

ภาคผนวก ฉ

การตรวจวัดมลพิษทางอากาศจากปล่องโรงงาน

ภาคผนวก ฉ.1

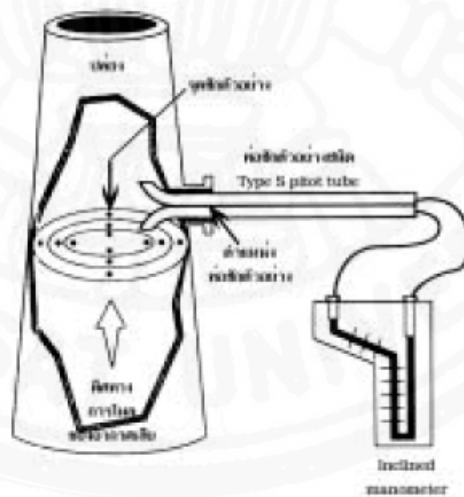
การหาตำแหน่งและจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง (U.S.EPA. Method 1)

หลักการ

ใช้สำหรับกำหนดจุดเจาะปล่อง รวมทั้งการคำนวณจำนวนและตำแหน่งจุดชักตัวอย่างอากาศในปล่อง ซึ่งเป็นตัวแทนของอากาศเสียทั้งหมดในปล่องได้อย่างใกล้เคียงที่สุด แสดงดังภาพที่ ฉ.1.1

ภาพที่ ฉ.1.1

จุดเจาะปล่องและจุดชักตัวอย่าง



วิธีการ

1. ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง

ตำแหน่งเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณฝุ่นละออง หรือเพื่อการวัดหาความเร็วของอากาศในปล่องควรจะอยู่ที่ระยะอย่างน้อยประมาณ 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่องหรือท่อทางปลายทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล (Downstream from Flow Disturbance) ต่าง ๆ ในปล่อง เช่น ข้องอ (Bend) ท่อขยาย (Expansion) ท่อลด (Contraction) หรือจากเปลวไฟ และอย่างน้อยที่สุดประมาณ 2 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางต้นทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล (Upstream from Flow Disturbance) แต่ถ้าไม่สามารถเลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่างดังกล่าวข้างต้นได้ ก็อาจเลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่าง ณ ตำแหน่งประมาณ 2 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง หรือท่อทางปลายทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล และประมาณ 0.5 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง หรือท่อทางต้นทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหลเป็นอย่างน้อยที่สุด ซึ่งยังคงได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของอากาศเสียทั้งหมดในปล่อง

สำหรับปล่องที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจะหาเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (Equivalent Diameter)

$$\text{เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า} = \frac{2 \times \text{ความยาว} \times \text{ความกว้าง}}{\text{ความยาว} + \text{ความกว้าง}}$$

2. จำนวนของจุดเก็บตัวอย่างในการหาความเร็วและปริมาณฝุ่นละอองในปล่อง

2.1 จำนวนของจุดเก็บตัวอย่างในการหาปริมาณฝุ่นละอองในปล่อง สามารถแยกตามกรณีได้ดังนี้

2.1.1 ถ้าตำแหน่งเก็บตัวอย่างอยู่ ณ ตำแหน่ง ตั้งแต่ 8 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางปลายทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล และ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางต้นทิศทางการไหล จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะเป็นดังนี้

1. บนพื้นที่หน้าตัดกลมหรือสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่ามากกว่า 0.61 เมตร (24 นิ้ว) จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะต้องไม่ต่ำกว่า 12 จุด

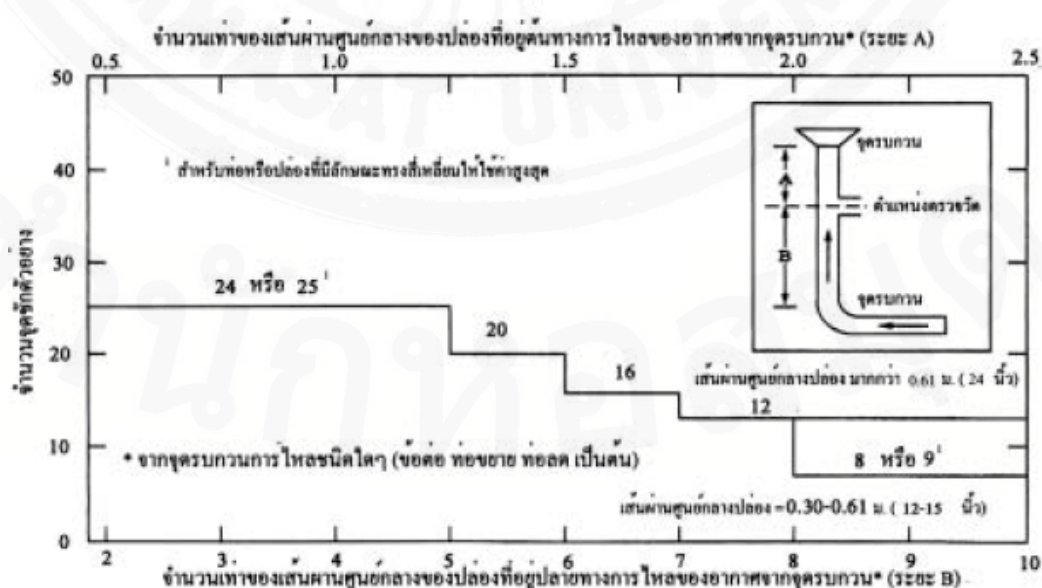
2. บนพื้นที่หน้าตัดกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ระหว่าง 0.3 ถึง 0.61 เมตร (12 - 24 นิ้ว) จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะต้องไม่ต่ำกว่า 8 จุด

3. บนพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.3 ถึง 0.61 เมตร จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะต้องไม่ต่ำกว่า 9 จุด

2.1.2 ถ้าตำแหน่งเก็บตัวอย่างอยู่ ณ ตำแหน่งที่น้อยกว่า 8 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางปลายทิศทางการไหลจากตัวรบกวนการไหล และ 2 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางต้นทิศทางการไหล จำนวนจุดเก็บตัวอย่างจะหาได้จาก ภาพที่ ฅ.1.2 โดยการหาจำนวนจุดเก็บตัวอย่างจากระยะของตำแหน่งเก็บตัวอย่างถึงตัวรบกวนการไหล และเลือกค่าที่สูงกว่าเป็นจำนวนจุดเก็บตัวอย่างต่ำสุด แต่ปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยม จำนวนจุดเก็บตัวอย่างดังแสดงใน ตารางที่ ฅ.1.1

ภาพที่ ฅ.1.2

จำนวนจุดชักตัวอย่างในการหาปริมาณฝุ่นละออง



2.2. จำนวนของจุดเก็บตัวอย่างในการหาความเร็วของอากาศในปล่องเช่นเดียวกับ ในหัวข้อ 2.1 แต่จำนวนจุดเก็บตัวอย่างหาได้จากภาพที่ ฌ.1.3

ภาพที่ ฌ.1.3

จำนวนจุดเก็บตัวอย่างในการหาความเร็วของอากาศในปล่อง

(U.S. EPA method 1)



3. ตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างบนพื้นที่หน้าตัดของปล่อง

3.1 ปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมจะกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง อยู่บนเส้นผ่านศูนย์กลางซึ่งตั้งฉากกัน 2 เส้น จำนวนและตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ ฌ.1.2 และภาพที่ ฌ.1.4 นอกจากนั้นยังมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้คือ

3.1.1 สำหรับปล่องที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.61 เมตร จุดเก็บตัวอย่างจะต้องอยู่ห่างจากผนังปล่องอย่างน้อยที่สุด 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว) ถ้าจุดเก็บตัวอย่างที่หาโดยตารางที่ ฌ.1.2 อยู่ห่างจากผนังปล่องน้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร จะต้องเลื่อนจุดเก็บตัวอย่างออกไปที่ตำแหน่ง 2.5 เซนติเมตร จากผนังปล่องหรือที่ตำแหน่งเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวเก็บตัวอย่าง (Nozzle) จากผนังปล่อง โดยเลือกค่าที่สูงกว่า ถ้าหากว่าจุดเก็บตัวอย่างใหม่นี้

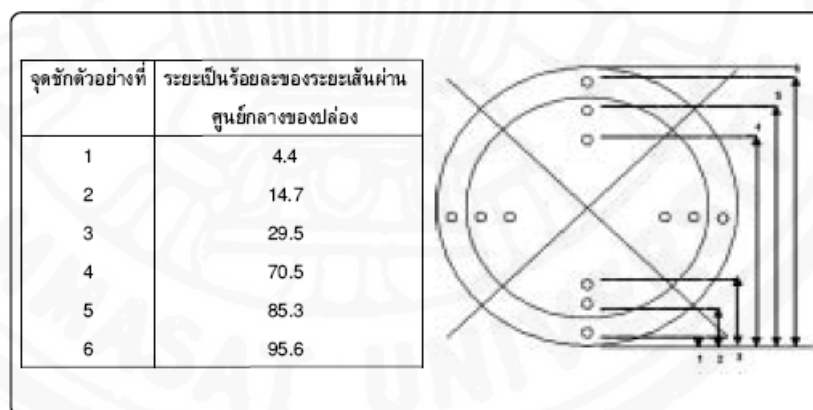
ซ้อนกับจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ให้ทำการเก็บตัวอย่างและบันทึกข้อมูลซ้ำ 2 ครั้ง เสมือนว่าเป็นคนละจุด

3.1.2 สำหรับปล่องที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.61 เมตร (24 นิ้ว) จุดเก็บตัวอย่างจะต้องอยู่ห่างจากผนังปล่องอย่างน้อยที่สุด 1.3 เซนติเมตร ถ้าจุดเก็บตัวอย่างที่หาโดยตารางที่ ฅ.1.2 อยู่ห่างจากผนังปล่องน้อยกว่า 1.3 เซนติเมตร จะต้องเลื่อนจุดเก็บตัวอย่างออกไปที่ตำแหน่ง 1.3 เซนติเมตร จากผนังปล่องหรือที่ตำแหน่งเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหัวเก็บตัวอย่างโดยเลือกค่าที่สูงกว่า

ภาพที่ ฅ.1.4

แสดงตัวอย่างการวางตำแหน่งจุดชักตัวอย่างบนพื้นที่
ภาคตัดขวางของปล่องที่แบ่งเป็นพื้นที่

(U.S. EPA method 1)



ตารางที่ ณ.1.1
 จำนวนจุดเก็บตัวอย่างของปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยม กรณีที่
 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้อยกว่า 2 และ 8 เท่าของเส้นผ่าน
 ศูนย์กลางของปล่องจากจุดรวมทวนการไหล
 (U.S. EPA method 1)

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

3.2 ปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม ให้แบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ขนาดเท่า ๆ กัน เป็นจำนวนเท่ากับจำนวนจุดเก็บตัวอย่างตามหัวข้อที่ 2.1 แล้วจึงกำหนดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างลงบนจุดศูนย์กลางของพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ แต่ละรูปดังภาพที่ ณ.1.5

ภาพที่ ณ.1.5

ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างอากาศของปล่องที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม

(U.S.EPA. Method 1)

○	○	○	○
○	○	○	○
○	○	○	○

ภาคผนวก ณ.2

การหาความเร็วของอากาศภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

(U.S.EPA. Method 2)

หลักการ

ใช้ Type S Pitot Tube หาค่าความหนาแน่นของอากาศเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเร็วเฉลี่ยของอากาศจากปล่องปล่อยทิ้งอากาศเสียจากแหล่งกำเนิดมลพิษ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง1. Pitot Tube

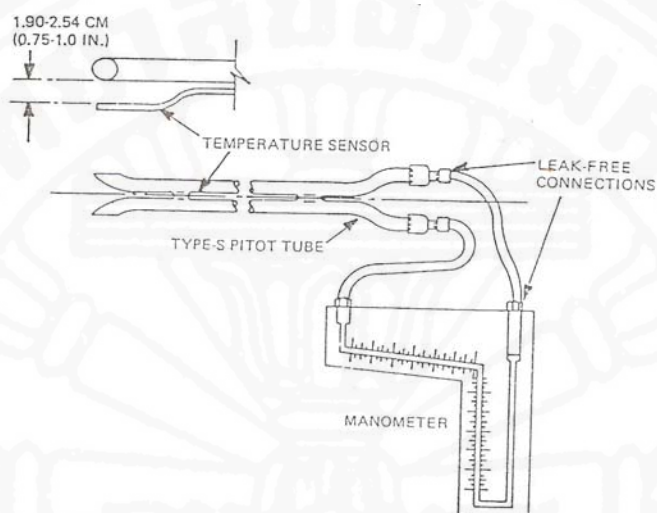
Type S Pitot Tube ทำด้วยโลหะ มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกระหว่าง 0.48 ถึง 0.95 เซนติเมตร จำนวนสองท่อเชื่อมติดกันในแนวนอนโดยมีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิติดตั้งไว้ระหว่างท่อทั้งสองและปลายท่อด้านที่เปิดออกจะต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรงในแนวตั้งห่างจากกันระหว่าง 1.05 ถึง 1.50 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อหรืออาจมีแนวเฉียงตามที่กำหนดไว้ ส่วนปลายท่ออีกด้านหนึ่งใช้สำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องมือวัดความดันแตกต่างของอากาศ ดังภาพที่ ณ.2.1 และ ณ.2.2

ก่อนนำ Type S Pitot Tube ไปใช้จะต้องนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ โดยการตรวจเทียบกับ Standard Pitot Tube หรืออาจจะใช้ Standard Pitot Tube ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ ณ.2.3 แทนก็ได้ แต่จะต้องระวังการอุดตันเมื่อใช้กับก๊าซที่มีฝุ่นอยู่ด้วย ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยนำ Pitot Tube ที่ได้ทำความสะอาดแล้ววัดค่าความแตกต่างของความดัน (ΔP) อีกครั้ง ถ้าค่า ΔP ก่อนและหลังทำความสะอาดมีค่าเท่ากันโดยคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$ แสดงว่าไม่เกิดการอุดตัน สามารถยอมรับผลของการวัด แต่ถ้ามีความคลาดเคลื่อนมาก ผลของการวัดนั้นจะนำมาใช้ไม่ได้

ภาพที่ ฌ.2.1

แสดงส่วนประกอบของ Type S Pitot Tube

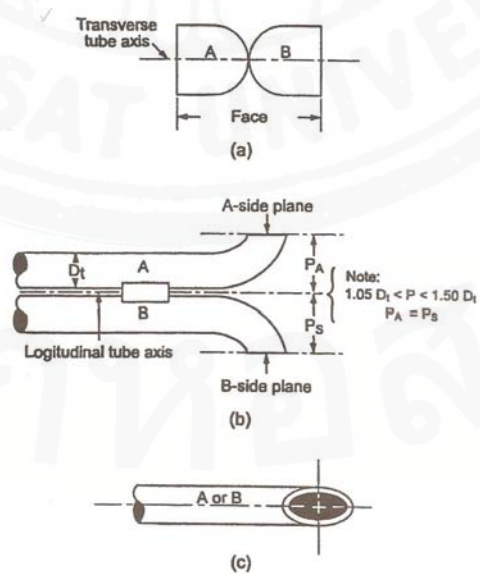
(U.S.EPA. Method 2)



ภาพที่ ฌ.2.2

แสดงลักษณะของ Type S Pitot Tube

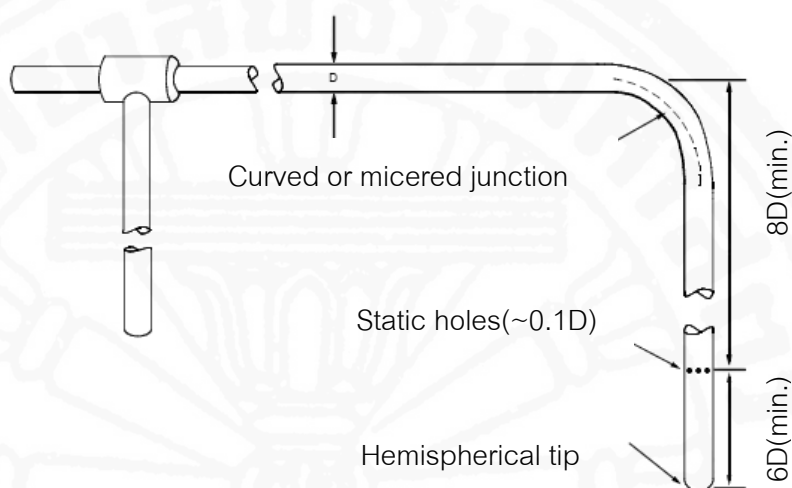
(U.S.EPA. Method 2)



ภาพที่ ฌ.2.3

แสดงลักษณะของ Standard Pitot Tube

(U.S.EPA. Method 2)



2. เกจวัดความแตกต่างของความดัน (Differential Pressure Guage)

โดยใช้ Inclined Manometer หรือเทียบเท่าวัดได้ถึง 10 นิ้วน้ำ มีการแบ่งสเกล 0.01 นิ้วใน 1 นิ้ว แรก และทุก 0.1 นิ้ว ใน 9 นิ้วหลัง ในกรณีที่มีจุดเก็บตัวอย่างมากกว่าหรือเท่ากับ 12 จุด แล้วมีจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่า ΔP โดยเฉลี่ยต่ำกว่า 0.05 นิ้วน้ำ (1.3 มิลลิเมตรน้ำ) เกินกว่า 10 % ของจำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด หรือในกรณีที่มีจุดเก็บตัวอย่างน้อยกว่า 12 จุด แล้วมีจุดเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 จุด ที่มีค่า ΔP ต่ำกว่า 1.3 มิลลิเมตรน้ำ หรือในกรณีที่มีค่า T ตามสมการ มากกว่า 1.05 ให้ใช้ Mano Meter แบบอื่น

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta P_i + K}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta P_i}}$$

โดยที่ ΔP_i = ความแตกต่างของความดันที่วัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุด
 n = จำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด
 K = 0.13 มิลลิเมตรน้ำ

3. เกจวัดอุณหภูมิของอากาศในปล่อง

เป็นแบบ Thermocouple หรือ Liquid – Filled Bulb Thermometer หรือ Bimetallic Thermometer หรือเทอร์โมมิเตอร์ปรอท หรืออื่น ๆ ที่สามารถวัดได้คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1.5\%$ ของอุณหภูมิ สัมบูรณ์ต่ำสุดในปล่อง และให้ติดไว้ร่วมกับ Pitot Tube โดยไม่ติดกับโลหะใด ๆ และไม่กีดขวางทางเดินของอากาศที่ Pitot Tube

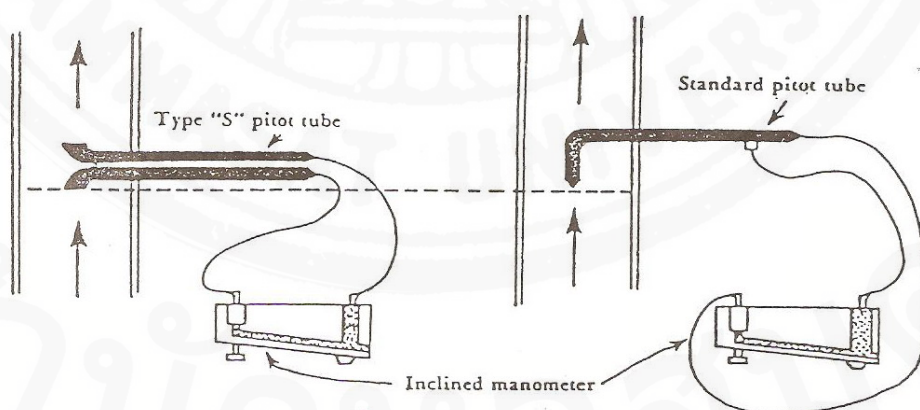
4. เกจวัดความดันสถิตของอากาศในปล่อง

โดยการอ่านค่า ΔP ของ Inclined Manometer ในข้อ 2.2 เมื่อตั้งขาของ S – Type Pitot Tube ด้านที่หันหน้ารับกระแสอากาศออก ดังภาพที่ ฅ.2.4 ค่าความดันสถิตของอากาศในปล่องเท่ากับผลบวกของความดันบรรยากาศกับ ΔP ที่อ่านได้โดยมีเงื่อนไขข้างต้น

ภาพที่ ฅ.2.4

ชุดตรวจวัดความเร็วและอัตราการไหลของอากาศภายในปล่อง

(U.S.EPA. Method 2)



5. เครื่องวัดความดันบรรยากาศ

เป็น Barometer แบบปรอท หรือ Aneroid หรือ แบบอื่นที่สามารถวัดความดันบรรยากาศได้คลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2.5 มิลลิเมตรปรอท หรือใช้ค่าวัดความดันบรรยากาศ ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างโดยค่าความดันบรรยากาศจะลดลง 2.5 มิลลิเมตรปรอททุก ๆ ความสูงที่เพิ่มขึ้น 30 เมตร

6. เครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบของอากาศในปล่อง

ใช้อุปกรณ์ดังแสดงในวิธีหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศซึ่งแสดงรายละเอียด ใน วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ (U.S.EPA. Method 3)

วิธีการ

1. ประกอบอุปกรณ์ ให้แน่นโดยไม่มีกรร่วที่จุดเชื่อมต่อทุกจุด
2. ปรับ Zero ของ Manometer และหมั่นตรวจสอบอยู่เสมอในระหว่างดำเนินการ
3. สอด Pitot Tube เข้าไปในปล่อง แล้ววัดค่า ΔP และอุณหภูมิที่แต่ละจุดเก็บตัวอย่างจนครบโดยบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในแบบฟอร์ม
4. วัดค่าความดันสถิตในปล่องด้วยวิธีตามที่กล่าวมาและอ่านค่าความดันอากาศ
5. อ่านค่าความดันอากาศ
6. หาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง ตามวิธี U.S.EPA. Method 3
7. หาความชื้นของอากาศในปล่อง ตามวิธี U.S.EPA. Method 4
8. หาพื้นที่หน้าตัดของปล่อง ณ ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง

การคำนวณ

ความเร็วของอากาศในปล่อง

$$V_g = K_p C_p (\sqrt{\Delta P})_{avg} \sqrt{\frac{T_{s(avg)}}{P_s M_s}}$$

โดยที่ V_g = ความเร็วของอากาศในปล่อง, เมตร/วินาที

$$K_p = \frac{34.97 \text{ เมตร/วินาที } ((\text{กรัม/กรัมโมล}) (\text{มิลลิเมตรปรอท}))^{1/2}}{(K) \text{ มิลลิเมตรน้ำ}}$$

C_p = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot Tube ที่ใช้

$(\Delta P)_{avg}$ = Velocity Head (ค่าความแตกต่างของความดันจาก Pitot Tube) ของ อากาศในปล่องโดยเฉลี่ย, มิลลิเมตรน้ำ

$(T_s)_{avg}$ = อุณหภูมิสัมบูรณ์โดยเฉลี่ยของอากาศในปล่อง, K

P_s = ความดันสัมบูรณ์ของอากาศในปล่องเท่ากับ $P_{bar} \pm P_g$, มิลลิเมตรปรอท

P_{bar} = ความดันบรรยากาศที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง, มิลลิเมตรปรอท

P_g = ความดันสถิตของอากาศในปล่อง, มิลลิเมตรปรอท

M_s = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง, กรัม/กรัมโมล

(U.S.EPA. Method 3)

อัตราการไหลแห้งของอากาศในปล่อง โดยเฉลี่ยที่สภาวะมาตรฐาน (25°C 760 มิลลิเมตรปรอท)

$$Q_{std} = 3600(1 - B_{ws}) V_g A \frac{T_{std}}{T_{s(avg)}} \frac{P_s}{P_{std}}$$

โดยที่ Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศแห้งในปล่องที่สภาวะมาตรฐาน ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

B_{ws} = สัดส่วนปริมาตรไอน้ำในอากาศ

V_g = ความเร็วของอากาศในปล่อง, เมตร/วินาที

- A = พื้นที่หน้าตัดของปล่อง, ตารางเมตร
 T_{std} = 298 K
 $(T_S)_{avg}$ = อุณหภูมิสัมบูรณ์โดยเฉลี่ยของอากาศในปล่อง, K
 P_S = ความดันสัมบูรณ์ของอากาศในปล่องเท่ากับ $P_{bar} \pm P_g$, มิลลิเมตรปรอท
 P_{bar} = ความดันบรรยากาศที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่าง, มิลลิเมตรปรอท
 P_g = ความดันสถิตของอากาศในปล่อง, มิลลิเมตรปรอท

การตรวจเทียบ

Type S Pitot Tube

1. ถ้า Type S Pitot Tube ที่ใช้มีลักษณะดังกล่าวในหัวข้อ 2.1 ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.84 ได้
2. ถ้า Type S Pitot Tube ที่ใช้มีลักษณะต่างไปจากที่กล่าวในข้อ 1 จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ด้วยการวัด ΔP ด้วย Pitot Tube แบบ S เทียบกับ Pitot Tube แบบมาตรฐานที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ดังสมการ ที่จุดใดจุดหนึ่งในกระแสก๊าซที่มีอัตราการไหลคงที่และอยู่ห่างจากจุดรบกวนการไหลต่าง ๆ มากพอที่จะทำให้ไม่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ณ จุดตรวจวัด

$$CP_{(test)} = CP_{(std)} \sqrt{\frac{(\Delta P)_{test}}{(\Delta P)_{std}}}$$

- โดยที่
- $CP_{(test)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Pitot Tube ที่ใช้
 $CP_{(std)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Standard Pitot Tube ที่ใช้เป็นหลักอ้างอิง
 $(\Delta P)_{test}$ = ความแตกต่างของความดันเนื่องจากความเร็วซึ่งวัดโดย Pitot Tube ที่ต้องการตรวจเทียบ, มิลลิเมตรน้ำ
 $(\Delta P)_{std}$ = ความแตกต่างของความดันเนื่องจากความเร็ว ซึ่งวัดโดย Pitot Tube ที่ใช้เป็นหลักอ้างอิง, มิลลิเมตรน้ำ

Standard Pitot Tube

มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.99 ± 0.01 มีลักษณะดังภาพที่ ณ.2.3

1. มีหัวเป็นรูปกึ่งทรงกลม หรือรูปวงรี หรือรูป กรวย
2. มีความยาวจากหัวถึงรูสถิตย์ อย่างน้อยที่สุด 6 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของด้านนอก
3. รูสถิตมีขนาดเท่ากัน ประมาณ 0.1 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อด้านนอกด้วยระยะห่างเท่ากัน
4. ส่วนโค้ง 90°

เกจวัดอุณหภูมิ

ตรวจเทียบเกจวัดอุณหภูมิหลังจากการใช้งานที่อุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 10% ของอุณหภูมิสัมบูรณ์โดยเฉลี่ยของอากาศในปล่อง โดยแยกเป็นกรณีดังนี้

1. สำหรับอุณหภูมิไม่เกิน 405°C ให้ใช้ ASTM Mercury- in Glass Reference Thermometer หรือ Thermometer เทียบเท่าเป็นหลักอ้างอิง (Reference) หรือ ใช้ Reference Thermocouple and Potentionmeter ซึ่งได้รับการตรวจวัดโดยหน่วยงานตรวจเทียบมาตรฐาน NBS เป็นหลักอ้างอิง (Reference)
2. สำหรับอุณหภูมิเกิน 405°C ใช้ NBS – Calibrate Reference Thermocouple Potentionmeter System เป็นหลักอ้างอิง
3. ถ้าผลการตรวจเทียบได้ค่าคลาดเคลื่อน $\pm 1.5\%$ จะยอมรับข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ในระหว่างการเก็บตัวอย่าง

เกจวัดความดันบรรยากาศ (Barometer)

โดยการตรวจเทียบกับบาโรมิเตอร์ปรอท

ภาคผนวก ณ.3
วิธีการหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศ

หลักการ

วิธีการเตรียมวัดนี้ใช้สำหรับการตรวจวัดวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกซิเจน เพื่อมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศในห้องปล่อง จากการกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Flue Gas Analyser) Testo 325M เป็นเครื่องที่ใช้ตรวจสอบว่าก๊าซที่ปล่อยออกมาที่ปล่อง มีประสิทธิภาพการเผาไหม้มากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถวัดได้ออกมาในรูปของตัวเลข ซึ่งนอกจากจะบอกค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้แล้ว ยังบอกค่าอื่นๆ ได้ เช่น %O₂, %CO, %CO₂ (cal) เป็นต้น ดังภาพที่ ณ.3

ภาพที่ ณ.3
เครื่องวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Testo 325M)



การคำนวณ

หาน้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง

$$M_d = 0.44(\%CO_2) + 0.32(\%O_2) + 0.28(\%N_2 + \%CO)$$

โดยที่ M_d = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง, กรัม/กรัมโมล

$\%CO_2$ = % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในตัวอย่างอากาศ

$\%O_2$ = % ก๊าซออกซิเจนในตัวอย่างอากาศ

$\%N_2$ = % ก๊าซไนโตรเจนในตัวอย่างอากาศ

$\%CO$ = % ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในตัวอย่างอากาศ

0.44 = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หารด้วย 100

0.32 = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนหารด้วย 100

0.28 = น้ำหนักโมเลกุลของก๊าซไนโตรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์
หารด้วย 100

หาน้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง

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

โดยที่ M_s = น้ำหนักโมเลกุลของอากาศในปล่อง, กรัม/กรัม-โมล

M_d = น้ำหนักโมเลกุลแห้งของอากาศในปล่อง, กรัม/กรัมโมล

B_{ws} = สัดส่วนปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง

18.0 = น้ำหนักโมเลกุลของน้ำ

ภาคผนวก ณ.4

การหาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

(U.S.EPA. Method 4)

หลักการ

ดึงตัวอย่างอากาศออกจากปล่องด้วยอัตราการไหลที่คงที่ให้ผ่านเข้าชุดควบแน่น แล้ววัดหาปริมาณน้ำที่ควบแน่นได้ด้วยการชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

ชุดเก็บตัวอย่าง ประกอบด้วย

1. ท่อดูดตัวอย่างอากาศ (Probe) ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมหรือแก้ว ที่สามารถทำให้ร้อนได้เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำ และจัดให้มีกระดาศกรองหรือใยแก้ว (Glass Wool) สำหรับกรองฝุ่นละออง
2. ชุดควบแน่น (Condenser) ประกอบด้วย Impinger ทำด้วยแก้วจำนวน 4 ใบต่อกันแบบอนุกรมด้วยข้อต่อโดยไม่มีรอยรั่ว Impinger ตัวที่ 1 ตัวที่ 3 และ 4 เป็นแบบ Modified Greenburg-Smith หลอดแก้วตรงกลางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร (0.5 นิ้ว) อยู่สูงจากพื้น Impinger ประมาณ 1.3 เซนติเมตร (0.5 นิ้ว) Impinger ตัวที่ 2 เป็นแบบ Standard Greenburg-Smith
3. ระบบหล่อเย็น ประกอบด้วยภาชนะบรรจุน้ำแข็งบด
4. ระบบเครื่องตรวจวัด ประกอบด้วย บั้ม เกจวัดอัตราดูดอากาศ เทอร์โมมิเตอร์ เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง
5. บาโรมิเตอร์ (Barometer)
6. กระบอกตวง และเครื่องชั่ง

วิธีการ

1. เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรลงใน Impinger ตัวที่ 1 และ 2 ใส่ ซิลิกาเจล (Indicating Type 6-16 mesh) หรือสารดูดความชื้นอื่นที่เทียบเท่า หากใส่สารดูดความชื้นที่ผ่านการใช้งานแล้วให้ผ่านการอบที่ 175°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ยกเว้นจะเป็นของใหม่ ลงใน Impinger ที่ 4 ประมาณ 200 กรัม คลาดเคลื่อน ± 0.5 กรัม และปล่อย Impinger ที่ 3 ให้ว่างเปล่า นำชุด Impinger นี้ใส่ลงใน อ่างน้ำแข็ง (Ice Bath) เพื่อควบคุมให้อุณหภูมิของตัวอย่าง อากาศที่ออกไม่เกิน 20°C (68°F)

2. ประกอบชุดเก็บตัวอย่างดังภาพที่ ณ.4

3. การตรวจสอบรอยรั่วของชุดเก็บตัวอย่างก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง โดยปิดจุดที่หัวเก็บตัวอย่างหรือที่ปลายท่อเก็บตัวอย่างเปิดปั๊มดูดอากาศให้มีความดันที่ 380 มิลลิเมตรปรอท (15 นิ้วปรอท) อ่านปริมาตรอากาศที่ Dry Gas Meter ถ้าวัดได้น้อยกว่า 0.0057 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ (0.02 ลูกบาศก์ฟุต/นาที่) แล้ว แสดงว่าชุดเก็บตัวอย่างผ่านการทดสอบ แต่ถ้าวัดได้มากกว่า 0.0057 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ จะต้องทดสอบหาจุดรั่ว แก้ไขจนกระทั่งได้ปริมาณการรั่วของชุดเก็บตัวอย่างน้อยกว่า 0.0057 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ และจดค่าปริมาณการรั่วก่อนการเก็บตัวอย่างนี้ไว้

สำหรับการทดสอบหาปริมาณการรั่วหลังการเก็บตัวอย่างให้กระทำด้วยวิธี

เช่นเดียวกัน ยกเว้นแต่ใช้ค่าของความดันสูงสุดในระหว่างการเก็บตัวอย่าง จดค่าปริมาณการรั่วหลังการเก็บตัวอย่างนี้ไว้ถ้าค่านี้ไม่เกิน 0.0057 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ จะยอมรับผลการเก็บตัวอย่างนี้ แต่ถ้ามีค่าเกิน 0.0057 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ ให้ทำการเก็บตัวอย่างนี้ใหม่

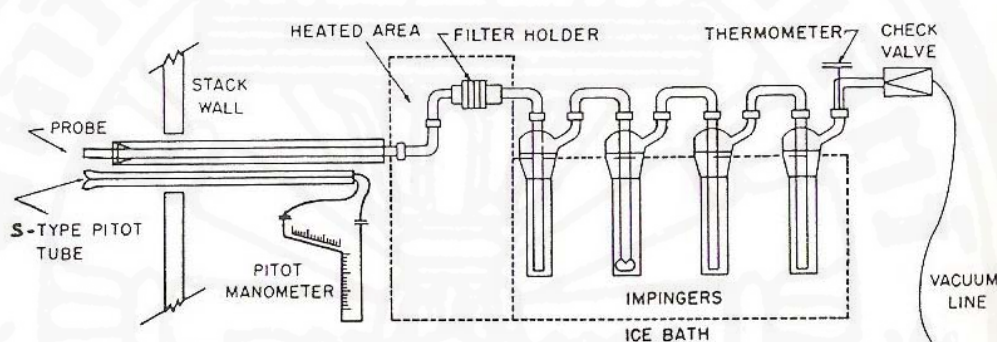
4. เก็บตัวอย่างอากาศที่อัตราการดูดอากาศน้อยกว่า 0.021 ลูกบาศก์เมตร/นาที่ (0.75 ลูกบาศก์ฟุต/นาที่) โดยเก็บตัวอย่างอากาศอย่างน้อย 0.60 ลูกบาศก์เมตร (21 ลูกบาศก์ฟุต) ในขณะที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศอุณหภูมิบริเวณท่อดูดอากาศประมาณ 120°C (248°F) เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำสำหรับกรณีเก็บตัวอย่างอากาศ เพื่อหาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่องพร้อมกับการตรวจวัดเพื่อหาค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองนั้น ระยะเวลาดำเนินการตรวจวัดปริมาณความชื้นของอากาศจะเท่ากับระยะเวลาในการตรวจวัดเพื่อหาค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง

5. วัดหาปริมาตรของของเหลวที่เพิ่มขึ้นในชุด Impinger ทั้ง 3 ใบ และชั่งน้ำหนักของ Impinger ที่บรรจุซิลิกาเจล หรือชั่งน้ำหนักของ Impinger ทั้ง 4 ใบเพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

ภาพที่ ฅ.4

แสดงชุดเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อหาปริมาณความชื้นของอากาศ

(U.S.EPA. Method 4)



การคำนวณ

ปริมาตรไอน้ำในตัวอย่างอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (25°C, 760 มิลลิเมตรปรอท)

1. ปริมาตรไอน้ำที่ควบแน่นใน Impingers

$$V_{wc(std)} = K_1(V_f - V_i)$$

เมื่อ $V_{wc(std)}$ = ปริมาตรไอน้ำในตัวอย่างอากาศที่สภาวะมาตรฐาน,
ลูกบาศก์เมตร

V_f = ปริมาตรของเหลวใน Impingers หลังการเก็บตัวอย่าง, มิลลิลิตร

V_i = ปริมาตรของเหลวใน Impingers ก่อนการเก็บตัวอย่าง, มิลลิลิตร

K_1 = 0.001356 std m³/ml

2. ปริมาตรของไอน้ำควบแน่นที่ถูกดักจับในซิลิกาเจล

$$V_{\text{wsg(std)}} = K_2(W_f - W_i)$$

เมื่อ $V_{\text{wsg(std)}}$ = ปริมาตรของไอน้ำควบแน่นที่ถูกดักจับในซิลิกาเจล,
ลูกบาศก์เมตร

W_f = น้ำหนักซิลิกาเจลใน Impingers หลังเก็บตัวอย่าง, กรัม

W_i = น้ำหนักซิลิกาเจล ใน Impingers ก่อนเก็บตัวอย่าง, กรัม

$$K_2 = 0.001358 \text{ std m}^3/\text{g}$$

3. ปริมาตรของตัวอย่างอากาศแห้งที่ดูดเข้ามาที่สภาวะมาตรฐาน

$$V_{\text{m(std)}} = V_m y \left(\frac{P_m \times T_{\text{std}}}{P_{\text{std}} \times T_m} \right)$$

เมื่อ $V_{\text{m(std)}}$ = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศแห้งที่ดูดเข้ามาที่สภาวะมาตรฐาน,
ลูกบาศก์เมตร

V_m = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศที่ดูดเข้ามาทั้งหมด,
ลูกบาศก์เมตร

P_m = ความดันสถิตของตัวอย่างอากาศที่เครื่องวัดปริมาตรอากาศแห้ง,
มิลลิเมตรปรอท (ความดันบรรยากาศ ณ จุดตรวจวัด)

T_m = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของตัวอย่างอากาศ โดยเฉลี่ยที่เครื่องวัด
ปริมาตรอากาศแห้ง, เคลวิน

y = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Dry Gas Meter

4. ปริมาณความชื้นของอากาศในปล่องจากสมการ

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

เมื่อ B_{ws} = สัดส่วนของปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง

$V_{wc(std)}$ = ปริมาตรไอน้ำที่ควบแน่นใน Impingers, ลูกบาศก์เมตร

$V_{wsg(std)}$ = ปริมาตรของไอน้ำควบแน่นที่ถูกดักจับในซิลิกาเจล,
ลูกบาศก์เมตร

$V_m(std)$ = ปริมาตรของตัวอย่างอากาศแห้งที่ดูดเข้ามาที่สภาวะมาตรฐาน,
ลูกบาศก์เมตร

ในกรณีที่อากาศในปล่องมีความชื้นสูงจนถึงจุดอิ่มตัว สามารถหาปริมาณความชื้นของอากาศในปล่อง โดยการวัดอุณหภูมิของอากาศในปล่องให้คลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1^\circ\text{C}$ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง แล้วหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยนำไปหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างอากาศในปล่องจากตารางสำเร็จรูปที่ใช้กันทั่วไป ถ้าค่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างอากาศในปล่องที่หาโดยวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ไม่เท่ากับที่หาโดยวิธีนี้ ให้ใช้ค่าที่ต่ำกว่าอย่างอากาศที่ดูดเข้ามาที่ สภาวะมาตรฐาน, ลูกบาศก์เมตร

ชำนาญการหอสมุด