บทที่ 2

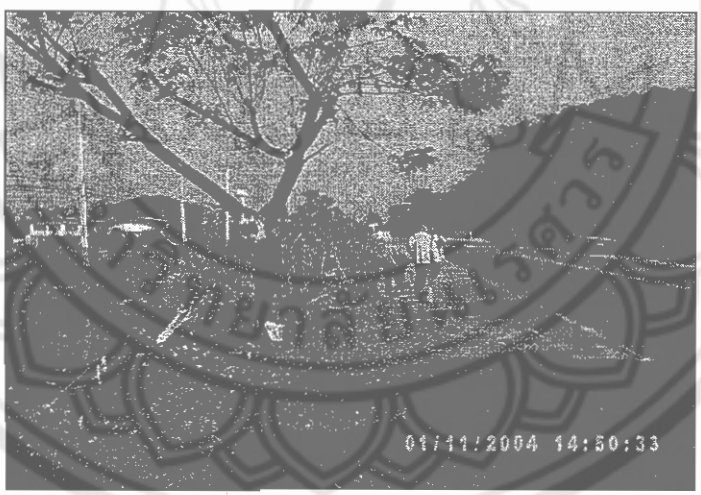
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันจังหวัดพิษณุโลกมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วของกิจกรรมอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง การจราจร กิจกรรมการก่อสร้าง ระบบสาธารณูปโภค และ กำลังมีการดำเนินการก่อสร้างถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 สายพิษณุโลก – สุโขทัย ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาฝุ่นละอองเป็นอย่างมาก ซึ่งรายละเอียดของการการก่อสร้างมีดังนี้

2.1 งานก่อสร้างถนน

2.1.1 กิจกรรมการก่อสร้างถนน (ขยายถนนจาก 2 ช่องทางเป็น 4 ช่องทาง)

1) งานถางป่าขุดตอ เป็นการกำจัดต้นไม้ พุ่มไม้ ตอไม้ ไม้ผุ ขยะ วัชพืช และสิ่งซึ่งไม่พึงประสงค์ ต่าง ๆ ภายในเขตทาง (ภาพ 1)

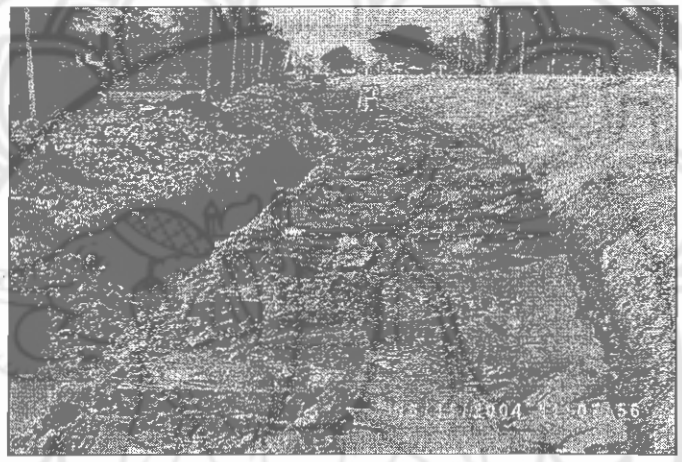


ภาพ 1 งานถางป่าขุดตอ

2) งานตกแต่งเกลี่ยคันทางเดิม ก่อนเริ่มทำการก่อสร้าง ให้ใช้ Grader หรือเครื่องมืออื่นซึ่งผู้ควบคุมงานเห็นสมควรแต่งเกลี่ยผิวหน้าของถนนตลอดความกว้างของถนน รวมทั้งไหล่ทางทั้งสองข้างวัชพืชหรือสิ่งสกปรกที่ปนอยู่ให้เอาออก แล้วแต่งเกลี่ยจนได้ระดับความต้องการของผู้ควบคุมงานตอนใดที่สูงให้ปาดออกตอนใดที่เป็นหลุม บ่อ หรือแอ่ง หรือยุบตัว ให้ขุดแต่งบริเวณนั้น

แล้วใช้ลูกรังซึ่งมีคุณสมบัติอย่างเดียวกับที่ใช้ทำรองพื้นทาง โดยเกลี่ยเป็นชั้น ๆ ให้สม่ำเสมอ พรมน้ำและบดทับให้แน่นไม่น้อยกว่า 95% Standard Proctor Density

ในกรณีที่พื้นทางเดิมเป็นหิน ให้ใช้ลูกรังหรือ Soil Aggregate มีขนาด และคุณภาพอย่างเดียวกับวัสดุ ใช้ทำรองพื้นทาง สาดปิดหน้า และพรมน้ำ บดทับให้แน่น เมื่อทำเสร็จแล้วผิวถนนเดิมต้องเรียบสม่ำเสมอทั่วกันตลอด ไม่มีแอ่ง หลุม บ่อหรือ Weak Spot และให้ถือระดับที่ปรับถนนเดิมเรียบร้อยแล้วนี้ เป็นระดับปานกลางที่จะใช้เป็นหลักในการวัดความหนาของชั้นต่อไป (ภาพ 2)



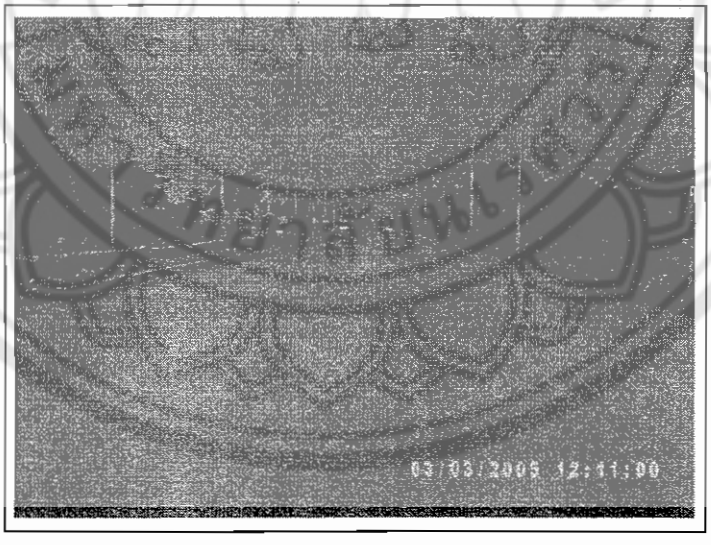
ภาพ 2 งานขุดตกแต่งคันทางเดิม

3) รองพื้นทาง ประกอบด้วยงานก่อสร้างชั้นรองพื้นทางด้วยลูกรัง หรือ Soil Aggregate วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นรองพื้นทางจะต้องถูกคลุกเคล้า ให้มีลักษณะสม่ำเสมอกัน แล้วกองให้เป็น Stockpile เพื่อการตรวจสอบเสียก่อน ในกรณีที่ต้องใช้วัสดุมากกว่า 1 ชนิดผสมกัน วัสดุแต่ละชนิดนั้นจะต้องได้รับการคลุกเคล้าให้มีลักษณะสม่ำเสมอกัน ก่อนที่จะนำมาผสมด้วย วัสดุที่ผสมกันแล้วนี้จะต้องมีลักษณะสม่ำเสมอและถูกต้องตามคุณภาพ ที่กำหนดไว้ใน Spec และต้องได้รับการตรวจรับอนุมัติให้ใช้ได้แล้วจึงนำมาใช้ก่อสร้าง

เมื่อแต่งคันทางเรียบร้อยแล้ว ให้นำวัสดุซึ่งมีคุณภาพตามที่กำหนดมาเกลี่ยแผ่ไปบนคันทางโดยทำเป็นชั้น ๆ ชั้นหนึ่งหนาไม่เกิน 20 ซม. แต่ละชั้น (ภาพ 3)

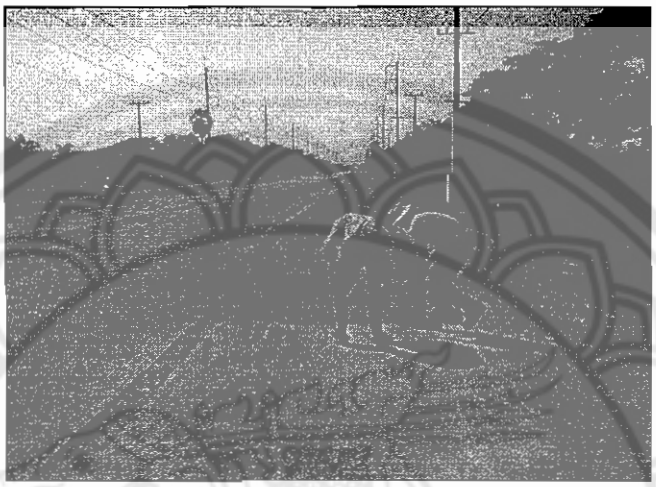
ภาพ 3 งานรองพื้นทางด้วยลูกรัง

4) งานพื้นทาง Crushed Stone Soil Aggregate Type Base เป็น ชั้นพื้นทาง ซึ่งประกอบด้วย หินโม่ หรือกรวดโม่ ซึ่งมีขนาดคละกันสม่ำเสมอจากใหญ่มาหาเล็ก บดทับแน่นบนชั้นรองพื้นทาง หรือ ต้นทาง ตามที่กำหนดในแบบ (ภาพ 4)



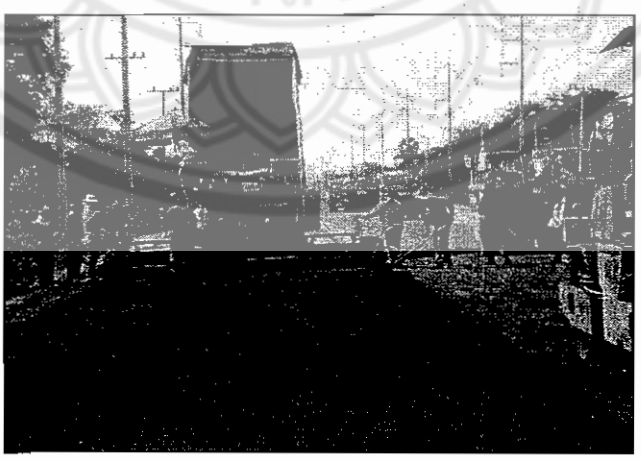
ภาพ 4 งานพื้นทาง

5) งานลาดแอสฟัลท์ (Prime Coat) เป็นการลาดแอสฟัลท์ชนิดเหลว ลงบนพื้นทางที่เตรียมไว้ และได้ตบแต่งปรับปรุงถูกต้องตามแบบแล้ว เพื่อเป็นตัวยึดเหนี่ยว ให้พื้นทางเชื่อมต่อกับผิวทางที่จะสร้างไว้ข้างบน และเพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นผ่าน ลงไปใต้พื้นทาง (ภาพ 5)



ภาพ 5 งานลาดแอสฟัลท์

6) ผิวแบบ Surface Treatment ผิวทางชนิดนี้ประกอบด้วยการลาดแอสฟัสท์ และเกลี่ยวัสดุหินย่อยหรือกรวดย่อยเปิดทับจะสร้างเป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้นก็ได้ บนพื้นทางที่ได้ทำไว้ถูกต้องตามข้อกำหนด และได้ทำการลงPrime Coat ไว้เรียบร้อย หรือบนผิวทางแอสฟัลท์เดิม หรือบนที่ใดซึ่งเตรียมไว้เรียบร้อยแล้วตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบ (ภาพ 6)

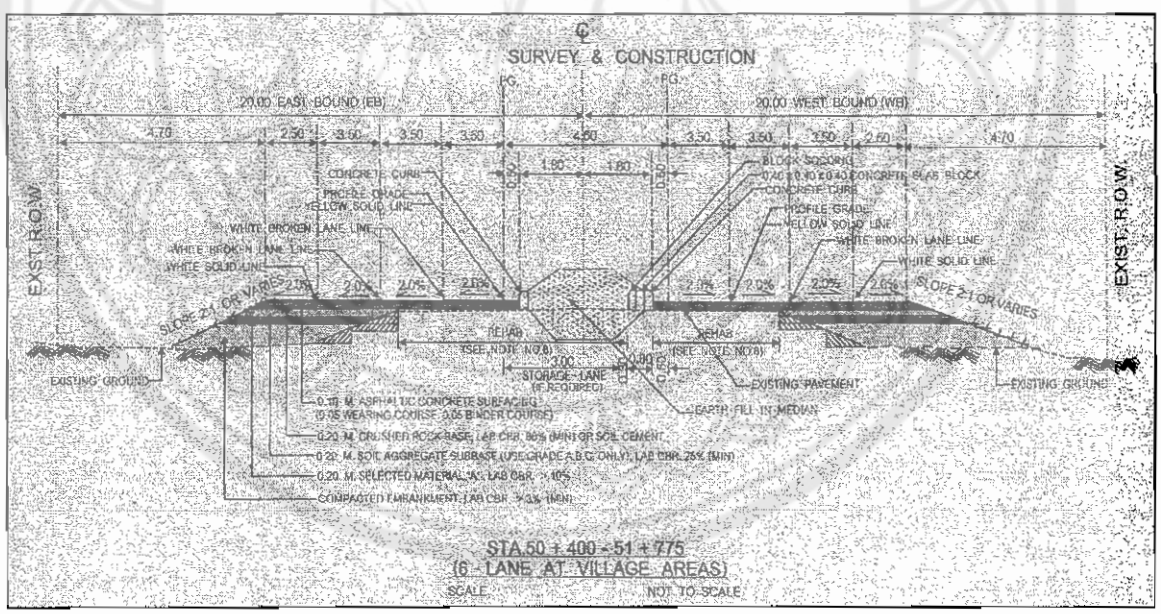


ภาพ 6 ผิวแบบ Surface Treatment

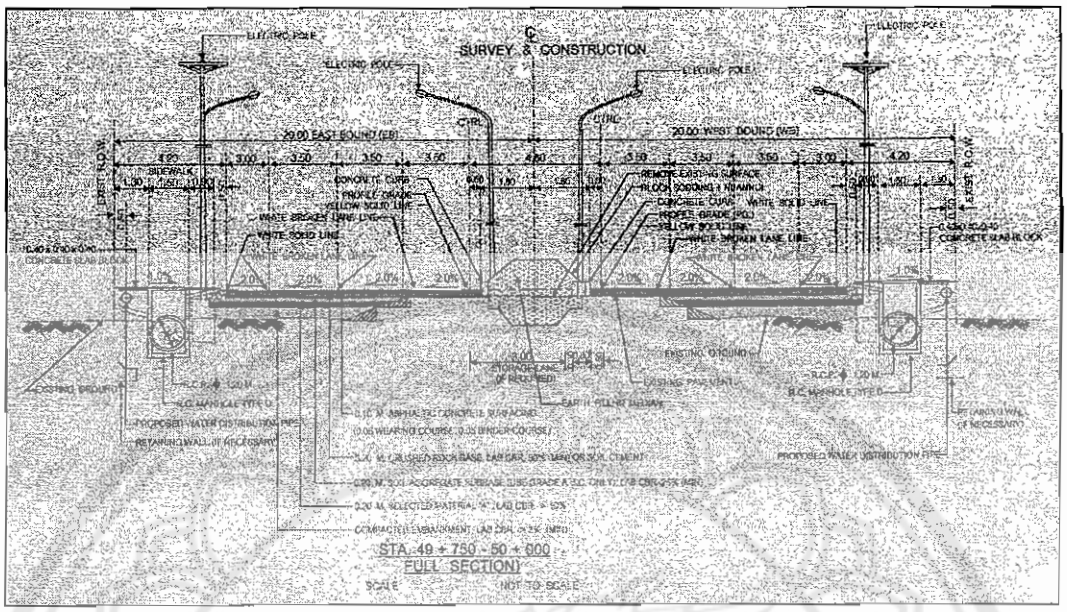
7) ผิวทางหรือพื้นทาง (Asphaltic Concrete) ผิวทางและพื้นทางที่เป็น Asphaltic Concrete ต้องออกแบบส่วนผสมระหว่างวัสดุ Aggregate และวัสดุแอสฟัลท์ด้วยวิธีของ Marshall Method of Mix Design หรือวิธีการอื่นใดที่กรมทางหลวงเห็นสมควรและเหมาะสมเพื่อประโยชน์ของทางราชการ

2.1.2 กรณีก่อสร้างถนน ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 สายพิษณุโลก – สุโขทัย

ในกรณีที่ทำการศึกษา คือ ถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 สายพิษณุโลก – สุโขทัย เป็นการก่อสร้าง เพื่อขยายช่องทางการจราจรจาก 2 เป็น 4 ช่องทางการจราจร มีลักษณะโครงสร้างทางดัง ภาพ 7, 8 ดำเนินการก่อสร้างโดยบริษัทเทิดไท เทรดดิ้ง จำกัด โดยมีการก่อสร้าง ดังนี้ ดำเนินการก่อสร้างโดยบริษัท เทิดไท เทรดดิ้ง จำกัด เริ่มต้นสัญญา 6 ตุลาคม 2547 สิ้นสุดสัญญา 29 มีนาคม 2549 ระยะเวลาทำการ 540 วัน ระยะทาง 18.95 กิโลเมตร ค่าก่อสร้างเป็นเงิน 387,296,203.00 บาท ออกแบบและควบคุมโดย กรมทางหลวง นายช่างโครงการก่อสร้าง นาย ประเสริฐ จันพัฒน์



ภาพ 7 รูปตัดโครงสร้างทาง (6 – เลน)



ภาพ 8 รูปตัดโครงสร้างทาง (Full – Section)

2.2 อนุภาคในอากาศ

อนุภาค (Particulate Matters) ได้แก่มลสารใดๆ ในอากาศเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกัน สภาพทางภูมิอากาศและลักษณะลมฟ้าอากาศทางอุตุนิยมวิทยามีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละออง ทำให้อนุภาคของฝุ่นละอองมีขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น องค์ประกอบทางเคมี การเกาะตัวกัน และโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ ขณะที่อยู่ในบรรยากาศ ฝุ่นละอองอาจทำปฏิกิริยาต่อกันหรือเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมในบรรยากาศ ทำให้โครงสร้างซับซ้อนมากขึ้น โดยมีขนาดตั้งแต่ 200 ไมครอน ลงไปจนถึงต่ำกว่า 0.01 ไมครอน จำแนกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) ฝุ่นขนาดใหญ่ (Grit) เป็นของแข็งที่สามารถลอยปะปนอยู่ในอากาศเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมครอน

2) ฝุ่น (Dust) เป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่ลอยปะปนอยู่ในอากาศเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0.25 – 500 ไมครอน อาจจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์

3) ละออง (Mist) คือ อนุภาคที่เป็นของเหลวซึ่งเกิดจากการควบแน่นของไอหรือก๊าซบางอย่างหรือเกิดจากการแยกตัวของของเหลวออกจากกระบวนการบางอย่าง เมื่อความเข้มข้นของละอองไอสูงจนลดความสามารถในการมองเห็นเรียกว่า หมอก (Fog)

4) ควัน (Smoke) คือ อนุภาคของคาร์บอนที่รวมตัวกับอนุภาคของของเหลวที่มากจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2.0 ไมครอน

5) ไอควัน หรือ ฟูม (Fume) คือ ของแข็งที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ส่วนใหญ่เกิดจากการควบแน่น (Condensation) ของไอจากปฏิกิริยาทางเคมีบางอย่าง

6) ละอองลอย (Aerosol) คืออนุภาคของของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศและมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1.0 ไมครอน

7) หมอกควัน (Smog) เป็นสภาวะที่ใช้เรียกการเกิด smoke และ fog ร่วมกัน

ตาราง 1 ขนาดทั่วไปของอนุภาคมลสาร

สาร	ขนาดใหญ่สุด (ไมครอน)	ขนาดเล็กสุด (ไมครอน)
ละอองน้ำ	500	40
ผงถ่านหิน	250	25
ฝุ่น	200	20
ฝุ่นโรงถลุงเหล็ก	200	1
ผงซีเมนต์	150	10
ขี้เถ้า	110	3
เกสรดอกไม้	60	20
หมอก	40	1.5
สปอร์ต้นไม้	30	10
แบคทีเรีย	15	1
ยากำจัดแมลงแบบผง	10	0.4
สีพ่น	4	0.1
สม็อก	20	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

2.2.1 ชนิดของฝุ่นละออง

ชนิดของฝุ่นละอองสามารถแบ่งตามองค์ประกอบ แหล่งที่เกิด และขนาดได้ดังนี้

1) แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี

1.1) ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ (Organic dust) มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน แบ่งเป็น

1.1.1) ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เช่น ละอองเกสรของพืช หรือหญ้าทำให้เกิดอาการแพ้พิษได้

1.1.2) ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ที่มีชีวิต เช่น แบคทีเรีย, เชื้อรา เป็นต้น ทำให้เกิดโรคบาดทะยัก, คอตีบ, วัณโรค, ไทฟอยด์ ได้

1.2) ฝุ่นละอองจากสารอนินทรีย์ (Inorganic dust) มีองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น SO_4^{2-}, NO_3^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+, Cl^-, Br^- หรือประกอบด้วยโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม แอสเบสตอส เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นนี้เข้าไปและสะสมในร่างกายทำให้เกิดอันตรายอย่างร้ายแรง

2) แบ่งตามแหล่งที่กำเนิด

อนุภาคฝุ่นละอองที่แขวนลอยฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศทั่วไปนั้นอาจเกิดได้จากแหล่งกำเนิดโดยตรงแล้วแพร่กระจายสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดนั้น หรือเกิดจากปฏิกิริยา ต่าง ๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ หรือปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical reaction) ทำให้เกิดเป็นอนุภาคขึ้นและแพร่กระจายเข้าสู่ภายในอาคารที่อยู่ในบริเวณแหล่งกำเนิดนั้นด้วยซึ่งการแบ่งตามแหล่งกำเนิดอนุภาคฝุ่นละอองแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.1) อนุภาคฝุ่นที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural particle)

เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติ ทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน, ทราย, ละอองน้ำ, เขม่าควันจากไฟป่า, ฝุ่นเกลือจากทะเล, ภูเขาไฟ ฯลฯ และเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอลของก๊าซ (Photochemical gas reactions) ซึ่งเกิดระหว่างก๊าซโอโซนในธรรมชาติ และสารไฮโดรคาร์บอน เป็นผลทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ซึ่งมีรัศมีน้อยกว่า 0.2 ไมครอน

2.2) ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic particle) ยังแบ่งได้หลายประเภทดังต่อไปนี้

2.2.1) การคมนาคมขนส่ง ซึ่งเกิดการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะหรือรถประเภท ต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อยควันดำ ซึ่งเป็นอนุภาคของคาร์บอนจำนวนมากที่เกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซล หรือการปล่อยควันขาวซึ่งเป็นละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น นอกจากนี้การขนส่งหิน ดินทราย ซีเมนต์ หรือวัตถุอื่นๆ ที่ไม่ได้คลุมด้วยผ้าใบ หรือถนนสกปรกทำให้เกิดฝุ่นละอองติดอยู่ที่ล้อ หรือถนน ซึ่งขณะรถแล่นจะทำให้เกิดการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในอากาศ

2.2.2) การก่อสร้าง การก่อสร้างหลายชนิดมักมีการเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้าง ซึ่งทำให้เกิดฝุ่นได้ง่าย เช่น อาคารสิ่งก่อสร้าง การปรับปรุงสาธารณูปโภค การก่อสร้างถนน การก่อสร้างอาคารสูงทำให้ฝุ่นปูนซีเมนต์ถูกลมพัดออกจากอาคารหรือการรื้อถอนทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้างเป็นต้น

ฝุ่นละอองจากการก่อสร้างถนน

ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างถนน เป็นแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละออง แต่เป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดผลกระทบชั่วคราว ต่อคุณภาพอากาศในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง เนื่องจากมีปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสูง ขนาดของฝุ่นละอองมักจะเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมาจากกิจกรรมของการก่อสร้าง การเสียดสีระหว่างล้อของยานพาหนะประเภทต่างๆ และแหล่งกำเนิดอื่นๆ เช่น จากเครื่องจักรกลประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง การพัดพาของลมจากการกองวัสดุของแหล่งก่อสร้าง

ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปจะสามารถแสดงในรูปฝุ่นละอองรวม (Total suspended particulate, TSP) ซึ่งถูกเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างมาตรฐานชนิดปริมาตรสูง (Standard high volume sampler) จากการศึกษาในอุโมงค์ลมพบว่า ประสิทธิภาพในการดักจับมวลของอนุภาคจากการใช้เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูงมีค่ากว้างมาก โดยสามารถดักจับอนุภาคเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอนได้ถึง 100% และสามารถดักจับอนุภาคเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอน ได้บ้างเล็กน้อย ประสิทธิภาพในการดักจับมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วลมและทิศทางของลม ขนาดตัดจำเพาะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ไมครอน มักจะใช้สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดปริมาตรสูง โดยพบว่า ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของฝุ่นละอองที่สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 75 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเท่ากับขนาดที่เล็กที่สุดของอนุภาค ที่ทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ตามมาตรฐาน ASTM โดยเรียกว่า ซิลท์ (silt) Cowherd, C. (1993)

สำหรับการวัดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการจราจรยานพาหนะ จากการเสียดสีระหว่างล้อรถกับพื้นที่ผิวของถนน สามารถใช้สูตรการหาปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาจากยานพาหนะที่วิ่งบนถนนซึ่งได้กล่าวไว้ในหนังสือ AP-42 ของ US. Environmental Protection Agency (1988) โดยมีหน่วยที่ได้คือ กิโลกรัมต่อกิโลเมตรของยานพาหนะที่วิ่งผ่าน (kilogram per kilometer traveled, kg/VKT) โดยแบ่งออกเป็นถนนลาดยางและไม่ได้ลาดยาง ตามสมการที่ 1 และ 2

ถนนลาดยาง

$$E = k\,(sL/2)^{0.65}\,(W/3)^{1.5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

ที่มา US. Environmental Protection Agency (1988)

โดยที่

E = ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/คัน/กิโลเมตร)

k = ค่าคงที่เป็นตัวคูณขนาดของอนุภาค มีค่าแปรผันตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคดังแสดงในตาราง 2

sL = ปริมาณซิลท์ (silt loading) (กรัม/ตารางเมตร)

W = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักพาหนะที่วิ่งผ่าน (ตัน)

ตาราง 2 ตัวคูณสำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคสำหรับสมการ 1

≤30 ไมครอน	≤15 ไมครอน	≤10 ไมครอน	≤2.5 ไมครอน
24	5.5	4.6	2.1

ถนนไม่ได้ลาดยาง

$$E = k(1.7)\ (s/12)\ (S/48)\ (W/2.7)^{0.7}\ (w/4)^{0.5}\ (365-p)/365 \quad \text{..... (2)}$$

ที่มา US. Environmental Protection Agency (1988)

โดยที่

E = ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น (กิโลกรัม/คัน/กิโลเมตร)

k = ค่าคงที่เป็นตัวคูณขนาดของอนุภาค มีค่าแปรผันตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคดังแสดงในตาราง 3

s = ปริมาณของซิลท์ของวัสดุพื้นถนน (%)

S = ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

W = น้ำหนักเฉลี่ยของยานพาหนะ (ตัน)

w = จำนวนเฉลี่ยของล้อ

p = จำนวนวันที่มีปริมาณฝนน้อยกว่า 0.254 มิลลิเมตร (0.01 นิ้ว) ต่อปี

ตาราง 3 ตัวคูณสำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคสำหรับสมการ 2

≤ 30 ไมครอน	≤ 15 ไมครอน	≤ 10 ไมครอน	≤ 5 ไมครอน	≤ 2.5 ไมครอน
0.80	0.50	0.36	0.20	0.095

2.2.3) โรงงานอุตสาหกรรม

การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา, ถ่านหิน, ฟืน, แกลบ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดฝุ่นละออง เช่น ขี้เถ้าบิน (Coal fly ash) จากโรงไฟฟ้า กระบวนการผลิตที่มีฝุ่นออกมา เช่น การโม่หิน, การผลิตปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมที่มีการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน และ ไฮโดรคาร์บอน ออกสู่บรรยากาศ ยังสามารถทำให้เกิดอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศได้จากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอลระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจนและไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเรียกว่า Smog reaction ได้อนุภาคที่มีรัศมีขนาดเล็กกว่า 0.2 ไมครอน

2.2.4) การเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง

ได้แก่การเผาขยะมูลฝอยหรือวัสดุต่าง ๆ จะเกิดเขม่าขี้เถ้าเป็นจำนวนมากฟุ้งกระจายไปในอากาศและลอยไปตามกระแสลมปกคลุมพื้นที่กว้าง ฝุ่นละอองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆ จะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ แล้วอาจจะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศหรือถูกพัดพาไปโดยการพัดพาของอากาศและกระแสลม ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากจะแขวนลอยในบรรยากาศได้ไม่นานก็ตกกลับด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เรียกว่า การตกกลับแบบแห้ง (Dry deposition) ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน จะแขวนลอยในบรรยากาศได้นานกว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กนี้สามารถตกกลับแบบเปียก (Wet deposition) ได้ 2 รูปแบบ คือ อนุภาคฝุ่นจะเข้าไปเป็นแกนกลางให้ไอน้ำเกาะแล้วรวมตัวอยู่ในเมฆ เรียกว่า Rain out และการตกกลับโดยฝนตกชะเอาอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศลงมา เรียกว่า Wash out

3) **แบ่งตามขนาดของอนุภาค**

ซึ่ง U.S. EPA (The united state of America environmental protection agency, 1992a) ได้กำหนดขนาดฝุ่นละออง 2 ขนาดคือ

3.1) ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก (Fine particulate matter) กำหนดขนาดไว้ว่ามีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน

3.2) ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (Coarse particulate matter) กำหนดขนาดไว้ว่ามีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 2.5 ไมครอน

2.2.2 **อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน** (PM10)

อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน วัดโดยพฤติกรรมเชิงแอโรไดนามิกส์ เป็นอนุภาคที่ถูกปลดปล่อยในรูปของการควบแน่น หรือการทำให้เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Atomization) ซึ่งมีสภาพเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลวที่ความดันและอุณหภูมิปกติ ประกอบด้วยสสารที่แตกต่างกัน และสามารถอยู่ในสภาพแขวนลอยในอากาศได้จากการกระทำของกระแสลมหรือการสั่นสะเทือน และสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ เพราะขนาดอนุภาคซึ่งมีขนาดเล็กและสามารถถูกพัดพาเข้าสู่ภายในอาคารได้ ซึ่งมีส่วนประกอบและแหล่งที่มาของฝุ่นละอองในอากาศ แสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ส่วนประกอบและแหล่งที่มาของฝุ่นละอองในอากาศ

ส่วนประกอบ	แหล่งที่มา
สารประกอบคาร์บอน	**กระบวนการเผาไหม้**
สารประกอบอินทรีย์ เช่น ไดออกซิน	กระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์
โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน	
เกลือแอมโมเนีย	การทำให้เป็นกลางของกรดในอากาศ
เกลือโซเดียมและแมกนีเซียมคลอไรด์	ทะเล
แคลเซียมซัลเฟต	วัสดุก่อสร้าง เช่น ดินและทราย
ซัลเฟต	การเติมออกซิเจนของซัลเฟอร์ไดออกไซด์
ไนเตรท	การเติมออกซิเจนของไนโตรเจนไดออกไซด์
ตะกั่ว	น้ำมันที่มีสารตะกั่ว
ดิน	แร่ธาตุต่าง ๆ

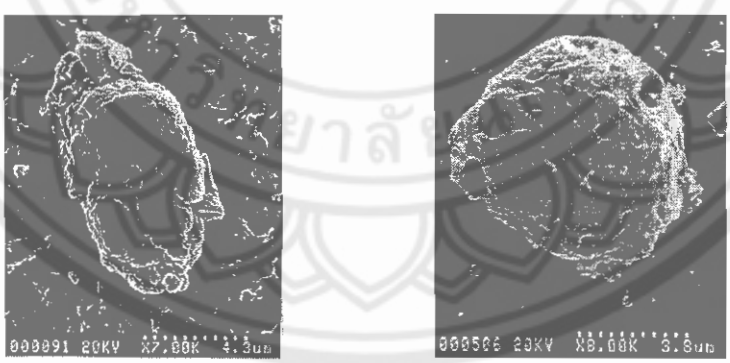
ที่มา: มาริษา เพ็ญสุตภู่ภิญโญกุล (2542)

ได้มีการทำการศึกษาฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สมานชัย เลิศกมลวิทย์ (2543) พบว่าปริมาณฝุ่น PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ภายนอกป้อมในเขตกรุงเทพมีค่ามากกว่า 100 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยเฉพาะที่ดินแดง และ งามวงศ์วานมีค่าเกินมาตรฐานฝุ่นในบรรยากาศ 120 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตรในขณะที่ฝุ่นละออง PM2.5 ในเขตกรุงเทพทั้งหมดมีค่าเกินมาตรฐานฝุ่นละออง ในบรรยากาศที่ US EPA กำหนด 65ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ฝุ่น PM10 และ PM2.5 ภายในป้อมมีค่าน้อยกว่าภายนอกป้อม ในขณะที่ฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส มีค่าอยู่ระหว่างฝุ่นละอองภายนอกป้อม และภายในป้อม การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุยืนยันว่าการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญ ศิริวรรณ แก้วงาม (2543) ลักษณะทางสัณฐาน และ**องค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM10 ใช้หาชนิดของแหล่งกำเนิดได้ ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าส่วนใหญ่ เป็นฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซิน มากที่สุด รองลงมาคือฝุ่นจากการก่อสร้าง** Wallance, L. (1996) **ประเมิน I/O ratios PM2.5 PM10 ของบ้านที่ไม่พบแหล่งกำเนิดภายในบ้าน ความเข้มข้นอนุภาคภายในบ้านของฝุ่น** PM2.5 **เท่ากับ 0.65 ของความเข้มข้นอนุภาคภายนอก และสำหรับฝุ่น PM10 ความเข้มข้นอนุภาคภายในบ้านเท่ากับ 0.43 ของ**

ความเข้มข้นอนุภาคภายนอก Jones, N.C., et al. (2000) **ฝุ่นภายในบ้านส่วนใหญ่มาจากการทำครัวและการสูบบุหรี่ ทำให้สัดส่วนระหว่างปริมาณฝุ่นขนาดเล็กภายในและนอกอาคารเพิ่มขึ้น**

2.2.3 สัณฐานของอนุภาคฝุ่นละออง

อนุภาคในอากาศไม่ได้มีลักษณะทางสัณฐานของอนุภาคเป็นทรงกลมเพียงชนิดเดียว ส่วนใหญ่ขึ้นกับแหล่งกำเนิดของอนุภาค สัณฐานของอนุภาคชนิดทรงกลม ได้แก่เกสรดอกไม้ และของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น ขี้เถ้าปลิว (Fly ash) อนุภาคทรงกระบอกได้แก่ เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้ายแก้วแอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ ส่วนสินแร่มีสัณฐานทั้งชนิดที่ไม่เป็นระเบียบ (Irregular) และเป็นระเบียบหรือเป็นปุย หรือสะเก็ด (Flake like) การเกิดก้อนรวมขนาดใหญ่ของฝุ่นละออง (Agglomerates) เกิดจากการที่อนุภาครวมตัวกันในขณะที่ลอยอยู่ในอากาศ หรือเกิดจากการ ลดอุณหภูมิลงของก๊าซที่มีอุณหภูมิลงของก๊าซที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้มีลักษณะทางสัณฐานที่เหมือนลูกโซ่ (Chain like) และฟล็อก (Flogs) คือ กลุ่มอนุภาคที่รวมตัวกันหลวม ๆ และเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก (ภาพ 9) แสดงตัวอย่างลักษณะทางสัณฐานของอนุภาคฝุ่นละอองที่ศึกษาในประเทศอินโดนีเซีย เมื่อปี ค.ศ. 1997



(a) ฝุ่นดิน (b) ขี้เถ้าปลิว

ภาพ 9 ตัวอย่างสัณฐานของฝุ่นดินเหนียวและขี้เถ้าปลิว

ที่มา : Zou, L.Y. and Hooper, M.A. (1997)

ลักษณะทางสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด

1) จากเครื่องยนต์ซนิดดีเซล

จากการศึกษาฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซล ศิริวรรณ แก้วงาม (2543) พบว่า สัณฐานมีลักษณะเป็นปุยเบา มีรูพรุน (porous fluffy) เกิดการจับตัวกันแบบหลวม ๆ (Flog) โครงสร้างไม่เป็นรูปเรขาคณิต ขึ้นอยู่กับการรวมตัวกันของอนุภาค มีขนาดประมาณ 10 ไมครอน หรือต่ำกว่าเล็กน้อย ส่วนชนิดขององค์ประกอบธาตุ พบธาตุอยู่ 6 ชนิด คือ คาร์บอน ออกซิเจน อลูมิเนียม ซิลิก้า ซัลเฟต และแคลเซียม สำหรับคาร์บอนเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีปริมาณอยู่ถึงร้อยละ 73.32 เป็นปริมาณที่มีอยู่สูงสุด ซึ่งน่าจะเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ รองมาคือ ซิลิกา และออกซิเจน มีปริมาณร้อยละ 15.42 และ 11.10 ตามลำดับ ดังลักษณะสัณฐานและสเปกตรัม ภาพ 10

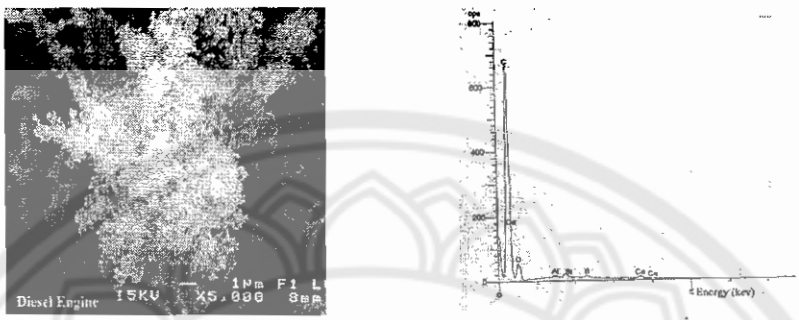
2) จากการก่อสร้าง

ฝุ่นละอองที่มาจากการก่อสร้าง สัณฐานมีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิตคล้ายรูปสี่เหลี่ยม อนุภาคไม่ได้เกิดจากการรวมตัว ซึ่งน่าจะเกิดจากการฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศจากแหล่งกำเนิดโดยไม่ได้เกิดปฏิกิริยารวมตัวกันก่อน อาจเกิดจากการแตกหักจากอนุภาคที่ใหญ่ แล้วฟุ้งกระจายขึ้นจากการทำกิจกรรมการก่อสร้าง หรือกระแสลม เนื้อของอนุภาคมีความหนาแน่น มองดูแข็ง ไม่ยืดหยุ่น จากภาพ 11 มีขนาดประมาณ 8 ไมครอน องค์ประกอบของธาตุ พบว่ามีธาตุ คาร์บอน ออกซิเจน ซิลิก้า และแคลเซียม ซึ่งฝุ่นละอองชนิดนี้จะมีแคลเซียมซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ซึ่งมีอยู่ร้อยละ 15.80 สำหรับ สำหรับซิลิกา และออกซิเจน น่าจะมาจากองค์ประกอบของทราย (สารประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์)

3) จากเครื่องยนต์เบนซิน

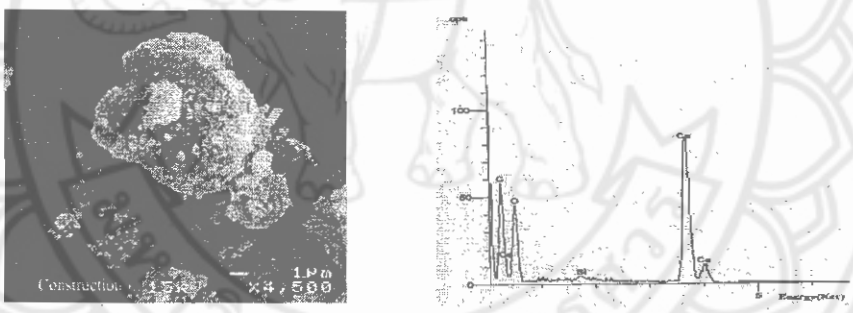
ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดมาจากเครื่องยนต์เบนซิน มีลักษณะสัณฐาณเป็นรูปทรงที่ไม่แน่นอน เมื่อถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด จะเกิดการรวมตัวกันของอนุภาค ฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศ ทำให้เกิดเป็นรูปทรงต่าง ๆ แต่ส่วนใหญ่มักจะรวมตัวกันเป็นลักษณะเป็นก้อนค่อนข้างกลม มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน เมื่อมองจากภาพถ่ายจะเห็นว่าเนื้อของอนุภาคจะมีลักษณะที่ฟู นุ่ม นิ่ม มีรูพรุน คล้ายฟองน้ำ จับตัวกันเป็นก้อนแบบหลวม ๆ สำหรับองค์ประกอบธาตุที่พบประกอบด้วย คาร์บอน ออกซิเจน อลูมิเนียม ซิลิกา ซัลเฟอร์ แคลเซียม และเหล็ก โดยมีธาตุ

คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีปริมาณถึงร้อยละ 74.26 รองมาคือออกซิเจน และซัลเฟอร์ มีอยู่ร้อยละ 9.61 และ 7.15 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันเบนซีน ดังภาพ 12



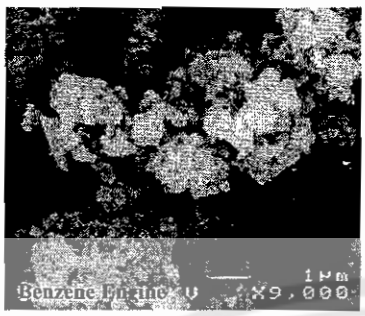
ภาพ 10 สัณฐานและธาตุของฝุ่นละอองจากเครื่องยนต์ดีเซล

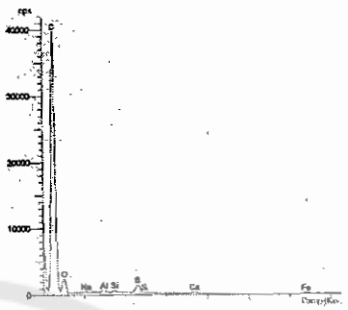
ที่มา : ศิริวรรณ แก้วงาม (1999)



ภาพ 11 สัณฐานและธาตุของฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง

ที่มา : ศิริวรรณ แก้วงาม (1999)





ภาพ 12 สัณฐานและธาตุของฝุ่นละอองจากเครื่องยนต์เบนซิน
ที่มา : ศิริวรรณ แก้วงาม (1999)

ธาตุที่มีในอนุภาคของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองแต่ละชนิดประกอบด้วยธาตุชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง ชนิดนั้นๆ เช่น ฝุ่นดิน ประกอบด้วยธาตุหลัก ๆ คือ ซิลิก้า อะลูมิเนียมและแคลเซียม ซึ่งเป็นองค์ประกอบของดิน ส่วนฝุ่นที่มาจากการก่อสร้างมีธาตุแคลเซียมซึ่งเป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ ส่วนฝุ่นที่มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ ธาตุคาร์บอน เป็นต้น การที่ฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ทำให้อนุภาคฝุ่นละอองชนิดนั้น ๆ มีองค์ประกอบของธาตุที่แตกต่างกัน ดังตาราง 5 ทำให้ฝุ่นละอองมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันออกไป ได้แก่ สี รูปทรง และขนาด ที่แตกต่างกัน ด้วย การศึกษาองค์ประกอบธาตุในอนุภาคฝุ่นด้วย X – ray spectra ของธาตุชนิดต่าง ๆ มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติ คือ Calcite มีปริมาณแคลเซียมอยู่ในปริมาณสูงและเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยธาตุซิลิก้า อะลูมิเนียม และเหล็ก เป็นองค์ประกอบของฝุ่นดิน Quartz ซึ่งมีซิลิก้าอยู่ในปริมาณสูง ฝุ่นชนิดนี้คือฝุ่นประเภททราย สำหรับแหล่งกำเนิดที่มนุษย์กระทำคือ Fly ash จากโรงไฟฟ้า มีซิลิก้า อะลูมิเนียม Quartz และ Calcite ในปริมาณสูง เป็นองค์ประกอบหลัก ภาพ 13 X-ray spectra องค์ประกอบธาตุของ Fly ash และ Bottom ash

ตาราง 5 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^+

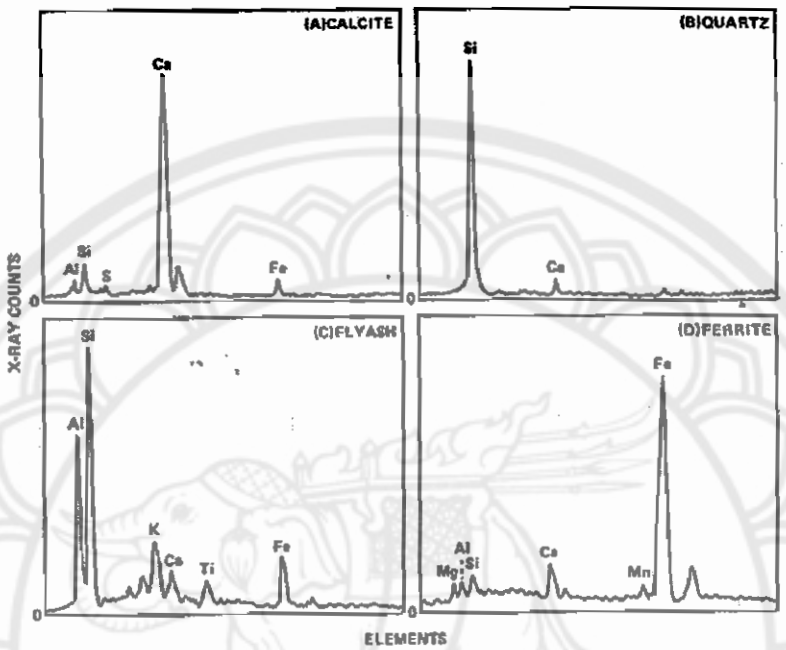
C_{ele} : Elemental Carbon

C_{org} : Organic Carbon

ที่มา : Garivait, H. (1999)

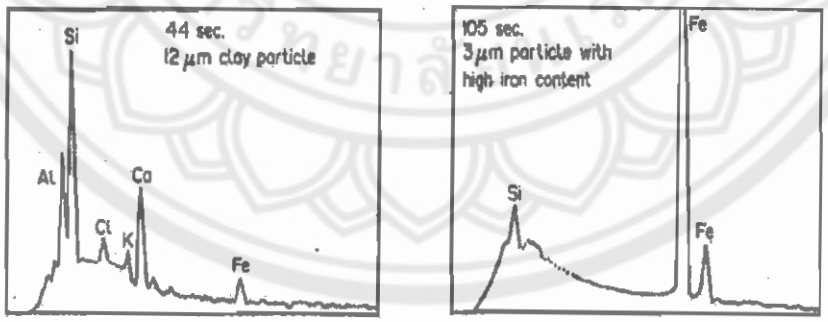
จากการศึกษาของ Kenneth, J.D. (1985) ภาพ 13 เป็นตัวอย่างแสดง X-ray Spectra ที่แสดงธาตุชนิดต่าง ๆ ที่มีแหล่งกำเนิดในธรรมชาติ คือ Calcite ซึ่งจะมีแคลเซียมอยู่ปริมาณสูงและเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยธาตุ ซิลิก้า อะลูมิเนียม และเหล็ก ซึ่งก็คือ **องค์ประกอบของฝุ่นดิน และอีกชนิดหนึ่งคือ Quartz ซึ่งจะมีซิลิก้าอยู่ในปริมาณสูง ฝุ่นชนิดนี้ก็คือฝุ่นประเภททราย สำหรับแหล่งกำเนิดที่มนุษย์กระทำ คือ Fly Ash จากโรงไฟฟ้า ซึ่งจะมีซิล้าและอะลูมิเนียมในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังพบไทเทเนียมซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้จากโรงไฟฟ้าด้วย และอีกตัวอย่างหนึ่งคือ Ferritte จากโรงงานผลิตเหล็ก ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณของธาตุเหล็กในปริมาณที่สูงและเป็นองค์ประกอบหลักและจากการศึกษาของ** Kamens, R., et al., (1990) ภาพ 14 แสดงการวิเคราะห์ธาตุของอนุภาคฝุ่นภายในอาคารที่พบซึ่ง

ใช้ช่วงเวลาในการฉาบตัวอย่างไม่เท่ากันโดย (a) อนุภาคของฝุ่นดินเหนียว ขนาด 12 ไมครอน (b) อนุภาคฝุ่นเหล็กซึ่งมีปริมาณของเหล็กสูง



ภาพ 13 X- ray Spectra ของอนุภาคฝุ่นละอองที่มาจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น

ที่มา : Kenneth, J.D. (1985)



(a) (b)

ภาพ 14 ธาตุของฝุ่นละอองในอาคารวิเคราะห์โดย EDX

ที่มา : Kamens, R., et al., (1990)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.4 ผลกระทบของฝุ่นละออง

1) ผลกระทบต่อบรรยากาศทั่วไป

ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถดูดซับและหักเหแสงได้ ทำให้ลดความสามารถในการมองเห็น เกิดทัศนวิสัยในการมองเห็นไม่ดี ถ้ามีฝุ่นแขวนลอยในอากาศมากจนกลายเป็น หมอก จะเป็นอุปสรรคต่อการมองเห็นมากและอาจเกิดอันตรายต่อการสัญจรได้ นอกจากนี้ ฝุ่นละอองยังมีส่วนเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดภาวะมลพิษทางอากาศรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะเกิดร่วมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ เกิดเป็นกรดซัลฟูริกที่มีอันตรายต่อทางเดินหายใจ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับโอโซนและให้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้อีก ปฏิกิริยาจะยิ่งเกิดเร็วขึ้นถ้ามีฝุ่นในอากาศมาก

2) ผลกระทบต่อพืช

เมื่อฝุ่นตกลงมาสู่พืช ฝุ่นจะจับติดบนส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะใบซึ่งเป็นส่วนที่มีพื้นที่ผิวมาก และรับการตกลงมาเกาะของฝุ่นได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง ฝุ่นที่ปิดปากใบยังทำให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในมากขึ้นมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช และถ้าฝุ่นนั้นมีสารพิษปะปนอยู่ เช่น โลหะหนัก หรือปูนซีเมนต์ จะทำให้พืชได้รับพิษเพิ่มจากสารต่าง ๆ นั้นอีกด้วย

3) ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ตกกลับตามแรงดึงดูดของโลก แล้วเกาะติดวัตถุและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ นอกจากทำให้สกปรกแล้ว ยังมีสมบัติในการดูดซับโลหะ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ไว้ที่ผิวของฝุ่นด้วย หรือจากซนิดของฝุ่นละอองเองที่มีสภาพเป็นกรดหรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอันตรายเมื่อเกาะติดวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างจะทำอันตรายต่อสิ่งนั้นได้ เช่น ทำให้วัสดุที่เป็นวัสดุสึกกร่อน ทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง ทำให้ผลงานทางศิลปะเสื่อมสภาพ ทำให้หลังคาสังกะสีผุกร่อน เป็นต้น

4) ผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยา

นักวิทยาศาสตร์ได้พบว่า อากาศเสียสามารถเปลี่ยนแปลงสภาวะของบรรยากาศได้ เช่น พวกฝุ่นผงที่เกิดจากการกระทำมนุษย์ ซึ่งก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุตุนิยมวิทยาอยู่มาก

ป ๗๐
ฆน
๕
อรรถ
นนฯ

10 มี.ค. 2550
5040310

สำนักหอสมุด

5) ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

นอกจากฝุ่นละออง ทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ และโรคในระบบหัวใจและหลอดเลือด ระดับความรุนแรงของอาการป่วยจะเปลี่ยนแปลงตามระดับของฝุ่นละออง จาก การศึกษาพบว่าอัตราการเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือดสูงขึ้นเมื่อมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ในปริมาณมาก และมีโอกาสป่วยมากขึ้นในสถานที่ที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ ผู้ใหญ่ที่อาศัยอยู่ในที่ที่มีฝุ่นมากมีโอกาสป่วยเป็นโรคในระบบทางเดินหายใจเฉียบพลันได้สูงเป็นสองเท่าของคนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองน้อยกว่า ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่จะติดอยู่บริเวณโพรงจมูกและทางเดินหายใจส่วนบน และอาจถูกกำจัดออกมาด้วยการไอ จาม หรือกลืนเข้าไป ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่าอาจเข้าไปติดอยู่ในส่วนเล็ก ๆ ของปอด โดยเมื่อฝุ่นขนาดเล็กถูกสูดเข้าร่วงกายด้วยความเร็วลมจากการหายใจเข้า สัมผัสกับส่วนต่าง ๆ ของหลอดลมจะถูกแรงโน้มถ่วงพาให้ตกลงสู่ถุงลมปอด จากนั้นฝุ่นละอองอาจถูกขับออกโดยกลไกของร่างกาย เช่น เมื่อมีอัตราการหายใจสูงหรือหายใจแรง ๆ ฝุ่นจะออกมากับลมหายใจได้

ตาราง 6 การตกค้างของฝุ่นละอองในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ

ขนาดของฝุ่นละออง	กลไกและบริเวณตกค้างของฝุ่นในทางเดินหายใจ
5 – 30 ไมครอน	จมูกและคอหอยส่วนจมูก
1 – 10 ไมครอน	คอหอยและหลอดลม
1 ไมครอนและเล็กกว่า	ถุงลม รอบบริเวณถุงลม

ที่มา : มาริษา เพ็ญสุตภู่ภิญโญกุล (2542)

2.2.5 มาตรฐานอนุภาคฝุ่นละออง

เป็นการกำหนดระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศสูงสุดซึ่งยินยอมให้มีได้ในบรรยากาศตามกฎหมาย เพื่อป้องกันมิให้เกิดอันตรายต่อประชาชนหรือระบบนิเวศน์ ซึ่งประเทศไทยได้จัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศตั้งแต่ปี พ.ศ. 2524 ตาม พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมปี พ.ศ. 2518 ซึ่งได้มีการกำหนดค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง (Total Suspended particulates) **ในบรรยากาศค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าไม่เกิน 0.33**

มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 1 ปีมีค่าไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต (Geometric mean) โดยใช้วิธีวัดแบบการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric method)

ต่อมาได้มีการจัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศขึ้นใหม่ในปี พ.ศ. 2538 ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมปี พ.ศ 2535 โดยกรมควบคุมมลพิษ สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้มีการกำหนดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ตามตาราง 7 โดยใช้วิธีวัดแบบ Gravimetric-High Volume ได้แบ่งออกเป็น 2 ขนาด คือ

1. ฝุ่นรวม (TSP) มีค่าความเข้มข้นมาตรฐานในบรรยากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 0.33 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ค่าเฉลี่ยใน 1 ปี มีค่าไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) กำหนดให้มีค่าความเข้มข้นในบรรยากาศ. เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 0.12 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี มีค่าไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตาราง 7 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย

สารมลพิษ	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มก/ลบ.ม.	ค่าเฉลี่ย 1 ปี มก./ลบ.ม.	วิธีการตรวจวัด
ฝุ่นรวม (TSP)	0.33	0.1	Gravimetric –High Volume
ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10)	0.12	0.05	Gravimetric –High Volume

ที่มา : คัดแปลงจากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2538) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศในกิจจานุเบกษา เล่ม 112 ตอนที่ 52ง. วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2538 ประกาศคณะกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

ส่วนมาตรฐานฝุ่นละอองภายในอาคารในประเทศไทยปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดเป็นค่ามาตรฐานใช้ควบคุมแต่สำหรับมาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศและภายในอาคารของในแต่ละประเทศได้มีการเสนอแนะกำหนดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศและภายในอาคารซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในด้านขนาดและชนิดของฝุ่นละออง ปริมาณความเข้มข้น ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง ตลอดทั้งวิธีการเก็บตัวอย่าง โดยเฉพาะฝุ่นละอองภายในอาคารซึ่งขึ้นอยู่กับบริเวณที่เก็บตัวอย่างภายในอาคาร โดยตาราง 5 แสดงค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศขององค์การอนามัยโลกและประเทศต่าง ๆ ตาราง 8 แสดงมาตรฐานฝุ่นภายในอาคารจาก Indoor air quality handbook (IAQ)

ตาราง 8 ค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศขององค์การอนามัยโลก และประเทศต่าง ๆ

Standard	Measurement Method	Time-Weighted average ($\mu g/m^3$)			Guidelines and standards with other averaging time ($\mu g/m^3$)
		8 hours	24 hours	1 year	
WHO	TSP		120		-
	TSP		150-230	60-90	-
	TSP		70		-
Agentina	TSP				150 (1 month)
	TSP		240	80	-
	TSP		150	60	-
	PM10		150	50	-
Sao Paulo	TSP		375		-
	TSP		625		-
	TSP		875		-
China	TSP		150		-
	TSP	420	300		-
	TSP	680	500		-
India	TSP	100	70		-
	TSP	200	140		-
	TSP	500	360		-
Indonesia	TSP		260		-
Japan	PM10		100		200 (1 hour)
Korea	TSP		300	150	-
Mexico	TSP		275		-
Philippines	TSP		180		250 (1hour)
Russia	TSP		150		-
Thailand	TSP		330	100	-
	PM10		120	50	-
USA	PM10		150	50	-
	PM10		50	30	-

ที่มา : กรมอนามัย.(2540)

ตาราง 9 มาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคาร Indoor air quality standard and guidelines

Parameter	Limit/Range	Reference	TSI Instrument
Temperature	Summer 73 to 79 °F Winter 68 to 74.5 °F	ASHRAE Standard 55	Q-Trak, IAQ-CALC, TH-CALC
Relative humidity	30% to 65%	ASHRAE Standard 55	Q-Trak, IAQ-CALC, TH-CALC
Air movement	0.8 ft/s or 0.25 m/s	ASHRAE Standard 62	Q-Trak, IAQ-CALC
Ventilation(air changes)	15 to 60 cfm/person minimum depending on type of space	ASHRAE Standard 62	Q-Trak, IAQ-CALC
Ventilation (CO_2)	<1000 ppm	ASHRAE Standard 62	Q-Trak, IAQ-CALC Inspect air
Filtration	25% to 30% dust spot efficiency, minimum	ASHRAE Standard 52.2	P-trak, Dust trak
Inhalable particles	150 $\mu g/m^3$ over 24 hr 50 $\mu g/m^3$ annual arithmetic mean	ASHRAE Standard 62 EPA-National ambient air quality standard	D-Trak, Dust trak, Respicon
Particulate in cleaned HVAC Systems	1.0 $\mu g/100\ cm^2$	NADCA 1992-01	P-Trak, Dust Trak, Sidepak
Carbon monoxide	9 ppm over 8 hrs. or 35 ppm in one hr.per year, maximum	EPA – National ambient air quality standard	Q-Trak, IAQ-CALC, Combucheck, CA-CALC
Ultrafine particulate	n.a	n.a	P-trak

ที่มา : TSI Incorporated. (1992)

2.2.6 มาตรฐานฝุ่นละอองจากการก่อสร้างถนน

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ได้มีการจัดทำระเบียบและข้อปฏิบัติในการควบคุมฝุ่นละอองจากการก่อสร้างถนนและระบบสาธารณูปโภค โดยแบ่งข้อปฏิบัติในการควบคุมฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. จากการก่อสร้างอาคาร
2. จากการก่อสร้างถนนและระบบขนส่งมวลชน
3. จากการบรรทุกและขนวัสดุต่างๆ

ในกรณีฝุ่นที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างถนนและระบบขนส่งมวลชน ได้มีการกำหนด ค่าฝุ่นละอองชนิดขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน ต้องน้อยกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อทำการตรวจวัดพร้อมกัน ทั้งนี้การตรวจวัดให้ทำต่อเนื่องกันไม่น้อยกว่า 290 นาที (4 ชั่วโมง 50 นาที) และไม่เกิน 310 นาที (5 ชั่วโมง 10 นาที) ในช่วงเวลาที่มีการก่อสร้าง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กมล สุทธิจันทร์นภา (2542) ศึกษาการควบคุมฝุ่นละอองจากถนนที่ไม่ได้ปูผิวทาง พบว่าอัตราการปล่อยฝุ่นละอองจากยานยนต์ที่แล่นผ่านถนนที่ไม่ได้ปูผิวทางใน สภาพปกติที่ไม่มีการควบคุม และในกรณีที่มีการควบคุมโดยวิธีต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1322 กรัม PM-10/กิโลเมตร-คัน ณ ความเร็วจำกัดของยานยนต์ที่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพของ การควบคุมฝุ่นละอองรวม.TSP จากถนนที่ไม่ได้ปูผิวทางโดยวิธีการฉีดน้ำที่อัตรา 0.5 ลิตรต่อตาราง เมตร จำนวน 2 ครั้งต่อวัน มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 16 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของการควบคุมฝุ่นละออง รวม TSP โดยวิธีการฉีดพ่นสารแอสฟัลต์อิมัลชันและสารโพลิเมอร์ มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 31% ในช่วงเดือนที่ 8

ประโพธิ์ อุปถัมภ์ (2540) ได้ศึกษาปริมาณฝุ่นละอองและการกระจายขนาดของฝุ่นละอองจากการก่อสร้างถนนและศึกษาความถี่ในการฉีดพ่นน้ำที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการสร้างถนน ในการศึกษาได้ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองที่ฟุ้งจากถนนที่ระดับความสูงต่างๆ คือ 1.5 เมตร , 2.5 เมตร และ 3.5 เมตร บริเวณขอบถนน พบว่าก่อนการฉีดน้ำมีอัตราการปล่อยฝุ่นละอองรวม (TSP) 1.73 มก./ม.-วินาที (ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.387 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร) เมื่อทำการควบคุมการฉีดน้ำในอัตรา

0.76 ลิตร/ตารางเมตร วันละ 5 ครั้ง จะทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมในบรรยากาศผ่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป โดยมีประสิทธิภาพการลดฝุ่นดังนี้ ฉีดน้ำจำนวน 3 , 4 และ 5 ครั้ง/วัน ประสิทธิภาพการลดฝุ่นมีค่า 35.3% , 60.1% และ75.2% ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลงตามความสูงและมีค่าน้อยมากที่ระยะความสูงเกินกว่า 5 เมตรขึ้นไป

ศิริวรรณ แก้วงาม (2543) ศึกษาสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในกรุงเทพมหานคร พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยในกรุงเทพมหานครบางพื้นที่มีค่าเกินมาตรฐาน และบริเวณริมถนนมีปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยมากกว่าบริเวณพื้นที่ทั่วไป ฝุ่นละอองส่วนเป็นเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ค่า เฉลี่ยในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 65.60 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร ฤดูหนาวเท่ากับ 97.65 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร สัดส่วนการกระจายตัวของฝุ่น PM10 ในฝุ่นรวม TSP มากกว่าร้อยละ 50 คาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่น PM10 เฉลี่ยในช่วงฤดูฝนมีค่า 31.21 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร มีค่ามากกว่าในช่วงฤดูหนาวที่มีค่า 26.49 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร ลักษณะทางสัณฐาน และองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM10 ใช้หาชนิดของแหล่งกำเนิดได้ พบว่าฝุ่นจากเครื่องยนต์ดีเซล มีลักษณะเป็นปุย จับตัวกันแบบหลวมๆ มี รูพรุนมากไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต มีขนาด 7-10 ไมครอน มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบหลัก ฝุ่นที่มาจากเครื่องยนต์เบนซีน มีลักษณะเป็นก้อนที่เกิดจากการรวมตัว เนื้อฟู มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ไม่ เป็นรูปทรงเรขาคณิต มีขนาด 4-5 ไมครอน มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบหลัก ฝุ่นที่มาจากการก่อสร้างมีสัณฐานเป็นก้อนคล้ายรูป สี่เหลี่ยม เนื้ออนุภาคมีความหนาแน่น ขนาด 8-10 ไมครอน มีธาตุแคลเซียม เป็นธาตุหลักฝุ่นจากโรงไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแผ่นบาง เรียบ ซ้อนทับกัน เนื้ออนุภาคเบาบาง ขนาดประมาณ 10 ไมครอน ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ส่วนฝุ่นดินจะมีลักษณะเป็นก้อน ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต เนื้ออนุภาคมีความหนาแน่น มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมครอน มีธาตุซิลิกา แคลเซียม และอลูมิเนียมเป็นธาตุหลัก ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าส่วนใหญ่ เป็นฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซีนมากที่สุด รองลงมาคือฝุ่นจากการก่อสร้าง

Jones, N.C., et al. (2000) ศึกษาปริมาณฝุ่น PM10 PM2.5 และ PM1 ภายนอกและภายในบ้านพักในเขตริมถนน เมืองและเขตชนบท โดยทำการตรวจวัดทั้งภายในและภายนอกอาคาร 7 แห่ง ใน Birmingham, UK การตรวจวัดในเขตชนบท 2 แห่ง และในชั้น 10 และ 13 บนตึก 2 แห่ง และบ้านพักอาศัยทั่วไป 3 แห่ง พบว่า ฝุ่นภายในบ้านส่วนใหญ่มาจากการทำครัว และการสูบบุหรี่ ทำให้สัดส่วนระหว่างปริมาณฝุ่นขนาดเล็กภายในและนอกอาคารเพิ่มขึ้น

Kingham, S., et al. (1999) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของการจราจรต่อมลพิษอากาศภายในและภายนอกบ้าน โดยศึกษาปริมาณของ PM10 และ PM2.5, benzene, B(a)P และ PAHs ที่ เมืองHuddersfield, English โดยใช้ Active pump samplers ในการศึกษาเลือกบ้านที่อยู่อาศัยใกล้บริเวณถนนสายหลัก โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ Proximity บริเวณที่อยู่ใกล้เคียง ภายใน 50 เมตร จากถนนสายหลัก และ Background บริเวณที่อยู่ห่างจากถนนสายหลักมากกว่า 50 เมตร พบว่า ความสัมพันธ์ของระดับมลพิษภายในและภายนอกอาคาร คือ ระดับมลพิษภายในอาคารเท่ากับ ร้อยละ 90 ของระดับมลพิษภายนอกอาคาร

Liao, C.-M., et al. (2003) ศึกษาขนาดของอนุภาคภายในและภายนอกอาคารที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ พบว่า ความเข้มข้นของ PM10 และ PM2.5 ในเมือง (Taipei Taiwan) เท่ากับ 39.2 และ 3.13 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร ชานเมืองเท่ากับ 75.76 และ 69.87 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของ I/O ratios ของ PM2.5 เท่ากับ 0.56 PM10 เท่ากับ 0.42 และค่าเฉลี่ย I/O ratios ของ Sulfate และ Nitrate อยู่ในช่วง 0.22 - 0.43 และ 0.29 - 0.36

Lee, S.C., et al. (1998) ศึกษาคุณภาพอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร 14 แห่ง ในประเทศ ฮ่องกง ในช่วงเดือนตุลาคม 1996 ถึง มีนาคม 1997 ทำการเก็บตัวอย่างอากาศทั้งเขตที่พักอาศัยในเมือง ย่านการค้า ย่านอุตสาหกรรม และในชนบท ซึ่งรวมไปถึง ร้านอาหาร หอสมุด ศูนย์การค้า ศูนย์กีฬาและที่จอดรถ ทำการเก็บต่างช่วง ในช่วงเวลาที่มีการจราจรคับคั่ง พบว่า อัตราส่วนคุณภาพอากาศภายในและภายนอกของฝุ่น PM10 มีค่าสูงถึง 1.67 เมื่อมีการสูบบุหรี่ภายในบ้าน และพบว่า อัตราส่วนคุณภาพอากาศภายในและภายนอกบริเวณสถานที่สาธารณะมีค่าสูงกว่า อัตราส่วนคุณภาพอากาศภายในและภายนอกบริเวณบ้านอยู่อาศัยและสำนักงาน

Lee, S.C., et al. (1999) ศึกษาคุณภาพอากาศภายในที่พัก 6 แห่งในฮ่องกง ซึ่งมีที่ตั้งและรูปแบบของที่พักอาศัยต่างกัน การศึกษาประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ CO_2 PM10 HCHO bacteria SO_2 NO NO_2 และ CO โดนที่ CO_2 PM10 และHCHOตรวจวัดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงและตัวอื่นๆติดตามอย่างต่อเนื่อง พบว่า คุณภาพอากาศภายในอาคารของทั้ง 6 แห่งที่ตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ยกเว้น PM10 และ bacteria จุดตรวจวัดที่มีการสูบบุหรี่จะมีคุณภาพอากาศไม่ดี ในขณะสูบบุหรี่พบว่า PM10 สูงถึง 2,153 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร ทุกสถานีตรวจวัดมีระดับ bacteria 1,000 CFU/m^3 มีสถานีตรวจวัด 3 แห่งที่มีระดับ bacteria สูง ได้แก่ NorthPoint, Ngau Taukok และ Prince Edward ซึ่งเป็นตึกเก่าอายุกว่า 20 ปี ระดับ CO_2 สูงสุด 2.63 ml/l มีการระบายอากาศที่ไม่ดี

Monn, Ch., et al. (1997) ศึกษาความสัมพันธ์ภายในอาคารและภายนอกอาคารของปริมาณฝุ่น PM2.5 PM10 และ NO_2 จากบ้าน 17 แห่ง ในประเทศ Switzerland บ้านทุกหลังมีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ในบ้านไม่มีแหล่งกำเนิดอนุภาค และผู้อยู่อาศัยมีกิจกรรมในบ้านน้อย พบว่า ในบ้านไม่มีแหล่งกำเนิดอนุภาค และผู้อยู่อาศัยมีกิจกรรมในบ้านน้อย มีอัตราส่วนคุณภาพอากาศภายในและภายนอกของฝุ่น PM2.5 / PM10 เท่ากับ 0.7 เมื่อมีการสูบบุหรี่ อัตราส่วนคุณภาพอากาศภายในและภายนอก ของฝุ่น PM2.5 / PM10 มีค่ามากกว่า 1.8

Wallance, L. (1996) ได้ศึกษา I/O ratios PM2.5 PM10 ของบ้านที่ไม่พบแหล่งกำเนิดภายในบ้าน ความเข้มข้นอนุภาคภายในบ้านของฝุ่น PM2.5 เท่ากับ 0.65 ของความเข้มข้นอนุภาคภายนอก และสำหรับฝุ่น PM10 ความเข้มข้นอนุภาคภายในบ้านเท่ากับ 0.43 ของความเข้มข้นอนุภาคภายนอก