



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง กลไกของนาโนเทคโนโลยีเพื่อการพ่นละอองน้ำขนาดเล็กในการลดฝุ่นจราจร
ใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสของกรุงเทพมหานคร

Mechanisms of Nano Technology for Spraying Water Droplets to Decrease
Traffic Dust Under the Sky-Train Station of Bangkok

นามผู้วิจัย นายกิตติชัย ดวงมัลย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชวเลข วณิชเวทิน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

สิขสิขจิ มตาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

กลไกของนาโนเทคโนโลยีเพื่อการพ่นละอองน้ำขนาดเล็กในการลดฝุ่นจราจร
ใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสของกรุงเทพมหานคร

Mechanisms of Nano Technology for Spraying Water Droplets to Decrease Traffic Dust
Under the Sky-Train Station of Bangkok

โดย

นายกิตติชัย ดวงมัลย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติชัย ดวงมาลัย 2557: กลไกของนาโนเทคโนโลยีเพื่อการฟ้นละอองน้ำขนาดเล็กในการลดฝุ่นจากรถไฟฟ้่าบีทีเอสของกรุงเทพมหานคร ปรึญญาปรึชญาดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ปรึชานกรรการที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์เกษม จันทรแก้ว, Ph.D. 96 หน้า

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากลไกของนาโนเทคโนโลยีเพื่อการฟ้นละอองน้ำขนาดเล็กในการลดฝุ่นจากการจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้่าบีทีเอสกรุงเทพมหานคร ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพชั้นสูง ในห้องทดลองขนาด 2X2X4 เมตร ทำการถ่ายภาพที่ 3 ระดับ คือ 0.5 เมตร 1.5 เมตร และ 2.5 เมตร ของฝุ่นละออง และเมื่อมีการฟ้นละอองน้ำขนาดเล็ก ที่ระยะเวลาต่าง ๆ จากนั้นนำภาพมาวิเคราะห์จำนวนอนุภาคขนาดของอนุภาค ตามระยะเวลาที่ทำการถ่ายภาพ โดยพบว่า อัตราการตกตัวของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 500 ไมโครเมตร เมื่อมีการฟ้นละอองน้ำสูงกว่าการตกตัวของฝุ่นละอองที่ไม่ได้มีการฉีดพ่นน้ำ ขนาดของฝุ่นละอองเฉลี่ยที่มีการฉีดพ่นน้ำมีการเพิ่มขนาดตามสมการ $y = 0.8087e^{0.6013x}$ ($R^2 = 0.9359$) เมื่อกำหนดให้ y คือ ขนาดของอนุภาคเฉลี่ย และ x คือ เวลาเป็นนาที และพบว่า ปริมาณละอองน้ำที่เหมาะสมต่อการลดฝุ่นจากการจราจรควรเป็น 10 เท่าของความเข้มข้นของฝุ่นจากการจราจร

การทดสอบประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองจากการจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้่าสะพานควาย โดยการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็กระยะห่างระหว่างหัวฉีด 2.0 เมตร จำนวน 4 แถว ตลอดความยาว 100 เมตร ใต้สถานีรถไฟฟ้่าสะพานควาย รวมหัวฉีดทั้งหมด 208 หัวฉีด เปิด-ปิดการฟ้นละอองน้ำขนาดเล็กทุก ๆ 10 นาที ทำการเก็บตัวอย่างความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่เกาะกลางถนนและริมทางเท้า ด้านนอกสถานีและใต้สถานีรถไฟฟ้่า ทุก ๆ 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 05:00-20:00 น. พบว่า มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดฝุ่นละอองรวม ร้อยละ 33.7 และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ร้อยละ 43.7 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพการลดฝุ่นจากการจราจรด้วยละอองน้ำขึ้นอยู่กับทิศทางลม ช่องเปิดด้านข้างของสถานีและการวางตัวของสถานีรถไฟฟ้่า

ลายมือชื่อนิสิิต

ลายมือชื่อประธานกรรการ

Kittichai Duangmal 2014: Mechanisms of Nano Technology for Spraying Water Droplets to Decrease Traffic Dust Under the Sky-Train Station of Bangkok.
Doctor of Philosophy (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Professor Kasem Chunkao, Ph.D. 96 pages.

This research studied on mechanism of nano technology for spraying water droplets to decrease traffic dust under BTS Bangkok Station via advanced image technique in laboratory size 2 x 2 x 4 m. The images were taken dust in vertical direction at 3 levels (0.5, 1.5, and 2.5 m.), when water spraying and non water spraying at different time. The images were analyzed for number and size of particles. The research found that the deposit rate of sprayed dust particle size less than 500 μm was higher than non-sprayed particle. The sprayed particle size was increased by time as shown in equation $y = 0.8087e^{0.6013x}$ ($R^2 = 0.9359$). Meanwhile, y = average of particulate, x = time (minute). The appropriated water amount should be 10 times of the dust concentration.

The particle decreasing efficiency under Saphan Khwai Station were tested by spraying water droplets every 10 minutes, 2.0 m-nozzle distance, 4 rows, 100 m-length, total 208 nozzles. Samples were collected every 3 hour (5 am.-8 pm.) at street isle, footpath, outside of station, and under station for determining TSP and PM10 concentrations. The findings were shown that the maximum efficiency of particle decreasing by water spraying for TSP 33.7% and PM10 43.7%, respectively, depended on wind direction, open channel beside the station, and station carriage.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันท์แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.ชวเลข วณิชเวทิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันท์แก้ว ผู้ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งให้โอกาสและแนวทางในการทำงานแก่ข้าพเจ้ามาตั้งแต่ปริญญาโทจนถึงปัจจุบัน และเป็นผู้สนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้มีงานและเป็นที่รู้จักในวงการสาขาสิ่งแวดล้อม เป็นที่มาของทุนอุดหนุนงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณ บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ที่ได้สนับสนุนสถานที่ในการวิจัย คือ บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ตลอดจนการติดตั้งเครื่องมือและให้ความสะดวกในการดำเนินการต่างๆ ของงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ ผิวนิล อ.อลงกรณ์ อินทร์รักษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พนิดา โสต้อง อ.ดร.ทัศนีย์บุญประคอง ขอขอบคุณนายวราพล เกษมสันต์ ในการถ่ายภาพด้วยเทคนิคขั้นสูง ขอขอบคุณนายกิตติชัย จำรูญ นายไพฑูรย์ พรหมมารัก นายวิรัตน์ เกตผาสุข นางสาวพรกมล สิงห์คำ นางสาวชนิษฐา จันทัย นางสาวสมกมล อ่อนไสว นายภาดล สหเจริญ ที่ช่วยดำเนินการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณนางสาวเจนจิรา อินชும் ในการช่วยอ่านตรวจแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณมารดาและบิดา ผู้ให้การสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้าตลอดมา และพี่ชายพี่สาว ตลอดจนครอบครัวสกุลดวงมัลย์ ที่คอยให้กำลังใจในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา

กิตติชัย ดวงมัลย์

มีนาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	30
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	86
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM-10) ที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตร บริเวณใต้สถานีสะพานควาย	31
2	ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM-10) ตามรูปแบบการฉีดพ่นน้ำตลอดเวลา เปิด-ปิดละอองน้ำทุกๆ เวลา 5 และ 10 นาที บริเวณใต้สถานีสะพานควาย	34
3	ปริมาณการจราจรบนถนนพหลโยธินที่ผ่านใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551	39
4	สัดส่วนประเภทยานพาหนะบนถนนพหลโยธิน ช่วงที่ผ่านบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	42
5	อุณหภูมิและความชื้น ที่ตำแหน่งต่างๆ บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551	45
6	อุณหภูมิและความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นอย่างฝุ่นละอองของแต่ละสถานีตรวจวัดบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	46
7	ปริมาณความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงเฉลี่ย 3 ชั่วโมงบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	48
8	ทิศทางลมหลักในแต่ละช่วงเวลาทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	51
9	ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM-10) บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	55
10	ปริมาณการจราจรและความเร็วเฉลี่ย 3 ชั่วโมง ของยานพาหนะบนถนนพหลโยธิน บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	57
11	ทิศทางลมหลักที่ตรวจพบของแต่ละสถานีระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551	58
12	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM-10) บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย แยกตามทิศทางลมหลัก ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551	60
13	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM-10) บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย แยกตามทิศทางลมหลัก ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
14 ร้อยละการลดลงของความเข้มข้นฝุ่นละอองเมื่อเปรียบเทียบโซน A และโซน C ด้านนอกสถานีทิศเหนือและทิศใต้ ต่อโซน B ได้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	69
15 จำนวนอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ตามช่วงเวลาที่ทำการถ่ายภาพและตรวจนับด้วยโปรแกรม i-Solution	74
16 จำนวนอนุภาคละอองน้ำขนาดเล็ก ขนาดต่างๆ ตามช่วงเวลาที่ทำการถ่ายภาพและตรวจนับด้วยโปรแกรม i-Solution	75
17 จำนวนอนุภาคฝุ่นเมื่อพ่นละอองน้ำขนาดเล็ก ขนาดต่างๆ ตามช่วงเวลาที่ทำการถ่ายภาพและตรวจนับด้วยโปรแกรม i-Solution	77
18 สัดส่วนจำนวนอนุภาคขนาดต่างๆ ของแต่ละรูปแบบการทดลอง	78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดงานวิจัยกลไกของนาโนเทคโนโลยีเพื่อการฟ้นละอองน้ำขนาดเล็กในการลดฝุ่นจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสของกรุงเทพมหานคร	6
2	เส้นทางของระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร	8
3	ลักษณะการปิดทับของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าบนถนนที่มีอาคารพาณิชย์ด้านข้าง	9
4	ลักษณะการเคลื่อนที่แนวตั้งของอากาศ	12
5	เปรียบเทียบโอกาสในการชนกันระหว่างอนุภาคฝุ่นกับขนาดหยดละอองน้ำ	16
6	การเก็บอนุภาคด้วยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยและการรับตรง	18
7	แรงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง	22
8	ลักษณะการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำแรงดันสูงภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (ก) ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 1.0 เมตร (ข) ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 1.5 เมตร (ค) ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 2.0 เมตร	24
9	พื้นที่ศึกษาบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	26
10	ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์หัวฉีดน้ำความดันสูงและเครื่องมือต่างๆ บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	27
11	ห้องทดลองถ่ายภาพฝุ่นละอองด้วยเทคนิคขั้นสูง	29
12	ลักษณะอาคารและช่องว่างด้านข้างของสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	36
13	ภาพจำลองการทำงานของหัวฉีดละอองน้ำความดันสูงภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	37
14	ปริมาณการจราจรและความเร็วบนถนนพหลโยธินระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551	41
15	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สถานีตรวจวัดต่างๆ บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	44
16	ทิศทางลมหลักจำนวน 16 ทิศลม แบบ blowing from	49
17	ความเร็วลมเฉลี่ย 3 ชั่วโมง บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551	52
18	ความเร็วลมเฉลี่ย 3 ชั่วโมง บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551	52
19	ตำแหน่งการตั้งเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองและทิศทางการวางตัวของสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการตรวจนับปริมาณและขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม i-Solution (ก) อนุภาคฝุ่นละอองตามช่วงเวลา 0-10 นาที (ข) อนุภาคฝุ่นละอองเมื่อรวมตัวกับละอองน้ำตามช่วงเวลา 0-5 นาที	73
21	จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่ตรวจนับได้ที่ 3 ระดับ จากห้องทดลอง การถ่ายภาพ	75
22	จำนวนอนุภาคละอองน้ำขนาดต่างๆ ที่ตรวจนับได้ที่ 3 ระดับ จากห้องทดลอง การถ่ายภาพ	76
23	จำนวนอนุภาคละอองน้ำขนาดต่างๆ ที่ตรวจนับได้ที่ 3 ระดับ จากห้องทดลอง การถ่ายภาพ	78
24	ความสัมพันธ์การตกตัวของอนุภาคฝุ่นละออง	81
25	ความสัมพันธ์การตกตัวของอนุภาคฝุ่นกับละอองน้ำ	81
26	ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคกับเวลา	82
27	ภาพจำลองการจับตัวของอนุภาคฝุ่นและโมเลกุลของน้ำ	83

กลไกของนาโนเทคโนโลยีเพื่อการพ่นละอองน้ำขนาดเล็กในการลดฝุ่นจราจร ใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสของกรุงเทพมหานคร

Mechanisms of Nano Technology for Spraying Water Droplets to Decrease Traffic Dust Under the Sky-Train Station of Bangkok

คำนำ

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองหลวงของประเทศไทยที่เป็นศูนย์กลางความเจริญทางด้านหน้าที่หลากหลาย ทั้งเศรษฐกิจ สังคม การเมือง การปกครอง การศึกษา และการคมนาคม ซึ่งความเจริญดังกล่าวทำให้เกิดการพัฒนาเมืองเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งทางด้านสิ่งก่อสร้าง การจราจร ปริมาณประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ปัญหาการจราจรที่คับคั่ง แออัด ส่งผลต่อปัญหามลพิษทางอากาศในเมืองหลวงจึงเกิดตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปี พ.ศ. 2538 ระบบขนส่งมวลชนได้เกิดขึ้นเป็นโครงการแรกในประเทศไทย คือ ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร เพื่อช่วยลดปัญหาการจราจรในเมืองหลวงและลดปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการจราจรที่แออัด โดยโครงการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนนี้เชื่อมต่อเส้นทางธุรกิจในเมืองกับชานเมืองเข้าด้วยกัน การก่อสร้างเส้นทางรถไฟฟ้าพยายามใช้พื้นที่เกาะกลางถนนในการก่อสร้างต่อม่อเพื่อรองรับโครงสร้างระบบรถไฟฟ้า ลดผลกระทบจากการเวนคืนที่ดิน โดยเส้นทางรถไฟฟ้าได้วางไปตามแนวถนนที่เป็นศูนย์กลางเศรษฐกิจ ตั้งแต่สถานีหมอชิตบนถนนพหลโยธินไปถึงสถานีอ่อนนุชบนถนนสุขุมวิท และจากศูนย์กีฬาแห่งชาติไปถึงสะพานตากสิน ระยะทางทั้งสิ้น 23.5 กิโลเมตร มีจำนวนสถานีทั้งหมด 25 สถานี เนื่องจากความกว้างของถนนในเมืองมีความกว้างประมาณ 21.30 เมตร และตัวโครงสร้างสถานีเพื่อรับ-ส่งผู้โดยสารขึ้น-ลง มีความกว้างของตัวสถานีประมาณ 25 เมตร ความยาวประมาณ 150 เมตร ทำให้สถานีรถไฟฟ้ามีโครงสร้างปกคลุมพื้นที่ถนนเกือบทั้งหมด ในบางสถานีด้านข้างของถนนมีอาคารพาณิชย์ความสูงประมาณ 3-4 ชั้น หรือ 14-18 เมตร ก่อสร้างขนานกับตัวสถานี และด้วยความสูงของสถานีบางสถานีสูงประมาณ 5.5-6.0 เมตร ซึ่งทำให้ลักษณะของใต้สถานีรถไฟฟ้า มีความคล้ายคลึงกับบ่ออุโมงค์ (street canyon) เป็นแหล่งสะสมมลพิษทางอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละออง เนื่องจากอากาศไม่สามารถถ่ายเทได้สะดวก ส่งผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัยและผู้ที่มีกิจกรรมบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า จากผลการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ทางสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบัน) ได้มีการกำหนดมาตรการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยให้ใช้พัดลมระบายอากาศจากใต้สถานีขึ้นไปด้านบนของสถานี แต่ด้วยวิธีการดังกล่าวเป็นการระบายอากาศที่มี

ความเข้มข้นของฝุ่นสูงจากบริเวณใต้สถานี ไปยังพื้นที่ด้านนอกซึ่งเป็นการเพิ่มมลพิษทางอากาศให้แก่บริเวณที่ระบายอากาศออกไป และเป็นการเพิ่มปัญหาและผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัยและผู้ประกอบกิจกรรมในพื้นที่ใหม่ที่ระบายอากาศออกไป

U.S. EPA (1992) ได้ให้ความหมายของศัพท์และขนาดของอนุภาคต่างๆ ได้แก่ TSP (Total Suspended Particulate) หมายถึง ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ตั้งแต่ 100 ไมโครเมตรลงมา ทำการเก็บตัวอย่างโดยเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (hi-volume air sampler) PM10 คือ อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร IP (Inhalable Particulate) คือ ฝุ่นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์เล็กกว่า 15 ไมโครเมตร บางครั้งใช้สัญลักษณ์ PM15 และ FP (Fine Particulate) คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) โดยพบว่าฝุ่นละอองยังมีขนาดเล็กยังมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ อนุภาคจะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจไปจนถึงข้อปอดและเนื้อเยื่อของปอดได้

จากลักษณะโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้ที่ปิดทึบด้วยอาคารพาณิชย์ด้านข้างจึงทำให้เกิดลักษณะคล้ายอุโมงค์ เป็นแหล่งสะสมมลพิษที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงกว่าพื้นที่ทั่วไป Strak *et al.* (2011) ได้ศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่ำกว่า 10 ไมโครเมตรและขนาดต่ำกว่า 2.5 ไมโครเมตร ในประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่า บริเวณสถานีรถไฟฟ้ใต้ดินมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงกว่าค่าความเข้มข้นในพื้นที่ทั่วไปในเมือง 14.1 และ 7.6 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lonati and Giugliano (2006); Cheng *et al.* (2008); Kim *et al.* (2008) ; Cheng and Yan (2011); Srimuruganandam and Nagendra (2011) ที่มีการศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองในพื้นที่นอกสถานีรถไฟฟ้กับในสถานีรถไฟฟ้ พบว่าในสถานีรถไฟฟ้มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มากกว่าพื้นที่นอกสถานี สาเหตุหลักมาจากปริมาณการจราจรใต้สถานีและสภาวะทางอุตุนิยมวิทยามีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองโดยในฤดูฝนจะมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองน้อยกว่าในฤดูแล้ง

ด้วยปัญหาการสะสมฝุ่นละอองใต้สถานีรถไฟฟ้จึงได้พยายามหาวิธีการกำจัดฝุ่นละอองภายใต้สถานีรถไฟฟ้ การใช้เทคโนโลยี water spraying ถูกคิดค้นขึ้น ด้วยแนวคิดของการให้น้ำเพิ่มขนาดและน้ำหนักของฝุ่นละอองและให้ตกลงตามแรงโน้มถ่วง จากนั้นดูดเก็บเศษฝุ่นละอองดังกล่าวออกจากพื้นที่ ซึ่งเป็นการกำจัดฝุ่นในพื้นที่และไม่สร้างมลภาวะให้พื้นที่อื่นเพิ่มขึ้น เทคโนโลยีดังกล่าวได้มีการใช้กับฝุ่นหินในเหมืองที่ขนาดใหญ่ โดยการพ่นละอองน้ำเพื่อจับฝุ่นด้วยประสิทธิภาพของการลดฝุ่นละอองขึ้นกับขนาดของละอองน้ำและขนาดของฝุ่นละอองต้องมีขนาดใกล้เคียงกัน จึงทำให้มีโอกาสการจับกันของฝุ่นและละอองน้ำเป็นไปได้สูง ดังนั้นหากจะกำจัดฝุ่นละอองที่เกิดจากการจราจรบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ จำเป็นต้องสร้างละอองน้ำ (water

spraying) ให้มีขนาดใกล้เคียงกับฝุ่นละออง คือ ขนาด 10 ไมครอน โดยกลไกของการลดฝุ่นละอองด้วยน้ำมี 3 วิธีการ คือ 1) การกระทบด้วยแรงเฉื่อย (Inertial impaction) 2) การแพร่ (Brownian diffusion) และ 3) การสกัดกั้น (Interception) (วิวัฒน์ และ คานาโอกะ, 2535) มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการลดปริมาณฝุ่นละออง คือ ขนาดของละอองน้ำและการแพร่กระจายของละอองน้ำ ความชื้น และทิศทางลม เป็นองค์ประกอบต่อความสามารถของการลดฝุ่นละอองได้

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษากลไกการลดลงของฝุ่นละอองจากรถด้วยการใช้ละอองน้ำความดันสูง ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพขั้นสูงในห้องทดลอง เพื่อเป็นการอธิบายปรากฏการณ์ที่ใช้ละอองน้ำลดปริมาณฝุ่นละอองจากรถภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายในสภาพจริงของพื้นที่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากลไกการลดลงของฝุ่นละอองจากการจราจรด้วยการใช้ละอองน้ำความดันสูงภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดลงของฝุ่นละอองจากการจราจรด้วยการใช้ละอองน้ำความดันสูงภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย
3. เพื่อศึกษาปัจจัยหรือเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการลดลงของฝุ่นละอองจากการจราจรด้วยการใช้ละอองน้ำความดันสูงภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

สมมติฐาน

ละอองน้ำความดันสูงขนาดเล็กมีความสามารถในการลดฝุ่นละอองจากการจราจรภายใต้สภาวะแวดล้อมคล้ายอุโมงค์

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษากลไกการลดลงของฝุ่นละอองจากการจราจรด้วยการใช้ละอองน้ำความดันสูงดำเนินการบริเวณภายใต้สถานีระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร สถานีสะพานควาย โดยการศึกษาสภาวะจริงของฝุ่นจราจรและการลดปริมาณฝุ่นโดยละอองน้ำขนาดเล็ก และศึกษากลไกการลดลงของฝุ่นจากการจราจรด้วยละอองน้ำความดันสูงขนาดเล็กภายในห้องทดลอง ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพชั้นสูงและหาความสัมพันธ์ขนาดของฝุ่นตามระยะเวลาหลังจากการพ่นละอองน้ำ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบถึงกลไกการลดฝุ่นละอองจากการจราจรขนาดเล็กด้วยละอองน้ำแรงดันสูง และสภาวะที่เหมาะสมต่อการใช้ระบบละอองน้ำแรงดันสูงภายใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อสถานีรถไฟฟ้าอื่นๆ ที่มีสภาพปิดทึบเช่นเดียวกับสถานีสะพานควาย

กรอบงานวิจัย

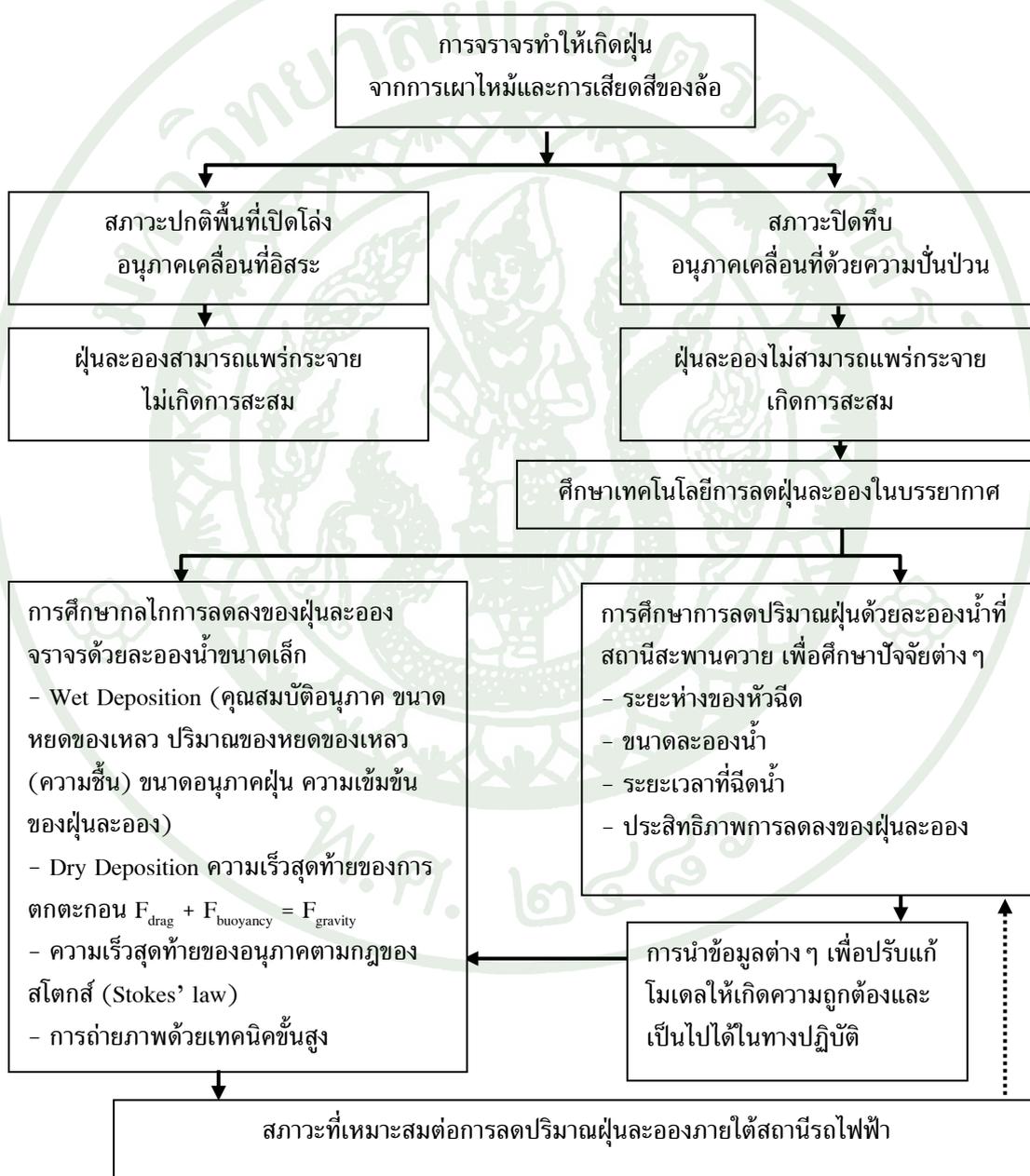
ฝุ่นละอองเป็นมลสารในอันดับต้น ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพชีวิตโดยเฉพาะในเรื่องสุขภาพอนามัยของประชาชน โดยฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่เกินกว่า 10 ไมโครเมตร จะก่อให้เกิดความรำคาญ ขนจมูกในโพรงจมูกจะสามารถช่วยในการสกัดกั้นฝุ่นละอองดังกล่าวไม่ให้ลงสู่ปอดได้ ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสุขภาพเพราะยิ่งอนุภาคฝุ่นละอองมีขนาดเล็กจะยิ่งสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและกระแสเลือดได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายโดยตรงตามแต่ชนิด/ประเภทของอนุภาคฝุ่นนั้น

สภาวะการปิดทับของสถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้ม ช่วงบางซื่อ-รังสิต โดยโครงสร้างของสถานีที่ปิดทับบนถนน และมีอาคารขนานด้านข้างทั้งสองข้างทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคฝุ่นละอองภายใต้สถานีดังกล่าว ส่งผลให้มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกินกว่ามาตรฐาน หากประชาชนที่พักอาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าวได้รับอนุภาคฝุ่นละอองเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากและต่อเนื่องย่อมส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ดังกล่าวอย่างแน่นอน

แนวคิดในการลดมลสารโดยเฉพาะอนุภาคฝุ่นละอองภายใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้ม ช่วงบางซื่อ-รังสิต โดยแนวคิดหนึ่งคือ การใช้พัดลมระบายอากาศ แต่ด้วยการใช้พัดลมระบายอากาศไม่สามารถผลักดันมวลอากาศให้เคลื่อนที่ไปตามแนวที่ต้องการได้ เนื่องจากภายใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้มมีช่องว่างและไม่เป็นลักษณะอุโมงค์ที่สมบูรณ์ มวลอากาศจึงเคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทาง อีกทั้งเมื่อมวลอากาศที่มีอนุภาคฝุ่นถูกผลักดันจากที่หนึ่งภายใต้สถานีออกสู่ด้านนอกจะทำให้เกิดการสะสมสู่บริเวณอื่นที่มวลอากาศพัดพาไป อันได้แก่ อาคารที่พักอาศัยของประชาชนในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งไม่ได้เป็นการแก้ปัญหาที่ตัวต้นเหตุ คือ อนุภาคฝุ่นละออง และตัวพัดลมเองก็มีเสียงที่จะทำให้เกิดการก้องภายใต้สถานีเกิดมลพิษทางเสียงตามมา ดังนั้น การดำเนินการลดอนุภาคฝุ่นละอองภายใต้สถานีสีแดงเข้มด้วยการใช้ละอองน้ำขนาดเล็กแรงดันสูงจึงได้ถูกนำมาใช้ เพื่อให้อนุภาคของน้ำและฝุ่นละอองเกิดการกระทบกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นและตกลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นในบรรยากาศลดลง

การศึกษากลไกการลดลงของฝุ่นละอองจากราด อาศัยหลักการตกตะกอนแบบแห้ง (dry deposition) และการตกตะกอนแบบเปียก (wet deposition) ซึ่งหลักการดังกล่าวเป็นการคำนวณในห้องปฏิบัติการที่สร้างขึ้นเพื่อการกำจัดฝุ่นละอองโดยตรง แต่ยังไม่มีการศึกษากลไกการกระทบ/การจับกันของอนุภาคฝุ่นละอองและหยดน้ำที่มีขนาดใกล้เคียงกันว่าเป็นอย่างไร อีกทั้งลักษณะพื้นที่ที่กึ่งปิดกึ่งเปิดอย่างเช่นใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้มช่วงบางซื่อ-รังสิตนั้น มีปัจจัยอื่นที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จึงได้ทำการทดลองการใช้หัวฉีดแรงดันสูงติดตั้งที่ใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดงเข้มช่วงบางซื่อ-รังสิต

เพื่อให้เกิดละอองน้ำขนาดเล็กได้สัมผัสกับอนุภาคฝุ่นละออง และหาประสิทธิภาพการลดลงของ ฝุ่นละอองด้วยการใช้ละอองน้ำขนาดเล็ก โดยเก็บข้อมูลปัจจัยต่าง ๆ ขณะทำการตรวจวัดเพื่อ อธิบายปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการลดฝุ่นละอองใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย และทำการศึกษาหา ความสัมพันธ์ของละอองน้ำต่อกลไกการลดลงของฝุ่นละอองใต้สถานีรถไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการ ถ่ายภาพขั้นสูงและโปรแกรมการตรวจนับอนุภาคขนาดเล็ก



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัยกลไกของนาโนเทคโนโลยีเพื่อการพ่นละอองน้ำขนาดเล็กในการลดฝุ่นจากรถใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสของกรุงเทพมหานคร

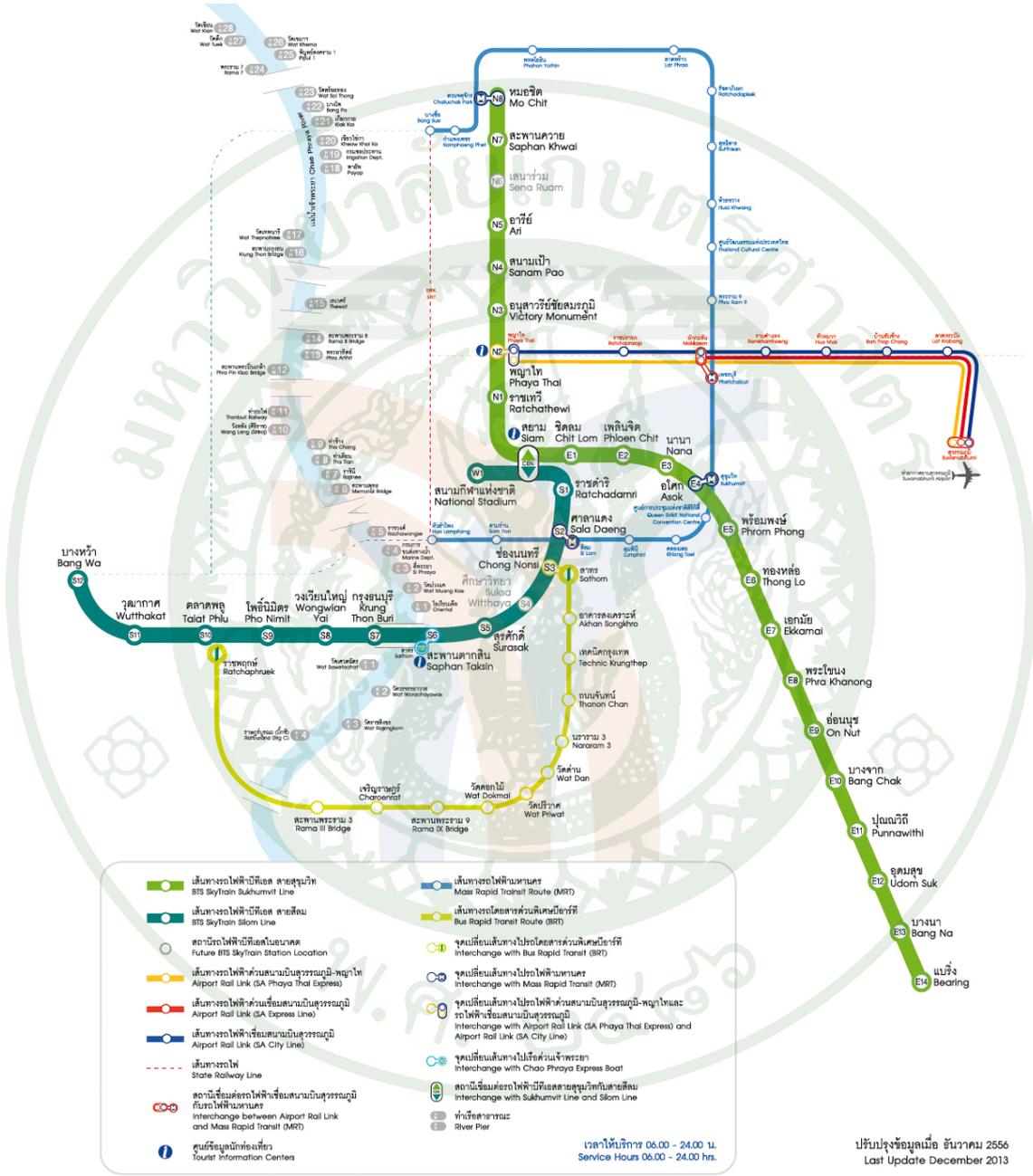
การตรวจเอกสาร

ระบบขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานคร

ปัญหามลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร เริ่มพัฒนาตัวมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2513 ด้วยเหตุผลที่กรุงเทพมหานครเป็นเมืองศูนย์กลาง ที่ประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ มากมาย เป็นที่รวมของการประกอบอาชีพ และที่อยู่อาศัย จึงทำให้จำนวนประชากรเพิ่มสูงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และความต้องการในการสัญจรสูงมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้เกิดการจราจรที่ติดขัดต่อเนื่อง จนทำให้เกิดมลสารต่างๆ ที่เกินกว่าค่ามาตรฐาน ในรูปของก๊าซต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน ออกไซด์ของซัลเฟอร์ นอกจากนี้ยังพบปริมาณฝุ่นละออง และสารแขวนลอยในอากาศ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดมลสารต่างๆ เกินมาตรฐานจนทำให้เกิดมลพิษ ประกอบด้วย จำนวนปริมาณการจราจร ความเร็วของการจราจร รูปร่างลักษณะของถนน พื้นผิวความขรุขระของถนน ตำแหน่งของถนนที่มีอาคารปลูกสร้างอยู่สองข้างทางทำให้มีลักษณะคล้ายอุโมงค์ (street canyon) ซึ่งสารมลพิษดังกล่าวมีผลต่อการหายใจของประชาชนที่ใช้พื้นที่ในบริเวณดังกล่าว ทั้งผู้ที่อยู่อาศัยในบริเวณนั้น ผู้สัญจรบริเวณริมถนน และผู้ประกอบการอาชีพในพื้นที่

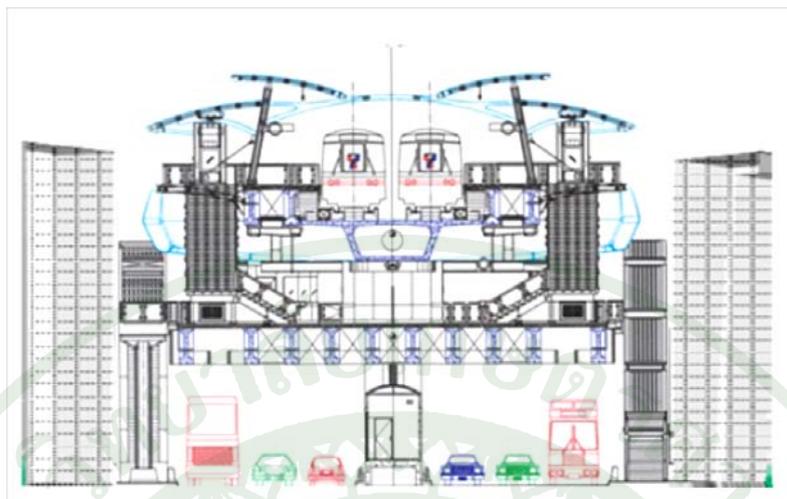
จากสภาพปริมาณการจราจรที่สูงมากขึ้นและติดขัดทำให้มีมลพิษทางอากาศ เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว กรุงเทพมหานครจึงได้วางแผนการสร้างระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพขึ้น เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาการจราจรและมลพิษทางอากาศ โดยได้ให้สัมปทานแก่ บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ในปี พ.ศ. 2538 ก่อสร้างระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานครขึ้น ในระยะแรกได้สร้างรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนโดยมีระยะทางรวม 23.5 กิโลเมตร ประกอบด้วย 25 สถานี 2 สายทาง คือ สายทางสุขุมวิท เริ่มจากสถานีหมอชิต-สถานีอ่อนนุช จำนวน 18 สถานีรวมสถานีร่วมคือ สถานีสยาม และสายสีลม เริ่มจากสถานีสนามกีฬาแห่งชาติ-สถานีสะพานตากสิน รวม 8 สถานีรวมสถานีร่วม (ภาพที่ 2) ซึ่งเป็นรถไฟฟ้าสายแรกในประเทศไทย การก่อสร้างได้ออกแบบให้ใช้พื้นที่เกาะกลางถนนในการก่อสร้างเสาตอม่อของระบบขนส่งเพื่อลดปัญหาเรื่องการเวนคืนที่ดินเพื่อการก่อสร้าง และกำหนดสถานีรถไฟฟ้าแต่ละสถานีห่างกันประมาณ 1 กิโลเมตร ตัวเส้นทางได้ผ่านไปบนถนนพหลโยธิน ถนนสุขุมวิท ถนนสีลม ถนนสาทร ซึ่งถนนดังกล่าวมีการจราจรที่หนาแน่น และเป็นถนนธุรกิจสายหลักของกรุงเทพมหานคร จึงทำให้มีอาคารพาณิชย์ก่อสร้างระหว่างสองข้างถนนเป็นจำนวนมาก ด้วยสถานีที่กำหนดระยะห่างประมาณ 1 กิโลเมตร และตัวสถานีมีความกว้างประมาณ 25 เมตร สูงจากพื้นที่ประมาณ 6 เมตร เมื่อไปตั้งอยู่ในบริเวณถนนที่มีอาคารพาณิชย์ขนาบทั้งสองข้างจึงทำให้มีลักษณะการปิดทับคล้ายอุโมงค์ ด้วยลักษณะดังกล่าวได้สถานีจึงเป็นที่สะสมมลสารทั้งก๊าซและฝุ่นละออง ไม่ให้มีการฟุ้งกระจายไปได้เช่นเดียวกันกับใน

พื้นที่เปิดโล่ง โดยพบลักษณะของสถานีที่ค่อนข้างปิดทึบ ได้แก่ สถานีสะพานควาย สถานีศาลาแดง สถานีพระโขนง (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 2 เส้นทางของระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร

ที่มา: บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) (2554)



ภาพที่ 3 ลักษณะการปิดทับของโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าบนถนนที่มีอาคารพาณิชย์ด้านข้าง

ในขณะนั้น สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (ปัจจุบัน คือ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) ได้มีข้อคิดเห็นในมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในกรณีของสถานีที่มีสถานะปิดทับ ให้ติดตั้งพัดลมดูดอากาศออกจากใต้สถานีขึ้นสู่ด้านบนของสถานีรถไฟฟ้า แต่ด้วยลักษณะดังกล่าวเป็นการนำเอามลสารจากแห่งหนึ่งไปสู่อีกแห่งหนึ่งซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นอีกในลำดับต่อไป อีกทั้งการติดตั้งพัดลมดูดอากาศจะทำให้เกิดเสียงก้องใต้สถานี จึงได้มีการประสานงานกับผู้จัดการใหญ่สายปฏิบัติการของบริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) เพื่อหาแนวทางในการลดปริมาณฝุ่นละอองใต้สถานีรถไฟฟ้า โดยการฟ่นละอองน้ำขนาดเล็ก ทั้งนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการลดปริมาณฝุ่นละอองจากราดด้วยละอองน้ำและสามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้จริงในอนาคตต่อไป จึงเกิดการศึกษาค้นคว้าการฟ่นละอองน้ำขนาดเล็กภายใต้สถานีรถไฟฟ้าขึ้น โดยได้ศึกษาหาระยะห่างของการติดตั้งหัวฉีดฟ่นละอองน้ำ ระยะการเปิด-ปิดละอองน้ำ รวมถึงอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อการลดปริมาณฝุ่นละอองภายใต้สถานีรถไฟฟ้า นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษากลไกการลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการฟ่นละอองน้ำดังกล่าวด้วย

การสะสมของฝุ่นละอองใต้สถานีรถไฟฟ้า

ด้วยลักษณะของใต้สถานีเป็นลักษณะคล้ายอุโมงค์ (street canyon) ลักษณะดังกล่าวทำให้มีการสะสมตัวของฝุ่นละออง จากการรวบรวมเอกสารการศึกษาของ Gerdes and Olivari (1999); Vignati *et al.* (1999); Li *et al.* (2007); Ghenu *et al.* (2008); Xie *et al.* (2009); Memon *et al.* (2010); Weber *et al.* (2013) ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น

ละอองบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน และบริเวณชานชะลา พบว่าในสภาวะปิดทับเป็นอุโมงค์จะทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองบริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่าพื้นที่อ้างอิงทั่วไปในเขตเมือง เนื่องจากการขวางกั้นโดยกำแพงด้านข้าง จึงทำให้อนุภาคฝุ่นสะสมตัวอยู่ในอุโมงค์ นอกจากนี้ที่บริเวณท้ายลมจะมีการสะสมของฝุ่นละอองมากกว่าบริเวณเหนือลม ซึ่งปริมาณการจราจรบนถนน ทิศทางลมและความเร็วลมจะทำให้เกิดการไหลวนของอากาศแบบปั่นป่วน (turbulent) และพบว่าเมื่อความเร็วของลมลดลง จะทำให้อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อการสะสมตัวของฝุ่นละอองในพื้นที่คล้ายอุโมงค์ (street canyon) (Caton *et al.* 2003; Longley *et al.* 2003; Xie *et al.* 2005; Kumar *et al.* 2008a, 2008b, 2011)

Harrison *et al.* (2001); Lenschow *et al.* (2001); Ketzel *et al.* (2007); Amato *et al.* (2010) ได้ทำการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองจากถนนในเมืองขนาด PM₁₀ ในหลายๆ พื้นที่ พบว่าฝุ่นละอองเกิดมาจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และการลอยตัวกลับของฝุ่นจราจร มีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ โดยพบว่าฝุ่นละอองที่เกิดจากการลอยตัวกลับมักมีแร่ธาตุปนอยู่มาก เช่น Cu, Sb, Fe, Mn, Mo, Zn และ Sn เนื่องจากการผสมระหว่างอนุภาคของการเผาไหม้และส่วนประกอบของการเคลื่อนที่ของรถยนต์ เช่น เบรก ยางรถ ส่วนการหมุนจานเบรก เป็นต้น

กรมควบคุมมลพิษ (2539); กมล (2540); Amato (2013) ได้รวบรวมอันตรายจากฝุ่นละอองที่มีผลต่อระบบทางเดินหายใจและปอด พบว่า ฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะมีอันตรายมากกว่าฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ เมื่ออากาศเดินทางผ่านระบบทางเดินหายใจจะมีระบบป้องกันจับสิ่งแปลกปลอมที่มากับอากาศโดยอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร ส่วนใหญ่จะถูกดักจับไว้ที่ภายในโพรงจมูกและคอ ฝุ่นที่ผ่านลอดไปบางส่วนจะถูกจับโดยการคัดหลั่งน้ำเมือกออกจากผิวของหลอดลมเมือกเหล่านี้จะถูกดันขึ้นมาโดยขนขนาดเล็ก (cilia) อนุภาคที่เหลือลงไปในหลอดลมส่วนใหญ่มิขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร ซึ่งฝุ่นละอองขนาดเล็กนี้จะผ่านเข้าสู่ถุงลมปอดและฝังตัวอยู่ในเนื้อเยื่อปอดทะลุเข้าไปในท่อน้ำเหลือง จึงก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ และอาจเป็นโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ดังนี้

1) โรคภูมิแพ้ (allergic reaction) เกิดขึ้นโดยการหายใจเอาอนุภาคฝุ่นบางชนิดเข้าไปแล้วกระตุ้นที่เนื้อเยื่อ ทำให้ปลดปล่อยเมือกออกมาห่อหุ้มแล้วค่อยๆ ซับโดยขนเล็กๆ การสะสมของฝุ่นละอองที่ผิวทางเดินหายใจจะทำให้หายใจไม่สะดวก โดยจะเกิดขึ้นชั่วคราวเมื่อได้รับฝุ่นละอองและอาการจะไม่รุนแรง

2) นิวโมโคนิโอซิส (pneumoconiosis) คือ โรคปอดมีอาการผิดปกติที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นละอองอนินทรีย์ (inorganic dust) จากบรรยากาศเข้าไปสะสมในปอด ลักษณะของอนุภาคทำให้เกิดนิวโมโคนิโอซิสนั้น จะเป็นเส้นใยแข็งยึดติดอยู่กับปอด ซึ่งมีผลทำให้เกิดการระคายเคืองต่อปอด ปอดจะสร้างเนื้อเยื่อหรือเส้นใยมาห่อหุ้ม ดังนั้น ยิ่งหายใจเอาฝุ่นอนินทรีย์เข้าไปมากเท่าไรก็มีผลทำให้เป็นโรคนี้นี้ได้มากขึ้น อาการขั้นแรกคือหายใจลำบาก เนื่องจากการทำงานของปอดลดน้อยลง

3) ซิลิโคซิส (silicosis) โรคที่หายใจเอาฝุ่นทรายหรือฝุ่นซิลิกาเข้าไป โดยฝุ่นซิลิกาจะเป็นผลึกแหลมเมื่อเข้าไปสะสมในปอด ปอดจะสร้างพังผืดขึ้นมาห่อหุ้ม อาการของโรคจะทำให้หายใจได้ลำบาก เหนื่อยง่าย ทำงานได้น้อยลง อ่อนเพลีย ซึ่งอาจส่งผลสู่การติดเชื้อวัณโรคได้ง่าย

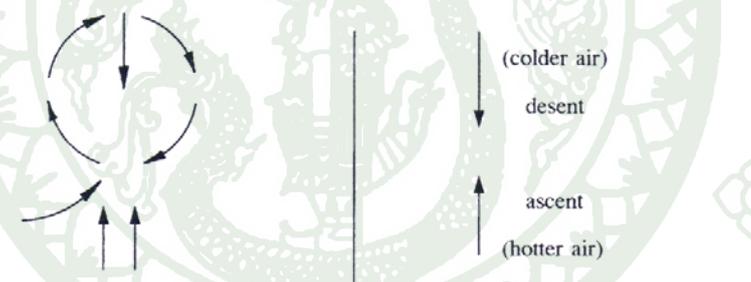
นอกจากนี้ อนุภาคมลสารที่ได้รับความสนใจและเริ่มมีการศึกษาวิจัยในปัจจุบันคือมลสารที่มีขนาดเล็กมาก (ultrafine particles) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.001-0.1 ไมโครเมตร ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดค่ามาตรฐานใด ๆ มีรายงานผลการศึกษาบ่งชี้ถึงอันตรายของอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กที่สามารถล่องลอยตามลมหายใจเข้าถึงถุงลมปอดได้ที่เรียกว่า อนุภาคที่ถูกหายใจได้ (respirable suspended particle-RSP) ซึ่งส่วนใหญ่มาจากกระบวนการสันดาปเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ปล่อยออกมาทางท่อไอเสีย แหล่งกำเนิดสำคัญที่สุดมาจาก กระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel exhaust particulates) อันประกอบด้วยสาร PAH รวมถึงอนุภาคที่เกาะจับกับซัลเฟต (SO_4) และเพอร์ร็อกไซด์ซึ่งเป็นสารเติมออกซิเจน (oxidant) ผลกระทบของอนุภาคมลสารขนาดเล็กต่อสุขภาพคือส่งเสริมให้เกิดความเสี่ยงอุบัติการณ์โรคหัวใจล้มเหลวและโรคระบบการหายใจ ซึ่งส่วนใหญ่มีปัจจัยมาจากขนาดของอนุภาคมลสารมากกว่าปริมาณของอนุภาคมลสาร

กระบวนการเคลื่อนที่ของความร้อนใต้สถานี

ลักษณะของกระบวนการเปลี่ยนแปลงความร้อนของอากาศ มีผลทำให้เกิดกระบวนการเคลื่อนที่ของความร้อน (Heat Transfer) และส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศทำให้มีการพัดพาสิ่งต่างๆ ในอากาศ เช่น ฝุ่นละออง ให้แพร่กระจายออกไปได้ โดยทั่วไปมีอยู่ 3 ลักษณะใหญ่ๆ (เกษม, 2541) คือ กระบวนการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) กระบวนการนำความร้อน (Conduction) และกระบวนการพาความร้อน (Convection) เนื่องจาก อากาศมีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี แต่เป็นตัวพาความร้อนที่ดี การเปลี่ยนแปลงความร้อนในบรรยากาศส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นด้วยกระบวนการพาความร้อน และมีบทบาทมากที่สุดต่อลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาในอากาศ

การเคลื่อนที่โดยการพาความร้อนนี้มี 2 ลักษณะ คือ การเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Convection) ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในพื้นที่เล็ก ๆ ประเภทที่สอง คือ การเคลื่อนที่ในแนวนอน (Advection) จะมีผลในการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบกว้าง มีความสำคัญมากต่อการหมุนเวียนอากาศโลก ซึ่งการพาความร้อนทั้ง 2 ลักษณะ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอากาศ การหมุนเวียนของอากาศ และการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ทางธรรมชาติบนพื้นผิวโลก (รังสรรค์, 2547)

เมื่อผิวโลกได้รับความร้อนทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้น เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยลง เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ (Air Transportation) จากกระบวนการ Convection ของความร้อนใกล้ผิวดิน ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4 ซึ่งก้อนอากาศที่ลอยสูงขึ้นไป ทำให้อากาศที่หนักรกว่าไหลเข้าแทนที่ การแทนที่ของอากาศเย็นที่หนักรกว่าสู่ที่ที่อากาศร้อนที่เบากว่านี้ ทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนที่ของลม และเกิดการเคลื่อนย้ายของสิ่งต่างๆ เช่น ความชื้น มลสาร เป็นต้น ซึ่งการเคลื่อนที่ของมวลอากาศจะมีความสัมพันธ์กับความปั่นป่วนของบรรยากาศ และมีบทบาทสำคัญต่อการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองด้วย



ภาพที่ 4 ลักษณะการเคลื่อนที่แนวตั้งของอากาศ

ที่มา: เกษม (2541)

การเคลื่อนที่ของฝุ่น ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวดิน (Atmospheric boundary layer; ABL หรือ Planetary boundary layer; PBL) เป็นชั้นบรรยากาศที่มีแรงเฉือน (Shearing force) จากพื้นผิวและมีการปั่นป่วน (Turbulence) ของอากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการปั่นป่วนเกิดจากการกระจายตัวของพลังงานจากดวงอาทิตย์บนพื้นผิวโลกไม่เท่ากัน กล่าวคือ บริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับพลังงานมากกว่าบริเวณขั้วโลก ส่งผลให้สภาพอากาศในแต่ละพื้นที่แตกต่างกัน ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันนี้ อากาศเย็นจะไปแทนที่อากาศร้อน โดยส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ในแนวนอน (Advection) แต่ถ้ามีการเคลื่อนที่ในแนวนอนน้อยอากาศจะเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

(Convection) ซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศนี้จะมีการปั่นป่วนขนาดเล็ก ๆ (eddy) เกิดขึ้นอย่างไม่มีทิศทาง ซึ่งเรียกว่า การปั่นป่วน (Turbulence) (Bualert, 2001) โดย Grim (1962); Sellers (1969); Hidy and Brock (1971); Baver *et al.* (1972); Linsley *et al.* (1988); Balachandran *et al.* (2003); Gaunt *et al.* (2003a); Botkin and Keller (2005); Grunding *et al.* (2006); Cartenuto *et al.* (2010) ได้ศึกษางานวิจัยและพบในทิศทางเดียวกันว่า ลมเป็นปัจจัยหลักในการสนับสนุนให้เกิดการเคลื่อนที่ของฝุ่นละออง ในลักษณะของการเกิดการปั่นป่วนและจะสูงขึ้นในฤดูแล้ง นอกจากนี้ วงศ์พันธ์และคณะ (2543) และ Arya (2001) ที่ให้ความหมายของการปั่นป่วน คือ การไหลของอากาศที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (eddy) เป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระของมวลอากาศในลักษณะขึ้นลง ความปั่นป่วนมีความสำคัญก่อให้เกิดการเจือจางของมลสาร และการกระจายตัวของมลพิษในอากาศ ซึ่งการเกิดลักษณะความปั่นป่วนของบรรยากาศมีสาเหตุหลัก ๆ 2 สาเหตุ คือ การเกิดความปั่นป่วนจากความร้อน (thermal turbulence) โดยเกิดจากผิวโลกหรือวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวโลกได้รับความร้อนและส่งผลต่อมวลอากาศ และสาเหตุที่สอง คือ การเกิดความปั่นป่วนทางกายภาพ (mechanical turbulence) ซึ่งเกิดจากลักษณะทางกายภาพของตำแหน่งสิ่งก่อสร้างและลักษณะพื้นผิว (วราวุธ, 2542) ดังนั้น ในพื้นที่โล่งมีมวลอากาศมากมีการปั่นป่วนของบรรยากาศสูงจะสามารถเจือจางมลสารและแพร่กระจายมลสารได้ดีกว่าในพื้นที่อับที่บซึ่งจะทำให้เกิดการตกค้างของมลสาร

การหมุนเวียนอนุภาคมลสารออกจากอากาศ

อนุภาคมลสารชนิดหนึ่ง ๆ ที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด จะฟุ้งกระจายและล่องลอยอยู่ในอากาศชั่วระยะเวลาหนึ่ง ก็จะหมุนเวียนออกจากอากาศไปยังตัวกลางอื่น ๆ หรือเปลี่ยนไปเป็นมลสารตัวอื่นโดยปฏิกิริยาเคมีในอากาศ กระบวนการหมุนเวียนอนุภาคมลสารออกจากอากาศ เรียกว่า กระบวนการจม (Sink process) กระบวนการหมุนเวียนอนุภาคมลสารออกจากอากาศที่สำคัญ ได้แก่ การตกตัวของมลสารตามแรงโน้มถ่วงโลก การตกสะสมแบบแห้ง (Dry deposition) และการตกสะสมแบบเปียก (Wet deposition) (ศิริกัลยา และ คณะ, 2542; วงศ์พันธ์ และ คณะ, 2543) อธิบายได้ดังนี้

1) การตกตัวของมลสารด้วยแรงโน้มถ่วง อนุภาคมลสารที่มีขนาดใหญ่สามารถตกสู่พื้นได้ด้วยแรงโน้มถ่วง (Sedimentation) ในขณะที่อนุภาคขนาดเล็กจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน และอาจหมุนเวียนออกจากอากาศได้โดยการชนกับพื้นผิววัสดุ และโดยการรวมตัว (Coagulation) กับอนุภาคอื่น ๆ ให้ได้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วตกสู่พื้นด้วยแรงโน้มถ่วง ความเร็วในการตกสู่พื้นของอนุภาคมลสาร หรือเรียกว่า ความเร็วในการตกตัว (Terminal setting velocity) ค่าความเร็วนี้กำหนดโดยสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วง และแรงต้านทานซึ่งเกิดจากแรงเสียดลากเชิง แอโรไดนามิก (Aerodynamic Drag)

2) การตกสะสมแบบแห้ง (Dry Deposition หรือ Fall out) เป็นกระบวนการที่มลสารหมุนเวียนออกจากอากาศโดยตรง โดยมลสารไม่มีการรวมตัวกับน้ำฟ้า (Precipitation) เช่น ฝน หิมะ ลูกเห็บ เมฆ เป็นต้น แต่มลสารถูกกำจัดออกจากอากาศโดยการตกลงสู่พื้นตามแรงโน้มถ่วงโลกในอนุภาคมลสารขนาดใหญ่กว่า 20 ไมโครเมตร หรือเกิดการชนของอนุภาคละเอียด (Impaction) ขนาด 2 ถึง 20 ไมโครเมตรกับพื้นผิววัสดุ หรือการแพร่แบบบราวน์เนียน (Brownian diffusion) ของอนุภาคมลสารขนาดเล็กกว่า 0.05 ไมโครเมตร อนุภาคขนาดเล็กมีการเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน (Brownian motion) เพราะถูกชนโดยโมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบๆ การเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียนนี้ทำให้อนุภาคขนาดเล็กมีความเร็วในการเกาะติดพื้นผิวสูง เกิดการหมุนเวียนมลสารออกจากอากาศได้ ซึ่งความเร็วของการหมุนเวียนมลสารออกจากอากาศโดยกระบวนการตกสะสมแบบแห้ง ประกอบด้วยความเร็วจากการตกตัวของมลสาร เนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก และความเร็วที่ไม่ได้มาจากการตกตัวของมลสารเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Jacobson, 1999)

3) การตกสะสมแบบเปียก (Wet Deposition) เป็นกระบวนการที่มลสารหมุนเวียนออกไปจากอากาศ โดยมลสารมีการรวมตัวกับน้ำฟ้า สำหรับในกรณีการรวมตัวระหว่างมลสารกับน้ำฝน สามารถแบ่งวิธีการรวมตัวกันออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

(1) ตกเป็นฝน (Rainout หรือ In-cloud scavenging) กระบวนการที่มลสารในอากาศรวมตัวกับก้อนเมฆโดยอาจเป็นแกนกลาง (เช่น อนุภาค) ให้ไอน้ำมารวมตัวกัน กลายเป็นก้อนเมฆ หรือมีเมฆเกิดขึ้นก่อน แล้วมลสารเข้าไปรวมกับก้อนเมฆภายหลัง การรวมตัวของมลสารกับเมฆแบบหลังนี้เกิดได้ดีขึ้นเมื่อมีการไหลเวียนของกระแสอากาศในแนวตั้ง (Vertical mixing) โดยกระแสอากาศพัดเอามลสารขึ้นไปรวมตัวกับชั้นบนของเมฆ เมื่อเมฆกลายเป็นฝน ทำให้มลสารที่รวมตัวกับก้อนเมฆตกลงมาพร้อมกับน้ำฝน กระบวนการนี้จัดว่าเป็นกระบวนการรวมตัวที่เกิดขึ้นก่อนฝนตก (In-cloud process)

(2) ล้างด้วยฝน (Washout หรือ Below-cloud scavenging) Grim (1962); Sellers (1969); Hidy and Brock (1971); Baver *et al.* (1972); Linsley *et al.* (1988); Gaunt *et al.* (2003b); Botkin and Keller (2005); Dai *et al.* (2008); Hensley *et al.* (2008); Carotenuto *et al.* (2010); Jaworek *et al.* (2013) ได้รวบรวมเอกสารเกี่ยวกับนิวเคลียสของการเกิดฝน โดยอนุภาคที่เป็นนิวเคลียสขนาดตั้งแต่ 0.1-10 ไมโครเมตร หรือน้อยกว่า 3 ไมโครเมตร จะลอยอยู่ในอากาศ จนกระทั่งสภาวะอากาศเหมาะสมและมีการรวมตัวกับละอองน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น กระบวนการนี้เกิดเนื่องจากน้ำฝนที่ตกผ่านชั้นบรรยากาศชนกับอนุภาคฝุ่นที่อยู่ในบรรยากาศ แล้วจับเอาอนุภาคฝุ่นเข้าไว้ จากนั้นพาอนุภาคฝุ่นออกจากบรรยากาศลง

พื้นผิวโลกพร้อมน้ำฝน ซึ่งเกิดขึ้นได้ดีกับอนุภาคที่มีขนาดมากกว่า 2 ไมโครเมตร แต่อนุภาคที่มีขนาดในช่วง 0.1-2 ไมโครเมตร จะได้รับผลเพียงเล็กน้อย สำหรับกระบวนการนี้จัดได้ว่าเป็นกระบวนการรวมตัวที่เกิดขึ้นหลังฝนตก (Below-cloud process)

การลดฝุ่นจากรถด้วยละอองน้ำขนาดเล็ก

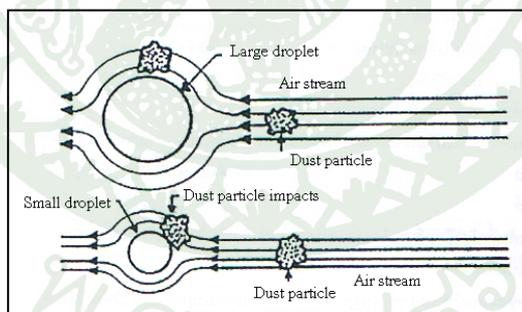
การกำจัดฝุ่นละอองด้วยการพ่นละอองน้ำเป็นการใช้ของเหลวในการควบคุม ลด และกำจัดฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ (Airborne dust) หรือกำจัดฝุ่นละอองที่แหล่งกำเนิดโดยตรง โดยเป็นวิธีการให้ความชื้นโดยใช้น้ำ หรืออาจมีการเติมสารประกอบควบคุมฝุ่น (dust control compound) เช่น สารประเภทโพลีเมอร์เหลว (Polymer emulsion) เพื่อให้อนุภาคฝุ่นยึดเกาะกันแน่นมากขึ้น โดยการกำจัดฝุ่นละอองด้วยละอองน้ำมีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ (กมล, 2540)

- 1) การกักขัง (Confinement) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเหนือบริเวณพื้นที่กำเนิดฝุ่นด้วยมาความชื้น
- 2) การทำให้ฝุ่นละอองมีมวลเพิ่มขึ้นโดยการสัมผัสโดยตรงระหว่างอนุภาคฝุ่นละอองกับหยดละอองน้ำ หรือสัมผัสในรูปของความชื้นโดยอาศัยกลไกการออสโมซิส ทั้งนี้ ฝุ่นละอองที่สามารถรวมตัวกับหยดละอองน้ำหรือความชื้นได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง
- 3) การจับเป็นกลุ่มก้อน (Formation of agglomerate) โดยการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคฝุ่นด้วยตัวเองและหยดละอองน้ำ ทำให้อนุภาคฝุ่นมีน้ำหนักเกินกว่าแขวนลอยในอากาศ จึงตกตัวลงสู่พื้นล่าง นำไปสู่การลดลงของความเข้มข้นฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น hygroscopic มักเป็นฝุ่นละอองประเภทเกลืออนินทรีย์ (Inorganic salt) เช่น แอมโมเนียมไนเตรต แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และโซเดียมคลอไรด์ หรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ สารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เช่น คลอไรด์ ไนเตรต ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม เป็นต้น และสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างไอโซนกับโมโนเทอร์ปีน (Monterpenes) ที่มาจากเขมาไอลเซีย ทำให้เกิดการสร้างประจุ หรือขั้วบนผิวอนุภาคฝุ่น (Polar surface group) เช่น กลุ่มคาร์บอกซิเลต (Decesari *et al.*, 2002) โดยพบว่า สารอินทรีย์ในอากาศซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะหรือผลของปรากฏการณ์ Photochemical reaction ประมาณร้อยละ 15-67 เป็นสารอินทรีย์ที่

สามารถละลายน้ำได้ (Chen and Lee, 1999) ส่วนฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น Non-hygroscopic หรือฝุ่นละอองที่มีสมบัติไม่เปียกน้ำ ได้แก่ ฝุ่นละอองจากดิน ฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และสารอินทรีย์ทุติยภูมิบางชนิด (Kerminen, 1996) ทั้งนี้ ในการกำจัดฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น Non-hygroscopic นิยมเติมสารลดแรงตึงผิวของหยดน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นละออง เช่น สารประเภทโพลีเมอร์จำพวกอะคริลิกไวน์อะซีเตต (Acrylic Vinyl Acetate Polymer) เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

ในการควบคุมฝุ่นละอองอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบถึงขนาดอนุภาคฝุ่นละอองที่สนใจ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดขนาดหยดละอองน้ำสำหรับฉีดพ่น โดยหยดละอองน้ำขนาดเท่ากันหรือใกล้เคียงกับอนุภาคฝุ่นมีโอกาสในการเข้าชนกับอนุภาคฝุ่นมากกว่าหยดละอองน้ำที่มีขนาดใหญ่ เพราะหยดละอองน้ำขนาดใหญ่มีแรงตึงผิวสูงเป็นผลให้อนุภาคฝุ่นไหลรอบหยดละอองน้ำ ทำให้เกิดการชนกันได้น้อย (ภาพที่ 5) (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) อย่างไรก็ตาม หยดละอองน้ำที่มีขนาดเล็ก มีความเร็วในการตกตัวต่ำ (เช่น หยดละอองน้ำขนาด 10 ไมโครเมตรมีความเร็วในการตกตัวเท่ากับ 7.87×10^{-3} เมตรต่อวินาที) สามารถถูกพัดลอยไปตามลมได้ง่าย นอกจากนี้ อนุภาคฝุ่นกับหยดละอองน้ำที่ชนกันและเกาะรวมตัวกันแล้วก็สามารถถูกพัดลอยไปตามลมได้เช่นกัน จึงอาจทำให้พบการลดลงของฝุ่นละอองในบริเวณอื่นนอกเหนือจากบริเวณที่มีการฉีดละอองน้ำ (สุชาติ, 2542)



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบโอกาสในการชนกันระหว่างอนุภาคฝุ่นกับขนาดหยดละอองน้ำ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2543)

เนื่องจากขนาดอนุภาคฝุ่นละอองบริเวณแนวเส้นทางเดินรถไฟฟ้ากรุงเทพมหานคร หรือรถไฟฟ้าบีทีเอส ส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร โดยมีสัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร กระจายอยู่ในฝุ่นละอองแขวนลอยรวมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 64 (กิตติชัย, 2548) และเนื่องจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรมีความเร็วในการตกตัวต่ำ

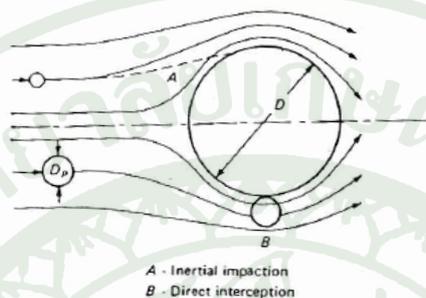
กอปกับมีอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ในบริเวณใต้โครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าจึงถือเป็นมลพิษที่ต้องควบคุม ทั้งนี้การควบคุมหรือลดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องใช้หยดละอองน้ำขนาดเท่ากับหรือใกล้เคียงกับอนุภาคฝุ่น โดยระบบที่สามารถผลิตหยดละอองน้ำให้มีขนาดเล็กมากขนาดประมาณ 10 ไมโครเมตรได้ ได้แก่ ระบบฉีดละอองน้ำแรงดันสูง

กลไกการเคลื่อนที่และการลดฝุ่นด้วยละอองน้ำ

เมื่อพิจารณาภาวะภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย พบว่า สภาพการตกแบบแห้งสามารถเกิดขึ้นได้ยากและจะเกิดขึ้นเฉพาะอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่เท่านั้น เนื่องจากภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายมีการจราจรอยู่อย่างต่อเนื่องทำให้เกิดกระแสของอากาศและการปั่นป่วน (turbulent) (Xie *et al.*, 2005) อีกทั้งอนุภาคที่เกิดขึ้นเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ ทั้งรถยนต์ดีเซลและเบนซิน ความเร็วสุดท้ายของการตกตะกอน (setting velocity) เกิดขึ้นได้ยาก จึงได้เกิดแนวคิดการใช้ละอองน้ำขนาดเล็กจับกับอนุภาคฝุ่นละอองเพื่อให้เกิดน้ำหนักที่มากขึ้น การตกลงตามแรงโน้มถ่วง และตกตะกอนด้วยหลักการของ wet deposition

กระบวนการตกแบบเปียก (Wet Deposition) โดยปกติแล้วจะใช้น้ำเป็นตัวจับอนุภาคหรือฝุ่นและเพิ่มขนาดของละอองไอ (aerosols) ทำให้ขนาดมลสารเพิ่มขึ้นและช่วยให้แยกสารจากก๊าซได้ง่ายขึ้น ของเหลวหรือน้ำจะถูกฉีดให้เป็นละอองเพื่อช่วยให้การสัมผัสระหว่างอนุภาคกับน้ำได้ดีขึ้น สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ ๆ จะมีการแยกที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงบ้าง ส่วนอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ก็จะมีการแยกเนื่องจากแรงที่เกิดจากไฟฟ้าสถิตหรือแรงที่เกิดจากความร้อนด้วย โดยหลักการเครื่องเก็บแบบเปียกสามารถแยกอนุภาคเล็ก ๆ ที่เป็นของแข็งและของเหลวขนาดระหว่าง 0.1-20 ไมโครเมตร ได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบแห้ง (Dry Deposition) เพราะอนุภาคขนาดเล็กจะรวมใหญ่ขึ้นเมื่อสัมผัสกับน้ำ โดยอนุภาคจะเปียกและถูกกักไว้ในของเหลว (liquid film) (วงศ์พันธ์และคณะ, 2543) และจากการศึกษาของ Hidy and Brock (1971); Balachandran *et al.* (2003); Brabec (2003); Gaunt *et al.* (2003a); Grunding *et al.* (2006); Hensley *et al.* (2008) ที่ใช้หัวฉีดพ่นน้ำในการลดปริมาณฝุ่นละออง ด้วยหลักการดังกล่าว ได้นำมาปรับใช้กับการสเปรย์ละอองน้ำขนาดเล็ก ภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายเพื่อเพิ่มขนาดของอนุภาคและให้เกิดการตกลงของอนุภาคและมีประสิทธิภาพในการลดอนุภาคฝุ่นภายใต้สถานีดังกล่าว โดยกลไกก็คือ impingement หรือ interception ของอนุภาคด้วยหยดของเหลว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาคุณสมบัติของอนุภาค หยดของเหลว และเนื้อของเหลวที่มีอิทธิพลต่อ impingement วิธีที่ง่ายคือพิจารณาที่อนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาหยดของเหลวแล้วกระทบกันด้วยแรงเฉื่อย ดังภาพที่ 6 ที่ระยะทางหนึ่งทางต้นทางอนุภาคจะแยกออกจากเส้นกระแส (streamline) ของก๊าซที่ไหลและ

เคลื่อนที่เข้าตรงเข้าสู่หยดของเหลว ขณะนั้นอนุภาคจะอยู่ภายใต้แรงกระทำสองชนิด คือ แรงเฉื่อยของตนเองและแรงลาก เนื่องจากก๊าซที่อยู่รอบ ๆ (แรงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก ไฟฟ้าแม่เหล็ก และความร้อนจะไม่พิจารณา) ผลของแรงทั้งสองนี้จะทำให้อนุภาคเข้าสู่จุดหยุดเมื่อเทียบกับหยดของเหลว



ภาพที่ 6 การเก็บอนุภาคด้วยการกระทบด้วยแรงเฉื่อยและการรับตรง

ที่มา: Wark & Warner (1976)

จากหลักการของการตกตะกอนแบบแห้ง (dry deposition) และการตกตะกอนแบบเปียก (wet deposition) ที่จะสามารถนำมาใช้ในกระบวนการลดลงของฝุ่นละอองจากรถด้วยละอองน้ำขนาดเล็กภายใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสถานีสะพานควายนั้น มีปัจจัยต่างๆ ที่ร่วมกันในการพิจารณา ได้แก่

1) ชนิดของอนุภาคมลสาร เป็นสารประเภทใด ความสามารถในการเกาะกับน้ำมากน้อยเพียงใด ซึ่งในที่นี้ ได้แก่ ฝุ่นละอองจากการจราจร จากการศึกษา ฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคของแข็งมักเป็นสารประเภท hygroscopic กล่าวคือ สามารถดูดและคายความชื้นได้ โดยเมื่อฝุ่นละอองในอากาศดูดความชื้นมีผลให้มวลของฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นและมีมวลลดลงเมื่อคายความชื้น ซึ่งฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น hygroscopic มักมีองค์ประกอบทางเคมีที่ละลายน้ำได้ เช่น สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (ซัลเฟต ไนเตรต แอมโมเนียม โซเดียม คลอไรด์) และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เป็นต้น โดยพบว่าหากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ระหว่าง 60-85% อนุภาคฝุ่นที่มีสมบัติเป็น hygroscopic จะมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Tsai and Kuo, 2005) ฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น hygroscopic มักเป็นฝุ่นละอองประเภทเกลืออนินทรีย์ (Inorganic salt) เช่น แอมโมเนียมไนเตรต แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และโซเดียมคลอไรด์ หรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เช่น คลอไรด์ ไนเตรต ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม เป็นต้น และสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์

ทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างไอโซนกับโมโนเทอร์ปีน (Monoterpenes) ที่มาจาก เขม่าไอเสีย ทำให้เกิดการสร้างประจุ หรือชั้นบนผิวอนุภาคฝุ่น (Polar surface group) เช่น กลุ่ม คาร์บอกซิเลต (Decesari *et al.*, 2002) โดยพบว่าสารอินทรีย์ในอากาศซึ่งส่วนใหญ่เกิดจาก กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ยานพาหนะ หรือผลของปรากฏการณ์ Photochemical reaction ประมาณร้อยละ 15-67 เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำได้ (Chen and Lee, 1999) ส่วนฝุ่น ละอองที่มีสมบัติเป็น Non-hygroscopic หรือฝุ่นละอองที่มีสมบัติไม่เปียกน้ำ ได้แก่ ฝุ่นละออง จากดิน ฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และสารอินทรีย์ทุติยภูมิบางชนิด (Kerminen, 1996) ทั้งนี้ในการกำจัดฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น non-hygroscopic นิยมเติมสารลดแรงตึงผิวของหยดน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นละออง เช่น สารประเภทโพลีเมอร์จำพวกอะคริลิกไวน์อะซีเตต (Acrylic Vinyl Acetate Polymer) เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2) ขนาดของฝุ่นละอองและขนาดของหยดน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อจำนวนการกระทบ จาก การศึกษา การควบคุมฝุ่นละอองอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบถึงขนาดอนุภาคฝุ่นละอองที่ สนใจ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดขนาดหยดละอองน้ำสำหรับฉีดพ่น โดยหยดละอองน้ำขนาด เท่ากันหรือใกล้เคียงกับอนุภาคฝุ่นมีโอกาสในการเข้าชนกับอนุภาคฝุ่นมากกว่าหยดละอองน้ำที่มี ขนาดใหญ่ เพราะหยดละอองน้ำขนาดใหญ่มีแรงตึงผิวสูงเป็นผลให้อนุภาคฝุ่นไหลรอบหยด ละอองน้ำ ทำให้เกิดการชนกันได้น้อย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) อย่างไรก็ตามหยดละอองน้ำ ที่มีขนาดเล็ก มีความเร็วในการตกตัวต่ำ (เช่นหยดละอองน้ำขนาด 10 ไมโครเมตรมีความเร็วใน การตกตัวเท่ากับ 7.87×10^{-3} เมตรต่อวินาที) สามารถถูกพัดลอยไปตามลมได้ง่าย นอกจากนี้ อนุภาคฝุ่นกับหยดละอองน้ำที่ชนกันและเกาะรวมตัวกันแล้วก็สามารถถูกพัดลอยไปตามลมได้ เช่นกัน จึงอาจทำให้พบการลดลงของฝุ่นละอองในบริเวณอื่นนอกเหนือจากบริเวณที่มีการฉีด ละอองน้ำ (สุชาติ, 2542)

3) ระยะเวลาที่ฉีดพ่นละอองน้ำและการจับตัวของละอองน้ำและอนุภาคของฝุ่น ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อเรื่องของอุณหภูมิต่ำได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วและทิศทางลม เป็นต้น จากรายละเอียดของปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการ ลดลงของฝุ่นละอองจากรถด้วยละอองน้ำแรงดันสูง ที่สัมพันธ์ต่อขนาดละอองน้ำ ความชื้น (ความ เข้มข้นของละอองน้ำ) ขนาดและความเข้มข้นของฝุ่นละออง ระยะเวลาของการฉีดพ่นละอองน้ำ (Plinke *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 2006; Charinpanitkul and Tanthapanichakoon, 2011) และ จะนำไปสู่การศึกษากลไกของการลดลงของฝุ่นละอองจากรถด้วยละอองน้ำแรงดันสูง โดยการใช้ เทคนิคการถ่ายภาพชั้นสูง เพื่อศึกษาการจับตัว การกระทบและการตกของอนุภาค อันจะนำผล การทดลองที่ได้ไปปรับใช้ให้เหมาะสมต่อสภาพจริงของสถานที่ที่มีสภาพปิดทึบเช่นเดียวกับสถานี รถไฟฟ้าสะพานควาย

อนุภาคมลสารคือสารทั้งในสภาพของแข็งและของเหลว ซึ่งเกาะรวมตัวกันและมีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ประมาณ 0.0002 ไมโครเมตร แต่ไม่เกิน 500 ไมโครเมตร อาจประกอบด้วยสารนาโนชนิด เช่น ซัลเฟต ไฮโดรคาร์บอน โลหะต่าง ๆ รวมทั้งละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคมลสาร เป็นองค์ประกอบสำคัญซึ่งควบคุมให้อนุภาคมลสารตกลงสู่พื้น โดยมีกลไกการรวมตัว ดังนี้

1) การรวมตัวและการแพร่ Clair (1994) ได้อธิบายทฤษฎี Smoluchowski's Theory ถึงการชนของอนุภาคที่มีการเคลื่อนที่แบบ Brownian อนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถเกาะติดกันเมื่อสัมผัสกันโดยเรียกว่ากระบวนการรวมตัว (Coagulation process) ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาตร กลไกสำคัญสำหรับการรวมตัวของอนุภาคฝุ่นคือ การเคลื่อนไหวแบบบราวน์เนียน ปรากฏการณ์นี้เป็นสาเหตุให้อนุภาคฝุ่นที่มีรัศมีเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตรในอากาศมีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็ว อนุภาคฝุ่นที่มีรัศมีเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตรนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่และอัตราการรวมตัวสูง ส่วนอนุภาคฝุ่นที่มีรัศมีมากกว่า 0.3 ไมโครเมตรมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่น้อยกว่ามาก จึงทำหน้าที่หลักเสมือนตัวจับ (Acceptor) อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่ากล่าวโดยสรุปคือ อนุภาคฝุ่นขนาดเล็กส่วนใหญ่ถูกกำจัดโดยกระบวนการรวมตัวซึ่งขึ้นกับการแพร่ (Diffusion) แล้วกลายเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ทั้งนี้โดยทั่วไปกำหนดให้อนุภาคฝุ่นที่แขวนลอยในอากาศ เมื่อสัมผัสกันแล้วสามารถเกาะติดกันได้เสมอ นั่นคือมีประสิทธิภาพการชน (Collision efficiency) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่ถูกกำจัดโดยกระบวนการตกตะกอน (Sedimentation) ตามแรงโน้มถ่วงโลก (ศิริกัลยาและคณะ, 2542)

2) ประจุไฟฟ้า Baver *et al.* (1972) อธิบายไว้ในตำราเรียนฟิสิกส์ทางดินถึงการรวมตัวของอนุภาคที่มีประจุระหว่อนุภาคดินเหนียวที่มีประจุลบกับประจุบวกของโมเลกุลของน้ำ ซึ่งจะเกิดการดึงดูดติดต่อกันระหว่างอนุภาคทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นและตกลงตามแรงโน้มถ่วงได้ ส่วนอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศได้รับประจุไฟฟ้าสถิตย์ได้โดยกลไกต่าง ๆ ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนไปในผิวของอนุภาค หรือออกจากผิวของอนุภาค ทำให้อนุภาคมีประจุไฟฟ้าเป็นลบและบวก ตามลำดับ (ศิริวรรณ, 2543) ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นทั้งประจุบวกและลบจึงสามารถเข้าดึงดูดต่ออนุภาคที่มีประจุตรงข้ามได้

3) การดูดและคายความชื้น Gardner (1955); Grim (1962); Linsley *et al.* (1988); Gaunt *et al.* (2003b); Botkin and Keller (2005) ได้อธิบายถึงอนุภาคที่มีประจุเป็นลบ และจับตัวกับประจุลบของอนุภาคน้ำทำให้มีขนาดใหญ่และตกลงได้ โดยฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคของแข็งมักเป็นสารประเภท hygroscopic กล่าวคือสามารถดูดและคายความชื้นได้ โดยเมื่อฝุ่นละอองในอากาศดูดความชื้นมีผลให้มวลของฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นและมีมวลลดลงเมื่อคายความชื้น

ซึ่งฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น hygroscopic มักมีองค์ประกอบทางเคมีที่ละลายน้ำได้ เช่น สารอนินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (ซัลเฟต ไนเตรต แอมโมเนียม โซเดียม คลอไรด์) และสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ เป็นต้น โดยพบว่าหากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ระหว่าง 60-85% อนุภาคฝุ่นที่มีสมบัติเป็น hygroscopic จะมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Tsai and Kuo, 2005)

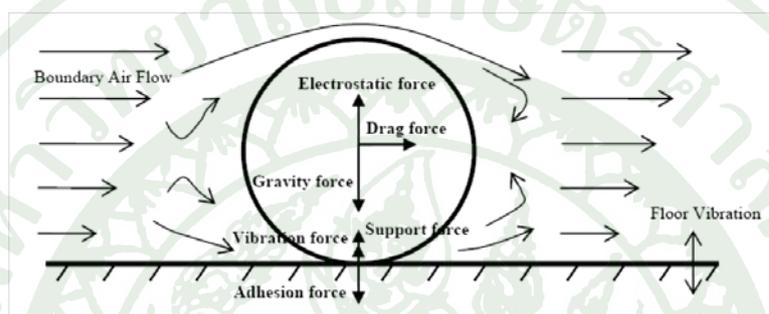
กระบวนการลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง

การลอยตัวกลับของฝุ่นละอองหรือฝุ่นฟุ้งปลิว (Dust Resuspension) คือ ฝุ่นที่สามารถฟุ้งปลิวลอยตัวและแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ (วิฑูรย์, 2544) ซึ่งการลอยตัวกลับและแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศของฝุ่นละออง มีความหมายรวมทั้งฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นใหม่ และฝุ่นละอองที่ลอยตัวกลับสู่อากาศอีกครั้งภายหลังการตกลงสู่พื้น กระบวนการลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง (Re-suspension Process) เป็นกระบวนการที่สลับซับซ้อนที่เริ่มต้นจากการถูกรบกวนด้วยลม การจราจร และกิจกรรมการก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งการลอยตัวกลับ การตกสะสม การชะล้างของวัตถุออกจากถนน และการเกิดขึ้นใหม่ของอนุภาคฝุ่นละอองมีความสัมพันธ์กับการจราจร ซึ่งฝุ่นละอองที่ลอยตัวขึ้นไปสู่อากาศเนื่องจากการจราจร เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของปริมาณฝุ่นละอองในเขตเมือง โดยมีการศึกษาพบว่า อย่างน้อยร้อยละ 5 ของฝุ่นละอองที่ถูกปล่อยออกจากยานพาหนะ มีการลอยตัวกลับไปแขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 50 ของฝุ่นละออง (0.6-2.5 ไมโครเมตร) มาจากการจราจร โดยฝุ่นละอองที่ถูกลมพัดพาตามธรรมชาติมีความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นสูง และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลถึงพันกิโลเมตร

ฝุ่นละอองที่ลอยตัวกลับจากพื้นถนน ประกอบด้วยฝุ่นละอองขนาด PM₃ ร้อยละ 28 และ PM₁₀ ร้อยละ 57 (Manoli *et al.*, 2002) และมีการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ และการลอยตัวกลับสู่อากาศของอนุภาคขนาดเล็กส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศได้มากกว่า ซึ่งการลอยตัวสู่อากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ส่วนมากเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และมีความเป็นพิษมากกว่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สำหรับในกรุงเทพมหานครจะมีฝุ่นลอยตัวกลับจากถนนอย่างเห็นได้ชัดในฤดูแล้ง ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้เกิดขึ้นจากรถยนต์โดยตรง และอัตราการปล่อยมลสารขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจร น้ำหนักรถ ความเร็วและฝุ่นที่อยู่บนพื้นผิวถนน (วิฑูรย์, 2544)

การลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง มีขั้นตอนการเกิดเริ่มจากการที่ฝุ่นละอองรวมตัวกับน้ำในรูปของความชื้น ส่งผลให้น้ำหนักของฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น จึงเกิดการตกสู่พื้นตามแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อมีการกระทำของลมหรือการเคลื่อนที่ของรถยนต์ และความชื้นที่รวมตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่นละอองได้สูญเสียไป ทำให้น้ำหนักของฝุ่นลดลง และเกิดการฟุ้งปลิวตาม

ทิศทางของลมหรือการเคลื่อนที่ของรถยนต์ ทำให้เกิดเป็นการลอยตัวกลับสู่อากาศอีกครั้งของฝุ่นละออง โดยแรงที่ทำให้เกิดกระบวนการลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละอองประกอบด้วย 3 แรงหลักๆ คือ แรงจากกลไกการสั่นสะเทือน (Mechanical Vibration Force) แรงการเคลื่อนที่ในอากาศ (Aerodynamic Force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Force) ซึ่งหากแรงทั้ง 3 นี้มีค่ามากกว่าแรงโน้มถ่วงโลกและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคกับพื้นผิว ทำให้ฝุ่นละอองลอยตัวกลับสู่อากาศได้ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แรงที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง

ที่มา: Bin Hu *et al.* (2004)

นอกจากนี้ การลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง ที่ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากการจราจรและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาค วัสดุที่ใช้ทำพื้นผิว ระยะเวลาการสัมผัสระหว่างอนุภาคกับพื้นผิว (Hinds, 1982) ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงอุณหภูมิของอากาศด้วย โดยความชื้นที่เพิ่มขึ้นจะขัดขวางไม่ให้เกิดการลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง (Kuhns *et al.*, 2003) ทั้งนี้ ความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวโลกสูงขึ้นจะทำให้โมเลกุลของน้ำสั่นสะเทือน และสามารถเคลื่อนที่ออกจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและแรงดึงผิวของน้ำจนกลายเป็นไอน้ำในที่สุด (สุรัตน์, 2536) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้เกิดการลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละออง เนื่องจากก่อให้เกิดการสูญเสียความชื้นที่มีในอนุภาคฝุ่นละออง ซึ่งการลอยตัวกลับสู่อากาศเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของฝุ่นละอองในเขตเมืองต่างๆ ที่สามารถควบคุมได้โดยการจำกัดจำนวนของแหล่งกำเนิด รวมถึงการทำความสะอาดถนนด้วยวิธีการกวาดหรือล้างถนน ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพอากาศในระยะยาว

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษากลไกของนาโนเทคโนโลยีเพื่อการปล่อยน้ำขนาดเล็กในการลดฝุ่นจากรถใต้สถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสของกรุงเทพมหานคร มีแผนการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ระยะดังนี้

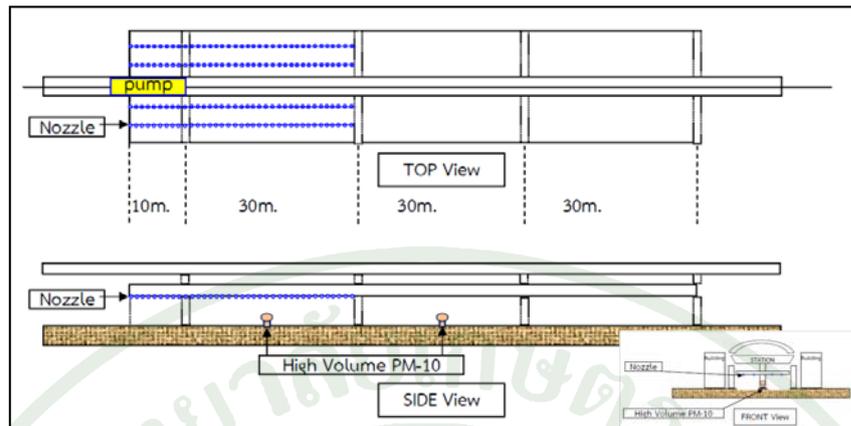
1. แผนการทดลอง

1.1 ศึกษาหาระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำและระยะเวลาการเปิดละอองน้ำเพื่อการลดฝุ่นละอองจากรถบริเวณสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอส

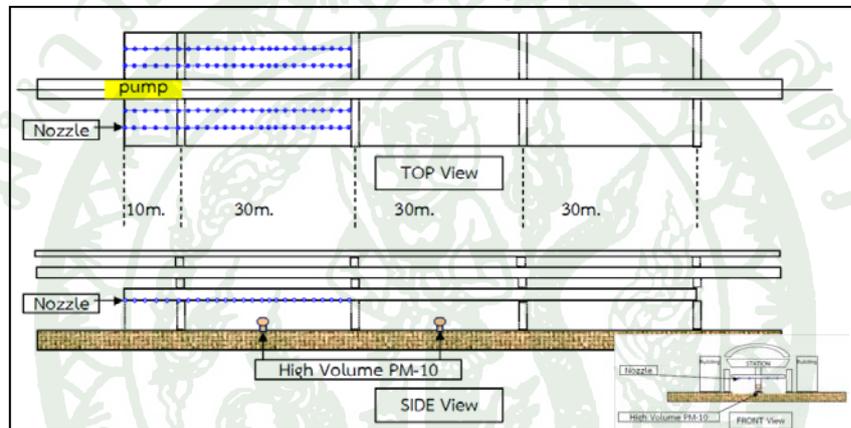
ในระยะแรกของการศึกษา เพื่อความเหมาะสมของการกำหนดระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพต่อการลดฝุ่นละอองจากรถใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ตลอดจนระยะเวลาของการเปิด-ปิด ละอองน้ำเพื่อการลดฝุ่นละอองจากรถใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

โดยการทดลองได้ออกแบบให้ติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็ก ที่มีความดันน้ำ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (PSI) ที่ระยะห่าง 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตร จำนวน 4 แถว ได้สถานีความยาว 40 เมตร รวมมีหัวฉีดละอองน้ำแต่ละระยะห่างเท่ากับ 148, 100 และ 76 หัวฉีด (ภาพที่ 8) และทำการเปิด-ปิด ทุก ๆ 15 นาที ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ทุก ๆ 3 ชั่วโมง ช่วงระยะเวลา 07:00-10:00, 10:30-13:30 และ 14:00-17:00 น. นำผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร มาวิเคราะห์หาความเหมาะสมของระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำ

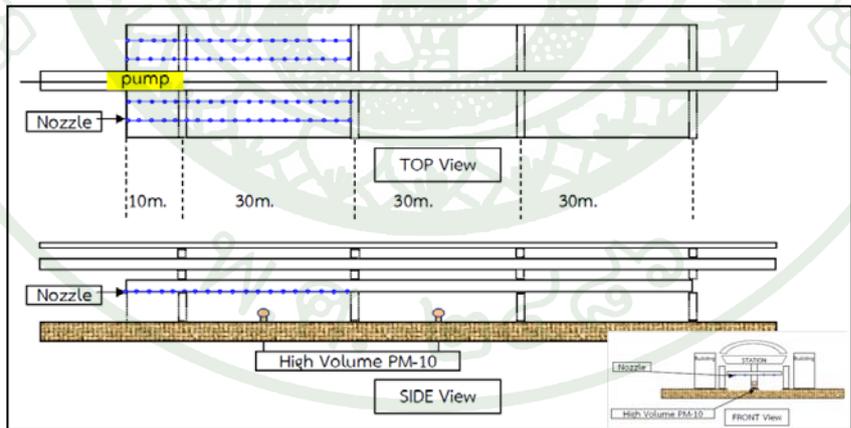
เนื่องจากปัจจัยเรื่องระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพของการลดฝุ่นละออง หากมีหัวฉีดละอองน้ำในระยะที่ใกล้กันมากจะมีข้อเสีย คือ 1) ต้องใช้จำนวนหัวฉีดละอองน้ำจำนวนมาก 2) การที่หัวฉีดละอองน้ำอยู่ใกล้กันมากละอองน้ำที่ออกมาจะมีการรวมตัวกันเป็นละอองน้ำขนาดใหญ่ และตกลงอย่างรวดเร็ว มีโอกาสได้สัมผัสกับฝุ่นละอองในอากาศได้น้อยลง ในขณะที่การเปิด-ปิดละอองน้ำขนาดเล็ก หากเปิดติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำในปริมาณมาก และทำให้มีความชื้นในบรรยากาศมากเกินไปจนเกิดความจำเป็นที่ใช้เพื่อการลดฝุ่นละอองในบรรยากาศ ดังนั้น ในลักษณะที่เหมาะสมจึงควรเปิดละอองน้ำให้มีปริมาณพอดีต่อการจับตัวกับฝุ่นละอองในบรรยากาศ และการเปิด-ปิดละอองน้ำดังกล่าวต้องสามารถปฏิบัติการได้จริงในภาคสนาม



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 8 ลักษณะการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำแรงดันสูงภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย
 (ก) ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 1.0 เมตร (ข) ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 1.5 เมตร
 (ค) ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 2.0 เมตร

1.2 ศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดจากการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็กเพื่อลดฝุ่นละอองในบรรยากาศใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

หลังจากการศึกษาในระยะที่ 1 จะทราบถึงระยะห่างระหว่างหัวฉีดพ่นละอองน้ำที่เหมาะสมต่อการติดตั้งใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย เพื่อติดตั้งภายใต้สถานีตลอดความยาวของสถานีเพื่อครอบคลุมลักษณะของใต้สถานีที่คล้ายคลึงกับลักษณะอุโมงค์ (street tunnel) ซึ่งจะสามารถฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็กได้ครอบคลุมพื้นที่ตลอดภายใต้สถานีสะพานควายทั้งหมด และการเปิด-ปิด ละอองน้ำในเวลาที่เหมาะสม เมื่อได้ระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำและระยะเวลาการเปิด-ปิดละอองน้ำที่เหมาะสมแล้ว ทำการทดลองฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็กเพื่อลดฝุ่นละอองจราจรภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายทั้งระบบ

การศึกษาในระยะนี้จะเน้นหนักในเรื่องประสิทธิภาพของละอองน้ำขนาดเล็กเพื่อลดฝุ่นละอองจราจรภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย โดยการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละออง (Hi-Volume Air Sample) เพื่อตรวจวัดฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particle; TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (Particle Matter 10 Micrometer; PM10) ทั้งหมดจำนวน 6 ตำแหน่ง โดยแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ (ภาพที่ 9) คือ

- 1) พื้นที่ด้านนอกสถานีด้านทิศเหนือ (Zone A) เป็นพื้นที่ด้านนอกสถานีสะพานควายด้านทิศเหนือไปทางสถานีหมอชิตระยะห่างจากสถานีประมาณ 15 เมตร เครื่องมือถูกติดตั้งในสองพื้นที่คือ บริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธิน และบริเวณริมทางเท้าฝั่งด้านทิศตะวันออก
- 2) พื้นที่สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (Zone B) เป็นพื้นที่ใต้สถานีสะพานควาย โดยติดตั้งเครื่องมือที่บริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธิน และริมทางเท้าฝั่งด้านตะวันออก
- 3) พื้นที่ด้านนอกสถานีด้านทิศใต้ (Zone C) เป็นพื้นที่ด้านนอกสถานีสะพานควายด้านทิศใต้ไปทางสถานีอารีย์ ระยะห่างจากสถานีประมาณ 15 เมตร ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองจำนวน 2 พื้นที่ คือ บริเวณเกาะกลางถนน และบริเวณริมทางเท้าฝั่งตะวันตก

และมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอุตุนิยมหาวิทยาลัยประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม ทิศทางลม ทั้งหมดจำนวน 4 ตำแหน่ง (ภาพที่ 10) ดังนี้



ภาพที่ 9 พื้นที่ศึกษาบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

1) บริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธินด้านทิศเหนือ (Zone A) ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ที่ระดับ 1.5 เมตร ความเร็วลม และทิศทางลม ที่ระดับ 6 เมตร เพื่อเป็นตัวแทนอุตุนิยมวิทยาบริเวณด้านนอกสถานีด้านทิศเหนือ

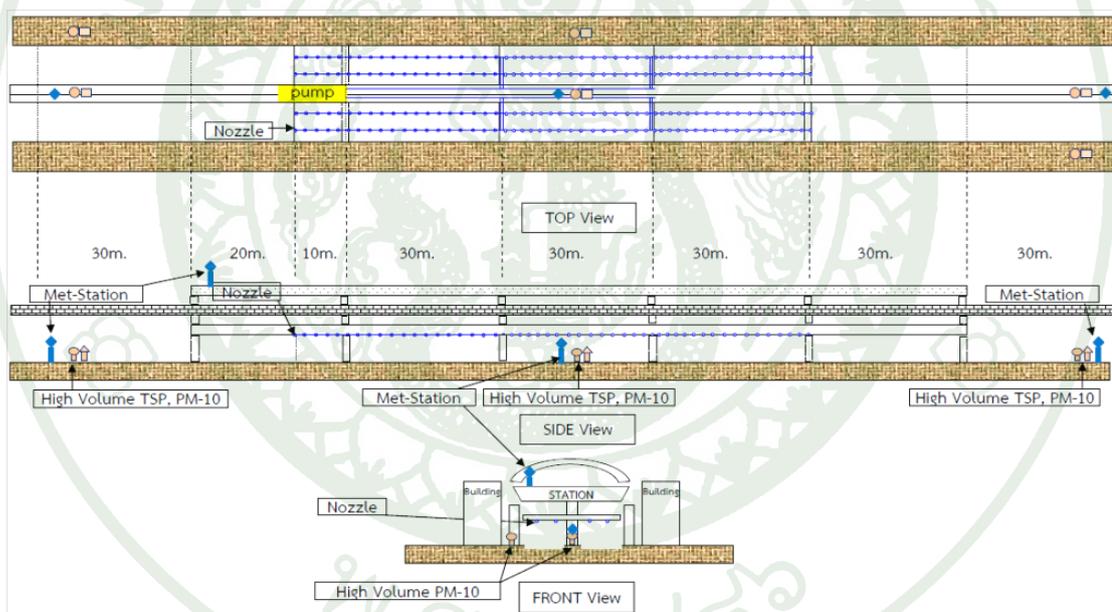
2) บริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธินใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (Zone B) ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร ความเร็วลมและทิศทางลม ที่ระดับความสูง 3 เมตร และติดตั้งเครื่องตรวจวัดความชื้นที่ระดับเพดานใต้สถานี ระดับความสูง 5 เมตร เพื่อเป็นตัวแทนอุตุนิยมวิทยาบริเวณใต้สถานีสะพานควาย

3) บริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธินด้านทิศใต้ (Zone C) ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ที่ระดับ 1.5 เมตร ความเร็วลมและทิศทางลม ที่ระดับ 6 เมตร เพื่อเป็นตัวแทนอุตุนิยมวิทยาบริเวณด้านนอกสถานีด้านใต้

4) บริเวณด้านบนของสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ที่ชั้นชานชะลาดด้านทิศเหนือ โดยทำการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร และความเร็วลม ทิศทางลม ที่ระดับความสูง 6 เมตร จากพื้นชานชะลาด เพื่อเป็นตัวแทนอุตุนิยมวิทยาในภาพรวมของพื้นที่บริเวณสถานีสะพานควาย

นอกจากนี้ยังมีการตรวจนับปริมาณการจราจรบนถนนพหลโยธิน ทั้งขาเข้าเมืองและขาออกจากเมือง ในวันที่ทำการทดลอง โดยมีการแยกปริมาณจราจรเป็นประเภท คือ รถจักรยานยนต์ (motorcycle) รถยนต์ (car) รถเมล์ (bus) รถกระบะ (truck) รถบรรทุก (heavy truck) และบันทึกความเร็วเฉลี่ย โดยทำการตรวจนับเป็นรายชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 05:00-20:00 น.

การทดลองในครั้งนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ ของปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงจากการเปิด-ปิดละอองน้ำขนาดเล็ก ทุกๆ 10 นาที ในช่วงเวลาต่างๆ โดยกำหนดให้มีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง (TSP และ PM10) ทุกๆ 3 ชั่วโมง จำนวน 5 ช่วงเวลา คือ 05:00-08:00, 08:00-11:00, 11:00-14:00, 14:00-17:00 และ 17:00-20:00 น. จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้นกับปัจจัยต่างๆ ด้านอุตุนิยมหาวิทยาลัย



ภาพที่ 10 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์หัวฉีดน้ำความดันสูงและเครื่องมือต่างๆ บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

1.3 ศึกษากลไกการลดฝุ่นละอองจากรถด้วยละอองน้ำขนาดเล็ก โดยวิธีการถ่ายภาพด้วยเทคนิคขั้นสูง

เพื่อให้ทราบถึงกลไกการลดฝุ่นละอองจากรถด้วยละอองน้ำขนาดเล็ก โดยการศึกษาด้วยเทคนิคการถ่ายภาพขั้นสูง ในห้องทดลองขนาด (ก.ขย.ขส.) เท่ากับ 2X2X4 เมตร มีปริมาตร 16 ลูกบาศก์เมตร โดยมุ่งเน้นศึกษาการเกาะตัวกันระหว่างฝุ่นละอองและละอองน้ำขนาดเล็ก ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและตกลงที่ระยะเวลาต่าง ๆ

โดยได้วางแผนการทดลองการถ่ายภาพจากห้องทดลอง จำนวน 3 ระดับ คือ ที่ระดับความสูง 0.5, 1.5 และ 2.5 เมตร ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กำหนดให้มีการทดลอง ดังนี้ (ภาพที่ 11)

1) การถ่ายฝุ่นละอองขนาดเล็กขณะในสภาพลมสงบ โดยการปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กให้ฟุ้งกระจายในสภาพเนื้อเดียวกันภายในห้องทดลอง หลังจากนั้นทำการถ่ายภาพทุก ๆ 30 วินาที จนฝุ่นละอองภายในห้องไม่สามารถถูกตรวจจับได้ด้วยกล้องถ่ายภาพ

2) การถ่ายฝุ่นละอองขนาดเล็กและการฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็ก เพื่อให้เกิดการจับตัวกันและมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยการปล่อยฝุ่นละอองภายในห้องทดลองให้อยู่ในสภาวะปั่นป่วน หลังจากนั้นฉีดพ่นละอองน้ำด้วยปริมาณที่เหมาะสมกับจำนวนฝุ่นละออง และปล่อยให้เกิดการจับตัวกันระหว่างฝุ่นละอองและละอองน้ำขนาดเล็ก และทำการถ่ายรูปทุก ๆ ระยะเวลา 5 วินาที จนกล้องถ่ายภาพไม่สามารถตรวจจับได้

3) การถ่ายละอองน้ำขนาดเล็กในสภาวะปกติ โดยการฉีดพ่นละอองน้ำลงในห้องทดลอง และปล่อยให้อยู่ในสภาวะลมสงบเพื่อศึกษาการตกลงของละอองน้ำขนาดเล็ก ด้วยการถ่ายภาพทุก ๆ ระยะเวลา 5 วินาที จนกล้องถ่ายภาพไม่สามารถตรวจจับได้

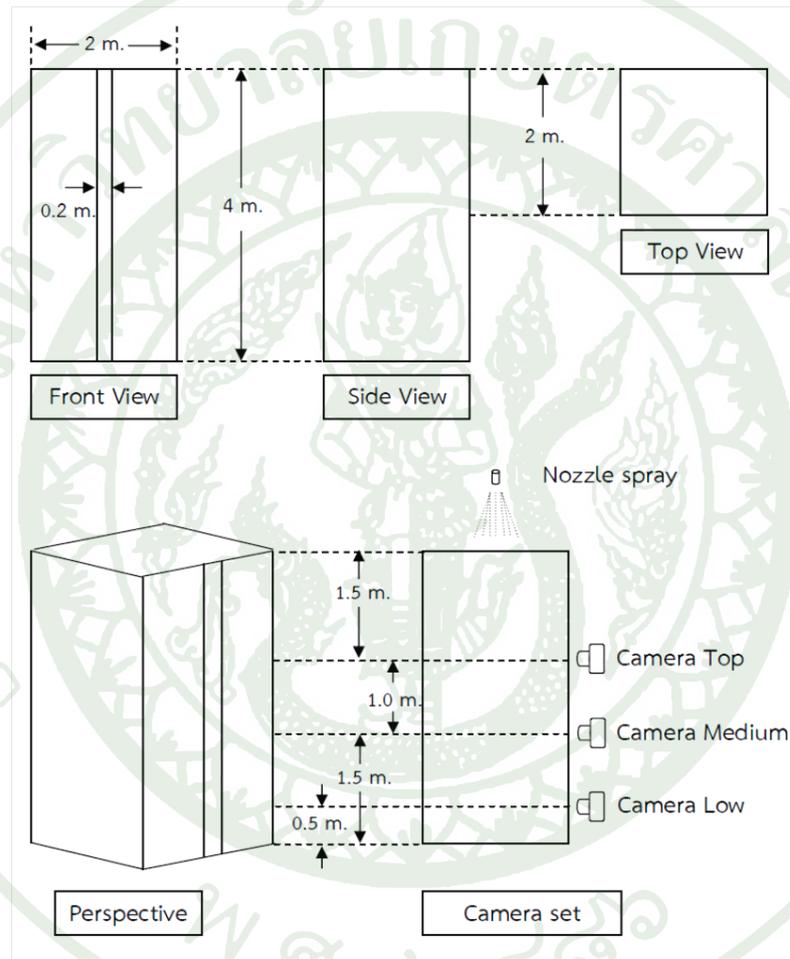
จากนั้นนำภาพถ่ายที่ได้มาทำการนับปริมาณฝุ่นละอองในพื้นที่ที่กำหนด ด้วยเทคนิคขั้นสูงของโปรแกรม i-Solution เพื่อศึกษาปริมาณอนุภาค ขนาดอนุภาคที่ระดับความสูงแต่ละระดับ สัมพันธ์กับระยะเวลาที่ทำการถ่ายภาพ

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ร้อยละ และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล ในแต่ละชุดข้อมูล วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ จากปัจจัยต่าง ๆ ทางอุตุนิยมวิทยา

3. สถานที่ทำงานวิจัย

สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ของระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร และคณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร



ภาพที่ 11 ห้องทดลองถ่ายภาพฝุ่นละอองด้วยเทคนิคขั้นสูง

ผลและวิจารณ์

1. ศึกษาหาระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำและระยะเวลาการเปิดละอองน้ำเพื่อการลดฝุ่นละอองจากรถบริเวณสถานีรถไฟฟ้าย่านทีเอส

1.1 ระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำใต้สถานี

จากการทดลองระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำใต้สถานี ที่มีด้วยกัน 3 ระยะ คือ 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตร ได้ดำเนินการทดลองจำนวน 3 วัน คือ วันที่ 26-28 ธันวาคม 2549 โดยกำหนดให้มีการติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (Hi-Volume Air Sample) จำนวน 2 ตำแหน่ง คือ เกาะกลางถนนบริเวณใต้สถานีในช่วงที่มีการติดตั้งหัวฉีดระยะความยาว 40 เมตร และเกาะกลางถนนบริเวณภายใต้สถานีที่ไม่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ โดยมีสมมติฐานว่าปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ของบริเวณที่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำจะต่ำกว่าบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ เนื่องจากละอองน้ำสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศได้ โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างต่อวัน คือ เวลา 07:00-10:00 น., 10:30-13:30 น. และ 14:00-17:00 น. มีการเปิด-ปิดน้ำทุกๆ เวลา 15 นาที

ปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นภายใต้สถานีรถไฟฟ้าย่านสะพานควาย พบว่า การจราจรฝั่งขาเข้าเมือง คือมุ่งหน้าเข้าสู่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ มีความหนาแน่นตลอดทั้งวันตั้งแต่เวลา 07:00-18:00 น. ในทางกลับกันการจราจรในฝั่งขาออกนอกเมือง จะมีความหนาแน่นและเคลื่อนตัวได้ช้าตั้งแต่เวลา 14:00-18:00 น. ส่วนเรื่องทิศทางการจราจรในช่วงเช้า 07:00-12:00 น. จะมีลมพัดทางทิศใต้ และเมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาบ่าย เวลา 14:00-18:00 น. จะมีลมพัดจากทางทิศเหนือเข้าสู่สถานีรถไฟฟ้าย่านสะพานควาย โดยมีรูปแบบทิศทางการจราจรเป็นเช่นเดียวกันทั้ง 3 วันที่ทำการทดสอบ

ผลการทดลองพบว่าวันที่ 26 ธันวาคม 2549 มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ในส่วนที่ไม่มีการฉีดพ่นละอองน้ำ 294.59-360.69 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ส่วนที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็กมีความเข้มข้น 273.46-347.68 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงเวลา 07:00-10:00 น. และ 10:30-13:30 น. ส่วนเวลา 14:00-17:00 น. ไม่สามารถดำเนินการทดลองได้ เนื่องจากระบบท่อนำน้ำแรงดันสูงไปสู่หัวฉีดละอองน้ำเกิดการรั่ว เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันเมื่อมีการฉีดพ่นละอองน้ำและบริเวณที่ไม่ฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็ก พบว่า มีความสามารถในการลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเฉลี่ย 17.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) ที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 1.0, 1.5 และ 2.0 เมตร บริเวณใต้สถานีสะพานควาย

วันที่ทดสอบ /ระยะห่าง ระหว่างหัวฉีด	เวลาทดสอบ	ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
		บริเวณไม่ติดตั้ง หัวฉีดละอองน้ำ	บริเวณติดตั้ง หัวฉีดละอองน้ำ	ค่าความแตกต่าง
26 ธ.ค. 2549 /1.0 m.	07.00-10.00	360.69	347.68	13.01
	10.30-13.30	294.59	273.46	21.13
	14.00-17.00	-	-	-
	เฉลี่ย	305.14	310.57	17.07
27 ธ.ค. 2549 /1.5 m.	07.00-10.00	347.54	339.72	7.82
	10.30-13.30	367.23	355.06	12.17
	14.00-17.00	203.55	322.31	-118.76
	เฉลี่ย	306.11	339.03	-32.92
28 ธ.ค. 2549 /2.0 m.	07.00-10.00	384.44	279.81	104.63
	10.30-13.30	325.33	274.18	51.15
	14.00-17.00	271.65	267.80	3.85
	เฉลี่ย	327.14	273.93	53.21

วันที่ 27 ธันวาคม 2549 เป็นการทดสอบระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำระยะ 1.50 เมตร มีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก 3 ช่วงเวลา ช่วงเวลาละ 3 ชั่วโมง พบว่าบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรระหว่าง 203.55-367.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 306.11 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่บริเวณที่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองพบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรระหว่าง 322.31-355.06 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 339.03 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ แต่เมื่อพิจารณาต่อช่วงเวลา พบว่าในช่วงเวลา 14:00-17:00 น. เพียงช่วงเวลาเดียวที่มีค่าบริเวณติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำสูงกว่าบริเวณที่ไม่ติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ 118.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีลมเปลี่ยนทิศทางจากลมทางใต้ในช่วงเช้าเป็นลมที่มาจากทิศเหนือในตอนบ่าย และการมีช่องเปิดในบริเวณพื้นที่ติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็กทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าที่สูงมากกว่าบริเวณที่ไม่ได้ติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ จึงขอตัดตัวอย่างนี้ออก เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของ 2 ช่วงเวลา 07:00-10:00 น. และ 10:30-13:30 น. พบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบริเวณที่ติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ ต่ำกว่าบริเวณที่ไม่ติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ 9.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ระยะห่างระหว่างหัวฉีดละอองน้ำ 2.0 เมตร ได้มีการทดสอบเก็บข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ในวันที่ 28 ธันวาคม 2549 พบว่า บริเวณใต้สถานีที่ไม่มีการติดตั้งหัวฉีดมีความเข้มข้นระหว่าง 271.65–384.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 327.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนบริเวณที่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็กมีความเข้มข้นระหว่าง 267.80–279.18 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 273.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างความเข้มข้นพบว่ามีความแตกต่างเฉลี่ยที่ 53.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาช่วงเวลา 14:00–17:00 น. จะพบว่ามีค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองพื้นที่เพียง 3.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากอิทธิพลของทิศทางลมที่มีการเปลี่ยนทิศในช่วงบ่ายที่มีการพัดมาจากทิศเหนือและเข้าสู่พื้นที่บริเวณติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำทำให้ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยในส่วนที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำและไม่มีการฉีดพ่นละอองน้ำ

สรุปผลการทดสอบระยะห่างระหว่างหัวฉีดที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งที่เขตยานใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย เพื่อใช้ลดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากรถไฟใต้สถานีคือที่ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 2.0 เมตร โดยการติดตั้งเป็นแถวจำนวน 4 แถวครอบคลุมพื้นที่ถนนที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นจากรถไฟฟ้าสะพานควาย

1.2 ลักษณะการเปิด-ปิดละอองน้ำขนาดเล็ก

การทดสอบเพื่อกำหนดระยะเวลาการเปิด-ปิด ละอองน้ำขนาดเล็กเพื่อการลดฝุ่นละอองจากรถไฟใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ได้ดำเนินการศึกษาระหว่างวันที่ 31 มกราคม 2550 ถึง 8 กุมภาพันธ์ 2550 โดยได้มีการกำหนดการเปิด-ปิด ละอองน้ำขนาดเล็ก ใน 3 ลักษณะคือ 1) เปิดละอองน้ำตลอดเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 05:00–20:00 น. 2) เปิด-ปิดละอองน้ำทุก ๆ 5 นาที และ 3) เปิด-ปิดละอองน้ำทุก ๆ 10 นาที โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 3 ชั่วโมง จึงทำให้ใน 1 วัน มีจำนวนตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง แต่ละรูปแบบการฉีดละอองน้ำทำการทดสอบจำนวน 3 วัน จึงทำให้มีตัวอย่างในการทดสอบต่อ 1 รูปแบบการฉีดน้ำ 15 ตัวอย่าง โดยติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (Hi-Volume Air Sample) ที่บริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธิน ในบริเวณใต้สถานีที่ไม่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ และบริเวณที่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ โดยทั้ง 2 จุดอยู่ระหว่างเสาตอม่อของโครงสร้างที่มีระยะห่างกัน 30 เมตร โดยมีสมมุติฐานว่า รูปแบบการเปิด-ปิดน้ำที่เหมาะสมที่สุดจะสามารถลดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร โดยสามารถสรุปรูปแบบการทดสอบได้ ดังนี้

1) การฉีดพ่นละอองน้ำตลอดระยะเวลาทำการทดสอบ เวลา 05:00-20:00 น. ทำการทดลองในวันที่ 31 มกราคม ถึงวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2550

2) การฉีดพ่นละอองน้ำทุก ๆ 5 นาที ตลอดระยะเวลาทำการทดสอบ เวลา 05:00-20:00 น. ทำการทดลองในวันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2550

3) การฉีดพ่นละอองน้ำทุก ๆ 10 นาที ตลอดระยะเวลาทำการทดสอบ เวลา 05:00-20:00 น. ทำการทดลองในวันที่ 6-8 กุมภาพันธ์ 2550

ผลการทดสอบรูปแบบการเปิด-ปิด ละอองน้ำ 3 รูปแบบ พบว่า การเปิดละอองน้ำตลอดระยะเวลาทำการทดสอบ คือ เวลา 07:00-20:00 น. วันที่ทำการทดสอบคือระหว่างวันที่ 31 มกราคม ถึง 2 กุมภาพันธ์ 2550 พบค่าเฉลี่ยบริเวณที่ไม่ติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำมีความเข้มข้นเฉลี่ยวันละ 5 ตัวอย่าง ระหว่าง 246.2-326.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยทั้ง 3 วัน เท่ากับ 280.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่บริเวณที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำตลอดเวลาการเก็บตัวอย่างตั้งแต่ 05:00-20:00 น. มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ระหว่าง 240.6-268.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 3 วัน จำนวน 15 ตัวอย่าง เท่ากับ 258.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งสองพื้นที่เฉลี่ยรายวัน ระหว่าง 1.8-58.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างทั้ง 3 วัน เท่ากับ 21.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 2)

รูปแบบการเปิด-ปิด ละอองน้ำขนาดเล็กทุก ๆ 5 นาที นั้นหมายความว่ามีการเปิดละอองน้ำขนาดเล็กเวลา 05:00-05:05 น. และปิดละอองน้ำเวลา 05:05-05:10 น. และเปิดช่วงเวลา 05:10-05:15 น. สลับกันไปจนถึงเวลา 20:00 น. โดยทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 3 ชั่วโมง ตั้งแต่ 05:00-20:00 น. ได้ตัวอย่าง 5 ตัวอย่างต่อวัน รวม 3 วัน ระหว่างวันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2550 มีจำนวนตัวอย่าง 15 ตัวอย่าง พบว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรในส่วนพื้นที่ไม่มีการฉีดพ่นละอองน้ำ ค่าเฉลี่ยรายวันระหว่าง 329.2-382.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 352.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนพื้นที่ที่มีการเปิด-ปิดละอองน้ำทุก ๆ 5 นาที มีค่าเฉลี่ยรายวันระหว่าง 311.8-370.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ย 3 วันมีค่า 337.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความแตกต่างระหว่าง 2 พื้นที่ พบว่าพื้นที่ที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็กมีปริมาณฝุ่นละอองน้อยกว่าพื้นที่ที่ไม่มีการฉีดพ่นละอองน้ำเฉลี่ยรายวันตั้งแต่ -25.2 ถึง 53.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 3 วัน เท่ากับ 15.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) ตามรูปแบบการฉีดพ่นน้ำตลอดเวลา เปิด-ปิดละอองน้ำทุกๆ เวลา 5 และ 10 นาที บริเวณใต้สถานีสะพานควาย

รูปแบบการเปิด-ปิด ละอองน้ำขนาดเล็ก	วันที่ทำ การทดสอบ	จำนวน ตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
			บริเวณไม่ติดตั้ง หัวฉีดละอองน้ำ	บริเวณติดตั้ง หัวฉีดละอองน้ำ	ค่าความ แตกต่าง
การฉีดพ่นละอองน้ำ	31 ม.ค. 50	5	269.0	267.2	1.8
ตลอดระยะเวลาการ ทดสอบ	1 ก.พ. 50	5	246.2	240.6	5.6
	2 ก.พ. 50	5	326.8	268.4	58.4
(07:00-20:00)	เฉลี่ย	15	280.7	258.7	21.9
การเปิด-ปิด	3 ก.พ. 50	5	329.2	311.8	17.4
ละอองน้ำทุกๆ 5 นาที	4 ก.พ. 50	5	345.0	370.2	-25.2
	5 ก.พ. 50	5	382.4	329.2	53.2
(07:00-20:00)	เฉลี่ย	15	352.2	337.1	15.1
การเปิด-ปิด	6 ก.พ. 50	5	435.8	412.4	23.4
ละอองน้ำทุกๆ 10 นาที	7 ก.พ. 50	5	358.4	299.0	59.4
	8 ก.พ. 50	5	339.8	327.4	12.4
(07:00-20:00)	เฉลี่ย	15	378.0	346.3	31.7

รูปแบบการเปิด-ปิดละอองน้ำทุกๆ 10 นาที คือการเปิดละอองน้ำเวลา 05:00-05:10 น. และปิดละอองน้ำเวลา 05:10-05:20 น. และเปิดเวลา 05:20-05:30 น. สลับกันไป เช่นนี้ ตั้งแต่เวลา 05:00-20:00 น. พบว่า มีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร มีค่าเฉลี่ยรายวันระหว่างวันที่ 6-8 กุมภาพันธ์ 2550 ระหว่าง 339.8-435.8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในบริเวณพื้นที่ไม่มีการฉีดพ่นละอองน้ำ ในขณะที่พื้นที่ที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายวัน ระหว่าง 299.0-412.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น 3 วัน ของพื้นที่ไม่มีการพ่นละอองน้ำและพื้นที่ที่มีการพ่นละอองน้ำ เท่ากับ 378.0 และ 346.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทำให้เกิดค่าความแตกต่างของ 2 พื้นที่เท่ากับ 31.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นรายวัน ระหว่าง 12.4-59.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สรุปผลการศึกษารูปแบบการพ่นละอองน้ำทั้ง 3 รูปแบบ คือ การฉีดพ่นละอองน้ำตลอดเวลาการเก็บตัวอย่างระหว่าง 05:00-20:00 น. มีความสามารถในการลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองลงไปได้เฉลี่ย 21.9 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่การเปิด-ปิดสลับทุกๆ 5 นาที

มีค่าความแตกต่างเฉลี่ย 15.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการเปิด-ปิดสลับกันทุก ๆ 10 นาที มีค่าความสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรลงได้เฉลี่ย 31.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าความสามารถในการลดฝุ่นละอองลงได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจาก การเปิดละอองน้ำตลอดเวลา ทำให้มีปริมาณละอองน้ำปริมาณที่มาก โอกาสของการรวมตัวหรือปะทะกันของละอองน้ำมีสูง ทำให้ละอองน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อละอองน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น การเข้าปะทะหรือจับตัวกันของฝุ่นละอองขนาดเล็กจึงเป็นไปได้น้อย ในขณะที่การเปิด-ปิดละอองน้ำขนาดเล็กทุก ๆ 5 นาที ทำให้ละอองน้ำที่ออกมาฟุ้งกระจายในพื้นที่ซึ่งถนนมีความร้อนที่เกิดจากการจราจร ทำให้ละอองน้ำมีการพัดพา และมีโอกาสสัมผัสกับฝุ่นละอองได้น้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเปิด-ปิดละอองน้ำทุก ๆ 10 นาที สอดคล้องกับ Hom (1988); Hesketh (1995); Tanthapanichkoon *et al.* (1997) และ Limparseni *et al.* (1999) ที่กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการลดฝุ่นละอองด้วยละอองน้ำ ได้แก่ ขนาดละอองน้ำ ขนาดฝุ่น การกระจายตัวของละอองน้ำ การกระจายตัวของฝุ่นละออง ทิศทางและความเร็วของลม ดังนั้น รูปแบบการฉีดพ่นละอองน้ำเพื่อลดฝุ่นละอองจากการจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายที่มีความเหมาะสมคือ การเปิด-ปิดละอองน้ำทุก ๆ 10 นาที

2. ศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดจากการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็กเพื่อลดฝุ่นละอองในบรรยากาศใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

2.1 ลักษณะโครงสร้างสถานีและการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำเพื่อการลดปริมาณฝุ่นละออง

ลักษณะโครงสร้างโดยรอบของสถานีสะพานควาย ที่มีความยาว 150 เมตร ความกว้างของสถานีประมาณ 25 เมตร ความสูง 5.575 เมตร ความกว้างของถนน 21.3 เมตร ความกว้างระหว่างอาคารที่ขนานสองข้างของสถานีประมาณ 31.16 เมตร มีช่องว่างระหว่างอาคารกับตัวสถานีประมาณ 3.0 เมตร โดยอาคารที่ขนานทั้งสองข้างมีความสูงประมาณ 14-15 เมตร (อาคารพาณิชย์ 3-4 ชั้น) มีความสูงขึ้นไปถึงชั้นชานชะลา ทำให้ลักษณะภายใต้สถานีมีความคล้ายคลึงกับอุโมงค์ แต่อย่างไรก็ตามอาคารสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ด้านข้างของสถานีไม่ได้ปิดทึบตลอดแนวของสถานี โดยพบว่า อาคารที่อยู่ด้านตะวันออกเป็นอาคาร 4 ชั้น เริ่มจากทิศเหนือของสถานีคือ อาคารบริษัท แสงชัยมิเตอร์ และบริษัท 4 กระรัต จำกัด จากนั้นมีช่องว่างเข้าสู่ลานจอดรถ ความกว้าง 4 เมตร และต่อด้านอาคารพาณิชย์อีก 2 อาคาร ที่มีชอยเข้าสู่อาคารความกว้างแต่ละชอยประมาณ 6 เมตร เมื่อรวมช่องว่างทั้งหมดด้านตะวันออกพบว่ามีช่องว่างรวมประมาณ 16 เมตร คิดเป็นร้อยละ 10.67 ส่วนด้านทิศตะวันตกจากทิศเหนือของสถานีมีอาคารพาณิชย์ความสูง 4 ชั้น ต่อจากนั้นเป็นช่องว่างของถนนออกจากบ้มน้ำมันบางจาก 4 เมตร และเป็นอาคารบ้มน้ำมันบางจาก ความสูงประมาณ 7 เมตร ซึ่งด้านหน้าของบ้มน้ำมันบางจากเป็นช่องว่างโล่งประมาณ 20 เมตร (รวม

ทางเข้าและทางออกจากบ้มน) จากนั้นเป็นอาคารไปรษณีย์สามเสนใน ความสูงประมาณ 14.0 เมตร และมีชอยเข้าและออกอาคารไปรษณีย์ ทิศทางละ 4.0 เมตร รวมเป็น 8 เมตร เมื่อรวมช่องว่างทั้งหมดด้านทิศตะวันตก พบว่า รวมมีช่องว่าง 28 เมตร หรือประมาณร้อยละ 18.67 ของความยาวสถานี 150 เมตร (ภาพที่ 12)

จากลักษณะโครงสร้างอาคารและช่องเปิดของชอยที่อยู่ด้านข้างของสถานีรถไฟฟ้า สะพานควายทำให้ลักษณะภายใต้สถานีรถไฟฟ้าไม่เป็นไปในลักษณะของอุโมงค์ลมที่สมบูรณ์ ช่องเปิดต่างๆ จึงทำให้มีอิทธิพลต่อการฟุ้งกระจายของมลสาร เช่นเดียวกับผลงานวิจัยของ Ameth and Stichlmair (2001); Gehlin *et al.* (2003) ที่กล่าวว่า มวลอากาศที่อบอุ่นจะเคลื่อนย้ายออกและแทนที่ด้วยมวลอากาศที่เย็นกว่า ดังนั้น มวลอากาศที่เย็นกว่าภายนอกจะสามารถเข้ามาแทนที่มวลอากาศร้อนใต้สถานี ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและการนำความร้อนของผิวถนนจากใต้ดิน (Mirmov and Belyakava, 1982) ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลของลมหลัก ที่อยู่บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายที่จะปะทะตัวอาคารและไหลเข้าตามช่องว่างเติมอากาศเข้าสู่ภายใต้สถานีรถไฟฟ้า แต่จากสภาพช่องเปิดของตัวอาคารทางด้านตะวันออกประมาณร้อยละ 10.67 และด้านตะวันตก ร้อยละ 18.67 ซึ่งก็จัดว่าค่อนข้างหนาแน่นมีลักษณะเกือบเป็นอุโมงค์ ดังนั้น ในการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากรถภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายจำเป็นต้องพิจารณาตามทิศทางลมทั้งที่จะเข้าสู่ภายใต้สถานีรถไฟฟ้า ทั้งตามถนนพหลโยธินและตามช่องเปิดด้านข้างสถานีเป็นหลัก



ภาพที่ 12 ลักษณะอาคารและช่องว่างด้านข้างของสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

การติดตั้งเครื่องมือหัวฉีดละอองน้ำที่เพดานใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ที่มีความสูง 5.5 เมตร โดยสภาพการปิดทึบของเพดานชั้นจำหน่ายตั๋ว มีความยาวทั้งสิ้น 100 เมตร ดังนั้นจึงดำเนินการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำความดันสูง ระยะห่างระหว่างหัวฉีด 2.0 เมตร ที่ได้จากการทดลองความเหมาะสมของระยะห่างจากศึกษาระยะที่ 1 จำนวน 4 แนว โดยมีปั้มน้ำแรงดันสูง 1,000 PSI ติดตั้งอยู่ในห้องปั้มน้ำฉุกเฉินใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายด้านทิศเหนือ และเดินท่อแอสแตนเลตตลอดแนวความยาวของสถานี จำนวน 4 แนว โดยครอบคลุมพื้นที่ถนนพหลโยธิน (ภาพที่ 10) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลสารฝุ่นละอองจากการจราจร โดยใช้หัวฉีดละอองน้ำแฉะละ 52 หัวฉีด รวมใช้หัวฉีดละอองน้ำทั้งสิ้น 208 หัวฉีด ซึ่งทำให้ลักษณะการติดตั้งหัวฉีดดังกล่าวมีการฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็กความดันสูงลงครอบคลุมถนนพหลโยธินตลอดทั้งแนวภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (ภาพที่ 13) โดยอัตราการใช้น้ำของหัวฉีด (flow rate) เท่ากับ 0.076 ลิตรต่อนาที



ภาพที่ 13 ภาพจำลองการทำงานของหัวฉีดละอองน้ำความดันสูงภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

2.2 การติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดและวางแผนการทดลอง

เมื่อมีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำความดันสูงทั้งหมดใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ความยาว 100 เมตร ครอบคลุมถนนพหลโยธินซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองจราจรโดยตรง และได้กำหนดจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองและเครื่องมือตรวจวัดอุตุณิยวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษาเพื่อให้

นำข้อมูลมาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่ใต้สถานีสะพานควาย โดยได้มีการตั้งเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 3 โซน ทั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบพื้นที่ด้านนอกที่ไม่ได้รับอิทธิพลของหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็กทั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้ กับบริเวณด้านใต้สถานีที่มีการติดตั้งหัวฉีดละอองน้ำ (ภาพที่ 10) นอกจากนี้ได้ติดตั้งเครื่องตรวจวัดอนุกรมวิธาน ในแต่ละโซน คือ โซน A ด้านทิศเหนือของสถานี โซน B ด้านใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย และโซน C ด้านทิศใต้ของสถานี เพื่อใช้ข้อมูลอนุกรมวิธานและทิศทางลมในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดอนุกรมวิธานที่ชั้นชานชะลาความสูงจากพื้นประมาณ 14.4 เมตร ซึ่งไม่มีอาคารสูง เพื่อเป็นตัวแทนของอนุกรมวิธานบริเวณรอบสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย การทดลองได้ดำเนินการทดลองระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 โดยระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ดำเนินการตรวจวัดคุณภาพอากาศ อนุกรมวิธานและการจราจร ในสภาพปกติ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐาน ในขณะที่วันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 เป็นการตรวจวัดคุณภาพอากาศ อนุกรมวิธานและการจราจร ในกรณีของการเปิดละอองน้ำขนาดเล็กเพื่อลดฝุ่นละอองจราจร โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองระหว่างเวลา 05:00-20:00 น.

2.3 ปริมาณการจราจรและความเร็วของยานพาหนะ

ปริมาณการจราจรบนถนนพหลโยธินฝั่งขาเข้าเมือง คือ มุ่งหน้าเข้าสู่อนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ และฝั่งขาออกนอกเมือง ซึ่งการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดมลสารฝุ่นละอองหลักภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย สอดคล้องกับ Lonati and Giugliano (2006) ที่พบว่าสภาพการจราจรก่อให้เกิดขนาดของฝุ่นละออง ระหว่าง 0.5-5 ไมโครเมตร โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้และฝุ่นดิน แสดงให้เห็นว่าการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยในกรณีของการเกิดภาวะการจราจรหนาแน่นและติดขัดภายใต้สถานีจะทำให้มีมลสารต่าง ๆ ที่เกิดจากจากการจราจร คือการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงของยานพาหนะที่จอดติดขัดอยู่ภายใต้สถานี ซึ่งมีความร้อนจากการเผาไหม้และทำให้ลอยตัวขึ้นจากพื้นผิวถนนเพื่อหาอากาศที่เย็นกว่าเป็นไปตามหลัก adiabatic cooling process ซึ่งจะทำให้เกิดการเจือจางหรือกระจายตัวของมลสารไปได้ในระดับหนึ่ง แต่ด้วยสภาพด้านข้างของสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายเป็นอาคารพาณิชย์ที่มีระยะห่างระหว่างสถานีและอาคารประมาณ 3 เมตร และมีช่องเปิดที่เป็นชอยเพียงร้อยละ 10.67 และ 18.67 ด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ตามลำดับ จึงทำให้เกิดการสะสมของมลสารภายใต้สถานีรถไฟฟ้าได้

ผลการตรวจวัดปริมาณการจราจรบนถนนพหลโยธินที่ผ่านใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 พบว่า การจราจรระหว่างเวลา 05:00-20:00 น. รวม 15 ชั่วโมง มีค่าปริมาณการจราจรระหว่าง 65,874-71,628 คัน โดยในทุกวันนี้มีค่าแตกต่างกัน

กันไม่มากนัก ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 จะมีปริมาณการจราจรที่ใกล้เคียงกันประมาณ 70,000 คัน ต่อ 15 ชั่วโมงที่ทำการตรวจนับ ความเร็วเฉลี่ยในแต่ละวันอยู่ระหว่าง 32-41 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ตารางที่ 3) เมื่อพิจารณาการจราจรรายชั่วโมงจะพบว่า ปริมาณการจราจรจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลา 06:00 น. ปริมาณการจราจรประมาณ 2,000 คันต่อชั่วโมง และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาระหว่าง 08:00-09:00 น. มีค่าประมาณ 5,000-6,000 คันต่อชั่วโมง และจะคงสภาพการจราจรประมาณ 4,000 คันต่อชั่วโมงจนถึงประมาณ 17:00 น. ปริมาณการจราจรจึงจะลดปริมาณลง ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาความเร็วของการจราจรในถนนพหลโยธิน บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย พบว่า จะมีความเร็วเฉลี่ยของการจราจรที่ต่ำ 10-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในช่วงเวลาประมาณ 06:00-09:00 น. ซึ่งเป็นชั่วโมงเร่งด่วน นั้นหมายความว่าเกิดการจราจรหนาแน่นและติดขัดบริเวณใต้สถานีสะพานควาย โดยจะเกิดลักษณะดังกล่าวขึ้นอีกครั้งประมาณเวลา 15:00-17:00 น. ในขณะที่ช่วงเวลาที่เหลือระหว่าง 09:00-15:00 น. และ 17:00-20:00 น. การจราจรมีความเร็วเฉลี่ยต่อชั่วโมงระหว่าง 30-50 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ภาพที่ 14)

ตารางที่ 3 ปริมาณการจราจรบนถนนพหลโยธินที่ผ่านใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551

Time	25 Nov 2008		26 Nov 2008		27 Nov 2008		28 Nov 2008		29 Nov 2008	
	No. of vehicles	Velocity (km/hr)								
05:00-06:00	1,992	30	1,998	30	2,502	30	2,358	35	2,952	40
06:00-07:00	3,174	10	3,846	15	5,310	15	2,484	20	4,272	50
07:00-08:00	4,812	15	5,466	10	5,706	10	6,204	15	6,168	45
08:00-09:00	5,796	20	5,826	25	5,274	25	5,358	25	5,472	40
09:00-10:00	4,926	50	5,298	40	5,430	40	5,778	45	5,256	35
10:00-11:00	5,208	50	5,994	50	4,674	50	5,178	40	5,214	40
11:00-12:00	5,928	40	4,260	45	6,000	45	3,864	35	5,094	45
12:00-13:00	5,556	30	5,232	30	4,320	30	4,776	30	5,394	40
13:00-14:00	5,856	30	5,304	30	5,508	30	5,328	40	5,580	35
14:00-15:00	3,018	40	4,074	30	4,356	30	5,460	35	5,304	35
15:00-16:00	3,972	30	4,032	25	3,738	25	3,882	35	4,164	45
16:00-17:00	3,882	20	3,312	20	4,422	20	3,606	30	4,710	35
17:00-18:00	4,122	40	3,888	35	4,098	30	3,966	35	3,354	45
18:00-19:00	4,026	50	4,566	45	3,696	45	3,816	40	3,582	40
19:00-20:00	3,780	50	3,642	50	3,558	50	3,816	50	3,510	50
sum	66,048	34*	66,738	32*	68,592	32*	65,874	34*	70,026	41*

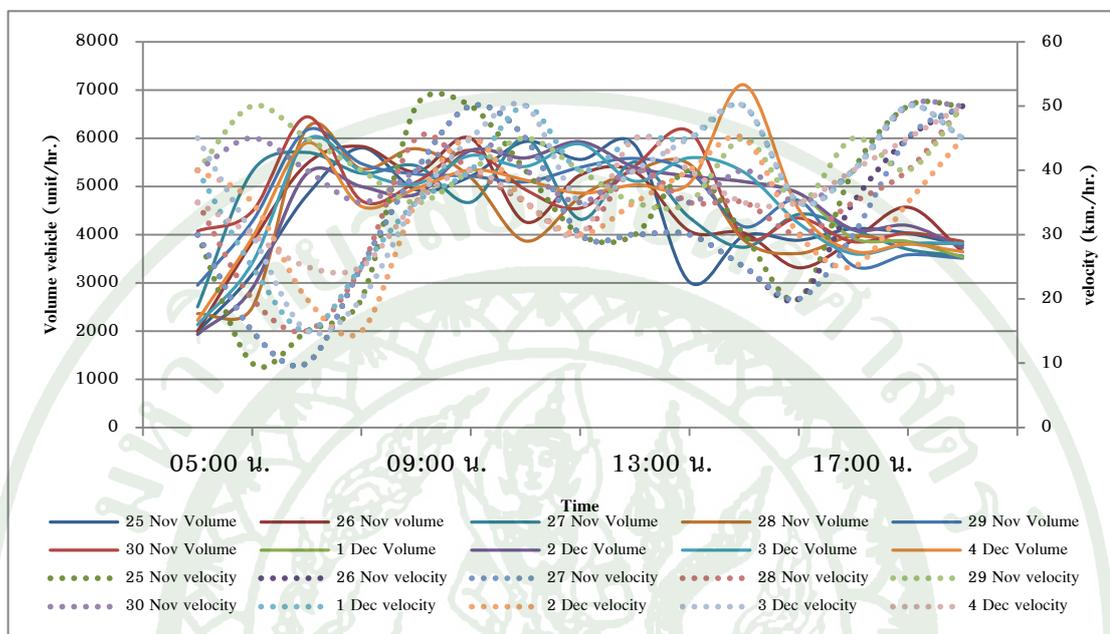
ตารางที่ 3 (ต่อ)

Time	25 Nov 2008		26 Nov 2008		27 Nov 2008		28 Nov 2008		29 Nov 2008	
	No. of vehicles	Velocity (km/hr)								
05:00-06:00	4,074	40	1,932	40	1,932	40	2,130	45	2,226	35
06:00-07:00	4,482	45	2,886	25	2,886	35	3,408	30	3,936	30
07:00-08:00	6,444	40	5,268	15	5,268	20	5,964	15	5,904	25
08:00-09:00	4,704	35	4,998	25	4,998	15	5,310	20	4,584	25
09:00-10:00	5,088	40	4,836	35	4,836	35	5,052	35	4,956	35
10:00-11:00	5,748	45	5,748	40	5,748	45	5,640	45	5,340	40
11:00-12:00	4,932	40	5,592	50	5,592	35	5,412	50	5,130	35
12:00-13:00	4,548	35	5,928	40	5,928	30	5,880	35	4,860	30
13:00-14:00	5,418	40	5,400	45	5,400	35	5,106	40	5,034	45
14:00-15:00	6,144	35	5,214	45	5,214	40	5,592	45	5,064	40
15:00-16:00	3,960	40	5,100	50	5,100	45	5,292	50	7,104	35
16:00-17:00	4,344	35	4,860	35	4,860	30	4,233	35	4,527	35
17:00-18:00	3,852	40	3,927	40	4,110	25	3,603	40	3,660	40
18:00-19:00	4,032	50	3,861	50	4,191	35	3,807	50	3,804	45
19:00-20:00	3,858	50	3,534	45	3,729	45	3,819	45	3,645	50
sum	71,628	41*	69,084	39*	69,792	34*	70,248	39*	69,774	36*

หมายเหตุ: * ความเร็วเฉลี่ยต่อชั่วโมง

เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนประเภทยานพาหนะ ได้แก่ รถจักรยานยนต์ รถยนต์ รถเมล์ รถกระบะ และรถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไป พบว่า ทุกวันที่ทำการตรวจวัดมีสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน โดยเป็นยานพาหนะที่พบมากที่สุด คือ รถยนต์ ร้อยละ 50.89 รองลงมาเป็นรถจักรยานยนต์ ร้อยละ 31.15 และรถกระบะ ร้อยละ 10.26 และน้อยที่สุดคือรถบรรทุกเกิน 6 ล้อขึ้นไป ร้อยละ 0.39 (ตารางที่ 4) และเมื่อพิจารณาปริมาณยานพาหนะในรายชั่วโมงพบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ จะมีปริมาณยานพาหนะสูงในชั่วโมง 07:00-08:00, 10:00-11:00 และ 15:00-16:00 น. โดยในช่วงเวลา 07:00-08:00 น. เป็นช่วงที่มีปริมาณการจราจรสูงสุด คือ รถจักรยานยนต์ ประมาณ 2,000 คันต่อชั่วโมง และรถยนต์ประมาณ 3,000 คันต่อชั่วโมง ซึ่งจากปริมาณการจราจรดังกล่าวจึงทำให้สัมพันธ์ไปถึงการเกิดมลพิษทางอากาศ เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดจำนวนมาก และประกอบกับความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ช้า คือ การจราจรที่หนาแน่น

และติดขัด ทำให้โอกาสของการเกิดมลสารและการสะสมของมลสารเกิดขึ้นได้มากตามไปด้วยนั่นเอง



ภาพที่ 14 ปริมาณการจราจรและความเร็วบนถนนพหลโยธินระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551

2.4 อุณหภูมิ ความชื้นและความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริง

การตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ได้มีการติดตั้งสถานีตรวจวัดอุณหภูมิทั้งสิ้น 4 สถานี ทั้งนี้เพื่อสามารถอธิบายปรากฏการณ์ลักษณะอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ ที่จะส่งผลต่อการวัดปริมาณฝุ่นละอองจราจรในบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายนั่นเอง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) บริเวณเกาะกลางถนนนอกสถานีด้านทิศเหนือโซน A (out MoChit) มีการตรวจวัดอุณหภูมิ ความเร็วและทิศทางลม บริเวณเกาะกลางถนนนอกสถานีสะพานควายไปทางด้านสถานีหมอชิต เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการแปรผลของฝุ่นละออง ที่ได้รับอิทธิพลจากปากอุโมงค์ด้านทิศเหนือ

ตารางที่ 4 สัดส่วนประเภทยานพาหนะบนถนนพหลโยธิน ช่วงที่ผ่านบริเวณสถานีรถไฟฟ้า สะพานควาย

วันที่ทำการ ตรวจวัด	สัดส่วนประเภทยานพาหนะ (ร้อยละ)				
	รถจักรยานยนต์	รถยนต์	รถเมล์	รถกระบะ	รถบรรทุก
25-Nov-2008	29.58	51.90	8.37	9.87	0.28
26-Nov-2008	29.25	51.41	8.43	10.72	0.19
27-Nov-2008	29.19	52.20	6.88	11.30	0.43
28-Nov-2008	29.58	52.57	6.27	11.17	0.41
29-Nov-2008	30.25	51.51	7.75	10.22	0.27
30-Nov-2008	30.41	51.22	7.02	10.91	0.44
1-Dec-2008	33.99	48.88	7.14	9.56	0.43
2-Dec-2008	33.70	49.03	7.21	9.67	0.39
3-Dec-2008	33.16	49.95	6.91	9.37	0.60
4-Dec-2008	32.36	50.17	7.11	9.86	0.50
Average	31.15	50.89	7.31	10.26	0.39

หมายเหตุ: การตรวจนับปริมาณจราจรระหว่างเวลา 05:00-20:00 น.

2) บริเวณเกาะกลางถนนใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายโซน B (SPK) มีการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ที่ระดับ 1.5 เมตร และความชื้นที่ระดับ 5.0 เมตร ความเร็วและทิศทางลม ระดับ 2.5 เมตร ที่บริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า

3) บริเวณเกาะกลางถนนนอกสถานีด้านทิศใต้โซน C (out Ari) มีการตรวจวัดอุณหภูมิ ความเร็วและทิศทางลม บริเวณด้านนอกสถานีไปทางฝั่งสถานีอารีย์ เพื่อใช้ประกอบอธิบายอิทธิพลทางด้านทิศใต้ของสถานี ต่อผลการตรวจวัดฝุ่นจราจร

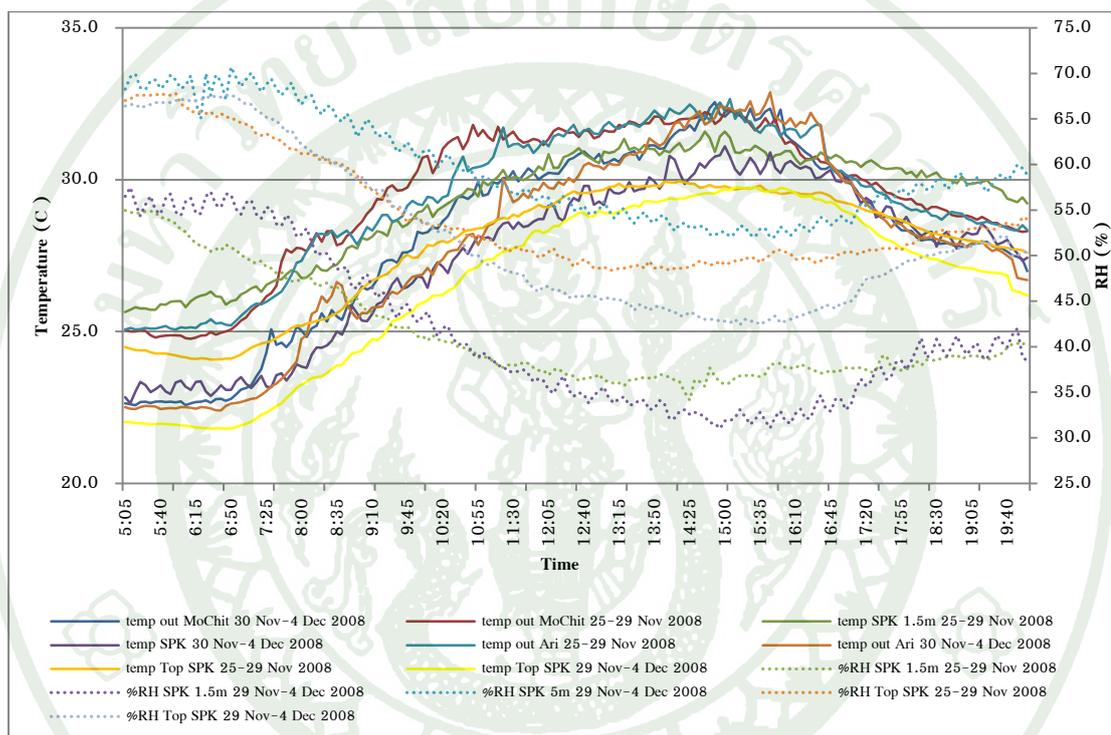
4) บริเวณชั้นชานชะลาของสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายด้านทิศเหนือ (Top SPK) เป็นการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วและทิศทางลม บริเวณด้านบนสถานีเพื่อใช้ประกอบการอธิบายอิทธิพลของอุตุนิยมวิทยาบริเวณโดยรอบสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น ระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 โดยแบ่งช่วงของการตรวจวัดเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงวันปกติ ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 และช่วงวันที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำเพื่อลดปริมาณฝุ่นละอองภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 มีผล ดังนี้

อุณหภูมิ จากผลการตรวจวัดในวันปกติ ระหว่างวันที่ 25-29 ธันวาคม 2551 พบว่า บริเวณชั้นชานชะลาด้านบนของสถานีสะพานควายมีอุณหภูมิระหว่าง 24.1-29.9 องศาเซลเซียส ระหว่างเวลา 05:00-20:00 น. อุณหภูมิจะต่ำสุดที่เวลาประมาณ 06:30-07:00 น. แล้วค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับจนสูงสุดที่เกือบ 30 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 15:30 น. และเมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 อุณหภูมิจะค่อนข้างต่ำลงโดยมีอุณหภูมิต่ำสุด 21.8 องศาเซลเซียส และสูงสุด 29.8 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่า ในช่วงเช้าจนถึงเที่ยง 05:00-14:00 น. และเวลา 17:00-20:00 น. อุณหภูมิเฉลี่ยค่อนข้างต่ำกว่าประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส และช่วงเวลา 15:00-16:00 น. ที่อุณหภูมิใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 15) และเมื่อสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแต่ละช่วงเวลานั้น พบว่า อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ (smooth) เมื่อเปรียบเทียบกับสถานีเกาะกลางถนนพหลโยธินด้านทิศเหนือ (out MoChit) และด้านทิศใต้ (out Ari) พบว่า มีอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีอุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดที่สูงกว่าบริเวณด้านบนของสถานีสะพานควาย ประมาณ 2-3 องศาเซลเซียส อีกทั้งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามช่วงเวลามีการขึ้นลงไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากมีอิทธิพลความร้อนจากปริมาณการจราจร มากกว่าความร้อนที่มาจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว (Memon *et al.*, 2010) มีแนวโน้มเป็นไปเช่นเดียวกับบริเวณภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (SPK) ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของฝุ่นละอองในลักษณะของ Brownian motion คือ การเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทาง อันเนื่องมาจากความร้อนและการเคลื่อนที่ในแนวตั้งจากจุดที่ร้อนกว่าไปยังจุดที่เย็นกว่า (Hidy and Brock 1971; Charinpanitkul and Tanthapanichkoon 2011; Brabec 2003; Gaunt *et al.* 2003a, 2003b; Xie *et al.* 2005; Carotenuto *et al.* 2010; Jaworek *et al.* 2013) และพบอีกว่า ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 มีอุณหภูมิต่ำกว่าระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ เป็นไปในทิศทางเดียวกับกับอุณหภูมิเฉลี่ยของบริเวณพื้นที่โดยรอบ ซึ่งพบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงตามผลการตรวจวัดของบริเวณชั้นชานชะลาสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ได้มีการตรวจวัด 3 ตำแหน่ง คือ บริเวณด้านบนสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย และใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายที่ระดับ 1.5 และ 5.0 เมตร พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณด้านบนสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 มีค่าระหว่างร้อยละ 48.4-67.8 (ตารางที่ 5) ในขณะที่ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 มีค่าใกล้เคียงกันแต่จะมีช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าเล็กน้อย ส่วนผลการตรวจวัดบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้า พบว่า มีแนวโน้มไปทิศทางเดียวกันแต่ต่ำกว่าบริเวณด้านบนสถานีสะพานควาย และระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 มีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงกว่าระหว่างเวลา 05:00-10:00 น. และต่ำกว่าระหว่างเวลา 12:00-17:00 น. ในวันที่ไม่มีการ

ฉีดพ่นละอองน้ำ และในส่วนของ การตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับ 5.0 เมตร ซึ่งเป็นระดับต่ำกว่าหัวฉีดละอองน้ำประมาณ 0.5 เมตร พบว่า มีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูงระหว่างร้อยละ 52.0-70.7 เนื่องจากอยู่ใกล้กับหัวฉีดละอองน้ำนั่นเอง โดยการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์รายวันมีการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 54.9-67.8 ในเวลา 05:00 น. และค่อยๆ ลดต่ำลงเรื่อยๆ และต่ำสุดประมาณร้อยละ 31-52 ในเวลาประมาณ 15:00 น. แล้วจึงสูงขึ้นอีกครั้ง (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สถานีตรวจวัดต่างๆ บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

พิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 05:00-20:00 น. ที่สัมพันธ์กับการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง โดยพิจารณาตามลักษณะของการศึกษาภาวะปกติระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 และวันที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำภายใต้สถานีสะพานควายระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 พบว่า ในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดคือช่วงเวลา 05:00-08:00 น. มีอุณหภูมิมระหว่าง 22.9-28.2 องศาเซลเซียส ในโซน A, B และ C และต่ำที่สุดในบริเวณด้านบนของสถานีคือ 21.7-26.6 องศาเซลเซียส และจะสูงสุดในช่วงเวลา 11:00-14:00 น. และ 14:00-17:00 น. โดยมีอุณหภูมิมระหว่าง 29.2-32.8 องศาเซลเซียส ในบริเวณด้านล่าง ส่วนด้านบนสถานีจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า คือ ระหว่าง 29.1-30.6 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 6) ส่วนในวันที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำด้วยสภาวะอุตุณิยวิทยาโดยรวมมีอุณหภูมิ

ที่ลดลงจาก 5 วันแรก แต่อุณหภูมิของแต่ละช่วงเวลาของโซน A และ C ต่างจากโซน B เนื่องจากอิทธิพลของการฉีดพ่นละอองน้ำภายใต้สถานีสะพานควายทำให้อุณหภูมิของโซน B ต่ำกว่าทั้ง 2 โซนที่ไม่ได้รับอิทธิพลของการฉีดพ่นละอองน้ำ

ตารางที่ 5 อุณหภูมิและความชื้น ที่ตำแหน่งต่างๆ บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551

สถานีตรวจวัด	อุณหภูมิ (°C)		ความชื้น (%)	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
25-29 Nov 2008				
Out MoChit	24.8	32.3	-	-
SPK 1.5m.	25.6	31.6	34.1	54.9
Out Ari	25.1	32.7		
Top SPK	24.1	29.9	48.4	67.8
30 Nov-4 Dec 2008				
Out MoChit	22.6	32.6	-	-
SPK 1.5m.	22.6	31.1	31.0	57.5
SPK 5.0m.	-	-	52.0	70.7
Out Ari	22.4	32.9	-	-
Top SPK	21.8	29.8	42.4	67.6

จากความสัมพันธ์ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) เป็นอัตราส่วนของความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริง (Actual Vapor Pressure) ต่อปริมาณความชื้นที่อาจจะมีได้สูงสุด ณ อุณหภูมิของอากาศในขณะนั้น และจะแสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (RH) เป็นเปอร์เซ็นต์ (เลขม, 2541) ตามสมการ

$$RH = (e/e_0) \times 100$$

เมื่อ e = ความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริง (มิลลิบาร์)

e_s = ปริมาณความชื้นที่อาจจะมีได้สูงที่อุณหภูมิของอากาศในขณะนั้น (มิลลิบาร์)

ตารางที่ 6 อุณหภูมิและความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นอย่างฝุ่นละอองของแต่ละสถานีตรวจวัดบริเวณสถานีรถไฟสะพานควาย

ช่วงเวลา	อุณหภูมิ (°C)		อุณหภูมิ (°C)		ความชื้นจริงในอากาศ (mmb)		ความชื้นจริงในอากาศ (mmb)	
	25-29 Nov 2008		30 Nov-4 Dec 2008		25-29 Nov 2008		30 Nov-4 Dec 2008	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
Out MoChit								
05:00-08:00	23.2	27.4	22.6	25.0	-	-	-	-
08:00-11:00	27.5	31.8	26.4	28.9	-	-	-	-
11:00-14:00	30.1	32.5	29.3	32.8	-	-	-	-
14:00-17:00	30.8	32.1	30.7	33.6	-	-	-	-
17:00-20:00	28.2	30.3	27.2	29.9	-	-	-	-
SPK 1.5 m.								
05:00-08:00	23.7	28.2	22.4	24.8	14.6	20.4	13.8	18.3
08:00-11:00	25.2	30.0	25.0	28.9	12.8	19.6	13.5	18.1
11:00-14:00	28.7	32.1	27.6	32.1	12.9	19.8	13.0	17.0
14:00-17:00	29.2	30.5	27.7	32.5	13.1	19.1	12.0	17.3
17:00-20:00	27.5	31.3	26.9	30.0	13.4	19.8	12.6	19.8
SPK 5.0 m.								
05:00-08:00	-	-	-	-	-	-	15.3	22.5
08:00-11:00	-	-	-	-	-	-	19.8	25.6
11:00-14:00	-	-	-	-	-	-	20.9	27.1
14:00-17:00	-	-	-	-	-	-	19.8	23.6
17:00-20:00	-	-	-	-	-	-	19.7	26.9
Out Ari								
05:00-08:00	22.9	27.7	22.2	24.4	-	-	-	-
08:00-11:00	26.0	31.1	26.0	28.8	-	-	-	-
11:00-14:00	29.5	32.8	28.9	32.6	-	-	-	-
14:00-17:00	31.0	32.5	30.9	33.7	-	-	-	-
17:00-20:00	27.9	30.1	27.0	30.1	-	-	-	-
Top SPK								
05:00-08:00	21.7	26.5	21.5	24.2	16.3	23.4	15.6	20.6
08:00-11:00	24.6	28.8	23.9	27.7	15.9	23.2	15.6	21.3
11:00-14:00	27.8	30.5	27.1	30.8	16.7	23.8	16.5	21.3
14:00-17:00	29.1	30.6	28.3	31.6	17.1	24.2	16.1	21.8
17:00-20:00	27.3	29.3	26.1	29.5	17.0	23.3	16.1	23.4

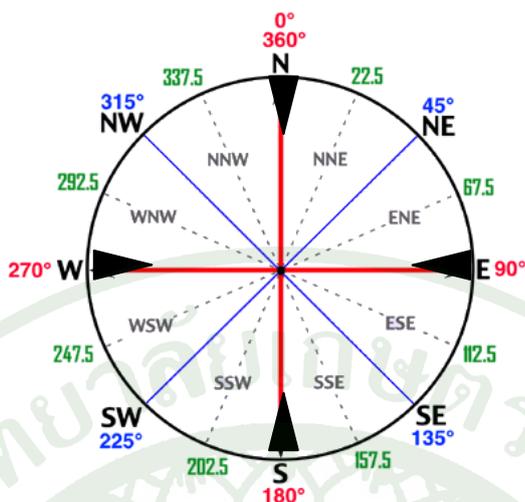
ดังนั้น เมื่อนำอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ของบริเวณด้านบนสถานีรถไฟฟ้า สะพานควาย และบริเวณด้านใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายคำนวณเป็นปริมาณความชื้นในอากาศ ที่มีอยู่จริงในอากาศระหว่างวันปกติและวันที่มีการฝนละอองน้ำใต้สถานีรถไฟฟ้า พบว่า ในวันปกติของบริเวณบนสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายจะมีปริมาณความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงใกล้เคียงกันในทุกช่วงเวลา คือต่ำสุดระหว่าง 15.9-17.1 มิลลิบาร์ และสูงสุดระหว่าง 23.2-24.2 มิลลิบาร์ ในขณะที่บริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายในช่วงเวลาเช้าจะมีปริมาณความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน คือ ระหว่าง 14.6-20.4 มิลลิบาร์ และในภาพรวมจะมีความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงต่ำกว่าจุดตรวจวัดบริเวณชั้นชานชะลาบนสถานี เนื่องจากภายใต้สถานีโดยเฉพาะ โซน B มีลักษณะปิดทึบคล้ายอุโมงค์ ทำให้มีการสะสมของความร้อนจากการจราจรส่วนหนึ่ง นั้นเอง ในขณะที่วันที่มีการฉีดพ่นน้ำคือวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 ค่าเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง ของความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงของบริเวณบนสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย มีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกช่วงเวลาในรอบวันที่ทำการตรวจวัด ส่วนบริเวณใต้สถานีสะพานควายที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำ ปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศแปรเปลี่ยนไปไม่ค่อยสม่ำเสมอ เนื่องจากอิทธิพลของละอองน้ำบางส่วนถูกแปรเปลี่ยนไปจับตัวกับฝุ่นละออง (ตารางที่ 7) โดยการคำนวณ ปริมาณความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงนี้ก็เพื่อแสดงให้เห็นตามสมมติฐานที่ว่า หากละอองน้ำที่ถูกปล่อยออกมาจากหัวฉีดละอองน้ำ ปกติแล้วต้องมีปริมาณไอน้ำในอากาศมากขึ้น แต่หากไอน้ำส่วน ที่ปล่อยออกมา มีการจับตัวกับละอองฝุ่นก็จะทำให้ปริมาณไอน้ำอึดตัวในอากาศลดน้อยลงนั่นเอง

2.5 ทิศทางลมและความเร็วลม

ทิศทางลมและความเร็วลม เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของมลสารในบรรยากาศโดยทั่วไปแล้วพื้นที่ที่อยู่เหนือลมจะมีการสะสมของฝุ่นละอองน้อยกว่าพื้นที่ที่อยู่ใต้ลม (Balachandran *et al.* 2003; Botkin and Keller 2005; Cartenuto *et al.* 2010) นอกจากนี้ Longley *et al.* (2003); Li *et al.* (2007) ได้ศึกษาในพื้นที่ street canyon พบว่าอิทธิพลของลม ทั้งทิศทางและความเร็วของลมมีผลต่อการกระจายตัวของฝุ่นละอองและความเข้มข้นของฝุ่นละออง โดยปกติแล้วลมหลักจะแบ่งออกเป็นทิศใหญ่ ๆ 4 ทิศ คือ ทิศเหนือ (N) ทิศตะวันออก (E) ทิศใต้ (S) และทิศตะวันตก (W) นอกจากนี้เมื่อทำการแบ่งทิศย่อยลงไปจะสามารถแบ่งได้เป็นทุก 45 องศา และ 22.5 องศา สามารถทำให้เกิดทิศทางของลมได้ทั้งหมด 16 ทิศทาง (ภาพที่ 16)

ตารางที่ 7 ปริมาณความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริงเฉลี่ย 3 ชั่วโมงบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

วัน-เวลา	ความชื้นในอากาศ ที่มีอยู่จริง (มิลลิบาร์)		วัน-เวลา	ความชื้นในอากาศที่มีอยู่จริง (มิลลิบาร์)		
	SPK 1.5m.	TOP SPK		SPK 1.5m.	SPK 5m.	TOP SPK
25 พ.ย. 51			30 พ.ย. 51			
05:00-08:00	20.4	23.4	05:00-08:00	15.2	15.3	17.3
08:00-11:00	19.6	23.2	08:00-11:00	14.5	19.8	16.9
11:00-14:00	19.8	23.8	11:00-14:00	13.8	20.9	17.0
14:00-17:00	19.1	24.2	14:00-17:00	12.0	19.8	16.1
17:00-20:00	19.8	23.3	17:00-20:00	13.0	19.7	16.1
26 พ.ย. 51			1 ธ.ค. 51			
05:00-08:00	19.9	22.7	05:00-08:00	13.9	18.1	15.7
08:00-11:00	18.4	22.7	08:00-11:00	13.5	19.6	15.6
11:00-14:00	18.9	23.1	11:00-14:00	13.0	20.9	16.5
14:00-17:00	19.1	23.7	14:00-17:00	13.0	21.5	16.6
17:00-20:00	18.8	22.7	17:00-20:00	12.6	20.4	16.2
27 พ.ย. 51			2 ธ.ค. 51			
05:00-08:00	18.9	21.6	05:00-08:00	13.8	18.1	15.6
08:00-11:00	18.2	21.7	08:00-11:00	14.6	20.5	16.1
11:00-14:00	17.1	21.5	11:00-14:00	13.8	21.4	17.3
14:00-17:00	15.4	20.8	14:00-17:00	12.9	21.3	16.8
17:00-20:00	16.0	19.8	17:00-20:00	14.2	21.1	17.3
28 พ.ย. 51			3 ธ.ค. 51			
05:00-08:00	14.0	16.3	05:00-08:00	17.2	20.4	19.1
08:00-11:00	12.8	15.9	08:00-11:00	15.6	21.2	18.4
11:00-14:00	12.9	16.7	11:00-14:00	14.1	22.5	18.0
14:00-17:00	13.1	17.4	14:00-17:00	14.6	23.6	18.6
17:00-20:00	13.5	17.0	17:00-20:00	15.2	22.3	19.0
29 พ.ย. 51			4 ธ.ค. 51			
05:00-08:00	14.6	16.7	05:00-08:00	18.3	22.5	20.6
08:00-11:00	14.1	17.0	08:00-11:00	18.1	25.6	21.3
11:00-14:00	13.3	17.0	11:00-14:00	17.0	27.1	21.3
14:00-17:00	13.3	17.1	14:00-17:00	17.3	27.4	21.8
17:00-20:00	13.4	17.6	17:00-20:00	19.8	26.9	23.4



ภาพที่ 16 ทิศทางลมหลักจำนวน 16 ทิศลม แบบ blowing from

ในการศึกษาประสิทธิภาพของการลดฝุ่นละอองจากรถด้วยละอองน้ำขนาดเล็กจึงได้วางแผนการเก็บข้อมูล ทิศทางและความเร็วของลมบริเวณที่จะมีอิทธิพลต่อพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างไว้ทั้งหมด 3 จุดตรวจวัด โดยประกอบด้วยพื้นที่โซน A ด้านนอกของสถานีฝั่งสถานีหมอชิตด้านทิศเหนือ พื้นที่ โซน C ด้านนอกสถานีสะพานควายด้านฝั่งสถานีอารีย์ด้านทิศใต้ และบริเวณชั้นชานชะลาของสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (Top SPK) เพื่อเป็นตัวแทนสภาพอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่บริเวณดังกล่าว โดยดำเนินการตรวจวัดทั้งสิ้นจำนวน 10 วัน ระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 ในการอภิปรายผลการศึกษา จะขอแยกรายละเอียดการบรรยายในภาพรวมออกเป็น 2 ส่วน คือ ช่วงวันปกติ (25-29 พฤศจิกายน 2551) และวันที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำ (30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551) โดยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลเฉลี่ยราย 5 นาที และนำมาหาทิศทางลมหลักที่เกิดขึ้นสูงสุดในแต่ละจุดตรวจวัด มีผลดังนี้

1) พื้นที่ด้านทิศเหนือนอกสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายฝั่งหมอชิต พื้นที่โซน A (out MoChit) ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ทำการตรวจวัดตั้งแต่เวลา 05:00-20:00 น. พบว่า ลมหลักที่เกิดขึ้นสูงสุด คือ ทิศเหนือ (N) เกิดขึ้นทั้งหมด 8 ช่วงเวลาจาก 25 ช่วงเวลา รองลงมาเป็นทิศ NNE และ SSW จำนวน 5 ช่วงเวลา ซึ่งเป็นแนวทิศทางลมเดียวกับแนวถนนหรือตัวสถานีที่วางตัวในแนวดังกล่าว ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีอิทธิพลต่อการพัดพามลสารโดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองเข้าสู่ได้สถานีได้ และที่เหลือเป็นลมจากทิศใต้ (S) จำนวน 4 ช่วงเวลาและมีภาวะลมสงบไม่สามารถบันทึกทิศทางลมได้ 3 ช่วงเวลา ซึ่งการบันทึกทิศทางดังกล่าวจากเครื่องมือที่ทำการตรวจวัดจะเริ่มบันทึกทิศทางลมเมื่อมีความเร็วลมมากกว่า 0.5 เมตรต่อวินาทีขึ้นไป ส่วนในระหว่างวันที่มีการฉีดพ่นละอองน้ำคือวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 ทิศทางลมส่วนใหญ่ จำนวนมากที่สุดคือ ทิศใต้ (S) มากถึง 13 ช่วงเวลาจาก 25 ช่วงเวลา

รองลงมาเป็นทิศเหนือ (N) จำนวน 9 ช่วงเวลา และเกิดภาวะลมสงบ (C) จำนวน 2 ช่วงเวลา และลมทิศ SSW น้อยที่สุด 1 ช่วงเวลา (ตารางที่ 8)

2) พื้นที่ด้านทิศใต้บนสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายฝั่งอารีย์ พื้นที่โซน C (out Ari) ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อปากอุโมงค์ของใต้สถานีด้านใต้ วันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 พบว่าทิศทางลมหลักที่พบคือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SSE) มีจำนวน 8 ช่วงเวลาจาก 25 ช่วงเวลา รองลงมา เป็น ทิศใต้ (S) จำนวน 7 ช่วงเวลา ส่วนที่เหลือเป็นทิศ SE, WSW จำนวนทิศละ 2 ช่วงเวลา และทิศ ENE จำนวน 1 ช่วงเวลา และเป็นลมสงบ จำนวน 3 ช่วงเวลา ในระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 ที่มีการฉีดพ่นน้ำ มีทิศทางเดียวกันสูงสุดคือทิศ SSE จำนวน 9 ช่วงเวลา รองลงมาเป็นทิศ WSW จำนวน 5 ช่วงเวลา ทิศใต้ (S) และตะวันตกเฉียงใต้ (SW) จำนวนทิศละ 3 ช่วงเวลา และทิศ ENE 2 ช่วงเวลา และทิศ ESE และ SSW ทิศละ 1 ช่วงเวลา

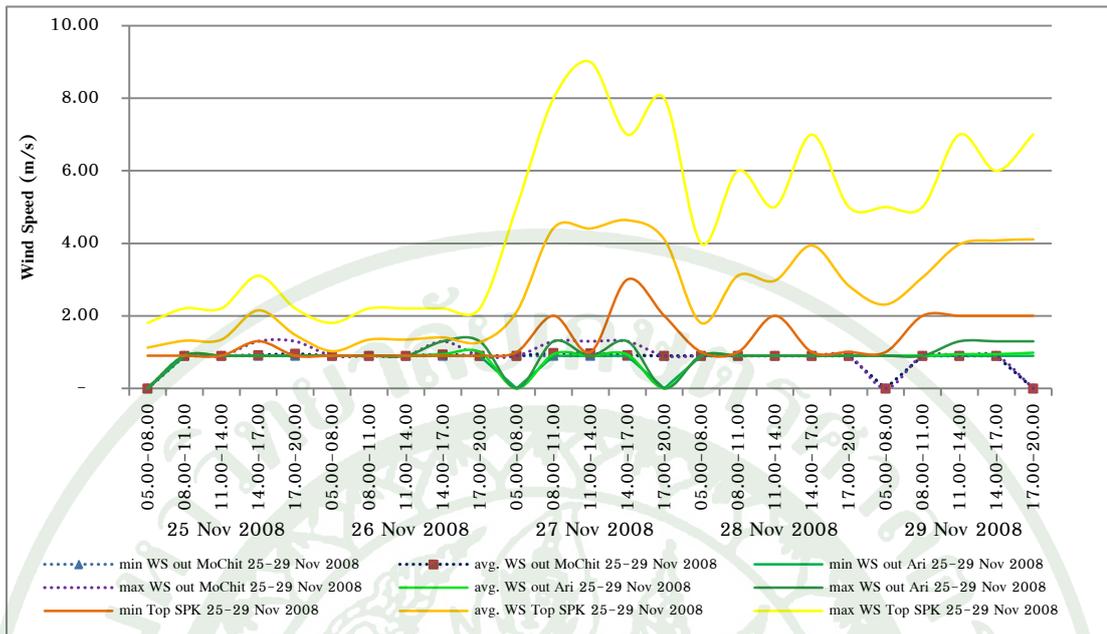
3) บริเวณบนสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (Top SPK) เป็นสถานที่ที่ตรวจวัดด้านบนของสถานีที่ไม่มีอิทธิพลของสิ่งก่อสร้างเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งอยู่ที่ระดับความสูงจากพื้นถนนประมาณ 17 เมตร ในระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ทิศลมหลักคือ ทิศ NNE จำนวน 14 ช่วงเวลา ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับแนวสถานี และมีทิศทางลมที่เหลือ 1-4 ช่วงเวลาต่อทิศทาง คือ ทิศ E, NW, ENE, NNE และ N ตามลำดับ (ตารางที่ 8) ส่วนในวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 ทิศลมหลักคือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) จำนวน 9 ช่วงเวลา รองลงมา เป็นทิศ NW, N จำนวน 6, 5 ช่วงเวลาตามลำดับ และทิศที่น้อยที่สุดคือ ทิศ NNE และทิศ N จำนวนทิศละ 1 ช่วงเวลา

ส่วนความเร็วลมเมื่อนำความเร็วลมตามช่วงเวลาของทั้ง 5 วันมาพิจารณา พบว่า ในระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ความเร็วลมที่บริเวณบนสถานีสะพานควายมีความเร็วสูงสุด ตั้งแต่ 1-9 เมตรต่อวินาที โดยพบว่าช่วง 2 วันแรกมีลักษณะลมที่เบาความความเร็วเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมงสูงสุดเพียง 3 เมตร ในขณะที่ลมค่อยๆ แรงขึ้นใน 3 วันที่เหลือ โดยความเร็วลมวันที่ 3 ของการตรวจวัดที่เป็นวันต่อจากความเร็วลมต่ำนั้นค่อนข้างสูงกว่าวันที่ทำการตรวจวัด ต่อมาอีก 2 วัน ในส่วนของสถานีตรวจวัดด้านล่างที่เกาะกลางถนนพหลโยธิน ทั้งด้านทิศเหนือ (out MoChit) และทางด้านทิศใต้ (out Ari) มีความเร็วค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอิทธิพลของโครงสร้างอาคารต่างๆ และความเร็วลมหลักของพื้นที่ (ด้านบนสถานี Top SPK) โดยมีความเร็วระหว่าง 0-1.3 เมตรต่อวินาที และพบช่วงเวลาที่มีความเร็วเท่ากับ 0 ในหลายช่วงเวลา (ภาพที่ 17)

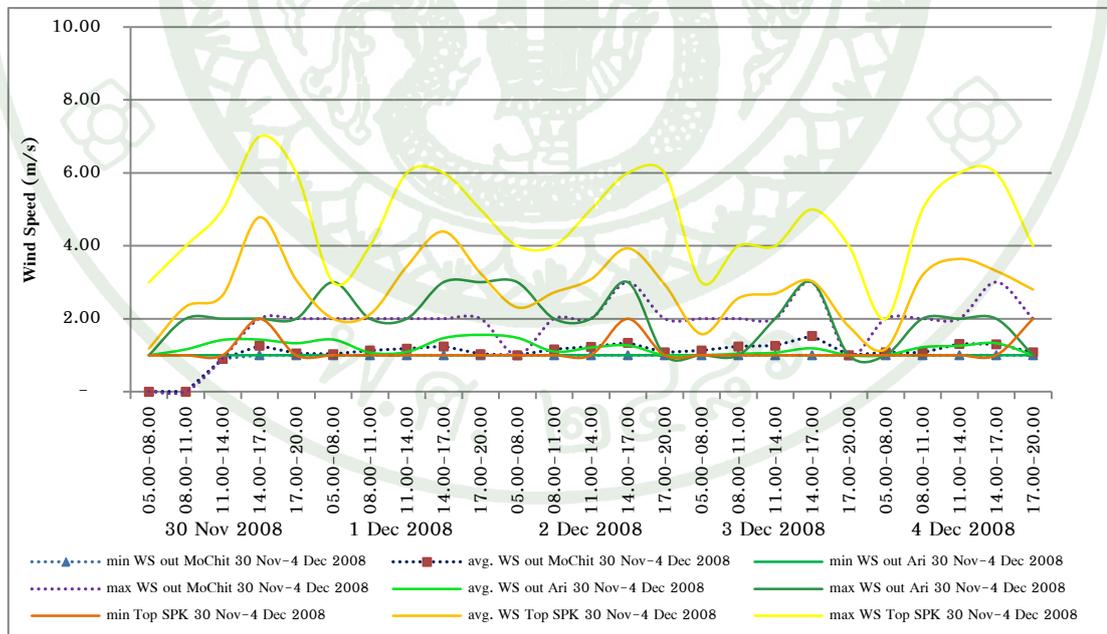
ตารางที่ 8 ทิศทางลมหลักในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณสถานีรถไฟฟ้า สะพานควาย

Station/Time	November 2008						December 2008			
	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4
Out MoChit										
05:00-08:00	C	NNE	N	N	C	C	N	N	S	S
08:00-11:00	NNE	SSW	NNE	N	S	C	N	N	S	N
11:00-14:00	SSW	N	NNE	S	N	N	S	S	S	N
14:00-17:00	SSW	SSW	N	N	N	N	S	N	S	S
17:00-20:00	SSW	S	NNE	S	C	SSW	S	S	S	S
Out Ari										
05:00-08:00	C	ESE	C	C	ENE	WSW	ESE	ENE	WSW	WSW
08:00-11:00	SE	S	S	WSW	ESE	ENE	SE	SSE	SW	SSE
11:00-14:00	S	S	S	WSW	SSE	S	SSW	SSE	SW	SSE
14:00-17:00	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	S	SSE	SW	SSE
17:00-20:00	SSE	S	S	SE	SSE	WSW	S	SSE	WSW	SSE
Top SPK										
05:00-08:00	NE	NE	NE	ENE	N	N	N	N	NW	N
08:00-11:00	E	NE	NE	NE	N	E	NE	NE	NW	NE
11:00-14:00	ENE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NNW	NE
14:00-17:00	NW	NNE	NE	NNE	NE	NNW	NNE	N	NW	NE
17:00-20:00	NNE	NE	NE	N	N	NW	NE	NW	NW	NNW

และเมื่อพิจารณาความเร็วลมต่อเนื่องระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 ที่เป็นวันที่มีการทดลองฉีดพ่นละอองน้ำ มีความเร็วลมค่อนข้างสม่ำเสมอ สำหรับสถานี ด้านบนสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (Top SPK) โดยพบว่าความเร็วลมจะต่ำในช่วงเวลา 05:00-08:00 น. และเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงเวลา 14:00-17:00 น. โดยค่าความเร็วลมสูงสุดที่พบคือ 7 เมตรต่อวินาที ส่วนสถานีที่ด้านล่างบริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธิน ความเร็วลมแต่ละช่วงเวลามีความเร็วลมสูงขึ้นกว่าช่วง 5 วันแรกที่ทำการศึกษาแต่ก็ไม่สูงมากนัก โดยมีค่าระหว่าง 1-3 เมตรต่อวินาที (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ความเร็วลมเฉลี่ย 3 ชั่วโมง บริเวณสถานีรถไฟสะพานควาย ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551



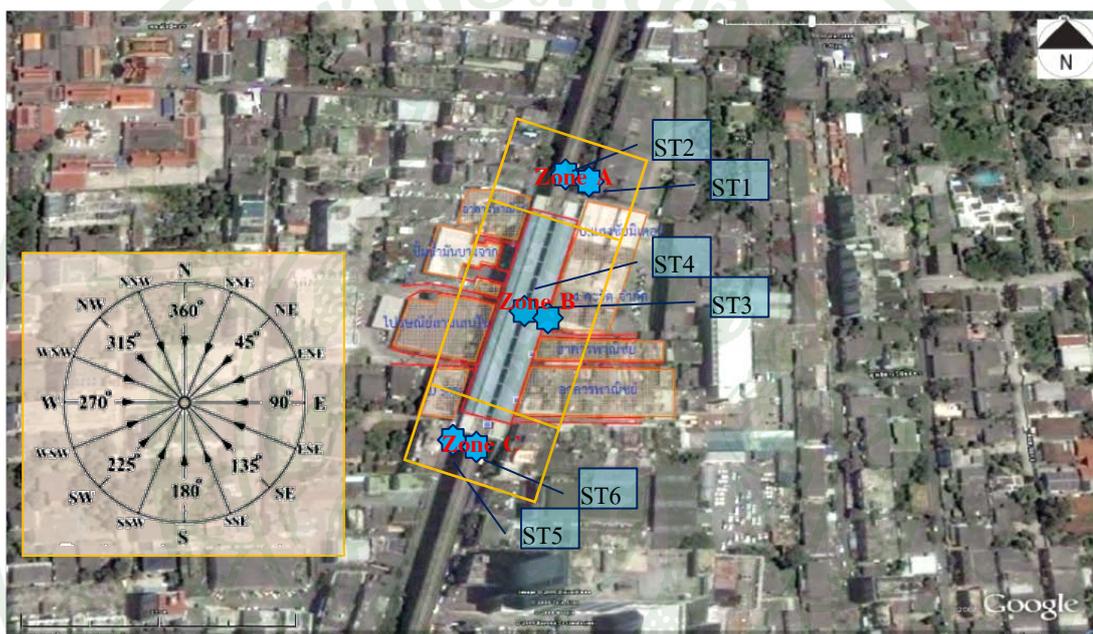
ภาพที่ 18 ความเร็วลมเฉลี่ย 3 ชั่วโมง บริเวณสถานีรถไฟสะพานควาย ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551

2.6 ประสิทธิภาพการลดฝุ่นจากรถไฟฟ้สถานีสะพานควาย

การดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการลดฝุ่นจากรถไฟฟ้สถานีสะพานควาย โดยการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) โดยได้มีการแบ่งโซนการศึกษาเป็น 3 โซน คือ โซน A บริเวณด้านทิศเหนือของสถานีสะพานควาย (out MoChit) โซน B บริเวณใต้สถานีสะพานควาย (SPK) และโซน C บริเวณด้านนอกสถานีสะพานควายทางทิศใต้ด้านสถานีอารีย์ (out Ari) โดยในแต่ละโซนได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองจำนวน 2 สถานี คือที่บริเวณเกาะกลางถนนและริมทางเท้าของแต่ละโซน โดยในโซน A และ B จะวางเครื่องมือตรวจวัดที่เกาะกลางถนนและริมทางเท้าด้านทิศตะวันออก เนื่องจากมีลักษณะอาคารพาณิชย์ ส่วนริมทางเดินเท้าฝั่งตรงข้ามเป็นพื้นที่เปิดโล่งบริเวณปั้มน้ำมัน (โซน A สถานี ST1 บริเวณทางเดินเท้านอกสถานีสะพานควายฝั่งด้านทิศเหนือ ST2 เกาะกลางถนนนอกสถานีสะพานควายด้านทิศเหนือ โซน B ใต้สถานีสะพานควาย ST3 บริเวณทางเดินเท้า ST4 บริเวณเกาะกลางถนน) ส่วนพื้นที่โซน C จะตั้งเครื่องมือตรวจวัดที่เกาะกลางถนน (ST6) และทางเดินเท้าฝั่งตะวันตก (ST5) โดยแสดงภาพการติดตั้งเครื่องมือในแต่ละโซน ดังภาพที่ 19 การตรวจวัดฝุ่นละอองดำเนินการตรวจวัดตามช่วงเวลาทุก ๆ 3 ชั่วโมง ตั้งแต่ 05:00-20:00 น. รวมจำนวน 5 ช่วงเวลาในแต่ละวัน โดยวันปกติ 25-29 พฤศจิกายน 2551 รวมมีจำนวน 25 ช่วงเวลา และระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 ที่มีการพ่นละอองน้ำจำนวน 25 ช่วงเวลา จากนั้นนำข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองมาแปรผล โดยอาศัยปัจจัยต่างๆ อธิบายผลการตรวจวัด ได้แก่ ทิศทางลม อุณหภูมิ ความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศ ในแต่ละคาบของการตรวจวัด ซึ่งเป็นไปตามการศึกษาของ Gardner (1955); Plinke et al (1991); Balachandran et al. (2003), Jaworek et al. (2013) ที่แนะนำให้มีการพ่นละอองน้ำเพื่อลดฝุ่นละอองโดยละอองน้ำจะทำให้วัสดุและฝุ่นเปียกชื้นและตกลงสู่พื้นที่ได้ โดยผลการตรวจวัดมีผล ดังนี้

ผลการตรวจวัดฝุ่นละอองทั้ง 6 สถานีตรวจวัดโดยแบ่งเป็นเกาะกลางถนน 3 สถานี ตามโซน A, B และ C (สถานี ST2, ST4 และ ST6 ตามลำดับ) และบริเวณริมทางเท้าจำนวน 3 สถานี คือ ST1, ST3 และ ST5 ของโซน A, B และ C ตามลำดับ โดยทำการตรวจวัดฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) โดยพบว่า ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณเกาะกลางทั้ง 3 สถานี สถานี ST6 ด้านนอกสถานีทิศใต้โซน C มีค่าต่ำสุด คือ 171 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันที่ 26 พฤศจิกายน 2551 เวลา 17:00-20:00 น. ในขณะที่ค่าสูงสุดเป็นสถานี ST2 บริเวณนอกสถานีด้านทิศเหนือโซน A มีค่า 1,273 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันที่ 25 พฤศจิกายน 2551 เวลา 11:00-14:00 น. ส่วนค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) สถานี ST6 โซน C วันที่ 26 พฤศจิกายน 2551 เวลา 17:00-20:00 น. มีค่าต่ำสุดคือ 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ

มีค่าสูงสุดที่ 589 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันที่ 29 พฤศจิกายน 2551 เวลา 05:00-08:00 น. และเมื่อพิจารณาค่าสูงสุดและต่ำสุดทุกสถานี พบว่า ส่วนใหญ่ค่าฝุ่นละอองรวมสูงสุดในวันที่ 25 และ 28 พฤศจิกายน 2551 เวลา 14:00-17:00 น. และมีค่าต่ำสุด ในวันที่ 27 พฤศจิกายน 2551 เวลา 17:00-20:00 น. ส่วนฝุ่นละอองขนาดเล็กในทุกจุดตรวจวัดส่วนใหญ่มีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 17:00-20:00 น. ของวันที่ 26 และ 27 พฤศจิกายน 2551 และสูงสุดในวันที่ 27-28 เวลา 11:00-17:00 น. (ตารางที่ 9)



ภาพที่ 19 ตำแหน่งการตั้งเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองและทิศทางการวางตัวของสถานีรถไฟฟ้า สะพานควาย

เมื่อพิจารณาเหตุผลของปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดนั้นคือปริมาณการจราจร ก็จะพบว่า ในช่วงเวลาดังกล่าวของวันที่ 25 และ 28 พฤศจิกายน 2551 แม้ว่าปริมาณการจราจรจะไม่สูงสุดของช่วงเวลา 3 ชั่วโมงที่ทำการตรวจวัด แต่เมื่อพิจารณาที่ความเร็วเฉลี่ยต่อชั่วโมง จะมีค่าประมาณ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนในช่วงเวลาที่มีปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศน้อยปริมาณการจราจรมีน้อยกว่าช่วงเวลาอื่นที่ทำการตรวจวัด และมีความเร็วของการจราจรที่ค่อนข้างคล่องตัวประมาณ 42 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังเช่น ในวันที่ 27 พฤศจิกายน 2551 เวลา 17:00-20:00 น. (ตารางที่ 10)

ตารางที่ 9 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM10) บริเวณสถานีรถไฟฟ้ามหานครสายสีแดง

date	Time	Out MoChit	Out Ari	Top SPK	ความเข้มข้นฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)											
					ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
					ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
25 พ.ย. 51	1	C	C	NE	754	514	976	979	562	387	311	253	234	486	383	273
	2	NNE	SE	E	622	412	247	478	550	582	252	139	112	190	245	254
	3	SSW	S	ENE	1,088	460	729	341	718	725	370	245	320	230	323	329
	4	SSW	SSE	NW	1,021	1,273	973	998	702	646	400	496	442	263	235	172
	5	SSW	SSE	NNE	371	250	265	245	462	402	163	106	104	107	107	129
26 พ.ย. 51	1	NNE	ESE	NE	814	524	432	587	618	607	335	244	212	227	285	302
	2	SSW	S	NE	431	349	412	277	682	415	107	132	153	232	200	145
	3	N	S	NE	280	325	389	301	838	344	133	183	171	106	336	131
	4	SSW	SSE	NNE	463	426	410	323	571	519	178	145	170	174	234	106
	5	S	S	NE	252	217	265	242	221	176	71	88	106	101	146	35
27 พ.ย. 51	1	N	C	NE	579	576	556	656	353	422	232	272	261	292	280	278
	2	NNE	S	NE	415	432	289	524	514	550	168	159	112	160	148	116
	3	NNE	S	NE	336	351	237	532	511	570	106	166	119	325	127	166
	4	N	SSE	NE	538	529	566	549	527	388	128	171	232	205	154	182
	5	NNE	S	NE	208	210	235	311	273	341	82	71	87	167	115	117
28 พ.ย. 51	1	N	C	ENE	576	527	697	614	976	979	340	231	307	253	234	486
	2	N	WSW	NE	538	557	622	612	247	519	244	215	242	239	144	190
	3	S	WSW	NE	463	346	1088	460	729	341	292	196	370	245	120	230
	4	N	SSE	NNE	958	966	1021	1,273	1,073	489	358	408	400	425	442	263
	5	S	SE	N	280	268	271	250	265	245	128	92	163	106	104	107
29 พ.ย. 51	1	C	ENE	N	785	323	517	532	892	756	589	184	210	290	404	365
	2	S	ESE	N	567	457	557	538	480	289	464	324	330	357	198	201
	3	N	SSE	NE	526	429	448	541	561	593	278	303	201	256	204	428
	4	N	SSE	NE	519	459	546	545	898	407	149	201	208	254	425	182
	5	C	SSE	N	212	242	294	261	248	273	87	134	106	138	92	125
30 พ.ย. 51	1	C	WSW	N	515	582	577	545	651	469	292	230	306	304	372	310
	2	C	ENE	E	939	261	297	299	396	352	493	176	209	155	208	198
	3	N	S	NE	484	415	501	430	543	495	297	205	289	205	275	322
	4	N	SSE	NNW	593	522	622	470	674	566	257	265	293	243	338	241
	5	SSW	WSW	NW	273	244	247	307	641	361	110	95	93	121	214	253

ตารางที่ 9 (ต่อ)

date	Time	Out MoChit	Out Ari	Top SPK	ความเข้มข้นฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)											
					ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)											
					ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
1 ธ.ค. 51	1	N	ESE	N	578	591	598	595	595	567	302	347	311	342	246	245
	2	N	SE	NE	323	310	354	323	369	340	171	215	175	175	214	181
	3	S	SSW	NE	587	614	513	512	543	560	301	312	254	258	335	330
	4	S	S	NNE	488	468	364	345	512	689	245	236	178	168	345	350
	5	S	S	NE	268	315	315	303	245	233	149	156	145	109	134	124
2 ธ.ค. 51	1	N	ENE	N	819	911	831	523	577	532	382	534	399	255	299	290
	2	N	SSE	NE	350	333	364	357	557	338	185	265	215	196	330	230
	3	S	SSE	NE	446	453	365	374	475	450	225	253	178	215	348	303
	4	N	SSE	N	619	558	649	557	497	445	285	245	290	240	310	154
	5	S	SSE	NW	270	324	302	242	204	261	145	153	140	104	106	138
3 ธ.ค. 51	1	S	WSW	NW	617	534	434	445	581	591	356	372	205	242	316	383
	2	S	SW	NW	422	416	348	375	398	503	221	214	165	183	196	238
	3	S	SW	NNW	617	593	534	563	539	586	315	311	256	284	348	341
	4	S	SW	NW	556	534	412	434	354	574	285	274	206	172	167	331
	5	S	WSW	NW	315	450	204	374	301	580	174	160	119	111	171	254
4 ธ.ค. 51	1	S	WSW	N	673	504	461	342	617	534	377	384	226	210	356	328
	2	N	SSE	NE	370	356	440	359	422	364	197	185	212	198	213	170
	3	N	SSE	NE	339	295	386	321	556	486	196	148	201	156	285	355
	4	S	SSE	NE	494	465	262	254	438	413	254	241	132	125	205	138
	5	S	SSE	NNW	240	386	210	295	307	350	122	140	104	135	154	150

ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 ซึ่งเป็นวันที่การฉีดละอองน้ำภายใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายเพื่อลดฝุ่นละอองจากการจราจร พบว่า ฝุ่นละอองรวมต่ำสุดของทุกสถานีอยู่ระหว่าง 233-244 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสูงสุดระหว่าง 595-935 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่าต่ำที่สุดในวันที่ 1 ธันวาคม 2551 เวลา 17:00-20:00 น. ที่สถานี ST6 และสูงสุดในวันที่ 30 พฤศจิกายน 2551 เวลา 8:00-11:00 น. ที่สถานี ST1 ส่วนปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ค่าความเข้มข้นมีค่าระหว่าง 93-110 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยต่ำสุดที่สถานี ST3 วันที่ 30 พฤศจิกายน 2551 เวลา 17:00-20:00 น. และความเข้มข้นสูงสุดมีค่าระหว่าง 342-534 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่าสูงที่สุดที่สถานี ST2 วันที่ 2 ธันวาคม 2551 เวลา 05:00-08:00 น. (ตารางที่ 9) ซึ่งเหตุผลก็จะเห็นได้ว่าเป็นไปเช่นเดียวกับผลการตรวจวัดวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 คือ

สาเหตุจากการปริมาณและความเร็วของการจราจร และช่วงเวลา โดยช่วงเวลาเช้า 05:00-08:00 น. และ 14:00-17:00 น. ปริมาณการจราจรค่อนข้างมาก ความเร็วของการจราจรต่ำ ทำให้โอกาสการเกิดมลภาวะเรื่องฝุ่นจากการจราจรจึงสูงตามไปด้วย ในขณะที่เวลา 17:00-20:00 น. ปริมาณการจราจรค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการตรวจวัดช่วงเวลาต่าง ๆ ในรายวัน จึงทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองต่ำนั่นเอง

ตารางที่ 10 ปริมาณการจราจรและความเร็วเฉลี่ย 3 ชั่วโมง ของยานพาหนะบนถนนพหลโยธิน บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

ช่วงเวลา	ปริมาณการจราจร (คัน)									
	พฤศจิกายน 2551					ธันวาคม 2551				
	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4
1	3,326	3,770	4,506	3,682	4,464	5,000	3,362	3,328	3,834	4,022
2	5,310	5,706	5,126	5,438	5,314	5,180	5,194	5,146	5,334	4,960
3	5,780	4,932	5,276	4,656	5,356	4,966	5,640	5,599	5,466	5,008
4	3,624	3,806	4,172	4,316	4,726	4,816	5,058	5,149	5,039	5,565
5	3,397	4,032	3,784	3,866	3,482	3,914	3,774	4,010	3,743	3,703
ช่วงเวลา	ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
	พฤศจิกายน 2551					ธันวาคม 2551				
	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4
1	18.3	18.3	18	23	45	42	26.7	32	30	30
2	40	38.3	38	37	38	40	33.3	32	33	33.3
3	33.3	35	35	35	40	38	45	33	42	36.7
4	30	25	25	33	38	37	43.3	38	43	36.7
5	46.7	43.3	42	42	45	47	45	35	45	45

เพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เกิดจากสาเหตุการจราจรบนถนนพหลโยธินนั้น จึงพิจารณาปริมาณการจราจรสูงสุดและต่ำสุดของการตรวจวัดระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ปริมาณการจราจรต่ำสุด คือ วันที่ 25 พฤศจิกายน 2551 เวลา 05:00-08:00 น. และสูงที่สุดเวลา 11:00-14:00 น. ในวันเดียวกัน ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณา ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละออง ในช่วงเวลาดังกล่าว ไม่ได้ต่ำที่สุดหรือสูงที่สุดของการตรวจวัดในทุกสถานีตามไปด้วย และการตรวจวัดฝุ่นละอองระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 มีปริมาณการจราจรต่ำสุดเวลา 05:00-08:00 น. ของวันที่ 2 ธันวาคม 2551 และสูงที่สุดในวันที่ 1 ธันวาคม 2551 เวลา 11:00-14:00 น. ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองก็ไม่ได้ต่ำสุดและสูงที่สุดตามปริมาณการจราจรไปด้วยทั้งหมด (ตารางที่ 9)

ทั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยในเรื่องการปริมาณการจราจรและความเร็วของยานพาหนะ ไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวต่อผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ปัจจัยที่มีผลต่อการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองอีกส่วนหนึ่งนั่นก็คือ ทิศทางลมหลักและลักษณะของโครงสร้างอาคารโดยรอบสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ซึ่งสามารถอภิปรายผลได้ในตอนต่อไป

สถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาที่ติดตั้งบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควายระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 เพื่อพิจารณาทิศทางลมที่มีผลต่อการตรวจวัดฝุ่นละอองบริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย มี 3 สถานี คือ บริเวณด้านบนของสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย บริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธินด้านทิศเหนือ (โซน A) และเกาะกลางถนนพหลโยธินด้านทิศใต้ (โซน C) โดยจะได้อธิบายผลการตรวจวัดตามทิศทางลมหลักของสถานีต่าง ๆ ที่ตรวจพบ (ตารางที่ 11)

ตารางที่ 11 ทิศทางลมหลักที่ตรวจพบของแต่ละสถานีระหว่างวันที่ 25 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551

No.	Wind Direction 25-29 Nov 2008			Wind Direction 30 Nov-4 Dec 2008		
	Top SPK (no. of timing)	Out MoChit (no. of timing)	Out Ari (no. of timing)	Top SPK (no. of timing)	Out MoChit (no. of timing)	Out Ari (no. of timing)
1	NE (14)	N (8)	S (7)	NE (9)	N (9)	SSE (9)
2	-	NNE (5)	SSE (8)	N (5)	S (13)	WSW (5)
3	-	SSW (5)	-	NW (6)	-	-

การตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการฟ่นละอองน้ำเพื่อลดฝุ่นจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย ได้ทำการตรวจวัด 2 ช่วงเวลา คือ 25-29 พฤศจิกายน 2551 เป็นตัวแทนปรากฏการณ์ปกติ และวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551 เป็นตัวแทนปรากฏการณ์วันที่มีการฟ่นละอองน้ำ โดยหลักการพิจารณาปรากฏการณ์ ที่เกิดขึ้นของลมหลักในช่วงเวลาปกติและช่วงเวลาของการฟ่นละอองน้ำเพื่อเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยแยกอธิบายได้ดังนี้

1) การตรวจวัดระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551

สถานีตรวจวัดลมบริเวณชั้นชานชะลาบนสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (Top SPK) ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ทิศทางลมหลักพบทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) จำนวน 14 ช่วงเวลา จาก 25 ช่วงเวลา เมื่อพิจารณาผลการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองของแต่ละโซน

คือ โซน A ด้านทิศเหนือ โซน B ด้านใต้สถานี โซน C ด้านนอกสถานีทิศใต้ พบว่าค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองในโซน B ด้านใต้สถานีรถไฟสะพานควาย สถานี ST3 และ ST4 มีการสะสมตัวมากกว่า ด้านนอกสถานีโซน A คือ ค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองสถานี ST3 และสถานี ST4 มีค่า 504 และ 508 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ ในโซน A นอกสถานีด้านทิศเหนือ มีค่าเฉลี่ยที่สถานี ST1 และ ST2 มีค่าเฉลี่ย 475 และ 416 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาเป็นสถานีย่อย พบว่า ผลการตรวจวัดที่บริเวณริมทางเท้า (ST1) ของโซน A นอกสถานีสูงกว่าเกาะกลางถนน ส่วนในโซน C ด้านนอกสถานีทิศใต้ ที่สถานี ST5 ริมทางเท้าฝั่งตะวันตก มีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยมากกว่าโซน B ทั้ง 2 จุด และเกาะกลางถนนของโซนเดียวกัน (โซน C) ทั้งนี้ ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เพียงแต่พบว่าบริเวณเกาะกลางถนนมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด คือ 245 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 12) ทั้งนี้หากพิจารณาจากทิศลมหลักบนสถานีสะพานควายเป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) สามารถมีอิทธิพลในการพัดพาอากาศที่มีฝุ่นละอองเข้ามาสะสมภายในสถานี และในขณะเดียวกันที่เกาะกลางถนนพหลโยธินภายนอกสถานี มีพื้นที่โล่งและมีการจราจร ทำให้การจราจรนั้นพัดพาอากาศและมลสารเข้าภายในใต้สถานีได้ ที่บริเวณริมทางเท้าสถานี ST1 มีการสะสมฝุ่นละอองมากกว่าในโซนเดียวกัน และเมื่อพิจารณาทิศลมหลักของสถานีบนชั้นชานชาลาสถานีรถไฟสะพานควายพบลมหลักทิศ NNE ที่สถานีเกาะกลางถนนด้านนอกในโซน A (out MoChit) จำนวน 4 ช่วงเวลาจาก 14 ช่วงเวลา และเมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของอาคารโดยรอบสถานีพบว่าด้านทิศตะวันตกมีช่องว่างที่สามารถมีลมพัดพาอากาศและฝุ่นละอองเข้ามาบางส่วน จึงทำให้มีรูปแบบการสะสมของฝุ่นละอองที่เกาะกลางถนนภายในใต้สถานี (ST4) โดยจะเห็นได้ชัดเจนในเรื่องของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ที่เกิดจากการจราจรในโซน B ที่สะสมบริเวณเกาะกลางนั่นเอง (ภาพที่ 19) ในขณะที่ทางนอกสถานีทางทิศใต้ โซน C มีลมหลักได้แก่ ทิศ SSE จำนวน 3 ช่วงเวลาและทิศทางใต้ S จำนวน 6 ช่วงเวลา ทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่สถานีริมทางเท้า ST5 มีความเข้มข้นที่สูงทั้งปริมาณฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร

สถานีตรวจวัดลมที่เกาะกลางถนนพหลโยธินด้านทิศเหนือ โซน A (out MoChit) ตรวจพบลมหลัก 3 ทิศ ได้แก่ ทิศเหนือ (N) จำนวน 8 ช่วงเวลา ทิศตะวันออกเฉียงเหนือเหนือ (NNE) จำนวน 5 ช่วงเวลา และทิศทางตะวันตกเฉียงใต้ใต้ (SSW) จำนวน 5 ช่วงเวลา มีผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง ดังนี้

1) ทิศทางลมหลักทิศเหนือ (N) จำนวน 8 ช่วงเวลา พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองรวมที่สถานี ST1 และสถานี ST2 มีค่าเฉลี่ย 564 และ 546 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีค่าเฉลี่ย 233 และ 248 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์

เมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับโซน B ได้สถานีรฟไฟฟ้าสะพานควาย ที่สถานี ST3 และ ST4 มีค่าเฉลี่ย 606 และ 636 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เท่ากับ 253 และ 254 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่า โซน A ส่วนในโซน C ทางด้านทิศใต้ของสถานี ที่สถานี ST5 และ ST6 มีค่าฝุ่นละอองรวม เท่ากับ 684 และ 518 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เท่ากับ 277 และ 268 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับลมหลักของบริเวณด้านบนสถานที่เป็นทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE)

ตารางที่ 12 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) บริเวณสถานีรฟไฟฟ้าสะพานควาย แยกตามทิศทางลมหลัก ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551

Time	Out MoChit	Out Ari	Top SPK	ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						ความเข้มข้นฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
				ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
				Top SPK-NE											
25 พ.ย. 51															
1	C	C	NE	754	514	976	979	562	387	311	253	234	486	383	273
26 พ.ย. 51															
1	NNE	ESE	NE	814	524	432	587	618	607	335	244	212	227	285	302
2	SSW	S	NE	431	349	412	277	682	415	107	132	153	232	200	145
3	N	S	NE	280	325	389	301	838	344	133	183	171	106	336	131
4	S	S	NE	252	217	265	242	221	176	71	88	106	101	146	35
27 พ.ย. 51															
1	N	C	NE	579	576	556	656	353	422	232	272	261	292	280	278
2	NNE	S	NE	415	432	289	524	514	550	168	159	112	160	148	116
3	NNE	S	NE	336	351	237	532	511	570	106	166	119	325	127	166
4	N	SSE	NE	538	529	566	549	527	388	128	171	232	205	154	182
5	NNE	S	NE	208	210	235	311	273	341	82	71	87	167	115	117
28 พ.ย. 51															
2	N	WSW	NE	538	557	622	612	247	519	244	215	242	239	144	190
3	S	WSW	NE	463	346	1088	460	729	341	292	196	370	245	120	230
29 พ.ย. 51															
3	N	SSE	NE	526	429	448	541	561	593	278	303	201	256	204	428
4	N	SSE	NE	519	459	546	545	898	407	149	201	208	254	425	182
เฉลี่ย	-	-	-	475	416	504	508	538	433	188	190	193	235	219	198

ตารางที่ 12 (ต่อ)

Time	Out MoChit	Out Ari	Top SPK	ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						ความเข้มข้นฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
				ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
				out MoChit-N											
26 พ.ย. 51															
3	N	S	NE	280	325	389	301	838	344	133	183	171	106	336	131
27 พ.ย. 51															
1	N	C	NE	579	576	556	656	353	422	232	272	261	292	280	278
4	N	SSE	NE	538	529	566	549	527	388	128	171	232	205	154	182
28 พ.ย. 51															
1	N	C	ENE	576	527	697	614	976	979	340	231	307	253	234	486
2	N	WSW	NE	538	557	622	612	247	519	244	215	242	239	144	190
4	N	SSE	NNE	958	966	1021	1273	1073	489	358	408	400	425	442	263
29 พ.ย. 51															
3	N	SSE	NE	526	429	448	541	561	593	278	303	201	256	204	428
4	N	SSE	NE	519	459	546	545	898	407	149	201	208	254	425	182
เฉลี่ย				564	546	606	636	684	518	233	248	253	254	277	268
out MoChit-NNE															
25 พ.ย. 51															
2	NNE	SE	E	622	412	247	478	550	582	252	139	112	190	245	254
26 พ.ย. 51															
1	NNE	ESE	NE	814	524	432	587	618	607	335	244	212	227	285	302
27 พ.ย. 51															
2	NNE	S	NE	415	432	289	524	514	550	168	159	112	160	148	116
3	NNE	S	NE	336	351	237	532	511	570	106	166	119	325	127	166
4	NNE	S	NE	208	210	235	311	273	341	82	71	87	167	115	117
เฉลี่ย				479	386	288	486	493	530	189	156	128	214	184	191
out MoChit-SSW															
25 พ.ย. 51															
3	SSW	S	ENE	1088	460	729	341	718	725	370	245	320	230	323	329
4	SSW	SSE	NW	1021	1273	973	998	702	646	400	496	442	263	235	172
5	SSW	SSE	NNE	371	250	265	245	462	402	163	106	104	107	107	129
26 พ.ย. 51															
2	SSW	S	NE	431	349	412	277	682	415	107	132	153	232	200	145
3	SSW	SSE	NNE	463	426	410	323	571	519	178	145	170	174	234	106
เฉลี่ย				675	552	558	437	627	541	244	225	238	201	220	176

ตารางที่ 12 (ต่อ)

Time	Out MoChit	Out Ari	Top SPK	ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						ความเข้มข้นฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
				ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
				out Ari-S											
25 พ.ย. 51															
2	SSW	S	ENE	1088	460	729	341	718	725	370	245	320	230	323	329
26 พ.ย. 51															
2	SSW	S	NE	431	349	412	277	682	415	107	132	153	232	200	145
3	N	S	NE	280	325	389	301	838	344	133	183	171	106	336	131
4	S	S	NE	252	217	265	242	221	176	71	88	106	101	146	35
27 พ.ย. 51															
2	NNE	S	NE	415	432	289	524	514	550	168	159	112	160	148	116
3	NNE	S	NE	336	351	237	532	511	570	106	166	119	325	127	166
4	NNE	S	NE	208	210	235	311	273	341	82	71	87	167	115	117
เฉลี่ย				430	335	365	361	537	446	148	149	153	189	199	148
out Ari-SSE															
25 พ.ย. 51															
3	SSW	SSE	NW	1021	1273	973	998	702	646	400	496	442	263	235	172
4	SSW	SSE	NNE	371	250	265	245	462	402	163	106	104	107	107	129
26 พ.ย. 51															
3	SSW	SSE	NNE	463	426	410	323	571	519	178	145	170	174	234	106
27 พ.ย. 51															
3	N	SSE	NE	538	529	566	549	527	388	128	171	232	205	154	182
28 พ.ย. 51															
3	N	SSE	NNE	958	966	1021	1273	1073	489	358	408	400	425	442	263
29 พ.ย. 51															
3	N	SSE	NE	526	429	448	541	561	593	278	303	201	256	204	428
4	N	SSE	NE	519	459	546	545	898	407	149	201	208	254	425	182
5	C	SSE	N	212	242	294	261	248	273	87	134	106	138	92	125
เฉลี่ย				576	572	565	592	630	465	218	246	233	228	237	198

2) ทิศทางลมหลักทิศตะวันออกเฉียงเหนือเหนือ (NNE) จำนวน 5 ช่วงเวลา ซึ่งทิศทางลมหลักเป็นทิศทางเดียวกับสถานี ทำให้ค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ของโซน A ที่สถานี ST1 และ ST2 เท่ากับ 479, 386, 189 และ 156 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ไนโซน B ได้รับอิทธิพลการพัดพามลสารเข้ามาสะสมด้านใน โดยเฉพาะเกาะกลางถนน โดยพบว่า ฝุ่นละอองรวม 486 และ 288 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เท่ากับ 189 และ 156 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สถานี ST3 และ ST4 ตามลำดับ และในส่วนโซน C ทางด้านทิศใต้มีการสะสมของฝุ่นละอองที่เกาะกลางมากกว่า ที่ริมทางเท้าและมากกว่าไนโซน B ในฝุ่นละอองรวม คือ เท่ากับ 493 และ 530 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สถานี ST5 และ ST6 ตามลำดับ (ตารางที่ 12)

3) ทิศทางลมหลักทิศตะวันตกเฉียงใต้ใต้ (SSW) จำนวน 5 ช่วงเวลา ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกันกับการวางตัวของสถานี เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมเฉลี่ยราย 3 ชั่วโมง พบว่าไนโซน B ใต้สถานีสะพานควายบริเวณเกาะกลางถนนมีค่าน้อยกว่าเกาะกลางถนนด้านนอกสถานีทั้งโซน A และโซน C คือ มีค่าเฉลี่ยที่เกาะกลางถนนใต้สถานี ST4 เท่ากับ 437 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ด้านนอกโซน A และ C เท่ากับ 522 และ 541 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และทิศทางของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยการสะสมของความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะอยู่ที่บริเวณทางเท้าของทุกสถานี โดยมีความเข้มข้นสูงที่สุดที่สถานีทางเท้าด้านนอกสถานีสะพานควายด้านทิศเหนือ (ST1) ตามรายละเอียดตารางที่ 12 ทั้งนี้เป็นเพราะมีการพัดพามลออกจากภายใต้สถานีรถไฟฟ้านั่นเอง

สถานีตรวจวัดลมเกาะกลางถนนด้านทิศใต้โซน (C) พบทิศทางลมหลัก 2 ทิศทาง คือ ทิศใต้ (S) จำนวน 7 ช่วงเวลา และทิศตะวันออกเฉียงใต้ใต้ (SSE) จำนวน 8 ช่วงเวลา โดยมีผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละออง ดังนี้

1) ทิศทางลมหลักทิศใต้ (S) พบว่าปริมาณฝุ่นละอองรวมที่โซน B ใต้สถานีสะพานควายที่เกาะกลางถนนมีค่ามากกว่าโซน A คือ ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมเฉลี่ย 361 และ 335 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่เมื่อเทียบกับโซน C ทางทิศใต้ที่เกาะกลางถนนมีค่ามากกว่าโซน B คือมีค่า 446 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรที่เกาะกลางโซน A และ B เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และพบว่าบริเวณสถานีตรวจวัดที่ทางเท้าทั้ง 3 โซน มีการสะสมของฝุ่นละอองรวมมากกว่าเกาะกลางถนน โดยพบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงสุดในโซน C ด้วยเหตุผลของทิศทางลมหลักทางด้านโซน A ที่เป็นทิศ NNE ซึ่งเป็นแนวเดียวกันกับการวางตัวของสถานีจึงทำให้มีการพัดพามลสารเข้ามาสู่ใต้สถานีได้มากกว่านั่นเอง

2) ทิศทางลมหลักทิศตะวันออกเฉียงใต้ใต้ (SSE) ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมของโซน B ที่เกาะกลางถนน มีค่าสูงกว่าโซน A และโซน C คือมีค่า 592, 572 และ 465 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกาะกลางถนน พบว่า สถานี ST2 ที่โซน A มีค่ามากกว่าโซน B และโซน C คือ 246, 228 และ 198 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ ลมที่โซน C ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองที่สถานีริมทางเท้าสถานี ST5 มากที่สุดคือปริมาณฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรที่ 630 และ 237 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

2) การตรวจวัดระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551

จากสถานีตรวจวัดทิศทางลม 3 สถานี โดยพิจารณาทิศลมหลัก และนำผลการตรวจวัดฝุ่นละอองโดยเฉพาะในโซน B มาเปรียบเทียบกับโซน A และ C ทั้งนี้ตามหลักการแล้วในโซน B ที่มีการพ่นละอองน้ำ ควรจะมีปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศที่น้อยกว่าแต่อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 พบว่า ทิศทางลมหลักเข้ามามีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองใต้สถานีรถไฟฟ้า โดยเฉพาะทิศทางลมหลักที่มาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) และตะวันออกเฉียงเหนือเหนือ (NNE) ซึ่งทำให้มีลมพัดเข้าทางทิศเหนือ (N) ทำให้มีการสะสมของฝุ่นละอองภายใต้สถานีรถไฟฟ้า ผลการศึกษาพบว่า ในสถานีตรวจวัดลมด้านบนสถานีสะพานควาย (Top SPK) มีลมหลักทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ทิศเหนือ (N) และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) ส่วนในโซน A ด้านเหนือของสถานีสะพานควายที่เกาะกลางถนน (out MoChit) มีทิศทางลมหลัก ทางทิศเหนือ (N) และทิศใต้ (S) และโซน C ที่เกาะกลางถนนด้านทิศใต้มีทิศลมหลัก 2 ทิศคือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ใต้ (SSE) และทิศตะวันตกเฉียงใต้ตะวันตก (WSW) ตามตารางที่ 12 โดยสามารถเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ได้รับอิทธิพลจากการใช้หัวฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็กเพื่อลดความเข้มข้นของฝุ่นละออง ดังนี้

สถานีตรวจวัดลมชั้นบนของชานชาลาสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (Top SPK) พบทิศทางลมหลัก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) จำนวน 9 ช่วงเวลา ทิศเหนือ (N) จำนวน 5 ช่วงเวลา และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) จำนวน 6 ช่วงเวลา มีผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละโซนตามรูปแบบทิศทางลมหลัก ดังนี้

1) ทิศทางลมหลักทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) เป็นทิศทางที่มีรูปแบบทิศทางลมเช่นเดียวกับในวันปกติที่ไม่มีการฉีดพ่นละอองน้ำ ระหว่างวันที่ 25-29 พฤศจิกายน 2551 ซึ่งในรูปแบบของวันปกติจะมีลมทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือพัดพาเข้าสู่โซน B และสะสมให้ความ

เข้มข้นสูงกว่าในโซน A แต่เมื่อมีการฉีดพ่นละอองน้ำ พบว่า ในโซน B ได้สถานีรถไฟฟ้ามหานครมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่น้อยลงกว่าโซน A และโซน C โดยพบว่าค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรที่สถานี ST3 และสถานี ST4 มีค่าความเข้มข้น 389, 359, 200 และ 182 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในขณะที่โซน A ที่สถานี ST1 และ ST3 มีค่า 407, 395, 219 และ 220 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และโซน C สถานี ST5 และสถานี ST6 มีค่าความเข้มข้น 461, 409, 260 และ 239 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 13) เมื่อพิจารณาการลดลงโดยเทียบเกาะกลางถนนพหลโยธินจากด้านนอกทั้งโซน A และโซน C พบว่า มีการลดลงของฝุ่นละอองรวม (TSP) ระหว่างโซน A ด้านทิศเหนือและโซน C ด้านทิศใต้ ในอัตราร้อยละ 9.08 และ 12.12 ตามลำดับ ส่วนฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร มีการลดลงของความเข้มข้นฝุ่นละอองร้อยละ 17.32 และ 23.97 ในสถานีตรวจวัดริมทางเท้าระหว่างโซน B และโซน A และโซน C พบว่า มีการลดลงของฝุ่นละอองรวม (TSP) ร้อยละ 4.40 และ 15.62 และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM10) ร้อยละ 8.81 และ 23.00 ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

2) ทิศทางลมหลักทิศเหนือ (N) พบว่า โซน B ได้สถานีรถไฟฟ้ามหานครมีการลดลงของฝุ่นละอองรวมเมื่อเทียบกับโซน A ด้านนอกสถานีด้านทิศเหนือ โดยมีค่าความเข้มข้นของโซน B ที่เกาะกลางถนน ST4 และริมทางเดินเท้า ST3 ของฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรเท่ากับ 623 และ 512 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่โซน A ที่สถานี ST1 และ ST2 มีค่า 641 และ 629 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 13) ทำให้มีการลดลงของความเข้มข้นฝุ่นละอองของแต่ละโซนในเกาะกลางถนนของฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็ก เป็นร้อยละ 18.56 และ 22.36 และริมทางเดินเท้า ร้อยละ 2.75 และ 6.47 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) ส่วนโซน C ด้านทิศใต้ของสถานีสะพานควาย เมื่อเทียบกับโซน B พบว่า โซน B ได้สถานีมีค่าสูงกว่าโซน C ด้านนอกบริเวณเกาะกลางถนน คือค่าฝุ่นละอองรวม มีค่า 512 และ 509 ไมโครกรัม ตามลำดับ ทำให้ร้อยละการลดลงของฝุ่นละอองรวมมีค่าเป็นลบ คือ ร้อยละ -0.59 ในขณะที่ริมทางเดินเท้ามีค่าการลดลงทิศทางลบเช่นกัน ร้อยละ -6.09 (ตารางที่ 14) เนื่องจากอิทธิพลลมทางทิศ WSW และทิศ ESE ของสถานีตรวจวัดด้านทิศใต้ ทำให้เกิดการพัดพาสะสมโดยเฉพาะที่ริมทางเท้าโซน B (ST3) จะมีชอยทางด้านทิศตะวันออกทำให้มีลมพัดเข้ามาได้

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM10) บริเวณสถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย แยกตามทิศทางลมหลัก ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน-4 ธันวาคม 2551

Time	Out MoChit	Out Ari	Top SPK	ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						ความเข้มข้นฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
				ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
				Top SPK-NE											
30 พ.ย. 51															
3	N	S	NE	484	415	501	430	543	495	297	205	289	205	275	322
1 ธ.ค. 51															
2	N	SE	NE	323	310	354	323	369	340	171	215	175	175	214	181
3	S	SSW	NE	587	614	513	512	543	560	301	312	254	258	335	330
5	S	S	NE	268	315	315	303	245	233	149	156	145	109	134	124
2 ธ.ค. 51															
2	N	SSE	NE	350	333	364	357	557	338	185	265	215	196	330	230
3	S	SSE	NE	446	453	365	374	475	450	225	253	178	215	348	303
4 ธ.ค. 51															
2	N	SSE	NE	370	356	440	359	422	364	197	185	212	198	213	170
3	N	SSE	NE	339	295	386	321	556	486	196	148	201	156	285	355
4	S	SSE	NE	494	465	262	254	438	413	254	241	132	125	205	138
เฉลี่ย				407	395	389	359	461	409	219	220	200	182	260	239
Top SPK -N															
30 พ.ย. 51															
1	C	WSW	N	515	582	577	545	651	469	292	230	306	304	372	310
1 ธ.ค. 51															
1	N	ESE	N	578	591	598	595	595	567	302	347	311	342	246	245
2 ธ.ค. 51															
1	N	ENE	N	819	911	831	523	577	532	382	534	399	255	299	290
4	N	SSE	N	619	558	649	557	497	445	285	245	290	240	310	154
4 ธ.ค. 51															
1	S	WSW	N	673	504	461	342	617	534	377	384	226	210	356	328
เฉลี่ย				641	629	623	512	587	509	328	348	306	270	317	265
Top SPK -NW															
30 พ.ย. 51															
3	SSW	WSW	NW	273	244	247	307	641	361	110	95	93	121	214	253

ตารางที่ 13 (ต่อ)

Time	Out MoChit	Out Ari	Top SPK	ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม						ความเข้มข้นฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
				($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
				ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
2 ธ.ค. 51															
3	S	SSE	NW	270	324	302	242	204	261	145	153	140	104	106	138
3 ธ.ค. 51															
1	S	WSW	NW	617	534	434	445	581	591	356	372	205	242	316	383
2	S	SW	NW	422	416	348	375	398	503	221	214	165	183	196	238
4	S	SW	NW	556	534	412	434	354	574	285	274	206	172	167	331
5	S	WSW	NW	315	450	204	374	301	580	174	160	119	111	171	254
เฉลี่ย				409	417	325	363	413	478	215	211	155	156	195	266
out MoChit-N															
30 พ.ย. 51															
3	N	S	NE	484	415	501	430	543	495	297	205	289	205	275	322
4	N	SSE	NNW	593	522	622	470	674	566	257	265	293	243	338	241
1 ธ.ค. 51															
1	N	ESE	N	578	591	598	595	595	567	302	347	311	342	246	245
2	N	SE	NE	323	310	354	323	369	340	171	215	175	175	214	181
2 ธ.ค. 51															
1	N	ENE	N	819	911	831	523	577	532	382	534	399	255	299	290
2	N	SSE	NE	350	333	364	357	557	338	185	265	215	196	330	230
4	N	SSE	N	619	558	649	557	497	445	285	245	290	240	310	154
4 ธ.ค. 51															
2	N	SSE	NE	370	356	440	359	422	364	197	185	212	198	213	170
3	N	SSE	NE	339	295	386	321	556	486	196	148	201	156	285	355
เฉลี่ย				497	477	527	437	532	459	252	268	265	223	279	243
out MoChit-S															
1 ธ.ค. 51															
3	S	SSW	NE	587	614	513	512	543	560	301	312	254	258	335	330
4	S	S	NNE	488	468	364	345	512	689	245	236	178	168	345	350
5	S	S	NE	268	315	315	303	245	233	149	156	145	109	134	124
2 ธ.ค. 51															
3	S	SSE	NE	446	453	365	374	475	450	225	253	178	215	348	303
4	S	SSE	NW	270	324	302	242	204	261	145	153	140	104	106	138

ตารางที่ 13 (ต่อ)

Time	Out MoChit	Out Ari	Top SPK	ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						ความเข้มข้นฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
				ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6
				3 ธ.ค. 51											
1	S	WSW	NW	617	534	434	445	581	591	356	372	205	242	316	383
2	S	SW	NW	422	416	348	375	398	503	221	214	165	183	196	238
3	S	SW	NNW	617	593	534	563	539	586	315	311	256	284	348	341
4	S	SW	NW	556	534	412	434	354	574	285	274	206	172	167	331
5	S	WSW	NW	315	450	204	374	301	580	174	160	119	111	171	254
4 ธ.ค. 51															
1	S	WSW	N	673	504	461	342	617	534	377	384	226	210	356	328
4	S	SSE	NE	494	465	262	254	438	413	254	241	132	125	205	138
5	S	SSE	NNW	240	386	210	295	307	350	122	140	104	135	154	150
เฉลี่ย				461	466	363	374	424	486	244	247	178	178	245	262
out Ari-SSE															
30 พ.ย. 51															
4	N	SSE	NNW	593	522	622	470	674	566	257	265	293	243	338	241
2 ธ.ค. 51															
2	N	SSE	NE	350	333	364	357	557	338	185	265	215	196	330	230
3	S	SSE	NE	446	453	365	374	475	450	225	253	178	215	348	303
4	N	SSE	N	619	558	649	557	497	445	285	245	290	240	310	154
4 ธ.ค. 51															
1	S	SSE	NW	270	324	302	242	204	261	145	153	140	104	106	138
2	N	SSE	NE	370	356	440	359	422	364	197	185	212	198	213	170
3	N	SSE	NE	339	295	386	321	556	486	196	148	201	156	285	355
4	S	SSE	NE	494	465	262	254	438	413	254	241	132	125	205	138
5	S	SSE	NNW	240	386	210	295	307	350	122	140	104	135	154	150
เฉลี่ย				413	410	400	359	459	408	207	211	196	179	254	209
out Ari-WSW															
30 พ.ย. 51															
1	C	WSW	N	675	582	495	295	651	469	392	320	248	175	372	310
5	SSW	WSW	NW	355	544	244	357	341	561	185	205	93	121	214	253
3 ธ.ค. 51															
1	S	WSW	NW	617	534	434	445	581	591	356	372	205	242	316	383
5	S	WSW	NW	315	450	204	374	301	580	174	160	119	111	171	254
4 ธ.ค. 51															
1	S	WSW	N	673	504	461	342	617	534	377	384	226	210	356	328
เฉลี่ย				527	523	368	363	498	547	297	288	178	172	286	306

ตารางที่ 14 ร้อยละการลดลงของความเข้มข้นฝุ่นละอองเมื่อเปรียบเทียบโซน A และโซน C ด้านนอกสถานีทิศเหนือและทิศใต้ ต่อโซน B ได้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย

สถานีตรวจวัดลม /ทิศทางลมหลัก	การลดลงของฝุ่นละอองจากการฉีดพ่นละอองน้ำขนาดเล็ก (ร้อยละ)							
	ฝุ่นละอองรวม				ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร			
	ST1-ST3	ST2-ST4	ST5-ST3	ST6-ST4	ST1-ST3	ST2-ST4	ST5-ST3	ST6-ST4
TOP SPK								
NE	4.40	9.08	15.62	12.12	8.81	17.32	23.00	23.97
N	2.75	18.56	-6.09	-0.59	6.47	22.36	3.22	-1.81
NW	20.63	12.99	21.46	24.15	28.12	26.42	20.68	41.58
Out MoChit								
N	-6.03	8.30	0.94	4.79	-4.97	16.56	4.98	8.14
S	21.17	19.78	14.33	23.18	27.17	27.76	27.44	32.04
Out Ari								
SSE	3.25	12.54	12.83	12.09	5.41	14.93	22.89	14.21
WSW	30.25	30.64	26.21	33.71	39.96	40.39	37.65	43.78

3) ทิศทางลมหลักทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) พบว่า โซน B ได้สถานีรถไฟฟ้ามีค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองต่ำกว่าโซน A และโซน C โดยที่เกาะกลางถนนในโซน B มีค่าฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เท่ากับ 363 และ 156 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนในโซน A และโซน C มีค่า 417, 211 และ 478, 266 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทำให้มีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมทางด้านทิศเหนือโซน A และทางทิศใต้โซน C ร้อยละ 12.99 และ 24.15 ส่วนฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร มีประสิทธิภาพลดร้อยละ 26.52 และ 41.58 ตามลำดับ (ตารางที่ 14)

สถานีตรวจวัดลมด้านทิศเหนือของสถานีที่เกาะกลางถนน (out MoChit) พบทิศทางลมหลักคือ ทิศเหนือ (N) จำนวน 9 ช่วงเวลา จาก 25 ช่วงเวลา และทิศทางลมจากทางทิศใต้ (S) จำนวน 13 ช่วงเวลา มีผลประสิทธิภาพการลดฝุ่นละออง ดังนี้

1) ทิศทางลมหลักจากทางทิศเหนือ (N) ทำให้โซน B ได้สถานีมีความสามารถในการลดฝุ่นละอองรวมด้วยการพ่นละอองน้ำร้อยละ 8.30 แต่ไม่ช่วยให้ฝุ่นละอองด้านข้างริมทางเดินเท้าของโซน A และโซน B ต่างกัน โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมที่ริมทางเท้าใต้สถานี (ST3) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 527 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โซน A (ST1) มีค่าเท่ากับ 497 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาระหว่างโซน B และโซน C พบว่ามีความสามารถในการลดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ได้สูงกว่าฝุ่นละอองรวม คือ ร้อย 8.14 และ 4.98 ที่เกาะกลางถนนและริมทางเดินเท้า (ตารางที่ 14)

2) ทิศทางลมหลักจากทิศใต้ (S) พบว่า ทิศทางลมดังกล่าว ทำให้ประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองใต้สถานีสะพานควายได้ผล โดยเทียบกับโซนด้านทิศเหนือ (A) สามารถลดฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ได้ร้อยละ 21.17 และ 27.17 ของสถานีที่ทางเดินเท้า (ST1, ST3) และสถานีเกาะกลางถนน (ST2, ST4) สามารถลดลงได้ร้อยละ 19.78 และ 27.76 ส่วนโซน C ด้านทิศใต้ ทำให้ประสิทธิภาพการลดลงของฝุ่นละอองที่เกาะกลางถนน ร้อยละ 23.18 และ 32.04 ของฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร โดยพบว่า ค่าเฉลี่ยสูงสุดของฝุ่นละอองรวมอยู่ที่สถานี ST5 ในโซน C ทางทิศใต้ของสถานี และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 486 และ 262 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

สถานีตรวจวัดลมบริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธินทางทิศใต้ (out Ari) พบทิศทางลมหลักจำนวน 2 ทิศทางคือ ทิศตะวันออกเฉียงใต้ใต้ (SSE) จำนวน 9 ช่วงเวลา และทิศตะวันตกเฉียงใต้ตะวันตก (SWS) จำนวน 5 ช่วงเวลา มีผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองและประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองจากการพ่นละอองน้ำขนาดเล็ก ดังนี้

1) ทิศทางลมหลักทิศตะวันออกเฉียงใต้ใต้ (SSE) พบประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองด้วยการพ่นละอองน้ำขนาดเล็กเมื่อเทียบโซนด้านทิศเหนือ (A) และใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย (B) ที่เกาะกลางถนนร้อยละ 12.54 และ 14.93 สำหรับฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร และความแตกต่างจากโซน C ทางทิศใต้ ร้อยละ 12.09 และ 22.89 ตามลำดับ ส่วนด้านริมทางเดินเท้าทางด้านทิศใต้มีผลการลดฝุ่นละอองรวมได้ดีกว่าทิศเหนือ คือร้อยละ 12.83 และ 3.25 ตามลำดับ และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ร้อยละ 22.89 และ 5.41 ตามลำดับ (ตารางที่ 14) โดยพบความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงที่สุดที่ริมทางเดินเท้าสถานี ST5 เท่ากับ 459 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรเท่ากับ 254 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในสถานีเดียวกัน (ตารางที่ 13)

2) ทิศทางลมหลักทิศตะวันตกเฉียงใต้ตะวันตก (WSW) พบประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองจากรถด้วยละอองน้ำขนาดเล็ก ของโซน B เทียบกับโซน A และโซน C มีร้อยละการลดลงของฝุ่นละอองมากที่สุดในของทุกทิศทางลมหลัก พบค่าเฉลี่ยการลดลงของฝุ่นละอองรวม ร้อยละ 26.21-33.71 และฝุ่นละอองเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ร้อยละ 37.65-43.78 (ตารางที่ 14) โดยพบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมสูงสุดพบที่สถานี ST6 เกาะกลางถนนด้านทิศใต้ มีค่าเฉลี่ย 547 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สอดคล้องกับค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรที่ตำแหน่งเดียวกันมีความเข้มข้น 306 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 13)

การพ่นละอองน้ำขนาดเล็กใต้สถานีรถไฟฟ้าสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองลงได้โดยการที่ละอองน้ำขนาดเล็กจับตัวกับฝุ่นละออง และมีน้ำหนักมากขึ้นและตกลงสู่พื้นซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gardner (1955); Linsley *et al.* (1988); Brabec (2003); Gaut *et al.* (2003a, 2003b); Grunding *et al.* (2006); Charinpanitkul and Tanthapanichakoon (2011) ที่ว่าการควบคุมหัวฉีดละอองน้ำเพื่อการผลิตละอองน้ำสามารถควบคุมการจับตัวของฝุ่นละอองในอากาศได้ อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาทิศทางลมหลักทั้งหมดแล้วรูปแบบของทิศทางลมหลักที่ทำให้การฉีดพ่นละอองน้ำใต้สถานีสะพานควายสามารถลดฝุ่นละอองจากรางได้ คือ ทิศทางลมหลักของสถานีบนชั้นชานชะลาสถานีสะพานควาย ที่มีลมทิศ NE และทิศ NW ทิศทางลมหลักของสถานีตรวจวัดลมโซน A (out MoChit) ที่มีลมทิศใต้ (S) และทิศทางลมหลักของสถานีตรวจวัดลมโซน C ทิศลมหลักทิศ SSE และทิศ WSW โดยพบว่ามีการฉีดพ่นละอองน้ำใต้สถานีมีประสิทธิภาพลดฝุ่นละอองรวมสูงสุดร้อยละ 33.71 และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ร้อยละ 43.7 ที่ทิศทางลมส่วนใหญ่เป็น WSW ที่สถานีตรวจวัดลมทางใต้ (out Ari) ในขณะเดียวกันจะเห็นได้ว่าหากทิศลมหลักจากทางทิศเหนือ (N) จะทำให้ประสิทธิภาพของการพ่นละอองน้ำเพื่อลดฝุ่นจากรางมีประสิทธิภาพน้อยลงหรือไม่สามารถลดฝุ่นละอองลงได้ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของลมและโครงสร้างอาคารโดยรอบสถานีที่ทำให้ลมมีการพัดพาฝุ่นละอองจากด้านนอกเข้ามาเพิ่มเติม และการพัดพาละอองน้ำไปจากพื้นที่ไม่สามารถจับกับฝุ่นละอองใต้สถานีรถไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grim (1962); Sellers (1969); Hidy and Brock (1971); Baver *et al.* (1972); Linsley *et al.* (1988); Balachandran *et al.* (2003); Gaunt *et al.* (2003a); Botkin and Keller (2005); Grunding *et al.* (2006); Cartenuto *et al.* (2010) ที่กล่าวถึง ลม เป็นปัจจัยในการสนับสนุนการเคลื่อนที่ของฝุ่นละออง โดยเฉพาะสภาวะลมปั่นป่วนในช่วงฤดูแล้ง

3. ศึกษากลไกการลดฝุ่นละอองจากรางด้วยละอองน้ำขนาดเล็ก โดยวิธีการถ่ายภาพด้วยเทคนิคขั้นสูง

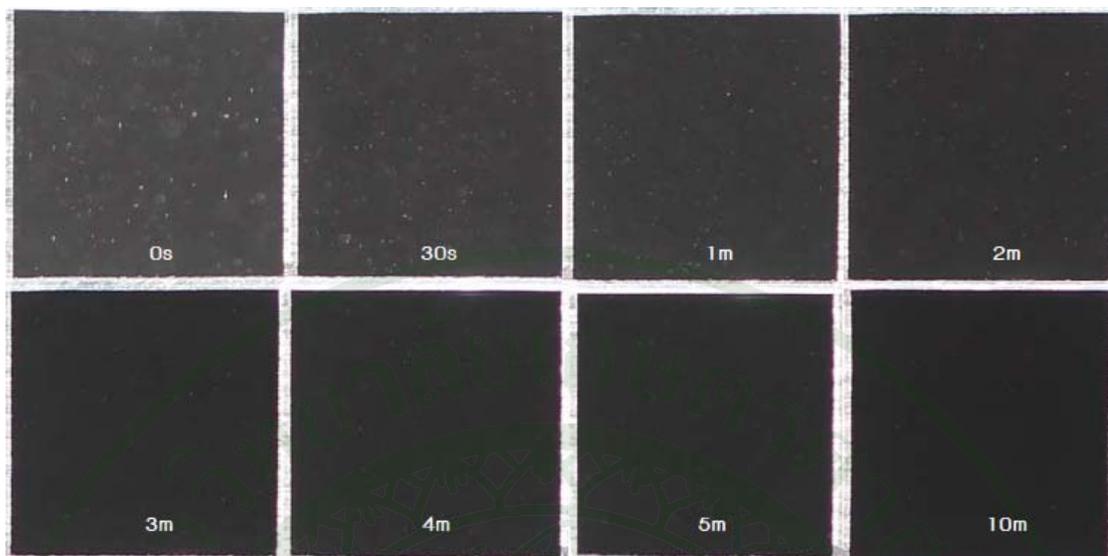
3.1 การกำหนดระดับความสูงของถ่ายภาพและการถ่ายภาพ

การศึกษากลไกการลดฝุ่นละอองด้วยละอองน้ำขนาดเล็ก โดยวิธีการถ่ายภาพจากห้องทดลองขนาด 2X2X4 เมตร ที่มีปริมาตรรวม 16 ลูกบาศก์เมตร กำหนดระดับความสูงของการถ่ายภาพ 3 ระดับ คือ ระดับบน 2.5 เมตร ระดับกลาง 1.5 เมตร และระดับล่าง 0.5 เมตร ทั้งนี้ การกำหนดระดับเพื่อความสัมพันธ์ที่ระดับ 1.5 เมตร คือ ระดับการหายใจของมนุษย์ ในขณะที่ระดับสูงขึ้นไปเพื่อศึกษาถึงการปล่อยละอองน้ำขนาดเล็กลงมาและการตกของฝุ่นละออง ส่วนที่ระดับ 0.5 เมตร เพื่อศึกษาการจับตัวของละอองน้ำกับฝุ่นที่ระดับล่าง การถ่ายภาพ

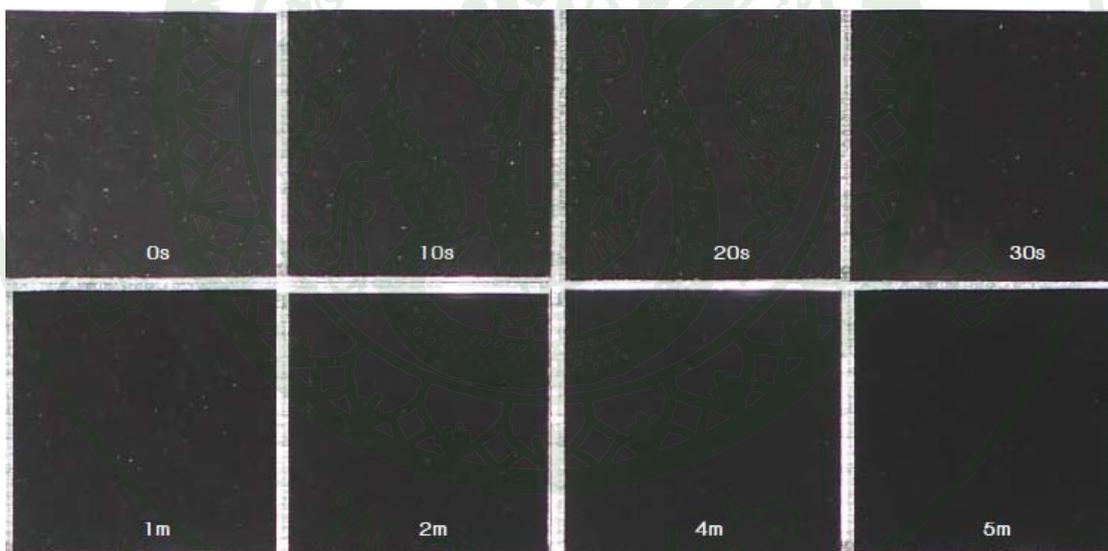
ได้กำหนดให้ใช้กล้องจำนวน 3 ตัว ยึดติดที่ตำแหน่งที่กำหนด 3 ตำแหน่ง และต้องวางจรการถ่ายภาพให้เกิดการถ่ายภาพพร้อมกันทั้ง 3 กล้อง ถ่ายเข้าไปในห้องทดลองที่มีสีดำและพื้นหลังเป็นผ้ากำมะหยี่ เพื่อป้องกันการสะท้อนของแสง โดยที่ระยะ 0.6 เมตร จากด้านหน้าที่เป็นกระจกใส มีการขึงเส้นเอ็นเป็นตารางสี่เหลี่ยมขนาด 2X2 เซนติเมตร เพื่อกำหนดขนาดขอบเขตของพื้นที่และคำนวณหาขนาดและปริมาณของอนุภาค ทั้งฝุ่นละออง ละอองน้ำ และฝุ่นละอองที่จับตัวกับละอองน้ำ โดยแบ่งการถ่ายภาพเป็น 3 กรณี คือ 1) การถ่ายภาพฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายแล้วปล่อยให้เกิดการตกลงแบบอิสระ ซึ่งฝุ่นละอองที่ใช้เป็นตัวอย่างฝุ่นละอองที่เก็บตัวอย่างมาจากบริเวณใต้สถานีรถไฟสะพานควาย โดยทำการถ่ายภาพทุก ๆ 30 วินาที 2) การถ่ายภาพฝุ่นละอองจับตัวกับละอองน้ำ โดยการปล่อยฝุ่นละอองและละอองน้ำ แล้วปล่อยให้เกิดการจับตัวกัน ทำการถ่ายภาพทุก ๆ 5 วินาที และ 3) การถ่ายภาพละอองน้ำ โดยการปล่อยละอองน้ำลงในห้องทดลองและปล่อยให้ตกตัวอย่างอิสระ และทำการถ่ายภาพในทุก ๆ 5 วินาที จากนั้นนำมาทำการนับ แยกขนาดอนุภาคในภาพ และปริมาณของอนุภาค ของการถ่ายภาพ 3 รูปแบบที่ 3 ระดับความสูงด้วยโปรแกรม i-Solution ที่มีหลักการทำงานโดยการกำหนดขนาดที่แน่นอน (ภาพที่ 20) จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณขนาดและปริมาณอนุภาค ที่สามารถแยกขนาดเป็นชั้นข้อมูลได้ตามต้องการ จากนั้นนำข้อมูลปริมาณและขนาดของอนุภาคที่ได้มาศึกษากลไกการจับตัวกันระหว่างฝุ่นละอองและละอองน้ำที่เกิดขึ้น

3.2 ปรากฏการณ์ฝุ่นละอองในห้องทดลองที่ระดับต่าง ๆ

ผลการถ่ายภาพฝุ่นละออง ที่ระดับ 3 ระดับ คือ ระดับบน 2.5 เมตร (Top) ระดับกลาง (Medium) และระดับล่าง (Low) โดยการปล่อยฝุ่นให้ฟุ้งกระจายและปล่อยให้เกิดการตกแบบอิสระในสภาพลมสงบในห้องทดลอง ทำการถ่ายภาพทุก ๆ 30 วินาที จากนั้นนำภาพที่ได้แต่ละระดับมาทำการนับจำนวนอนุภาคในพื้นที่ที่เท่ากัน ด้วยโปรแกรม i-Solution พบว่า ใน 3 ระดับความสูง ระดับกลาง (1.5 เมตร) พบปริมาณฝุ่นละอองมีจำนวนอนุภาคปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นชั้นล่าง (0.5 เมตร) และที่พบน้อยที่สุดคือ ชั้นบนสุด (2.5 เมตร) ส่วนขนาดอนุภาคของฝุ่นที่ทำการตรวจวัดได้นั้น พบว่า ขนาดที่ตรวจพบได้มากที่สุด คือ ขนาดระหว่าง 50-99.9 ไมโครเมตร ที่ 1 นาทีและ 2 นาที ของระดับกลาง รองลงมาคือระดับ 200-449.9 ไมโครเมตร ส่วนที่ระดับบนพบฝุ่นละอองขนาด 0-49.9 และ 50-99.9 ไมโครเมตร ปริมาณมากใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 15 และภาพที่ 21) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณฝุ่นละอองที่ระดับล่าง เมื่อพิจารณาเรื่องระยะเวลาที่ตกลงของฝุ่นละออง พบว่า ระยะเวลา ผ่านไป 15 นาทีปริมาณฝุ่นละอองจะเริ่มลดลง โดยเป็นไปตามทฤษฎี คือ ขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ระยะเวลานานกว่า เมื่อเทียบกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า สามารถมีการตกลงได้เร็วกว่าตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Parker 1993; Gaunt *et al.* 2003a; Hensley *et al.* 2008)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 20 ตัวอย่างภาพที่ใช้ในการตรวจนับปริมาณและขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม i-Solution

(ก) อนุภาคฝุ่นละอองตามช่วงเวลา 0-10 นาที

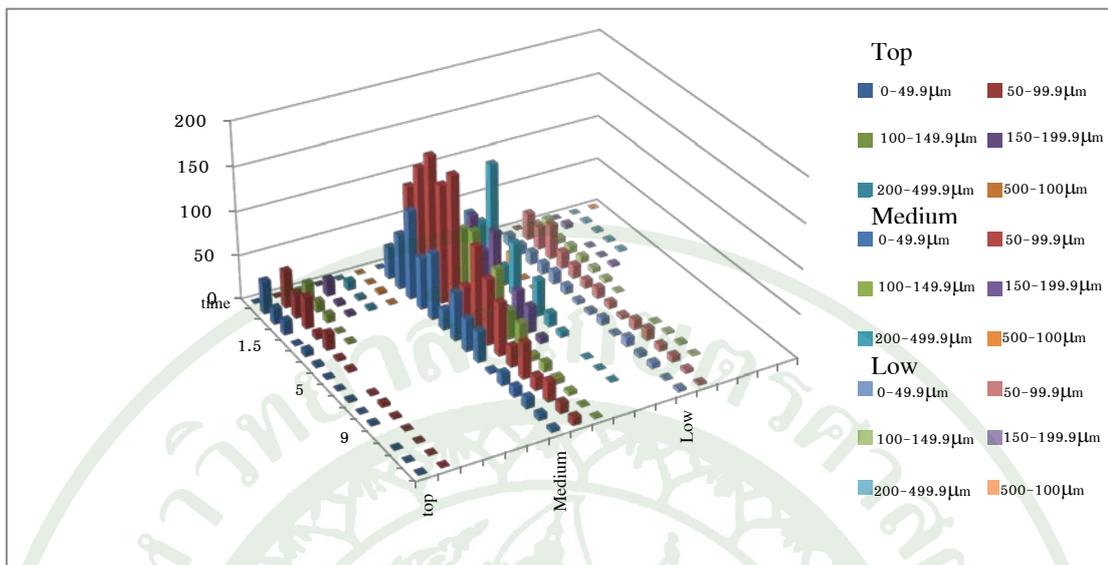
(ข) อนุภาคฝุ่นละอองเมื่อรวมตัวกับละอองน้ำตามช่วงเวลา 0-5 นาที

3.3 ปรากฏการณ์ละอองน้ำที่ระดับความสูงต่างๆ

ในภาพรวมของอนุภาคละอองน้ำ ที่ระดับ 3 ระดับ พบว่า มีปริมาณค่อนข้างมากในภาพรวมที่ระดับกลาง รองลงมาเป็นระดับบนและล่างใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับบนและกลางมีปริมาณอนุภาคขนาด 0-49.9 ไมโครเมตรปริมาณมากกว่าอนุภาคขนาดอื่น สูงสุดที่ระดับกลาง เวลาเริ่มต้น 140 อนุภาค และชั้นบนที่ 118 อนุภาค และลดลงอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ระดับล่าง มีขนาดอนุภาค 50-99.9 ไมโครเมตร มากที่สุด ที่ระยะเวลาเริ่มต้น 95 อนุภาค (ตารางที่ 16) จากการถ่ายภาพทุกๆ 5 วินาที เนื่องจากการตกลงและลดลงของปริมาณละอองน้ำลดลงอย่างรวดเร็วมาก พบว่าในระยะเวลา 10 นาที ไม่สามารถตรวจพบอนุภาคของละอองน้ำ โดยเริ่มลดลงอย่างชัดเจนตั้งแต่เวลา 2 นาที ที่ระดับบนและล่าง และ 5 นาทีที่ระดับกลาง (ภาพที่ 21) ทั้งนี้ที่ระดับ 2.5 เมตรละอองน้ำหายไปรวดเร็ว เนื่องจากในระยะเวลาเริ่มต้นเป็นการพ่นน้ำจากด้านบนลงในห้องทดลอง อนุภาคมีแรงดันลงสู่ด้านล่างระดับหนึ่ง ในขณะที่ระดับ 1.5 เมตร อากาศแน่นเนื่องจากสภาพเป็นกล่องปิด จึงทำให้อนุภาคค้างลอยตัวอยู่ที่ระดับ 1.5 รอเวลาที่อนุภาครวมกันใหญ่ขึ้นและตกลงสู่ด้านล่าง และหากมีปริมาณน้ำน้อยเกินไปก็จะมีภาระของละอองน้ำได้

ตารางที่ 15 จำนวนอนุภาคฝุ่นขนาดต่างๆ ตามช่วงเวลาที่ทำการถ่ายภาพและตรวจนับด้วยโปรแกรม i-Solution

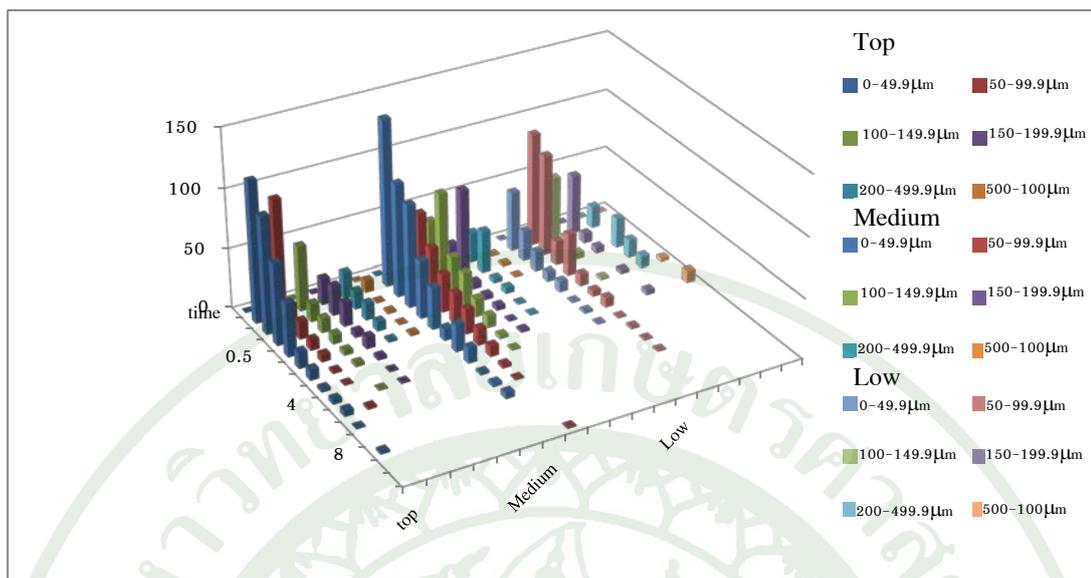
Time (m)	ขนาดของฝุ่นละอองที่ระดับต่างๆ																	
	0-49.9 μm			50-99.9 μm			100-149.9 μm			150-199.9 μm			200-499.9 μm			500-1,000 μm		
	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L
0	37	36	11	42	100	30	21	56	17	19	39	5	10	50	2	1	5	
0.5	18	62	11	28	132	25	12	79	6	4	47		3	51	2	3		
1	16	100	14	36	156	39	9	104	8	3	76	1	3	128	2	1	18	
1.5	1	58	12	7	134	19	1	78	7		46	1		22	2		1	
2	7	75	14	19	156	15	2	87	5		80	3		60			1	
3	3	23	9	3	43	9		13	4		2							
4	1	54	4	3	99	12		67	1		36			41				
5	1	36	4		74	7		32			30			15				
6	2	35	8	2	60	4		30			7			6				
7	1	3	2	4	23	11		6	1									
8	2	13	10	2	40	13		10	2					1				
9		11	5	1	15	7		6	2					1				
10	1	12	6	1	23	7		4	1					1				
12	1	7	1	1	12	4		1										
15	1	4	3	1	9	2		1										



ภาพที่ 21 จำนวนอนุภาคฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่ตรวจนับได้ที่ 3 ระดับ จากห้องทดลอง การถ่ายภาพ

ตารางที่ 16 จำนวนอนุภาคละอองน้ำขนาดเล็ก ขนาดต่างๆ ตามช่วงเวลาที่ทำการศึกษาและ ตรวจนับด้วยโปรแกรม i-Solution

Time (m)	ขนาดของฝุ่นละอองที่ระดับต่างๆ																	
	0-49.9 μm			50-99.9 μm			100-149.9 μm			150-199.9 μm			200-499.9 μm			500-1,000 μm		
	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L
0	118	140	50	98	55	95	54	45	53	22	20	50	22	25	18	10	1	
0.16	98	95	25	20	65	85	15	77	10	25	75	8	15	35		1	2	
0.33	68	86	16	15	45	20	12	32	5	20	6	5	14	4	25	2	1	
0.5	45	48	8	9	32	35	8	28		5	4		8	5	15	1		
1	14	35	9	6	25	10	4	15	2	10	4	3	2	1	10	2		3
2	9	10	1	2	21	5	3	10		3	1			1				
3	3	23	2	1	14	8		3		1	2	4						10
4	4	13	1		9	1	1	1		1								
5	5	2		2	3	2												
6	1	3			1	1												
7		5				1												
8	2																	
9																		
10					1													



ภาพที่ 22 จำนวนอนุภาคละอองน้ำขนาดต่างๆ ที่ตรวจนับได้ที่ 3 ระดับ จากห้องทดลองการถ่ายภาพ

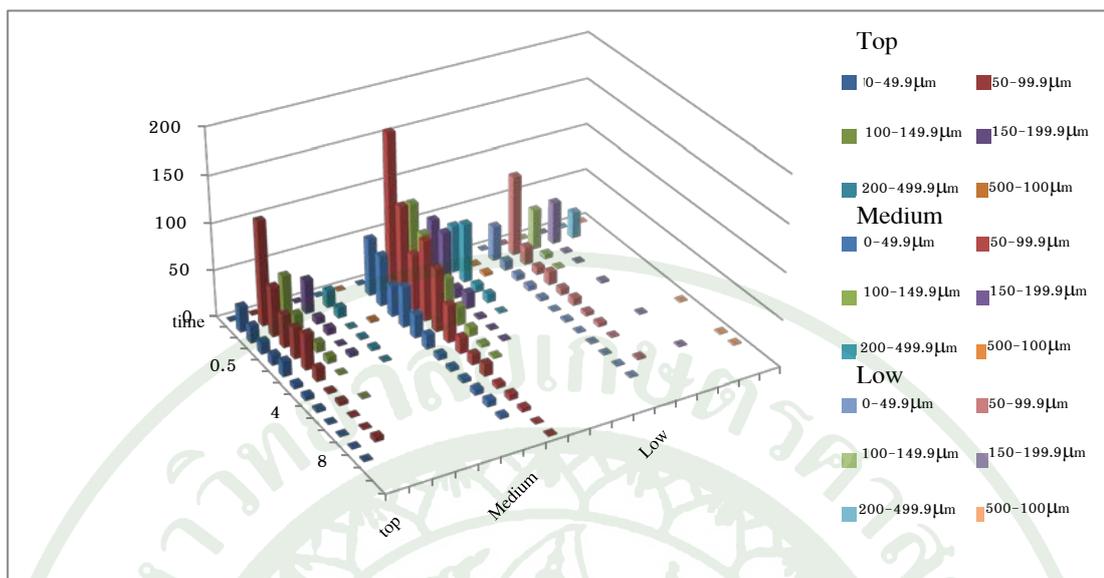
3.4 การรวมตัวของฝุ่นและละอองน้ำ

การทดลองได้ทำการปล่อยให้ฝุ่นละอองฟุ้งกระจายในห้องทดลอง แล้วพ่นละอองน้ำลงในปริมาณใกล้เคียงกับอนุภาคฝุ่น โดยการคำนวณจากค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง และปริมาณละอองน้ำ และทำการปิดห้องทดลองให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างละอองน้ำและฝุ่นละอองพบว่า ปริมาณอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ที่ระดับกลาง ซึ่งสอดคล้องกับการถ่ายภาพของฝุ่นละอองจาก 3 ระดับที่ทำการตรวจวัด พบว่า ที่ระดับกลางและระดับบนมีขนาดอนุภาค 50-99.9 ไมโครเมตร โดยมากที่สุดที่เวลาเริ่มทำการทดลองที่ระดับกลาง 168 อนุภาค และระดับบน 112 อนุภาค รองลงมาเป็นขนาด 0-49.9 ไมโครเมตร ที่ระยะเริ่มทำการทดลองเช่นกัน จำนวนอนุภาค 61 และ 27 อนุภาค ตามลำดับ ส่วนที่ระดับล่าง พบขนาดอนุภาค 50-99.9 ไมโครเมตร มากที่สุด โดยระยะเวลาเริ่มต้น 86 อนุภาค (ตารางที่ 17 และภาพที่ 23) เนื่องจากห้องทดลองเป็นแบบปิด การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้งเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้น เมื่อพ่นละอองน้ำจากด้านบน ปรากฏการณ์รวมตัวของฝุ่นละอองกับละอองน้ำจึงเห็นได้ชัดเจนที่ระดับ 2.5 เมตร เมื่อระยะเวลาผ่านไปขนาดของอนุภาคจะเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็ว นั้นแสดงให้เห็นถึงการรวมตัวของน้ำและฝุ่นละอองในอากาศ (Plinke *et al.* 1995; Liu *et al.* 2006; Charinpanitkul and Tanthapanichkoon 2011)

เมื่อฝุ่นละอองได้สัมผัสกับละอองน้ำจะมีขนาดใหญ่ขึ้นและตกลง จึงพิจารณาสัดส่วนของฝุ่นละออง หากฝุ่นละอองมีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากมีละอองน้ำจับตัวกับฝุ่นละอองจะต้องทำให้สัดส่วนระหว่างอนุภาคแต่ละกลุ่มเมื่อมีการพ่นน้ำลดน้อยลง โดยพบว่า สัดส่วนของฝุ่นละอองขนาด 0-49.9 ไมโครเมตรต่ออนุภาคขนาด 50-99.9 ไมโครเมตร ที่ระดับบนเท่ากับ 0.61 ระดับกลาง 0.49 และระดับล่าง 0.56 เมื่อเปรียบเทียบกับกับส่วนเดียวกันของการพ่นละอองน้ำกับฝุ่นละออง พบว่ามีสัดส่วน 0.34, 0.45 และ 0.45 ตามลำดับ (ตารางที่ 18) จะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนที่น้อยลง และเมื่อพิจารณาในทุกสัดส่วนของระหว่างอนุภาค เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นในส่วนของระดับกลางที่สัดส่วนระหว่างอนุภาค 50-99.9 ไมโครเมตรต่ออนุภาค 100-149.0 ไมโครเมตรขึ้นไปที่มีสัดส่วนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก ปริมาณฝุ่นที่ระดับกลางมีปริมาณสูงและมีการแขวนลอยอยู่ในบริเวณดังกล่าวค่อนข้างนาน และสภาวะการอัดตัวของอากาศที่เป็นสภาพก่อกองที่เป็นสภาวะปิด ลมสงบ เกิดการลอยตัวอยู่ที่ระดับ 1.5 เมตรจึงทำให้อัตราส่วนระหว่างอนุภาคไม่ลดลงเหมือนในระดับอื่น

ตารางที่ 17 จำนวนอนุภาคฝุ่นเมื่อพ่นละอองน้ำขนาดเล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามช่วงเวลาที่ทำกรถ่ายภาพและตรวจนับด้วยโปรแกรม i-Solution

Time (m)	ขนาดของฝุ่นละอองที่ระดับต่างๆ																	
	0-49.9 μm			50-99.9 μm			100-149.9 μm			150-199.9 μm			200-499.9 μm			500-1,000 μm		
	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L	T	M	L
0	27	61	37	112	168	86	47	87	43	36	63	45	18	50	28			1
0.16	18	54	10	53	101	19	17	65	5	7	60	1	11	63				3
0.33	13	33	6	35	60	8	8	31	1	7	11	1	1	8			2	
0.5	11	43	5	33	86	14	10	39		1	17		2	9				
1	16	25	3	38	67	7	7	20		4	2	2	3	1				
2	4	15	1	14	40	8	1	9			1		1					
3	5	6	2	2	17	4		3			1							
4	3	4	1	4	11	4	1	2					1					1
5	1	4	1	1	13	1												
6	1	6	1	1	4													
7	1	7	1	5	6	2						1						1
8	1	3	1		4													1
9					1													
10					1													



ภาพที่ 23 จำนวนอนุภาคละอองน้ำขนาดต่างๆ ที่ตรวจนับได้ที่ 3 ระดับ จากห้องทดลองการถ่ายภาพ

ตารางที่ 18 สัดส่วนจำนวนอนุภาคขนาดต่างๆ ของแต่ละรูปแบบการทดลอง

รูปแบบการถ่ายภาพ	สัดส่วนจำนวนอนุภาค				
	C1/C2	C2/C3	C3/C4	C4/C5	C5/C6
ฝุ่นละออง					
Top	0.61	3.29	1.73	1.63	3.20
Medium	0.49	1.84	1.58	0.97	15.04
Low	0.56	3.67	5.40	1.25	-
ละอองน้ำ					
Top	2.40	1.58	1.11	1.43	3.81
Medium	1.70	1.28	1.88	1.58	17.75
Low	0.43	3.76	1.00	1.03	5.23
ฝุ่นละอองและน้ำ					
Top	0.34	3.27	1.65	1.53	18.0
Medium	0.45	2.26	1.65	1.18	32.75
Low	0.45	3.12	0.96	1.82	9.33

หมายเหตุ: C1 = 0-49.9 μm C2 = 50-99.9 μm C3 = 100-149.9 μm
 C4 = 150-199.9 μm C5 = 200-499.9 μm C6 = 500-1,000 μm

3.5 อัตราการตกของอนุภาคและการเพิ่มขนาดของอนุภาคฝุ่นเมื่อพ่นละอองน้ำ

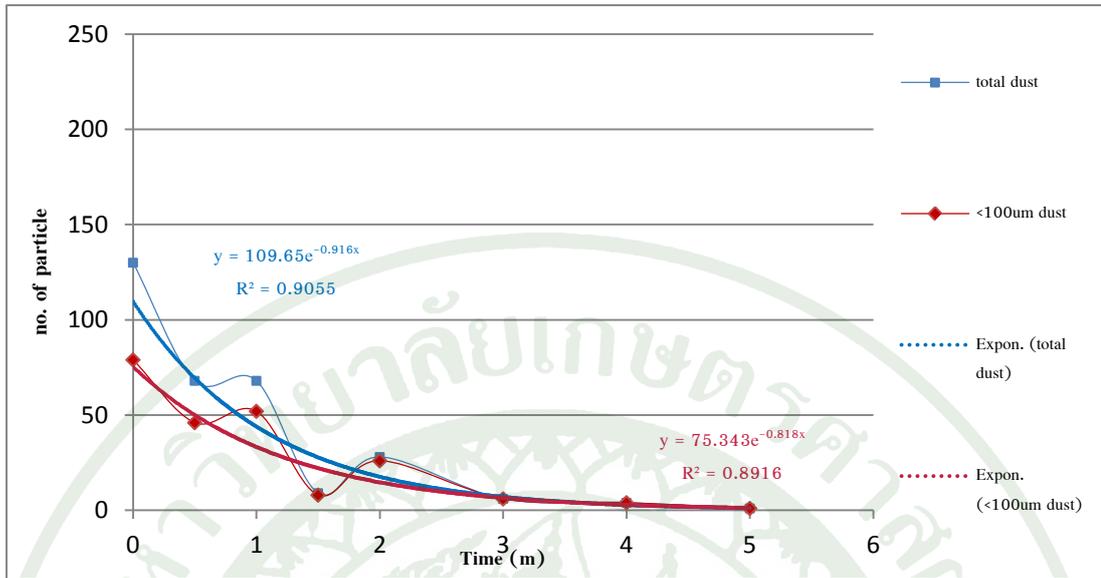
การศึกษาของ Plinke *et al.* (1995); Swietlicki *et al.* (1999); Liu *et al.* (2006); Massling (2009); Stefancova *et al.* (2010); Charinpanitkul and Tanthapanichkoon (2011) พบไปในทิศทางเดียวกัน คือ ละอองน้ำสามารถจับตัวกับฝุ่นละอองทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ละอองน้ำหนักมากกว่าแรงลอยตัวของอนุภาค ทำให้อนุภาคที่มีการรวมตัวนั้นตกลงสู่พื้น และจะมีผลเมื่ออนุภาคฝุ่นมีลักษณะเป็นอนุภาคที่สามารถดูดความชื้น (hygroscopic) และได้รับอิทธิพลของความชื้น เมื่อพิจารณาการลักษณะการตกของอนุภาคฝุ่นละอองจากการทดลอง กับระยะเวลา ที่ทำการตรวจนับอนุภาค โดยแบ่งช่วงขนาดของอนุภาคในการศึกษาเป็น 0-49.9, 50-99.9, 100-149.9, 150-199.9, 200-499.9 และ 500-1,000 ไมโครเมตร เหตุผลที่แบ่งช่วงตามนี้เนื่องจากเทคนิคการถ่ายภาพมีข้อจำกัดที่สามารถถ่ายภาพ ณ เวลาหนึ่งและเป็นการสุ่มตัวอย่าง ณ เวลาการถ่ายภาพในลักษณะของภาพ 2 มิติ และตัวอย่างฝุ่นที่ใช้เป็นฝุ่นตกที่เก็บตัวอย่างจากใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย โดยขนาดฝุ่นที่สามารถตรวจพบขนาดที่เล็กที่สุดคือ 24 ไมโครเมตร จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนอนุภาคและระยะเวลา พบว่า การตกของอนุภาคฝุ่นละอองรวม (0-1,000 ไมโครเมตร) และฝุ่นละอองขนาดต่ำกว่า 100 ไมโครเมตร มีค่าสมการของการตกตัวในรูปแบบของ exponential ตามสมการมาตรฐาน $y = ke^t$ เมื่อ y คือ อนุภาค (อนุภาค) k คือ ค่าคงที่ และ t คือ เวลา (นาที) (ภาพที่ 24) ทั้งนี้ได้พิจารณาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ระดับบน คือ ที่ระดับ 2.5 เมตร ซึ่งมีภาวะปั่นป่วนเมื่อมีการพ่นน้ำในระยะเวลาเริ่มแรกของการทดลอง โดยพบว่าฝุ่นละอองมีการตกลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาแรก 1-5 นาที และค่อยๆ ตกช้าลง

โดยพบการตกของอนุภาคฝุ่นละอองรวม มีค่าคงที่ เท่ากับ 109.65 ที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9055 เป็นไปตามสมการ $y = 109.65e^{-0.916x}$ ส่วนความสัมพันธ์ของการตกของอนุภาคต่ำกว่า 100 ไมโครเมตรมีค่าคงที่ เท่ากับ 75.343 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.8916 เป็นไปตามสมการ $y = 75.343e^{-0.818x}$ (ภาพที่ 24) และเมื่อพิจารณาการตกของฝุ่นละอองเมื่อมีการพ่นละอองน้ำ พบค่าคงที่ เท่ากับ 122.51 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9334 เป็นไปตามสมการ $y = 122.51e^{-0.811x}$ และการตกของฝุ่นละอองเมื่อพ่นละอองน้ำที่มีขนาดต่ำกว่า 100 ไมโครเมตร มีค่าคงที่เท่ากับ 84.546 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9463 ตามสมการ $y = 84.546e^{-0.727x}$ (ภาพที่ 25) นั้นหมายความว่า เมื่อพิจารณาค่าคงที่เมื่อมีค่ามาก แสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไปการลดลงของอนุภาคจะลดลงมากตามไปด้วย ดังนั้น จากค่าคงที่ของสมการจะพบว่า การลดลงของอนุภาค (การตกตัวของอนุภาค) เมื่อฝุ่นละอองมีการพ่นละอองน้ำมีค่าสูงสุด คือ 122.51 เมื่อเทียบกับค่าคงที่กรณีการตกตัวของฝุ่นละออง มีค่า 109.65 ซึ่งจะช้ากว่า เมื่อพิจารณาที่ฝุ่นขนาดเล็กกว่า

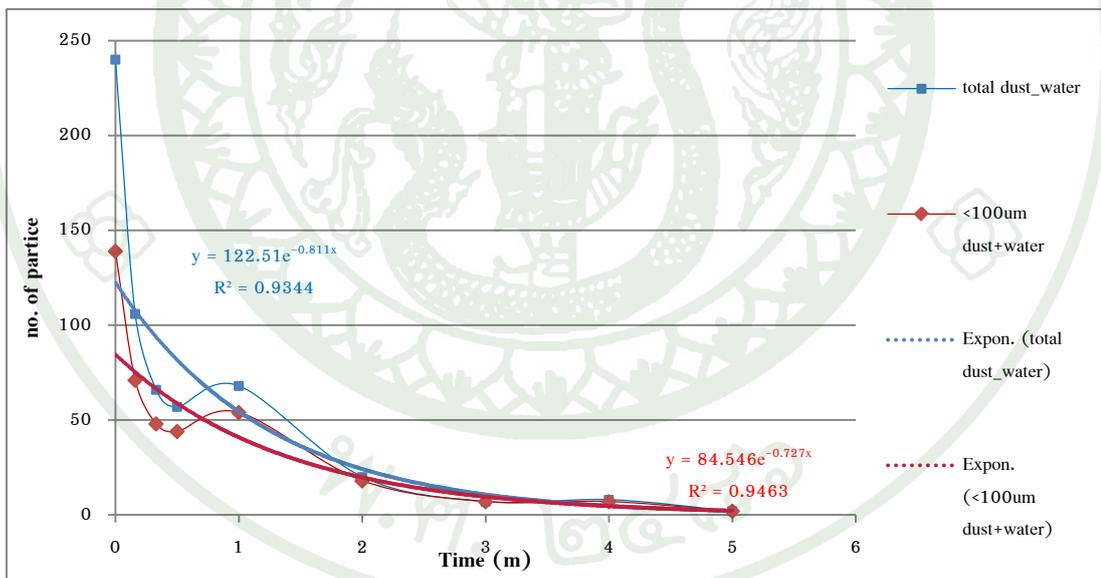
100 ไมโครเมตร พบว่า ค่าคงที่ของฝุ่นละอองเมื่อพ่นละอองน้ำมีค่า 84.546 ในขณะที่ฝุ่นละอองธรรมดา มีค่า 75.343 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฝุ่นละอองที่มีการพ่นละอองน้ำมีการตกที่มากกว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป ทั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Gardner (1955); Grim (1962); Linsley *et al.* (1988); Gaunt *et al.* (2003a, 2003b); Botkin and Keller (2005) ที่พบว่า ฝุ่นละอองส่วนใหญ่มีอนุภาคเป็นลบ และพร้อมที่จะจับตัวกับอนุภาคที่เป็นบวก ในที่นี้ น้ำมีความสามารถเป็นอนุภาคที่มีทั้งขั้วบวกและลบ สามารถจับตัวกับฝุ่นละอองและทำให้น้ำหนักของอนุภาคมากขึ้นกว่าแรงลอยตัว และตกลงในที่สุด

และเมื่อพิจารณาการเพิ่มขนาดของอนุภาคตามเวลา พบว่า เมื่อพ่นละอองน้ำเข้าไปรวมตัวกับฝุ่นละอองจะมีลักษณะการเพิ่มขนาดอนุภาคตามระยะเวลา โดยการหาความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยอนุภาคต่อช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นพบว่าขนาดของอนุภาคมีการเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็นไปตามสมการ $y = 0.8087e^{0.6013x}$ ($R^2 = 0.9359$) (ภาพที่ 26) ซึ่งเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นจนมีน้ำหนักมากกว่าแรงลอยตัวของอนุภาคก็จะทำให้อนุภาคตกลงได้ ทั้งนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Grim (1962); Sellers (1969); Hidy and Brock (1971); Baver *et al.* (1972); Linsley *et al.* (1988); Gaunt *et al.* (2003a, 2003b); Botkin and Keller (2005); Dai *et al.* (2008); Hensley *et al.* (2008); Carotenuto *et al.* (2010); Jaworek *et al.* (2013) ที่รวบรวมเอกสารเกี่ยวกับนิวเคลียสของการก่อตัวของฝนที่เป็นฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้หรือออกไซด์ที่ไม่ใช่โลหะ เช่น ไนโตรเจน คาร์บอน ซัลเฟอร์ และเกลือ ขนาดตั้งแต่ 0.1–10 ไมโครเมตร หรือที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3 ไมโครเมตร จะสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ระยะเวลานาน จนกระทั่งรวมตัวกับน้ำ ดังนั้น การให้ละอองน้ำที่มากขึ้นจะมีผลให้สามารถจับกับฝุ่นละอองได้มากขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ดีการเพิ่มขนาดของอนุภาคนี้เพิ่มขึ้นโดยการมีพันธะของน้ำเข้ามาเชื่อม อาจจะมีขนาดด้วยอนุภาคของฝุ่นและละอองน้ำ หรือการเพิ่มขนาดอนุภาคโดยน้ำเชื่อมต่อกับอนุภาคฝุ่นอีกอนุภาคหนึ่ง (ภาพที่ 27) ดังนั้นเมื่อมีความชื้นที่น้อยลงหรือน้ำเกิดการระเหยทำให้การเชื่อมต่อดังกล่าวแตกออกก็จะทำให้เกิดการลอยตัวกลับของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กได้ถ้ามีภาวะอากาศในลักษณะปั่นป่วน (จารุวัฒน์, 2551)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเพิ่มขนาดของอนุภาคที่มีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับจนถึงนาที่ที่ 6 หลังจากนั้นการเพิ่มของอนุภาคก็จะลดลงและค่อนข้างคงที่เป็นไปตามสมการ polynomial กำลัง 2 ตามสมการ $y = 0.4285x^2 - 7.5987x + 57.023$ ($R^2 = 0.8246$) ทั้งนี้ เนื่องจากอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นจากการพ่นละอองน้ำไปเป็นตัวจับยึดระหว่างอนุภาคฝุ่นเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคก็จะลดลงนั่นเอง (Baver *et al.*, 1972)



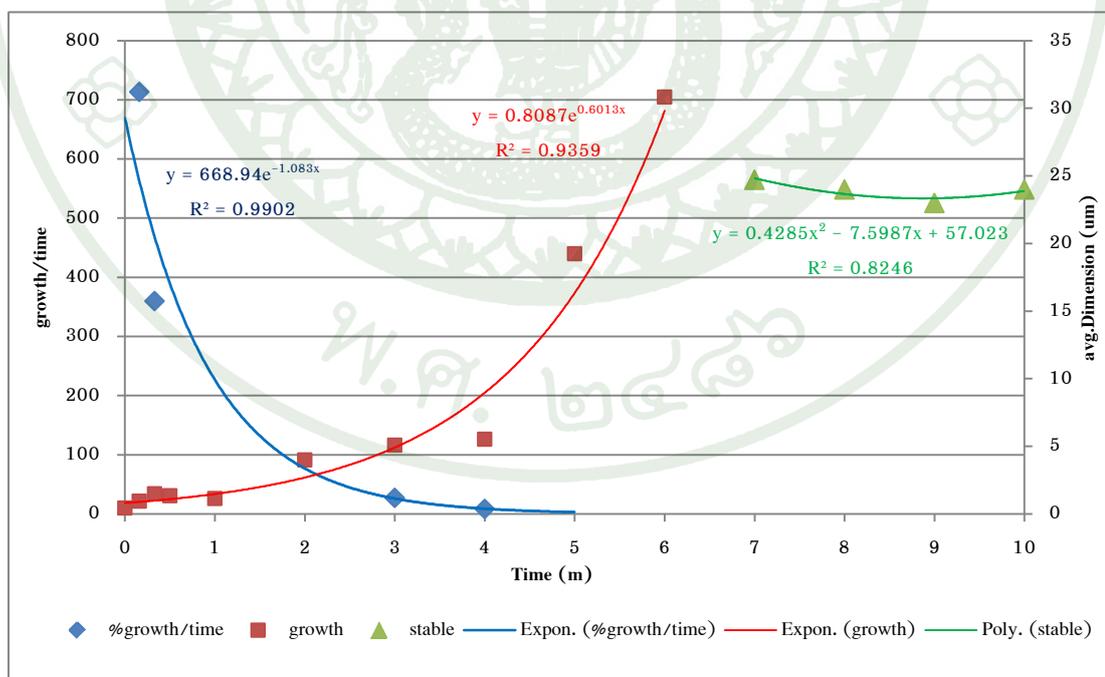
ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์การตกตัวของอนุภาคฝุ่นละออง



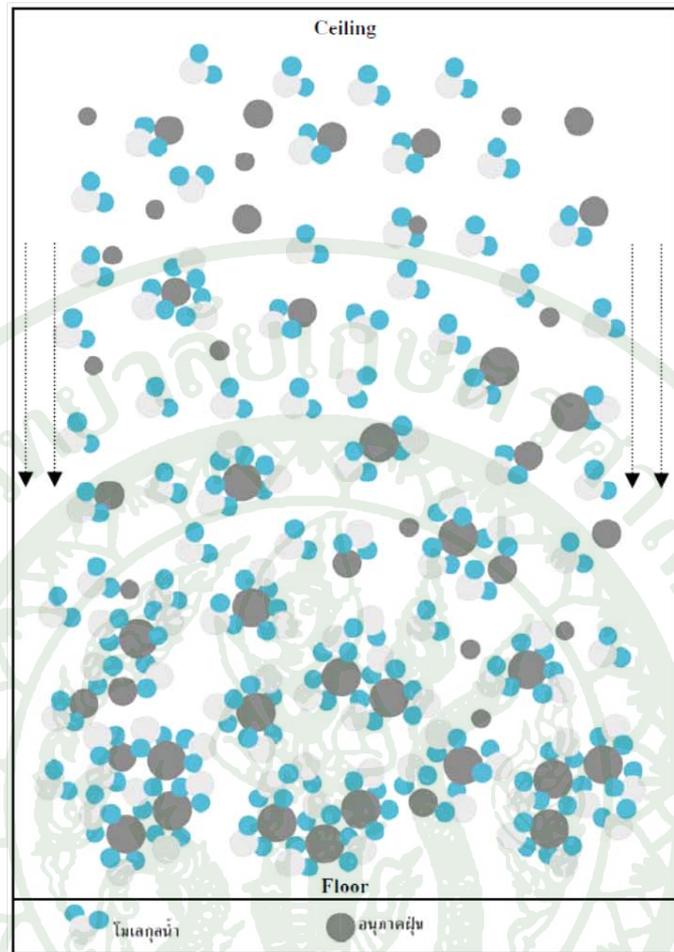
ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์การตกตัวของอนุภาคฝุ่นกับละอองน้ำ

และจากความสัมพันธ์ของอัตราการเพิ่มของอนุภาคต่อหน่วยเวลา พบว่าในระยะเวลาช่วงแรกของการพ่นละอองน้ำ ร้อยละของการเพิ่มขนาดจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับ Tsai and Kuo (2005) ที่พบว่าอนุภาคฝุ่นละอองที่มีสมบัติ hygroscopic จะเพิ่มขนาดอย่างรวดเร็วเมื่อมีความชื้นหรือรวมตัวกับน้ำ และเมื่อเวลาผ่านไปร้อยละการเพิ่มขนาดต่อเวลาจะค่อยๆ ลดลงจนถึงนาทีที่ 5 เป็นไปตามสมการ $y = 668.94e^{-1.083x}$ ($R^2 = 0.9902$)

เมื่อ y คือ ร้อยละการเพิ่มขนาดต่อเวลา และ x คือ เวลา (นาที) จากภาพที่ 26 เส้นกราฟการเพิ่มขนาดของอนุภาคตามระยะเวลา และร้อยละอัตราการการเพิ่มขนาดต่อเวลาจะตัดกันที่ 2.10 นาที นั่นคือจุดที่ปริมาณน้ำและฝุ่นมีความสมดุลกัน โดยการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ฝุ่นละอองที่ตกอยู่บริเวณ crib หน้าต่างห้องปั๊มไฟฟ้าจากเงินใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควายที่ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเมื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ด้วยอัตรา 76 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าเวลา 2.10 นาที จะมีปริมาณน้ำประมาณ 164 มิลลิลิตร นั้นหมายความว่าปริมาณละอองน้ำจะมีความเข้มข้นสูงกว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองประมาณ 10 เท่า เนื่องจากปริมาณน้ำที่พ่นเป็นละอองน้ำทุกละอองไม่ได้จับกับฝุ่นละอองในอัตราส่วนเท่ากัน ดังนั้น ปริมาณละอองน้ำจะต้องมีปริมาณมากพอสำหรับให้เกิดการชนกับฝุ่นละอองและยึดติดระหว่างฝุ่นละอองให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและตกลงตามลำดับ โอกาสของการชนกันของอนุภาคนั้น พบว่าหากขนาดของละอองน้ำใกล้เคียงกับขนาดฝุ่นละอองโอกาสของการชนและยึดติดของน้ำกับอนุภาคฝุ่นก็จะมีมากขึ้นด้วยลักษณะกลไกการกระทบด้วยแรงเฉื่อย (inertial impaction) ซึ่งจะพบในอนุภาคฝุ่นละอองเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1 ไมโครเมตรหรือใหญ่กว่า ในส่วนที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมโครเมตร อนุภาคจะมีการเคลื่อนที่แบบ Brownian จะมีการชนกับละอองน้ำแบบไม่มีทิศทาง และเมื่ออนุภาคใหญ่ขึ้นโดยไม่เล็กเป็นจุดเมื่อเทียบกับอนุภาคที่ขวางกัน (ละอองน้ำ) จะมีกลไกการชนแบบการสกัดกัน (interception) (วิวัฒน์ และ คานาโอกะ 2535; Hom 1988)



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคกับเวลา



ภาพที่ 27 ภาพจำลองการจับตัวของอนุภาคฝุ่นและโมเลกุลของน้ำ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การติดตั้งหัวฉีดพ่นละอองขนาดเล็กเพื่อลดฝุ่นจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย มีระยะห่างที่เหมาะสมคือ ระยะห่างระหว่างหัวฉีด เท่ากับ 2.0 เมตร จำนวน 4 แถว โดยแต่ละแถวห่างกันประมาณ 2 เมตร ครอบคลุมผิวการจราจรของถนนพหลโยธิน ตลอดความยาวของสถานีที่มีลักษณะปิดทับบนถนนพหลโยธิน ที่มีความกว้างของถนน 21.3 เมตร ความยาว 100 เมตร ใช้หัวฉีดทั้งสิ้น 208 หัวฉีด โดยหัวฉีดละอองน้ำมีความสามารถในการผลิตละอองน้ำขนาดเล็ก 10 ไมโครเมตร โดยใช้แรงดันน้ำที่ความดัน 1,000 PSI ต่อผ่านจากปั๊มที่อยู่บริเวณเกาะกลางถนนพหลโยธินในห้องปั๊มไฟฟ้าสำรองของสถานี ด้วยท่อสแตนเลสขึ้นไปบนเพดานของชั้น 1 สถานีรถไฟฟ้า อัตราการใช้ น้ำของหัวฉีด 1 หัวฉีด เท่ากับ 0.076 ลิตรต่อนาที และลักษณะของการเปิด-ปิดละอองน้ำ ที่เหมาะสมต่อการลดฝุ่นจราจรใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย คือ การเปิด-ปิดละอองน้ำทุก ๆ 10 นาที

2. ประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองโดยการพ่นละอองน้ำขนาดเล็ก บริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้าสะพานควาย มีความสามารถในการลดฝุ่นละอองรวม และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร มากที่สุด ร้อยละ 33.7 และร้อยละ 43.7 ตามลำดับ สอดคล้องกับการวิจัยของชลาลัย (2551) ซึ่งมีประสิทธิภาพการลดฝุ่นละอองรวม ร้อยละ 37 และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ร้อยละ 47 เมื่อทิศทางลมหลักของด้านทิศเหนือของสถานีเป็นลมทิศใต้ (S) และทิศลมหลักด้านทิศใต้ เป็นทิศลมตะวันตกเฉียงใต้ตะวันตก (WSW) ซึ่งจะเห็นว่าเป็นลมที่ไม่เกี่ยวข้องกับทิศทางการวางตัวและช่องเปิดของสถานีรถไฟฟ้า ในขณะที่หากมีทิศทางลมหลักจากทางทิศเหนือ (N) ที่บริเวณด้านเหนือของสถานี จะทำให้ประสิทธิภาพการลดฝุ่นจราจรด้วยการพ่นละอองน้ำลดลง เนื่องจากอิทธิพลของลมที่สามารถพัดพาฝุ่นละอองจากด้านนอกสถานีเข้าสู่ใต้สถานี และลักษณะโครงสร้างอาคารที่มีช่องเปิดด้านทิศตะวันตก ทำให้เป็นช่องลมที่สามารถพัดพาฝุ่นเข้ามาได้ส่วนหนึ่ง ดังนั้น ประสิทธิภาพของการลดฝุ่นจราจรด้วยละอองน้ำจำเป็นต้องพิจารณา ลักษณะช่องเปิดของอาคาร หรือโครงสร้างของสถานี และทิศทางลมหลักในบริเวณพื้นที่ด้วย (Ameth and Stichlmair 2001, Gehlin *et al.* 2003)

3. การตกตัวของอนุภาคฝุ่นละอองรวมที่ทำในห้องทดลอง จากการถ่ายและการนับปริมาณอนุภาคด้วยเทคนิคขั้นสูงจากโปรแกรม i-Solution พบว่า การตกตัวของฝุ่นละอองรวมเมื่อมีการพ่นละอองน้ำให้กับฝุ่นละออง เป็นไปตามสมการ $y = 122.51e^{-0.811x}$ ($R^2 = 0.9344$) เมื่อ y คือ จำนวนอนุภาค และ x คือ เวลา (นาที) ซึ่งมีการตกตัวของฝุ่นละอองตามระยะเวลาที่

มากกว่าเมื่อเทียบกับการตกตัวของฝุ่นละอองรวม ที่มีค่าสมการ $y = 109.65e^{-0.916x}$ ($R^2 = 0.9055$) ในขณะที่การเพิ่มขนาดของอนุภาคเมื่อมีการพ่นละอองน้ำเป็นไปตามสมการ $y = 0.8087e^{0.6013x}$ ($R^2 = 0.9359$) เมื่อ y คือ ค่าเฉลี่ยขนาดของอนุภาค และ x คือเวลา (นาที) ดังนั้น การพ่นละอองน้ำทำให้ฝุ่นตกตัวลงได้เร็วกว่าฝุ่นปกติและสามารถช่วยลดฝุ่นจราจรได้ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี Smoluchowski's theory (Clair, 1994) โดยพบว่าปริมาณความเข้มข้นของละอองน้ำที่เหมาะสมในการลดฝุ่นจราจรเป็น 10 เท่าของความเข้มข้นของฝุ่นจราจร

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองติดตั้งหัวฉีดพ่นละอองน้ำใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครที่มีลักษณะปิดทึบคล้ายอุโมงค์ มีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ได้มากกว่าร้อยละ 43 ดังนั้น จึงควรติดตั้งระบบหัวฉีดละอองน้ำขนาดเล็กใต้สถานีรถไฟฟ้ามหานครอื่น ๆ ที่มีลักษณะปิดทึบเช่นเดียวกันหรือทุกสถานี ทั้งนี้ เพื่อลดปริมาณฝุ่นละอองและเป็นการคำนึงถึงสุขภาพอนามัยของผู้อยู่อาศัยในบริเวณดังกล่าว
2. เนื่องด้วยระบบฉีดพ่นละอองน้ำต้องใช้น้ำสะอาดผ่านปั๊มความดันสูง ดังนั้นจึงควรมีระบบกรองน้ำที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้น้ำที่สะอาดผ่านเข้าระบบฉีดพ่นละอองน้ำและลดการอุดตันของหัวฉีด
3. ผลการทดลองพบว่าอิทธิพลของทิศทางลม ช่องเปิดของอาคาร การวางตัวของถนน และสถานี มีผลต่อประสิทธิภาพของการลดฝุ่นละอองจราจรด้วยละอองน้ำ ดังนั้นในการดำเนินการจริงภายใต้สถานีควรคำนึงถึงอิทธิพลเหล่านี้ด้วย
4. จากการสังเกตในช่วงฤดูฝนเมื่อฝนตกความชื้นในอากาศสูง เมื่อมีการพ่นละอองน้ำขนาดเล็กใต้สถานี ละอองน้ำขนาดเล็กจะลอยตัวสูงขึ้นบนสถานีไม่ตกลงในแนวตั้งบนถนน ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนจากถนนจึงทำให้อากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นไปหาอากาศที่เย็นกว่าบนสถานีที่มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นในช่วงเวลาของฝนตก จึงไม่จำเป็นต้องมีการพ่นละอองน้ำขนาดเล็ก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กมล ธนะนพวรรณ. 2540. การพัฒนาตัวคุณอัตราการปล่อยฝุ่นละอองจากโรงโม่หิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2539. รายงานฉบับเบื้องต้นและการสร้างระบบสถิติการกำจัดฝุ่นละอองจากอุตสาหกรรม โม่ บด และย่อยหิน. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. การพัฒนาและการสร้างระบบสถิติการกำจัดฝุ่นละอองจาก อุตสาหกรรม โม่ บด และย่อยหิน. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กิตติชัย จำรูญ. 2548. การแพร่กระจายของฝุ่นละอองตามแนวเส้นทางโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เกษม จันท์แก้ว. 2541. เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จารุวัฒน์ พ่วงสุข. 2551. การลอยตัวกลับสู่อากาศของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ภายหลังการฉีดละอองน้ำแรงดันสูงใต้สถานีรถไฟฟ้า กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ชลาลัย รุ่งเรือง. 2551. ประสิทธิภาพการลดความเข้มข้นฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) โดยการฉีดละอองน้ำแรงดันสูงบริเวณใต้สถานีรถไฟฟ้ากรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน). 2554. เส้นทางให้บริการปัจจุบัน. แหล่งที่มา: <http://www.bts.co.th/customer/th/02-route-current.aspx>, 6 เมษายน 2557.
- รังสรรค์ อาภาคัพทะกุล. 2547. อุตุณิยมวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- วิฑูรย์ อภิสิทธิ์ภูวกุล. 2544. ทางเลือกในการทำความสะอาดถนนเพื่อลดฝุ่นฟุ้งปลิว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล และ ชีชิตาโอะ คานาโอกะ. 2535. มลภาวะทางอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ นิตยา มหาผล และ ธีระ เกรอด. 2543. มลภาวะอากาศ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วรารุธ เสือดี. 2542. การประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์ วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล ชีชิตาโอะ คานาโอกะ และ จุฑามาศ เกตุทัต. 2542. มลภาวะอากาศ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศิริวรรณ แก้วงาม. 2543. สันฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สุชาติ ฌรินทร์ศักดิ์ชัย. 2542. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการกำจัดฝุ่นในที่เปิดโล่งโดยการฉีดหดยดละอองน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สุรัตน์ บัวเลิศ. 2536. การประยุกต์เทคนิคทางคอมพิวเตอร์ในวิธีเพนแมนดัดแปลงเพื่อการประมาณการคายระเหยน้ำสูงสุดบริเวณอำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Amato, F., X. Querol, C. Johansson, C. Nagl and A. Alastuey. 2010. A review on the effectiveness of street sweeping, washing and dust suppressants as urban PM control methods. *Science of the Total Environment*. 408: 3070–3084.
- Ameth, S. and J. Stichlmair. 2001. Characteristics of thermo-siphon reboilers. *International Journal of Thermal Sciences*. 40: 385–391.

- Arya, S.P. 2001. **Introduction to micrometeorology**. 2nd(ed.). Academic Press, New York.
- Balachandran, W., A. Jaworek, A. Krupa, J. Kulon and M. Lackowski. 2003. Efficiency of smoke removal by charged water droplets. **Journal of Electrostatics**. 58:209–220.
- Baver, L.D., W.H.Gardner and W.R.Gardner. 1972. **Soil Physics**. John Wiley and Sons, New York.
- Bin Hu, D. Freihaut, W. Bahnfleth, A.S. Gomes and B. Thran. 2004. **Literature Review and Parametric Study: In door Particle Resuspension by Human Activity**. The Pennsylvania State University, USA.
- Botkin, D.B. and E.A. Keller. 2005. **Environmental Science: Earth as a Living Planet**. 4th(ed.). New York.
- Brabec, D.L. 2003. **Experimental and numerical Modeling of dust control at grain receiving with high pressure foggy system**. Ph.D. Thesis, Kansas State University.
- Bualert, S. 2001. **Development and application of an advanced Guassian urban air quality model**. **Doctoral Dissertation**. Department of Environment Science, Faculty of Natural Science, University of Hertfordshire.
- Carotenuto, C., F.D. Natale and A. Lancia. 2010. Wet electrostatic scrubbers for the abatement of submicronic particulate. **Chemical Engineering Journal**. 165: 35–45.
- Caton, F., R.E. Britter and S. Dalziel. 2003. Dispersion mechanisms in a street canyon. **Atmospheric Environment**. 37: 693–702.
- Clair, H.W. 1994. Agglomeration of Smoke, Fog, or Dust Particles by Sonic Waves. **Industrial and Engineering Chemistry**. 41: 2434–2438.

- Charinpanitkul, T. and W. Tanthapanichkoon. 2011. Deterministic model of open-space dust removal system using water spray nozzle: Effect of polydispersity of water droplet and dust particle. **Separation and Purification Technology**. 77: 382-388.
- Chen, Y.Y. and W.W.G. Lee. 1999. Hygroscopic properties of inorganic-salt aerosol with surface-active organic compound. **Chemosphere**. 38: 2431-2448.
- Cheng, Y.H., Y.L. Lin and C.C. Liu. 2008. Level of PM₁₀ and Pm_{2.5} in Taipei Rapid Transit System. **Atmospheric Environment**. 42: 7242-7249.
- Cheng, Y.H. and J.W. Yan. 2011. Comparison of particulate matter, CO, and CO₂ level in underground and ground-level station in the Taipei mass rapid transit system. **Atmospheric Environment**. 45: 4882-4891.
- Dai, S.J., D.Z. Wei, D.Q. Zhou, C.Y. Jia, Y.J. Wang and W.G. Liu. 2008. Removing cadmium from electroplating wastewater by waste cerevisiae. **Transaction Nonferrous Meteorology Society China**. 13: 1008-1013.
- Decesari, S., M.C. Facchini, E. Matta, M. Mircea, S. Fuzzi, A.R. Chughtai and D.M. Smith. 2002. Water soluble organic compounds formed by oxidation of soot. **Atmospheric Environment**. 36: 1827-1832.
- Gardner, C. Jr. 1955. **Hauling down more water from the sky**. In **Water-Yearbook of Agriculture 1955**, USDA, The Superintendent of Documents, US Government Printing Office.
- Gaunt, L.F., J.F. Hughes and N. M. Harrison. 2003a. Removal of domestic airborne dust particles by naturally changed liquid sprays. **Journal of Electrostatics**. 58: 159-168.
- Gaunt, L.F., K.L. Jerrim and J.F. Hughes. 2003b. Electrostatic control of domestic dust and allergen particles for improved air quality. **Powder Technology**. 135: 354-360.

- Gehlin, S.E.A., G. Hellstrom and B. Nordell. 2003. The influence of the thermosiphon effect on the thermal response test. **Renewable Energy**. 28: 2239–2254.
- Gerdes, F. and D. Olivari. 1999. Analysis of pollutant dispersion in an urban street canyon. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic**. 82: 105–124.
- Ghenu, A., J.M. Rosant and J.F. Sini. 2008. Distribution of pollutant and estimation of emission in a street canyon in Rouen, France. **Environmental Modeling & Software**. 23: 314–321.
- Grim, R.E. 1962. **Applied Clay Mineralogy**. McGraw–Hill Book Comp, New York.
- Grunding, P.W., W. Hoflinger, G.Mauschitz, Z.Liu, G.Zhang and Z.Wang. 2006. Influence of air humidity on the suppression of fugitive dust by using a water spraying system. **China Particuology**. 5: 229–233.
- Harrison R.M., J. Yin, D. Mark, J. Stedman, R.S. Appleby and J. Booker. 2001. Study of the coarse particle (2.5–10 mm) component in UK urban atmospheres. **Atoms Environ**. 35: 3667–3679.
- Hensley, J.L., X. Feng and J.E. Bryan. 2008. Induction charging nozzle for flat fan sprays. **Journal of Electrostatics**. 66: 300–311.
- Hesketh, H.E. 1995. **Understanding and controlling air pollution**. 2nd(ed.). Michigan: Ann Arbor Dclence Publisher Inc.
- Hidy, G.M. and J.R. Brock. 1971. **Topics in current aerosol research**, vol.2, Pergamon Press.
- Hom, H.G., H. Borke, E. Gorhards, M. Kallowski, L. Karnz. and M. Maqua. 1988. Collection efficiency aerosol particle by raindrops. **J. Aerosol Sci**. 19: 855–858.

- Hinds, W.C. 1982. **Aerosol Technology—Properties, Behavior, and Measurement of Airborne 34 Particles**. John Wiley & Sons, New York.
- Jacobson Z.M. 1999. **Fundamentals of atmospheric modeling**. Cambridge University Press, USA.
- Jaworek, A., A. Krupa, A.T.Sobczyk, A.Marchewicz, M.Szudyga, T.Antes, W. Balachandran, F.D.Natale and C.Carotenuto. 2013. Submicron particles removal by charged sprays: Fundamentals. **Journal of Electrostatics**. 71: 345–350.
- Kerminen, V.M. 1996. The effects of particle chemical character and atmosphere process on particle hygroscopic properties. **Aerosol Sci**. 28: 121–132.
- Ketzel M., G. Omstedt, C. Johansson, I. Doring, M. Pohjola and D. Oetl. 2007. Estimation and validation of $PM_{2.5}/PM_{10}$ exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modeling. **Atmos Environ**. 41: 9370–9385.
- Kim, K.Y., Y.S. Kim, Y.M. Roh, C.M. Lee and C.N. Kim. 2008. Spatial distribution of particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$) in Seoul Metropolitan Subway stations. **Journal of Hazardous Materials**. 154: 440–443.
- Kuhns H., V. Etyemezian, M. Green, K. Hendrickson, M. McGrown, K. Barton, M. Pitchford. 2003. Vehicle-base road dust emission measurement – Part II: Effect of precipitation, wintertime road sanding, and street sweepers on inferred PM_{10} emission potentials from paved and unpaved roads. **Atmos Environ**. 37: 4573–4582.
- Kumar, P., P. Fennell and R. Britter. 2008a. Effect of wind direction and speed on the dispersion of nucleation and accumulation mode particles in an urban street canyon. **Science of the Total Environment**. 402: 82–94.

- Kumar, P., P. Fennell and R. Britter. 2008b. Measurement of particle in the 5–1000 nm range close to road level in an urban street canyon. **Science of the Total Environment**. 390: 437–447.
- Kumar, P., M. Ketzler, S. Vardoulakis, L. Pirjola and R. Britter. 2011. Dynamic and dispersion modeling of nanoparticles from road traffic in the urban atmospheric environment–A review. **Journal of Aerosol Science**. 42: 580–603.
- Lenschow P., H.J. Abraham, K. Kutzner, M. Lutz, J.D. Preu and W. Reichenbacher. 2001. Some ideas about the sources of PM₁₀. **Atmos Environ**. 35: S23–S33.
- Li, X.L., J.S. Wang, X.D. Tu, W. Liu and Z. Huang. 2007. Vertical variation of particle number concentration and size distribution in Shanghai, China. **Science of the Total Environment**. 378: 306–316.
- Linsley, R.K., M.A.Kohler and J.L.H. Paulhus. 1988. **Hydrology for Engineers**. SI Metric Edition, McGraw–Hill Book Company, London.
- Limparseni W., W. Tanthapanlekhkoon and S. Narinsakchai. 1999. **Prediction of Inertia-interceptional collection efficiency of polydisperse liquid droplet**. First Asla Aerosol Conference Program. Nagoya, Japan.
- Liu, H.F., X. Gang, W.F. Li, F.C. Wang and Z.H. Yu. 2006. Prediction of droplet size distribution in spray of prefilming air–blast atomizing. **Chemical Engineering Science**. 61: 1741–1747.
- Lonati, G. and M. Giugliano. 2006. Size distribution of atmospheric particulate matter at traffic exposed site in urban area of Milan (Italy). **Atmospheric Environment**. 40: S264–S274.

- Longley, I.D., M.W. Gallagher, J.R. Dorsey, M. Flynn, J.D. Allan, M.R. Alfarra and D. Inglis. 2003. A case study of aerosol ($4.6 \text{ nm} < D_p < 10 \mu\text{m}$) number and mass size distribution measurement in a busy street canyon in Manchester, UK. **Atmospheric Environment**. 37: 1563–1571.
- Manoli E., D. Voutsas and C. Samara. 2002. Chemical Characterization and source identification/apportionment of fine and coarse air particles in Thessaloniki, Greece. **Atmos Environ**. 36: 949–961.
- Massling, A., M. Stock, B. Wehner, Z.J. Wu, M. Hu, E. Brüggemann, T. Gnauk, H. Herrmann and A. Wudenzohler. 2009. Sixe segregated water uptake of the urban submicrometer aerosol in Beijing. **Atmospheric Environment**. 43: 1578–1589.
- Memon, R.A., D.Y.C. Leung and C.H. Liu. 2010. Effects of building aspect ratio and wind speed an air temperatures in urban-like street canyon. **Building and Environment**. 45: 176–188.
- Mirmov, N.I. and I.G. Belyakava. 1982. Heat liberation during vapor condensation in thermo-siphon process. **Journal of Engineering Physics**. 43: 970–974.
- Parker, C. R. 1993. **Aerosol Science and Technology**. 2nd (ed.). McGraw-Hill, Inc. Singapore.
- Plinke, M.A.E., D. Lelth, D.B.Holstein and M.G.Boundy. 1991. Experimental examination of factor that affect dust generation. **American Industry Hygiene Association Journal**. 52: 521–528.
- Plinke, M.A.E., D. Lelth, M.G. Boundy and F. Loffler. 1995. Dust generation from handing powders in industry. **Am. Ind. Hyg. Assoc. J**. 56: 251–257.
- Saranagapani,R. and A.S. Wexler. 2000. The role of dispersion in particles deposition in human airways. **Toxicological Science**. 54: 229–236.

Sellers, W.D. 1969. **Physical Climatology**. The University of Chicago Press, Chicago and London.

Srimuruganandam, B. and S.M.S. Nagendar. 2011. Characteristic of particulate matter and heterogeneous traffic in the urban area of India. **Atmospheric Environment**. 45: 3091-3102.

Strak, M., M. Steenhof, K.J. Godri, I. Gosens, I. S. Mudway, F. R. Cassee, E. Lebret, B. Brunekreef, F. J. Kelly, R.M. Harrison, G. Hoek and N.A.H. Janssen. 2011. Variation in Characteristic of ambient particulate matter at eight location in the Netherlands-The RAPTES project. **Atmospheric Environment**. 45: 4442-4493.

Stefancova, L., J. Schwarz, W. Maenhant and J. Smolik. 2010. Hygroscopic growth of atmospheric aerosol sampled in Prague 2008 using humidity controlled inlets. **Atmospheric Research**. 98: 237-248.

Swietlicki, E., J. Zhou, O.H. Berg, B.G. Martinsson, G. Frank, S.I. Cederfelt, U. Dusek, A. Berner, W. Birmili, A. Wiedensohler, B. Yuskiewicz and K.N. Bower. 1999. A closure study of sub-micrometer aerosol particle hygroscopic behavior. **Atmospheric Research**. 50: 205-240.

Tanthapanichkoon W., W. Linpaseni and Meechuman. 1997. **Dust Control via Water Spray at Rock Crushing Plant**. The 14th Symposium on AEROSOL SCIENCE & TECHNOLOGY. Kitakyushu, Japan.

Tsai, Y.I. and S.C. Kuo. 2005. PM_{2.5} aerosol water content and chemical composition in a metropolitan and a coastal area in southern Taiwan. **Atmospheric Environment**. 39: 4827-4839.

U.S. Environmental protection agency. 1992. **Composition of air pollution emission factor (AP-42)**. Vols.1 North Carolina Research Triangle Park.

- Vignati, E., R. Berkowicz, F. Palmgren, E. Lyck and P. Hummelshoj. 1999. Transformation of size distribution of emitted particles in streets. **The Science of the Total Environment**. 235: 37-49.
- Wark, K. and C.F. Warner. 1976. **Air Pollution: Its Origin and Control**. Harperr & Row, Publishers, N.Y.
- Weber, S., K. Kordowski and W. Kuttler. 2013. Variability of particle number concentration and particle size dynamic in an urban street canyon under different meteorological condition. **Science of Total Environment**. 449: 102-114.
- Xie, X., Z. Huang, J. Wang and Z. Xie. 2005. Thermal effects on vehicle emission dispersion in an urban street canyon. **Transportation Research Part D**. 10: 197-212.
- Xie, X.M., J.S. Wang and Z. Huang. 2009. Traffic emission transportation in street canyon. **Journal of Hydrodynamics**. 21: 108-117.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายกิตติชัย ดวงมาลัย
เกิดวันที่	6 มีนาคม 2516
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เคมีการเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ตำแหน่งงานปัจจุบัน	อาจารย์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์: 0-2955-1771 โทรสาร: 0-2955-1771
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ - ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)