สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลพิษทางอากาศ (Air Pollution)

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง การที่บรรยากาศมีสิ่งเจือปน เช่น ฝุ่นละออง ไอควัน ก๊าซต่างๆ กลิ่น ฯลฯ อยู่ในลักษณะ ปริมาณ และระยะเวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

มลพิษในอากาศทั่วไปอาจแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. มลพิษของอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Pollution) ซึ่งเป็นมลพิษภายในอาคารสำนักงาน มักเกิดจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในตัวอาคาร และ จากภายนอกอาคารเข้าไปปนเปื้อนกับอากาศภายในอาคาร ซึ่งการไหลเข้ามาโดยไม่ตั้งใจ ระดับของมลสารภายในอาคารอาจสูงกว่ามลสารภายนอกอาคาร 2-5 เท่าทั้งในเขตอุตสาหกรรมและเขตเมือง (Wagner T., 1994) นอกจากนี้ยังเกิดจากส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิตภายในอาคาร ซึ่งอาจเรียกว่า ชีวะสาร เช่น ไรฝุ่นบ้าน เชื้อรา ขนสัตว์ต่างๆ ซึ่งมักก่อให้เกิดอันตรายในแง่ที่ทำให้เป็นโรคภูมิแพ้ของระบบทางเดินหายใจ จึงเรียกว่าสารก่อภูมิแพ้ในอากาศ (Aeroallergen)

2. มลพิษของอากาศภายนอกอาคาร (Outdoor Air Pollution) ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากท่อไอเสียของพาหนะในท้องถนน ปล่องควันของโรงงาน ฝุ่นละอองจากทราย ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง ละอองเกสรดอกไม้ เชื้อราที่ล่องลอยอยู่ในบรรยากาศทั่วไป เป็นต้น

2.2 อนุภาคฝุ่นละออง

อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter) หมายถึง อนุภาคที่เป็นของแข็ง หรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ อนุภาคฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศที่เกิดขึ้นถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล (Sea spray) ไฟป่า และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จากการจราจร อุตสาหกรรม และการก่อสาร ฝุ่นละอองอาจมีขนาดแตกต่างกัน ฝุ่นละอองที่เกิดจากการก่อสร้างมักจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะไม่เข้าไปในทางเดินหายใจ แต่ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะมีขนาดเล็กมีผลต่อทางเดินหายใจได้ การวัดปริมาณของฝุ่นละอองนั้นเดิมวัดฝุ่นเป็นฝุ่นรวม (Total Suspended Particle(TSP)) คือการวัดปริมาณฝุ่นละอองรวมทั้งหมดที่มีอยู่ในบรรยากาศซึ่งมีขนาดต่างๆ กันทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ต่อมาได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานวัดเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กที่หายใจเข้าไปได้ (Respiration Particle) ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ผลของฝุ่นละอองต่อสุขภาพนั้นขึ้นอยู่กับธรรมชาติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนั้น รวมถึงการตกติดของอนุภาคนั้น ในทางเดิน

หายใจจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเพราะอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอนจะทำให้ตกติดกับทางเดินหายใจส่วนบน แต่อนุภาคที่เล็กกว่า 5 ไมครอน จะลงไปถึงทางเดินหายใจส่วนล่าง ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีผลต่อโรคระบบทางเดินหายใจ เช่น เด็กที่เป็นหอบหืดจะมีอาการหอบหืดมากขึ้นในวันที่มีปริมาณฝุ่นละอองในอากาศในระดับสูงโดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่มีการศึกษาพบว่าระดับ PM_{10} สูงมากกว่า 100 $\mu g/m^3$จะทำให้เด็กหอบหืดมีอาการฉับพลันมากขึ้น และพบว่าผลการตรวจสมรรถภาพด้วย peak flow ลดลง ทำให้ต้องใช้ยาขยายหลอดลมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าระดับ PM_{10} สูงจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยเพิ่มขึ้น ดังที่ Pope Dockery (1992) ได้ทบทวนงานวิจัยต่างๆ ของ PM_{10} พบว่าเมื่อ PM_{10} เพิ่มมากขึ้น 10 $\mu g/m^3$จะทำให้ อัตราการป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.4 ผู้ป่วยมีอาการหอบหืดฉับพลัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 3 ผู้ป่วยหอบหืดที่ต้องรับการเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นร้อยละ 2-3 อัตราป่วยด้วยโรคหัวใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.4 อัตราการตายเพิ่มขึ้นร้อยละ 1

การแจกแจงตามขนาดอนุภาคฝุ่นละออง ที่มีอนุภาคขนาดต่าง ๆ กันคือการแบ่งขนาดอนุภาคออกเป็นช่วง ๆ ตามลำดับของขนาด ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในอากาศมีขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดประมาณ $6X10^{-4}$ ถึง 10^3 ไมครอน คุณสมบัติของอนุภาคฝุ่นละอองขึ้นกับขนาดของอนุภาค โดยอนุภาคของแข็งมักอยู่ในรูปที่ซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยทั่วไปมักอนุมานว่าลักษณะอนุภาคฝุ่นละอองทุกอนุภาคมีรูปร่างเป็นทรงกลม กำหนดขนาดของอนุภาคตามความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม มีหน่วยเป็นไมครอน (10^{-6} เมตร) ซึ่งพบว่าฝุ่นละอองที่มีสัดส่วนมากที่สุดเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน โดยทั่วไปเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น สารประกอบซัลเฟตจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่นตะกั่วจากไอเสียของยานพาหนะ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 ไมครอน ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ โดยทั่วไปสามารถแบ่งอนุภาคออกเป็น 3 ช่วงขนาด ได้แก่ ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (Total suspended particulate:TSP) มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ขนาดทั่วไปของอนุภาคมลสารที่อยู่ในบรรยากาศมีขนาดต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ 2.1 แสดงขนาดอนุภาคละอองน้ำ จนถึงอนุภาคของไวรัสที่มีขนาดเล็กที่สุด

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 ขนาดทั่วไปของอนุภาคมลสารที่อยู่ในบรรยากาศ

ชนิดมลสาร	ขนาดใหญ่สุด (ไมครอน)	ขนาดเล็กสุด (ไมครอน)
ละอองน้ำ	500	40
ผงถ่านหิน	250	25
ฝุ่น	200	20
ฝุ่นโรงงานถลุงเหล็ก	200	1
ผงซีเมนต์	150	10
ขี้เถ้า	110	3
เกสรดอกไม้	60	20
หมอก	40	1.5
สปอร์ต้นไม้	30	10
แบคทีเรีย	15	1
ยากำจัดแมลงชนิดผง	10	0.4
สีพ่น	4	0.1
สม๊อก	2	0.001
ควันบุหรี่	1	0.01
ควันน้ำมัน	1	0.03
ควันซิงค์ออกไซด์	0.3	0.01
ควันถ่านหิน	0.2	0.01
ไวรัส	0.05	0.003

ที่มา: วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543

2.2.1 ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (Total suspended particulate) หมายถึงอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งที่พบในอากาศที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.005 ไมครอน ถึง 100 ไมครอน แหล่งกำเนิดโดยธรรมชาติมักเกิดจากการฟุ้งกระจายของดิน ทรายที่พื้นผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง (Fugitive dust) โดยการพัดพาของลม และประกอบด้วยธาตุซิลิกาเป็นหลัก ฝุ่นละอองทางชีวภาพ (Bioaerosol) เช่น สปอร์ ละอองเกสรของพืชต่าง ๆ ฝุ่นละอองรวมที่พบบริเวณเขตเมืองโดยทั่วไปเป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิ เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนฝุ่นละอองทุติยภูมิเกิดจากเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และก๊าซอื่น ๆ ไปอยู่ในรูปของอนุภาค นอกจากนี้ฝุ่นละออง

แขวนลอยรวมอาจเป็นฝุ่นดินจากพื้นถนนที่ลอยขึ้นสู่อากาศอีกครั้ง (Resuspended Particulate) ฝุ่นละอองแขวนลอยรวมมีขนาดที่ใหญ่เกินกว่าที่จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ในส่วนลึกได้ โดยจะถูกกำจัดที่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้น เช่น ถูกดักหรือกรองไว้ภายในช่องจมูก และถูกนำออกจากร่างกายมนุษย์ได้โดยการไอหรือจาม นอกจากนี้ฝุ่นละอองแขวนลอยรวมมักทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทรับความรู้สึกของร่างกาย เนื่องจากสารพิษที่มีอยู่ในฝุ่นต่าง ๆ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส สารหนู ฯลฯ ซึ่งทำให้ ตา จมูก คอ เกิดการระคายเคืองและอักเสบได้

2.2.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) หมายถึงอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น (Dust) ควัน (Smoke) ฟูม (Fume) เขม่า (Soot) ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ประกอบด้วยมลสารหลายชนิด และมีองค์ประกอบธาตุแตกต่างกัน ฝุ่นละออง PM_{10} มีแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง (Brook et al., 1997) ได้แก่ ฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอของทะเล (Sea spray) ฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล การเผาไหม้แบบเปิด เช่น การเผาขยะ การเผาของเสียจากเกษตรกรรม (หญ้า ฟาง) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Indoor Carticle) ฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงโม่หิน และโรงงานปูนซีเมนต์ ฝุ่นละออง PM_{10} ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ จากโรงไฟฟ้า ยานพาหนะประเภทต่าง ๆ เช่น รถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้มีปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) และคาร์บอนอนินทรีย์ (Elemental Carbon) ในปริมาณสูง ฝุ่นละออง PM_{10} มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ (Respirable Particulate) (Englert, 2004)

2.2.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) หมายถึงอนุภาคของแข็งหรือกึ่งแข็งอยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) สภาพระเหย (Volatile) ที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ประกอบด้วยฝุ่นละอองปฐมภูมิที่เกิดจากการควบแน่นของก๊าซ หรือไอระเหยในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงในกระบวนการเผาไหม้ และปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยตรง จากนั้นเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอนุภาค หรือเกิดการรวมตัวกัน (Coagulation) เป็นฝุ่นละอองทุติยภูมิ (Brook, 1997) แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ คือ กิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เช่น รถบรรทุก (APEG, 2002)

2.3 ลักษณะทางสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

2.3.1 ลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

สัณฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีหลายลักษณะ (ศิริกัลยาและคณะ, 2542) โดยจะขึ้นกับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง สัณฐานของฝุ่นที่มีลักษณะเป็นทรงกลม ได้แก่ เกสรดอกไม้ และของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น เถ้าลอย (Fly ash) ฝุ่นละอองที่มีสัณฐานเป็นทรงกระบอก ได้แก่ เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ การเกิดการรวมอนุภาคเป็นขนาดใหญ่ขึ้นของฝุ่นละออง (Agglomerates) เกิดจากการรวมกันเป็นก้อนของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ หรือเกิดจากการลดอุณหภูมิของก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงเกิดเป็นสัณฐานที่มีลักษณะคล้ายลูกโซ่ (Chain like) และฟล็อก(Flocs) เป็นกลุ่มของอนุภาคฝุ่นละอองที่รวมตัวกันอย่างหลวม ๆ) โดยเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง และจะพบธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบธาตุหลักของฝุ่นละอองชนิดนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

ลักษณะทางสัณฐาน	เปอร์เซ็นต์ที่พบในบรรยากาศ	ชนิดของฝุ่นละออง
ทรงกลม	0 – 20	ควัน เกสร เถ้าลอย
ไม่เป็นระเบียบ	10 – 90	แร่
สะเก็ด	0 – 10	แร่ หนังกำพร้า
เส้นใย	3 – 35	เส้นใยพืช เส้นใยผ้า
ฟล็อก(Flocs)จากการควบแน่น	0 – 40	คาร์บอน ควัน ฟูม (Fume)

ที่มา: ศิริกัลยา และคณะ, 2542

2.3.2 องค์ประกอบเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ฝุ่นละอองในบรรยากาศจะมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และเนื่องจากฝุ่นละอองมีที่มาจากหลายแหล่งต่างๆกัน นอกจากนั้นสภาพภูมิอากาศ และลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาจะมีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละอองด้วย ดังนั้นทั้งรูปร่าง ขนาด โครงสร้างการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การเกาะกันเป็นก้อน (Coagulation) การควบแน่น(Condensation) การระเหย(Evaporation) การดูดซับ(Absorption) จะเกิดขึ้นตลอดเวลาซึ่งจะมีผลต่อการแพร่กระจาย(Diffusion) และการตกลงสู่พื้นดินของฝุ่นละออง จากสภาพเหล่านี้จะทำให้ทั้งปริมาณ และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองเปลี่ยนแปลงไปด้วย มวลของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนส่วนใหญ่ในเขตเมืองและเขตชานเมืองจะหมายถึงการรวมตัวกันขององค์ประกอบทางเคมีต่อไปนี้ ซึ่งอยู่ทั้งในรูปฝุ่นละอองปฐมภูมิและทุติยภูมิ

1) สารประกอบซัลเฟต (Sulfate compound) ในอากาศอยู่ทั้งในรูปที่เป็นอนุภาคปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยรูปทั่วไปของสารประกอบซัลเฟตที่พบมากในฝุ่นละอองในอากาศ คือ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และกรดซัลฟูริก สารประก อบเหล่านี้สามารถละลายน้ำได้ และส่วนใหญ่ถูกผลิตโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของการซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปเป็นซัลเฟตในฝุ่นละอองแหล่งกำเนิด แหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

2) สารประกอบไนเตรต (Nitrate compound) ที่พบในฝุ่นละอองมากที่สุด คือ แอมโมเนียมไนเตรท ซึ่งสารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปที่ผันกลับได้ไปมาระหว่างก๊าซและอนุภาค(Gas-to-particle Equlibium) ระหว่างกรดแอมโมเนียและการรูปกรดไนตริก และฝุ่นแอมโมเนียไนเตรท เนื่องจากสมดุลสามารถผันกลับได้ อนุภาคที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมไนเตรทสามารถระเหยสู่อากาศหลังจากการเก็บตัวอย่างแล้วได้ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

3) สารประกอบแอมโมเนียม(Ammonium compound)สารประกอบแอมโม-เนียมพบในฝุ่นละอองจะอยู่ในรูป แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟตและแอมโมเนียมไนเตรต โดยแอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไบซัลเฟตเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟูริกและแอมโมเนียที่ไม่สามารถผันกลับได้

4) คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) สารอินทรีย์ที่พบในฝุ่นละอองที่เกิดจากการรวมตัวกันของสารประกอบหลายชนิดโดยประกอบด้วยสารประกอบของคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม แหล่งกำเนิดของคาร์บอนอินทรีย์มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ฝุ่นจากถนน

5) คาร์บอนอินทรีย์ (Elemental carbon) เป็นสารประกอบที่ใช้ ติดตามตรวจสอบ (Tracer) ฝุ่นละอองที่มาจากการเผาไหม้ซึ่งจะพบสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ปริมาณน้อยในฝุ่นดินและละอองไอจากทะเล ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์จะแปรผันตามปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

6) น้ำ (Water) น้ำเป็นตัวทำละลายสารประกอบประเภทต่างๆ เช่น สารประกอบไนเตรท ซัลเฟต แอมโมเนียม โซเดียม คาร์บอนอินทรีย์ และคาร์บอนอินทรีย์ได้ โดยฝุ่นละอองจะดูดซับไอน้ำมาจากอากาศ

7) Geological material ฝุ่นแขวนลอยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย ออกไซด์ของอลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม ไทเทเนียม เหล็ก และออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ กระบวนการรวมตัวของสารประกอบนี้เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยา และกระบวนการทางอุตุนิยมวิทยา ธาตุที่พบโดยการวิเคราะห์โดยการเรืองรังสีเอ็กซ์ในฝุ่นละอองขนาดเล็กคือ ซัลเฟอร์ และอลูมิเนียม ซึ่งจะพบในฝุ่นดิน (Clay) โดยอยู่ในรูปสารประกอบอลูมิโนซิลิเกต

2.4 การตกค้างและการกำจัดสิ่งแปลกปลอมในระบบทางเดินหายใจ

2.4.1 กลไกการตกค้างของอนุภาค

ลักษณะการตกค้างของฝุ่นในระบบทางเดินหายใจแบ่งเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) Inertial Impaction อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีความเฉื่อย (Inertia) ในการลอยไปกระทบกับผนังของ Posterior Pharyngeal Wall ได้แก่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 5-10 ไมครอน เมื่อลอยเข้าไปตามกระแสอากาศจากจมูกไปยัง Nasopharynx ซึ่งมีการหักเหของกระแสอากาศประมาณ 90^0 แต่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่เหล่านั้นหักเหตามกระแสอากาศไม่ทัน จึงลอยไปตามความเฉื่อยจนตกกระทบกับผนังด้านหลัง ทำให้มากกว่าร้อยละ 90 ของอนุภาคที่มีขนาดดังกล่าวติดอยู่ในจมูกและ Nasopharynx มีส่วนน้อยที่ลงไปถึงหลอดลมส่วนต้น และอนุภาคดังกล่าวที่ลอยลงไปในหลอดลมก็มักตกติดบริเวณทางแยก (Bifurcation) ของหลอดลมในระดับต้นๆ ด้วยความเฉื่อยดังกล่าว

2) Sedimentation อนุภาคที่มีขนาดประมาณ 0.5-5 ไมครอน จะลงไปในหลอดลมปอดได้ และตกติดในหลอดลมระดับต่างๆกัน อนุภาคขนาด 2-5 ไมครอนมักตกอยู่ในหลอดลมส่วนกลางหรือส่วนต้น (Central หรือ Proximal Airway) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร สำหรับอนุภาคขนาด 0.5-2 ไมครอน จะลงไปตกตะกอนในหลอดลมส่วนปลาย (Peripheral Airway) ซึ่งในหลอดลมขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตรนี้กระแสอากาศจะเรียงตัวเป็นระเบียบ (Laminar Flow) ทำให้อนุภาคที่มีน้ำหนักตกติดอยู่ที่เยื่อบุของผิวหลอดลม

3) Diffusion อนุภาคที่มีขนาดประมาณ 0.5 ไมครอน จะเปรียบเสมือนเป็นก๊าซผ่านลงไปในส่วนถุงลม (Alveolar Unit) ซึ่งจะมีการเคลื่อนไหวแบบ Brownian Movement ยิ่งมีขนาดเล็กมากยังคงตกติดอยู่ในลมหายใจที่ออกมา มีส่วนน้อยที่ยังคงติดติดอยู่ในถุงลม

4) Gravitational Setting คือการที่อนุภาคตกติดด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งวัตถุที่มีน้ำหนักจะตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก

5) Electrostatic Attraction คือ การที่อนุภาคตกติดหรือการเกาะติดโดยอาศัยความแตกต่างของประจุไฟฟ้าของอนุภาคฝุ่นเหล่านั้น

2.4.2 ตำแหน่งการตกค้างของอนุภาค

1) ทางเดินหายใจส่วนบน (Upper Respiratory Tract) บริเวณในส่วนจมูกและส่วน Nasopharynx จะเป็นด่านแรกของกลไกป้องกันของระบบทางเดินหายใจ เพราะจมูกจะมีประสิทธิภาพมากในการกรองอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน และส่วนมากของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะติดในจมูกเกือบหมด นอกจากนี้จมูกยังมีประสิทธิภาพมากในการกรองจับสารที่มีขนาดเล็กมากแต่จะควบแน่นอยู่รวมกันเป็นกลุ่มและผลิตภัณฑ์ของเรดอน รวมถึงก๊าซที่ละลายน้ำได้ดี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จะถูกดูดซึมละลายในจมูกได้เกือบหมด ทั้งยังก๊าซที่มีปฏิกิริยามาก เช่น โอโซน แม้ว่าละลายน้ำไม่ได้ดีก็ยังมีปฏิกิริยาในจมูกได้เช่นกัน

2) ทางเดินหายใจส่วนล่าง (Lower Respiratory Tract) อนุภาคที่มีขนาด 2-5 ไมครอน จะตกค้างในบริเวณหลอดลมขนาดใหญ่ส่วนกลาง (Central Airway) ซึ่งส่วนใหญ่การตกค้างเป็นกลไกของ Impaction สำหรับสารที่มีขนาดเล็กประมาณ 2 ไมครอน จะตกติดอยู่ในหลอดลมส่วนปลายขนาดเล็ก (Peripheral Airway) ด้วยกลไกของ Sedimentation รวมทั้งตกติดอยู่ในถุงลมด้วย ดังนั้นการตกติดของอนุภาคต่างๆ ในปอดทั้งหมดจึงเท่ากับการตกติดในหลอดลม (Bronchial Deposition) รวมกับการตกติดในถุงลม (Alveolar Deposition) ซึ่งการตกติดของอนุภาคต่างๆ นี้ ขึ้นกับขนาดของอนุภาค ลักษณะของการหายใจ เช่น การหายใจตื้นจะทำให้อนุภาคตกติดในทางเดินหายใจส่วนต้นมากกว่าการหายใจลึกแรง เป็นต้น นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของหลอดลม เช่น ถ้าหลอดลมตีบแคบก็ย่อมทำให้สารผ่านไปไม่ได้ จึงตกติดอยู่ในทางเดินหายใจส่วนต้น ทั้งยังมี Hygroscopic Particle ซึ่งหมายถึง อนุภาคที่ดูดซึมน้ำไว้กับตัวเอง ทำให้ขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อผ่านหลอดลมลงไปตามความชื้นในทางเดินหายใจ จึงมักตกใน Central Airway เช่น อนุภาคของ Sodium Chloride เป็นต้น

2.4.3 การกำจัดอนุภาคที่ตกเข้าไปในทางเดินหายใจ

โดยทั่วไปอนุภาคขนาดเล็กกว่า 5-10 ไมครอน จึงจะถูกหายใจเข้าไปในทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมได้ อนุภาคขนาดประมาณ 10 ไมครอน จะตกติดค้างอยู่ในจมูกและทางเดินหายใจส่วนบน และถูกกำจัดออกไปด้วยกลไกการไอ (Cough Clearance) อนุภาคที่มีขนาด 5 ไมครอน จะตกติดในทางเดินหายใจส่วนล่างได้ และถูกกำจัดออกด้วยกลไกของขนกวัก และมูก (Mucociliary Clearance) อนุภาคขนาดประมาณ 1-2 ไมครอน จะตกติดอยู่ในถุงลมได้และถูกกำจัดด้วยวิธีการของAlveolar Clearance สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอนและก๊าซต่างๆ จะลอยเข้าออก ตามการหายใจมีส่วนน้อยที่ตกค้างอยู่ในถุงลม

มลพิษในอากาศที่สำคัญได้แก่ Particulate, SO_2, NO_2, O_3, Sulfuric Acid Aerosols เป็นต้นอาจมีผลต่อการทำงานของระบบ Mucociliary Transport ได้โดยทดลองใช้ความเข้มข้นของมลพิษชนิดต่างๆ ทำให้มีการทำงานของ Mucociliary Activity ผิดปกติและเกิดการเปลี่ยนแปลงของ Mucociliary Apparatus

2.5 กลุ่มอาการโรคระบบการหายใจที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม

2.5.1 โรคปอดอักเสบ (Interstitial Lung Disease) ฝุ่นและมลพิษในอากาศ โดยเฉพาะในบริเวณที่ทำงานหลายแห่ง มีผลทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อปอด แล้วกลายเป็นพังผืดเป็นโรคปอดเรื้อรังแบบชนิด Chronic Restrictive Lung Disease โรคที่สำคัญได้แก่ Pneumoconiosis ซึ่งเป็น Fibrosing Interstitial Lung Disease ที่เกิดจากการได้รับฝุ่นแร่

2.5.2 โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic Bronchitis) หมายถึงผู้ป่วยที่มีอาการไอและมีเสมหะเรื้อรัง โดยมีอาการเป็นๆ หายๆ ปีละอย่างน้อย 3 เดือน และผู้ป่วยจะมีอาการเหล่านี้เป็น

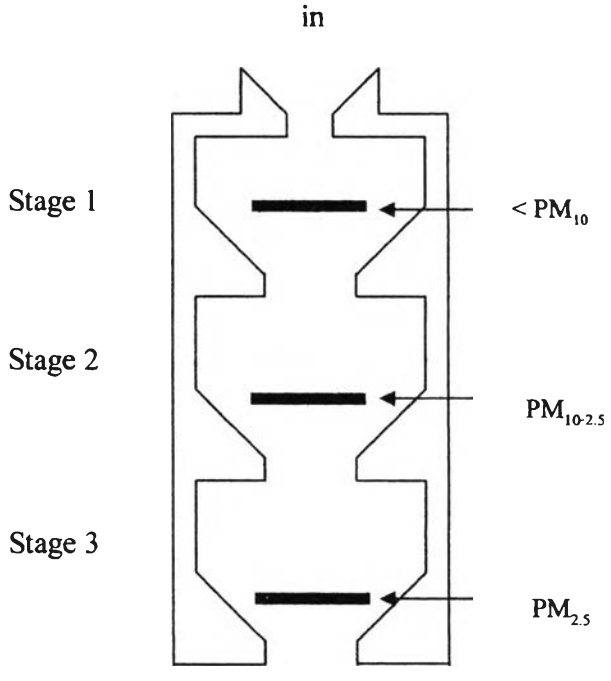
ระยะเวลา 2 ปี หรือมากกว่านั้น โดยไม่มีสาเหตุอื่นๆ เช่น วัณโรค เป็นต้น ส่วนใหญ่เกิดจากการสูบบุหรี่หรือได้รับควันบุหรี่จากในห้องที่มีคนสูบบุหรี่และยังเกิดจากการที่ได้รับฝุ่นละออง ก๊าซ และฟูม ในที่ทำงานด้วย มีรายงานพบประมาณร้อยละ 5-10 ในคนงานที่สัมผัสสารดังกล่าว

2.5.3 โรคหลอดลมปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic Obstructive Pulmonary Disease: COPD) หมายถึง กลุ่มของโรคปอดซึ่งมีความปกติที่สำคัญคือ มีการอุดกั้นของหลอดลม เนื่องจากโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic Bronchitis) ทำให้ผู้ป่วยขับลมออกจากปอดได้ช้ากว่าปกติหรือไม่สามารถขับลมออกจากปอดจากความจุของปอดทั้งหมด (Total Capacity) ภายในเวลาที่กำหนด ซึ่งจะทราบได้จากการทดสอบสมรรถภาพของปอด โดยเมื่อวัดค่า FEV1แล้วมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่ามาตรฐาน และสัดส่วนของ FEV1/FVC มีค่าน้อยกว่า 0.7

2.5.4 โรคหืด (Asthma) คือภาวะปกติที่หลอดลมแคบและเล็กลง และกลับสู่ปกติในระยะเวลาอันสั้น ลักษณะเด่นชัดของโรคหอบหืดที่สำคัญ คือ หลอดลมจะไวต่อสิ่งกระตุ้นมากกว่าหลอดลมของคนปกติ โดยสิ่งกระตุ้นไม่เป็นสิ่งจำเพาะเจาะจงต่อผู้ป่วยคนใดคนหนึ่ง ผู้ที่มีหลอดลมไวต่อสิ่งกระตุ้นจะมีหลอดลมแคบเล็กภายหลังได้รับสิ่งกระตุ้น

2.6 หลักการในการเก็บฝุ่นที่มีขนาดเล็กว่า 10 ไมครอน แบบคัดขนาด

ในการเก็บตัวอย่างอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เพื่อทำการศึกษาครั้งนี้ หลักการในการแยกขนาดคือสร้างแนวประทะ (Impactor) อนุภาคที่เคลื่อนที่ไปกับอากาศจะปะทะด้วยแรงเฉื่อยแล้วถูกจับไว้ในขั้นแรก หรือจะเคลื่อนไปกับอากาศต่อในชั้นต่อไปแล้วจึงถูกเก็บ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่จะมีแรงเฉื่อยมากว่าอนุภาคเล็ก อนุภาคใหญ่จึงถูกเก็บนั้นแรกๆ อัตราการไหลของอากาศมีความสำคัญสำหรับวิธีการนี้ ถ้าอัตราที่เหมาะสมจะทำให้การแยกขนาดของอนุภาคที่ต้องการเป็นไปได้ถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่อง Cascade Imcactor

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดวงฤทัย บัวด้วง (2542) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นPM_{10} ต่อสมรรถภาพปอด โดยใช้แบบสอบถาม ATS-DLD-78A ฉบับภาษาไทย และตรวจสมรรถภาพปอด โดยกลุ่มศึกษาเป็นเจ้าหน้าที่ตำรวจในกรุงเทพมหานครและในจังหวัดอยุธยา ผลการศึกษาปริมาณฝุ่นPM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีปริมาณ PM_{10} 124.8 $\mu g/m^3$ ส่วนพื้นที่ควบคุมมีค่า 44.68 $\mu g/m^3$ ผลการวิเคราะห์แบบสอบถาม พบว่า พื้นที่ศึกษามีความชุกของการเกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจสูงกว่าพื้นที่ควบคุมและยังพบว่าผลการทดสอบสมรรถภาพปอด ในกลุ่มศึกษาต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ บ่งชี้ได้ว่าปัญหาของโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่น PM_{10}

Nicole A. H. และคณะ (1997) ศึกษาการได้รับฝุ่น PM_{10} ในเด็กนักเรียนอายุระหว่าง 10- 12 ปี จำนวน 45 คน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นPM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัสในห้องเรียนและในบรรยากาศ ในโรงเรียน 3 แห่งประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่า ความเข้มข้นฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่า 105.2 $\mu g/m^3$ ในบรรยากาศมีค่า 38.5 $\mu g/m^3$ ปริมาณฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสในครอบครัวที่สูบบุหรี่มากกว่าไม่สูบบุหรี่ จากการศึกษาพบว่าปริมาณฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นในบรรยากาศเป็นอย่างดี (R = 0.63) แต่เมื่อหาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสกับความเข้มข้นแบบถ่วงน้ำหนัก ซึ่งหาได้จากปริมาณเฉลี่ยในห้องเรียน/ชั่วโมง * 6 ชั่วโมง + ปริมาณฝุ่นเฉลี่ยในบรรยากาศ/ชั่วโมง * 18 ชั่วโมง พบว่าให้ค่าที่ดีกว่า (R = 0.67)

Ch. Monn และคณะ (1997) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของฝุ่นPM_{10}, $PM_{2.5}$ ระหว่างในอาคาร, นอกอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส พบว่า ปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในอาคารจะมีปริมาณมากกว่าภายนอกอาคาร โดยฝุ่นภายในอาคารจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นภายในอาคารเป็นปัจจัยหลัก ระดับปริมาณของPM_{10} จะต่ำกว่า $PM_{2.5}$ ร้อยละ 70 และยังพบว่าฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่าขึ้นกับปริมาณฝุ่นที่มีอยู่ในบรรยากาศ

วนิดา จีนศาสตร์, สมานชัย เลิศ กมลวิทย์ และคณะ(2542) ตรวจวัดฝุ่นละออง PM_{10} $PM_{10\text{-}2.5}$ และ $PM_{2.5}$ ของบรรยากาศริมถนน ในกรุงเทพฯ นนทบุรี และอยุธยาฯ และเก็บตัวอย่างภายในป้อมตำรวจ และฝุ่นละอองที่ตำรวจได้รับสัมผัส ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดตัวบุคคล พบว่าฝุ่นละอองพบว่าสัดส่วน $PM_{2.5}$ /PM_{10} มีค่าฝันแปรไปแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง โดยในเขตเมืองจะมีค่ามากกว่าเขตพื้นที่ชานเมืองร้อยละ 65 และนอกจากนี้พบว่าฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นละอองภายในอาคาร

วนิดา ทรัพย์สุข (2543) ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นขนาดเล็กและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในที่พักอาศัยของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพมหานคร พบว่า กลุ่มกรุงเทพฯชั้นใน กลุ่มกรุงเทพฯชั้นนอก และกลุ่ม อ.พิมาย จ.นครราชสีมา ปริมาณฝุ่น PM_{10} ภายในที่พักอาศัยมีค่าเฉลี่ย 77.9±29.7 $\mu g/m^3$, 58.4±21.9 $\mu g/m^3$ และ 85.4±17.1 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ ปริมาณ $PM_{2.5}$ ภายในที่พักอาศัยมีค่าเฉลี่ย 24.6±9.6 $\mu g/m^3$, 20.7±10.7$\mu g/m^3$ และ 32.8±8.5 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และจากข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามพบว่ากลุ่มกรุงเทพฯชั้นนอกมีภาวะสุขภาพดีกว่ากลุ่ม อ.พิมาย จ.นครราชสีมา และกลุ่มกรุงเทพฯชั้นใน ทั้งยังพบว่าปริมาณฝุ่นมีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์สมรรถภาพปอด FVC, FEV1, MMEF และ V50 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

Lidia M. และ คณะ (2003) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของปริมาณอนุภาคและน้ำหนักของอนุภาค $PM_{2.5}$ ในบ้านพักอาศัยจำนวน 15 หลัง ในเขตชานเมือง Brisbane ในช่วงเวลาฤดูหนาวปี 1999 โดยทำการเก็บตัวอย่างมากกว่า 48 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Condensation Particle Counter (CPC) และ Photameter (Dust Trask) มาใช้ในการเก็บตัวอย่าง การศึกษาครั้งนี้เป็นการเก็บตัวอย่างภายในบ้าน ภายในห้องครัวและทำการบันทึกกิจกรรมต่างๆ ขณะเก็บตัวอย่าง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและกิจกรรมต่างๆ ภายในที่พักอาศัย พบว่าภายในที่พักอาศัยที่มีกิจกรรมมากมีจำนวนอนุภาค (18.2±3.9)x10^3 อนุภาค/cm3 และมีน้ำหนัก 15.5±7.9 $\mu g/m^3$ และพื้นที่ที่มีกิจกรรมน้อยพบว่ามีจำนวนอนุภาค (12.4±2.7)x10^3 อนุภาค/cm^3 และมีน้ำหนัก 15.5±7.9 $\mu g/m^3$ การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ที่มีกิจกรรมมากทำให้เกิดจำนวนและน้ำหนักของอนุภาค $PM_{2.5}$ ในปริมาณที่สูงกว่า

Matthew S. L. และคณะ (2001) ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตชุมชนกับการเก็บตัวอย่างจากบุคคลที่ได้รับสัมผัส ใน Towson และทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของปริมาณ $PM_{2.5}$ ภายนอกอาคารและภายในอาคาร โดยมีการใช้เครื่องมือ URG Versatile Air Pollutant (VAPS) ส่วนการเก็บตัวอย่างจากบุคคลที่ได้รับสัมผัสจะใช้เครื่อง Personal Exposure Monitor (PEM) พบว่าการไหลเข้ามาของ $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์กับกันโดยมีการใช้การประเมินด้วย Linear Regression พบว่าอัตราการไหลเข้ามาของ $PM_{2.5}$ จากภายนอกอาคารเข้ามาภายในอาคาร มีค่า 0.41 ($R^2 = 0.98$) ส่วนการศึกษาปริมาณของบุคคลที่ได้รับสัมผัส โดยใช้ PEM มีความสัมพันธ์กันระว่างปริมาณ $PM_{2.5}$ และพื้นที่ทำการศึกษา