



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง อิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดนาโนที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

Effects of Nanosized Particulate Matters on Hygroscopic Properties

نامผู้วิจัย นางสาวชญาพร พิษฟู

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดนาโนที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

Effects of Nanosized Particulate Matters on Hygroscopic Properties

โดย

นายชญาพร พิษฟู

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิต)

พ.ศ. ๒๕๕๗

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชญาพร พิษฟู 2557: อิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดนาโนที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์
สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D. 104 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขนาดนาโนเมตรที่มีต่อศักยภาพในการเป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ โดยใช้เครื่องมือ Differential Mobility Analyzer (H-TDMA) สำหรับตรวจวัดอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในพื้นที่เขตเมือง (กรุงเทพมหานคร) และพื้นที่ชนบท (จังหวัดเพชรบุรี) อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองแบ่งเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่ม less hygroscopic และกลุ่ม more hygroscopic ในเขตเมือง ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนจำนวนฝุ่นละอองในกลุ่ม less hygroscopic อยู่ในช่วง 0.31-0.59 และในกลุ่ม more hygroscopic อยู่ในช่วง 0.41-0.69 อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม less hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.05 1.05 1.05 1.04 1.04 และ 1.04 สำหรับฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ตามลำดับ สำหรับกลุ่ม more hygroscopic (ขนาดฝุ่นละอองเดียวกับกลุ่ม less hygroscopic) อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละอองมีเท่ากับ 1.35 1.26 1.21 1.22 1.24 และ 1.30 ในพื้นที่ชนบท ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนจำนวนฝุ่นละอองในกลุ่ม less hygroscopic อยู่ในช่วง 0.39-0.60 และในกลุ่ม more hygroscopic อยู่ในช่วง 0.40-0.61 อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม less hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.09 1.07 1.07 1.06 1.06 และ 1.06 สำหรับฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ตามลำดับ สำหรับกลุ่ม more hygroscopic (ขนาดฝุ่นละอองเดียวกับกลุ่ม less hygroscopic) มีอัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละอองเท่ากับ 1.42 1.27 1.24 1.25 1.26 และ 1.38 อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง ในการศึกษาความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในสองพื้นที่ที่ศึกษามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในแต่ละพื้นที่จึงแตกต่างกัน

Chayaporn Phuetfoo 2014: Effects of Nanosized Particulate Matters on Hygroscopic Properties. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Surat Bualert, Ph.D. 104 pages.

This research is to study the effects of nanosized particulate matters on hygroscopic properties of potential cloud condensation nuclei (CCN). The hygroscopic properties were measured using a Hygroscopic Tandem Differential Mobility Analyzer (H-TDMA) for dry particles with diameters of 30-250 nm in urban area (Bangkok) and rural area (Phetchaburi province). The hygroscopic growth factor was considered as two hygroscopic groups, less hygroscopic group and more hygroscopic group. In urban area, the averaged number fractions of the less hygroscopic group were in range of 0.31-0.59 and in range of 0.41–0.69 for the more hygroscopic group. The less hygroscopic particles had average growth factors of 1.05, 1.05, 1.05, 1.04, 1.04 and 1.04 for particle diameters of 30, 50, 100, 150, 200 and 250 nm, respectively. For the more hygroscopic particles (at the same sizes as less hygroscopic group), the averaged hygroscopic growth was 1.35, 1.26, 1.21, 1.22, 1.24 and 1.30. In rural area, the averaged number fractions of the less hygroscopic group were in the range of 0.39-0.60 and in the range of 0.40-0.61 for more hygroscopic group. The less hygroscopic particles had average growth factors of 1.09, 1.07, 1.07, 1.06, 1.06 and 1.06 for particle diameters of 30, 50, 100, 150, 200 and 250 nm, respectively. For the more hygroscopic particles (at the same sizes as less hygroscopic group), the averaged hygroscopic growth was 1.42, 1.27, 1.24, 1.25, 1.26 and 1.38. Hygroscopic growth factor of nanosized particulate matters depending on the chemical composition of the particulate matter. In this study, the concentration of element carbon in the two areas were significant difference, therefore hygroscopic growth factor in each areas are different

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำในการกำหนดขอบเขตการวิจัย การเก็บข้อมูลภาคสนาม และให้คำปรึกษาในการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ขอบพระคุณอาจารย์สำหรับคำสอนสั่งในการปฏิบัติตัวในฐานะนิสิตและโอกาสที่อาจารย์หยิบยื่นให้แก่ศิษย์เสมอ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เกษม จันทรแก้ว ผู้ทรงคุณวุฒิประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณนายพรรณพ ลิ้มหู่่น นายวินัย มีแสง นางสาวนริฏา พักแก้ว นางสาวพิมพ์รัช ช่างเรือน เพื่อนร่วมเดินทางในการเก็บข้อมูลภาคสนามในทุกพื้นที่ และเจ้าหน้าที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ทุกๆท่านที่มีส่วนช่วยเหลือให้การเก็บตัวอย่างภาคสนามเป็นไปด้วยความราบรื่น ขอขอบคุณเพื่อนๆสิ่งแวดล้อมรุ่น 36 ที่เป็นกำลังใจ และช่วยเหลือทุกครั้งที่มีอุปสรรคในการทำงาน

ขอขอบคุณครอบครัวสำหรับแรงผลักดันและกำลังใจ ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดามารดาที่อยู่เบื้องหลัง ผู้ที่ทำให้กำลังใจทั้งในวันที่ผิดหวังและในวันที่สำเร็จมาตลอดชีวิต

ชญาพร พิษฟู
พฤษภาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	38
สรุปและข้อเสนอแนะ	80
สรุป	80
ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	82
ภาคผนวก	89
ภาคผนวก ก อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง	90
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	101
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	104

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณสมบัติของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode	12
2	การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองโดยใช้ H-TDMA	21
3	ค่าต่ำสุด-สูงสุดและจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	39
4	ค่าต่ำสุด-สูงสุดและจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	41
5	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	43
6	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในช่วงเวลา กลางวันและกลางคืน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	44
7	ค่าต่ำสุด-สูงสุดและจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	47
8	ค่าต่ำสุด-สูงสุดและจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	49
9	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	50
10	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	52
11	ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	ความเข้มข้นเฉลี่ยองค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบือ จังหวัดเพชรบุรี	58
13	ค่าต่ำสุด-สูงสุด และอัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	61
14	อัตราการดูดซับน้ำและสัดส่วนของจำนวนฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	66
15	ค่าต่ำสุด-สูงสุด และอัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบือ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	68
16	อัตราการดูดซับน้ำและสัดส่วนของจำนวนฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราช ดำริฯ แหลมฝักเบือ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	71
17	สัดส่วนสารไอออนิกในฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษาเขตเมืองและเขตชนบท	74
18	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง) และ โครงการพระราชดำริฯแหลมฝักเบืออำเภอบ้านแหลมจังหวัดเพชรบุรี (เขตชนบท)	77
ตารางผนวกที่		
ก1	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	91
ก2	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาลิ่งแวดล้อมแหลมฝักเบืออันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข1	การวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละออง ระหว่างพื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯแหลมผักเบี้ย ด้วยวิธี t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances	102
ข2	การวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง ระหว่างพื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯแหลมผักเบี้ย ด้วยวิธี t-Test: Two-Sample Assuming Equal Variances	102
ข3	การวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของ EC ระหว่างพื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯแหลมผักเบี้ย ด้วยวิธี t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances	103
ข4	การวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของ UVPM ระหว่างพื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯแหลมผักเบี้ย ด้วยวิธี t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances	103

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดการวิจัยอิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีต่อ สมบัติการดูดซับน้ำ	4
2	กระบวนการ Gas to particle conversion ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode	10
3	กระบวนการ Gas to particle conversion ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode	11
4	ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่น ละออง	20
5	เครื่องมือ H-TDMA (Hygroscopic Tandem Differential Mobility Analyzer	28
6	เครื่องมือ Magee Scientific SootScan Model OT21	28
7	หลักการทำงานของ H-TDMA	29
8	จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา สถานีตำรวจนครบาลพลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	33
9	ความทิศทางและความเร็วลม สถานีตำรวจนครบาลพลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	34
10	จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเป็ด แหลม ผักเป็ด อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	35
11	ความทิศทางและความเร็วลม โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเป็ด อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	36
12	แผนผังการวิจัยอิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ	37
13	การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	39
14	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	41
16	การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	43
17	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	45
18	การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ยะ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	46
19	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ยะ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	48
20	การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ยะ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	49
21	การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณ พื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ยะ อำเภอบ้านแหลม จังหวัด เพชรบุรี	51
22	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ยะ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	52
23	ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	56
24	ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ยะ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	60
26	อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	62
27	การกระจายตัวของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	63
28	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	66
29	สัดส่วนของจำนวนฝุ่นละอองในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร	66
30	อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	67
31	อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	69
32	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	72
33	สัดส่วนของจำนวนฝุ่นละอองในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	72
34	อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานครและ โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี	73
35	สัดส่วนสารไอออนิกในฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษาเขตเมืองและ เขตชนบท	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่

หน้า

- 36 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC ในฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานครและ โครงการพระราชดำริฯ แหยมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

76

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

SO_4^{2-}	=	ซัลเฟต
NO_3^-	=	ไนเตรท
Cl^-	=	คลอไรด์
NH_4^+	=	แอมโมเนีย
Na^+	=	โซเดียม
K^+	=	โพแทสเซียม
Ca^{2+}	=	แคลเซียม
cm^3	=	ลูกบาศก์เมตร
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	=	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
$\pm$	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
H-TDMA	=	Hygroscopic tandem differential mobility analyzer
BC	=	Black carbon
EC	=	Element carbon
UVP	=	Ultraviolet-absorbing particulate matter
Gf	=	Hygroscopic growth factor
Nf	=	Number fraction

อิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดนาโนที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

Effects of Nanosized Particulate Matters on Hygroscopic Properties

คำนำ

ฝุ่นละออง (Particulate matter) เป็นอนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ อาจมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรงหรือเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์หรือปฏิกิริยาทางเคมี ฝุ่นละอองอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ ฝุ่นดินที่มากับลม ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล ฝุ่นละอองจากไฟฟ้า หรืออาจเกิดจากฝีมือมนุษย์ โดยเฉพาะพื้นที่เขตเมือง (Urban area) เป็นบริเวณที่มีการปลดปล่อยฝุ่นละอองเป็นจำนวนมากส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการจราจร เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง รวมไปถึงการก่อสร้างหรือในเขตชนบท (Rural area) ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมจึงมีการเผาไหม้ชีวมวล เช่น การเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตร ทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กได้

ฝุ่นละอองขนาดเล็กมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กล่าวคือ ในกระบวนการเกิดเมฆและฝน การที่ไอน้ำในบรรยากาศจะเกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำในก้อนเมฆหรือหยดเมฆ (Cloud droplet) ได้นั้นจะต้องอาศัยแกนกลางเพื่อช่วยในการควบแน่น ซึ่งฝุ่นละอองในบรรยากาศจะทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ (Cloud condensation nuclei: CCN) ในบรรยากาศจะมีฝุ่นละอองขนาดเล็กเจือปนอยู่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศเหล่านี้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของไอน้ำจะทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ ไอน้ำในบรรยากาศต้องอาศัยแกนกลางเพื่อช่วยในการควบแน่น โดยพบว่าในสภาวะปกติ ไอน้ำที่ไม่มีสารอื่นเจือปนจะควบแน่นเป็นหยดน้ำได้เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากถึงประมาณ 400 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าในบรรยากาศมีฝุ่นละอองขนาดเล็กแขวนลอยอยู่ การควบแน่นของไอน้ำเป็นหยดน้ำจะใช้ความชื้นสัมพัทธ์จะไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆจะเป็นฝุ่นละอองขนาดนาโนเมตร อยู่ในกลุ่มของฝุ่นละอองขนาดอนุภาคละเอียด (Fine particles mode) ซึ่งฝุ่นละอองที่มีขนาดต่ำกว่า 1 ไมครอน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่ม Nuclei Mode เป็นกลุ่มอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 นาโนเมตร และกลุ่ม Accumulation Mode เป็นกลุ่มของอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 100-1000 นาโนเมตร (Eleftheriadis *et al.*, 2006)

อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยคือ ขนาด จำนวน และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง กล่าวคือ ขนาดของฝุ่นละอองจะมีผลต่อการคงตัวของฝุ่นละอองในบรรยากาศ จำนวนของฝุ่นละอองต้องมีปริมาณพอเหมาะ รวมไปถึงฝุ่นละอองจะต้องมีสมบัติเป็น Hygroscopic คือมีความสามารถในการดูดซับน้ำ ถ้าในฝุ่นละอองมีองค์ประกอบทางเคมี ที่เรียกว่า ธาตุคาร์บอน (Element carbon: EC) หรือแบล็กคาร์บอน (Black carbon: BC) (กัลยกร และคณะ, 2550) ในปริมาณสูง จะทำให้ฝุ่นละอองดูดซับน้ำได้น้อย เนื่องจากธาตุคาร์บอนมีสมบัติเป็น Non-hygroscopic คือไม่ดูดซับน้ำ ปัจจัยเหล่านี้มีลักษณะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิด เช่น ฝุ่นละอองในเขตเมืองและเขตชนบท จะมีอัตราการดูดซับน้ำที่แตกต่างกัน จึงส่งผลกระทบต่อทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ รวมไปถึงการเกิดฝนด้วย ดังนั้นการศึกษาดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในบรรยากาศจึงมีความสำคัญเพราะเกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศ ซึ่งลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรเป็นข้อมูลที่สามารถใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้ (Raes *et al.*, 2000) นอกจากนี้ฝุ่นละอองขนาดเล็กยังมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ (Sasaki and Sakamoto, 2005) มีผลต่อการบดบังรังสีดวงอาทิตย์ รวมไปถึงด้านทัศนวิสัยการมองเห็น (Lohmann and Feichter, 2005) จึงเห็นได้ว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กมีผลต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์

ในปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยการศึกษาดูดซับน้ำของฝุ่นละอองยังไม่แพร่หลาย อาจมีสาเหตุมาจากการขาดเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขนาดนาโนเมตร ในเขตเมืองและเขตชนบท ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในด้านการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย และควบคุมปริมาณของฝุ่นละอองขนาดนาโนเมตรในพื้นที่เมืองไม่ให้มีผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

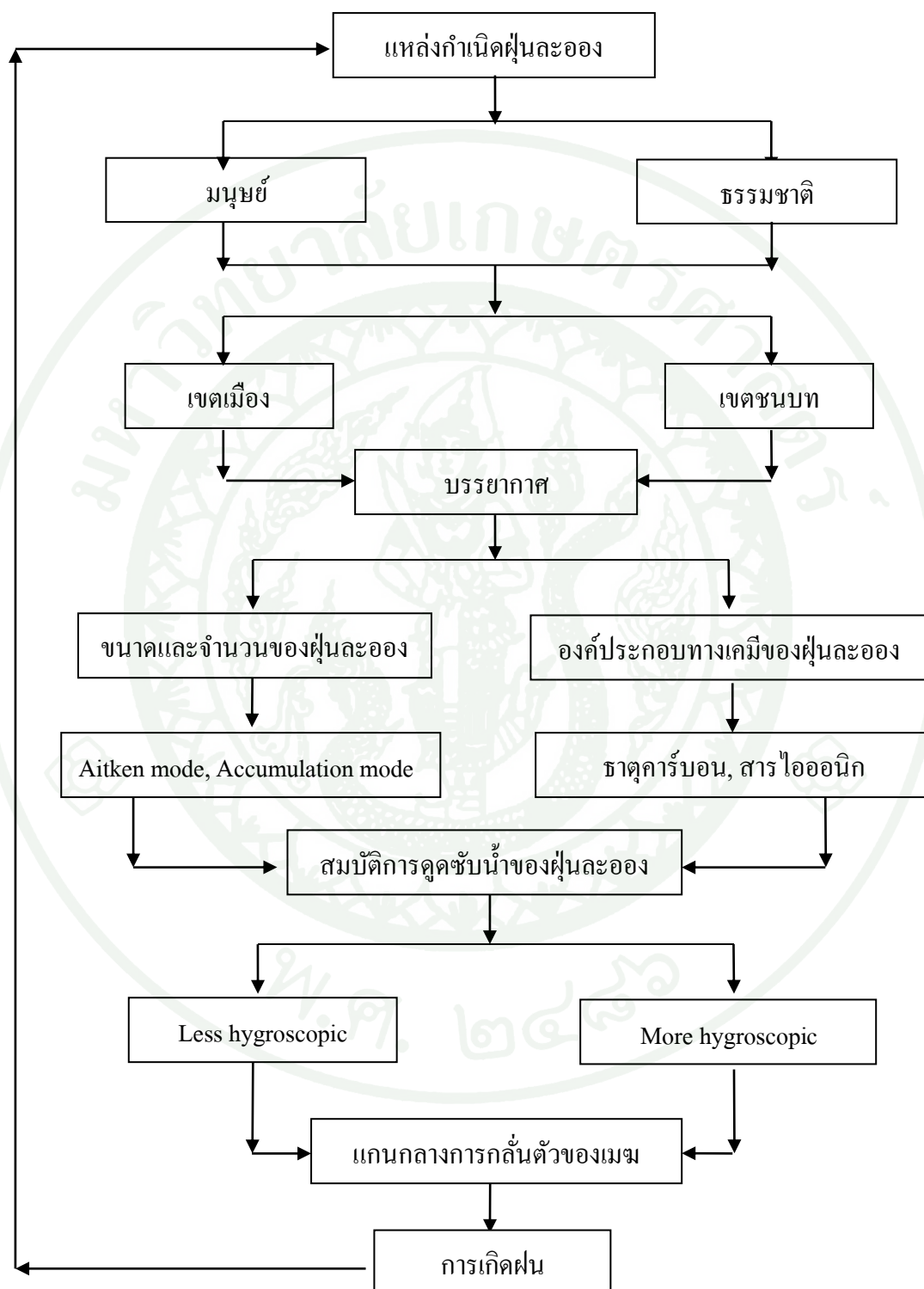
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขนาดเล็กในเขตเมืองและเขตชนบท
2. เพื่อศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กในเขตเมืองและเขตชนบท
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการดูดซับน้ำกับขนาดและแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง

ขอบเขตงานวิจัย

1. วิเคราะห์สมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ด้วยเครื่องมือ H-TDMA (Hygroscopic Tandem Differential Mobility Analyzer)
2. ระยะเวลาในการทดลอง ตั้งแต่วันที่ 20-28 พฤษภาคม พ.ศ. 2557
3. พื้นที่ศึกษามี 2 พื้นที่ ดังนี้
 - 3.1 เขตเมือง: สถานีตำรวจนครบาลพลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
 - 3.2 เขตชนบท: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี
4. องค์ประกอบคาร์บอนที่วิเคราะห์ คือ ธาตุคาร์บอน (EC) และชีวมวล (UVP)M

กรอบงานวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยเรื่องอิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดนาโนที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

การตรวจเอกสาร

1. ฝุ่นละออง

1.1 ความหมายของฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง หมายถึง สารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพและทางเคมี ซึ่งอาจมีองค์ประกอบในสภาพที่เป็นของแข็งหรือของเหลว อาจเกิดขึ้นในอากาศหรือถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดที่มีทั้งตามธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ ฝุ่นดินที่มากับลม ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล ไฟป่า และจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จากการจราจร การก่อสร้าง จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามอาคารบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น อนุภาคที่กระจายในอากาศบางชนิดมีขนาดใหญ่และมีสีสามารถมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมโครเมตรลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน มีการให้ความหมายแก่ฝุ่นละอองไว้หลายความหมาย ดังนี้

ฝุ่นละออง (Particulate matter) หมายถึง สารทุกชนิดไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบของของแข็งหรือของเหลว ยกเว้นไอน้ำ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิและความดันปกติ (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ) อาจมีขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมโครเมตร จนถึง 200 ไมโครเมตร (United state Environmental Protection Agency [U.S.EPA], 1996a)

ฝุ่นละออง (Dusts) หมายถึง สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ อาจเกิดจากธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ โดยขนาดของฝุ่นละอองมีตั้งแต่ขนาดไมโครเมตรจนถึงขนาดมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ฝุ่นดิน เกสรดอกไม้ เป็นต้น (U.S.EPA, 1996a)

ฝุ่นละอองจำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศรอบๆ ตัวเรามีขนาดตั้งแต่ 200 ไมครอนลงไปจนถึงต่ำกว่า 0.01 ไมโครเมตร โดยฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นั้นเราเรียกว่า ละอองลอย (Aerosol) เมื่อมีละอองลอยมากขึ้นจะรวมตัวกันตกลงสู่พื้นดิน ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมักจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร) เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ หากมีแรงกระทำจาก

ภายนอกเข้ามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น จะทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยในอากาศได้นานเป็นปี

ประเทศสหรัฐอเมริกา US. EPA (United state Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐาน ฝุ่นละอองขนาดเล็กเป็น 2 ชนิด คือ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ (U.S.EPA, 1996a) ดังนี้

PM_{10} ตามคำจำกัดความของ US. EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course particle) เป็นอนุภาค ฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมโครเมตร มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางตามการขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบดย่อยหิน

$PM_{2.5}$ ตามคำจำกัดความของ US. EPA หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Final particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ฝุ่นละเอียดที่มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซ SO_2 NO_x และสาร VOC จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละเอียดได้

เมื่อพิจารณาตามขนาดอนุภาคของฝุ่นละอองจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ อนุภาคหยาบ (Coarse-mode particulate matter) หมายถึงฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 1 ไมโครเมตร และอนุภาคละเอียด (Fine-mode particulate matter) หมายถึงฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (Wu, 2009) ในกลุ่มนี้จะ แบ่งกลุ่มของอนุภาคตามขนาดของอนุภาคออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน (Eleftheriadis *et al.*, 2006) ดังนี้

1.1.1 กลุ่ม Nuclei mode เป็นกลุ่มของอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3-10 นาโนเมตร โดยอนุภาคส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ

1.1.2 กลุ่ม Aitken mode เป็นกลุ่มของอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 100 นาโนเมตรหรือบางครั้งจะหมายรวมถึงกลุ่ม Nuclei mode มีที่มาจากการเผาไหม้ การสันดาปภายในของเครื่องยนต์เช่น ดีเซล เบนซิน และก๊าซธรรมชาติ

1.1.3 กลุ่ม Accumulation mode เป็นกลุ่มของอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ใน ช่วง 50-1000 นาโนเมตร ซึ่งอนุภาคในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะมาจากการเกาะรวมตัวกันของอนุภาคในกลุ่ม Aitken mode ทำให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น

1.2 แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองที่แขวนลอยฟุ้งกระจายสู่บรรยากาศทั่วไปนั้นอาจเกิดได้จากแหล่งกำเนิดโดยตรงแล้วแพร่กระจายสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดนั้น หรือเกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ หรือปฏิกิริยาทางเคมีแสง (Photochemical reaction) ทำให้เกิดอนุภาคขึ้น โดยธรรมชาติของอนุภาคหยาบและอนุภาคละเอียดจะมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน (U.S.EPA, 1996b) ส่วนใหญ่อนุภาคหยาบจะมาจากเปลือกนอกโลก เช่น ดินหรือหิน และมาจากสิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรีย เกสรดอกไม้ สปอร์ เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ฝุ่นละอองที่เกิดจากธรรมชาติและฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ (กิตติชัย, 2548; Seinfeld and Pandis, 1995) ดังนี้

1.2.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Nature particle) อาจเกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่นขึ้น เช่น ดิน ททราย ละอองน้ำ เขม่าควันจากไฟฟ้า ฝุ่นจากเกลือทะเล หรือภูเขาไฟ เป็นต้น หรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลของแก๊ส (Photochemical reactions) ซึ่งเกิดระหว่างแก๊สโอโซนในธรรมชาติ และสารไฮโดรคาร์บอน โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากธรรมชาติมีดังนี้

ก. ฝุ่นและทราย ที่เจือปนอยู่ในบรรยากาศล้วนถูกนำมาโดยลมพายุหรือการนำพาโดยความร้อน สำหรับฝุ่นนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญก็คือ ทะเลทราย

ข. ไฟป่า เป็นตัวการที่สำคัญที่ทำให้มีเถ้าฝุ่น (Ash) เป็นจำนวนมากขึ้นสู่อากาศ

ค. ภูเขาไฟ ผลจากการระเบิดของภูเขาไฟส่งผลให้เกิดฝุ่นละอองขึ้นสู่บรรยากาศเป็นจำนวนมาก ซึ่งฝุ่นเหล่านี้ถูกนำพาไปได้จนถึงบรรยากาศชั้นสตราโทสเฟียร์โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นจะคงอยู่นานถึง 2 หรือ 3 ปี

ง. ทะเล ผุ่นละอองที่มาจาก ทะเลก็คือสารพวกโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และ ซัลเฟต ซึ่งมาจากการระเหยน้ำจากผิวน้ำทะเล และถูกพาลอยขึ้นไปยังบรรยากาศ ซึ่งบริเวณพบว่ามี การระเหยมักจะเป็นบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

จ. ละอองเกสรดอกไม้ และสปอร์ ผลกระทบที่เกิดจากผุ่นละอองประเภทนี้มัก มีผลต่อมนุษย์โดยตรงมากกว่าผลที่เกิดกับพลังงาน ซึ่งผลกระทบที่ได้รับเกี่ยวกับ โรคภูมิแพ้ต่างๆ ผุ่นละอองประเภทนี้โดยเฉลี่ยจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคน้อยกว่า 0.2 ไมครอน

1.2.2 ผุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ก. แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile source) ได้แก่ ยานพาหนะประเภทต่างๆ ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ตัวอย่างแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ ได้แก่ ยานพาหนะทางบก ได้แก่ รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล โดยระบายผุ่นละอองสู่บรรยากาศในรูปของควันดำซึ่งเป็น อนุภาคของคาร์บอนจำนวนมาก ที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์และ รถจักรยานยนต์สองจังหวะซึ่งระบายผุ่นละอองออกสู่บรรยากาศในรูปของควันขาวที่เป็นละอองไอน้ำ ของน้ำมันหล่อลื่น รถบรรทุกและขนส่งวัสดุก่อสร้าง เป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างทุก ประเภท โดยเฉพาะการบรรทุกและขนส่งดินทรายที่ไม่มีการปกคลุมส่วนที่บรรทุกให้มิดชิด หรือ ล้อรถที่มีดินทรายเกาะติดอยู่ตกหล่นลงสู่ถนนตลอดทางที่วิ่งไป ทำให้ผุ่นละอองเกิดฟุ้งกระจายไป ในบรรยากาศ โดยในเขตเมืองอย่างเช่นกรุงเทพมหานคร ผุ่นละอองส่วนใหญ่จะมาจากการจราจร จากงานวิจัยของวัชรเดช (2552) รายงานว่าผุ่นในกรุงเทพมหานครมีต้นกำเนิดมาจาก 3 แหล่งใหญ่ๆ คือ จากการก่อสร้างทำให้เกิดผุ่นร้อยละ 40 จากท่อไอเสียรถยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ รถเมล์ รถบรรทุก และพาหนะอื่นๆ ที่ใช้น้ำมันทั้งหลาย อีกร้อยละ 40 และจากโรงงานอุตสาหกรรม ไอเกลือจากทะเล และแหล่งอื่นๆ อีกร้อยละ 20

ข. แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Sources) ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม ประเภทต่างๆ โรงไฟฟ้า เตาหลอมตามบ้านเรือนและการเผาขยะมูลฝอย เป็นต้น ตัวอย่าง แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ ได้แก่

1) ผุ่นละอองจากการก่อสร้างและการรื้อถอนทำลายอาคารหรือ สิ่งก่อสร้าง เนื่องจากการก่อสร้างหลายชนิดมักมีการเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้าง จึงทำให้เกิดผุ่น

ละลองได้ง่ายเมื่อลมพัดผ่าน รวมทั้งการก่อสร้างอาคารสูงที่ไม่ได้มีวัสดุปกปิดตัวอาคารทำให้ฝุ่นปูนซีเมนต์ถูกลมพัดออกมานอกบริเวณก่อสร้างได้ รวมไปถึงการรื้อถอนทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง

2) ฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน แกลบ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดฝุ่นละออง เช่น เถ้าบิน (Coal fly ash) จากโรงผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการไหม้หินหรืออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ก็เป็นสาเหตุของการปลดปล่อยฝุ่นละอองสู่บรรยากาศ

3) ฝุ่นละอองจากการทำเกษตรกรรม เช่น การเผาไหม้ชีวมวลจำพวก วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พืชผลทางการเกษตร (Agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and wood residues) การเผาไหม้เศษวัสดุทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง จะก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก เขม่าหรือเถ้าเป็นจำนวนมากฟุ้งกระจายไปในอากาศและลอยไปตามกระแสลมปกคลุมพื้นที่กว้าง ซึ่งพบว่าฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้สารชีวมวลจะมีปริมาณของสารอินทรีย์และคาร์บอนแปรผันตามประเภทของแหล่งกำเนิด ระยะเวลาการเผาไหม้ และชนิดของเชื้อเพลิง โดยพบโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบหลักของการเผาไหม้ของเตาเชื้อเพลิงไม้ทั้งนี้พบว่าองค์ประกอบที่พบมากกว่าร้อยละ 90 จากการปลดปล่อยอนุภาคจากการเผาไหม้ชีวมวล คือ สารประกอบอินทรีย์คาร์บอน (Zhenxing *et al.*, 2009)

1.3 กระบวนการเกิดฝุ่นละอองระดับนาโนเมตร

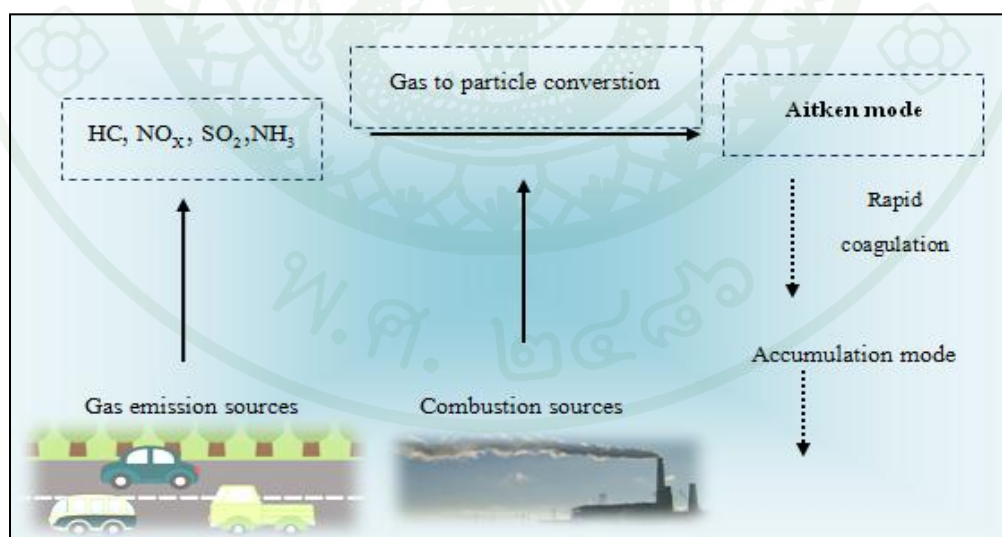
ฝุ่นละอองในระดับนาโนเมตร สามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ กลุ่ม Nuclei mode กลุ่ม Aitken mode และกลุ่ม Accumulation mode โดยกระบวนการไดนามิกของฝุ่นละอองในบรรยากาศมี 3 รูปแบบ คือ การสร้างตัวด้วยกระบวนการ Gas to particle conversion การเจริญเติบโตด้วยกระบวนการรวมตัว การควบแน่น และการระเหย และการกำจัดออกด้วยกระบวนการตกสะสม การตกลอกมาเป็นฝน และการชะล้าง ฝุ่นละอองในกลุ่มต่างๆ จะมีลักษณะการเกิดที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

1.3.1 Aitken mode

ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร เกิดจากก๊าซที่มาจากการเผาไหม้ถูกปล่อยออกมาโดยตรงในบรรยากาศ โดยก๊าซเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุภาคด้วยกระบวนการ Gas to particle conversion ซึ่งก๊าซต้นกำเนิดนั้นเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์หรือในโรงงานอุตสาหกรรมเช่น ไฮโดรคาร์บอน ออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แอมโมเนีย (Wu, 2009) โดยก๊าซดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็นอนุภาคอย่างรวดเร็ว อาจทำปฏิกิริยากับก๊าซชนิดอื่น ทั้งนี้ฝุ่นละอองในกลุ่ม Nuclei mode มีกระบวนการเกิดเช่นเดียวกับ ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ตัวอย่างการเกิดกระบวนการ Gas to particle conversion เช่น



กระบวนการ Gas to particle conversion มักจะพบใกล้ทางหลวงและแหล่งกำเนิดที่มีการเผาไหม้ อนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้จะจับตัวอย่างรวดเร็ว มีอายุในชั้นบรรยากาศค่อนข้างสั้น และจะรวมตัวเป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode ดังภาพที่ 2

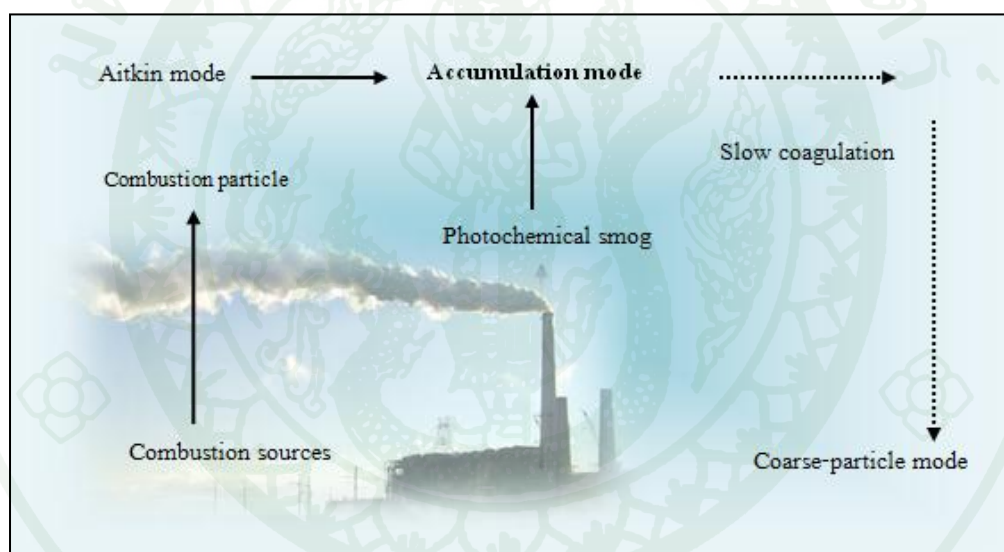


ภาพที่ 2 กระบวนการ Gas to particle conversion ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wu (2009)

1.3.2 Accumulation mode

ฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 100-1000 นาโนเมตร เกิดจากการรวมตัวของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode รวมไปถึงฝุ่นละอองจากปฏิกิริยาทางเคมี (Photochemical smog) และฝุ่นละอองจากการเผาไหม้ในโรงงานอุตสาหกรรม มีกระบวนการดังภาพที่ 3 อย่างไรก็ตาม Ye *et al.* (2011) กล่าวว่าฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode ไม่ได้มาจากการรวมตัวกันของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode เพียงอย่างเดียว น่าจะมีการรวมกลุ่มกันระหว่างองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าการเกาะกลุ่มกันของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode นั้นเป็นสาเหตุที่ว่าทำไมฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode จึงสามารถดูดซับน้ำได้



ภาพที่ 3 กระบวนการ Gas to particle conversion ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wu (2009)

ทั้งนี้ฝุ่นละอองระดับนาโนเมตรในกลุ่มต่างๆ นั้น มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode

คุณสมบัติของฝุ่นละออง	กลุ่มของฝุ่นละออง	
	Aitken mode	Accumulation mode
ขนาด	$d < 0.1 \text{ nm}$	$0.1 \text{ nm} < d < 1 \text{ nm}$
แหล่งกำเนิด	Combustion	Combustion
	Gas-to Particle conversion	Gas-to Particle conversion
	Chemical reactions	Chemical reactions
	Chemical reactions	Nucleation
กระบวนการสร้างอนุภาค	Nucleation	Condensation
	Condensation	Coagulation
	Coagulation	Evaporation of droplet
	Sulphate	Sulphate
องค์ประกอบ	Elemental carbon	Nitrate
	Low-volatility organic compounds	Ammonium
		Elemental Carbon
		Organic Component
การละลายน้ำ	Largely soluble, hygroscopic	Largely soluble, hygroscopic
การคงตัว	Minutes to hours	Days to weeks

ที่มา: ดัดแปลงจาก Wilson and Suh (1997)

2. องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง

2.1 ธาตุคาร์บอน

ธาตุคาร์บอน (Element carbon: EC) หรือแบล็คคาร์บอน (Black carbon) เกิดจากการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคคาร์บอนเล็กๆ ระหว่างที่มีการเผาไหม้ เช่น เตาผิงไฟ เตาหุงต้ม ประเภที่ใช้ฟืน และเครื่องยนต์ดีเซล การปลดปล่อยจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นหลักและเป็นตัวการสำคัญในการดูดซับแสงในบรรยากาศ นอกจากสมบัติในการดูดซับแสงแล้วยังพบว่า EC ที่ถูกปลดปล่อยออกมาใหม่ๆ จะมีสมบัติเป็น Hydrophobic คือ ไม่ชอบน้ำ (Massling *et al.*, 2009; McMeeking *et al.*, 2011; Ye *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2013; Tan *et al.*, 2013) โดยทั่วไปไม่สามารถ

ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆได้ (Cloud condensation nuclei: CCN) แหล่งกำเนิดของ EC ส่วนใหญ่จะมาจากการจราจร โดยงานวิจัยของ Keuken *et al.* (2012) ได้พบว่า การจราจรมีส่วนเกี่ยวข้องในการปลดปล่อยสารคาร์บอนซึ่งมาจากท่อไอเสียของรถยนต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Szidat *et al.* (2009) ที่ได้กล่าวว่า อนุภาคคาร์บอนที่มีมาจากการจราจร อุตสาหกรรมที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือการเผาไหม้ชีวมวล ส่วนอินทรีย์คาร์บอนนั้นประกอบด้วยฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้โดยตรง (Primary particle) และจากปฏิกิริยาทางเคมีของสารต่างๆ ในบรรยากาศ (Secondary organic aerosol: SOA) ฝุ่นละอองมีผลโดยตรงกับการกระเจิงของแสง และมีผลทางอ้อมกับการเกิดเมฆ

2.2 สารไอออนิก

องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีอยู่หลายชนิดสามารถแปรไปตามลักษณะของแหล่งกำเนิด และจะส่งผลกระทบต่อสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองด้วย โดยองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองมีดังต่อไปนี้ (กัลยากร, 2549)

2.2.1 ซัลเฟต ที่พบในบรรยากาศส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแอมโมเนียมซัลเฟตโดยอนุภาคของซัลเฟตในบรรยากาศเปลี่ยนรูปมาจากออกซิเดชันของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งแหล่งกำเนิดของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง การออกซิไดซ์ในบรรยากาศของกรดซัลฟูริก เป็นต้น

2.2.2 ไนเตรต ที่พบในบรรยากาศส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมไนเตรต แต่บางครั้งจะอยู่ในรูปของโซเดียมไนเตรต โดยอนุภาคของไนเตรตในบรรยากาศสามารถเปลี่ยนรูปได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงได้แก่ ยานพาหนะประเภทต่างๆ โรงไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.3 แอมโมเนีย ที่พบในบรรยากาศส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต ทั้งนี้แอมโมเนียอาจถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดหลายประเภท ได้แก่ ภาคการเกษตร อุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยเคมี และการย่อยสลายของเสียของสัตว์ เป็นต้น

2.2.4 คลอไรด์ มีแหล่งกำเนิดมาจากกลุ่มเชื้อเพลิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทกะลา ปาล์มน้ำมัน อุตสาหกรรมไม้ และการเผาขยะ อีกทั้งยังเป็นองค์ประกอบที่มาจากละอองไอทะเล

2.2.5 โซเดียมมีแหล่งกำเนิดมาจากกลุ่มเชื้อเพลิงอุตสาหกรรม กระบวนการผลิตอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมไม้และการเผาขยะ

2.2.6 โพแทสเซียม มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมที่ใช้ขี้เถ้า และอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทกะลาปาล์ม

2.2.7 แคลเซียม มีแหล่งกำเนิดมาจากเชื้อเพลิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเชื้อเพลิงประเภทขี้เถ้า และกะลาปาล์ม รวมทั้งละอองไอทะเล

สารไอออนิกของฝุ่นละอองที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวของเมฆนั้น ได้แก่ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนีย ซึ่งถ้าพบปริมาณของสาร ไอออนิกดังกล่าวในปริมาณสูง ก็จะมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงด้วย (จิราภรณ์, 2551)

3. ฝน

3.1 กระบวนการเกิดฝน

น้ำฝน คือ ผลผลิตขั้นสุดท้ายของการกลั่นตัวของไอน้ำในบรรยากาศ โดยการกลั่นตัวหรือการเปลี่ยนสภาพจากไอน้ำมาเป็นน้ำ เกิดจากการเย็นตัวลงจนถึงจุดอิ่มตัวขณะที่อากาศถูกยกตัวลอยสูงขึ้น โดยแรงปะทะของมวลอากาศจากการพาความร้อน และสภาพสูงๆ ต่ำๆ ของภูมิประเทศ หรือทั้งหมดเชื่อมโยงกัน โดยที่ผลผลิตเริ่มแรกของการกลั่นตัวก็คือหยดน้ำเล็กๆ ลอยอยู่ปรากฏการณ์เช่นนี้ที่มองเห็นได้ เช่น หมอกหรือเมฆ ซึ่งจะลอยอยู่เช่นนี้จนกว่าจะมีน้ำแข็ง หรือฝุ่นละอองต่างๆ มาเป็นนิวเคลียสให้มันเกาะรอบๆ เพื่อที่จะรวมตัวเป็นหยดน้ำฝน ขณะที่อากาศเย็นตัวลงเรื่อยๆ หยดน้ำเหล่านี้ค่อยๆ โตขึ้นจนกระทั่งมีน้ำหนักมากกว่าแรงลอยตัว หยดน้ำขนาดใหญ่จึงตกลงสู่ผิวโลกในสภาพของฝน (สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ, 2542) ซึ่งฝนขนาดใหญ่มีเส้นผ่าน

ศูนย์กลางถึง 0.25 นิ้ว ส่วนฝนขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.02 นิ้ว (วิชัย, 2521) กระบวนการเกิดฝนมี 4 กระบวนการสำคัญ ดังนี้ (นฤมล, 2546)

3.1.1 เมฆและการเกิดกระบวนการอิมิตัวด้วยไอน้ำ

เมฆ คือ กลุ่มของน้ำที่แขวนลอยอยู่ในอากาศในรูปของหยดน้ำ (Water droplets) และผลึกน้ำแข็ง (Ice crystals) ซึ่งในสภาพอากาศปกติสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เมฆเกิดในสภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากกระบวนการทำให้อากาศเย็นลง และกระบวนการเพิ่มปริมาณน้ำในอากาศ กระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง หรือทั้งสองกระบวนการ เมื่ออากาศเย็นตัวลงความสามารถในการรับปริมาณไอน้ำสูงสุดของอากาศลดลง ที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง อากาศจะอยู่ในสภาพอิมิตัวด้วยไอน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า

3.1.2 การยกตัวลอยสูงขึ้นของอากาศและระดับความสูงที่เหมาะสมในการเกิดเมฆ

อากาศที่จะเกิดเป็นเมฆได้นั้นจะต้องเป็นอากาศจะอยู่ในสภาพอิมิตัวด้วยไอน้ำ กลุ่มอากาศที่ยังไม่อิมิตัวด้วยไอน้ำเมื่อลอยสูงขึ้นหรือจมลงในสภาวะที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่อยู่รอบกลุ่มอากาศ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในอัตราที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นประมาณ 10 องศาเซลเซียส เมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1,000 เมตร เรียกอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบอะเดียแบติกแห้ง (Dry adiabatic lapse rate) และเมื่อกลุ่มอากาศลอยตัวขึ้นไปถึงระดับที่อุณหภูมิของกลุ่มอากาศเท่ากับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point) จะมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ไอน้ำในกลุ่มอากาศนั้นจะเริ่มควบแน่นเป็นหยดน้ำ ที่ระดับความสูงนี้ ระดับควบแน่นเป็นหยดน้ำ (Lifting condensation level: LCT) ต่อจากระดับความสูงนี้ การลอยตัวของกลุ่มอากาศมีอัตราการลดลงตามความสูงแตกต่างออกไป เนื่องจากขณะที่มีการควบแน่นนั้น ไอน้ำจะคายความร้อนแฝงของการควบแน่น (Latent heat of condensation) ออกมา ทำให้อุณหภูมิของกลุ่มอากาศสูงกว่าอากาศที่อยู่รอบกลุ่มอากาศ อัตราการลดอุณหภูมิของกลุ่มอากาศจึงมีค่าต่ำกว่าอัตราการลดอุณหภูมิแบบอะเดียแบติกแห้ง ซึ่งอัตราการลดอุณหภูมินี้เรียกว่า อัตราการลดอุณหภูมิแบบอะเดียแบติกอิมิตัว (Saturation adiabatic lapse rate) สภาวะอากาศในขณะที่ผิวดินได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศ ทำ

ให้อากาศร้อนขึ้นและลอยสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงระดับความสูงที่อากาศอึดตัวด้วยไอน้ำ จึงเกิดการควบแน่นก่อตัวเป็นเมฆ

3.1.3 อนุภาคแกนกลั่นตัวของเมฆกับการเกิดละอองหยดน้ำในเมฆ

การระเหยน้ำจนไอน้ำอึดตัวในบรรยากาศ และการควบแน่นของไอน้ำอึดตัว เป็นการปรับสภาวะให้สมดุลระหว่างการระเหยน้ำกับการกลั่นตัวของไอน้ำ ในสภาวะปกติไอน้ำที่ไม่มีสารอื่นเจือปนจะควบแน่นเป็นหยดน้ำได้เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงมากถึงประมาณ 400 เปอร์เซ็นต์ เพราะหยดน้ำมีลักษณะเป็นทรงกลม มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก พลังงานสุทธิสามารถกระตุ้นโมเลกุลของน้ำให้ระเหยออกจากผิวน้ำเป็นไอน้ำได้ง่าย ดังนั้นจึงต้องการความชื้นสูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ หรือเรียกว่า ระดับอึดตัวยิ่งยวด (Supersaturation) ยิ่งเป็นน้ำบริสุทธิ์อาจมีค่าถึง 400 เปอร์เซ็นต์ อิทธิพลแบบนี้เรียกว่าอิทธิพลของความโค้ง (Curvature effect) แต่ในบรรยากาศมักมีอนุภาคแขวนลอยเจือปนอยู่ อนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศเหล่านี้ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของไอน้ำซึ่งเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงสถานะบนผิวของอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ อนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นแกนควบแน่น (Condensation nuclei) สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศได้ระยะหนึ่งจึงเรียกว่า อนุภาคแขวนลอย (Aerosol) อนุภาคแขวนลอยเหล่านี้มีขนาดและส่วนประกอบแตกต่างกันไป อาจมีลักษณะเป็นของแข็งหรือของเหลวแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ระยะเวลานานจนถูกลมพัดขึ้นไปสูงกว่าเดิม ขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคแขวนลอยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1 ไมครอน (100 นาโนเมตร) อนุภาคแขวนลอยมีแหล่งกำเนิดจากผิวโลก ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วย ผุ่นละอองที่ลมพัดขึ้นไปประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ละอองน้ำทะเลประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคเถ้าถ่านจากไฟไหม้ป่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ จากอุตสาหกรรมและกิจกรรมอื่นๆ ของมนุษย์ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ มาจากปฏิกิริยาการเกิดต่อเนื่องในบรรยากาศ เช่น กระบวนการเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวกระตุ้น (Photochemical process) และกระบวนการอื่นๆ (Sumner, 1988)

3.1.4 กระบวนการควบแน่นในเมฆและการเกิดฝน

การเกิดหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ต้องประกอบด้วยปัจจัยที่จำเป็น 3 ประการ ได้แก่ ไอน้ำในอากาศ กลวิธีในการควบแน่น (Mechanism of condensation) และผุ่นละออง (เกษม, 2526; นฤมล, 2546) ในหัวข้อ 3.1.1-3.1.3 พบว่า เมื่อไอน้ำเกาะกับแกนควบแน่นและลอยสูงขึ้น

อย่างรวดเร็วจนถึงระดับความสูงที่อากาศอึดตัวด้วยไอน้ำ จึงเกิดการควบแน่นก่อตัวเป็นเมฆ และยังพบอีกว่ากระบวนการเพิ่มขนาดของน้ำในเมฆ นอกเหนือจากกระบวนการควบแน่นที่ทำให้หยดน้ำขนาดเล็กเพิ่มขนาด และเพิ่มปริมาณมากขึ้นยังต้องประกอบด้วยกระบวนการอื่นด้วย ดังนี้

ก. กระบวนการชนและรวมตัวกัน กระบวนการชนและรวมตัวกันของหยด (Collision-coalescence process) น้ำในเมฆ เกิดขึ้นในเมฆที่มีการรวมตัวกันของหยดน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็ง เรียกว่า เมฆอุ่น (Warm clouds) สำหรับเมฆที่ความชื้นพอเพียง การชนและรวมตัวจะขึ้นอยู่กับขนาดของหยดน้ำที่เหมาะสม ประจุไฟฟ้าในหยดน้ำรวมทั้งสนามไฟฟ้าในเมฆ ความหนาของเมฆ และกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) ในเมฆ ขนาดของหยดน้ำในเมฆที่แตกต่างกันทำให้ความเร็วปลายในการตกลงสู่เบื้องล่างด้วยแรงดึงดูดของโลกนั้นแตกต่างกัน หยดน้ำขนาดใหญ่มีความเร็วปลายมากกว่าหยดน้ำขนาดเล็ก หยดน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร มีความเร็วปลายในการตกลงมา 0.27 เมตรต่อวินาที ขณะที่หยดน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.8 มิลลิเมตร มีความเร็วปลายในการตกลงมา 9.17 เมตรต่อวินาที ดังนั้นหยดน้ำขนาดใหญ่ที่ตกลงมาเร็วกว่าจะเกิดการชนและรวมตัวกับหยดน้ำขนาดเล็กกว่า จนเกิดการเพิ่มขนาดขึ้นตามลำดับ แต่ในบางกรณีหยดน้ำอาจไม่ชนกันก็ได้ แม้ว่าจะตกลงมาในแนวเดียวกัน เนื่องจากหยดน้ำอาจลอยผ่านกันไปได้เพราะถูกกระแสลมผลักให้ห่างกัน หรือหยดน้ำอาจรวมตัวกันชั่วขณะแล้วกลับแยกออกเป็นขนาดเท่าเดิม หรือหยดน้ำอาจรวมกันชั่วขณะแล้วแตกเป็นหยดน้ำเล็กๆ จำนวนมาก

ข. กระบวนการเพิ่มขนาดผลึกน้ำแข็ง กระบวนการเพิ่มขนาดผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal growth process) เป็นกระบวนการที่สำคัญที่ทำให้เกิดหยดน้ำฟ้า ในบริเวณเขตอบอุ่นหรือเขตหนาว กระบวนการนี้เกิดขึ้นในเมฆส่วนที่อยู่ในระดับความสูงกว่าระดับเยือกแข็ง จึงเรียกเมฆชนิดนี้ว่า เมฆเย็น (Cold cloud) ในเมฆเย็นมีหยดน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส เรียกว่า หยดน้ำเย็นยิ่งยวด (Supercooled droplets) อยู่ล้อมรอบผลึกน้ำแข็งจากความแตกต่างของความดันไอ ทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอน้ำจากหยดน้ำเย็นยิ่งยวดไปเกาะบนผลึกน้ำแข็ง จากนั้นเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งพอกอยู่ภายนอกผลึกน้ำแข็ง จนกระทั่งน้ำหนักของผลึกน้ำแข็งมีมากกว่าแรงพยุงเนื่องจากกระแสอากาศพัดขึ้น ผลึกน้ำแข็งจะเริ่มตกลงมาเกิดการชนกับหยดน้ำเย็นยิ่งยวดข้างล่าง และเคลือบเพิ่มขนาดขึ้นเรื่อยๆ เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการเพิ่มขนาดหรือเพิ่มขอบ (Accretion หรือ riming process) และเรียกหยดน้ำฟ้านี้ว่า ผลึกน้ำแข็งที่เพิ่มขนาดจากนั้นผลึกน้ำแข็งอาจเกิดการชนกันและรวมตัวกันระหว่างผลึกน้ำแข็งจนเป็นเกล็ดหิมะ หรือตกลงมาที่

อุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส และละลายเป็นหยดน้ำฝนตกลงสู่พื้นดินในที่สุด กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า กระบวนการเมฆเย็น (Cold cloud process)

3.2 แกนกลั่นตัวของเมฆ

แกนกลั่นตัวของเมฆเป็นการเปลี่ยนสถานะของน้ำ โดยเริ่มต้นบนผิวของสารเจือปนในบรรยากาศ ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัว แกนกลั่นตัวของเมฆช่วยให้ละอองน้ำในบรรยากาศควบแน่นเป็นหยดน้ำได้ง่ายขึ้น อนุภาคเล็กๆ จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเกิดฝน โดยอนุภาคเหล่านี้สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศได้ระยะหนึ่ง เรียกว่า อนุภาคแขวนลอยหรือฝุ่นละออง ซึ่งในบริเวณนั้นอนุภาคแกนกลั่นตัวของเมฆต้องมีจำนวนมากพอ อนุภาคแกนกลั่นตัวอาจเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กๆ ควัน และอนุภาคเกลือ ถ้าอนุภาคเหล่านี้มีจำนวนมาก ความชื้นสัมพัทธ์จะไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ถ้าเป็นโซเดียมคลอไรด์ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75%

ฝุ่นละอองที่จะเป็นแกนกลั่นตัวของเมฆจะต้องมีสมบัติการดูดซับน้ำ สำหรับในบรรยากาศฝุ่นละอองที่สามารถเพิ่มขนาดอนุภาคโดยการดูดซับน้ำหรือสามารถดูดความชื้นในอากาศได้ เรียกว่าฝุ่นละอองมีสมบัติเป็น Hygroscopic โดยการเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคฝุ่นมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ดังพบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 40 อนุภาคฝุ่นละอองของแอมโมเนียมไบซัลเฟต (NH_4HSO_4) มีค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดอนุภาคฝุ่นที่ความชื้นสัมพัทธ์ใดๆ ต่อขนาดอนุภาคฝุ่นในสภาวะอากาศแห้ง (D_p/D_{p0}) มากกว่า 1 ซึ่งแสดงถึงฝุ่นละอองแอมโมเนียมไบซัลเฟต (NH_4HSO_4) สามารถเพิ่มขนาดอนุภาคฝุ่นละอองได้ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 40

ฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น Hygroscopic มักเป็นฝุ่นละอองประเภทเกลืออนินทรีย์ (Inorganic salt) เช่น แอมโมเนียมไนเตรต แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และโซเดียมคลอไรด์ หรือมักมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถละลายน้ำได้ ได้แก่ สารไอออนิก เช่น คลอไรด์ ไนเตรต ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม เป็นต้น และสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์พหุคูณที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างโอโซนกับ โมโนเทอร์ปีน (Monoterpenes) ที่มาจากเขม่าไอเสีย ทำให้เกิดการสร้างประจุ หรือขั้วบนผิวอนุภาคฝุ่น (Polar surface group) เช่น กลุ่มคาร์บอกซิเลต (Decesari *et al.*, 2002) โดยพบว่าสารอินทรีย์ในอากาศซึ่ง

ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ข่านพาหนะ หรือผลของปรากฏการณ์ Photochemical reaction ประมาณร้อยละ 15-67 เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำได้ (Chen and Lee, 1999)

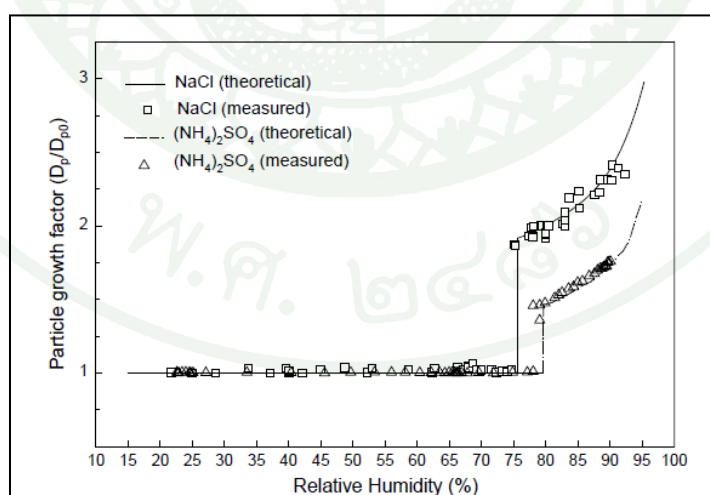
การที่องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ สามารถดูดซับน้ำได้หรือละลายน้ำได้นั้นขึ้นอยู่กับสภาพขั้วของโมเลกุล การละลายคือการที่โมเลกุลของตัวทำละลายไปแทรกอยู่ในตัวถูกละลายอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งถ้าพิจารณาความสามารถในการละลายจากสภาพขั้วของโมเลกุล จะพบว่าสารที่เกิดการละลายกันได้ จะต้องมีส่วนขั้วของโมเลกุลเหมือนกันนั่นคือ โมเลกุลมีขั้วจะละลายในตัวทำละลายมีขั้ว เช่น น้ำ โมเลกุลไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายไม่มีขั้ว และ โมเลกุลไม่มีขั้ว จะไม่ละลายในตัวทำละลายมีขั้ว ดังนั้นการที่ฝุ่นละอองมีสารไอออนิกเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงจึงสามารถดูดซับน้ำได้ เนื่องจากสารไอออนิกเป็นโมเลกุลที่มีขั้วยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไอออนิกจึงละลายในตัวทำละลายมีขั้ว เช่น น้ำ โดยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับไอออนมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ เช่น เมื่อนำโซเดียมคลอไรด์มาละลายในน้ำ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโซเดียมไอออน และน้ำกับคลอไรด์ไอออนมีค่าสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนทั้งสอง โซเดียมคลอไรด์จึงละลายน้ำได้ เมื่อไอออนเหล่านี้หลุดออกจากโครงสร้างเดิม แต่ละไอออนจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำหลายๆโมเลกุล โดยน้ำจะหันขั้วที่มีประจุตรงกันข้ามเข้าไอออนที่ล้อมรอบ

ส่วนฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น Non hygroscopic หรือฝุ่นละอองที่มีสมบัติไม่เปียกน้ำ ได้แก่ ฝุ่นละอองจากดิน และสารอินทรีย์ทุกชนิดภูมิบางชนิด (Kerminen, 1996) โดยเฉพาะฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะมีธาตุคาร์บอนสูง (EC) ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทั้งนี้ในการกำจัดฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น Non hygroscopic นิยมเติมสารลดแรงตึงผิวของหยดน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นละออง เช่นสารประเภทโพลีเมอร์จำพวกอะคริลิกไวนิลอะซีเตต (Acrylic vinyl acetate polymer) เป็นต้น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนทุกชนิด จะประกอบด้วยธาตุ C และ H พันธะที่เกิดจาก C กับ C จะเป็นพันธะเดี่ยว (C - C), พันธะคู่ (C = C) หรือพันธะสาม (C ≡ C) มีผลต่างของตัว อิเล็กโตรเนกาติวิตีเป็นศูนย์ จึงเป็นพันธะไม่มีขั้ว และพันธะที่เกิดจาก C กับ H มีผลต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีมีค่าน้อยมาก จึงถือว่าเป็นพันธะไม่มีขั้ว ดังนั้นฝุ่นละอองที่มีธาตุคาร์บอน (EC) ในปริมาณสูงจึงไม่ละลายน้ำ เนื่องจากธาตุคาร์บอนเป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงไม่ละลายน้ำ

4. การวิเคราะห์อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองด้วย H-TDMA

H-TDMA (Hygroscopic Tandem Differential Mobility Analyzer) ถูกนำมาใช้ศึกษา Hygroscopic properties ของฝุ่นละอองประมาณ 25 ปี ในหลากหลายพื้นที่ของโลก โดยพื้นที่ศึกษานั้นมีทั้งแนวของทะเลและชายฝั่ง เช่น มหาสมุทรแอตแลนติก มหาสมุทรแปซิฟิก มหาสมุทรอินเดีย และมหาสมุทรอาร์กติก พื้นที่ทั่วไป เช่น ป่าเมซอล พื้นที่ที่มีมลพิษสูง เช่น เขอมนี อเมริกาเหนือ แม็กซิโก และเอเชีย การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองโดยใช้ H-TDMA นั้น (Massling *et al.*, 2005) โดยสมบัติของการดูดซับน้ำจะถูกวิเคราะห์ในรูปของอัตราการดูดซับน้ำ (Hygroscopic growth factor: Gf) คืออัตราส่วนระหว่างขนาดฝุ่นละอองในสถานะที่มีความชื้นต่อขนาดฝุ่นละอองในสถานะที่มีความชื้นต่ำ

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity: RH) มีผลต่ออัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองเป็นอย่างมาก จากงานวิจัยของ Chen *et al.* (2003) พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองจะต่ำ และไม่แยกออกจากกันเป็นกลุ่ม แต่ถ้าเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ให้ฝุ่นละอองมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองจะแยกออกเป็นกลุ่มๆ ตามความสามารถในการดูดซับน้ำ ซึ่งอัตราการดูดซับน้ำจะเพิ่มสูงขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง

ที่มา: Chen *et al.* (2003)

เมื่อทำการกระจายตัวค่า G_f ของฝุ่นละอองส่วนใหญ่จะพบว่าแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Less hygroscopic และ More hygroscopic หรือแบ่งออกเป็น Nearly hygroscopic Less hygroscopic More hygroscopic และ Sea salt ซึ่งค่า G_f ของฝุ่นละอองจะอยู่ในช่วง 1-2.3 ที่ความชื้น 90 เปอร์เซ็นต์ (Swietlicki *et al.*, 2008) การศึกษาค่า G_f โดยใช้ H-TDMA มีการศึกษาหลาย ค่า G_f ที่ได้ก็มีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองโดยใช้ H-TDMA

สถานที่	ช่วงเวลา	ขนาด ฝุ่นละออง (nm)	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (RH 90%)				ที่มา
			NH	LH	MH	Seasalt	
Urban Claremont, California, USA	Summer 1987	50	1.03	1.15			Zhang <i>et al.</i> (1993)
		200	1.02	1.25			
		400	1.04		1.67		
Bavaria, Germany	Feb-Mar 1998	50	0.99		1.49		Ferron <i>et al.</i> (2005)
		100	1.00		1.42		
		150	1.01		1.47		
		250	1.10		1.60		
Taipei, Taiwan	Oct-Dec 2001	53	1.11		1.43		Chen <i>et al.</i> (2003)*
		82	1.11		1.49		
		95	1.11		1.54		
		202	1.16		1.66		
		30		1.08	1.3		
		50		1.07	1.3		
Shanghai, China	Jan-Feb2009	100		1.06	<1.4		Ye <i>et al.</i> (2011)

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สถานที่	ช่วงเวลา	ขนาด ฝุ่นละออง (nm)	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (RH 90%)				ที่มา
			NH	LH	MH	Seasalt	
Pearl River, China	Dec 20011	250		1.05	<1.4		Tan <i>et al.</i> (2013)
		40		1.48	1.15		
		80		1.50	1.14		
		110		1.51	1.13		
		150		1.53	1.12		
Beijing, China	June 2004- Feb 2005	200		1.55	1.131		Massling <i>et al.</i> (2009)
		30	0.96	1.06	1.26		
		50	1.04	1.20	1.39		
		80	1.05	1.23	1.43		
		150	1.07	1.29	1.51		
		250	1.07	1.32	1.55		
		350	1.06	1.36	1.62		
Rural San Pietro di Capofiume, Italy	Nov 1989	30		1.12	1.59		Svenningsson <i>et al.</i> (1994)
		50		1.13	1.61		
		100		1.15	1.58		
		150		1.10	1.55		
		200		1.12	1.57		
Arctic and Estonia, Finland	Mar–Apr 2003	20		1.21			Petaja <i>et al.</i> (2005)
		50		1.24			

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สถานที่	ช่วงเวลา	ขนาด ฝุ่นละออง (nm)	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (RH 90%)				ที่มา
			NH	LH	MH	Seasalt	
Marine Pacific Ocean	Oct–Nov 1995	20		1.21			Berg <i>et al.</i> (1998)
		50		1.24			
		35		1.31	1.55	2.01	
		50		1.22	1.60	2.04	
		75		1.24	1.63	2.08	
Arctic Ocean	July–Aug 1996	165		1.23	1.67	2.06	Zhou <i>et al.</i> (2001)
		15		1.19	1.44		
		35		1.20	1.59	1.90	
Indian Ocean	Feb–Mar 1999	50		1.28	1.62	2.05	Massling <i>et al.</i> (2003)
		50		1.64	1.86		
		150		1.64	1.91		
		250			1.58		

หมายเหตุ NH= Nearly hydrophobic, LH= Less hygroscopic, MH=More hygroscopic

* หมายถึง ความชื้นสัมพัทธ์ 85%

ที่มา: ดัดแปลงจาก Swietlicki *et al.* (2008)

5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Svenningsson *et al.* (1997) ได้ศึกษาอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในบรรยากาศในพื้นที่บริเวณ Pennine ทางตอนเหนือของประเทศอังกฤษ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% ศึกษาฝุ่นละอองขนาด 50 75 110 165 และ 265 นาโนเมตร พบว่าจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 1543 ± 1078 และ 1023 ± 682 ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (Hygroscopic growth factor: Gf) ฝุ่นละอองขนาด 50 75 110 165 และ 265 นาโนเมตร ในกลุ่ม Less hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.06 1.06 1.03 1.03 และ 1.03 ตามลำดับ และในกลุ่ม More hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.34 1.37 1.43 1.47 และ 1.53 ตามลำดับ

Chen *et al.* (2003) ได้ศึกษาพฤติกรรมของการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในบรรยากาศบริเวณเมืองไทเป ประเทศไต้หวัน โดยศึกษาด้วย H-TDMA ที่ฝุ่นละอองขนาด 53 82 95 และ 202 นาโนเมตร ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 15-90% พบว่า ค่า Gf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 53 82 95 และ 202 มีค่าเท่ากับ 1.11 1.11 1.11 และ 1.16 ตามลำดับ และในกลุ่ม More hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.43 1.49 1.54 และ 1.66 ตามลำดับ ค่า Gf ทั้งในกลุ่มของ Less และ More hygroscopic จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น และค่าสัดส่วนจำนวนอนุภาคหรือ Number fraction (Nf) ในกลุ่ม Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 53 82 95 และ 202 มีค่าเท่ากับ 78% 74% 61% และ 59% ตามลำดับ และในกลุ่ม More hygroscopic มีค่าเท่ากับ 22% 26% 39% และ 41% ตามลำดับ ทั้งนี้ยังได้วิเคราะห์สารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาด 56 และ 100 นาโนเมตร พบว่าในฝุ่นละอองทั้ง 2 ขนาด พบว่ามี แอมโมเนียม สูงที่สุด รองลงมาคือ ซัลเฟต และไนเตรท ตามลำดับ

Massling *et al.* (2005) ได้ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง ในบริเวณเขตเมือง Leipzig ประเทศเยอรมนี ด้วย H-TDMA ที่ฝุ่นละอองขนาด 50 และ 150 นาโนเมตร ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 92% เป็นเวลา 9 เดือนในปี 2001 พบว่า ฝุ่นละอองขนาด 50 นาโนเมตร ค่า Gf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Nearly hydrophobic, Less hygroscopic และ More hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.06 1.25 และ 1.44 ตามลำดับ ค่า Nf มีค่าเท่ากับ 0.31 0.31 และ 0.39 และในฝุ่นละอองขนาด 150 นาโนเมตร ค่า Gf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Nearly hydrophobic Less hygroscopic และ More hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.09 1.33 และ 1.65 ตามลำดับ ค่า Nf มีค่าเท่ากับ 0.22 0.15 และ 0.63 ตามลำดับ

Massling *et al.* (2009) ได้ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง ในบริเวณเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน ด้วย H-TDMA ที่ฝุ่นละอองขนาด 30 50 80 150 250 และ 350 นาโนเมตร ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% พบว่า ฝุ่นละอองขนาด 30 50 80 150 250 และ 350 นาโนเมตร ในกลุ่มของ Nearly hydrophobic มีค่า Gf เท่ากับ 0.96 1.04 1.05 1.07 และ 1.06 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.10 0.26 0.20 0.23 และ 0.23 ตามลำดับในกลุ่มของ Less hygroscopic มีค่า Gf เท่ากับ 1.06 1.20 1.23 1.29 1.32 และ 1.36 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.45 0.34 0.24 0.18 0.15 และ 0.16 ตามลำดับ ในกลุ่มของ More hygroscopic มีค่า Gf เท่ากับ 1.26 1.39 1.43 1.51 และ 1.55 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.45 0.40 0.56 0.59 0.62 และ 0.61 ตามลำดับ

Meier *et al.* (2009) ศึกษาอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง บริเวณเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน ในช่วงฤดูหนาว ศึกษาฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 250 และ 350 นาโนเมตร โดยแบ่งสภาพภูมิอากาศเป็น 3 สภาวะ คือ A1 คือ สภาพอากาศที่มีความเป็นพิษระดับต่ำ A2 คือ สภาพอากาศที่มีความเป็นพิษระดับกลาง และ A3 คือ สภาพอากาศที่มีความเป็นพิษระดับสูง พบว่า ในสภาวะ A1 ค่า Gf ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 250 และ 350 นาโนเมตร ในกลุ่มของ Nearly hydrophobic มีค่า Gf เท่ากับ 0.98 1.02 1.04 1.04 1.05 และ 1.04 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.44 0.20 0.13 0.26 0.42 และ 0.48 ตามลำดับ ในกลุ่มของ Less hygroscopic มีค่า Gf เท่ากับ 1.11 1.20 1.25 1.18 1.15 และ 1.13 ตามลำดับ ค่า Nf เท่ากับ 0.20 0.36 0.28 0.29 0.34 และ 0.35 ตามลำดับ ในกลุ่มของ More hygroscopic มีค่า Gf เท่ากับ 1.25 1.43 1.50 1.55 1.59 และ 1.60 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.36 0.44 0.59 0.45 0.23 และ 0.18 ตามลำดับ ในสภาวะ A2 ในกลุ่มของ Nearly hydrophobic มีค่า Gf เท่ากับ 0.97 1.02 1.05 1.06 1.07 และ 1.06 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.24 0.18 0.13 0.13 0.23 และ 0.25 ตามลำดับ ในกลุ่มของ Less hygroscopic มีค่า Gf เท่ากับ 1.06 1.20 1.29 1.29 1.31 และ 1.28 ตามลำดับ ค่า Nf เท่ากับ 0.33 0.33 0.31 0.34 0.36 และ 0.39 ตามลำดับ ในกลุ่มของ More hygroscopic มีค่า Gf เท่ากับ 1.23 1.42 1.52 1.56 1.60 และ 1.61 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.43 0.49 0.53 0.53 0.41 และ 0.36 ตามลำดับ ในสภาวะ A3 ในกลุ่มของ Nearly hydrophobic มีค่า Gf เท่ากับ 0.98 1.02 1.05 1.05 1.05 และ 1.05 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.26 0.14 0.13 0.18 0.29 และ 0.33 ตามลำดับ ในกลุ่มของ Less hygroscopic มีค่า Gf เท่ากับ 1.08 1.21 1.27 1.25 1.22 และ 1.19 ตามลำดับ ค่า Nf เท่ากับ 0.32 0.30 0.15 0.28 0.32 และ 0.30 ตามลำดับ ในกลุ่มของ More hygroscopic มีค่า Gf เท่ากับ 1.27 1.41 1.51 1.56 1.57 และ 1.58 ตามลำดับ มีค่า Nf เท่ากับ 0.42 0.56 0.72 0.54 0.39 และ 0.37 ตามลำดับ

Tan *et al.* (2013) ได้ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองบริเวณ Pearl River ประเทศจีน โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาด 40 80 110 150 และ 200 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องมือ H-TDMA ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 90% พบว่า ค่า Growth factor (Gf) ของฝุ่นละอองในกลุ่ม More hygroscopic มีค่ามากกว่า 1.33 และ ค่า Gf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Less hygroscopic มีค่าน้อยกว่า 1.33 พบว่า โดยฝุ่นละอองขนาด 40 80 110 150 และ 200 นาโนเมตร ค่า Gf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม More hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.48 1.50 1.51 1.53 และ 1.55 ตามลำดับ และค่า Gf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Less hygroscopic มีค่าเท่ากับ 1.15 1.14 1.13 1.12 และ 1.131 ตามลำดับ และค่า Nf ในกลุ่ม Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 40 80 110 150 และ 200 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 0.41 0.38 0.34 0.30 และ 0.26 และตามลำดับ และในกลุ่ม More hygroscopic มีค่าเท่ากับ 0.59 0.62 0.67 0.70 และ 0.73 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่แล้วองค์ประกอบเคมีที่เป็น Nonhygroscopic ส่วนใหญ่จะเป็นแบล็คคาร์บอนและสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ ส่วน Less hygroscopic องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนที่อยู่ในบรรยากาศ และ More hygroscopic จะเป็นพวกเกลืออนินทรีย์ (ซัลเฟตและไนเตรท)

Ye *et al.* (2011) ได้ศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองบริเวณ เมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 200 และ 250 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องมือ H-TDMA ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 85% พบว่าค่า Gf ของ More hygroscopic มีค่ามากกว่า 1.20 และ Less hygroscopic มีค่าน้อยกว่า 1.15 โดยค่า Gf ของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 200 และ 250 นาโนเมตร เท่ากับ 1.08 1.07 1.06 1.05 และ 1.05 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า Gf ของ More hygroscopic ในฝุ่นละอองกลุ่ม Aitken mode จะใกล้เคียง 1.3 และฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode จะมีค่ามากกว่า 1.4 ดังนั้นฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode มีค่า Gf สูง ซึ่งมีผลต่อการเกิดหมอกมากที่สุด ค่า Nf ของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 0.33 0.25 0.19 0.18 และ 0.17 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละออง

- 1.1 Electrostatic Classifier TSI. Model 3080
- 1.2 Differential Mobility Analyser (Long DMA) TSI. Model 3081
- 1.3 Nano Water-based Condensation Particle Counter (CPC) TSI. Model 3788
- 1.4 Advance Aerosol Neutralizer TSI. Model 3087
- 1.5 Permapure gas dryer
- 1.6 Silica gel

2. ศึกษาอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง

ศึกษาอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองด้วยเครื่องมือ H-TDMA (Hygroscopic Tandem Differential Mobility Analyzer) ดังภาพที่ 5 ประกอบด้วยดังนี้

- 2.1 Electrostatic Classifier TSI. Model 3080
- 2.2 Differential Mobility Analyser (Long DMA) TSI. Model 3081
- 2.3 Nano Water-based Condensation Particle Counter (CPC) TSI. Model 3788
- 2.4 Advance Aerosol Neutralizer TSI. Model 3087
- 2.5 Water Chamber & Mixing Chamber
- 2.6 Permapure gas dryer
- 2.7 Silica gel

3. ศึกษาธาตุคาร์บอนและชีวมวล

- 3.1 Cyclone หัวคัดขนาด 10 ไมโครอน
- 3.2 กระจาขกรองควอทซ์ (Quartz filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร

3.3 Personal pump

3.4 ตู้ดูดความชื้น (Desiccators cabinets)

3.5 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 0.0001 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.6 คีมคีบปากแบน (Forceps) และถุงซิปล

3.7 Magee Scientific SootScan Model OT21 (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 5 เครื่องมือ H-TDMA (Hygroscopic Tandem Differential Mobility Analyzer)

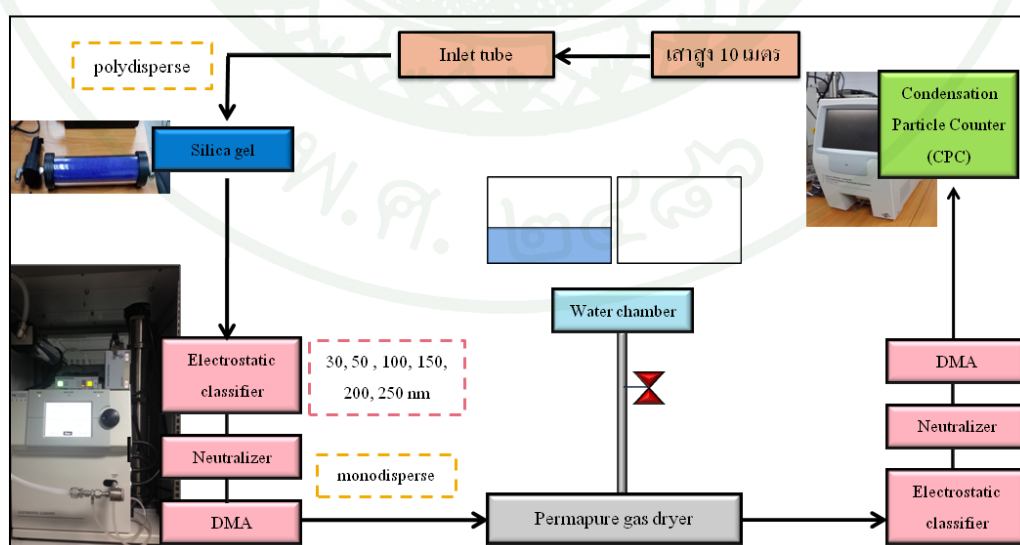


ภาพที่ 6 เครื่องมือ Magee Scientific SootScan Model OT21

วิธีการ

1. ศึกษาการกระจายตัวและอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง

การตรวจวัดการกระจายตัวของฝุ่นละอองและการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองเก็บตัวอย่างไปพร้อมกัน โดยการตรวจวัดการกระจายตัวของฝุ่นละอองนั้นจะบันทึกข้อมูลในรูปของความเข้มข้นเชิงจำนวนต่อปริมาตรอากาศ (cm^{-3}) หรือจำนวนอนุภาคต่อปริมาตรอากาศ และอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองนั้นจะบันทึกข้อมูลในรูปแบบของขนาดฝุ่นละอองในสถานะแห้ง และสถานะที่มีความชื้น ซึ่งขนาดฝุ่นละอองที่ทำการศึกษานั้นมีทั้งหมด 6 ขนาด ได้แก่ 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ในสถานะแห้งหรือสถานะที่ไม่มีมีความชื้นนั้น (Dry condition) ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ที่ 29% และสถานะที่มีความชื้น ไอ้ใน Water Chamber จะให้ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 87% เครื่องมือที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวและอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองจะเหมือนกันแตกต่างกันเพียง ในการศึกษาอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองนั้นจะมี Water Chamber & Mixing Chamber เพื่อให้ความชื้นแก่ฝุ่นละออง เครื่องมือทั้งหมดจะทำงานรวมกันเป็นชุดเรียกว่า H-TDMA ดังภาพที่ 6 และถูกติดตั้งในรถตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ ซึ่งเครื่องมือ Electrostatic Classifier TSI. Model 3080 จะถูกควบคุมผ่านโปรแกรม Electrostatic Classifier โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่ในการเลือกขนาดฝุ่นละออง และโปรแกรม Aerosol Instrument จะทำหน้าที่ควบคุมการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทั้งหมด มีหลักการทำงานดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 หลักการทำงานของ H-TDMA

วิธีการศึกษาการกระจายตัวและอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง มีดังนี้

1.1 เก็บข้อมูลฝุ่นละอองในพื้นที่ 10-414 นาโนเมตร บันทึกความเข้มข้นเชิงจำนวน (Number concentration) และขนาดของฝุ่นละออง เพื่อการกระจายตัวของฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษา ผ่านโปรแกรม Eletrostatic Classifier และ โปรแกรม Aerosol Instrument

1.2 เก็บข้อมูลฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร ผ่านโปรแกรม Eletrostatic Classifier จากนั้นเริ่มคำสั่ง Run (เริ่มเก็บข้อมูล) ผ่านโปรแกรม Aerosol Instrument ในสภาวะแห้ง (Dry Condition) หรือที่ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ 29%

1.3 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร ในพารามิเตอร์ของขนาดและความเข้มข้นเชิงจำนวน ที่สภาวะแห้ง (Dry Condition) หรือที่ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ 29% โดยบันทึกขนาดฝุ่นละอองที่ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ 29% เป็น D_0

1.4 เปิดการใช้งาน T-Valve เพื่อให้ความชื้นเข้าไปในระบบ ซึ่งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ 87%

1.5 เริ่มคำสั่ง Run (เริ่มเก็บข้อมูล) ผ่านโปรแกรม Aerosol Instrument ในสภาวะที่มีความชื้น (Wet Condition) หรือที่ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ 87%

1.6 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร ในพารามิเตอร์ของขนาดและความเข้มข้นเชิงจำนวน (Wet Condition) หรือที่ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ 87% โดยบันทึกขนาดฝุ่นละอองที่ความชื้นสัมพัทธ์จะอยู่ 87% เป็น D_h

1.7 เก็บข้อมูลฝุ่นละอองขนาด 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ดำเนินการเช่นเดียวกับฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร (ข้อ 1.1-1.6)

1.8 ในการเก็บตัวอย่างนั้นจะเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ระดับความสูง 10 เมตร โดยรถตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง 10-414 นาโนเมตร และ 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ทุก 3 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง

1.9 คำนวณหาความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยของฝุ่นละออง หาคัดส่วนจำนวนของฝุ่นละออง (Number fraction: Nf) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1 และหาอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (Hygroscopic Growth Factor: Gf) ของฝุ่นละออง ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$Nf = \frac{\text{จำนวนฝุ่นละอองในแต่ละกลุ่ม (Less/More)}}{\text{จำนวนฝุ่นละอองทั้งหมด}} \quad (1)$$

$$Gf = \frac{D_h}{D_0} \quad (2)$$

2. ศึกษาหาตัวคาร์บอนและชีวมวล

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วย Cyclone หัวคัดขนาด 10 ไมโครอน บนกระดาดกรองควอทซ์ (Quartz filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ซึ่งบรรจุใน Cassette filter โดยมี Personal pump ทำหน้าที่ในการดูดอากาศด้วยอัตราการดูดอากาศ 2 ลิตรต่อนาที

2.1 เตรียมกระดาดกรองซึ่งกระดาดกรองที่ใช้เป็นกระดาดกรองควอทซ์ (Quartz filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร นำกระดาดกรองใส่ในตู้ดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักก่อนนำไปเก็บตัวอย่าง จากนั้นบรรจุในถุงพลาสติกซิปล็อคเพื่อป้องกันการปนเปื้อนก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

2.2 เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยหัวคัดขนาด 10 ไมโครอน บนกระดาดกรองควอทซ์ (Quartz filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร ซึ่งบรรจุใน Cassette filter โดยมี Personal pump ทำหน้าที่ในการดูดอากาศด้วยอัตราการดูดอากาศ 2 ลิตรต่อนาที ที่ระดับความสูง 10 เมตร โดยตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองทุก 3 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง

2.3 นำกระดาดกรองหลังเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองใส่ในตู้ดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักกระดาดกรองด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการเตรียมกระดาดกรองก่อนเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

2.4 วิเคราะห์ธาตุคาร์บอนและชีวมวล (UVP) ด้วย Magee Scientific SootScan Model OT21 ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

3. การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

3.1 ศึกษาการกระจายตัวของฝุ่นละอองในแต่ละขนาดในรอบวัน

3.2 วิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ยและสัดส่วนของธาตุคาร์บอนและชีวมวลในรอบวัน

3.3 วิเคราะห์อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองแต่ละขนาด ในรอบวัน

3.4 เปรียบเทียบการกระจายตัวของฝุ่นละออง ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุคาร์บอนและชีวมวล และอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง ระหว่างพื้นที่ศึกษา

3.5 วิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยของฝุ่นละออง ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุคาร์บอน และความแตกต่างของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง ระหว่างพื้นที่ศึกษา ด้วยวิธีวิเคราะห์ วิธีวิเคราะห์ Unpaired t-test

3.6 วิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในแต่ละขนาด และระหว่างพื้นที่ศึกษา โดยนำมาสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง

4. สถานที่วิจัย

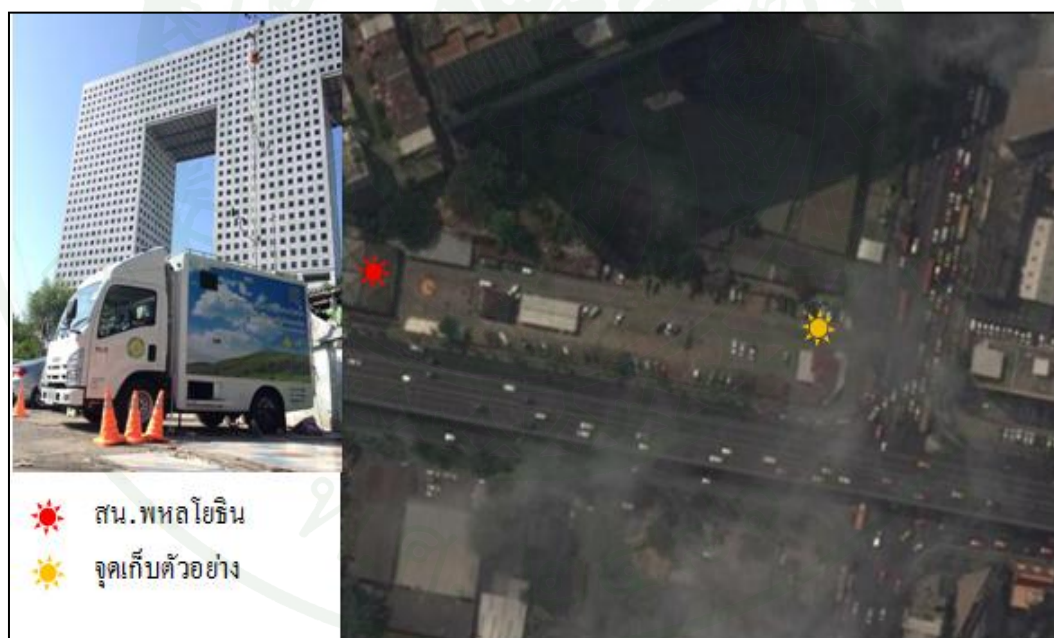
4.1 กรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานคร ซึ่งถือเป็นเขตเมือง (Urban area) เป็นเมืองหลวง และเมืองที่มีประชากรมากที่สุดในประเทศไทย รวมทั้งเป็นศูนย์กลางการปกครอง การศึกษา การคมนาคมขนส่ง การเงินการธนาคาร การพาณิชย์ การสื่อสาร และความเจริญของประเทศ มีแม่น้ำสำคัญคือ แม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่าน ทำให้แบ่งเมืองออกเป็น 2 ฝั่ง คือฝั่งพระนครและฝั่งธนบุรี โดยกรุงเทพมหานครมีพื้นที่ทั้งหมด 1,568.737 ตารางกิโลเมตร ประชากร 5,701,39 คน ความหนาแน่น

ของประชากร 3,635.15 คนต่อตารางกิโลเมตร โดยทิศเหนือติดต่อกับ จังหวัดนนทบุรี ทิศใต้ติดต่อกับ จังหวัดสมุทรปราการ ทิศตะวันออกติดต่อกับ จังหวัดฉะเชิงเทรา ทิศตะวันตกติดต่อกับ จังหวัดนครปฐม

4.1.1 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

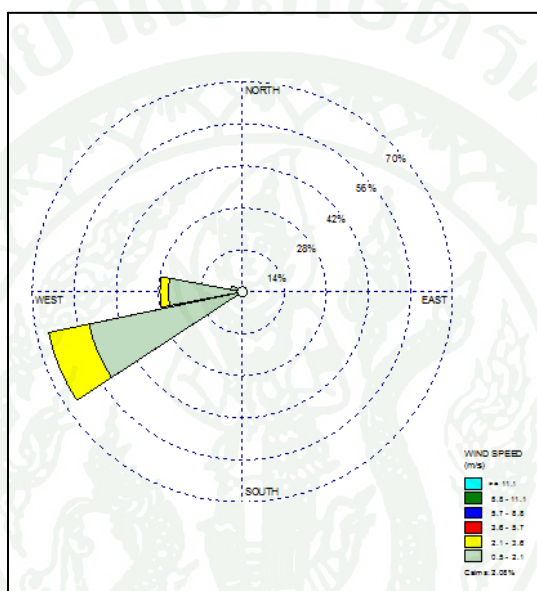
พื้นที่ศึกษาเป็นที่ตั้งของสถานีตำรวจนครบาลพลโยธิน จุดเก็บตัวอย่างเป็นพื้นที่โล่งของลานจอดรถบริเวณโดยรอบเป็นย่านการค้าและมีการจราจรหนาแน่น โดยสถานีตำรวจนครบาลพลโยธินตั้งอยู่ในเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ซึ่งเขตจตุจักรเป็น 1 ใน 50 เขตการปกครองของกรุงเทพมหานครจัดอยู่ในกลุ่มเขตกรุงเทพเหนือ ซึ่งถือเป็นแหล่งการค้า การบริการ และแหล่งที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก โดยเก็บตัวอย่างระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา สถานีตำรวจนครบาลพลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

4.1.2 ทิศทางและความเร็วลม ณ จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

เมื่อพิจารณาทิศทางลมในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา สถานีตำรวจนครบาลพลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ซึ่งทำการตรวจวัด ณ เวลาและสถานที่เดียวกับจุดเก็บตัวอย่าง โดยทำการตรวจวัดที่ระดับความสูง 10 เมตร บนเสาสูงของรถตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ พบว่าทิศทางลมเฉลี่ยในช่วงเวลาตรวจวัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นหลัก มีความเร็วสูงสุดอยู่ในช่วง 2.1-2.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 เมตรต่อวินาที และลมสงบคิดเป็น 2.08 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 9



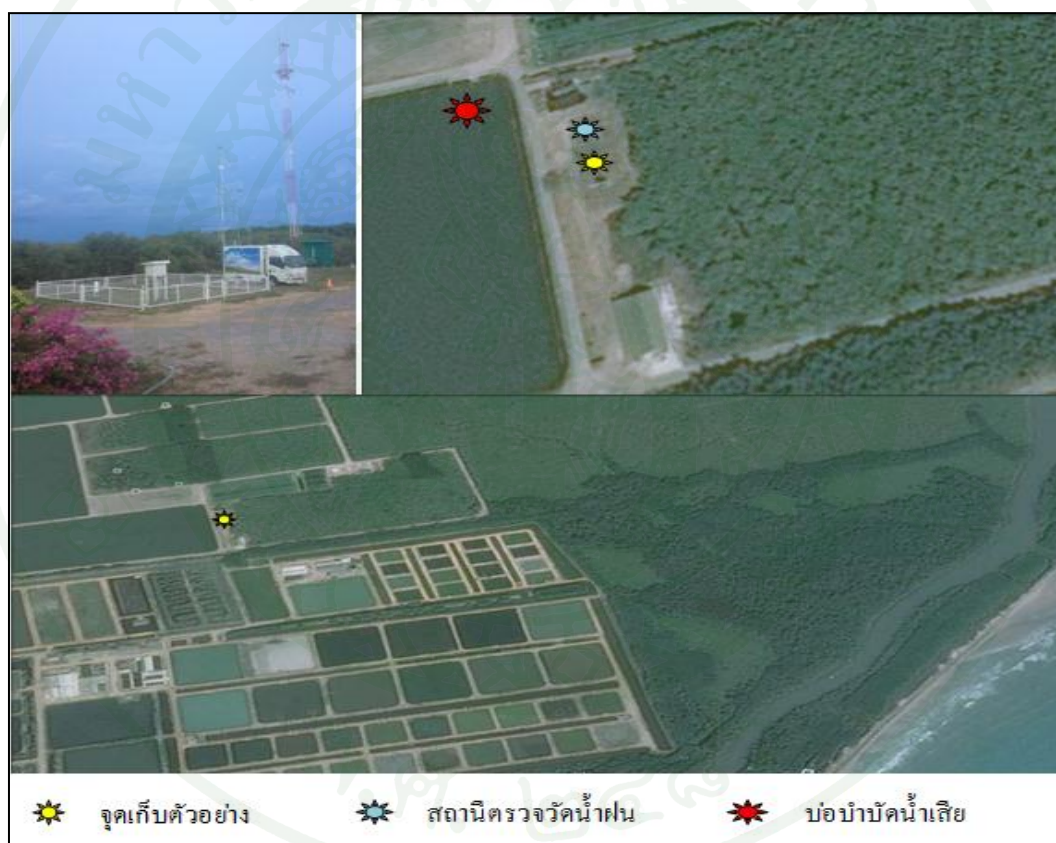
ภาพที่ 9 ความทิศทางและความเร็วลม สถานีตำรวจนครบาลพลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

4.2 อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี จะตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัด มีอาณาเขตติดต่อกับเขตการปกครองข้างเคียงดังต่อไปนี้ ทิศเหนือ ติดต่อกับอำเภออัมพวาและอำเภอเมืองสมุทรสงคราม (จังหวัดสมุทรสงคราม) ทิศตะวันออกจรดอ่าวไทย ทิศใต้ติดต่อกับอำเภอเมืองเพชรบุรี และทิศตะวันตกติดต่อกับอำเภอเมืองเพชรบุรีและอำเภอเขาชัย

4.2.1 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

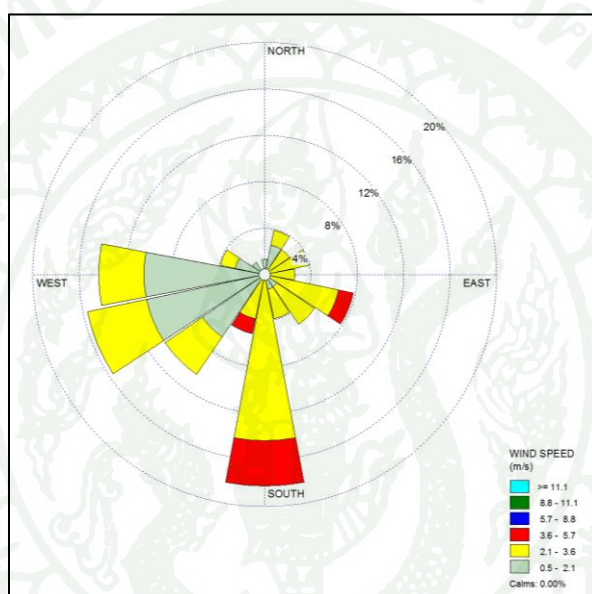
พื้นที่ศึกษาเป็นที่ตั้งของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย) ดังภาพที่ 10 เป็นพื้นที่ฝั่งทะเลอ่าวไทยส่วนหนึ่งของจังหวัดเพชรบุรี มีลักษณะเป็นหนองน้ำป่าชายเลนกว้างใหญ่ พื้นที่ของโครงการอยู่ติดกับพื้นที่ของวัด สมุทรโคดม ซึ่งถ้าหากมองลักษณะของอ่าวไทยตอนบนเป็นดังรูปตัวอักษร ก ไข่ พื้นที่โครงการแหลมผักเบี้ย ฯ อันเนื่องมาจากพระราชดำริก็จะอยู่บริเวณ มุมด้านในของปาก ก ไข่ นี้พอดี โดยเก็บตัวอย่างบริเวณโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ระหว่างวันที่ 24-27 พฤษภาคม 2557



ภาพที่ 10 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

4.2.2 ทิศทางและความเร็วลม ณ จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

เมื่อพิจารณาทิศทางลมในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ย ตำบลแหลมฝักเบ๊ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งทำการตรวจวัด ณ เวลาและสถานที่เดียวกับจุดเก็บตัวอย่าง โดยทำการตรวจวัดที่ระดับความสูง 10 เมตร บนเสาสูง ของรถตรวจวัดคุณภาพอากาศเคลื่อนที่ พบว่าทิศทางลมเฉลี่ยในช่วงเวลาตรวจวัดมาจากทิศใต้ ซึ่งมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 3.6-5.7 เมตรต่อวินาที และลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นหลัก มีความเร็วสูงสุดในช่วง 2.1-3.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่ากับ 2.40 เมตรต่อวินาที และไม่พบลมสงบ ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ความทิศทางและความเร็วลม โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ย ตำบลแหลมฝักเบ๊ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี



ภาพที่ 12 แผนผังการวิจัยอิทธิพลของฟຸ່ນละอองขนาดเล็กที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ

ผลและวิจารณ์

1. การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

1.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวน (Number concentration) ของฝุ่นละออง

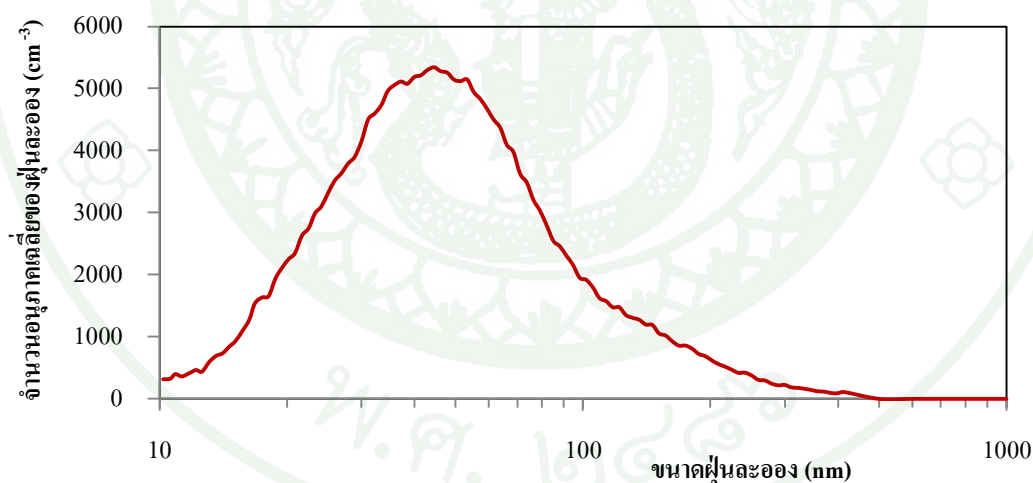
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะแสดงในรูปแบบของความเข้มข้นเชิงจำนวน (Number concentration) ในหน่วยอนุภาคต่อปริมาตรอากาศ โดยตรวจวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ทุก 3 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน จากพื้นที่การศึกษา 2 พื้นที่ คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย) รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1.1.1 พื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 พบว่า จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ 3446.22 ± 2405.90 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้ จำนวนอนุภาคต่ำสุดและสูงสุดของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ 615.67 - 12969.13 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร จะมีจำนวนอนุภาคสูงในขนาด 40-50 นาโนเมตร โดยฝุ่นละอองขนาด 44.5 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงสุดค่าเท่ากับ 5343.25 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 13 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน พบว่า จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และมีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 7296.86 ± 4935.95 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00-06.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 903.98 ± 319.27 ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 14

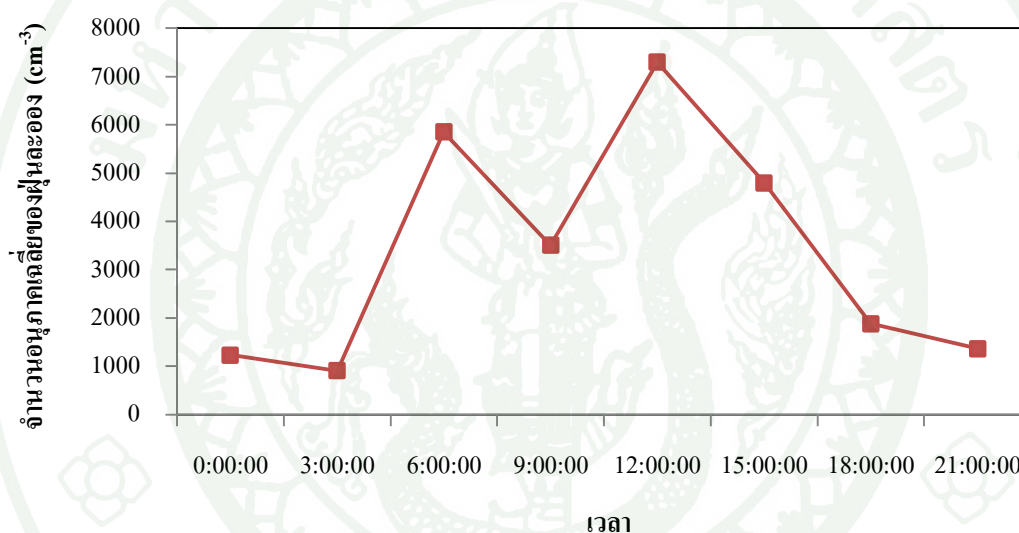
ตารางที่ 3 ค่าต่ำสุด-สูงสุดและจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

เวลา	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
00:00-03.00 น.	1174.72-1289.17	1231.94 $\pm$ 80.93
03:00-06.00 น.	615.67-1247.12	903.98 $\pm$ 319.27
06:00-09.00 น.	4204-6053.17	5851.93 $\pm$ 1556.40
09:00-12.00 น.	2798.24-4709.66	3503.73 $\pm$ 1049.39
12:00-15.00 น.	3978.48-12969.13	7296.86 $\pm$ 4935.95
15:00-18.00 น.	4427.5167-5263.09	4796.64 $\pm$ 426.20
18:00-21.00 น.	1664.24-2279.96	1880.73 $\pm$ 346.15
21:00-00.00 น.	1195.56-1548.68	1365.83 $\pm$ 176.90
ค่าเฉลี่ย		3446.22 $\pm$ 2405.90



ภาพที่ 13 การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

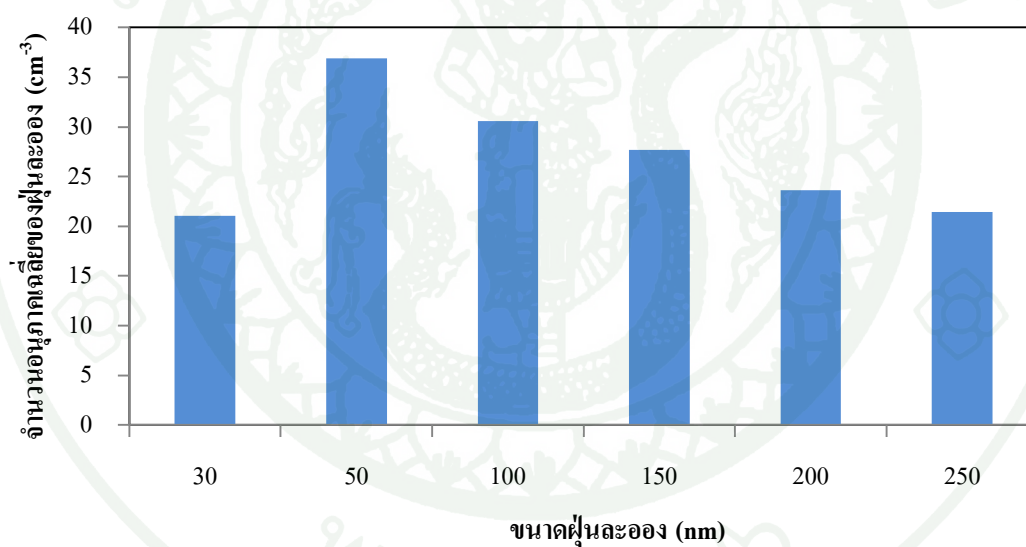
ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร โดยจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 21.07 ± 13.36 36.91 ± 28.10 30.56 ± 13.94 27.68 ± 8.44 23.62 ± 10.32 และ 21.44 ± 11.86 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 และภาพที่ 15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองสูงสุดที่ขนาด 50 นาโนเมตร และจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองจะลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเล็ก (30 นาโนเมตร) และใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร (100 150 200 และ 250 นาโนเมตร) สอดคล้องกับฝุ่นละอองในพื้นที่ (10-414 นาโนเมตร) ที่มีจำนวนอนุภาคสูงในช่วงขนาด 40-50 นาโนเมตร เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4 ค่าต่ำสุด-สูงสุดและจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่
ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	จำนวนอนุภาคของฝุ่นละออง (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
30	2.41-79.53	21.07 $\pm$ 13.36
50	4.27-126.62	36.91 $\pm$ 28.10
100	8.10-64.48	30.56 $\pm$ 13.94
150	8.53-57.77	27.68 $\pm$ 8.44
200	5.69-98.76	23.62 $\pm$ 10.32
250	6.29-113.26	21.44 $\pm$ 11.86

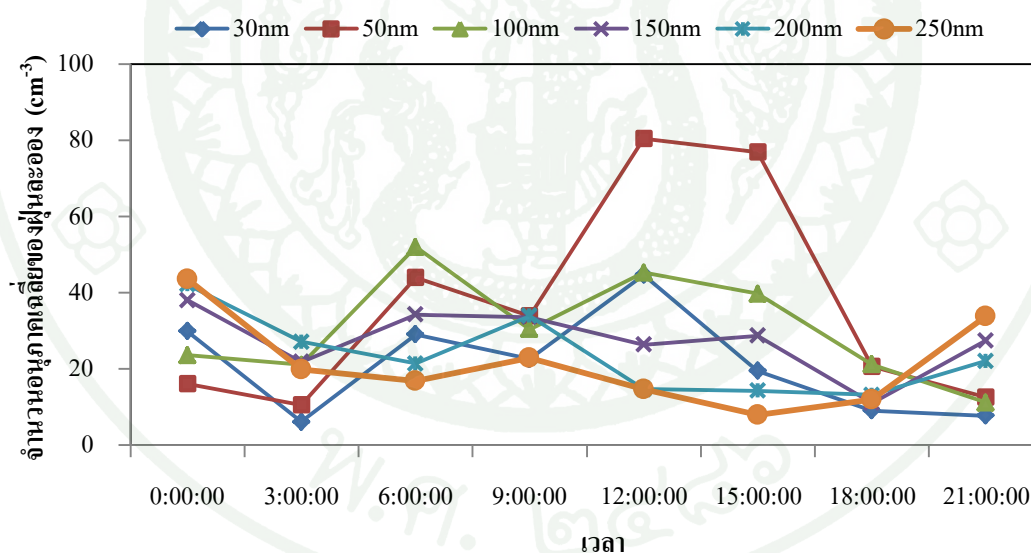


ภาพที่ 15 การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร
กรุงเทพมหานคร

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตรในรอบวัน พบว่าฝุ่นละอองมีการกระจายตัวแตกต่างกัน กล่าวคือ ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา และมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00-06.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 44.68 ± 22.33 และ 6.14 ± 26.76 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 50 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา และมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00-06.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 80.44 ± 53.45 และ 10.64 ± 5.66 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 100 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 51.96 ± 13.20 และ 11.21 ± 3.16 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 150 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา และมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 38.08 ± 14.45 และ 11.11 ± 3.99 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 200 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา และมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 42.17 ± 9.06 และ 13.22 ± 6.53 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ และฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา และมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 43.55 ± 16.37 และ 8.01 ± 2.23 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตรตามลำดับ ดังตารางที่ 5 และภาพที่ 16

ตารางที่ 5 จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

เวลา	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)					
	30	50	100	150	200	250
00:00-03.00 น.	29.88±43.01	16.14±10.94	23.62±1.31	38.08±14.45	42.17±9.06	43.55±16.37
03:00-06.00 น.	6.14±26.76	10.64±5.66	21.09±7.85	21.82±14.10	27.13±8.53	19.86±3.17
06:00-09.00 น.	29.04±13.36	43.97±19.12	51.96±13.20	34.29±4.31	21.42±7.62	16.92±5.98
09:00-12.00 น.	22.58±9.98	33.91±16.70	30.40±7.64	33.56±13.61	33.97±18.26	22.85±11.81
12:00-15.00 น.	44.68±22.33	80.44±53.45	45.30±17.42	26.37±4.11	14.73±4.18	14.61±3.98
15:00-18.00 น.	19.46±5.01	76.88±23.79	39.73±7.09	28.72±7.37	14.25±3.80	8.01±2.23
18:00-21.00 น.	9.09±0.86	20.66±6.63	21.14±8.43	11.11±3.99	13.22±6.53	11.93±8.32
21:00-00.00 น.	7.70±3.47	12.63±3.25	11.21±3.16	27.49±16.34	22.07±13.58	33.82±13.32



ภาพที่ 16 การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษาเขต จตุจักร กรุงเทพมหานคร

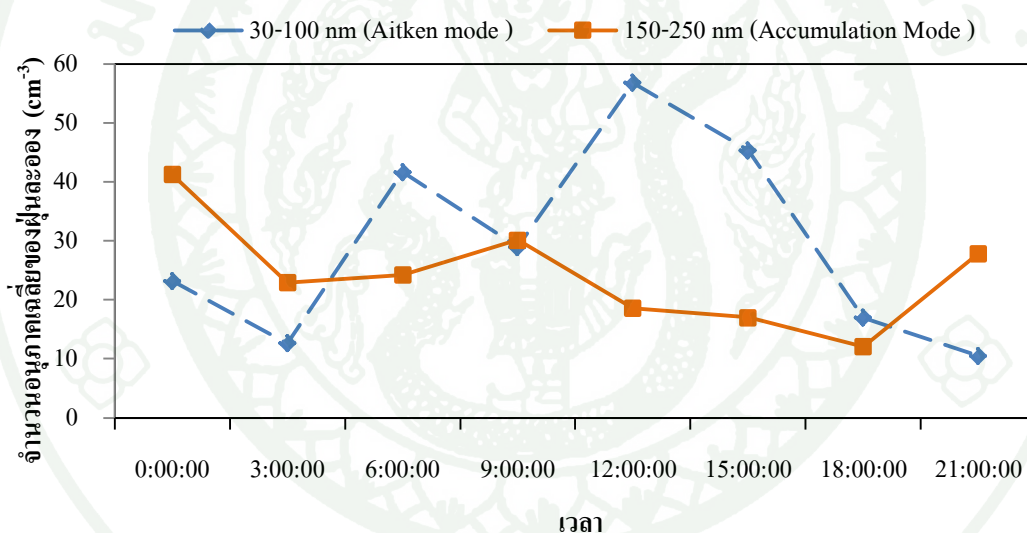
การกระจายตัวของฝุ่นละอองสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือฝุ่นละออง 30-100 นาโนเมตรเป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (10-100 นาโนเมตร) และฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร เป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode (100-1000 นาโนเมตร) เมื่อพิจารณาผลการ

กระจายตัวของ ในรอบวัน พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation Mode มีค่าเท่ากับ 43.20 ± 11.47 และ 22.48 ± 5.97 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืน จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ 15.83 ± 5.61 และ 26.02 ± 12.10 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตรมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) และฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร จะมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงในช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 นาฬิกา) ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 17

ตารางที่ 6 จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน บริเวณ พื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนอนุภาคของฝุ่นละออง (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	Aitken mode	Accumulation Mode
กลางวัน		
06.00-09.00	41.66	4.21
09.00-12.00	28.96	30.13
12.00-15.00	56.81	18.57
15.00-18.00	45.36	16.99
เฉลี่ย	43.20 ± 11.47	22.48 ± 5.97
กลางคืน		
18.00-21.00	16.96	12.09
21.00-00.00	10.51	27.79
00.00-03.00	23.21	41.27
03.00-06.00	12.62	22.94
เฉลี่ย	15.83 ± 5.61	26.02 ± 12.10

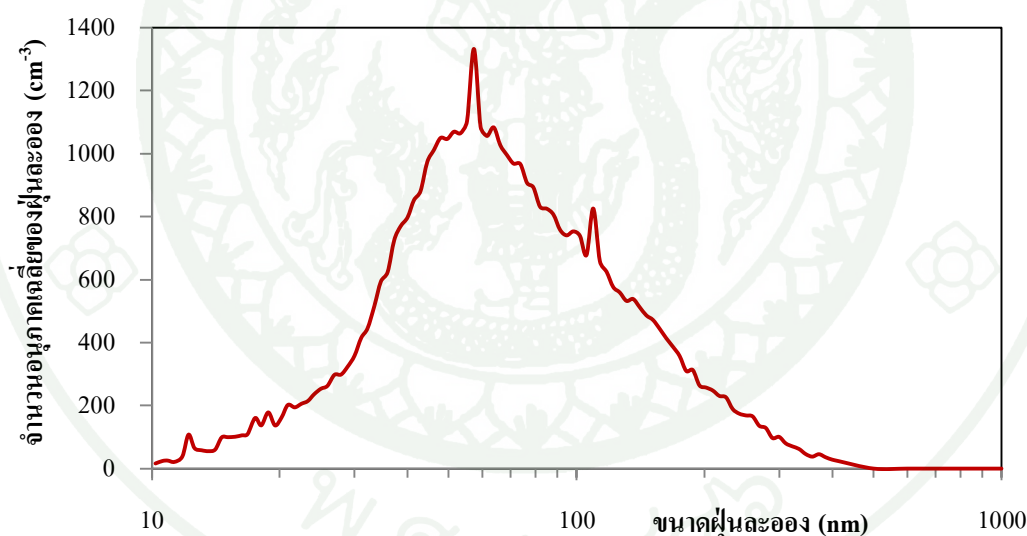
ทั้งนี้ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (10-100 นาโนเมตร) มีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจรซึ่งเป็นกิจกรรมหลักที่เกิดขึ้นกรุงเทพมหานคร ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือการสันดาปภายในของเครื่องยนต์ เช่น ดีเซล เบนซิน และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวัชรเดช (2552) ที่พบว่าแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานครมาจากการจราจรประมาณร้อยละ 40 เช่น มาจากท่อไอเสียรถยนต์ รถมอเตอร์ไซด์ รถเมล์ รถบรรทุกและพาหนะอื่นๆ ที่ใช้น้ำมัน เป็นต้น ส่งผลให้จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีค่าสูงในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) เพราะเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตรเป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode (100-1000 นาโนเมตร) ซึ่งอนุภาคในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่จะมาจากการเกาะรวมตัวกันของอนุภาคใน Aitken mode ซึ่งทำให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นจึงมีจำนวนอนุภาคสูงในเวลากลางคืน (Wang *et al.*, 2011)



ภาพที่ 17 จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

1.1.2 พื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัด เพชรบุรี

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ระหว่างวันที่ 24-27 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 พบว่า จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ 704.44 ± 256.05 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้จำนวนอนุภาคสูงสุดของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ 1991.27 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และจำนวนอนุภาคต่ำสุดของฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับ 164.77 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร จำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองมีค่าสูงในช่วงขนาด 50-60 นาโนเมตร และช่วงขนาด 105-110 นาโนเมตร โดยฝุ่นละอองขนาด 57.3 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงสุดค่าเท่ากับ 1332.64 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน พบว่า จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1065.82 ± 680.90 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นจำนวนอนุภาค

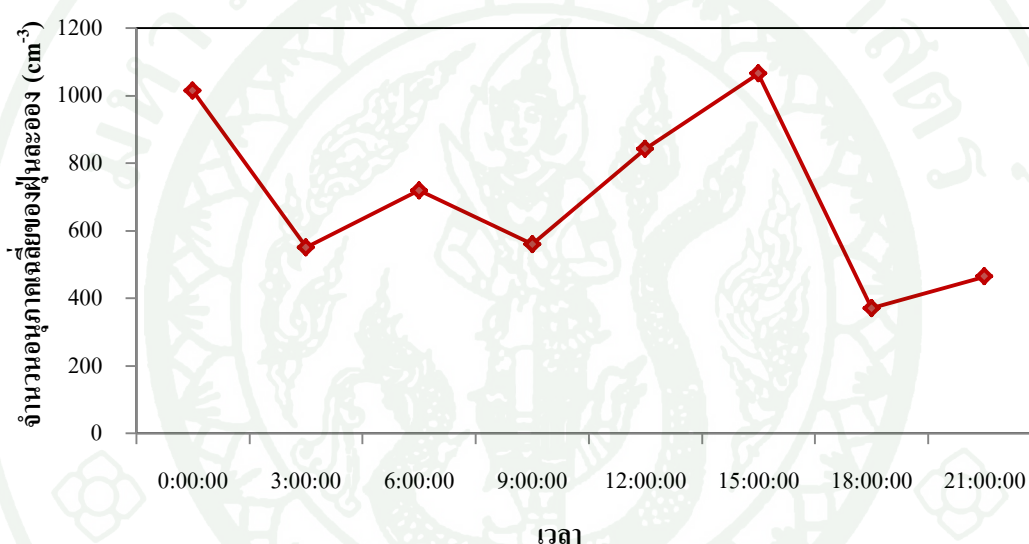
เฉลี่ยของฝุ่นละอองจะลดต่ำลงและมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 371.04 ± 117.26 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังตารางที่ 7 และภาพที่ 19

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความเข้มข้นเชิงจำนวนเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ระหว่างพื้นที่เขตเมือง คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานครกับพื้นที่เขตชนบท โครงการพระราชดำริฯ แหยมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี พบว่าค่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 7 ค่าต่ำสุด-สูงสุดและจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวันบริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหยมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

เวลา	จำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
00:00-03.00 น.	491.01-909.31	1014.30 $\pm$ 582.92
03:00-06.00 น.	402.57-806.88	550.44 $\pm$ 222.96
06:00-09.00 น.	456.90-934.45	719.54 $\pm$ 242.32
9:00-12.00 น.	355.14-802.20	560.32 $\pm$ 225.78
12:00-15.00 น.	164.77-1991.27	843.14 $\pm$ 836.72
15:00-18.00 น.	502.86-1822.97	1065.82 $\pm$ 680.90
18:00-21.00 น.	243.48-474.13	371.04 $\pm$ 117.26
21:00-00.00 น.	185.11-822.17	464.67 $\pm$ 325.60
ค่าเฉลี่ย		704.44 $\pm$ 256.05

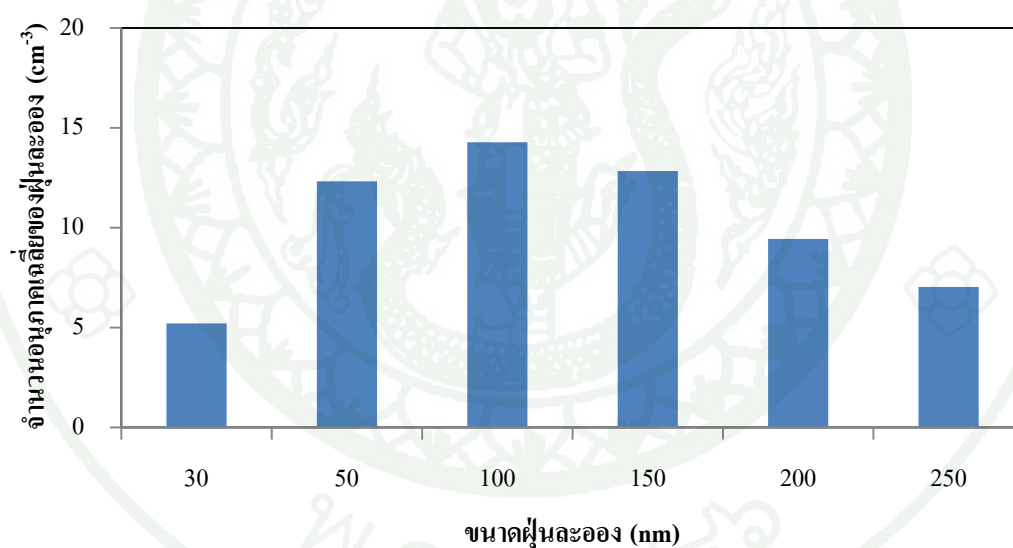
ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร โดยพบว่า จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 5.22 ± 2.31 12.33 ± 10.42 14.29 ± 3.14 12.84 ± 2.88 9.44 ± 2.90 และ 7.02 ± 3.20 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 8 และภาพที่ 20 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองสูงสุดที่ขนาด 100 นาโนเมตร และจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองจะลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเล็ก (30 และ 50 นาโนเมตร) และใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร (150 200 และ 250 นาโนเมตร) สอดคล้องกับฝุ่นละอองในพื้นที่ (10-414 นาโนเมตร) ที่มีจำนวนอนุภาคสูงในช่วงขนาด 50-60 และ 100-110 นาโนเมตร เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเปื้อน อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ 8 ค่าต่ำสุด-สูงสุดและจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	จำนวนอนุภาคของฝุ่นละออง (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	ค่าต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
30	1.18-18.37	5.22 $\pm$ 2.31
50	2.27-81.64	12.33 $\pm$ 10.42
100	6.45-27.33	14.29 $\pm$ 3.14
150	5.48-23.15	12.84 $\pm$ 2.88
200	3.78-20.20	9.44 $\pm$ 2.90
250	2.05-25.90	7.02 $\pm$ 3.20



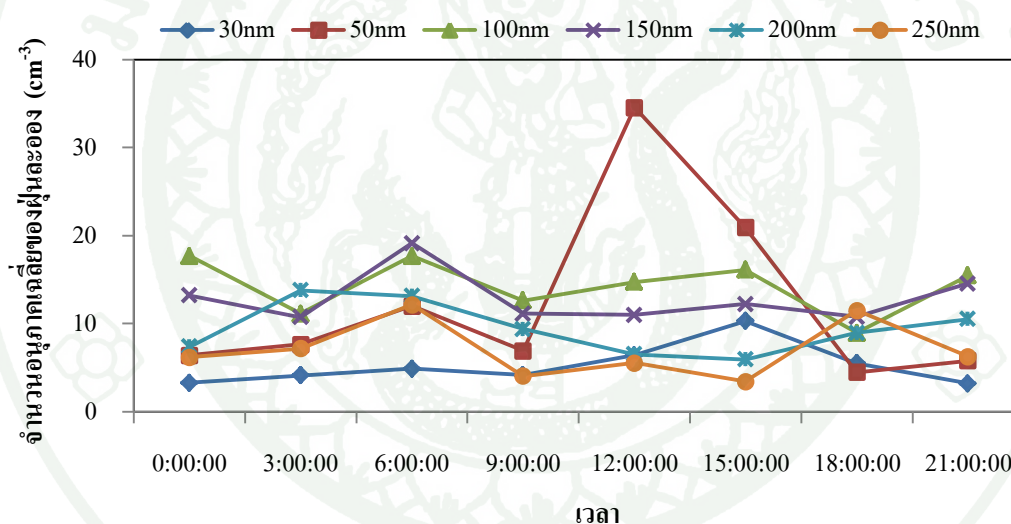
ภาพที่ 20 การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ผลการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ในรอบวันพบว่า ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 10.29 ± 4.79 และ 3.19 ± 1.73 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 50 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 34.57 ± 31.55 และ 4.48 ± 0.30 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 100 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 17.67 ± 8.59 และ 8.95 ± 1.38 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 150 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 19.12 ± 4.37 และ 10.73 ± 7.64 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 200 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-06.00 นาฬิกา และจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 13.78 ± 15.86 และ 5.94 ± 0.46 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 12.15 ± 11.91 และ 3.40 ± 2.00 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 9 และภาพที่ 21

ตารางที่ 9 จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา
โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

เวลา	จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละออง (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)					
	30	50	100	150	200	250
00:00-03.00 น.	3.29 ± 2.87	6.39 ± 0.89	17.66 ± 7.10	13.20 ± 6.77	7.37 ± 3.44	6.20 ± 2.10
03:00-06.00 น.	4.11 ± 0.97	7.65 ± 6.32	11.12 ± 6.29	10.73 ± 7.64	13.78 ± 15.86	7.16 ± 4.29
06:00-09.00 น.	4.87 ± 1.42	12.00 ± 7.48	17.67 ± 8.59	19.12 ± 4.37	13.11 ± 6.15	12.15 ± 11.91
9:00-12.00 น.	4.16 ± 2.72	6.89 ± 2.78	12.62 ± 4.65	11.15 ± 1.00	9.39 ± 5.96	4.02 ± 1.12
12:00-15.00 น.	6.40 ± 8.29	34.57 ± 31.55	14.72 ± 8.84	11.00 ± 1.66	6.50 ± 1.34	5.54 ± 2.31
15:00-18.00 น.	10.29 ± 4.79	20.90 ± 18.13	16.11 ± 4.66	12.22 ± 1.43	5.94 ± 0.46	3.40 ± 2.00
18:00-21.00 น.	5.48 ± 1.73	4.48 ± 0.30	8.95 ± 1.38	10.76 ± 4.25	8.96 ± 4.25	$11.488.87 \pm$
21:00-00.00 น.	3.19 ± 1.73	5.77 ± 2.62	15.47 ± 5.80	14.55 ± 6.60	10.50 ± 4.00	6.24 ± 2.36

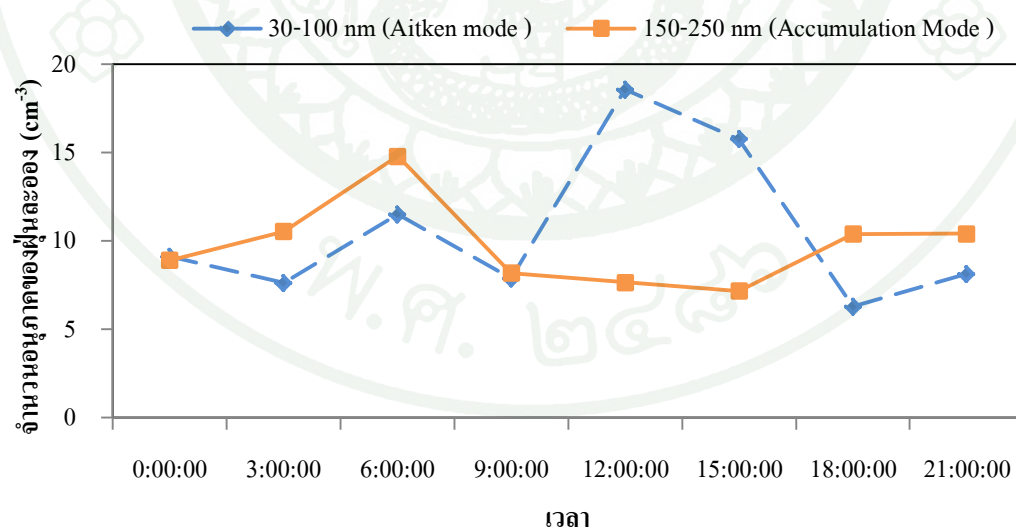
เมื่อแบ่งฝุ่นละอองออกเป็น 2 กลุ่ม คือฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (10-100 นาโนเมตร) และฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode (100-1000 นาโนเมตร) จากผลการกระจายตัวของฝุ่นละอองในรอบวัน จะพบว่า ในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร และฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 13.43 ± 4.69 และ 9.46 ± 3.58 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 นาฬิกา) จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร และ 150-250 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 7.80 ± 1.17 และ 10.08 ± 0.77 อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ จึงเห็นได้ว่าฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงในช่วงเวลากลางวัน และฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร มีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงในช่วงเวลากลางคืน ดังตารางที่ 10 และภาพที่ 22



ภาพที่ 21 การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวันบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ตารางที่ 10 จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา
โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนอนุภาคของฝุ่นละออง (อนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
	30-100 นาโนเมตร	150-250 นาโนเมตร
กลางวัน		
06.00-09.00	11.51	14.80
09.00-12.00	7.89	8.19
12.00-15.00	18.56	7.68
15.00-18.00	15.76	7.19
เฉลี่ย	13.43 $\pm$ 4.69	9.46 $\pm$ 3.58
กลางคืน		
18.00-21.00	6.30	10.40
21.00-00.00	8.14	10.43
00.00-03.00	9.11	8.92
03.00-06.00	7.63	10.55
เฉลี่ย	7.80 $\pm$ 1.17	10.08 $\pm$ 0.77



ภาพที่ 22 จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และ Accumulation mode บริเวณ
พื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30-250 นาโนเมตร ในกลุ่ม Aitken mode (30-100 นาโนเมตร) และกลุ่ม Accumulation Mode (150-250 นาโนเมตร) บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเปื้อน อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี พบว่าจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองทั้ง 2 กลุ่ม ในบริเวณพื้นที่ศึกษา มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่แยกออกจากกันดังเช่นพื้นที่เขตเมือง เนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเปื้อน และพื้นที่โดยรอบ มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลาย เช่น พื้นที่เกษตรกรรม นาเกลือ รวมไปถึงอิทธิพลจากเกลือทะเล (Sea salt) ดังนั้นฝุ่นละอองในบรรยากาศจึงมีความเป็นไปได้ที่จะมาแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน เช่น จากการเผาไหม้ชีวมวลจำพวกพืชผลทางการเกษตร (Agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร (Agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (Wood and wood residues) จากเกลือทะเล โดยพบว่าบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล เกลือทะเลจะมีอิทธิพลต่ออนุภาคในบรรยากาศ (Wangkiat, 2002)

1.2 ความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของฝุ่นละอองในรอบวัน

1.2.1 พื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตรในรอบวัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30 50 และ 100 นาโนเมตร (30-100 นาโนเมตร) และฝุ่นละอองขนาด 150 200 และ 250 นาโนเมตร (150-250 นาโนเมตร) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของฝุ่นละอองในรอบวัน ระหว่างฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร กับฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร พบว่าค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.92 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความสัมพันธ์ของการกระจายตัวระหว่างฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร กับฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร พบว่าค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.13 แสดงว่าการกระจายตัวของฝุ่นละอองมีแนวโน้มสัมพันธ์กันน้อย ดังนั้นฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร จึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร เนื่องจากฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร จัดเป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรซึ่งเป็นกิจกรรมหลักภายในพื้นที่เขตเมือง ดังนั้นดังนั้นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode จึงเป็นฝุ่นละอองที่มีอิทธิพลต่อฝุ่นละอองโดยรวมของพื้นที่

1.2.2 พื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเปื้อน อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตรในรอบวัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาด 30 50 และ 100 นาโนเมตร (30-100 นาโนเมตร) และฝุ่นละอองขนาด 150 200 และ 250 นาโนเมตร (150-250 นาโนเมตร) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของฝุ่นละอองในรอบวัน ระหว่างฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร และฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร พบว่าค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.47 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กัน ในขณะที่ความสัมพันธ์ของการกระจายตัวระหว่างฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร กับฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร พบว่าค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.15 แสดงว่าการกระจายตัวของฝุ่นละอองมีแนวโน้มสัมพันธ์กันน้อย ดังนั้นฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร จึงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตร มากกว่าฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร

2. องค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละออง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ องค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองจะตรวจวัดในรูปของ ธาตุคาร์บอน (Element carbon: EC) หรือเรียกอีกอย่างว่าแบล็คคาร์บอน (Black carbon: BC) และชีวมวล (UVP) ซึ่งมาจากการเผาไหม้ชีวมวล โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองเพื่อตรวจวัดองค์ประกอบคาร์บอนทุก 3 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 3 วัน จากพื้นที่การศึกษา 2 พื้นที่ คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเปื้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเปื้อน) รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

2.1 พื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนใน PM_{10} ได้แก่ ธาตุคาร์บอน (EC) และชีวมวล (UVP) ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 พบว่า ความเข้มข้นของ EC มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.11-1.40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC มีค่าเท่ากับ 0.41 ± 0.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่ง

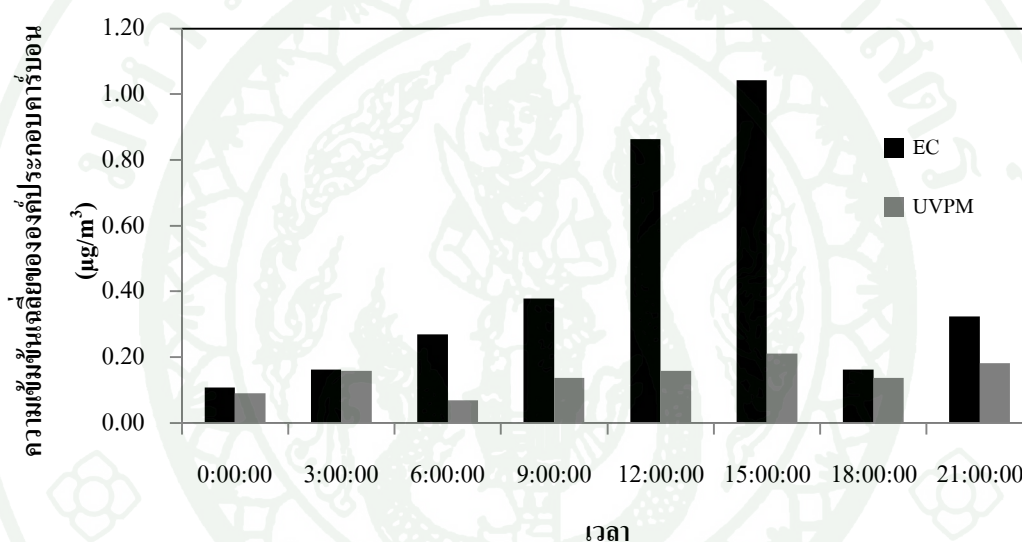
ใกล้เคียงกับความเข้มข้นของ EC ที่เมืองอลบานี รัฐนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา (เขตเมือง) โดยวิเคราะห์ด้วย optical method (Magee Scientific OpticalTransmissometer Model OT21) มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC มีค่าเท่ากับ 0.55 ± 0.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Ahmed *et al.*, 2009) และความเข้มข้นของ UVPM มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.04-0.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ UVPM มีค่าเท่ากับ 0.14 ± 0.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ EC ในรอบวันเฉลี่ย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของ EC อยู่ในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.04 ± 0.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดของ EC อยู่ในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.11 ± 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นของ UVPM ในรอบวันเฉลี่ย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของ UVPM อยู่ในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.21 ± 0.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดของ UVPM อยู่ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.07 ± 0.03 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าสัดส่วนของ EC ในฝุ่นละอองจะมากกว่า 0.50 ซึ่งสูงกว่า UVPM ดังตารางที่ 11 และภาพที่ 23

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองในรอบวันบริเวณพื้นที่ศึกษาเขต จตุจักร กรุงเทพมหานคร

เวลา	ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอน (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
	EC	UVPM	สัดส่วน EC (UVPM)
00:00-03.00 น.	0.11 ± 0.01	0.09 ± 0.06	0.54(0.46)
03:00-06.00 น.	0.16 ± 0.08	0.16 ± 0.03	0.50(0.50)
06:00-09.00 น.	0.27 ± 0.08	0.07 ± 0.03	0.80(0.20)
9:00-12.00 น.	0.38 ± 0.23	0.14 ± 0.06	0.74(0.26)
12:00-15.00 น.	0.86 ± 0.31	0.16 ± 0.03	0.84(0.16)
15:00-18.00 น.	1.04 ± 0.33	0.21 ± 0.15	0.83(0.17)
18:00-21.00 น.	0.16 ± 0.08	0.14 ± 0.08	0.54(0.46)
21:00-00.00 น.	0.32 ± 0.15	0.18 ± 0.06	0.64(0.36)
ค่าเฉลี่ย	0.41 ± 0.12	0.14 ± 0.04	0.75(0.25)

องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองของพื้นที่เขตเมืองนั้นส่วนใหญ่มาจากการจราจร เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และมาจากท่อไอเสียของรถยนต์ (Keuken *et al.*, 2012) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาองค์ประกอบคาร์บอนในพื้นที่กรุงเทพมหานครพบว่า EC จะมาจากการปลดปล่อยไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลและก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นหลัก และองค์ประกอบคาร์บอนส่วนใหญ่ที่ตรวจวัดได้เป็น VOC (สุวพร, 2552) ดังนั้นจากภาพที่ 23 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC จะมีค่าสูงในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่นทำให้การปลดปล่อยไอเสียจากเครื่องยนต์จึงสูงตามไปด้วย ในขณะที่ UVPM จะมาจากการเผาไหม้ชีวมวล เช่น การเผาไม้และเศษไม้ (Wang *et al.*, 2011)



ภาพที่ 23 ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษาเขต จตุจักร กรุงเทพมหานคร

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตรกับความเข้มข้นของ EC ในรอบวัน พบว่า ในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) และช่วงเวลากลางคืน (18.00-06.00 นาฬิกา) มีค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.77 และ 0.31 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในเวลากลางวันมีแนวโน้มสัมพันธ์กันมากกว่าในเวลากลางคืนเนื่องจากความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนจะแปรผันตรงกับ ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (สุวพร, 2552) ซึ่งในเวลากลางวันจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองมีค่าสูง ส่งผลให้องค์ประกอบคาร์บอนส่วนใหญ่มีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลากลางวัน

2.2 พื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหยมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

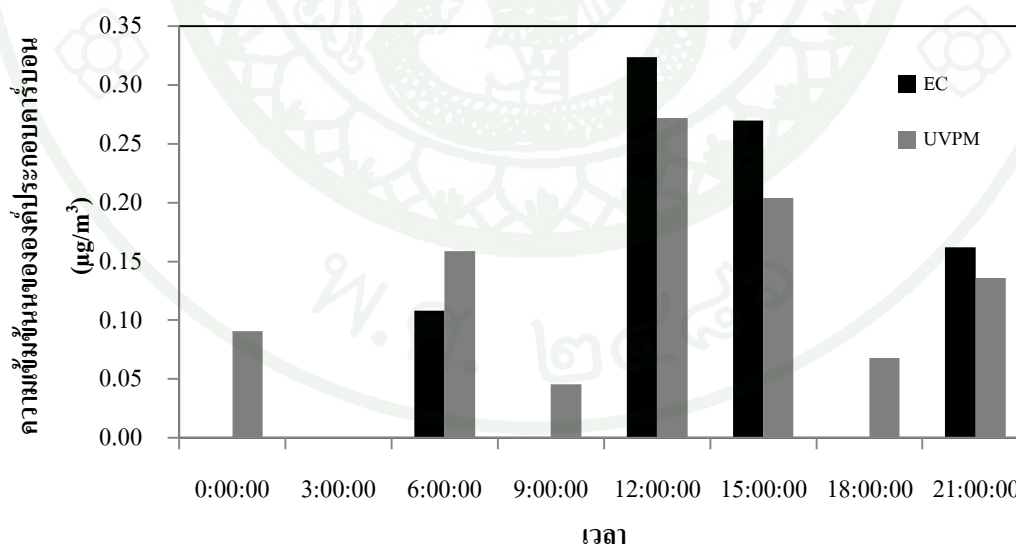
จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนใน PM_{10} ได้แก่ ธาตุคาร์บอน (EC) และ ชีวมวล (UVP) ในพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แหยมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ระหว่างวันที่ 24-27 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 พบว่า ความเข้มข้นของ EC มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.11-0.54 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC มีค่าเท่ากับ 0.22 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นของ UVP มีค่าต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.04-0.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ UVP มีค่าเท่ากับ 0.14 ± 0.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ย พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของ EC อยู่ในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.32 ± 0.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดของ EC อยู่ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.11 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของ UVP อยู่ในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.27 ± 0.16 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดของ UVP อยู่ในช่วงเวลา 09.00-12.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.05 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าสัดส่วนของ EC ในฝุ่นละอองจะมากกว่า 0.50 ซึ่งสูงกว่า UVP ดังตารางที่ 12 และภาพที่ 24

ตารางที่ 12 ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองในรอบวันบริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบือ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

เวลา	ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละออง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
	EC	UVPM	สัดส่วน EC (UVPM)
00:00-03.00 น.	ND	0.09±0.06	0.00(1.00)
03:00-06.00 น.	ND	ND	ND
06:00-09.00 น.	0.11±0.00	1.16±0.03	0.40(0.60)
9:00-12.00 น.	ND	0.09±0.00	0.00(1.00)
12:00-15.00 น.	0.32±0.31	0.27±0.16	0.54(0.46)
15:00-18.00 น.	0.27±0.08	0.20±0.03	0.57(0.43)
18:00-21.00 น.	ND	0.07±0.03	0.00(1.00)
21:00-00.00 น.	0.16±0.08	0.14±0.06	0.54(0.46)
ค่าเฉลี่ย	0.22±0.10	0.14±0.08	0.61(0.39)

หมายเหตุ ND หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not Detected)



ภาพที่ 24 ความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบือ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนในพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ EC และ UVPm ในแต่ละช่วงเวลานั้นสามารถตรวจพบความเข้มข้นเฉลี่ยของ UVPm เกือบทุกช่วงเวลา เนื่องจาก UVPm จะมาจากการเผาไหม้ชีวมวล โดยบริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่เกษตรกรรม จึงมีความเป็นไปได้ว่ามีการเผาไหม้ชีวมวลจำพวกพืชผลทางการเกษตร เศษวัสดุเหลือทิ้งการเกษตร ไม้และเศษไม้ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบคาร์บอนในรอบวันส่วนใหญ่จึงตรวจพบความเข้มข้นของ UVPm มากกว่า EC ขณะเดียวกันความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC และ UVPm ในพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี มีความแตกต่างกันน้อย เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์มีปริมาณต่ำ ซึ่งต่างจากพื้นที่เขตเมืองที่มีเผาไหม้เชื้อเพลิงและท่อไอเสียของรถยนต์สูง โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งแปรผันตามปริมาณการจราจรทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC จึงมีค่าสูง และการเผาไหม้ชีวมวลในเขตเมืองค่อนข้างน้อยทำให้ความเข้มข้นเฉลี่ยของ UVPm จึงไม่สูงมาก ดังนั้นความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC และ UVPm ในเขตเมืองมีความแตกต่างกันมาก เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 10-414 นาโนเมตรกับความเข้มข้นของ EC พบว่าในช่วงเวลากลางวัน (06.00-18.00 นาฬิกา) ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.69 แสดงให้เห็นว่าในเวลากลางวันความเข้มข้นของ EC มีแนวโน้มสัมพันธ์สูงเช่นเดียวกับพื้นที่เขตเมือง ทั้งนี้ได้คำนวณค่าความสัมพันธ์ในช่วงเวลากลางคืนเพราะตรวจไม่พบความเข้มข้นของ EC ทุกช่วงเวลา

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ EC ในฝุ่นละออง ระหว่างพื้นที่เขตเมือง คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานครกับพื้นที่เขตชนบท คือ โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี พบว่าค่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ UVPm ระหว่างพื้นที่เขตเมือง คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานครกับพื้นที่เขตชนบท คือ โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี พบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

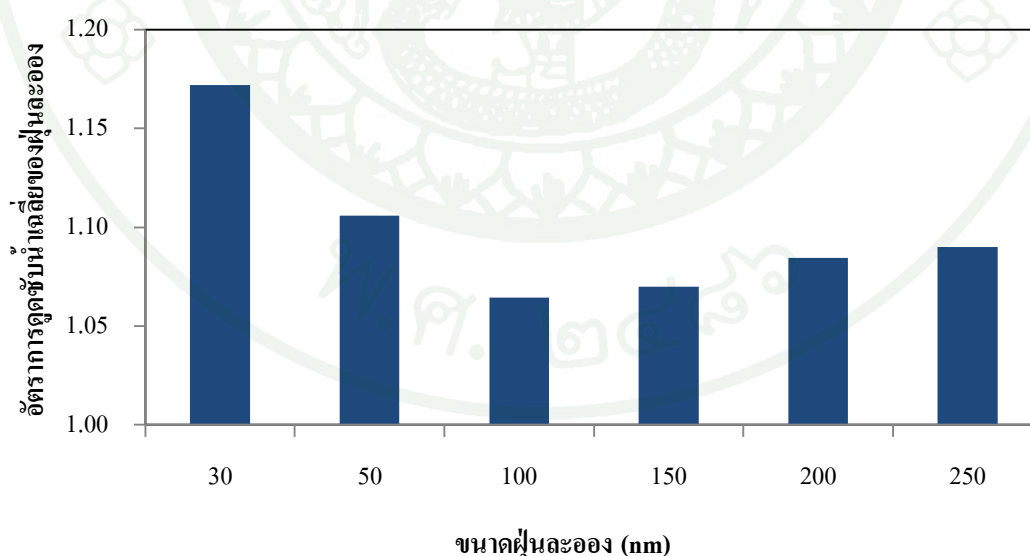
3. สมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สมบัติการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองจะแสดงผลในรูปแบบของ อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (Hygroscopic growth factor: Gf) โดยทำการคำนวณอัตราการดูดซับน้ำ

ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 86% ทุก 3 ชั่วโมง ตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน จากพื้นที่การศึกษา 2 พื้นที่ คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย) รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

3.1 พื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ผลการคำนวณอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (Gf) ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ในพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 20-23 พฤษภาคม พ.ศ. 2557 พบว่า ค่า Gf เฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตรมีค่าเท่ากับ 1.17 ± 0.12 1.11 ± 0.06 1.06 ± 0.05 1.07 ± 0.04 1.08 ± 0.07 และ 1.09 ± 0.11 ดังภาพที่ 25 ทั้งนี้ ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.01-1.98 ฝุ่นละอองขนาด 50 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.00-1.45 ฝุ่นละอองขนาด 100 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 0.98-1.27 ฝุ่นละอองขนาด 150 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.00-1.36 ฝุ่นละอองขนาด 200 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.00-1.34 และ ฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.00-1.69



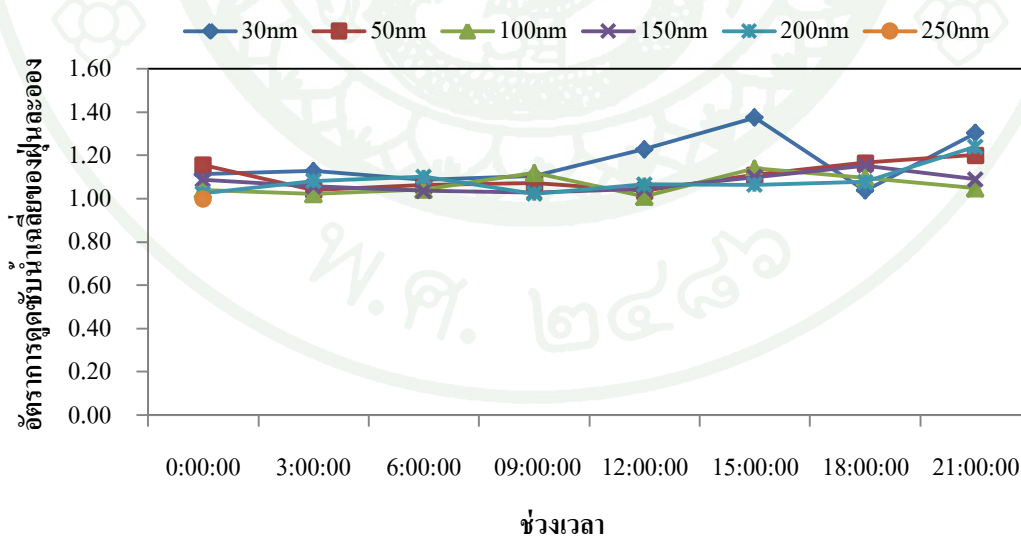
ภาพที่ 25 อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า Gf ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ในรอบวัน พบว่า ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.37 ± 0.52 และ 1.04 ± 0.52 ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 50 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.20 ± 0.14 และ 1.04 ± 0.04 ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 100 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.14 ± 0.12 และ 1.02 ± 0.03 ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 150 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.15 ± 0.19 และ 1.03 ± 0.03 ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 200 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.24 ± 0.17 และ 1.02 ± 0.02 ตามลำดับ และฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00-12.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.36 ± 0.29 และ 1.02 ± 0.03 ตามลำดับ ดังตารางที่ 13 และภาพที่ 26

ตารางที่ 13 ค่าต่ำสุด-สูงสุด และอัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

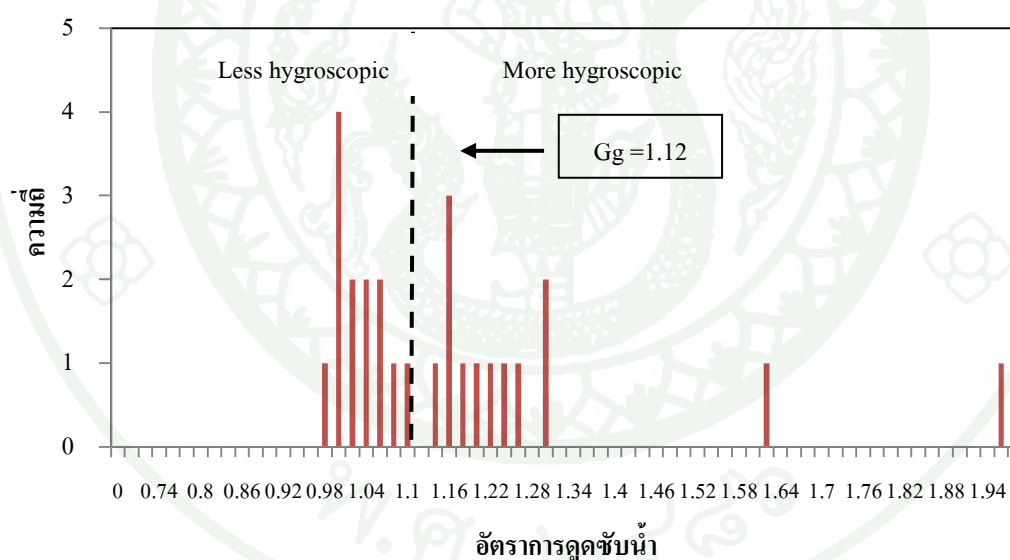
ช่วงเวลา	อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง					
	30 nm	50 nm	100 nm	150 nm	200 nm	250 nm
00:00-03.00 น.	1.11 ± 0.31	1.16 ± 0.14	1.04 ± 0.05	1.09 ± 0.04	1.02 ± 0.17	1.09 ± 0.05
03:00-06.00 น.	1.13 ± 0.12	1.04 ± 0.18	1.02 ± 0.01	1.06 ± 0.06	1.08 ± 0.02	1.05 ± 0.03
06:00-09.00 น.	1.09 ± 0.11	1.06 ± 0.04	1.04 ± 0.03	1.04 ± 0.07	1.10 ± 0.06	1.02 ± 0.03
09:00-12.00 น.	1.10 ± 0.07	1.07 ± 0.08	1.12 ± 0.06	1.03 ± 0.04	1.02 ± 0.12	1.06 ± 0.05
12:00-15.00 น.	1.23 ± 0.08	1.04 ± 0.07	1.01 ± 0.09	1.04 ± 0.03	1.07 ± 0.02	1.03 ± 0.03
15:00-18.00 น.	1.37 ± 0.15	1.11 ± 0.03	1.14 ± 0.01	1.10 ± 0.02	1.06 ± 0.05	1.06 ± 0.08
18:00-21.00 น.	1.04 ± 0.52	1.17 ± 0.09	1.10 ± 0.12	1.15 ± 0.09	1.08 ± 0.07	1.36 ± 0.29
21:00-00.00 น.	1.30 ± 0.04	1.20 ± 0.24	1.05 ± 0.04	1.09 ± 0.19	1.24 ± 0.04	1.06 ± 0.05
ค่าต่ำสุด-สูงสุด	1.01-1.98	1.00-1.45	0.98-1.27	1.00-1.36	1.00-1.34	1.00-1.69
ค่าเฉลี่ย	1.17 ± 0.12	1.11 ± 0.06	1.06 ± 0.05	1.07 ± 0.04	1.08 ± 0.07	1.09 ± 0.11

การกระจายตัวของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (Hygroscopic growth factor distributions) จะกระจายตัวแยกเป็น 2 กลุ่ม (Bimodal distribution) คือ Low hygroscopic หรือกลุ่มที่มีค่า Gf ต่ำ และ High hygroscopic หรือกลุ่มที่มีค่า Gf สูง โดยกลุ่มที่มีค่า Gf ต่ำ จะเรียกว่า Less hygroscopic และกลุ่มที่มีค่า Gf สูงกว่า จะเรียกว่า More hygroscopic (Svenningsson *et al.*, 1997; Swietlicki *et al.*, 1999) ในพื้นที่เขตเมืองจะกระจายตัวออกเป็น 2 รูปแบบ คือ Non hygroscopic หรือ Less hygroscopic และ More hygroscopic (Chen *et al.*, 2003) หรืออาจพบการกระจายตัวแยกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ Nearly hydrophobic Less hygroscopic และ More hygroscopic (Massling *et al.*, 2009) โดยการกระจายตัวของ Gf ของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ในบริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร พบว่า ฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 จะกระจายตัวแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ Less hygroscopic และ More hygroscopic ค่า Gf ของ Less hygroscopic จะน้อยกว่า 1.12 และค่า Gf ของ More hygroscopic จะมากกว่า 1.12 ดังภาพที่ 27 ไกล่เคียงกับงานวิจัยของ Ye *et al.* (2011) ที่วิเคราะห์ค่า Gf ของฝุ่นละอองในบรรยากาศในบริเวณเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (เขตเมือง) ซึ่งค่า Gf ของ Less hygroscopic น้อยกว่า 1.15 อีกทั้งยังใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chen *et al.* (2003) ที่วิเคราะห์ค่า Gf ของฝุ่นละอองในบรรยากาศในบริเวณเมืองไทเป ประเทศไต้หวัน (เขตเมือง) ซึ่งค่า Gf ของ Less hygroscopic จะอยู่ในช่วง 1.11-1.17 ซึ่งอัตราการดูดซับน้ำส่วนใหญ่ของฝุ่นละอองในบริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานครจะเป็น Less hygroscopic



ภาพที่ 26 อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย G_f ในกลุ่มของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.05 ± 0.04 1.05 ± 0.04 1.05 ± 0.04 1.04 ± 0.03 1.04 ± 0.03 และ 1.04 ± 0.03 ตามลำดับ ดังตารางที่ 14 และภาพที่ 28 ค่าเฉลี่ย G_f ในกลุ่มของ Less hygroscopic มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น ใกล้เคียงกับการศึกษาบริเวณทางตอนใต้ของอังกฤษ (Svenningsson *et al.*, 1997) และเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (Ye *et al.*, 2011) แต่มีค่า G_f ต่ำกว่า บริเวณเมืองไทเป ประเทศไต้หวัน (Chen *et al.*, 2003) และเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน (Massling *et al.*, 2009) เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างนั้นอยู่ใกล้ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น จึงมีฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงสูงซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ของฝุ่นละอองในพื้นที่เขตเมือง จึงได้รับฝุ่นละอองที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบของแบล็คคาร์บอนสูงหรือสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งถือเป็น Non hygroscopic โดยการที่ Less hygroscopic มีค่า G_f ต่ำ เป็นเพราะว่าองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นมีแบล็คคาร์บอน เขม่า หรือสัดส่วนขององค์ประกอบที่ไม่สามารถละลายน้ำมากกว่ากลุ่ม More hygroscopic



ภาพที่ 27 การกระจายตัวของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของจำนวนฝุ่นละออง (Number fraction: N_f) ในกลุ่มของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.31 0.56 0.55 0.45 0.58 และ 0.59 และตามลำดับ ดังตารางที่ 14 และภาพที่ 29 ซึ่งค่า N_f มีแนวโน้ม

สูงขึ้นตามขนาดฝุ่นละออง ซึ่งมีแนวโน้มใกล้เคียงกับในบริเวณเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน ที่สภาวะอากาศมีความเป็นพิษระดับสูง (Meier *et al.*, 2009) แต่มีค่า N_f สูงกว่าในบริเวณ Pearl River ประเทศจีน (Tan *et al.*, 2013) เมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (Ye *et al.*, 2011) เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างนั้นอยู่ใกล้ถนนซึ่งมีการจราจรหนาแน่น ทำให้จำนวนฝุ่นละอองจึงมีสูงส่งผลให้มีค่า N_f สูงกว่าในบริเวณเขตเมืองอื่นๆ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า N_f ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และกลุ่ม Accumulation mode พบว่า ค่า N_f ของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode สูงกว่าในกลุ่ม Aitken mode แสดงว่าสัดส่วนขององค์ประกอบที่ไม่สามารถละลายน้ำได้หรือ Non hygroscopic จะอยู่ในกลุ่ม Accumulation mode มากกว่า เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีค่า N_f เท่ากับ 0.31 ซึ่งไม่ถึง 50% แสดงว่าสัดส่วนของฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม More hygroscopic ซึ่งถือว่าฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร สามารถดูดซับน้ำได้ดี เป็น Hygroscopic

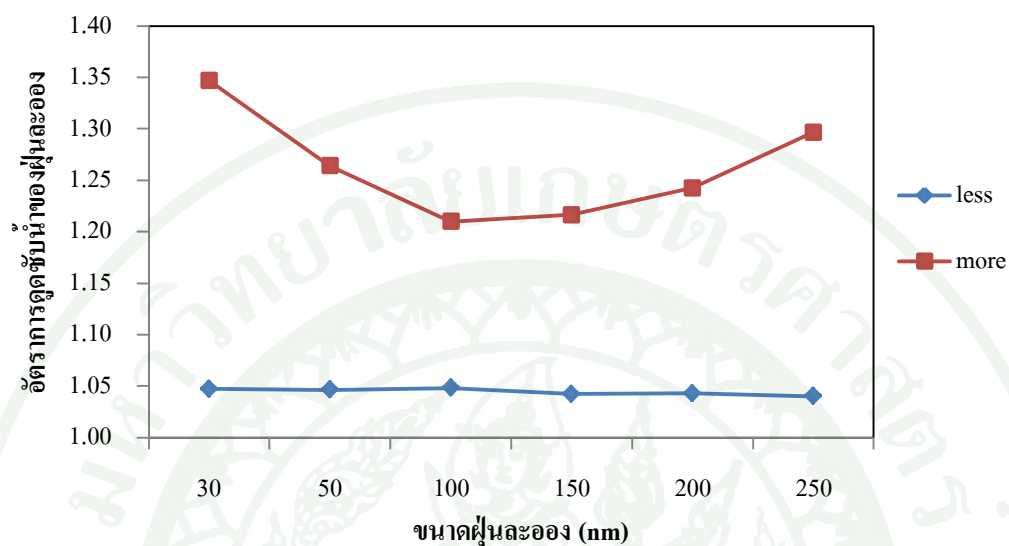
ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย G_f ในกลุ่มของ More hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.35 ± 0.26 1.26 ± 0.12 1.21 ± 0.12 1.22 ± 0.14 1.24 ± 0.10 และ 1.30 ± 0.26 ตามลำดับ ดังตารางที่ 14 และภาพที่ 28 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในพื้นที่เขตเมืองอื่นๆ เช่น เมืองไทเป ประเทศไต้หวัน (Chen *et al.*, 2003) และเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน (Massling *et al.*, 2009) เนื่องจากฝุ่นละอองส่วนใหญ่ในพื้นที่เป็นฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จึงมีสัดส่วนขององค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำสูง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า G_f ในฝุ่นละอองกลุ่ม Aitken mode และกลุ่ม Accumulation mode พบว่าฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีค่าสูงกว่าเนื่องจากค่า N_f ของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ต่ำกว่าในกลุ่ม Accumulation mode ซึ่งให้เห็นว่าสัดส่วนของฝุ่นละอองส่วนใหญ่ในกลุ่ม Aitken mode เป็น More hygroscopic ทำให้ค่า G_f ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีค่าสูงกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาต่อถึงแนวโน้มของค่า G_f พบว่า ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น และพบว่าฝุ่นละอองกลุ่ม Accumulation mode ค่า G_f มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาบริเวณทางตอนใต้ของอังกฤษ Svenningsson *et al.* (1997) เมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (Ye *et al.*, 2011) และบริเวณ Pearl River ประเทศจีน (Tan *et al.*, 2013) ซึ่งพบว่าฝุ่นละอองกลุ่ม Accumulation mode มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น การที่ค่า G_f มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น Massling *et al.* (2009) ได้อธิบายไว้ว่าเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นจะสามารถบรรจุองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้มาก

ผลการวิเคราะห์ค่า Nf ในกลุ่มของ More hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.69 0.44 0.45 0.55 0.42 และ 0.42 ตามลำดับ ดังตารางที่ 14 และภาพที่ 29 เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่เขตเมืองอื่นๆ เช่น บริเวณ Pearl River ประเทศจีน (Tan *et al.*, 2013) และ เมืองปักกิ่ง ประเทศจีน (Massling *et al.*, 2009) จะพบว่าค่า Nf จะต่ำกว่าเนื่องจากฝุ่นละอองในพื้นที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จึงมีส่วนขององค์ประกอบที่ไม่ละลายน้ำสูงทำให้สัดส่วนของฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็น Less hygroscopic ค่า Nf ในกลุ่มของ More hygroscopic จึงมีค่าต่ำ ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า Nf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และกลุ่ม Accumulation mode พบว่า ค่า Nf ของ More hygroscopic ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode สูงกว่าในกลุ่ม Accumulation mode แสดงว่าสัดส่วนขององค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้หรือ Hygroscopic เช่น พวกเกลืออนินทรีย์หรือสารไอออนิก (Massling *et al.*, 2009) จะอยู่ในกลุ่ม Aitken mode มากกว่า แสดงให้เห็นชัดเจนในฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีค่า Nf ในกลุ่มของ More hygroscopic เท่ากับ 0.69 ซึ่งมากกว่า 50% แสดงว่าสัดส่วนของฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็น More hygroscopic ทำให้ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร สามารถดูดซับน้ำได้ดีที่สุด

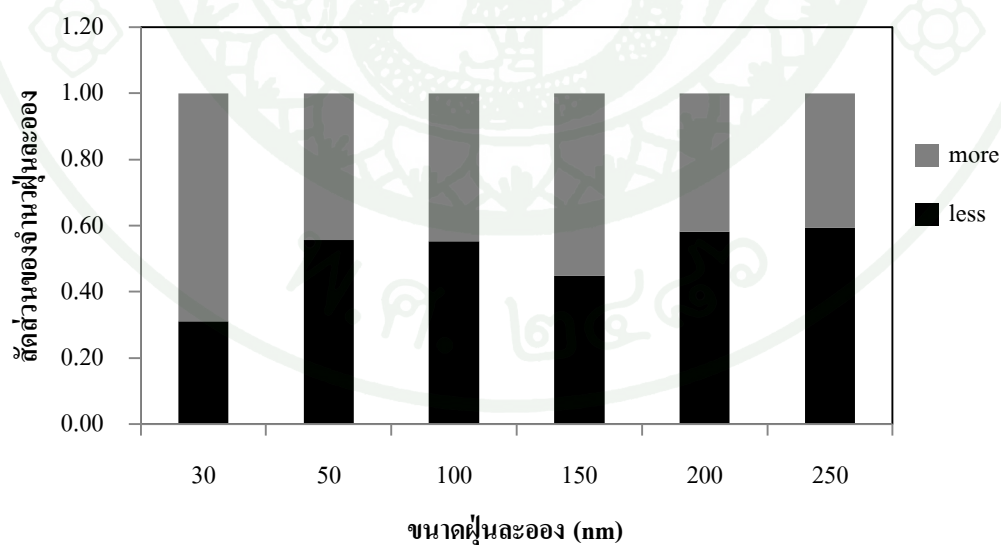
ตารางที่ 14 อัตราการดูดซับน้ำและสัดส่วนของจำนวนฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

สมบัติของฝุ่นละออง	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)					
	30	50	100	150	200	250
Growth factor						
- Less hygroscopic	1.05±0.04	1.05±0.04	1.05±0.04	1.04±0.03	1.04±0.03	1.04±0.03
- More hygroscopic	1.35±0.26	1.26±0.12	1.21±0.12	1.22±0.14	1.24±0.10	1.30±0.26
Number fraction						
- Less hygroscopic	0.31	0.56	0.55	0.45	0.58	0.59
- More hygroscopic	0.69	0.44	0.45	0.55	0.42	0.41

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย Gf ในกลุ่มของ Less Hygroscopic และ More hygroscopic ดัง
ภาพที่ 28



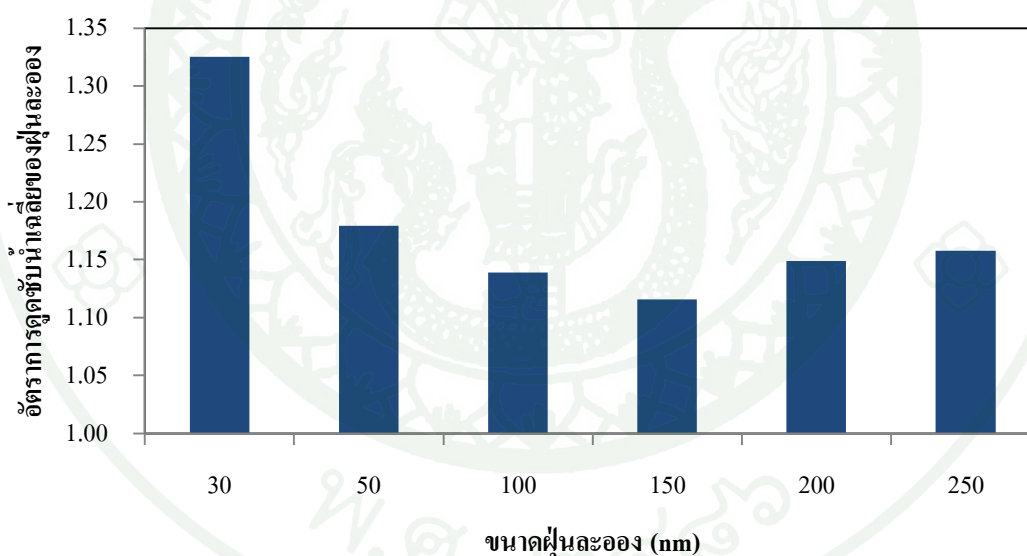
ภาพที่ 28 อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic บริเวณ
พื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร



ภาพที่ 29 สัดส่วนของจำนวนฝุ่นละอองในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic บริเวณ
พื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

3.2 บริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหยมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ผลการคำนวณอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง (Gf) ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ในพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แหยมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี พบว่า ค่า Gfเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตรมีค่าเท่ากับ 1.32 ± 0.18 1.18 ± 0.15 1.14 ± 0.07 1.12 ± 0.05 1.15 ± 0.04 และ 1.16 ± 0.08 ดังภาพที่ 30 ทั้งนี้ ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.06-2.10 ฝุ่นละอองขนาด 50 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.02-1.95 ฝุ่นละอองขนาด 100 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.00-1.41 ฝุ่นละอองขนาด 150 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.01-1.38 ฝุ่นละอองขนาด 200 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.02-1.33 และ ฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร มีค่า Gf ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.02-1.76



ภาพที่ 30 อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯแหยมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

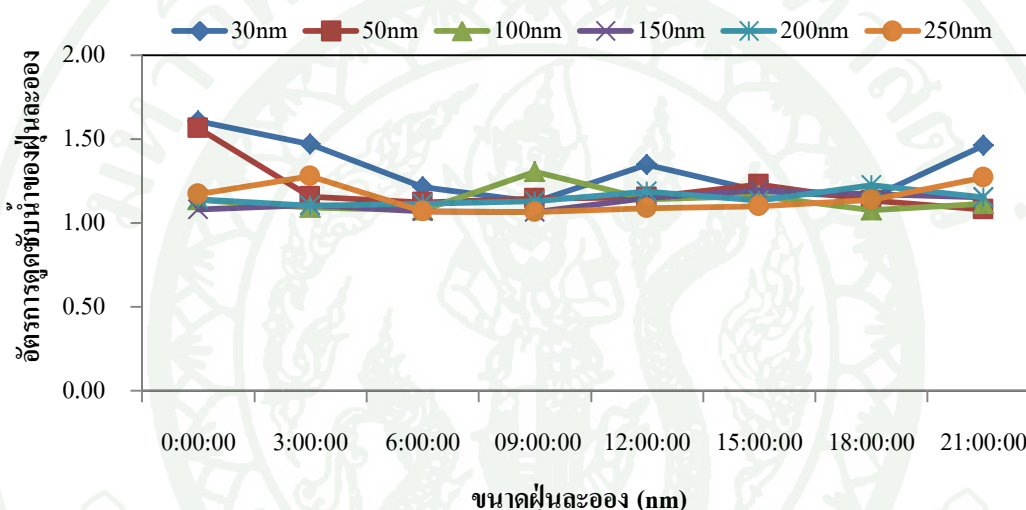
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า Gf ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ในรอบวัน พบว่า ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 03.00-06.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.60 ± 0.51 และ 1.13 ± 0.08 ตามลำดับ ฝุ่นละอองขนาด 50 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 03.00-

06.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.56 ± 0.54 และ 1.08 ± 0.07 ตามลำดับ ฟุ้งละอองขนาด 100 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.31 ± 0.13 และ 1.08 ± 0.04 ตามลำดับ ฟุ้งละอองขนาด 150 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.19 ± 0.26 และ 1.06 ± 0.05 ตามลำดับ ฟุ้งละอองขนาด 200 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.22 ± 0.07 และ 1.10 ± 0.14 ตามลำดับ และฟุ้งละอองขนาด 250 นาโนเมตร มีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และต่ำสุดในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.28 ± 0.42 และ 1.07 ± 0.01 ตามลำดับ ดังตารางที่ 15 และภาพที่ 31

ตารางที่ 15 ค่าต่ำสุด-สูงสุด และอัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฟุ้งละออง บริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ช่วงเวลา	อัตราการดูดซับน้ำของฟุ้งละออง					
	30 nm	50 nm	100 nm	150 nm	200 nm	250 nm
00:00-03.00 น.	1.60 ± 0.51	1.56 ± 0.54	1.14 ± 0.13	1.08 ± 0.07	1.14 ± 0.07	1.17 ± 0.14
03:00-06.00 น.	1.47 ± 0.36	1.16 ± 0.08	1.09 ± 0.04	1.11 ± 0.11	1.10 ± 0.14	1.28 ± 0.42
06:00-09.00 น.	1.21 ± 0.13	1.12 ± 0.07	1.08 ± 0.08	1.07 ± 0.06	1.12 ± 0.02	1.07 ± 0.03
09:00-12.00 น.	1.13 ± 0.08	1.14 ± 0.07	1.31 ± 0.13	1.06 ± 0.05	1.13 ± 0.11	1.07 ± 0.01
12:00-15.00 น.	1.35 ± 0.19	1.15 ± 0.01	1.14 ± 0.11	1.15 ± 0.13	1.19 ± 0.15	1.09 ± 0.02
15:00-18.00 น.	1.19 ± 0.14	1.23 ± 0.17	1.16 ± 0.04	1.19 ± 0.26	1.13 ± 0.06	1.10 ± 0.03
18:00-21.00 น.	1.15 ± 0.07	1.13 ± 0.15	1.08 ± 0.04	1.17 ± 0.02	1.22 ± 0.07	1.14 ± 0.07
21:00-00.00 น.	1.46 ± 0.21	1.08 ± 0.07	1.11 ± 0.09	1.15 ± 0.16	1.15 ± 0.14	1.27 ± 0.39
ค่าต่ำสุด-สูงสุด	1.06-2.10	1.02-1.95	1.00-1.41	1.01-1.38	1.02-1.33	1.02-1.76
ค่าเฉลี่ย	1.32 ± 0.18	1.18 ± 0.15	1.14 ± 0.07	1.12 ± 0.05	1.15 ± 0.04	1.16 ± 0.08

การกระจายตัวของ Gf ของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ในบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี พบว่า ฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 จะกระจายตัวแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ Less hygroscopic และ More hygroscopic ค่า Gf ของ Less hygroscopic จะน้อยกว่า 1.14 และค่า Gf ของ More hygroscopic จะมากกว่า 1.14 โดยค่า Gf จะสูงกว่าในพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ($Gf = 1.12$) และใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Ye *et al.* (2011) ที่วิเคราะห์ค่า Gf ของฝุ่นละอองในบรรยากาศในบริเวณเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (เขตเมือง) ซึ่งค่า Gf ของ Less hygroscopic น้อยกว่า 1.15



ภาพที่ 31 อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง ในรอบวัน บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย Gf ในกลุ่มของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.09 ± 0.03 1.07 ± 0.04 1.07 ± 0.04 1.06 ± 0.04 1.06 ± 0.04 และ 1.06 ± 0.03 ตามลำดับ ดังตารางที่ 14 และภาพที่ 32 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาบริเวณทางตอนใต้ของอังกฤษ (Svenningsson *et al.*, 1997) โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับพื้นที่เขตชนบทของอิตาลี (Svenningsson *et al.*, 1994) แต่มีค่า Gf ต่ำกว่า เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างนั้นได้รับอิทธิพลจากทิศทางลมอยู่ 2 ทิศทางด้วยกัน กล่าวคือ ทิศใต้ ซึ่งมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 3.6-5.7 เมตรต่อวินาที และลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีความเร็วสูงสุดอยู่ในช่วง 2.1-3.6 เมตรต่อวินาที โดยพบว่าลมจากทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นลมที่พัดจากแผ่นดินเข้าหาฝั่ง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ฝุ่นละอองที่พัดมาจะมาจากการจราจรเนื่องจาก

บริเวณโดยรอบเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงของจังหวัดเพชรบุรี ดังนั้นฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จึงมีโอกาสร่วมกับฝุ่นละอองอื่นๆ ในพื้นที่ ทำให้ฝุ่นละอองมีส่วนประกอบขององค์ประกอบของแบล็คคาร์บอนสูงหรือสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งถือเป็น Non hygroscopic ทำให้ค่า Gf ในกลุ่ม Less hygroscopic จึงต่ำกว่าพื้นที่ชนบทในบริเวณอื่นๆ

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนของจำนวนฝุ่นละออง (Number fraction: Nf) ในกลุ่มของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.39 0.36 0.55 0.49 0.53 และ 0.60 และตามลำดับ ดังตารางที่ 16 และภาพที่ 33 ซึ่งค่า Nf มีแนวโน้มสูงขึ้นตามขนาดฝุ่นละอองสอดคล้องกับพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า Nf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode และกลุ่ม Accumulation mode พบว่าค่า Nf ของ Less hygroscopic ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode สูงกว่าในกลุ่ม Aitken mode แสดงว่าสัดส่วนขององค์ประกอบที่ไม่สามารถละลายน้ำได้หรือ Non hygroscopic จะอยู่ในกลุ่ม Accumulation mode มากกว่า เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีค่า Nf เท่ากับ 0.39 ซึ่งไม่ถึง 50% แสดงว่าสัดส่วนของฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็น More hygroscopic

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย Gf ในกลุ่มของ More hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.42 ± 0.19 1.27 ± 0.22 1.24 ± 0.09 1.25 ± 0.09 1.26 ± 0.09 และ 1.38 ± 0.28 ตามลำดับ ดังตารางที่ 16 และภาพที่ 32 ซึ่งมีค่าสูงกว่าในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างนั้นได้รับอิทธิพลจากทิศทางลมคือทางทิศใต้ ซึ่งมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 3.6-5.7 เมตรต่อวินาที โดยพบว่าลมจากทิศใต้เป็นลมที่พัดจากทะเลเข้าหาแผ่นดิน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ฝุ่นละอองที่พัดมาจะไอเกลือเป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองด้วย ทำให้ค่า Gf ในกลุ่มของ More hygroscopic มีค่าสูงกว่าในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า Gf ในฝุ่นละอองกลุ่ม Aitken mode และกลุ่ม Accumulation mode พบว่าฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีค่าสูงกว่า เนื่องจากค่า Nf ของ Less hygroscopic หรือสัดส่วนที่ไม่ละลายของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ต่ำกว่าในกลุ่ม Accumulation mode เช่น ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร มีค่า Nf เท่ากับ 0.39 ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุด (มีส่วนที่ละลายน้ำได้มากกว่า 60%) ทำให้ค่า Gf ในกลุ่มของ More hygroscopic มีค่าสูงที่สุด (1.42) แต่เมื่อพิจารณาฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร มีค่า Nf ของ Less hygroscopic เท่ากับ 0.6 (มีส่วนที่ละลายน้ำได้น้อยกว่า 40%) แต่ค่า Gf มีค่าใกล้เคียงกับฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร (1.38) แสดงว่าฝุ่นละอองที่ขนาด 250 นาโนเมตร จะมีองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น เกลืออนินทรีย์ หรือไอเกลือ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากทิศทาง

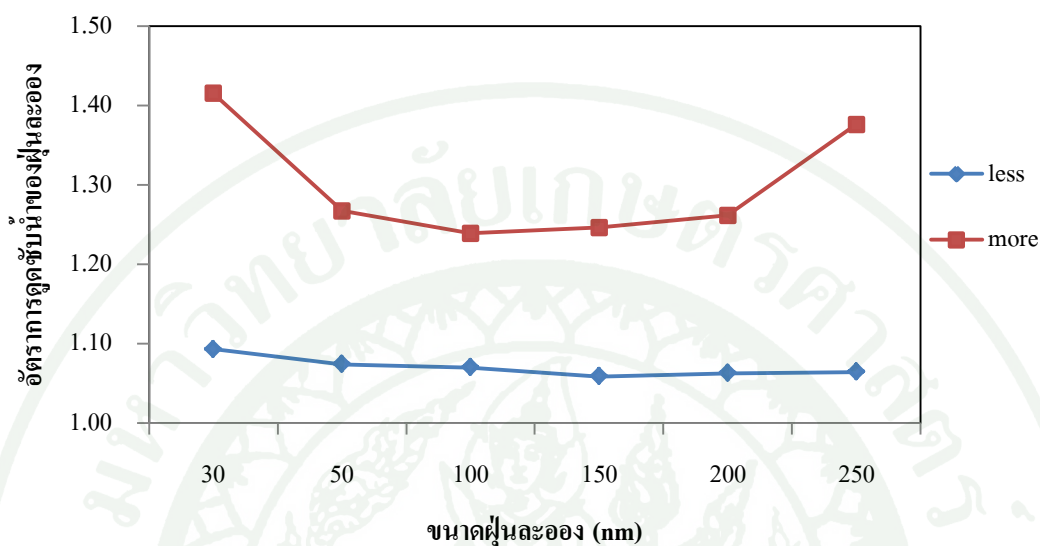
ของลมที่พัดจากทะเลเข้าหาแผ่นดินจึงมีความเป็นไปได้ว่าที่ฝุ่นละอองที่ขนาด 250 นาโนเมตร มีองค์ประกอบของเกลือผสมอยู่

ผลการวิเคราะห์ค่า Nf ในกลุ่มของ More hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.61 0.64 0.45 0.51 0.47 และ 0.40 ตามลำดับ ดังตารางที่ 16 และภาพที่ 33 ซึ่งค่า Nf มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นๆ เช่น บริเวณเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน ที่สภาวะอากาศที่มีความเป็นพิษระดับต่ำ (Meier *et al.*, 2009) พบว่ามีค่าใกล้เคียงและมีแนวโน้มเหมือนกัน แต่ในบริเวณพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ย มีค่า Nf สูงกว่า เนื่องจากในพื้นที่ศึกษาเป็นเขตชนบทและได้รับอิทธิพลจากไอเกลือ จึงมีส่วนขององค์ประกอบที่ละลายน้ำได้มากกว่า ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า Nf ของฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร มีค่า Nf ของ More hygroscopic เท่ากับ 0.40 แต่ค่า Gf มีค่าใกล้เคียงกับฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตรซึ่งมีค่า Gf สูงที่สุด จึงมีความเป็นไปได้ว่าค่า Nf เท่ากับ 0.40 ในกลุ่ม More hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร จะเป็นเกลืออนินทรีย์และเมื่อพิจารณาค่า Nf ของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode พบว่า ค่า Nf มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า Gf ในกลุ่ม More hygroscopic ที่มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น แสดงว่าในกลุ่ม Aitken mode ส่วนขององค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้จะอยู่ที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่า และเมื่อพิจารณาในกลุ่ม Accumulation mode พบว่า ค่า Nf มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น แต่ค่า Gf กลับเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นแสดงว่า ที่ขนาดฝุ่นละอองใหญ่ขึ้นจะมีองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้เช่นเกลือผสมอยู่

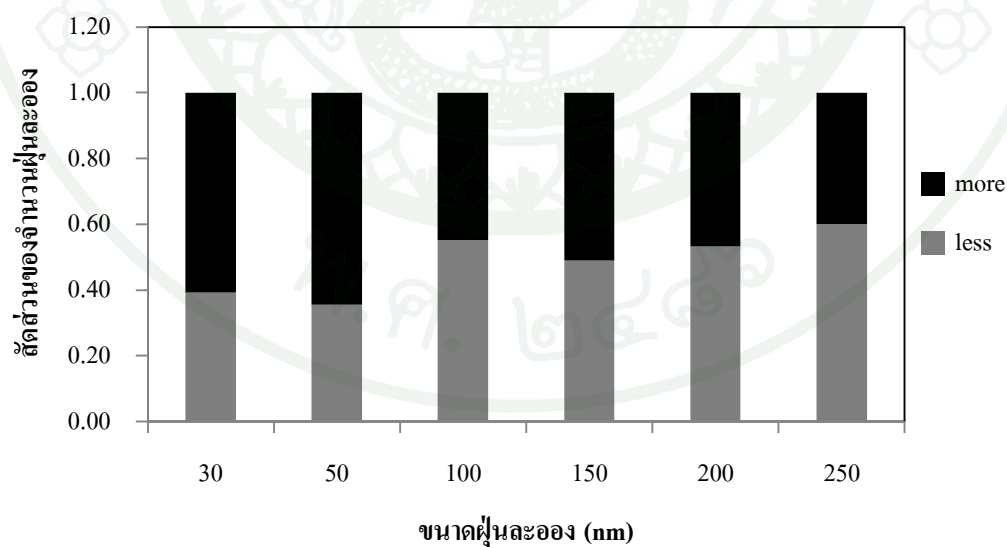
ตารางที่ 16 อัตราการดูดซับน้ำและสัดส่วนของจำนวนฝุ่นละอองบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเบ๊ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

สมบัติของฝุ่นละออง	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)					
	30	50	100	150	200	250
Growth factor						
- Less hygroscopic	1.09±0.03	1.07±0.04	1.07±0.04	1.06±0.04	1.06±0.04	1.06±0.03
- More hygroscopic	1.42±0.19	1.27±0.22	1.24 ±0.09	1.25 ±0.09	1.26±0.09	1.38 ±0.28
Number faction						
- Less hygroscopic	0.39	0.36	0.55	0.49	0.53	0.60
- More hygroscopic	0.61	0.64	0.45	0.51	0.47	0.40

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย G_f และ N_f ในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

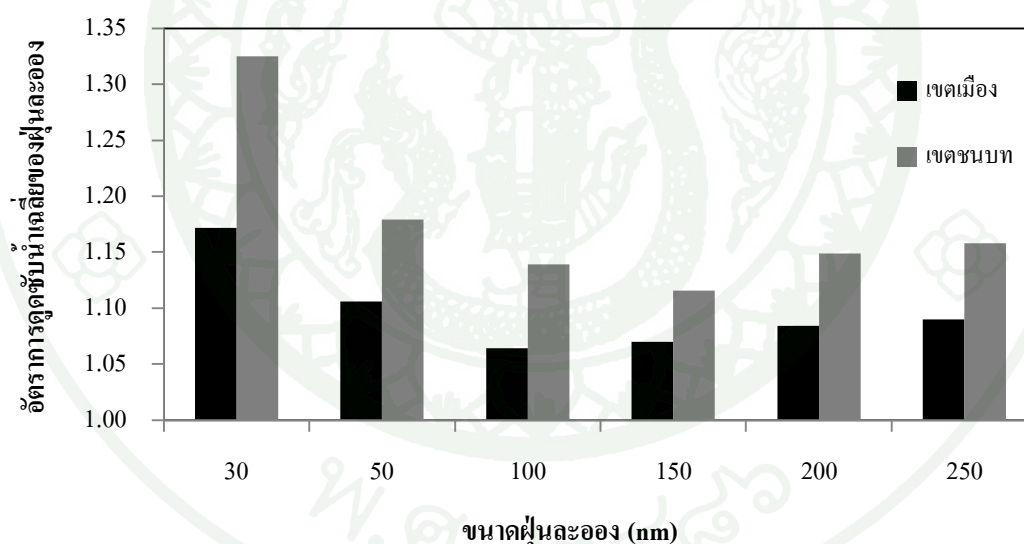


ภาพที่ 33 สัดส่วนของจำนวนฝุ่นละอองในกลุ่มของ Less hygroscopic และ More hygroscopic บริเวณพื้นที่ศึกษา โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

4. ความผันแปรของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง

4.1 ความแตกต่างของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองตามสถานที่

ในการศึกษาอิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง) และโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรีหรือโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย (เขตชนบท) ซึ่งอัตราการดูดซับน้ำ (G_f) เฉลี่ยของฝุ่นละอองในทั้ง 2 พื้นที่ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยค่า G_f ในบริเวณโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย มีค่าสูงกว่าค่า G_f ในบริเวณ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง) ในทุกขนาดของฝุ่นละออง (30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร) ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 อัตราการดูดซับน้ำเฉลี่ยของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานครและโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

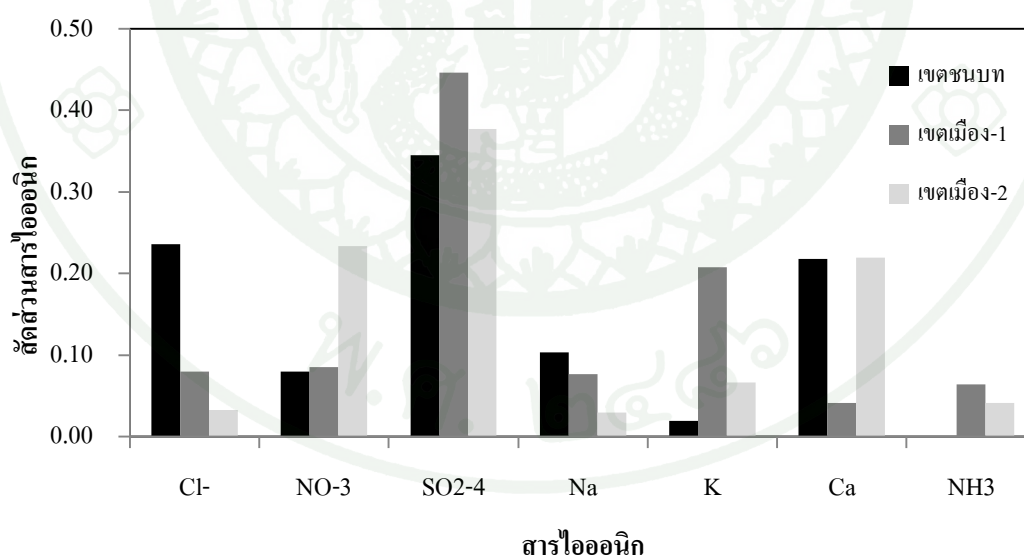
ฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น Hygroscopic หรือดูดซับน้ำได้ดี จะเป็นฝุ่นละอองประเภทเกลือ อนินทรีย์ (Inorganic salt) เช่น แอมโมเนียมไนเตรด แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และโซเดียมคลอไรด์ หรือสารไอออนิก โดยพบว่าสารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่น

ตัวสูงคือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรต และแอมโมเนียม เป็นต้น ซึ่งถ้าพบสารไอออนิกชนิดดังกล่าวในปริมาณสูงก็จะมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงด้วย (จิราภรณ์, 2551; วิศิษฎ์, 2555) ผลการวิเคราะห์สัดส่วนสารไอออนิกในฝุ่นละอองในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร และพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ยบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 สัดส่วนสารไอออนิกในฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษาเขตเมืองและเขตชนบท

พื้นที่ศึกษา	สัดส่วนสารไอออนิก							ที่มา
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na	K	Ca	NH ₃	
เขตชนบท	0.24	0.08	0.34	0.10	0.02	0.22	-	-
เขตเมือง-1	0.08	0.09	0.45	0.08	0.21	0.04	0.06	วิศิษฎ์ (2555)
เขตเมือง-2	0.03	0.23	0.38	0.03	0.07	0.22	0.04	จิราภรณ์ (2551)

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนสารไอออนิกในฝุ่นละอองในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร และพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ยบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร ดังภาพที่ 35



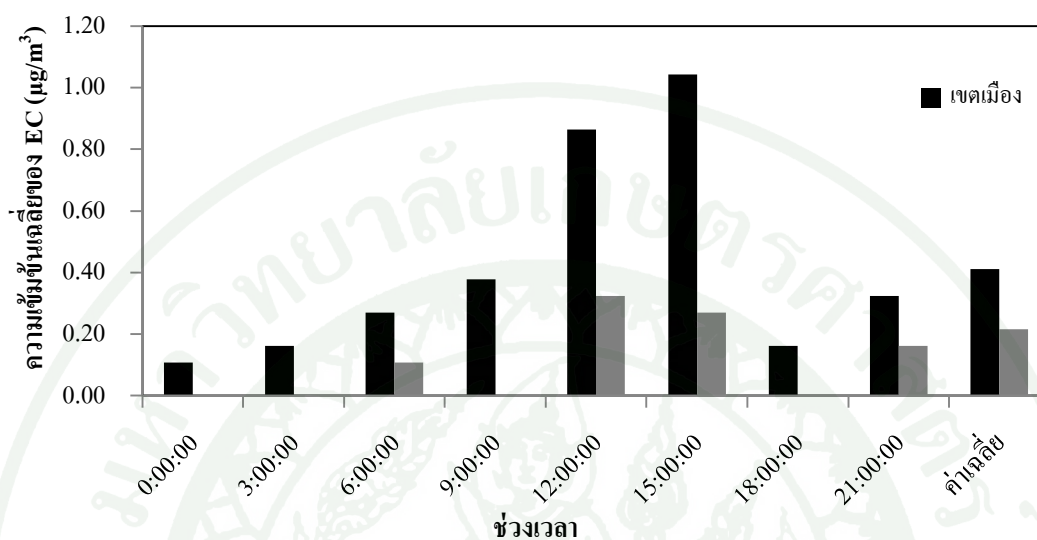
ภาพที่ 35 สัดส่วนสารไอออนิกในฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษาเขตเมืองและเขตชนบท

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนสารไอออนิกในฝุ่นละอองในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง-1,2) และพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ (เขตชนบท) จะพบว่า ฝุ่นละอองในบริเวณพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ มีสัดส่วนของสารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว (คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรต และแอมโมเนียม) สูงกว่าเขตเมือง คือ คลอไรด์ โซเดียม และแคลเซียม โดยเฉพาะคลอไรด์พบว่าสัดส่วนสูงกว่าพื้นที่เขตเมืองอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ ได้รับอิทธิพลจากไอเกลือทะเล จากผลการวิเคราะห์สัดส่วนสารไอออนิกที่แตกต่างกันระหว่างพื้นที่ศึกษา จึงทำให้อัตราการดูดซับน้ำ (G_f) เฉลี่ยของฝุ่นละอองในทั้ง 2 พื้นที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่า G_f เฉลี่ยในบริเวณโครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ มีค่าสูงกว่าค่า G_f ในบริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

ฝุ่นละอองที่มีสมบัติเป็น Non-hygroscopic หรือฝุ่นละอองที่มีสมบัติไม่ดูดซับน้ำ ได้แก่ ฝุ่นละอองจากดิน และฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากรถยนต์ โดยฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นจะมีธาตุคาร์บอน (EC) หรือแบล็คคาร์บอน (BC) สูง ถ้าเป็น EC ที่เพิ่งถูกปลดปล่อยมาใหม่ๆ จะมีสมบัติเป็น Hydrophobic คือ ไม่ชอบน้ำ โดยทั่วไปไม่สามารถทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ (Cloud condensation nuclei: CCN) ได้ (Massling *et al.*, 2009; McMeeking *et al.*, 2011; Ye *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2013; Tan *et al.*, 2013) ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ EC ในฝุ่นละอองบริเวณพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และพื้นที่โครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊จึงพบว่าความเข้มข้นของ EC ในฝุ่นละอองทั้ง 2 พื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC ในฝุ่นละอองบริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานครมีค่าสูงกว่าบริเวณโครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ โดยมีค่าเท่ากับ 0.41 ± 0.12 และ 0.22 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่งผลให้ค่า G_f ในบริเวณเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร มีค่าต่ำกว่าบริเวณโครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ ดังภาพที่ 36

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองในแต่ละสถานที่จะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง ในงานวิจัยนี้จึงพบว่า ค่า G_f เฉลี่ยในพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง) มีค่าต่ำกว่าโครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (เขตชนบท) เนื่องจากในเขตเมืองฝุ่นละอองมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีสมบัติเป็น Non-hygroscopic (EC) สูงกว่าพื้นที่ชนบท ในขณะที่พื้นที่

ชนบท องค์ประกอบทางเคมีที่มีสมบัติเป็น Hygroscopic (คลอไรด์ โซเดียม และแคลเซียม) สูงกว่าพื้นที่เขตเมือง



ภาพที่ 36 ความเข้มข้นเฉลี่ยของ EC ในฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเป็ด อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี

4.2 ความแตกต่างของอัตราการดูดซับน้ำตามขนาดของฝุ่นละออง

ในการศึกษาอิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่ คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง) และ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเป็ดอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรีหรือโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเป็ด (เขตชนบท) โดยศึกษาอัตราการดูดซับน้ำ (Gf) ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร พบว่าค่า Gf เฉลี่ยของฝุ่นละอองทุกขนาดมีค่าแตกต่างกันดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 อัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง) และ โครงการพระราชดำริฯ เหมสักกีย์อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (เขตชนบท)

อัตราการดูดซับน้ำ	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)					
	30	50	100	150	200	250
เขตเมือง						
-ค่าเฉลี่ย	1.17±0.12	1.11±0.06	1.06±0.05	1.07±0.04	1.08±0.07	1.09±0.11
เขตชนบท						
-ค่าเฉลี่ย	1.32±0.18	1.18±0.15	1.14±0.07	1.12±0.05	1.15±0.04	1.16±0.08

เมื่อพิจารณาค่า G_f ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร ในพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง) พบว่า ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (30 50 และ 100 นาโนเมตร) ค่า G_f เฉลี่ยของฝุ่นละอองจะลดลงเมื่อฝุ่นละอองใหญ่ขึ้น ซึ่งฝุ่นละอองขนาด 30 และ 50 นาโนเมตร มีค่า G_f เฉลี่ยสูงสุด และฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode (150 200 และ 250) พบว่าค่า G_f เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นตามขนาดฝุ่นละออง โดยมีค่า G_f เฉลี่ยสูงสุดที่ขนาด 250 นาโนเมตร

การที่ฝุ่นละอองในแต่ละขนาดมีอัตราการดูดซับน้ำแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการเกิดของฝุ่นละออง โดยพบว่าฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ซึ่งมีขนาดต่ำกว่า 100 นาโนเมตร เกิดจากกระบวนการ Gas to particle conversion คือ เปลี่ยนรูปจากก๊าซเป็นอนุภาค กระบวนการดังกล่าวจะมีโอกาสเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ พบว่าฝุ่นละอองในขนาด 50 นาโนเมตร มีความเข้มข้นเชิงจำนวนสูงสุด โดยกระบวนการ Gas to particle conversion ที่เกิดขึ้นในเขตเมือง ก๊าซต้นกำเนิดนั้นเป็นก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศในเขตเมืองอยู่แล้ว ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในรถยนต์หรือในโรงงานอุตสาหกรรมเช่น ออกไซด์ของไนโตรเจน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แอมโมเนีย (Wu, 2009) โดยก๊าซดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็นอนุภาคอย่างรวดเร็ว อาจทำปฏิกิริยากับก๊าซชนิดอื่น

จากกระบวนการเกิดดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีสมบัติเป็นเกลืออนินทรีย์ (Inorganic salt) หรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น ไนเตรต ซัลเฟต แอมโมเนียม ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากก๊าซตั้งต้นของปฏิกิริยาทั้งสิ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีค่า G_f เฉลี่ยสูง ในขณะที่ฝุ่นละอองในกลุ่ม

Accumulation mode ซึ่งมีขนาดมากกว่า 100-1000 นาโนเมตรเกิดจากการรวมตัวของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (Wu, 2009) และฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode ไม่ได้มาจากการรวมตัวกันของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode เพียงอย่างเดียว อาจมีการรวมกลุ่มกันระหว่างองค์ประกอบทางเคมีที่สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าการเกาะกลุ่มกันของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode นั้นเป็นสาเหตุที่ฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode จึงสามารถดูดซับน้ำได้ (Ye *et al.*, 2011) เช่นเดียวกับกลุ่ม Aitken mode และฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode พบว่าค่า G_f เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นตามขนาดฝุ่นละออง ซึ่งการที่ค่า G_f มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น Massling *et al.* (2009) ได้อธิบายไว้ว่าเมื่อขนาดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นจะสามารถบรรจุองค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้มาก ซึ่งในงานวิจัยนี้ค่า G_f เฉลี่ยของฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode สูงสุดที่ขนาด 250 นาโนเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang *et al.* (2011) ซึ่งพบว่าค่า G_f เฉลี่ยในกลุ่ม Accumulation mode มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามขนาดฝุ่นละออง

เมื่อพิจารณาค่า G_f ของฝุ่นละอองขนาด 30 50 100 150 200 และ 250 นาโนเมตร โครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี (เขตชนบท) พบว่า ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ค่า G_f เฉลี่ยของฝุ่นละอองลดลงเมื่อฝุ่นละอองใหญ่ขึ้นและมีค่า G_f เฉลี่ยสูงสุดที่ฝุ่นละอองขนาด 30 นาโนเมตร และฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode พบว่าค่า G_f เฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นตามขนาดฝุ่นละออง โดยมีค่า G_f เฉลี่ยสูงสุดที่ฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร

ฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ยมีลักษณะการเกิดแตกต่างกันไป โดยพบว่าฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode ซึ่งมีขนาดต่ำกว่า 100 นาโนเมตร เกิดจากกระบวนการ Gas to particle conversion คือ เปลี่ยนรูปจากก๊าซเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับในพื้นที่เขตเมือง ในบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย พบว่า มีสัดส่วนของซัลเฟตและไนเตรทสูง (ตารางที่ 15) โดยซัลเฟตมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากภาคการขนส่ง จากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้สสารเปลี่ยนสถานะเป็นอนุภาคในรูปของซัลเฟต และไนเตรทมีแหล่งกำเนิดมาจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากยานพาหนะ (จิราภรณ์, 2551; วิศิษฎ์, 2555) ซึ่งบริเวณพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ยจะมีผู้เข้าเยี่ยมชมโครงการตลอดเวลา และวันที่ทำการเก็บตัวอย่างนั้นเป็นช่วงวันเสาร์อาทิตย์ผู้เยี่ยมชมจะมีมากกว่าวันธรรมดา อีกทั้งบริเวณโดยรอบเป็นสถานที่ท่องเที่ยวซึ่งเมื่อพิจารณาจากทิศทางลมในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง จะมีลมพัดมาจากทางทิศใต้และทิศตะวันตกของจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีแหล่ง

ห้องเทวตากอากาศสำคัญจึงมีการจราจรเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าซัลเฟตที่ตรวจพบในพื้นที่ที่ศึกษามาจากการจราจรเป็นส่วนใหญ่ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode มีค่า Gf เฉลี่ยสูง ในขณะที่ฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode ซึ่งมีขนาดมากกว่า 100-1000 นาโนเมตร นอกจากจะเกิดจากการรวมตัวของฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode แล้ว ในพื้นที่ศึกษาโครงการพระราชดำริฯ แหลมฝักเปียจะได้รับอิทธิพลจากไอเกลือทะเล (Sea salt) โดยไอเกลือจะกระจายตัวอยู่ในช่วงขนาด 100-1000 นาโนเมตร (Institute for Atmospheric and Climate Science, 2013) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Heintzenberg (2003) ซึ่งพบว่าไอเกลืออยู่ในกลุ่ม Accumulation mode มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 200 นาโนเมตร จึงมีความเป็นไปได้ว่าค่า Gf เฉลี่ยในฝุ่นละอองกลุ่ม Accumulation mode จะได้รับอิทธิพลจากไอเกลือ โดยมีค่า Gf เฉลี่ยสูงสุดที่ฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Massling *et al.* (2007) ซึ่งหาอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองบริเวณใกล้ทะเล โดยพบว่าที่ฝุ่นละอองขนาด 250 นาโนเมตรเริ่มปรากฏค่า Gf ของไอเกลือ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในบรรยากาศจะมีฝุ่นละอองขนาดเล็กเจือปนอยู่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัวของเมฆ (Cloud condensation nuclei: CCN) การที่ฝุ่นละอองจะสามารถเป็นแกนกลั่นตัวของเมฆได้ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยคือ ขนาด จำนวน และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง กล่าวคือ ขนาดของฝุ่นละอองจะมีผลต่อการคงตัวของฝุ่นละอองในบรรยากาศ จำนวนของฝุ่นละอองต้องมีปริมาณพอเหมาะ รวมไปถึงฝุ่นละอองจะต้องมีสมบัติเป็น Hygroscopic คือมีความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยขนาด จำนวน และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง จะเปลี่ยนแปลงไปตามแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาอิทธิพลของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีต่อสมบัติการดูดซับน้ำ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ศึกษา 2 พื้นที่คือ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร (เขตเมือง) และ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรีหรือโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย (เขตชนบท) ด้วยเครื่องมือ H-TDMA โดยพบว่า การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ในพื้นที่เขตเมือง การกระจายตัวของฝุ่นละอองจะมีจำนวนอนุภาคสูงสุด ในฝุ่นละอองกลุ่ม Aiken mode (50 nm) เนื่องจากในพื้นที่เขตเมืองมีแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองจากการจราจร ในพื้นที่เขตชนบท การกระจายตัวของฝุ่นละอองเด่นชัดทั้ง 2 กลุ่ม คือ Aitken mode (50 nm) และ Accumulation mode (<100 nm) เนื่องจากในพื้นที่เขตชนบทมีแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมาจากเกษตรกรรม การจราจร รวมไปถึงไอเกลือจากทะเลด้วย และยังพบอีกว่ากลุ่มของฝุ่นละอองขนาด 30-100 นาโนเมตร ซึ่งเป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode จำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองจะมีค่าสูงในช่วงเวลากลางวัน และกลุ่มของฝุ่นละอองขนาด 150-250 นาโนเมตร เป็นฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation Mode จะมีจำนวนอนุภาคเฉลี่ยของฝุ่นละอองสูงในช่วงเวลากลางคืน เมื่อพิจารณาองค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละออง พบว่า ในพื้นที่เขตเมืองมีสัดส่วนความเข้มข้นของ EC สูงกว่า UVPM ดังนั้นแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองส่วนใหญ่มาจากการจราจร ในขณะที่ในพื้นที่เขตชนบท มีความแปรผันของสัดส่วนความเข้มข้นทั้ง EC และ UVPM ดังนั้นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง มาจากพื้นที่เกษตรกรรม และมาจากการจราจร สอดคล้องกับการกระจายตัวของฝุ่นละออง เมื่อพิจารณาอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองพบว่า โดยค่า Gf เฉลี่ยในพื้นที่เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร มีค่าต่ำกว่าโครงการพระราชดำริฯ แหลมผักเบี้ย เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง โดยในเขตเมืองฝุ่นละอองมีธาตุคาร์บอน(EC) ซึ่งมีสมบัติเป็น Non-hygroscopic สูงกว่าพื้นที่ชนบท

ในขณะที่พื้นที่ชนบทมีสัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิก คือ คลอไรด์ โซเดียม และแคลเซียม ซึ่งมีสมบัติเป็น Hygroscopic สูงกว่าพื้นที่เขตเมือง จึงทำให้ค่า Gf ในพื้นที่เขตเมืองต่ำกว่าเขตชนบท และฝุ่นละอองในกลุ่ม Aitken mode (30 50 100 nm) มีค่า Gf เฉลี่ยสูงกว่าฝุ่นละอองในกลุ่ม Accumulation mode (150 200 250 nm) เนื่องจากฝุ่นละอองทั้ง 2 กลุ่ม มีกระบวนการเกิดฝุ่นละอองที่แตกต่างกัน และยังพบอีกว่าเมื่อ ค่า Nf ในกลุ่ม More hygroscopic สูงขึ้นจะ ทำให้ ค่า Gf ของฝุ่นละอองสูงตามขึ้นไปด้วย ในขณะที่เดียวกันถ้าค่า Nf ในกลุ่ม Less hygroscopic สูงขึ้นจะทำให้ค่า Gf ของฝุ่นละอองลดลงตามขึ้นไปด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี ขนาด และจำนวนของฝุ่นละออง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาอัตราการดูดซับน้ำโดยมีการแปรผันความชื้นสัมพัทธ์
2. ควรมีการศึกษาอัตราการดูดซับน้ำในฝุ่นละอองในพื้นที่ที่แตกต่างกัน เช่น ในนิคมอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน เช่น ปิโตรเคมี สารเคมี อาหาร เป็นต้น หรือในพื้นที่เหมืองที่แตกต่างกันเช่น เหมืองหินปูน เหมืองทองคำ เหมืองแร่ต่างๆ เป็นต้น
3. ควรมีการศึกษาอัตราการดูดซับน้ำในฝุ่นละอองในช่วงเวลาแตกต่างกัน เช่น การศึกษาตามฤดูกาล
4. ควรมีการศึกษาอัตราการดูดซับน้ำในฝุ่นละอองตามระดับความสูงที่แตกต่างกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กัลยากร ตั้งอุไรวรรณ. 2549. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ในจังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กิตติชัย จำรูญ. 2548. การแพร่กระจายของฝุ่นละอองตามแนวเส้นทางโครงการระบบขนส่งมวลชน กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกษม จันทรแก้ว. 2526. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จิราภรณ์ ทิพคุณ. 2551. การเปลี่ยนแปลงสารที่เป็นแกนกลั่นตัวตามชั้นบรรยากาศในเขตเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นฤมล แก้วจำปา. 2546. การประเมินศักยภาพและโอกาสการเกิดฝน บริเวณภาคเหนือของประเทศไทยโดยอาศัยค่าพลังงานแสงอาทิตย์สุทธิ และค่าดัชนีเสถียรภาพอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชัย เทียนน้อย. 2521. ภูมิอากาศวิทยา. สำนักพิมพ์อักษรวัฒนา, กรุงเทพฯ.
- วิศิษฎ์ ชายอืด. 2555. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและสารไอออนิกของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามแนวเส้นทางเดินรถของระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วัชรเดช ไทยวัฒน์. 2552. การทำนายการกระจายตัวของฝุ่นละอองจากโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่เพื่อการประเมินค่าดัชนีคุณภาพอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุพร มณฑาสวรรณ. 2552. ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของคาร์บอน และความเข้มข้นของฝุ่นละอองกับลักษณะของชั้นบรรยากาศในเขตเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักอุตุนิยมวิทยาและบริหารน้ำ. 2542. หนังสือคู่มืออุตุนิยมวิทยา. สำนักอุตุนิยมวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ.

Ahmed, T., V.A. Dutkiewicz, A. Shareef, G.Tuncel, S. Tuncel and L. Husain. 2009. Measurement of black carbon (BC) by an optical method and a thermal-optical method: Intercomparison for four sites. **Atmos. Environ.** 43: 6305-6311.

Berg, O.H., E. Swietlicki and R. Krejci. 1998. Hygroscopic growth of aerosol particles in the marine boundary layer over the Pacific and Southern Oceans during the First Aerosol Characterization Experiment (ACE 1). **J. Geophys. Res. Atmos.** 103: 16535-16545.

Chen, Y.Y. and W.W.G. Lee. 1999. Hygroscopic properties of inorganic-salt aerosol with surface-active organic compound. **Chemosphere** 38: 2431-2448.

Chen, L.Y., F.T. Jeng, C.C. Chen and T.C. Hsiao. 2003. Hygroscopic behavior of atmospheric aerosol in Taipei. **Atmospheric Environment** 37: 2069-2075.

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.

Eleftheriadis, K., I. Colbeck, C. Housiadas, M. Lazaridis, N. Mihalopoulos, C. Mitsakou, J. Smolke and V. Zdimale. 2006. Size distribution, composition and origin of the submicron aerosol in the marine boundary layer during the eastern Mediterranean “SUB-AERO” experiment. **Atmos. Environ.** 40: 6245-6260.

Ferron, G.A., E. Karg, B. Busch and J. Heyder. 2005. Ambient particles at an urban, semi-urban and rural site in Central Europe: hygroscopic properties. **Atmos. Environ.** 39: 343–352.

Heintzenberg, J. 2003. **Encyclopedia of Atmospheric Sciences**. Academic Press, New York, USA.

Institute for Atmospheric and Climate Science. 2013. **Aerosol particles**. Available Source: http://www.iac.ethz.ch/edu/courses/bachelor/vertiefung/atmospheric_physics, October 15, 2014.

Kerminen, V.M. 1996. The effects of particle chemical character and atmosphere process on particle hygroscopic properties. **Aerosol Sci.** 28(1): 121-132.

Keuken, M.P., S. Jonkers, P. Zandveld, M. Voogt and S. Elshout van den. 2012. Elemental Carbon as an Indicator for Evaluating the Impact of Traffic Measures on Air Quality and Health. **Atmos. Environ.** 61: 1-8.

Liu, D., J. Allan, J. Whitehead, D. Young¹, M. Flynn¹, H. Coe¹, G. McFiggans, Z.L. Fleming and B. Bandy. 2013. Ambient black carbon particle hygroscopic properties controlled by mixing state and composition. **Atmos. Chem. Phys.** 13:2015–2029.

Lohmann, U. and J. Feichter. 2005. Global indirect aerosol effects: a review. **Atmos. Chem. Phys.** 5: 715-737.

Massling A., A. Wiedensohler, B. Busch, C. Neususs and P. Quinn. 2003. Hygroscopic properties of different aerosol types over the Atlantic and Indian Oceans. **Atmos. Chem. Phys.** 3: 1377–1397.

- , M. Stock and A. Wiedensohler. 2005. Diurnal, weekly, and seasonal variation of hygroscopic properties of submicrometer urban aerosol particles. **Atmospheric Environment** 39: 3911–3922.
- , S. Leinert, A. Wiedensohler and D. Covert. 2007. Hygroscopic growth of sub-micrometer and one-micrometer aerosol particles measured during ACE-Asia. **Atmos. Chem. Phys.** 7: 3249–3259.
- , M. Stock, B. Wehner, Z.J. Wu, M. Hu, E. Brüggemann, T. Gnauk, H. Herrmann and A. Wiedensohler. 2009. Size segregated water uptake of the urban submicrometer aerosol in Beijing. **Atmospheric Environment** 43:1578–1589.
- McMeeking, G.R., N. Good, M.D. Petters, G. McFiggans, and H. Coe. 2011. Influences on the fraction of hydrophobic and hydrophilic black carbon in the atmosphere. **Atmos. Chem. Phys.** 11: 5099–5112.
- Meier, J., B. Wehner, A. Massling, W. Birmili, A. Nowak, T. Gnauk, E. Brüggemann, H. Herrmann, H. Min and A. Wiedensohler. 2009. Hygroscopic growth of urban aerosol particles in Beijing (China) during wintertime: a comparison of three experimental methods. **Atmos. Chem. Phys.** 9: 6865–6880.
- Petaja, T., V.M. Kerminen, K. Hameri, P. Vaattovaara and J. Joutsensaari. 2005. Effects of SO₂ oxidation on ambient aerosol growth in water and ethanol vapours. **Atmos. Chem. Phys.** 5:767–779.
- Raes, F., R. Van Dingenen, E. Vignati, J. Wilson, J.P. Putaud, J.H. Seinfeld and P. Adams. 2000. Formation and cycling of aerosols in the global troposphere. **Atmos. Environ.** 34: 4215–4240.

- Sasaki, K. and K. Sakamoto. 2005. Vertical differences in the composition of PM_{10} and $PM_{2.5}$ in the urban atmosphere of Osaka, Japan. **Atmospheric Environment** 39: 7240–7250.
- Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis. 1995. **Atmospheric chemistry and physics**. Wiley Press, New York.
- Sumner, G. 1988. **Precipitation Process and Analysis**. The Bath Press Bath, Great Britain.
- Svenningsson, B., H.C. Hansson, A. Wiedensohler, K. Noone. and J. Ogren. 1994. Hygroscopic growth of aerosol-particles and its influence on nucleation scavenging in-cloud- experimental results from Kleiner-Feldberg. **J. Atmos. Chem.** 19: 129–152.
- , B., H.C. Hansson, B. Martinsson, A. Wiedensohler, E. Swiwtlicki, S.I. Cederfelt, K.N. Bower, T.W. Choularton and R.N. Colvile. 1997. Cloud droplet nucleation scavenging in relation to the size and hygroscopic behavior of aerosol particles. **Atmos. Environ** 16: 2463-2475.
- 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.
- , H.C. Hansson, K. Hameri, B. Svenningsson, A. Massling , G. McFiggans, P.H. McMurry, T. Petaja, P. Tunved, M. Gysel, D. Topping, E. Weingartner, U. Baltensperger, J. Rissler, A. Wiedensohler and M. Kulmala. 2008. Hygroscopic properties of submicrometer atmospheric aerosol particles measured with H-TDMA instruments in various environments -a review. **Tellus Series B-Chemical and Physical Meteorology** 60: 432–446.

- Szidat, S., M. Ruffl, N. Perron, L. Wacker, H.A. Synal, M. Hallquist, A.S. Shannigrahi, K.E. Yttri, C. Dye and D. Simpson. 2009. Fossil and Non-Fossil Sources of Organic Carbon (OC) and Elemental Carbon (EC) in Goteborg, Sweden. **Atmos. Chem. Phys.** 9: 1521-1535.
- Tan, H., Y. Yin, X. Gu, F. Li, P.W. Chan, H. Xu, X. Deng, and Q. Wan. 2013. An observational study of the hygroscopic properties of aerosols over the Pearl River Delta region. **Atmospheric Environment** 77: 817-826.
- United State Environmental Protection Agency. 1996a. **Air quanlity criteria for particulate matter**. Volumn 1. Triangle Park, Washington DC.
- . 1996b. **Air quanlity criteria for particulate matter**. Volumn 3. Triangle Park, Washington DC.
- Wang, Y., P.K. Hopke, O.V. Rattigan, X. Xia, D.C. Chalupa and M.J. Utell. 2011. Characterization of Residential Wood Combustion Particles Using the Two-Wavelength Aethalometer. **Environ. Sci. Technol** 45:7387-7393.
- Wangkiat, A. 2002. **Source receptor modeling of particulate matter in Mae Moh area**. Doctor of philosophy dissertation, The joint graduate school of energy and environment King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Wilson, W.E. and Suh H.H. 1997. Fine Particles and Coarse Particles: Concentration Relationships Relevant to Epidemiologic Studies. **Journal of the Air & Waste Management Association**. 47: 1238-1249.
- Wu, C.H. 2009. **Atmospheric Aerosol**. Available Source: <http://aerosol.ees.ufl.edu/default.htm>, October 15, 2014.

- Ye, X., Z. Ma, D. Hu, X. Yang and J. Chen. 2011. Size-resolved hygroscopicity of submicrometer urban aerosols in Shanghai during wintertime. **Atmospheric Research** 99: 353–364.
- Zhang, X.Q., P.H. McMurry, S.V. Hering and G.S. Casuccio. 1993. Mixing characteristics and water-content of submicron aerosols measured in Los-Angeles and at the Grand-Canyon. **Atmos. Environ.** 27: 1593–1607.
- Zhang, J., L. Wang, J. Chen, S. Feng, J. Shen and L. Jiao. 2011. Hygroscopicity of ambient submicron particles in urban Hangzhou, China. **Front. Environ. Sci. Engin. China** 5: 342–347.
- Zhenxing, S., S. Junji and C. Richad. 2009. Ionic composition of TSP and PM_{2.5} during dust storms and air pollution episodes at Xi'an China. **Atmospheric Environment** 43 :2911-2918.
- Zhou, J.C., E. Swietlicki, O.H. Berg, P.P. Aalto and K. Hameri. 2001. Hygroscopic properties of aerosol particles over the central Arctic Ocean during summer. **J. Geophys. Res. Atmos.** 106: 32111-32123.





ตารางผนวกที่ ก1 อัตราการดูดซับน้ำของฟ่ຸนละออง บริเวณพื้นที่ศึกษา เขตจตุจักรกรุงเทพมหานคร

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฟ่ຸนละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
20/5/2014	12.00-15.00	30	1.12
20/5/2014	12.00-15.00	50	1.02
20/5/2014	12.00-15.00	100	1.11
20/5/2014	12.00-15.00	150	1.04
20/5/2014	12.00-15.00	200	1.04
20/5/2014	12.00-15.00	250	1.02
20/5/2014	15.00-18.00	30	1.31
20/5/2014	15.00-18.00	50	1.00
20/5/2014	15.00-18.00	100	1.01
20/5/2014	15.00-18.00	150	1.05
20/5/2014	15.00-18.00	200	1.02
20/5/2014	15.00-18.00	250	1.07
20/5/2014	18.00-21.00	30	1.11
20/5/2014	18.00-21.00	50	1.09
20/5/2014	18.00-21.00	100	1.27
20/5/2014	18.00-21.00	150	1.19
20/5/2014	18.00-21.00	200	1.15
20/5/2014	18.00-21.00	250	1.15
20/5/2014	21.00-00.00	30	1.01
20/5/2014	21.00-00.00	50	1.45
20/5/2014	21.00-00.00	100	1.05
20/5/2014	21.00-00.00	150	1.00
20/5/2014	21.00-00.00	200	1.03
20/5/2014	21.00-00.00	250	1.19
21/5/2014	00.00-03.00	30	1.01
21/5/2014	00.00-03.00	50	1.07
21/5/2014	00.00-03.00	100	1.00
21/5/2014	00.00-03.00	150	1.07
21/5/2014	00.00-03.00	200	1.04
21/5/2014	00.00-03.00	250	1.02

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
21/5/2014	03.00-06.00	30	1.01
21/5/2014	03.00-06.00	50	1.12
21/5/2014	03.00-06.00	100	1.03
21/5/2014	03.00-06.00	150	1.15
21/5/2014	03.00-06.00	200	1.01
21/5/2014	03.00-06.00	250	1.15
21/5/2014	06.00-09.00	30	1.17
21/5/2014	06.00-09.00	50	1.02
21/5/2014	06.00-09.00	100	1.00
21/5/2014	06.00-09.00	150	1.14
21/5/2014	06.00-09.00	200	1.02
21/5/2014	06.00-09.00	250	1.02
21/5/2014	09.00-12.00	30	1.17
21/5/2014	09.00-12.00	50	1.16
21/5/2014	09.00-12.00	100	1.11
21/5/2014	09.00-12.00	150	1.02
21/5/2014	09.00-12.00	200	1.01
21/5/2014	09.00-12.00	250	1.05
21/5/2014	12.00-15.00	30	1.02
21/5/2014	12.00-15.00	50	1.15
21/5/2014	12.00-15.00	100	1.03
21/5/2014	12.00-15.00	150	1.00
21/5/2014	12.00-15.00	200	1.00
21/5/2014	12.00-15.00	250	0.79
21/5/2014	15.00-18.00	30	1.06
21/5/2014	15.00-18.00	50	1.03
21/5/2014	15.00-18.00	100	1.00
21/5/2014	15.00-18.00	150	1.06
21/5/2014	15.00-18.00	200	1.06
21/5/2014	15.00-18.00	250	1.01

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
21/5/2014	18.00-21.00	30	1.98
21/5/2014	18.00-21.00	50	1.21
21/5/2014	18.00-21.00	100	1.10
21/5/2014	18.00-21.00	150	1.01
21/5/2014	18.00-21.00	200	1.03
21/5/2014	18.00-21.00	250	1.00
21/5/2014	21.00-00.00	30	1.02
21/5/2014	21.00-00.00	50	1.01
21/5/2014	21.00-00.00	100	1.12
21/5/2014	21.00-00.00	150	1.46
21/5/2014	21.00-00.00	200	1.07
21/5/2014	21.00-00.00	250	1.01
22/5/2014	00.00-03.00	30	1.27
22/5/2014	00.00-03.00	50	1.35
22/5/2014	00.00-03.00	100	1.09
22/5/2014	00.00-03.00	150	1.14
22/5/2014	00.00-03.00	200	1.34
22/5/2014	00.00-03.00	250	1.05
22/5/2014	03.00-06.00	30	1.09
22/5/2014	03.00-06.00	50	1.35
22/5/2014	03.00-06.00	100	1.05
22/5/2014	03.00-06.00	150	1.08
22/5/2014	03.00-06.00	200	1.04
22/5/2014	03.00-06.00	250	1.10
22/5/2014	06.00-09.00	30	1.00
22/5/2014	06.00-09.00	50	1.09
22/5/2014	06.00-09.00	100	1.00
22/5/2014	06.00-09.00	150	1.03
22/5/2014	06.00-09.00	200	1.07
22/5/2014	06.00-09.00	250	1.07

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
22/5/2014	09.00-12.00	30	1.05
22/5/2014	09.00-12.00	50	1.01
22/5/2014	09.00-12.00	100	1.04
22/5/2014	09.00-12.00	150	1.08
22/5/2014	09.00-12.00	200	1.24
22/5/2014	09.00-12.00	250	1.00
22/5/2014	12.00-15.00	30	1.17
22/5/2014	12.00-15.00	50	1.05
22/5/2014	12.00-15.00	100	1.22
22/5/2014	12.00-15.00	150	1.05
22/5/2014	12.00-15.00	200	1.02
22/5/2014	12.00-15.00	250	1.09
22/5/2014	15.00-18.00	30	1.31
22/5/2014	15.00-18.00	50	1.07
22/5/2014	15.00-18.00	100	1.02
22/5/2014	15.00-18.00	150	1.02
22/5/2014	15.00-18.00	200	1.11
22/5/2014	15.00-18.00	250	1.01
22/5/2014	18.00-21.00	30	1.04
22/5/2014	18.00-21.00	50	1.03
22/5/2014	18.00-21.00	100	1.05
22/5/2014	18.00-21.00	150	1.09
22/5/2014	18.00-21.00	200	1.01
22/5/2014	18.00-21.00	250	1.03
22/5/2014	21.00-00.00	30	1.08
22/5/2014	21.00-00.00	50	1.04
22/5/2014	21.00-00.00	100	1.12
22/5/2014	21.00-00.00	150	1.10
22/5/2014	21.00-00.00	200	1.12
22/5/2014	21.00-00.00	250	1.69

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
23/5/2014	00.00-03.00	30	1.63
23/5/2014	00.00-03.00	50	1.18
23/5/2014	00.00-03.00	100	1.05
23/5/2014	00.00-03.00	150	1.06
23/5/2014	00.00-03.00	200	1.34
23/5/2014	00.00-03.00	250	1.11
23/5/2014	03.00-06.00	30	1.24
23/5/2014	03.00-06.00	50	1.00
23/5/2014	03.00-06.00	100	1.04
23/5/2014	03.00-06.00	150	1.03
23/5/2014	03.00-06.00	200	1.02
23/5/2014	03.00-06.00	250	1.02
23/5/2014	06.00-09.00	30	1.21
23/5/2014	06.00-09.00	50	1.02
23/5/2014	06.00-09.00	100	1.06
23/5/2014	06.00-09.00	150	1.00
23/5/2014	06.00-09.00	200	1.15
23/5/2014	06.00-09.00	250	1.07
23/5/2014	09.00-12.00	30	1.04
23/5/2014	09.00-12.00	50	1.01
23/5/2014	09.00-12.00	100	0.98
23/5/2014	09.00-12.00	150	1.01
23/5/2014	09.00-12.00	200	1.05
23/5/2014	09.00-12.00	250	1.00

**ตารางผนวกที่ ก2 อัตราการดูดซับน้ำของฟຸ່ນละออง บริเวณพื้นที่ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา
สิ่งแวดลຸ່อม แหลมฝักเบี๊ยะอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัด
เพชรบุรี**

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฟຸ່ນละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
24/5/2014	12.00-15.00	30	1.22
24/5/2014	12.00-15.00	50	1.17
24/5/2014	12.00-15.00	100	1.16
24/5/2014	12.00-15.00	150	1.04
24/5/2014	12.00-15.00	200	1.08
24/5/2014	12.00-15.00	250	1.07
24/5/2014	15.00-18.00	30	1.56
24/5/2014	15.00-18.00	50	1.15
24/5/2014	15.00-18.00	100	1.26
24/5/2014	15.00-18.00	150	1.02
24/5/2014	15.00-18.00	200	1.33
24/5/2014	15.00-18.00	250	0.88
24/5/2014	18.00-21.00	30	1.29
24/5/2014	18.00-21.00	50	1.11
24/5/2014	18.00-21.00	100	1.13
24/5/2014	18.00-21.00	150	1.01
24/5/2014	18.00-21.00	200	1.09
24/5/2014	18.00-21.00	250	1.11
24/5/2014	21.00-00.00	30	1.14
24/5/2014	21.00-00.00	50	1.30
24/5/2014	21.00-00.00	100	1.06
24/5/2014	21.00-00.00	150	1.01
24/5/2014	21.00-00.00	200	1.15
24/5/2014	21.00-00.00	250	1.20
25/5/2014	00.00-03.00	30	1.61
25/5/2014	00.00-03.00	50	1.16
25/5/2014	00.00-03.00	100	1.16
25/5/2014	00.00-03.00	150	1.33

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
25/5/2014	00.00-03.00	200	1.31
25/5/2014	00.00-03.00	250	1.08
25/5/2014	03.00-06.00	30	1.08
25/5/2014	03.00-06.00	50	1.95
25/5/2014	03.00-06.00	100	1.28
25/5/2014	03.00-06.00	150	1.07
25/5/2014	03.00-06.00	200	1.19
25/5/2014	03.00-06.00	250	1.27
25/5/2014	06.00-09.00	30	1.69
25/5/2014	06.00-09.00	50	1.10
25/5/2014	06.00-09.00	100	1.06
25/5/2014	06.00-09.00	150	1.06
25/5/2014	06.00-09.00	200	1.03
25/5/2014	06.00-09.00	250	1.05
25/5/2014	09.00-12.00	30	1.12
25/5/2014	09.00-12.00	50	1.13
25/5/2014	09.00-12.00	100	1.01
25/5/2014	09.00-12.00	150	1.09
25/5/2014	09.00-12.00	200	1.00
25/5/2014	09.00-12.00	250	1.09
25/5/2014	12.00-15.00	30	0.89
25/5/2014	12.00-15.00	50	1.20
25/5/2014	12.00-15.00	100	1.34
25/5/2014	12.00-15.00	150	1.13
25/5/2014	12.00-15.00	200	1.08
25/5/2014	12.00-15.00	250	1.07
25/5/2014	15.00-18.00	30	1.20
25/5/2014	15.00-18.00	50	1.04
25/5/2014	15.00-18.00	100	1.13

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
25/5/2014	15.00-18.00	150	1.14
25/5/2014	15.00-18.00	200	1.03
25/5/2014	15.00-18.00	250	1.09
25/5/2014	18.00-21.00	30	0.94
25/5/2014	18.00-21.00	50	1.35
25/5/2014	18.00-21.00	100	1.19
25/5/2014	18.00-21.00	150	1.38
25/5/2014	18.00-21.00	200	1.10
25/5/2014	18.00-21.00	250	1.04
25/5/2014	21.00-00.00	30	1.23
25/5/2014	21.00-00.00	50	1.02
25/5/2014	21.00-00.00	100	1.05
25/5/2014	21.00-00.00	150	1.16
25/5/2014	21.00-00.00	200	1.29
25/5/2014	21.00-00.00	250	1.06
26/5/2014	00.00-03.00	30	1.03
26/5/2014	00.00-03.00	50	1.04
26/5/2014	00.00-03.00	100	1.18
26/5/2014	00.00-03.00	150	1.06
26/5/2014	00.00-03.00	200	1.11
26/5/2014	00.00-03.00	250	1.72
26/5/2014	03.00-06.00	30	2.10
26/5/2014	03.00-06.00	50	1.18
26/5/2014	03.00-06.00	100	1.04
26/5/2014	03.00-06.00	150	1.16
26/5/2014	03.00-06.00	200	1.18
26/5/2014	03.00-06.00	250	1.07
26/5/2014	06.00-09.00	30	1.06
26/5/2014	06.00-09.00	50	1.11
26/5/2014	06.00-09.00	100	1.01

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
26/5/2014	06.00-09.00	200	1.27
26/5/2014	06.00-09.00	250	1.76
26/5/2014	09.00-12.00	30	1.07
26/5/2014	09.00-12.00	50	1.05
26/5/2014	09.00-12.00	100	1.06
26/5/2014	09.00-12.00	150	1.00
26/5/2014	09.00-12.00	200	1.10
26/5/2014	09.00-12.00	250	0.93
26/5/2014	12.00-15.00	30	1.08
26/5/2014	12.00-15.00	50	1.17
26/5/2014	12.00-15.00	100	1.04
26/5/2014	12.00-15.00	150	1.04
26/5/2014	12.00-15.00	200	1.07
26/5/2014	12.00-15.00	250	1.05
26/5/2014	15.00-18.00	30	1.27
26/5/2014	15.00-18.00	50	1.16
26/5/2014	15.00-18.00	100	1.03
26/5/2014	15.00-18.00	150	1.28
26/5/2014	15.00-18.00	200	1.21
26/5/2014	15.00-18.00	250	0.99
26/5/2014	18.00-21.00	30	1.09
26/5/2014	18.00-21.00	50	1.06
26/5/2014	18.00-21.00	100	1.00
26/5/2014	18.00-21.00	150	1.00
26/5/2014	18.00-21.00	200	1.20
26/5/2014	18.00-21.00	250	1.15
26/5/2014	21.00-00.00	30	1.09
26/5/2014	21.00-00.00	50	1.09
26/5/2014	21.00-00.00	100	1.12
26/5/2014	21.00-00.00	150	1.18

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

วันที่	เวลา (นาฬิกา)	ขนาดฝุ่นละออง (นาโนเมตร)	อัตราการดูดซับน้ำ
26/5/2014	21.00-00.00	250	1.16
27/5/2014	00.00-03.00	30	1.31
27/5/2014	00.00-03.00	50	1.04
27/5/2014	00.00-03.00	100	1.00
27/5/2014	00.00-03.00	150	1.06
27/5/2014	00.00-03.00	200	1.04
27/5/2014	00.00-03.00	250	1.02
27/5/2014	03.00-06.00	30	1.63
27/5/2014	03.00-06.00	50	1.06
27/5/2014	03.00-06.00	100	1.09
27/5/2014	03.00-06.00	150	1.02
27/5/2014	03.00-06.00	200	1.06
27/5/2014	03.00-06.00	250	1.00
27/5/2014	06.00-09.00	30	1.65
27/5/2014	06.00-09.00	50	1.26
27/5/2014	06.00-09.00	100	1.12
27/5/2014	06.00-09.00	150	1.03
27/5/2014	06.00-09.00	200	1.02
27/5/2014	06.00-09.00	250	1.03
27/5/2014	09.00-12.00	30	1.31
27/5/2014	09.00-12.00	50	1.18
27/5/2014	09.00-12.00	100	1.16
27/5/2014	09.00-12.00	150	1.12
27/5/2014	09.00-12.00	200	1.13
27/5/2014	09.00-12.00	250	1.05



ตารางผนวกที่ ข1 การวิเคราะห์ความแตกต่างความเข้มข้นเชิงจำนวนของฝุ่นละอองระหว่างพื้นที่ศึกษา
เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯ แลนด์ฟักเบียร์ ด้วยวิธี t-Test:
Two-Sample Assuming Unequal Variances

	1231.943333	1014.3
Mean	3657.100762	653.5671429
Variance	5895368.867	57512.77642
Observations	7	7
Hypothesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	3.257001012	
P(T<=t) one-tail	0.008656865	
t Critical one-tail	1.943180274	
P(T<=t) two-tail	0.01731373	
t Critical two-tail	2.446911846	

ตารางผนวกที่ ข2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของอัตราการดูดซับน้ำของฝุ่นละอองระหว่างพื้นที่ศึกษา
เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯ แลนด์ฟักเบียร์ ด้วยวิธี t-Test:
Two-Sample Assuming Equal Variances

	1.324998909	1.171989152
Mean	1.148079284	1.082887075
Variance	0.000547166	0.000271113
Observations	5	5
Pooled Variance	0.000409139	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	8	
t Stat	5.096006778	
P(T<=t) one-tail	0.000467224	
t Critical one-tail	1.859548033	
P(T<=t) two-tail	0.000934448	
t Critical two-tail	2.306004133	

ตารางผนวกที่ ข3 การวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของ EC ระหว่างพื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ ด้วยวิธี t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	0.107898092	0
Mean	0.457282391	0.123312106
Variance	0.123626935	0.018155974
Observations	7	7
Hypothesized Mean Difference	0	
df	8	
t Stat	2.346631565	
P(T<=t) one-tail	0.023463682	
t Critical one-tail	1.859548033	
P(T<=t) two-tail	0.046927364	
t Critical two-tail	2.306004133	

ตารางผนวกที่ ข4 การวิเคราะห์ความแตกต่างของความเข้มข้นของ UVP ระหว่างพื้นที่ศึกษาเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร และ โครงการพระราชดำริฯ แห่มฝักเบ๊ ด้วยวิธี t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	0.09068903	0.09068903
Mean	0.150068751	0.126316863
Variance	0.00200717	0.009056741
Observations	7	7
Hypothesized Mean Difference	0	
df	9	
t Stat	0.597437991	
P(T<=t) one-tail	0.282470824	
t Critical one-tail	1.833112923	
P(T<=t) two-tail	0.564941649	
t Critical two-tail	2.262157158	

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวชญพร พิษฟู
วัน เดือน ปี	17 ธันวาคม พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	จังหวัด พังงา
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (จุลชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนการวิจัยจากโครงการติดตามลักษณะทาง อุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดินและมลสารทางอากาศ สำหรับประเทศไทย