

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุภาคฝุ่นละออง

อนุภาคฝุ่นละออง (Particulate matter) หมายถึงอนุภาคที่เป็นของแข็ง หรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศหรือก๊าซ อนุภาคฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศที่เกิดขึ้นถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล (Sea spray) ไฟป่า และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จากการจราจร อุตสาหกรรม และการก่อสร้าง โดยอนุภาคฝุ่นละอองที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดโดยตรง แล้วแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ เรียกว่า ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (Primary particulate) จากนั้นฝุ่นละอองปฐมภูมิที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศทำปฏิกิริยาเคมี หรือกระบวนการทางฟิสิกส์เกิดเป็นฝุ่นละอองที่มีลักษณะ คุณสมบัติ และองค์ประกอบที่แตกต่างไปจากเดิม เรียกว่า ฝุ่นละอองทุติยภูมิ (Secondary particulate) กระบวนการเกิดและกำจัดอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศเกิดขึ้นตลอดเวลาและต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และสภาพทางอุตุนิยมวิทยา เมื่ออนุภาคฝุ่นละอองถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดออกสู่อากาศ อนุภาคฝุ่นละอองจะถูกควบคุมโดยกระบวนการต่าง ๆ ของธรรมชาติ โดยพฤติกรรมเชิงพลวัต (Dynamic behavior) ซึ่งได้แก่ การตกตะกอน (Sedimentation) การแพร่ (Diffusion) การรวมตัว (Coagulation) นอกจากนี้อนุภาคยังอาจเกิดปฏิกิริยาเคมี กับองค์ประกอบเคมีในสถานะก๊าซซึ่งอยู่รอบ ๆ และอนุภาคฝุ่นละอองยังอาจถูกกำจัดออกจากอากาศได้โดยกระบวนการนิวเคลียส (Nucleation process) โดยผลการชะล้างของฝน หิมะ หรือถูกเห็บในบรรยากาศ

2.2 การแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ

ขนาดของอนุภาคฝุ่นละออง (Particle size) หมายถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ในกรณีที่อนุภาคฝุ่นละอองเป็นทรงกลม แต่โดยทั่วไปอนุภาคฝุ่นละอองมีรูปร่างหลายอย่างนอกจากทรงกลม ดังนั้นอนุภาคที่ไม่ใช่ทรงกลมมักจะบอกขนาดที่เป็น Equivalent diameter โดยเทียบกับ Project area พื้นที่ผิว ปริมาตร มวล ความหมายต่าง ๆ ของขนาดอนุภาคที่วัดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ดังนี้

Martin's diameter เป็นความกว้างของอนุภาคในแนวขนานกับ Microscope Scan ซึ่งแบ่งครึ่งอนุภาคฝุ่นละอองให้มีพื้นที่เท่ากัน

Feret's diameter เป็นความยาวระหว่างเส้นสัมผัส 2 เส้น บนด้านตรงข้ามของอนุภาค ซึ่งตั้งฉากกับ Microscope Scan

Equivalent diameter เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีพื้นที่เท่ากับ Project Area ของอนุภาค

Aerodynamic diameter เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่มีความหนาแน่น 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความเร็วตกในบรรยากาศเท่ากับของอนุภาค ค่า Aerodynamic diameter ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค รูปร่าง และความหนาแน่นของอนุภาคซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$d_p = d \sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_c} C_c} \quad (2.1)$$

โดย	d_p	=	Aerodynamic diameter (μm)
	d	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (μm)
	ρ_p	=	ความหนาแน่นของอนุภาค ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)
	C_c	=	Cunningham correction factor

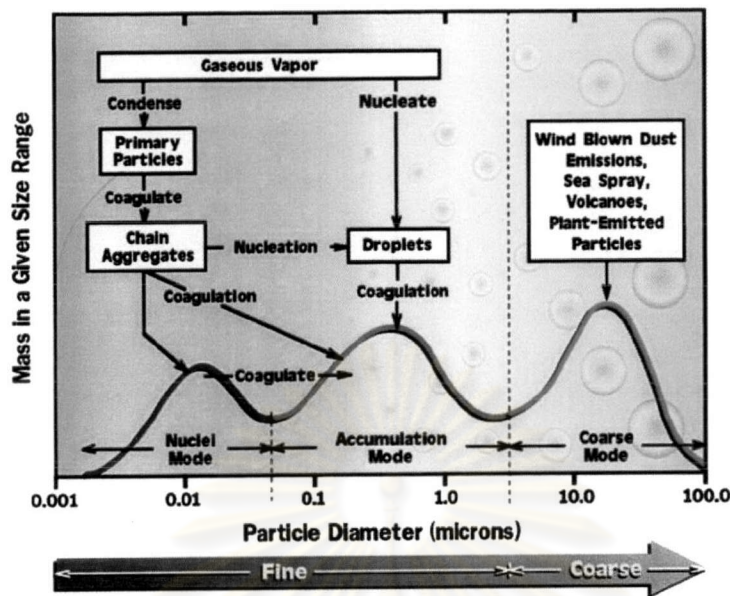
การแจกแจงตามขนาดอนุภาคฝุ่นละออง ที่มีอนุภาคขนาดต่าง ๆ กันคือการแบ่งขนาดอนุภาคออกเป็นช่วง ๆ ตามลำดับของขนาด ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในอากาศมีขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดประมาณ 6×10^{-4} ถึง 10^3 ไมครอน คุณสมบัติของอนุภาคฝุ่นละอองขึ้นกับขนาดของอนุภาค โดยอนุภาคของแข็งมักอยู่ในรูปที่ซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ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

ตารางที่ 2.1 ขนาดทั่วไปของอนุภาคมลสารที่อยู่ในบรรยากาศ

ชนิดมลสาร	ขนาดใหญ่สุด (ไมครอน)	ขนาดเล็กสุด (ไมครอน)
ละอองน้ำ	500	40
ผงถ่านหิน	250	25
ฝุ่น	200	20
ฝุ่นโรงงานถลุงเหล็ก	200	1
ผงซีเมนต์	150	10
ซีเมนต์	110	3
เกสรดอกไม้	60	20
หมอก	40	1.5
สปอร์ต้นไม้	30	10
แบคทีเรีย	15	1
ยากำจัดแมลงชนิดผง	10	0.4
สีฝุ่น	4	0.1
สมีอก	2	0.001
ควันทูหรี	1	0.01
ควันท้ำมัน	1	0.03
ควนซิงค์ออกไซด์	0.3	0.01
ควนถ่านหิน	0.2	0.01
ไวรัส	0.05	0.003

ที่มา: วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา: William, 2000 อ้างใน สมานชัย, 2543

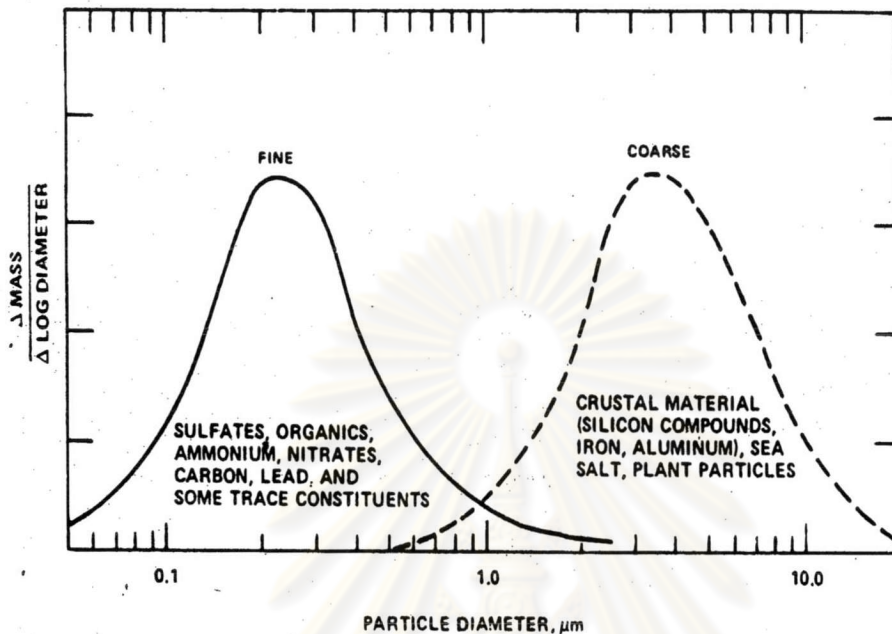
รูปที่ 2.1 ขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศและกลไกการเกิดฝุ่นละออง

2.2.1 ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (Total suspended particulate) หมายถึงอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งที่พบในอากาศ (ยกเว้นไอน้ำ) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.005 ไมครอน ถึง 100 ไมครอน แหล่งกำเนิดโดยธรรมชาติมักเกิดจากการฟุ้งกระจายของดิน ทราชที่พื้นผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง (Fugitive dust) โดยการพัดพาของลม และประกอบด้วยธาตุซิลิกาเป็นหลัก ฝุ่นละอองทางชีวภาพ (Bioaerosol) เช่น สปอร์ ละอองเกสรของพืชต่าง ๆ ฝุ่นละอองรวมที่พบบริเวณเขตเมืองโดยทั่วไปเป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิ เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนฝุ่นละอองทุติยภูมิเกิดจากเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และก๊าซอื่น ๆ ไปอยู่ในรูปของอนุภาค นอกจากนี้ฝุ่นละอองแขวนลอยรวมอาจเป็นฝุ่นดินจากพื้นถนนที่ลอยขึ้นสู่อากาศอีกครั้ง (Resuspended particulate) ฝุ่นละอองแขวนลอยรวมมีขนาดที่ใหญ่เกินกว่าที่จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ในส่วนใหญ่ได้ โดยจะถูกกำจัดที่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้น เช่น ถูกดักหรือกรองไว้ภายในช่องจมูก และถูกนำออกจากร่างกายมนุษย์ได้โดยการไอหรือจาม นอกจากนี้ฝุ่นละอองแขวนลอยรวมมักทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทรับความรู้สึกของร่างกาย เนื่องจากสารพิษที่มีอยู่ในฝุ่นต่าง ๆ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส สารหนู ฯลฯ ซึ่งทำให้ตา จมูก คอ เกิดการระคายเคืองและอักเสบได้

2.2.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) หมายถึงอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น (Dust) คว้น (Smoke) ฟุ้ง (Fume) เขม่า (Soot) ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ประกอบด้วยมลสารหลายชนิด และมีองค์ประกอบธาตุแตกต่างกัน ฝุ่นละออง PM_{10} มีแหล่งกำเนิดหลายแหล่ง (Brook et al., 1997) ได้แก่ ฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอบของทะเล (Sea spray) ฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซล การเผาไหม้แบบเปิด เช่น การเผาขยะ การเผาของเสียจากเกษตรกรรม (หญ้า ฟาง) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Indoor particle) ฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงไม้หิน และโรงงานปูนซีเมนต์ ฝุ่นละออง PM_{10} ส่วนใหญ่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ จากโรงไฟฟ้า ยานพาหนะประเภทต่าง ๆ เช่น รถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล ซึ่งฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้มีปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นคาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) และคาร์บอนอนินทรีย์ (Elemental carbon) ในปริมาณสูง ฝุ่นละออง PM_{10} มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ (Respirable particulate) (Englert, 2004) ฝุ่นละออง PM_{10} ถูกแบ่งออกได้เป็นฝุ่นละออง 2 ช่วงขนาด ดังนี้

2.2.2.1 ฝุ่นหยาบ (Coarse particulate matters) หมายถึงอนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดระหว่าง 2.5 ถึง 10 ไมครอน ($PM_{10-2.5}$) ฝุ่นละอองที่มีขนาดในช่วงนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน (Soil dust) เป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิ ซึ่งถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยตรง และไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี จึงสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดจากองค์ประกอบธาตุที่มีอยู่ในฝุ่นละอองได้ เนื่องจากองค์ประกอบธาตุในฝุ่นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากขณะที่ลอยอยู่ในอากาศ ฝุ่นหยาบบางส่วนถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการเชิงกล (Mechanical process) เช่น การบด การโม่ หรือการทำให้เป็นผง จากการก่อสร้าง การรื้อถอน ทำลาย การระเบิดหิน อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และการสึกกร่อนของดิน องค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองที่มีขนาดอยู่ในช่วงนี้ ส่วนจะพบสารประกอบ Crystalline oxide เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ซิลิกอน แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี เป็นองค์ประกอบธาตุหลัก แสดงดังรูปที่ 2.2

2.2.2.2 ฝุ่นละเอียด (Fine particulate matters) หมายถึงอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคขนาดละเอียด (Fine) และอนุภาคขนาดหยาบ (Coarse)

2.2.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) หมายถึงอนุภาคของแข็งหรือกึ่งแข็ง อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) สภาพระเหย (Volatile) ที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ประกอบด้วยฝุ่นละอองปฐมภูมิที่เกิดจากการควบแน่นของก๊าซ หรือไอระเหยในสภาวะที่มี อุณหภูมิสูงในกระบวนการเผาไหม้ และปลดปล่อยสู่บรรยากาศโดยตรง จากนั้นเกิดปฏิกิริยาเคมี ระหว่างอนุภาค หรือเกิดการรวมตัวกัน (Coagulation) เป็นฝุ่นละอองทุติยภูมิ (Brook, 1997) แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ คือ กิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ กระบวนการเผาไหม้ เชื้อเพลิงจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เช่น รถบรรทุก (APEG, 2002)

2.3 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

2.3.1 ยานพาหนะทางบก ได้แก่ รถยนต์ประเภทต่าง ๆ โดยฝุ่นละอองเป็นมลสารประเภท หนึ่งในที่เกิดขึ้น และระบายออกมาทางท่อไอเสียในรูปของควันดำ และควันขาว แหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญคือ รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันดำที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ และจักรยานยนต์ 2 จังหวะซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันขาว เป็นละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น

2.3.2 การก่อสร้างประเภทต่าง ๆ ได้แก่ การก่อสร้างอาคาร ถนน ระบบขนส่งมวลชน และระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ สามารถที่จะก่อให้เกิดฝุ่นดิน ทราย ปูนซีเมนต์ หิน และฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากวัสดุก่อสร้างฟุ้งกระจายในอากาศได้ โดยเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของการก่อสร้าง เช่น การขุด การเจาะ การเปิดหน้าดิน การผสมปูนซีเมนต์ การเก็บกวาด การบรรทุกขนส่งวัสดุก่อสร้าง และเศษดิน หินทราย ตกหล่น และสะสมอยู่บนพื้นบริเวณที่ก่อสร้าง

2.3.3 การบรรทุกและขนส่งวัสดุก่อสร้างมักจะไม่มีการปกคลุมให้มิดชิดด้วยผ้าใบ หรือวัสดุ อื่น ๆ ที่ให้ฝุ่นละอองเกิดการฟุ้งกระจายออกจากตัวรถออกมาสู่ชุมชนและถนน ถ้ารถที่ใช้ในการบรรทุกไม่มีการดูแลรักษาเครื่องยนต์ที่ดีพอจะก่อให้เกิดควันดำขึ้นได้

2.3.4 โรงงานอุตสาหกรรม และโรงไฟฟ้า เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ได้พลังงานใช้ในกระบวนการผลิต และเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเองด้วย ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นกับประเภทของอุตสาหกรรม เชื้อเพลิงที่ใช้และวิธีการควบคุมการเผาไหม้เชื้อเพลิง ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และระบบกำจัดฝุ่นที่ใช้

2.3.5 การเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง ได้แก่ การเผาขยะมูลฝอยหรือวัสดุสิ่งต่าง ๆ การเผาเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตร การเผาหญ้า และวัชพืชเพื่อปรับปรุงพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกในที่กลางแจ้ง ทำให้เกิดควันและเถ้าจำนวนมากฟุ้งกระจายไปในอากาศ และลอยตามกระแสลมแพร่กระจายไปเป็นบริเวณกว้าง

2.4 องค์ประกอบเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

องค์ประกอบเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กประกอบด้วยสารประกอบ ดังต่อไปนี้

2.4.1 สารประกอบซัลเฟต (Sulfate compound) รูปทั่วไปของสารประกอบซัลเฟตที่พบในฝุ่นละอองในอากาศ คือ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และกรดซัลฟูริก โดยสารประกอบนี้สามารถละลายน้ำได้ และเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นซัลเฟตในฝุ่นละออง ซึ่งแหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง หรือน้ำมันที่มีซัลเฟอร์ในปริมาณสูง

2.4.2 สารประกอบไนเตรต (Nitrate compound) ที่พบในฝุ่นละอองจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไนเตรต ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปที่ผันกลับได้ระหว่างก๊าซและอนุภาค (Gas-to-particle equilibrium) ระหว่างก๊าซแอมโมเนียและก๊าซในรูปของกรดไนตริก และฝุ่นแอมโมเนียมไนเตรต อนุภาคฝุ่นละอองที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมไนเตรตสามารถระเหยได้ (Volatile) หลังการเก็บตัวอย่าง โดยขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

2.4.3 สารประกอบแอมโมเนียม (Ammonium compound) สารประกอบแอมโมเนียมที่พบในฝุ่นละอองจะอยู่ในรูป แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟตและแอมโมเนียมไนเตรต

โดยแอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไบซัลเฟตเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟูริกและแอมโมเนียที่ไม่สามารถผันกลับได้

2.4.5 คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) สารอินทรีย์ที่พบในฝุ่นละอองที่เกิดจากการรวมตัวกันของสารประกอบหลายชนิดโดยประกอบด้วยสารประกอบของคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ ในอากาศทำได้ยาก เนื่องจากเป็นสารประกอบกึ่งระเหยได้ (Semi-volatile) จึงต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลายขั้นตอน แหล่งกำเนิดของคาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ฝุ่นจากถนน และปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล

2.4.6 คาร์บอนอนินทรีย์ (Elemental carbon) หรือ Black carbon เป็นสารประกอบที่ใช้ติดตามตรวจสอบ (Tracer) ฝุ่นละอองที่มาจากการเผาไหม้ซึ่งจะพบสารประกอบคาร์บอนอนินทรีย์ ปริมาณน้อยในฝุ่นดินและละอองไอน้ำจากทะเล ปริมาณคาร์บอนอนินทรีย์จะแปรผันตามปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ การจำแนกทั้งคาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์ เช่น Thermal optical analysis method

2.4.7 น้ำ (Water) น้ำเป็นตัวทำละลายสารประกอบในตรรก ซัลเฟต แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ คาร์บอนอินทรีย์ และคาร์บอนอนินทรีย์ได้ โดยฝุ่นละอองจะดูดซับไอน้ำมาจากอากาศ โดยเฉพาะเมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เกิน 70 เปอร์เซ็นต์ เกิดเป็นสารประกอบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (Droplet mode)

2.4.8 Geological material ฝุ่นแขวนลอยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย ออกไซด์ของอลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม โพแทสเซียม เหล็ก และออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ กระบวนการรวมตัวของสารประกอบนี้เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยา และกระบวนการทางอุตุนิยมวิทยา ชาติที่พบโดยการวิเคราะห์โดยการเรืองรังสีเอ็กซ์ในฝุ่นละอองขนาดเล็กคือ ซัลเฟต และอลูมิเนียม ซึ่งจะพบในฝุ่นดิน (Clay) โดยอยู่ในรูปสารประกอบอลูมิเนียมซิลิเกต

2.5 ลักษณะทางสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

2.5.1 ลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

สัณฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีหลายลักษณะ (ศิริกัลยาและคณะ, 2542) โดยจะขึ้นกับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง สัณฐานของฝุ่นที่มีลักษณะเป็นทรงกลม ได้แก่ เกสรดอกไม้ และของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น ฝ้ายลอย (Fly ash) ฝุ่นละอองที่มีสัณฐานเป็นทรงกระบอก ได้แก่ เส้นใยของจันสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ การเกิดการรวมอนุภาคเป็นขนาดใหญ่ขึ้นของฝุ่นละออง (Agglomerates) เกิดจากการรวมกันเป็นก้อนของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ หรือเกิดจากการลดอุณหภูมิของก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงเกิดเป็นสัณฐานที่มีลักษณะคล้ายลูกโซ่ (Chain like) และฟล็อก (Flocs คือ กลุ่มของอนุภาคฝุ่นละอองที่รวมตัวกันอย่างหลวม ๆ) โดยเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง และจะพบ

ธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบธาตุหลักของฝุ่นละอองชนิดนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

ตารางที่ 2.2 ลักษณะทางสัณฐานของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

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

ที่มา: ศิริกัลยา และคณะ, 2542

2.5.2 องค์ประกอบธาตุที่มีอยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ฝุ่นละอองแต่ละชนิดประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ กันขึ้นกับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง เช่น ฝุ่นดินจะประกอบด้วยธาตุซิลิกา อะลูมิเนียม และแคลเซียมซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นองค์ประกอบธาตุหลักของส่วนประกอบดิน ฝุ่นที่มาจากการก่อสร้างมีธาตุแคลเซียมซึ่งเป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบธาตุหลัก ฝุ่นที่มาจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบธาตุหลัก เป็นต้น การที่ฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน จะทำให้อนุภาคฝุ่นละอองชนิดนั้น ๆ มีองค์ประกอบของธาตุที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ฝุ่นละอองมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันออกไป ได้แก่ สี รูปทรง และขนาด ที่แตกต่างกันด้วย ดังตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบธาตุที่พบในฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ

Emission Sources	Markers Elements
Soil	Al , Si , Sc , Ti , Fe , Sm , Ca
Road dust	Ca , Al , Sc , Si , Ti , Fe , Sm
Sea Salt	Na , Cl , Na ⁺ , Cl ⁻ , Br , I , Mg , Mg ²⁺
Oil Burning	V , Ni , Mn , Fe , Cr , As , S , SO ₄ ²⁻
Coal Burning	Al , Sc , Se , Co , As , Ti , Th , S
Iron and Steel Industries	Mn , Cr , Fe , Zn , W , Rb
Non-Ferrous metal industries	Zn , Cu , As , Sb , Pb , Al
Glass industry	Sb , As , Pb
Cement Industry	Ca
Refuse Incineration	K , Zn , Pb , Sb
Straw burning	K , C _{ele} , C _{org} , Br
Automobile gasoline	C _{ele} , Br , Ce , La , Pt , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
Automobile diesel	C _{ele} , C _{org} , S , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
Secondary aerosols	SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺

C_{ele} : Elemental Carbon

C_{org} : Organic Carbon

ที่มา: Hatairatana Garivait, 1999 อ้างใน ศิริวรรณ, 2543

2.5.3 ลักษณะทางสัณฐานและองค์ประกอบธาตุในฝุ่นที่มีแหล่งกำเนิดต่าง ๆ

ศิริวรรณ (2543) ศึกษาลักษณะทางสัณฐาน และองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง PM₁₀ ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน พบว่าฝุ่นละอองมีองค์ประกอบธาตุและลักษณะทางสัณฐานที่แตกต่างกันออกไป ทำให้สามารถบอกถึงแหล่งกำเนิด (Source apportion) ฝุ่นที่เก็บมาได้ จากผลการวิจัยของ ศิริวรรณ (2543) เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดโดยตรง 4 แหล่งกำเนิด คือ ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง ฝุ่นละอองจากโรงไฟฟ้า ฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล และฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เบนซิน สำหรับฝุ่นดินมาจากการสำรวจเอกสารของ Zou and Hooper (1997) ลักษณะทางสัณฐานและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุที่พบดังแสดงในรูปที่ 2.3 (ก) – 2.3 (จ)

2.5.3.1 ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง มีลักษณะทางสัณฐานเป็นรูปทรงเรขาคณิตคล้ายรูปสี่เหลี่ยม โดยอนุภาคเกิดจากการแตกหักของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แล้วฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศ เนื้ออนุภาคจะมีความหนาแน่น มีขนาดประมาณ 8 ไมครอน องค์ประกอบธาตุที่พบในฝุ่นละอองจากการก่อสร้างคือ คาร์บอน ออกซิเจน ซิลิกา และแคลเซียมมีปริมาณสูงถึง 15.80

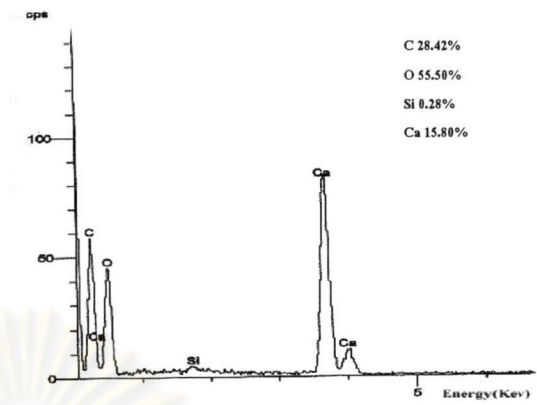
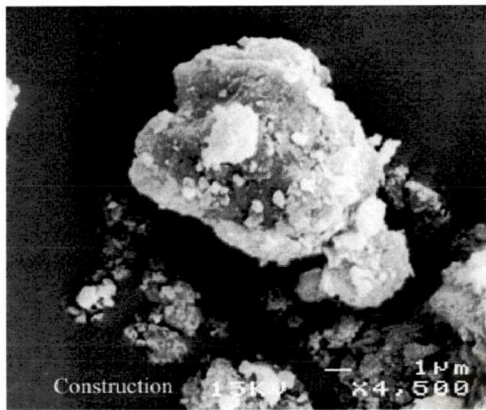
เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ สำหรับซิลิกาและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบของทรายที่ใช้ในการก่อสร้าง ดังรูปที่ 2.3 (ก)

2.5.3.2 ฟุ่นละอองจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง จะมีลักษณะทางลักษณะเป็นแผ่นเรียบบาง จัดเรียงตัวกันอย่างง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน อนุภาคมีความหนาแน่นน้อย และมีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม องค์ประกอบธาตุที่พบคือ คาร์บอน 40 เปอร์เซ็นต์ ซัลเฟอร์ 38.27 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 21.73 เปอร์เซ็นต์ โดยซัลเฟอร์ที่พบมาจากน้ำมันเตาที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบหลัก ลักษณะทางลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุ แสดงดังรูปที่ 2.3 (ข)

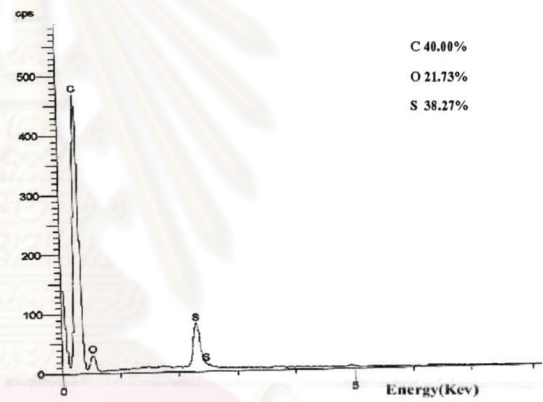
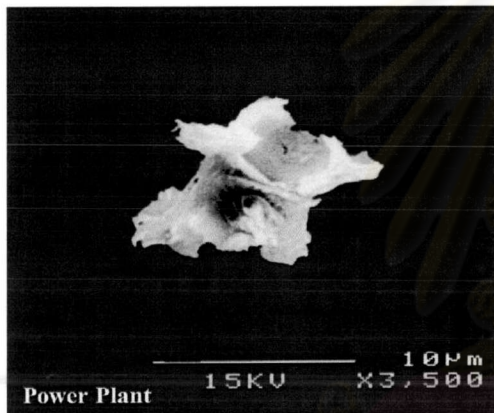
2.5.3.3 ฟุ่นละอองจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าลักษณะมีลักษณะเป็นปุยเบา มีรูพรุน และจับตัวกันอย่างหลวม ๆ (Floc) กระจายอยู่ทั่ว Filter โครงสร้างไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต และมีรูปร่างไม่แน่นอน ขนาดประมาณ 6-8 ไมครอน พบองค์ประกอบธาตุ 6 ชนิด คือ คาร์บอน ออกซิเจน ซิลิกอน ซัลเฟต และแคลเซียม พบธาตุคาร์บอนมากที่สุดถึง 73.32 เปอร์เซ็นต์ โดยเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซล ลักษณะทางลักษณะ และสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุของฟุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ดีเซล แสดงดังรูปที่ 2.3 (ค)

2.5.3.4 ฟุ่นละอองจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เบนซิน มีลักษณะทางลักษณะเป็นรูปทรงไม่แน่นอน เมื่อถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด อนุภาคจะรวมตัวกันเป็นก้อนกลมฟู มีรูพรุน มองคล้ายฟองน้ำ ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศมีขนาดประมาณ 5-6 ไมครอน องค์ประกอบธาตุที่พบในฟุ่นชนิดนี้ คือ คาร์บอน ออกซิเจน อลูมิเนียม ซิลิกา ซัลเฟอร์ แคลเซียม และเหล็ก โดยมีธาตุคาร์บอนปริมาณมากที่สุดถึง 74.26 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ออกซิเจน และซัลเฟอร์ 9.61 และ 7.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งธาตุทั้งสองที่พบเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันเบนซินที่เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ รูปที่ 2.3 (ง) แสดงลักษณะทางลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุของฟุ่นจากการเผาไหม้เครื่องยนต์เบนซิน

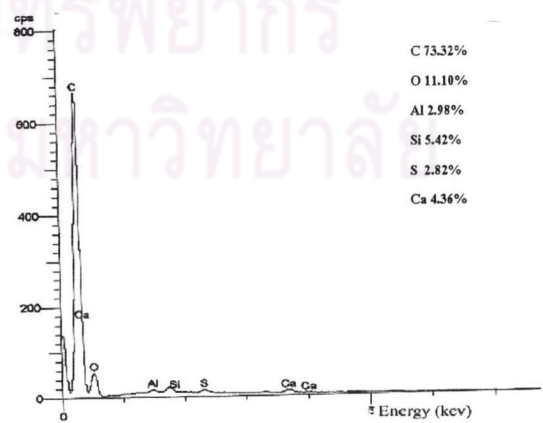
2.5.3.5 ฟุ่นดิน พบว่าลักษณะมีลักษณะไม่เป็นรูปทรงที่แน่นอน เนื้ออนุภาคมีความหนาแน่นสูง และเกิดการรวมตัวกันจากอนุภาคดินขนาดเล็ก ๆ เป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น มีขนาดประมาณ 10 ไมครอน ประกอบด้วยธาตุ ซิลิกา และอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ แคลเซียม ซัลเฟอร์ และเหล็ก (Zou and Hooper, 1997 อ้างใน ศิริวรรณ, 2543) รูปที่ 2.3 (จ) แสดงลักษณะทางลักษณะและสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุของฟุ่นดิน



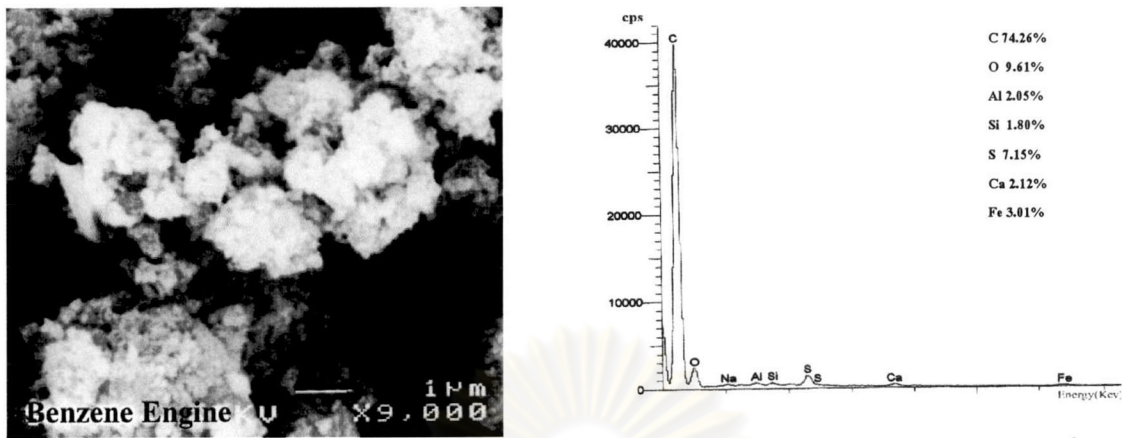
รูปที่ 2.3 (ก)



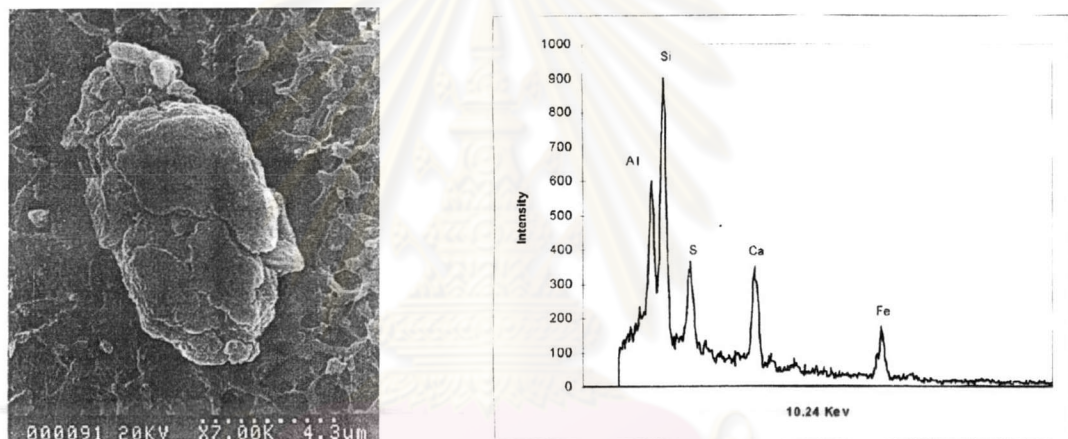
รูปที่ 2.3 (ข)



รูปที่ 2.3 (ค)



รูปที่ 2.3 (ง)



รูปที่ 2.3 (จ)

รูปที่ 2.3 ลักษณะทางสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละออง PM₁₀ จากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ โดยรูปที่ 2.3 (ก) ฝุ่นจากการก่อสร้าง รูปที่ 2.3 (ข) ฝุ่นจากโรงไฟฟ้า รูปที่ 2.3 (ค) ฝุ่นจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล รูปที่ 2.3 (ง) ฝุ่นจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เบนซิน รูปที่ 2.3 (จ) ฝุ่นดิน ที่มา: ศิริวรรณ, 2543 และ Zou and Hooper, 1997 อ้างใน ศิริวรรณ, 2543

2.6 มาตรฐานอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศ

มาตรฐานอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศ คือ การกำหนดระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศสูงสุดซึ่งยินยอมให้มีได้ตามกฎหมาย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพประชาชน หรือระบบนิเวศน์ ซึ่งประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมปี พ.ศ. 2518 โดยกำหนดค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (Total Suspended particulates) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

มีค่าไม่เกิน 330 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 1 ปีมีค่าไม่เกิน 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (วิธีวัดแบบ Gravimetric) ต่อมา มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศขึ้นใหม่ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (ปี พ.ศ. 2538) ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ปี พ.ศ. 2535 โดยความร่วมมือของกรมควบคุมมลพิษ และสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อมกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (ศิริกัทยา และคณะ, 2542) ซึ่งในครั้งนี้ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยใช้วิธีวัดแบบ Gravimetric และแบ่งขนาดของฝุ่นละอองออกเป็น 2 ขนาด คือ

- 1) ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (TSP) ค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 330 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ ค่าเฉลี่ย 1 ปี มีค่าไม่เกิน 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร
- 2) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 120 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 1 ปี มีค่าไม่เกิน 50 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศต่าง ๆ

ประเทศ	ค่ามาตรฐาน			อ้างอิง
	TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
1. สหรัฐ	260 (24 ชม.) 75 (1 ปี)	150 (24 ชม.) 50 (1 ปี)	65 (24 ชม.) 15 (1 ปี)	www.epa.gov/air/criteria.htm#2
2. อังกฤษ		50 (24 ชม.) 40 (1 ปี)		www.airquality.co.uk/arc_hive/laqm/information.php?info=objectives
3. สวีเดน	115 (24 ชม.) 50 (6 เดือน)			กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2541 อ้างในรพีพัฒน์, 2543
4. บราซิล	150 (24 ชม.) 60 (1 ปี)	100 (24 ชม.)		
5. จีน	500 (24 ชม.) 150 (1 ปี)			”
6. อินโดนีเซีย	260 (24 ชม.)			”
7. มาเลเซีย	260 (24 ชม.) 90 (1 ปี)			”
8. เม็กซิโก	150 (24 ชม.)	150 (24 ชม.) 50 (1 ปี)		www.sima.com.mx/t1msn_valle_de_mexico/susp.asp
9. ฟิลิปปินส์	250 (24 ชม.)			กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2541 อ้างในรพีพัฒน์, 2543
10. สิงคโปร์	260 (24 ชม.) 75 (1 ปี)			”
11. ตุรกี	300 (24 ชม.) 150 (1 ปี)			”
12. ไทย	330(24 ชม.) 100 (1 ปี)	120 (24 ชม.) 50 (1 ปี)		กรมควบคุมพิษ, 2544

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไพลิน ไบพกา (2546) ศึกษาการเคลื่อนที่และการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยภายในอาคารพาณิชย์ บริเวณสถานีรถไฟฟ้า พระโขนงด้วยเครื่อง Realtime PAH Monitor พบว่าจุดที่สามารถตรวจพบความเข้มข้นของ pPAHs มากที่สุดคือบริเวณนอกอาคารระดับพื้นใกล้กับสถานีรถไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 717.66 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่ามากกว่าบริเวณพื้นที่เปรียบเทียบ ในแนวระดับเดียวกันที่ระดับพื้นและระดับอาคารชั้นสาม สาร pPAHs จะใช้เวลาเคลื่อนที่ประมาณ 30 และ 20 นาทีตามระดับ และในแนวระดับความสูง ภายนอกอาคารระดับพื้นสาร pPAHs จะใช้เวลา เคลื่อนที่สู่ระดับอาคารชั้นสาม 18 นาที และได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนตัวของยานพาหนะบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าโดยตรง ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของ pPAHs คือ ปริมาณและความหนาแน่นของรถบรรทุกขนาดใหญ่ รถบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ ความชันสัมพัทธ์ Temperature gradient ความเร็วและทิศทางลม และความเข้มแสง

รพีพัฒน์ เกริกไกรวัต (2543) เก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กในเขตกรุงเทพฯ ด้วยเครื่องเก็บฝุ่นแยกขนาด ชนิดไดโคโทมัสแอร์แซมเพลอร์ พบว่า ปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ในฤดูแล้ง (129.56 ± 38.90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) มีค่ามากกว่าฤดูฝน (65.35 ± 18.70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของฝุ่น $PM_{2.5}$ และฝุ่น PM_{10} มีค่าเท่ากับ 0.979 นั่นคือระดับความเข้มข้นของ PM_{10} สามารถบอกแนวโน้มของความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ได้ องค์ประกอบธาตุหลักของ $PM_{2.5}$ คือ คาร์บอน ซัลเฟอร์ โปแทสเซียม ส่วนฝุ่นขนาด $PM_{10-2.5}$ ประกอบด้วย เหล็ก ซิลิกา แคลเซียม นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณพื้นที่ริมถนนมีองค์ประกอบธาตุสูงกว่าพื้นที่ทั่วไป (Ambient) แต่อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบธาตุไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณฝุ่นละออง แต่อาจขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดและชนิดของมลพิษ

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และพงษ์เสวต สุวรรณธานี (2545) จำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองรวมในพื้นที่กรุงเทพมหานครโดยใช้แบบจำลองคุณภาพมวลเคมี เพื่อหาสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองรวมที่มีผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ในกรุงเทพมหานคร การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวมในพื้นที่ 4 แห่ง โดยวางตำแหน่งในลักษณะการใช้พื้นที่ และทิศทางของลม มรสุม ใช้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดหลัก 9 ประเภท ได้แก่ ไอเสียจากรถยนต์ดีเซล และจักรยานยนต์ ไอเสียจากรถยนต์แก๊สโซลีน ฝุ่นจากดิน และถนน การก่อสร้าง การเผาไหม้ของชีวมวล การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง โรงหลอมเหล็ก แอมโมเนียมซัลเฟต โซเดียมไนเตรด และละอองไอจากทะเล ผลการจำแนกแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุด คือ ไอเสียจากรถยนต์ดีเซล และจักรยานยนต์ และการเผาชีวมวล รวมกันประมาณสองในสามของฝุ่นละอองทั้งหมด

ศิริวรรณ แก้วงาม (2543) ศึกษาลักษณะพื้นฐาน และองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร พบว่าค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 65.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฤดูแล้งเท่ากับ 97.65 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัดส่วนการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ลักษณะทางพื้นฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM_{10} ใช้หาชนิดของแหล่งกำเนิดได้ โดยฝุ่นจากเครื่องยนต์ดีเซลมีลักษณะเป็นปุย จับตัวกันแบบหลวมๆ มีรูพรุนมากไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต มีขนาด 7-10 ไมครอน มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบหลัก ฝุ่นที่มาจากเครื่องยนต์เบนซิน มีลักษณะเป็นก้อนที่เกิดจากการรวมตัว เนื้อฟู มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต มีขนาด 4-5 ไมครอน มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบหลัก ฝุ่นที่มาจากโรงไฟฟ้ามีลักษณะเป็นก้อนคล้ายรูปสี่เหลี่ยม เนื้ออนุภาคมีความหนาแน่นขนาด 8-10 ไมครอน มีธาตุแคลเซียมเป็นธาตุหลัก ฝุ่นจากโรงไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแผ่นบาง เรียบซ้อนทับกัน เนื้ออนุภาคเบาบาง ขนาดประมาณ 10 ไมครอน ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ส่วนฝุ่นดินจะมีลักษณะเป็นก้อน ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต เนื้ออนุภาคมีความหนาแน่น มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมครอน มีธาตุซิลิกา แคลเซียม และอลูมิเนียมเป็นธาตุหลัก ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซินมากที่สุด รองลงมาคือฝุ่นจากการก่อสร้าง

สมพงษ์ เลิศพุดพิศุทธิ์ และคณะ (2544) ศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และระดับเสียงบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานคร สายงาม และศาลาแดง พบว่า ค่าเฉลี่ยฝุ่นละออง PM_{10} 24 ชั่วโมง ในช่วงวันทำงานเท่ากับ 128 ± 15.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยในวันหยุดเท่ากับ 70 ± 7.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14 ± 2 ppbV ระดับเสียง L_{Aeq} 24 ชั่วโมง มีค่า 80 เดซิเบล จากผลการตรวจวัดนี้แสดงให้เห็นว่า มลพิษอากาศ PM_{10} และระดับเสียงในบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานคร สายงาม มีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่ทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ

อุทัย ดิยะวิสุทธิศรี (2535) ทำการวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นละอองแขวนลอยรวม จากอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอ็กซ์ ทำการวิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณน้อย ได้แก่ ตะกั่ว แมงกานีส โบรมีน นิกเกิล สังกะสี เหล็ก ไทเทเนียม โครเมียม ทองแดง และกำมะถัน โดยใช้ระบบ WDX จากนั้นเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้กับวิธีอินดักทีฟลิคัมเบิลพลาสมาอิมิชชันสเปกโตรเมตรี และอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตเมตรี พบว่าค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ส่วนธาตุหลักที่อยู่ในฝุ่นวิเคราะห์ด้วยระบบ EDX การแก้ไขผลรบกวนเนื่องจากแมทริกซ์ทำได้โดยใช้อัตราส่วนของพีคต่อค่าแบคกราวนด์

Allen et al. (2001) ศึกษาอัตราการปลดปล่อยฝุ่นละออง และองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่น จากยานพาหนะ 37,500 คัน บริเวณอุโมงค์ Caldecott ในซานฟรานซิสโก พบว่า ฝุ่นที่มีขนาด 0.1 – 0.18 ไมครอน มีปริมาณมากที่สุด และพบองค์ประกอบเคมีดังต่อไปนี้ สารประกอบอินทรีย์คาร์บอน อินทรีย์คาร์บอน สารประกอบซัลเฟต สารประกอบไนเตรต และสารประกอบแอมโมเนีย โดยมีอินทรีย์คาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอนปริมาณมากที่สุด อัตราการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กของรถบรรทุกขนาดใหญ่ คือ 430 ± 79 mg/km รถบรรทุกขนาดเล็กมีค่า 5.5 ± 0.4 mg/km และสามารถตรวจวัดอัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียในสถานะก๊าซมีค่าระหว่าง 194 – 267 mg/ลิตรของน้ำมันที่รถยนต์ใช้

Artinano et al. (2004) ทำการประเมินผลกระทบจากมลภาวะอากาศเบื้องต้นใน Madrid ประเทศสเปน พบว่า ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยรายปีของฝุ่นและ NO_x มีค่าเกินมาตรฐานเกือบทุกสถานที่ที่ตรวจวัด และทำการหาองค์ประกอบธาตุหลักในฝุ่น PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ในเขตเมือง จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ฝุ่นทั้ง 2 ขนาด มีแหล่งกำเนิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ซึ่งรวมถึงการปลดปล่อยจากยานพาหนะประเภทต่าง ๆ และมีธาตุคาร์บอนที่ไม่ใช่ธาตุ (Nonmineral carbon) เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นในบริเวณที่ทำการศึกษา ฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ จะมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นในฤดูหนาว องค์ประกอบฝุ่นที่มีมากเป็นอันดับ 2 บ่งชี้ว่า ฝุ่น PM_{10} มีความสัมพันธ์กับฝุ่นที่เกิดจากการขัดสี ขณะที่องค์ประกอบที่มีมากเป็นอันดับ 2 ของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ แสดงให้เห็นว่าฝุ่นส่วนใหญ่เป็นฝุ่นทุติยภูมิ (Secondary particles) นอกจากนี้ฝุ่นทั้ง 2 ขนาดมีความสัมพันธ์กับมลพิษอากาศที่เกิดจากการจราจร เช่น NO_x CO จากการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ในเวลาเดียวกันอย่างต่อเนื่องพบว่าฝุ่นขนาดเล็กทั้ง 2 ขนาดมีแหล่งกำเนิดจากการจราจร

Chan and Kwok (2000) ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นที่แขวนลอยในบรรยากาศ บริเวณที่เป็นถนนเปิดโล่ง และถนนแคบตึกสูง (Street canyon) พบว่า ในถนนแคบตึกสูง ความเข้มข้น PM_{10} และ TSP จะแปรผันแบบเอกโปเนนเชียลตามระดับความสูง โดยมีผลโดยตรงจากทิศทางลม บริเวณเหนือตึกที่ขนานสองข้างถนน และอัตราส่วนระหว่างความสูงตึกและความกว้างถนน สำหรับในถนนเปิดโล่ง ความเข้มข้นของฝุ่นตามแนวระดับความสูงจะขึ้นกับ Vertical mixing Local dilution และปัจจัยภายนอกอื่นๆ ได้แก่ ความเร็วและทิศทางของลม และกิจกรรมการก่อสร้างของถนน เป็นต้น นอกจากนี้ความเข้มข้นฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ที่วัดได้กว่า 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเกินมาตรฐานของ U.S.EPA

Chan and Kwok (2001) ศึกษาความสัมพันธ์ของฝุ่นขนาดเล็กกับการผันแปรตามฤดูกาลบริเวณพื้นที่ริมถนนของฮ่องกง โดยศึกษาความเข้มข้นฝุ่น TSP, PM₁₀ และ PM_{2.5} ระหว่างมิถุนายน 1998 ถึง พฤษภาคม 1999 จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ปริมาณฝนเฉลี่ย และทิศทางลม ส่งผลต่อความเข้มข้นฝุ่น TSP, PM₁₀ บริเวณพื้นที่ริมถนน ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่จะมีความผันแปรตามฤดูกาล โดยจะมีความเข้มข้นสูงในฤดูหนาว และต่ำในฤดูร้อน มีปัจจัยที่สำคัญคือลมมรสุมในฤดูหนาวที่พัดพาความแห้งมาจากทวีปยุโรป และลมมรสุมฤดูร้อนที่พัดพาความชื้นมาจากทะเล ในทางตรงกันข้ามความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} เฉลี่ยรายปี ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากแหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กส่วนใหญ่คือจากการจราจร ความเข้มข้นของ PM₁₀ เท่ากับ 62% ของฝุ่น TSP และ PM_{2.5} เท่ากับ 46% ของ TSP และค่าสัดส่วนของ PM_{2.5}/PM₁₀ มีค่าสูงคือ PM_{2.5} มีค่าเท่ากับ 74% ของ PM₁₀ และในพื้นที่ริมถนนที่มีการจราจรหนาแน่น พบว่า ความเข้มข้นฝุ่น TSP มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของฮ่องกง 1.53 (By factor) และ PM_{2.5} เกิน 1.39 (By factor) และค่าเฉลี่ยรายปีของ PM_{2.5} มีค่าเกินค่ามาตรฐาน National Air Quality Standard (NAAQS) 15 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ 3.8 (By factor) จากรายงานคุณภาพอากาศนี้เอง ถือว่าฝุ่นขนาดเล็กเป็นมลพิษอากาศที่สำคัญและควรเร่งดำเนินการแก้ไขของประเทศฮ่องกง

Gillies et al. (2001) ศึกษาอัตราการปลดปล่อยและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองขนาดเล็กบริเวณอุโมงค์ Sepulveda แคลิฟอร์เนีย พบว่า อัตราการปลดปล่อยฝุ่นละออง PM_{2.5} ของรถบรรทุกขนาดเล็ก และรถบรรทุกขนาดใหญ่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.016 ถึง 0.115 g/km และของฝุ่น PM₁₀ มีค่า 0.030 – 0.139 g/km พบสารประกอบอินทรีย์คาร์บอน และสารประกอบอนินทรีย์คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (79 เปอร์เซ็นต์) ในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ในฝุ่นละออง PM_{2.5} พบธาตุเหล็ก แมกนีเซียม อลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม และแมงกานีสประมาณ 7.8 เปอร์เซ็นต์ คอลไรด์ ไนเตรต แอมโมเนีย ซัลเฟต และโปแตสเซียม 9.8 เปอร์เซ็นต์ ในฝุ่นละออง PM₁₀ พบธาตุเหล็ก 18.5 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม อลูมิเนียม ซิลิกอน โปแตสเซียม แคลเซียม และแมงกานีส 12.6 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ตรวจวัดพบว่า อัตราการปลดปล่อยฝุ่นละออง PM_{2.5} ขึ้นกับความเร็วยานยนต์ ขณะที่อัตราการปลดปล่อยฝุ่นละออง PM₁₀ ไม่ขึ้นกับความเร็วยานยนต์ จากการศึกษาขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง บ่งชี้ว่า ฝุ่นละออง PM₁₀ เกิดจากการลอยขึ้นสู่บรรยากาศอีกครั้งของฝุ่นบนพื้นถนน และฝุ่นละออง PM_{2.5} มีแหล่งกำเนิดจากการจราจร นอกจากนี้ยังพบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละอองทั้งสองขนาดมีความสัมพันธ์กับออกไซด์ของไนโตรเจนอย่างมีนัยสำคัญ

Jinsart et al. (2002) ศึกษาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10} และ $PM_{2.5}$) บริเวณกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และอยุธยา ระหว่างวันที่ 22 ธันวาคม 1998 ถึงวันที่ 26 มีนาคม 1999 และวันที่ 30 พฤศจิกายน 1999 ถึงวันที่ 2 ธันวาคม 1999 พบว่าบริเวณพื้นที่ที่มีมลพิษสูง (High-polluted area) มีค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และมีค่าบริเวณพื้นที่มลพิษต่ำโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 34-74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงเวลากลางวัน และมีค่าระหว่าง 54-89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเวลากลางคืน ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ บริเวณพื้นที่มลพิษสูงมีค่าระหว่าง 82-143 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเวลากลางวัน และ 45-146 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเวลากลางคืน ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ US.EPA (65 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สัดส่วน $PM_{2.5}/PM_{10}$ ในฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสบริเวณพื้นที่มลพิษสูงมีค่ามากกว่าบริเวณพื้นที่ที่มีมลพิษต่ำอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้มีการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} ควบคู่กับสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษบริเวณสี่แยกที่ตำรวจจราจรปฏิบัติงานอยู่ พบว่าความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นที่เก็บได้จากทั้งสองวิธีมีความสัมพันธ์กันสูง ($r = 0.93$) แต่อย่างไรก็ตามฝุ่น PM_{10} ที่เก็บบริเวณสี่แยกจะมีความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณสถานีเฝ้าระวัง ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นบริเวณพื้นที่ทั่วไป และระดับความเข้มข้นฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่า 0.92 ทั้ง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ จากการวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษตั้งแต่ปี 1997-2000 พบว่าค่าเฉลี่ยรายปีของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} บริเวณพื้นที่ริมถนนในรอบ 3 ปีล่าสุดมีค่าลดลงจาก 130 เป็น 73 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะที่บริเวณสถานีเฝ้าระวังอื่น ๆ ลดลงจาก 90 เป็น 49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และระดับความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} มีความสัมพันธ์กับก๊าซ NO_2 แต่ไม่สัมพันธ์กับ SO_2 จากผลการวิจัย บ่งชี้ถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งตำรวจจราจรที่ได้รับผลกระทบจากฝุ่นจากการจราจรโดยตรง

Tongsanit et al. (2003) เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM_{10} ด้วยเครื่อง High-Volume เก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กแบบคัดแยกขนาดด้วย Multislit Anderson size fractioned cascade impactor บริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 1999 ถึงเดือน พฤศจิกายน 2000 พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นรายปีทั้ง 6 จุดเก็บตัวอย่างมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย (50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} บริเวณพื้นที่ที่การจราจรหนาแน่นมีค่าอยู่ระหว่าง 30-160 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ที่มากที่สุดเกิดขึ้นในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์) ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศมีความแห้งแล้ง จากผลการเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลา 1 ปี พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองมีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรและปัจจัยของฤดูกาล (อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน) มีการวิเคราะห์อนุพันธ์ และหาปริมาณสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ทั้ง 20 อนุพันธ์ที่ดูดซับบนอนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยอยู่

ในบรรยากาศ พบว่า ความเข้มข้นรวม ของ PAHs ทั้ง 20 อนุพันธ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบ Benzo(e)pyrene, Indeno(123cd)pyrene และ Benzo(ghi)perylene เป็นอนุพันธ์หลัก โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย 8, 10 และ 13 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และ 97 เปอร์เซ็นต์ ของ PAHs จะพบในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.95 ไมครอน

Ye Wu et al. (2002) ศึกษาการกระจายตัวในแนวระดับความสูงและในแนวราบและการกระจายตัวของขนาดฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ใกล้กับถนนสายหลักใน Macao โดยใช้เครื่อง Dust trak และ TEOM พบว่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ PM_1 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามแนวระดับความสูงตั้งแต่ 2 ถึง 76 เมตร และที่ความสูง 79 เมตร ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ PM_1 ลดลง 60 เปอร์เซ็นต์ 62 เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ ของความเข้มข้นฝุ่นละอองมากที่สุดที่ระดับ 2 เมตรตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ความเข้มข้นฝุ่นละออง และระยะทางที่ห่างจากถนน ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการตรวจวัดที่ระยะทางต่าง ๆ (0-228 เมตรจากถนน) ความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ PM_1 ลดลง 7 เปอร์เซ็นต์ 9 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ ของความเข้มข้นฝุ่นละอองมากที่สุดที่ระยะ 2 เมตรตามลำดับ ความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_1 ในเวลากลางวันมีค่าระหว่าง 66-67 เปอร์เซ็นต์ และ 51-60 เปอร์เซ็นต์ ของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ที่ตรวจวัดโดยเครื่อง Dust trak ผ่านการสอบเทียบ (Recalibrated) โดยเครื่อง TEOM ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ฝุ่น PM_{10} บริเวณพื้นที่ริมถนนใน Macao จะประกอบด้วยฝุ่นละอองที่ขนาดเล็กมากเป็นส่วนใหญ่ โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากท่อไอเสียรถยนต์ การแขวนลอยอีกครั้งของฝุ่นขนาดเล็ก (Resuspended) และฝุ่นทุติยภูมิ (Sulfate Nitrate และ Ammonium)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย