บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ฝุ่น

ฝุ่นเป็นอนุภาคของแข็งใหญ่กว่า Colloid และลอยอยู่ได้ในอากาศชั่วครู่หนึ่ง ฝุ่นละอองมีความหลากหลายด้านกายภาพ และมีองค์ประกอบเป็นของแข็งหรือของเหลว ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในอากาศรอบ ๆ ตัวเรา มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ซึ่งสามารถมองด้วยตาเปล่าโดยไม่ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน ไปจนถึงฝุ่นที่ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีขนาดเล็กกว่า 50 ไมครอน ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ จึงแขวนลอยอยู่ในอากาศนาน หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น ฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 100 ไมครอนอาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2 – 3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี ฝุ่นละอองในอากาศแบ่งเป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายสู่อากาศจากแหล่งกำเนิดโดยตรง และฝุ่นละอองซึ่งเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาต่าง ๆ ในอากาศเช่น จากการรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์หรือปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical reaction) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจึงมีชื่อเรียกต่างกันไปตามลักษณะการรวมตัวฝุ่นละออง เช่น ควัน (Smoke) ฟูม (Fume) หมอกน้ำค้าง (Mist) เป็นต้น

ลักษณะของฝุ่น

ฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในอากาศมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกัน สภาพทางภูมิอากาศและลักษณะลมฟ้าอากาศอุตุนิยมวิทยามีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละออง จึงทำให้อนุภาคของฝุ่นละอองมีขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น องค์ประกอบทางเคมี การเกาะตัวกันและโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ขณะที่อยู่ในอากาศ ฝุ่นละอองจะทำปฏิกิริยาต่อกัน
หรือเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมในอากาศ ทำให้โครงสร้างซับซ้อนมากขึ้นโดยฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอนนั้น มาจากไอเสียรถยนต์ การเกิดปฏิกิริยาระหว่างก๊าซชนิดต่าง ๆ ควันไฟ พายุฝุ่น ละอองน้ำทะเลและโรงงานอุตสาหกรรม ฝุ่นขนาด 0.1 – 1.0 ไมครอน มาจากการรวมของควัน ไอเสียกับไอน้ำ และฝุ่นขนาด 0.4 – 0.9 ไมครอน เป็นตัวการในการกระจายแสงและทำให้ท้องฟ้าขมุกขมัว

จากตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองตั้งแต่ต่ำกว่า 0.01 ไมครอนจนถึงขนาดใหญ่กว่า 200 ไมครอน

ตารางที่ 2.1 ขนาดทั่วไปของอนุภาค

สาร	ขนาดของอนุภาค (ไมครอน)
ผงถ่านหิน	25.0 – 250.0
ฝุ่น	20.0 – 200.0
ฝุ่นโรงถลุงเหล็ก	1.0 – 200.0
ผงซีเมนต์	10.0 – 150.0
ขี้เถ้า	3.0 – 110.0
เกสรดอกไม้	20.0 – 60.0
หมอก	1.5 – 40.0
สปอร์พืช	10.0 – 30.0
แบคทีเรีย	1.0 – 15.0
สารเคมีจำกัดแมลงชนิดผง	0.4 – 10.0
สีพ่น	0.1 – 4.0
หมอกควัน (smog)	0.001 – 2.0
ควันบุหรี่	0.01 – 1.0
ควันน้ำมัน	0.03 – 1.0
ควันซิงค์ออกไซด์	0.01 – 0.3
ควันถ่านหิน	0.01 – 0.2

ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ (2536)

ชนิดของฝุ่นละออง

1. แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี

◆ ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ (Organic dust) มีองค์ประกอบของธาตุหลักเป็นคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีทั้งสิ่งไม่มีชีวิต เช่น ละอองเกสรของพืชหรือหญ้า ซึ่งทำให้เกิดการแพ้ได้ และจากสิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดโรคบาดทะยัก คอตีบ วัณโรค ไทฟอยด์ได้

◆ ฝุ่นละอองจากสารอนินทรีย์ (Inorganic dust) มีองค์ประกอบของอิออนต่าง ๆ เช่น SO_4^{2-}, NO^{3-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+, Cl^-,Br^- หรือโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท แอสเบสตอส เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสะสมในร่างกายทำให้เกิดอันตรายร้ายแรง

2. แบ่งตามแหล่งกำเนิด

◆ จากการกัดเซาะของลม (Wind erosion) เช่น เส้นใย ละอองเกสร แร่ธาตุ ฯลฯ

◆ จากอุตสาหกรรม (Industrial dust) เช่น ไฟเบอร์ (กระดาษ สิ่งทอ) ผลิตภัณฑ์เคมี (ปุ๋ย ซีเมนต์ สี สีย้อม และอื่น ๆ) ฝุ่นที่เกิดจากการหล่อและขัดสีโลหะ สารประเภทโพลีเมอร์ และอื่นๆ

◆ จากการเผาไหม้ เช่น จากเตาเผาขยะ เตาในครัวเรือน เตาขนาดเล็กที่ใช้ต้มน้ำในการผลิตไอน้ำ (Boiler) การเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์

ชนิดของฝุ่นละออง นอกจากดูลักษณะโครงสร้างหรือองค์ประกอบทางเคมีแล้วยังจำแนกตามประเภทของอุตสาหกรรม หรือกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดฝุ่นด้วย เช่น ฝุ่นถ่านหิน ฝุ่นปูน ฝุ่นดิน ฝุ่นซิลิกา และฝุ่นคาร์บอน เป็นต้น

แหล่งกำเนิดของอนุภาคฝุ่น

อนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยในอากาศทั่วไปอาจฟุ้งกระจายจากแหล่งกำเนิดโดยตรงหรือเกิดจากปฏิกิริยาต่าง ๆ ในอากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ หรือปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical reaction) อนุภาคฝุ่นละอองจำแนกตามแหล่งกำเนิดได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ฝุ่นที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural particles)

◆ เกิดจากกระแสลม ทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดิน ทราย ละอองน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า ฝุ่นเกลือจากทะเล ภูเขาไฟ ฯลฯ

◆ เกิดจากปฏิกิริยาเคมีแสงของก๊าซ ซึ่งเกิดระหว่างก๊าซโอโซนในธรรมชาติ และสารไฮโดรคาร์บอน ทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดเล็ก รัศมีน้อยกว่า 0.2 ไมครอน

2. ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic particles)

◆ การคมนาคม

การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะประเภทต่าง ๆ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลปล่อยควันดำ ซึ่งเป็นคาร์บอนจำนวนมากที่เกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลหรือการปล่อยควันขาวของรถมอเตอร์ไซค์ ซึ่งเป็นละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น นอกจากนี้การขนส่งหิน ดิน ทราย ซีเมนต์หรือวัตถุอื่น ๆ ที่ไม่ได้คลุมด้วยผ้าใบ หรือถนนสกปรกทำให้มีฝุ่นละอองติดอยู่ที่ล้อหรือถนน เมื่อรถวิ่งทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจาย

◆ การก่อสร้าง

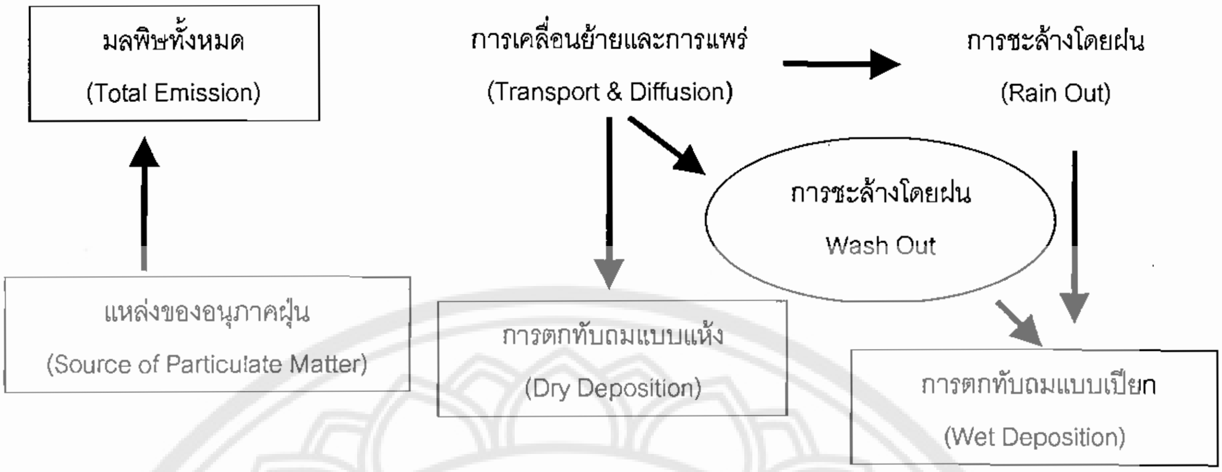
การเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้าง การรื้อถอนทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง การก่อสร้างอาคาร เหล่านี้ล้วนทำให้เกิดฝุ่นฟุ้งได้ง่าย

◆ โรงงานอุตสาหกรรม

การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน แกลบ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดฝุ่นละออง เช่น เถ้าลอย (Coal fly ash) จากโรงงานไฟฟ้า กระบวนการการผลิตที่มีฝุ่นออกมา เช่น การโม่หิน การผลิตปูนซีเมนต์ เป็นต้น

◆ การเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง

การเผาขยะมูลฝอยหรือวัสดุต่าง ๆ เกิดเขม่าขี้เถ้าเป็นจำนวนมากฟุ้งกระจายในอากาศและลอยไปตามกระแสลมปกคลุมพื้นที่กว้าง



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของฝุ่นในบรรยากาศ

ที่มา : คู่มือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและพลังงาน

รูปที่ 2.1 แสดงวัฏจักรของฝุ่นในบรรยากาศ ฝุ่นละอองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดชนิดต่าง ๆ กระจายสู่อากาศแล้วแขนลอยอยู่หรือถูกพัดพาไปตามกระแสลม ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะแขวนลอยในอากาศได้ไม่นานก็ตกกลับลงพื้นด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เรียกว่าการตกกลับแบบแห้ง (Dry deposition) ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจะแขวนลอยในบรรยากาศได้นาน ฝุ่นละอองขนาดเล็กนี้สามารถตกกลับแบบเปียก (Wet deposition) ได้ 2 รูปแบบ คือ อนุภาคฝุ่นเป็นแกนกลางให้ไอน้ำเกาะแล้วรวมตัวอยู่ในเมฆ เรียกว่า Rain out เมื่อฝนชะกลับลงมา เรียกว่า " Wash out "

ผลกระทบของฝุ่นละออง

◆ ผลกระทบต่อฝุ่นละอองทั่วไป

ฝุ่นละอองในอากาศสามารถดูดซับและหักเหแสงได้ทำให้ลดความสามารถในการมองเห็น เกิดทัศนวิสัยในการมองเห็นไม่ดี ถ้ามีฝุ่นแขวนลอยในอากาศมากจนกลายเป็นหมอก จะเป็นอุปสรรคต่อการมองเห็นมากและอาจเกิดอันตรายต่อการสัญจรได้ ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ศึกษาผลของฝุ่นที่มีต่อความสามารถในการมองเห็น พบว่าช่วงการมองเห็นได้ถึง 90 ไมล์ ส่วนด้านตะวันออกสามารถมองเห็นได้ในระยะ 33 – 90 ไมล์ จากเดิมคือ 140 ไมล์

นอกจากนี้ฝุ่นละอองยังมีส่วนเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดภาวะมลพิษทางอากาศรุนแรง โดยเฉพาะเกิดรวมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ เกิดเป็นกรดซัลฟุริกที่มีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ ไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถเกิดปฏิกิริยากับโอโซนและให้ก๊าซซัลเฟอร์ออกมา ปฏิกิริยานี้ยิ่งเกิดเร็วขึ้นถ้ามีฝุ่นในอากาศมาก

◆ ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองในอากาศที่ตกกลับตามแรงดึงดูดของโลก แล้วเกาะติดวัตถุและสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ นอกจากทำให้สกปรกแล้ว ยังมีสมบัติในการดูดซับโลหะ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ไว้ที่ผิวของฝุ่นด้วยหรือจากชนิดของฝุ่นละอองเองที่มีสภาพเป็นกรดหรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอันตราย เมื่อเกาะติดวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างจะทำอันตรายต่อสิ่งนั้นได้ เช่น ทำให้วัสดุที่เป็นวัสดุสึกกร่อน ทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง ทำให้ผลงานทางศิลปะเสื่อมสภาพ ทำให้หลังคาสังกะสีผุกร่อน เป็นต้น

◆ ผลกระทบต่อพืช

เมื่อฝุ่นลงมาสู่พืช ฝุ่นจะจับติดบนส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะใบซึ่งเป็นส่วนที่มีพื้นผิวมากและรับการตกลงมาเกาะของฝุ่นได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง ฝุ่นที่ปิดปากใบยังทำให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในมากขึ้น มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและถ้าฝุ่นนั้นมีพิษปะปนอยู่ เช่น โลหะหนัก หรือปูนซีเมนต์ จะทำให้พืชได้รับพิษเพิ่มจากสารต่าง ๆ นั้นอีกด้วย

◆ ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

นอกจากฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น ทำให้เกิดความสกปรกและสร้างความเดือนร้อนรำคาญแล้ว ยังทำให้เสียชีวิตก่อนเวลาอันสมควร ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจและโรคในระบบหัวใจและหลอดเลือด ระดับความรุนแรงของอาการป่วยจะเปลี่ยนแปลงตามระดับของฝุ่นละออง จากการศึกษาพบว่าอัตราการเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ

โรคหัวใจและหลอดเลือดจะสูงขึ้นเมื่อมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในอากาศปริมาณมาก และมีโอกาสป่วยมากขึ้นในสถานที่ที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ ผู้ใหญ่ที่อาศัยอยู่ในที่มีฝุ่นมากมีโอกาสป่วยเป็นโรคในระบบทางเดินหายใจเฉียบพลันได้สูงเป็นสองเท่าของคนที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองน้อย

ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์

1) ระยะฝุ่นภายนอกร่างกาย

ฝุ่นขนาด 0.4 – 0.9 ไมครอน ซึ่งแขวนลอยในบรรยากาศสามารถกั้นทางเดินของแสงได้ทำให้การมองเห็นในระยะไกลไม่ชัดเจน ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทรับความรู้สึก เช่น ตา จมูก คอ เป็นต้น

2) ระยะฝุ่นเมื่อฝุ่นเข้าสู่ร่างกาย

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่จะติดอยู่บริเวณโพรงจมูกและทางเดินหายใจส่วนบน และถูกกำจัดด้วยการไอ จาม หรือกลืนเข้าไป ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่าอาจเข้าไปติดอยู่ในส่วนเล็ก ๆ ของปอด โดยเมื่อฝุ่นขนาดเล็กถูกสูดเข้าร่างกายด้วยความเร็วลมจากการหายใจเข้า สัมผัสกับส่วนต่าง ๆ ของหลอดลมจะถูกแรงโน้มถ่วงพาให้ตกลงสู่ถุงลมปอด จากนั้นฝุ่นละอองอาจถูกขับออกโดยกลไกของร่างกาย เช่น เมื่อมีอัตราการหายใจสูงหรือหายใจแรง ๆ ฝุ่นจะออกมากับลมหายใจได้ หรืออาจติดค้างอยู่ในปอดตลอดไป ฝุ่นขนาดเล็กจะติดค้างในระบบทางเดินหายใจมากเมื่อมีอัตราการหายใจต่ำและสะสมตัวอยู่บริเวณถุงลมปอด ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคทางเดินหายใจ

มาตรฐานของฝุ่นละออง

มาตรฐานของฝุ่นตกในเมืองต่าง ๆ แสดงดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 2.2 **แสดงมาตรฐานฝุ่นตกของแต่ละประเทศ หน่วย** ($mgm^{-2}\ d^{-1}$)

Argentina	Annuaul average	333
Australia (W. Australia)	Loss of amenity first perceivd	133
	Unacceptable reduction in air quality	333
Canada		
Alberta	Annual average	180
Manitoba	Annual average	153
	(maximum acceotable)	266
	(maximum desirable)	200
Newfoundland	Annual average	153
	Monthly average	233
Ontario	Annual average	170
	Monthly average	200
Finland	Annual average	333
Germany	Long-term average	350^{2}
	Short-term average	650^{2}
Spain	Annual average	200
U.S.A.		
Kentucky	Annual average	196
Louisiana	Annual average	262
Maryland	Annual average	183
Mississippi	Monthly average (abobe background)	175
Montana	Annual average (residential areas)	196
New York	During aly 12 months no more than	
	5 % of 30 d values to exceed	100
	and 84 % to be below	130
North Dakota	3 Monthly average	196
Pennsylvania	Annual average	267
	Monthly average	500
Washington	Annual average	183
Wyoming	Monthly average	170

- Combined weight of bissolved and undissolved deposits.

ข้อมูลการตรวจวัดมลพิษทางอากาศในเขตเมืองพิษณุโลก

จากผลการตรวจวัดคุณภาพคุณภาพอากาศในเขตเมืองพิษณุโลก สรุปผลได้ดังนี้

1. ปริมาณฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา (TPS)

- จุดตรวจวัดที่ 1 ณ. บริเวณถนนนเรศวร มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตลอดช่วงการตรวจวัดอยู่ระหว่าง 407.8 - 969.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อนำมาพิจารณาหาค่าเฉลี่ย รายวัน เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและ สิ่งแวดล้อม พ.ศ.2538 ค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมาที่กำหนดไว้เท่ากับ 330 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu g/m^3$) ทุกตัวอย่างสูงกว่าค่ามาตรฐานและวันที่พบสูงสุดมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานอยู่ประมาณเกือบ 3 เท่า

- จุดตรวจวัดที่ 2 ณ. บริเวณกองบังคับการตำรวจภูธรภาค 6 มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตลอดช่วงการตรวจวัด อยู่ระหว่าง 95.9 -161.4 $\mu g/m^3$ เมื่อนำมาพิจารณานำค่าเฉลี่ยรายวัน ทุกตัวอย่างต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

2. ปริมาณฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา (PM10)

- จุดตรวจวัดที่ 1 ณ. บริเวณถนนนเรศวร มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตลอดช่วงการตรวจวัด เท่ากับ 170 $\mu g/m^3$ โดยค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงอยู่ในช่วง 121.8 - 225.3 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศตามประกาศกรทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2538 ฝุ่นละอองขนาดตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมาของประเทศไทย ที่กำหนดไว้เท่ากับ 120 ($\mu g/m^3$) ทุกตัวอย่างสูงกว่าค่ามาตรฐานและสูงสุดมีค่าเกินมาตรฐานฯ อยู่ประมาณ เกือบ 2 เท่า

- จุดตรวจวัดที่ 2 ณ. บริเวณกองบังคับการตำรวจภูธรภาค 6 มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตลอดช่วงการตรวจวัดเท่ากับ 51.2 $\mu g/m^3$ มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 41.5 - 63.8 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน