

เทคโนโลยี การวัดและควบคุม ฝุ่นละอองลอย ด้วยไฟฟ้าสถิต

หนังสือเล่มนี้เป็นพื้นฐานและเชิงประยุกต์สำหรับผู้อ่านให้ได้ทราบถึงเทคโนโลยีการวัดและควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิตที่ประกอบด้วย คุณภาพอากาศและผลกระทบของฝุ่นละอองลอยต่อสุขภาพมนุษย์ หลักมูลฐานของไฟฟ้าสถิต สนามไฟฟ้าและโค-โรนาดิสชาร์จ การสร้างแรงดันสูงสำหรับงานไฟฟ้าสถิต แก๊สและการเคลื่อนที่ของอนุภาค การอัดประจุอนุภาค การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตของอนุภาค เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต การจำแนกขนาดอนุภาคด้วยความเคลื่อนที่ได้ไฟฟ้า การวัดประจุละอองลอย เครื่องจำแนกขนาดอนุภาคแบบความเคลื่อนที่ได้ไฟฟ้า และเครื่องตรวจหาละอองลอยทางไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ในเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน ทั้งทางด้านวิชาการ การเรียนการสอน การวิจัย และการประยุกต์ใช้ในการทำงานเกี่ยวกับการตรวจวัดและควบคุมมลพิษทางอากาศต่อไป



จัดพิมพ์โดย
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0-2218-3269-70
โทรสาร 0-2218-3547
e-mail: cupress@chula.ac.th
www.cupress.chula.ac.th
สรรคุณคำวิชาการ ผู้สังคัม
Knowledge to All



cupress.chula.ac.th



เทคโนโลยีการวัดและควบคุมฯ
ISBN 978-974-03-3905-2
9 789740 339052
C112
5151400 290.00 บาท



เทคโนโลยี การวัดและควบคุม ฝุ่นละอองลอย ด้วยไฟฟ้าสถิต

เทคโนโลยีการวัดและควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต
พานิช อินต๊ะ

พานิช อินต๊ะ

สพจ.
2271



กระบวนการผลิตหนังสือเล่มนี้ช่วยลดโลกร้อน
ด้วยการชดเชยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 100%
0.68 kg.CO₂eq/เล่ม

เทคโนโลยีการวัดและควบคุม
ฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต

เทคโนโลยีการวัดและควบคุม ฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต

พานิช อินต๊ะ

 **สำนักพิมพ์**
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2562

290.-

พานิช อินต๊ะ

เทคโนโลยีการวัดและความคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต / พานิช อินต๊ะ

1. การควบคุมฝุ่น. 2. ฝุ่น -- การวัด. 3. การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต.

697.9324

ISBN 978-974-03-3905-2

สปจ. 2271



สสสคุณค่าวิชาการ สู่สังคม

Knowledge to All

www.cupress.chula.ac.th

สิทธิในการผลิตและพิมพ์หนังสือเล่มนี้เป็นของสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแต่เพียงผู้เดียว

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 800 เล่ม พ.ศ. 2562

ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

ม.พะเยา จ.พะเยา โทร. 0-5446-6799-800 โทรสาร 0-5446-6798

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304

หัวหมาก โทร. 0-2374-1378 โทรสาร 0-2374-1375

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา โทร. 0-4492-2662-3 โทรสาร 0-4492-2664

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com> และเครือข่ายฯ

ร้านค้าติดต่อ แผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1375-6 โทรสาร 0-2374-1377

กองบรรณาธิการ : ทิพวรรณ โหละสุต

ออกแบบปก : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปเล่ม : รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ

พิมพ์ที่ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [CUB6302-019]

โทร. 0-2218-3562-3 โทรสาร 0-2218-3547

www.cupress.chula.ac.th

คำนิยม

ผมได้อ่านหนังสือเล่มนี้แล้ว รู้สึกประทับใจเป็นอย่างยิ่ง ที่นักวิชาการรุ่นใหม่อย่าง รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ ได้จัดทำขึ้นมาอย่างมีคุณภาพ หนังสือเล่มนี้ประกอบด้วย เนื้อหาภาคทฤษฎีที่ทำให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจถึงหลักการเบื้องต้น ตามมาด้วยรายละเอียดเชิง เทคนิคเครื่องวัดและวิเคราะห์จำนวนอนุภาคด้วยเทคนิคไฟฟ้าสถิต และมีการสอดแทรกเนื้อหา ที่เขียนขึ้นจากประสบการณ์ของผู้เขียนเองนับเป็นส่วนสำคัญในการเขียนตำราหรือหนังสือ ซึ่ง สามารถถ่ายทอดออกมาในรูปแบบที่สามารถอ่านเข้าใจได้ง่าย ปัจจุบันในเมืองไทยจะมีตำรา หรือหนังสือที่เขียนเกี่ยวกับเทคโนโลยีการวัดและการควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิตน้อย มากหรือแทบไม่มีเลย หนังสือเล่มนี้จึงเป็นเล่มแรกๆ ของเมืองไทย ที่จะเป็นประโยชน์กับผู้อ่าน ทั้งจากทางภาควิชาการ ในมหาวิทยาลัยที่สามารถใช้ประกอบการเรียนการสอน และการทำ วิจัย รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานเกี่ยวข้องกับการตรวจวัดและควบคุมมลพิษทาง อากาศทั้งในภาคอุตสาหกรรมและองค์กรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่วนดีของหนังสือเล่มนี้จะนำมาสู่ การพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีด้านนี้ให้ก้าวหน้าขึ้นได้ด้วยคนไทยเอง นับเป็นการเพิ่ม ศักยภาพในการแข่งขันในเชิงเทคโนโลยีของคนไทยในเวทีสากล ผมขอให้กำลังใจในการทำงาน ด้านวิชาการของ รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ ในเทคโนโลยีแขนงนี้ให้ก้าวหน้าต่อไป อย่างไม่หยุดยั้ง

ศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

คำนิยม

เมื่อรองศาสตราจารย์ ดร. พานิช อินตะ กรุณาให้เกียรติดิฉัน ส่งต้นฉบับเล่มนี้มาให้เขียนคำนิยมรู้สึกดีที่สนใจได้อ่านต้นฉบับงานวิชาการเล่มนี้ ทำให้ทราบว่ารองศาสตราจารย์ ดร. พานิช อินตะ เป็นนักวิจัยที่น่าชื่นชมและผลงานเป็นนวัตกรรมที่มีคุณค่าในวงการวิจัยและทำให้ทราบว่าผู้วิจัยท่านนี้เป็นนักวิจัยโดยสายเลือดหรือนักวิจัยมืออาชีพที่ทุ่มเทเวลาอย่างเต็มที่ กำลังความสามารถให้กับประเทศเป็นอย่างดี

หนังสือเทคโนโลยีการวัดและการควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิตจะเป็นพื้นฐานเชิงประยุกต์และได้ทราบถึงการทำงานของเครื่องวัดและวิเคราะห์ห้อนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตที่เป็นนวัตกรรมใหม่ หวังเป็นอย่างยิ่งเมื่อผู้อ่านได้อ่านหนังสือเล่มนี้จบจะทำให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงในเรื่องต่าง ๆ เช่น การวัดและการควบคุมฝุ่นละอองด้วยไฟฟ้าสถิต คุณภาพอากาศ ผลกระทบของฝุ่นละอองกับสุขภาพมากขึ้นและนำไปใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างมากในชีวิต การเรียน การสอน การทำวิจัยได้มากขึ้น

ดร. เพ็ญธิดา ทิพย์โยธา

ผู้อำนวยการภารกิจนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัย (กองนโยบายและแผนการวิจัย)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

คำนิยม

เมื่อพูดถึง รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช อินต๊ะ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา ผมจะนึกถึงงานวิจัยด้านเครื่องกำเนิดฝุ่นจากเตาเผาขยะ เพราะอาจารย์ได้ร่วมงานวิจัย
กับทางสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) เครือข่ายภาคเหนือ มา
ตั้งแต่ปี 2551 ในฐานะหัวหน้าโครงการ และที่ชื่นชมอาจารย์ตรงที่อาจารย์แน่วแน่ทำวิจัยอย่าง
ต่อเนื่อง จนเกิดผลสัมฤทธิ์ของผลงานเป็นที่ยอมรับในแวดวงวิชาการ ได้รับรางวัล
ระดับประเทศและต่างประเทศหลายรางวัล เมื่ออาจารย์ขอให้ผมเขียนคำนิยมจึงน้อมรับด้วย
ความยินดี

ผมได้อ่านเอกสารต้นฉบับเรื่อง เทคโนโลยีการวัดและการควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วย
ไฟฟ้าสถิต ด้วยความดีใจที่ได้เห็นอาจารย์นำประสบการณ์จากภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติ และ
ประสบการณ์จริงมาเขียนเป็นหนังสือวิชาการที่ใช้ในการเรียนการสอน ซึ่งจะทำให้ผู้อ่านเกิด
ความสนใจที่ติดตามเนื้อหาที่เริ่มจากผลของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องมีอะไรบ้าง วิธีการตรวจวัดและอุปกรณ์การตรวจวัดทำได้อย่างไร
เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาทางป้องกันและแก้ปัญหา ทำให้หนังสือฉบับนี้น่าติดตาม
ถึงแม้จะเป็นวิชาการล้วนๆ ผู้อ่านที่ไม่ใช่นักศึกษาก็สามารถอ่านเก็บความได้เพื่อความเข้าใจใน
หลักการ เมื่อมีการพูดถึงเครื่องมือหรืออุปกรณ์เหล่านี้จะเกิดความเข้าใจและเห็นความสำคัญ
ซึ่งจะทำให้เกิดความตระหนักในการมีส่วนร่วมในการป้องกันและแก้ไขต่อไปในอนาคต ผมหวัง
เป็นอย่างยิ่งว่าจะเห็น รองศาสตราจารย์ ดร. พานิช อินต๊ะ ทำงานวิจัยแน่วแน่อย่างต่อเนื่องและ
พัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อนำไปใช้หลากหลายต่อไป เพื่อลดการนำเข้าและพัฒนาเพื่อส่งออก
ด้วยเทคโนโลยีของไทยอย่างภาคภูมิใจ ขอเป็นกำลังใจให้ครับ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรพงษ์ เลิศทัศนีย์
ที่ปรึกษา สวทช. ภาคเหนือ

คำนำ

ผลกระทบของมลพิษทางอากาศเนื่องจากฝุ่นละอองลอยได้มีเพิ่มขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน จึงทำให้มีความสนใจที่จะทำการวัดและควบคุมฝุ่นละอองลอยเหล่านี้ เพื่อที่จะได้ทราบข้อมูลของสถานการณ์มลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นและสามารถควบคุมมลพิษทางอากาศไม่ให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น ดังนั้น การวัดและควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยวิธีการเชิงไฟฟ้าสถิตจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจในงานดังกล่าว เนื่องจากให้ความถูกต้องและประสิทธิภาพในการวัดและควบคุมสูงวิธีหนึ่ง

จากประสบการณ์ในการสอน การทำวิจัย การเป็นที่ปรึกษาโครงการงานและวิทยานิพนธ์ และการทำงานเป็นวิทยากรบรรยายให้กับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนหลายแห่ง ทำให้ผู้เขียนได้เกิดแนวคิดที่จะนำองค์ความรู้และประสบการณ์ที่ได้มาจากการทำงานดังกล่าวมาเขียนเป็นหนังสือ ในหนังสือเล่มนี้จะมีเนื้อหาที่เป็นพื้นฐานและเชิงประยุกต์สำหรับผู้อ่านให้ได้ทราบถึงเทคโนโลยีการวัดและการควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิตที่ประกอบด้วย คุณภาพอากาศและผลกระทบของฝุ่นละอองลอยต่อสุขภาพมนุษย์ หลักมูลฐานของไฟฟ้าสถิต สนามไฟฟ้าและโค-โรนาดีสชาร์จ การสร้างแรงดันสูงสำหรับงานไฟฟ้าสถิต แก๊สและการเคลื่อนที่ของอนุภาค การอัดประจุอนุภาค การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตของอนุภาค เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต การจำแนกขนาดอนุภาคด้วยความเคลื่อนที่ได้ไฟฟ้า การวัดประจุละอองลอย เครื่องจำแนกขนาดอนุภาคแบบความเคลื่อนที่ได้ไฟฟ้า และเครื่องตรวจหาละอองลอยทางไฟฟ้า ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ในเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน ทั้งทางด้านวิชาการ การเรียน การสอน การวิจัย และการประยุกต์ใช้ในการทำงานเกี่ยวข้องกับการตรวจวัดและการควบคุมมลพิษทางอากาศต่อไป

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยมาโดยตลอดและขอขอบคุณครอบครัวอินตะที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจช่วยให้หนังสือเล่มนี้เกิดขึ้น



รองศาสตราจารย์ ดร. พานิช อินตะ

สารบัญ

หน้า

คำนิยม

คำนำ

สารบัญ

คำย่อ

นิยามศัพท์

1	คุณภาพอากาศและคุณสมบัติของฝุ่นละอองลอยในอากาศ	1
1.1	คุณภาพอากาศ	2
1.2	ผลกระทบของฝุ่นละอองลอยต่อสุขภาพ	4
1.3	คุณสมบัติของฝุ่นละอองลอยในอากาศ	6
1.4	การเก็บตัวอย่างและหลักการวัดฝุ่นละอองลอยในอากาศ	12
1.5	การควบคุมปริมาณฝุ่นละอองลอย	19
	แบบฝึกหัดบทที่ 1	21
2	หลักมูลฐานของไฟฟ้าสถิต	23
2.1	กฎของคูลอมบ์	23
2.2	วัสดุไดอิเล็กทริก	26
2.3	กฎของเกาส์	27
2.4	ศักย์ไฟฟ้าสถิต	28
2.5	ความจุไฟฟ้า	31
2.6	การอนุรักษ์ของประจุไฟฟ้า	32
2.7	กระแสไฟฟ้า	33
2.8	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าสถิตสำหรับการวัดและการควบคุมฝุ่นละอองลอย	36
	แบบฝึกหัดบทที่ 2	37

3	สนามไฟฟ้าและคอโรนาดีสชาร์จ	41
	3.1 ลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้า	41
	3.2 คอโรนาดีสชาร์จ	47
	3.3 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของสนามไฟฟ้า	53
	แบบฝึกหัดบทที่ 3	58
4	การสร้างแรงดันสูงสำหรับงานไฟฟ้าสถิต	61
	4.1 การสร้างแรงดันสูงกระแสสลับ	62
	4.2 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง	63
	4.3 การสร้างแรงดันสูงแบบพัลส์	72
	แบบฝึกหัดบทที่ 4	74
5	แก๊สและการเคลื่อนที่ของอนุภาค	77
	5.1 คุณสมบัติของแก๊ส	77
	5.2 ตัวเลขเรย์โนลด์์อนุภาค	80
	5.3 กฎของสโตกส์	82
	5.4 กลไกเชิงเฉื่อยของอนุภาค	85
	5.5 การเคลื่อนที่ของอนุภาคแบบแพร่	86
	5.6 การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า	88
	แบบฝึกหัดบทที่ 5	91
6	การอัดประจุอนุภาค	95
	6.1 การอัดประจุอนุภาคแบบแพร่	96
	6.2 การอัดประจุอนุภาคแบบสนาม	101
	6.3 การอัดประจุอนุภาคร่วม	107
	6.4 การพัฒนาเครื่องอัดประจุอนุภาค	108
	แบบฝึกหัดบทที่ 6	115

7	การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตของอนุภาค	121
	7.1 หลักการการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตของอนุภาค	121
	7.2 การวิเคราะห์ระยะการตกตะกอนของอนุภาค	122
	7.3 ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาค	127
	7.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมอนุภาค	128
	<i>แบบฝึกหัดบทที่ 7</i>	135
8	เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	139
	8.1 ความสำคัญของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	139
	8.2 ความเป็นมาของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	142
	8.3 หลักการทำงานของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	143
	8.4 โครงสร้างและประเภทของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	145
	8.5 คุณสมบัติของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	146
	8.6 ตัวอย่างการพัฒนาเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต	148
	<i>แบบฝึกหัดบทที่ 8</i>	159
9	การจำแนกขนาดอนุภาคด้วยความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้า	163
	9.1 หลักการการจำแนกขนาดอนุภาคด้วยความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้า	163
	9.2 การจำแนกขนาดอนุภาคแบบช่องเดียว	165
	9.3 การจำแนกขนาดอนุภาคแบบหลายช่อง	167
	9.4 ตัวอย่างการวิเคราะห์การจำแนกขนาดอนุภาค	174
	<i>แบบฝึกหัดบทที่ 9</i>	179
10	การวัดประจุละอองลอย	183
	10.1 การวัดประจุละอองลอยด้วยลูกถ้วยฟาราเดย์	183
	10.2 การวัดประจุละอองลอยแบบหลายช่อง	186
	10.3 การวัดกระแสระดับต่ำ	189
	<i>แบบฝึกหัดบทที่ 10</i>	198

11	เครื่องจำแนกขนาดอนุภาคแบบความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้า	201
11.1	หลักการของเครื่องจำแนกขนาดอนุภาคแบบความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้า	201
11.2	ความเป็นมาของเครื่องจำแนกขนาดอนุภาคแบบความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้า	203
11.3	เครื่องจำแนกขนาดอนุภาคแบบช่องเดี่ยว	204
11.4	เครื่องจำแนกขนาดอนุภาคแบบหลายช่อง	214
11.5	การเปรียบเทียบคุณสมบัติและแนวโน้มในการพัฒนาในอนาคต	227
	<i>แบบฝึกหัดบทที่ 11</i>	229
 12	 เครื่องตรวจหาละอองลอยทางไฟฟ้า	 233
12.1	หลักการของเครื่องตรวจหาละอองลอยทางไฟฟ้า	233
12.2	ตัวอย่างเครื่องตรวจหาละอองลอยทางไฟฟ้า	234
12.3	สรุปและแนวโน้มในการพัฒนาในอนาคต	245
	<i>แบบฝึกหัดบทที่ 12</i>	246
	ดรรชนีค้นเรื่อง	249
	ประวัติผู้เขียน	259

คำย่อ

AC	Alternating Current
ACLDMA	Adjustable-Column Length Differential Mobility Analyzer
BCAC	Bipolar Charge Aerosol Classifier
CFD	Computational Fluid Dynamics
DC	Direct Current
DCE	Diffusion Charging Electrometer
DDMA	Dual-type Differential Mobility Analyzer
DMA	Differential Mobility Analyzer
DMM	Digital Multi-Meter
DMS	Differential Mobility Spectrometer
EAA	Electrical Aerosol Analyzer
EAD	Electrical Aerosol Detector
EAS	Electrical Aerosol Spectrometer
EEPS	Engine Exhaust Particle Sizer
ELPI	Electrical Low Pressure Impactor
EMA	Electrical Mobility Analyzer
EMS	Electrical Mobility Spectrometer
EPD	Electrical Particle Detector
ESP	Electrostatic Precipitator
FAS	Fast Aerosol Spectrometer
FCE	Faraday Cup Electrometer
HEPA	High Efficiency Particulate-Free Air Filter
LPDMA	Low Pressure Differential Mobility Analyzer
PCB	Printed Circuit Board
PM	Particulate Matter
PTFE	Polytetrafluoroethylene
SEM	Scanning Electron Microscope

TSP	Total Suspended Particulate
UPMS	Ultrafine Particle Measurement System
USPEA	United State Environmental Protection Agency
UV	Ultraviolet

นิยามศัพท์

กระจาย Disperse	การทำให้แพร่หรือแตกแยกออกจากกันไปในที่ต่างๆ ผ่นข่าน จางออก เช่น อนุภาคที่แพร่กระจาย การกระจายขนาดอนุภาค
กระเจิง Scatter	กระบวนการทางกายภาพทั่วไปที่อยู่ในรูปแบบของการแผ่รังสี เช่น แสง เสียง หรือการเคลื่อนย้ายอนุภาคที่ถูกบังคับให้ เบี่ยงเบนไปจากวิถีตรง โดยอาจจะ 1 วิธีหรือมากกว่า เนื่องจาก ความไม่สม่ำเสมอในตัวกลางที่ผ่าน
การตกตะกอน Precipitation	สารอนุภาคแขวนลอยในอากาศตกลงด้วยแรงโน้มถ่วงหรือแรง กระทำอื่น เช่น แรงไฟฟ้า แรงเฉื่อย
แขวนลอย Suspend	ภาวะที่อนุภาคซึ่งมีขนาดจำกัดแผ่กระจายอยู่ในของไหลหรือ ของแข็งโดยไม่ละลายหรือสลายตัวรวมเป็นเนื้อเดียวกับของไหล หรือของแข็งนั้น สารที่อยู่ในภาวะเช่นนี้เรียกว่า สารแขวนลอย เช่น ฝุ่นในอากาศ หยดน้ำเล็กๆ ในแก๊ส
ควัน Smoke	อนุภาคของของแข็งหรือของเหลว กระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็น แก๊สที่มีอยู่ในอากาศ จะถูกปล่อยออกมาเมื่อมีการเผาวัสดุหรือ เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้ ความร้อน พร้อมกับปริมาณของอากาศหรือผสมในมวลสารชนิด อื่น ซึ่งเป็นส่วนเกินจากผลที่เกิดขึ้นจากความร้อน เช่น เตา เทียนไข ตะเกียงน้ำมัน และเตาไฟ
ความเคลื่อนที่ได้ Mobility	ความสามารถของสารอนุภาคที่จะเคลื่อนย้ายผ่านตัวกลาง เช่น ความสามารถของอนุภาคที่มีประจุเคลื่อนย้ายภายใต้สนาม ไฟฟ้า

คุณลักษณะ Characteristic	เส้นโค้งคุณลักษณะใดๆ ที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของพารามิเตอร์บางอย่าง เช่น คุณลักษณะกระแสกับแรงดัน ซึ่งกระแสในวงจรไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชันของแรงดันที่จ่ายให้วงจรไฟฟ้า
คุณสมบัติ Property	คุณลักษณะประจำตัวของวัตถุใดๆ เช่น คุณสมบัติของฝุ่นละอองลอย คุณสมบัติของแก๊ส คุณสมบัติของวัสดุ
แผ่นราบ Plate	ช่วงของวัตถุ ซึ่งปกติจะบางและแบน เมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมหรือบริบทของวัตถุนั้น
ฝุ่น Dust	อนุภาคในอากาศที่มีแหล่งที่มาจากหลายๆ ที่ เช่น ฝุ่นจากดินที่ถูกลมพัดขึ้นมา ฝุ่นจากการระเบิดของภูเขาไฟ หรือจากมลภาวะต่างๆ ฝุ่นในที่พักอาศัย สำนักงาน หรือแม้แต่ ละอองเกสรของพืช เส้นผมหรือขนของคนและสัตว์ สิ่งทอ เส้นใย เศษผิวหนังของมนุษย์ สิ่งหลงเหลือจากอุบัติเหตุ และจากอีกหลายอย่าง หลายวัตถุในสภาพแวดล้อมทั่วไป
แพร่ Diffuse	การเคลื่อนที่ของสารอนุภาคจากบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นของสารต่ำโดยอาศัยพลังงานจลน์ของสารอนุภาคเอง
ระนาบ Plane	พื้นผิวสองมิติมีความกว้างและความยาว เกิดจากแนวเส้นที่ต่อเนื่องกันปิดล้อมพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งทำให้เกิดรูปร่างหรือกลุ่มของจุดและเส้น ซึ่งมองผ่านไปแล้วเกิดลักษณะของระนาบ
รุ่งแสง Glow	เปล่งแสงหรือแสงที่เปล่งออกมา เช่น การปล่อยประจุแบบมีแสง การ คอโรนาแบบรุ่งแสง

เรืองแสง
Fluorescent

การปล่อยของแสงโดยใช้สารที่มีการดูดซึมแสงหรือการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ นอกจากนี้ยังเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลถูกกระตุ้นสถานะอิเล็กทรอนิกส์ที่สูงขึ้นโดยการชนของอิเล็กตรอนมีพลัง เช่น แสงออโรราในธรรมชาติ การระเบิดนิวเคลียร์ และการทดลองป้อนอิเล็กตรอนจรวดลม

ละออง
Mist

ปรากฏการณ์ที่เกิดจากละอองน้ำขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศ เกิดขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของสภาพอากาศธรรมชาติหรือการระเบิดของภูเขาไฟ

ละอองลอย
Aerosol

ของผสมประเภทคอลลอยด์ (colloid) ที่ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่เป็นละอองฟุ้งกระจายในอากาศ อนุภาคเหล่านี้ลอยในอากาศในลักษณะกึ่งสารละลาย และกึ่งสารแขวนลอย เช่นเดียวกับคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ รวมถึงหยดละอองของเหลว หรือทั้งคู่ที่กระจายในแก๊ส

สภาพต้านทาน
Resistivity

ปริมาณการวัดของการต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวัสดุ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำบ่งชี้ว่าวัสดุนั้นยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ง่าย หน่วยในระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศของสภาพต้านทานไฟฟ้าคือ โอห์ม เมตร (Ωm) ซึ่งจะแสดงในรูปแบบอักษรกรีกตัว ρ (โร)

สภาพยอม
Permittivity

ตัวชี้วัดความต้านทานที่พบเมื่อสร้างสนามไฟฟ้าในตัวกลางในทางกลับกัน สภาพยอมเป็นตัวชี้วัดสนามไฟฟ้ามีผลกระทบและได้รับผลกระทบโดยตัวกลางไดอิเล็กตริกอย่างไร สภาพยอมของตัวกลางจะอธิบายถึงสนามไฟฟ้าเท่าใดที่สร้างต่อประจุหนึ่งหน่วยในตัวกลางนั้น

สารอนุภาค Particulate matter	สารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบอาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ มีขนาดตั้งแต่ 0.002 μm (เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 μm
หมอกควัน Smog	ลักษณะของมลพิษทางอากาศชนิดหนึ่ง โดยคำว่า หมอก เป็นคำกร่อนมาจากคำว่า "สโมก" (smoke แปลว่า ควัน) กับ "ฟ็อก" (fog แปลว่า หมอก) ในอดีตหมอกเกิดขึ้นมาจากการผสมระหว่างควันกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเผาไหม้ถ่านหิน ส่วนหมอก ในปัจจุบันจะมาจากควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และควันจากโรงงานอุตสาหกรรม และทำปฏิกิริยากับแสงแดดซึ่งก่อให้เกิด หมอกควันแบบโฟโตเคมี (photo-chemical smog)
อนุภาค Particle	สสารที่มีปริมาณน้อยมากหรือเล็กมาก เช่น อิเล็กตรอน (electron) โมเลกุล (molecule) อะตอม (atom) นิวตรอน (neutron) โปรตอน (proton) อนุภาคคอลลอยด์ (colloid particle)

คุณภาพอากาศและ คุณสมบัติของฝุ่นละอองลอยในอากาศ

ฝุ่นละอองลอยเป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาหลักในกรุงเทพมหานครและเมืองขนาดใหญ่ในปัจจุบัน เช่น เชียงใหม่ ขอนแก่น นครราชสีมา โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศมีผลกระทบต่อทัศนวิสัย อากาศตามฤดูกาล สุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากร และกระบวนการในอุตสาหกรรมมากมาย เช่น อาหาร ห้องประกอบอาหาร ประยุกต์ หรือพื้นที่ในโรงพยาบาล อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และสารกึ่งตัวนำ และการปนเปื้อนในพื้นที่และผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพและผลการผลิตได้ โดยแหล่งที่มาของฝุ่นละอองลอยต่างๆ เหล่านี้ เช่น อุตสาหกรรมโรงโม่หิน การทำปูนซีเมนต์ โรงงานไฟฟ้า เขม่าควันจากไอเสียของเครื่องยนต์ และฝุ่นเกลือจากทะเล จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะต้องมีการวัด วิเคราะห์ และควบคุมปริมาณการแพร่กระจายของฝุ่นละอองลอยในอากาศจากแหล่งกำเนิด เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมหรือมีผลกระทบน้อยที่สุด

วิธีการวัด วิเคราะห์ และควบคุมปริมาณการแพร่กระจายของฝุ่นละอองลอยมีหลายวิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของฝุ่นละอองลอย โดยสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ เคมี และไฟฟ้าของอนุภาค โดยเฉพาะไฟฟ้าสถิต (electrostatic) เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายยาวนาน เนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการวัด วิเคราะห์ และควบคุมสูง (White, 1963; Hinds, 1999) ไฟฟ้าสถิตเป็นปรากฏการณ์ที่ปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุมีไม่เท่ากัน ปกติจะแสดงในรูปการดึงดูด การผลักกัน และเกิดประกายไฟ ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น ประจุไฟฟ้าสถิต (electrostatic charge) การตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitation) ความเคลื่อนที่ได้ทางไฟฟ้า (electrical mobility) จากหลักการที่ได้กล่าวมา ในปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือหรืออุปกรณ์สำหรับการวัด วิเคราะห์ และควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิตออกมาเพื่อเชิงพาณิชย์และมีการใช้งานในอุตสาหกรรมมากมาย ตัวอย่างเช่น เครื่องตรวจวัดอนุภาค (particulate matter sensor) เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (particle size analyzer) เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator) เครื่องกรองอากาศ (air filter) และเครื่องสร้างแก๊สโอโซน (ozone generator)

ในบทนี้จะเป็นการทำความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องของคุณภาพอากาศและคุณสมบัติต่างๆ ของฝุ่นละอองลอยในอากาศเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับผู้อ่าน โดยจะกล่าวถึงเรื่องของคุณภาพอากาศ คุณสมบัติและลักษณะของฝุ่นละอองลอยในอากาศ แหล่งที่มา การเก็บตัวอย่างและหลักการวัดฝุ่นละอองลอยในอากาศ และรวมถึงแนวทางในการควบคุมปริมาณฝุ่นละอองลอย โดยมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

1.1 คุณภาพอากาศ

คุณภาพอากาศ (air quality) เป็นเรื่องที่หลายประเทศทั่วโลกกำลังให้ความสนใจและให้ความสำคัญ เนื่องจากส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของประชากรและต่อประสิทธิภาพการทำงานของ คนทำงาน เป็นที่ยอมรับว่าคุณภาพอากาศจะดีต่อสุขภาพหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับระดับหรือ ปริมาณมลพิษที่ปนเปื้อนในอากาศ สารมลพิษที่สำคัญคือสารอนุภาค (particulate matter) ที่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า $2.5\ \mu\text{m}$ หรือที่เรียกว่า PM 2.5 สารอนุภาคขนาดเล็กคือการ รวมกันของโมเลกุล (molecular) หรือกลุ่มโมเลกุลของสารหรือสารประกอบต่างๆ ที่ลอยอยู่ ปนกับฝุ่นละอองลอยในอากาศที่เราหายใจเข้าไป ซึ่งมีความหลากหลายทั้งทางด้านกายภาพ (physical) และองค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) มีทั้งสภาพที่เป็นของแข็ง (solid) หรือของเหลว (liquid) สามารถแขวนลอยได้เป็นเวลานาน กลุ่มโมเลกุลในอากาศมีแหล่งกำเนิด ต่างๆ กัน เช่น เขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซล การเผาป่า ฝุ่นจากการขนส่ง ฝุ่นจากการเกษตรกรรม หรือการก่อสร้าง หรือกระบวนการอุตสาหกรรม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 นอกจากนี้ยังเกิด จากปฏิกิริยาทางเคมีและแสงของแก๊สพิษ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือไนโตรเจนออกไซด์ใน อากาศ ซึ่งเป็นผลพวงจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

ดังนั้น นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น สำหรับใน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยสำนักงานป้องกันสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา หรือ USEPA (United State Environmental Protection Agency) ได้กำหนดค่ามาตรฐานของอนุภาค แขนวลอยรวม TSP (Total Suspended Particulate) และอนุภาคแขวนลอยที่มีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเล็กกว่า $10\ \mu\text{m}$ หรือ PM 10 แต่เนื่องจากการศึกษาวิจัยอนุภาคแขวนลอยขนาด เล็กนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าอนุภาคแขวนลอยรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไป ระบบทางเดินหายใจส่วนในและมีผลต่อสุขภาพมากกว่าอนุภาคแขวนลอยรวม USEPA จึงได้มี การยกเลิกค่ามาตรฐานอนุภาคแขวนลอยรวม TSP และกำหนดค่ามาตรฐานอนุภาคแขวนลอย ขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ PM 10 และ PM 2.5 โดย PM 10 หมายถึง อนุภาคหยาบ (coarse particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $2.5\text{--}10\ \mu\text{m}$ อาจเกิดจากแหล่งกำเนิดการจราจรบน เทคโนโลยีการวัดและควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต



(ก) เขม่าจากรถยนต์ (ที่มา : <http://law.jorpor.com>)



(ข) ฝุ่นจากการขนส่งและเผาป่า (ที่มา : <http://www.dailynews.co.th/article/728/16557>)



(ค) ฝุ่นแป้งในอุตสาหกรรม (ที่มา : <http://www.european-coatings.com>)

รูปที่ 1.1 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในอากาศ

คุณภาพอากาศและคุณสมบัติของฝุ่นละอองลอยในอากาศ

ตารางที่ 1.1 มาตรฐานคุณภาพของอากาศ (ที่มา : USEPA, 2009)

ค่ามาตรฐาน	PM2.5	PM10
ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	น้อยกว่า 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	น้อยกว่า 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ค่าเฉลี่ยรายปี	น้อยกว่า 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	น้อยกว่า 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

ถนนที่ไม่ได้ลาดยางตามการขนส่งวัสดุ ผ่นจากกิจกรรมบด ย่อยหิน ส่วน PM 2.5 หมายถึงอนุภาคละเอียด (fine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 μm มีขนาดเท่าเชื้อโรคไปจนถึงระดับโมเลกุล อนุภาคละเอียดอาจเกิดจากแหล่งกำเนิดควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (sulfur dioxide) หรือ SO_2 , แก๊ซออกไซด์ของไนโตรเจน หรือ NO_x และสารอินทรีย์เคมีระเหย (volatile organic chemicals) หรือ VOC จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดอนุภาคละเอียดได้ อนุภาคละเอียดจะตกสะสมได้ช้ากว่าอนุภาคหยาบ ยิ่งขนาดเล็กมากๆ จะคงลอยอยู่ในอากาศได้นาน ตารางที่ 1.1 แสดงมาตรฐานคุณภาพของอากาศ (National Ambient Air Quality Standards, NAAQS) ที่ยอมรับได้ ซึ่งมวลของอนุภาคเฉลี่ย 24 ชั่วโมงจะต้องน้อยกว่า 35 และ 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และรายปีจะต้องน้อยกว่า 15 และ 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2.5 และ 10 μm ตามลำดับ

1.2 ผลกระทบของฝุ่นละอองลอยต่อสุขภาพ

ฝุ่นละอองลอยขนาดเล็กกว่า 2.5 μm จะเป็นตัวก่อปัญหาแก่สุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชากร (รูปที่ 1.2) เนื่องจากสามารถผ่านระบบทางเดินหายใจเข้าไปได้ลึกลงไปถึงจนถึงระดับถุงลมปอด ซึ่งจะสามารถสะสมได้ตลอดไปไม่สามารถขับออกจากร่างกายโดยการหายใจปกติ อนุภาคหยาบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 μm จะเข้าไปอยู่ในทางเดินหายใจบริเวณกล่องเสียง ในขณะที่อนุภาคละเอียดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 μm สามารถผ่านเข้าไปถึงบริเวณถุงลมปอดไปจนถึงระดับเซลล์ในร่างกายได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.3 สารเคมีหรือแก๊สบางชนิดที่ผ่านเข้ามาในระบบทางเดินหายใจร่วมกับอนุภาคเหล่านี้ จะถูกละลายรวมกับเนื้อเยื่อเมือกของเนื้อเยื่อบริเวณนั้นๆ หรือเยื่อเมือกของถุงลมปอดแล้วไหลผ่านเข้าไปสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ทำให้เกิดการเสียหายต่อเนื้อเยื่อบริเวณต่างๆ ของร่างกาย อนุภาคบางตัวอาจมีสารเคมีที่เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) หรือสารก่อกลายพันธุ์ (mutagen) รวมอยู่ด้วย เช่น อนุภาคที่เกิดจากการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซลและปิโตรเลียม

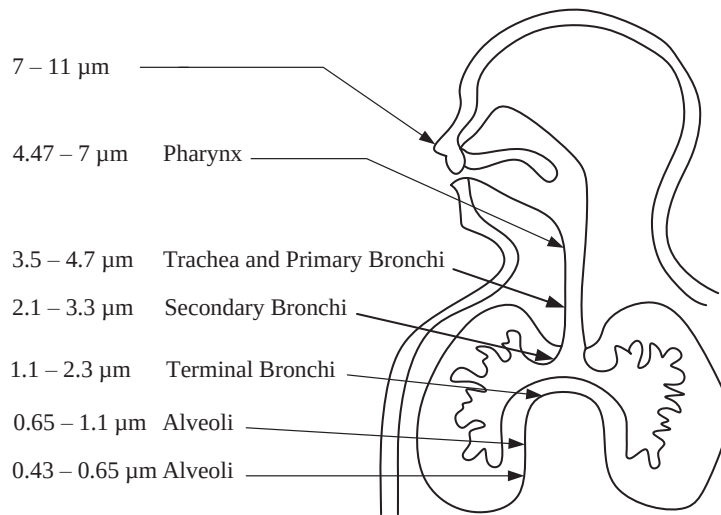
เทคโนโลยีการวัดและควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 1.2 ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพของประชากร
(ที่มา : <http://www.dailynews.co.th/article/728/16557>)

ซึ่งผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษทางอากาศจาก PM 10 และ PM 2.5 มาจากองค์ประกอบทางเคมีต่างชนิดปนเปื้อนอยู่ สารเคมีบางตัวมีคุณสมบัติออกซิไดส์จึงทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น สารโลหะที่มีคาร์บอน กรดเกลือ สารมลพิษอินทรีย์ รวมไปถึงสารมลพิษชีวภาพที่อาจจะเป็นเชื้อรา ไวรัส หรือแบคทีเรีย โดยการหายใจเอา PM 10 และ PM 2.5 เข้าไปจะกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงระบบภูมิคุ้มกันของระบบหายใจ ทำให้เกิดการอักเสบหรือโรคภูมิแพ้ เช่น ไอ เจ็บคอ การหายใจผิดปกติ ตลอดจนทำให้โรคหัวใจกำเริบได้ ส่งผลให้การตายจากโรคทางเดินหายใจมีอัตราเพิ่มสูงขึ้น (อุษณีย์ วินิจเขตคำนวน และคณะ 2550)

ซึ่งการศึกษาวิจัยถึงการตอบสนองของเซลล์เยื่อบุผิวของทางเดินหายใจจากการกระตุ้นด้วยสารก่อภูมิแพ้โดย อุษณีย์ วินิจเขตคำนวน และคณะ (2550) พบว่าการคั่งค้างของอนุภาคละเอียด (PM 2.5) ในถุงลมปอดจะก่อให้เกิดอันตรายต่อเม็ดเลือดขาว เพราะเม็ดเลือดขาวจะกินอนุภาคละเอียดเข้าไปเพื่อจะทำลายโดยกลไกทางชีวเคมี สามารถทำให้เกิดการอักเสบของถุงลมปอด เม็ดเลือดขาวจะถูกกระตุ้นและจะหลั่งสารเร่งกระบวนการอักเสบออกมาสู่กระแสเลือดไปที่ตับ ไชกระดูก และเกิดการกระตุ้นและส่งเสริมการตกตะกอนของเลือดที่เป็นสาเหตุของอุบัติการณ์ของโรคหัวใจล้มเหลว ซึ่งจากผลการวิจัยจากต่างประเทศรายงานถึงกลไกการกระตุ้นการหลั่งสารกระตุ้นการอักเสบ โดยอนุภาคละเอียดจะสามารถเร่งให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระและทำให้เกิดภาวะความเครียดออกซิเดชัน ทำให้เกิดการทำลายเม็ดเลือดขาวในปอด ส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างฉับพลันต่อปอดทำให้ปอดอักเสบ ทั้งนี้ ในบุคคลที่มีสุขภาพแข็งแรงและปกติ กลไกการป้องกันในร่างกายจะช่วยป้องกันความเสียหายได้ แต่บุคคลที่มีปัญหาทางเดินหายใจ เช่น ผู้ที่เป็นโรคหอบหืด ผู้ที่เป็นโรคภูมิแพ้เรื้อรังหรือมีการอักเสบทาง



รูปที่ 1.3 การสะสมตัวของอนุภาคในระบบทางเดินหายใจ
(ที่มา : ปรับปรุงจาก <http://www.acrd.bc.ca/cms.asp?wpID=314>)

เดินหายใจ หรือผู้ที่หายใจเอาสารมลพิษในอากาศ เช่น คาร์บอนหรือ หรือสูดไอโซน ความสามารถในการป้องกันตนเองอาจจะมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้เสี่ยงต่อการที่ปอดจะเสียหายและเป็นอันตรายจากสารมลพิษอากาศได้

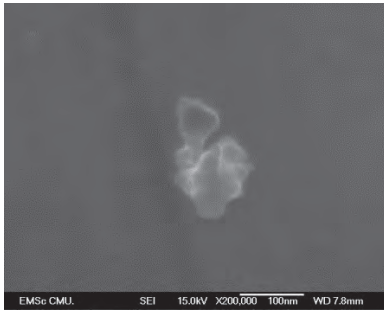
จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นทำให้ทราบแล้วว่ามลพิษทางอากาศจากอนุภาคแขวนลอยขนาดเล็กมีผลเสียและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คุณภาพชีวิต และสุขภาพอย่างไร ในหัวข้อต่อไปจะได้อธิบายถึงรายละเอียดของคุณสมบัติและลักษณะของฝุ่นละอองลอยในอากาศ เช่น ขนาด การกระจายขนาด และแหล่งกำเนิด เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาในบทต่อไป

1.3 คุณสมบัติของฝุ่นละอองลอยในอากาศ

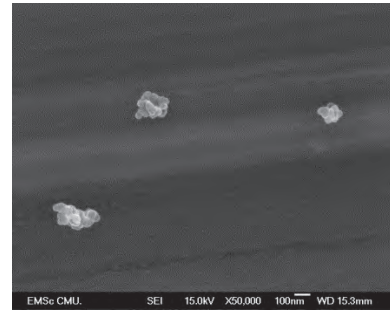
1.3.1 ขนาดของฝุ่นละอองลอย

ฝุ่นละอองลอยในอากาศหรือละอองลอย (aerosol) ได้ถูกนิยามไว้คืออนุภาค (particle) ที่เป็นของแข็ง (solid) หรือของเหลว (liquid) หรือเป็นส่วนประกอบ (combination) ของทั้ง 2 สถานะที่แขวนลอยในแก๊สหรืออากาศโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 1 nm และ 100 μm (Hinds, 1999) รูปที่ 1.4 แสดงภาพถ่ายสัณฐานของสารอนุภาคโดยทั่วไป ซึ่งขนาดอนุภาค (particle size) เป็นตัวแปรสำคัญที่อธิบายถึงพฤติกรรม (behavior) องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition) และคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของ

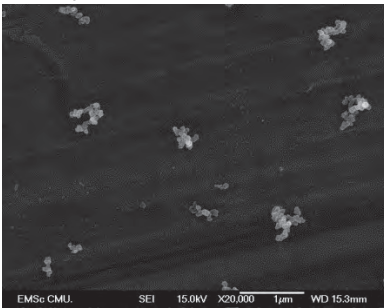
เทคโนโลยีการวัดและควบคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต



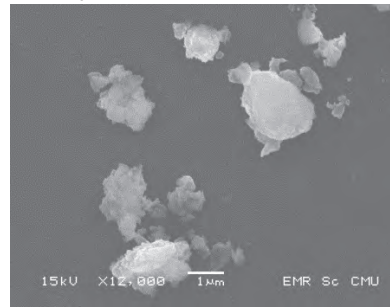
(ก) อนุภาคขนาดเล็กกว่า 100 nm



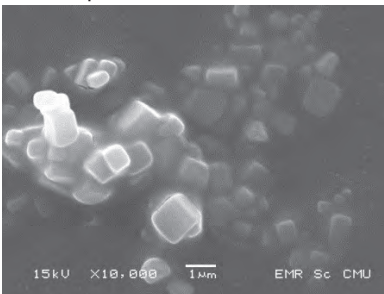
(ข) อนุภาคขนาดเล็กกว่า 500 nm



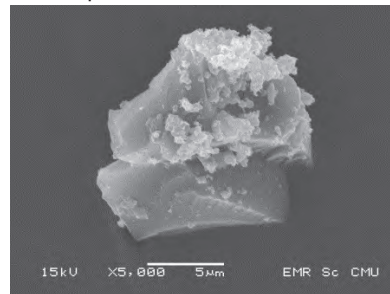
(ค) อนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 µm



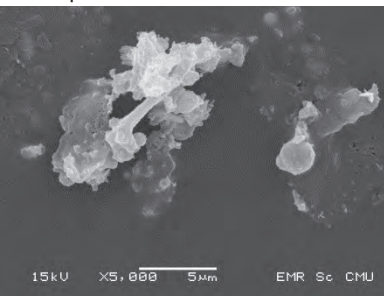
(ง) อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 1 µm



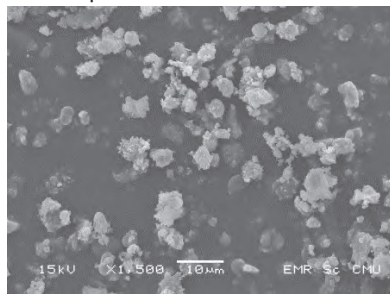
(จ) อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 2.5 µm



(ฉ) อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 5 µm



(ช) อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 5 µm

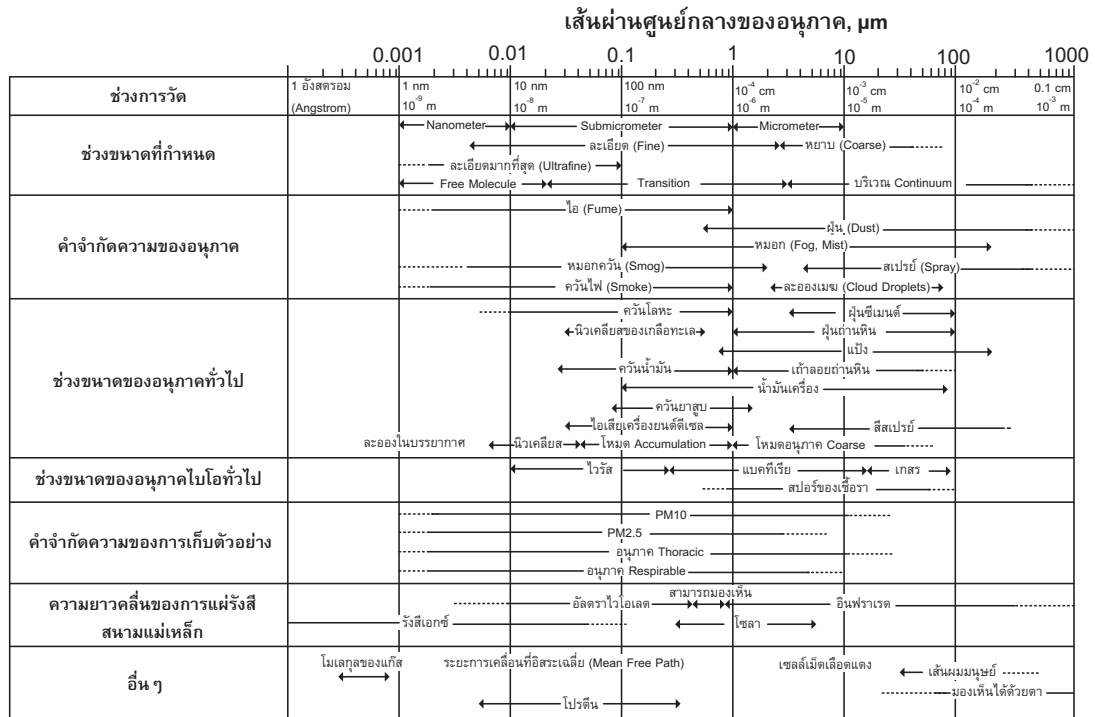


(ซ) อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 µm

รูปที่ 1.4 ภาพถ่ายสัณฐานของสสารอนุภาคโดยทั่วไป

(ที่มา : รูป ก-ค Intra and Tippayawong, 2006 รูป ง-จ พานิช อินต๊ะ และคณะ 2553

รูป ฉ-ซ พานิช อินต๊ะ และคณะ 2556)



รูปที่ 1.5 ช่วงขนาดของอนุภาคต่างๆ (ที่มา : ปรับปรุงจาก Hinds, 1999)

อนุภาคแขวนลอย ซึ่งปกติแล้วในการแยกประเภทของอนุภาคโดยทั่วไปจะใช้ขนาดและความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า $100 \mu\text{m}$ จะมีการตกตะกอนค่อนข้างเร็วมาก (ระดับวินาทีถึงนาาที) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า $1 \mu\text{m}$ จะมีการตกตะกอนค่อนข้างช้าถึงช้ามาก (ระดับชั่วโมงถึงวัน) จนในบางครั้งถือว่าเป็นประเภทลอยในอากาศอย่างถาวร ส่วนการแยกประเภทของอนุภาคแขวนลอยจะแบ่งตามรูปลักษณะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ได้แก่

- ควัน (smoke) คือ อนุภาคของคาร์บอนที่รวมตัวกับอนุภาคของของเหลวที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยทั่วๆไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ $0.1-1 \mu\text{m}$ ปกติถ้าเป็นของเหลวจะมีรูปร่างกลม ถ้าเป็นของแข็งจะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากอนุภาคควันมีขนาดเล็กจึงแขวนลอยอยู่ได้นาน และมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (random motion)

- ฝุ่น (dust) เป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่แขวนลอยในอากาศ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1–100 หรือ 200 μm หรือใหญ่กว่า อนุภาคฝุ่นมีรูปร่างไม่แน่นอน ค่าขนาดจึงเป็นค่าเฉลี่ยของด้านต่างๆ ของแต่ละอนุภาค
- ละออง (mist) เป็นอนุภาคที่เกิดจากกระบวนการ เช่น การระเหิด (sublimation) การควบแน่น (condensation) มีการตกตะกอนช้ามากและการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.1–1 μm
- หมอกควัน (smog) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2–200 μm ส่วนละอองน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่า 200 μm จะจัดอยู่ในประเภทของเม็ดฝน

โดยสรุปอนุภาคขนาดเล็กกว่า 0.1 μm จะมาจากไอเสียรถยนต์มีปฏิกิริยาระหว่างแก๊สชนิดต่างๆ ควันไฟ พายุฝุ่น ละอองน้ำทะเล และโรงงานอุตสาหกรรม อนุภาคขนาดในช่วง 0.01–1.0 μm จะมาจากการรวมตัวของควัน ไอเสียบกับไอน้ำ อนุภาคขนาดในช่วง 0.4–0.9 μm เป็นตัวการในการกระจายแสงและทำให้ท้องฟ้าขมุกขมัว อนุภาคขนาดใหญ่กว่า 1.0 μm จะมาจากการรวมตัวใหญ่ขึ้นของควันไฟ ซีเมนต์ ผงโลหะจากการขัดสี เกสรดอกไม้ และแมลง รูปที่ 1.5 แสดงช่วงขนาดของอนุภาคต่างๆ

1.3.2 การกระจายขนาดละอองลอย

ในหัวข้อที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงขนาดของอนุภาคที่มีผลต่อพฤติกรรมและคุณสมบัติต่างๆ ของอนุภาคแล้ว ในหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงการกระจายขนาดละอองลอย (aerosol size distribution) ละอองลอยโดยทั่วไปจะประกอบด้วยจำนวนของอนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน ละอองลอยที่แพร่กระจายแบบเดี่ยว (monodisperse aerosol) โดยนิยามประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเหมือนกันทั้งหมด และสามารถสร้างได้ในห้องปฏิบัติการสำหรับใช้เป็นละอองลอยในการทดสอบ อย่างไรก็ตาม ละอองลอยโดยทั่วไปจะมีลักษณะการกระจายขนาดแบบหลากหลาย (polydisperse) ที่ช่วงความกว้างของขนาดอนุภาค และการวัดเชิงสถิติจะถูกนำมาใช้ในการอธิบายถึงคุณลักษณะของขนาดอนุภาค โดยปกติแล้วการกระจายขนาดละอองลอยจะเป็นฟังก์ชันการกระจายแบบล็อกปกติ (Lognormal distribution function) สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ (Hinds, 1999)

$$df = \frac{1}{\sqrt{2\pi \ln \sigma_g}} \exp \left(-\frac{(\ln d_p - \ln \bar{d})^2}{2(\ln \sigma_g)^2} \right) d \ln d_p \quad (1.1)$$

เมื่อ d_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค $\bar{d}$ คือเส้นผ่านจุดกึ่งกลางการนับ (count median diameter) และ σ_g คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางเรขาคณิต (geometric standard deviation) หาได้จาก

$$\sigma_g = \exp \left(\frac{\sum n_i (\ln d_i - \ln d_g)^2}{N - 1} \right)^{1/2} \quad (1.2)$$

เมื่อ d_g คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทางเรขาคณิตเชิงจำนวน (geometric mean diameter) หรือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของจำนวนรวมหาได้จาก (Hinds, 1999)

$$d_g = \exp \left(\frac{\sum n_i \ln d_i}{N} \right) \quad (1.3)$$

เมื่อ n_i คือจำนวนของอนุภาคในกลุ่ม i ที่มีจุดกึ่งกลางของขนาด d_i และ N คือจำนวนรวมของอนุภาค (Hinds, 1999) ซึ่งการกระจายขนาดละอองลอยโดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งได้เป็น 3 โหมด คือ โหมด Nuclei โหมด Accumulation และโหมด Coarse ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.6 มีการแบ่งขนาดอนุภาคเป็นช่วงๆ ตามลำดับของขนาดอนุภาคแขวนลอยในอากาศที่มีขนาดตั้งแต่ประมาณ 100 nm–100 μ m ในโหมด Nuclei ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 nm อนุภาคในโหมด Nuclei ถูกสร้างขึ้นจากการปล่อยออกมาจากแหล่งที่มาและอนุภาคที่เกิดในบรรยากาศโดยการแปลงผันแก๊สไปอนุภาค (gas-to-particle conversion) และกระบวนการควบแน่น (condensation process) อนุภาคในโหมดนี้จะมีการกระจายขนาดละอองลอยเชิงจำนวน (number-weighted aerosol size distribution) เนื่องจากอนุภาคในโหมด Nuclei มีขนาดเล็กและมีมวลน้อยมากๆ จึงทำให้ไม่มีการกระจายขนาดเชิงมวล (mass weighted size distribution) โหมด Accumulation ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงขนาดระหว่างประมาณ 100 nm และ 1 μ m เช่น ผลิตภัณฑ์อินทรีย์ (organic product) อนุภาคหมอกควัน (smog particle) อนุภาคจากการเผาไหม้ (combustion particle) และอนุภาคในโหมด Nuclei ที่มีการเกาะรวมตัวกันกับอนุภาคในโหมด Accumulation เนื่องจากอนุภาคในโหมดนี้ถูกสร้างขึ้นโดยการเกาะรวมตัวกันของอนุภาคในโหมด Nuclei ทำให้มีขนาดที่ใหญ่กว่าและมีจำนวนที่น้อยกว่า จึงมีการกระจายขนาดละอองลอยแบบ

