บทที่ 3

การทบทวนเอกสาร

3.1 ศัพท์และความหมายของอนุภาคมลสาร

มีชื่อหลายๆชื่อที่ถูกใช้อธิบายความหมายของอนุภาคมลสาร แต่ไม่ได้มีการเคร่งครัดในนิยามคำจำกัดความทางวิทยาศาสตร์มากนัก Baron และ Willeke (1993) ได้ให้คำนิยามและความหมายศัพท์ทั่วไปที่เกี่ยวข้องดังนี้ คือ

ละอองไอ (aerosol) เป็นส่วนประกอบของของเหลว หรือ อนุภาคของแข็งแขวนลอยในตัวกลางซึ่งเป็นก๊าซในช่วงเวลานานพอที่จะสามารถสังเกตหรือทำการวัดได้ โดยทั่วไปแล้ว ขนาดของอนุภาคละอองไอจะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.001-100 ไมครอน

ฝุ่นละออง (dust) คืออนุภาคของแข็งที่เกิดขึ้นจากการบดอัดหรือกลไกการแตกของวัสดุขนาดใหญ่ โดยอนุภาคทั่วไปจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีขนาดใหญ่กว่า 0.5 ไมครอน

หมอกหรือละอองน้ำ (fog or mist) คือละอองไอที่ฟุ้งกระจายเป็นของเหลว โดยสามารถเกิดขึ้นจากการกลั่นตัวของสภาวะอิ่มตัวยวดยิ่งของไอระเหย หรือมาจากการกระจายของเหลวด้วยการตีน้ำ พ่น หรือกวนให้เป็นฟอง

ฟูม (fume) คืออนุภาคที่โดยปกติเป็นผลมาจากการกลั่นตัวของละอองไอกับการรวมตัวเป็นก้อน อนุภาคของแข็งของฟูมทั่วไปมีส่วนประกอบจากสายที่ซับซ้อนของอนุภาคขนาดเล็กที่มีขนาดเดียวกัน (โดยทั่วไปน้อยกว่า 0.05 ไมครอน) ฟูมที่เกิดขึ้นมักจะเป็นผลมาจากการเผาไหม้และกระบวนการอื่นที่มีอุณหภูมิสูง

อนุภาค (particle) เป็นส่วนเล็กหรือวัตถุที่อยู่เดี่ยวๆ

[illegible]

อนุภาคมลพิษ (particulate) คืออนุภาคที่อยู่ในรูปของการบ่งบอกในการอธิบายลักษณะสมบัติของอนุภาค

สม็อก (smog) เป็นผลที่มาจากการรวมคำว่า smoke และ fog คือละอองไอที่เป็นส่วนประกอบของอนุภาคของแข็งและของเหลว เป็นส่วนที่น้อยที่สุดจากการกระทำของแสงอาทิตย์กับไอระเหย โดยมักจะใช้อ้างอิงถึงช่วงของสารมลพิษรวมถึงส่วนประกอบของก๊าซ

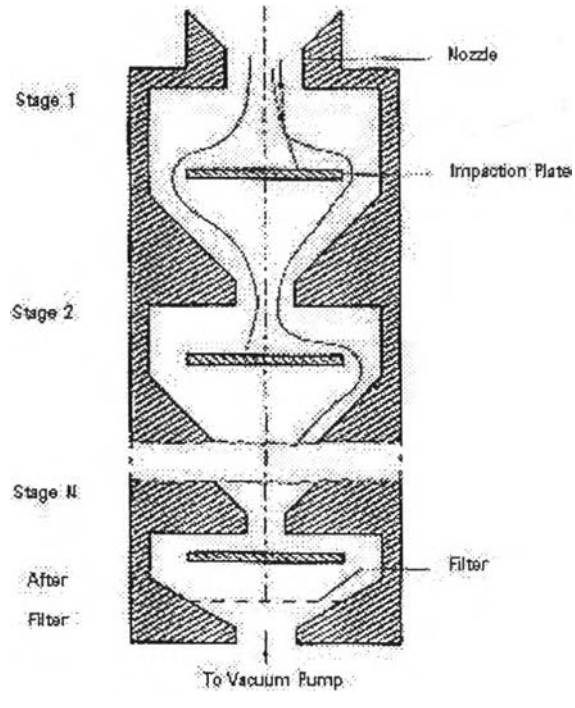
ควัน (smoke) คือละอองไอของของแข็งหรือของเหลวที่เป็นผลมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือจากการกลั่นตัวของสภาวะอิ่มตัวยวดยิ่งของไอระเหย โดยส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคขนาดเล็กๆ

3.2 การกระจายขนาดของอนุภาค

อนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 50 ไมครอน จะอยู่ในรูปของฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate matter , TSP) สามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้ และอนุภาคที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน ซึ่งอยู่ในรูปของ PM10 สามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระยะทางที่ไกล (Lancaster และ Nickling , 1993) และเข้าสู่ระบบหายใจของมนุษย์ (Ferris และคณะ , 1979 ; Miller และคณะ , 1979) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2.5 ไมครอน มักจะมีผลกระทบต่อการกระจายแสงและมีผลกระทบอย่างมากต่อการมองเห็น (Malm , 1979) และดุลยภาพการแผ่รังสีของโลก (Charlson และคณะ , 1992)

พฤติกรรมของฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ทั้งกลไกการทับถมด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก การแพร่ผ่าน แรงเฉื่อย และกลไกทางไฟฟ้าสถิตย์ ผลกระทบของการกระจายแสงและผลกระทบต่อสุขภาพมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคด้วย (Cooper , 1993) โดยทั่วไปการแสดงการกระจายขนาดของอนุภาคมักจะแสดงอยู่ในรูปของ ความถี่ ฮิสโตแกรม หรือการกระจายความถี่สะสม ซึ่งสามารถที่จะทำการแยกขนาดของอนุภาคได้ว่า มีปริมาณของอนุภาคขนาดต่างๆกันมีค่าเท่าไหร่ วิธีการวัดการกระจายขนาดของอนุภาคมีหลายๆ วิธี แต่วิธีที่สะดวกรวดเร็วในการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับสุขภาพ คือการวัดขนาดแบบปะทะ โดยใช้ความเฉื่อยของอนุภาคในการเก็บตัวอย่าง ความสำคัญจึงอยู่ที่มวลและความเร็วของอนุภาค หลักการที่กล่าวมานี้ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบ cascade impactor ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ชุดของรูพ่นและแผ่น

กีดขวาง โดยเพิ่มความเร็วของกระแสลมอากาศออกเป็นชั้นๆ และ/หรือลดช่องว่างระหว่างรูพ่นและแผ่นกีดขวาง เมื่อกระแสอากาศไหลผ่านรูฟนไปแต่ละชั้นที่ความเร็วสูงขึ้น เครื่องมือนี้จะเก็บอนุภาคเล็กๆได้ด้วยประสิทธิภาพสูงขึ้น ผลที่ได้คือ cascade impactor สามารถแยกขนาดของอนุภาคในตัวอย่างอากาศได้ แต่ในบางครั้งอนุภาคก้อนใหญ่อาจแตกกระจายเมื่อชนแผ่นกีดขวางและลอยไปทำให้การจำแนกขนาดไม่ถูกต้อง (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ , นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต , 2529)



รูปที่ 3.1 เครื่องเก็บตัวอย่างแบบ cascade impactor

3.3 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง

แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองได้แก่ ฝุ่นจากดิน ฝุ่นจากยานพาหนะ การเผาไหม้เชื้อเพลิง กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม การผลิตพลังงานไฟฟ้า การก่อสร้างประเภทต่างๆ ฯลฯ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพทำเลที่ตั้งของแต่ละเมืองจะมีแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่แตกต่างกันไป จากการศึกษาของ Radian (1997) ได้ประมาณอัตราการเกิดฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดหลักต่างๆ ที่สำคัญของกรุงเทพใน พ.ศ. 2539 , 2543 และ 2548 ไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราการเกิดฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดหลักต่างๆ ของกรุงเทพฯ

ประเภทของแหล่งกำเนิด	พ.ศ. 2539		พ.ศ. 2543		พ.ศ. 2548	
	TSP	PM10	TSP	PM10	TSP	PM10
โรงไฟฟ้า	6409	6,409	6,409	6,409	6,409	6,409
หม้อน้ำในอุตสาหกรรม	11,784	11,784	17,258	17,258	27,786	27,786
การก่อสร้าง	12,209	2,339	13,431	2,573	14,793	2,834
ยานพาหนะ	14,914	14,914	14,250	14,250	11,416	11,416
ฝุ่นละอองฟุ้งกลับ	133,122	25,515	128,490	24,615	127,107	24,350
รวม	178,438	60,961	179,838	65,105	187,511	72,795

หมายเหตุ ค่าตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็นตันต่อปี

3.4 กฎหมายควบคุมที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองจากการก่อสร้างในประเทศไทย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2516 ได้กำหนดให้มีคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งมีอำนาจหน้าที่ต่างๆ เกี่ยวกับการส่งเสริมและอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น การกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ในด้านมลภาวะอากาศ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติและกระทรวงทบวงกรมที่รับผิดชอบ ได้ดำเนินการเกี่ยวกับมาตรฐานคุณภาพอากาศต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.4.1. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

ตารางที่ 3.2 รวบรวมค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ ในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทยตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2538) และยังได้กำหนดวิธีการวัดคุณภาพในบรรยากาศซึ่งอ้างอิงไว้ในตารางที่ 3.2 ด้วย

ตารางที่ 3.2 พิกัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ (2538)

ชนิดก๊าซหรือสาร	ค่าเฉลี่ยใน เวลา 1 ชม. ไม่เกิน สนล. (มก./ลบม.)	ค่าเฉลี่ยใน เวลา 8 ชม. ไม่เกิน สนล. (มก./ลบม.)	ค่าเฉลี่ยใน เวลา 24 ชม. ไม่เกิน สนล. (มก./ลบม.)	ค่าเฉลี่ยใน เวลา 1 เดือน ไม่เกิน สนล. (มคก./ลบม.)	ค่าเฉลี่ยใน เวลา 1 ปี ไม่เกิน สนล. (มก./ลบม.)	วิธีการวัด
1. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	30(34.2)	9(10.26)	-	-	-	Non-Dispersive infrared detection
2. ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	0.17(0.32)	-	-	-	-	Chemiluminesence
3. โอโซน (O_3)	0.10(0.20)	-	-	-	-	Chemiluminesence
4. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	0.30(0.70)*	-	0.11(0.30)	-	0.04(0.10)	Pararosaniline
5. ตะกั่ว (Pb)	-	-	-	1.5	-	Atomic Absorption Spectrometer
7. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10)	-	-	(0.12)	-	(0.05)	Gravimetric
8. ฝุ่นละอองรวม (TSP)	-	-	(0.33)	-	(0.10)	Gravimetric

ทั้งนี้ คำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซเทียบเท่าที่ ความดัน 1 บรรยากาศ และ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
ค่าเฉลี่ย 1 ปี เป็นค่ามัชฉิมเรขาคณิต (geometric mean)
* เฉพาะพื้นที่ที่กำหนดในอำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปางต้องไม่เกิน 0.50 สนล. (1.3 มก./ลบ.ม.)

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่า ได้กำหนดมาตรฐานอากาศในบรรยากาศของปริมาณฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) เฉลี่ย 24 ชั่วโมงไว้เท่ากับ 330 และ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 1 ปีของฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละออง PM10 ไว้เท่ากับ 100 และ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อทำการเปรียบกับพิกัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศอื่น ๆ บางประเทศ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 จะพบว่า มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของไทยมีค่าใกล้เคียงกับประเทศอื่นๆ

3.4.2. มาตรฐานอากาศจากยานยนต์

ในปี 2523 กรมตำรวจได้ออกประกาศเจ้าพนักงานจราจรทั่วราชอาณาจักร เรื่องการใช้เครื่องวัดควันและเสียงดังของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ ลงวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2523 ซึ่งสรุปใจความว่า เมื่อรถหยุดอยู่กับที่และเมื่อเร่งเครื่องพอสมควร ควันที่ออกจากท่อไอเสียของรถ ต้องมีค่าทดสอบเขม่าไม่เกินร้อยละ 40 ของเครื่องวัดควันระบบบ๊อช (Bosch smoke meter) อนึ่ง

ตารางที่ 3.3 พิกัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของบางประเทศ

ตารางที่ 3.3 พิกัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของบางประเทศ

Country	Particulate matter	
Germany	30 min value	300 $\mu g/m^3$
	24-hour average value	200 $\mu g/m^3$
	Yearly average value	100 $\mu g/m^3$
Italy	Yearly arithmetic mean of daily average concentration	150 $\mu g/m^3$
	95 % value of daily average concentration during a year	300 $\mu g/m^3$
Netherlands	50 % value of 24 hour average concentration	30 $\mu g/m^3$
	95 % value of 24 hour average concentration	75 $\mu g/m^3$
	98 % value of 24 hour average concentration	90 $\mu g/m^3$
	24-hour average value	150 $\mu g/m^3$
Korea	Yearly average value	150 $\mu g/m^3$
	Daily average value	300 $\mu g/m^3$
	(shall not exceed three times per year.)	
USA.	PM10 environment standard	
	Yearly average (arithmetic average)	50 $\mu g/m^3$
	24-hour average	150 $\mu g/m^3$
Canada	(1) Desirable level	
	(a) Yearly geometrical average	0 ~ 60 $\mu g/m^3$
	(2) Acceptable level	
	(a) Yearly geometrical average	60 ~ 70 $\mu g/m^3$
	(b) Average concentration for 24 hours or more	0 ~ 120 $\mu g/m^3$
	(3) Tolerable level	
	average concentration for 24 hours or more	120 ~ 400 $\mu g/m^3$

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ปรับปรุงมาตรฐาน และวิธีการวัดอากาศเสียจากรถยนต์ โดยปรับปรุงวิธีการวัดค่าควันดำ และเพิ่มการกำหนดค่ามาตรฐานและวิธีการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ดังนี้

3.4.2.1 ประกาศสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าควันดำ และค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ยินยอมให้ระบายออกจากท่อไอเสียของรถยนต์ (ประกาศ ณ วันที่ 14 ธันวาคม 2522 ลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 97 ตอนที่ 35 ลงวันที่ 4 มีนาคม 2523 หน้า 736-737) ได้กำหนดว่าค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลต้องไม่เกินร้อยละ 40 ของเครื่องวัดระบบบ๊อชหรือไม่เกินร้อยละ 52 ของเครื่องวัดระบบฮาร์ทริดจ์ (Hartridge) และค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินต้องไม่เกินร้อยละ 6 ของเครื่องวัดระบบ Non-Dispersive Infrared Detection

3.4.2.2 ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงานเรื่อง กำหนดวิธีการวัดไอเสียจากท่อไอเสียของรถยนต์ (ประกาศ ณ วันที่ 14 ธันวาคม 2522 ลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 97 ตอนที่ 35 ลงวันที่ 4 มีนาคม 2523 หน้า 715-719) ได้กำหนดวิธีการตรวจสอบควันดำและวิธีการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากท่อไอเสียรถยนต์ เมื่อรถยนต์จอดอยู่กับที่และเมื่อแล่นอยู่บนทางเดินรถ เพื่อเป็นแนวทางในการยึดถือปฏิบัติ

3.4.3 มาตรฐานฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง

กรมควบคุมมลพิษ ได้ทำการว่าจ้าง สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2539) ให้ทำการออกร่างระเบียบและข้อปฏิบัติในการควบคุมฝุ่นละอองจากการก่อสร้างประเภทต่างๆ ซึ่งแบ่งแหล่งกำเนิดเป็น 3 แหล่งใหญ่ๆ คือ

1. จากการก่อสร้างอาคาร
2. จากการก่อสร้างถนนและระบบขนส่งมวลชน
3. จากการบรรทุกและขนส่งวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ

ในส่วนของรายละเอียดของร่างระเบียบแสดงไว้ในภาคผนวก ช. โดยมีส่วนสำคัญของการตรวจวัดในข้อ 4 คือ

ข้อ (4) โดยอาศัย พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มาตรา 55 และ 68 ในกรณีที่มีข้อขัดแย้งในการพิจารณาปัญหาฝุ่นละอองจากการก่อสร้างดังกล่าว ให้ดำเนินการใช้เครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศชนิดขนาดต่ำกว่า 10 ไมครอน โดยใช้เครื่องมือและวิธีการตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดเป็นทางการ ตรวจวัดบริเวณเหนือลมและใต้ลมซึ่งอยู่ใกล้ที่สุดที่จะเป็นไปได้ ของขอบเขตของพื้นที่ซึ่งเป็นทรัพย์สินที่เป็นที่ตั้งของอาคารที่กำลังดำเนินการก่อสร้าง ดัดแปลง ซ่อมแซม หรือรื้อถอนนั้นๆ ผลต่างของค่าที่ตรวจวัดได้บริเวณใต้ลม-เหนือลม ต้องน้อยกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อทำการตรวจวัดพร้อมกัน ทั้งนี้การตรวจวัดให้ทำต่อเนื่องกันไม่น้อยกว่า 290 นาที (4 ชั่วโมง 50 นาที) และไม่เกินกว่า 310 นาที (5 ชั่วโมง 10 นาที) ในช่วงเวลาที่มีการก่อสร้าง หากผลการตรวจวัดยังมีข้อที่โต้แย้งได้โดยฝ่ายเจ้าพนักงานท้องถิ่น หรือผู้ควบคุมงาน หรือผู้ดำเนินการ ให้ทำการตรวจวัดสามครั้งและใช้ค่าสูงสุดของการตรวจวัดเป็นการตัดสิน

3.5 ฝุ่นละอองจากการก่อสร้างถนน

ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างถนน เป็นแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละออง ที่สำคัญในกรุงเทพมหานคร แต่เป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดผลกระทบชั่วคราว ต่อคุณภาพของอากาศในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง เนื่องจากมีปริมาณของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสูง ขนาดของฝุ่นละอองมักจะเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมาจากกิจกรรมของการก่อสร้าง การเสียดสีระหว่างล้อของยานพาหนะกับพื้นผิวของถนนที่เป็นสาเหตุให้ฝุ่นฟุ้งกระจาย จากไอเสียยานพาหนะประเภทต่างๆ และแหล่งกำเนิดอื่นๆ เช่น จากเครื่องจักรกลประเภทต่างๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง การพัดพาของลม จากการกองวัสดุของแหล่งก่อสร้าง แต่แหล่งกำเนิดหลักที่สำคัญน่าจะมาจากแหล่งกำเนิดที่กล่าวมาข้างต้น

ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปจะสามารถแสดงได้ในส่วนของรูปฝุ่นละอองรวม (total suspended particulate , TSP) ซึ่งถูกเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างมาตรฐานชนิดปริมาตรสูง (standard high volume sampler) จากการศึกษาในอุโมงค์ลมพบว่า ประสิทธิภาพ

ในการดักจับมวลของอนุภาคจากการใช้เครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูงมีค่ากว้างมาก โดยสามารถดักจับอนุภาคขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอนได้ถึง 100 % และสามารถดักจับอนุภาคขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอนได้บ้างเล็กน้อย ประสิทธิภาพในการดักจับมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วลมและทิศทางของลม ขนาดตัดจำเพาะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ไมครอน มักจะใช้สำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดปริมาตรสูง โดยพบว่าขนาดที่ใหญ่ที่สุดของฝุ่นละอองที่สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 75 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเท่ากับขนาดที่เล็กที่สุดของอนุภาค ที่ทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ตามมาตรฐาน ASTM โดยเรียกว่า ซิลท์ (silt) (Cowherd , 1993)

สำหรับการวัดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการจราจรของยานพาหนะ จากการเสียดสีระหว่างล้อรถกับพื้นที่ผิวของถนน สามารถใช้สูตรการหาปริมาณฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาจากยานพาหนะที่วิ่งบนถนนซึ่งได้กล่าวไว้ในหนังสือ AP-42 ของ US.Environmental Protection Agency (1988) โดยมีหน่วยที่ได้คือ กิโลกรัมต่อกิโลเมตรของยานพาหนะที่แล่นผ่าน (kilogram per kilometer travelled ,kg/VKT) โดยแบ่งออกเป็นถนนลาดยางและไม่ได้ลาดยาง ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2

<u>ถนนลาดยาง</u>

$$E = K\,(sL/2)^{0.65}\,(W/3)^{1.5} \quad \text{.....} \quad (3.1)$$

โดยที่

E = ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น (g/VKT)

k = ค่าคงที่เป็นตัวคูณขนาดของอนุภาค มีค่าแปรผันตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคดังแสดงในตารางที่ 3.4 (ไม่มีหน่วย)

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

W = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักพาหนะที่วิ่งผ่าน (ตัน)

ตารางที่ 3.4 ตัวคูณสำหรับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคสำหรับสมการที่ 3.1

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

ถนนไม่ได้ลาดยาง

$$E = k(1.7)\,(s/12)\,(S/48)\,(W/2.7)^{0.7}\,(w/4)^{0.5}\,(365-p)/365 \quad \text{..... (3.2)}$$

โดยที่

E = ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น (kg/VKT)

k = ค่าคงที่เป็นตัวคูณขนาดของอนุภาค มีค่าแปรผันตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคดังแสดงในตารางที่ 3.5 (ไม่มีหน่วย)

s = ปริมาณของซิลท์ของวัสดุพื้นถนน (%)

S = ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

W = น้ำหนักเฉลี่ยของยานพาหนะ (ตัน)

w = จำนวนเฉลี่ยของล้อ

p = จำนวนวันที่มีปริมาณฝนน้อยกว่า 0.254 มิลลิเมตร (0.01 นิ้ว) ต่อปี

ตารางที่ 3.5 ตัวคูณสำหรับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคสำหรับสมการที่ 3.2

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

3.6 วิธีการควบคุมการลดปริมาณฝุ่นละออง

มีหลายวิธีที่ใช้สำหรับการควบคุมในการลดปริมาณฝุ่นละออง US.EPA ได้แนะนำวิธีการควบคุมไว้ในหนังสือ AP-42 "Compilation of Air Pollution Emission Factors" ในหัวข้อที่ 11.2.4 ไว้ 2 วิธีคือการฉีดพ่นน้ำ และการทำเสถียรภาพทางเคมี

3.6.1 การฉีดพ่นน้ำ

เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการควบคุมการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในระหว่างที่มีการก่อสร้าง เป็นวิธีที่มักเลือกใช้ในการควบคุมฝุ่นละออง เนื่องจากน้ำเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องใช้อยู่เสมอในสถานที่งานก่อสร้าง มีค่าใช้จ่ายไม่สูง แต่เป็นการควบคุมปริมาณการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองได้เพียงชั่วคราว โดยการใช้น้ำฉีดพรมบริเวณพื้นผิวมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับ

3.6.1.1. ปริมาณน้ำต่อหน่วยพื้นที่ของถนน
3.6.1.2. เวลาที่น้ำใช้ในการไหลเข้ามายังพื้นที่ของถนน
3.6.1.3. ปริมาณของการจราจรในช่วงเวลาดังกล่าว
3.6.1.4. ความสามารถในการควบคุมสภาพดินฟ้าอากาศในช่วงเวลาดังกล่าว

3.6.2 การทำเสถียรภาพทางเคมี

เป็นการใช้สารเคมีผสมกับน้ำแล้วทำการฉีดพ่นเพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง แต่ไม่มีผลกระทบในการลดปริมาณฝุ่นละอองส่วนใหญ่ที่มาจากการก่อสร้าง เนื่องจากการจราจรของเครื่องจักรและยานพาหนะหรือการถมหรือตัดหรือขุดดิน แต่การใช้จะเป็นประโยชน์เมื่อมีการตัดและถมดินเสร็จเรียบร้อยแล้ว ค่าใช้จ่ายจะมีค่าสูงกว่าการฉีดน้ำมาก สารเคมีที่ใช้ในการทำเสถียรภาพทางเคมีมีหลายชนิด Jutze และ Axetell (1974) ได้ทำการรวบรวมชื่อสารเคมีที่ใช้ในการทำเสถียรภาพทางเคมีบางชนิดที่มีขายในท้องตลาดในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รายชื่อสารเคมีที่ใช้ในการทำเสถียรภาพทางเคมีบางชนิด

ชื่อผลิตภัณฑ์	บริษัทผู้ผลิต	ส่วนประกอบทางเคมี
1. Coherex	Golden Bear Div.,Witco Chemical Co.	petroleum resin based emulsion
2. Dowell	DOW Chemical Co.	synthetic adhesives
3. Petroset	Phillips Petroleum Co.	rubber emulsion
4. Semi-Pave	Golden Bear Div.,Witco Chemical Co.	asphalt emulsion
5. SA-1 , ClaPak , ClaSet , SanPak , KelPak , etc.	BrewerCote Asphalt Products Co.	different composition for each soil type
6. Compound M-R	Johnson-March Co.	wetting agent
7. Norlig 41	American Can Co.	pulp mill wastelignosulfonate
8. Dust Control	Standard Oil Co.	petroleum resin
9. Curasol AE	American Corp.	Polyvinyl acetate polymer emulsion
10. DCA-70	Union Carbide Corp.	Elastomeric polymer
11. Soil Gard	Alco Chemical Co.	elastomeric polymer
12. Aquatain	Larutan Corp.	Sodium polypectate glycerin and ammonia
13. Polyco 2460 , Polyco 2605	Borden Chemical Co.	Synthetic copolymers
14. SBR Latex S - 2105	Shell Chemical Co.	styrene-butadiene latex
15. Soil Seal	Soil Seal Corp.	Formulation of copolymer
16. Aerospray 52 Binder	American Cyanamid Co.	synthetic resin in water emulsion
17. Gypsum Hemihydrate	National Gypsum Co.	Powder gypsum hemihydrat
18. NC 1556L	DOW Chemical Co.	Polyacrylamide
19. Agri-mulch	Douglas Oil Co.	Petroleum asphalt

3.7 ขั้นตอนการก่อสร้างถนน

เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี (2540) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการก่อสร้างถนนไว้เป็น 4 หัวข้อใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

3.7.1 งานถางป่าขุดตอ

งานถางป่าขุดตอ (clearing and grubbing) หมายถึงการกำจัดต้นไม้ พุ่มไม้ ตอไม้ ไม้ผุ ขยะ วัชพืช และสิ่งซึ่งไม่พึงประสงค์ต่างๆ ภายในเขตทาง เช่น โครงสร้างหรือสิ่งปลูกสร้าง ฯลฯ ที่กีดขวางการก่อสร้าง และอาจยังความเสียหายให้แก่ความมั่นคงแข็งแรงของคันทางที่จะก่อสร้างใหม่ ทั้งนี้ให้หมายรวมถึงงานเกลี่ย ปาด แต่ง กำจัดเศษวัสดุก่อสร้างภายในเขตทางเมื่องานแล้วเสร็จด้วย

วิธีการก่อสร้าง การถางป่าขุดตอให้ทำภายในเขตทางบริเวณที่จะทำการก่อสร้างคันทาง คูข้างทางและการขุดเพื่อก่อสร้าง งานโครงสร้าง บ่อยืมและแหล่งวัสดุ บริเวณเหล่านี้จะต้องถางป่าและขุดตอให้เรียบร้อย การขุดเพื่อก่อสร้างงานโครงสร้าง ให้ขุดตอ รากไม้ ฯลฯ ออกต่ำกว่าระดับ สุดท้ายตามรูปตัดไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร บริเวณที่จะก่อสร้างคันทางให้ขุดตอรากไม้ ฯลฯ ออกต่ำกว่าระดับดินเดิมไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ในกรณีซึ่งทำคันทางสูงกว่าระดับดินเดิมมากกว่า 60 เซนติเมตร ให้ตัดต้นไม้และตอไม้จนชิดใกล้ระดับดินเดิมให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

3.7.2 งานตัดคันทาง

งานตัดคันทาง (roadway excavation) หมายถึงการขุดแต่งคันทางภายในเขตทางให้มีรูปร่างและระดับตามรูปตัดและข้อกำหนดในแบบ รวมทั้งการนำวัสดุที่ขุดแล้วไปใช้ และนำวัสดุที่ไม่ต้องการไปทิ้งด้วย

วัสดุที่ใช้ในงานตัดคันทาง จำแนกออกเป็น 2 ชนิดคือ งานตัดชนิดที่ไม่ระบุประเภทของวัสดุ (unclassified excavation) กับงานตัดชนิดที่ระบุประเภทของวัสดุ (classified excavation) ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก.งานตัดชนิดที่ไม่ระบุประเภทของวัสดุคือ งานขุดตกแต่งคันทาง ซึ่งจะเป็นวัสดุประเภทใด ๆ ก็ได้

ข.งานตัดชนิดที่ระบุประเภทของวัสดุคือ งานขุดตกแต่งซึ่งระบุประเภทของวัสดุโดยจำแนกเป็น 3 ประเภทคือ

1. งานตัดดิน (earth excavation)
2. งานตัดหินผุ (soft rock excavation)
3. งานตัดหินแข็ง (hard rock excavation)

ค.งานขุดวัสดุที่ไม่เหมาะสม (unsuitable materials excavation) หมายถึงงานขุดวัสดุที่มีคุณภาพต่ำภายในเขตทาง โดยวัสดุที่ขุดออกนั้นไม่มีคุณสมบัติที่จะใช้ก่อสร้างคันทางหรือเป็นฐานรองรับคันทางได้ ได้แก่ เศษวัสดุต่าง ๆ ดินเลน ฯลฯ

ง.งานขุดเสริมบริเวณดินอ่อน (soft spot excavation and replacement) หมายถึงงานขุดวัสดุที่มีคุณภาพต่ำในคันทางเดิมออก รวมถึงการนำเอาวัสดุที่มีคุณภาพดีมาถมแทน

3.7.3 งานถมคันทาง

งานถมคันทาง (embankment) หมายถึงการก่อสร้างถมคันทางและการกลบแต่งหลุมบ่อต่าง ๆ โดยการจัดหาวัสดุที่มีคุณภาพดีมาถม บดอัด และตกแต่งให้ได้แนวระดับ ลาด ขนาด และรูปตัดตามแบบที่กำหนดไว้

วัสดุ วัสดุที่ใช้ในงานถมคันทางต้องมีคุณภาพถูกต้องตามที่ได้กำหนดไว้ในแบบ ไม่มีการบวมตัว (swelling) ผลการทดลองหาค่า CBR ไม่เกินร้อยละ 4 และมีความแน่นแห้ง (dry density) ไม่น้อยกว่า 1.44 ตันต่อลูกบาศก์เมตร

วิธีการก่อสร้าง วิธีการก่อสร้างในงานถมคันทางมีรายละเอียดดังนี้

ก.ก่อนที่จะเริ่มงานถมคันทาง ถ้ามีโพรงหรือหลุมอยู่เดิมหรือเกิดขึ้นจากงานถางป่าและขุดตอ จะต้องใช้วัสดุที่เหมาะสมกลบแล้วบดทับให้แน่นและเรียบ

ข.การถมคันทาง จะต้องสร้างให้ได้แนวระดับ ลาด ขนาด และรูปตัดตามที่แสดงไว้ในแบบวัสดุที่จะทำการบดทับแต่ละขั้นจะต้องนำมาผสมให้เข้ากัน โดยใช้ใบมีดรถเกลี่ย เกลี่ยกลับไปกลับมาหรือใช้วิธีอื่นที่คล้ายกัน จนได้วัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน พรมน้ำตามจำนวนที่ต้องการ แล้วใช้รถเกลี่ย ปาดเกลี่ยให้วัสดุมีความชื้นสม่ำเสมอทั่วกันก่อนทำการบดทับ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ชั้นของวัสดุหลังการบดทับมีความแน่นและความชื้นสม่ำเสมอ

การถมคันทางจะต้องก่อสร้างเป็นชั้นๆ ตามลำดับ ชั้นหนึ่งๆ หนาไม่เกิน 20 เซนติเมตร ทุก ๆ ชั้น จะต้องบดทับให้แน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่นมาตรฐาน (standard proctor density)

3.7.4 รองพื้นทาง

รองพื้นทาง (subbase) ประกอบด้วยงานก่อสร้างชั้นรองพื้นทางด้วยลูกรังหรือหินคลุก

วัสดุ วัสดุต่าง ๆ ประกอบด้วยเม็ดแข็งและทนทานผสมกับวัสดุเชื้อประสานที่ดี และจะต้องปราศจากก้อนดินเหนียวหรือวัชพืชอื่น ๆ ส่วนที่เกาะรวมตัวกันเป็นก้อนแข็งหรือกรวดที่เกาะกันโตกว่าขนาด 5 เซนติเมตร จะต้องทำให้แตกและผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับวัสดุที่เหลือ

วิธีการก่อสร้าง วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นรองพื้นทางจะต้องถูกคลุกเคล้าให้มีลักษณะสม่ำเสมอกันแล้ว กองไว้เป็นกองวัสดุใหญ่ (stockpile) เพื่อการตรวจสอบเสียก่อน เมื่อตกแต่งคันทางเรียบร้อยแล้ว ให้นำวัสดุซึ่งมีคุณภาพที่กำหนดมาเกลี่ยแผ่ไปบนคันทางโดยทำเป็นชั้น ๆ ชั้นหนึ่งหนาไม่เกิน 20 เซนติเมตร แต่ละชั้นบดทับให้แน่น ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor density) ที่ปริมาณน้ำพอเหมาะ (optimum moisture content)

ตามชนิดของวัสดุนั้น ๆ ซึ่งได้จากการทดลองบดอัดดินในห้องทดลอง ตอนใดที่วัสดุหยาบและละเอียดแยกตัวออกจากกัน (segregation) ให้แก้ไขโดยขุดคุ้ย (scarify) ออกแล้วทำการผสมกันใหม่ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด

3.7.5 พื้นทาง

ชั้นพื้นทาง (base) ประกอบด้วยหินโม่หรือกรวดโม่ ซึ่งมีขนาดคละกันอย่างสม่ำเสมอจากใหญ่มาหาเล็ก บดกันแน่นบนชั้นรองพื้นทางหรือคันทางตามที่กำหนดในแบบ

วัสดุ ส่วนหยาบต้องเป็นหินโม่หรือกรวดโม่ แข็ง ทนทาน สะอาด มีเปอร์เซ็นต์ความสึกหรอไม่เกิน 40 ส่วนละเอียดต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเดียวกับส่วนหยาบ

วิธีการก่อสร้าง เกลี่ยวัสดุพื้นทางลงบนรองพื้นทางให้สม่ำเสมอตลอดทั่วผิวหน้า จนเมื่อบดทับเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะได้รูปร่างระดับเป็นไปตามแบบแปลน แผนผัง ถ้าในแบบกำหนดให้ความหนาของชั้นพื้นทางเมื่อบดทับแล้วมากกว่า 15 เซนติเมตร ให้แบ่งทำเป็นสองครั้งประมาณครั้งละเท่า ๆ กัน

การบดทับให้ทำทันทีหลังจากเกลี่ยวัสดุได้ที่แล้ว ด้วยรถบดล้อยาง และเมื่อบดทับแล้วจะต้องมีความแน่นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 ของความแน่นสูงกว่ามาตรฐาน การบดทับชั้นสุดท้ายเพื่อให้ได้ผิวหน้าที่เรียบ ให้ทำการบดอัดด้วยรถบดล้อเหล็ก

3.8 การศึกษาที่ผ่านมา

Cowherd และคณะ (1990) เสนอแบบจำลองในการควบคุมการฉีดน้ำ โดยทำการทดลอง 14 ครั้งใน 4 มลรัฐของสหรัฐอเมริกาในช่วงฤดูร้อน และฤดูใบไม้ร่วงจำนวน 5 ครั้ง และได้ดังสมการที่ 3.3 ดังนี้คือ

$$C = 100 - (0.8*p*d*t/i) \quad (3.3)$$

เมื่อ

C = ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการควบคุมฝุ่นละออง , ร้อยละ

p = ศักยภาพเฉลี่ยในการระเหยน้ำใน 1 ชั่วโมง , มิลลิเมตร/ชั่วโมง

d = อัตราเฉลี่ยของการจราจรต่อชั่วโมง , ชั่วโมง-1 , คันต่อชั่วโมง

i = ความหนาแน่นน้ำที่ใช้ , ลิตร/ลูกบาศก์เมตร

t = ระยะเวลาระหว่างในการฉีดน้ำ , ชั่วโมง

สามารถทำการประเมินศักยภาพเฉลี่ยในการระเหยได้ใช้ค่าจาก

p = 0.0049 สำหรับค่าเฉลี่ยประจำปี

= 0.0065 สำหรับในช่วงฤดูร้อน

นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดจากถนนไม่ได้ลาดยางจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 4 อย่างคือ ปริมาณสัดส่วนฝุ่นละอองขนาดละเอียดของถนน , ปริมาณความชื้นของดิน , ความสามารถในการรับน้ำหนักของพื้นถนน และ ความเร็วของยานพาหนะที่วิ่งผ่าน

Gillies และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณฝุ่นละออง PM10 กับประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ในการลดปริมาณฝุ่นละอองบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง โดยเลือกใช้สารเคมี 4 ชนิดคือ biocatalyst stabilizer (BS) , polymer emulsion (PE) , petroleum emulsion with polymer (PEP) และ non-hazardous crude-oil-containing materials (NHCO) พบว่าปริมาณของฝุ่นละอองที่วัดได้จากการไม่ได้ใช้สารเคมีและใช้สารเคมีลดฝุ่นละอองมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 800 g-PM10/VKT ที่ความเร็วของยานพาหนะ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีค่าจาก 0 - 1361 g-PM10/VKT ที่ความเร็วของยานพาหนะ 55 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ลดปริมาณฝุ่นละอองมีค่ากว้างมาก โดยสาร PE ที่เคลือบบนพื้นผิวถนนที่ไม่ได้ลาดยางจะมีความทนทานและความยืดหยุ่นที่ดี มีประสิทธิภาพมากกว่า 80 เปอร์เซนต์ ของค่าเฉลี่ย และภายหลังที่ทำการวัดหลังจากฉีดพ่นไปแล้ว 12 เดือน ส่วน NHCO จะมีประสิทธิภาพ 95 เปอร์เซนต์หลังจากใช้ฉีดพ่นไปแล้ว 8 เดือน ส่วนประสิทธิภาพของ PE และ PEP จะมีค่า 73 เปอร์เซนต์หลังจากฉีดพ่นไปแล้ว 3 เดือน และ 49 เปอร์เซนต์หลังจากฉีดพ่นไปแล้ว 12 เดือน และ BS จะมีประสิทธิภาพ

หอสมุดกลาง ... จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

33 เปอร์เซนต์หลังจากช่วงฉีดแล้วไม่นาน และมีประสิทธิภาพเสื่อมลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

Jones (1984) ทำการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองจากถนนที่ไม่ได้ลาดยางในประเทศเคนยา พบว่าอัตราการสูญเสียของวัสดุที่แพร่กระจายทางอากาศจากถนนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วและชนิดของยานพาหนะด้วย โดยมีการทำการทดลองศึกษาในประเทศอเมริกาและแคนาดาด้วย เพื่อหาข้อสรุปของเหตุผล มีการทดลองใช้วัสดุต่างๆ เช่น ยางมะตอย สารเคมี กากเคมีของเสีย และการฉีดน้ำ เพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง พบว่าจากการสังเกตในเคนยาเมื่อทดลองใช้วิธีการฉีดพ่นน้ำ ภายหลังจากคืนที่มีฝนตกเล็กน้อย (น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร) ปริมาณฝุ่นละอองยังไม่มีการฟุ้งกระจายจนถึงกลางวันของอีกวันหนึ่ง การฉีดพ่นน้ำหรือฝนตกช่วยบรรเทาการเกิดฝุ่นละออง โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมของถนนเป็นตัวควบคุมอัตราการแห้งของพื้นผิวถนน

Jutze และ Axtell (1974) ทำการทดลองควบคุมฝุ่นละอองโดยการฉีดพ่นน้ำ พบว่าประสิทธิภาพของการควบคุมการฉีดพ่นน้ำขึ้นอยู่กับจำนวนความถี่ของการฉีดพ่นน้ำ โดยแนะนำว่าถ้าทำการฉีดพ่นน้ำวันละสองครั้งให้ทั่ว สามารถประมาณการลดลงของการฟุ้งของฝุ่นละอองลงได้ถึง 50 เปอร์เซนต์

Pilaj , Enson และ Bosch (1970) ทำการศึกษาถึงอัตราการเกิดปริมาณฝุ่นละอองจากถนนโดยการใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบ Cascade Impactor นำขึ้นผูกไว้บนรถพ่วงหลังรถยนต์และทดลองที่ความเร็วที่ 16 , 32 และ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่ามีการเพิ่มขึ้นแบบ exponential ของน้ำหนักของฝุ่นละอองที่ถูกเก็บจากความเร็วที่เพิ่มขึ้นจาก 16 จนถึง 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความเร็วคงที่ที่ 32 กิโลเมตรต่อชั่วโมงมีปริมาณฝุ่นละออง 2.1 กิโลเมตร ถูกกำจัดจากถนนต่อกิโลเมตรของยานพาหนะที่วิ่งระดับการจราจรของยานพาหนะ 100 คันต่อวันจะมีปริมาณวัสดุขนาดละเอียดถึง 76 ตันถูกกำจัดจากพื้นผิวถนนต่อกิโลเมตรต่อปี