

หน่วยที่ 5 อนุภาคในบรรยากาศ

ละอองลอย (aerosol) คืออนุภาคมีลักษณะเป็นของแข็งหรือของเหลว

อนุภาคอาจเกิดจากการแตกกระจาย (dispersion) หรือการควบแน่น (condensation) ตัวอย่างของการเกิดจากการแตกกระจาย เช่น การบด การขัด การระเบิด ส่วนการควบแน่นเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลของสสารเนื่องจากความร้อนหรือความเย็น อนุภาคมีชนิด รูปร่าง ขนาด และคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกัน คุณสมบัติที่สำคัญของอนุภาคด้านอาชีวอนามัย ดังนี้

1. ชนิดของอนุภาค แบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้

1.1 ฝุ่น (dusts) เกิดจากการแตกกระจายของวัสดุที่เป็นของแข็ง จากการบดหรือย่อยวัสดุหรือขนส่ง ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 ไมครอนจะตกตะกอนได้เร็วมาก

1.2 ฟูม (fumes) เกิดจากการควบแน่นของไอร้อนของวัสดุที่เป็นของแข็ง เกิดในโรงงานหล่อหลอมโลหะและอุตสาหกรรมโลหะ

1.3 ละออง (mists) เกิดจากการแตกกระจายของของเหลวโดยการกระทำด้วยกลไกทางกายภาพหรือจากการควบแน่นของไอระเหย (vapours) โดยทั่วไปเกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่น โรงงานผลิตยาฆ่าแมลง อุตสาหกรรมโลหะต่างๆ โรงหุงโลหะ โรงพ่นสี

1.4 ควัน (smokes) เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของของแข็งและของเหลวขนาดเล็ก โดยเกิดขึ้นจากขบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของวัสดุคาร์บอน ส่วนใหญ่ควันจะมีสารก่อมะเร็งเป็นส่วนประกอบ

2. รูปร่างของอนุภาค (shape) จะแตกต่างกันตามลักษณะของวิธีการเกิดขึ้นและธรรมชาติของวัสดุของอนุภาคนั้นๆ แบ่งเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.1 อนุภาคที่มีขนาดเท่ากันทั้งสามมิติ (isometric particles) เป็นอนุภาคที่มี ขนาด ความกว้าง ความยาว และความสูงเท่ากัน หรือเกือบเท่ากัน โดยอาจมีรูปร่างกลม เกือบกลม หรือหลายเหลี่ยม ตัวอย่างของอนุภาคได้แก่ คาร์บอนแบล็ค สนิม เหล็ก เถ้าบิน ละอองเกสรดอกไม้

2.2 อนุภาคที่มีรูปร่างแผ่นแบน (platelets) เป็นอนุภาคที่มีขนาดความกว้างและความยาวมากแต่มีความหนาน้อย ทำให้มีรูปร่างเป็นแผ่นแบน ได้แก่ เศษไม้ก้ำ เศษใบชา เศษใบยาสูบ

2.3 อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นเส้นใย (fibers) มีขนาดความยาวมากเมื่อเทียบกับอีก 2 มิติ โดยอาจมีรูปร่างคล้ายปรีซึม เข็ม ค้ายทอ หรือเส้นค้าย เช่น ใยฝุ่นฝ้าย ขนสัตว์ แอสเบสตอส ไฟเบอร์กลาส

3. ขนาดของอนุภาค ถ้าอนุภาคกลมหรือเกือบกลมจะบอกขนาด (size) เป็นเส้นผ่าศูนย์กลาง มีวิธีบอกขนาดอนุภาคที่ไม่กลมได้หลายวิธี ดังนี้

3.1 เฟอเรต ไดอะมิเตอร์ และมาร์ติน ไดอะมิเตอร์ เป็นการบอกขนาดของอนุภาคโดยการวัดเส้นผ่าศูนย์กลางผ่านการมองด้วยกล้องจุลทรรศน์ เฟอเรต ไดอะมิเตอร์ คือระยะที่ยาวที่สุดจากขอบด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่งของอนุภาค ส่วนมาร์ติน ไดอะมิเตอร์ คือความยาวของเส้นที่แบ่งพื้นที่ของอนุภาคออกเป็นสองส่วนเท่ากันพอดี

3.2 แอร์ไดนามิก ไคอะมิเตอร์ เป็นการบอกขนาดของอนุภาคโดยการตกของอนุภาคในอากาศนิ่งซึ่งเกิดจากแรงโน้มถ่วง อนุภาคที่มีขนาดรูปร่างและความหนาแน่นต่างกัน หากมีความเร็วปลายในการตกเท่ากัน จะมีค่าแอร์ไดนามิก ไคอะมิเตอร์เท่ากันเสมอ

3.3 สะตักไคอะมิเตอร์ บอกขนาดของอนุภาคโดยการตกของอนุภาคในอากาศนิ่งเช่นเดียวกับแอร์ไดนามิก ไคอะมิเตอร์ แต่เพิ่มเติม ให้ความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคทรงกลมต้องมีทั้งความหนาแน่นและความเร็วปลายในการตกเท่ากับอนุภาคที่ต้องการวัดขนาด โดยอาจมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันได้

ค่าแอร์ไดนามิก ไคอะมิเตอร์เป็นค่าที่นิยมใช้บอกขนาดของอนุภาคมากที่สุดเนื่องจากเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของอนุภาคที่เข้าสู่ทางเดินหายใจและการเกาะติดอยู่ในบริเวณดังกล่าว อนุภาคเริ่มต้นที่ 0.01-100 ไมโครเมตรหรือไมครอน เล็กกว่า 0.01 ไมครอน จะเป็นโมเลกุล

อนุภาคที่มีขนาดแอร์ไดนามิก ไคอะมิเตอร์ 5-10 ไมครอน จะถูกกำจัดออกจากร่างกายโดยระบบทางเดินหายใจส่วนบนได้ตามธรรมชาติ ถ้าหากมีขนาดใหญ่กว่านี้ก็จะไม่สามารถอยู่ในระบบทางเดินหายใจได้นานเนื่องจากจะถูกขับออกมาได้เร็วขึ้น แต่ถ้ามีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน ก็จะเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายในบริเวณถุงลมปอดและไม่สามารถกำจัดออกจากร่างกายได้

4. โครงสร้างของอนุภาค อนุภาคอาจล่องลอยในบรรยากาศในลักษณะอนุภาคเดี่ยวหรือบางชนิดอาจจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ในลักษณะที่เป็นเส้นยาว ทรงกลม หรือลูกบาศก์ เรียกว่า แอ็กโกเมอเรต หรือฟล็อก ตัวอย่างเกิดจากการจับตัวกันของขนาดเล็กที่มีประจุไฟฟ้า ตัวอย่างของอนุภาคแบบนี้ได้แก่ ควันที่มีความหนาแน่นสูง หรือพุ่มโลหะ อนุภาคบางชนิดเกิดขึ้นโดยมีขนาดใหญ่และมีด้านในกลางบรรจุด้วยก๊าซ หรือด้านในกลางบรรจุด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ชนิดที่มีด้านในกลางบรรจุด้วยอนุภาคขนาดเล็กได้แก่ ฝ้าบิน

5. คุณสมบัติของผิวอนุภาค มีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงมีพื้นที่ผิวมากและมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การติดไฟ การดูดซับ การดูดซึม หรือผลจากไฟฟ้าสถิตได้ง่าย ขนาดของพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง ในอนุภาคต่างกลุ่มกันซึ่งมีค่าเฉลี่ยของขนาดเท่ากันและมีน้ำหนักเท่ากัน อนุภาคกลุ่มที่มีความแตกต่างของขนาด มากจะทำให้มีพื้นที่ผิวรวมน้อยกว่าอนุภาคกลุ่มที่มีความแตกต่างของขนาดน้อยกว่าหรือมีขนาดเท่าๆ กัน

การวัดขนาดและนับจำนวนอนุภาค มีวิธีดังนี้

1. การใช้กล้องจุลทรรศน์ เก็บตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง หรือมิดเจ็ต อิมพิงเจอร์ (midjet impinger) ในกรณีใช้กระดาษกรองต้องนำกระดาษกรองมาวางบนสารละลายที่ทำให้กระดาษกรองโปร่งแสงเพื่อที่เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แล้ว จะทำให้สามารถมองเห็นอนุภาคได้ ในกรณีใช้กระดาษ มิดเจ็ต อิมพิงเจอร์ อาจต้องเขย่าอนุภาคให้กระจายตัวด้วยเครื่องอุตราโซนิก ก่อนทำการตรวจวัด

2. การใช้อิเล็กทรอนิกส์ คือกล้องจุลทรรศน์ชนิดหนึ่งซึ่งมีกำลังขยายสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ธรรมดา มากจึงใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างอนุภาคเพื่อศึกษาโครงสร้างและลักษณะของอนุภาคอย่างละเอียด การตรวจวัดในการตรวจวัดต้องวางตัวอย่างที่ต้องการตรวจวัดไว้ในสุญญากาศบนฟิล์มบางๆ ที่มีความหนาแน่นต่ำโดยมีตะแกรงลวดทองแดงหรือสแตนเลสช่วยพยุงฟิล์ม แล้วใช้ลำแสงอิเล็กตรอนส่องผ่านตัวอย่าง ก็จะเห็นอนุภาคได้อย่างละเอียด แต่พื้นที่มองเห็นผ่านกล้องมีขนาดเล็ก มองเห็นอนุภาคเพียงบางส่วน วิเคราะห์ผิดพลาดได้ง่าย

3. การใช้เครื่องมือที่ใช้แสง ใช้วิธีส่งลำแสงไปกระทบกับอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศที่ถูกคูดให้ไหลผ่านเครื่องมือ เมื่อลำแสงกระทบอนุภาค ก็จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของลำแสงปริมาณการเบี่ยงเบนของลำแสงขึ้นกับจำนวนอนุภาคที่ลำแสงไปกระทบ เหมาะกับวัดจำนวนอนุภาค ไม่เหมาะกับวัดขนาด

4. การใช้เครื่องมือที่ใช้ประจุไฟฟ้า ใช้วิธีคูดอากาศที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ให้ไหลผ่านเครื่องมือแล้วให้ประจุไฟฟ้าแก่โมเลกุลของอากาศ ประจุไฟฟ้าก็จะถูกถ่ายทอดไปยังอนุภาคที่อยู่ในกระแสอากาศ จะมีแผ่นโลหะคู่ตรวจจับ และวัด

5. การใช้เครื่องมือที่ใช้แรงกระทบ เป็นเครื่องมือที่จัดเก็บและตรวจวัดในเครื่องเดียวกัน อนุภาคในกระแสอากาศจะถูกคูดเข้ามาในเครื่องด้วยความเร็วสูง แล้วกระทบกับวัตถุที่ถูกจัดวางขวางกั้นทิศทางการไหล อนุภาคใหญ่จะติด อนุภาคเล็กก็จะไปกระทบอีกชั้นถัดไป

6. การใช้เครื่องมือที่ใช้แรงเหวี่ยง เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดและเก็บตัวอย่างในเครื่องเดียวกัน ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ไซโคลน (cyclone) อนุภาคในกระแสอากาศจะถูกคูดเข้ามาในกรวยทรงกลม ถูกทำให้หมุนด้วยแรงหนีศูนย์กลางลงสู่ก้นกรวย อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนจะหลุดจากกระแสอากาศถูกเหวี่ยงลงสู่ก้นกรวย ส่วนอนุภาคที่เล็กกว่า 10 ไมครอนจะถูกคูดหมุนย้อนมาปากกรวยที่มีกระดาศกรองคักเอาไว้ อนุภาคส่วนนี้จะติดที่กระดาศกรองเมื่อนำไปซึ่งจะทราบปริมาณของอนุภาคดังกล่าว

การกระจายขนาดของอนุภาค การแสดงการกระจายตัวของอนุภาคทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

1. เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและมัธยฐาน

1.1 เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย หาค่าเฉลี่ยทางคณิตศาสตร์

1.2 เส้นผ่านศูนย์กลางมัธยฐาน ใช้วิธีหาค่ามัธยฐานโดยการสร้าวดารางประกอบ

2. ฮิสโตแกรมเป็นการใช้วิธีแสดงการกระจายขนาดของอนุภาคโดยใช้กราฟเส้นหรือกราฟแท่งหรือฮิสโตแกรม (histogram)

พฤติกรรมของอนุภาคของไหล

การเคลื่อนที่ของอนุภาคในของไหล ปกติอนุภาคจะแขวนลอยหรือเคลื่อนไหวยู่ในกระแสก๊าซหรือกระแสอากาศหรือในบรรยากาศ การเคลื่อนไหวยของอนุภาคในก๊าซหรืออากาศหรือในบรรยากาศซึ่งเป็นของไหลชนิดหนึ่ง สามารถอธิบายได้โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

แรงลาก ในขณะที่อนุภาคเคลื่อนไหวยในของไหล ทั้งอนุภาคและของไหลต่างเคลื่อนไหวยด้วยกัน ขณะเดียวกันของไหลได้มีแรงลาก (drag force) กระทำต่ออนุภาคในทิศทางสวนกันกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค

$$F_D = C_D A_P \rho_F V_r^2 / 2$$

เมื่อ F_D = แรงลาก (นิวตัน)

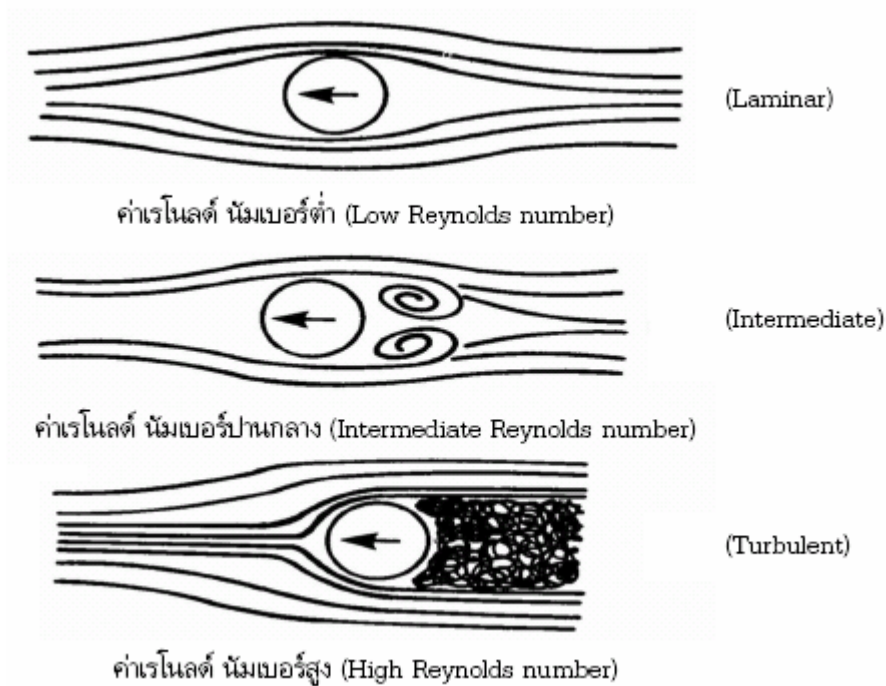
C_D = สัมประสิทธิ์ของการลาก

A_P = พื้นที่ผิวของอนุภาค (เมตร²)

ρ_F = ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัม/เมตร³)

V_r = ความเร็วสัมพัทธ์ (เมตร/วินาที)

ค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ (Reynolds number) คือค่าลักษณะการไหลของของไหล ถ้าน้อยกว่า 2000 เป็นการไหลแบบราบเรียบ (laminar Flow) มากกว่า 4000 แสดงว่าของไหลๆแบบปั่นป่วน(turbulent flow) 2,000-4,000 เป็นช่วงเปลี่ยนผ่านระหว่างราบเรียบกับปั่นป่วน

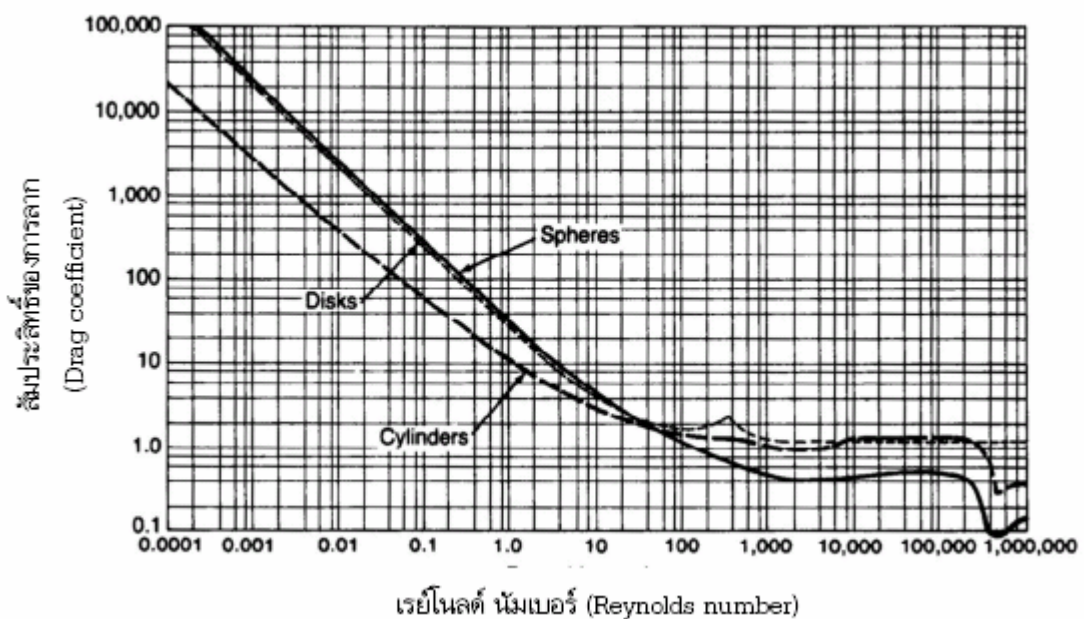


$$Re = \frac{d_p V_r \rho_F}{\mu}$$

เมื่อ Re = ค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์

d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (เมตร)

μ = ความหนืดของของไหล (กิโลกรัม/เมตร-วินาที)



จากกราฟแสดงอนุภาคที่มีรูปร่างต่างๆ ทรงกลม ทรงกระบอก และแผ่นดิสก์ จะเห็นว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์เพิ่มขึ้นคือของไหลที่มีอนุภาคอยู่ด้วย ไหลแบบปั่นป่วนมากขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการลากลดลง ซึ่งส่งผลให้แรงลากต่ออนุภาคลดลงด้วย

ค่าคานิงแฮม คอเร็กชัน แฟกเตอร์ เป็นค่าที่ใช้แก้ไขผลการคำนวณแรงลากสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับขนาดของมิน ฟรี พาทให้ถูกต้องตามความเป็นจริง

การตกของอนุภาคนิ่งของไหล การตกของอนุภาคจาตกระแเสอากาศหรืออากาศนิ่งเกิดจากแรงกระทำของแรงหลายชนิด แรงที่สำคัญได้แก่ แรงภายนอกและแรงโน้มถ่วง

1. การตกของอนุภาคเนื่องจากแรงภายนอก ในการเคลื่อนไหวของอนุภาคในก๊าซ หรืออากาศจะต้องมีแรงภายนอก (external force) อย่างน้อยหนึ่งชนิดที่กระทำต่ออนุภาคในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงลาก

อนุภาคที่มีลักษณะต่างกัน เช่นขนาดหรือความหนาแน่นต่างกันและเคลื่อนไหวในของไหลต่างชนิดกัน ก็จะมีพฤติกรรมเหมือนกันรวมทั้งมีความเร็วปลายในการตกเท่ากัน หากมีค่าคาร์เรกเตอร์สติกไทม์

2. การตกของอนุภาคเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

3. ระยะหยุดและความเร่งของอนุภาค

การกระทบของอนุภาค คือ การวิ่งชนของอนุภาคในกระแเสอากาศเคลื่อนที่เนื่องจากแรงเฉื่อยกับวัตถุที่ขวางอยู่ทำให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ถูกแยกออกมาจากชั้นบรรยากาศตามธรรมชาติ

การกระดอนของอนุภาค ลดการกระดอนโดยใช้สารเคลือบผิว วาสลิน น้ำมัน ไขมัน

การตกของอนุภาคโดยแรงหนืดศูนย์กลาง

การแพร่ของอนุภาค โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) ไปยังผิวของอุปกรณ์และเกาะติดที่ผิวของอุปกรณ์ แล้วถูกแยกออกจากกระแเสอากาศในที่สุด

แรงจากสนามไฟฟ้าเรียกว่าแรงคูลอมบ์ (Coulombic force)

ความเข้มของสนามไฟฟ้าของประจุไฟฟ้าบนอนุภาคแปรผกผันกับรัศมีของการเหนี่ยวนำของประจุไฟฟ้าบนอนุภาค