget Impinger ที่บรรจุด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาตร 15 มิลลิลิตร หรืออาจจะใช้อากาศที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ก็ได้

4.4 การเก็บรักษาตัวอย่าง (Sample Recovery) ให้ถอด Impingers หลังจากการไล่อากาศออกจากระบบ ให้ทิ้งสารใน Midget Bubbler และเทสารใน Midget Impingers (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3) ลงในขวดโพลีเอทิลีนที่ปราศจากรอยรั่วเพื่อการขนส่ง ให้ล้าง Midget Impingers ทั้ง 3 ใบ รวมทั้งข้อต่อด้วยน้ำ แล้วเทน้ำที่ล้างนั้นลงในขวดเดียวกับที่เก็บสารของ Midget Impingers ทำเครื่องหมายระดับของของเหลว ปิดขวดและเขียนป้ายกำกับที่ขวด

5. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

หัวข้อ	มาตรการการควบคุมคุณภาพ	ผลกระทบ
3.1.2	การตรวจสอบไอโซโพรพานอล	ตรวจสอบให้มั่นใจว่าปริมาณของเปอร์ออกไซด์ในไอโซโพรพานอลอยู่ในระดับที่ยอมรับได้
4.2, 6.1-6.4	การตรวจสอบรอยรั่วและการปรับเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	ตรวจสอบให้มั่นใจว่าการตรวจวัดอัตราการไหลและปริมาตรอากาศเสียถูกต้องแม่นยำ
6.5	การปรับเทียบความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายแบเรียม	ตรวจสอบให้มั่นใจว่า การหาค่า Normality มีความถูกต้อง
7.2.3	การทำไตเตรทซ้ำ	ตรวจสอบให้มั่นใจว่าการหาค่าไตไตรทมีความถูกต้อง
7.3	Audit Sample Analysis	ประเมินเทคนิคและการเตรียมสารมาตรฐานของนักวิเคราะห์

6. การปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration)

6.1 ระบบเครื่องตรวจวัดปริมาตรอากาศ (Volume Metering System)

6.1.1 การปรับเทียบความถูกต้องก่อนการใช้งาน ให้ปฏิบัติดังนี้

(1) ให้ตรวจสอบรอยรั่วระบบเครื่องตรวจวัด (รวมถึง Drying Tube วาล์วแบบเข็ม เครื่องสูบอากาศ เครื่องวัดอัตราการไหล และเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง) ดังนี้ ติดตั้งเครื่องวัดสุญญากาศที่ทางเข้าของ Drying Tube และดึงอากาศให้ระบบเป็นสุญญากาศที่ 250 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 10 นิ้วปรอท) อุดหรือบีบทางออกของเครื่องวัดอัตราการไหล แล้วปิดเครื่องสูบอากาศระบบควรจะเป็นสุญญากาศนานอย่างน้อย 30 วินาที ค่อยๆ ถอดเครื่องวัดสุญญากาศออกก่อนถอดปลายเครื่องวัดอัตราการไหล

(2) ถอด Drying Tube และปรับเทียบความถูกต้องระบบเครื่องตรวจวัด (ที่อัตราการไหลของการเก็บตัวอย่างตามวิธีการเก็บตัวอย่าง) ดังนี้ ต่อเครื่อง Wet Test Meter ขนาดที่เหมาะสม (เช่น 1 ลิตรต่อรอบ) เข้ากับทางเข้าของวาล์วแบบเข็ม ทำการปรับเทียบความถูกต้อง 3 ครั้ง โดยใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งอย่างน้อย 5 รอบในแต่ละครั้งของการปรับเทียบ ให้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของแต่ละครั้งของการปรับเทียบ โดยนำค่าปริมาตรของการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่อง Wet Test Meter หารด้วยค่าปริมาตรของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง โดยค่าปริมาตรทั้ง 2 ต้องถูกปรับค่าไปที่ความดันและอุณหภูมิอ้างอิงเดียวกัน และเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้อง (Y_i) โดยค่าความคลาดเคลื่อนของ Y เท่ากับ ± 0.02

6.1.2 การปรับเทียบความถูกต้องหลังการใช้งานให้ปฏิบัติตาม 6.1.1 (2) ยกเว้นว่าให้ใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งมากกว่าหรือเท่ากับ 3 รอบ และทำการปรับเทียบความถูกต้อง 2 รอบเท่านั้น ในกรณีค่าเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของการปรับเทียบทั้ง 2 ครั้งคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 5 จากค่า Y_i แล้วค่า Y_i ถือเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง (Y) ที่ใช้ในสมการ 6-1 เพื่อคำนวณหาค่าปริมาตรตัวอย่างอากาศที่เก็บได้ ในกรณีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 5 ให้ทำการปรับเทียบความถูกต้องอีกครั้งตาม 6.1.1 และหาค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องหลังการใช้งาน (Y_f) เปรียบเทียบ และให้ใช้ค่าที่น้อยกว่าเป็นค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศ ในกรณีการปรับเทียบความถูกต้องซ้ำแสดงให้เห็นว่าระบบเครื่องตรวจวัดปริมาตรอากาศไม่สามารถใช้งานได้ ให้ยกเลิกการทดสอบนั้น

6.1.3 การใช้เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งเป็นมาตรฐานการปรับเทียบความถูกต้องสำหรับการวัดปริมาตรแทน Wet Test Meter ที่ระบุใน 6.1.1 (2) ได้ยกเว้นว่า ทำการปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งในตอนเริ่มต้น หรือทำการปรับเทียบความถูกต้องซ้ำเป็นระยะตามขั้นตอนในวิธีที่ 5 โดยมีข้อยกเว้นดังนี้

(1) ทำการปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งด้วย Wet Test Meter ขนาด 1 ลิตรต่อรอบ (0.035 ลูกบาศก์ฟุตต่อรอบ) หรือ 3 ลิตรต่อรอบ (0.1 ลูกบาศก์ฟุตต่อรอบ) และสามารถวัดปริมาตรได้ถึงร้อยละ 1 (2) ทำการปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งที่ 1 ลิตรต่อนาที (0.035 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) และ (3) ทำการปรับเทียบตู้ควบคุมการทำงานระบบตรวจวัด (Meter Box) ของชุดเก็บตัวอย่างวิธีที่ 6 อัตราการไหลเดียวกัน

6.2 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ให้ปรับเทียบความถูกต้องด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท (Mercury-in-glass Thermometer)

6.3 เครื่องวัดอัตราการไหล ไม่จำเป็นต้องปรับเทียบความถูกต้องเครื่องวัดอัตราการไหล แต่ต้องทำความสะอาดและบำรุงรักษาตามคู่มือการใช้งานของผู้ผลิต

6.4 บารอมิเตอร์ (Barometer) ให้ปรับเทียบความถูกต้องด้วยบารอมิเตอร์แบบปรอท (Mercury Barometer)

6.5 สารละลายมาตรฐานแบเรียม โดยการปรับเทียบความเข้มข้นมาตรฐานของสารละลายแบเรียมเปอคลอเรต หรือสารละลายแบเรียมคลอไรด์ด้วยกรดซัลฟูริก 25 มิลลิลิตร ที่มีไอโซโพรพานอล ความเข้มข้นร้อยละ 100 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ให้วิเคราะห์ซ้ำและหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณ หาค่า Normality โดยค่าความคลาดเคลื่อนของการไตเตรทอยู่ภายในร้อยละ 1 หรือ 0.2 มิลลิลิตร ให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า

7. วิธีการวิเคราะห์ (Analytical Procedure)

7.1 การตรวจสอบการสูญเสียตัวอย่าง ให้บันทึกระดับของของเหลวในภาชนะบรรจุและตรวจสอบว่ามีการรั่วไหลระหว่างการขนย้ายหรือไม่ หากพบว่าปริมาณการรั่วไหลมีมากจนสังเกตเห็นได้ชัด ให้ยกเลิกตัวอย่างนั้นและให้บันทึกในแบบรายงานผลการวิเคราะห์

7.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

7.2.1 ถ่ายสารที่อยู่ในภาชนะบรรจุลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

7.2.2 ดูดสารตัวอย่างที่เจือจางแล้ว 20 มิลลิลิตรด้วยปิเปต ใส่ลงในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมไอโซโพรพานอลความเข้มข้นร้อยละ 100 ปริมาตร 80 มิลลิลิตร และ Thorin Indicator 2-4 หยด ไตเตรทโดยใช้สารละลายมาตรฐานแบเรียม 0.01 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู (A Pink Endpoint) บันทึกค่าปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแบเรียม 0.01 N ที่ใช้

7.2.3 ทำขั้นตอนใน 7.2.2 ซ้ำ และเฉลี่ยค่าปริมาตรของการไตเตรทให้ทดสอบ Blank ในแต่ละตัวอย่าง ค่าความคลาดเคลื่อนของการไตเตรทต้องอยู่ภายในร้อยละ 1 หรือ 0.2 มิลลิลิตร ให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า

ข้อควรระวัง *ให้ป้องกันการระเหยของสารละลายมาตรฐานแบเรียม 0.01 N ตลอดเวลา*

7.3 การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่าง (Audit Sample Analysis)

7.3.1 เมื่อวิธีที่ใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างเพื่อแสดงว่าการปล่อยสารมลพิษเป็นไปตามข้อกำหนด ต้องมีการวิเคราะห์ตัวอย่างใช้สำหรับการตรวจประเมินด้วย

7.3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจประเมินและตัวอย่างต้องตรวจสอบด้วยวิธีการเดียวกันใช้เพื่อตรวจสอบวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานและเทคนิคของผู้วิเคราะห์

7.3.3 การวิเคราะห์สารตัวอย่างและสารที่ใช้ตรวจสอบ ควรกระทำโดยผู้วิเคราะห์คนเดียวกัน โดยใช้สารเคมีและวิธีการวิเคราะห์เดียวกัน และควรมีการทำซ้ำ

7.4 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง

7.4.1 ทำการคำนวณระดับความเข้มข้นของสารที่ใช้ตรวจประเมิน

7.4.2 รายงานผลของสารที่ใช้ตรวจสอบและสารตัวอย่างโดยระบุหมายเลข ชื่อผู้วิเคราะห์ รวมทั้งข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง

7.4.3 ระดับความเข้มข้นของสารตัวอย่างในการตรวจประเมินต้องมีความแตกต่างจากคำที่แท้จริงไม่เกินร้อยละ 5 จากระดับความเข้มข้นที่แท้จริง มิฉะนั้นต้องทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง

7.4.4 หากมีความผิดพลาดมากกว่าร้อยละ 5 ต้องทำการวิเคราะห์สารตรวจสอบให้ได้ตามเกณฑ์ตามที่กำหนด

8. การวิเคราะห์ข้อมูล และการคำนวณ (Data Analysis and Calculations)

ในระหว่างการคำนวณผล ให้คงจำนวนเลขนัยสำคัญไว้มากกว่าจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง และเมื่อได้ผลลัพธ์สุดท้ายของการคำนวณ ให้ปัดเลขนัยสำคัญตัวสุดท้ายตามหลักคณิตศาสตร์ เช่น สมมติว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4 ดังนั้น ค่าในระหว่างการคำนวณจะต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง และเมื่อสิ้นสุดการคำนวณผลลัพธ์สุดท้ายต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

8.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ (Nomenclature)

C_a = ความเข้มข้นจริงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใน Audit Sample มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่สภาวะแห้ง (mg/ dscm)

C_d = ความเข้มข้นที่กำหนดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ใน Audit Sample มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่สภาวะแห้ง (mg/dscm)

C_{SO_2} = ความเข้มข้นที่กำหนดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่สภาวะแห้งและได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (mg/dscm) หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (lb/dscf)

K_1 = 0.3921 เคลวินต่อมิลลิเมตรปรอท สำหรับหน่วยเมตริก
= 17.95 แรงคินต่อนิ้วปรอท สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_2 = 32.03 มิลลิกรัมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อมิลลิกรัมสมมูลสำหรับหน่วยเมตริก
= 7.061×10^{-5} ปอนด์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อมิลลิกรัมสมมูลสำหรับหน่วยอังกฤษ

N = Normality ของสารละลายมาตรฐานแบเรียมที่ใช้ในการไตเตรท มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลต่อมิลลิลิตร (meq/ml)

P_{bar} = ความดันบรรยากาศ ณ จุดเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท (หรือนิ้วปรอท)

P_{std} = ความดันสัมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 29.92 นิ้วปรอท)

RE = ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ของการตรวจสอบความถูกต้องการวิเคราะห์ตัวอย่าง มีหน่วยเป็นร้อยละ

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์โดยเฉลี่ยของตัวอย่างอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นเคลวิน (หรือแรงคิน)

T_{std} = อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 298 เคลวิน (หรือ 537 แรงคิน)

V_a = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ถูกไตเตรท มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_m = ปริมาตรอากาศแห้งที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

$V_{m(std)}$ = ปริมาตรอากาศแห้งที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้งและได้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน (25 องศาเซลเซียส และ 760 มิลลิเมตรปรอท) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (หรือลูกบาศก์ฟุต)

V_{soln} = ปริมาตรรวมของสารละลายที่มีตัวอย่างซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่มีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตร

V_t = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแบเรียมที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง (เป็นค่าเฉลี่ยของการทำไตเตรทซ้ำ) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_{tb} = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแบเรียมที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

Y = ค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง

8.2 ปริมาตรอากาศแห้ง ให้ปรับเป็นที่สภาวะมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส และ 760 มิลลิเมตรปรอท (หรือ 68 องศาฟาเรนไฮต์ และ 29.92 นิ้วปรอท) โดยใช้สมการ 6-1

$$V_{m(std)} = \left(\frac{V_m Y T_{std} P_{bar}}{T_m P_{std}} \right) \qquad \text{สมการที่ 6-1}$$

$$= \left(\frac{K_1 Y V_m P_{bar}}{T_m} \right)$$

8.3 ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

$$C_{SO_2} = \frac{K_2 N(V_t - V_{tb})(V_{soln}/V_a)}{V_{m(std)}} \qquad \text{สมการที่ 6-2}$$

8.4 ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของตัวอย่าง (Relative Error for QA Audit Samples)

$$RE = \frac{100\,(C_d - C_a)}{C_a} \qquad \text{สมการที่ 6-3}$$

9. คุณลักษณะของวิธีการตรวจวัด (Method Performance)

ช่วงการตรวจวัด (Range) กำหนดให้ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้เท่ากับ 3.4 มิลลิกรัมซัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อลูกบาศก์เมตร (2.12×10^{-7} ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต) ถึงแม้ว่าไม่ได้กำหนดค่าสูงสุด แต่การทดสอบแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงสุดที่สามารถถูกเก็บได้อย่างมีประสิทธิภาพที่อัตราการเก็บตัวอย่าง 1 ลิตรต่อนาที (0.035 ลูกบาศก์ฟุต) เป็นเวลา 20 นาที ใน Impinger 2 ใบ โดยแต่ละใบมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาณ 15 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 80,000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (0.005 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต) จากการคำนวณในทางทฤษฎีค่าความเข้มข้นสูงสุดในตัวอย่าง 20 ลิตร (0.7 ลูกบาศก์ฟุต) เท่ากับ 93,300 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (0.00583 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)

10. การรายงานผล (Reporting)

การรายงานผลการเก็บตัวอย่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้บันทึกค่าต่างๆ ตามรายละเอียดในแบบ คพ. 6-1

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

แบบ คพ. 6-1 แบบบันทึกข้อมูลการหาปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

Plant : _____

Date: _____

Plant Location : _____

Sampling Location : _____ Run No: _____

Sample Team Operator : _____

Leak Test :

Pre-test lest rate : _____ L/min @ _____ in Hg

Pre-test lest rate : _____ L/min @ _____ in Hg

(Leak rate must be less than **2% of sampling rete**

Time : Start _____ Finish _____ Duration _____ min

Duct diameter : _____ in Duct cross-sectional area : _____ in^2

Ambient temperature : _____ °F Barometric pressure (P_b) : _____ inHg

Dry Gas Meter Calibration Facctor (Y) : _____

Sampling Time 0 (min)	Dry Gas Meter Reading (L)	Rart Meter Reading (1±10%) (L)	Stack Temp T_a (L)	Probe Temp (> 120) (L)	Hot Box Temp (> 120) (L)	Impgr. Exit Temp (> 120) (L)	Dry Gas Meter Temp T_m (L)	Vacuum (~1) (L)
0								
5								
10								
25								
30								
35								
40								
45								
50								
55								
60								
Total	Total V_m						Avg-Tm	

6

วิธีที่ 7 การหาปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources)

1. หลักการและขอบเขตของวิธีการ (Principle and Applicability)

1.1 หลักการ (Principle) เก็บตัวอย่างอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียแบบ Grab Sample ด้วย Evacuated Flask ซึ่งบรรจุสารละลายดูดซึมชนิดกรดซัลฟูริกเจือจาง (Dilute Sulfuric Acid) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยที่ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) (ยกเว้น ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)) ถูกตรวจวัดจากการเปลี่ยนแปลงสีด้วยวิธีฟีนอลไดซัลโฟนิก (Phenoldisulfonic Acid: PDS)

การหาปริมาณการระบายก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากปล่องตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ ได้นำวิธีการตามที่กำหนดไว้ใน 40 CFR Part 60, Appendix A, Method 7 Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources, 2001 Edition ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency) ประเทศสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์ใช้โดยได้ปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

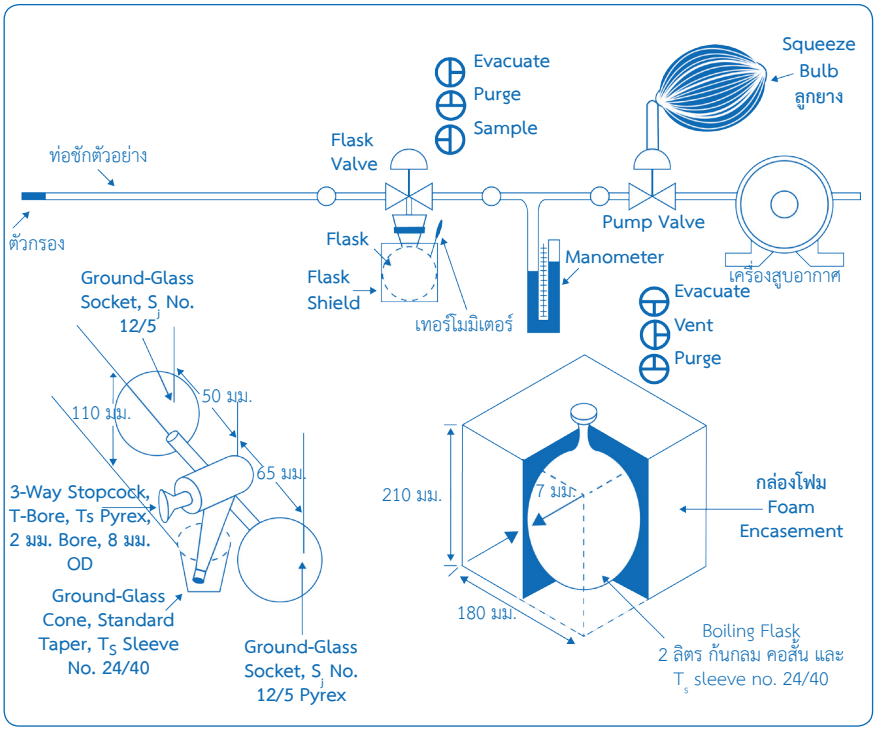
1.2 ขอบเขตของวิธีการ (Applicability) เพื่อหาปริมาณการระบายก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Stationary Source)

การหาปริมาณการระบายก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนตามวิธีการนี้ ต้องอาศัยขั้นตอนในการตรวจวัดการระบายมลพิษทางอากาศตามวิธีที่ 1 และ 5 เพื่อให้ได้ผลการตรวจวัดที่เชื่อถือได้

2. อุปกรณ์และวัสดุ
(Equipment and Supplies)

2.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง ชุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 7-1 และภาพที่ 7-2 ในกรณีใช้เครื่องมืออื่นนอกเหนือจากนี้ จะต้องวัดปริมาตรอากาศที่จะเก็บให้มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 และผลการวิเคราะห์ซ้ำมีความแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 จึงจะยอมรับได้

2.1.1 ท่อซักตัวอย่าง (Probe) ทำด้วยแก้วโบโรซิลิเคท (Borosilicate) หรือสแตนเลส หรือเทฟล่อน ที่มีระบบให้ความร้อนแก่ท่อซักตัวอย่าง เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำ และประกอบด้วยชุดกรองฝุ่นแบบในปล่องหรือแบบนอกปล่อง (อาจใช้ใยแก้วเป็นตัวกรองฝุ่นได้เช่นกัน)



ภาพที่ 7-1 แสดงชุดเก็บตัวอย่าง วาล์วขวดเก็บตัวอย่าง และขวดเก็บตัวอย่าง

ภาพที่ 7-2 แสดงชุดเก็บตัวอย่าง วาล์วควบคุมการเก็บตัวอย่าง และขวดเก็บตัวอย่าง

2.1.2 ขวดเก็บตัวอย่าง (Collecting Flask) เป็นขวดแก้วโบโรซิลิเคทก้นกลม ที่มีคอขวดสั้น ขนาดความจุ 2 ลิตร และมีปากขวดมาตรฐานขนาด 24/40

2.1.3 วาล์วขวดเก็บตัวอย่าง (Flask Valve) วาล์วเปิดปิดแบบ T-bore ที่ต่อกับข้อต่อมาตรฐานขนาด 24/40

2.1.4 มาตรวัดอุณหภูมิเทอร์โมมิเตอร์ชนิดที่อ่านค่าได้จากสเกลข้างหลอดเทอร์โมมิเตอร์ หรือเครื่องวัดอุณหภูมิชนิดอื่นๆ มีค่าความละเอียดในการวัดถึง 1 องศาเซลเซียส (2 องศาฟาเรนไฮต์) โดยมีช่วงการวัดตั้งแต่ -5 - 50 องศาเซลเซียส (23 - 122 องศาฟาเรนไฮต์)

2.1.5 ท่อสุญญากาศ (Vacuum Line) ใช้ท่อที่สามารถทนสภาพสุญญากาศได้ 75 มิลลิเมตรปรอท (3 นิ้วปรอท) ในรูปความดันสัมบูรณ์และใช้ข้อต่อรูปตัว T กับวาล์วเปิด-ปิดแบบ T-bore

2.1.6 เครื่องวัดสุญญากาศใช้มานอมิเตอร์ แบบ U-tube ขนาด 1 เมตร (39 นิ้ว) อ่านค่าได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร (0.04 นิ้ว) หรือมาตรวัดชนิดอื่นๆ ที่สามารถวัดความดันได้ในช่วง 2.5 มิลลิเมตรปรอท (0.10 นิ้วปรอท)

2.1.7 เครื่องสูบอากาศ (Pump) ใช้ปั๊มที่สามารถสูบอากาศในขวดเก็บตัวอย่างออก จนมีระดับสุญญากาศเท่ากับหรือน้อยกว่า 75 มิลลิเมตรปรอทสัมบูรณ์ (3 นิ้วปรอท)

2.1.8 ลูกยางบีบ (Squeeze Bulb) แบบอากาศไหลทางเดียว

2.1.9 ปิเปตชนิดปริมาตร (Volumetric Pipette) ขนาด 25 มิลลิลิตร

2.1.10 ไขข้น (Grease) สำหรับทาบริเวณข้อต่อของระบบ ในสภาวะที่มีความเป็นสุญญากาศและอุณหภูมิสูง

2.1.11 มาตรวัดความดันบรรยากาศ สำหรับวัดความดันบรรยากาศ ณ จุดตรวจวัด ใช้บารอมิเตอร์แบบปรอท หรือบารอมิเตอร์ชนิดอื่นๆ ที่สามารถวัดค่าความดันของบรรยากาศ 2.5 มิลลิเมตรปรอท (0.1 นิ้วปรอท) ดังรายละเอียดในวิธีที่ 5

2.2 ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่าง

2.2.1 กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร อ่านค่าได้ละเอียดถึง 1 มิลลิลิตร

2.2.2 ขวดเก็บตัวอย่าง ใช้ขวดโพลีเอทิลิน

2.2.3 ขวดฉีดน้ำกลั่น ทำจากโพลีเอทิลิน

2.2.4 แท่งแก้วสำหรับคน

2.2.5 กระดาษวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH Paper) ที่สามารถวัดความเป็นกรด-ด่างได้ในช่วง 7-14

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.3.1 ปิเปตชนิดปริมาตร (Volumetric Pipette) ขนาด 1 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน ขนาด 2 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน ขนาด 3 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน ขนาด 4 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน ขนาด 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 อัน และขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน สำหรับใช้กับสารตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานแต่ละตัว

2.3.2 จานระเหยชนิดกระเบื้อง (Porcelain Evaporating Dish) ใช้ถ้วยกระเบื้องขนาดความจุ 175-250 มิลลิลิตร จำนวนเท่ากับผลรวมของจำนวนตัวอย่างกับสารมาตรฐาน ถ้วยกระเบื้องทรงตื้นขนาด 195 มิลลิลิตร หรืออาจใช้บีกเกอร์ที่ทำจากโพลีเมททิล เพนทีน หรือบีกเกอร์แก้วขนาด 150 มิลลิลิตร แทนก็ได้ ถ้าใช้บีกเกอร์แก้ว เมื่อใช้กรดอาจทำให้เกิดของแข็งปนเปื้อนซึ่งมีผลต่อกระบวนการวิเคราะห์ ต้องทำการกรองของแข็งออกไป

2.3.3 เครื่องอังไอน้ำ (Steam Bath) หรืออาจใช้เตาอบอุณหภูมิต่ำ หรือเตาไฟฟ้า (Hot Plate) ที่ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียสได้

2.3.4 หลอดหยด (Dropper) จำนวน 3 อัน

2.3.5 Policeman ชนิดโพลีเอทิลิน ใช้จำนวนเท่ากับจำนวนตัวอย่างที่เก็บและสารละลายมาตรฐาน

2.3.6 กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 1 มิลลิลิตร

2.3.7 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวนเท่ากับจำนวนตัวอย่างที่เก็บและสารละลายมาตรฐาน ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวนเท่ากับจำนวนตัวอย่างที่เก็บและสารละลายมาตรฐาน และสำหรับสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไนเตรท (Working Standard KNO_3) และขนาด 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ

2.3.8 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectophotometer) สำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

2.3.9 ปิเปตชนิดมีขีดแบ่ง (Graduated Pipette) ขนาด 10 มิลลิลิตร ที่มีสเกลแบ่งย่อยถึง 0.1 มิลลิลิตร

2.3.10 กระดาษวัดความเป็นกรด-ด่าง ที่สามารถตรวจวัดความเป็นกรด-ด่างได้ในช่วง 7-14

2.3.11 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม

3. สารเคมี (Reagents)

สารเคมีที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติตาม Committee on Analytical Reagents จาก American Chemical Society และต้องเป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ (Analytical Reagent Grade)

3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

3.1.1 น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์ (Deionized Water)

3.1.2 สารละลายดูดซึม (Absorbing Solution) เตรียมโดยเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น จำนวน 2.8 มิลลิลิตร อย่างระมัดระวังลงในน้ำกลั่นดีไอออนไนซ์ในขวดขนาด 1 ลิตร ผสมให้เข้ากันปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ความเข้มข้นร้อยละ 3 จำนวน 6 มิลลิลิตร (โดยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะต้องเตรียมขึ้นใหม่จากการเจือจางสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30) สารละลายดูดซึมที่เตรียมควรใช้ภายใน 1 สัปดาห์ ควรเก็บในที่มืด และไม่ควรให้ได้รับความร้อนสูงหรือแสงอาทิตย์โดยตรง

3.2 ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่าง

3.2.1 น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์ (Deionised Distilled Water)

3.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 1 N ทำการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 40 กรัม เติมน้ำกลั่นดีไอออนไนซ์ลงไปในขวดจนครบ 1 ลิตร ผสมให้เข้ากัน

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3.1 น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์

3.3.2 กรดซัลฟูริกชนิดฟูมมิ่ง (Fuming H_2SO_4) ที่ปราศจากซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 15-18 โดยน้ำหนัก และควรใช้ด้วยความระมัดระวัง

3.3.3 ฟีนอล (Phenol) ใช้ที่เป็นผลึกสีขาวบริสุทธิ์

3.3.4 กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ความเข้มข้นอย่างต่ำร้อยละ 95

3.3.5 โปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) ที่อบแห้งไล่ความชื้นแล้วที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส (221-230 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำมาเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.3.6 สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) เตรียมโดยละลายโปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) ที่อบแล้ว ปริมาณ 2.198 กรัม ในน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร

3.3.7 สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไนเตรท (Working Standard KNO_3 Solution) เจือจางสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) ในข้อ 3.3.6 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ สารละลายมาตรฐานสำหรับใช้งาน 1 มิลลิลิตร มีค่าเทียบเท่ากับไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 100 ไมโครกรัม

3.3.8 สารละลายกรดฟีนอลไดซัลโฟนิก (Phenoldisulfonic) เตรียมโดยละลายผลึกฟีนอลบริสุทธิ์ 25 กรัม ในกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น ปริมาตร 150 มิลลิลิตร บนเครื่องอังไอน้ำ รอให้เย็นแล้วเติมกรดซัลฟูริกชนิดฟูมมิ่ง (Fuming H_2SO_4) 75 มิลลิลิตร หลังจากนั้นให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส (212 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วเก็บในขวดสีเข้มมีจุกปิด

3.3.9 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น

4. การเก็บตัวอย่าง การเก็บรักษา การบรรจุ และการขนย้าย (Sample Collection, Preservation, Storage, and Transport)

4.1 การเก็บตัวอย่าง

4.1.1 ปริมาตรของขวดเก็บตัวอย่าง ต้องทราบปริมาตรรวมที่แน่นอนของขวดเก็บตัวอย่างและวาล์วของขวดเก็บตัวอย่างก่อนที่จะนำมาเก็บตัวอย่าง โดยประกอบขวดเก็บตัวอย่างและวาล์วเข้าด้วยกัน แล้วเติมน้ำผ่านวาล์วลงไปจนเต็ม แล้ววัดปริมาตรน้ำ ซึ่งต้องมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ± 10 มิลลิลิตร ติดฉลากแสดงค่าปริมาตรลงบนขวดเก็บตัวอย่างและวาล์ว

4.1.2 ปิเปตสารละลายดูดซึม (Absorbing Solution) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดเก็บตัวอย่าง โดยให้มีสารละลายดูดซึมเหลือเพียงพอในการเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับปรับเทียบความถูกต้อง ต่อเชื่อมวาล์วของขวดเก็บตัวอย่างและเปิดวาล์วอยู่ในตำแหน่งเป่าไล่อากาศ (Purge) ประกอบชุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ 7.1 ต่อท่อชักตัวอย่างอากาศในตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ตรวจสอบการต่อเชื่อมข้อต่อไม่ให้มีรอยรั่วใดๆ และใช้ไขข้น (Grease) ทาหมุนวาล์วของขวดเก็บตัวอย่างและวาล์วของปั๊มลมไปที่ตำแหน่งดูดอากาศ (Evacuate) เปิดเครื่องสูบอากาศดูดอากาศออกจากขวดเก็บตัวอย่าง จนภายในขวดเกิดเป็นสุญญากาศมีค่าความดันสัมบูรณ์เท่ากับหรือต่ำกว่า 75 มิลลิเมตรปรอท (3 นิ้วปรอท) ดูดอากาศต่อไปจนกระทั่งค่าความดันใกล้เคียงกับค่าความดันไอของน้ำ หลังจากนั้นหมุนวาล์วของปั๊มไปที่ตำแหน่งระบายอากาศ (Vent) แล้วปิดปั๊มและตรวจสอบรอยรั่วโดยสังเกตค่าความดันจากมานอมิเตอร์ (หากระดับของเหลวในมานอมิเตอร์เปลี่ยนแปลงไปมากกว่า 10 มิลลิเมตรปรอท ภายในเวลา 1 นาที แสดงถึงการรั่วในระบบ และต้องมีการแก้ไขปัญหาการรั่วก่อนนำมาใช้เก็บตัวอย่าง) ความดันสัมบูรณ์ภายในขวดเก็บตัวอย่างต้องไม่เกินกว่า 75 มิลลิเมตรปรอท (3 นิ้วปรอท) ทำการบันทึกปริมาตรของขวดเก็บตัวอย่างและวาล์ว (V_f) อุณหภูมิของขวดเก็บตัวอย่าง (T_i) และค่าความดันบรรยากาศ หมุนวาล์วขวดเก็บตัวอย่างทวนเข็มนาฬิกาไปยังตำแหน่งเป่าไล่อากาศ (Purge) และทำแบบเดียวกันนี้กับวาวล์ของปั๊มทำให้ท่อชักตัวอย่างอากาศและหลอดสุญญากาศ

เต็มไปด้วยอากาศในปล่องที่จะตรวจวัดโดยใช้ลูกยาง ถ้าพบว่ามีการควบแน่นเกิดขึ้นในท่อชักตัวอย่างและขวดเก็บตัวอย่าง ให้แก้ไขโดยให้ความร้อนและเป่าไล่อากาศ (Purge) จนกระทั่งหยดน้ำหายไป หลังจากนั้นให้หมุนวาล์วที่ปั๊มไปยังตำแหน่งระบายอากาศ (Vent) และหมุนวาล์วขวดเก็บตัวอย่างตามเข็มนาฬิกาไปยังตำแหน่งดูดอากาศ (Evacuate) บันทึกค่าความแตกต่างของระดับปรอทในมานอมิเตอร์ ค่าความดันสัมบูรณ์ภายในขวดแก้วเก็บตัวอย่าง (P_i) มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศลบด้วยค่าที่อ่านได้จาก มานอมิเตอร์ จากนั้นรีบหมุนวาล์วขวดเก็บตัวอย่างให้อยู่ในตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง (Sample Position) แล้วปล่อยให้ก๊าซผ่านเข้าไปในท่อและขวดเก็บตัวอย่างจนกระทั่งมีความดันเท่ากันตามปกติ จะใช้เวลาประมาณ 15 วินาที ถ้าใช้เวลานานกว่านี้แสดงว่ามีการอุดตันในท่อชักตัวอย่างอากาศ (Probe) ซึ่งต้องทำการแก้ไขก่อนเก็บตัวอย่างต่อไป หลังการเก็บตัวอย่างแล้วให้ปิดวาล์วที่ขวดแก้วเก็บตัวอย่างไปยังตำแหน่งเป่าไล่อากาศ (Purge) จากนั้นถอดขวดเก็บตัวอย่างออกจากชุดเก็บตัวอย่าง

4.1.3 เขย่าขวดเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 5 นาที

4.1.4 ถ้าตัวอย่างก๊าซที่เก็บมามีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะทำการเปลี่ยนไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ให้เพิ่มออกซิเจนลงไปในขวดเก็บตัวอย่างเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ การเติมออกซิเจนทำได้ 3 วิธีคือ (1) ก่อนสูบอากาศในขวดเก็บตัวอย่างออก ให้พ่นด้วยออกซิเจนบริสุทธิ์ สูบอากาศออกจนกระทั่งมีความดันสัมบูรณ์เป็น 75 มิลลิเมตรปรอทหรือเทียบเท่า (2) ฉีดออกซิเจนลงไปในขวดแก้วเก็บตัวอย่างหลังจากเก็บตัวอย่างแล้ว (3) หยุดการเก็บโดยให้มีสภาพสุญญากาศเหลือในขวดเก็บตัวอย่าง โดยให้มีความดันต่ำสุด 50 มิลลิเมตรปรอท (2 นิ้วปรอท) บันทึกค่าความดันสุดท้ายนี้ แล้วระบายอากาศออกจากขวดเก็บตัวอย่างสู่บรรยากาศจนกระทั่งความดันในขวดเก็บตัวอย่างเกือบเท่าความดันบรรยากาศ

4.2 การเก็บรักษาตัวอย่าง (Sample Recovery) วางขวดเก็บตัวอย่างไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมงแล้วเขย่าสารในขวดเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 2 นาที

4.2.1 ประกอบขวดเก็บตัวอย่างเข้ากับ U-Tube มานอมิเตอร์ที่บรรจุปรอทไว้ภายใน เปิดวาล์วขวดเก็บตัวอย่างให้อากาศไหลไปยังมานอมิเตอร์และทำการบันทึกอุณหภูมิของขวดเก็บตัวอย่าง (T_f) ความดันบรรยากาศและความแตกต่างของระดับปรอทในมานอมิเตอร์ ความดันสัมบูรณ์ภายในขวดเก็บตัวอย่างเท่ากับความดันบรรยากาศลบด้วยค่าที่อ่านได้จากมานอมิเตอร์ ถ่ายสารในขวดเก็บตัวอย่างไปยังขวดบรรจุเก็บตัวอย่างพลาสติกโพลีเอทิลีนกลั้วขวดเก็บตัวอย่าง 2 ครั้งด้วยน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ ครั้งละ 5 มิลลิลิตร และเติมน้ำที่ได้จากการกลั้วลงในขวดพลาสติกโพลีเอทิลีน ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ระหว่าง pH 9-12 โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 N ทีละหยด (ประมาณ 25-35 หยด) ตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้แท่งแก้วคนจุ่มในสารละลายแล้วใช้แท่งแก้วแตะกับกระดาษวัดความเป็นกรด-ด่าง ทำเครื่องหมายที่บอกระดับความสูงของของเหลวเพื่อตรวจสอบการรั่วไหลหลังการขนย้าย ปิดฉลากระบุชนิดของสาร ปิดภาชนะเพื่อทำการขนย้าย

5. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

5.1 การควบคุมคุณภาพทั่วไป

หัวข้อ	มาตรการการควบคุมคุณภาพ	ผลกระทบ
6.1	การปรับเทียบความถูกต้องเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	ตรวจสอบให้มั่นใจว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สอดคล้องกับมาตรฐาน
7.4	Audit Sample Analysis	ประเมินเทคนิคและการเตรียมสารมาตรฐานของนักวิเคราะห์

6. การปรับเทียบความถูกต้องและการปรับเทียบมาตรฐาน (Calibration and Standardisation)

6.1 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

6.1.1 การหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม

(1) ต้องทำการปรับเทียบความยาวคลื่นของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทุกๆ 6 เดือน โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง (Energy Source) ที่ให้พลังงานช่วง Intense Emission Line เช่น Mercury Lamp หรือใช้ชุด Glass Filters เพื่อหาช่วงการวัดของเครื่อง วัสดุที่ใช้ในการปรับเทียบจะต้องหาซื้อได้ง่ายจากสถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Institute of Stantdards and Technology) รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการใช้วัสดุดังกล่าว สามารถสอบถามได้จากผู้จำหน่าย ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเทคนิคการปรับเทียบความถูกต้อง ศึกษาได้จากหนังสืออ้างอิงทางด้านเคมีวิเคราะห์ สำหรับทุกๆ ตำแหน่งที่ทำการปรับเทียบ ณ ความยาวคลื่นของ

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ค่าที่อ่านได้จะต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 นาโนเมตร หากเกินกว่านี้ต้องแก้ไขและปรับเทียบความถูกต้องใหม่อีกครั้ง เมื่อทำการปรับเทียบเรียบร้อยแล้วให้ใช้ความยาวคลื่นที่ 410 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารมาตรฐานและตัวอย่าง

(2) ทางเลือกอื่น คือการ Scanning เพื่อตรวจสอบหาความยาวคลื่นที่เหมาะสม ในกรณีที่ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ ให้ทำการตรวจสอบที่ความยาวคลื่นระหว่าง 400 - 415 นาโนเมตร ใช้สารละลายมาตรฐานที่มีปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เข้มข้น 200 ไมโครกรัม ใส่ในเซลล์ตัวอย่างและสารละลายอ้างอิงในเซลล์อ้างอิง ถ้าไม่มีค่า Peak ปรากฏในช่วงความยาวคลื่น 400-415 นาโนเมตร อาจเกิดจากเครื่องทำงานไม่ปกติและต้องทำการซ่อมแซม ถ้ามี Peak ปรากฏขึ้นระหว่าง 400-415 นาโนเมตร ถือว่าเป็นความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุดในการวัดค่าการดูดกลืนแสง ในกรณีที่ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดียว ให้ทำเช่นเดียวกับลำแสงคู่ เว้นแต่การ Scaning ผ่านแบลงค์และสารละลายไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) มาตรฐาน ต้องทำแยกกันทีละครั้ง โดยความยาวคลื่นที่เหมาะสมต้องเป็นความยาวคลื่นที่มีความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงระหว่างแบลงค์และสารละลายมาตรฐานมากที่สุด

6.1.2 การปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (K_c) ให้เติมสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไนเตรท (KNO_3) ที่ครอบคลุมช่วงการวัดจำนวน 0, 2, 4, 6, 8 มิลลิลิตร (สารละลายมาตรฐาน 1 มิลลิลิตรเทียบเท่าไนโตรเจนไดออกไซด์ 100 ไมโครกรัม) ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 5 ขวด เติมสารละลายดูดซึม 25 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด จากนั้นเติมน้ำ 10 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 N ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 9-12 ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำผสมให้เข้ากัน ปิเปตสารละลาย 25 มิลลิลิตร จากแต่ละขวดลงในถ้วยกระเบื้องระเหยสาร ทำการวิเคราะห์ตามวิธีในข้อ 7.2 จนกระทั่งสารละลายระเหยไปหมด ถ่ายตะกอนที่เหลือลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรแล้ว วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแต่ละชนิดที่

ความยาวคลื่นที่เหมาะสม การปรับเทียบความถูกต้องนี้ต้องทำทุกวันที่มีการวิเคราะห์ตัวอย่าง การคำนวณปัจจัยปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แสดงในหัวข้อ 8.2

6.1.3 การควบคุมคุณภาพการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำได้โดยคูณค่าดูดกลืนแสงที่ได้จากการวัดสารละลายมาตรฐานแต่ละตัวกับ K_c แฟคเตอร์ (Reciprocal of Least Squares Slopes) เพื่อใช้หาระยะห่างของจุดปรับเทียบอย่างถูกต้องในแต่ละจุดจากค่าตามทฤษฎีความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้และค่าที่วัดได้จริง (เช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 100, 200, 300 และ 400 ไมโครกรัม) ควรจะน้อยกว่าร้อยละ 7 ของค่ามาตรฐานทั้งหมด

6.2 บาโรมิเตอร์ ต้องปรับเทียบความถูกต้องกับบาโรมิเตอร์แบบปรอท

6.3 เครื่องวัดอุณหภูมิ ปรับเทียบความถูกต้องของ Dial Thermometer กับเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทแก้ว

6.4 เครื่องวัดสุญญากาศ ปรับเทียบความถูกต้องด้วยเครื่องวัดสุญญากาศแบบเครื่องกลกับมานอมิเตอร์แบบปรอท ดังที่ระบุไว้ใน 2.1.6

6.5 เครื่องชั่ง ปรับเทียบความถูกต้องกับตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน

7. วิธีการวิเคราะห์
(Analytical Procedure)

7.1 การตรวจสอบการสูญเสียตัวอย่าง บันทึกปริมาณของเหลวในภาชนะบรรจุเพื่อยืนยันว่ามีการหายไปของตัวอย่างในขณะขนย้ายหรือไม่ บันทึกผลไว้ในข้อมูลการวิเคราะห์ ถ้าพบว่ามีการรั่วไหลเกิดขึ้น แสดงว่าตัวอย่างและวิธีการที่ใช้ไม่สามารถนำมาใช้ได้ ต้องมีการแก้ไขและปรับเปลี่ยนใหม่

7.2 การเตรียมตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างต้องทำทันทีก่อนการวิเคราะห์ โดยถ่ายสารจากภาชนะบรรจุลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร กลั้วภาชนะบรรจุด้วยน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ 2 ครั้ง ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ใส่รวมลงในขวดปรับปริมาตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ปิเปตสารละลาย 25 มิลลิลิตร ลงในจานระเหยชนิดกระเบื้อง นำตัวอย่างส่วนที่เหลือเก็บไว้ในขวดโพลีเอทิลีน ระเหยสารละลายจนแห้งโดยใช้เครื่องอังไอน้ำ ทิ้งให้เย็น เติมสารละลายกรดฟีนอลไดซัลโฟนิก 2 มิลลิลิตรลงไป ใช้ Policeman ชนิดโพลีเอทิลีนคนสารละลายให้สัมผัสกับตะกอน เติมน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ 1 มิลลิลิตร หยดสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 4 หยด ให้ความร้อนด้วยเครื่องอังไอน้ำ 3 นาที พร้อมทั้งคนเป็นครั้งคราว ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำ 20 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันด้วยแท่งแก้ว เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้นทีละหยด พร้อมทั้งคนสารตลอดเวลา จนกระทั่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 (ตรวจสอบด้วยกระดาษวัดความเป็นกรด-ด่าง) ถ้าตัวอย่างมีของแข็งปะปนให้กรองออกด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 (หรืออาจใช้วิธีการเซนติฟิวส์ก็ได้) เทของเหลวลงไปในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร กลั้วจานระเหยชนิดกระเบื้อง 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ล้างแผ่นกรอง 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ครั้งละ 15 มิลลิลิตร เทน้ำล้างกระดาษกรองและน้ำกลั้วจานระเหยชนิดกระเบื้องรวมในขวดปรับปริมาตรแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

7.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง ผสมสารในขวดปรับปริมาตรให้เข้ากันทั่ว แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้สารละลายแบลงค์ (Solution Blank) เป็นตัวปรับศูนย์ (Zero Reference) ถ้าวัดค่าการดูดกลืนแสงได้มากกว่า A4 ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) มาตรฐาน ปริมาณ 400 ไมโครกรัมให้เจือจาง สารละลายตัวอย่างและสารละลายอ้างอิงด้วยน้ำกลั่นดิไอออนไนซ์ปริมาตรเท่ากัน

7.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง (Audit Sample Analysis)

7.4.1 เมื่อวิธีที่ใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างเพื่อแสดงว่าการปล่อยสารมลพิษเป็นไปตามข้อกำหนด ต้องมีการวิเคราะห์ตัวอย่างใช้สำหรับการตรวจประเมินด้วย

7.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจประเมินและตัวอย่างต้องตรวจสอบด้วยวิธีการเดียวกันใช้เพื่อตรวจสอบวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานและเทคนิคของผู้วิเคราะห์

7.4.3 การวิเคราะห์สารตัวอย่างและสารที่ใช้ตรวจสอบด้วยผู้วิเคราะห์คนเดียวกัน สารเคมีและวิธีการวิเคราะห์เดียวกัน และควรมีการทำซ้ำ

7.5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง

7.5.1 ทำการคำนวณระดับความเข้มข้นของสารที่ใช้ตรวจประเมิน

7.5.2 ทำการรายงานผลของสารที่ใช้ตรวจสอบและสารตัวอย่างโดยระบุหมายเลข ชื่อผู้วิเคราะห์ รวมทั้งข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

7.5.3 ระดับความเข้มข้นของสารตัวอย่างในการตรวจประเมินต้องมีความแตกต่างจากค่าที่แท้จริงไม่เกินร้อยละ 5 จากระดับความเข้มข้นที่แท้จริง มิฉะนั้นต้องทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง

7.5.4 หากมีความผิดพลาดมากกว่าร้อยละ 5 ต้องมีการทำการทดลองใหม่จนกว่าปัญหาจะได้รับการแก้ไข ทำการวิเคราะห์สารตรวจสอบให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

8. การวิเคราะห์ข้อมูล และการคำนวณ (Data Analysis and Calculations)

ในระหว่างการคำนวณผล ให้คงจำนวนเลขนัยสำคัญไว้มากกว่าจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง และเมื่อได้ผลลัพธ์สุดท้ายของการคำนวณ ให้ปัดเลขนัยสำคัญตัวสุดท้ายตามหลักคณิตศาสตร์ เช่น สมมติว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4 ดังนั้น ค่าในระหว่างการคำนวณจะต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง และเมื่อสิ้นสุดการคำนวณผลลัพธ์สุดท้ายต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

8.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ (Nomenclature)

A = ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 100 ไมโครกรัม

A_2 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 200 ไมโครกรัม

A_3 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 300 ไมโครกรัม

A_4 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 400 ไมโครกรัม

C = ระดับความเข้มข้นของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ในรูปของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่สภาวะแห้ง และปรับให้เป็นสภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

C_d = ระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่ใช้ตรวจประเมินที่ระบุไว้แล้ว มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่สภาวะแห้ง

C_a = ระดับความเข้มข้นของตัวอย่างที่ตรวจประเมินที่ได้จากการวิเคราะห์ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่สภาวะแห้ง

F = อัตราส่วนการเจือจาง (Dilution Factor) เช่น 25/5 25/10 ใช้เมื่อมีการเจือจางสารตัวอย่างเพื่อลดค่าการดูดกลืนแสงให้อยู่ในช่วงของการปรับเทียบ

K_c = ปัจจัยการปรับเทียบเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

K_1 = 0.3921 เคลวินต่อมิลลิเมตรปรอท สำหรับหน่วยเมตริก
= 17.95 แรงคินต่อนิ้วปรอท สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_2 = 10^3 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยเมตริก
= 6.242×10^{-5} ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับหน่วยอังกฤษ

m = มวลของออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ในรูปของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) จากตัวอย่างก๊าซ มีหน่วยเป็นไมโครกรัม

P_f = ค่าความดันสัมบูรณ์สุดท้ายในขวดเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

P_i = ค่าความดันสัมบูรณ์เริ่มต้นในขวดเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

P_{std} = ค่าความดันสัมบูรณ์มาตรฐาน 760 มิลลิเมตรปรอท (29.92 นิ้วปรอท)

RE = ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ สำหรับการควบคุมคุณภาพของสารตัวอย่าง มีหน่วยเป็นร้อยละ

T_f = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์สุดท้ายในขวดเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเคลวิน

T_i = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์เริ่มต้นในขวดเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นเคลวิน

T_{std} = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์มาตรฐาน 298 เคลวิน

V_{sc} = ปริมาตรของสารตัวอย่างที่สภาวะมาตรฐาน (ภาวะแห้ง) มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_f = ปริมาตรของขวดเก็บตัวอย่างและวาล์ว มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_a = ปริมาตรของสารละลายดูดซึม (25 มิลลิลิตร)

2 = ค่าคงที่ = 50/25

8.2 ปัจจัยการปรับเทียบความถูกต้องของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ คำนวณโดยใช้สมการที่ 7-1

$$K_c = 100 \frac{A_1 + 2A_2 + 3A_3 + 4A_4}{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2} \qquad \text{สมการที่ 7-1}$$

8.3 ปริมาตรของสารตัวอย่างที่สภาวะอากาศแห้ง ปรับให้เป็นในสภาวะมาตรฐานโดยใช้สมการที่ 7-2

$$V_{sc} = (V_f - V_a) \frac{T_{std}}{P_{std}} \left[\frac{P_f}{T_f} - \frac{P_i}{T_i} \right] \qquad \text{สมการที่ 7-2}$$

$$= K_1 (V_f - 25) \left[\frac{P_f}{T_f} - \frac{P_i}{T_i} \right]$$

8.4 ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ทั้งหมดต่อตัวอย่าง คำนวณโดยใช้สมการที่ 7-3

$$m = 2K_c AF \qquad \text{สมการ 7-3}$$

8.5 ระดับความเข้มข้นของตัวอย่าง ที่สภาวะอากาศแห้งปรับแก้เป็นสภาวะมาตรฐาน คำนวณโดยใช้สมการที่ 7-4

$$C = K_2 (m/V_{sc}) \qquad \text{สมการ 7-4}$$

8.6 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ สำหรับการควบคุมคุณภาพของสารตัวอย่าง คำนวณโดยใช้สมการที่ 7-5

$$RE = 100(C_d - C_a)/C_a \qquad \text{สมการ 7-5}$$

แบบ คพ. 7-1 แบบรายงานผลการตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์

ข้อมูลทั่วไป

ชื่อโรงงาน.....

ที่อยู่.....

วันที่ตรวจวัด..... เวลา.....น.

ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง.....

ตัวอย่างที่.....

อุณหภูมิบรรยากาศ.....°c.

ความกดบรรยากาศ..... มม.ปรอท

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ.....ม.

พื้นที่หน้าตัดของท่อ.....ตร.ม.

การเก็บตัวอย่าง

ปริมาตรของขวดเก็บตัวอย่างและลิ้นขวดเก็บตัวอย่าง (V_f).....มล.

ปริมาตรของสารละลายดูดซึม (V_a) ..... มล.

ความสัมบูรณ์เริ่มต้นของขวดเก็บตัวอย่าง (P_i) .....มม.ปรอท.

ความสัมบูรณ์สุดท้ายของขวดเก็บตัวอย่าง (P_f) .....มม.ปรอท.

อุณหภูมิสัมบูรณ์เริ่มต้นของขวดเก็บตัวอย่าง (T_i) ..... °K.

อุณหภูมิสัมบูรณ์สุดท้ายของขวดเก็บตัวอย่าง (T_i) ..... °K.

การวิเคราะห์

ค่าการดูดกลืนแสงของ 100-มค.ก. NO_2 มาตรฐาน (A_1) .....

ค่าการดูดกลืนแสงของ 200-มค.ก. NO_2 มาตรฐาน (A_2) .....

ค่าการดูดกลืนแสงของ 100-มค.ก. NO_2 มาตรฐาน (A_3) .....

ค่าการดูดกลืนแสงของ 100-มค.ก. NO_2 มาตรฐาน (A_4) .....

แฟคเตอร์ปรับแต่งของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (K_c).....K

Aliquor Factor.....

อัตราส่วนเจือจาง.....

ค่าการดูดกลืนแสงของ Sample (A).....

ลงชื่อ.....

(.....)

ตำแหน่ง.....

หน่วยงาน.....

ผู้ตรวจวัด

วิธีที่ 8 การหาปริมาณกรดซัลฟูริกและการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่ (Determination of Sulfuric Acid and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources)

1. หลักการและขอบเขตของวิธีการ (Principle and Applicability)

1.1 หลักการ (Principle) เก็บตัวอย่างอากาศแบบไอโซไคเนติก (Isokinetic Sampling) จากปล่องของแหล่งกำเนิดมลพิษโดยแยกกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โดยวิธีการไตเตรทด้วยแบเรียม-ธอริน

การหาปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องตามที่กำหนดไว้ในประกาศนี้ ได้นำวิธีการตามที่กำหนดไว้ใน 40 CFR Part 60, Appendix A, Method 8 Determination of Sulfuric Acid and Sulfur Dioxide Emissions from Stationary Sources, 2001 Edition ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกามาประยุกต์ใช้โดยได้ปรับปรุงแก้ไขตามความเหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทย

1.2 ขอบเขตของวิธีการ (Applicability) เพื่อหาปริมาณกรดซัลฟูริก รวมถึงละอองของกรดซัลฟูริก และซัลเฟต (SO_3) และการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียของแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่

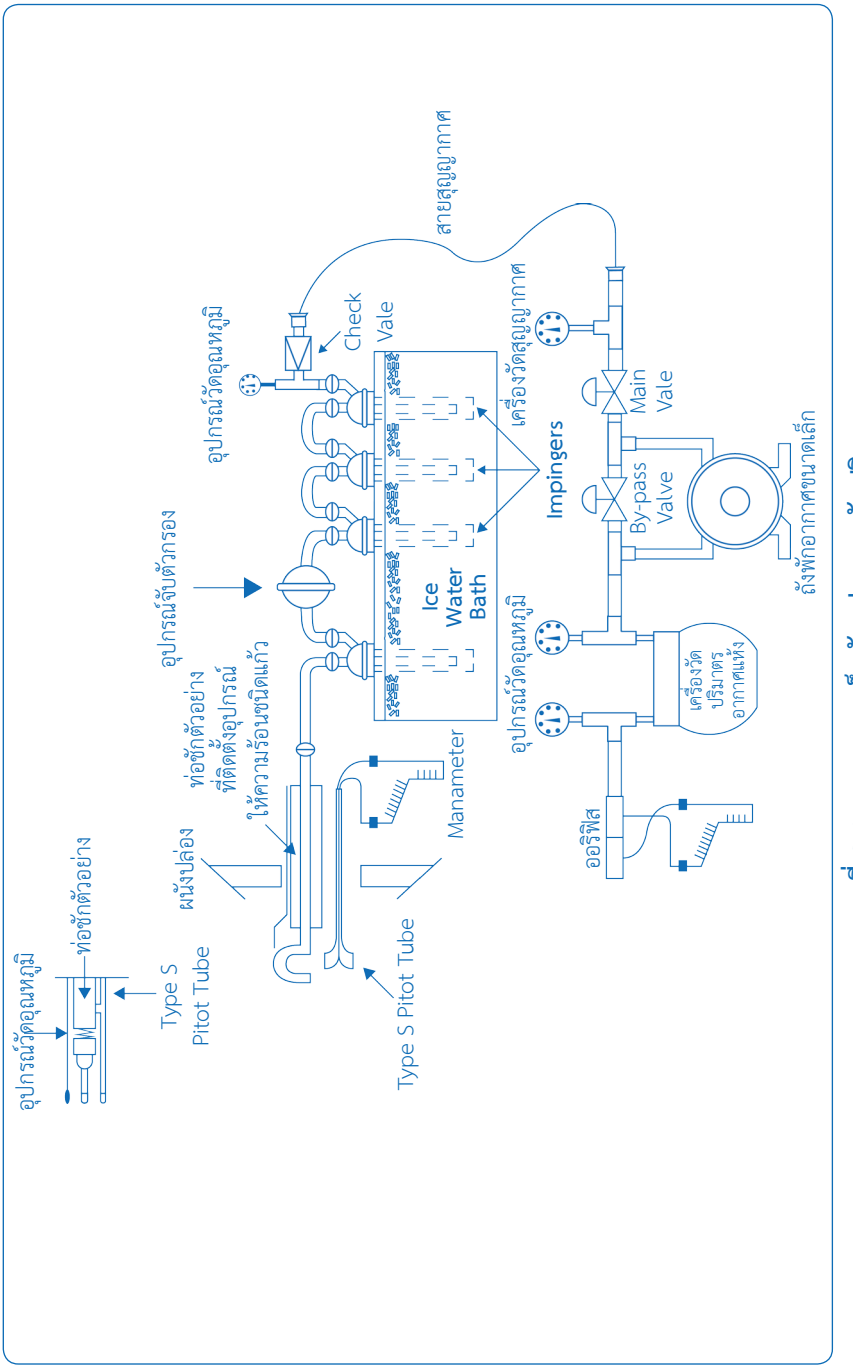
หมายเหตุ: *หากต้องการหาปริมาณฝุ่นละอองได้พร้อมกับกรดซัลฟูริก และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำได้โดยการใส่แผ่นกรองชนิดที่ให้ความร้อนเพิ่มระหว่างท่อชักตัวอย่างและ Isopropanol Impinger (ตามวิธีที่ 6)*

การหาปริมาณการระบายก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามวิธีการนี้ ต้องอาศัยขั้นตอนในการตรวจวัดการระบายมลพิษทางอากาศตามวิธีที่ 1, 2, 3, 5 และ 6 เพื่อให้ได้ผลการตรวจวัดที่เชื่อถือได้

2. อุปกรณ์และวัสดุ (Equipment and Supplies)

2.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง เหมือนกับวิธีที่ 5 แต่มีข้อกำหนดดังนี้

2.1.1 ชุดเก็บตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 8-1 คล้ายกับวิธีที่ 5 ยกเว้นว่า ตำแหน่งของแผ่นกรองแตกต่างกัน และไม่ต้องให้ความร้อนกับตัวจับแผ่นกรอง (Filter Holder) ดูรายละเอียดและแนวทางการเก็บตัวอย่างและการบำรุงรักษาใน วิธีที่ 5 ชุดเก็บตัวอย่างประกอบด้วย



ภาพที่ 8-1 แสดงชุดเก็บตัวอย่างกรดซัลฟูริก

ภาพที่ 8-1ก ชุด Impinger

(1) ท่อชักตัวอย่าง (Probe Liner) ทำจากแก้วโบโรซิลิเคท (Borosilicate) หรือแก้วควอซ์ท (Quartz) โดยมีอุปกรณ์ให้ความร้อน เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิของอากาศในท่อชักตัวอย่างในช่วงระหว่างการเก็บตัวอย่าง ห้ามใช้ท่อชักตัวอย่างชนิดโลหะ

(2) Filter Holder ทำจากแก้วโบโรซิลิเคท โดยมีแผ่นรองรับกระดาษกรอง และมีประเก็นยางทำจากซิลิโคน (Silicone) (อาจจะใช้ประเก็นทำจากเทฟล่อน) Filter Holder ต้องออกแบบให้ภายในมีความดันเป็นบวก (Positive Pressure) เพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกรั่วซึมเข้ามาในระบบ ในการประกอบชุดเก็บตัวอย่างอากาศให้ต่อ Filter Holder ระหว่าง Impinger ใบที่ 1 และ 2 ห้ามให้ความร้อนกับ Filter Holder

(3) Impinger 4 ใบ เป็นแบบ Modified Greenburg-Smith แสดงดังภาพที่ 8-1 เรียงต่อกันด้วยข้อต่อทำด้วยแก้วปราศจากรอยรั่ว โดยที่ Impinger ใบที่ 1 และ 3 มีปลายท่อเป็นแบบมาตรฐาน ใบที่ 2 และ 4 ต้องใส่ท่อแก้วตรง (ID Glass Tube) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 13 มิลลิเมตร (หรือ 1/2 นิ้ว) โดยให้ห่างจากก้นของ Impinger ประมาณ 13 มิลลิเมตร (หรือ 1/2 นิ้ว) ดังภาพที่ 8-1ก

(4) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) เป็นแบบ Thermometer หรือเทียบเท่า สามารถวัดอุณหภูมิของก๊าซภายในชุดเก็บตัวอย่างโดยมีความคลาดเคลื่อน ± 1 องศาเซลเซียส (หรือ ± 2 องศาฟาเรนไฮต์)

2.2 ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่าง

2.2.1 ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash Bottle) ทำด้วยโพลีเอทิลีน ขนาด 500 มิลลิลิตร

2.3.2 กระบอกตวง (Graduated Cylinder) 2 ใบ ขนาด 250 มิลลิลิตร และ 1 ลิตร (อาจใช้ขวดปรับปริมาตร (Volumetric Flasks) แทนได้

2.2.3 ขวดเก็บตัวอย่าง ทำด้วยโพลีเอทิลีน ขนาด 1 ลิตร เพื่อเก็บตัวอย่างจาก Impinger (1 ขวดต่อ 1 ตัวอย่าง)

2.2.4 เครื่องชั่ง (Balance) สามารถชั่งน้ำหนักได้ 500 กรัม และมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม

2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.3.1 ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร และ 100 มิลลิลิตร

2.3.2 บิวเรต (Burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.3.3 ขวดชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร (1 ขวดต่อ 1 ตัวอย่าง, 1 ขวดสำหรับแบลงค์ และ 1 ขวดสำหรับสารมาตรฐาน)

2.3.4 กระบอกตวง (Graduated Cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.3.5 ขวดบรรจุสารที่มีหลอดหยดในตัว (Dropping Bottle) ขนาด 125 มิลลิลิตร

3. สารเคมี และสารมาตรฐาน (Reagents and Standards)

3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

3.1.1 กระดาษกรองและสารดูดความชื้นชนิดซิลิกาเจล เช่นเดียวกับวิธีที่ 5

3.1.2 น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์ (Deionized Distilled Water) เช่นเดียวกับวิธีที่ 6

3.1.3 ไอโซโพรพานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตร โดยผสมไอโซโพรพานอล 800 มิลลิลิตร กับน้ำ 200 มิลลิลิตร ตรวจสอบหาสารเปอร์ออกไซด์ในไอโซโพรพานอลตามขั้นตอนในวิธีที่ 6

3.1.4 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยปริมาตร โดยเจือจางไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ด้วยน้ำ 1 ลิตร และเตรียมเมื่อต้องการใช้เท่านั้น

3.1.5 น้ำแข็งบด

3.2 ขั้นตอนการเก็บรักษาตัวอย่าง

3.2.1 น้ำกลั่นดีไอออนไนซ์

3.2.2 ไอโซโพรพานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 โดยปริมาตร

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง เช่นเดียวกับในวิธีที่ 6

4. การเก็บตัวอย่าง การเก็บรักษา การบรรจุ และการขนย้าย (Sample Collection, Preservation, Storage, and Transport)

4.1 การเตรียมการก่อนเก็บตัวอย่าง (Pretest Preparation) เหมือนวิธีที่ 5 ยกเว้นว่าควรมีการตรวจสภาพแผ่นกรองแต่ไม่จำเป็นต้องอบเพื่อดูดความชื้นชั่งน้ำหนัก หรือติดฉลากบอกหมายเลข ในกรณีที่อากาศเสียอยู่ในสภาวะแห้งไม่จำเป็นต้องชั่งน้ำหนักซิลิกาเจล

4.2 การหาค่าเบื้องต้น (Preliminary Determinations) เหมือนในวิธีที่ 5

4.3 การเตรียมชุดเก็บตัวอย่างอากาศ (Preparation of Sampling Train) เหมือนกับในวิธีที่ 5 โดยมีข้อยกเว้นดังนี้

4.3.1 ใช้ภาพที่ 8-1 แทนภาพที่ 5-1

4.3.2 ปฏิบัติตามวิธีที่ 5 แต่เปลี่ยนสารละลายใน Impinger ดังนี้

(1) Impinger ใบที่ 1 ให้เติมไอโซโพรพานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร

(2) Impinger ใบที่ 2 และ 3 ให้เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาณ 100 มิลลิลิตร

(3) Impinger ใบที่ 4 ให้ใส่ซิลิกาเจลประมาณ 200 กรัม

4.4 การตรวจสอบรอยรั่วระบบเครื่องตรวจวัด (Leak Check of Metering System) เหมือนในวิธีที่ 5

4.5 การตรวจสอบรอยรั่วก่อนการชักตัวอย่าง (Pretest Leak Check) ขั้นตอนนี้อาจไม่จำเป็นต้องทำก็ได้ แต่หากต้องการจะทำวิธีการตรวจสอบให้ปฏิบัติตามขั้นตอนในวิธีที่ 5 ยกเว้นว่าต้องให้ความร้อนท่อชักตัวอย่างเพียงพอเพื่อป้องกัน

การควบแน่น และให้เปลี่ยนการอุดที่ปลายด้านเข้าของ Filter Holder เป็นการอุดที่ปลายด้านเข้าของ Impinger ใบที่ 1 แทน

4.6 การชักตัวอย่างอากาศ (Sampling Train Operation) ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนในวิธีที่ 5 โดยเพิ่มขั้นตอนดังนี้

4.6.1 บันทึกข้อมูลลงในแบบรายงานผลการชักตัวอย่าง แสดงดังแบบ คพ. 8-1 อัตราการชักตัวอย่างต้องไม่เกิน 0.030 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที (1.0 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) ในระหว่างการเก็บตัวอย่างให้สังเกตการควบแน่นบริเวณระหว่างท่อชักตัวอย่าง และ Impinger ใบที่ 1 เป็นระยะๆ ในกรณีที่มีการควบแน่นให้ปรับอุณหภูมิของอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ท่อชักตัวอย่างขึ้นเพื่อป้องกันการควบแน่น ในกรณีหากจำเป็นต้องเปลี่ยนอุปกรณ์บางตัวในระหว่างการชักตัวอย่างต้องทำการตรวจสอบรอยรั่วทันทีก่อนที่จะมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใดๆ ตามขั้นตอนในวิธีที่ 5

4.6.2 เมื่อสิ้นสุดการเก็บตัวอย่างอากาศแต่ละครั้ง ให้ปิดเครื่องสูบอากาศ ดึงท่อชักตัวอย่างออกจากปล่อง และบันทึกค่าปริมาตรอากาศสุดท้ายที่อ่านได้จากเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง และให้ทำการตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่างอากาศตามขั้นตอนในวิธีที่ 5 (โดยปรับแก้ให้เหมาะสมกับวิธีที่ 8) และบันทึกอัตราการรั่วซึมในกรณีที่อัตราการรั่วซึมหลังการเก็บตัวอย่างเกินกว่าที่กำหนดให้ยกเลิกการทดสอบนั้น

4.6.3 ปล่อยน้ำในถังน้ำแข็งทิ้ง และไล่อากาศภายในชุดเก็บตัวอย่างที่ยังค้างอยู่ออกโดยดูดอากาศสะอาดในบรรยากาศเข้าระบบเป็นเวลา 15 นาที ด้วยอัตราเดียวกันกับอัตราการชักตัวอย่างอากาศสะอาดเตรียมโดยดูดอากาศจากภายนอกผ่านตัวกรองชนิดถ่าน (Charcoal Filter) หรืออาจจะใช้อากาศที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ก็ได้

4.7 การคำนวณร้อยละของไอโซไคเนติก ปฏิบัติตามขั้นตอนในวิธีที่ 5

4.8 การเก็บรักษาตัวอย่าง (Sample Recovery) ให้เริ่มทำความสะอาดท่อชักตัวอย่างทันทีที่ดึงท่อชักตัวอย่างออกจากปล่อง โดยควรปล่อยให้ท่อชักตัวอย่างอากาศเย็นลงก่อนสักครู่ เพื่อความปลอดภัยในขณะปฏิบัติการ แล้วเก็บตัวอย่างตามขั้นตอนดังนี้

4.8.1 ขวดเก็บตัวอย่างหมายเลข 1

(1) ในกรณีที่มีการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ให้ทำความสะอาดและชั่งน้ำหนัก Impinger ใบที่ 1 (พร้อมกับสารที่อยู่ใน Impinger) โดยให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม และบันทึกน้ำหนักลงในแบบรายงานผล

(2) ถ่ายสารละลายจาก Impinger ใบที่ 1 ลงในกระบอกตวงขนาด 250 มิลลิลิตร ล้างท่อชักตัวอย่าง Impinger ใบที่ 1 ข้อต่อแก้วทั้งหมดที่ต่อก่อนแผ่นกรองและส่วนหน้าครึ่งแรกของ Filter Holder ด้วยสารละลายไอโซโพรพานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ลงในกระบอกตวง ปรับปริมาตรด้วยสารละลายไอโซโพรพานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ให้ได้ปริมาตร 225 มิลลิลิตร และถ่ายสารละลายลงในขวดเก็บตัวอย่าง ล้างกระบอกตวงด้วย 25 มิลลิลิตรของสารละลายไอโซโพรพานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 และถ่ายสารละลายลงในขวดเก็บตัวอย่าง ใส่แผ่นกรองลงในสารละลายในขวดเก็บตัวอย่างแล้วผสมกัน ปิดขวดเก็บตัวอย่างเพื่อป้องกันสารละลายระเหย ทำเครื่องหมายบอกระดับของของเหลวในขวดเก็บตัวอย่าง และปิดฉลากบอกรายละเอียดบนขวดเก็บตัวอย่าง

4.8.2 ขวดเก็บตัวอย่างหมายเลข 2

(1) ในกรณีที่มีการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ให้ทำความสะอาดและชั่งน้ำหนัก Impinger ใบที่ 2 และ 3 (พร้อมกับสารที่อยู่ใน Impinger) โดยให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม และบันทึกน้ำหนักลงในแบบรายงานผล ชั่งน้ำหนักซิลิกาเจลที่ใช้ใน Impinger ใบที่ 4 (หรือซิลิกาเจลกับ Impinger) โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 กรัม และบันทึกน้ำหนักลงในแบบรายงานผล

(2) ถ่ายสารละลายจาก Impinger ใบที่ 2 และ 3 ลงในกระบอกตวงขนาด 1 ลิตร ล้างข้อต่อแก้วทั้งหมด (รวมถึงส่วนครึ่งหลังของ Filter Holder) ระหว่างตัวกรอง (Filter) และ Impinger ที่ใส่ซิลิกาเจลด้วยน้ำ และใส่น้ำที่ล้างแล้วลงกระบอกตวง ปรับปริมาตรสารละลายในกระบอกตวงให้ได้ปริมาตร 950 มิลลิลิตรด้วยน้ำ แล้วถ่ายสารละลายลงในขวดเก็บตัวอย่าง ล้างกระบอกตวงด้วยน้ำ 50 มิลลิลิตร แล้วเทน้ำล้างลงในขวดเก็บตัวอย่าง ปิดขวดเก็บตัวอย่าง ทำเครื่องหมายบอกระดับของของเหลวในขวดเก็บตัวอย่าง และปิดฉลากบอกรายละเอียดบนขวดเก็บตัวอย่าง

5. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

5.1 การควบคุมคุณภาพทั่วไป

หัวข้อ	มาตรการการควบคุมคุณภาพ	ผลกระทบ
3.1.3	การตรวจสอบไอโซโพรพานอล	ตรวจสอบให้มั่นใจว่าปริมาณของเปอร์ออกไซด์ในไอโซโพรพานอลอยู่ในระดับที่ยอมรับได้
4.4 4.5 และ 6.1	การตรวจสอบรอยรั่ว และการปรับเทียบความถูกต้องของอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	ตรวจสอบให้มั่นใจว่าการตรวจวัดอัตราการไหล และปริมาตรอากาศเสียถูกต้องแม่นยำ
6.2	การปรับเทียบสารละลายมาตรฐานแบเรียม	ตรวจสอบให้มั่นใจว่า การหาค่า Normality มีความถูกต้อง
7.2	การทำไตเตรทซ้ำ	ตรวจสอบให้มั่นใจว่าการหาค่าไตเตรทมีความถูกต้อง
7.3	Audit Sample Analysis	ประเมินเทคนิคและการเตรียมสารมาตรฐานของนักวิเคราะห์

5.2 การตรวจสอบระบบเครื่องตรวจวัด ปฏิบัติตามขั้นตอนในวิธีที่ 5

6. การปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration)

6.1 อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง (Sampling Equipment) เช่นเดียวกับวิธีที่ 5

6.2 สารละลายมาตรฐานแบเรียม (Barium Standard Solution) เช่นเดียวกับวิธีที่ 6

7. วิธีการวิเคราะห์ (Analytical Procedure)

7.1 การตรวจสอบการสูญเสียตัวอย่าง ปฏิบัติตามขั้นตอนในวิธีที่ 6

7.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง

7.2.1 ขวดเก็บตัวอย่างหมายเลข 1 เขย่าขวดเก็บตัวอย่างสารละลายไอโซโพรพานอลที่มีแผ่นกรองอยู่ด้วย ในกรณีที่แผ่นกรองแตกออก ปล่อยให้ชิ้นส่วนซึมซับสารละลายประมาณ 2-3 นาที ก่อนถ่ายสารละลายออก ดูดสารละลายด้วยปิเปตปริมาณ 100 มิลลิลิตรลงในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติม Thorin Indicator 2-4 หยด ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐานแบเรียม 0.01 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู ทำการไตเตรทซ้ำ และเฉลี่ยค่าปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแบเรียมที่ใช้ไตเตรท ค่าความคลาดเคลื่อนของการไตเตรทต้องอยู่ภายในร้อยละ 1 หรือ 0.2 มิลลิลิตร ให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า

7.2.2 ขวดเก็บตัวอย่างหมายเลข 2 เขย่าขวดเก็บตัวอย่างสารละลายจาก Impinger ใบที่ 2 และ 3 ดูดสารละลายด้วยปิเปตปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในขวดชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมไอโซโพรพานอลปริมาตร 40 มิลลิลิตร และ Thorin Indicator 2-4 หยด ไตเตรทสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายมาตรฐานแบเรียม 0.01 N จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู ทำการไตเตรทซ้ำ และเฉลี่ยค่าปริมาตร

ของสารละลายมาตรฐานแบเรียมที่ใช้ไตเตรท ค่าความคลาดเคลื่อนของการไตเตรทต้องอยู่ภายในร้อยละ 1 หรือ 0.2 มิลลิลิตร ให้เลือกใช้ค่าที่มากกว่า

7.2.3 Blanks ให้เตรียมแบลงค์โดยใส่ Thorin Indicator 2-4 หยดลงในไอโซโพรพานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ให้ไตเตรทแบลงค์เหมือนกับการไตเตรทตัวอย่าง

7.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับการตรวจสอบความถูกต้อง (Audit Sample Analysis)

7.3.1 เมื่อวิธีที่ใช้วิเคราะห์สารตัวอย่างเพื่อแสดงว่าการปล่อยสารมลพิษเป็นไปตามข้อกำหนด ต้องมีการวิเคราะห์ตัวอย่างใช้สำหรับการตรวจประเมินด้วย

7.3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจประเมินและตัวอย่างต้องตรวจสอบด้วยวิธีการเดียวกันใช้เพื่อตรวจสอบวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานและเทคนิคของผู้วิเคราะห์

7.3.3 การวิเคราะห์สารตัวอย่างและสารที่ใช้ตรวจสอบด้วยผู้วิเคราะห์คนเดียวกัน สารเคมีและวิธีการวิเคราะห์เดียวกัน และควรมีการทำซ้ำ

7.4 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง

7.4.1 ทำการคำนวณระดับความเข้มข้นของสารที่ใช้ตรวจประเมิน

7.4.2 ทำการรายงานผลของสารที่ใช้ตรวจสอบและสารตัวอย่างโดยระบุหมายเลข ชื่อผู้วิเคราะห์แก่เจ้าหน้าที่ ผู้มีอำนาจรับผิดชอบ รวมทั้งข้อมูล

7.4.3 ระดับความเข้มข้นของสารตัวอย่างในการตรวจประเมินต้องมีความแตกต่างจากค่าที่แท้จริงไม่เกินร้อยละ 5 จากระดับความเข้มข้นที่แท้จริง มิฉะนั้นต้องทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง

7.4.4 หากมีความผิดพลาดมากกว่าร้อยละ 5 ต้องมีการทำการทดลองใหม่จนกว่าปัญหาจะได้รับการแก้ไข ทำการวิเคราะห์สารตรวจสอบให้ได้ตามเกณฑ์ตามที่กำหนด ในระหว่างที่ปฏิบัติตามนั้นตอนดังกล่าว อาจเลือกใช้ข้อมูลที่กำหนดสถานภาพว่าค่านั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่

8. การวิเคราะห์ข้อมูล และการคำนวณ (Data Analysis and Calculations)

ในระหว่างการคำนวณผล ให้คงจำนวนเลขนัยสำคัญไว้มากกว่าจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าที่ได้จากการตรวจวัดอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง และเมื่อได้ผลลัพธ์สุดท้ายของการคำนวณให้ปัดเลขนัยสำคัญตัวสุดท้ายตามหลักคณิตศาสตร์ เช่น สมมติว่าค่าที่ได้จากการตรวจวัดมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 4 ดังนั้น ค่าในระหว่างการคำนวณจะต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญอย่างน้อย 5 ตำแหน่ง และเมื่อสิ้นสุดการคำนวณ ผลลัพธ์สุดท้ายต้องมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 ตำแหน่ง

8.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ (Nomenclature)

C_a = ความเข้มข้นจริงของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใน Audit Sample มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะแห้ง (mg/dscm)

C_d = ความเข้มข้นที่กำหนดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ใน Audit Sample มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะแห้ง (mg/dscm)

$C_{H_2SO_4}$ = ความเข้มข้นที่กำหนดของกรดซัลฟูริก (รวมถึง SO_3) มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะแห้ง (g/dscm) หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ที่สภาวะแห้ง (lb/dscf)

C_{SO_2} = ความเข้มข้นที่กำหนดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะแห้ง (g/dscm) หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ที่สภาวะแห้ง (lb/dscf)

K_3 = 0.04904 กรัมต่อมิลลิกรัมสมมูล (g/meq) สำหรับหน่วยเมตริก
= 1.081×10^{-4} ปอนด์ต่อมิลลิกรัมสมมูล (g/meq) สำหรับหน่วยอังกฤษ

K_4 = 0.03203 กรัมต่อมิลลิกรัมสมมูล (g/meq) สำหรับหน่วยเมตริก
= 7.061×10^{-5} ปอนด์ต่อมิลลิกรัมสมมูล (lb/meq) สำหรับหน่วยอังกฤษ

N = Normality ของสารละลายแบเรียมเปอคลอเรตที่ใช้ในการไตเตรท มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมสมมูลต่อมิลลิลิตร (meq/ml)

RE = ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ของการตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่าง มีหน่วยเป็นร้อยละ

V_a = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ถูกไตเตรท สำหรับกรดซัลฟูริก มีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตร และสำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

V_{soln} = ปริมาตรรวมของสารละลายที่มีตัวอย่างอยู่ สำหรับกรดซัลฟูริก มีค่าเท่ากับ 1,000 มิลลิลิตร และสำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 250 มิลลิลิตร

V_t = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแบเรียมที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

V_{tb} = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแบเรียมที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

8.2 อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง และความดันลดเฉลี่ยคร่อมออริฟิส (H) (ดูในแบบรายงานผลดังแสดงในภาพที่ 8-2)

8.3 ปริมาตรอากาศแห้ง คำนวณตามวิธีที่ 5

8.4 ปริมาตรไอน้ำควบแน่น และความชื้นคำนวณได้เช่นเดียวกับวิธีที่ 5

8.5 ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก (รวมถึง SO_3)

$$C_{H_2SO_4} = K_3 \left[N(V_t - V_{tb})(V_{soln} / V_a) \right] / V_{m(std)} \qquad \text{สมการ 8-1}$$

8.6 ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์

$$C_{H_2SO_4} = K_3 \left[N(V_t - V_{tb})(V_{soln} / V_a) \right] / V_{m(std)} \qquad \text{สมการ 8-2}$$

8.7 ค่าการเบี่ยงเบนจากไอโซไคเนติก (Isokinetic Variation) คำนวณตามขั้นตอนในวิธีที่ 5

8.8 ความเร็วและอัตราการไหลของอากาศในปล่อง ให้คำนวณโดยใช้ข้อมูลของวิธีนี้แต่ใช้สมการตามที่ระบุในวิธีที่ 2

8.9 ค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์สำหรับตัวอย่างการตรวจสอบความถูกต้อง (Relative Error for QA Audit Samples) คำนวณตามขั้นตอนในวิธีที่ 6

9. คุณลักษณะของวิธีการตรวจวัด (Method Performance)

ช่วงการตรวจวัด (Range) กำหนดให้ค่าต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้สำหรับกรดซัลฟูริกมีค่าเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (4×10^{-9} ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต) และสำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าเท่ากับ 1.2 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (74×10^{-9} ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต) ถึงแม้ว่าไม่ได้กำหนดค่าสูงสุด แต่จากการคำนวณในทางทฤษฎีสำหรับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 3 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ค่าความเข้มข้นสูงสุดสำหรับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศตัวอย่าง 1 ลูกบาศก์เมตร (35.3 ลูกบาศก์ฟุต) มีค่าเท่ากับ 12,000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (7.7×10^{-4} ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต) ค่าสูงสุดอาจจะมีค่ามากกว่านี้ได้โดยเพิ่มปริมาณสารละลายเปอร์ออกไซด์ใน Impingers

10. การรายงานผล
(Reporting)

ให้รายงานผลการเก็บตัวอย่างกรดซัลฟูริกและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ตามแบบ คพ. 8-1

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

แบบ คพ. 8-1 แบบรายงานผลการเก็บตัวอย่างกรดซัลฟูริกและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

Plant : ..... Date : .....

Plant Location : .....

Sampling Location : ..... Run No : .....

Sample Team Operator : .....

Note :

Min. Total sample gas volume :

Min. Gas sampling time : 2 min / Sampling point

Leak Test :

Pre-test leak rate: .....cfm @.....15.....in Hg

Post-test leak rate: .....cfm @.....in Hg

(Leak rate must be less than 0.02 cfm or 4% of sampling rate)

Time: Start.....Finish.....Duration.....min

Avg. Square root of Velocity pressure of stack gas ($\sqrt{\Delta p}$) avg : .....in H_2O ***(Method 2)***

Orifice Pressure Differential @ 0.75 cfm, std. ($\Delta H_@$): .....in H_2O

Pitot tube coefficient (C_p) : ..... Dry Gas Meter Calibrationm Factor (Y) : .....

Gas Composition : $\%O_2$..... $\%CO_2$..... Moisture content (B_{ws}) : ..... ***(Method 4)***

Molecular weight of stack gas : Wet basis (M_s) : ..... Dry basis (M_d) : ..... ***(Method 3)***

Assumed volumetric flow rate through meter (Q_m) : .....ft^3/min

Absolute pressure at meter (P_m) : .....in Hg Absolute pressure at stack (P_s) : .....in Hg

Absolute temperature at meter (T_m) : .....°R Absolute temperature at stack (T_s) : .....°R

Nozzle diameter (Calculated) : .....mm Nozzle diameter (Actual) (D_n) : .....mm

Reduced terms in isokinetic equation (K) : .....

Ambient temperature : .....°F Barometric pressure (P_b) : .....in Hg

Travese Point No.	Sampling Time θ (min)	Dry Gas Meter Reading (ft^3)	Velocity Press. ΔP (in H_2O)	Office Press. Differntial ΔH (in H_2O)	Stack Temp T_s (°F)	Probe Temp (°F)	Hot Box Temp (248 ±25) (°F)	Impgr. Exit Temp (<68) (°F)	Dry Gas Meter Temp		Vacuum (in-Hg)	P_g (in H_2O)
									T_m Inlet (°F)	T_m Outlet (°F)		
	Total =	$\sum V_m$ =	$\overline{\sqrt{\Delta P}}$ =	$\overline{\Delta H}$ =	$\overline{T}_s$ =				$\overline{T}_m$ =			$\overline{P}_g$ =

% Isokinetic : _____

Plant : ..... Date : .....

Sampling Location : ..... Run No : .....

Weight (g)	Fillter No. _____	Impinger 1	Impinger 2	Impinger 3	Impinger 4	Total (W_w)
Initial						
Final						
Difference						

Standard volume of dry sample gas ($V_{m\,std}$) = $V_m * Y * (T_{std} / P_{std}) * (P_m / T_m)$ where : $P_m = P_b + [(\Delta H)_{avg} / 13.6]$

= $V_m * Y * (17.95\ ^{\circ}R / \text{in Hg}) * (P_m / T_m)$

= _____

= _____ ft^3

Standard volume of water vapor condensed and collected in impingers ($V_{w\,std}$) = $(0.04795\ ft^3/g) * W_w$

= _____

= _____ ft^3

Moisture content (B_{ws}) = $100\%\ [(V_{w\,std}] / [(V_{w\,std} + (V_{m\,std}]$

= _____

= _____ %

เอกสารอ้างอิง

United State Environmental Protection, 1995. Code of Federal Regulation 40 PART 60, Protection of Environment, US

United State Environmental Protection, 2001. Code of Federal Regulation 40 PART 60 (Appendices) Protection of Environment, US

United State Environmental Protection, 2004. Code of Federal Regulation 40 PART 60 (Appendices) Protection of Environment, US

United State Environmental Protection, 2005. Test Method and Performance Specifications http://www.epa.gov/ttn/emc/, US

United State Environmental Protection, 2019. EMC Promulgated Test Methods http://www.epa.gov/emc, US

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
92 ซ.พหลโยธิน 7 ถ.พหลโยธิน พญาไท กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2298 2300 โทรสาร 0 2298 5385
www.pcd.go.th

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์ และมีสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้