หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

Kenneth และ Cecil(2) ได้กล่าวว่า ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศจะมีลักษณะเป็นทั้งอนุภาคของแข็งและของเหลว โดยมีขนาดใหญ่กว่าโมเลกุลเดี่ยว (ขนาดของโมเลกุลจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 0.0002 ไมครอน) ขนาดของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีตั้งแต่ 0.0002 ไมครอน ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.0002 จนถึง 500 ไมครอน จะแขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นเวลาไม่กี่วินาทีจนถึงหลาย ๆ เดือน ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน จะมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian Motion) ซึ่งเกิดจากการชนกันของโมเลกุล ฝุ่นละอองที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1 ไมครอน จะมีความเร็วที่คงที่ในอากาศที่นิ่ง ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอนจะมีความเร็วในแต่ละอนุภาคไม่เท่ากัน ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอน จะมีความเร็วที่คงที่ในตัวกลางและเคลื่อนที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงดึงดูดของโลก และอิทธิพลของแรงภายใน โดยความเร็วของฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอนจะเป็นไปตามสมการทางอากาศพลศาสตร์ที่เรียกว่า Stokes flow ดังนี้

$$V = \frac{2\left(\rho_{part} - \rho_{\alpha}\right)R^2 g}{9\mu} \qquad (2.1)$$

เมื่อ R คือ รัศมีของฝุ่น (ซม)

μ คือ ความหนืดของตัวกลาง (poise)

ρ_{part} คือ ความหนาแน่นของฝุ่น (กรัมต่อ ซม^3)

ρ_{α} คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กรัมต่อ ซม^3)

g คือ ค่าคงที่เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (ซม ต่อ วินาที^{2})

v คือ ความเร็วในการตกตัว (ซมต่อวินาที) (terminal velocity)

สำหรับฝุ่นที่มีความหนาแน่น เท่ากับ 1 กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ไมครอน terminal velocity จะเท่ากับ 0.3 เซนติเมตรต่อวินาที และเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 ไมครอน terminal velocity เท่ากับ 390 เซนติเมตรต่อวินาที

การแพร่กระจายของฝุ่นละอองแบบบราวเนียนจะได้ระยะทาง มีความสัมพันธ์กับขนาดของฝุ่นตามตารางที่ 2.1 โดยความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอทที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.1 แสดงการแพร่กระจายของฝุ่นละออง

Radius (μm)	Displacement (cm)	Terminal velocity (cm/sec)
0.05	3.70×10^{-3}	8.71×10^{-5}
0.1	2.01×10^{-3}	2.27×10^{-4}
0.2	1.30×10^{-3}	6.85×10^{-4}
0.5	7.43×10^{-4}	3.49×10^{-3}
1.0	5.06×10^{-4}	1.29×10^{-2}

Henry C. Perkins(3) สถาบันวิจัยสแตนฟอร์ด ในสหรัฐอเมริกาได้จัดพิมพ์แผนภูมิแสดงลักษณะเฉพาะของอนุภาคขนาดต่าง ๆ จากแหล่งที่มาของอนุภาคต่าง ๆ กัน ดังตารางที่ 2.2

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก (น้อยกว่า 2 ไมครอน) โดยทั่วไปจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์องค์ประกอบอาจจะเป็นของแข็งและของเหลว เช่น พวกซัลเฟตจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่นตะกั่ว จากไอเสียของยานพาหนะ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 2 ไมครอนส่วนมากเกิดขึ้นจากธรรมชาติ การแพร่กระจายจะอาศัยลมพาไป ลักษณะภูมิอากาศ และภูมิประเทศ จะมีผลต่อการเคลื่อนย้าย หรือแพร่กระจายของฝุ่นละอองมากที่สุด

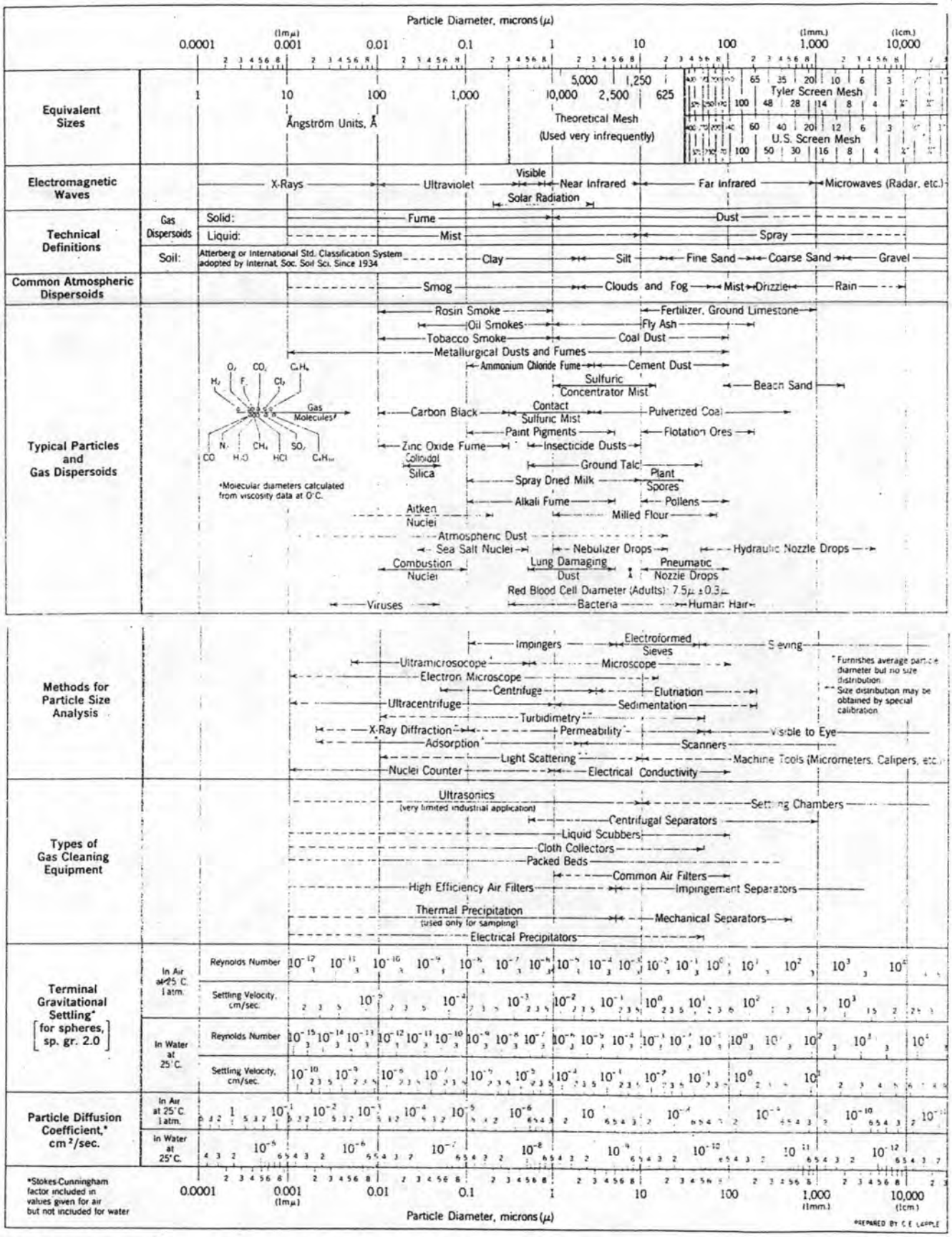


Fig. 10.1 Characteristics of particles and particle dispersoids. [*Reprinted by permission from C. E. Lapple, Stanford Research Institute Journal, 5, 94 (Third Quarter, 1961).*]

ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะของอนุภาคขนาดต่าง ๆ จากแหล่งที่มาต่าง ๆ กัน (3)

แหล่งที่มาของฝุ่นในบรรยากาศ

แหล่งที่มาของฝุ่นละอองในบรรยากาศ(3) แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติ (natural particle) ได้แก่ การเกิดภูเขาไฟระเบิด พายุได้ฝุ่น ไฟไหม้ป่า การเน่าเปื่อยผุพังของซากพืชซากสัตว์ เป็นต้น อีกประเภทหนึ่ง คือ ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น (man - made particle) เป็นฝุ่นละอองที่เป็นตัวการสำคัญในการทำลายบรรยากาศ และมักมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ซึ่งแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมครอน เกิดจากกระบวนการแตกตัวจนละเอียดหรือการกลั่นตัว กระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ทำให้เกิดฝุ่นละอองได้หลายขนาด ตั้งแต่ 0.1 ไมครอน จนถึง 1 ไมครอน และใหญ่กว่า 1 ไมครอนขึ้นไป

1. Henry C. Perkins(3) กล่าวว่า ฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติซึ่งเกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดบนผิวดินและแหล่งกำเนิดที่เป็นมหาสมุทร

(ก) ฝุ่นจากลมพายุ และลมในทะเลทรายขนาดของฝุ่นจะมีรัศมีใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน

(ข) จากปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอลของก๊าซ (photochemical gas reactions) ระหว่างกระบวนการผลิต ก๊าซโอโซนของธรรมชาติและสารไฮโดรคาร์บอนจะได้ฝุ่นละอองที่มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 0.2 ไมครอน

(ค) จากการปะทุระเบิดของภูเขาไฟซึ่งได้ทำให้เกิดทั้งฝุ่นละอองและก๊าซโดยเฉพาะ SO_2 ซึ่งสามารถกลายเป็น aerosol ในบรรยากาศในภายหลังได้

2. แหล่งกำเนิดจากมหาสมุทร ละอองนี้เป็นอนุภาคเกลือในมหาสุมทร (oceanic salt) เกิดจากละอองของน้ำทะเลที่แพร่กระจายในบรรยากาศอนุภาคเหล่านี้ จะมีขนาดรัศมีใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน

3. ฝุ่นละอองที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (man-made aerosols)

(ก) ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้

(ข) ฝุ่นละอองที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล ระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจนและสารไฮโดรคาร์บอน เรียกว่า smog reaction ก่อให้

เกิดฝุ่นละอองที่มีขนาดรัศมีเล็กกว่า 0.2 ไมครอน

จากการรายงานของ Environmental Protection Agency (EPA) ได้แสดงว่าในประเทศสหรัฐอเมริกา (AP-73,1970) ได้มีการปล่อยฝุ่นละอองในบรรยากาศประมาณ 28×10^6 ตันต่อปี ดังตารางที่ 2.3 ได้แสดงให้เห็นฝุ่นในช่วงปี ค.ศ.1966, 1967 และ ปี ค.ศ. 1968

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการปล่อยฝุ่นละอองสู่สิ่งแวดล้อมในประเทศสหรัฐอเมริกาในแต่ละปี

Source	1966	1967	1968	Change from 1966 to 1968
		10^6 tons		
Transportation	1.2	1.1	1.2	N*
Motor vehicles	0.7	0.7	0.8	+0.1
Other	0.5	0.4	0.4	−0.1
Fuel combustion	9.2	8.9	8.9	−0.3
Coal	8.5	8.2	8.2	−0.3
Fuel oil	0.3	0.3	0.3	N
Natural gas	0.1	0.2	0.2	+0.1
Wood	0.3	0.2	0.2	−0.1
Industrial processes	7.6	7.3	7.5	−0.1†
Solid-waste disposal	1.0	1.1	1.1	+0.1
Miscellaneous	9.6	9.6	9.6	N
Man made	2.9	2.9	2.9	N
Forest fires	6.7	6.7	6.7	N
Total	28.6	28.0	28.3	−0.3

*N = Negligible.
†Apparent change.

ฝุ่นละอองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติ (natural sourcers) จะมีมากกว่าฝุ่นละอองนี้เกิดจากการกระทำของมนุษย์ จากการรายงานของ Study of Man's Impact on Climate (SMIC) ฝุ่นละอองที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ในบรรยากาศอยู่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 5 ถึง 45 ของปริมาณฝุ่นละอองทั้งหมดในบรรยากาศ ตาราง 2.4 ได้แสดงให้เห็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการอุตสาหกรรมในปี ค.ศ.1968 ในสหรัฐอเมริกา

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการปล่อยฝุ่นละอองทั่วประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1968(3)

Industry	Emissions, tons/yr
Iron and steel	1,910,000
Other primary metals	40,000
Grey-iron foundries	170,000
Other secondary metals	50,000
Cement	870,000
Stone, sand, rock, etc.	870,000
Coal cleaning	185,000
Phosphate rock	205,000
Lime	450,000
Asphalt batching	540,000
Other mineral products	180,000
Oil refineries	100,000
Other chemical industries	90,000
Grain handling and storage	800,000
Pulp and paper	720,000
Flour and feed milling	320,000
Other	30,000

ตารางที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงฝุ่นซึ่งเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1968 จากเชื้อเพลิงที่ต่างชนิดกัน โดยมีอัตราการปลดปล่อยเป็น ปอนด์ ต่อ ชั่วโมง(7)

	Particulate	SO_2	NO_2
Coal	117,300	17,400	18,340
Gas	303	8	1,890
Oil	1,420	22,300	14,800

สำหรับประเทศไทย สำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติเดิม(4) ได้มีรายงานเมื่อปี พ.ศ.2531 ว่าสารมลพิษอากาศโดยส่วนใหญ่จะเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเช่น น้ำมันปิโตรเลียม, ลิกไนต์ และถ่านหิน โดยจัดรวมอยู่ในประเภทพลังงานยุคใหม่และจากการเผาไหม้ของไม้ฟืน ชานอ้อย แกลบ และถ่านไม้ ซึ่งจัดอยู่ในประเภทพลังงานพื้นบ้านปริมาณฝุ่นละอองต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร จากสถิติในปี พ.ศ.2528 พบว่ามียวดยานบนท้องถนน ซึ่งรวมทั้งรถจักรยานยนต์และสามล้อเครื่องไม่ต่ำกว่า 3 ล้านคัน ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 อัตราการปล่อยสารมลพิษจากการสันดาปของเชื้อเพลิงต่าง ๆ(4)

หน่วย : กก./ตันของเชื้อเพลิง

แหล่ง	ชนิดของเชื้อเพลิง	ฝุ่นละออง	SO_2	NO_x	HC	CO
โรงไฟฟ้า	น้ำมันเชื้อเพลิงดิบ	1.04	69.6	13.2	0.13	0.66
	ก๊าซธรรมชาติ	0.29	0.056	11.5	0.019	0.32
	ลิกไนท์	56	30	7	0.5	0.5
	ถ่านหิน	1.2	13.3	9	0.15	0.5
เตาเผาของโรงงานอุตสาหกรรม	ดีเซล	2.13	20.1	7.5	0.41	0.59
	แอล พี จี	0.38	0.0068	2.6	0.65	0.35
	เชื้อเพลิงเหลว	2.13	60.3	7.5	0.41	0.59
	น้ำมันก๊าด	3	3.4	2.3	0.4	0.25
	ก๊าซธรรมชาติ	0.34	0.056	3.6	0.058	0.32
	ถ่านหิน/ลิกไนท์	56	30	3	0.5	1
เตาในอาคารบ้านเรือน	แอล พี จี	0.42	0.0068	1.8	0.17	0.44
	เชื้อเพลิงเหลว	1.42	60.3	1.8	0.41	0.71
	น้ำมันก๊าด	3	3.4	2.3	0.4	0.25
	ชานอ้อย	8	-	0.6	-	-
	ฟืน	13.7	0.5	5	1	1
พาหนะทางบก	เบนซิน	2.0	0.54	10.3	14.5	377
	ดีเซล	2.4	19	11	2.6	43.5
	แอล พี จี	0.03	-	0.52	0.28	1.7
เรือ	ดีเซล	-	2.7	27	5.1	11

ที่มา : WHO, 1982 และ USEPA, 1976.

หมายเหตุ : SO_2 = ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, NO_x = ไนโตรเจนออกไซด์
HC = ไฮโดรคาร์บอน, CO = คาร์บอนมอนอกไซด์

ตารางที่ 2.7 แสดงผลการคำนวณปริมาณสารมลพิษของอากาศของแหล่งต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรม เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง (54%) โรงไฟฟ้าและโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ห่างไกลจากแหล่งชุมชน

ตารางที่ 2.7 ปริมาณสารมลพิษอากาศจากแหล่งต่าง ๆ ประเมินสำหรับปี 2525(4)

หน่วย : ตัน/ปี

แหล่ง	ฝุ่นละออง	SO_2	NO_x	HC	CO
การคมนาคมขนส่ง	7,515	47,339	35,390	17,952	406,370
	(3%)	(15%)	(23%)	(46%)	(60%)
โรงไฟฟ้า	96,300	153,087	43,027	1,054	2,143
	(33%)	(48%)	(28%)	(3%)	(0%)
อุตสาหกรรม	62,701	106,735	23,970	6,569	110,212
	(21%)	(34%)	(16%)	(17%)	(16%)
การบริการ	4,221	2,145	5,114	1,525	108,937
	(1%)	(1%)	(3%)	(12%)	(16%)
การประมง	0	1,220	12,204	2,305	4,972
	(0%)	(0%)	(8%)	(6%)	(1%)
เกษตรกรรม	54,022	3,607	8,166	1,882	34,566
	(19%)	(1%)	(5%)	(5%)	(5%)
ครัวเรือน	67,109	2,997	24,843	4,942	4,941
	(23%)	(1%)	(16%)	(13%)	(1%)
รวม	291,868	317,130	152,714	39,229	672,441
	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)

หมายเหตุ : SO_2 = ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ NO_x = ไนโตรเจนออกไซด์
HC = ไฮโดรคาร์บอน CO = คาร์บอนมอนอกไซด์

<u>ชนิดของฝุ่นละออง</u>

Henry C. Perkins(3),(5) ได้จำแนกชนิดของฝุ่นละอองตามลักษณะทางกายภาพและแหล่งกำเนิดของมัน ดังต่อไปนี้

- Aerosol หมายถึง ฝุ่นละอองที่เกิดจากการรวมตัวของฝุ่นละอองที่เป็นของแข็งหรือ ของเหลวก๊าซ ซึ่งเป็นตัวกลางในการแขวนลอย มีขนาดตั้งแต่ 0.001 ไมครอน ไปจนถึงขนาด 100 ไมครอน
- Dust หมายถึง ฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เป็นของแข็ง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเกิดขึ้นจากการแตกตัวของของแข็ง เช่น

ฝุ่นดิน ฝุ่นจากการขุดเจาะ เป็นต้น ขนาดของ Dust จะมีช่วงหลากหลายตั้งแต่ขนาดไมครอน จนถึงมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

- Droplet หมายถึง อนุภาคของเหลวซึ่งเกาะตัวกันในสภาวะอากาศนึ่งลงสู่พื้นดินแต่ ในสภาวะอากาศปั่นป่วน อนุภาคเหล่านี้จะยังคงแขวนลอยในอากาศต่อไป
- Fly ash หมายถึง อนุภาคที่แตกตัวอย่างละเอียดของขี้เถ้าที่ได้จากการเผาผลาญเชื้อเพลิงอนุภาคเหล่านี้อาจจะมีเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมดอยู่ด้วย
- Fume หมายถึง ฝุ่นละอองของแข็งที่รวมตัวกับก๊าซ ซึ่งส่วนมากเกิดจากการเผาไหม้โดยทั่วไป มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ส่วนมากจะหมายถึง ฝุ่นละอองที่เป็นพิษ
- Coarse Particle หมายถึง ฝุ่นละอองทั่วไปที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอน
- Fine Particle หมายถึง ฝุ่นละอองทั่วไปที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน
- Respirable Particle หรือ Inhalate Particle หมายถึง ฝุ่นละอองที่มีขนาดตั้งแต่ 10 ไมครอน ลงมา ซึ่งสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้
- Smoke หมายถึง ฝุ่นละอองที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยมากมักจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน
- Mist หมายถึง ฝุ่นละอองของเหลวที่เกิดจากการรวมตัวของไอน้ำ มีขนาดตั้งแต่ 2-3 ไมครอน จนถึง 20 ไมครอน
- Fog หมายถึง ฝุ่นละอองประเภท Mist ซึ่งรวมตัวเป็นกลุ่มมองเห็นได้
- Smog หมายถึง ฝุ่นละอองที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแล้ว (photochemical reaction) หรือเป็นการรวมตัวกันของ Smoke กับ Fog โดยมากจะเกิดขึ้นในเขตเมือง มีขนาด 1 ถึง 2 ไมครอน

- Cloud หมายถึง ฝุ่นละอองที่รวมตัวกันสามารถมองเห็น และกำหนดขอบเขตได้
- Gas หมายถึง ภาวะที่ธาตุมารวมตัวกัน และไม่มีรูปร่าง และปริมาณที่ชัดเจนและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวโดยไม่มีขีดจำกัด
- Soot หมายถึง อนุภาคคาร์บอนที่มี น้ำมันดิบผสมมารวมตัวกัน เกิดจากการเผาไหม้ของสารประกอบของธาตุคาร์บอน (carbonaceous) ที่ไม่สมบูรณ์
- Vapor หมายถึง สภาวะที่ธาตุซึ่งปรกติจะอยู่ในรูปของแข็งหรือของเหลวกลายมาเป็น gas

Kenneth และ Cecil(2) ได้แยกชนิดของฝุ่นตามขนาดฝุ่นละอองอย่างละเอียด จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 100 ไมครอน ฝุ่นละอองอย่างหยาบจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอน

fumes มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.001-1 ไมครอน

mists มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-1 ไมครอน

Robert Irving(6) ได้ทำการศึกษาฝุ่นละอองในบรรยากาศทำการแบ่งประเภทได้เป็น 3 ช่วง คือ ฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.1 ไมครอน เรียกว่า "Aitken particles" ฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.0 ไมครอน เรียกว่า "Large Particles" ฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 1.0 ไมครอน เรียกว่า "Giant Particles" โดยฝุ่นละอองที่อยู่ใน large particles มีขนาดเท่ากับความยาวคลื่นแสงที่ตาเรามองเห็นได้ทั้ง large particles และ aitken particles มีขนาดเล็กมี การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) อนุภาคทั้งสองประเภทนี้สามารถที่จะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน และครอบคลุมพื้นที่ได้ไกล ในทางตรงกันข้าม giant particles มีขนาดใหญ่จนหลักการการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) ไม่สามารถประยุกต์ใช้ได้ aitken particles จะมีจำนวนมากกว่า large particles และ giant particles แต่ aitken particles มีมวลประมาณ 10 - 20 % ของมวลฝุ่นละออง ทั้งหมดในบรรยากาศ

องค์ประกอบของฝุ่นละออง

Robert และ Irving(5) รายงานว่าฝุ่นละอองประกอบด้วย ละออง เกสรดอกไม้ (มีขนาด 10-50 ไมครอน หรือใหญ่กว่า) และ จุลินทรีย์ ได้แก่ algae, rusts, fungi, molds, yeasts ,spores,แบคทีเรีย ชิ้นส่วนของแมลง และยังพบสารกัมมันตรังสีธรรมชาติในรูปของ fine particles จากหิน ถ่านหิน และน้ำมัน โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงขนาดกำลัง 100 เมกะวัตต์ ผลิตฝุ่นละอองขึ้นสู่บรรยากาศที่มี ^{226}Ra ประมาณ 400 มิลลิคูรี ต่อปี ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นสัปดาห์ละสองครั้ง ระหว่างปี ค.ศ.1964-1965 เก็บตัวอย่างจากหลายสถานีทั่วสหรัฐอเมริกา ทั้งในเมืองและนอกเมือง ได้ตารางองค์ประกอบของฝุ่นดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงองค์ประกอบของฝุ่น

Composition of Particulate Matter[43]

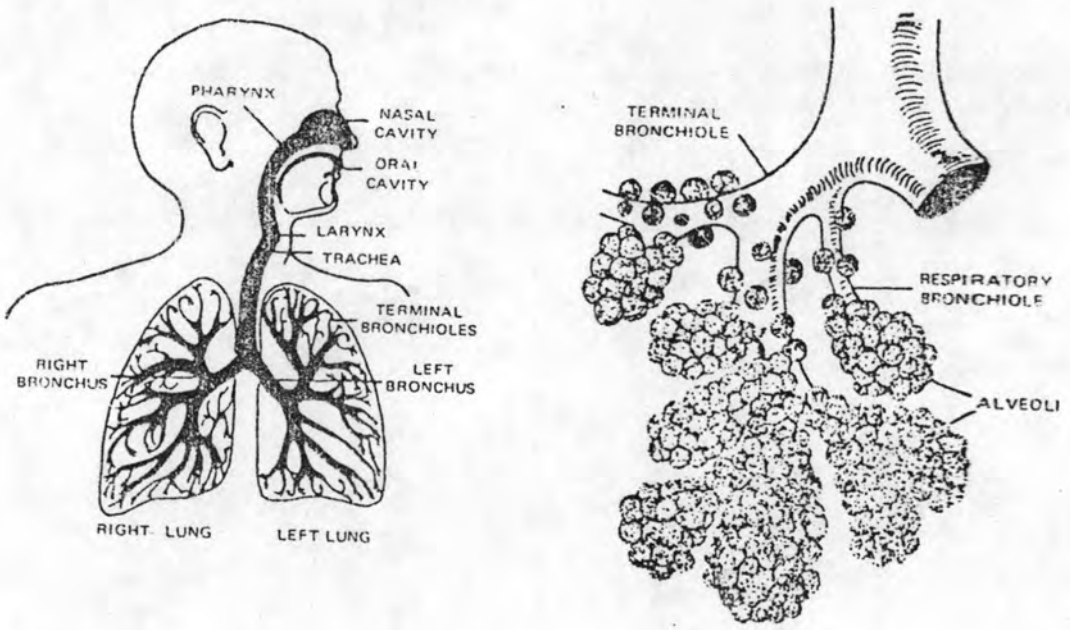
	Number of stations	Concentration in $\mu g/m^3$	
		Arith. avg. unless noted	Maximum
Urban stations			
Particles	291	105 (90)[a]	1254
Fractions:			
Benzene-soluble organics	218	6.8	—
Nitrates	96	2.6	39.7
Sulfates	96	10.6	101.2
Ammonium	56	1.3	75.5
Antimony	35	0.001	0.160
Arsenic	133	0.02	—
Beryllium	100	0.0005	0.010
Bismuth	35	0.0005	0.061
Cadmium	35	0.002	0.420
Chromium	103	0.015	0.330
Cobalt	35	0.0005	0.060
Copper	103	0.09	10.00
Iron	104	1.58	22.00
Lead	104	0.79	8.60
Manganese	103	0.10	0.98
Molybdenum	35	0.005	0.78
Nickel	103	0.034	0.460
Tin	85	0.02	0.50
Titanium	104	0.04	1.10
Vanadium	99	0.050	2.200
Zinc	99	0.67	58.00
Nonurban stations			
Particles	32	37(28)[a]	312
Fractions:			
Benzene-soluble organics	28	1.2	—
Arsenic	24	0.003	0.02

[a] Geometric mean for all stations.

<u>ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อมนุษย์</u>

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเองหรือองค์ประกอบของฝุ่นกับสารมลพิษอื่น ๆ เป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างมาก(3) ฝุ่นละอองสามารถเข้าร่างกายโดยระบบทางเดินหายใจจะทำลายอวัยวะที่เกี่ยวกับระบบหายใจ ประมาณว่า ร้อยละ 50 ของฝุ่นขนาดระหว่าง 0.01 และ 0.1 ไมครอนได้ตกค้างอยู่ในส่วนของปอด ฝุ่นละอองในบรรยากาศส่งผลร้ายต่อมนุษย์ได้ 3 ทางต่อไปนี้

1. อนุภาคฝุ่นเป็นพิษเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมี หรือ คุณสมบัติทางกายภาพของมัน
2. อนุภาคฝุ่นไปส่งผลรบกวนต่อระบบทางเดินหายใจ
3. อนุภาคฝุ่นอาจจะดูดซึมสารพิษเข้าไปในตัว



รูปที่ 2.1 ระบบทางเดินหายใจ จาก Air pollution ของ Henry C.Perkins (1974)

ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์แบ่งได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

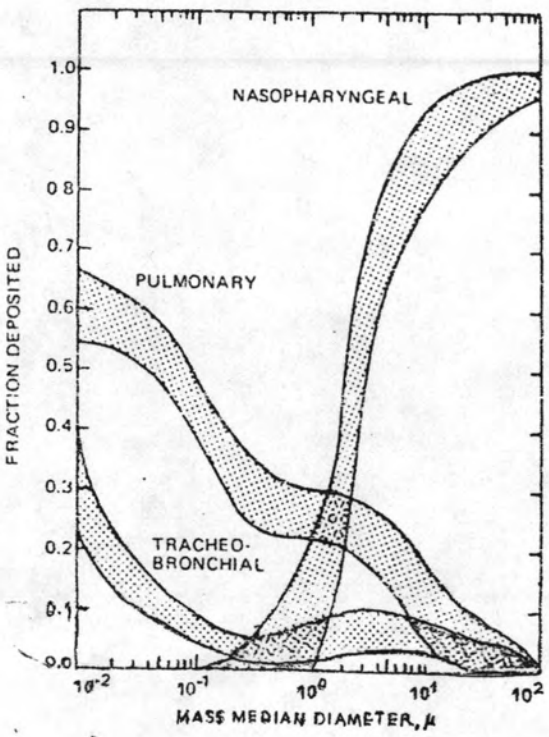
ส่วนที่ 1 ส่วนจมูกร่วมคอหอย (nasopharyngeal section) คือ จมูก ปาก และกล่องเสียง

ส่วนที่ 2 ส่วนคอหอยร่วมหลอดลม (tracheobronchial system) คือ ส่วนหลอดลมถึงขั้วปอด

ส่วนที่ 3 ส่วนเกี่ยวกับปอด (pulmonary structure) คือ ส่วนแขนงขั้วปอดไปถึงถุงลมขนาดเล็ก

ในส่วนถุงลมซึ่งมีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนระหว่างก๊าซออกซิเจนที่หายใจเข้าไปกับเม็ดเลือดแดง ความเร็วของอากาศในการหายใจจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเข้าไปส่วนของขั้วปอด ซึ่งจะมีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัด ทำให้ความเร็วของลมลดลง ในการหายใจส่วนของถุงลมซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 150 ถึง 400 ไมครอนจะเป็นตัวแลกเปลี่ยนก๊าซโดยอาศัยหลักการแพร่ ระหว่างก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ส่วนแรกในระบบทางเดินหายใจ 2 ส่วนแรกจะมีเมือกและส่วนยื่นของผนังคล้ายขนเรียกว่า cilia ซึ่งมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาและจะดักจับฝุ่น จุลินทรีย์ จากส่วนของปอดจะถูกขับออกจากร่างกายในช่วงเวลาเป็นชั่วโมง ในส่วนที่ 3 จะไม่มีน้ำเมือกและ cilia นี้ ฝุ่นละอองที่หลุดเข้าไปในส่วนที่ 3 ถูกขับออกจากร่างกายได้ยากและช้าอาจอยู่ในส่วนนี้ได้นานกว่าเดือน ส่วนฝุ่นละอองที่ละลายได้ จะซึมผ่านถุงลมในปอดเข้าสู่กระแสโลหิตได้โรคที่ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีผลต่อมนุษย์ ได้แก่ มะเร็งปอด, หลอดลมอักเสบ การระคายเคืองต่อผิวหนังภายนอกของมนุษย์ ฝุ่นละอองที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก

รูปที่ 2.2 แสดงการตกตัวของฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ภายในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย