ISBN 974-9558-50-2
คพ. 03-045

คู่มือ

การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

สำนักจัดการคุณภาพ**อากาศและเสียง**
กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เอกสารวิชาการ : **คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ**
ISBN 974-9558-50-2
พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2546 จำนวน 1,000 เล่ม

กรรมสิทธิ์และลิขสิทธิ์ : กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ผู้จัดทำ : ส่วนคุณภาพอากาศในบรรยากาศ
สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง

คำนำ

การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ มีหลายระบบแตกต่างกัน เช่น ระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ระบบเบต้า เร (Beta Ray) ระบบเทเปอ อิลิเม้น ออสซิเลติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element Oscillating Microbalance) และระบบไดโคโตมัส (Dichotomous) เป็นต้น แต่ระบบที่ง่ายในการหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (Total Suspended Particulate Matter; TSP) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate Matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 10 micrometers; PM_{10}) คือ ระบบกราวิเมตริก ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุม (High Volume Air Sampler)

คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ เล่มนี้ ได้รวบรวมเทคนิค วิธีการ เครื่องมือและอุปกรณ์ ในการตรวจวัด TSP และ PM_{10} ด้วยระบบกราวิเมตริก โดยเรียบเรียงอย่างเป็นลำดับขั้นตอน เข้าใจง่าย และสะดวกต่อการใช้งาน มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ถูกต้อง สำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในภาครัฐ ทั้งส่วนกลางและท้องถิ่น เอกชน ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป ให้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานด้านการติดตามตรวจสอบ เฝ้าระวัง และประเมินสถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศได้เองอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งเพื่อสนับสนุนงานติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านอากาศของประเทศ ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง

กรมควบคุมมลพิษ

2546

สารบัญ

	หน้า
ส่วนที่ 1 บทนำ	1
ส่วนที่ 2 ความรู้พื้นฐาน	2
2.1 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ	3
2.2 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทย	4
2.3 หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุม (High Volume Air Sampler)	5
ส่วนที่ 3 การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP)	7
3.1 การเตรียมการ	7
3.2 การเก็บตัวอย่าง	10
3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	15
ส่วนที่ 4 การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})	25
4.1 การเตรียมการ	25
4.2 การเก็บตัวอย่าง	28
4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	32
ส่วนที่ 5 ภาคผนวก	39
1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปสำหรับประเทศไทย	40
2 แบบฟอร์มบันทึกผลการปรับเทียบและการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ	41
3 แบบฟอร์มบันทึกผลการปรับเทียบและการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP และ PM_{10} ที่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ	43

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	เครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดไฮโวลุม	45
ภาพที่ 2	มอเตอร์สำหรับดูดอากาศให้ไหลผ่านกระดาษกรอง	45
ภาพที่ 3	เครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder)	46
ภาพที่ 4	กระดาษกราฟสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder chart)	46
ภาพที่ 5	อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Control flow device)	47
ภาพที่ 6	อุปกรณ์ตั้งเวลาเปิด-ปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง (Timer)	47
ภาพที่ 7	มาร์นอมิเตอร์น้ำ (Manometer water)	48
ภาพที่ 8	บาร์รอมิเตอร์ (Barometer)	48
ภาพที่ 9	เครื่องชั่ง (Balance)	49
ภาพที่ 10	ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)	49
ภาพที่ 11	สารดูดความชื้น ซิลิกา เจล (Silica gel)	50
ภาพที่ 12	คีมคีบปากแบน (Forcep)	50
ภาพที่ 13	ถุงมือไวนิล ไม่มีแป้ง (Vinyl non powdered gloves)	51
ภาพที่ 14	ถุงพลาสติคซิป สำหรับบรรจุกระดาษกรอง	51
ภาพที่ 15	ซองกระดาษสีน้ำตาล สำหรับบรรจุกระดาษกรอง	52
ภาพที่ 16	เครื่องประทับหมายเลขกระดาษกรอง (Running number)	52
ภาพที่ 17	กระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter)	53
ภาพที่ 18	Orifice ของชุดปรับเทียบ	53
ภาพที่ 19	แผ่นต้านทานการไหลของอากาศ (Resistance plates)	54
ภาพที่ 20	การติดตั้งชุดปรับเทียบ Orifice สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP	54

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 21	การวางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศ	55
ภาพที่ 22	การวางกระดาษกรองในเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุม	56
ภาพที่ 23	เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ชนิดไฮโวลุม	57
ภาพที่ 24	หัวคัดขนาดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	58
ภาพที่ 25	กระดาษกรองใยหิน (Quartz filter)	58
ภาพที่ 26	การติดตั้งชุดปรับเทียบ Orifice สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10}	59
ภาพที่ 27	การพ่น Silicone grease บนแผ่นดักฝุ่นละออง ขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน	60

ส่วนที่ 1 บทนำ

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุดของกรุงเทพมหานคร และเมืองใหญ่ของประเทศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) หากพบค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศ จะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของประชาชน โดยเฉพาะผู้ที่อยู่ในกลุ่มเสี่ยง ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจอยู่แล้ว จะเป็นผู้ที่ได้รับผลกระทบได้ง่าย

กิจกรรมการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านอากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญในการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพ โดยข้อมูลคุณภาพอากาศที่ได้สามารถนำไปกำหนดมาตรการในการแก้ไขปัญหา การป้องกัน และลดผลกระทบที่เกิดจากปัญหามลพิษทางอากาศต่อไป

ดังนั้น การเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศให้แก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานทั้งภาครัฐ เอกชน และผู้ที่สนใจทั่วไป จะเป็นการส่งเสริมให้มีกิจกรรมการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านอากาศเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเฝ้าระวัง และติดตามตรวจสอบสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ส่วนที่ 2 ความรู้พื้นฐาน

ฝุ่นละอองในบรรยากาศ เป็นอนุภาคมีทั้งเป็นของแข็งและของเหลว ซึ่งแพร่กระจายอยู่ในอากาศ โดยทั่วไปมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 0.0002 ไมครอน (ขนาดใกล้เคียงกับโมเลกุลของสสาร) จนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดใหญ่สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ 2-3 นาที จะตกลงสู่พื้นด้วยแรงดึงดูดของโลก และแรงลม ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมักเป็นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เนื่องจากมีความเร็วในการตกลงสู่พื้นต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ และกระแสลม เป็นต้น จะทำให้สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น

<u>แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภท</u>

1) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่ ดิน ทราย หิน ละอองไอน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า และละอองเกลือจากน้ำทะเล

2) ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่

- ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่งและการจราจร เช่น ฝุ่นดิน ทราย ที่ฟุ้งกระจายขณะรถวิ่ง และเขม่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น
- ฝุ่นจากการก่อสร้าง เช่น ก่อสร้างอาคาร ถนน และการรื้อถอน เป็นต้น
- ฝุ่นจากการประกอบการอุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ การโม่บดหรือย่อยหิน และอื่นๆ เป็นต้น

2.1 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

หากมีการหายใจเอาฝุ่นละอองที่ปะปนในอากาศเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมครอน จะถูกดักจับที่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้น ในส่วนของจมูกและลำคอ ซึ่งจะถูกขับออกมาพร้อมกับเสมหะ ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) จะเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เพราะสามารถแทรกตัวลึกเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างเข้าไปในเนื้อเยื่อปอด และนำสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย โดยกลุ่มเสี่ยงที่ได้รับผลกระทบได้ง่าย ได้แก่ เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจอยู่แล้ว เช่น ผู้ป่วยโรคปอด ไข้หวัดใหญ่ และโรคหืด เป็นต้น

ผลกระทบต่อทัศนวิสัย

ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เป็นทั้งของแข็งและของเหลวสามารถดูดซับ และหักเหแสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้น

ผลกระทบต่อวัตถุ และสิ่งก่อสร้าง

เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ต่างกัน สามารถส่งผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ และความสกปรกเลอะเทอะของวัตถุ เป็นต้น

2.2 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทย

การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปสำหรับประเทศไทย (ภาคผนวก 1) จำเป็นต้องทำความเข้าใจในค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป ณ ช่วงเวลาหนึ่งเวลาใด และวิธีการตรวจวัด เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการตรวจวัด และวิเคราะห์ผลการตรวจวัดได้

1. ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไป

1.1) ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (Total Suspended Particulate Matter; TSP) ในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในเวลา 1 ปี จะต้องไม่เกิน 0.10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

1.2) ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate Matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 10 micrometers; PM_{10}) ในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในเวลา 1 ปี จะต้องไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2. วิธีการตรวจวัด

การวัดหาค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเวลา 24 ชั่วโมง หรือ ในเวลา 1 ปี ให้ใช้วิธีการตรวจวัดตามระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) หรือระบบอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ เช่น ระบบเบต้า เร (Beta Ray) ระบบเทเปอ อิลิเม้น ออสซิเลติ้ง ไมโครบาลานซ์ (Tapered Element

Oscillating Microbalance) และระบบไดโคโตมัส (Dichotomous) เป็นต้น ในการวัดหาค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศนั้น ให้ทำการตรวจวัดในบรรยากาศทั่วๆ ไป โดยจะต้องสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร

2.3 หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุม (High Volume Air Sampler)

ระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) หมายความว่า การวัดค่าฝุ่นละออง โดยดูดอากาศผ่านแผ่นกรอง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละออง ขนาด 0.3 ไมครอน (Micron) ได้ร้อยละ 99 แล้วหาน้ำหนักฝุ่นละอองจากแผ่นกรองนั้น

<u>หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP)</u>

1. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุม ดูดอากาศจำนวนหนึ่งที่วัดปริมาตรแน่นอน เข้าสู่ช่องทางเข้าอากาศ และผ่านกระดาษกรอง ตลอดช่วงการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง โดยกระดาษกรองที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอน ได้อย่างน้อยร้อยละ 99
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง (หลังจากอบกระดาษกรองเพื่อไล่ความชื้นแล้ว) ทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง เพื่อหาน้ำหนักสุทธิ (มวล) ของฝุ่นละออง โดยปริมาตรทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างต้องปรับแก้ค่าตามสภาวะมาตรฐานที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความกดของอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท

หลักการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})

1. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุม ดูดอากาศในบรรยากาศด้วยอัตราการไหลคงที่เข้าสู่ช่องทางเข้าอากาศที่ได้รับการออกแบบพิเศษเพื่อให้สามารถคัดขนาดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศออกมา และถูกรวบรวมไว้บนกระดาษกรอง ตลอดช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง (24 ชั่วโมง)

2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง (หลังจากอบกระดาษกรองเพื่อไล่ความชื้นแล้ว) ทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง เพื่อหาน้ำหนักสุทธิ (มวล) ของ PM_{10} ที่เก็บรวบรวมได้ โดยปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างต้องปรับแก้ค่าตามสภาวะมาตรฐาน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความกดของอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท

ส่วนที่ 3 การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP)

3.1 การเตรียมการ

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดไฮโวลุม (ภาพที่ 1) ประกอบด้วย

- มอเตอร์ สำหรับดูดอากาศให้ไหลผ่านกระดาษกรอง (ภาพที่ 2)
- เครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder) (ภาพที่ 3)
- กระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder chart) (ภาพที่ 4)
- อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Control flow device) (ภาพที่ 5)
- อุปกรณ์ตั้งเวลาเปิด-ปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง (Timer) (ภาพที่ 6)

อุปกรณ์อื่นๆ

- มาร์นอมิเตอร์น้ำ (Manometer water) (ภาพที่ 7)
- บาร์รอมิเตอร์ (Barometer) (ภาพที่ 8)

2) เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องชั่ง (Balance) ที่มีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม (ภาพที่ 9)
- ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) ที่มีอุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer) (ภาพที่ 10)
- สารดูดความชื้น ซิลิกา เจล (Silica gel) (ภาพที่ 11)
- คีมคีบปากแบน (Forcep) เคลือบด้วย Teflon (ภาพที่ 12)
- ถุงมือไวนิล ไม่มีแป้ง (Vinyl non powdered gloves) สำหรับหยิบจับกระดาษกรอง (ภาพที่ 13)

- ถุงพลาสติกซิป สำหรับบรรจุกระดาษกรอง (ภาพที่ 14)
- ซองกระดาษสีน้ำตาล สำหรับบรรจุกระดาษกรอง โดยมีรายละเอียดสำหรับบันทึกข้อมูลภาคสนาม และผลการคำนวณ (ภาพที่ 15)
- เครื่องประทับหมายเลขกระดาษกรอง (Running number) (ภาพที่ 16)
- กระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter) ขนาด 8 x 10 นิ้ว (ภาพที่ 17)

3.1.2 การเตรียมกระดาษกรอง

1) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของกระดาษกรอง

- ใช้กระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter) ขนาด 8 x 10 นิ้ว ในการเก็บตัวอย่าง TSP
- ตรวจดูความไม่สมบูรณ์ของกระดาษกรอง เช่น รอยฉีกขาด รูพรุน สีของกระดาษกรองที่เปลี่ยนไป และกระดาษกรองไม่เรียบเสมอกัน เป็นต้น หากพบว่ากระดาษกรองมีความบกพร่องดังกล่าว จะไม่นำมาใช้เก็บตัวอย่าง
- กำหนดรหัสหมายเลขกระดาษกรอง โดยกำหนดเป็นตัวเลขเพื่อแสดงรายละเอียดของกระดาษกรอง เช่น ปีที่ใช้กระดาษกรอง ชนิดของกระดาษกรอง และเลขรหัสของกระดาษกรอง เป็นต้น
- ประทับรหัสหมายเลขกระดาษกรองด้วยเครื่องประทับหมายเลขลงบนด้านหลังกระดาษกรอง (ด้านที่ไม่ใช้เก็บตัวอย่าง)

2) การอบกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง

- สภาวะแวดล้อมสำหรับการอบกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง
  - ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50% โดยควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm$ 5%

- อุณหภูมิห้องระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส โดยควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน ± 3 องศาเซลเซียส

- ก่อนอบกระดาษกรอง ให้ทำความสะอาดตู้ดูดความชื้นทุกครั้ง
- นำซิลิกาเจล ใส่ในตู้ดูดความชื้น (ซิลิกาเจลที่ดูดความชื้นไว้มากๆ จะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง สามารถนำไปอบที่อุณหภูมิ 150-170 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้)
- วางกระดาษกรองบนชั้นวางของตู้ดูดความชื้นโดยหงายด้านที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น
- อบกระดาษกรอง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ใส่กระดาษกรองในถุงซิป และเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นอีก 2-3 ชั่วโมง เพื่อให้มีการดูดความชื้นในถุงซิปอีกครั้ง

ข้อควรระวัง หากต้องนำกระดาษกรองไปวิเคราะห์โลหะต่อไป ไม่ควรใช้คีมชนิดที่เป็นโลหะจับกระดาษกรอง เพราะอาจเกิดการปนเปื้อนได้

3) การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง

- เปิดเครื่องชั่งทิ้งไว้ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- ปรับเครื่องชั่งให้เป็น 0.0000 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- ปรับเทียบเครื่องชั่งด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน โดยน้ำหนักตุ้มมาตรฐานจะต้องแตกต่างจากน้ำหนักเดิมไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม หากแตกต่างจากนี้ให้ยกเลิกการชั่งในวันนั้น
- นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนัก
- บันทึกน้ำหนักกระดาษกรองลงบนถุงซิป และซองกระดาษสีน้ำตาลด้วยปากกา
- ใส่กระดาษกรองในถุงซิป และนำถุงซิปดังกล่าวพร้อมกับแนบกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ ใส่ไว้ในซองกระดาษสีน้ำตาล เพื่อเตรียมสำหรับเก็บตัวอย่างในภาคสนามต่อไป

3.2 การเก็บตัวอย่าง

3.2.1 กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง TSP ในบรรยากาศ

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง TSP ในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะกำหนดให้ช่องทางเข้าอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง สูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งมากพอที่จะไม่ดูดเอาฝุ่นละอองจากพื้นเข้าไปด้วย ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่คาดการณ์ว่าจะเกิดมลพิษสูงสุด ตำแหน่งของผู้ที่ได้รับผลกระทบ และความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

<u>หลักเกณฑ์ทั่วไปในการเลือกจุดติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP มีดังนี้</u>

- ควรติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างให้ห่างจากกันสาดอย่างน้อย 2 เมตร และอย่างน้อย 10 เมตร กรณีมีต้นไม้เป็นสิ่งกีดขวาง
- ช่องทางเข้าอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง ควรอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร อย่างน้อย 2 เท่าของความสูงของสิ่งกีดขวางที่โผล่เหนือช่องทางเข้าอากาศนั้น
- ในรัศมี 270 องศา รอบช่องทางเข้าอากาศ ต้องไม่มีอะไรกีดขวางการไหลของอากาศ
- เครื่องเก็บตัวอย่างไม่ควรอยู่ใกล้บริเวณที่มีปล่องเตาหลอมโลหะ หรือเตาเผาขยะ
- ถ้าต้องการตรวจวัด TSP จากยานพาหนะ ให้ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างใกล้ถนนที่มีรถติดมากที่สุด และในถนนที่คาดว่าจะมีความเข้มข้นของ TSP สูง

3.2.2 การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดไฮโวลุม

เครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดไฮโวลุม จะมี 2 ประเภท คือ เครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดไฮโวลุม ที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ และเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดไฮโวลุม ที่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของ

อากาศ (Volumetric Flow Controller; VFC) ในการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างดังกล่าว จะดำเนินการปรับเทียบด้วยชุดปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านการปรับเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard) และได้รับการรับรองจากผู้ผลิตแล้ว ที่เรียกว่า ชุดปรับเทียบ Orifice flow rate transfer standard หรือ Calibration orifice โดย ชุดปรับเทียบ Orifice มีอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่

1. Orifice เป็นกระบอกโลหะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร ยาว 15.9 เซนติเมตร มีรูเปิดที่ปลายด้านหนึ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.1 เซนติเมตร (ภาพที่ 18)

2. Resistance plates เป็นแผ่นต้านทานการไหลของอากาศ จำนวน 5 แผ่น แต่ละแผ่น มีจำนวนรูเปิดต่างกัน ตั้งแต่ 5, 7, 10, 13 และ 18 รู หรือ 10, 13, 18, 22 และ 24 รู (ภาพที่ 19)

1) <u>การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ</u>

การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดนี้ เป็นการปรับเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง ด้วยชุดปรับเทียบ Orifice ที่มีขั้นตอนการปรับเทียบ ดังนี้

1.1 ตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศ

- เปิดฝาบนของเครื่องเก็บตัวอย่าง คลายน็อตที่ยึดแผ่นหน้าของกระดาษกรอง (Face plate) แล้วเอาแผ่นหน้าที่ยึดกระดาษกรองดังกล่าวออก
- ติดตั้งระบบการปรับเทียบด้วยชุดปรับเทียบ Orifice โดยไม่ต้องใส่กระดาษกรอง (ภาพที่ 20)
- ตรวจเช็คการเชื่อมต่อและการอุดตันหรือหักงอของท่อต่อ ระหว่างเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศกับ Pressure tap ที่อยู่ด้านล่างของมอเตอร์

- ใส่กระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ
- ตรวจเช็คการรั่วไหลของอากาศทั้งระบบ โดยใช้ฝ่ามือปิดช่องทางเข้าอากาศของ Orifice และใช้นิ้วโป้งปิดปลายท่อที่ใช้สำหรับต่อกับมาร์นอมิเตอร์น้ำ แล้วเปิดมอเตอร์
- สังเกตการรั่วของอากาศที่ผ่านกระบอกใส่มอเตอร์ด้านล่างเครื่อง

ข้อควรระวัง ไม่ควรเปิดมอเตอร์ขณะที่อุดช่องทางเข้าอากาศของ Orifice นานเกิน 30 วินาที เพราะทำให้มอเตอร์เสียหายได้

- ปิดมอเตอร์ เอาฝ่ามือที่ปิดช่องทางเข้าอากาศของ Orifice ออก แล้วตรวจเช็คการหักงอหรือฉีกขาดของจุดเชื่อมต่อกับมาร์นอมิเตอร์ เปิดปลายท่อของมาร์นอมิเตอร์ ปล่อยให้อากาศไหลผ่าน
- ถ้าไม่มีอากาศรั่วไหล ให้ทำตามขั้นตอนต่อไป

1.2 ดำเนินการปรับเทียบ

- วางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศแผ่นแรกลงบนระหว่าง Orifice กับที่จับกระดาษกรอง โดยทำการปรับเทียบอย่างน้อย 4 จุด (ภาพที่ 21)
- ตรวจเช็คการรั่วไหลของอากาศทั้งระบบ
- ตรวจเช็คการหักงอของจุดเชื่อมต่อกับมาร์นอมิเตอร์ หมุนเปิดปลายท่อของมาร์นอมิเตอร์ ปล่อยให้อากาศไหลผ่าน แล้วสังเกตุการไหลของเหลวในท่อ เลื่อนสเกลของมาร์นอมิเตอร์ที่เป็นศูนย์ให้อยู่ตรงกับระดับของเหลวในท่อ จากนั้นต่อมาร์นอมิเตอร์ เข้ากับ Orifice และต่อเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศเข้ากับ Pressure tap ที่อยู่ด้านล่างของมอเตอร์
- บันทึกจุดเก็บตัวอย่าง หมายเลขเครื่องเก็บตัวอย่าง วันที่ และผู้ปฏิบัติงานไว้ด้านหลังของกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ
- เปิดมอเตอร์ทิ้งไว้ ประมาณ 3-5 นาที อ่านและบันทึกค่าที่อ่านได้จากมาร์นอมิเตอร์ของ Orifice (Pressure drop;**ΔH**) บันทึกค่าที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ **(I)** และข้อมูลอื่นๆ

ลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการปรับเทียบ เช่น วันที่ สถานที่ หมายเลขเครื่องเก็บตัวอย่าง อุณหภูมิ ความกดของอากาศ และหมายเลข Orifice เป็นต้น ลงแบบฟอร์มที่ 1 ภาคผนวก 2.

- ปิดมอเตอร์ วางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศแผ่นอื่นลงไป แล้วดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้นจนครบทุกแผ่น
- ปิดมอเตอร์ นำชุดปรับเทียบ Orifice ออกจากเครื่องเก็บตัวอย่าง

2) <u>การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ที่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ</u>

การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดนี้ เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตารางแสดงอัตราการไหลของอากาศจริงของ VFC (Look up table) ที่ผ่านการรับรองจากผู้ผลิตกับสถานภาพของ Critical venturi ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศในเครื่องเก็บตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบ คือ ชุดปรับเทียบ Orifice

ขั้นตอนดำเนินการปรับเทียบ

- ติดตั้งระบบการปรับเทียบด้วยชุดปรับเทียบ Orifice โดยไม่ใส่กระดาษกรอง
- วางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศแผ่นแรก ลงตรงกลางระหว่าง Orifice กับที่จับกระดาษกรอง และทำการปรับเทียบอย่างน้อย 4 จุด
- เปิดมอเตอร์ทิ้งไว้ ประมาณ 3-5 นาที
- ตรวจเช็คการรั่วไหลของอากาศทั้งระบบ โดยใช้ฝ่ามือปิดช่องทางเข้าอากาศของ Orifice และใช้นิ้วโป้งปิดปลายท่อสำหรับต่อกับมาร์นอมิเตอร์ แล้วเปิดมอเตอร์
- สังเกตการรั่วไหลของอากาศที่ผ่านกระบอกใส่มอเตอร์ด้านล่างของเครื่อง

- ตรวจเช็คการหักงอของจุดเชื่อมต่อของมาร์นอมิเตอร์โดยหมุนเปิดปลายท่อของมาร์นอมิเตอร์ให้อากาศไหลผ่าน สังเกตุการไหลของเหลวในท่อเลื่อนสเกลของมาร์นอมิเตอร์ที่ศูนย์ให้อยู่ตรงกับระดับของเหลวในท่อ ต่อมาร์นอมิเตอร์ชุดแรกเข้ากับ Orifice และต่อมาร์นอมิเตอร์อีกหนึ่งชุดเข้ากับ Pressure tap ใต้ชั้นวางกระดาษกรอง
- อ่านและบันทึกข้อมูลอื่นๆ ลงแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับการปรับเทียบ VFC เช่น วันที่ สถานที่ ผู้ดำเนินการ หมายเลข/รุ่นของ VFC อุณหภูมิ ความกดของอากาศ และหมายเลขของ Orifice เป็นต้น
- เปิดมอเตอร์ทิ้งไว้ ประมาณ 3-5 นาที บันทึกค่าความกดอากาศที่ผ่าน Orifice (Pressure drop; **ΔH**) อ่านจากมาร์นอมิเตอร์ที่ต่อกับ Orifice และบันทึกค่าความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรอง **(P_f)** อ่านจากมาร์นอมิเตอร์ ที่ต่อกับ Pressure tap ใต้ชั้นวางกระดาษกรอง ดูแบบฟอร์มบันทึกที่ 3 ภาคผนวก 3.
- ปิดมอเตอร์ แล้ววางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศแผ่นอื่นลงไป แล้วดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้น จนครบทุกแผ่น
- ปิดมอเตอร์ แล้วนำเอา Orifice ออกจากเครื่องเก็บตัวอย่าง

3.2.3 ดำเนินการเก็บตัวอย่าง

- ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ให้อยู่ในแนวระนาบ และยึดขาตั้งเครื่องให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องล้ม
- ใส่กระดาษกรองบนตะแกรงสำหรับกระดาษกรอง โดยให้หงายด้านที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น จัดวางกระดาษกรองให้สมดุลกับตะแกรง และที่จับกระดาษกรอง ตรวจเช็คจุดเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์กับเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (ภาพที่ 22)

- ใส่กระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศในเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ และตั้งเวลาเก็บตัวอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง
- เปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง บันทึกเวลาเริ่มเดินเครื่อง อุณหภูมิ ความกดของอากาศ และสภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบ
- สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ให้บันทึกค่าความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (Initial filter pressure; $P_{f(I)}$) ลงบนกระดาษสีน้ำตาล โดยอ่านค่าจากมาร์นอมิเตอร์ที่ต่อกับ Pressure tap ที่อยู่ใต้ชั้นวางกระดาษกรอง
- เมื่อครบกำหนดเวลาเก็บตัวอย่าง ให้บันทึกเวลาเครื่องหยุดทำงาน และให้บันทึกค่าความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (Final filter pressure; $P_{f(F)}$) ลงบนกระดาษสีน้ำตาล
- นำกระดาษกรองออกจากเครื่อง พับกระดาษกรองครึ่งหนึ่งตามแนวยาว ให้ด้านที่มีฝุ่นเข้าหากัน
- ใส่กระดาษกรองในถุงซิป เพื่อนำกลับไปวิเคราะห์ตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการต่อไป

3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3.1 คำนวณหาปริมาตรอากาศ

1) <u>คำนวณปริมาตรอากาศเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ</u>

- นำข้อมูลผลการปรับเทียบจากภาคสนาม (แบบฟอร์มที่ 1 ภาคผนวก 2.) มาคำนวณ

- เช็คข้อมูลของสมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ประกอบด้วย ค่า r (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์) m (ความชัน) และ b (Intercept) จากข้อมูลผลการปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศมาตรฐานจากชุดปรับเทียบ Orifice จากใบรับรองของชุดปรับเทียบ Orifice แล้วบันทึกลงในแบบฟอร์มที่ 2 ภาคผนวก 2.
- คำนวณอัตราการไหลของอากาศมาตรฐานจากชุดปรับเทียบ Orifice **(Q_{std})** แล้วบันทึกลงในแบบฟอร์มที่ 2 ภาคผนวก 2. โดยสมการ

$$Q_{std} = 1/m*([\Delta H*(P_a/P_{std})*(T_{std}/T_a)]^{1/2} - b)$$

เมื่อ

Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐานจากชุดปรับเทียบ Orifice มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที (m^3/min)

ΔH = Pressure drop เมื่อผ่าน Orifice มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ (in. H_2O)

T_a = อุณหภูมิขณะปรับเทียบ มีหน่วยเป็น องศาเคลวิล (องศาเซลเซียส + 273)

P_a = ความกดของอากาศขณะปรับเทียบ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท (mm Hg)

T_{std} = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (298 องศาเคลวิล)

P_{std} = ความกดของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (760 มิลลิเมตรปรอท)

b = Intercept จาก Calibration curve ชุดปรับเทียบ Orifice (จากใบรับรองการปรับเทียบ)

m = ความชัน จาก Calibration curve ชุดปรับเทียบ Orifice (จากใบรับรองการปรับเทียบ)

- คำนวณอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดย

1) ปรับแก้ค่าที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Transformed recorder chart reading; **IT**) ไปที่ความกดของอากาศเฉลี่ยตามภูมิประเทศ **(P_s)** และอุณหภูมิเฉลี่ยตามฤดูกาล **(T_s)** โดยสมการ

$$IT = I*[(P_a/P_s)*(T_s/T_a)]^{1/2}$$

เมื่อ

IT = ค่าที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศที่ได้ปรับแก้ค่าแล้ว (Transformed recorder chart reading)

I = ค่าที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ

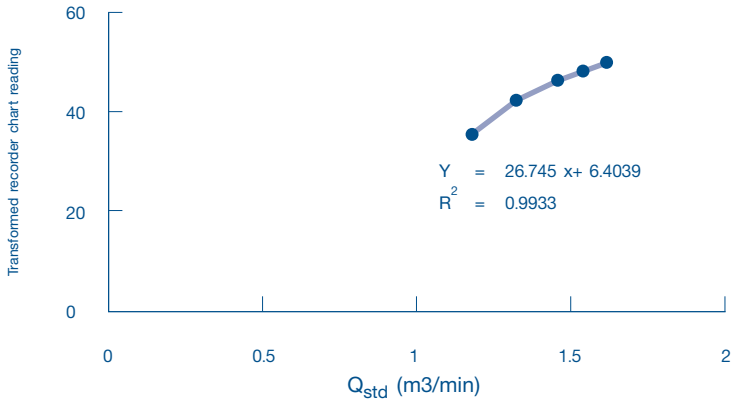
P_a = ความกดอากาศในบรรยากาศ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

P_s = ความกดอากาศเฉลี่ยตามภูมิประเทศ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

T_a = อุณหภูมิในบรรยากาศ มีหน่วยเป็น องศาเคลวิล

T_s = อุณหภูมิเฉลี่ยตามฤดูกาล มีหน่วยเป็น องศาเคลวิล

2) พล็อตกราฟอัตราการไหลของอากาศมาตรฐานจากชุดปรับเทียบ Orifice **(Q_{std})** ที่คำนวณได้บนแกน X และค่า **IT** บนแกน Y ดังตัวอย่าง



จากนั้นจะได้สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ดังนี้

$$IT = m\,[Q_{std}] + b$$

3) หาอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยการ นำค่าที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมที่บันทึกอัตราการไหลของอากาศ **(I)** ไปเทียบกับสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_{std} กับ ค่า **IT**

- คำนวณหาปริมาตรอากาศทั้งหมดที่ใช้เก็บตัวอย่าง โดยสมการ

$$V_{std} = Q_{std} * t$$

เมื่อ

V_{std} = ปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

t = เวลาในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น นาที

2) <u>คำนวณปริมาตรอากาศเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ที่มีอุปกรณ์ควบคุมการไหลของอากาศ</u>

- นำข้อมูลการปรับเทียบจากภาคสนาม (แบบฟอร์มที่ 3 ภาคผนวก 3.) มาคำนวณ
- เช็คข้อมูลสมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น ค่า r (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์) m (ความชัน) และ b (Intercept) จากข้อมูลผลการปรับเทียบอัตราการไหลอากาศมาตรฐานของ Orifice จากใบรับรองการปรับเทียบของ Orifice แล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์มที่ 4 ภาคผนวก 3.
- คำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของชุดปรับเทียบ Orifice $Q_{a(Orifice)}$ แล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์มที่ 4 ภาคผนวก 3. ด้วยสมการ

$$Q_{a\ (Orifice)} = 1/m*([\Delta H*(T_a/P_a)]^{1/2} - b)$$

เมื่อ

$Q_{a(Orifice)}$	=	อัตราการไหลอากาศที่แท้จริงของชุดปรับเทียบ Orifice มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที
ΔH	=	Pressure drop เมื่อผ่าน Orifice มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ
T_a	=	อุณหภูมิในบรรยากาศ ขณะปรับเทียบ มีหน่วยเป็น องศาเคลวิล
P_a	=	ความกดของอากาศในบรรยากาศ ขณะปรับเทียบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท
b	=	Intercept จาก Calibration curve ชุดปรับเทียบ Orifice (จากใบรับรองการปรับเทียบ)
m	=	ความชัน จาก Calibration curve ชุดปรับเทียบ Orifice (จากใบรับรองการปรับเทียบ)

❧ ในการคำนวณหาปริมาตรอากาศจากการเก็บตัวอย่างตามปกตินั้น ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรอง **(P_f)** จะคำนวณได้จากสูตร

$$P_f = [P_{f(I)} + P_{f(F)}]/2$$

เมื่อ

P_f = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองมีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ

$P_{f(I)}$ = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (Initial filter pressure) มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ

$P_{f(F)}$ = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (Final filter pressure) มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ

❧ เปลี่ยนหน่วยของความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรอง **(P_f)** จากนิ้วน้ำ เป็นมิลลิเมตรปรอท โดยใช้สูตรดังนี้

$$P_f = 25.4\ (in.\ H_2O/13.6)$$

❧ คำนวณค่าความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองจริง โดยใช้สูตรดังนี้

$$P_1 = P_a - P_f$$

เมื่อ

P_1 = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองจริง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

P_a = ความกดอากาศบรรยากาศ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

P_f = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองที่วัดได้ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

- คำนวณและบันทึกค่า Pressure ratio

$$\text{Pressure ratio} = P_1/P_a$$

เช่น Pressure ratio = 749.0/764.5 = 0.980

- นำ Pressure ratio ที่คำนวณได้ และอุณหภูมิในบรรยากาศ **(T_a)** ไปเปิดหาค่าอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของเครื่องเก็บตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจาก Look up table **($Q_{a(\text{sampler; Look up table})}$)** ดังตัวอย่างแล้วบันทึกลงในแบบฟอร์ม 4 ภาคผนวก 3.

ตัวอย่าง : ตารางแสดงอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของ VFC จาก Look up table มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
P_1/P_a	26	28	30	32
0.978	1.189	1.193	1.197	1.200
0.979	1.191	1.194	1.198	1.201
0.980	1.192	1.196	1.199	1.203
0.981	1.193	1.197	1.200	1.204
0.982	1.195	1.198	1.202	1.205

ตัวอย่าง : นำ Pressure ratio ที่คำนวณได้ (0.980) ไปเปิดใน Look up table ที่

อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของอากาศจริง = 1.196 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของอากาศจริง = 1.199 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของอากาศจริง = (1.196 + 1.199)/2

= 1.198 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

- คำนวณหาร้อยละความแตกต่าง **(%Difference)** ระหว่างอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของชุดปรับเทียบ Orifice **($Q_{a(Orifice)}$)** กับอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของเครื่องเก็บตัวอย่าง **($Q_{a(Sampler;\ look\ up\ table)}$)** โดยใช้สูตรดังนี้

$$\%Difference = \frac{Q_{a(sampler)} - Q_{a(orifice)}}{Q_{a(orifice)}} \times 100$$

หากร้อยละความแตกต่างที่คำนวณได้ไม่เกิน $\pm$ 3% แสดงว่า Look up table ถูกต้อง สามารถใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศในการเก็บตัวอย่างได้ หากเกิน $\pm$ 3% ให้ทำการปรับเทียบใหม่อีกครั้ง ถ้ายังเกินอยู่ ให้พล็อตกราฟแสดงความสมพันธ์ใหม่

โดยกำหนดให้ แกน X คือ $\left[Q_{a(orifice)}/(T_a)^{1/2}\right]$

แกน Y คือ (P_1/P_a)

- ปรับแก้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง **($Q_{a(sampler)}$)** ให้เป็นอัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน **(Q_{std})** ที่สภาวะมาตรฐาน โดยสมการ

$$Q_{std} = Q_{a(sampler)} * (P_a/P_{std}) * (T_{std}/T_a)$$

เมื่อ

Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน (ความกดของอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิ 298 องศาเคลวิล) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

$Q_{a(sampler)}$ = อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

P_a = ความกดของอากาศในบรรยากาศ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

P_{std} = ความกดของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (760 มิลลิเมตรปรอท)

T_a = อุณหภูมิในบรรยากาศ มีหน่วยเป็น องศาเคลวิล

T_{std} = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (298 องศาเคลวิล)

- คำนวณหาปริมาตรอากาศทั้งหมดในการเก็บตัวอย่าง **(V_{std})** โดยสมการ

$$V_{std} = Q_{std} * t$$

เมื่อ

V_{std} = ปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

t = เวลาในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น นาที

3.3.2 การอบกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง

- สภาวะแวดล้อมสำหรับการอบกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง
  - ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50% โดยควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm$ 5%
  - อุณหภูมิห้องระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส โดยควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm$ 3 องศาเซลเซียส
- ก่อนอบกระดาษกรอง ให้ทำความสะอาดตู้ดูดความชื้นทุกครั้ง
- นำซิลิกาเจล ใส่ในตู้ดูดความชื้น

- คลี่รอยพับครึ่งของกระดาษกรองออก และวางบนชั้นวางของตู้ดูดความชื้น โดยหงายด้านที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น
- อบกระดาษกรอง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้พับกระดาษกรองตามแนวเดิม เพื่อเตรียมไปชั่งน้ำหนักต่อไป

3.3.3 การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง

- เปิดเครื่องชั่งทิ้งไว้ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- ปรับเครื่องชั่งให้เป็น 0.0000 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- ปรับเทียบเครื่องชั่งด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน โดยน้ำหนักตุ้มมาตรฐานจะต้องแตกต่างจากน้ำหนักเดิมไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม หากแตกต่างจากนี้ให้ยกเลิกการชั่งน้ำหนักวันนั้น
- นำกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้ว มาชั่งน้ำหนัก
- บันทึกน้ำหนักกระดาษกรอง ลงบนซองกระดาษสีน้ำตาล เพื่อนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองต่อไป

3.3.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของ TSP

$$\text{ความเข้มข้นของ TSP (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)} = \frac{(W_f - W_i) * 10^3}{V_{std}}$$

เมื่อ

W_f = น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม

W_i = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม

V_{std} = ปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

10^3 = การแปลงหน่วยจาก กรัม เป็น มิลลิกรัม

ส่วนที่ 4 การตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})

4.1 การเตรียมการ

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ชนิดไฮโวลุม (ภาพที่ 23) ประกอบด้วย

- หัวคัดขนาดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (ภาพที่ 24)
- มอเตอร์ สำหรับดูดอากาศให้ไหลผ่านกระดาษกรอง (ภาพที่ 2)
- เครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder) (ภาพที่ 3)
- กระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder chart) (ภาพที่ 4)
- อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Control flow device) (ภาพที่ 5)
- อุปกรณ์ตั้งเวลาเปิด-ปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง (Timer) (ภาพที่ 6)

อุปกรณ์อื่นๆ

- มาร์นอมิเตอร์น้ำ (Manometer water) (ภาพที่ 7)
- บาร์รอมิเตอร์ (Barometer) (ภาพที่ 8)

2) เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องชั่ง (Balance) ที่มีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม (ภาพที่ 9)
- ตู้ดูดความชื้น (Desiccator) ที่มีอุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer) (ภาพที่ 10)
- สารดูดความชื้น ซิลิกา เจล (Silica gel) (ภาพที่ 11)
- คีมคีบปากแบน (Forcep) เคลือบด้วย Teflon (ภาพที่ 12)
- ถุงมือชนิดไวนิล ไม่มีแป้ง (Vinyl non powdered gloves) สำหรับหยิบจับกระดาษกรอง (ภาพที่ 13)

- ถุงพลาสติกซิป สำหรับบรรจุกระดาษกรอง (ภาพที่ 14)
- ซองกระดาษสีน้ำตาล สำหรับบรรจุกระดาษกรอง โดยมีรายละเอียดสำหรับบันทึกข้อมูลภาคสนามและผลการคำนวณ (ภาพที่ 15)
- เครื่องประทับหมายเลขกระดาษกรอง (Running number) (ภาพที่ 16)
- กระดาษกรองใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาด 8 x 10 นิ้ว (ภาพที่ 25)

4.1.2 การเตรียมกระดาษกรอง

1) <u>ตรวจสอบความสมบูรณ์ของกระดาษกรอง</u>

- ใช้กระดาษกรองใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาด 8 x 10 นิ้ว ในการเก็บตัวอย่าง PM_{10}
- ตรวจดูความไม่สมบูรณ์ของกระดาษกรอง เช่น รอยฉีกขาด รูพรุน สีของกระดาษกรองที่เปลี่ยนไป และกระดาษกรองไม่เรียบเสมอกัน เป็นต้น หากพบว่ากระดาษกรองมีความบกพร่องดังกล่าว จะไม่นำมาใช้เก็บตัวอย่าง
- การกำหนดรหัสหมายเลขกระดาษกรอง ควรกำหนดรหัสเป็นตัวเลขที่แสดงถึงรายละเอียดของกระดาษกรอง เช่น ปีที่ใช้กระดาษกรอง ชนิดของกระดาษกรอง และรหัสของกระดาษกรอง เป็นต้น
- ประทับรหัสหมายเลขกระดาษกรองด้วยเครื่องประทับหมายเลข ลงด้านหลังกระดาษกรอง (ด้านที่ไม่ใช้เก็บตัวอย่าง)

2) <u>การอบกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง</u>

- สภาวะแวดล้อมสำหรับการอบกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง
  - ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50% โดยควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm$ 5%

- อุณหภูมิห้องระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส โดยควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm$ 3 องศาเซลเซียส

- ก่อนอบกระดาษกรอง ให้ทำความสะอาดตู้ดูดความชื้นทุกครั้ง
- นำซิลิกาเจล ใส่ในตู้ดูดความชื้น (ซิลิกาเจลที่ดูดความชื้นไว้มากๆ จะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นม่วง สามารถนำไปอบที่อุณหภูมิ 150-170 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้)
- วางกระดาษกรองบนชั้นวางของตู้ดูดความชื้น โดยหงายด้านที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น
- อบกระดาษกรอง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ใส่กระดาษกรองในถุงซิป และเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นอีก 2-3 ชั่วโมง เพื่อให้มีการดูดความชื้นในถุงซิปอีกครั้ง

ข้อควรระวัง หากต้องนำกระดาษกรองไปวิเคราะห์โลหะต่อไป ไม่ควรใช้คีมชนิดที่เป็นโลหะจับกระดาษกรอง เพราะอาจเกิดการปนเปื้อนได้

3) การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง

- เปิดเครื่องชั่งทิ้งไว้ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- ปรับเครื่องชั่งให้เป็น 0.0000 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- ปรับเทียบเครื่องชั่งด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน โดยน้ำหนักตุ้มมาตรฐานจะต้องแตกต่างจากน้ำหนักเดิมไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม หากแตกต่างจากนี้ให้ยกเลิกการชั่งในวันนั้น
- นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนัก
- บันทึกน้ำหนักกระดาษกรองลงบนถุงซิป และซองกระดาษสีน้ำตาลด้วยปากกา

- ใส่กระดาษกรองในถุงซิป และนำถุงซิปดังกล่าวพร้อมกับแนบกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ ใส่ไว้ในซองกระดาษสีน้ำตาล เพื่อเตรียมสำหรับเก็บตัวอย่างในภาคสนามต่อไป

4.2 การเก็บตัวอย่าง

4.2.1 กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง PM_{10} ในบรรยากาศ

การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง PM_{10} ในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะกำหนดให้ช่องทางเข้าอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง สูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.50 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งมากพอที่จะไม่ดูดเอาฝุ่นละอองจากพื้นเข้าไปด้วย ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่คาดการณ์ว่าจะเกิดมลพิษสูงสุด ตำแหน่งของผู้ที่ได้รับผลกระทบ และความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

<u>หลักเกณฑ์ทั่วไปในการเลือกจุดติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} มีดังนี้</u>

- ควรติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างให้ห่างจากกันสาดอย่างน้อย 2 เมตร และอย่างน้อย 10 เมตร กรณีมีต้นไม้เป็นสิ่งกีดขวาง
- ช่องทางเข้าอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่าง ควรอยู่ห่างจากสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร อย่างน้อย 2 เท่าของความสูงของสิ่งกีดขวางที่โผล่เหนือช่องทางเข้าอากาศนั้น
- ในรัศมี 270 องศา รอบช่องทางเข้าอากาศ ต้องไม่มีอะไรกีดขวางการไหลของอากาศ
- เครื่องเก็บตัวอย่างไม่ควรอยู่ใกล้บริเวณที่มีปล่องเตาหลอมโลหะ หรือเตาเผาขยะ
- ถ้าต้องการวัด PM_{10} จากยานพาหนะ ให้ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างใกล้ถนนที่มีรถติดมากที่สุด และในถนนที่คาดว่าจะมีความเข้มข้นของ PM_{10} สูง

4.2.2 การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ชนิดไฮโวลุม

เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ชนิดไฮโวลุม จะมีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Volumetric Flow Controller; VFC) ในการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง จึงเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตารางแสดงอัตราการไหลของอากาศจริงของ VFC (Look up table) ที่ผ่านการรับรองจากผู้ผลิต กับสถานภาพของ Critical venturi ที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของอากาศในเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10}

ในการปรับเทียบจะดำเนินการด้วยชุดปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านการปรับเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard) และได้รับการรับรองจากผู้ผลิตแล้ว ที่เรียกว่า ชุดปรับเทียบ Orifice flow rate transfer standard หรือ Calibration orifice โดยชุดปรับเทียบ Orifice มีอุปกรณ์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่

1. **Orifice** เป็นกระบอกโลหะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร ยาว 15.9 เซนติเมตร มีรูเปิดที่ปลายด้านหนึ่ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.1 เซนติเมตร (ภาพที่ 18)

2. **Resistance plates** เป็นแผ่นต้านทานการไหลของอากาศ จำนวน 5 แผ่น แต่ละแผ่นมีจำนวนรูเปิดต่างกัน ตั้งแต่ 5, 7, 10, 13 และ 18 รู หรือ 10, 13, 18, 22 และ 24 รู (ภาพที่ 19)

ขั้นตอนดำเนินการปรับเทียบ

- ติดตั้งระบบการปรับเทียบด้วยชุดปรับเทียบ Orifice โดยไม่ใส่กระดาษกรอง (ภาพที่ 26)
- วางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศแผ่นแรก ลงตรงกลางระหว่าง Orifice กับ ที่จับกระดาษกรอง และทำการปรับเทียบอย่างน้อย 4 จุด

- เปิดมอเตอร์ทิ้งไว้ ประมาณ 3-5 นาที
- ตรวจเช็คการรั่วไหลของอากาศทั้งระบบ โดยใช้ฝ่ามือปิดช่องทางเข้าอากาศของ Orifice และใช้นิ้วโป้งปิดปลายท่อสำหรับต่อกับมาร์นอมิเตอร์แล้วเปิดมอเตอร์
- สังเกตการรั่วไหลของอากาศที่ผ่านกระบอกใส่มอเตอร์ด้านล่างของเครื่อง
- ตรวจเช็คการหักงอของจุดเชื่อมต่อของมาร์นอมิเตอร์ โดยหมุนเปิดปลายท่อของมาร์นอมิเตอร์ให้อากาศไหลผ่าน สังเกตการไหลของเหลวในท่อเลื่อนสเกลของมาร์นอมิเตอร์ที่ศูนย์ให้อยู่ตรงกับระดับของเหลวในท่อ ต่อมาร์นอมิเตอร์ชุดแรกเข้ากับ Orifice และต่อมาร์นอมิเตอร์อีกหนึ่งชุดเข้ากับ Pressure tap ใต้ชั้นวางกระดาษกรอง
- อ่านและบันทึกข้อมูลอื่นๆ ลงแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลสำหรับการปรับเทียบ VFC เช่น วันที่ สถานที่ ผู้ดำเนินการ หมายเลข/รุ่นของ VFC อุณหภูมิ ความกดของอากาศ และหมายเลขของ Orifice เป็นต้น
- เปิดมอเตอร์ทิ้งไว้ ประมาณ 3-5 นาที บันทึกค่าความกดอากาศที่ผ่าน Orifice (Pressure drop; **ΔH**) อ่านจากมาร์นอมิเตอร์ที่ต่อกับ Orifice และบันทึกค่าความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรอง **(P_f)** อ่านจากมาร์นอมิเตอร์ที่ต่อกับ Pressure tap ใต้ชั้นวางกระดาษกรอง ลงในแบบฟอร์มบันทึกที่ 3 ภาคผนวก 3.
- ปิดมอเตอร์ แล้ววางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศแผ่นอื่นลงไป แล้วดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้น จนครบทุกแผ่น
- ปิดมอเตอร์ แล้วนำเอา Orifice ออกจากเครื่องเก็บตัวอย่าง

4.2.3 ดำเนินการเก็บตัวอย่าง

- ใส่หัวคัดขนาดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
- เช็ดฝุ่นภายในเครื่องเก็บตัวอย่างให้สะอาด โดยพ่นหรือทา Silicone grease บนแผ่นดักฝุ่น เพื่อดักฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน แล้วปิดฝาเครื่องให้สนิท เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ (ภาพที่ 27)
- ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ให้อยู่ในแนวระนาบ และยึดขาตั้งเครื่องให้แน่น เพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องล้ม
- ใส่กระดาษกรองใยหิน บนตะแกรงสำหรับกระดาษกรอง ให้หงายด้านที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น จัดวางกระดาษกรองให้สมดุลกับตะแกรง และที่จับกระดาษกรอง และตรวจเช็คจุดเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์กับเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (ภาพที่ 22)
- ใส่กระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศในเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ และตั้งเวลาเก็บตัวอย่าง ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง
- เปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง บันทึกเวลาเริ่มเดินเครื่อง อุณหภูมิ ความกดของอากาศ และสภาพแวดล้อมบริเวณโดยรอบ
- สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างที่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ให้บันทึกค่าความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (Initial filter pressure; $\mathbf{P_{f(I)}}$) ลงบนกระดาษสีน้ำตาล โดยอ่านค่าจากมาร์นอมิเตอร์ที่ต่อกับ Pressure tap ที่อยู่ใต้ชั้นวางกระดาษกรอง
- เมื่อครบกำหนดเวลาเก็บตัวอย่าง ให้บันทึกเวลาเครื่องหยุดทำงาน และให้บันทึกค่าความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (Final filter pressure; $\mathbf{P_{f(F)}}$) ลงบนกระดาษสีน้ำตาล

- นำกระดาษกรองออกจากเครื่อง พับกระดาษกรองครึ่งหนึ่งตามแนวยาว ให้ด้านที่มีฝุ่นเข้าหากัน
- ใส่กระดาษกรองในถุงซิป เพื่อนำกลับไปวิเคราะห์ตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการต่อไป

4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

4.3.1 คำนวณหาปริมาตรอากาศเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10}

- นำข้อมูลผลการปรับเทียบภาคสนามจากแบบฟอร์มที่ 3 ภาคผนวก 3. มาคำนวณ
- เช็คข้อมูลสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น ประกอบด้วยค่า **r** (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์) **m** (ความชัน) และ **b** (intercept) จากข้อมูลผลการปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศมาตรฐานจากชุดปรับเทียบ Orifice จากใบรับรองการปรับเทียบของชุดปรับเทียบ Orifice แล้วบันทึกลงในแบบฟอร์มที่ 4 ภาคผนวก 3.
- คำนวณอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของชุดปรับเทียบ Orifice $Q_{a(Orifice)}$ แล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์มที่ 4 ภาคผนวก 3. ด้วยสมการ

$$Q_{a(Orifice)} = 1/m*([\Delta H*(T_a/P_a)]^{1/2} - b)$$

เมื่อ

$Q_{a(Orifice)}$ = อัตราการไหลอากาศที่แท้จริงของชุดปรับเทียบ Orifice มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

ΔH = Pressure drop เมื่อผ่าน Orifice มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ

T_a = อุณหภูมิในบรรยากาศ ขณะปรับเทียบ มีหน่วยเป็น องศาเคลวิล

P_a = ความกดของอากาศในบรรยากาศ ขณะปรับเทียบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

b = Intercept จาก Calibration curve ชุดปรับเทียบ Orifice (จากใบรับรองการปรับเทียบ)

m = ความชัน จาก Calibration curve ชุดปรับเทียบ Orifice (จากใบรับรองการปรับเทียบ)

- ในการคำนวณหาปริมาตรอากาศจากการเก็บตัวอย่างตามปกตินั้น ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรอง **(P_f)** จะคำนวณได้จากสูตร

$$P_f = [P_{f(I)} + P_{f(F)}]/2$$

เมื่อ

P_f = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองมีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ

$P_{f(I)}$ = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (Initial filter pressure) มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ

$P_{f(F)}$ = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (Final filter pressure) มีหน่วยเป็น นิ้วน้ำ

- เปลี่ยนหน่วยของความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรอง **(P_f)** จากนิ้วน้ำ เป็นมิลลิเมตรปรอท โดยใช้สูตรดังนี้

$$P_f = 25.4\ (\text{in. } H_2O/13.6)$$

- คำนวณค่าความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองจริง โดยใช้สูตรดังนี้

$$P_1 = P_a - P_f$$

เมื่อ

P_1 = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองจริง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

P_a = ความกดอากาศบรรยากาศ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

P_f = ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรองที่วัดได้ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

- คำนวณและบันทึกค่า Pressure ratio

$$\text{Pressure ratio} = P_1/P_a$$

เช่น Pressure ratio = 749.0/765.5 = 0.979

- นำ Pressure ratio ที่คำนวณได้ และอุณหภูมิในบรรยากาศ **(T_a)** ไปเปิดหาค่าอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของเครื่องเก็บตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจาก Look up table **($Q_{a(sampler;\ Look\ up\ table)}$)** ดังตัวอย่างแล้วบันทึกลงในแบบฟอร์ม 4 ภาคผนวก 3.

ตัวอย่าง : ตารางแสดงอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของ VFC จาก Look up table มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			
P_1/P_a	26	28	30	32
0.978	1.189	1.193	1.197	1.200
0.979	1.191	1.194	1.198	1.201
0.980	1.192	1.196	1.199	1.203
0.981	1.193	1.197	1.200	1.204
0.982	1.195	1.198	1.202	1.205

ตัวอย่าง นำ Pressure ratio ที่คำนวณได้ (0.979) ไปเปิดใน Look up table ที่

อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของอากาศจริง = 1.194 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของอากาศจริง = 1.198 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของอากาศจริง = (1.194 + 1.198)/2

= 1.196 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

- คำนวณหาร้อยละความแตกต่าง **(%Difference)** ระหว่างอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของชุดปรับเทียบ Orifice **($Q_{a(Orifice)}$)** กับอัตราการไหลของอากาศที่แท้จริงของเครื่องเก็บตัวอย่าง **($Q_{a(Sampler;\ look\ up\ table)}$)** โดยใช้สูตรดังนี้

$$\%Difference = \frac{Q_{a(sampler)} - Q_{a(orifice)}}{Q_{a(orifice)}} \times 100$$

หากร้อยละความแตกต่างที่คำนวณได้ไม่เกิน ± 3% แสดงว่า Look up table ถูกต้อง สามารถใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศในการเก็บตัวอย่างได้ หากเกิน ± 3% ให้ทำการปรับเทียบใหม่อีกครั้ง ถ้ายังเกินอยู่ ให้พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ใหม่

โดยกำหนดให้ แกน X คือ $[Q_{a(orifice)}/(T_a)^{1/2}]$

แกน Y คือ (P_1/P_a)

- ปรับแก้ค่าอัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง **($Q_{a(sampler)}$)** ให้เป็นอัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน **(Q_{std})** ที่สภาวะมาตรฐาน โดยสมการ

$$Q_{std} = Q_{a(sampler)} * (P_a/P_{std}) * (T_{std}/T_a)$$

เมื่อ

Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน (ความกดของอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิ 298 องศาเคลวิล) มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

$Q_{a(sampler)}$ = อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

P_a = ความกดของอากาศในบรรยากาศ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท

P_{std} = ความกดของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (760 มิลลิเมตรปรอท)

T_a = อุณหภูมิในบรรยากาศ มีหน่วยเป็น องศาเคลวิล

T_{std} = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (298 องศาเคลวิล)

- คำนวณหาปริมาตรอากาศทั้งหมดในการเก็บตัวอย่าง **(V_{std})** โดยสมการ

$$V_{std} = Q_{std} * t$$

เมื่อ

V_{std} = ปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

t = เวลาในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น นาที

4.3.2 การอบกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง

- สภาวะแวดล้อมสำหรับการอบกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง
  - ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50% โดยควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm$ 5%
  - อุณหภูมิห้องระหว่าง 15-30 องศาเซลเซียส โดยควบคุมไม่ให้เปลี่ยนแปลงเกิน $\pm$ 3 องศาเซลเซียส
- ก่อนอบกระดาษกรอง ให้ทำความสะอาดตู้ดูดความชื้นทุกครั้ง
- นำซิลิกาเจล ใส่ในตู้ดูดความชื้น
- คลี่รอยพับครึ่งของกระดาษกรองออก และวางบนชั้นวางของตู้ดูดความชื้น โดยหงายด้านที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น
- อบกระดาษกรอง อย่างน้อย 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ให้พับกระดาษกรองตามแนวเดิม เพื่อเตรียมไปชั่งน้ำหนักต่อไป

4.3.3 การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง

- เปิดเครื่องชั่งทิ้งไว้ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง
- ปรับเครื่องชั่งให้เป็น 0.0000 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)
- ปรับเทียบเครื่องชั่งด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐานโดยน้ำหนักตุ้มมาตรฐานจะต้องแตกต่างจากน้ำหนักเดิมไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัม หากแตกต่างจากนี้ให้ยกเลิกการชั่งน้ำหนักวันนั้น
- นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้ว มาชั่งน้ำหนัก
- บันทึกน้ำหนักกระดาษกรอง ลงบนซองกระดาษสีน้ำตาล เพื่อนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองต่อไป

4.3.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของ PM_{10}

$$\text{ความเข้มข้นของ } PM_{10} \text{ (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)} = \frac{(W_f - W_i)*10^3}{V_{std}}$$

เมื่อ

W_f = น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม

W_i = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม

V_{std} = ปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

10^3 = การแปลงหน่วยจาก กรัม เป็น มิลลิกรัม

ส่วนที่ 5 ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปสำหรับประเทศไทย

สารมลพิษ *	ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง		ค่าเฉลี่ย 1 เดือน		ค่าเฉลี่ย 1 ปี **		วิธีการตรวจวัด	
	มก./ลบ.ม (mg/m^3)	ส่วนในล้านส่วน (PPM)	มก./ลบ.ม (mg/m^3)	ส่วนในล้านส่วน (PPM)	มก./ลบ.ม (mg/m^3)	ส่วนในล้านส่วน (PPM)	มก./ลบ.ม (mg/m^3)	ส่วนในล้านส่วน (PPM)	มก./ลบ.ม (mg/m^3)	ส่วนในล้านส่วน (PPM)	วิธีมาตรฐาน	วิธีเทียบเท่า
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	34.2	30	10.26	9	-	-	-	-	-	-	Non-Dispersive Infared Detection	-
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	0.32	0.17	-	-	-	-	-	-	-		Chemiluminescence	-
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	0.78	0.3	-	-	0.3	0.12	-	-	0.1	0.04	Pararosaniline (ค่าเฉลี่ย 24 ชม. และ 1 ปี) UV-Fluorescence (ค่าเฉลี่ย 1 ชม.)	Pararosaniline (ค่าเฉลี่ย 1 ชม.) UV-Fluorescence (ค่าเฉลี่ย 24 ชม. และ 1 ปี)
ฝุ่นรวม (TSP)	-	-	-	-	0.33	-	-	-	0.1	-	Gravimetric-High Volume	-
ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})	-	-	-	-	0.12	-	-	-	0.05	-	Gravimetric-High Volume	Beta Ray Tapered Element Oscillating Microbalance Dichotomous
โอโซน (O_2)	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	Chemiluminescence	Ultraviolet Absorption Photometry
สารตะกั่ว (P_b)	-	-	-	-	-	-	1.5	-	-	-	Atomic Absorption Spectrometer	-

หมายเหตุ * ค่าความเข้มข้นของก๊าซ คำนวณที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

** ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (อยู่ระหว่างการปรับปรุงเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิต)

ภาคผนวก 2

แบบฟอร์มบันทึกผลการปรับเทียบและการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ
สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

แบบฟอร์มที่ 1 แบบบันทึกผลการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

CALIBRATION DATA SHEET กรณี ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

ที่ตั้งสถานี (Station Location) _____

วันที่ _____ เวลา _____

ประเภทเครื่อง [ ] TSP [ ] PM_{10}

Orifice transfer standard S/N _____

ความกดของอากาศ (P_a) _____ in. Hg อุณหภูมิบรรยากาศ (T_a) _____ C

ความกดของอากาศเฉลี่ยตามฤดูกาล (P_s) ___ mm Hg อุณหภูมิเฉลี่ยตามฤดูกาล (T_s) ___C

เจ้าหน้าที่ที่ดำเนินการ : 1. _____

2. _____

ตารางบันทึกผล

Plate no.	Orifice Manometer (in. H_2O)	Recorder reading (I)

หมายเหตุ _____

_____

<u>แบบฟอร์มที่ 2</u> แบบบันทึกผลการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

SAMPLER CALIBRATION DATA SHEET

Orifice transfer standard S/N _____

Orifice calibration relationship; m = _____ b = _____ r = _____

Plate no.	Orifice Manometer (in. H_2O)	Recorder reading (I)	X-axis = $Q_{std(Orifice)}^{a}$	Y-axis = Transformed recorder reading $[IT]^b$

a ; $Q_{std(Orifice)} = 1/m*([(\Delta H(P_a/P_{std})(T_{std}/T_a)]^{1/2} - b)$

b ; $[IT] = I*[(P_a/P_s)*(T_s/T_a)]^{1/2}$

Sampler calibration relationship ($Q_{std(orifice)}$ on x-axis; $[IT]$ on y-axis)

$IT = m[Q_{std(Orifice)}] + b$

r = _____ , m = _____ , b = _____

ภาคผนวก 3

แบบฟอร์มบันทึกผลการปรับเทียบและการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ
สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP/PM_{10} ที่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

แบบฟอร์มที่ 3 แบบบันทึกผลการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP/PM_{10} ที่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

VFC SAMPLER CALIBRATION DATA SHEET

ที่ตั้งสถานี (Station Location) _____

วันที่ _____ เวลา _____

ประเภทเครื่อง [ ] TSP [ ] PM_{10}

Volumetric flow controller (VFC) S/N _____

Orifice transfer standard S/N _____

ความกดของอากาศ (P_a) _____ mm Hg อุณหภูมิบรรยากาศ (T_a) _____ C

เจ้าหน้าที่ที่ดำเนินการ : 1. _____

2. _____

ตารางบันทึกผล

Plate no.	Orifice manometer (in. H_2O)	P_f (in. H_2O)

หมายเหตุ _____

_____

<u>แบบฟอร์มที่ 4</u> แบบบันทึกผลการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP/PM_{10} ที่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

VFC SAMPLER CALIBRATION DATA SHEET

Orifice transfer standard S/N ___ T_a = ___ K, ___ P_a = ___ mm Hg (C)

Orifice calibration relationship; m = _____ b = _____ r = _____

Plate no.	Orifice Manometer (in. H_2O)	$Q_{a(Orifice)}$	P_f (mm Hg)	$P_1=P_a-P_f$	P_1/P_a	$Q_{a(Sampler; Look up table)}$

$Q_{a(Orifice)}$	$Q_{a(Sampler; look up table)}$	%Difference

P_f (mm Hg) = 25.4 (in. H_2O/13.6)

$Q_{a(Orifice)} = 1/m\{[(\Delta H)*(T_a/P_a)]^{1/2} - b\}$

$$\%Difference = \frac{Q_{a(sampler)} - Q_{a(orifice)}}{Q_{a(orifice)}} \times 100$$

<u>Sampler calibration relationship</u>

[ ] Look up table validated (%difference < 3%)

[ ] New calibration relationship

$X = [Q_{a(orifice)}/(T_a)^{1/2}]$, $Y = (P_1/P_a)$

r = _____ , m = _____ , b = _____

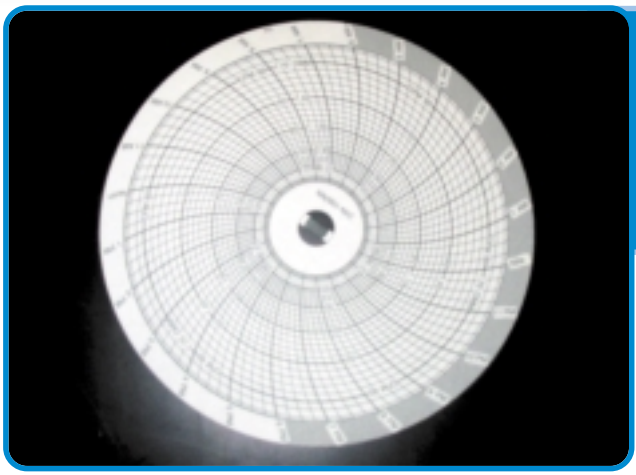
ภาพที่ 1 เครื่องเก็บตัวอย่าง TSP ชนิดไฮโวลุม

ภาพที่ 2 มอเตอร์สำหรับดูดอากาศให้ไหลผ่านกระดาษกรอง

ภาพที่ 3 เครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder)

3

ภาพที่ 4 กระดาษกราฟสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder Chart)

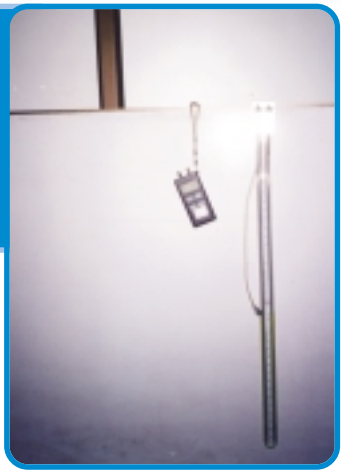


4

ภาพที่ 5 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Control flow device)

ภาพที่ 6 อุปกรณ์ตั้งเวลาเปิด-ปิดเครื่องเก็บตัวอย่าง (Timer)

ภาพที่ 7 มาร์นอมิเตอร์น้ำ (Manometer water)

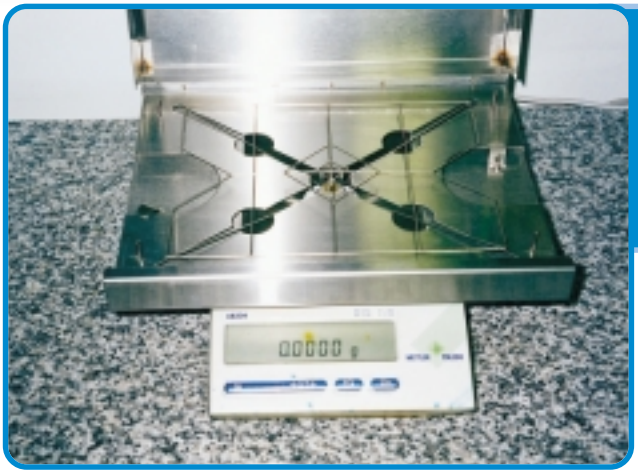


7

ภาพที่ 8 บาร์รอมิเตอร์ (Barometer)

8

ภาพที่ 9 เครื่องชั่ง (Balance)



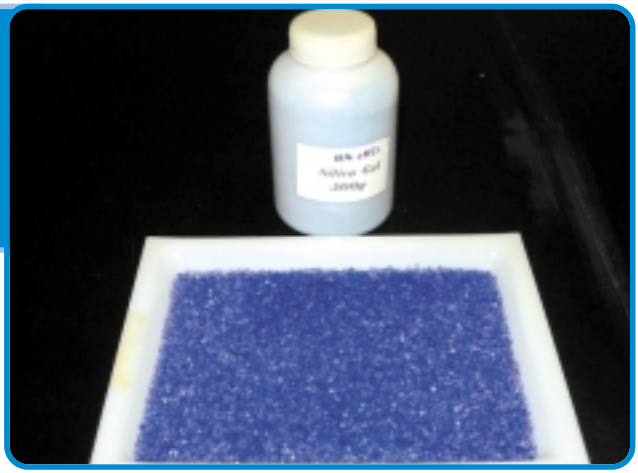
9

ภาพที่ 10 ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

10

ภาพที่ 11 สารดูดความชื้นซิลิกา เจล (Silica gel)

11



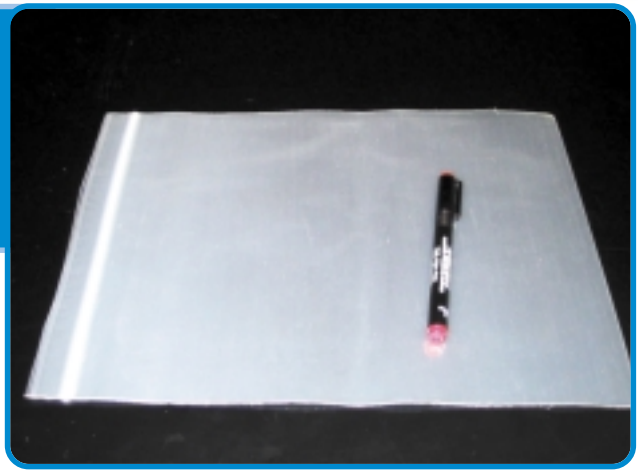
ภาพที่ 12 คีมคีบปากแบน (Forcep)

12

ภาพที่ 13 ถุงมือไวนิล ไม่มีแป้ง (Vinyl non powdered gloves)

13

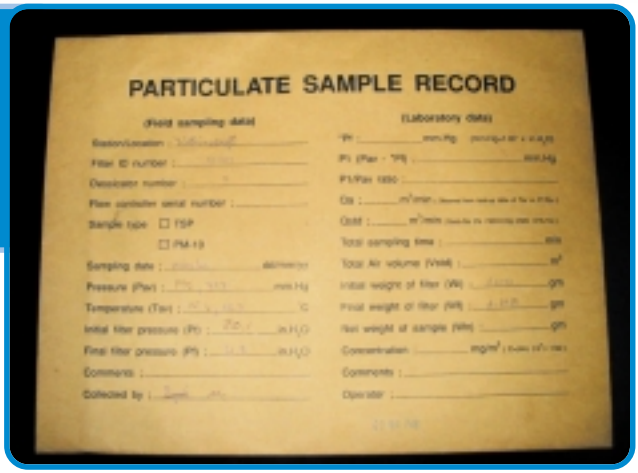
ภาพที่ 14 ถุงพลาสติคซิป สำหรับบรรจุกระดาษกรอง



14

ภาพที่ 15 ซองกระดาษสีน้ำตาล สำหรับบรรจุกระดาษกรอง

15



ภาพที่ 16 เครื่องประทับหมายเลขกระดาษกรอง (Running number)

16

ภาพที่ 17 กระดาษกรองใยแก้ว (Glass fiber filter)

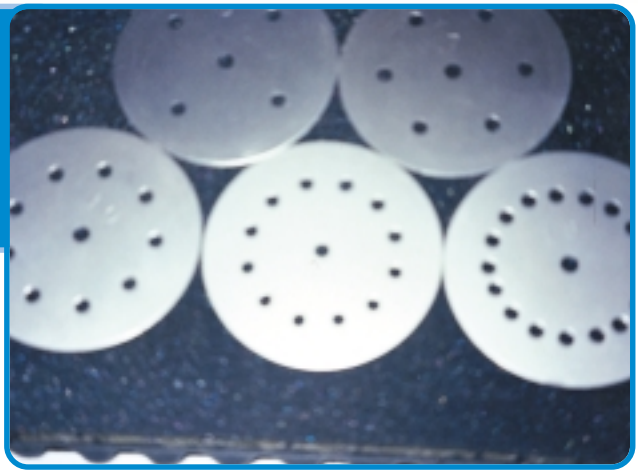
17

ภาพที่ 18 Orifice ของชุดปรับเทียบ

18

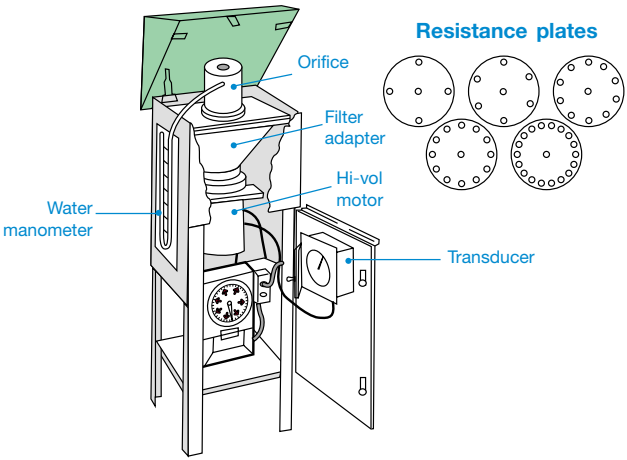
ภาพที่ 19 แผ่นต้านทานการไหลของอากาศ (Resistance Plates)

19

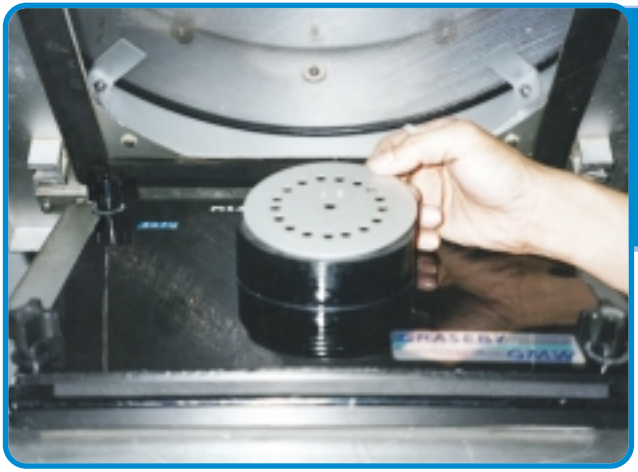


ภาพที่ 20 การติดตั้งชุดปรับเทียบ Orifice สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง TSP

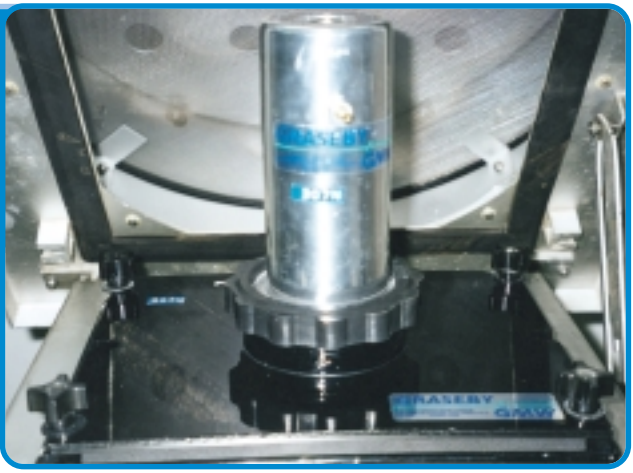
20



ภาพที่ 21 การวางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศ



21/1

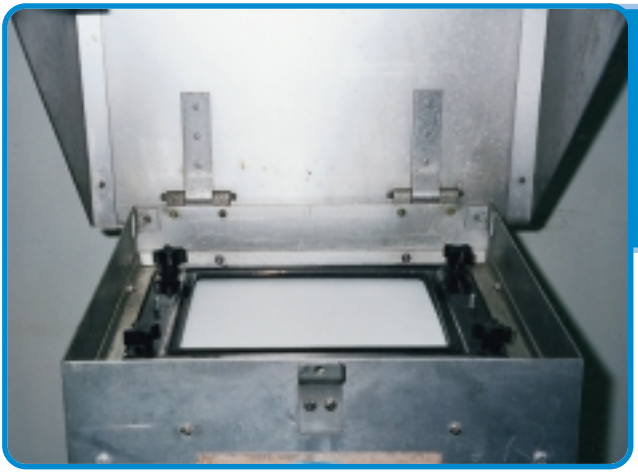


21/2

ภาพที่ 22 การวางกระดาษกรองในเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดไฮโวลุม

22/1

22/2



ภาพที่ 23 เครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10} ชนิดไฮโวลุม

23/1

23/2

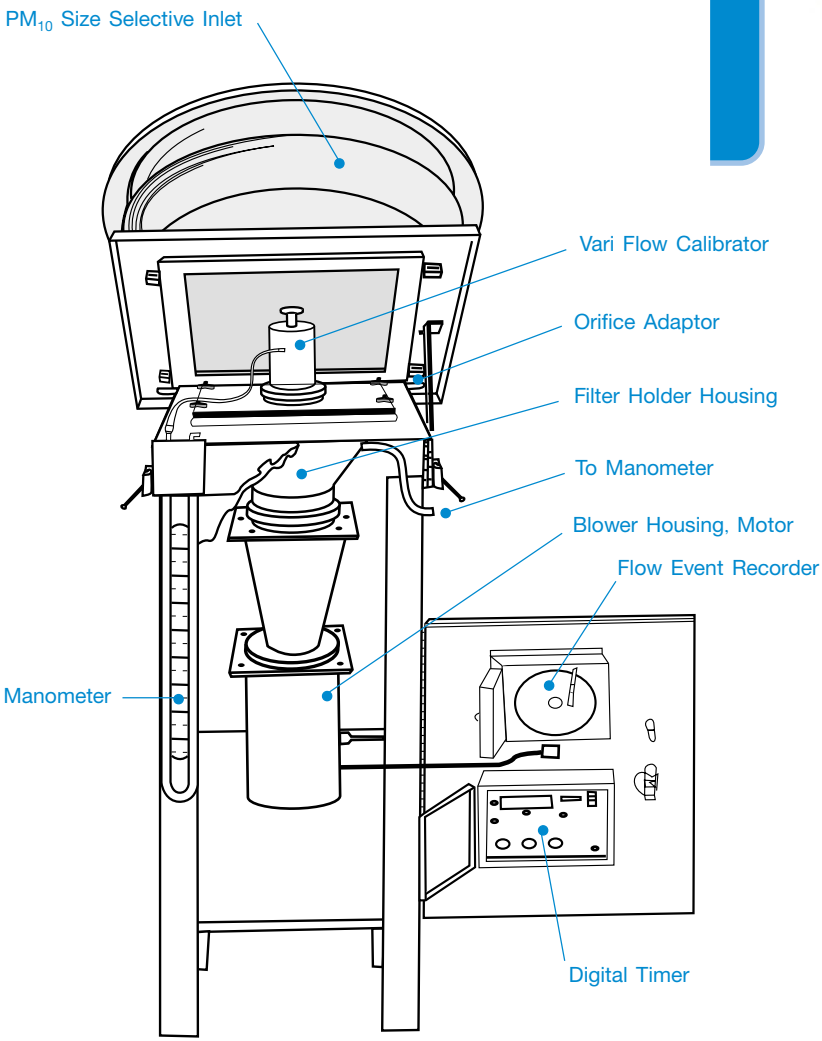
ภาพที่ 24 หัวคัดขนาดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

24

ภาพที่ 25 กระดาษกรองใยหิน (Quartz filter)

25

ภาพที่ 26 การติดตั้งชุดปรับเทียบ Orifice สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่าง PM_{10}



ภาพที่ 27 การพ่น Silicone Grease บนแผ่นดักฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน

27

คณะทำงานจัดทำคู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ที่ปรึกษา

นางมิ่งขวัญ วิชยารังสฤษดิ์	ผู้อำนวยการสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง

คณะทำงาน

นายพันศักดิ์ ถิรมงคล	ประธานคณะทำงาน
นางสาวสุภาพ จันทร์หงษ์	คณะทำงาน
นางสาววรุณพันธ์ จารุพันธ์	คณะทำงาน
นางสาวสุวลักษณ์ จูสวัสดิ์	คณะทำงาน
นายอุทุมพร เอนก	คณะทำงาน
นางสาวมานวิภา กุศล	คณะทำงาน
นายมนตรี ชุติชัยศักดา	คณะทำงาน
นางสาวนิตยา ไชยสะอาด	คณะทำงานและเลขานุการ

POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

www.pcd.go.th

คู่มือ การตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง

กรมควบคุมมลพิษ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

92 ซอยพหลโยธิน 7 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กทม. 10400

โทรศัพท์ : 0 2298 2000 โทรสาร : 0 2298 2002