บทที่ 4
การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ

การควบคุมคุณภาพทางอากาศจะกระทำได้โดยวิธีการควบคู่กับการศึกษาธรรมชาติและระดับความเข้มข้นของสารมลพิษในบรรยากาศที่ถูกปล่อยออกมา วิธีการวิเคราะห์เพื่อศึกษาและวัดระดับความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศนั้นสิ่งที่จำเป็นคือการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง และดำเนินการโดยอัตโนมัติ เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์สารมลพิษทางอากาศนั้นกระทำได้ยากเนื่องจากปัจจัยหลายประการด้วยกัน อันได้แก่ ระดับความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์นั้นจะมีปริมาณน้อยมาก การแปรผันของความเข้มข้นเนื่องจากความแตกต่างของเวลา สถานที่ อุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศ หรือจุดที่ทำการเลือกเก็บตัวอย่าง ฉะนั้นเทคนิคของวิธีการวิเคราะห์คุณภาพทางอากาศจึงได้มีการพัฒนาต่อไปเพื่อให้ได้วิธีการวิเคราะห์ใหม่ ๆ ที่ดี และถูกต้องต่อไป

4.1 การวัดสารมลพิษทางอากาศ (Air Pollutants Measured)

การวัดสารมลพิษทั่ว ๆ ไป เป็น 5 ระบบ คือ

1. **การวัดสารมลพิษในอากาศที่อยู่รอบ** ๆ (ambient) เพื่อวัดระดับความเข้มข้นเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานยึดถือตามมาตรฐาน ตัวอย่างเช่น มาตรฐานคุณภาพอากาศของ EPA (Environmental Protection Agency) ดังตารางที่ 4.1

CM 482 141

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างมาตรฐานคุณภาพอากาศของ EPA

Pollutant	Averaging time	Primary standard	Secondary standard
Sulfur dioxide	Annual arithmetic mean	80 μ g/m^3 (0.03 ppm)	-
Sulfur dioxide	24 hours	365μ g/m^3* (0.14 ppm)	-
Sulfur dioxide		-	1300 μ g/m^3* (0.5 ppm)
Nitrogen dioxide	Annual arithmetic mean	100 μ g/m^3 (0.05 ppm)	100 μ g/m^3 (0.05 ppm)
Carbon monoxide	10 hours	10 mg/m^3 (9 ppm)	10 mg/m^3 (9 ppm)
Carbon monoxide	1 hour	40 mg/m^3 (35 ppm)	40 mg/m^3 (35 ppm)
Hydrocarbons (exclusive of methane)	3 hours	160 μ g/m^3 (0.24 ppm)	160 μ g/m^3 (0.24 ppm)
Particulate matter	Annual geometric mean	75 μ g/m^3	60 μ g/m^3**
Particulate matter	24 hours	260 μ g/m^3*	150μ g/m^3*

*Not to be exceeded more than once a year

**Annual geometric mean, to be used in assessment of plants to achieve the 24-hours standard.

ค่า primary standards เป็นค่าระดับของคุณภาพอากาศที่กำหนดในแง่เพื่อที่จะปกป้องสุขภาพอนามัยชุมชน ส่วนค่า secondary standards จะเป็นค่าที่กำหนดในแง่ของการปกป้องผลของสารพิษทางอากาศที่มีต่อวัตถุ พืช สัตว์ และอื่น ๆ

คำถามท้ายบท

1. OHSA's Permissible Exposure Limit หมายถึงอะไร
2. จงคำนวณปริมาตรสูงสุดและต่ำสุดของแก๊ส SO_2 ที่ต้องการเก็บวิเคราะห์โดยกำหนดให้ค่า MDL = 0.1 กรัม, PEL = 0.02 กรัม/ลิตร และความจุของหลอดเก็บไอเท่ากับ 0.20 กรัม
3. ระบบการเก็บตัวอย่างอากาศทั่วไปมีองค์ประกอบอะไรบ้าง
4. สารประกอบที่ระเหยได้ปานกลางหมายถึงอะไรจงยกตัวอย่าง
5. วิธีการเก็บตัวอย่างไอหรือแก๊สในของเหลวแบบ Fritted bubblers และ Packed glass bead column มีข้อเหมือนหรือต่างกันอย่างไร ใช้เป็นเทคนิคในการเก็บสารประเภทใด
6. Active sampling หมายถึงอะไร
7. ชนิดตัวดูดซับใดที่ไม่เหมาะในการเก็บตัวอย่างสารที่มีความชื้นสูง
8. หลักการของ diffusion dosimeters คืออะไร
9. ในเทคนิคของการเก็บตัวอย่างแบบ passive sampling ค่า ideal uptake rate หมายถึงอะไร และคำนวณได้อย่างไร
10. คุณสมบัติของตัวดูดซับที่เหมาะสมกับการใช้เทคนิค Thermal desorption
11. เครื่องมือ DRIS หมายถึงอะไร ยกตัวอย่างประกอบกรณี CO
12. ไซโคลนใช้หรือเหมาะกับการเก็บตัวอย่างมลพิษใด
13. Isokinetic เกี่ยวข้องกับการเก็บตัวอย่างอากาศอย่างใด
14. การเตรียมตัวอย่างมาตรฐานโดย Static system ทำได้อย่างไร และมีข้อควรระวังอย่างไร
15. เทคนิคของ Chemiluninescence ใช้ประโยชน์ในการวัดมลพิษทางอากาศประเภทใดบ้าง จงอธิบายหลักการและยกตัวอย่างโดยละเอียด
16. อธิบายวิธีและหลักการวิเคราะห์โดยเทคนิค nondispersive infrared spectroscopy
17. อธิบายวิธีการวิเคราะห์โอโซนโดยใช้ photometer (Dasibi)
18. ควันดำหมายถึงอะไร
19. วิธีการวิเคราะห์สาร TSP
20. Thermal desorption หมายถึงอะไร ใช้เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์มลพิษทางอากาศได้อย่างไร

2. **การวัดเฉพาะสารที่เป็นพิษภัยต่อสุขภาพของมนุษย์** (hazardous to human health) ได้แก่ แอสเบสตอส เบอริลเลียม และปรอท

3. **การเลือกวัดสารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากแหล่งที่เป็นแหล่งอยู่กับที่ที่สนใจ** (stationary sources) เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานถ่านหิน โรงงานปูน ซึ่งสารมลพิษที่ทำการวัดจะได้แก่ ไอกรด (H_2SO_4) particulate matter ไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4. **การวัดสารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากแหล่งที่เคลื่อนที่** (mobile sources) โดยเฉพาะจากเครื่องยนต์ที่เคลื่อนที่ สารมลพิษที่วัดคือไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์

5. **การวัดกลุ่มของธาตุหรือสารประกอบเพื่อศึกษาถึงวิธีการควบคุม** ได้แก่ อาร์เซนิก แคดเมียม นิเกิล โครเมี่ยม แวเนเดียม แมงกานิส ลิเทียม ทองแดง สังกะสี แบเรียม และดีบุก และรวมถึง species อื่น ๆ อีกคือ ฟลูโอไรด์ คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เซเลเนียม โบรอน ฟอสฟอรัส โพลีอโรเมติกไฮโดรคาร์บอน (PAH) โพลีคลอริเนตเตทไบฟีนิล สารประกอบที่มีกลิ่น particulate matter ที่ละเอียด ยาปราบศัตรูพืช สารประกอบอินทรีย์ที่ว่องไวและเรดิโอนิวไคลด์

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์สารมลพิษบางชนิด ซึ่งวิธีบางวิธีก็จัดเป็นวิธีที่ดีและสมเหตุผล แต่บางวิธีก็พบว่ายังคงจะต้องการวิธีการพัฒนาให้ดีมากขึ้นต่อไปอีก

สำหรับหน่วยที่ใช้ระบบความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศนั้นมีหลายแบบดังที่กล่าวไว้บ้างแล้วในบทที่ 1 ส่วนที่เกี่ยวข้องอื่นๆ คือ

- สำหรับแก๊สหรือไอ เช่น ไอของสารอินทรีย์ หน่วยจะเป็น $\mu g/m^3$ หรือ mg/m^3
- กรณี particulate matter เช่นโลหะ กรดอนินทรีย์ ถ้าเป็นน้ำหนัก หน่วยจะเป็น $\mu g/m^3$ หรือ mg/m^3 ถ้าเป็นหน่วยการนับ หน่วยจะเป็น number/cubic meter
- สำหรับการวัดการมองเห็น หน่วยจะเป็น kilometers
- ความสามารถในการให้แสงผ่าน หน่วยเป็น % light transmitted
- อัตราการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น m^3/min
- ความดันที่ระบุ หน่วยเป็น mm Hg
- อุณหภูมิ หน่วยเป็น เซลเซียส

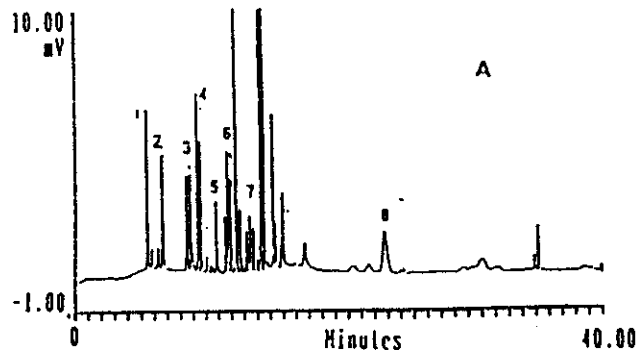
2. กรณีหน่วยเป็น ng/ppm/min

$$U_p = \frac{60 \times D \times A \times MW}{24.45 \times Z}$$

U_p = อัตราการแพร่ (ng/ppm/min)

MW = น้ำหนักโมเลกุล

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศโดยใช้เทคนิคการแยกสารด้วยความร้อนและ GC-FID แสดงในรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์โดยแยกด้วยความร้อนและ GC-FID โดย 1 = 1-propene, 2 = n-butane, 3 = 1-butene, 4 = n-pentane, 5 = 1-pentene, 6 = n-hexane, 7 = 1-hexene และ 8 = n-octane

หมายเหตุ ไฮโดรคาร์บอนยังสามารถวิเคราะห์แบบ Real-time โดยใช้วิธีเดียวกับการวิเคราะห์ของ CO คือ nondispersive infrared ได้เช่นเดียวกันแต่เนื่องจากไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยสารหลายชนิดจึงต้องใช้ไฮโดรคาร์บอนชนิดที่เป็นสารอ้างอิงเพื่อใช้วัดเทียบ ซึ่งถ้าวัดไฮโดรคาร์บอนที่มาจากรถยนต์จะใช้ n-hexane

สำหรับอากาศที่วัดจะสมมุติให้มีพฤติกรรมเหมือนแก๊สในอุดมคติ

4.2 ขั้นตอนทั่วไปในการตรวจวิเคราะห์มลพิษทางอากาศ

1. การเก็บตัวอย่างอากาศ (sampling)
2. การแยกตัวอย่างอากาศจากเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศ (extraction and retreatment) โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายหรือใช้ความร้อน
3. การวิเคราะห์ (analysis) โดยเครื่องมือหรือเทคนิคต่าง ๆ ในการวิเคราะห์สารที่สกัดหรือแยกมาได้ ได้แก่ GC, Sprotophotometer

4.3 สิ่งที่ต้องคำนึงในการเก็บตัวอย่างอากาศ

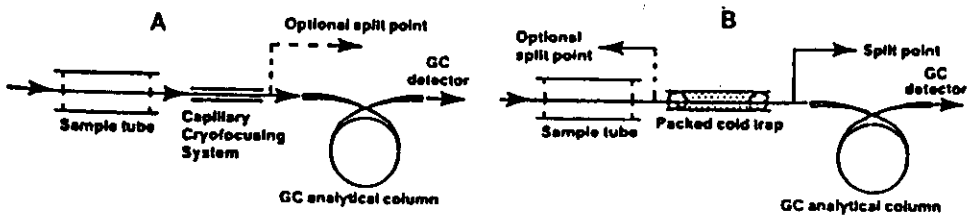
การเก็บตัวอย่างอากาศเพื่อใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมและถูกต้องตามที่ต้องการเป็นสิ่งที่จำเป็น เนื่องจากจุดประสงค์ของการตรวจวัดมีหลายแบบดังกล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนในการเก็บตัวอย่างอากาศดังนี้

1. **สถานที่เก็บตัวอย่าง (Sampling location)** ซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 3 แหล่งกว้าง ๆ คือ

   ก. เก็บตัวอย่างจากแหล่งที่เกิดปัญหา (source sampling) เครื่องมือเก็บอากาศจะวางไว้ใกล้แหล่งที่เกิด เพื่อให้ทราบผลว่าจะเป็นแหล่งที่ปล่อยมลพิษมาหรือไม่อย่างไร

   ข. เก็บแบบทั่ว ๆ ไป (area sampling) ทั่วไปจะหมายถึงการตรวจหาความเข้มข้นของอากาศทั่วไป ถ้าในกรณีที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยบริเวณที่ทำงานทั่ว ๆ ไปที่อาจถูกปนเปื้อนด้วยมลพิษ ก็จะวางเครื่องมือเก็บตัวอย่างในบริเวณที่กำหนดอาจได้รับการปนเปื้อนหลาย ๆ จุดในเวลาเดียวกัน

   ค. เก็บที่ตัวบุคคล (personal sampling) ถ้าเกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยมนุษย์ตามมาตรฐานของ Occupational Safety & Health Administration (OSHA) ก็จะหมายถึงเขตที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ (breathing zone) เพื่อตรวจผลที่จะมีกับคนจะอยู่ห่างเป็นรัศมีจากไหล่ 15 ถึง 23 ซม. ซึ่งปกติจะติดที่ปกเสื้อคนงาน



รูปที่ 4.24 Two-stage thermal desorption unit (A) Capillary cryofocusing and (B) Packed cold-trapping

ในการทดลองจะให้ความร้อนแก่หลอดจับสาร แล้วทำให้สารกลายเป็นไอจากนั้น ไอของสารจะถูกควบแน่นโดยระบบให้ความเย็น (cryogenic) จากนั้นจึงฉีดสารที่ควบแน่นแล้ววิเคราะห์ต่อโดย GC-FID ผลที่ได้รวมกับการทำ calibration curve ของสารที่ทราบ จะคำนวณหาความเข้มข้นได้จากสมการที่มาจาก Fick's law กรณีที่เป็นการเก็บตัวอย่างแบบ passive sampling ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า

$$\text{Uptake rate} = \frac{\text{mass uptake (ng)}}{\text{Analyte concentration (ppm) x exposure time (min)}}$$

โดยค่า uptake rate (หรือ passive sampling rate) จะคำนวณได้ดังนี้

1. กรณีหน่วยเป็น ml/min

$$U_m = \frac{60 \times D \times A}{Z}$$

U_m = อัตราการแพร่ (ml/min)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่ (Cm^2/sec)

A = พื้นที่หน้าตัดการแพร่ (cm^2)

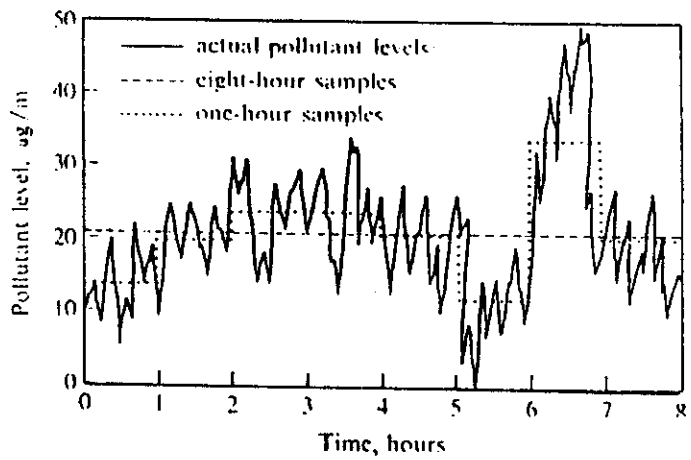
Z = ช่องว่างอากาศที่มีการแพร่ (Cm)

2. **ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง (Sampling duration)** ปกติจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

   ก. แบบจ้วง (grab or instantaneous sampler) จะเก็บโดยใช้เวลาน้อยกว่า 5 นาที

   ข. แบบต่อเนื่อง (integrated or continuous sampler) จะเก็บโดยใช้เวลานานขึ้นโดยอาจเป็นมากกว่า 5 นาทีถึง 8 ชั่วโมง

การเก็บตัวอย่างทั่ว ๆ ไปช่วงและระยะเวลาของการเก็บตัวอากาศจะมีผลต่อระดับความเข้มข้นของสารที่วัดได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยจะเห็นว่ายิ่งเก็บตัวอย่างต่อเนื่องมากก็จะได้ผลของค่าความเข้มข้นเฉลี่ยใกล้กับค่าผลของความเข้มข้นที่มีจริงเท่านั้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือช่วงเวลาเก็บที่ยาวขึ้นจะทำให้ sensitivity ที่ได้มากขึ้น

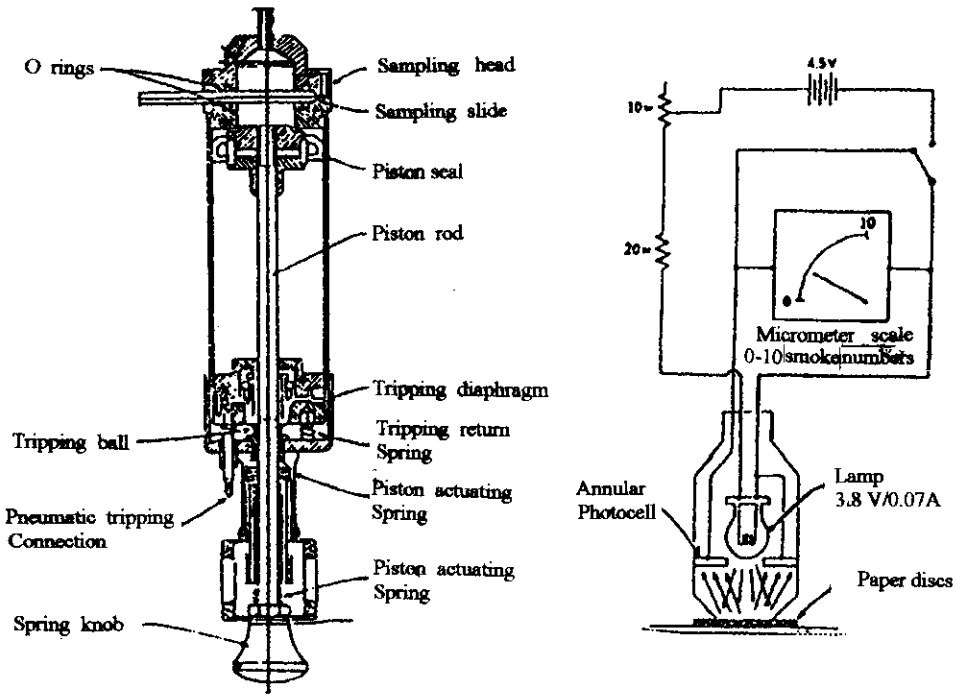


รูปที่ 4.1 ผลของเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่างอากาศที่สังเกตได้จากระดับของสารมลพิษ

กรณีที่ต้องการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาและตรวจสอบความเข้มข้นสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมของที่ทำงานคนงาน เพื่อตรวจผลของความเข้มข้นที่คนงานจะทำงานต่อเนื่องไปได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ โดยจะต้องให้ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 2 ค่า คือ

(1) OSHA's Permissible Exposure Limit (PEL)

(2) ACGIH's Threshold Limit Values (TLV)



รูปที่ 4.23 แสดงเครื่องวัดควันดำ photoelectric evaluation system

4.9.6 การวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอน (Analysis of hydrocarbon)

ไฮโดรคาร์บอนที่ตรวจวัดจะเป็นชนิดปฐมภูมิ (primary pollutant) ซึ่งไม่รวมถึงมีเทน โดยจุดประสงค์หลักเพื่อวัดความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดหมอกโฟโตเคมิคัล บางครั้งจะวิเคราะห์เพียงตัวใดตัวหนึ่งหรืออาจจะวิเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนทั้งหมดที่มีอยู่ ซึ่งกรณีหลังนี้ผลรวมของความเข้มข้นจะรายงานเป็น ppbC ตัวอย่างเช่น 25 ppb butane หรือ 50 ppb ethane หรือ 100 ppb methane สารทุกตัวจะมีความเข้มข้นเท่ากับ 100 ppbC การวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนที่นิยมคือจะเก็บสารโดยใช้ตัวดูดซับในหลอดและแยกสารออกโดยใช้ตัวทำละลายเช่นคาร์บอนไดซัลไฟด์ หรือใช้ความร้อน เพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นโดยเทคนิค Gas chromatography ที่ใช้ detector ที่เป็น FID ตัวอย่างการต่อเครื่องมือเพื่อการวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนในอากาศใช้เทคนิคการสกัดสารด้วยความร้อน และวิเคราะห์โดย GC-FID ดังแสดงในรูปที่ 4.24

ค่าทั้งสองนี้กำหนดความเข้มข้นที่ปลอดภัยต่อคนงานที่ทำงานสัปดาห์ละ 5 วัน และวันละ 8 ชั่วโมง ดังนั้นการเก็บตัวอย่างโดยทั่วไปจะใช้เวลา 8 ชั่วโมงของวันที่ทำงานในการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างเดียวภายในเวลาทำงาน 8 ชั่วโมงซึ่งพบว่าผลที่ได้ไม่ดีเท่ากับการแบ่งช่วงเวลาเก็บเช่น เก็บ 4 ตัวอย่างทุก ๆ 2 ชั่วโมง โดยจะให้ผลในการวิเคราะห์และข้อมูลมากกว่า

3. **ปริมาตรของตัวอย่างที่เก็บ (Sampling Volume)** ปริมาตรตัวอย่างอากาศที่เก็บอย่างน้อยต้องให้มากพอที่จะถึงกำหนดของ detection limit และจะต้องไม่มากเกินไปเพื่อป้องกันการเกิด overloaded นั่นคือปริมาตรที่เก็บตัวอย่างจะต้องใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณความเข้มข้นของสารและใช้สำหรับปรับอัตราการไหลที่ถูกต้องในเครื่องจึงจำเป็นต้องคำนวณหาปริมาตรที่สูงสุดและต่ำสุดจากสมการต่อไปนี้

$$V_{min} = \frac{MDL}{0.2 \times (PEL)}$$

โดย V_{min} = ปริมาตรต่ำสุดของตัวอย่างที่เก็บ (ลิตร)

MDL = detection limit ต่ำสุด, กรัม

PEL = OSHA Permissible Exposure limit, กรัม/ลิตร

$$V_{max} = \frac{\text{ความจุของหลอดเก็บไอ (มิลลิกรัม)}}{2.0 \times PEL}$$

โดย V_{max} = ปริมาตรสูงสุดของตัวอย่างที่เก็บ (ลิตร)

PEL = OSHA Permissible Exposure limit, กรัม/ลิตร

เมื่อทราบปริมาตรจะคำนวณหาค่าอัตราการไหลได้จาก

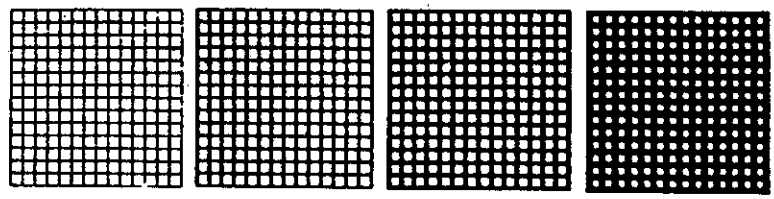
$$V = T \times Q$$

โดย V = ปริมาตรของตัวอย่าง (ลิตรหรือลูกบาศก์เซนติเมตร)

T = เวลา, นาที

Q = อัตราของการเก็บตัวอย่างเป็นลิตรต่อนาทีหรือลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที

4.1 หาค่าความสามารถในการมองเห็น (visibility) โดยให้อากาศที่จะทำการวัดผ่านแผ่นกรอง (filter) นำแผ่นกรองนี้วัดความสามารถในการ absorb หรือดูแสงที่สะท้อนออกมาหน่วยเป็น % blackness โดยต้องรู้ปริมาตรอากาศที่เก็บด้วย หรือวิธีที่ง่ายคือนำแผ่นกรองที่กรองควันดำแล้วไปเทียบค่าแผ่นมาตรฐานควันดำที่เรียกว่า Ringlemann Chart หน่วยเป็น ringlemann โดยวิธีนี้จะต้องทราบเวลาที่ใช้ด้วยดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 The Ringelmann Chart

4.2 ระบบโฟโตอีเลคตริก อีแวลูเอชัน (photoelectric evaluation system) ให้ควันดำผ่านกระดาษกรองโดยใช้ปั๊มดูดตัวอย่าง (sampling pump) หลังจากนั้นจะมีตัววัดควันดำที่เรียกว่า Bosch smoke meter เป็นตัววัดแสงที่สะท้อนจากกระดาษกรอง ดังแสดงในรูปที่ 4.23

4. ประสิทธิภาพของการเก็บตัวอย่าง (Sampling efficiency) โดยทั่วไปถือว่าประสิทธิภาพเครื่องมือที่เก็บจะต้องมีค่ามากกว่า 90% จึงจะถือว่าใช้ได้ วิธีวัดประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้มีดังนี้

ก. เปรียบเทียบผลที่ได้กับที่ได้จากเครื่องมือที่มีความถูกต้อง

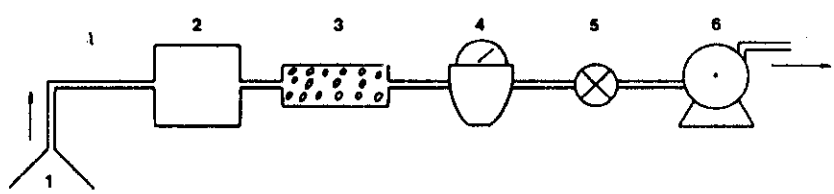
ข. ฉีดแก๊สหรือไอที่รู้ความเข้มข้นในตัวอย่างที่เก็บ

ค. ตรวจวัดจากภาชนะที่รู้ความเข้มข้นของไอหรือแก๊ส

5. การเก็บรักษาตัวอย่าง (Sample handling) โดยจะต้องเขียนเลขตัวแทนที่ทราบในตัวอย่างที่เก็บ ต้องปิดตัวอย่างให้ดีเพื่อป้องกันการปนเปื้อน การรั่วไหล แม้กระทั่งฝาจุของขวดหรือหลอดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ ก็ต้อง seal และต้องระวังเกี่ยวกับเรื่องอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในยานพาหนะขณะเคลื่อนย้ายตัวอย่าง เมื่อส่งเข้าตรวจในห้องปฏิบัติควรจะให้ข้อมูลของการบันทึกการเก็บตัวอย่างด้วย

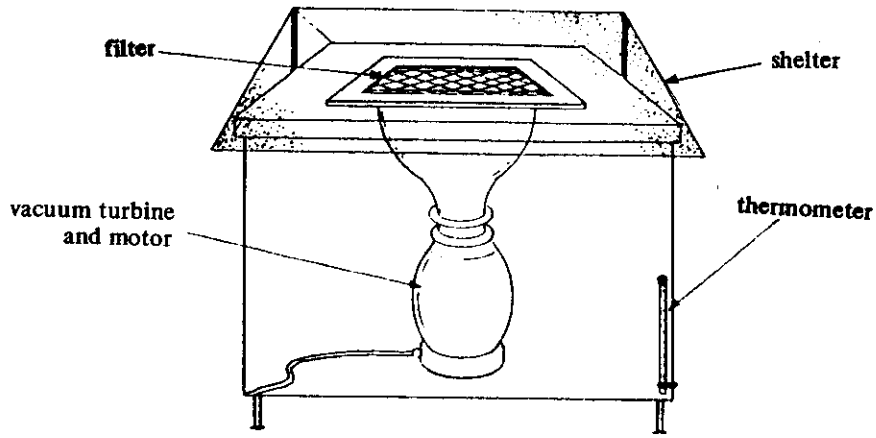
4.4 วิธีการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศ

วิธีการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศแบ่งเป็น 2 ประเภทกว้าง ๆ คือประเภทที่เป็นแก๊ส และประเภทที่เป็นอนุภาคมลสาร การเก็บตัวอย่างอากาศมีองค์ประกอบสำหรับการเก็บแบบทั่ว ๆ ไป ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงแบบการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศทั่ว ๆ ไปประกอบด้วย

1) ทางให้อากาศเข้า 2) เกิดการแยกหรือเพิ่มความเข้มข้น 3) ตัวป้องกันปั๊ม
4) ตัววัดปริมาตรอากาศ 5) เครื่องควบคุมอัตราการไหล 6) ปั๊ม



รูปที่ 4.21 Hi-Vol sampler for the collection of atmospheric particulate matter

3. Very fine particulates การวัดปริมาณอนุภาคพวกนี้พบว่าแผ่นกรองจะไม่สามารถกรองได้เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก จึงต้องอาศัยหลักการใช้สนามไฟฟ้า เพื่อให้อนุภาครวมตัวกันโดยทำให้อนุภาคเกิดประจุด้วยการให้กระแสไฟฟ้าแล้วใช้ plate ที่มีประจุตรงข้ามทำให้อนุภาคมาเกาะและใช้วิธีการนับอนุภาค หน่วยเป็น ions หรืออาจจะนับโดยใช้น้ำ spray บนอนุภาคทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำและใช้วิธีนับหยดการวิเคราะห์อนุภาคพวกนี้เนื่องจากต้องสิ้นเปลืองมากจึงไม่นิยม แต่ถึงอย่างไรก็ตามพบว่า พวกนี้จะก่อให้เกิดปัญหาต่อมนุษย์มากเนื่องจากมีขนาดเล็กมาก

4. ควันดำ (Black smoke) เป็นไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เป็นส่วนของ dust fall รวมอยู่กับ suspended particulates เกิดจากการที่ไฮโดรคาร์บอนคายไฮโดรเจนแล้วเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์รวมกันเป็นกลุ่ม มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยเป็นกลุ่มของอนุภาคที่มีสีค่อนข้างดำหรือเทาปนดำ แหล่งคือรถหรือโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ

การตรวจควันดำ กระทำได้โดย

4.5 สมบัติการกลายเป็นไอของสารปนเปื้อนในอากาศ

ความดันไอเป็นค่าที่ใช้วัดความสามารถของสารที่จะล่องลอยอยู่ในบรรยากาศ โดยอาจแบ่งชนิดของอากาศตามค่าความดันไอได้ดังนี้

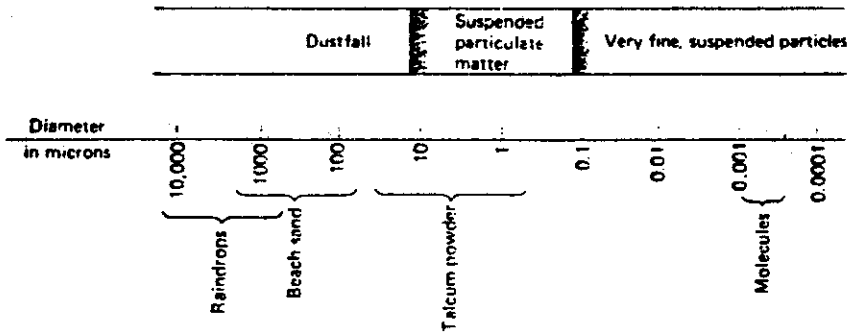
1. แก๊ส (gas) ที่อุณหภูมิห้องจะมีค่าความดันไอมากกว่าค่าความดันมาตรฐานของบรรยากาศคือ 750 มม. ของปรอท

2. สารประกอบที่ระเหยได้ (Volatile compounds) จะอยู่ในสถานะที่เป็นไอ สารพวกนี้ที่อุณหภูมิห้องจะมีความดันไอมากกว่า 1 มม. ของปรอท (หรือ > 0.13 kPa) เช่น เบนซีน เตตระคลอโรอีเทน

3. สารประกอบที่ระเหยได้ปานกลาง (Semivolatile compounds) จะมีค่าความดันไออยู่ในช่วงระหว่าง 10^{-7} มม. ของปรอท ถึง 1 มม.ของปรอทอยู่ในรูปของไอและอนุภาคผสมสาร ได้แก่กลุ่มโพลีนิวเคลียร์ - อะโรแมติก ยาฆ่าแมลงกลุ่มออแกโนคลอรีน ยาฆ่าแมลงกลุ่มออแกโนฟอสเฟต โพลีคลอริเนตเตทไบฟีนีล (PCBs) ฟูราน และไดออกซิน

4. สารประกอบที่ไม่ระเหย (Nonvolatile compound) มีความดันไอน้อยกว่า 10^{-7} มม. ของปรอทมักอยู่ในรูปอนุภาค ตารางที่ 10.2 แสดงค่าความดันไอของสารเคมีที่ 25 ^{o} ซ

เรื่องมลพิษอากาศ ปกติกลุ่ม TSP จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 0.1-10 ไมครอน ดังแสดงในรูป 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคมลสาร

เครื่องมือเก็บ TSP ที่นิยมใช้คือ เครื่องเก็บปริมาตรสูง (High volume sampler) ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งในปัจจุบันมีเครื่องมือที่ผลิตโดยบริษัทต่าง ๆ มากมายแต่หลักการทำงานเหมือนกัน กล่าวคือมีปั๊มในตัวเครื่องดูดอากาศที่เก็บให้ผ่านแผ่นกรองที่เป็นใยแก้ว ฝุ่นขนาด 0.1-100 ไมครอนจะถูกจบบนแผ่นกรอง โดยกำหนดให้อัตราการไหลของอากาศอยู่ในช่วง 40-60 ฟุต^3/นาที ดังนั้นในตัวเครื่องจะต้องมีอุปกรณ์บันทึกอัตราการไหลอยู่ด้วย เพื่อใช้คำนวณความเข้มข้น ปกติจะเก็บตัวอย่างให้ผ่านแผ่นกรองอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจึงจะได้ปริมาณฝุ่นที่มากพอ ประสิทธิภาพของการเก็บ TSP ด้วยวิธีนี้จะขึ้นกับแผ่นกรองด้วยซึ่งก่อนนำไปเก็บตัวอย่างจะต้องปรับให้ได้อุณหภูมิในช่วงระหว่าง 15°-30° ซ ที่มีความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงทำการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนนำไปเก็บตัวอย่าง หลังจากเก็บตัวอย่างแล้วจะต้องทำเงื่อนไขของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของกระดาษให้เหมือนกับตอนก่อนเก็บตัวอย่าง จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักสุดท้ายเพื่อหาปริมาตร TSP ต่อปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง หน่วยที่นิยมคือ $\mu g/m^3$

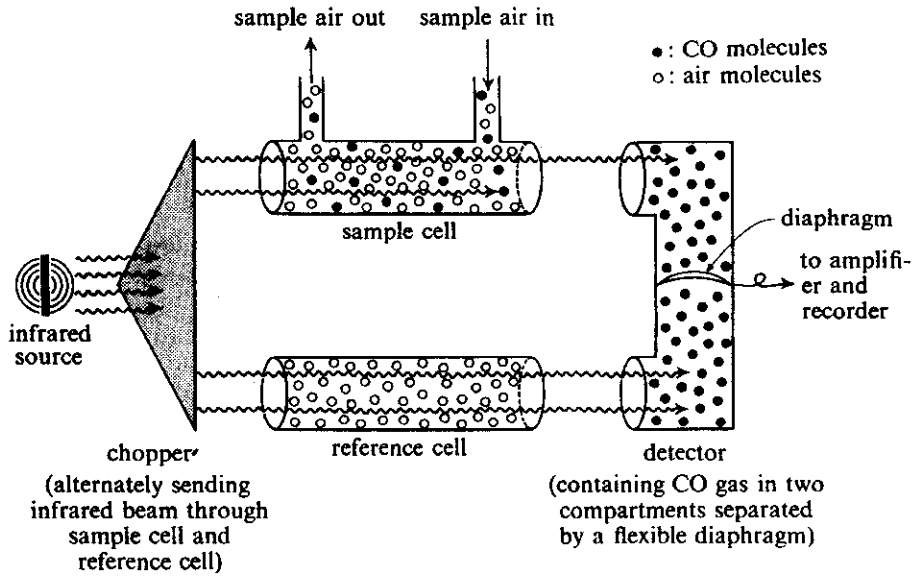
ตารางที่ 4.2 แสดงความดันไอของสารเคมีที่ 25 ^{o} ซ

Chemical	Vapor Pressure in mm Hg
Acetic acid	19
Acetone	363
Acetonitrile	94
Acrylonitrile	119
Benzene	96
Carbon disulfide	473
Carbon tetrachloride	117
Diethyl ether	553
Ethanol	63
Ethyl acetate	93
Ethyl benzene	9.8
Formic acid	43
n-Hexane	182
Hydrocyanic acid	742
Methanol	140
Methyl acetate	253
Methyl chloroform	143
Methylene chloride	420
Nitromethane	37
Pyridine	25
Styrene	8.6
Tetracholorethylene	351
Toluene	32
Trichloromethane	236

4.6 การเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับแก๊สและไอ (Air Sampling for Gases and Vapors) มีหลายวิธีได้แก่

1. เก็บในตัวกลางที่เป็นของเหลว (Sampling in liquid media) โดยให้แก๊สหรือไอจากอากาศดูดซับด้วยของเหลวซึ่งสมมุติให้แก๊สหรือไอละลายในสารละลายได้หมด การดูดซับ (absorption) เป็นการละลายที่ควบคุมโดยความดันย่อยของแก๊สที่ละลายอยู่เหนือผิวน้ำที่สภาวะสมดุล หลังจากถึงจุดนี้แล้วความเข้มข้นของแก๊สหรือไอในของเหลวจะไม่เพิ่มมากขึ้นแม้จะมีการเก็บต่อไป การเพิ่มประสิทธิภาพของการเก็บโดยวิธีนี้ทำได้ 2 วิธี คือ

1. ใช้ของเหลวที่เย็นในการเก็บตัวอย่าง เพื่อลดอัตราการระเหยของไอหรือแก๊ส
2. เพิ่มพื้นที่ผิวของการสัมผัสระหว่างตัวอย่างอากาศกับตัวกลางของเหลวที่ใช้เก็บโดยการใช้อัตราการเก็บตัวอย่างให้เหมาะสม หรือเพิ่มพื้นที่ผิวของเหลวจากการเป่าให้เป็นฟองเล็ก ๆ เพื่อสัมผัสกับตัวอย่างอากาศ



รูปที่ 4.19 Nondispersive infrared spectrometer for monitoring carbon monoxide

4.9.5 การวิเคราะห์อนุภาคมลสาร (Analysis of particulate matter)

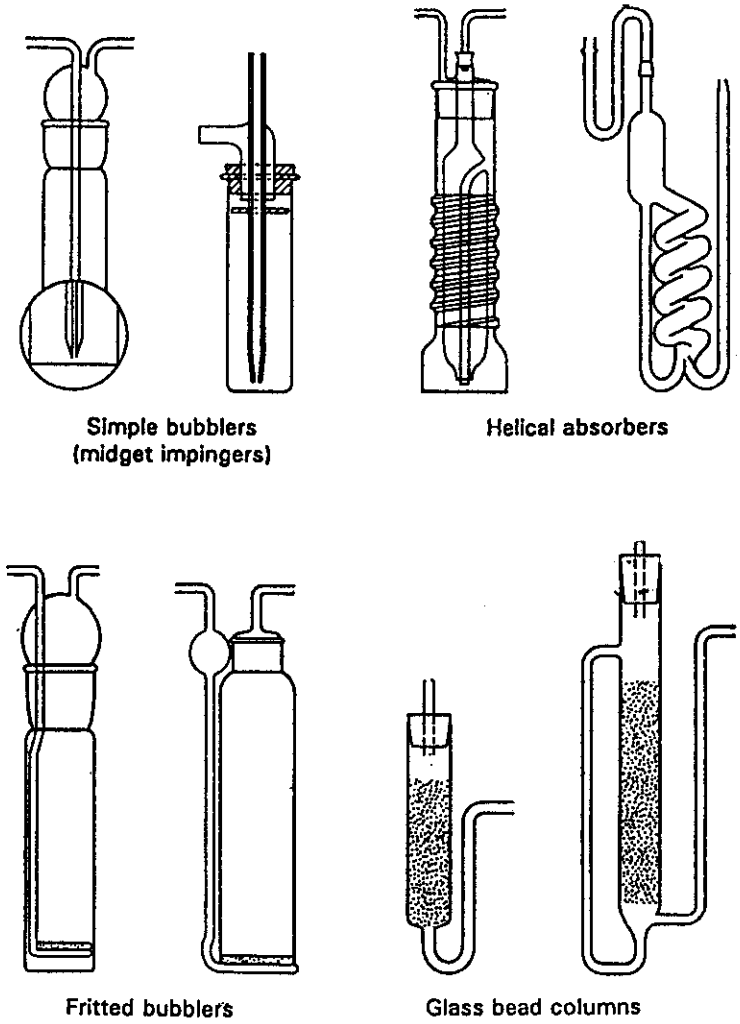
การวิเคราะห์อนุภาคมลสารอาจแบ่งเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ฝุ่น (dust fall), พวกแขวนลอย (suspended particulates) พวกแขวนลอยในอากาศได้นาน (very fine suspended particulates) และพวกควันดำ (black smoke) ประเภทอนุภาคมลพิษที่ถูกกำหนดให้ติดตามตรวจวัดในบรรยากาศคือพวกแขวนลอย เนื่องจากมีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์โดยตรง ต่อไปนี้จะเป็นวิธีการวิเคราะห์อนุภาคมลพิษทั้ง 4 กลุ่ม คือ

1. ฝุ่น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 ไมครอนมักก่อปัญหาในแง่ความสกปรกและการมองเห็น การตรวจวัดปริมาณฝุ่นทำได้โดยนำภาชนะที่ใช้เก็บฝุ่นซึ่งทราบขนาดน้ำหนักแล้ววางไว้ในที่กลางแจ้ง บันทึกเวลาที่เก็บซึ่งโดยทั่วไปอาจเป็นวันหรือเดือนก็ได้ ชั่งน้ำหนักของภาชนะรวมกับฝุ่นสุดท้าย คำนวณน้ำหนักฝุ่นที่เก็บได้และระบุหน่วยเป็น ตัน/ม^2 - เดือน หรือกรัม / ม^2 - วัน

2. พวกแขวนลอยในบรรยากาศ ซึ่งอาจจะเรียกผลการวิเคราะห์กลุ่มนี้ว่า Total Suspended Particulate (TSP) หรือปัจจุบันเป็น PM_{10} และล่าสุดจะเป็น $PM_{2.5}$ ดังกล่าวแล้วใน

การดูดซับของแก๊สหรือไอโดยปฏิกิริยาเคมีนั้นจะขึ้นกับเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาต่อไปนี้คือขนาดของฟองอากาศที่เกิดจากตัวพ่นฟอง (bubbler) ปฏิกิริยาของสารเก็บของเหลวที่ใช้เก็บตัวอย่าง ความเร็วของปฏิกิริยาและปริมาณของเหลวที่มากเกินพอ ตัวอย่างเช่น ถ้าปฏิกิริยาเคมีที่เกิดนั้นเร็วจะต้องมีของเหลวที่ใช้เก็บในปริมาณมากเกินพอเพื่อให้เก็บสารได้ทั้งหมด หรือถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้าก็จะต้องปรับให้อัตราการเก็บตัวอย่างช้าพอที่จะให้เกิดปฏิกิริยาเพื่อให้ประสิทธิภาพในการเก็บสูงมากขึ้น

แบบของการเก็บแก๊สหรือไอจากอากาศจึงถูกพัฒนาให้มีการใช้ตัวพ่นฟองตามชนิดของสารที่จะเก็บดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งแบ่งได้เป็น 4 แบบหลัก คือ



รูปที่ 4.3 แบบต่าง ๆ เครื่องมือเก็บแก๊สและไอด้วยตัวกลางที่เป็นของเหลว

ง. ตัวขยายและบันทึกผล (amplifier and recorder) ซึ่งจะวัดผลต่างของ detector ทั้ง 2 ส่วนในข้อ ค.

ในการทดลองจะผ่านแสง IR เข้าไปที่เซลล์ทดลองและเซลล์อ้างอิง IR บางส่วนจะถูกดูดกลืนโดย CO ในตัวอย่างอากาศที่ตรวจวัด ส่วน IR ที่ผ่านเข้าเซลล์อ้างอิงจะไม่ถูกดูดกลืน เมื่อ IR จากเซลล์ทั้งสองผ่านต่อไปยัง detector ทำให้เยื่อบางที่กั้นเกิดการเคลื่อนที่ (เนื่องจาก CO ใน detector ดูดกลืนแสง IR ได้) และให้ผลต่างออกมาแล้วส่งผลไปยังตัวขยายและบันทึกผล โดยผลที่ได้นี้จะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ CO ในตัวอย่าง

เครื่องมือชนิดนี้จะเก็บตัวอย่างวิเคราะห์และรายงานผลโดยใช้เวลาสั้น ๆ (Real time measurment) ซึ่งจะใช้วิเคราะห์ CO ที่มีความเข้มข้นในช่วง 0-150 ppm ได้ดี โดยจะวัดค่าออกมาเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตร

2. เทคนิคของ Flame-ionization gas chromatography ก็เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ CO ได้เช่นกันโดยเปลี่ยน CO เป็น methane จากปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$CO + 3H_2 \xrightarrow[360^\circ C]{Ni} CH_4 + H_2O$$

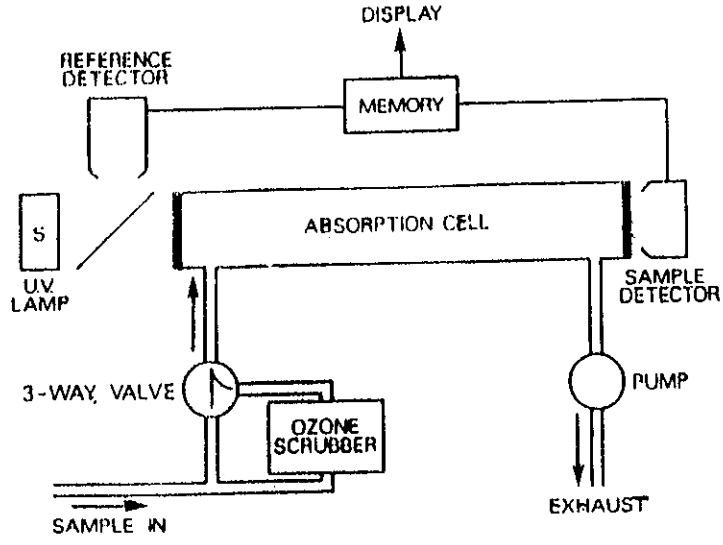
3. วิธีการออกซิเดชันเป็น CO_2 (ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคือ MnO_2 และ CuO) และวัดความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดเทียบกับเซลล์อ้างอิง

1) **Simple bubblers** (midget impingers) ใส่ของเหลวในขวดโดยให้อากาศสัมผัสกับของเหลวที่มีขนาดฟองเล็ก ๆ ซึ่งเกิดจากตัวทำให้ฟองเล็ก (midget impinger) เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากราคาถูก ปกติแล้วจะปรับให้อัตราการไหลของการสัมผัสของสารเป็น 2.8 ลิตรต่อนาที แต่สำหรับการวัดในกรณีที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยของมนุษย์จะใช้เป็นแบบตัวพ่นฟองในสารละลาย 20 มิลลิลิตรโดยใช้อัตรา 1.0-2.0 ลิตรต่อนาที วิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพต่ำสำหรับสารบางประเภท

2) **helical absorbers** เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างแก๊สหรือไอที่ละลายและเกิดปฏิกิริยากับของเหลวที่ใช้เก็บได้ขนาดปานกลาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเก็บจึงเพิ่มส่วนของท่อที่ขดซึ่งจะทำให้สารมีโอกาสอยู่ในหลอดได้นานมากขึ้น และเกิดการละลายและปฏิกิริยาอย่างช้า ๆ กับของเหลวที่อยู่ในหลอด

3) **Fritted bubblers** ใช้กรณีที่แก๊สหรือไอในตัวอย่างสามารถละลายในตัวอย่างของเหลวซึ่งเป็นตัวดูดซับได้มากน้อยต่างกัน จะมีการเพิ่มตัวที่จะทำให้เกิดเป็นฟองที่มีขนาดเล็กมาก ๆ คือ fritted glass หรือ sintered โดยจะให้อากาศถูกดูดผ่านรูเล็กของ fritted glass หรือ sintered แล้วแตกเป็นฟองเล็กมากเพื่อให้สัมผัสกับของเหลวได้มากที่สุด ขนาดของรู fritted จะมี 3 ขนาดเพื่อให้เลือกใช้กับสารหรือขนาดหยาบ กลางและละเอียด โดยขนาดหยาบจะเลือกใช้กับแก๊สหรือไอที่ค่อนข้างว่องไวหรือละลายได้ดีในของเหลวที่ใช้จับได้ดีมาก ขนาดกลางเหมาะกับแก๊สหรือไอที่เก็บได้ค่อนข้างยากโดยจะต้องคอยปรับให้อัตราการเก็บตัวอย่างไม่ให้เกิดผลกระทบกับการเกิดฟอง ส่วนขนาดเล็กใช้กับแก๊สที่ระเหยได้เร็วจึงเก็บได้ค่อนข้างยาก

4) **Packed glass bead column** ใช้กรณีพิเศษที่ต้องการเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำจะใส่ลูกแก้วเล็กที่เคลือบสวรที่เป็นตัวดูดซับบนผิวโดยเลือกใช้ชนิดที่เป็นเมือกเคลือบผิวลูกแก้วได้ วิธีนี้จะต้องปรับให้อัตราการไหลของอากาศต่ำมากคืออยู่ในช่วงระหว่าง 0.25-0.5 ลิตรต่อนาที ชนิดของสารที่จะเก็บได้โดยวิธีนี้ได้แก่ acetaldehyde, acetic anhydride, acetone, ammonia, benzaldehyde, benzene, butanol, vcarbon dioxide, carbontetrachloride, cresol, diethyl mercury, ethyl benzene, formaldehyde, nitrogen dioxide, ozone, phenol, phosphine, styrene sulfur dioxide, toluene, disocyanate, trichloroethylene และ vinyl acetate



รูปที่ 4.18 แสดงการวัดโอโซนโดย photometer (Dasibi)

4.9.4 การวิเคราะห์คาร์บอนมอนนอกไซด์ (Analysis of carbon monoxide) มีหลายวิธี ดังนี้

1. วิธีของ EUN ซึ่งสถาบันวิเคราะห์คุณภาพอากาศมาตรฐานแห่งชาติของอเมริกา (The National Air Quality Standards) กำหนดให้ใช้เป็นวิธีมาตรฐานในการวัด CO ใช้เทคนิคของ nondispersive infrared spectroscopy (NDIR) ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

ก. แหล่งให้แสง IR กับเซลล์ตัวอย่าง

ข. เซลล์บรรจุอากาศที่จะวิเคราะห์ วางคู่กับเซลล์บรรจุอากาศที่ไม่มี CO ซึ่งเป็นเซลล์อ้างอิง

ค. detector ประกอบด้วยเซลล์ 2 เซลล์ที่บรรจุ CO อยู่ภายใน และมีเยื่อบาง ๆ ที่ทำด้วยยางหรือพลาสติก (diaphram) กั้นอยู่ โดยเซลล์ส่วนบนจะเป็น detector สำหรับวัดแสง IR ที่มาจากเซลล์ตัวอย่าง ส่วนเซลล์ส่วนล่างจะวัดแสง IR ที่มาจากเซลล์อ้างอิง

2. การเก็บตัวอย่างโดยกระบวนการดูดซับ (Adsorptive sampling) เป็นวิธีการเก็บที่นำมาจากเทคนิคของโครมาโตกราฟ ใช้มากในการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ที่เป็นแก๊สหรือไอ โดยได้ตัวอย่างแก๊สหรือไอเกิดพันธะบนผิวของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง (adsorber) แบ่งวิธีการเก็บโดยใช้ตัวดูดซับนี้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

2.1 Active sampling

2.2 Passive sampling

2.1 Active sampling คือการเก็บตัวอย่างโดยใช้ปั๊มดูดแก๊สหรือไอให้ผ่านเข้าไปในหลอดเก็บตัวอย่างที่บรรจุตัวดูดซับอยู่ภายใน การใช้วิธีนี้มีข้อพึงระวังหลายอย่างดังนี้

ก. การที่ตัวอย่างสารเริ่มออกไปนอกหลอดเก็บตัวอย่าง (Breakthrough) เนื่องจากความเข้มข้นของสารด้านหน้าหลอดเริ่มอิ่มตัวและสารที่อยู่ด้านหลังหลอดเริ่มสะสมมากพอที่จะออกไปนอกหลอด

ข. ในที่มีความชื้นสูงโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปจับที่ตัวดูดซับ ทำให้สารที่จะวิเคราะห์มีให้ผลการวิเคราะห์ที่น้อยกว่าที่เป็นจริง

ค. อัตราของการปล่อยอากาศเข้ามาในหลอดเก็บตัวอย่างต้องพอเหมาะที่จะให้สารถูกจับบนตัวดูดซับได้

ง. ที่อุณหภูมิสูงมีผลให้การดูดซับเกิดได้น้อยลงและมีโอกาส breakthrough มากขึ้น

จ. ขนาดและน้ำหนักเม็ดของตัวดูดซับ

ชนิดของหลอดเก็บตัวอย่างที่ใช้เก็บโดยวิธี Active sampling จะแบ่งตามประเภทของตัวดูดซับได้ดังนี้ คือ

2.1.1 หลอดผงถ่านกัมมันต์ (Activated charcoal tubes) ภายในหลอดจะบรรจุผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งในกรณีนี้มักใช้เก็บตัวอย่างพวกสารประกอบอินทรีย์ ผงถ่านกัมมันต์ที่ใช้นี้เตรียมจากสารที่มีคาร์บอนคือมะพร้าวหรือส่วนของปิโตรเลียมแล้วเผาที่อุณหภูมิ 800-900° ซ จะทำให้ได้โครงสร้างที่เป็นรูพรุน สำหรับหลอดเก็บตัวอย่างตามมาตรฐานสถาบันสุขภาพและความปลอดภัยของคนงานแห่งชาติ (The National Institute for Occupational Safety

$$KI + I_2 \longrightarrow KI_3$$

$\downarrow$

Spectrophotometer ที่ λ = 352 nm

ข้อเสียวิธีนี้คือปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดอาจจะไม่เกิดเฉพาะสมการข้างต้นนี้ โดยพบว่าอาจจะเกิดปฏิกิริยาได้กับ PAN และ NO_2 เช่นกัน ปัญหาการคำนวณเลขมวลสารสัมพันธ์จากสมการอัตราส่วนระหว่าง I_2 และ O_3 อาจจะไม่เป็น 1 ก็ได้

2. เทคนิค Chemiluminescence ซึ่งเป็นเทคนิคเดียวกับที่ใช้วิเคราะห์ NO_x แต่ชนิดสารเคมีที่ทำปฏิกิริยากับโอโซนคือ อีเทน (C_2H_4) สมการที่เกิดในปฏิกิริยา Chemiluminescence ในเครื่องมือคือ

$$C_2H_4 + O_3 \longrightarrow \text{Ozonide} + CH_2O^*$$

$$CH_2O^* \longrightarrow CH_2O + h\nu$$

แสงที่ปล่อยมาจะอยู่ค่า 435 nm (สูงสุดที่ 1200 nm) จึงไม่พบการรบกวนจาก O_3 หรือปฏิกิริยาของ NO_x พบว่าเทคนี้ใช้กันค่อนข้างมาก

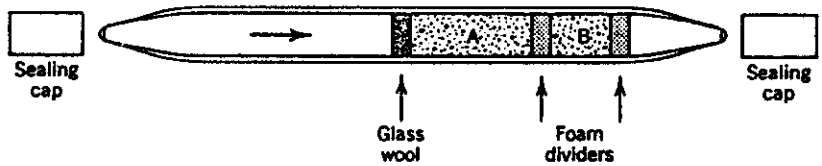
3. O_3 Photometer ดังรูปที่ 4.18 โดยวัด O_3 ซึ่งดูดกลืนแสง UV ได้ที่ความยาวคลื่น 254 nm ซึ่งพบว่าที่ยาวคลื่นนี้ทั้งปรอทและไฮโดรคาร์บอนจะให้ผลเป็นบวกเช่นกัน ดังนั้นการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงและให้ตัวอย่างผ่านเข้าเครื่องจะมี 2 ครั้ง คือ

ก. วัดขณะที่อากาศที่ผ่านเข้าเครื่องผ่านตัวจับโอโซน (O_3-scrubber) ก่อนเข้า absorption cell ดังในรูปที่ 4.18

ข. วัดขณะที่ผ่านอากาศทั้งหมดเข้าเครื่อง

ค. ผลต่างข้อ ก. และ ข. คือค่าที่เกิดจากโอโซน

and Health, NIOSH) แนะนำให้ใช้เป็นผงถ่านกัมมันต์ที่บรรจุอยู่ภายในหลอดยาว 7 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 6 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.4 ภายในจะบรรจุผงถ่านกัมมันต์จะมีขนาด 20/40 เมช ผงถ่านกัมมันต์จะบรรจุเป็น 2 ช่วง ช่วงหน้าหลอดจะเป็น 100 กรัม ช่วงหลังหลอดเป็น 50 กรัมและมีแผ่นโฟมกั้นอยู่เพื่อกันไม่ให้หลุดออกไปเวลาเก็บตัวอย่าง ช่วงหน้าของหลอดจะมีใยแก้วขนสัตว์ (glass wool) บรรจุอยู่ด้วย ข้อพึงระวังในการใช้หลอดประเภทนี้



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างของหลอดเก็บตัวอย่างโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์

ก. ใช้ได้ดีกับสารอินทรีย์ที่มีขั้ว แต่สำหรับสารอนินทรีย์ก็ใช้เก็บโดยวิธีนี้ได้ แต่ต้องจำกัดปริมาตรของสารตัวอย่างในกรณีที่มีความชื้นสูง

ข. สารอินทรีย์บางชนิดที่ว่องไว เช่น เมอแคบแทน (mercaptans) และอัลดีไฮด์จะเก็บโดยใช้วิธีนี้ไม่ได้เนื่องจากจะเกิดปฏิกิริยาที่ผิวของสาร เช่นเดียวกับสารอนินทรีย์บางประเภท เช่น คลอรีน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ โอโซน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ก็พบว่าจะทำปฏิกิริยากับผงถ่านกัมมันต์

ค. ความชื้นของอากาศที่มีมากจะมีผลของการเก็บตัวอย่างแบบนี้ โดยพบว่าค่า RH ถ้ามากกว่า 60% ความจุของการดูดซับจะลดลงถึง 50%

2.1.2 **หลอดซิลิกาเจล** (Silica gel tubes) เป็นประเภทของตัวดูดซับที่ใช้เฉพาะมากกว่าแบบแรก เตรียมจากปฏิกิริยาโซเดียมซิลิเกตและกรดซัลฟูริก เหมาะกับพวกสารอินทรีย์ที่มีขั้วได้แก่ อะลิฟาติกและอะโรแมติก เอมีน นอกจากนี้พบว่ายังใช้เก็บตัวอย่างอื่น ๆ ได้อีกเช่น aniline, chloro-acetic acid, cresol, ethanolamine, hydrogen bromide,

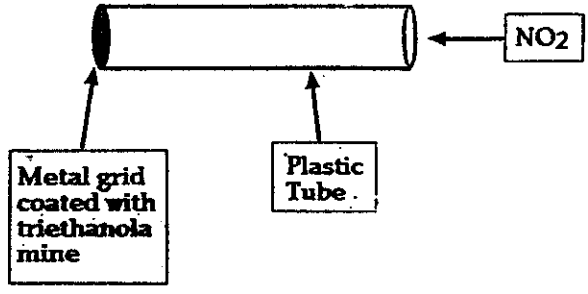
$$NO_2 \xrightarrow[\text{Na Arsenite}]{\text{NaOH}} NO_2^-$$

$$NO_2^- \xrightarrow[\text{Sulphanilamide}]{\text{Phosphoric acid}} \text{Azo dye}$$

สีเหลือง

Spectrophotometer

3. เคลือบตัวดูดซับบนแผ่นโลหะที่อยู่ในหลอดเก็บตัวอย่าง โดยในหลอดจะเคลือบสาร triethanolamine แล้วเกิดสารมีสีซึ่งจะวัดความเข้มข้นโดยใช้ Spectrophotometer ดังรูป 4.17 แล้วคำนวณความเข้มข้นของ NO_2



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างการวิเคราะห์ NO_2 โดยใช้ตัวจับที่เคลือบบนแผ่นกรอง

4.9.3 การวิเคราะห์ตัวออกซิแดนท์ (Analysis of oxidants)

ออกซิแดนท์ในบรรยากาศที่ต้องวิเคราะห์ ได้แก่ โอโซน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์ และคลอรีน สำหรับวิธีการวิเคราะห์โดยทั่วไปแล้วออกซิแดนท์จะหมายถึง O_3 มีวิธีการวิเคราะห์หลายวิธีดังนี้

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารละลายบัฟเฟอร์ที่เป็นกลาง KI จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$O_3 + 2H^+ + 2I^- \longrightarrow I_2 + H_2O + O_2$$

hydrogen fluoride, methanol, nitric acid, nitrobenzene, stibine, 1, 1, 22-tetrabromomethane, 0-toluidine และ 2,5-xylidine ข้อเสียของหลอดซิลิกาเจลคือ เป็นสารที่ดูดน้ำได้ดีดังนั้นถ้าบรรยากาศมีความชื้นสูงจะทำให้ความสามารถในการเก็บตัวอย่างน้อยลง วิธีที่จะเพิ่มความสามารถในการดูดซับสารของซิลิกาเจลทำได้โดยการเติมสารผสมลงไป เช่นผสม 2, 4-dinitrophenylhydrazine กับซิลิกาเจลในการเก็บอะเซทาลดีไฮด์และฟอร์มัลดีไฮด์ หลังจากนั้นสกัดด้วยอะซิโตไนไตรและวิเคราะห์ต่อโดย HPLC ข้อพึงระวังและพิจารณาในการใช้หลอดซิลิกาเจลอื่น ๆ ได้แก่ ขนาดของซิลิกาเจล ความยาวและเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดอุณหภูมิ

2.1.3 ตัวดูดซับอื่น ๆ ได้แก่

2.1.3.1 Molecular sieves เป็นอะตอมคาร์บอนที่สานกันเป็นตาข่าย ซึ่งเตรียมได้จากการไพโรไลซิสของสารตั้งต้นที่เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์หรือพวกปิโตรเลียม ลักษณะทางกายภาพจะมีช่องว่างและเป็นรูพรุนอันมีผลต่อการดูดซับและปริมาตรเนื้อที่ที่จะดูดเหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมประเภทที่เป็นสารอินทรีย์ประเภทไม่มีขั้วที่กลายเป็นไอได้ง่าย ได้แก่ acrylonitrite, allyl chloride, benzene, carbon tetrachloride, chloroform, ethylene dichloride, methyl chloroform, methylene chloride, trichloroethylene, vinyl chloride และ vinylidene chloride

2.1.3.2 Porous polymers เป็นสารโพลีเมอร์ซึ่งใช้เก็บตัวอย่างในอากาศ เช่น Tenax ซึ่งเป็น poly-2, 6-diphenyl phenoxyether ซึ่งใช้เก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ที่มีปริมาณน้อยได้ดี

2.1.4 ฉาบบนผิววัตถุที่ใช้เก็บ (Coated sorbents) ใช้เก็บตัวอย่างแก๊สหรือไอที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาจึงไม่อาจถูกเก็บได้ในหลอดเก็บตัวอย่าง การใช้ตัวดูดซับติดในแผ่นกรองหรืออยู่ในหลอดจะทำให้สามารถเก็บสารเหล่านี้ได้ ตัวอย่างเช่น acetaldehyde, acrolein, arsenic trioxide, butylamine, formaldehyde, methylene dianiline, nitrogen dioxide และ toluene diisocyanate

2.2 Passive sampling เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างสารให้ผ่านเข้าไปถูกเก็บในตัวดูดซับโดยไม่ต้องใช้ปั๊ม ผลของตัวอย่างที่เก็บโดยวิธีนี้เป็นความเข้มข้นเฉลี่ยหรือความเข้มข้นแบบรวม เนื่องจากจะต้องใช้เวลาเก็บค่อนข้างนานโดยอาจเป็น วัน อาทิตย์ หรือเป็นเดือน ตัว

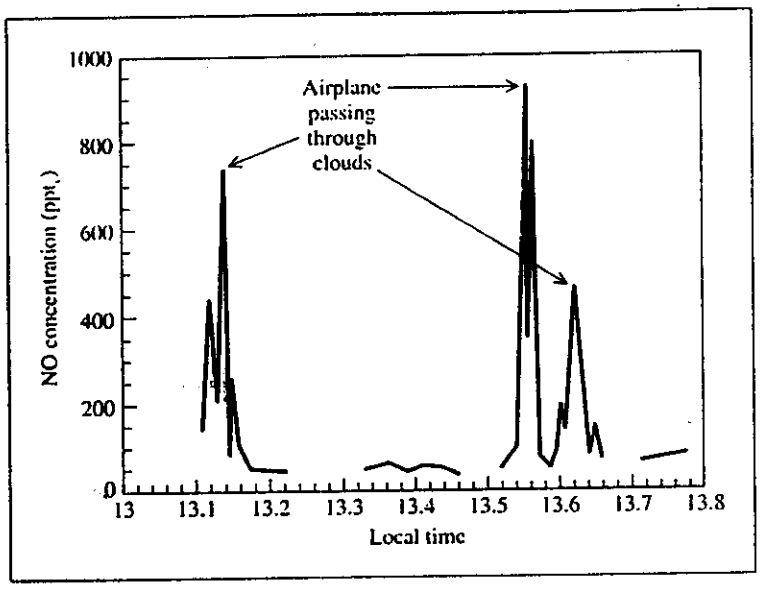
2. แสงที่ถูกปล่อยจากปฏิกิริยา chemiluminescence ของปฏิกิริยา NO กับ O_3 ซึ่งเกิดดังปฏิกิริยาดังนี้

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2^* + O_2$$

$$NO_2^* \longrightarrow NO_2 + h\nu$$

แสงที่เกิดจากปฏิกิริยาข้างต้นที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 600-2800 nm จะถูกตรวจวัดความเข้มข้นโดย photomultiplier โดยแสงที่ความยาวคลื่นน้อยกว่า 600 nm จะถูกตัดออกด้วยแผ่นกรอง ความเข้มข้นของแสงที่อ่านได้จะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ NO ในบรรยากาศ

ตัวอย่างการวัดความเข้มข้นของ NO_x โดยเทคนิคนี้ดังแสดงในรูป 4.16

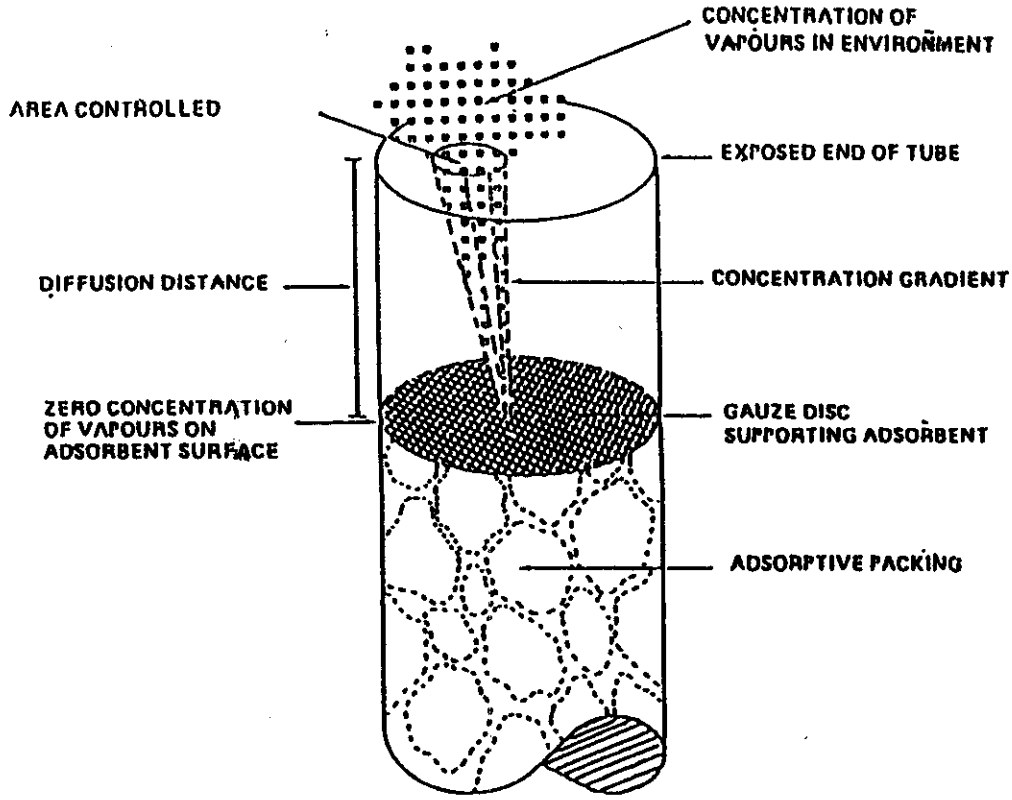


รูปที่ 4.16 แสดงตัวอย่างการวัด NO_x ในอากาศโดยเทคนิค gas-phase chemiluminescence

2. Christie Arsenite Method เป็นวิธีเปลี่ยน NO_2 ให้เป็นไนไตรท์และไดอะโซไทเซชันที่มีสีเหลืองแล้ววัดด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงที่ตามองเห็นดังสมการ

ดูดซับบางประเภทใช้งานเฉพาะสำหรับแก๊สหรือไอเช่น อะซีโตน แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ ฟอร์มัลดีไฮด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ โอโซน และปรอท บางประเภทใช้สำหรับชนิดที่ไม่เฉพาะเจาะจง เช่น ไอของสารอินทรีย์ทั่วไป ตัวดูดซับที่บรรจุอยู่ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์พวกคาร์บอนได้แก่ผงถ่านกัมมันต์ หรือพวกสารโพลิเมอร์ ข้อดีของการใช้เทคนิคนี้คือง่ายและถูกกว่าเนื่องจากไม่ต้องอาศัยปั๊ม วิธีการเก็บแบบนี้แบ่งตามทฤษฎีการเก็บได้ 2 แบบ คือ

2.2.1 Diffusion dosimeters ตัวดูดซับจะถูกบรรจุลงในหลอดซึ่งอาจเป็นแก้วหรือแสตนเลส ตัวอย่างแก๊สหรือไอจะแพร่เข้าหลอดผ่านช่องว่างที่ยาวประมาณ 10-20 มิลลิเมตร เพื่อให้สารเกิดการแพร่ (diffuse) โดยตัวดูดซับจะถูกกั้นด้วยตาข่ายแสตนแลสและตัวอย่างหลอดเก็บดังแสดงในรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.5 แสดงการแพร่ของสารเข้าไปในหลอดเก็บแบบ diffusion dosimeters

วิธีการทดลองเมื่อพิจารณาเครื่อง Chemiluminescent analyser สำหรับ NO_x ในรูป 4.15

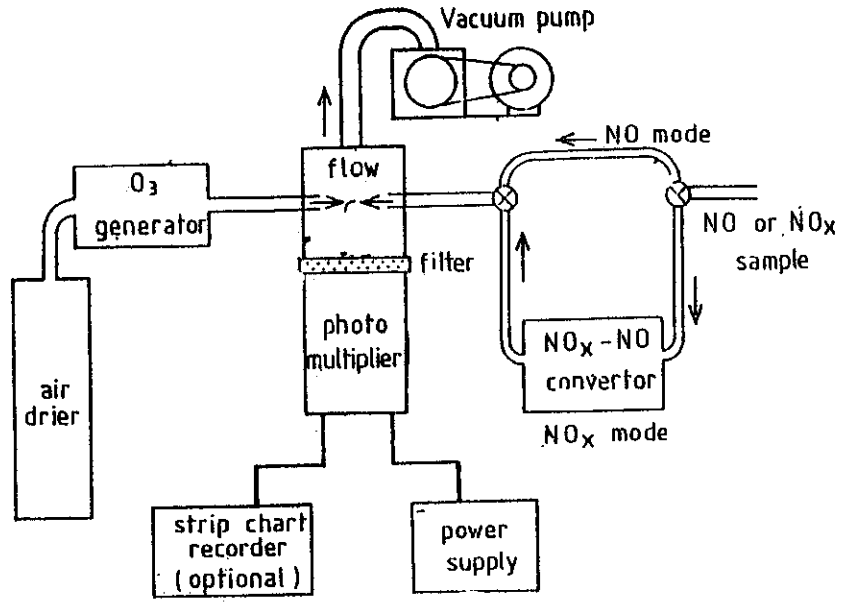
1. อากาศที่ต้องการวิเคราะห์ NO_x ถูกดึงผ่านเข้าไปที่ reaction chamber เพื่อผสมกับ O_3 ที่มีปริมาณมากเกินพอ โดยอัตราการไหลของอากาศจะมีค่าประมาณ 1,000 ซม.^{3} ต่อนาที

หมายเหตุ

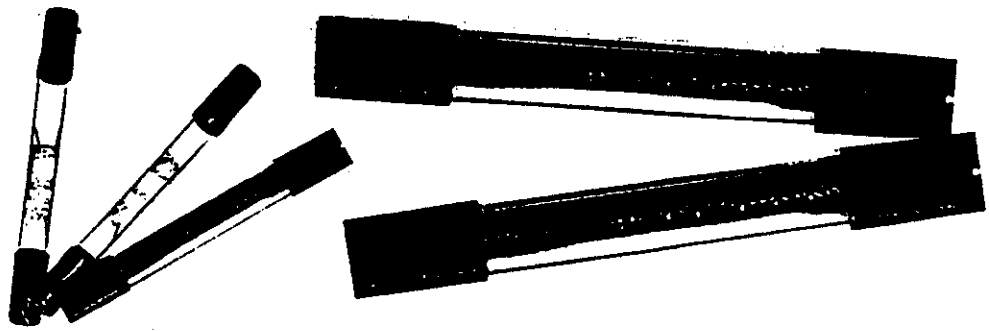
(ก) กรณีต้องการวิเคราะห์เฉพาะ NO ให้เปิดท่อวาล์วอากาศให้ตัวอย่างไหลเข้าทาง NO mode

(ข) กรณีต้องการวิเคราะห์ NO_x คือทั้ง NO และ NO_2 ให้ตัวอย่างอากาศไหลเข้าทาง NO_x mode ซึ่งภายในจะมี thermal converter (650° ซ) ที่จะเปลี่ยน NO_2 เป็น NO ดังสมการ

$$NO_2 \xrightarrow{\text{Thermal converter}} NO$$



รูปที่ 4.15 Chemiluminescent analyser สำหรับการวิเคราะห์ออกไซด์ของไนโตรเจน



Thermal desorption Tubes Custom PUF Tubes

รูปที่ 4.6 แสดงหลอดเก็บตัวอย่างแบบ diffusion dosimeters

เมื่อสมมุติให้ตัวดูดซับในหลอดสามารถดูดสารตัวอย่างได้หมด พิจารณาจากรูป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของสารที่จะเก็บ โดยถ้าให้ความเข้มข้นของสารที่จะเก็บมีค่าเท่า Ce ความเข้มข้นสารที่ผิวตัวดูดซับเท่ากับ C_o จะมีค่า = 0 ทำให้เกิดเป็นฟลักซ์ (flux) ของความเข้มข้นขึ้น การแพร่ของสารจึงเกิดขึ้นซึ่งเป็นไปตามกฎของฟิค (Fick's law) คือ

$$\text{อัตราการแพร่} = J \alpha - DA \frac{dc}{dx}$$

โดย D คือค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ (cm^3/sec) เป็นค่าเฉพาะของสาร (ค่าในตาราง)

A คือพื้นที่ผนังตัดหลอด (cm^2)

X คือระยะทางที่สารแพร่ (cm)

C คือความเข้มข้นของสาร (mol/cm^3)

หรือ $J = \frac{KDA (Ce-Co)}{L}$

หลังจากนั้นก็เกิดวิธีอื่น ๆ อีก เช่น เทคนิค amperometry ซึ่งจะวัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของ SO_2 โดย SO_2 จะทำปฏิกิริยากับโบรมีนและทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าดังสมการ

$$SO_2 + Br_2 + 2H_2O \longrightarrow H_2SO_4 + 2HBr$$

นอกจากนี้ยังมีวิธีการวิเคราะห์ SO_2 โดยใช้เทคนิคของ Ion chromatography โดยให้ SO_2 ทำปฏิกิริยากับ H_2O_2 เกิดเป็น SO_4^{2-} เทคนิคนี้จะใช้การแยกไอออนบนคอลัมน์โครมาโตกราฟี หลังจากนั้นก็นำมาวัดค่า Conductivity ของไอออนที่เกิด วิธีการนี้จะสามารถวิเคราะห์ $SO_4^{=}$ ได้ภายในเวลา 10 นาที เมื่อปริมาณที่มีนั้นน้อยกว่า 5μ g/l

บางครั้งการวิเคราะห์ SO_2 และสารประกอบซัลเฟอร์ก็จะใช้วิธีการควบของ flame photometry รวมกับวิธี gas chromatography โดยจะเผาแก๊สภายใต้ hydrogen flame และจะให้ emission line ออกมาที่ 394 nm

นอกจากวิธีการวิเคราะห์ SO_2 ดังกล่าวแล้วก็ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกได้แก่ spectrophotometic method, nondispersive infrared absorption, ultraviolet absorption, melecular resonance fluorescence และ second-derivative spectrophotometry

4.9.2 การวิเคราะห์ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x)

1. วิธีการปัจจุบันที่ EPA กำหนดให้ใช้เป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์ NO_x คือ gas-phase chemiluminescence ซึ่งจะให้ค่าที่มีความแม่นยำสูงและใช้เวลาสั้น ๆ (3-5 วินาที) หลักการโดยวัดแสงที่ถูกปล่อยออกมาจาก NO_2 * (ที่สภาวะเร้า) กลับเข้าสู่สภาวะพื้นในช่วงที่ 600-2800 nm ปฏิกิริยาที่เกิด

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2^* + O_2$$

$$NO_2^* \longrightarrow NO_2 + h\nu$$

แสงที่ถูกปล่อยออกมาจะทำการวัดโดยใช้ photomuliplier ซึ่งจะมีความเข้มเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของ NO ดังรูปที่ 4.15

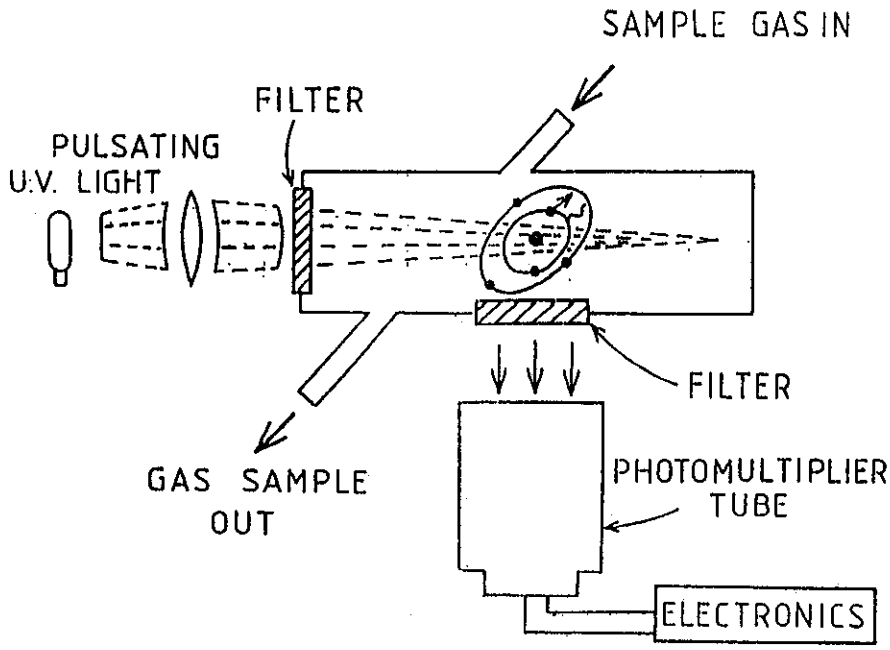
โดย K = mass transfer resistance term

L = ระยะทางของการแพร่ (cm)

Ce = ความเข้มข้นของสารที่อยู่นอกหลอดที่จะวิเคราะห์ (mol cm^{-3})

Co = ความเข้มข้นของสารที่จะวิเคราะห์บนผิวตัวดูดซับ (mol cm^{-3})

CM 482



รูปที่ 4.14 Pulsed fluorescent analyser for sulphur dioxide

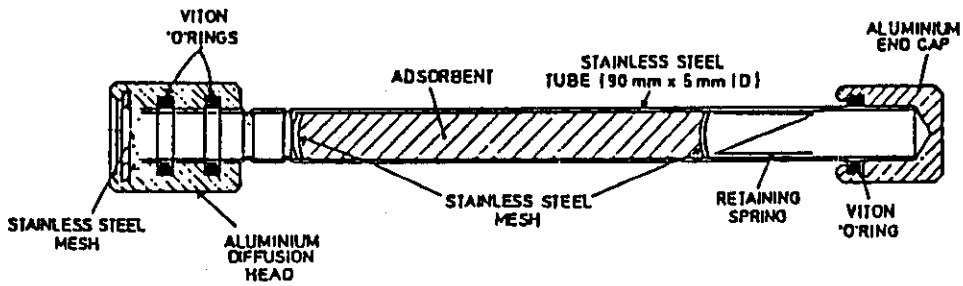
นอกจากวิธีนี้พบว่ามีวิธีเก่าที่เคยใช้คือใช้แท่งเลดไดออกไซด์จับ SO_2 เกิดเป็น เลดซัลเฟต

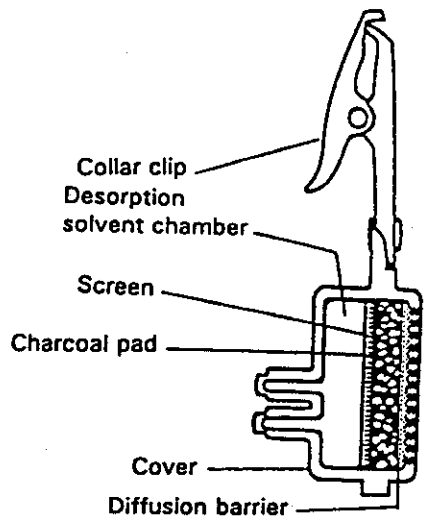
$$PbO_2 + SO_2 \longrightarrow PbSO_4$$

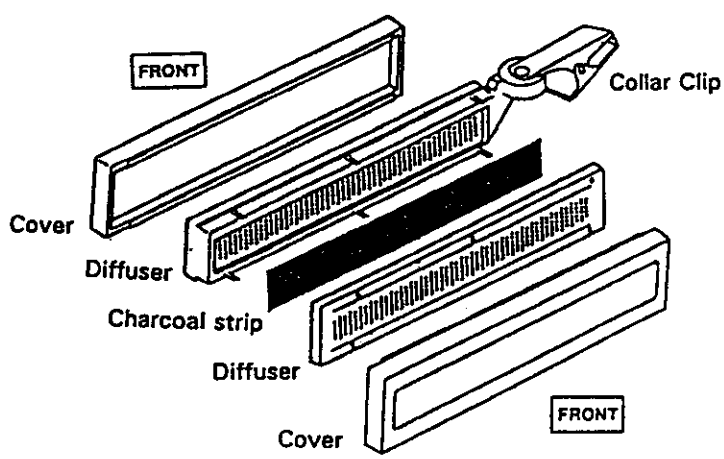
เมื่อเกิดเป็น $PbSO_4$ แล้วจะเปลี่ยนเป็น $BaSO_4$ แล้วใช้วิธีการวัดแบบ gravimetic หรือการวัดความขุ่นเพื่อแปรค่า SO_2 ต่อไป

ในก่อนปี 1929 ได้มีการคิดวิธีวิเคราะห์ SO_2 แบบต่อเนื่อง โดยจับ SO_2 ด้วยสารละลาย H_2O_2 แล้วใช้เทคนิคของ Conductrometry คือดูการเพิ่มค่า Conductance เมื่อสารละลายกรดซัลฟูริก

$$SO_2 + H_2O_2 \longrightarrow H_2SO_4$$







รูปที่ 4.7 Examples of different passive dosimeters

โดยปฏิกิริยาที่เกิดมีดังนี้

$$[HgCl_4]^{2-} + 2SO_2 + 2H_2O \longrightarrow [Hg(SO_3)_2]^{2-} + 4Cl^- + 4H^+$$

tetrachloromercurate

$$[Hg(SO_3)_2]^{2-} \xrightarrow[\text{ใน formaldehyde}]{\text{pararosaniline}} \text{parasaniline methyl sulphonic acid}$$

มีสีม่วง-แดง ตรวจวัดโดย spectrophotometer ที่ $\lambda = 548$ nm

2. เทคนิคของการเก็บซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในตัวกลางที่เป็นของเหลว คือ H_2O_2 ได้เป็นกรดดังสมการ

$$SO_2 + H_2O_2 \longrightarrow H_2SO_4$$

หลังจากนั้นไทเทรทกับโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วคำนวณความเข้มข้นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ วิธีนี้จะให้ผลการทดลองดีกรณีที่มีความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูง แต่มีข้อเสียคือ อาจมีกรดอื่นที่ให้ผลการทดลองร่วมด้วยและทำให้ผลการทดลองผิดพลาดคือ HNO_3, HCl

3. Pulsed fluorescent analyser ใช้วิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ดังในรูปที่ 4.14 โดยให้ SO_2 ที่ถูกผ่านเข้าไปในเครื่องถูกกระตุ้นโดยแสงอัลตราไวโอเลตในช่วงความยาวคลื่นที่เลือกใช้ หลังจากนั้น SO_2 ซึ่งอยู่ในสภาวะเร้าจะกลับสู่สภาพพื้นโดยปล่อยที่เรียกว่า fluorescence ซึ่งจะวัดความเข้มโดยต่อเข้ากับ photomultiplier tube แล้วต่อเข้ากับตัวอ่านผลดังแสดงในรูป

CM 482 181

จาก Fick's law จะได้ความสัมพันธ์ของ

$$\text{ideal uptake rate} = \frac{60 \times D \times A \times MW}{24.45 \times L}$$

โดย MW = น้ำหนักโมเลกุลของสารที่สนใจเก็บตัวอย่าง

A = พื้นที่หน้าตัดหลอดเก็บตัวอย่าง (0.181 cm^2)

L = ระยะทางที่เกิดการแพร่ (1.50 cm)

D = ค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่

โดย $$\text{Uptake rate } (ng\ ppm^{-1}\ min^{-1}) = \frac{\text{mass Uptake (ng)}}{\text{analyte conc (ppm) x exposure time (min)}}$$

2.2.2 Permeation dosimeters เก็บตัวอย่างโดยให้ไอหรือแก๊สละลายผ่านเมมเบรนแล้วส่งต่อไปตัวกลางที่ใช้เก็บ การซึมผ่านเมมเบรนนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าการละลายของแก๊สหรือไอในสารในเมมเบรนและค่าการแพร่ผ่านเมมเบรนเนื่องจากความเข้มข้นที่ต่างกัน ความเข้มข้นของสารที่เก็บได้คำนวณได้จากค่าคงที่ของการซึม มวลของสารที่เก็บและเวลาที่ใช้เก็บตัวอย่าง องค์ประกอบที่มีผลต่อการซึมคือความหนาและความเป็นเนื้อเดียวกัน (uniformty) ของเมมเบรน ความสามารถในการรับสาร การหดหรือยืดของเมมเบรน ข้อสำคัญจะต้องหาชนิดเมมเบรนที่เหมาะกับการแพร่

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในการตัวอย่างโดยการดูดซับคือการเลือกใช้ตัวดูดซับให้ถูกต้องกับชนิดสารเพื่อวิเคราะห์ เพื่อให้เก็บสารที่ต้องการวิเคราะห์ได้ตามที่เป็นจริง แต่หลังจากการเก็บตัวอย่างที่ได้นี้จะต้องผ่านขั้นตอนการแยกเอาสารตัวอย่างออกจากตัวดูดซับโดยใช้ของเหลวหรือความร้อน (Thermal desorption) ดังที่กล่าวไว้แล้ว ฉะนั้นจำเป็นจะต้องเลือกชนิดที่จะทำให้ recovery เกิดได้สมบูรณ์ในการวิเคราะห์ต่อไปด้วย ในกรณีของการแยกสารออกโดยใช้ความร้อน (ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดไว้ในเรื่องการวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนตอนท้ายของบทนี้) จะมีชนิดของตัวดูดซับ 2 ประเภทใหญ่ดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยทั้งนี้มีองค์

ตารางที่ 4.7 สรุปเครื่องมือวิเคราะห์อากาศ (ต่อ)

	arsenic	barium	boron	beryllium	cadmium	chromium	copper	iron	lithium	manganese	lead	nickel	mercury	antimony	phosphorus	tin	zinc	vanadium	selenium	fluorine
atomic absorption	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X			
colorimetry	X			X	X					X	X		X	X				X	X	
emission spectroscopy		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X		
neutron activation analysis	X					X	X	X		X			X	X				X	X	
X-ray fluorescence	X	X			X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	
potentiometry																				X

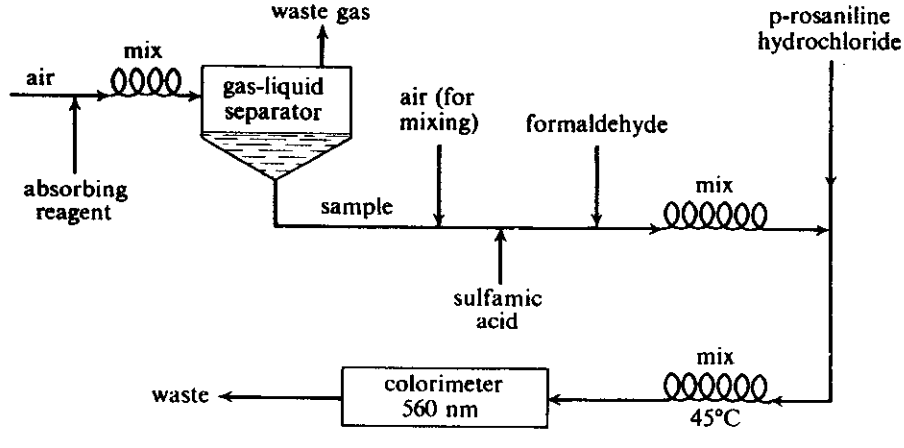
วิธีการวิเคราะห์สารมลพิษชนิดสำคัญในบรรยากาศได้แก่ SO_2, NO_x, O_3, CO, อนุภาคมลสาร, ไฮโดรคาร์บอน จะมีรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้

4.9.1 การวิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Analysis of Sulfur Dioxide)

วิธีการที่ใช้วิเคราะห์ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ

1. เทคนิค Colorimetic เรียกวิธี Colorimetric pararosaniline method โดย West และ Gaeke สารที่ใช้เป็นตัวดูดซึมคือ sodium หรือ potassium tetrachloromercurate (Na_2HgCl_4), TCM แล้วรวมเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีกับ pararosaniline hydrochloride และ formaldehycte

ดังในรูปที่ 4.13 เป็นวิธีของ West-Gaeke เพื่อเก็บตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ SO_2



รูปที่ 4.13 Automatic Analyzer สำหรับวิเคราะห์ SO_2 โดยวิธี West-Gaeke

ประกอบสำคัญที่จะใช้เป็นแนวทางในการเลือกตัวดูดซับสำหรับใช้กับเทคนิคของความร้อนในการแยกสารดังนี้

ก. จะต้องมีความจุในการดูดซับสารได้สูงที่อุณหภูมิห้อง

ข. ความร้อนจะสามารถทำให้สารถูกปล่อยจากตัวดูดซับได้นั้น

ค. เป็นตัวดูดที่ดูดน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อย

ง. ไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จ. มีขนาดเม็ดเท่าและคงที่ตลอด

ฉ. ไม่รวมตัวกับฝุ่น

ตารางที่ 4.7 สรุปเครื่องมือวิเคราะห์อากาศ (ต่อ)

	particles, opacity	particles, mass loading	particles, size distribution	particles, velocity	silicates	aeroallergens	pesticides	polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	fluorides	sulfates
beta-radiation absorption		X								
capacitance		X								
condensation nuclei counters			X							
chromatography					X	X	X	X		
Doppler-shift				X						
dry impingement			X							
electrostatic precipitation			X							
gravimetric		X								
holography			X							
light scattering	X									
light transmission	X		X							
microscopy										
electron spectroscopy										X
nephelometry		X								
paper-tape sampling		X								
piezoelectric microbalance		X								
optical microscopy			X							
electron microscopy			X							
resonant frequency analysis		X								
sedimentation			X							
opacity light meter	X									
Pitot tubes				X						
thermal precipitation		X								
potentiometry									X	

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดเกี่ยวกับชนิดของตัวดูดซับที่ใช้เก็บตัวอย่างเพื่อใช้กับเทคนิคของการใช้ความร้อนในการแยกสารออก

Type	General characteristic	Adsorption/desorption
	Carbonaceous adsorbents	
Activated charcoal	High specific surface areas, basically micro-porous, wide distribution of pore sizes, high adsorption capacities for most organics.	Solvent desorption. High temperature stability.
Carbon molecular sieve (eg. Carbosieve S3)	Medium/high surface area (400-1000 m^2/g), microporous, low polarity	Thermal and solvent desorption. Low adsorption for water vapour. High temperature stability (400°C).
Graphitized carbon black (eg. CarbotrapB)	Low specific surface areas, non-porous, homogeneous surface, non polar.	Thermal desorption. Low adsorption for lighter compounds and water. High temperature stability.
	Porous polymers	
Styrene polymers and co-polymers (eg. PoropakQ)	Specific surface area (300-800 m^2/g), mesoporous/microporous, variable surface polarity.	Thermal desorption. Optional temperature 200-250°C
Phenyl-phenylene oxide polymers (eg.Tenax GC)	Low specific surface area (20-35 m^2/g), macro porous.	Thermal desorption. Low affinity to water. Optional temperature 375°C

ข. ผลการทดลองที่ได้เป็นค่าจริงของเวลานั้น ๆ

ค. ให้ข้อมูลจากการทดลองหลายค่าฉะนั้นจะหาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นได้

ง. ราคาแพง

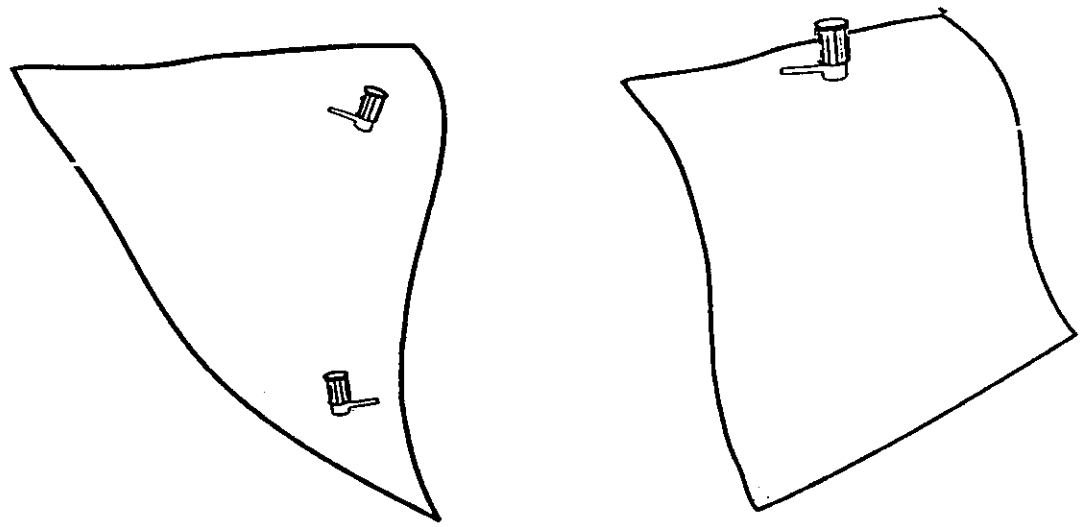
ดังนั้นวิธีเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับเงินทุนและจุดประสงค์ของการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์มลพิษทางอากาศโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ทั้งแก๊สและอนุภาคมลสารอาจสรุปได้ดังในตารางที่ 4.7-4.9

ตารางที่ 4.7 สรุปเครื่องมือวิเคราะห์อากาศ

	CO	CO_2	SO_2	NO, NO_2	oxidants (O_3)	hydrocarbons	H_2S	mercaptans	HCl	Cl_2	NH_3	gaseous fluorides	gaseous polycyclic aromatic hydrocarbons	gaseous silicates	volatile pesticides
amperometry			X	X	X	X									
chemiluminescence				X	X										
colorimetry			X	X	X	X					X				
conductimetry			X												
catalytic oxidation	X														
chromatography	X	X	X			X	X	X					X	X	X
flame photometry			X												
infrared absorption	X	X	X	X		X									
manual wet chemistry									X	X	X				
potentiometry			X	X							X	X			
tape samplers							X								
ultraviolet absorption			X	X	X	X									
ultraviolet emission			X												
sulfation plates and PbO_2 candle			X												
mass spectrometry						X							X		X

3. เก็บตัวอย่างแก๊สหรือไอโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่าง (Sampling bags for gases and vapors) ใช้เก็บตัวอย่างอากาศแบบแยกและ (grab samples) และแบบรวบ (integrated samples) ก็ได้ ปกติจะใช้ประโยชน์เพื่อเก็บเป็นตัวของอากาศตัวอย่างหรือใช้ในการบรรจุสารตัวอย่างมาตรฐานไปยังสถานที่เก็บตัวอย่าง ถุงเก็บจะมีขนาด รูปร่างและทำจากวัสดุที่แตกต่างกันโดยอาจจทำจากโพลีเอสเตอร์ โพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง โพลีไวนีลลิดีน คลอไรด์ หรือโพลีเมอร์ของฟลูออโรคาร์บอน เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับแสงก็มีถุงประเภททึบแสงหรือมีสีดำ มักจะทำเป็นรูปสามเหลี่ยมเพื่อไม่ให้มีที่ว่างในถุงที่ตัวอย่างเข้าไปไม่ถึงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และมีวาล์วที่จะใช้ต่อกับปั๊มหรือเข็มฉีดได้ด้วย



รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างถุงเก็บตัวอย่างอากาศ

การใช้งานก่อนอื่นต้องเช็ดรอยรั่ว และล้างด้วยอากาศก่อนอย่างน้อย 3 รอบ ก่อนเก็บตัวอย่างอากาศจริงให้ลองเก็บตัวอย่างที่ต้องการนั้นแล้วไล่อากาศออกจากถุงเก็บ 2-3 ครั้งก่อน กราฟของการอยู่ตัวของการเก็บและการสลายตัวของแก๊สและไอจะต้องวัดเสมอควบคู่ไปกับการเก็บตัวอย่างด้วย

ให้ P_1V_1 และ T_1 เป็นค่าความดัน, ปริมาตรและอุณหภูมิที่ STP

P_2V_2 และ T_2 เป็นค่าความดัน, ปริมาตรและอุณหภูมิที่ทดลอง

$$\therefore V_2 = \frac{293 \times 22.4}{273} \text{ l}$$

นั่นคือ n-pentane 72 g จะมีปริมาตรที่ 20° ซ , 760 mm Hg = $\frac{293 \times 22.4}{273}$ l .....(2)

จาก (1) และ (2) จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\therefore \text{n-pentane ที่ฉีดในภาชนะจะมีน้ำหนัก} = \frac{293 \times 22.4}{273} \times \frac{3.76 \times 10^{-4}}{72}$$

$$= 1.25 \times 10^{-4} \text{ l}$$

4.9 การวิเคราะห์สารมลพิษในบรรยากาศ

ชนิดของมลพิษในอากาศที่ต้องรายงานในคุณภาพอากาศทั่ว ๆ ไปได้แก่ อนุภาคมลพิษ ออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โฟโตเคมิคัลออกซิแดนท์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน สำหรับประเทศไทยจะไม่รวมไฮโดรคาร์บอนแต่จะวิเคราะห์ตะกั่วแทน การวัดความเข้มข้นในอากาศนั้นแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. Manual method เป็นการวิเคราะห์ด้วยมือหรือใช้สารเคมีหรือในห้องปฏิบัติการ มีข้อดีและข้อเสียดังนี้

   ก. ผลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยไม่ใช่ค่าที่วัดจากเวลาจริง

   ข. เหมาะสำหรับการศึกษาผลกระทบของสารมลพิษแบบสะสม เช่น ตะกั่ว ไดออกซิน

   ค. ราคาไม่แพง

2. Continuous (Automated) method เป็นวิธีการวิเคราะห์อย่างต่อเนื่อง มีข้อดีและเสียดังนี้

   ก. ใช้กรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษากลไกที่เกิดอย่างรวดเร็วในบรรยากาศ

4. **การแช่เย็น (Coldtrap)** คือการลดอุณหภูมิของแก๊สที่ต้องการเก็บให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง โดยใช้สารให้ความเย็นซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ น้ำแข็งแห้ง (จุดเยือกแข็ง 78.5°ซ) หรือไนโตรเจนเหลว (จุดเยือกแข็ง -196° ซ) หรือออกซิเจนเหลว (จุดเยือกแข็งเท่ากับ -18° ซ) ฯลฯ โดยจะใส่สารให้ความเย็นเพื่อจับแก๊สในภาชนะที่มีจำนวนและให้อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบจับอย่างช้า ๆ โดยทั่วไปจะน้อยกว่า 1 ลิตร/นาที

5. **เครื่องมือใช้เก็บและวิเคราะห์พร้อมกัน** (Real-time instruments) หรืออาจเรียกวิธีนี้ว่า direct-reading instruments (DRIs) ซึ่งจะให้ผลการทดลองที่ได้จากการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ในตัวเครื่องเดียวกันภายในเวลาอันสั้น DRIs จะมีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

5.1 ใช้เก็บและวิเคราะห์สำหรับสารเคมีชนิดเดียว เช่น CO_2, CO

5.2 ใช้เก็บตัวอย่างของสารเคมีที่เป็นกลุ่มเดียวกันและวิเคราะห์ให้รายงานผลการวิเคราะห์ของสารเคมีทุก ๆ ตัว

5.3 ใช้เก็บตัวอย่างของกลุ่มสารปนเปื้อนขนาดใหญ่และวิเคราะห์ให้ผลเป็นความเข้มข้นรวมทั้งหมด

เครื่องมือที่ประกอบในตัวตรวจวัดของ DRIs นั้นจะเพิ่มเติมตัวองค์ประกอบทางไฟฟ้าที่ทันสมัยประเภทต่าง ๆ เช่น laser illumination sources, highsensitivity photometer หรือ electrometer detectoer หรือ microprocessor ทำให้เกิดการทำงานอย่างรวดเร็วกับเครื่องมือทางเคมีที่ประกอบเข้าด้วยกัน โดยชนิดเครื่องมือที่ใช้ได้แก่

ก. **Electrochemical instruments** หลักการเครื่องมือทางเคมีไฟฟ้าถูกนำไปใช้กับการวิเคราะห์แบบต่าง ๆ คือ

- Conductimetric sensors เป็นการวัดค่าการนำไฟฟ้าของไอออนโดยค่าที่ได้จะเป็นสัดส่วนกับค่าเข้มข้น และพบว่าจะใช้ได้ดีกับการวัดในบริเวณที่มีอุณหภูมิคงที่ ใช้ตรวจวัดแก๊สที่เป็นประเภทกัดกร่อน เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- Potentiometric sensors โดยการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดจากตัวอย่างแก๊ส แล้วคำนวณความสัมพันธ์กับความเข้มข้นใช้ตรวจวัดคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ โอโซน ซัลเฟอร์ออกไซด์

ปริมาณสารที่ออกจาก permeation tube มีความสัมพันธ์กับความยาวของหลอด และอัตราการซึมผ่านจากหลอด ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณที่ต้องการก็จะสามารถคำนวณความยาวของหลอดได้ดังนี้

$$L = P/R$$

เมื่อ L = ความยาวของ permeating tube, ซม.

P = ปริมาณของสารที่ต้องการ, ng / min

R = อัตราการซึมของสาร, ng / min -cm

กรณีที่เตรียมตัวอย่างแบบ static system และสมมติว่าปริมาตรที่ดูดสารตัวอย่างจากขวดไปใช้มีผลต่อการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารในภาชนะน้อยมาก เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่ถูกต้อง การเปลี่ยนไปของอุณหภูมิที่เตรียมควรจะต้องนำมาคำนวณเพื่อหาความเข้มข้นจริงของสารในภาชนะด้วย

ตัวอย่าง คำนวณหาความเข้มข้นหน่วย ppmb (μ l/l) ของสารมาตรฐานที่เป็นแก๊สของ n-pentane โดยการเตรียมสาร static system 17.2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 20° ซ (กำหนดให้ค่าความหนาแน่นของ n-pentane เท่ากับ 0.626 g/nl และเตรียมสารที่ความดัน 760 mmHg)

1. คำนวณน้ำหนัก n-pentane ในขวด

น้ำหนักของ n-pentane 0.6 μl = 0.626 g/ml x 0.6 μ l x 10^{-3} ml/μ l

= 3.76 x 10^{-4} g .....(1)

2. คำนวณปริมาตรของ n-pentane ที่ 20° ซ โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Molar Volume และกฎรวมของแก๊ส

นั่นคือ 1 mol (72 g) ของ n-pentane จะมีปริมาตร = 22.4 ที่ STP เปลี่ยนให้เป็นสภาวะที่ทดลองคือ 20° ซ, 1 บรรยากาศ โดยใช้กฎรวมของแก๊ส

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

- Coulometric sensors เป็นการวัดปริมาณของไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาอิเลคโตรลิซิสกับสาร ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ใช้นี้จะมีค่าเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสาร ใช้ตรวจวัดคาร์บอนมอนนอกไซด์, ออกไซด์ไนโตรเจน, โอโซน, ซัลเฟอร์ออกไซด์
- Ionization sensors รวมถึงเครื่อง GC (gas chromatograph) แบบเคลื่อนที่ซึ่งมี detector เฉพาะสารอยู่ 3 แบบ ได้แก่ flame ionization detector (FID) photoionization detector (PID) และ electron capture detector (ECD) การเลือกใช้ขึ้นกับประเภทสารและค่า sensitivity ที่ต้องการ

FID ใช้วิเคราะห์สารอินทรีย์โดยเฉพาะไฮโดรคาร์บอน แต่ sensitivity จะลดถ้ามีธาตุเหล่านี้อยู่ด้วยคือออกซิเจน ซัลเฟอร์และคลอรีน

PID ใช้วิเคราะห์สารอินทรีย์ทั้งที่เป็นอะลิฟาติกและอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน และยังวิเคราะห์สารอนินทรีย์บางตัวได้เช่น arsine, phosphine, hydrogensulfide, nitric acid และ sulfuric acid

ECD เป็นเทคนิคที่ให้ค่า sensitivity สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพวก halogenated organic compounds nitrates, conjugated carbonyls, สาร organometallic บางชนิด, sulfur hexafluoride และพวกยาฆ่าแมลงโดยเฉพาะกลุ่ม organochlorine

ข. **Spectrochemical instruments** ได้แก่เครื่องมือที่ใช้วัดโดยอาศัยหลักการของ infrared (IR) spectrophotometers, ultraviolet (UV) และ visible spectrometers, chemiluminescent detectors และ photometric analyser ซึ่งใช้ fluorscent detectors การวิเคราะห์โดยเทคนิค spectrochemical จะเกี่ยวข้องกับการวัดความเข้มของแสงที่ถูกดูด หรือปล่อย หรือกระจายโดยสารตัวอย่างต่อค่าความยาวคลื่น ซึ่งแสงนี้จะสัมพันธ์กับพลังงานโฟตอนซึ่งคำนวณจากความยาว คลื่น หรือความถี่

$$C_t = C_o e^{-bt}$$

โดยที่ C_t = ความเข้มข้นของสารในภาชนะ ณ เวลา t

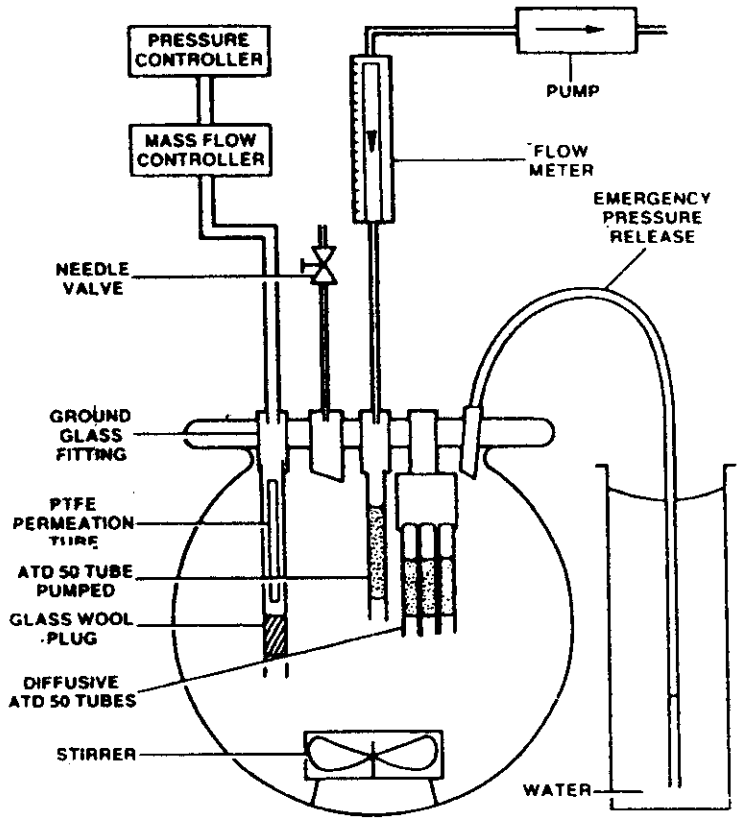
C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้นเมื่อ t =0

e = ฐานของ natural logarithms

b = อากาศที่เปลี่ยนในภาชนะต่อเวลา

t = เวลา

Permeation tube ซึ่งผลิตเพื่อขายมีชนิดของแก๊สให้เลือก อีกทั้งประเภทหลอดแบบเดียวที่ผู้ใช้จะต้องเตรียมสารเอง สิ่งสำคัญในการใช้ระบบการเตรียมสารนี้คือจะต้องให้เวลาในการให้สารเกิดการแพร่จนถึงจุดสมดุลซึ่งปกติจะใช้เวลาประมาณ 2-5 วัน เครื่องมือของระบบนี้มีดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงรูปเครื่องมือเพื่อใช้เตรียมแก๊สหรือไอมาตรฐานโดย dyamic system

IR spectrophotometers สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะดูดกลืนแสงซึ่งอยู่ในช่วง IR spectrum นั้นคือความเข้มข้นของสารจะสัมพันธ์กับ IR ที่ถูกดูด เครื่องมือชนิดนี้แบ่งเป็น 2 พวก คือ dispersive และ nondispersive

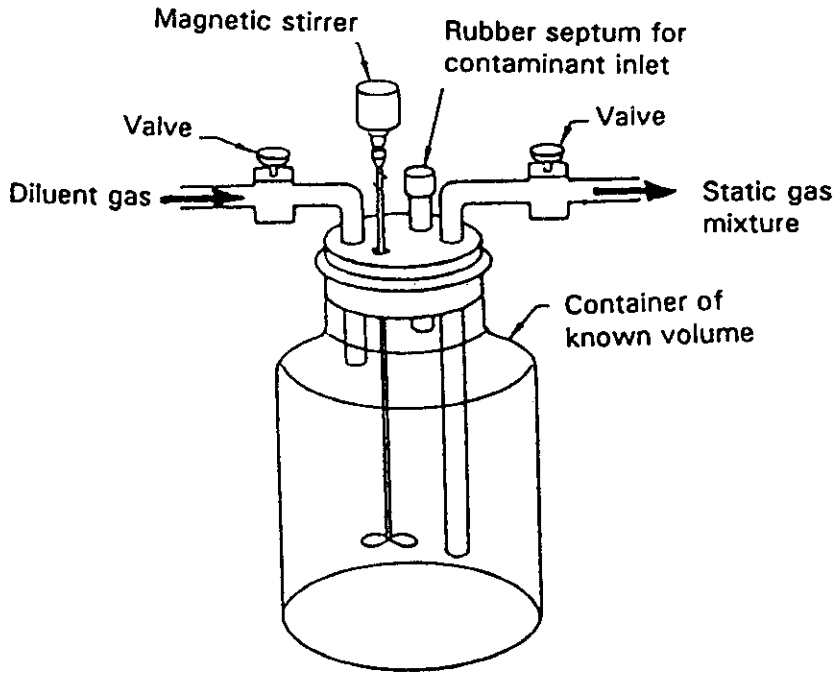
Dispersive จะใช้เกรทติ้งหรือปริซึมในการกระจายลำแสงที่ส่งผ่านโดยจะใช้ IR ที่เป็น dual beam ในการวิเคราะห์ กรณี nondispersive นั้นลำแสง IR ทั้งหมดจะส่งผ่านเข้าไปยังตัวอย่างสาร เป็นประเภทที่นิยมใช้มากในภาคสนาม มีทั้งประเภทที่จำกัดความยาวคลื่นเพื่อการวัดที่เฉพาะและประเภทที่แบบทั่วไปเพื่อวิเคราะห์ไฮโดรคาร์บอนหรืออาจเป็นแบบเฉพาะ เช่น มีเทน, อีเทน, บิวเทน, คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนนอกไซด์ และฟรีออน

Ultraviolet detectors ใช้วัดสารที่ดูดกลืนแสง UV ที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 1-350 nm สำหรับ visible spectrum จะอยู่ช่วง 350-770 nm สารอื่นที่ดูดกลืน UV ได้แก่ปรอท (253.7 nm) แอมโมเนียออกไซด์ของไนโตรเจน โอโซน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์

Chemiluminescence เป็นการวัด visible light ที่ถูกปล่อยมาจากสารเคมีที่อยู่ภาวะเร้า โดยปริมาณพลังงานของแสงที่ช่วงความยาวคลื่นของสารจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนโมเลกุลของสารที่เกิดในกรณีออกไซด์ของไนโตรเจนและโอโซนใช้เทคนิคนี้

Fluorescence เป็นการวัดโฟตอนที่เกิดจากโมเลกุลที่สภาวะเร้าปล่อยพลังงานออกมาเพื่อกลับไปอยู่ที่สภาวะพื้น โดยเริ่มต้นจะให้พลังงานจากแหล่งให้ลำแสง เช่น xenon arc lamp ไปที่โมเลกุลเพื่อให้เกิดเป็นสภาวะเร้าซึ่งเป็นสภาวะที่อิเลคตรอนถูกเลื่อนไปที่ระดับพลังงานสูงขึ้น เมื่ออิเลคตรอนกลับเข้าสู่ที่เดิมก็จะปล่อยพลังงานที่ดูดไว้นั้นในรูปโฟตอน ที่เรียกว่า fluorescence ซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่าแสงในขณะที่อยู่ในสภาวะเร้า สารมลพิษที่ใช้เทคนิคนี้คือคาร์บอนมอนนอกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์

เครื่องที่อยู่ในกลุ่ม Spectrochemical instruments อื่น ๆ ได้แก่ photometer



รูปที่ 4.11 แสดงเครื่องมือที่ใช้เตรียมแก๊สหรือไอมาตรฐานโดย static system

วิธีการเตรียมเริ่มต้นจะผ่านอากาศสะอาดเพื่อไล่สารปนเปื้อนในภาชนะ หลังจากนั้นก็ฉีดสารในขวด แก๊สและไอก็จะถูกผสมในภาชนะโดยมีตัวกวนช่วย สารจะถูกดึงไปใช้โดยชนิดวาล์วทั้ง 2 ข้าง สารผสมนี้อาจเตรียมอยู่ในถุงพลาสติกที่ทำด้วย Teflon, Mylar หรืออลูมิเนียมประเภท Mylarnon ก็ได้

2. Dynamic system เป็นวิธีการเตรียมสารผสมมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นซึ่งถูกเตรียมแบบต่อเนื่องโดยกระบวนการกลายเป็นของสาร เจือจาง และการผสมเข้าด้วยกัน โดยจะใช้หลอดที่บรรจุสารที่ใช้ระบบการแพร่ (permeation tube) ของแก๊สหรือไอผ่านพลาสติกเมมเบรนในอัตราต่ำ ๆ เนื่องจากอัตราการแพร่ของสารในหลอดจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิแบบไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้นจะต้องควบคุมอุณหภูมิของหลอดนี้ให้คงที่ตลอดเวลาของการเตรียมสาร แก๊สไนโตรเจนแห้งถูกนำมาใช้เป็นตัวพาสาร (carrier) ในระบบนี้ การคำนวณความเข้มข้นของสารที่เตรียมได้

ค. **Thermochemical instruments** เป็นการวัดค่าความร้อนจากการเผาไหม้ของสาร มีหน่วยเป็น cal/mol ที่ 25° ซ ใช้วัดสารอินทรีย์บางประเภท เช่น เบนซีน คาร์บอนไดซัลไฟด์ อีเทน ฯลฯ

ง. **Colorimeter Indicator / Detector tubes** Colorimetric indicator tube เป็นหลอดแก้วที่บรรจุซิลิกาเจลหรืออลูมิเนียมออกไซด์ ฯลฯ เพื่อใช้วัดแก๊สหรือไอของสารในบรรยากาศ โดยผ่านอากาศปริมาตรที่กำหนดเข้าหลอด แล้วอ่านตัวเลขบนหลอดจึงจัดว่าง่ายไม่ต้องใช้ประสบการณ์ แต่พบว่ามีข้อผิดพลาดและข้อจำกัดมาก

สำหรับทฤษฎีของเครื่องมือจะกล่าวในรายละเอียดไว้ในบทวิเคราะห์น้ำ

4.7 การเก็บตัวอย่างอนุภาคมลสาร (Air sampling for particulates) อนุภาคมลสารเป็นของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยในอากาศประกอบด้วยเครื่องมือพื้นฐานทั้ง 5 ส่วนดังกล่าวไปแล้ว ส่วนที่สำคัญมากคือส่วนที่แยกอนุภาคมลสารออกจากอากาศ ซึ่งในทางปฏิบัติมีทั้งหมด 5 ชนิดด้วยกัน คือ

1. **การกรอง** (Filters) เป็นเทคนิคที่ใช้มากที่สุดในการเก็บตัวอย่างอนุภาคมลสาร โดยให้ผ่านกรองอาจจะเป็นแก้วที่มีรูพรุน เซรามิกที่มีรูพรุน กระดาษกรอง เส้นใยเซลลูโลส ใยแก้ว ขนสัตว์หรือพลาสติก แต่ชนิดที่พิเศษคือแผ่นเยื่อกรอง (membrane filter) ซึ่งให้อัตราการไหลที่เร็วมีทั้งชนิดช่องว่างขนาดเล็กและกลาง ขนาดช่องว่างหรือรูโดยเฉลี่ยจะเป็น 0.8-3μ ทำมาจากส่วนผสมของเซลลูโลสเอสเตอร์ (MCE) หรือโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) หรือโพลีเตตราฟลูออไรเอทีลีน (PTFE) แผ่นเยื่อกรองนิยมใช้เก็บอนุภาคที่จะใช้ตรวจต่อโดยไมโครสโคปและเนื่องจากสมบัติที่ละลายได้ดีในกรด จึงใช้เก็บตัวอย่างแอสเบสตอสไฟเบอร์และพวกโลหะที่จะใช้วิเคราะห์โดยเทคนิคอะตอมมิคแอบซอบชัน ตาราง 4.4 คือตัวอย่างสารที่เก็บด้วยแผ่นกรองชนิด MCE ส่วน PVC ใช้เก็บตัวอย่างใช้เก็บคาร์บอนแบล็กและฝุ่นที่มีผลต่อระบบการหายใจดังแสดงในตารางที่ 4.5 แผ่นกรอง PTFE มีขนาดรู 1 มิลลิเมตร 2 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการเก็บยาฆ่าแมลง ฝุ่นที่เป็นอัลคาไลน์ และสารอื่น ๆ รวมถึงพวก PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons) พาราควอท เพนตาคลอโรเบนซีน ไย

4.8 การเตรียมสารตัวอย่างเพื่อเทียบมาตรฐาน

การวิเคราะห์สารในสิ่งแวดล้อมที่จะให้ผลดีนั้นขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูล ได้แก่ ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) และการได้ตัวแทนของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ สำหรับการเก็บตัวอย่างสิ่งสำคัญที่จะต้องทำคือการเทียบมาตรฐานของปริมาตรอากาศและอัตราการเก็บตัวอย่าง รวมถึงการเตรียมสารผสมของไอและแก๊สเพื่อใช้เทียบมาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่าง

วิธีการเตรียมสารผสมที่เป็นไอหรือแก๊สที่รู้ความเข้มข้นแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. Static system วิธีนี้เตรียมโดยการฉีดแก๊สหรือไอที่รู้น้ำหนักและปริมาตรลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร ภาชนะที่ใช้อาจเป็นแก้วหรือพวกพลาสติกก็ได้ โดยทั่วไปแล้วถ้าสารมาตรฐานที่เป็นของเหลวจะใช้ฉีดเข้าในภาชนะโดยเข็มขนาดเล็ก (microsyringe) หรือปิเปตขนาดเล็ก (micropipet) สำหรับแก๊สจะฉีดโดยใช้ gas-tight syringe การคำนวณความเข้มข้นของสารจะหาได้จากสมการดังนี้

$$C = Co\, e^{(-v/vo)}$$

$$2.3 \log 10 \frac{C_o}{C} = \frac{V}{V_o}$$

โดย C = ความเข้มข้นของสารในขวด ณ เวลาใด ๆ

V = ปริมาตรของตัวอย่างที่ดูดออกมา

V_o = ปริมาตรของภาชนะที่ใช้เตรียมตัวอย่าง

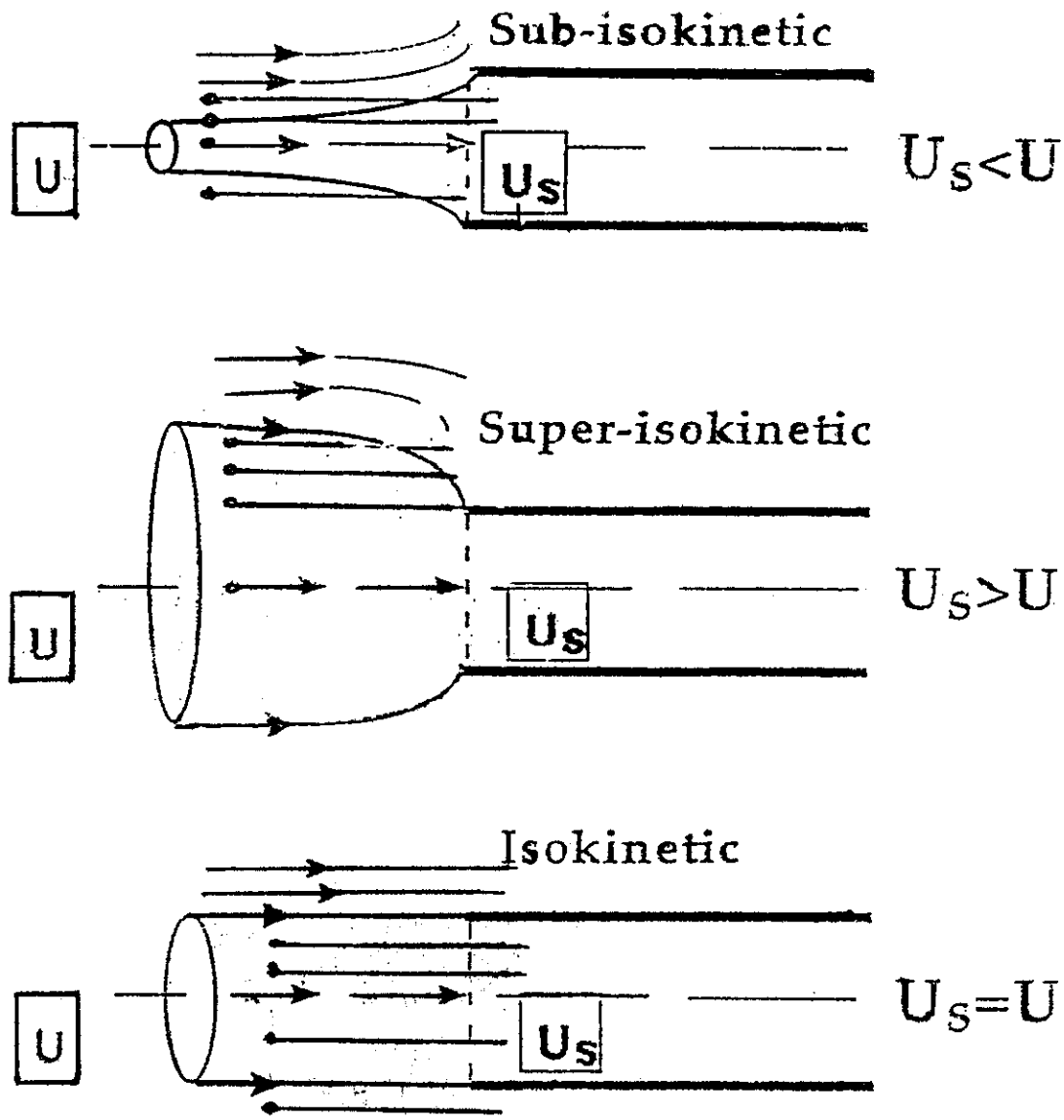
C_o = ความเข้มข้นเริ่มต้น

ปกติแล้วภาชนะที่บรรจุอาจเป็นขวดแก้วจะดีที่สุด กรณีที่ใช้ภาชนะที่ทำด้วยพลาสติกหรือโลหะอาจใช้ได้ถ้าหากไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่จะใส่ ปริมาตรของภาชนะที่ใช้ทั่วไปจะอยู่ในช่วง 20 ถึง 40 ลิตร โดยวัดปริมาตรที่ละเอียดโดยใช้น้ำเติมในขวดตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างโดยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 4.11

แก้วก็เป็นตัวกรองที่ใช้มากโดยเฉพาะกับยาฆ่าแมลง เช่น 2,4-dichlorophenoxyacetic (2, 4-0) สารอื่นที่เก็บได้โดยใยแก้วดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 แสดงประเภทสารที่เก็บด้วย MCE

Chemical	MCE Filter Specifications
Aluminum and compounds	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Asbestos	0.8-1.2 mm MCE filter, 25 mm with cowl
Barium	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Benzoyl peroxide	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Beryllium and compounds	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Cadmium and compounds	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Calcium and compounds	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Chlorinated diphenyl ether	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Chromium and compounds	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Cobalt and compounds	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Copper dust and fume	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Cyanides	0.8 mm MCE filter, 37 mm and potassium hydroxide solution in a bubbler
Dibutyl phthalate	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Di-(2-ethylhexyl)-phthalate	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Ethylene thiourea	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Fluorides	0.8 mm MCE filter, 37 mm and sodium carbonate treated cellulose pad in series
Hydroquinone	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Kepone	0.8 mm MCE filter, 37 mm and sodium hydroxide solution in an impinger
Lead	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Mineral oil mist	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Phosphorus	0.8 mm MCE filter, 37 mm and Tenax GC tube, 100/50
Sulfur dioxide	0.8 mm MCE filter, 37 mm and cellulose filter impregnated with potassium hydroxide, 37 mm, in series
Tungsten and compounds	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Welding and brazing fume	0.8 mm MCE filter, 37 mm
Zinc and compounds	0.8 mm MCE filter, 37 mm



รูปที่ 4.10 แสดงถึงการเกิด Isokinetic แบบต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 ประเภทสารที่เคลือบด้วย PVC

Chemical	PVC Filter Specifications
Azelaic acid	5 mm PVC filter, 37 mm
Boron carbide	5 mm PVC filter, 37 mm
Carbon black	5 mm PVC filter, 37 mm
Chromium(V)	5 mm PVC filter, 37 mm
Dust (respirable)	10 mm nylon cyclone and 5 mm PVC filter, 37 mm
Dust (total)	5 mm PVC filter, 37 mm
Ethylene thiourea	5 mm PVC filter, 37 mm
Lead sulfide (respirable)	10 mm nylon cyclone and 5 mm PVC filter, 37 mm
Mineral oil mist	5 mm PVC filter, 37 mm
Silica, amorphous (respirable)	10 mm nylon cyclone and 5 mm PVC filter, 37 mm
Silica, crystalline (respirable)	10 mm nylon cyclone and 5 mm PVC filter, 37 mm
Vanadium oxide (respirable)	10 mm nylon cyclone and 5 mm PVC filter, 37 mm
Zinc oxide	0.8 mm PVC filter, 25 mm

การนับโดยไมโครสโคป โดยหน่วยที่วัดจะเป็นหน่วยเป็นล้านของอนุภาคต่อลูกบาศก์ฟุตของอากาศ (mppf)

5. เก็บและให้ผลจากการทดลองเลย (Real-time instruments) การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลได้ทันทีภายในเครื่องมือเดียวกันสำหรับอนุภาคมลสารสามารถให้ผลกับอนุภาคที่มีขนาดในช่วง 0.002 ถึง 50 มิลลิเมตร เครื่องมือเหล่านี้จะตรวจวัดได้ทั้งขนาดและความเข้มข้น

สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเก็บตัวอย่างอนุภาคมลสารจากแหล่งกำเนิด เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่ถูกต้องที่ต้องการเก็บเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป เนื่องจากอนุภาคมีความเฉื่อย ฉะนั้นเมื่ออัตราการเก็บตัวอย่างมีค่าไม่เท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแหล่งที่เก็บตัวอย่างก็จะทำให้ปริมาณอนุภาคที่เก็บได้ไม่เป็นไปตามจริง โดยสภาพการเก็บตัวอย่างก็จะทำให้ปริมาณอนุภาคที่เก็บได้ไม่เป็นไปตามจริง โดยสภาพการเก็บตัวอย่างที่จะให้เท่ากับความจริงสำหรับกรณีนี้จะเรียกว่า Isokinetic ดังอธิบายได้ดังรูปที่ 4.10

1. Sub-isokinetic คือสภาวะที่อัตราการเก็บตัวอย่างในท่อเก็บอากาศมีค่าน้อยกว่าอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในอากาศ ทำให้ปริมาณอนุภาคมีมากกว่าที่เป็นจริง เนื่องจากแรงเฉื่อยจากอนุภาคทำให้ทิศทางการไหลของแก๊สไม่มากพอที่จะพาอนุภาคไป อนุภาคจึงไม่ถูกเก็บในท่อ

2. Super-isokinetic คือสภาวะที่อัตราการเก็บตัวอย่างในท่อเก็บอากาศมีค่ามากอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในอากาศ ทำให้ปริมาณของอนุภาคมีน้อยกว่าความเป็นจริง เนื่องจากอนุภาคกระแสรอบนอกจะไม่ไหลเข้าท่อ

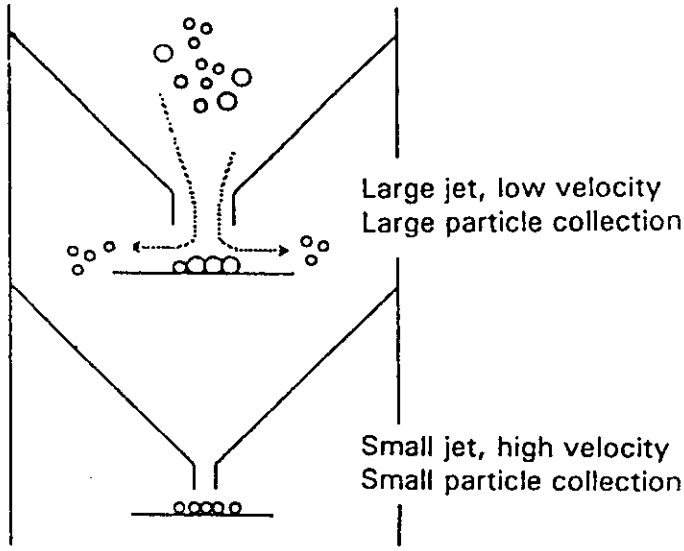
3. Isokinetic คือสภาวะที่อัตราการเก็บตัวอย่างมีค่าเท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคในอากาศ ทำให้สามารถเก็บอนุภาคได้เท่ากับที่มีจริง

ตารางที่ 4.6 ประเภทสารที่เก็บบนแผ่นกรองใยแก้ว

Chemical	Glass Fiber Filter Specifications
Aldrin and	Glass fiber filter (type AE), 37 mm, isooctane in a bubbler
Benzidine and	Glass fiber filter (type AE), 13 mm, silica gel, 50
Chlorinated terphenyl	Glass fiber filter, 37 mm
Dibutyl tin *bis*(isooctyl-	Glass fiber filter, 37 mm, and XAD-2 tube, 80/40 mercaptoacetate
2,4-Dichlorophenoxyacetic acid 37	Binderless glass fiber filter (type AE), mm benzenethiophosphonate
Ethylene glycol and	Binderless glass fiber filter, 13 mm, silica gel tube, 520/260
Lindane and	Glass fiber filter (type AE), 37 mm, isooctane in a bubbler
Malathion	Glass fiber filter (type AE), 37 mm
Mercury	Glass fiber filter, 13 mm, and silvered Chromosorb P, 30
Mineral oil mist	Glass fiber filter, 37 mm
Naphthylamine	Glass fiber filter, 13 mm, and silica gel tube, 100/50
Parathion	Glass fiber filter, 37 mm
Polychlorinated biphenyl	Glass fiber filter, 13 mm, and fluorisil tube, 100/50
Pyrethrum	Glass fiber filter, 37 mm
Strychnine	Glass fiber filter, 37 mm
Tributyl tin	Glass fiber filter, 37 mm, and XAD-2 tube, 80/40
Tributyl tin chloride	Glass fiber filter, 37 mm, and XAD-2 tube, 80/40
2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid (type AE), 37	Binderless glass fiber filter mm
Tricyclohexyltin hydroxide	Glass fiber filter, 37 mm, and XAD-2 tube, 80/40

CM 482 169

2. **ตัวกระแทก** (Impactors) การให้อากาศที่เก็บเข้ามามีการเปลี่ยนทิศทางทันที โดยแรงฉีดทำให้โมเมนตัมของอนุภาคฝุ่นไปกระแทกกับผิวที่เรียบด้านใน โดยปกติแล้วจะแบ่งช่องให้อนุภาคฝุ่นกระแทกเป็นช่วง ๆ ที่ต่างกันเพื่อให้แยกตามขนาดดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งแบ่งเป็น 2 ระยะ อนุภาคจะถูกเก็บบนแผ่นเก็บที่แห้งหรือทากาว จากนั้นจะนำไปชั่งน้ำหนักหรือวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 4.9 แสดงการเก็บอนุภาคโดยใช้เทคนิค impactors

3. **ไซโคลน** (Cyclone) ใช้ในกรณีต้องการวัดอนุภาคมลพิษที่มีผลต่อระบบทางเดินหายใจซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับหรือน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร วิธีนี้จะใช้แยกโดยระบบเซนตริฟิวส์โดยให้อากาศถูกหมุนเป็นวงผ่านเข้าไปในภาชนะทรงกระบอกของไซโคลน อนุภาคที่ใหญ่จะถูกกระแทกข้างฝาของภาชนะเนื่องจากแรงหนีศูนย์แล้วตกลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง ส่วนอนุภาคเบากว่าจะถูกดึงขึ้นสู่ศูนย์กลางของไซโคลนและถูกเก็บต่อโดยไซโคลน

4. **อิมพินเจอส์** (Impingers) วิธีการเก็บเหมือนการอาศัยแรงปะทะ แต่ต่างที่ว่าหลังจากถูกแยกตามขนาดแล้ว อนุภาคจะถูกทำให้เปียกหรือจุ่มลงในของเหลวทันทีแล้วทำ