บทที่ 7
การตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงาน

การเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่นละอองสามารถแบ่งออกตามประเภทของอนุภาค ซึ่งอนุภาค (Particulate) ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศและมีโอกาสที่ผู้ปฏิบัติในบริเวณนั้นจะหายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ ซึ่งอันตรายที่เกิดขึ้นต่อระบบทางเดินอากาศขึ้นอยู่กับขนาดและความเข้มข้นของอนุภาค โดยขนาดของอนุภาคจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งของระบบทางเดินหายใจที่อนุภาคจะไปเกาะติดอยู่ การตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงานเป็นการประเมินอันตรายของฝุ่นละอองในการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศในบริเวณที่ปฏิบัติงานและเฝ้าระวังสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่นละออง โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่นรวม และการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้ไซโคลนขนาดเล็กซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

คำและบทนิยาม

มลพิษทางอากาศ หมายถึง สภาวการณ์ที่บรรยากาศกลางแจ้งมีสิ่งเจือปน เช่น ฝุ่นละอองก๊าซต่างๆ ละออง ไอ กลิ่น ควัน ฯลฯ อยู่ในลักษณะ ปริมาณ และระยะเวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือสัตว์ หรือทำลายทรัพย์สินของมนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

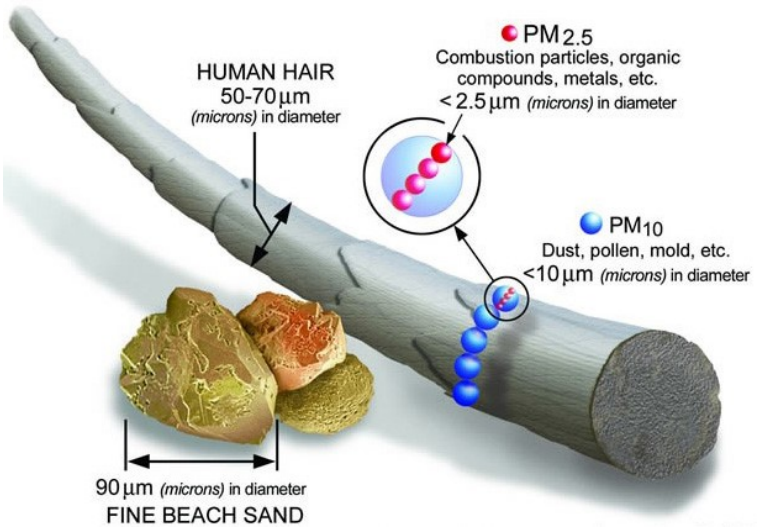
ฝุ่นละออง (Particulate Matter) หมายถึง อนุภาคของแข็งและของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศบางชนิดมีขนาดใหญ่ และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดก็เล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น โดยทั่วไปฝุ่นละอองในอากาศมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเกิดความเดือดร้อน รำคาญและความเสียหายต่ออาคาร เครื่องมือ เครื่องใช้ต่างๆ ภายในโรงงานด้วย

ประกาศกระทรวงมหาดไทยเรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) พ.ศ. 2520 ให้คำนิยาม 2 ความหมาย คือ อนุภาคทั้งหมด (Total Particulate) เรียกว่า “ฝุ่นรวม” (Total Dust) และอนุภาคขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Respirable Particulate) เรียกว่า “ฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมของปอดได้” (Respirable Dust)

ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ได้จำแนกประเภทของอนุภาคตามขนาดของอนุภาคที่มีผลกระทบต่อสุขภาพโดยแบ่งอนุภาคเป็น 3 ประเภทคือ อนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้นได้ (Inhalable Particulate Matter: IPM) หมายถึง อนุภาคที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายเมื่อสะสมในบริเวณต่างๆของระบบทางเดินหายใจซึ่งจะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 100 ไมครอนอนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจบริเวณช่องอกได้

(Thoracic Particulate Matter: TPM) หมายถึงอนุภาคที่จะก่อให้เกิดอันตรายเมื่อสะสมอยู่ในตำแหน่งใดๆ ของท่อลมและบริเวณแลกเปลี่ยนก๊าซของปอดซึ่งจะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 25 ไมครอน และอนุภาคที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจบริเวณแลกเปลี่ยนก๊าซ (Respirable Particulate Matter: RPM) หมายถึงอนุภาคที่จะก่อให้เกิดอันตรายเมื่อสะสมอยู่ในบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซของปอดซึ่งจะเป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน

ในต่างประเทศได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้นสำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกาโดย US.EPA (United StateEnvironmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) แต่เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยพบว่าฝุ่นขนาดเล็กนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวมดังนั้น US.EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวมและกำหนดค่าฝุ่นขนาดเล็กเป็น2 ชนิดคือฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) (ภาพที่ 7.1)



ภาพที่ 7.1 แสดงขนาดของฝุ่นละออง PM2.5,PM10 เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผม
ที่มา: Dana Buchbinder and Gayle Hagler, (2014)

PM10 ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึงฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอนมีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางจากการขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบดย่อยหิน

PM2.5 ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึงฝุ่นละเอียด (Fine Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอนฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์โรงไฟฟ้า

โรงงานอุตสาหกรรมควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืนนอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกไซต์ของไนโตรเจน (NO_X) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC_s) จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดเป็นฝุ่นละเอียดได้

ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมากเมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างในสหรัฐอเมริกาพบว่าผู้ที่ได้รับฝุ่น PM10 ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรคหอบหืด (Asthma) และฝุ่น PM2.5 ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอดที่เข้ามารักษาตัวในห้องฉุกเฉินเพิ่มอาการของโรคทางเดินหายใจลดประสิทธิภาพการทำงานของปอดและเกี่ยวโยงกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรโดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุผู้ป่วยโรคหัวใจโรคหอบหืดและเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการให้ความหมายของคำว่าฝุ่นละอองหมายถึงฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate: TSP) ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมาส่วนฝุ่นหยาบ (PM10) หมายถึงฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมาและฝุ่นละเอียด (Particulate Matter: PM2.5 หรือ Fine Particle) เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

กฎหมายที่เกี่ยวข้องและมาตรฐาน

สำหรับค่า PM10 ที่ WHO แนะนำเป็นค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อาจเกิดขึ้นคือค่า PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงเท่ากับ 50 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.) และค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 20 มคก./ลบ.ม. (WHO Air Quality Guideline, 2005) WHO กำหนดค่า Guideline สำหรับ PM10 โดยนอกจากจะกำหนดค่าที่เป็น Air Quality Guideline หรือ AQG แล้วยังกำหนดค่าเป็นขั้นๆ ที่เรียกว่า Interim Target (IT) เพื่อใช้ในกรณีที่ยังไม่สามารถที่ทำให้บรรลุค่าที่เป็น AQG ได้สามารถกำหนดค่าที่ทำได้ง่ายขึ้นตามลำดับขั้นได้โดยกำหนด Guideline ในระยะยาว (1 ปี) และระยะสั้น (24 ชั่วโมง)

มาตรฐาน OSHA (Occupational Safety & Heath Administration) กำหนดค่า Permissible Exposure Limit (PEL) สำหรับ Respirable Particulate ให้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร สำหรับTotal Particulate ให้ไม่เกิน 15มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

มาตรฐาน ACGIH (American Conference Governmental Industrial Hygiene) กำหนดค่า TLV-TWA สำหรับ Respirable Particulate ให้ไม่เกิน 3 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตรสำหรับ Total Particulate ให้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

ประเทศไทยกำหนดมาตรฐานกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมโดยกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ) สรุปมาตรฐานได้ดังนี้

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 28 (พ.ศ. 2550) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

โดยจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติทั้ง 3 ฉบับข้างต้นได้กำหนดมาตรฐานค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ในเวลา 24 ชั่วโมงต้องไม่เกิน 0.12 (มก./ลบ.ม.) หรือ 120 (มคก./ลบ.ม.) และค่าเฉลี่ยรายปีต้องไม่เกิน 0.05 (มก./ลบ.ม.) หรือ 50 (มคก./ลบ.ม.) โดยวิธีการตรวจวัดแบบ Beta Ray

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) กำหนดให้มีค่าความเข้มข้นในบรรยากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 0.05 (มก./ลบ.ม.) และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปีมีค่าไม่เกิน 0.025 (มคก./ลบ.ม.)

พื้นฐานด้านทฤษฎีเกี่ยวกับฝุ่นละออง

ทำเนียบการปลดปล่อยและเคลื่อนย้ายมลพิษ (Pollutant Release and Transfer Registers : PRTR) แบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดที่ต้องมีการรายงานข้อมูล PRTR ขึ้นกับการกำหนดขอบเขตของการจัดทำ PRTR โดยทั่วไปแบ่งประเภทของแหล่งกำเนิดเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของการปลดปล่อยมลพิษ คือ แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทอยู่กับที่หรือรู้จุดปล่อยแน่นอน (Point Source, Stationary Source) กับแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทแพร่กระจาย (Diffuse Source)

ฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงานจัดเป็นมลพิษทางอากาศประเภทอยู่กับที่หรือรู้จุดปล่อยแน่นอน (Point Source, Stationary Source) แหล่งกำเนิดชนิดที่ติดอยู่กับที่ (Stationary) ทั้งที่มีขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เช่น โรงงานอุตสาหกรรม กิจการเหมืองแร่ และกิจการต่างๆ ในชุมชนเมือง อย่างไรก็ตามแหล่งกำเนิดขนาดเล็กนี้มักถูกจัดเป็นแหล่งกำเนิดแบบแพร่กระจาย (Diffuse Source) หรือ แหล่งกำเนิดเชิงพื้นที่ (Area Source) โดยทั่วไป PRTR มักกำหนดให้แหล่งกำเนิดมลพิษขนาดใหญ่ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งกำเนิดที่ต้องรายงานข้อมูล PRTR เนื่องจากมีปริมาณการปลดปล่อยเป็นปริมาณมาก ทั้งนี้ มลพิษที่เกิดขึ้นภายในโรงงานหรือสถานประกอบการมีทั้งที่สามารถระบุตำแหน่ง (Point) หรือจุดปล่อยหรือระบายมลพิษได้อย่างชัดเจน เช่น ปล่องระบายอากาศเสีย และประเภทแหล่งกำเนิดแบบฟุ้งกระจาย (Fugitive) หรือ แหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถระบุตำแหน่ง/จุดปล่อยมลพิษได้ชัดเจน เช่น การรั่ว/

ซึมบริเวณข้อต่อ การรั่วจากวาล์ว การฟุ้งกระจายของสารเคมีจากการถ่ายเท การบรรจุสารเคมี การหกรดของสารเคมี เป็นต้น

สถิติจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2560 ระบุว่าประเทศไทยมีโรงงานที่จดทะเบียน และได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ 139,446 โรงงาน ซึ่งทั้งหมดมีการปล่อยมลพิษทางอากาศออกมาในรูปแบบต่างๆ รวมถึงฝุ่นละออง PM2.5, PM10 และ TSP มากน้อยขึ้นอยู่กับประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนมากเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและกระบวนการผลิต

1. ประเภทของฝุ่นละออง

การจำแนกประเภทของฝุ่นละอองในอากาศสามารถจำแนกได้อีกลักษณะหนึ่ง คือ ลักษณะการเกิดของฝุ่นละออง ดังนี้

1.1 ฝุ่นปฐมภูมิ (Primary Emission Particulate Matter) เกิดจากการปล่อยของแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น ฝุ่นจากถนน ฝุ่นเกลือจากทะเล ฝุ่นจากกระแสลมที่พัดผ่าน ขี้เถ้า เขม่าควันไฟ

1.2 ฝุ่นทุติยภูมิ (Secondary Emission Particulate Matter) เกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ในบรรยากาศหลังจากที่ฝุ่นถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดได้ระยะหนึ่ง ฝุ่นประเภทนี้อาจเป็นอนุภาคใหม่หรือเป็นอนุภาคเดิมที่มีองค์ประกอบเพิ่มขึ้น สารที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ ซัลเฟต ไนเตรท และคาร์บอนอินทรีย์ โดยซัลเฟตและไนเตรทในบรรยากาศเกือบทั้งหมดเป็น Secondary Emission โดยมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นสารเริ่มต้นปฏิกิริยาของฝุ่นทุติยภูมิกล่าวคือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อถูกปล่อยสู่บรรยากาศจะถูกออกซิไดซ์เป็นกรดซัลฟูริกทำให้เริ่มจับตัวเป็นฝุ่นขนาดเล็กจากกระบวนการ Nucleation และเพิ่มขนาดเม็ดฝุ่นจากกระบวนการ Coagulation และ Condensation ปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งในวัฏภาคก๊าซและในกลุ่มเมฆล้วนเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ซัลเฟตจับตัวเป็นเม็ดฝุ่นใหม่ และยังมีส่วนทำให้สารอินทรีย์จับกันเป็นเม็ดฝุ่นใหม่ เช่นกัน (Organic Aerosol) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับของการจับกันเป็นเม็ดฝุ่นใหม่ ได้แก่ ปริมาณของ Precursor สภาพบรรยากาศและปฏิกริยาของ Precursor กับอนุภาคฝุ่นที่มีอยู่ในกลุ่มเมฆหรือละอองหมอก

2. แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

แหล่งที่มาของฝุ่นละอองทั่วไปในบรรยากาศ จำแนกได้ 2 ประเภท คือ ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์กระทำ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เกิดจากกระแสลมพัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน ทราย เขม่าควันจากไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด ฝุ่นเกลือจากทะเล เป็นต้น ความแตกต่างระหว่างฝุ่นขนาดใหญ่และฝุ่นขนาดเล็กตามแหล่งกำเนิดและแหล่งที่มาของฝุ่นละออง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 7.1 ความแตกต่างระหว่างฝุ่นขนาดใหญ่และฝุ่นขนาดเล็กตามแหล่งกำเนิด

	ฝุ่นขนาดใหญ่	**ฝุ่นขนาดเล็ก**
แหล่งที่มา	- การฟุ้งของฝุ่นดินบนถนน - การฟุ้งของฝุ่นดินที่เกิดจากการทำ เหมือง แร่ เลี้ยงสัตว์ - เศษสิ่งมีชีวิต - การก่อสร้างและรื้อถอน - การเผาไหม้ของถ่านหินและน้ำมัน - ทะเล มหาสมุทร	- การเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมัน เศษไม้ - การเปลี่ยนสภาพของก๊าซไนโตรเจน ออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ สารประกอบอินทรีย์ในบรรยากาศ - กระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เตาหลอม โรงบดเหล็ก เป็นต้น
กระบวนการ	- ถูกบด กระแทก - การระเหยของแก๊สบางชนิด - การแขวนลอยของผงฝุ่น	- กระบวนการทางเคมี/การกลายเป็นไอ - Nucleation, Condensation และ Coagulation - การระเหยของหมอก และหยดน้ำ ในก้อนเมฆ ซึ่งมีก๊าซละลายและเกิด ปฏิกริยา
องค์ประกอบหลัก	- ผงฝุ่นที่ฟุ้งกระจาย - ขี้เถ้าลอยจากถ่านหินและน้ำมัน - ออกไซด์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ของเปลือกโลก - $CaCO_3$, NaCl, ฝุ่นจากเกลือทะเล - เกสรดอกไม้, สปอร์ของเชื้อรา - ฝุ่นที่เกิดจากยางรถยนต์	- ซัลเฟต (SO_4^{2-}) - ไนเตรท (NO_3^-) - แอมโมเนียม (NH_4^+) - ไฮโดรเจนอิออน (H^+) - ธาตุคาร์บอน - คาร์บอนอินทรีย์(PAHs) - โลหะ (Pb, Cd, Ni, V, Cu, Zn) - ละอองน้ำที่จับตัวเป็นฝุ่น

ที่มา: โครงการจัดทำมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน กรมควบคุมมลพิษ, 2558

ฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงานจัดเป็นมลพิษทางอากาศประเภทอยู่กับที่หรือรู้จุดปล่อยแน่นอน และจัดว่าอยู่ในประเภทฝุ่นทุติยภูมิ (Secondary Emission Particulate Matter) มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ นำมันเตา ถ่านหิน ฟืน กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ถูกกำหนดค่ามาตรฐานโดยประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

การเจ็บป่วยและผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจทำให้คนในเขตกรุงเทพมหานครตายก่อนเวลาอันควรถึง 4,000–5,500 รายในแต่ละปีพบว่าการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็กและจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าถ้าสามารถลดปริมาณ PM10 ในบรรยากาศลงได้ 10 ไมครอนจะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพคิดเป็นจำนวนเงิน 35,000–88,000 ล้านบาทต่อปี (นพภาพ

รพานิชและคณะ, 2547) ได้สรุปเกี่ยวกับว่าฝุ่นละอองส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ ด้านค่าใช้จ่ายโดยทั่วไป ได้แก่ ค่าบริการของแพทย์ ค่ายา ประมาณกันว่าในแต่ละครอบครัวต้องจ่าย 1.6 % ของรายได้ต่อเดือน ในครอบครัวเพื่อเป็นค่ารักษาพยาบาลจากผลกระทบของฝุ่นละอองต่อคนโดยตรงโรคที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองคิดเป็นร้อยละ 13 ของค่าใช้จ่าย เพื่อการรักษาพยาบาลจากโรงพยาบาลทั้งหมดทุกโรคของแต่ละครอบครัวนอกจากจะลดความสามารถในการมองที่ทำให้เกิดความสกปรกและ สร้างความเดือดร้อนรำคาญแล้ว จากการศึกษาทั่วโลกพบว่า ฝุ่นละออง สามารถทำให้เสียชีวิตก่อนเวลาอันสมควร ทำให้เกิดโรคในระบบทาง เดินหายใจและโรคในระบบหัวใจ และหลอดเลือด (JC Health, 2515) ได้สรุปเกี่ยวกับฝุ่นละอองขนาดเล็กจำนวนมากเมื่อได้รับสัมผัสสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้หลายระบบเช่น ระบบทางเดินหายใจ (อาการไอและอาการของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง) ระบบหัวใจและหลอดเลือด (กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดหัวใจเต้นไม่สม่ำเสมอหัวใจวาย) ระบบตาระบบผิวหนังฝุ่นขนาดเล็กยังเพิ่มความเสี่ยงของอัตราตายจากภาวะเส้นเลือดอุดตันในสมองและทำให้น้ำหนักของทารกในครรภ์ลดลงอีกด้วยทำให้อัตราป่วยและอัตราตายด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นและอัตราดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นในอากาศฝุ่นขนาดเล็กบางชนิดเช่นฝุ่นทรายทำให้เกิดซิลิโคซิส (Silicosis) ฝุ่นถ่านหินทำให้เกิดโรคปอดจากฝุ่นถ่านหิน (Coal Workers' Pneumoconiosis) สำหรับกลุ่มเสี่ยงได้แก่ ผู้ป่วยหอบหืดและปอดอุดกั้นเรื้อรัง (พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2555) ผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองสรุปได้ดังนี้

1. อันตรายจากคุณสมบัติทางเคมีและองค์ประกอบของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองที่มีคุณสมบัติเป็นกรด อาจก่อการระคายเคืองและการอักเสบของทางเดินหายใจ ละอองน้ำลายที่ลอยฟุ้งกระจายในอากาศจากการไอจามของผู้ป่วยที่มีเชื้อโรคติดต่อผ่านระบบทางเดินหายใจ เช่น เชื้อวัณโรค เชื้อโรคไข้หวัดใหญ่ อาจก่อให้เกิดการแพร่กระจายและการระบาดของโรคในหมู่ประชาชนที่รับสัมผัส ส่วนละอองรา เชื้อแบคทีเรีย และไวรัสที่ล่องลอยปะปนอยู่กับฝุ่นละอองก็ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเช่นกัน โดยเฉพาะกลุ่มบุคคลที่ต้องดูแลสุขภาพเป็นพิเศษ เช่น กลุ่มบุคคลที่รับการปลูกถ่ายอวัยวะที่จำเป็นต้องใช้ยากดระบบภูมิคุ้มกัน เด็ก และผู้สูงอายุ เป็นต้น

2. เมื่อฝุ่นละอองเข้าสู่ทางเดินหายใจอาจจะก่อให้เกิดปฏิกิริยากับร่างกายเฉียบพลัน

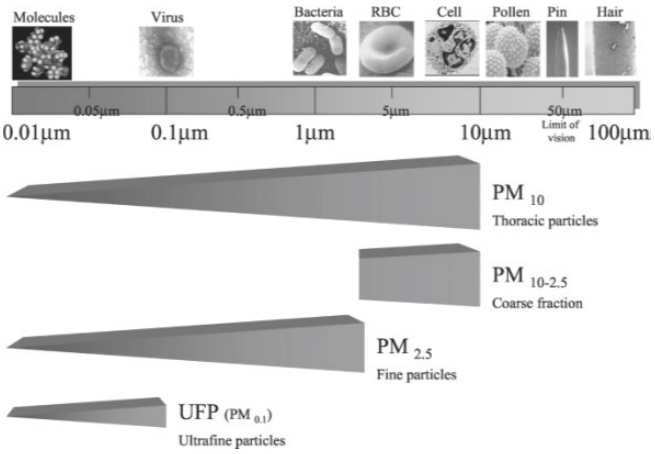
ตั้งแต่การระคายเคือง ไอ จาม น้ำมูกไหล ก่ออาการแพ้ ในระยะต่อมาอาจก่อให้เกิดการอักเสบในโพรงจมูก มีน้ำมูกข้นเป็นสีเหลืองหรือสีเขียว และอาการอาจพัฒนามากขึ้นทำเกิดโรคทางเดินหายใจหรือติดเชื้อในทางเดินหายใจส่วนต้นเรื้อรัง ไอมีเสมหะ หลอดลมอักเสบ การรับสัมผัสฝุ่นหยาบ ฝุ่นละเอียด และฝุ่นละเอียดขนาดเล็กมากเรื้อรังเป็นระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดการอักเสบและระคายเคืองเรื้อรัง เกิดพังผืดหรือรอยแผลเป็นภายในปอดส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของปอดลดลงการเปรียบเทียบฝุ่นขนาดต่างๆเมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายในในระดับต่างๆ (ภาพที่ 7.2-7.3)

3. ฝุ่นละอองส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้รับสัมผัส

ควรหลีกเลี่ยงการอยู่ในสถานที่ที่มีฝุ่นละอองหรือหมอกควัน ถ้าจำเป็นต้องอยู่ในที่มีฝุ่นละอองฟุ้งกระจายควรใช้หน้ากากอนามัยปิดปากและจมูก และควรซักทำความสะอาดทุกวันถ้าใช้หน้ากากอนามัยชนิดผ้า หรือเปลี่ยนหน้ากากอนามัย (ชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้ง) ทุกวันเพื่อสุขอนามัยที่ดี สำหรับผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคภูมิแพ้ โรคหอบหืด ควรเตรียมยาประจำตัวให้พร้อมใช้ในกรณีที่มีอาการกำเริบ และหากมีอาการแน่นหน้าอก หายใจลำบาก ควรรีบพบแพทย์ที่โรงพยาบาลหรือสถานบริการสาธารณสุขใกล้บ้าน

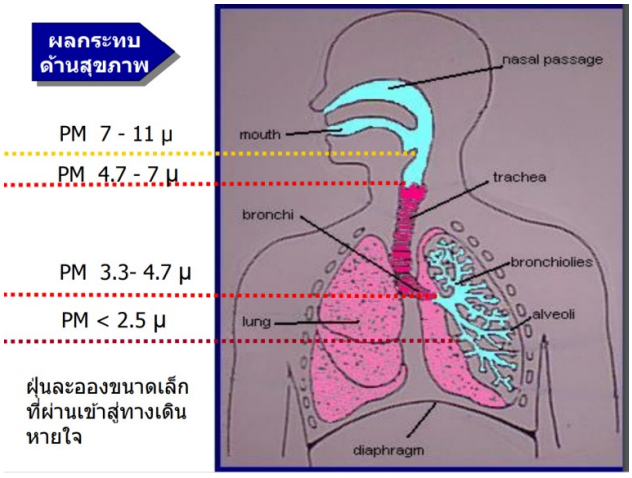
จากผลการศึกษาทั่วโลกพบว่าหากฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงกว่าค่ามาตรฐานจะส่งผลให้การตายด้วยระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 7%–20% การป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 5.5% การตายด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 2%–5% การป่วยด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้น 5.3% ผู้สูงอายุป่วยด้วยระบบทางเดินหายใจเพิ่ม 17% ผู้สูงอายุป่วยด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่ม 7.6% และยังทำให้สภาพปอดในเด็กแย่ลง (พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช, 2555) นอกจากนี้ยังมีผลงานวิจัยในประเทศต่างๆที่เกี่ยวข้องที่สนับสนุนว่า PM10 มีผลกระทบต่อสุขภาพการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศกรณีฝุ่นละอองขนาดเล็กกรมอนามัยและกรมควบคุมโรคกระทรวงสาธารณสุขพบ 3 ใน 5 การศึกษาที่ทบทวนแสดงให้เห็นว่าพบว่าทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu g/m^3$) ของ PM10 ที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราตายทุกสาเหตุอัตราตายด้วยโรคระบบหัวใจและระบบทางเดินหายใจและอัตราตายด้วยโรคมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นร้อยละ 4, 6 และ 8 ตามลำดับ

นอกจากนี้การศึกษาผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในกรุงเทพมหานครจากการศึกษาพบว่าการสัมผัสระยะสั้น PM10 ในกทม. มีความสัมพันธ์กับการตายก่อนเวลาอันควรถึง 4,000 ถึง 5,500 รายในแต่ละปี (ประมาณการว่ามีประชากร 10 ล้านคน) และในแต่ละวันที่ระดับ PM10 สูงขึ้น 30 $\mu g/m^3$ อัตราการตายจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-20 มีการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบหายใจและโรคระบบหลอดเลือดหัวใจก็สูงขึ้นร้อยละ 5-17 เมื่อระดับของ PM10 สูงขึ้น 30 $\mu g/m^3$ สำหรับในพื้นที่ที่มีความแตกต่างของ PM10 รายวันมากๆ (ประมาณ 180 $\mu g/m^3$) เช่นในช่วงฤดูหนาวทำให้ผู้ใหญ่ที่อยู่ในบริเวณที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศเมื่อสัมผัสกับฝุ่นละอองที่มีระดับสูงมีโอกาสที่จะมีอาการเฉียบพลันทางระบบหายใจสูงขึ้นเป็น 2 เท่าของคนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีระดับฝุ่นต่ำในวันเดียวกันและเมื่อระดับของ PM10 ในแต่ละวันสูงขึ้น 30 $\mu g/m^3$ จะส่งผลให้มีอาการทางระบบหายใจสูงขึ้นร้อยละ 5-26 อย่างไรก็ตามการลดระดับเฉลี่ยต่อปีของ PM10 ลง 10 $\mu g/m^3$ จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพจากอาการทางระบบหายใจได้เป็นตัวเงินจะมีค่าประมาณ 65,000-175,000 ล้านบาท (นันทวรรณ วิจิตรวาทการ, วิชัย เอกพรากร, นิตยา วัจนะภูมิ และคณะ, 2547)



ภาพที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบฝุ่นขนาดต่างๆ

ที่มา: พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช และคณะ, (2554)



ภาพที่ 7.3 ฝุ่นละอองขนาดต่างๆ เมื่อเข้าสู่ทางเดินหายใจ

ที่มา: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, (2557)

การตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในที่ปฏิบัติงาน

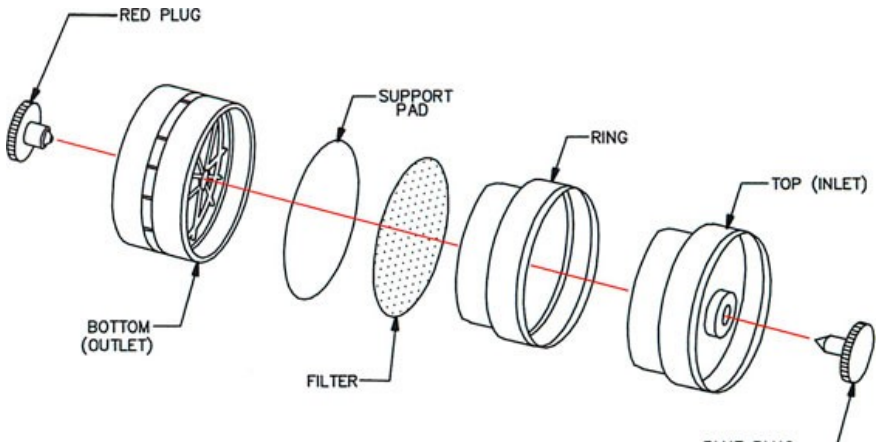
เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดส่วนประกอบของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่นละอองโดยการกรอง อุปกรณ์เก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นอนุภาคโดยการกองประกอบด้วยช่องเปิดให้อากาศเข้า อุปกรณ์สะสมอนุภาค ส่วนเชื่อมต่อ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศและปั๊มดูดอากาศรายละเอียดดังนี้

1. ช่องเปิดให้อากาศเข้า (Air Inlet)

ซึ่งอาจจะใช้ท่อน้ำอากาศเข้า ถ้าเป็นการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นอนุภาคทุกขนาด โดยการ ช่องเปิดนี้จะมีลักษณะเปิดแบบรูกลม เพื่อให้ฝุ่นสามารถกระจายตัวไปตามพื้นที่หน้าตัดของตัวกรองได้อย่างสมมาตร

2. อุปกรณ์สะสมอนุภาค (Collector)

ประกอบด้วยตัวกรองอนุภาค (Filter) หรือกระดาษกรอง ตลับใส่ตัวกรอง (Filter Cassette) และปลั๊กอุด (Plug) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บสะสมอนุภาคสำหรับนำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป ป้องกันการฉีกขาดหรือเสียหายขณะใช้งานและป้องกันการปนเปื้อนของอนุภาค มีส่วนประกอบดังนี้ (ภาพที่ 7.4-7.5)



ภาพที่ 7.4 การประกอบอุปกรณ์สะสมอนุภาค (Collector)
ที่มา: U.S. Department of Labor, (2003)

ภาพที่ 7.5 อุปกรณ์สะสมอนุภาค (Collector) และการอุดด้วยปลั๊กอุดก่อนหลังเก็บอากาศ
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)

3. ส่วนเชื่อมต่อ (Connector)

ประกอบด้วยข้อต่อและสายพลาสติกเชื่อมต่อระหว่างด้านหลังและตลับใส่ตัวกรองกับปั๊มดูดอากาศสายพลาสติกที่ใช้นี้จะต้องไม่มีรูรั่วและไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับอนุภาคที่ต้องการเก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 7.6)

ภาพที่ 7.6 ส่วนเชื่อมต่อประกอบด้วยข้อต่อและสายพลาสติก
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)

4. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศและปั๊มดูดอากาศ (AIR Flow Mater & Pump)

ประกอบด้วยมิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ (AIR Flow Mater) ลิ้นควบคุมการไหลของอากาศ (Flow Control Value) ปั๊มดูดอากาศ (Pump) และไขควงสำหรับปรับตั้งอัตราการไหลของอากาศ (ภาพที่ 7.7) ปัจจุบันมีมิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ ทั้งแบบที่เป็นโรตามิเตอร์หรือแบบลูกลอย และแบบตัวเลข (Digital) ที่ติดตั้งในส่วนของปั๊มดูดอากาศ ต้องการเก็บตัวอย่างฝุ่นทุกขนาด ใช้อัตราการไหลของอากาศในช่วง 1-2 ลิตร/นาที ถ้าต้องการเก็บตัวอย่างฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จะใช้อัตราการไหล 1.7 ลิตร/นาที

ภาพที่ 7.7 ปั๊มดูดอากาศวัดอัตราการไหลของอากาศแบบโรตามิเตอร์และไขควงปรับตั้ง
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)

5. กระดาษกรอง (Filter) และปากคีบ (Forceps)

การเก็บตัวอย่างใช้กระดาษกรองชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) เส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ขนาดรูพรุน 5 ไมโครเมตร ที่ผ่านการอบในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 40% และการหยิบจับประดาษกรองเพื่อชั่งน้ำหนักหรือประกอบเข้ากับอุปกรณ์สะสมอนุภาค จะต้องไม่สัมผัสกระดาษโดยตรงเพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนอนุภาคได้ (ภาพที่ 7.8)

ภาพที่ 7.8 กระดาษกรองชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์และปากคีบ
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)

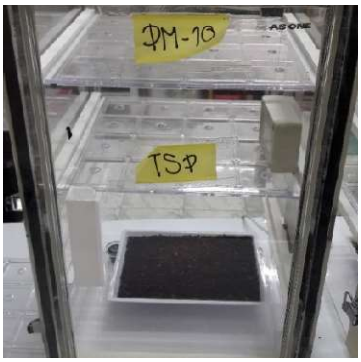
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

ใช้สำหรับชั่งกระดาษกรองเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร การใช้เครื่องช่างจะต้องเปิดเครื่องก่อนประมาณ 5 นาที และจึงปรับระดับ (Balance) ของเครื่องหลังเครื่องชั่ง โดยการปรับขาตั้งขึ้น-ลง เพื่อให้พองอากาศมาอยู่ในตำแหน่งตรงกลางหลอดแก้ว แสดงว่าเครื่องช่างตั้งได้ระดับพอดี หากเครื่องตั้งไม่ได้ระดับจะเกิดความคลาดเคลื่อนต่อน้ำหนักจริงของอนุภาคที่ช่าง (ภาพที่ 7.9)

ภาพที่ 7.9 เครื่องชั่งไฟฟ้าและตำแหน่งปรับระดับหลังเครื่อง
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)

7. ตู้ดูดความชื้นและเครื่องวัดความชื้น

ตู้ดูดความชื้น ใช้สำหรับดูดความชื้นในกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่างและหลังเก็บตัวอย่าง มีวัตถุดูดความชื้น (Hygrometer) โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์จะไม่มากกว่า 50% ภายในตู้จะใช้ซิลิกาเจล (Silica Gel) เป็นสารที่ช่วยดูดความชื้น (ภาพที่ 7.10)



ภาพที่ 7.10 ตู้ดูดความชื้นและเครื่องวัดความชื้น
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)

8. อุปกรณ์สำหรับสอบเทียบ (Calibration)

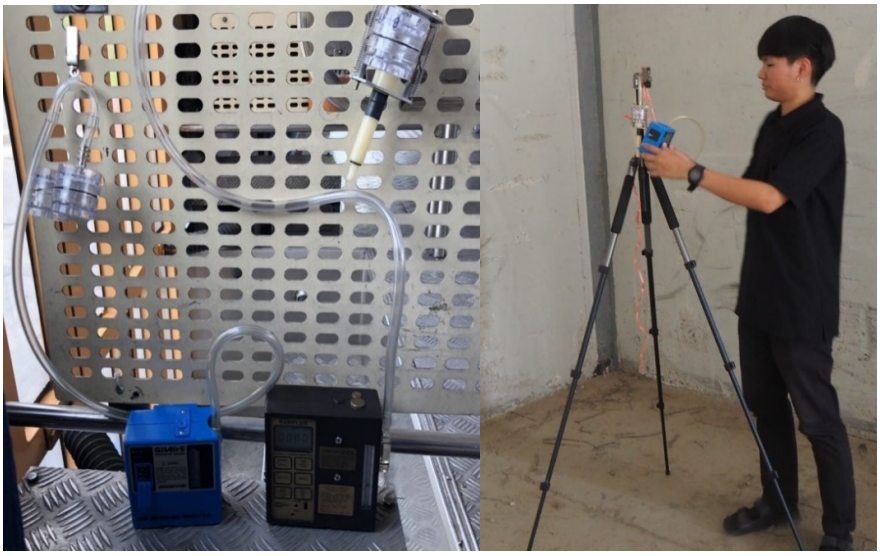
ทุกครั้งที่มีการเก็บตัวอย่างอากาศจะต้องมีการสอบเทียบเพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่ถูกต้อง และใช้กระบอกสอบเทียบสำหรับฝุ่นละออง PM10 (ภาพที่ 7.11)

ภาพที่ 7.11 เครื่องสอบเทียบชนิด Electronic Bubble Meter และ Calibration JAR
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)

9. การติดตั้งเพื่อเก็บอนุภาคในพื้นที่การปฏิบัติงาน

การติดตั้งเพื่อเก็บอนุภาคสามารถติดตั้งไปกับตัวบุคคลเมื่อบุคคลนั้นไม่ได้ปฏิบัติงานอยู่กับที่ตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน โดยติดตั้งไว้ในตำแหน่งใกล้กับลมหายใจของบุคคล โดยปกติจะติดไว้ที่คอเสื้อหรือปกเสื้อและต้องไม่ขัดขวางการปฏิบัติงาน หรือสามารถติดตั้งไว้กับที่หากบุคคลปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่ตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน (ภาพที่ 7.12-7.13)

ภาพที่ 7.12 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บอนุภาคไว้ที่ตัวบุคคล
ที่มา: นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีความปลอดภัยและอาชีวอนามัย, (2560)



ภาพที่ 7.13 การติดตั้งอุปกรณ์เก็บอนุภาคไว้กับพื้นที่ปฏิบัติงาน
ที่มา: นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีความปลอดภัยและอาชีวอนามัย, (2560)

การตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในที่ปฏิบัติงาน มีความสำคัญที่ผู้ตรวจวัดจะต้องเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ให้มีความพร้อมและเพียงพอสำหรับการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง ซึ่งประกอบด้วย ช่องเปิดให้อากาศเข้า (Air Inlet) อุปกรณ์สะสมอนุภาค (Collector) ส่วนเชื่อมต่อ (Connector) อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศและปั๊มดูดอากาศ (AIR Flow Mater & Pump) กระดาษกรอง (Filter) และปากคีบ (Forceps) เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ตู้ดูดความชื้นและเครื่องวัดความชื้น อุปกรณ์สำหรับสอบเทียบ (Calibration) ตลอดจนวิธีการติดตั้งเพื่อเก็บอนุภาคในพื้นที่การปฏิบัติงานที่ถูกต้องและเหมาะสม

การสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration)

การสอบเทียบเครื่องมือเป็นการปรับเครื่องมือให้สามารถอ่านค่าได้ตรงตามมาตรฐาน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการตรวจวัดทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรม ทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าเครื่องมือที่ใช้นั้นอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อใช้ในการปรับอัตราการไหลของอากาศของปั๊มที่จะใช้ในการเก็บตัวอย่างให้ได้ตามที่กำหนดในวิธีการมาตรฐาน ซึ่งจะใช้ในการคำนวณค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่เป็นอนุภาคแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานต่อไป ในการทดสอบเทียบนั้นจะต้องคำนึงถึง ความถี่และสภาวะแวดล้อมขนาดทำการสอบเทียบ ตลอดจนอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบด้วย การสอบเทียบเครื่องมือสามารถดำเนินการได้ 2 วิธี ดังนี้

1. การสอบเทียบเครื่องมือโดยวิธี Electronic Bubble Meter Method

อุปกรณ์ Electronic Bubble Meter เป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดอัตราการไหลของอากาศได้อย่างแม่นยำ โดยสามารถบันทึกผลการตรวจวัดและคำนวณค่าเฉลี่ยอัตราการดูดอากาศของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศได้ การสอบเทียบเครื่องมือด้วยอุปกรณ์ดังกล่าวมีขั้นตอนดังนี้ (ภาพที่ 7.14-7.17)

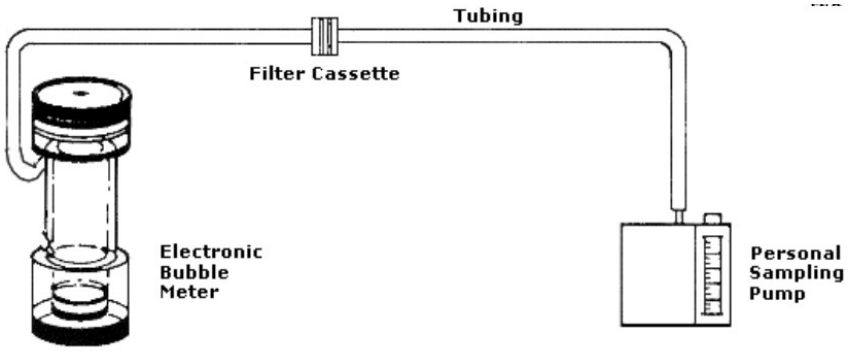
1.1 เดินเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศอย่างน้อย 5 นาทีก่อนการทำการปรับเทียบ เพื่อตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าของปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ

1.2 ประกอบอุปกรณ์ชุดเก็บตัวอย่างอากาศ ตลับยึดตัวกรอง สายยางนำอากาศ เข้ากับชุด Electronic Bubble Meter ระมัดระวังจุดเชื่อมต่อต่างๆ ไม่ให้มีรูรั่ว

1.3 ใช้น้ำสบู่สัมผัสกับปากกระบอกแก้วที่เป็น Flow Cell หลายๆ ครั้ง และห้ามใช้สารเคมีใดๆ กับกระบอก Flow Cell และตัวเครื่องให้ใช้เฉพาะน้ำสบู่เท่านั้น

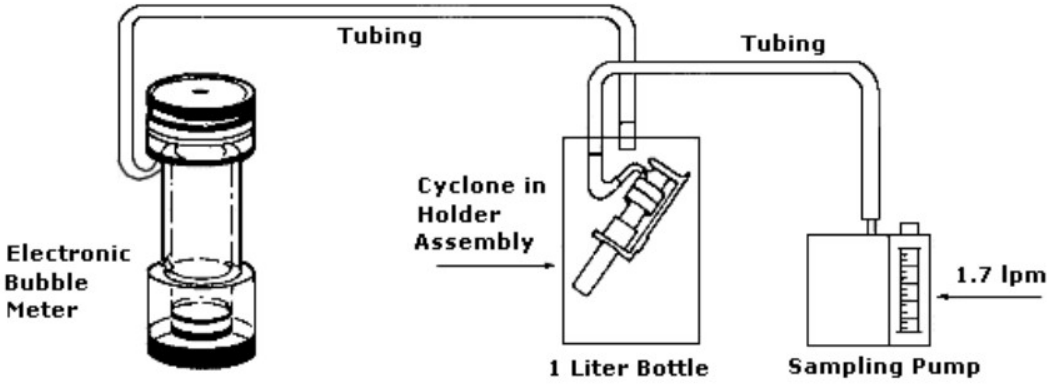
1.4 เดินเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศปรับค่า Rotameter เพื่อให้ได้ช่วงของอัตราการดูดที่ต้องการ โดยที่มีแรงดูดอากาศตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition เรื่อง Particulate not otherwise Regulated, Respirable 0500, 0600

1.5 กดปุ่มที่เครื่อง Electronics Bubble Meter ฟองสบู่จะลอยขึ้นและเครื่องจะจับเวลาและคำนวณค่าอัตราการดูดอากาศ ให้ทำซ้ำหลายๆ ครั้ง จนกว่าจะได้ค่าที่แตกต่างกันไม่เกิน 2 % หากจำเป็นให้ปรับค่า Rotameter ในขณะที่ปั๊มกำลังเดิน



ภาพที่ 7.14 อุปกรณ์สอบเทียบเครื่องมือสำหรับ TSP วิธี Electronic Bubble Meter
ที่มา: U.S. Department of Labor, (2003)

ภาพที่ 7.15 การสอบเทียบเครื่องมือสำหรับ TSP วิธี Electronic Bubble Meter
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)



ภาพที่ 7.16 อุปกรณ์สอบเทียบเครื่องมือสำหรับ PM10 วิธี Electronic Bubble Meter
ที่มา: U.S. Department of Labor, (2003)

ภาพที่ 7.17 การสอบเทียบเครื่องมือสำหรับ PM10 วิธี Electronic Bubble Meter
ที่มา: ห้องปฏิบัติการ 4257, (2560)

2. การสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้วิธี Manual Buret Bubble Method

อุปกรณ์ Manual Buret Bubble Method เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมืออัตราการดูดอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล ควรทำการสอบเทียบเครื่องมือก่อนและหลังการใช้งานเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศในแต่ละวัน (ภาพที่ 7.18-7.19)

2.1 เดินเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศก่อนอย่างน้อย 5 นาที เพื่อตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า

2.2 ประกอบชุดตลับยึดตัวกรองพร้อมตัวกรองเข้ากับชุดเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ (ภาพที่ 7.17) ระมัดระวังจุดเชื่อมต่อไม่ให้เกิดการรั่วไหลของอากาศ

2.4 ทำให้ภายในหลอดแก้ว Buret เปียกให้ทั่วด้วยน้ำสบู่ เพื่อมิให้มีความต้านทานภายในหลอดแก้ว ช่วยลดเวลาและลดความคลาดเคลื่อนในการสอบเทียบ

2.5 เดินเครื่องปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ ปรับตั้งค่า Rota Meter โดยประมาณค่า Flow Rate ตามที่ต้องการเช่นเดียวกับวิธี Electronic Bubble Meter

2.6 จุ่มปากกระบอกแก้ว Buret ด้วยน้ำสบู่ที่บรรจุอยู่ใน Beaker เพื่อให้กระบอกแก้ว Buret ดูดฟองสบู่

2.7 จุ่มปากกระบอกแก้ว Buret ในน้ำสบู่ 2-3 ครั้งเพื่อให้ได้ฟองสบู่ที่สมบูรณ์

2.8 สังเกตการเคลื่อนที่ของฟองสบู่ และจับเวลาเมื่อฟองสบู่ผ่านขีดที่ระดับ 0 ml และ 1000 ml หากฟองสบู่แตกก่อนที่จะเคลื่อนที่ถึงจุดสุดท้ายให้เริ่มทำใหม่ และให้ดำเนินการซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง

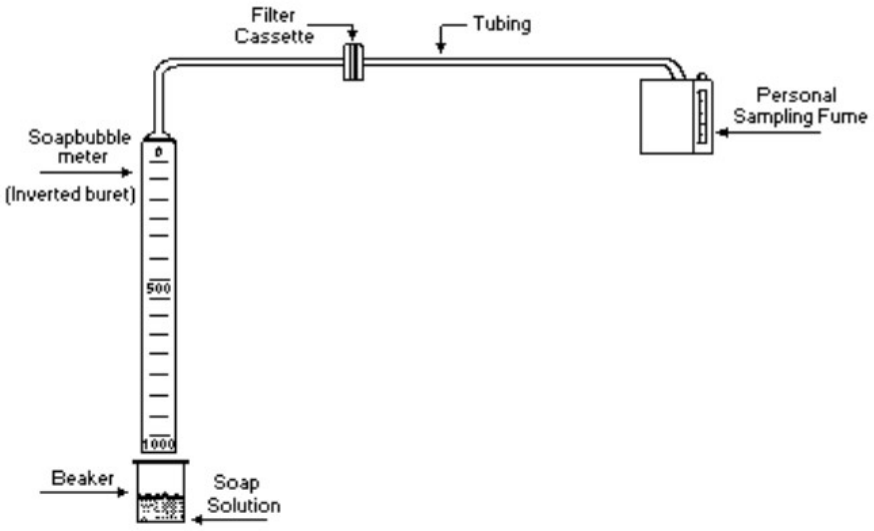
เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยเวลาความถูกต้องของเวลาต้องอยู่ภายใน ± 1 วินาทีของเวลาที่สอดคล้องกับอัตราการไหลที่ต้องการ

2.9 ทำการปรับระดับ Rota Meter และทำการสอบเทียบเครื่องมือใหม่ โดยปรับ Rota Meter ให้สูงกว่า-ต่ำกว่าจุดเดิม 1 ระดับ

2.10 คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่ค่า Rota Meter แต่ละระดับโดยใช้สูตร

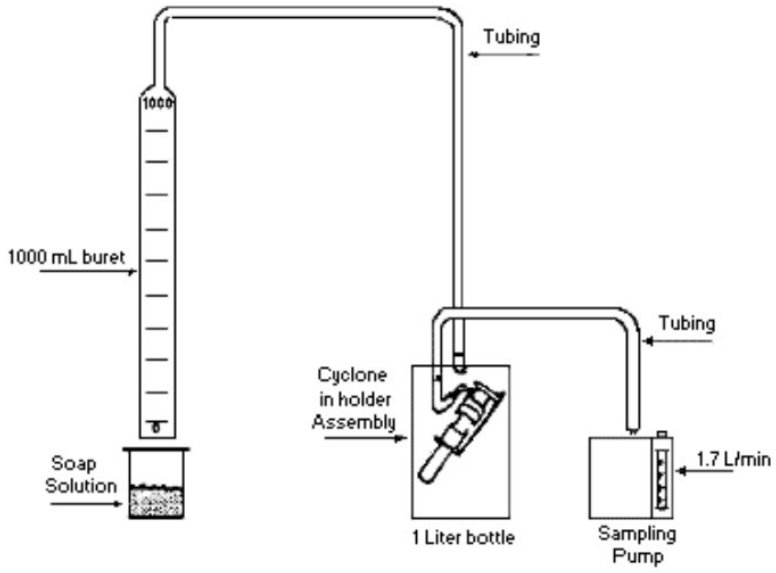
$$\text{อัตราการไหลของอากาศ} = \frac{\text{ปริมาตรอากาศ } 1 \text{ ลิตร}}{\text{ระยะเวลาเฉลี่ยที่ฟองสบู่เคลื่อนที่จากขีด } 0 \text{ ถึงขีด } 1000\text{ml}}$$

2.11 นำค่าอัตราการไหลของอากาศที่ระดับค่า Rota Meter แต่ละระดับมาทำกราฟปรับความถูกต้องของโรตามิเตอร์ (Calibration Curve) โดยให้แกน x เป็นค่า Rota Meter และ แกน y เป็นค่าอัตราการไหลของอากาศ



ภาพที่ 10.18 อุปกรณ์สอบเทียบเครื่องมือสำหรับ TSP วิธี Manual Buret Bubble Method

ที่มา: U.S. Department of Labor, (2003)



ภาพที่ 10.19 อุปกรณ์สอบเทียบเครื่องมือสำหรับ PM10 วิธี Manual Buret Bubble Method
ที่มา: U.S. Department of Labor, (2003)

การสอบเทียบเครื่องมือเป็นการปรับเครื่องมือปั๊มเก็บตัวอย่างให้สามารถอ่านค่าได้ตรงตามมาตรฐาน มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อใช้ในการปรับอัตราการไหลของอากาศของปั๊มที่จะใช้ในการเก็บตัวอย่างให้ได้ตามที่กำหนดในวิธีการมาตรฐาน มี 2 วิธี คือ การสอบเทียบเครื่องมือโดยวิธี Electronic Bubble Meter Method และวิธี Manual Buret Bubble Method

การเก็บตัวอย่างฝุ่นรวม TSP

เก็บตัวอย่างฝุ่นตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition เรื่อง Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0500 สำหรับฝุ่น TSP ประกอบด้วย

1. ตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น

ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ฝุ่นรวมนั้น จะต้องคำนึงถึงตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่าง และใช้อัตราการไหลของอากาศ 1-2 ลิตร/นาที เก็บตัวอย่างอากาศ 7-133 ลิตร ตัวอย่างควบคุม (Blank) การเก็บตัวอย่างทุกๆ 20 ตัวอย่างอากาศที่ทำการเก็บควรมีตัวอย่าง Banks อย่างน้อย 1 ตัวอย่าง โดยตัวอย่าง Banks จะเป็นตลับกรองกระดาษเช่นเดียวกันที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ และมีการดำเนินการเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างอากาศ เพียงแต่ไม่มีการเดินเครื่องปั๊มดูดอากาศเท่านั้น

2. การเตรียมกระดาษกรอง

ตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นรวมคือตัวกลางชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร และมีขนาดรูพรุน 5 ไมครอน ในการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลรวมโดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดนั้น ตัวกรองจะต้องเก็บไว้ในโถหรือตู้ความชื้นก่อนนำไป ให้ความชื้นไม่เกิน 40 % หลังจากทำการดูดความชื้นแล้ว จึงนำตัวกรองและแผ่นรองมาบรรจุในตลับตัวกรอง

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นประกอบ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับสอบเทียบ ได้แก่ บับเบิลมิเตอร์ สารละลายสบู่ สายพลาสติก บีกเกอร์ ขาตั้งพร้อมมือจับ นาฬิกาจับเวลา เทอร์โมมิเตอร์ และโฮโกมิเตอร์ส่วนอุปกรณ์กลุ่มที่สองคืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศ ซึ่งจะต้องจัดให้เหมือนกับชุดที่จะนำไปใช้เก็บตัวอย่างจริง และควรทำการสอบเทียบทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง

4. การสำรวจเพื่อหาตำแหน่งหรือจุดที่จะเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นรวมต้องจัดเตรียมอุปกรณ์และตัวกลางสำหรับเก็บตัวอย่าง และดำเนินการสำรวจเพื่อเตรียมความพร้อมในการเก็บตัวอย่าง โดยกรณีเก็บตัวอย่างแบบพื้นที่ ต้องมีการสำรวจเพื่อหาตำแหน่งหรือจุดที่จะเก็บตัวอย่างกรณีเก็บแบบบุคคล ก็ต้องมีการสำรวจเพื่อกำหนดกลุ่มตัวอย่างผู้ปฏิบัติงานที่เหมาะสม จากนั้นให้ขออนุญาตเจ้าของพื้นที่หรือผู้ดูแลพื้นที่นั้น เพื่อดำเนินการเก็บตัวอย่างและกรอกข้อมูลที่ได้ลงในแบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม

5. ความถูกต้องของการเดินปั๊มดูดอากาศ

เฝ้าสังเกตการทำงานของคนงานเป็นระยะๆ ตลอดวันทำงานเพื่อให้แน่ใจว่าลักษณะการทำงานของคนงานเป็นไปตามปกติประจำวันหรือมีกิจกรรมนอกเหนือจากกิจกรรมปกติที่มีผลต่อการสัมผัสกับอนุภาคถอดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศออกจากคนงานทันทีที่คนงานมีการหยุดพัก หรือออกนอกบริเวณที่ทำงานที่ไม่ต้องสัมผัสกับอนุภาคที่เป็นมลพิษ เช่น การหยุดพักกลางวัน หรือการเข้าไปในบริเวณที่ไม่มีการปนเปื้อนของมลพิษทางอากาศ และติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศต่อเนื่องภายหลังจากคนงานเข้าทำงานในสถานที่ที่มีการปนเปื้อน

6. การเตรียมกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นรวมภายหลังการเก็บตัวอย่าง จะทำการส่งตัวอย่างเข้าสู่ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยการทำความสะอาดพื้นที่ผิวด้านนอกของตลับในตัวกรอง การดูดความชื้นของตัวกรองให้ความชื้นไม่เกิน 40% การช่างน้ำหนักตัวกรองและตัวอย่างควบคุมภาคสนาม แล้วบันทึกค่าน้ำหนักหลังการเก็บตัวอย่างในแบบบันทึกจากนั้นจึงคำนวณ ค่าความเข้มข้นของฝุ่นรวม เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานต่อไป

เก็บตัวอย่างฝุ่นตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition เรื่อง Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0500 สำหรับฝุ่น TSPประกอบด้วย

ขั้นตอน การเตรียมตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น การเตรียมกระดาษกรอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ การสำรวจเพื่อหาตำแหน่งหรือจุดที่จะเก็บตัวอย่าง ความถูกต้องของการเดินปั๊มดูดอากาศและการเตรียมกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

เก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition เรื่อง Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0600 สำหรับฝุ่น MP10 ประกอบด้วย

1. ตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น

ในการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนนั้น จะต้องคำนึงถึงตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่าง และอัตราการไหลของอากาศซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของไซโคลนที่ใช้อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนโดยใช้ Nylon Cyclone คือ 1.7 ลิตร/นาที,HD Cyclone 2.2 ลิตร/นาที และ AI Cyclone คือ 2.5 ลิตร/นาทีเก็บอากาศ 20-400 ลิตร ทำตัวอย่างควบคุม (Blank) การเก็บตัวอย่างทุกๆ 20 ตัวอย่างอากาศที่ทำการเก็บควรมีตัวอย่าง Banks อย่างน้อย 1 ตัวอย่าง เช่นเดียวกับการเก็บฝุ่นละอองรวม

2. การเตรียมกระดาษกรอง

ตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นรวมคือตัวกลางชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร และมีขนาดรูพรุน 5 ไมครอน ในการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ผลรวมโดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดนั้น ตัวกรองจะต้องเก็บไว้ในโถหรือตู้ความชื้นก่อนนำไป ให้ความชื้นไม่เกิน 40% หลังจากทำการดูดความชื้นแล้ว จึงนำตัวกรองและแผ่นรองมาบรรจุในตลับตัวกรองแล้วนำไปติดตั้งบนไซโคลนขนาดเล็ก ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวคัดแยกขนาดของอนุภาค

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า10 ไมครอน แทบจะไม่แตกต่างจากการสอบเทียบฝุ่นละอองรวม ต่างกันตรงที่มีการเพิ่มกระบอกสอบเทียบ (Calibration JAR) เท่านั้น ส่วนขั้นอื่นๆ เหมือนกัน

4. การสำรวจเพื่อหาตำแหน่งหรือจุดที่จะเก็บตัวอย่าง

วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์และตัวกลางสำหรับเก็บตัวอย่าง และดำเนินการสำรวจเพื่อเตรียมความพร้อมในการเก็บตัวอย่าง โดยกรณีเก็บตัวอย่างแบบพื้นที่ต้องมีการสำรวจเพื่อหาตำแหน่งหรือจุดที่จะเก็บตัวอย่างกรณีเก็บแบบบุคคล ก็ต้องมีการสำรวจเพื่อ

กำหนดกลุ่มตัวอย่างผู้ปฏิบัติงานที่เหมาะสม จากนั้นให้ขออนุญาตเจ้าของพื้นที่หรือผู้ดูแลพื้นที่นั้น เพื่อดำเนินการเก็บตัวอย่าง และกรอกข้อมูลที่ได้ลงในแบบบันทึกข้อมูลภาคสนาม

5. ความถูกต้องของการเดินปั๊มดูดอากาศ

เฝ้าสังเกตการทำงานของคนงานเป็นระยะๆ ตลอดวันทำงานเพื่อให้แน่ใจว่าลักษณะการทำงานของคนงานเป็นไปตามปกติประจำวันหรือมีกิจกรรมนอกเหนือจากกิจกรรมปกติที่มีผลต่อการสัมผัสกับอนุภาคถอดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศออกจากคนงานทันทีที่คนงานมีการหยุดพัก หรือออกนอกบริเวณที่ทำงานที่ไม่ต้องสัมผัสกับอนุภาคที่เป็นมลพิษ เช่นการหยุดพักกลางวัน หรือการเข้าไปในบริเวณที่ไม่มีการปนเปื้อนของมลพิษทางอากาศ และติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศต่อเนื่องภายหลังจากคนงานเข้าทำงานในสถานที่ที่มีการปนเปื้อน

6. การเตรียมกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนภายหลังการเก็บตัวอย่าง จะทำการส่งตัวอย่างเข้าสู่ห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอน ซึ่งประกอบด้วยการทำความสะอาดพื้นผิวด้านนอกของตลับใส่ตัวกรอง การดูดความชื้นของตัวกรองให้ความชื้นไม่เกิน 40% การช่างน้ำหนักตัวกรองและตัวอย่างควบคุมภาคสนาม แล้วบันทึกค่าน้ำหนักลงการเก็บตัวอย่างในแบบบันทึก จากนั้นจึงคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่น เพื่อเทียบกับค่ามาตรฐานต่อไป

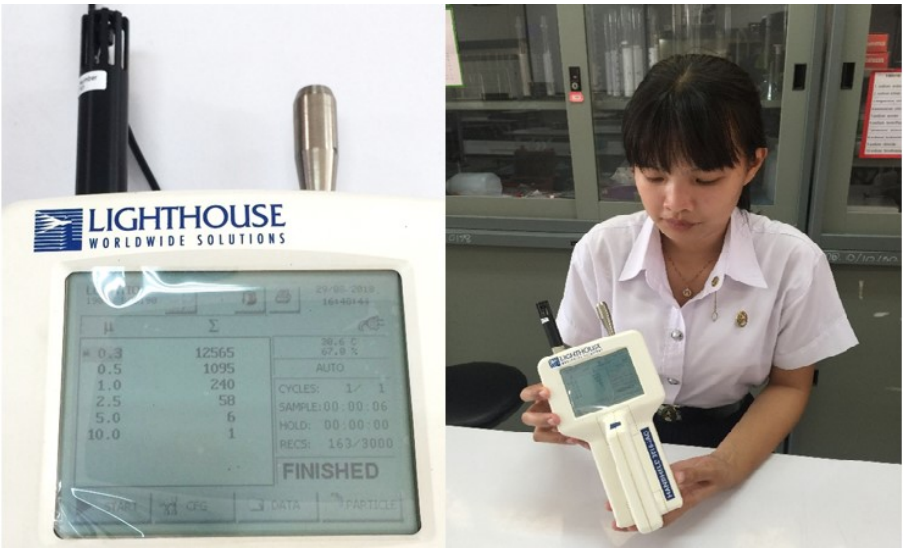
เก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition เรื่อง Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0600 ประกอบด้วยขั้นตอน การเตรียมตัวกลางที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่น การเตรียมกระดาษกรอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ การสำรวจเพื่อหาตำแหน่งหรือจุดที่จะเก็บตัวอย่าง ความถูกต้องของการเดินปั๊มดูดอากาศ และการเตรียมกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค โดยใช้หลักการ Laser Diffraction and Pids Technology เครื่องวัดขนาดอนุภาคในช่วงนาโนเมตรโดยใช้หลักการ Photon Correlation Spectroscopy (PCS) และวัดค่า Zeta Potential โดยใช้หลักการกระเจิงแสง Electrophoretic Light Scattering สามารถวัดขนาดของอนุภาค ได้ตั้งแต่ 0.04–2000 ไมครอนสำหรับตัวอย่างแบบเปียก และ 0.4-2000 ไมครอนสำหรับตัวอย่างแบบแห้ง ด้วยการวิเคราะห์เพียงครั้งเดียว ด้วยทฤษฎี Fraunhofer หรือ Mie สามารถวัดขนาดอนุภาคได้ตั้งแต่ 0.6 นาโมเมตร ถึง 7 ไมโครเมตร โดยใช้หลักการ Photon Correlation Spectroscopy (PCS) สำหรับเครื่องนาโนสามารถวัดค่า Zeta Potential ได้ตั้งแต่ +200mV ถึง –200mV สำหรับตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.6 นาโนเมตร ถึง 30 ไมครอน และสามารถวัดค่า

Zeta Potential บนพื้นผิวแผ่นวัสดุตัวอย่าง (Solid Flat Surface) ได้ Refractive Index (Central Lab Science TU, 2020)

เครื่องมือตรวจวัดปริมาณ PM2.5 เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้หลักการกระเจิงแสง ซึ่งทำให้สามารถอ่านค่ามวลของอนุภาคแขวนลอยในอากาศได้ทันที (ภาพที่ 7.20) เป็นหลักการที่ใช้กันมากในเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบอัตโนมัติ วิธีนี้ไม่ต้องใช้กระดาษกรอง โดยเครื่องจะทำงานโดยการดูดอากาศด้วยปั๊มดูดอากาศที่อยู่ภายในเครื่อง อากาศที่มีฝุ่นจะเคลื่อนที่ผ่านลำแสงเลเซอร์ เมื่อแสงกระทบอนุภาคฝุ่นจะเกิดกระเจิงแสงเป็นมุมเล็กๆ โดยแสงที่กระเจิงจากฝุ่นที่มีขนาดต่างกันจะมีมุมที่แตกต่างกันออกไป และมีอุปกรณ์ตรวจวัดแสง (Detector) ทำหน้าที่วัดแสงและส่งข้อมูลความเข้มแสงที่กระเจิงจากอนุภาคเข้าสู่หน่วยประมวลผลของเครื่องมือ เมื่อหน่วยประมวลผลทำการประมวลข้อมูลมุมของแสงจะแสดงผลการตรวจวัดในรูปความเข้มข้น ในกรณีที่ตัวอย่างมีความเข้มข้นสูง แสงมีโอกาสที่จะกระเจิงกับอนุภาคอื่นก่อนที่อุปกรณ์ตรวจวัดแสงจะสามารถตรวจวัดได้ ส่งผลให้การแยกขนาดอนุภาคเกิดความผิดพลาด เทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์อนุภาคเล็กที่สุดได้ถึง 1 นาโนเมตร (Tasic et al., 2012)



ภาพที่ 7.20 เครื่องวัดค่าฝุ่นละอองอาศัยหลักการกระเจิงแสง
ที่มา: นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีความปลอดภัยและอาชีวอนามัย, (2560)

ด้วยคุณสมบัติอาศัยหลักการกระเจิงแสง ที่สามารถวิเคราะห์อนุภาคเล็ก 0.6 นาโนเมตร ถึง 30 ไมครอน จึงเหมาะสำหรับติดตั้งในการเฝ้าระวังในสำนักงาน สถานที่ทำงานในอุตสาหกรรม สถานที่ก่อสร้าง รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้ได้กับภายนอกสถานที่หรือนอกตัวอาคาร ช่วงความเข้มข้นฝุ่นที่สามารถตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 0.001 ถึง 400 มก./ลบ.ม.

การวิเคราะห์ฝุ่นรวมและฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) ใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณเหมือนกัน โดยใช้การวิเคราะห์ตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0600 สำหรับฝุ่น PM10 และ NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0500 สำหรับฝุ่น TSP ดังนี้

1. หาน้ำหนักส่วนต่างของฝุ่นละอองบนกระดาษกรอง

เอาน้ำหนักกระดาษกรอง (W_2) หลังจากเก็บตัวอย่างดูดความชื้นให้ไม่เกิน 40%มาลบด้วยน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (W_1)

2. หาน้ำหนักส่วนต่างของตัวควบคุม

เอาน้ำหนักกระดาษกรองตัวควบคุม ($Blank_2$) หลังจากเก็บตัวอย่างดูดความชื้นให้ไม่เกิน 40% มาลบด้วยน้ำหนักกระดาษกรองตัวควบคุม ($Blank_1$) ก่อนเก็บตัวอย่าง

3. หาน้ำหนักที่แท้จริงของฝุ่นละออง

นำตัวแปรน้ำหนักส่วนต่างของฝุ่นละอองบนกระดาษกรอง น้ำหนักส่วนต่างของตัวควบคุม และอัตราการไหลของอากาศคำนวณตามสมการที่ (7.1)

$$C = \frac{(W2-W1)-(B2-B1)}{V} \mathrm{X}10^3 \quad \text{..... (7.1)}$$

เมื่อ

W1 คือ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง(กรัม)

W2 คือ น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง(กรัม)

B1 คือ น้ำหนักกระดาษกรองตัวควบคุมก่อนควบคุม(กรัม)

B2 คือ น้ำหนักกระดาษกรองตัวควบคุมหลังควบคุม(กรัม)

V คือ ปริมาตรของอากาศ (ลิตร/นาที)

4. นำผลที่ได้เปลี่ยนเทียบกับมาตรฐานของฝุ่นแต่ละประเภท

4.1 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติมาตรฐานค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ในเวลา 24 ชั่วโมงต้องไม่เกิน 0.12 (มก./ลบ.ม.) หรือ 120 (มคก./ลบ.ม.)และค่าเฉลี่ยรายปีต้องไม่เกิน 0.05 (มก./ลบ.ม.) หรือ 50 (มคก./ลบ.ม.) โดยวิธีการตรวจวัดแบบ Beta Ray ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) กำหนดให้มีค่าความเข้มข้นในบรรยากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 0.05 (มก./ลบ.ม.) และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปีมีค่าไม่เกิน 0.025 (มคก./ลบ.ม.)

4.2 มาตรฐาน OSHA (Occupational Safety & Heath Administration) กำหนดค่า Permissible Exposure Limit (PEL)

4.2.1 สำหรับ Respirable Particulate ให้ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

4.2.2 สำหรับ Total Particulate ให้ไม่เกิน 15 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

4.3 มาตรฐาน ACGIH (American Conference Governmental Industrial Hygiene) กำหนดค่า TLV-TWA

4.3.1 สำหรับ Respirable Particulate ให้ไม่เกิน 3 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

4.3.2 สำหรับ Total Particulate ให้ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) ใช้หลักการเดียวกับ คือการเอาน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บฝุ่นละอองหักออกด้วยน้ำหนักกระดาษกรองเปล่าก่อนเก็บฝุ่นละออง ขั้นตอน คือ หาน้ำหนักส่วนต่างของฝุ่นละอองบนกระดาษกรอง หาน้ำหนักส่วนต่างของตัวควบคุม หาน้ำหนักที่แท้จริงของฝุ่นละออง นำผลที่ได้เปลี่ยนเทียบกับมาตรฐานของฝุ่นแต่ละประเภทตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ในเวลา 24 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยรายปี

การวิเคราะห์ผลจากการตรวจวัด

จากการเก็บปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) กระบวนการขัดไม้ของโรงงานเฟอร์นิเจอร์ จำนวน 3 ซ้ำ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บเท่ากับ 0.0123, 0.0105, 0.0114 กรัม น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บเท่ากับ 0.8214, 0.7984, 0.8127 กรัม อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 1.7 ลิตร/นาที เก็บอากาศจำนวน 400 ลิตร กระดาษกรองตัวควบคุมก่อนเก็บ 0.0121, 0.0101, 0.0124 กรัม กระดาษกรองตัวควบคุมหลังเก็บ 0.0124, 0.0114, 0.0126 กรัม

วิธีทำ

กระดาษกรองก่อนเก็บ (W1) $= \frac{(0.0123) + (0.0105) + (0.0114)}{3}$

$= 0.0114$ กรัม

กระดาษกรองหลังเก็บ (W2) $= \frac{(0.8214)+(0.7984)+(0.8127)}{3}$

$= 0.8108$ กรัม

กระดาษกรองตัวควบคุมก่อนเก็บ (B1) $= \frac{(0.0121) + (0.0101) + (0.0124)}{3}$

$= 0.0115$ กรัม

กระดาษกรองตัวควบคุมหลังเก็บ (B2) $= \frac{(0.0124) + (0.0114) + (0.0126)}{3}$

$= 0.0121$ กรัม

$$\text{ปริมาณฝุ่นละออง C} = \frac{\left(W2-W1\right)-\left(B2-B1\right)}{V} X10^3$$

$$\text{ปริมาณฝุ่นละออง C} = \frac{(0.8108-0.0114) - (0.0121-0.0115)}{400} X\ 10^3$$

$$= 1.99 \text{ มิลิกรัม/ลูกบาศเมตร}$$

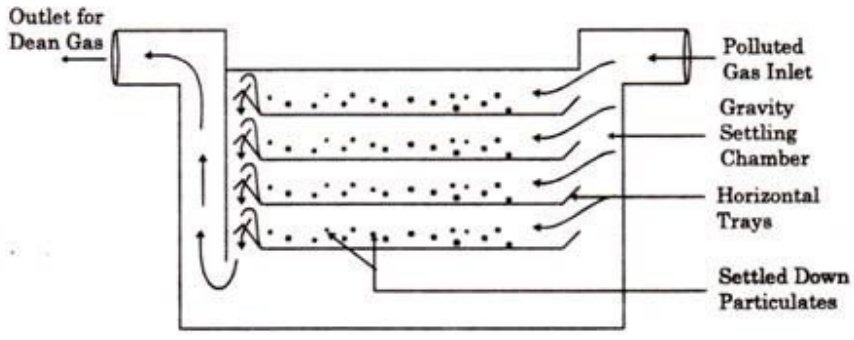
สรุป ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นในกระบวนการขัดไม้ของโรงงานเฟอร์นิเจอร์เท่ากับ 1.99 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ไม่เกินค่ามาตรฐาน OSHA กำหนดค่า Permissible Exposure Limit (PEL) ให้ไม่เกิน 5 mg/m^3 และค่ามาตรฐาน ACGIH กำหนดค่า TLV-TWA ให้ไม่เกิน 3 mg/m^3

เทคนิคการวิเคราะห์เพื่อการควบคุมฝุ่นละอองที่แหล่งกำเนิด

การควบคุมปริมาณฝุ่นในกระบวนการที่แหล่งกำเนิด ซึ่งอนุภาคของมลสารส่วนใหญ่ที่ออกสู่บรรยากาศมาจากปล่องไฟของโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้นการควบคุมจึงควรทำที่แหล่งกำเนิดอนุภาคของมลสารนั้น โดยสามารถใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพในการควบคุม ดังนี้

1. ห้องตกตะกอน (Settling Chambers)

เป็นการผ่านอากาศเสียเข้าไปในห้องตกตะกอน ซึ่งท่ออากาศเข้าจะมีขนาดใหญ่กว่าท่ออากาศออก เพื่อให้ก๊าซไหลช้าลงขณะผ่านไปยังห้องตกตะกอน อนุภาคมลสารจะตกลงสู่พื้นโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ความเร็วของอากาศเข้าจะต้องพอเหมาะเพื่อไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจาย เหมาะสำหรับแยกอนุภาคมลสารขนาดใหญ่กว่า 100 ไมโครเมตร

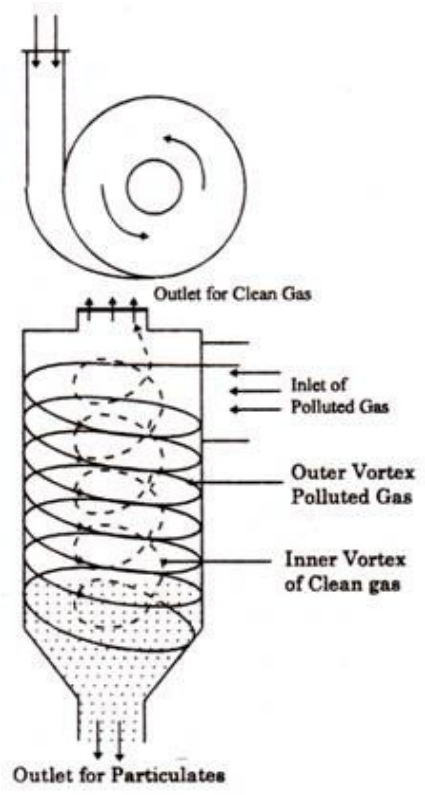


ภาพที่ 7.21 ห้องตกตะกอน (Settling chambers)

ที่มา: S.Gowdham,S.Mohammed Aslam Batcha,V.M.Dinesh Kumar, 2015, p.3)

2. เครื่องแยกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Cyclone Separator)

วิธีนี้ให้ก๊าซเสียผ่านเข้าไปในห้อง จะเกิดการหมุนของก๊าซทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง ทำให้อนุภาคมลสารเคลื่อนที่เข้าหาผนังด้วยแรงเฉื่อยแล้วตกตะกอนลงมา ประสิทธิภาพในการกำจัดประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องผ่านห้องตกตะกอนมาก่อน แสดงดังภาพที่ 7.21

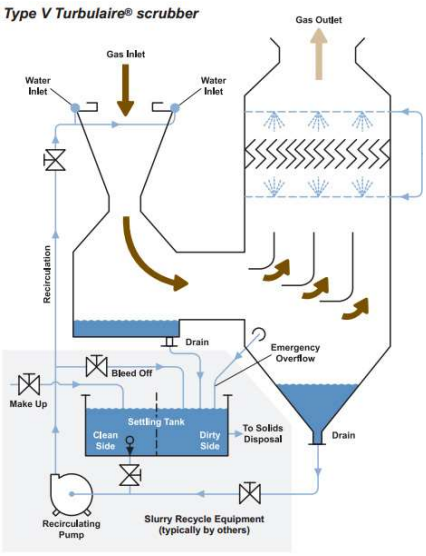


ภาพที่ 7.22 เครื่องแยกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง (Cyclone separator)

ที่มา: S.Gowdham,S.Mohammed Aslam Batcha,V.M.Dinesh Kumar, 2015, p.3)

3. เครื่องเก็บแบบเปียก (Wet Scrubbers)

โดยผ่านก๊าซเข้าไปยังห้อง แล้วฉีดน้ำเข้า ทำให้อากาศเปียกมีน้ำหนักมากขึ้นตกตะกอนได้แล้วทำให้สารมลพิษที่ปะปนมากับอากาศตกลงไปกับน้ำแล้วจะถูกกักไว้ในชั้นเหลวข้างล่าง วิธีนี้สามารถแยกอนุภาคได้ขนาดระหว่าง 1-20 ไมครอน แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ถ้าอากาศมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ จะทำให้น้ำมีสมบัติเป็นกรด เกิดการกัดกร่อนได้และน้ำเสียมีปริมาณสูงจะต้องกำจัดอีก แสดงดังภาพที่ 7.22

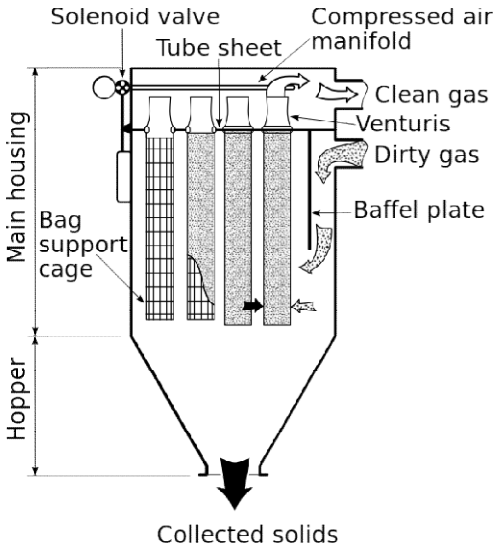


ภาพที่ 7.23 เครื่องเก็บแบบเปียก (Wet scrubbers)

ที่มา : Babcock&wilcox, (2013)

4. เครื่องกรองใย (Fabric Filter)

กำจัดอนุภาคมลสารโดยที่ก๊าซเสียผ่านเข้าไปในห้อง ซึ่งมีถุงกรองจำนวนมาก อนุภาคมลสารขนาดเล็กจะถูกดูดผ่านถุงกรอง และจะตกลงสู่พื้นล่าง เมื่อฝุ่นเกาะผ้ากรองสูงขึ้นทำให้เกิดความดันลดลง ต้องทำความสะอาดชั่วคราว วิธีนี้เหมาะสำหรับก๊าซแห้งประสิทธิภาพโดยทั่วไป 75-99 เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสีย คือ ถ้าผ่านก๊าซร้อนเข้าไปจะทำให้ถุงไหม้ได้ แสดงดังภาพที่ 7.23

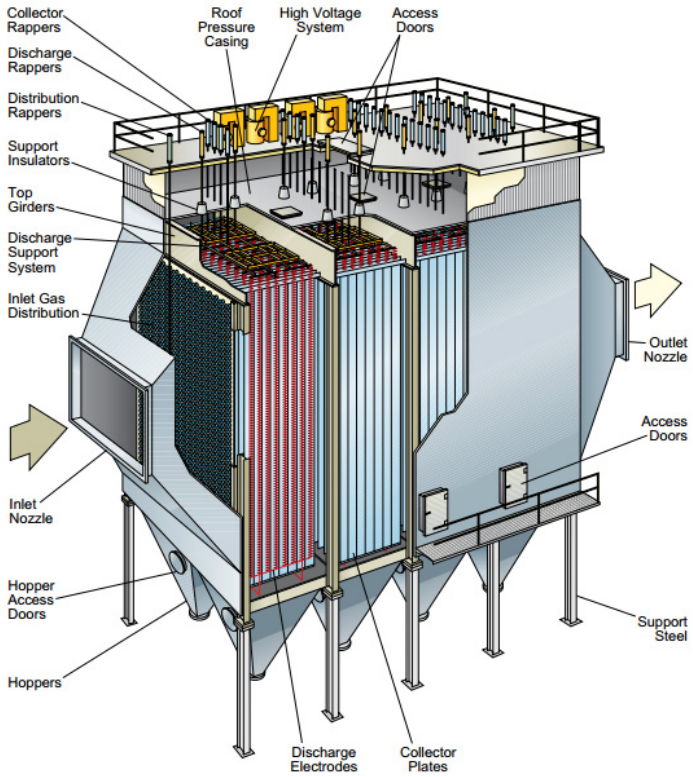


ภาพที่ 7.24 เครื่องกรองใย (Fabric filter)

ที่มา : Goran tek-en, (2014)

5. เครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitation)

ระบบนี้ใช้กับอนุภาคของแข็งหรือของเหลว ซึ่งต้องเป็นอนุภาคที่ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าได้ง่าย โดยนำก๊าซเสียผ่านสนามไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งสร้างด้วยกระแสไฟฟ้าแรงสูง โมเลกุลของอากาศจะมี ประจุเกิดขึ้น เมื่อก๊าซเสียไหลผ่านอิเลคโตรด และโมเลกุลอากาศที่มีประจุจะเหนี่ยวนำให้อนุภาคมลสารเกิดประจุเช่นกัน แล้วเคลื่อนที่ไปที่อิเลคโตรดซึ่งมีประจุตรงกันข้าม ทำให้อนุภาคเป็นกลางซึ่งเกาะอยู่ ถ้าเคาะหรือเขย่าก็จะหลุดออกได้ วิธีนี้มีประสิทธิภาพ 95-99 เปอร์เซ็นต์ การลงทุนสูงแต่ดูแลรักษาง่าย ประสิทธิภาพของเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตย์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ความเร็ว แสดงดังภาพที่ 7.24



ภาพที่ 7.25 เครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic precipitation)
ที่มา: Babcock&Wilcox, (2013)

การควบคุมที่ดีที่สุด คือ การป้องกันมิให้มีสารพิษเกิดขึ้นเลย แต่ในทางปฏิบัติแล้วทำไม่ได้ จึงจำเป็นจะต้องหาวิธีการกำจัดสารมลพิษที่ปล่อยสู่อากาศให้ปริมาณน้อยลงจนไม่เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน

กรณีศึกษา

สุดจิต ครุจิต, นเรศ เชื้อสุวรรณ, นิรันดร์ คงฤทธิ์ และ ธนัญชัย วรรณสุข (2561) ศึกษาแนวทางการจัดการคุณภาพอากาศสำหรับโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก ตามแนวคิดอุตสาหกรรมสีเขียว คณะผู้วิจัยได้วางแผนการเก็บตัวอย่างคุณภาพอากาศในบรรยากาศ โดยเลือกการตรวจวัดฝุ่น ละอองขนาดเล็ก (PM10) 2 จุด คือ จุดที่เป็นตัวแทนพื้นที่ทั่วไปบริเวณภายในเขตรั้วโรงงาน และจุดที่เป็นตัวแทนชุมชนใกล้เคียงโรงงาน แต่ละจุดทำการเก็บตัวอย่าง 2 วันต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องแบบ Gravimetric Hi-volume โดยพบว่าผลตรวจวัดในพื้นที่ทั่วไป ของโรงงานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 133.41 มค.ก/ลบ.ม. ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน PM10 ในบรรยากาศทั่วไปที่มี ค่าเท่ากับ 120 มค.ก/ลบ.ม. คณะผู้วิจัยได้วางแผนการเก็บตัวอย่างอากาศที่ตัวบุคคล โดยเลือกเก็บตัวอย่างผู้ที่ปฏิบัติงาน 3 จุด คือ ผู้ปฏิบัติงานที่จุดเทหัวมัน ผู้ปฏิบัติงานที่จุดบรรจุแป้ง และคนขับรถตักหัวมัน และแต่ละจุดทำ 36 การเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง โดยใช้เครื่องแบบ Personal Sampler โดยพบว่าผลตรวจวัดในระดับฝุ่นในบริเวณที่พนักงาน ปฏิบัติงาน มีค่าอยู่ในช่วง 0.117-0.540 มก./ลบ.ม. ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ ระบบทางเดินหายใจได้ (Respirable Dust) ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย ซึ่งเทียบเท่าได้กับฝุ่น PM10 ที่มีค่าเท่ากับ 5 มก./ลบ.ม.

แนวทางการปรับปรุงลดระดับฝุ่นละออง

การลดระดับฝุ่นละอองจากเทคโนโลยีที่มีอยู่และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การจัดการที่ลานกองวัตถุดิบ และการจัดการที่ปล่องระบายอากาศในกระบวนการอบแป้ง การจัดการมลพิษอากาศที่ลานกองวัตถุดิบ มี 3 แนวทาง ดังต่อไปนี้

การสเปรย์น้ำที่กองวัตถุดิบโดยใช้หัวสเปรย์ชนิดที่เหมาะสมกับการดักจับฝุ่น คือ Spray Nozzle Full Cone สามารถปริมาณการปล่อยฝุ่นลงได้ 21%

การทำกำแพงต้นไม้ป้องกันฝุ่น โดยปลูกต้นไม้รอบๆ บริเวณลานกองวัตถุดิบเป็น 3 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 ต้นไม้สูงประมาณ 4-5 เมตร ชั้นที่ 2 ต้นไม้สูงประมาณ 4 เมตรและชั้นที่ 3 ต้นไม้สูงประมาณ 2-3 เมตร สามารถลดปริมาณการปล่อยฝุ่นลงได้ 49%

การจัดรูปแบบกองวัตถุดิบ โดยการนำวัตถุดิบมาจัดเรียงในลักษณะรูปไข่ (Arranged Flat-Topped Oval Piles) โดยเว้นระยะห่างของแต่ละกองในช่วง 5 ถึง 20 เมตร

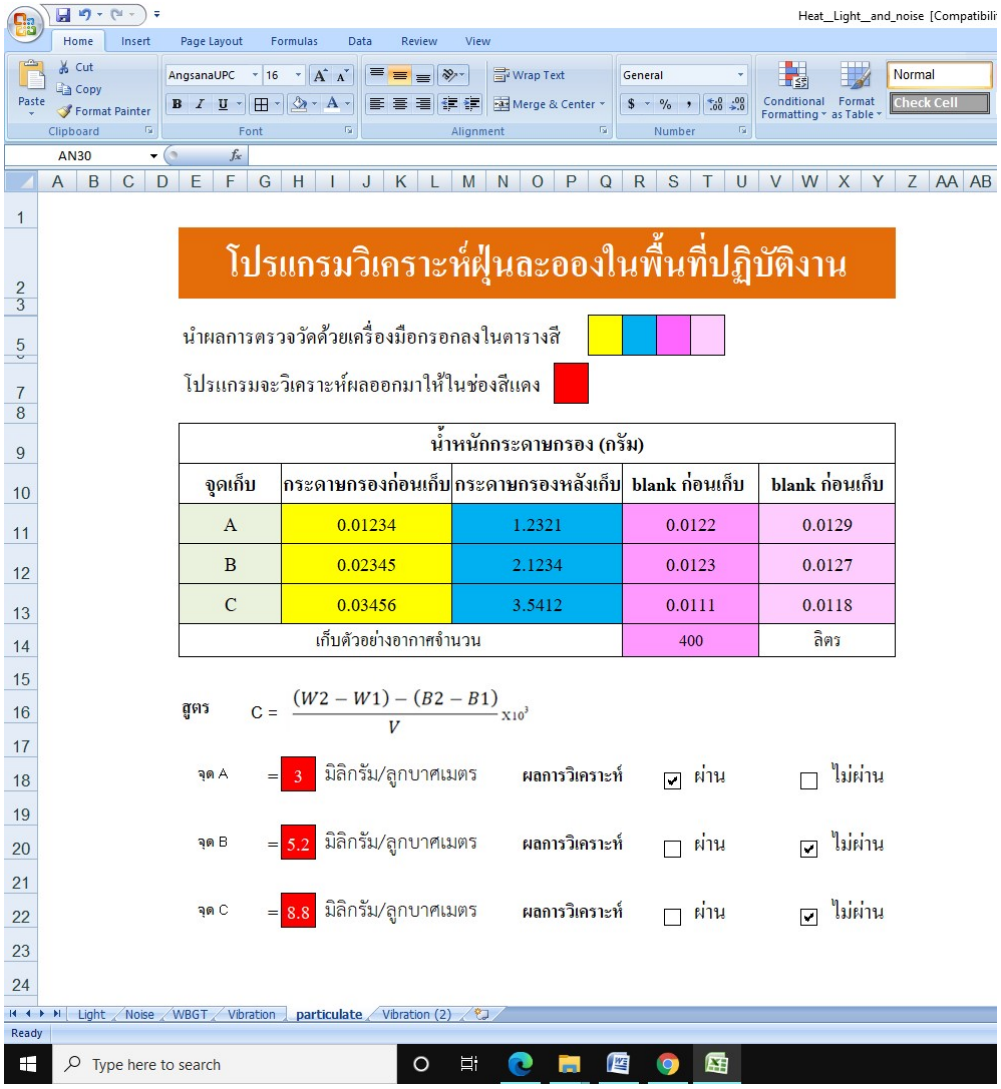
สามารถลดปริมาณการปล่อยฝุ่นลงได้ 60% เมื่อใช้แบบจำลอง AERMOD ทำการประมาณค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งผู้รับ ทั้ง 3 ตำแหน่งและคำนวณการลดลงของค่าความเข้มข้นฝุ่นจากทั้ง 3 ทางเลือก สรุปได้ดังตารางที่ 4-12 โดยพบว่าทางเลือกการจัดเรียงกองวัตถุดิบสามารถลดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยมากที่สุด คืออยู่ในช่วง 22.38-43.66% ทางเลือกการจัดการที่กระบวนการอบแป้ง คือ การติดตั้งเครื่องควบคุมฝุ่นละอองชนิดไซโคลนหรือถุงกรอง ก่อนการระบายออกที่ปล่องระบายอากาศ ซึ่งจะลดการปล่อยมลพิษเหลือเท่ากับ 0.38 และ 0.23 กรัมต่อวินาที ตามลำดับ เมื่อใช้แบบจำลอง

AERMOD ประมาณระดับฝุ่นที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งผู้รับและคำนวณการลดลงของค่าความเข้มข้นฝุ่น พบว่าการใช้เครื่องควบคุมทั้งสองชนิดให้ผลใกล้เคียงกัน และส่งผลให้ค่าความเข้มข้นที่ตำแหน่งที่ 1 คือ บริเวณภายในโรงงานมีการลดลงมากที่สุด คือ ค่าเฉลี่ยลดลง 11.61-18.23% ส่วนที่ตำแหน่งอื่นๆ มีการลดลงเพียงเล็กน้อย

โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์ฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงาน

โปรแกรมวิเคราะห์ฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงาน สำเร็จรูปไฟล์ Excel ช่วยให้ผู้เรียนคำนวณและประมวลผลฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยใช้การวิเคราะห์ตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0600 สำหรับฝุ่น PM10 และ NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0500 ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว สามารถดาวน์โหลดใช้งานได้ฟรีในระบบปฏิบัตการ Windows จาก ไดรฟ์ (Google Drive) ของผู้เขียนตำรา ตาม URL นี้ https://shorturl.asia/smT4D แสดงลักษณะของโปรแกรม ดังนี้

โปแกรมสามารถใช้งานได้ง่าย เพียงแค่นำข้อมูลข้อมูลน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บ-หลังเก็บตัวอย่าง และน้ำหนักกระดาษกรอง blank ก่อนเก็บ-หลังเก็บตัวอย่างป้อนเข้าไปในตารางสีเหลือง สีฟ้า สีชมพู และสีชมพูอ่อน โปรแกรมจะวิเคราะห์ผลออกมาให้ในช่องสีแดง ผู้วิเคราะห์ก็สามารถนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานได้



ภาพที่ 7.26 การวิเคราะห์ฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงาน

จากภาพที่ 7.21 เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์ฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงาน ในลักษณะเก็บตัวอย่าง 3 จุด และวิเคราะห์แยกจุด โดยนำข้อมูลน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บ-หลังเก็บตัวอย่าง และน้ำหนักกระดาษกรอง blank ก่อนเก็บ-หลังเก็บตัวอย่าง กรอกลงในตาราง เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จโปรแกรมจะวิเคราะห์ผลออกมาเป็นค่าปริมาณฝุ่นละอองในจุด A, B และ C หน่วยมิลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร

สรุป

การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่นละออง โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่นรวม (TSP) และการเก็บตัวอย่างมลพิษทางอากาศที่เป็นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) โดยใช้ไซโคลนการสอบเทียบเครื่องมือสามารถดำเนินการได้ 2 วิธี คือการสอบเทียบเครื่องมือโดยวิธี Electronic Bubble Meter Method และการสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้วิธี Manual Buret Bubble Method การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) ใช้วิธีเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ตาม NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0600 สำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM10 และ NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Fourth Edition, Particulate Not Otherwise Regulated, Respirable 0500 สำหรับฝุ่นละออง TSP

คำถามทบทวน

1. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองไว้อย่างไร
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการตรวจวัดฝุ่นละอองในที่ทำงานประกอบด้วยอะไรบ้าง
3. จงอธิบายวิธีการประกอบอุปกรณ์สะสมอนุภาค (Collector)
4. การสอบเทียบเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองสามารถดำเนินการได้กี่วิธีมีอะไรบ้าง
5. จงอธิบายถึงคุณลักษะของกระดาษกรอง (Filter) ที่จะนำมาใช้ในการเก็บตัวอย่าง
6. จงอธิบายการเตรียมกระดาษกรองก่อนการวิเคราะห์
7. จงอธิบายสอบเทียบสำหรับการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM10
8. จงอธิบายการติดตั้งเพื่อเก็บอนุภาคในพื้นที่การปฏิบัติงาน
9. จงอธิบายการติดตั้งอุปกรณ์เก็บอนุภาคไว้กับพื้นที่ปฏิบัติงาน
10. จงอธิบายถึงความถูกต้องของการเดินปั๊มดูดอากาศ

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัยและกรมควบคุมโรคกระทรวงสาธารณสุข. (2558). **แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ**: กรณีฝุ่นละอองขนาดเล็ก.กรุงเทพฯ.

ทิพวรรณ ประภามณฑล และคณะ. (2555). **มลพิษทางอากาศและผลกระทบสุขภาพสู่ชุมชน**. วช. ผลักดันงานวิจัยด้านการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาคุณค่าความหลากหลายทางชีวภาพเพื่อชีวิตที่เป็นสุขและความเป็นอยู่ที่ยั่งยืน" วันศุกร์ที่ 4 พฤษภาคม 2555 ณ โรงแรมเวียงอินทร์อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย.

นพภาพร พานิช และคณะ. (2547). **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**.กรุงเทพฯ. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (น.1-13 - 1-14)

นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีความปลอดภัยและอาชีวอนามัย, (2560). **ปฏิบัติการใช้เครื่องมือ.** สาขาวิชาเทคโนโลยีความปลอดภัยและอาชีวอนามัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

นันทวรรณ วิจิตรวาทการ, วิชัย เอกพลากร และนิตยา วัจนะภูมิ. (2547). **รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการประเมินอัตราตายอัตราป่วยและผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์อันเนื่องมาจากมลพิษอากาศในกรุงเทพฯ**

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538). **เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป**. ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติพ.ศ. 2535. (2538, 25 พฤษภาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 112 ตอนที่ 52ง.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547). **เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป.** ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติพ.ศ. 2535. (2547, 22 กันยายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 121 ตอนพิเศษ 104 ง.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 28 (พ.ศ. 2550). **เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป**. ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติพ.ศ. 2535. (2550, 14 พฤษภาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 124 ตอนพิเศษ 58ง.

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช และคณะ. (2554). **คู่มือการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ**. กรมอนามัย. กระทรวงสาธารณสุข. กรุงเทพฯ.(น.24-25).

พงศ์เทพ วิวรรธนะเดช. (2555). **คอนแทร็กฟาร์มมิง ต้นเหตุภาคเหนือเมืองในหมอก (ควัน)**. ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุดจิต ครุจิต, นเรศ เชื้อสุวรรณ, นิรันดร์ คงฤทธิ์ และธนัญชัย วรรณสุข (2561). **แนวทางการจัดการคุณภาพอากาศสำหรับโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็กตามแนวคิดอุตสาหกรรมสีเขียว.** สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2546). **คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ**. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ.

ห้องปฏิบัติการ 4257. (2560). **ภาพถ่ายเครื่องมืออุปกรณ์.** สาขาวิชาเทคโนโลยีความปลอดภัยและอาชีวอนามัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

ACGIH. (2013). **Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices**. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1330 Kemper Meadow Drive, 6500 Glenway, Building D-7, Cincinnati, OH, 45240-1630.

Bart Ostro et al. (1995). **Long-Term Exposure to Constituents of Fine Particulate Air Pollution and Mortality**: Results from the California Teachers Study. Environmental Health Perspectives, volume 118 | number 3 | March 2010

Central Lab Science TU. (2020). **Particle Size Analyzer.** Retrieved May, 8, 2021 https://sites.google.com/site/csicscitu/instrument/kheruxngwikheraahkhnadxnuphakhparticlesizeanalyzer

Jc health. (2515). **ผลกระทบของฝุ่นละอองในอากาศ**. Retrieved June, 10, 2017,from http://www.jchealthtech.co.th/

Peters et al. (1999). **Department of Psychology, Institute of Psychiatry**, De Crespigny Park, London SE5 8AF, UK.

Tasic, V., M. Jovasevic-Stojanovic. S. Vardoulakis. N. Milosevic R Kovacevic. and J. Petrovic, (2012). **Comparative assessment of a real-time particle monitor against the reference gravimetric method for PM10 and PM2.5 indoor air**. Atmospheric Environment 54: 358-364.

The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). **Particulates not Otherwise Regulated**, **Total 0500, Particulates not Otherwise Regulated, Respirable 0600**. Retrieved June, 10, 2017,from https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/method-cas0.html

U.S. Department of Labor. (2003). **Personal Sampling for air Contaminants**. Occupational Safety & Health Administration.Retrieved June, 10, 2017,from http://faculty.uml.edu/swoskie/recognition/oshatechmanualsampling.pdf