บทที่ 4

วิธีการเก็บตัวอย่างสารมลพิษทางอากาศ

ในยุคที่ปัญหามลพิษทางอากาศทวีความรุนแรงและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศ ติดตามแนวโน้มของมลพิษ และสนับสนุนการกำหนดมาตรการควบคุมและแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 2 ส่วน ได้แก่ การเก็บตัวอย่าง (sampling) และการวิเคราะห์ (analysis) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือวัดอัตโนมัติที่สามารถเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทันทีในเวลาเดียวกัน ทำให้สามารถรายงานข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม สำหรับมลพิษบางชนิดยังคงต้องอาศัยการเก็บตัวอย่างภาคสนามก่อน แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการภายหลัง การแยกขั้นตอนลักษณะนี้ทำให้ "การเก็บตัวอย่าง" เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากหากเก็บตัวอย่างไม่ถูกต้อง ย่อมส่งผลต่อความแม่นยำของผลการวิเคราะห์

วิธีการเก็บตัวอย่างสารมลพิษอากาศมีหลายรูปแบบ โดยเลือกใช้ตามประเภทของสารมลพิษ เช่น การเก็บตัวอย่างอนุภาคโดยใช้การกรอง (filtration), การเก็บตัวอย่างก๊าซด้วยการดูดซึม (absorption) หรือดูดซับ (adsorption), การเก็บตัวอย่างแบบพาสซิฟ (passive sampling), และการใช้ถุงเก็บตัวอย่าง (air sampling bags) เพื่อเก็บตัวอย่างก๊าซกลับไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

บทนี้จะอธิบายถึงหลักการและกระบวนการตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศในสิ่งแวดล้อมอย่างละเอียด ทั้งในส่วนของการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ รวมถึงแนวทางการเลือกวิธีตรวจวัดที่เหมาะสมกับชนิดของสารมลพิษ เพื่อให้นักเรียนหรือนักศึกษาเข้าใจถึงความสำคัญและความแม่นยำของข้อมูลด้านคุณภาพอากาศ อันเป็นพื้นฐานสำคัญในการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

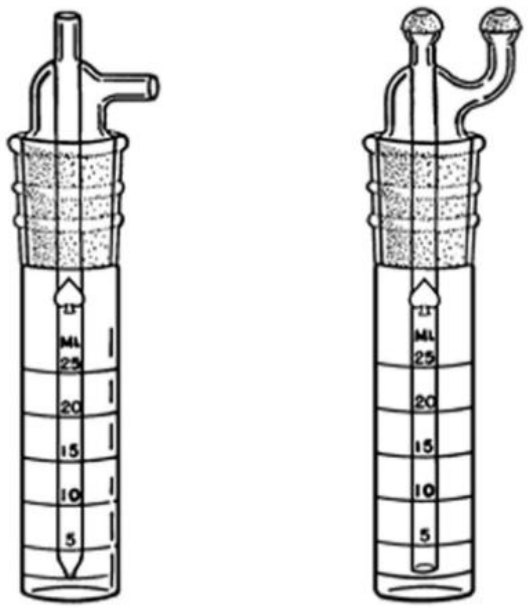
4.1 การเก็บตัวอย่างก๊าซโดยใช้การดูดซึม

การดูดซึม (Absorption) เป็นกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีที่สารหนึ่งแทรกซึมหรือซึมเข้าสู่ปริมาตรภายในของสารอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งในบริบทของการเก็บตัวอย่างก๊าซมลพิษทางอากาศ หมายถึงการที่ก๊าซซึ่งเป็นมลพิษในบรรยากาศถูกนำไปผ่านสารดูดซึมที่มักเป็นของเหลว หรือบางครั้งอาจเป็นวัสดุแข็ง เพื่อให้ก๊าซเหล่านั้นละลายหรือแทรกซึมลงสู่เนื้อภายในของสารดูดซึมนั้น กระบวนการนี้แตกต่างจากการดูดซับ (Adsorption) ที่เป็นการยึดติดของสารบนพื้นผิวภายนอกของสารดูดซับเท่านั้น

ลักษณะสำคัญของการดูดซึมคือการกระจายตัวของสารมลพิษเข้าสู่ปริมาตรภายในของสารดูดซึม โดยไม่จำกัดเพียงแค่ผิวหน้า ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการเก็บตัวอย่างก๊าซ เพราะหากการดูดซึมมีประสิทธิภาพสูง จะสามารถจับก๊าซมลพิษได้อย่างครบถ้วนและแม่นยำ ส่งผลให้ผลการวิเคราะห์สารมลพิษในตัวอย่างมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ ในทางเคมี การดูดซึมก๊าซมลพิษในบรรยากาศมักจะเกิดขึ้นโดยก๊าซจะละลายในของเหลวดูดซึมที่มีคุณสมบัติเป็นสารละลาย เช่น น้ำ, สารละลายเบส หรือกรด ที่สามารถทำปฏิกิริยาหรือจับกับก๊าซเป้าหมาย เช่น การดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเกิดเป็นสารประกอบละลายน้ำ ทำให้สามารถแยกวิเคราะห์และวัดปริมาณก๊าซดังกล่าวได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) หรือโอโซน (O_3) ก็สามารถดูดซึมได้โดยใช้สารดูดซึมเฉพาะที่เหมาะสมในกระบวนการเก็บตัวอย่างก๊าซมลพิษทางอากาศ

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซึมมีหลายประการ ได้แก่ ความเข้มข้นของก๊าซในบรรยากาศที่ถูกเก็บตัวอย่าง คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของสารดูดซึม อุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่ก๊าซสัมผัสกับสารดูดซึม โดยทั่วไปแล้ว การดูดซึมจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำและความดันสูงขึ้น เนื่องจากสารก๊าซมีแนวโน้มละลายได้ดีขึ้นในของเหลวดูดซึมภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ อีกทั้งระยะเวลาสัมผัสที่เพียงพอจะช่วยให้การดูดซึมสมบูรณ์มากขึ้นด้วย ในเชิงการปฏิบัติ การดูดซึมเป็นวิธีการหลักที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก๊าซมลพิษเพื่อการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ เนื่องจากสามารถจับก๊าซได้ในปริมาณเพียงพอและทำให้การวิเคราะห์ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ นอกจากนี้ การดูดซึมยังเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบเครื่องมือวัดคุณภาพ อากาศแบบอัตโนมัติหลายชนิด ที่ใช้ของเหลวดูดซึมในการตรวจจับก๊าซมลพิษแบบเรียลไทม์

วิธีการนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสารมลพิษทางอากาศที่เป็นสารอนินทรีย์ โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ อิมพินเจอร์ (Impinger) และ ปั๊มดูดตัวอย่างอากาศ (Pump) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันอย่างสำคัญในกระบวนการเก็บตัวอย่างก๊าซมลพิษในบรรยากาศ การดูดซึมเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายสารมลพิษที่ปนเปื้อนในอากาศเข้าสู่ของเหลว ซึ่งมีกระบวนการดูดซึม 2 รูปแบบ คือ การดูดซึมทางกายภาพ (physical absorption) และการดูดซึมทางเคมี (chemical absorption) ความสามารถในการดูดซึมขึ้นกับชนิดของตัวดูดซึม อุณหภูมิ ความดันย่อย และชนิดของสารมลพิษในบรรยากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2566)



ภาพที่ 4.1 อิมพินเจอร์ (impinger)

ที่มา: https://www.ubuy.co.th/en/product

1) อิมพินเจอร์ (impinger) คืออุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซหรือสารมลพิษในอากาศที่ใช้หลักการดูดซับสารละลาย (liquid absorption) โดยก๊าซจะถูกพัดผ่านของเหลว (เช่น น้ำบริสุทธิ์หรือตัวทำละลายเฉพาะ) ในภาชนะแก้วหรือพลาสติกที่มีรูปร่างพิเศษ เมื่อก๊าซผ่านเข้ามาในของเหลว สารมลพิษที่ละลายในน้ำหรือสารละลายจะถูกกักเก็บไว้ในของเหลวนั้น อุปกรณ์นี้เหมาะกับการเก็บก๊าซที่ละลายน้ำได้ดี เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2), ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซกรดอื่น ๆ

Impinger มีข้อดีคือสามารถเก็บตัวอย่างก๊าซในรูปของสารละลายที่พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีทันที เช่น การวัดความเข้มข้นของก๊าซด้วยวิธีโครมาโตกราฟีหรือสเปกโตรสโกปี อย่างไรก็ตาม การใช้ Impinger ต้องระมัดระวังเรื่องการสูญเสียสารเนื่องจากการระเหยของของเหลว และข้อจำกัดในการใช้งานในพื้นที่ที่มีลมแรงหรืออุณหภูมิสูง

ภาพที่ 4.2 ปั๊มดูดตัวอย่างอากาศ

ที่มา: https://www.innovative-instrument.com/product/gilair-5/

2) ปั๊ม (pump) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการเก็บตัวอย่างก๊าซในกระบวนการดูดซึม เนื่องจากมันทำหน้าที่ดูดหรือดันก๊าซผ่านผ่านอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง เช่น ผ่านหลอดดูดซับ (Sorbent Tube) หรือผ่าน Impinger โดย Pump มีหลากหลายชนิด เช่น ปั๊มลูกสูบ ปั๊มโรตารี่ หรือปั๊มไดอะแฟรม ที่เลือกใช้งานตามความเหมาะสมของตัวอย่างและความแม่นยำที่ต้องการ

หน้าที่หลักของ Pump คือควบคุมอัตราการไหลของก๊าซให้คงที่ เพื่อให้การเก็บตัวอย่างมีความแม่นยำและสามารถนำไปวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง เช่น อัตราการไหลที่เหมาะสมอาจอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1 ลิตรต่อนาที ขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซและวิธีการเก็บตัวอย่าง pump ที่ใช้ในงานเก็บตัวอย่างต้องมีความทนทาน น้ำหนักเบา และสามารถทำงานในสภาวะภาคสนามได้นาน มีแบตเตอรี่ในตัวสำหรับความสะดวกในการใช้งานนอกสถานที่ นอกจากนี้ การสอบเทียบ (calibration) ของ pump เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ผลการเก็บตัวอย่างมีความน่าเชื่อถือ

4.2 การเก็บตัวอย่างก๊าซโดยใช้การดูดซับก๊าซ

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่สารหนึ่ง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นก๊าซหรือของเหลว เกาะติดหรือติดผิวอยู่บนพื้นผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมักเป็นของแข็ง เช่น ถ่านกัมมันต์ หรือซิลิกาเจล ในทางวิชาการการดูดซับเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในด้านการเก็บตัวอย่างก๊าซมลพิษในบรรยากาศ เนื่องจากสารมลพิษหลายชนิดมีความเข้มข้นต่ำและไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้โดยตรงในรูปของก๊าซบริสุทธิ์ จึงจำเป็นต้องมีวิธีการที่สามารถดึงสารเหล่านั้นมาไว้บนวัสดุดูดซับเพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

หลักการของการดูดซับนั้นเกิดขึ้นจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสารก๊าซกับพื้นผิวของวัสดุดูดซับ ซึ่งแรงนี้อาจเป็นแรงฟานเดอร์วาลส์ (van der Waals forces) ในการดูดซับทางกายภาพ หรือแรงเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารกับพื้นผิวในกรณีของการดูดซับทางเคมี (chemisorption) อย่างไรก็ตาม ในการเก็บตัวอย่างก๊าซมลพิษในบรรยากาศส่วนใหญ่จะใช้การดูดซับทางกายภาพ เนื่องจากสามารถดูดซับสารได้อย่างรวดเร็วและไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารต้นทาง

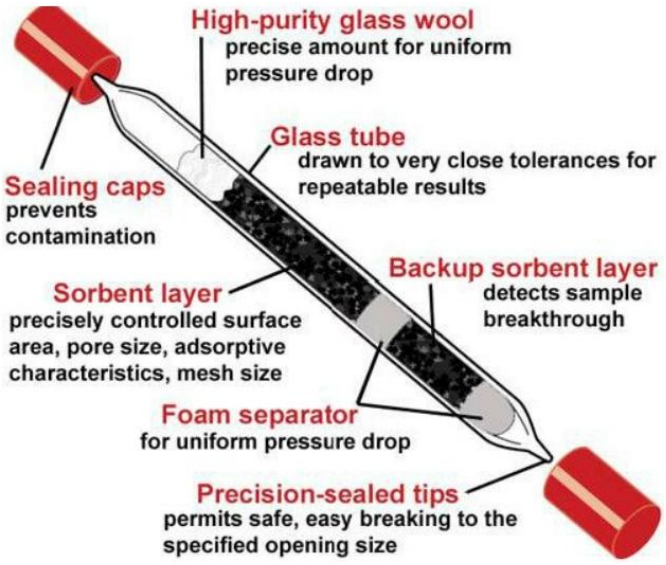
การดูดซับมีความสำคัญต่อการตรวจวัดสารมลพิษในบรรยากาศเพราะช่วยเพิ่มความเข้มข้นของสารที่จะวิเคราะห์ โดยทั่วไปจะใช้วัสดุดูดซับที่มีพื้นที่ผิวสูง เช่น ถ่านกัมมันต์ ซิลิกาเจล หรือเรซินชนิดต่าง ๆ เพื่อให้สามารถจับสารก๊าซได้มากที่สุดในระยะเวลาที่จำกัด วัสดุดูดซับเหล่านี้จะถูกบรรจุในหลอดเก็บตัวอย่างหรือหลอดแก้วขนาดเล็กซึ่งติดตั้งในระบบดูดซึม (sampling train) ที่ใช้ร่วมกับปั๊มดูด (pump) เพื่อดึงอากาศผ่านวัสดุดูดซับให้เกิดการสัมผัสกันอย่างเต็มที่ หลังจากเก็บตัวอย่างโดยการดูดซับเรียบร้อยแล้ว สารที่ดูดซับบนวัสดุจะถูกสกัดออกมาโดยใช้ตัวทำละลายเฉพาะ (solvent extraction) หรือวิธีทางความร้อน เช่น การทำความร้อนแบบไดนามิก (thermal desorption) เพื่อปล่อยสารกลับมาในรูปก๊าซสำหรับการวิเคราะห์ต่อไปโดยเครื่องมือวิเคราะห์ เช่น เครื่องโครมาโตกราฟีแก๊ส (Gas Chromatography) หรือเครื่องสเปกโตรมิเตอร์

ข้อดีของการดูดซับคือสามารถเก็บตัวอย่างก๊าซในปริมาณต่ำได้อย่างแม่นยำและเหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) หรือสารพิษในอากาศที่มีความเข้มข้นต่ำ อย่างไรก็ตาม การเลือกวัสดุดูดซับที่เหมาะสมและการควบคุมสภาพการเก็บตัวอย่าง เช่น อุณหภูมิและความชื้น มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพและความถูกต้องของผลการวิเคราะห์

วิธีการเก็บตัวอย่างนี้แบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างอากาศโดยใช้ปั๊มดูดตัวอย่างอากาศเข้าสู่ตัวดูดซับ (active sampling)

2. การเก็บตัวอย่างอากาศโดยไม่ใช้ปั๊มดูดตัวอย่างอากาศเข้าสู่ตัวดูดซับ (passive sampling)



ภาพที่ 4.3 หลอดดูดซับ

ที่มา: https://www.airmet.com.au/sorbent-tubes-for-solvent-extraction

หลอดดูดซับ (Sorbent Tube)

การตรวจวัดคุณภาพอากาศมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการประเมินสถานการณ์มลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการตรวจสอบสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างของสารเหล่านี้ คือ หลอดดูดซับ (sorbent tube) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับและใช้อย่างแพร่หลายในการตรวจวัดมลพิษในบรรยากาศ

หลอดดูดซับมีลักษณะเป็นหลอดทรงกระบอกที่ทำจากแก้วหรือสเตนเลส ภายในบรรจุวัสดุดูดซับ (sorbent material) ซึ่งสามารถดูดซับสารมลพิษที่อยู่ในอากาศขณะผ่านเข้าหลอด โดยวัสดุดูดซับเหล่านี้มีลักษณะเฉพาะ เช่น มีพื้นที่ผิวสูง มีความสามารถในการจับสารเป้าหมายได้หลากหลาย อาทิ activated charcoal, silica gel, Tenax TA และ XAD resins ซึ่งเหมาะสมกับการดูดซับสาร VOCs ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน

ในกระบวนการเก็บตัวอย่าง หลอดดูดซับจะเชื่อมต่อกับเครื่องปั๊มดูดอากาศที่ควบคุมอัตราการไหลให้เหมาะสมเพื่อให้สารมลพิษในอากาศเคลื่อนผ่านวัสดุดูดซับภายในหลอด ด้วยการควบคุมปริมาณอากาศที่ผ่าน

หลอดอย่างแม่นยำ สามารถคำนวณปริมาณสารที่เก็บได้จากอัตราการไหลและระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากเก็บตัวอย่างแล้ว สารมลพิษที่ถูกดูดซับจะถูกแยกออกด้วยวิธีการแยกสาร (desorption) ซึ่งอาจใช้วิธีความร้อนหรือสารละลายเพื่อเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางเคมี เช่น Gas Chromatography (GC) หรือ Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS)

ข้อได้เปรียบของการใช้หลอดดูดซับคือความสะดวกในการใช้งาน ความแม่นยำในการเก็บตัวอย่างและความสามารถในการเก็บรักษาตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ได้ดี อย่างไรก็ตาม การเลือกชนิดของวัสดุดูดซับควรสอดคล้องกับคุณสมบัติของสารที่ต้องการเก็บ และต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของการดูดซับและปลดปล่อยเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง ในบางกรณีอาจมีการใช้หลอดดูดซับที่มีวัสดุดูดซับหลายชนิดในหลอดเดียวเพื่อเพิ่มขอบเขตของสารที่สามารถเก็บได้ ทั้งนี้ยังมีการเลือกใช้งานหลอดดูดซับแบบ active (มีการใช้ปั๊มดูด) หรือแบบ passive (ใช้การแพร่ของสารเข้าสู่หลอดเอง) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการตรวจวัดและข้อจำกัดในภาคสนาม

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างสารมลพิษทางอากาศและชนิดของสารดูดซับที่ใช้

สารมลพิษทางอากาศ	ชนิดของสารดูดซับ
Benzene	Coconut Shell Charcoal Tube
Acetone	Coconut Shell Charcoal Tube
Acetonitrile	Coconut Shell Charcoal Tube
Acetylene tetrabromide	Tenax
Biphenyl	Tenax
Chlordane	Chromosorb 102

ที่มา: ศิวพันธุ์, 2556

4.3 การเก็บตัวอย่างอนุภาคโดยใช้การกรอง

การเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศโดยใช้วิธีการกรอง (Filtration Method) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดระดับของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ เช่น PM10และ PM2.5 ซึ่งเป็นอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กในอากาศที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ วิธีการ

นี้อาศัยหลักการที่ให้อากาศผ่านแผ่นกรองที่ออกแบบมาเฉพาะเพื่อดักจับอนุภาคฝุ่น แล้วจึงทำการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นที่สะสมบนแผ่นกรองโดยวิธีการถ่วงน้ำหนักหรือวิธีอื่น ๆ ที่เหมาะสม

4.3.1 หลักการของการกรองอนุภาคในอากาศ

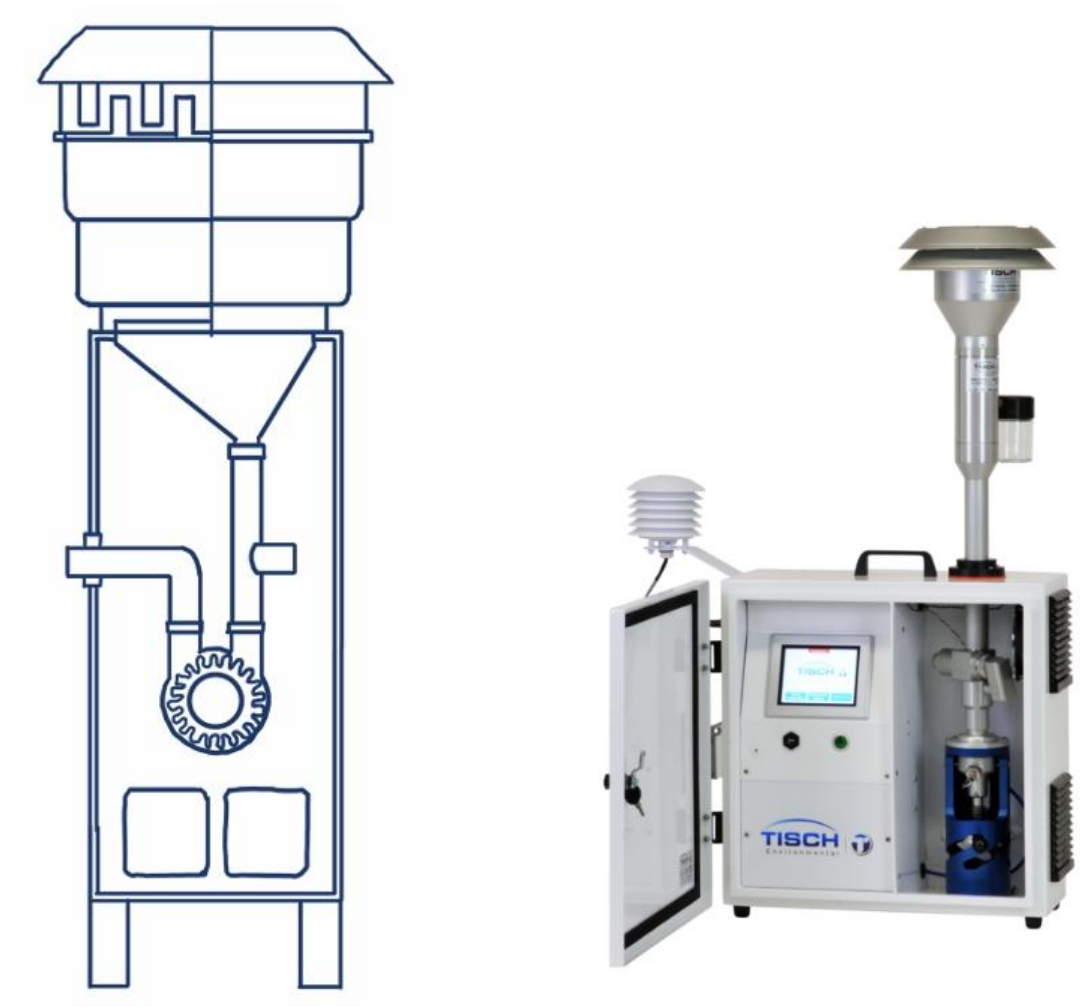
ในกระบวนการเก็บตัวอย่างแบบกรอง อากาศจากสิ่งแวดล้อมจะถูกดูดผ่านแผ่นกรองโดยใช้เครื่องปั๊มที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศอย่างแม่นยำ แผ่นกรองซึ่งอาจทำจากวัสดุอย่างเช่น ไฟเบอร์กลาสควอตซ์ หรือ PTFE จะทำหน้าที่ดักจับฝุ่นละอองที่ปะปนอยู่ในอากาศ อนุภาคเหล่านี้จะเกาะอยู่บนพื้นผิวของแผ่นกรองตามขนาดและลักษณะของมัน

ก่อนนำแผ่นกรองไปใช้งาน จะต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้งและถ่วงน้ำหนักภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอย่างเข้มงวด เพื่อให้ได้น้ำหนักเริ่มต้นที่เสถียร จากนั้นจึงติดตั้งในชุดเก็บตัวอย่างและทำการเก็บอากาศในระยะเวลาที่กำหนด เช่น 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนด แผ่นกรองจะถูกนำกลับไปอบแห้งและถ่วงน้ำหนักอีกครั้งภายใต้เงื่อนไขเดียวกับตอนเริ่มต้น เพื่อคำนวณหาค่าความเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่เกิดจากการสะสมของฝุ่นละออง หลังจากระยะเวลาการเก็บตัวอย่างสิ้นสุดลง แผ่นกรองจะถูกนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยทั่วไปจะใช้วิธีการถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของแผ่นกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง เพื่อคำนวณหาน้ำหนักของฝุ่นที่สะสม จากนั้นจะนำไปคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศ โดยหารด้วยปริมาตรของอากาศที่ดูดผ่านแผ่นกรอง ซึ่งสามารถรายงานผลเป็นหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu g/m^3$) (IntechOpen. 2008)

4.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีกรอง

การเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองจากบรรยากาศด้วยวิธีการกรอง จำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำและได้รับการออกแบบให้สามารถควบคุมกระบวนการเก็บตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเครื่องมือหลักที่ใช้ ได้แก่

1) เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ High Volume และ Low Volume Sampler สามารถดูดอากาศผ่านแผ่นกรองในอัตราการไหลที่สูง (มากกว่า 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที) เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM10 ในปริมาณมาก ทำให้สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่นได้หลากหลาย ในขณะที่ Low Volume Sampler มีอัตราการดูดอากาศต่ำกว่า (ประมาณ 16.7 ลิตรต่อนาที) มักใช้สำหรับเก็บตัวอย่าง PM2.5 ที่ต้องการความแม่นยำสูงและมีระเบียบมาตรฐานควบคุมมากกว่า โดยทั้งสองชนิดจะมีตัวควบคุมการไหลของอากาศอัตโนมัติ และมักมาพร้อมกับระบบตั้งเวลาเพื่อเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่กำหนด



ก. High Volume Sampler ข. Low Volume Sampler

ภาพที่ 4.4 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ High Volume และ Low Volume Sampler

ที่มา: https://www.innovative-instrument.com/product/te-6070-high-volume-pm10-air-sampler/

2) แผ่นกรอง (Filter media) เป็นส่วนสำคัญในการดักจับอนุภาค โดยชนิดของแผ่นกรองจะถูกเลือกตามวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ เช่น Quartz Fiber Filter Teflon (PTFE) Filter Glass Fiber Filter เป็นต้น

ภาพที่ 4.5 แผ่นกรองควอตซ์ไฟเบอร์ (Quartz Fiber Filter)

ที่มา: http://roongsub.lnwshop.com

แผ่นกรองมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเฉพาะที่เหมาะกับวัตถุประสงค์และวิธีการวิเคราะห์แตกต่างกันไป โดยสามารถจำแนกได้ดังนี้:

2.1) แผ่นกรองควอตซ์ไฟเบอร์ (Quartz Fiber Filter) ทนต่ออุณหภูมิสูง ไม่ติดไฟ ไม่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน เหมาะสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เช่น คาร์บอนอินทรีย์ (OC) และคาร์บอนองค์รวม (TC) รวมถึงการวิเคราะห์ธาตุโลหะหนัก และสารกึ่งโลหะในฝุ่น ข้อดี: มีความเฉื่อยทางเคมีสูง ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนที่เก็บได้ ข้อจำกัด: ราคาค่อนข้างสูง เปราะบาง และต้องจัดการอย่างระมัดระวัง

2.2) แผ่นกรองไฟเบอร์กลาส (Glass Fiber Filter) ผลิตจากเส้นใยแก้ว ทนความร้อนสูงและสามารถดักจับฝุ่นได้ดี เหมาะสำหรับการชั่งน้ำหนักฝุ่นเพื่อคำนวณความเข้มข้นเชิงมวล (gravimetric analysis) ข้อดี: ราคาถูกกว่าควอตซ์ไฟเบอร์ มีความทนทาน ใช้งานง่าย ข้อจำกัด: มีสารอินทรีย์ตกค้างในวัสดุ อาจรบกวนการวิเคราะห์บางประเภท เช่น PAHs หรือคาร์บอนอินทรีย์

2.3) แผ่นกรองเทฟลอน (Teflon Filter หรือ PTFE - Polytetrafluoroethylene) ทนต่อสารเคมีทุกชนิด รวมถึงกรดและเบส เหมาะสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบอนินทรีย์ เช่น ไอออน โลหะหนัก และฝุ่น PM2.5 ด้วยเทคนิค XRF หรือ Ion Chromatography

ข้อดี: ความเฉื่อยทางเคมีสูง ความพรุนคงที่ ลดการรบกวนจากพื้นหลังในการวิเคราะห์ ข้อจำกัด: ราคาสูง เปราะและอาจแตกได้ง่ายหากไม่ดูแลอย่างระมัดระวัง

2.4) แผ่นกรองไนลอน (Nylon Filter) เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) หรืออนุภาคที่ต้องการการเก็บตัวอย่างเพื่อแยกชนิดของสารที่ดูดซับบนพื้นผิว ข้อดี: ความเหนียวดี ต้านทานแรงดึงและฉีกขาด ข้อจำกัด: ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์บางประเภท เนื่องจากอาจเกิดปฏิกิริยากับสารในอากาศ

2.5) แผ่นกรองเซลลูโลส (Cellulose Filter หรือ Cellulose Nitrate Filter) เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ฝุ่นที่ไม่ต้องการการเผาไหม้หรือวิเคราะห์ด้วยเทคนิคที่ใช้ความร้อน ข้อดี: ราคาประหยัด ใช้ในงานเก็บตัวอย่างทั่วไป ข้อจำกัด: ไวไฟ และมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์สารอินทรีย์

3) เครื่องชั่งละเอียด (Microbalance) ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักแผ่นกรองต้องมีความละเอียดในระดับไมโครกรัม (µg) เพื่อให้สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของฝุ่นที่เกาะอยู่บนแผ่นกรองได้อย่างแม่นยำ โดยเครื่องชั่งจะต้องตั้งอยู่ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อป้องกันผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม

ภาพที่ 4.6 เครื่องชั่งละเอียด (Microbalance)

ที่มา: http://www.knscience.com

4) ภาชนะควบคุมความชื้น (Desiccator) ใช้ในการปรับสมดุลความชื้นของแผ่นกรองก่อนและหลังการชั่งน้ำหนัก เพื่อให้แผ่นกรองมีความชื้นคงที่ ช่วยลดความแปรปรวนของน้ำหนัก และเป็นการควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจมีผลต่อความแม่นยำของข้อมูล

ภาพที่ 4.7 ภาชนะควบคุมความชื้น (Desiccator)

ที่มา: http://www.ok8shop.com

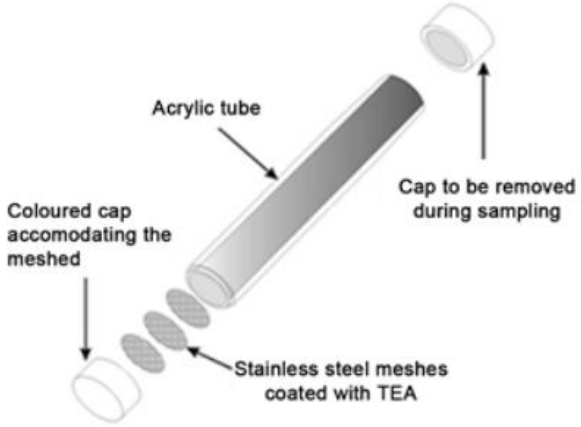
4.4 การเก็บตัวอย่างก๊าซโดยวิธีการแบบแพสซิฟ

การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศเป็นหนึ่งในขั้นตอนสำคัญในการเฝ้าระวังและประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ต่าง ๆ โดยเฉพาะในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากสารมลพิษ วิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมคือ "การเก็บตัวอย่างก๊าซโดยวิธีการแบบแพสซิฟ" (Passive Sampling) ซึ่งเป็นเทคนิคที่อาศัยหลักการแพร่ของก๊าซเข้าสู่ตัวดูดซับโดยไม่ต้องใช้เครื่องสูบหรือปั๊มในการส่งอากาศเข้าสู่ระบบเก็บตัวอย่าง

หลักการของการเก็บตัวอย่างแบบแพสซิฟคือการที่โมเลกุลของก๊าซในอากาศแพร่ผ่านตัวกลางหรือทางเดินที่ควบคุมระยะทาง ก่อนจะถูกดักจับโดยสารดูดซับ (sorbent) ที่อยู่ภายในอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ซึ่งอัตราการแพร่ของก๊าซจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างภายนอกและภายในตัวอย่าง รวมถึงลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์ เช่น ความยาวของช่องแพร่และพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับก๊าซ วิธีนี้

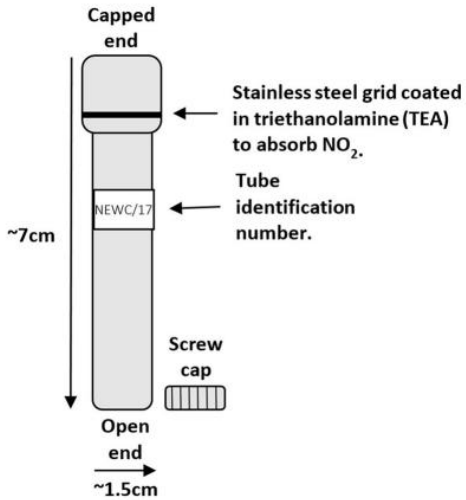
สามารถใช้เก็บตัวอย่างในช่วงเวลานานเพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดช่วงเวลา (Time-Weighted Average) ที่เหมาะสมต่อการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในระดับชุมชนหรือบุคคล

อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบแพสซิฟมีหลากหลายรูปแบบ เช่น แบบแนวแกน (Axial diffusive samplers) และแบบแนวรัศมี (Radial diffusive samplers) ซึ่งแต่ละชนิดมีคุณลักษณะในการรับก๊าซและประสิทธิภาพในการดูดซับที่แตกต่างกัน การเลือกใช้อุปกรณ์ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ต้องการตรวจวัด ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง และสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่ทำการศึกษา



ภาพที่ 4.8 Palmes tube

ที่มา: Iguniwari Thomas Ekeu-wei, 2018



ภาพที่ 4.9 Schematic of a diffusion tube

ที่มา: Alex Rowell, 2021

ภาพที่ 4.10 passam Ag sampler

ที่มา: https://www.passam.ch/products

ข้อดีของวิธีนี้คือมีความเรียบง่ายในการใช้งาน ไม่จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าหรือพลังงานจากภายนอก มีขนาดเล็ก พกพาสะดวก และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำ เหมาะสำหรับการติดตั้งในพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่ไม่มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังสามารถใช้ได้ในปริมาณมากเพื่อสร้างภาพรวมของคุณภาพอากาศในระดับพื้นที่ขนาดใหญ่ (U.S. Environmental Protection Agency)

ในการเก็บตัวอย่างก๊าซในบรรยากาศด้วยวิธีการแบบแพสซิฟ (Passive Sampling) นักวิจัยและผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องประเมินปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเป้าหมายในอากาศภายหลังการเก็บตัวอย่างเสร็จสิ้น เนื่องจากวิธีนี้ไม่ใช้ปั๊มดูดอากาศโดยตรง ความเข้มข้นของก๊าซที่เข้าสู่ตัวดูดซับจะอาศัยการแพร่ตามธรรมชาติของก๊าซผ่านตัวกลางตามหลักฟิสิกส์ ซึ่งต้องอาศัยการคำนวณโดยอิงจากพารามิเตอร์ด้านกายภาพของตัวเก็บตัวอย่างและคุณสมบัติเฉพาะของก๊าซนั้น ๆ

กระบวนการคำนวณนี้มีพื้นฐานจาก กฎการแพร่ของฟิก (Fick’s Law of Diffusion) ซึ่งระบุว่าอัตราการแพร่ของก๊าซจะแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดและความต่างของความเข้มข้น และแปรผกผันกับความยาวของช่องทางการแพร่ โดยพิจารณาร่วมกับปริมาณมวลของก๊าซที่ถูกดูดซับไว้ในตัวดูดซับและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง เพื่อคำนวณหาค่าความเข้มข้นของก๊าซในบรรยากาศ ณ ตำแหน่งที่ทำการวัด

สูตรการคำนวณที่นิยมใช้งานมีดังนี้:

$$C = \frac{M \times L}{D \times A \times t}$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นของก๊าซในอากาศ (μg/m³)

M = ปริมาณมวลของก๊าซที่สะสมไว้ในตัวดูดซับ (μg)

t = ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (วินาที หรือชั่วโมง)

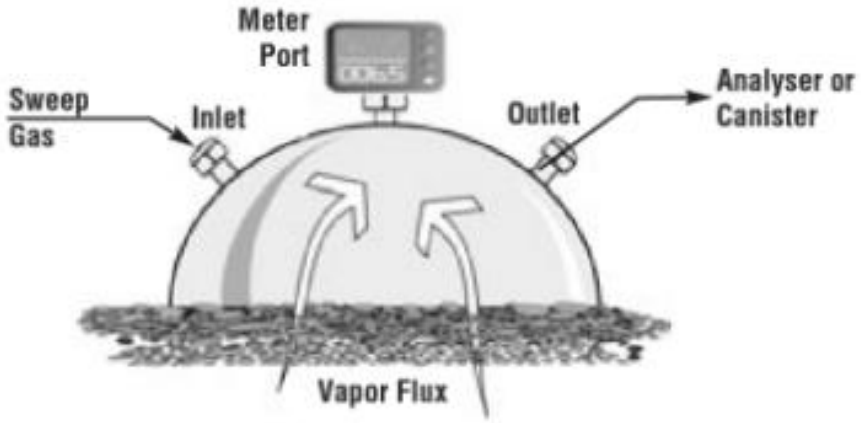
D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของก๊าซในอากาศ (cm²/s)

A = พื้นที่หน้าตัดของทางแพร่ (cm²)

L = ความยาวของช่องทางแพร่ (cm)

4.5 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ฟลักซ์แชมเบอร์ (Flux Chambers)

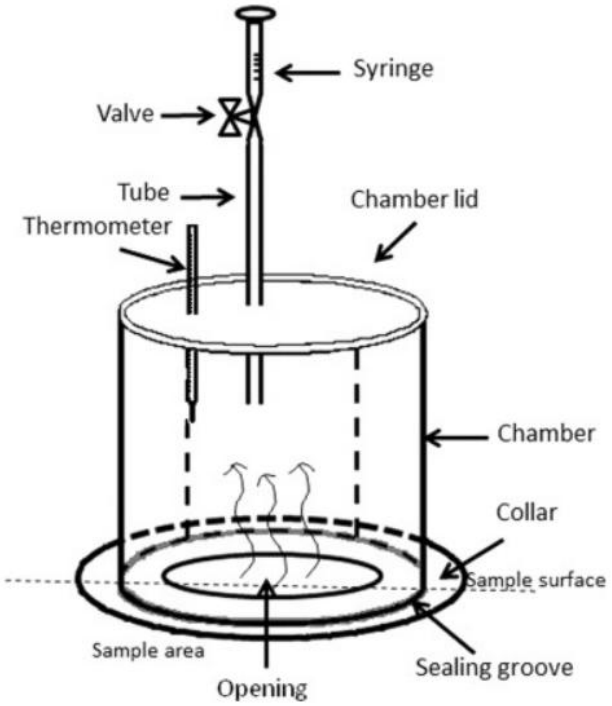
Flux Chambers คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการเคลื่อนที่ (flux) ของก๊าซ เช่น CO_2, CH_4, N_2O หรือสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จากพื้นผิวใดพื้นผิวหนึ่งขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ โดยทำงานผ่านการครอบ (enclosure) บริเวณพื้นผิวเป้าหมายเพื่อกักก๊าซที่ปลดปล่อยออกมา แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นภายในห้องปิดเพื่อคำนวณแรงจูงใจของการแพร่ (flux) รูปแบบพื้นฐานแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ Static (Closed Static) Chamber และ Dynamic Chamber



ภาพที่ 4.11 Flux Chambers

ที่มา: https://www.greenscience.it

4.5.1 Static Chambers (Closed Static Chamber) ทำหน้าที่ดักก๊าซโดยการปิดพื้นที่เป้าหมายไว้ในห้องปิด (enclosure) ที่ไม่มีการหมุนเวียนอากาศเข้า–ออกภายใน chamber เมื่อก๊าซถูกปลดปล่อยจากพื้นผิว ฝุ่นหรือก๊าซจะถูกสะสมในห้อง จากนั้นผู้ปฏิบัติงานจะเก็บตัวอย่างที่หัว (headspace) ของ chamber ในช่วงเวลาที่กำหนด แล้ววัดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นตามเวลา เพื่อคำนวณอัตราการปลดปล่อยของก๊าซ กลไกหลักคือการแพร่ภายใน chamber ซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่และปริมาตรของ chamber การวัดให้ผลลัพธ์เป็นอัตราเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ซึ่งนับเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้ในงานภาคสนาม เช่น การศึกษา gas flux จากดินในระบบนิเวศต่าง ๆ

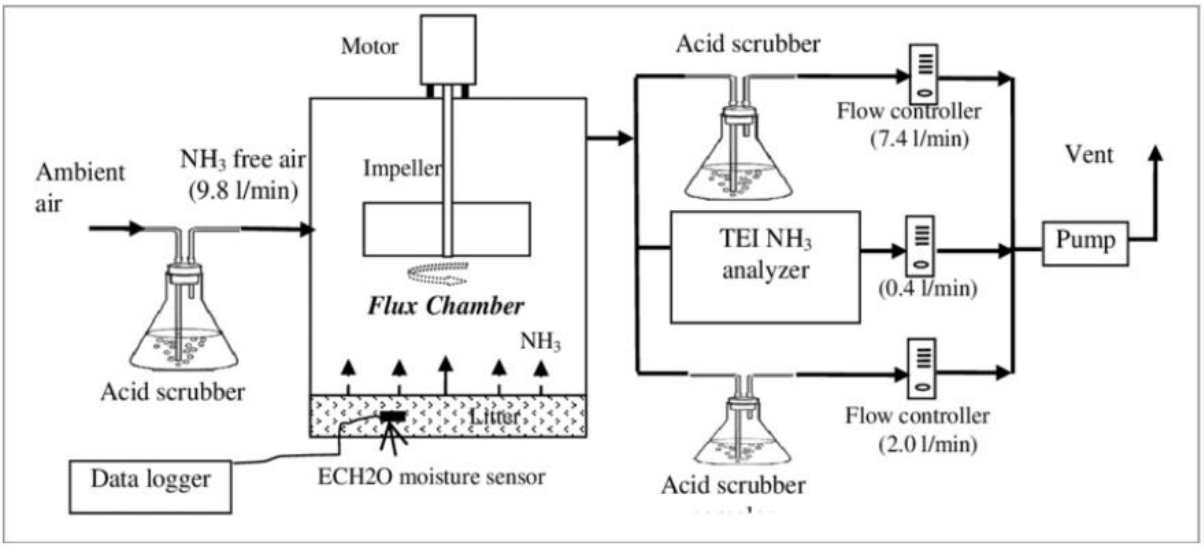


ภาพที่ 4.12 Static Chambers (Closed Static Chamber)

ที่มา: M. Jämsén, 2015

ข้อดีคือใช้งานง่าย ต้นทุนต่ำ เหมาะสมกับพื้นที่หลากหลายและไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างใหญ่ อย่างไรก็ตาม การสะสมของก๊าซใน headspace อาจเกินระดับที่ทำให้ flux ลดลง หรือเกิดปัญหาผลกระทบของกำแพง chamber (wall effect) หาก sampling ระยะยาว อัตราการวัดอาจถูกประเมินต่ำกว่าความเป็นจริง โดยเฉพาะในช่วงท้ายของการทดลอง

4.5.2 Dynamic (Flow - Through) Chambers แตกต่างจาก static ตรงที่มีการ หมุนเวียนอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยใช้กระแสอากาศสะอาดพัดผ่าน chamber ในระบบปิด (flow - through) หรือแบบปิดทั้งหมด (closed - flow) อากาศที่ไหลเข้าจะนำก๊าซที่ถูกปล่อยออกไปผสม และอากาศที่ออกจะถูกวิเคราะห์เพื่อวัดค่าความเข้มข้น ก๊าซตกค้างจะไม่สะสมใน chamber ส่งผลให้กระแสการแพร่ยังคงสม่ำเสมอตลอดการทดลอง หลักการวัดคือใช้ความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างอากาศเข้ากับอากาศออก ร่วมกับอัตราการไหล (flow rate) เพื่อคำนวณอัตราการปลดปล่อยก๊าซ วิธีนี้แม่นยำกว่าในระยะสั้น และลด bias จากการสะสมของก๊าซใน chamber



ภาพที่ 4.13 Dynamic (Flow - Through) Chambers

ที่มา: https://www.researchgate.net

การออกแบบ chamber มักคำนึงถึงการไหลของอากาศให้กระจายทั่วพื้นที่อย่างสม่ำเสมอ มีการใช้พัดลมหรือโบลเวอร์ มักใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อนมากกว่า static ทั้งนี้ยังต้องควบคุมความดันภายใน chamber เพื่อป้องกันผลกระทบต่อ flux ที่เกิดจากแรงดันอากาศ

4.5.3 Passive Flux Chambers จาก static chamber แบบเดิม มีวิวัฒนาการมาสู่ Passive Flux Chamber โดยติดตั้ง Passive Flux Sampler (sorbent tube) ภายใน chamber เพื่อดักก๊าซที่แพร่เข้ามา โดยเน้นการดูดซับแทนการวัดค่าความเข้มข้นใน headspace วิธีนี้ไม่ต้องใช้ปั๊มหรือระบบหมุนเวียน ทำให้

ติดตั้งสะดวกและเหมาะกับการศึกษาระยะยาวแบบประหยัด ต้นทุนต่ำ และให้ผลลัพธ์แนวโน้มค่าการ flux ได้ใกล้เคียงกับ dynamic chamber ในบริบทภาคสนามหลายพื้นที่ (klund, B, 1992)

4.6 การเก็บตัวอย่างโดยใช้ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ (Gas Sampling Bags)

การเก็บตัวอย่างก๊าซโดยใช้อุปกรณ์แบบ Gas Sampling Bags ถือเป็นหนึ่งในวิธีการเก็บตัวอย่างแบบ “grab sampling” ที่นิยมใช้กันมากทั้งในงานภาคสนามและภายในห้องปฏิบัติการโดยเฉพาะเมื่อสอบเทียบปริมาณสารในช่วงเวลาสั้น ๆ หรือเก็บตัวอย่างอากาศทั้งหมดเพื่อวิเคราะห์ตามภายหลัง

ภาพที่ 4.14 Gas Sampling Bags

ที่มา: https://www.amazon.in

ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซถือเป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการเก็บและเก็บรักษาตัวอย่างก๊าซในงานตรวจวัดคุณภาพอากาศและการวิเคราะห์สารเคมีในบรรยากาศ การเลือกวัสดุและออกแบบโครงสร้างของถุงให้เหมาะสมมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องและความเสถียรของตัวอย่างที่เก็บรักษาไว้ วัสดุหลักที่ใช้ในการผลิตถุงเก็บตัวอย่างก๊าซคือ โพลีไวนิลฟลูออไรด์ (Polyvinyl Fluoride: PVF) วัสดุชนิดนี้ได้รับความนิยมเนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ได้แก่ ความต้านทานทางเคมีที่สูงต่อสารอินทรีย์และก๊าซหลายชนิด ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์กับสารที่เก็บในถุง และลดความเสี่ยงของการปนเปื้อน นอกจากนี้ PVF ยังมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดี ทำให้อุปกรณ์สามารถใช้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิต่ำจนถึงสูงประมาณ 100 องศาเซลเซียสได้อย่างมั่นคง

อีกหนึ่งคุณสมบัติที่โดดเด่นของถุงที่ทำจาก PVF คือการซึมผ่านของก๊าซที่ต่ำมาก ซึ่งหมายความว่าถุงสามารถกักเก็บก๊าซได้โดยมีการรั่วไหลหรือการสูญเสียสารตัวอย่างน้อยที่สุด ความทนทานทางกลก็สูง สามารถทนแรงดึงและการใช้งานในสภาพภาคสนามได้โดยไม่เกิดการฉีกขาดง่าย ช่วยให้อายุการใช้งานของถุงยาวนานขึ้นในขณะเดียวกันก็ยังคงรักษาคุณภาพของตัวอย่างได้ดี

ความหนาของฟิล์มที่ใช้ในการผลิตถุงเก็บตัวอย่างก๊าซมักอยู่ที่ประมาณ 50 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่เหมาะสมในการสร้างสมดุลระหว่างความแข็งแรงของถุงและความยืดหยุ่น ทำให้ถุงมีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการจัดเก็บและพกพา ส่วนสำคัญอีกประการหนึ่งของถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ คือ ระบบวาล์วหรือจุดเชื่อมต่อที่ติดตั้งอยู่บนถุง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น สแตนเลส โพลีโพรพิลีน หรือเทฟลอน วาล์วเหล่านี้ช่วยให้การเติมและดูดก๊าซตัวอย่างสามารถทำได้ง่าย ปลอดภัย และลดโอกาสการรั่วไหลของสาร ตัววาล์วมักมีดีไซน์ที่ช่วยป้องกันการปนเปื้อนและอนุญาตให้ดึงตัวอย่างออกด้วยกระบอกฉีดยา (syringe) โดยไม่ต้องเปิดถุงโดยตรง

ข้อดีของการใช้ถุงที่ผลิตจาก PVF คือ สามารถเก็บตัวอย่างก๊าซได้อย่างเสถียรเป็นเวลาหลายชั่วโมงถึงวัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซและสภาพการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม เพื่อรักษาคุณภาพของตัวอย่าง ควรทำการวิเคราะห์ภายในเวลาที่เหมาะสมหลังจากการเก็บตัวอย่าง โดยทั่วไปแนะนำให้ไม่เกิน 24-72 ชั่วโมงหลังจากเก็บ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบก๊าซและความเข้มข้น

4.7 สรุป

การตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศเป็นกระบวนการสำคัญที่ต้องเริ่มจากการเก็บตัวอย่างที่ถูกต้อง แม้จะมีเทคโนโลยีอัตโนมัติช่วยวิเคราะห์ แต่การเก็บตัวอย่างยังคงมีบทบาทสำคัญเพราะหากเก็บผิด ผลการวัดก็จะไม่แม่นยำ การเก็บตัวอย่างสารมลพิษทางอากาศมีหลายวิธี เช่น การกรองเพื่อเก็บฝุ่นละออง โดยให้อากาศผ่านแผ่นกรองซึ่งดักจับฝุ่นไว้ จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อวัดปริมาณฝุ่น ใช้อุปกรณ์เช่น High Volume Sampler และแผ่นกรองที่เหมาะสมส่วนการเก็บก๊าซทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีดูดซึมที่ใช้สารละลายดูดซับก๊าซผ่านหลอด impinger ร่วมกับปั๊ม เพื่อจับก๊าซไว้ในของเหลว วิธีดูดซับที่ก๊าซถูกจับไว้บนวัสดุแข็ง และวิธีแพสซิฟที่ก๊าซแพร่เข้าสู่ตัวดูดซับโดยธรรมชาติ โดยไม่ต้องใช้พลังงาน

นอกจากนี้ยังมีการเก็บก๊าซในถุงเก็บตัวอย่าง ซึ่งใช้วัสดุทนทานต่อสารเคมีและป้องกันการรั่วไหล เหมาะสำหรับเก็บก๊าซหลากหลายชนิด โดยรวม การเลือกวิธีเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมกับชนิดของสารมลพิษมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและนำไปใช้แก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.8 คำถามท้ายบท

1. อธิบายความสำคัญของการเก็บตัวอย่างสารมลพิษทางอากาศในการตรวจวัดคุณภาพอากาศ พร้อมยกตัวอย่างวิธีการเก็บตัวอย่างที่นิยมใช้

2. เปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยวิธีกรอง (Filtration) กับการเก็บตัวอย่างก๊าซด้วยวิธีดูดซึม (Absorption)

3. อธิบายหลักการทำงานของเครื่อง High Volume Sampler และบทบาทของแผ่นกรองในกระบวนการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

4. อธิบายวิธีการเก็บตัวอย่างก๊าซด้วยวิธีแบบแพสซิฟ (Passive Sampling) และการคำนวณความเข้มข้นของสารมลพิษโดยใช้สูตรที่เกี่ยวข้อง

5. บรรยายโครงสร้างและวัสดุของถุงเก็บตัวอย่าง (Sample Bag) พร้อมอธิบายเหตุผลที่ต้องเลือกวัสดุเฉพาะสำหรับการเก็บตัวอย่างก๊าซ

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2566). *คู่มือการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์สารมลพิษทางอากาศ*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ. สืบค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2568, จาก https://www.pcd.go.th

ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. (2556). *การเก็บตัวอย่างและตรวจวัดสารมลพิษทางอากาศ*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alex Rowell, Michael E. Terry, & Michael E. Deary. (2021). Comparison of diffusion tube–measured nitrogen dioxide concentrations at child and adult breathing heights: who are we monitoring for? *Air Quality, Atmosphere & Health, 14*, 27–36.

IntechOpen. (2008). Particulate matter sampling techniques and data modelling methods. In *16th European Biomass Conference and Exhibition*, Valencia, Spain. Retrieved May 31, 2025, from https://www.intechopen.com/chapters/52206

Iguniwari, T. E. (2018). Passive sampling of ambient nitrogen dioxide at toll plazas in Malaysia. *Open Journal of Air Pollution, 7*(1), 14–33.

Jämsén, M., Agar, D., Alakoski, E., Tampio, E., & Wihersaari, M. (2015). Measurement methodology for greenhouse gas emissions from storage of forest chips – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51*, 1617–1623.

Klund, B. (1992). Practical guidance for flux chamber measurements of fugitive volatile organic emission rates. *Journal of the Air & Waste Management Association*.

Mettler Toledo. Filter weighing for gravimetric determination of PM in engine exhaust and evaporative emissions. Retrieved May 31, 2025, from https://www.mt.com

U.S. Environmental Protection Agency. Passive samplers for investigations of air quality. Retrieved May 31, 2025, from https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P100MK4Z.TXT