

การเปลี่ยนแปลงสารที่เป็นแกนกลั่นตัวตามชั้นบรรยากาศในเขตเมือง



นางสาวจิราภรณ์ ทิพคุณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

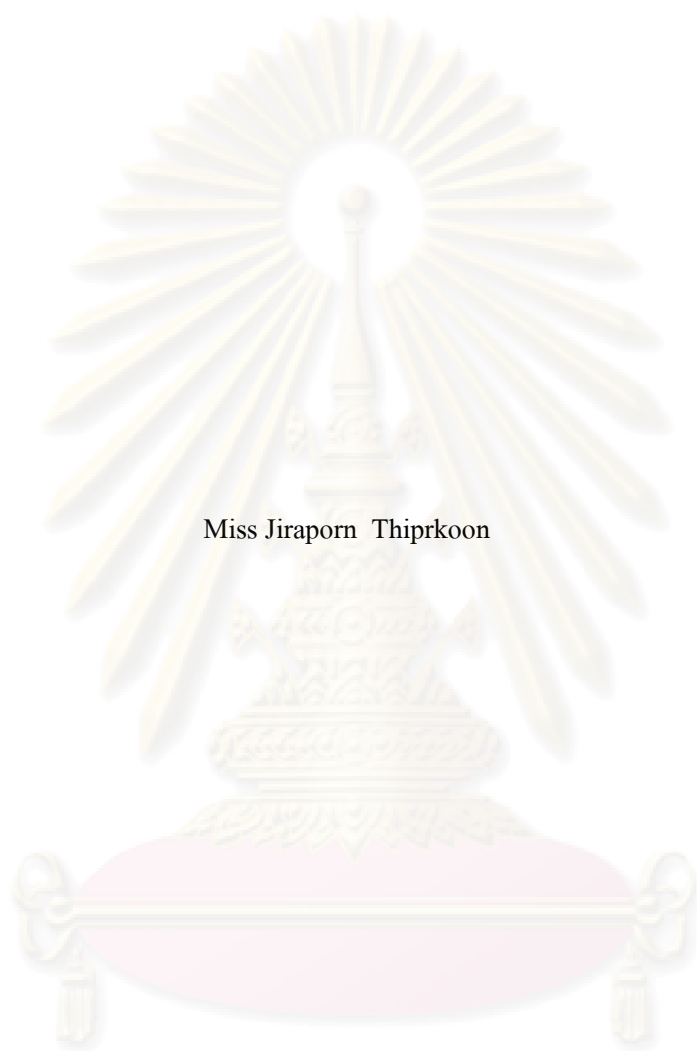
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VARIATION OF CONDENSATION NUCLEI WITHIN ATMOSPHERIC PROFILE IN URBAN AREA.



Miss Jiraporn Thiprkoon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

จิราภรณ์ ทิพคุณ : การเปลี่ยนแปลงสารที่เป็นแกนกลั่นตัวตามชั้นบรรยากาศในเขตเมือง
(VARIATION OF CONDENSATION NUCLEI WITHIN ATMOSPHERIC PROFILE
IN URBAN AREA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ, อ. ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ร่วม อ.ดร.ศิวะ พงษ์เพ็ญจันทร์, 133 หน้า.

การเปลี่ยนแปลงของสารไอออนิก 7 ชนิด ได้แก่ กลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม
แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม
ที่ชั้นความสูงต่างๆ ได้แก่ ชั้นล่าง ชั้นกลาง ชั้นบน บริเวณเขตเมืองอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เขต
เมืองกรุงเทพมหานคร และเขตเมืองของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยเก็บตัวอย่างทุก 3 ชั่วโมง เป็น
เวลา 3 วันต่อเนื่อง สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และ ทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน
ต่อเนื่อง สำหรับฝุ่นละอองรวม ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของสาร ไอออนิกในฝุ่นละอองรวม มี
ค่าสูงกว่า เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสาร ไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร
โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษาหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ชั้นล่าง พบสาร ไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว
คือ กลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองรวม มีปริมาณสูง และได้มา
รวมอยู่ในฝุ่นจนมีขนาดเหมาะสม ดังนั้น กลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ที่
ตรวจพบที่ชั้นล่าง จะมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง ส่วนพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง
จังหวัดเชียงใหม่ ที่ชั้นกลาง พบว่า กลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่นละออง
รวม มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง เนื่องจากมีปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม และยังพบสาร ไอออนิก
ในฝุ่นละอองรวมมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงกว่าสาร ไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10
ไมโครเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา..... 2551

ลายมือชื่อนิติศ.....

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

[Handwritten signatures]
Sivaporn Pongpan
Kor An

5087125620 : MAJOR OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : IONIC SPECIES/ CONDENSATION NUCLEI/ PM₁₀/ TSP.

JIRAPORN THIPAKOON : VARIATION OF CONDENSATION NUCLEI WITHIN
ATMOSPHERIC PROFILE IN URBAN AREA. THESIS ADVISOR : ASSIT. PROF.
SURAT BUALERT, Ph.D., CO-ADVISOR: SIWATT PONGPIAJUN, Ph.D., 133
pp.

The research objective is to study the variation of seven ionic compositions of PM₁₀ and TSP which are Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, and Ca²⁺ within atmospheric profile of urban area at Hatyai, Bangkok and Chiangmai. The PM₁₀ samples were collected continuously for three days at three heights, i.e. below, middle and upper levels. PM₁₀ and TSP were examined every 3 and 6 hours, respectively. The result showed that ionic species concentration of TSP was higher than PM₁₀, especially in urban areas of Hatyai where the condensation nuclei (Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺, NO₃⁻ and NH₄⁺) were found in high amounts and had reversed variation with height. Then, Cl⁻, Na⁺ and Ca²⁺ ions in the lower level should be the potential condensation nuclei. There are the differences in Bangkok and Chiangmai study sites: the ionic compounds at middle level are highest along with the quantity of Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺, NO₃⁻ and NH₄⁺, suggesting that this height level at Bangkok and Chiangmai is the potential condensation nuclei. As a result of having suitable size and proper quantity, the ion Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺, NO₃⁻ and NH₄⁺ ion in TSP at the lower level is the potential condensation nuclei.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study : Environmental Science.....

Academic Year : 2008.....

Student's Signature : *Jiraporn Thipakoon*

Advisor's Signature : *Surat Bualert*

Co-advisor's Signature : *Siwatt Pongpiajun*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ และอาจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และ ดร. พัชรชาติ สุวรรณธาดา ที่กรุณาเป็นกรรมการในการสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป รวมทั้งพี่ เพื่อน และน้องๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีและให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณพี่ และเพื่อนๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและมูลเหตุจูงใจ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ฝน.....	4
2.1.1 กระบวนการเกิดฝน.....	4
2.1.1.1 ความหมายของฝน.....	4
2.1.1.2 กระบวนการเกิดฝน.....	4
2.1.1.3 การเกิดฝนในประเทศไทย.....	6
2.1.2 ปัจจัยของการเกิดฝน.....	7
2.1.2.1 กระบวนการควบแน่น.....	7
2.1.2.2 แแกนกลั่นตัว.....	10
2.1.3 เมฆ.....	13
2.1.3.1 ความหมายของเมฆ.....	13
2.1.4 เมืองและผลกระทบต่อแแกนกลั่นตัว.....	15
2.1.4.1 กิจกรรมที่พบในเขตเมือง.....	15
2.1.4.2 ผลกระทบต่อการเกิดแแกนกลั่นตัว.....	17

2.2	ฝุ่นละออง.....	17
2.2.1	ความหมายของฝุ่นละออง.....	18
2.2.2	แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง.....	19
2.2.2.1	แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ.....	20
2.2.2.2	แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์.....	20
2.2.3	ความเข้มข้น และการแพร่กระจายของฝุ่นละอองฝนอากาศ.....	21
2.2.3.1	ความเร็ว และทิศทางลม.....	22
2.2.3.2	ความปั่นป่วน.....	22
2.2.3.3	อุณหภูมิจ.....	23
2.3	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1	ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา.....	28
3.1.1	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	28
3.1.1.1	ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	28
3.1.1.2	สภาพภูมิอากาศ.....	29
3.1.1.3	จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา.....	29
3.1.2	กรุงเทพมหานคร.....	30
3.1.2.1	ที่ตั้งและอาณาเขตของกรุงเทพมหานคร.....	30
3.1.2.2	สภาพภูมิอากาศ.....	31
3.1.2.3	จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา.....	32
3.1.3	อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	33
3.1.3.1	ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	33
3.1.3.2	สภาพภูมิอากาศ.....	34
3.1.3.3	จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา.....	34
3.2	วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.2.1	วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง.....	36
3.2.2	วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารไอออนิก.....	37

3.3	วิธีดำเนินการศึกษา.....	38
3.3.1	การเตรียมการศึกษา.....	38
3.3.2	การเตรียมการเก็บตัวอย่าง.....	38
3.3.2.1	การเตรียมชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง.....	38
3.3.2.2	การเตรียมกระดาษกรอง.....	38
3.3.3	การดำเนินการเก็บตัวอย่าง.....	39
3.3.4	การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	43
3.3.4.1	เตรียมกระดาษกรองในการวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	43
3.3.4.2	การวิเคราะห์สารไอออนิก.....	43
3.3.5	การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล.....	49
3.3.5.1	การรวบรวมข้อมูล.....	49
3.3.5.2	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	49
บทที่ 4	ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา.....	52
4.1	สารไอออนิกในฝุ่นละอองที่มีศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัว.....	52
4.1.1	สารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรที่มีศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัว.....	52
4.1.1.1	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	54
4.1.1.2	กรุงเทพมหานคร.....	56
4.1.1.3	อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	58
4.1.2	สารไอออนิกในฝุ่นละอองรวมที่มีศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัว.....	61
4.1.2.1	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	62
4.1.2.2	กรุงเทพมหานคร.....	64
4.1.2.3	อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	66
4.2	การเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรและฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง.....	69
4.2.1	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง.....	70
4.2.1.1	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	70

4.2.1.2 กรุงเทพมหานคร.....	72
4.2.1.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	74
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตาม ชั้นความสูง.....	76
4.2.2.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	76
4.2.2.2 กรุงเทพมหานคร.....	78
4.2.2.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	80
4.3 สัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่น ละอองรวม.....	82
4.3.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	83
4.3.2 กรุงเทพมหานคร.....	85
4.3.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	87
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	90
5.1.1 สารไอออนิกในฝุ่นละอองที่มีศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัว.....	90
5.1.1.1 สารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่มี ศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว.....	90
5.1.1.2 สารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว....	91
5.1.2 การเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรและฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง.....	91
5.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง.....	92
5.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม.....	92
5.1.3 สัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และ ฝุ่นละอองรวม.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
รายการอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	98

ภาคผนวก ก ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร	99
ภาคผนวก ข ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม.....	108
ภาคผนวก ค ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร.....	117
ภาคผนวก ง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม.....	120
ภาคผนวก จ Standard Curve.....	123
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	133



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สภาวะการทำงานของเครื่อง Ionchromatography(IC) ในการวิเคราะห์ สารไอออนิก ประจุลบ.....	45
3.2 แสดงเวลาที่พบสาร และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้.....	46
3.3 สภาวะการทำงานของเครื่อง Ionchromatography(IC) ในการวิเคราะห์ สารไอออนิก ประจุบวก.....	47
3.4 แสดงเวลาที่พบสาร และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้.....	48
4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของพื้นที่ศึกษา.....	53
4.2 ความเข้มข้นของสาร ไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของพื้นที่ศึกษา.....	54
4.3 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทั้ง 3 ชั้นความสูง.....	56
4.4 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร กรุงเทพมหานคร ทั้ง 3 ชั้นความสูง.....	58
4.5 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของอำเภอเมือง จังหวัด เชียงใหม่ ทั้ง 3 ชั้นความสูง.....	60
4.6 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษา.....	61
4.7 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 พื้นที่.....	62
4.8 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทั้ง 3 ชั้นความสูง.....	64
4.9 ความเข้มข้นของสาร ไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ทั้ง 3 ชั้น ความสูง (เฉลี่ยทุก 6 ชั่วโมง).....	66
4.10 ความเข้มข้นของสาร ไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัด เชียงใหม่ ทั้ง 3 ชั้นความสูง.....	68
4.11 สัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อ ความเข้มข้นของสาร ไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัด สงขลา.....	84
4.12 สัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อ ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	86

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

- 4.13 สัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่... 88



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	28
3.2 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	30
3.3 ที่ตั้งและอาณาเขตของกรุงเทพมหานคร.....	31
3.4 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างกรุงเทพมหานคร.....	32
3.5 ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	33
3.6 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	35
3.7 อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น PM ₁₀ ชนิดไฮโดลูม.....	36
3.8 อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น TSP ชนิดไฮโดลูม.....	36
3.9 แสดงขั้นตอนการทดลอง.....	44
3.10 แผนที่แสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	51
4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง เฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	71
4.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง เฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	73
4.3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง เฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	75
4.4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง เฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา...	77
4.5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง เฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	79
4.6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง เฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่...	81

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและมูลเหตุจูงใจ

ความแห้งแล้งของลมฟ้าอากาศ อันเกิดจากการที่มีฝนน้อยกว่าปกติ หรือฝนไม่ตกตามฤดูกาล เป็นระยะเวลานานกว่าปกติ และครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำดื่ม น้ำใช้ พืชพันธุ์ไม้ต่างๆ ขาดน้ำ ทำให้ไม่เจริญเติบโตตามปกติเกิดความเสียหาย และความอดอยากทั่วไป ความแห้งแล้งเป็นภัยธรรมชาติประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลาง และภาคเหนือของประเทศไทย เพราะเป็นบริเวณที่อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เข้าไปไม่ถึง ทำให้เกิดความอดอยากเรื้อรังขึ้น ซึ่งหากปีใดที่ไม่มีพายุเคลื่อนผ่านเลยก็จะก่อให้เกิดความแห้งแล้งรุนแรงมากขึ้น อันเนื่องมาจากฝนทิ้งช่วงยาวนาน ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีพ รวมถึงด้านเศรษฐกิจและสังคม ทั้งนี้ความรุนแรงจะมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น ความชื้นในอากาศ ความชื้นในดิน ระยะเวลาที่เกิดความแห้งแล้ง และขนาดของพื้นที่ที่มีความแห้งแล้ง เป็นต้น

การผันแปรและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก เป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน โดยเฉพาะภาวะโลกร้อน (Global warming) เป็นปรากฏการณ์อันเนื่องมาจาก โลกไม่สามารถระบายความร้อนออกได้ จึงทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปัญหาปริมาณน้ำฝนที่ลดลงหรือภาวะฝนทิ้งช่วงอย่างรุนแรง ทำให้เกิดภัยแล้ง หรือมีฝนตกเพิ่มมากขึ้นจนเกิดอุทกภัยขึ้นรุนแรง สำหรับประเทศไทยแล้ว ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยแล้ง นอกจากฝน ยังมีปัจจัยอื่นที่เป็นองค์ประกอบอีกหลายอย่าง เช่น ระบบการหมุนเวียนของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างบรรยากาศ กับน้ำทะเล หรือมหาสมุทร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม หลังการเก็บเกี่ยว จะเผาตอข้าวหรือเศษซากพืช (Biomass burning) ซึ่งจะพบเห็นกลุ่มควันที่เกิดจากแปลงนา ก่อให้เกิดหมอกควันแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ นอกจากทำให้ทัศนวิสัยลดลงแล้วยังส่งผลกระทบต่อความผันแปรของบรรยากาศ เนื่องจากควันที่เกิดจากการเผาซากพืชบางชนิดมีผลกระทบต่อปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse gases) นอกจากนี้ ควันดังกล่าวยังประกอบด้วยอนุภาคของสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก ทำให้โอกาสเกิดเมฆและฝนลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคแขวนลอยเหล่านี้จะแย่งชิงไอน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศใน

กระบวนการควบแน่นของการเกิดเมฆ ทำให้เม็ดน้ำที่เกิดภายในเมฆมีขนาดเล็กมากเกือบทั้งหมด ส่งผลให้กระบวนการชนและรวมตัวกัน (Collision and Coalescence process) ไม่มีประสิทธิภาพ (สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2547) จากปัญหาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษา สารที่เป็นแกนกลั่นตัวตามชั้นบรรยากาศ ในเขตเมือง เพื่อเป็นการแก้ปัญหาหรือหามาตรการลดปัญหาเรื่องการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ ที่กระส่งผลต่อการทิ้งช่วงของฝนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวมที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว สำหรับการเกิดฝน

1.2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวมตามชั้นบรรยากาศในเขตเมือง

1.2.3 เพื่อศึกษาสัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม ตามชั้นบรรยากาศในเขตเมือง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. สารไอออนิก ประกอบด้วย NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} จากตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) และฝุ่นละอองรวม (TSP)

2. ระยะเวลาในการทดลองตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2550 และ พฤศจิกายน 2551

3. พื้นที่ที่ทำการศึกษาวิจัย คือ

6.1 พื้นที่ 3 ชั้นความสูง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เนื่องจากเป็นเมืองท่องเที่ยวและย่านการค้าในภาคใต้ มีการจราจรหนาแน่น ใกล้แหล่งโรงงานอุตสาหกรรม และใกล้ทะเล

6.2 พื้นที่ 3 ชั้นความสูง เขตเมือง กรุงเทพมหานคร เนื่องจากเป็นเมืองหลวงของประเทศ และศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ มีการจราจรหนาแน่น การก่อสร้าง และใกล้แหล่งอุตสาหกรรม

6.3 พื้นที่ 3 ชั้นความสูง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากเป็นเมืองท่องเที่ยว และศิลปวัฒนธรรมทางภาคเหนือ มีการจราจรหนาแน่น การเผาไหม้ขยะ และโรงงานอุตสาหกรรม

4. ระดับความสูงที่เลือกศึกษาเป็นระดับความสูงของตึกในเขตตัวเมือง 3 ระดับ คือ

7.1 Roughness Layer ชั้นล่างสุด ซึ่งเป็นชั้นที่รับผลกระทบโดยตรงจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบ หรือความขรุขระพื้นผิว และยังได้รับอิทธิพลจากสิ่งกีดขวางที่อยู่บนพื้นผิวดิน เช่น อาคาร บ้านเรือน ต้นไม้ เป็นต้น สิ่งกีดขวางที่มีอยู่ระดับชั้นนี้มีอิทธิพลค่อนข้างสูงต่อการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบ (Advection)

7.2 Surface Layer ชั้นกลาง ซึ่งเป็นชั้นที่ได้รับอิทธิพลจากสิ่งกีดขวาง นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง เนื่องจากอิทธิพลที่ได้รับมาจากความร้อนที่เกิด และส่งผลให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศ โดยลักษณะความแตกต่างของพื้นที่ เช่น เป็นพื้นที่เขตป่าไม้ พื้นที่เขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีวัสดุต่างๆ ในพื้นที่ต่างกัน ส่งผลต่อความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้นๆ และส่งผลต่อเนื่องถึงการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้งที่แตกต่างกัน

7.3 Urban Boundary Layer (UBL) ชั้นบนสุด เป็นชั้นที่พ้นจากอิทธิพลของสิ่งกีดขวาง (ในชั้น Roughness Layer และ Surface Layer) หรือได้รับอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบน้อยที่สุด และได้รับอิทธิพลโดยตรงของการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณของสารไอออนิกในฝุ่นละออง ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว สำหรับการเกิดฝน
2. ทราบชนิดของสารไอออนิกใน PM_{10} และ TSP ตามชั้นบรรยากาศ ในเขตเมือง
3. ทราบสัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละออง PM_{10} และ TSP ตามชั้นบรรยากาศ ในเขตเมือง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝน

2.1.1 กระบวนการเกิดฝน

2.1.1.1 ความหมายของฝน

ฝน (rain) หมายถึง หยาดน้ำฟ้าที่อยู่ในรูปของของเหลวโดยมีแหล่งกำเนิดจากเมฆ แอลโตสเตรตัส นิมโบสเตรตัส สเตรโตคิวมูลัส คิวมูลัส และคิวมูโลนิมบัส ขนาดของฝนมีเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 0.5 มิลลิเมตร หรือโดยเฉลี่ยประมาณ 2 มิลลิเมตร ความเร็วเฉลี่ยในการตกประมาณ 25 กิโลเมตร ชั่วโมง¹ ฝนชนิดต่างๆ จะจัดแบ่งตามสาเหตุที่ทำให้เกิดฝนคือ ฝนจากการพาความร้อน (convective rain) ฝนภูเขา (orographic rain) ฝนพายุหมุน (cyclonic rain) ฝนมรสุม (monsoon rain) ฝนฟ้าคะนอง (thunder shower) ฝนในแนวอากาศ (frontal rain) เป็นต้น ลักษณะโดยทั่วไปที่เกี่ยวกับขนาดของเม็ดฝนและความเร็วที่ฝนตกจะมีความแปรปรวน ซึ่งมักจะพบว่าฝนที่ตกหนัก ขนาดเม็ดฝนใหญ่จะเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้นๆ แต่ฝนที่ตกเบา ขนาดเม็ดฝนเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร และมีความเร็วเฉลี่ยในการตกประมาณ 5 กิโลเมตร ชั่วโมง¹ จะเรียกว่า ฝนละออง (drizzle) ฝนชนิดนี้จะเกิดจากเมฆเตรตัส เมื่อตกลงมาสามารถลอยปลิวไปตามลมซึ่งมีลักษณะคล้ายหมอกน้ำค้าง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2523; ริงส์เวิร์ค อากาศัพพะกุล, 2547)

2.1.1.2 กระบวนการเกิดฝน

กระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดฝน มี 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่น และกระบวนการเกิดฝนในเมฆเย็น

(1) กระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่น (Warm rain process)

เมฆอุ่น คือ เมฆที่มีการเจริญเติบโตและให้ฝนในชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยมีกระบวนการชนและรวมตัวกัน (Collision and Coalescence process) เป็นกระบวนการหลักในการเจริญเติบโตของเม็ดน้ำ ซึ่งอธิบายได้ว่า เม็ดน้ำภายในเมฆที่เกิดจากกระบวนการควบแน่นของไอน้ำบนอนุภาคแกนกลั่นตัว (CCN) จะมีขนาดเล็กมาก เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งจะมีการรวมตัวของเม็ดน้ำจำนวนหนึ่งทำให้มีขนาดที่แตกต่างกัน จากนั้นเม็ดน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเคลื่อนที่ลงด้วยแรงดึงดูดของโลกในอัตราที่เร็วกว่าเม็ดน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า (ความเร็วในการร่วงหล่นของวัตถุ จะเป็นปฏิภาคตรงกับรัศมียกกำลังสองของวัตถุนั้น) ด้วยเหตุนี้เม็ดน้ำขนาดใหญ่กว่า (ตกเร็วกว่า) จึงมีโอกาสชนกับเม็ดน้ำขนาดเล็กกว่า ตามแนวทางที่ร่วงหล่น และจะรวมตัวกันทำให้เม็ดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นก่อนที่จะแตกตัวออกเป็นเม็ดน้ำขนาดกลางจำนวนมากขึ้น และวิ่งชนและรวมตัวกับเม็ดน้ำขนาดเล็กกว่าต่อไป หากพฤติกรรมนี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องแบบลูกโซ่ (Chain reaction) ในที่สุดเม็ดน้ำภายในเมฆจะมีขนาดใหญ่จำนวนมาก และสามารถตกเป็นฝนได้ ซึ่งกระบวนการชนกันและรวมตัวกันนี้จะมีส่วนสำคัญต่อการเกิดฝนในเขตร้อน เช่นประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ในบรรยากาศที่มีอนุภาคแกนกลั่นตัวตามธรรมชาติขนาดเล็กและจำนวนมากเกินไป จะเกิดการแข่งชิงความชื้นกัน ทำให้เม็ดน้ำที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กและจำนวนมากตามไปด้วย และทำให้กระบวนการชนกันและรวมตัวกันของเม็ดน้ำไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งต้องใช้เวลามากในการเจริญเติบโตไปเป็นเม็ดฝน ดังนั้น เมฆจึงสลายตัวไปก่อนที่จะเม็ดน้ำจะโตพอที่จะตกเป็นฝน

(2) กระบวนการเกิดฝนในเมฆเย็น (Cold rain process)

เมฆเย็น คือ เมฆที่มีการเจริญเติบโตและก่อยอดสูงขึ้นไปในชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยมีกระบวนการผลึกน้ำแข็ง (Ice-crystal process) เกิดขึ้นบริเวณยอดเมฆที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -3 ถึง -4 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นบริเวณที่มีเม็ดน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จุดเยือกแข็งแต่ยังไม่กลายเป็นน้ำแข็ง หรือที่เรียกว่าเม็ดน้ำเย็นยิ่งยวด (Super cooled droplets) อยู่ร่วมกับแกนของการเยือกแข็ง (Ice nuclei) ซึ่งเป็นอนุภาคของสารจำพวกแร่ดินเหนียว สารอินทรีย์ และเกลือทะเล ที่จะทำให้หน้าที่เป็นแกนของการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) และการเจริญเติบโตต่อไปของผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นได้หลายวิธี เช่น เกิดจากการระเหิดของน้ำจากเม็ดน้ำเย็นยิ่งยวด มีความดันไอ (Vapor pressure) ที่ผิวสูงกว่าไปจับเกาะและกลายเป็นน้ำแข็ง (Sublimation) บนผิวของผลึกน้ำแข็งซึ่งมีความดันไอดำกว่า (Bergeron Process) อย่างต่อเนื่อง หรือเกิดจากการที่ผลึกน้ำแข็งสัมผัสกับเม็ดน้ำเย็นยิ่งยวดโดยตรง ทำให้กลายเป็นเม็ดน้ำแข็ง (Contact freezing) ในขณะที่ผลึกน้ำแข็งหรือเม็ดน้ำแข็งมีขนาดโตขึ้นก็จะร่วงหล่นลง

มา และชนกับผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กกว่าและเกาะติดกันทำให้มีขนาดโตขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อผลึกน้ำแข็งหรือเม็ดน้ำแข็งมีขนาดใหญ่มากขึ้น ในที่สุดก็จะตกพื้นฐานเมฆลงมาเป็นหิมะหรือลูกเห็บหรืออาจจะกลายเป็นน้ำฝนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส ก่อนตกลงสู่พื้นดิน

การเปลี่ยนสถานะของเม็คน้ำกลายเป็นเม็ดน้ำแข็ง จะมีการคายความร้อนแฝงออกมาเป็นพลังงานในการเจริญเติบโตของยอดเมฆ ทำให้เมฆมีขนาดใหญ่ขึ้นและมียอดสูงขึ้น และกลายเป็นเมฆฝนฟ้าคะนอง (เมฆ Cumulonimbus) ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดนี้จึงมักจะมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าฝนเมฆอุ่นและอาจมีฟ้าแลบ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า และลูกเห็บตามมา ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะพบฝนเมฆเย็นในช่วงเปลี่ยนฤดูหรือบริเวณที่มีตัวการที่ทำให้เกิดการยกตัวของมวลอากาศที่รวดเร็ว เช่น แนวปะทะอากาศ ร่องความกดอากาศต่ำ หรือบริเวณพายุหมุน อย่างไรก็ตามในธรรมชาติจะมีแกนน้ำแข็งอยู่ไม่มากนัก (เช่น 1-3 อนุภาค ในอากาศ 1 ลิตร) (สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, 2547)

2.1.1.3 การเกิดฝนในประเทศไทย

น้ำฟ้า คือน้ำในรูปของของเหลว รูปของของแข็ง หรือรูปของผลึก ซึ่งเกิดจากเมฆแล้วตกลงมาสู่พื้นดิน ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ น้ำฝน (หยดน้ำเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 0.5 มิลลิเมตร) ฝนละออง (drizzle) (หยดน้ำที่เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร) หยดน้ำที่มีน้ำแข็งหุ้ม (glaze) เม็ดฝนน้ำแข็ง (sleet) ลูกเห็บ หิมะทั้งรูปผลึกและไม่ใช่ผลึก สำหรับประเทศไทยน้ำฟ้าที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ได้แก่ น้ำฝน กับฝนละออง ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 0.02–0.25 นิ้ว (0.05–0.64 มิลลิเมตร) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2540)

การเกิดฝนในรอบปี ส่วนใหญ่เกิดจากระบบเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้งที่เกิดจากการพาความร้อนในช่วงอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ กล่าวคือ ในช่วงเวลานี้มีสัดส่วนปริมาณน้ำฝนตกถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ในภาคเหนือ และ 60 เปอร์เซ็นต์ในภาคใต้ จำนวนวันที่มีฝนตกส่วนใหญ่เป็นวันที่มีฝนตกเล็กน้อยมีตั้งแต่ 50 เปอร์เซ็นต์ของเดือนในเดือนมิถุนายน ไปจนถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของเดือนในเดือนกันยายน ส่วนในช่วงเวลาอื่นมีฝนตกจากเมฆที่เกิดจากการพาความร้อนก้อนเดี่ยวๆ และพายุฝนฟ้าคะนองมีเกิดขึ้นมากในช่วงเปลี่ยนฤดูคิดเป็นสัดส่วนไม่มากนัก โดยมีวันที่มีฝนฟ้าคะนอง 40-50 วันต่อปี ในแทบทุกพื้นที่ แต่การตกของฝนชนิดนี้แต่ละครั้งจะให้ฝนหนักกว่าฝนในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ นอกจากฝนใน 2 ระบบที่กล่าวมาแล้วยังมีฝนตกหนักมากจากการที่พายุหมุนเขตร้อน (tropical storms) เคลื่อนที่มาจากทะเลจีนใต้หรือทะเลอันดามัน (Silverman et al, 1986)

อุณหภูมิที่ฐานของเมฆในประเทศไทย มีค่าประมาณ 20 องศาเซลเซียสในทุกฤดูกาลและทุกพื้นที่ ดังนั้นกระบวนการชนและรวมตัวกันของหยดน้ำในเมฆจึงมีบทบาทอย่างสำคัญในการเกิดฝนทุกครั้ง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2540)

กระบวนการที่ทำให้เกิดฝนในประเทศไทย อาจเป็นไปได้ทั้ง 2 กระบวนการ กล่าวคือ ในบางวันยอดเมฆไม่สูงถึงระดับเยือกแข็ง ฝนที่เกิดจากการก่อตัวขึ้นอย่างช้าๆ จากกระบวนการกลั่นตัวแล้วชนกันและรวมตัวกันของหยดน้ำในเมฆ กระบวนการเมฆอุ่น แต่ในบางโอกาสหากมีสภาวะอากาศเหมาะสมกระแสอากาศพัดขึ้นอย่างรุนแรง จนการก่อตัวของเมฆเลยระดับเยือกแข็ง ในสภาวะนี้กระบวนการผลึกน้ำแข็งจะมีบทบาทอย่างสำคัญ ต่อเนื่องจากการกระบวนการเมฆอุ่น ทำให้ผลึกน้ำแข็งโตขึ้นจนตกลงมาและละลายเป็นน้ำฝนในที่สุด จึงเรียกว่า กระบวนการเกิดน้ำฟ้าแบบผสม (mixed phase precipitation process) (Silverman et al, 1986)

โดยทั่วไปฐานเมฆที่เกิดจากการพาความร้อนจะอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางเฉลี่ย 1 ถึง 1.5 กิโลเมตร โดยอุณหภูมิที่ฐานเมฆ 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส ระดับความสูงที่จะเกิดการเยือกแข็ง (freezing level) จะอยู่ที่ระดับ 5 ถึง 5.5 กิโลเมตร ระดับอุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส อยู่ที่ความสูง 6.5 ถึง 7.0 กิโลเมตร ขณะที่ระดับที่มีอุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส อยู่ที่ความสูง 9 ถึง 9.8 กิโลเมตร ความสูงของยอดเมฆอาจสูงถึง 12 กิโลเมตร หรือมากกว่าในบางวัน (Bureau of Reclamation Denver office, 1989 อ้างถึงใน ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540)

2.1.2 ปัจจัยของการเกิดฝน

2.1.2.1 กระบวนการควบแน่น

การควบแน่น (condensation) บนอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศเกิดขึ้นตลอดเวลาที่บรรยากาศมีความชื้นในระดับที่สัดส่วนของการอิ่มตัวด้วยไอน้ำมีค่ามากกว่า 1 และในทางกลับกัน ถ้าสัดส่วนดังกล่าวมีค่าต่ำกว่า 1 จะเกิดการระเหยของหยดน้ำเป็นไอสู่อากาศ อัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของหยดน้ำมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนการอิ่มตัวด้วยไอน้ำของบรรยากาศ และช่วงเวลา (Rogers, 1989; Vali, 1988)

กระบวนการเพิ่มขนาดของน้ำในเมฆนอกเหนือจากกระบวนการควบแน่นที่ทำให้หยดน้ำมีขนาดเล็กเพิ่มขนาดและเป็นจำนวนขึ้น แล้วยังต้องประกอบด้วยกระบวนการอื่นด้วย ได้แก่ กระบวนการชนและรวมตัวกัน (Collision and Coalescence process) และกระบวนการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง (ice crystal growth process) (Ahrens, 1982)

(1) กระบวนการชนและรวมตัวกัน

กระบวนการชนและรวมตัวกัน (Collision and Coalescence process) ของหยดน้ำในเมฆเกิดในเมฆที่มีการรวมตัวกันของหยดน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เรียกว่า เมฆอุ่น (warm cloud) สำหรับในเมฆที่มีความชื้นเพียงพอ การชนและรวมตัวกันขึ้นอยู่กับ 1) ขนาดของหยดน้ำที่เหมาะสม 2) ประจุไฟฟ้าในหยดน้ำรวมทั้งสนามไฟฟ้าในเมฆ และ 3) กระแสอากาศไหลขึ้น (updraft) ในเมฆ (สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, 2547; Ahrens, 1982)

ขนาดของหยดน้ำในเมฆที่แตกต่างกันทำให้ความเร็วปลายในการตกลงสู่เบื้องล่างด้วยแรงดึงดูดของโลกนั้นแตกต่างกัน หยดน้ำขนาดใหญ่มีความเร็วปลายมากกว่าหยดน้ำขนาดเล็ก หยดน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร มีความเร็วในการตกลงมาเท่ากับ 0.27 เมตรต่อวินาที ขณะที่หยดน้ำขนาดกลาง 5.8 มิลลิเมตร มีความเร็วในการตกลงมาถึง 9.17 เมตรต่อวินาที หยดน้ำขนาดใหญ่ที่ตกลงมาเร็วกว่าที่จะเกิดการชนและรวมตัวกับหยดน้ำขนาดเล็กกว่าจนเกิดการเพิ่มขนาดขึ้นตามลำดับ แต่ในบางกรณีหยดน้ำอาจจะไม่ชนกันก็ได้ แม้ว่าจะตกลงมาในแนวเดียวกัน เนื่องจากหยดน้ำอาจจะลอยผ่านกันไปเพราะถูกกระแสลมผลักให้ห่างกัน หรือหยดน้ำอาจจะรวมตัวกันชั่วขณะและกลับแยกเป็นขนาดเท่าเดิมหรือหยดน้ำอาจรวมตัวกันชั่วขณะและแตกเป็นหยดน้ำเล็กๆ (Rogers, 1989)

นอกจากปัจจัยในเรื่องขนาดของหยดน้ำแล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ช่วยให้การชนและการรวมตัวของหยดน้ำ ได้แก่ 1) หยดน้ำที่มีประจุไฟฟ้าต่างกันจะรวมตัวกันได้ดี 2) เมฆที่มีความหนาแน่นทำให้เวลาที่หยดน้ำตกผ่านลงไปใต้มานานพอที่จะชนกันได้มากขึ้น 3) กระแสอากาศที่ไหลขึ้น ถ้ามีความรุนแรงทำให้เกิดเมฆก่อตัวหนาแน่น จะช่วยให้เกิดการชนกันของหยดน้ำจนมีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมาก ตกลงมาชนและรวมกับหยดน้ำเล็กๆ อย่างต่อเนื่อง จนอาจมีขนาดใหญ่ถึง 5,000 ไมโครเมตร เป็นเม็ดฝนที่ตกหนัก (Ahrens, 1982)

(2) กระบวนการจากผลึกน้ำแข็ง

กระบวนการจากผลึกน้ำแข็งเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ทำให้เกิดหยาดน้ำฟ้าในบริเวณเขตอบอุ่น หรือเขตหนาว กระบวนการนี้เกิดขึ้นในเมฆส่วนที่อยู่เหนือระดับความสูงกว่าระดับเยือกแข็ง จึงเรียกเมฆชนิดนี้ว่า เมฆเย็น (Cold Cloud process) (รังสรรค์ อากาศพิษะกุล, 2547; Ahrens, 1982) ในเมฆเย็นมีหยดน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส เรียกว่า หยดน้ำเย็นยิ่งยวด (supercooled droplets) หยดน้ำเหล่านี้กระจายล้อมรอบผลึกน้ำแข็งเนื่องจากความแตกต่างกันของความดันไอน้ำในบรรยากาศจึงทำให้เกิดการแพร่กระจาย (diffusion) ของไอน้ำจากหยดน้ำยิ่งยวดไปเกาะบนผลึกน้ำแข็งและเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งพอกอยู่ภายนอกผลึกน้ำแข็ง จนน้ำหนักของผลึกน้ำแข็งมีมากกว่าแรงพยุงเนื่องจากกระแสอากาศพัดขึ้น ผลึกน้ำแข็งจะเริ่มตกลงมาเกิดการชนกับหยดน้ำเย็นยิ่งยวดข้างล่างและเคลือบเพิ่มขนาดขึ้นเรื่อย ๆ เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการเพิ่มขนาดหรือเพิ่มขอบ (accretion or riming process) และเรียกหยาดน้ำฟ้านี้ว่าผลึกน้ำแข็งที่เพิ่มขนาด (graupel) ต่อจากนั้นผลึกน้ำแข็งอาจเกิดการชนกันและแตกตัวเป็นขนาดเล็กลง กระจายตัวออกไปทำหน้าที่เป็นอนุภาคเริ่มต้นของการชนกันต่อไป การเพิ่มขนาดจะขยายวงอย่างต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ตลอดจนเกิดการชนกันและรวมตัวกันระหว่างผลึกน้ำแข็ง (aggregation) จนเป็นเกล็ดหิมะหรือตกลงมาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส และละลายเป็นหยดน้ำฝนตกลงสู่พื้นดินในที่สุด กระบวนการทั้งหมดนี้เรียกว่า กระบวนการเมฆเย็น (cold cloud process) (รังสรรค์ อากาศพิษะกุล, 2547; Ahrens, 1982; Vali, 1988)

ในห้องปฏิบัติการน้ำบริสุทธิ์ จะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งเมื่ออุณหภูมิต่ำลงถึง 40 องศาเซลเซียส แต่ในธรรมชาติมีอนุภาคฝุ่นละอองปะปนอยู่ ฝุ่นละอองบางชนิดทำหน้าที่เป็นส่วนผสมของน้ำหรือไอน้ำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของสิ่งเจือปน (heterogeneous nucleation) เป็นผลึกน้ำแข็งในสถานะอุณหภูมิต่ำกว่า -40 องศาเซลเซียส อนุภาคเจือปนเหล่านี้เรียกว่าอนุภาคน้ำแข็ง (ice nuclei) ในปัจจุบันคาดว่าอนุภาคน้ำแข็งเกิดจากอนุภาคจากผิวโลกลอยขึ้นไป ได้แก่อนุภาคแร่ดินเหนียวและพวกอินทรีย์สารต่างๆ (Ahrens, 1982)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2.2 แกนกลั่นตัว

(1) ความหมายของแกนกลั่นตัว

แกนกลั่นตัว เป็นการเปลี่ยนสถานะของน้ำ โดยเริ่มต้นบนผิวของสารเจือปนในบรรยากาศ ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัว (condensation nuclei) อนุภาคเหล่านี้สามารถลอยอยู่ได้ในบรรยากาศระยะหนึ่งจึงเรียกว่า อนุภาคแขวนลอย (aerosol) ซึ่งอนุภาคแขวนลอยเหล่านี้มีขนาดและส่วนประกอบแตกต่างกันไป (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540; Vali, 1988)

(2) อนุภาคแกนกลั่นตัวของเมฆ

การอิมตัวของไอน้ำในบรรยากาศ เป็นการปรับสภาพให้สมดุลระหว่างการระเหยกับการกลั่นตัวของไอน้ำ แต่ในธรรมชาติละอองน้ำขนาดเล็กมีการปลดปล่อยพลังงานอย่างอิสระ จึงมักไม่เกิดความสมดุลในสภาวะปกติ ไอน้ำที่ไม่มีสารอื่นเจือปนจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เกือบถึง 400 เปอร์เซ็นต์ แต่ในธรรมชาติมักมีอนุภาคของสารอื่นเจือปนอยู่ และพบว่าการเปลี่ยนสถานะของน้ำเริ่มต้นบนผิวของสารเจือปนในอากาศ ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็กๆ (Nuclei) ทำหน้าที่เป็นอนุภาคแกนกลั่นตัว (Condensation Nuclei) ในบริเวณนั้นอนุภาคแกนกลั่นตัวต้องมีจำนวนมากพอ อนุภาคแกนกลั่นตัวอาจเป็นฝุ่นเล็กๆ ควัน และอนุภาคเกลือ (salt particle) ซึ่งมีมากในบรรยากาศชั้นล่าง ถ้าอนุภาคเหล่านี้มีจำนวนมาก ความชื้นสัมพัทธ์จะไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคจากเกลือในมหาสมุทรเรียกว่า อนุภาคดูดน้ำ (hygroscopic nuclei) มีความสามารถที่จะเร่งการกลั่นตัวของไอน้ำ การกลั่นตัวจะเริ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์มาก ถ้าเป็นโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540; ทรงกต ทศานนท์, 2547; Vali, 1988) อนุภาคเหล่านี้สามารถลอยอยู่ในอากาศได้ระยะหนึ่งจึงเรียกว่า อนุภาคแขวนลอย (aerosol) ซึ่งอนุภาคเหล่านี้มีขนาดและส่วนประกอบแตกต่างกันไป (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540; Vali, 1988) อนุภาคแขวนลอยมีสถานะเป็นของแข็ง หรือแขวนลอยอยู่ในอากาศได้ระยะเวลาหนึ่งจนถูกลมหรืออากาศพัดขึ้นไปสูงกว่าเดิม โดยเฉลี่ยอนุภาคแขวนลอยจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1 ไมโครเมตร (10^{-7} เมตร) (Sumner, 1988) อนุภาคแขวนลอยมีแหล่งกำเนิดจากผิวโลก ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยฝุ่นละอองที่ลมพัดขึ้นไป 20 เปอร์เซ็นต์ ละอองน้ำทะเล 40 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคเถ้าถ่านจากไฟไหม้ป่า 10 เปอร์เซ็นต์ จากอุตสาหกรรมและกิจกรรมอื่นๆ ของมนุษย์ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่

เหลือ 25 เปอร์เซ็นต์มาจากปรากฏการณ์ต่อเนื่องในบรรยากาศ เช่น ขบวนการเคมีที่ใช้แสงแดดเป็นตัวกระตุ้น และกระบวนการอื่นๆ (Brock, 1972 อ้างถึงใน ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540)

(3) ศักยภาพของแกนกลั่นตัว

อนุภาคแกนกลั่นตัว มีคุณสมบัติดูดซับความชื้นได้ดี เมื่อดูดซับความชื้นจะทำให้อุณหภูมิตั้งขึ้นหรือต่ำลงแตกต่างกันตามชนิดของแกนกลั่นตัว (Small et al, 2005; เมธา รัชตะปิติ, 1995) ชนิดและปริมาณของแกนกลั่นตัวจะต้องเหมาะสมกับสภาพของภูมิอากาศ อนุภาคแกนกลั่นตัวจะอยู่ในรูปของอนุภาคแบบผง และสารละลาย ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัว (Cloud condensation nuclei) ซึ่งมีลักษณะเป็นแกนแข็งและสารละลายเข้มข้น (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) คุณสมบัติของสารเคมี ที่เมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะกลายเป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวมีดังต่อไปนี้

ก. สารเคมีที่สัมผัสความชื้นแล้วคายความร้อน คือ เมื่อดูดซับความชื้นแล้วจะเกิดปฏิกิริยาทำให้อุณหภูมิตั้งขึ้น และกลายเป็นแกนกลั่นตัว ที่เป็นสารละลายความเข้มข้น มีความไวต่อการดูดซับที่พื้นผิวสูง ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เมื่อดูดซับความชื้นแล้วจะให้ความร้อน และกลายเป็นแกนกลั่นตัวแบบแกนแข็ง ส่วนแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เมื่อดูดซับความชื้นแล้วจะให้ความร้อน และกลายเป็นแกนกลั่นตัวที่เป็นสารละลายเข้มข้นที่มีความไวในการดูดซับความชื้นที่ผิวสูง (Rosenfeld et al, 1994) และ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เมื่อดูดซับความชื้นแล้วให้ความร้อน จะเกิดปฏิกิริยา ๒ ชั้น ชั้นแรกจะให้ความร้อน ๑๕.๖ กิโลแคลอรีต่อหนึ่งโมเลกุล ชั้นที่ ๒ จะให้ความร้อน ๒๗.๔ กิโลแคลอรีต่อหนึ่งโมเลกุล และกลายเป็นแกนกลั่นแบบแข็ง (Small et al, 2005; เมธา รัชตะปิติ, 1995; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540)

ข. สารเคมีที่ดูดกลืนความร้อน คือ สารเคมีที่ดูดซับความชื้นแล้ว จะเกิดปฏิกิริยาทำให้อุณหภูมิต่ำลง และกลายเป็นแกนกลั่นตัวเข้มข้น ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิแกนกลั่นตัว ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการกลั่นตัวสูงขึ้น และทำให้การเจริญเติบโตของเม็ดน้ำในก้อนเมฆมีขนาดใหญ่เร็วขึ้น และคายความร้อนแฝงที่ปล่อยออกมาจากการกลั่นตัว ทำให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศ และทำให้เกิดกระบวนการกลั่นตัวอย่างต่อเนื่อง (Small et al, 2005; เมธา รัชตะปิติ, 1995; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ได้แก่ ยูเรีย เมื่อดูดซับความชื้นแล้วดูดกลืนความร้อนออกมา และกลายเป็นแกนกลั่นตัว (nuclei) ซึ่งเป็นสารที่มีความไวในการดูดซับความชื้นที่ผิว (Surface active material) สูง ทำให้การเจริญเติบโตของละอองน้ำในเมฆกลายเป็นหยดน้ำที่มีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็ว (เมธา รัชตะปิติ,

1995; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ส่วนแอมโมเนียไนเตรต (NH_4NO_3) เมื่อดูดซับความชื้นแล้ว ดูดกลืนความร้อนออกมา และกลายเป็นแกนกลั่นตัวเช่นเดียวกับยูเรีย ในกรณีที่สภาวะไอน้ำในอากาศ หรือเมฆที่พร้อมจะตกเป็นฝนแล้ว (เมธา, 1995; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) และน้ำแข็งแห้ง (Dry ice; $\text{CO}_2(\text{s})$) ทำให้สภาวะไอน้ำในอากาศเกิดการควบแน่นและกลายเป็นเกล็ดน้ำแข็งได้ (เมธา รัชตะปิติ, 1995; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540)

ก. สารเคมีที่ใช้เป็นแกนกลั่นตัว คือ สารเคมีที่ดูดซับความชื้นแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้นเล็กน้อย จึงทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัว และกลายเป็นแกนกลั่นตัวแบบสารละลาย เข้มข้น (Silverman, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ได้แก่ เกลือ (Sodium chloride; NaCl) ที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมโครเมตร และไม่เกิน 100 ไมโครเมตร (Rosenfeld et al, 1994) ในบางครั้งก็พบว่า มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 20–25 ไมโครเมตร เป็นขนาดที่เร่งให้เกิดฝนเร็วขึ้น (Tzivion et al, 1994) และสารเคมีที่เป็นทั้งสารผสมและสารประกอบหลายชนิด ส่วนมากจะเป็นรูปของ แคลเซียมคลอไรด์ ที่มีผลึกในรูปของแร่เฮไลต์ (Halite) ซึ่งแตกต่างจากผลึกของเกลือทะเลธรรมดาไม่ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในรูปของสารประกอบอื่นๆ เช่น เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ในรูปของแร่ฮีมาไทต์ (Hematite) ซิลิคอน-ไดออกไซด์ (SiO_2) ในรูปของผลึกน้ำ อะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl_3) และแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) รวมกันไม่ต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ จะมีคุณสมบัติเป็นแกนกลั่นตัวที่เป็นสารละลายเข้มข้น นอกจากนี้ยังเป็นแกนกลั่นตัวแบบแกนแข็ง ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมโครเมตร ถึง ไม่เกิน 180 ไมโครเมตร จะเสริมประสิทธิภาพในการกลั่นตัว และการรวมกันของเม็ดน้ำในขบวนการเจริญของเม็ดน้ำและก้อนเมฆมากขึ้น (เมธา รัชตะปิติ, 1995; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540)

(4) ประเภทของอนุภาคแกนกลั่นตัว

อนุภาคแกนกลั่นตัวมีหลายชนิด และแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ออกไปตามแหล่งกำเนิด โดยแหล่งกำเนิดของอนุภาคแกนกลั่นตัวมีดังต่อไปนี้

ก. อนุภาคจำพวก โซเดียม คลอไรด์ ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากทะเล ซึ่งเป็นละอองไอน้ำจากเกลือทะเล โดยจะถูกพัดมาโดยลม แต่บางครั้งคลอไรด์ อาจจะมาจกเตาเผาที่เผาไหม้ของเสียจำพวกออร์แกนโนเฮไลต์โพลีเมอร์ (QUARG, 1996; U.S.EPA., 1996b) ก็ได้

ข. อนุภาคจำพวกแคลเซียม โปแทสเซียม เป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกที่มีอยู่ในหินและดิน โดยในบรรยากาศของพื้นที่เขตเมืองจะมาจากการฟุ้งกระจายขึ้นมาอีกครั้งของฝุ่นละอองที่พื้นผิว เช่น ถนน หรือการก่อสร้างตึก ในขณะที่เขตพื้นที่ชนบทจะเกิดจากการไถพรวนหรือลมพัดผ่านเหนือพื้นดิน และบางครั้งอาจจะพบองค์ประกอบของพวกโปแทสเซียมจากการเผาไหม้ชีวมวล เช่น ไม้ (QUARG, 1996; U.S.EPA., 1996b) เป็นต้น

2.1.3 เมฆ

2.1.3.1 ความหมายของเมฆ

เมฆ คือ กลุ่มของน้ำที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ในรูปของหยดน้ำ (water droplets) และผลึกน้ำ (ice crystals) ซึ่งในสภาพอากาศปกติ สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2523; Vali, 1988) ในกลุ่มของผลสมนี้อาจมีอนุภาคใหญ่ๆ ของน้ำแข็งปะปนอยู่ด้วย หรืออาจมีอนุภาคที่ไม่มีน้ำหรืออนุภาคที่เป็นของแข็งเช่น ก๊าซ ผงฝุ่น หรือควัน ฯลฯ ปะปนอยู่ด้วยก็ได้ (พรทิพย์ ภัทรารักษ์, 2549)

(1) การเกิดเมฆ

เมื่อดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนมาสู่โลก มวลอากาศจะลอยตัวขึ้น พร้อมกับอนุภาคต่างๆ จนถึงที่ระดับความสูงหนึ่ง ที่มีอุณหภูมิเท่ากับจุดน้ำค้าง (dew point) จะกลั่นตัวเป็นไอน้ำบนอนุภาคกลั่นตัวเล็กๆ (condensation nuclei) อนุภาคกลั่นตัวอาจเป็นผงฝุ่นเล็กๆ (microscopic dust) ควัน (microscopic smoke) และอนุภาคเกลือ (salt particle) ถ้าไม่มีอนุภาคกลั่นตัวไอน้ำจะเปลี่ยนเป็นเมฆหรือหมอกได้ยาก การกลั่นตัวเป็นไอน้ำในอากาศทำให้เกิดเม็ดเมฆ (cloud droplet) จำนวนมาก กลายเป็นเมฆลอยในอากาศ ถ้าเมฆได้รับความชื้นมากขึ้น ก็จะมีการกลั่นตัวของไอน้ำมากขึ้น เมฆจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้าเมฆไม่ได้รับความชื้นในที่สุด เมฆจะสลายตัวไป (พรทิพย์ ภัทรารักษ์, 2549; ทรงกต ทศานนท์, 2547) กระบวนการเกิดเมฆกระบวนการควบแน่นในเมฆและการเกิดฝนการเกิดหยาดน้ำฟ้า (precipitation) ประกอบด้วยปัจจัย 3 ประการ คือ 1) ไอน้ำในอากาศ 2) กลวิธีในการควบแน่น (mechanism of condensation) 3) อนุภาคแกนกลั่นตัว (condensation nuclei) (เกษม จันทรแก้ว, 2526)

เมฆเกิดขึ้นในสภาพอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ จากกระบวนการทำให้อากาศเย็นตัวลง หรือกระบวนการเพิ่มปริมาณน้ำในอากาศ หรือรวมกันทั้ง 2 กระบวนการ เมื่ออากาศเย็นตัวลงความสามารถในการรับปริมาณไอน้ำสูงสุดของอากาศจะลดตัวลงที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง อากาศจะลอยอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2523; Vali, 1988) กระบวนการที่ทำให้อากาศเย็นตัวลงเกิดจากสาเหตุ 3 ประการ คือ 1) การสูญเสียความร้อนโดยการแผ่กระจายพลังงานของกลุ่มอากาศ 2) การยกตัวของอากาศ เนื่องจากได้รับความร้อนให้อากาศใกล้ผิวดินจนอุณหภูมิสูงขึ้นและลอยตัวขึ้นอย่างอิสระ (free convection) เช่น อากาศถูกความกดอากาศที่สูงกว่าผลักให้ลอยสูงขึ้น หรือถูกลมพัดให้ลอยขึ้นตามลาดเขา และ 3) อากาศร้อนขึ้นเคลื่อนที่ไปบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่าตามแนวระนาบ (advection) และผสมคลุกเคล้า (mixing) กับอากาศที่เย็นกว่าบริเวณนั้น (พรทิพย์ ภัทรภักดิ์, 2549; สุกิจ, 2519 อ้างถึงใน ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540; Vali, 1988)

การลอยขึ้นของอากาศและระดับความสูงที่เหมาะสมในการเกิดเมฆบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) ซึ่งเป็นบรรยากาศชั้นล่างสุดที่มีปรากฏการณ์ธรรมชาติเกิดขึ้นมากที่สุด บรรยากาศชั้นนี้มีอุณหภูมิลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น อัตราการลดอุณหภูมิของอากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ประมาณ 6.5 องศาเซลเซียส เมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น 1,000 เมตร

กลุ่มอากาศที่ยังไม่มีการอิ่มตัวด้วยไอน้ำ เมื่อลอยสูงขึ้น หรือจมลงในสภาวะที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศที่อยู่รอบกลุ่มอากาศ จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงหรือเพิ่มขึ้นประมาณ 10 องศาเซลเซียส เมื่อระดับความสูงเปลี่ยนแปลง 1,000 เมตร เรียกการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบอะเดียแบติกแห้ง (dry adiabatic lapse rate) และเมื่อกลุ่มอากาศลอยสูงขึ้นไปถึงระดับที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างเท่ากับอุณหภูมิของจุดน้ำค้าง (dew point) จะมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ไอน้ำในกลุ่มอากาศนั้นจะเริ่มกลั่นตัวเป็นละอองน้ำ ที่ระดับความสูงนี้เรียกว่า ระดับกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ (lifting condensation level, LCL) ต่อจากระดับความสูงนี้การลอยตัวของกลุ่มอากาศมีอัตราการลดอุณหภูมิ ตามความสูงที่เปลี่ยนแปลง ขณะที่มีการกลั่นตัวนั้น ไอน้ำจะคายความร้อนแฝงของการกลั่นตัว (latent heat of condensation) ออกมา ทำให้กลุ่มอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศที่อยู่รอบกลุ่มอากาศ อัตราการลดอุณหภูมิของกลุ่มอากาศจึงมีค่าต่ำกว่าอัตราการลดอุณหภูมิแบบอะเดียแบติกแห้ง ซึ่งอัตราการลดอุณหภูมินี้เรียกว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบอะเดียแบติกอิ่มตัว (saturated adiabatic lapse rate) โดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 4 ถึง 5 องศาเซลเซียส เมื่อระดับความสูงเปลี่ยนแปลงไป 1,000 เมตร

ในกรณีที่ผิวดินได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้ว ถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศ ทำให้อากาศร้อนขึ้นและลอยสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงระดับความสูงที่อากาศอึดตัวด้วยไอน้ำ จึงเกิดการกลั่นตัวก่อตัวเป็นเมฆ บริเวณนี้เกิดเมฆก่อตัวตามแนวตั้ง ระดับความสูงของการกลั่นตัวในสภาวะนี้เรียกว่า ระดับการกลั่นตัวของกลุ่มอากาศที่เกิดจากการพาความร้อน (convection condensation level, CCL) (อุตุนิยมหาวิทยาลัย, 2540 ; วีระศักดิ์, 2544 อ้างถึงใน พรทิพย์ ภัทรารักษ์, 2547)

(2) การก่อตัวของเมฆ (formation of clouds)

เมฆโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นจากการยกตัวของก้อนอากาศ ขณะที่ก้อนอากาศยกตัวลอยขึ้นไปนั้นอุณหภูมิของก้อนอากาศจะลดลงตามกระบวนการอะเดียแบติก แต่บางครั้งเมฆอาจจะเกิดขึ้นจากกระบวนการอะเดียแบติกโดยการแผ่รังสีความร้อนออกไปเพื่อให้อุณหภูมิของก้อนอากาศลดลงหรืออาจถูกเคล้ากับมวลอากาศที่เย็นกว่าก็ได้ ในกรณีที่อากาศลอยขึ้นมีแรงหนึ่งมากระทำให้ลอยสูงขึ้นด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การพาความร้อน กระแสลมพัดเบียดตัวเข้าหากัน การลอยตัวขึ้นตามแนวลาดเชิงเขา การปะทะของมวลอากาศ หรือเป็นผลสืบเนื่องจากพายุจะทำให้ก้อนอากาศเกิดการขยายตัวพร้อมกับอุณหภูมิลดลงจนถึงจุดน้ำค้าง หรืออากาศเกิดการอึดตัวขึ้น ไอน้ำในอากาศบางส่วนจะกลั่นตัวกลายเป็นละอองน้ำขนาดเล็กเกิดขึ้นบนอนุภาคกลั่นตัว (condensation nuclei) ของการกลั่นตัวและถ้าอุณหภูมิของจุดน้ำค้างยังลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงจุดเยือกแข็ง ไอน้ำบางส่วนจะระเหิดเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งโดยตรงบนอนุภาคแกนกลั่นตัว (condensation nuclei) เยือกแข็ง (freezing nuclei) ดังนั้นบริเวณส่วนล่างภายในเมฆจะประกอบด้วยละอองน้ำขนาดเล็กในขณะที่บริเวณส่วนบนของเมฆที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง และเมฆที่อยู่ในระดับสูงนั้นจะประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งทั้งก้อน (รังสรรค์ อาภาศัพทะกุล, 2547)

2.1.4 เมืองและผลกระทบต่อแกนกลั่นตัว

2.1.4.1 กิจกรรมที่พบในเขตเมือง

แหล่งปลดปล่อยฝุ่นละอองทางอากาศในเขตกรุงเทพมหานครและเมืองหลักส่วนใหญ่ มีสาเหตุมาจากการจราจรในเขตเมืองที่คับคั่ง โดยเฉพาะบริเวณริมเส้นทางการจราจร ย่านชุมชนต่างๆ รวมทั้งฝุ่นละอองจากกิจกรรมการก่อสร้างอาคารหรือถนนต่างๆ อีก จะเห็นได้ว่าฝุ่นละอองในเขตเมืองจะมีสารอินทรีย์วัตถุ ธาตุคาร์บอน ซัลเฟต และไนเตรท ซึ่งมาจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ของ

ยานพาหนะ(Celis et al, 2004; Querol et al, 2001) นอกจากนี้ยังพบไอเสียรถยนต์ยังเป็นแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่ที่ปลดปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนด้วย ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนรูปในบรรยากาศเป็นอนุภาคไนเตรท (Wangkiat, 2002) ส่วนสารประกอบจำพวกแคลเซียม มาจากการฟุ้งกระจายขึ้นอีกครั้งของฝุ่นถนนหรือจากบริเวณที่มีการก่อสร้าง หรือการรื้อถอนอาคาร (Rössli et al, 2001; Harrison et al, 2004) ในเขตเมืองส่วนใหญ่จะเป็นการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เป็นจำนวนมาก (ศิริวรรณ แก้วงาม, 2543) อีกด้วย สารไอออนิกที่พบในเมือง ประกอบไปด้วย

คลอไรด์ มีแหล่งกำเนิดมาจากกลุ่มเชื้อเพลิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทกะลาปาล์ม อุตสาหกรรมไม้ และการเผาขยะ (กัลยากรณ์ ตั้งอุไร, 2549) และยังพบว่า คลอไรด์เป็นองค์ประกอบที่มาจากละอองไอทะเล (Harrison et al, 1995; Chan et al, 1997)

อนุภาคของไนเตรท ในบรรยากาศสามารถเปลี่ยนรูปได้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง อาทิเช่น ยานพาหนะประเภทต่างๆ รวมทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (QUARG, 1996; cheng et al, 2000; Celis et al, 2004, U.S.EPA., 1996b)

ซัลเฟต มีแหล่งกำเนิดมาจากกลุ่มเชื้อเพลิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงพวกถ่านหิน น้ำมันเตา รวมทั้งชีเลื้อย และก็ยังมีความเป็นไปได้ว่ามาจากยานพาหนะ การเผาขยะรวม (QUARG, 1996; cheng et al, 2000; Celis et al, 2004, U.S.EPA., 1996b)

โซเดียม มีแหล่งกำเนิดมาจากกลุ่มเชื้อเพลิงอุตสาหกรรม กระบวนการผลิตอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมไม้ และการเผาขยะรวม (QUARG, 1996; cheng et al, 2000; Celis et al, 2004, U.S.EPA., 1996b)

แอมโมเนียมมีแหล่งกำเนิดมาจากถนน รวมทั้งยานพาหนะ และบางครั้งก็พบว่าเกิดจากกิจกรรมการเกษตร (QUARG, 1996; cheng et al, 2000; Celis et al, 2004, U.S.EPA., 1996b)

โพแทสเซียม มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมที่ใช้ชีเลื้อย และอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทกะลาปาล์ม (QUARG, 1996; cheng et al, 2000; Celis et al, 2004, U.S.EPA., 1996b)

แคลเซียม มีแหล่งกำเนิดเชื้อเพลิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทนี้เสีย และกะลาปาล์ม รวมทั้งละอองไอทะเล (QUARG, 1996; cheng et al, 2000; Celis et al, 2004, U.S.EPA., 1996b)

2.1.4.2 ผลกระทบต่อการเกิดแกนกลั่นตัว

อนุภาคแกนกลั่นตัวส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยอนุภาคของเกลือที่มาจากทะเลหรือไม่ก็จะเป็นอนุภาคจำพวก แคลเซียมคลอไรด์ แอมโมเนียไนเตรต อนุภาคแกนกลั่นตัว มีคุณสมบัติดูดซับความชื้นได้ดี เมื่อดูดซับความชื้นจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลงแตกต่างกันตามชนิดของแกนกลั่นตัว (Small et al, 2005; เมธา รัชตะปิติ, 1995) ซึ่งในเขตเมืองจะพบว่า มีอนุภาคที่เป็นแกนกลั่นตัวที่เอื้อต่อการเกิดฝน มีน้อยมาก หรือแทบจะไม่มีเลย โดยเฉพาะ อนุภาคของสารอินทรีย์วัตถุ ชาติคาร์บอน ซึ่งถ้ามีในปริมาณที่มากและขนาดเล็ก ก็จะเกิดการแย่งชิงไอน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศ จนเมฆไม่สามารถก่อตัวได้ หรือก่อตัวได้แต่ไม่เจริญเติบโตเป็นฝน(สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร, 2547)

2.2 ฝุ่นละออง

อนุภาคที่แขวนลอยในอากาศมีทั้งที่อยู่ในรูปของของแข็ง เช่น ฝุ่นละออง เขม่าควันจากท่อไอเสียรถยนต์ เป็นต้น และอนุภาคที่อยู่ในรูปของของเหลว เช่น ละอองไอของสารกำจัดศัตรูพืช ไอกรด หรือไอของสารเคมีต่างๆ เป็นต้น

ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพและองค์ประกอบ ฝุ่นละอองมีอยู่ในบรรยากาศมีขนาดตั้งแต่ 0.02 ไมโครเมตร ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมโครเมตร โดยฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก เนื่องจากมีความเร็วในการตกสะสมต่ำ และจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้นหากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น ในขณะที่ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่อาจจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะเล็กกว่า 0.5 ไมโครเมตร อาจจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี ทั้งนี้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะการรวมตัวของฝุ่นละออง เช่น ควัน (Smoke) ฟุ้ง (Fume) หมอกน้ำค้าง (Mist) เป็นต้น (สุริธิตา และคณะ, 2544)

2.2.1 ความหมายของฝุ่นละออง

อนุภาคมลสาร (Particulate matter) หมายถึง สารทุกชนิดไม่ว่าจะอยู่ในรูปของของแข็งหรือของเหลว ยกเว้นไอน้ำ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิและความดันปกติ (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ) อาจมีขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมโครเมตร จนถึง 200 ไมโครเมตร (U.S.EPA, 1996a)

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

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) หมายถึง อนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมโครเมตร (U.S.EPA, 1996a)

ฝุ่นละอองรวม (TSP) คือ อนุภาคฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมโครเมตรลงมา (วนิดา จินศาสตร์, 2550; U.S.EPA, 1996a)

ฝุ่นละอองเมื่อแยกขนาดตามอนุภาคพบว่าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ซึ่งอาจเกิดจากรถประจำทางและรถบรรทุกที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล บางส่วนมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนมากพบในเขตเมือง เขตอุตสาหกรรม และเขตกึ่งชนบท หากพบในปริมาณที่สูงอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนได้ (สุธิลา และคณะ, 2544) โดยทั่วไปมลสารต่างๆ เช่น ฝุ่นละออง เมื่อถูกปลดปล่อยมาจากแหล่งกำเนิดจะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ โดยแหล่งกำเนิดเป็นส่วนหนึ่งของระบบที่ก่อให้เกิดและปลดปล่อยฝุ่นละอองออกไปสู่อากาศภายนอกซึ่งแหล่งกำเนิดดังกล่าวอาจเป็นแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน เป็นต้น หรือจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้าง เป็นต้น ฝุ่นละอองเมื่อถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ จะเข้าสู่บรรยากาศซึ่งเป็นส่วนที่จะรองรับฝุ่นละออง นอกจากนี้ บรรยากาศยังเป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่ให้ฝุ่นละอองเกิดจากการแพร่กระจายออกไป โดยมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิ เป็นต้น จากนั้นฝุ่นละอองจะถูกพัดพาและแพร่กระจายไปสู่ผู้รับผลกระทบเป็นส่วนที่ถูกสัมผัสกับฝุ่นละอองในบรรยากาศ ทำให้ได้รับความเสียหายหรืออันตราย โดยผู้ที่ได้รับผลกระทบอาจเป็นสิ่งมีชีวิต

2.2.2 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง

อนุภาคฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศโดยทั่วไปอาจเกิดจากแหล่งกำเนิดโดยตรงแล้วแพร่กระจายสู่บรรยากาศ หรือเกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ในบรรยากาศ เช่นการรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ ปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical reaction) ทำให้เกิดเป็นอนุภาคขึ้น (สุริยา และคณะ, 2544) โดยธรรมชาติของอนุภาคหยาบและอนุภาคละเอียดจะมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ซึ่งแหล่งกำเนิดของอนุภาคหยาบมีดังนี้ (U.S.EPA, 1996b)

วัตถุดิบจากเปลือกนอกโลก เช่น ดินหรือหิน ซึ่งในพื้นที่เขตเมืองเกิดขึ้นจากการเดินบนถนนหรือจากการสัญจรของรถยนต์บนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง ส่วนในพื้นที่เขตชนบทเกิดจากการไถพรวนดินแล้วมีลมพัดผ่านเหนือพื้นดิน ส่งผลให้อนุภาคดังกล่าวแขวนลอยในบรรยากาศ

วัตถุดิบของสิ่งมีชีวิต เช่น แบคทีเรีย เกสรดอกไม้ สปอร์ และพืชต่างๆ รวมทั้งเศษชิ้นส่วนของสัตว์ โดยส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2.0-10 ไมโครเมตร และในบางครั้งจะพบที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ไมโครเมตร

วัตถุดิบจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเกิดจากการปฏิบัติงานของโรงงานหลายประเภทซึ่งทำให้เกิดอนุภาคหยาบ เช่น การเปิดบ่อเหมืองแร่ หรือกระบวนการทำถ่าน เป็นต้น

ในขณะที่แหล่งกำเนิดของอนุภาคขนาดเล็ก มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า อุตสาหกรรม และยานพาหนะ การเผาไหม้มวลชีวภาพ และการถลุงแร่หรือการผลิตโลหะต่างๆ เป็นต้น (U.S.EPA, 1996b) ทั้งนี้อุตสาหกรรมละเอียดที่เกิดจากการแปรรูปของก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatile organic compound; VOC) สามารถเปลี่ยนรูปในบรรยากาศได้โดย (Harrison and Jones, 1995)

การควบแน่นของก๊าซหรือไอระเหยเป็นอนุภาคในสถานะที่อุณหภูมิสูง

การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะก๊าซไปอยู่ในรูปของอนุภาค

โดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ (นพภาพร และคณะ, 2544; ปาจริย์ และคณะ, 2548; พิทยา ว่องกุล, 2537; วนิดา จินศาสตร์, 2550; Seinfeld, 1985)

2.2.2.1 แหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ (Natural sources)

เป็นแหล่งกำเนิดที่เป็นไปตามธรรมชาติ ไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ซึ่งได้แก่ ฝุ่นละอองที่อาจเกิดจากภูเขาไฟระเบิด ทะเล และมหาสมุทร เป็นต้น

2.2.2.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made sources)

เป็นแหล่งกำเนิดที่มีมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องหรือเป็นกิจกรรมที่มนุษย์กระทำ ซึ่งแหล่งกำเนิดประเภทนี้สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

(1) แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile sources) ได้แก่ ยานพาหนะประเภทต่างๆ ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ตัวอย่างแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ ได้แก่

ก. ยานพาหนะทางบก ได้แก่ รถยนต์ที่ใช้เครื่องดีเซล โดยระบายฝุ่นละอองออกสู่บรรยากาศในรูปของควันดำซึ่งเป็นอนุภาคของคาร์บอนจำนวนมากที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ และจักรยานยนต์สองจังหวะซึ่งระบายออกสู่บรรยากาศในรูปของควันขาวที่เป็นละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น

ข. การบรรทุกและขนส่งวัสดุก่อสร้าง เป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างทุกประเภท โดยเฉพาะการบรรทุกและการขนส่งดินทราย ที่ไม่มีการปกคลุมส่วนที่บรรทุกให้มิดชิด หรือล้อรถที่มีดินทรายเกาะอยู่ตกหล่นลงสู่ถนนตลอดทางที่วิ่งไป ทำให้ฝุ่นละอองเกิดการฟุ้งกระจายไปในบรรยากาศ

(2) แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary sources) ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ โรงงานไฟฟ้า เตาหุงต้มตามบ้านเรือน และการเผาขยะมูลฝอย เป็นต้น ตัวอย่างแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ ได้แก่

ก. การก่อสร้างและการรื้อถอนอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างอาคาร ถนน ระบบขนส่งมวลชนและระบบสาธารณูปโภคต่างๆ โดยการก่อสร้างหลายประเภทมักมีการเปิดหน้าดินก่อนซึ่งทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นดินและทราย รวมทั้งการฟุ้งกระจายจากปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างด้วย

ข. โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และสถานประกอบการต่างๆ ซึ่งการเกิดฝุ่นละอองเกิดได้ 2 ขั้นตอน คือ

- การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ฟืน แกลบ เป็นต้น เพื่อนำพลังงานไปใช้ในการผลิต ซึ่งหากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือไม่มีการกำจัดอย่างถูกต้องจะก่อให้เกิดก๊าซและฝุ่นละอองลอยในอากาศ ตัวอย่างเช่น เกลออย (Fly ash) จากโรงไฟฟ้า เป็นต้น

- กระบวนการผลิต ได้แก่ โรงงานที่ผลิตโลหะต่างๆ เช่น โรงงานผลิตตะกั่ว สังกะสี อลูมิเนียม ทองแดง ซึ่งจะเกิดก๊าซ ไอควัน และฝุ่นละออง การผลิตปูนซีเมนต์จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และฝุ่นละออง รวมทั้งการทำเหมืองแร่ที่มีขั้นตอนการผลิต 5 ขั้นตอนใหญ่ซึ่งได้แก่ การขุดเจาะหรือการระเบิด การขนส่ง การเก็บการบดย่อย การแยกแร่ และการทำให้แห้ง โดยในแต่ละขั้นตอนล้วนทำให้เกิดฝุ่นละอองและอนุภาคของธาตุต่างๆ เช่น การฟุ้งกระจายของฝุ่นตะกั่วในบรรยากาศขณะบดย่อย การทำให้แห้งหลังจากมีการแยกแร่ด้วยวิธีเปียกโดยใช้น้ำฉีดซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซและฝุ่นละอองออกมา เป็นต้น

ค. การเผาวัสดุต่างๆ ในที่โล่งแจ้ง เช่น การเผาขยะมูลฝอย การเผาเศษวัสดุต่างๆ ที่เหลือจากการเกษตร รวมทั้งการเผาหญ้าและวัชพืชเพื่อปรับปรุงพื้นที่สำหรับเพาะปลูก เป็นต้น ทำให้เกิดเขม่าขี้เถ้าเป็นจำนวนมากซึ่งจะฟุ้งกระจายไปในอากาศและลอยไปตามกระแสลมปกคลุมพื้นที่กว้าง

2.2.3 ความเข้มข้นและการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในอากาศ

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับปริมาณของอากาศที่สะอาดและศักยภาพของแหล่งที่กำเนิด โดยความเข้มข้นของฝุ่นละอองอาจมีความผันแปรและขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ ซึ่งความเข้มข้นของฝุ่นละอองอาจมีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์

เมตร ในเขตห่างไกลชุมชน และมีค่าน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเขตชุมชนหนาแน่น (Schroeder และคณะ, 1987 อ้างถึงใน ภิญโญ มานะเสถียร, 2545) และจากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในเขตชุมชนเมืองสูงกว่าเขตชนบท (Choularton et al, 1982 อ้างถึงใน ภิญโญ มานะเสถียร, 2545)

อย่างไรก็ตามพบว่าระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ในบรรยากาศสามารถผันแปรตามฤดูกาลต่างๆ ได้ อันเนื่องจากสภาพภูมิอากาศ ซึ่งได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน ทิศทางลม โดยพบว่าระดับความเข้มข้นเฉลี่ยในฤดูหนาวสูงกว่าหน้าฝน (อรุบล โชติพงษ์, 2541; ศิริวรรณ แก้วงาม, 2543) เช่นเดียวกับระดับของฝุ่นละอองในช่วงฤดูแล้งที่มีค่าสูงกว่าฤดูฝน

2.2.3.1 ความเร็วและทิศทางลม (wind speed and wind direction)

ลม คือ อากาศที่เคลื่อนไหวยานานกับผิวโลก โดยปัจจัยที่มีความสำคัญในการประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นละอองคือ ความเร็วและทิศทางลม เนื่องจากฝุ่นละอองจะถูกเจือจางโดยลมที่พัดผ่านแหล่งกำเนิด ซึ่งการเจือจางนี้เกิดจากอากาศที่ไม่มีฝุ่นละอองหรือมีฝุ่นละอองน้อยเคลื่อนที่เข้ามา ทำให้บริเวณที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองมากมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง ในขณะที่ทิศทางลมจะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของฝุ่นละออง และบริเวณที่มลสารกระจายออกไป ซึ่งทิศทางลมจะเป็นตัวกำหนดว่ามลสารจะถูกพัดพาไปในทิศทางไหน เนื่องจากลมมักจะไม่ได้พัดไปในทิศทางเดียวกันตลอดเวลา และการพัดพาไปในทิศทางต่างๆ มักไม่คงที่ทั้งในชั่วเวลาสั้นๆหรือเป็นเวลานาน ในทางอุตุนิยมวิทยาจะแสดงความเร็วลมและทิศทางลมในรูปของแผนภูมิลมจะแสดงในทิศทางที่มลสารถูกพัดพาไปสู่ทิศทางตรงกันข้าม เช่น ลมที่พัดมาจากทิศทางตะวันออกเฉียงใต้จะพัดฝุ่นละอองไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นต้น (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543)

2.2.3.2 ความปั่นป่วน (Turbulence)

ความปั่นป่วน หมายถึง ธรรมชาติของของไหลซึ่งแสดงให้เห็นอยู่ในรูปของความไม่แน่นอน ไม่สามารถทำนายได้ เป็นการเคลื่อนที่อย่างไม่ราบเรียบในบรรยากาศ ซึ่งความปั่นป่วนของบรรยากาศเกิดขึ้นเมื่อการไหลของอากาศมีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Eddy) ซึ่งหมายถึงส่วนของอากาศที่เคลื่อนไหวแบบอิสระในลักษณะขึ้นลง (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543) โดยกระแสวนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง ซึ่งมีความสำคัญต่อการแพร่กระจายและการเจือจางของฝุ่น

ละออง โดยพบว่าเมื่อมีความปั่นป่วนของบรรยากาศลดลง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดจะมีความเข้มข้นสูงขึ้น แต่หากบรรยากาศมีความปั่นป่วนเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะมีค่าหลักๆ 2 สาเหตุคือ ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน(Thermal Turbulence) และความปั่นป่วนทางกลไก (Mechanical Turbulence)

2.2.3.3 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างๆ จะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งตามปกติอุณหภูมิจะลดลงตามระดับความสูง และความแตกต่างของอุณหภูมิที่ระดับความสูงต่างๆ จะมีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละออง (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543) โดยในเวลากลางวัน แสงอาทิตย์จะทำให้เกิดความปั่นป่วนของมวลอากาศ เป็นผลให้การแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศแพร่กระจายได้เป็นอย่างดี ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิลดต่ำลงมากทำให้มวลอากาศหนึ่งส่งผลให้การแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศแพร่กระจายได้ไม่ดี (นพภาพร และคณะ, 2544) ทั้งนี้ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ระดับความสูงต่างๆ จะเป็นตัวบ่งชี้ทางอ้อมว่า อากาศมีความปั่นป่วนมากน้อยเพียงใด และมีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศมากหรือน้อย (นิตยา, 2533 อ้างถึงใน กัลยากร ตั้งอุไร, 2549)

2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Vali et al. (1988) ทำการศึกษาฝนด้วยเครื่องเรดาร์ตรวจอากาศ พบว่ากระบวนการเกิดฝนในเมฆอุ่นเกิดขึ้นในเขตร้อน และบริเวณมหาสมุทรมากกว่าเขตหนาว หรือบริเวณตอนในของภาคพื้นทวีป

Sumner et al. (1988) อธิบายว่า ในบรรยากาศกระบวนการเมฆเย็นจะมีประสิทธิภาพสูงในช่วงความสูงที่มีระดับอุณหภูมิ -10 ถึง -30 องศาเซลเซียส เพราะอนุภาคน้ำแข็งและหยดน้ำเย็นยิ่งยวดปริมาณมากพอๆ กัน ในระดับต่ำกว่าระดับ -10 องศาเซลเซียส พบอนุภาคน้ำแข็งน้อยเกินไป และระดับที่สูงกว่า -30 องศาเซลเซียส ก็พบว่าหยดน้ำเย็นยิ่งยวดน้อยเกิดไปเช่นกัน ทั้งสองกรณีนี้จึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่า สำหรับแหล่งกำเนิดของอนุภาคน้ำแข็งในบางโอกาสอาจเกิดจากอนุภาคน้ำแข็งของเมฆที่อยู่สูงกว่า สำหรับแหล่งกำเนิดของอนุภาคน้ำแข็งในบางโอกาสอาจเกิดจากอนุภาคของเมฆที่อยู่สูงกว่า เช่น เมฆเซอร์รัส ร่วงหล่นลงมาสู่เมฆที่อยู่ต่ำกว่า เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการเมฆเย็น

Tzivion et al. (1994) ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการโปรยสารเคมีดูความชื้นกับเมฆอุ่นชนิดก่อตัวในแนวตั้ง (convective clouds) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ถึง 3 กิโลเมตร โดยใช้อนุภาคเกลือขนาดรัศมีแตกต่างกัน พบว่าอนุภาครัศมีของเกลือขนาด 6 ถึง 8 ไมโครเมตร ให้ความชื้นน้ำเล็กเกินไป ขนาด 10 ไมโครเมตร เริ่มให้ความชื้นน้ำใหญ่ขึ้นขนาด 16 ไมโครเมตร ให้ผลตอบสนองดีที่สุด กับพื้นที่ฝนตกรวม และอนุภาครัศมีขนาด 20 ถึง 25 ไมโครเมตร ให้ผลดีกว่าอนุภาครัศมีขนาด 10 ไมโครเมตร และให้เกิดฝนตกได้เร็วกว่าขนาดเล็กๆ ปริมาณในการโปรยสารเคมีที่เหมาะสม 450 กิโลกรัมต่อการก่อตัวของเมฆในแนวตั้งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ถึง 3 กิโลเมตร เวลาที่เหมาะสมในการโปรยสารเคมีคือ 27 ถึง 31 นาที หลังเมฆเริ่มก่อตัว และระดับความสูงที่เหมาะสมคือ ที่ระดับฐานเมฆ

Rosenfeld et al. (1994) ทำการศึกษากการทดสอบการเคลื่อนที่ของการเร่งเมฆให้เกิดฝนในประเทศไทย โดยในการทดลองใช้อนุภาคสารดูความชื้น 4 ชนิด ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ แอมโมเนียมไนเตรท และยูเรีย ที่มีขนาด 5 10 30 และ 50 ไมโครเมตร ในช่วงเวลาและระดับความสูงต่างกันของเมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง (Cumulus Cloud) หาสัดส่วนในค่าของการโปรยสารเคมี ต่อการไม่โปรยสารเคมี (Seeded/Nonseeding) จากการศึกษาพบว่า อนุภาคแคลเซียมคลอไรด์ขนาด 50 ไมโครเมตร ส่งผลให้การก่อตัวของเมฆในแนวตั้งก่อตัวมากที่สุด อัตราการโปรยสารเคมีจะต้องเร็วเนื่องจากต้องการความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศสูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในทางปฏิบัติมีค่าประมาณ 75-375 กิโลกรัม/นาที ในการโปรยจากเครื่องบินที่มีความเร็ว 120 น็อต จะให้ความเข้มข้นของสารเคมี 0.0685 กรัม/ลูกบาศก์เมตร บริเวณที่โปรยสารเคมีที่ให้ผลสูงที่สุดคือ บริเวณฐานเมฆ และช่วงเวลาโปรยสารเคมีที่เหมาะสมคือ ในช่วงต้นของอายุเมฆ ประมาณ 5 นาที ภายหลังจากที่เมฆเริ่มก่อตัว การโปรยอนุภาคสารเคมีดูความชื้น ไปในเมฆอุ่น (warm clouds) เป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางไมโครฟิสิกส์ของเมฆ เพิ่มความรุนแรง และเร่งให้ขบวนการเกิดฝนให้เกิดเร็วขึ้นดังนี้ การโปรยสารดูความชื้นอนุภาครัศมี 0.1 ถึง 1.0 ไมโครเมตร บริเวณใต้ฐานเมฆ เพื่อเพิ่มปริมาณแกนกลั่นตัวของเม็ดน้ำ ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการควบแน่น และเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติภายในเมฆ ขนาดอนุภาครัศมี 5 ถึง 10 ไมโครเมตร เพื่อเร่งกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติของเมฆ และ ขนาดอนุภาครัศมี 50 ถึง 100 ไมโครเมตร เพื่อให้เกิดการข้ามขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติและเร่งกระบวนการชนและรวมตัวกัน ในช่วงการเกิดฝนเร็วขึ้น

Braham (1985) อ้างถึงใน Rosenfeld et al. (1994) กล่าวถึงการทำฝนในเมฆแบบผสม ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ 4 ประการ และสมมติฐาน 2 ประการ คือ ลักษณะธรรมชาติ 4 ประการได้แก่ 1) อนุภาคน้ำในเมฆบางชนิดไม่เปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็ง แม้อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส 2) ความดันรอบผลึกน้ำแข็งมี

ค่าต่ำกว่าความดันไอรอบน้ำเย็นยิ่งยวดที่อุณหภูมิเท่ากัน ทำให้เกิดการพอกเพิ่มขนาดโดยการระเหยน้ำออกไปเกาะผลึกน้ำแข็ง 3) ฝนตกเกิดจากเมฆแบบกระบวนการผสมที่มีอยู่ทั่วไปในส่วนต่างๆ ของโลก 4) มีการค้นพบอนุภาคน้ำแข็งเทียมหลายชนิดเป็นต้นว่า น้ำแข็งแห้ง ซิลเวอร์ไอโอไดด์ รวมทั้งแบคทีเรียชื่อ *Pseudomonas Syringae* ซึ่งกำลังทดลองใช้อยู่ในอเมริกา เนื่องจากแบคทีเรียชนิดนี้ ทำหน้าที่เป็นอนุภาคน้ำแข็งในอุณหภูมิประมาณลบ 1 องศาเซลเซียส ในขณะที่สารเคมีซิลเวอร์ไอโอไดด์ต้องใช้อนุภาคต่ำกว่าลบ 4 องศาเซลเซียส สำหรับสมมติฐาน 2 ประการได้แก่ 1) การมีอนุภาคน้ำแข็งน้อยเกินไปทำให้ประสิทธิภาพการเกิดหยาดน้ำฟ้า (precipitation efficiency : PE) มีค่าต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในพายุฝนฟ้าคะนองในภาคพื้นดิน หยดน้ำเย็นยิ่งยวดไม่สามารถเป็นฝนได้ทั้งหมด ดังนั้นลักษณะเช่นนี้จึงเป็นเมฆที่มีศักยภาพในการทำฝนเมฆเย็น การทำฝนที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดหยาดน้ำฟ้าเรียกว่า การทำแบบ “static” หรือการทำฝนโดยการใช้ผลกระทบททางไมโครฟิสิกส์โดยถือว่ามีผลทางพลวัต (dynamics) ของเมฆมีฝนน้อย วิธีนี้ต้องการปริมาณอนุภาคน้ำแข็งเทียมประมาณ 1 ถึง 10 อนุภาคต่อ 10^3 ลูกบาศก์เมตรของอากาศ 2) จากการตรวจวัดอากาศ พบว่าบริเวณที่มีอากาศไหลขึ้น ของเมฆก่อตัวในแนวตั้ง จะมีหยดน้ำเย็นยิ่งยวดเป็นจำนวนมาก ถ้าสามารถทำให้หยดน้ำเหล่านี้เปลี่ยนสถานะในอัตราที่เร็วกว่าธรรมชาติ จะทำให้เกิดการปลดปล่อยความร้อนแฝงออกมา และเหนี่ยวนำแรงลอยตัวของอากาศมากขึ้น เมฆจะเพิ่มขนาดความสูงมากขึ้น วิธีการนี้เรียกว่า การทำฝนแบบพล เพราะการโปรยสารเคมีในครั้งแรกจะช่วยในการหมุนเวียนของอากาศในเมฆ ทั้งช่วยยืดเวลากระบวนการในเมฆให้นานขึ้นด้วย ในทางปฏิบัติจำนวนอนุภาคสารเคมีที่เหมาะสมมีประมาณ 100 อนุภาคต่ออากาศ 10^3 ลูกบาศก์เมตร

Rosinski and Gandrud (1984) ทำการศึกษาการสะสมตัวขององค์ประกอบทางเคมีของแกนกลั่นตัวเป็นเมฆในชั้นบรรยากาศ ในโคโลราโด โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำฝนและหิมะ แล้วทำการแยกแกนกลั่นตัวระหว่างฤดูหนาวปี 1982 กับ 1983 จากการศึกษาพบว่าแกนกลั่นตัวได้รวมตัวอยู่ในรูปของเมฆซึ่งได้รวมเอาซัลเฟต คลอไรด์ไอออน และไนเตรทมาด้วย แต่ไนเตรทส่วนมากจะพบในหยาดน้ำฟ้า (ฝนและหิมะ) การรวมตัวกันของสารไอออนิกประจุบวก พบว่าโพแทสเซียมไอออนมีค่ามากที่สุด โซเดียมไอออน และแอมโมเนียม ตามลำดับ แต่ค่าของ สารไอออนิกประจุบวกนี้ ยังมีค่าน้อยกว่าสารไอออนิกประจุลบที่มี ซัลเฟตมีค่ามากที่สุด คลอไรด์ไอออน และไนเตรท ตามลำดับ และยังพบว่าไนเตรทจะพบในแกนกลั่นตัว ซึ่งปรากฏให้เห็นในรูปของหมอก และไนเตรทจะพบได้น้อยมาก ซึ่งไนเตรทไม่ถูกตรวจพบได้ในบางวัน

ศิริวรรณ (2543) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานและองค์ประกอบทางเคมีของ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ในกรุงเทพมหานคร โดยทำการตรวจวัดบริเวณพื้นที่ริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไป ในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ในฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าฤดูฝน โดยบริเวณพื้นที่ริมถนนมีความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน สูงกว่าพื้นที่ทั่วไป และพบว่าฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซลมีคาร์บอน ออกซิเจน และกำมะถัน เป็นองค์ประกอบ เช่นเดียวกับฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์เบนซินและโรงไฟฟ้า ส่วนฝุ่นละอองที่มาจากอาคารก่อสร้างมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ ในขณะที่ฝุ่นดินมีแคลเซียม อลูมิเนียม ซิลิกอน เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังพบว่าแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่มาจากการจราจร รองลงมาคืออาคารก่อสร้าง

Harrison and Jones (1995) ได้รวบรวมงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองในอากาศของประเทศอังกฤษ โดยรวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมา 15 ปี และจำแนกองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง โดยจำแนกออกเป็นสารประกอบไอออนิก ซึ่งได้แก่ ซัลเฟต ไนเตรต คลอไรด์ไอออน และแอมโมเนียม ซึ่งเป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองที่เกิดจากปฏิกิริยาของก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศ เช่น ไฮโดรคลอริก ซัลฟูริก เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าฝุ่นละอองที่มีองค์ประกอบจำพวกโลหะ อาจมาจากแหล่งกำเนิดทางธรรมชาติหรือจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น โซเดียมไอออน แมกนีเซียมไอออน โพแทสเซียมไอออน และแคลเซียมไอออน จะมีแหล่งกำเนิดจากละอองไอทะเลและฝุ่นดิน โดยเฉพาะโซเดียมไอออนกับแมกนีเซียมไอออน เป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำทะเล ในขณะที่ฝุ่นละอองที่มีองค์ประกอบจำพวกโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี จะมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์ อาทิเช่น โรงงานอุตสาหกรรมและการจราจร เป็นต้น ส่วนฝุ่นละอองที่มาจากกระบวนการเผาไหม้ ที่ไม่สมบูรณ์จะมีองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและสารประกอบอินทรีย์คาร์บอน ส่วนฝุ่นละอองที่มีองค์ประกอบประเภทธาตุที่พบในเขตเมืองไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ แต่มีความเป็นไปได้ว่ามาจากแหล่งกำเนิดทางธรณี

Chan et al. (1997) ศึกษาลักษณะทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศของประเทศออสเตรเลียโดยทำการตรวจวัดในเขตเมืองบริสเบน ซึ่งแต่ละบริเวณเป็นพื้นที่ในเขตเมืองที่มีป่าสงวนล้อมรอบ เขตเมืองมีการจราจรหนาแน่น พื้นที่อุตสาหกรรมหนัก พื้นที่อุตสาหกรรมเบาและพื้นที่ผสมระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมกับที่พักอาศัย จากการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบของไฮโดรเจน ธาตุคาร์บอน กำมะถัน สังกะสี โบรมีนและตะกั่ว นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยอนุภาคหุติย

ภูมิของซัลเฟต ซึ่งถูกปลดปล่อยมาจากกระบวนการเผาไหม้ ในขณะที่ฝุ่นหยาบส่วนใหญ่จะมาจากอนุภาคของเปลือกโลก ซึ่งมีองค์ประกอบของอลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม ไททานเนียม และเหล็ก อนุภาคทุติยภูมิของไนเตรทและอนุภาคเกลือทะเล ซึ่งมีโซเดียม ไอออน แมกนีเซียม ไอออน และคลอไรด์ ไอออน เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังพบว่าฝุ่นละอองในพื้นที่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรมซีเมนต์และที่พักอาศัยจะมีองค์ประกอบของอนุภาคเปลือกโลกซึ่งประกอบไปด้วยแคลเซียมและซิลิกอน ฝุ่นละอองในพื้นที่อุตสาหกรรมหนักจะพบว่ามีส่วนประกอบของดินทรายซึ่งได้แก่ ไททานเนียมและเหล็ก ส่วนพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นจะพบว่าฝุ่นละอองมีองค์ประกอบของตะกั่ว ธาตุคาร์บอน และสารอินทรีย์วัตถุ ในขณะที่พบว่าฝุ่นละอองในบริเวณเขตเมืองที่มีป่าสงวนล้อมรอบจะพบพวกโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่ามาจากการเผาไหม้ชีวมวล อนุภาคเปลือกโลก และอนุภาคเกลือทะเล

Querol et al. (2001) ได้ทำการตรวจติดตามอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในประเทศสเปน โดยทำการตรวจวัดในช่วงฤดูร้อนจากการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองในพื้นที่ใกล้ๆชายฝั่งทะเลจะมีโซเดียม ไอออน คลอไรด์ ไอออนและแมกนีเซียม ไอออน เป็นองค์ประกอบ ขณะที่ฝุ่นละอองในบริเวณพื้นที่อ้างอิง พื้นที่ชานเมืองและบริเวณที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานปิโตรเคมีจะมีซัลเฟตและแอมโมเนียมเป็นองค์ประกอบ ส่วนฝุ่นละอองในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นจะมีไนเตรท สารประกอบอินทรีย์คาร์บอน และธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งมาจากการบวนการเผาไหม้ เช่นเดียวกับฝุ่นละอองในบริเวณที่มีการเผาไหม้ชีวมวล เช่น ต้นสั้ม จะพบว่ามีส่วนประกอบอินทรีย์คาร์บอน ไนเตรท และฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคของฝุ่นละอองทั้ง 2 ขนาดในบริเวณที่อยู่ใกล้โรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกจะมีองค์ประกอบจำพวกอลูมิเนียม ไททานเนียม และเหล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในอนุภาคดินเหนียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

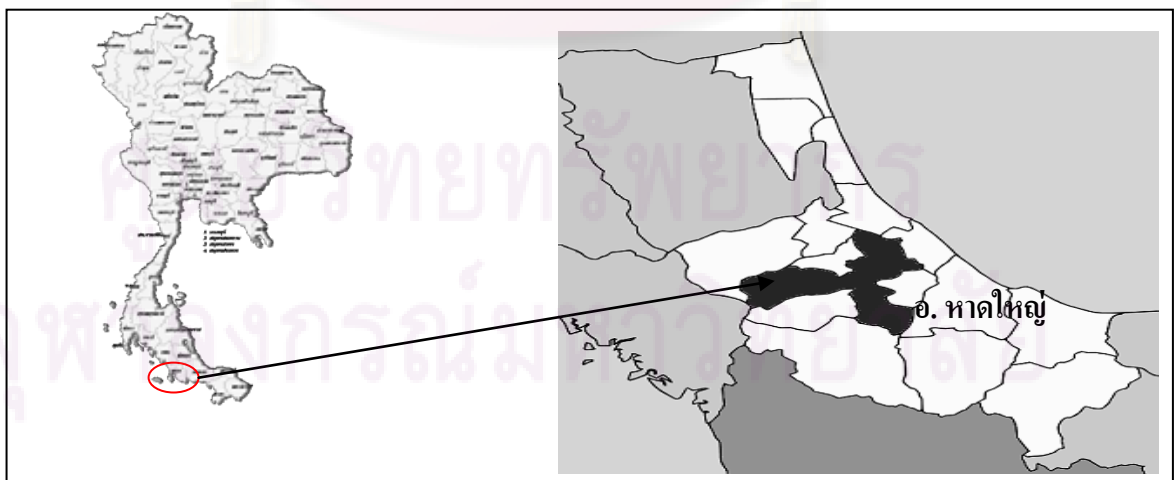
3.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

3.1.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.1.1 ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

อำเภอหาดใหญ่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัด ระหว่างละติจูดที่ $7^{\circ} 0' 6'' N$ และลองจิจูดที่ $100^{\circ} 21' 24'' E$ มีพื้นที่ทั้งหมด 660 ตารางกิโลเมตร ระยะทางห่างจากตัวเมืองสงขลา 30 กิโลเมตร อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครตามเส้นทางรถไฟประมาณ 974 กิโลเมตร และทางรถยนต์ประมาณ 993 กิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับเขตการปกครองข้างเคียงดังนี้ (ภาพที่ 3.1)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	ทะเลสาบสงขลา และติดกับอำเภอรัตภูมิ
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	อำเภอเมืองสงขลา อำเภอนาหม่อม อำเภอจะนะ
ทิศใต้	ติดต่อกับ	อำเภอสะเดาและอำเภอลองหอยโข่ง
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	อำเภอกวนกาหลง (จังหวัดสตูล) อำเภอรัตภูมิ



ภาพที่ 3.1 ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ที่มา : ดัดแปลงจากเว็บไซต์ <http://th.wikipedia.org/wiki>

3.1.1.2 สภาพภูมิอากาศ

เนื่องจากอำเภอหาดใหญ่ตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุมเมืองร้อน มีลมมรสุมพัดผ่านประจำทุกปี คือ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม ถึงกลางเดือนมกราคม และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม ถึงกลางเดือนตุลาคม จากอิทธิพลของลมมรสุมดังกล่าว ส่งผลให้มีฤดูกาลเพียง 2 ฤดู คือ

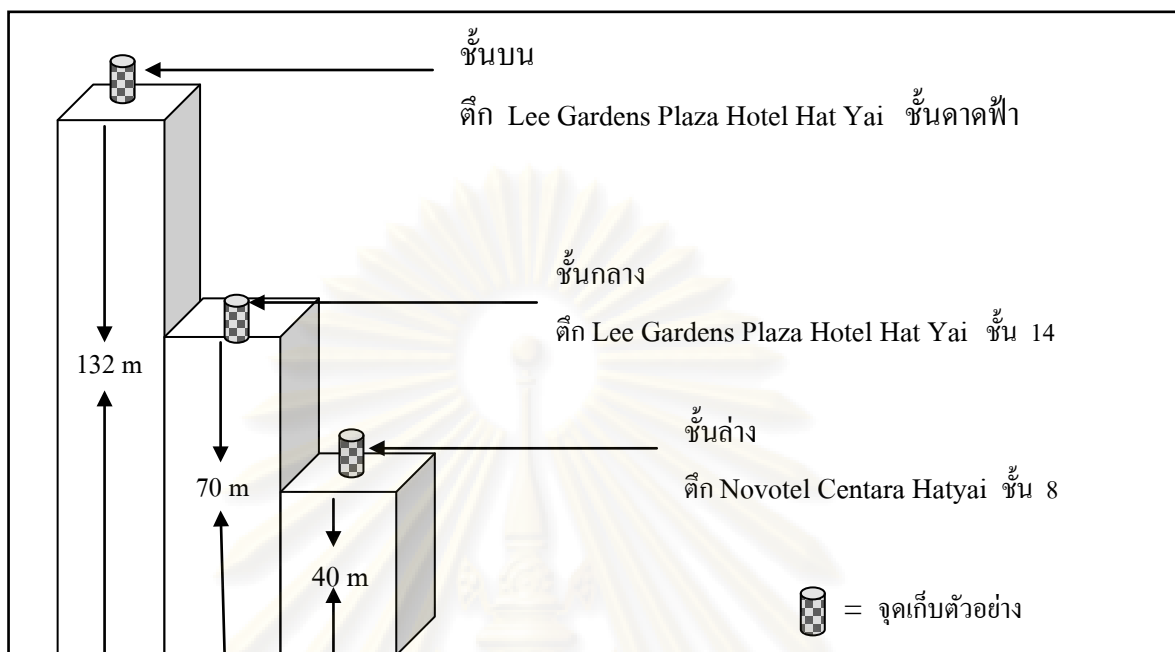
ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคม ถึงเดือน พฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ว่างของลมมรสุมจะเริ่มตั้งแต่หลังจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือแล้ว อากาศจะเริ่มร้อนและอากาศจะมีอุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายน แต่อากาศจะไม่ร้อนมากนักเนื่องจากตั้งอยู่ใกล้ทะเล

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน อำเภอหาดใหญ่จะมีฝนตกทั้งในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่ในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีฝนตกชุกมากกว่า เนื่องจากพัดผ่านอ่าวไทย ส่วนลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะถูกเทือกเขาบรรทัดปิดกั้นทำให้ฝนตกน้อยลง ในปี พ.ศ. 2546 ฝนตกมากที่สุดในช่วงเดือนตุลาคม มีปริมาณ ฝนตกน้อยที่สุดในเดือนเมษายน

ลักษณะภูมิประเทศของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ราบลุ่มกว้างใหญ่ มีแนวภูเขาทางทิศตะวันตก ทิศใต้ และทิศตะวันออกโดยพื้นที่ลาดจากทิศใต้และทิศตะวันตกไปสู่ทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ติดกับทิวเขาบรรทัดทางทิศเหนือ และติดกับทิวเขาสันกาลาศรีทางทิศตะวันตกและทิศใต้ ภูเขาที่สำคัญได้แก่ เขาคอหงส์ เขาแก้ว และเขาน้ำน้อย

3.1.1.3 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

การศึกษาวิจัยในพื้นที่นี้จะทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Hi-Volume Air Sampler 2 เครื่อง ที่มีหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรและฝุ่นละอองรวม ในระดับความสูง 3 ระดับ คือ 1. ชั้นล่าง มีความสูงประมาณ 40 เมตร จากระดับพื้นดิน (ตึก Novotel Centara Hatyai ชั้น 8) 2. ชั้นกลาง มีความสูงประมาณ 70 เมตร จากระดับพื้นดิน (ตึก Lee Gardens Plaza Hotel Hat Yai ชั้น 14) 3. ชั้นบน มีความสูงประมาณ 132 เมตร จากระดับพื้นดิน (ตึก Lee Gardens Plaza Hotel Hat Yai ชั้น ดาดฟ้า) (ดังภาพที่ 3.2)



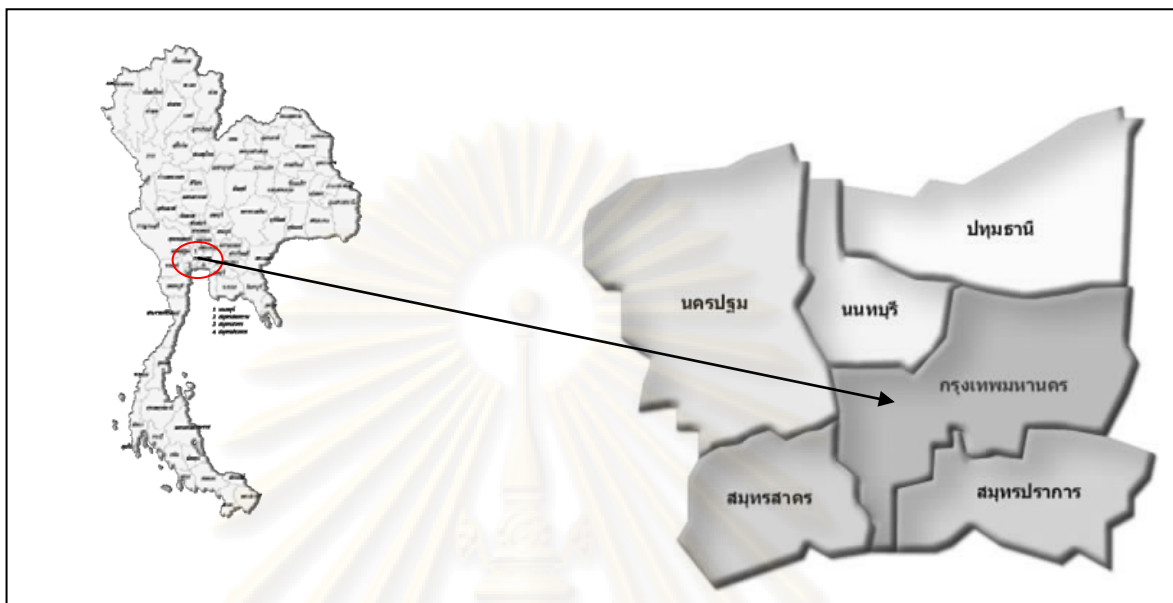
ภาพที่ 3.2 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.2 กรุงเทพมหานคร

3.1.2.1 ที่ตั้งและอาณาเขตของกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานคร เป็นเมืองหลวง และเมืองที่มีประชากรมากที่สุดของประเทศ ไทย มีแม่น้ำสำคัญคือ แม่น้ำเจ้าพระยา ไหลผ่าน (เดิมฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเป็นที่ตั้งของกรุงธนบุรี ซึ่งต่อมาภายหลังได้รวมเข้าเป็นส่วนหนึ่งของกรุงเทพ ปัจจุบันนิยมเรียกฝั่งตะวันตกของแม่น้ำนี้ว่า ฝั่งธน) กรุงเทพมหานครในปัจจุบันเป็นศูนย์กลางการปกครอง การศึกษา การคมนาคมขนส่ง การเงิน-การธนาคาร การพาณิชย์ การสื่อสาร ฯลฯ โดยมีพื้นที่ทั้งหมด 1,562.2 ตารางกิโลเมตร พิกัดตามภูมิศาสตร์คือ ละติจูด $13^{\circ} 45'$ องศาเหนือ ลองจิจูด $100^{\circ} 28'$ องศาตะวันออก มีอาณาเขตติดต่อกับเขตการปกครองข้างเคียงดังนี้ (ภาพที่ 3.3)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	จังหวัดนนทบุรี
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดสมุทรปราการ
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดฉะเชิงเทรา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดนครปฐม



ภาพที่ 3.3 ที่ตั้งและอาณาเขตของกรุงเทพมหานคร

ที่มา : คัดแปลงจากเว็บไซต์ <http://www.th.mitsubishi-fuso.com>

3.1.2.2 สภาพภูมิอากาศ

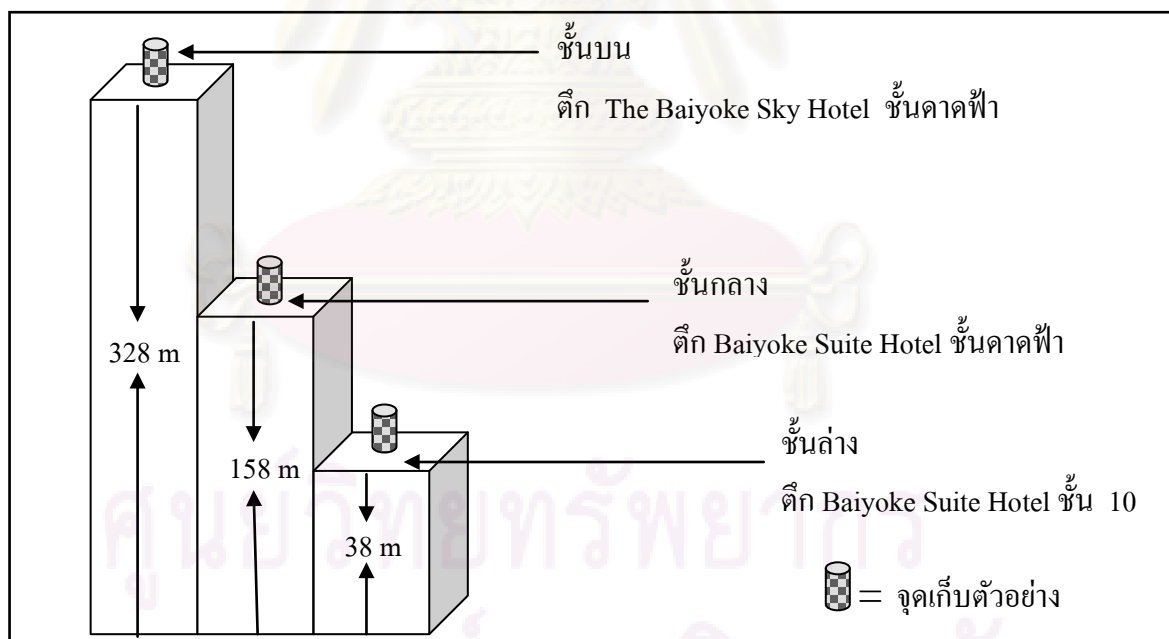
เนื่องจากกรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และอิทธิพลของลมทะเล อุณหภูมิสูงสุดในเดือนเมษายนเฉลี่ยแล้วสูงถึง 43 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่เดือนธันวาคมเฉลี่ย 20.8 องศาเซลเซียส อากาศจึงไม่ร้อนจัด ในฤดูร้อนมีความชื้นในอากาศสูง เนื่องจากอิทธิพลจากชายทะเล และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ มีปริมาณฝนตกมากช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปี 2550 เท่ากับ 1,445.01 มิลลิเมตร เฉลี่ยฝนตกต่อปี 98 วัน เดือนกันยายนเป็นเดือนซึ่งมีน้ำฝนมากที่สุด และเดือนธันวาคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ เป็นช่วงเดือนที่มีปริมาณฝนน้อยที่สุดลักษณะทางภูมิอากาศ เป็นแบบมรสุมมี 3 ฤดู คือ

ฤดูร้อน	เริ่มตั้งแต่	เดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนพฤษภาคม
ฤดูฝน	เริ่มตั้งแต่	เดือนมิถุนายน ถึงเดือนตุลาคม
ฤดูหนาว	เริ่มตั้งแต่	เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนมกราคม

ลักษณะภูมิประเทศ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ มีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านและถือเป็นแม่น้ำสายสำคัญของประเทศ ทางตอนใต้ของจังหวัดเป็นปากแม่น้ำมีพื้นที่ติดกับทะเล มีท่าคลองมากมาย เนื่องจากกรุงเทพมหานครได้รับอิทธิพลของลมมรสุมลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และอิทธิพลของลมทะเล ทิศทางลมส่วนใหญ่จึงพัดมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทางทะเล ซึ่งเป็นลมที่พัดมาจากทะเล

3.1.2.3 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

การศึกษาวิจัยในพื้นที่นี้จะทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Hi-Volume Air Sampler 2 เครื่อง ที่มีหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรและฝุ่นละอองรวม ระดับความสูง 3 ระดับ คือ 1. ชั้นล่าง ความสูงประมาณ 38 เมตร จากระดับพื้นดิน(ตึก Baiyoke Suite Hotel ชั้น 10) 2. ชั้นกลาง ความสูงประมาณ 158 เมตร จากระดับพื้นดิน(ตึก Baiyoke Suite Hotel ชั้นคาดฟ้า) 3. ชั้นบน ความสูงประมาณ 328 เมตร จากระดับพื้นดิน(ตึก The Baiyoke Sky Hotel ชั้นคาดฟ้า) (ดังภาพ 3.4)



ภาพที่ 3.4 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างกรุงเทพมหานคร

3.1.2 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1.2.1 ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของประเทศไทย เส้นรุ้งที่ 16 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 99 องศาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,027 ฟุต (310 เมตร) ส่วนกว้างจากทิศตะวันตกจรดทิศตะวันออกประมาณ 138 กิโลเมตร ส่วนยาวจากทิศเหนือจรดทิศใต้ประมาณ 320 กิโลเมตร ห่างจากกรุงเทพมหานครประมาณ 750 กิโลเมตร โดยทางรถไฟ และรถยนต์ประมาณ 720 กิโลเมตร ตามแนวทางหลวงแผ่นดินสายเหนือ เนื้อที่ ประมาณ 20,107 ตารางกิโลเมตร มีอาณาเขตติดต่อกับเขตการปกครองข้างเคียงดังนี้ (ภาพที่ 3.5)

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	รัฐเชียงตุงของสหภาพพม่า
ทิศใต้	ติดต่อกับ	จังหวัดลำพูน และตาก
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	จังหวัดแม่ฮ่องสอน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	จังหวัดเชียงราย ลำปาง และลำพูน



ภาพที่ 3.5 ที่ตั้งและอาณาเขตของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ที่มา : ดัดแปลงจากเว็บไซต์ <http://www.th.mitsubishi-fuso.com/>

3.1.1.2 สภาพภูมิอากาศ

เชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นเกือบทั้งปี มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 25.4 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20.1 องศาเซลเซียส สภาพภูมิอากาศจังหวัดเชียงใหม่อยู่ภายใต้อิทธิพลลมมรสุม 2 ชนิด คือลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งภูมิอากาศออกได้เป็น 3 ฤดู ได้แก่

ฤดูฝน	เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม
ฤดูหนาว	เริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนไปจนถึงเดือนกุมภาพันธ์
ฤดูร้อน	เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม

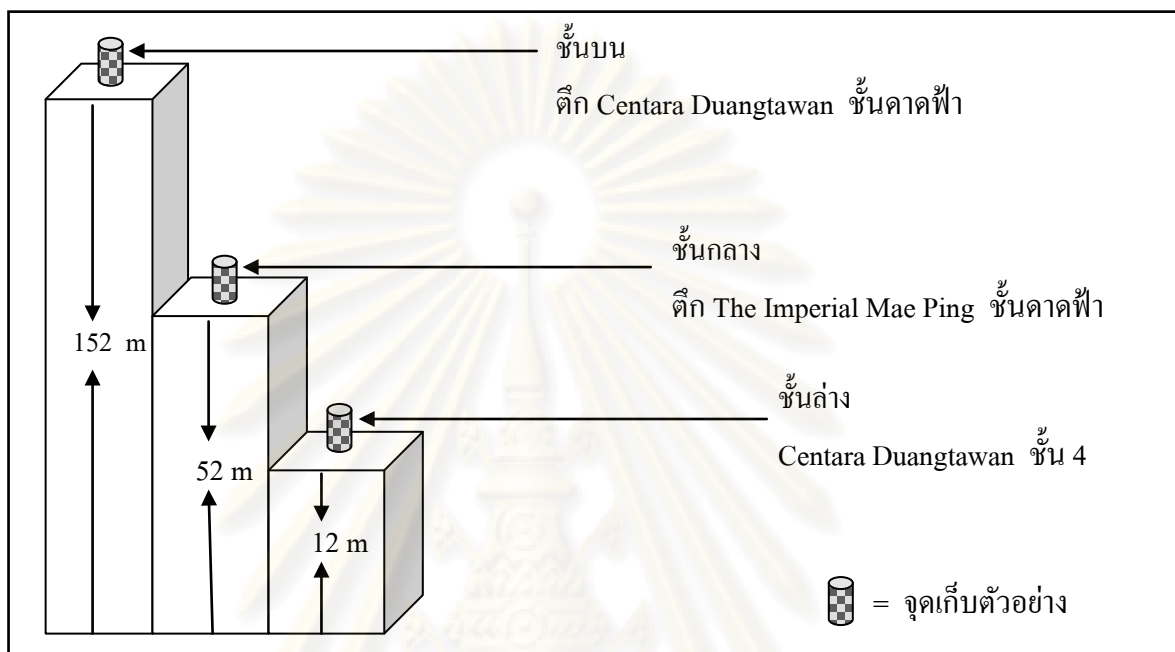
ลักษณะภูมิประเทศ จังหวัดเชียงใหม่มีพื้นที่ประมาณ 20,107.057 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 12,566,910 ไร่ โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาและที่ราบเชิงเขา มีเนื้อที่ประมาณ 10,397,501 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 82.71 พื้นที่ทำการเกษตรประมาณ 1,611,283 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.82 นอกจากนี้ยังมีพื้นที่อยู่อาศัยและอื่นๆ อีกประมาณ 558,127 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.44 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด สภาพพื้นที่ แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1. พื้นที่ภูเขา ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลเกินกว่า 500 เมตร คิดเป็นพื้นที่ประมาณร้อยละ 80 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่ภูเขาเหล่านี้เป็นพื้นที่ป่า ต้นน้ำ ลำธาร ไม่เหมาะแก่การเพาะปลูก
2. พื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำและที่ราบเชิงเขา ซึ่งกระจายอยู่ทั่วไประหว่างหุบเขา เป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะแก่การเกษตร

3.1.2.4 จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษา

การศึกษาวิจัยในพื้นที่นี้จะทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Hi-Volume Air Sampler 2 เครื่องที่มีหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรและฝุ่นละอองรวมในระดับความสูง 3 ระดับ คือ 1. ชั้นล่าง มีความสูงประมาณ 12 เมตร จากระดับพื้นดิน (ตึก Centara Duangtawan ชั้น 4) 2. ชั้นกลาง มีความสูงประมาณ 52 เมตร จากระดับพื้นดิน (ตึก The Imperial Mae

Ping ชั้นดาดฟ้า) 3. ชั้นบน มีความสูงประมาณ 152 เมตร จากระดับพื้นดิน (ตึก Centara Duangtawan ชั้นดาดฟ้า) (ดังภาพที่ 3.6)



ภาพที่ 3.6 แผนผังจุดเก็บตัวอย่างอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1) เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร Hi-Volume Air Sampler ที่มีหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น PM_{10} ชนิดไฮโวลุ่ม ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น TSP ชนิดไฮโวลุ่ม

2) เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม Hi-Volume Air Sampler ที่มีหัวคัดแยกฝุ่นละอองรวม (TSP) แสดงดังภาพที่ 3.8

3) กระดาษกรองควอตซ์ (Quartz fiber filter) ขนาด 8×10 นิ้ว

4) เครื่องปรับเทียบ (Calibrate)

5) คีมคีบปากแบน (Forceps) พันด้วยพาราฟิล์ม

6) กระจกชอลูมิเนียม

7) ถังซีป

8) ไฟฉาย

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม

1) เตาเผาอุณหภูมิสูง (oven)

2) ตู้ดูดความชื้น (Dessicator) ที่มีอุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์ (Hygrometer)

3) คีมคีบปากแบน (Forceps) พันด้วยพาราฟิล์ม

4) กระจกชอลูมิเนียม ล้างด้วย Dichloromethane สำหรับห่อกระจกกรอง

5) ถังพลาสติกซีป สำหรับบรรจุกระจกกรอง

6) ขวดพลาสติก (PE) ขนาด 30 มิลลิลิตร

7) น้ำปราศจากไอออน (Mili-Q water)

8) บีกเกอร์ขนาด 30 มิลลิลิตร

9) Syringe filter วัสดุขนาด 0.4 ไมโครเมตร

10) Syringe 20 มิลลิลิตร

11) เครื่องเขย่า

12) เครื่อง Ion Chromatography รุ่น Modular IC

3.3 วิธีดำเนินการศึกษา

3.3.1 การเตรียมการศึกษา

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง (Chemical compound) สารไอออนิก (Ionic species) ข้อมูลอนุภาคแกนกลั่นตัว และข้อมูลฝุ่นละออง รวมทั้งข้อมูลงานวิจัยต่างๆ เป็นต้น

3.3.2 การเตรียมการเก็บตัวอย่าง

3.3.2.1 การเตรียมชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

เตรียมชุดเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง Hi-Volume Air Sampler 2 เครื่องที่มีหัวคัดแยกฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) และ ฝุ่นละอองรวม (TSP) โดยผ่านขั้นตอนทำความสะอาด จากนั้นติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อทำการปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศ (Calibrate Hi-Volume)

3.3.2.2 การเตรียมกระดาษกรอง

กระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างเป็นกระดาษกรอง Quartz fiber filter ขนาด 8 × 10 นิ้ว ก่อนนำไปเก็บตัวอย่างต้องทำการตรวจสอบสภาพกระดาษกรองก่อน และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อขจัดสารคาร์บอนที่ตกค้างในกระดาษกรอง ทิ้งให้เย็นในเตาเผา แล้วนำกระดาษกรองไปใส่ในตู้ดูดความชื้น (Dissicator) เพื่อไล่ความชื้นออกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บรักษากระดาษกรองโดยห่อด้วยอลูมิเนียมทึบ 1 แผ่น และเก็บใส่ในถุงพลาสติกซิปล็อค เพื่อป้องกันการปนเปื้อนก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

3.3.3 การดำเนินการเก็บตัวอย่าง

ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองตามพื้นที่ที่กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งในแต่ละพื้นที่ศึกษาจะติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจำนวน 2 เครื่อง สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) และฝุ่นละอองรวม (TSP) ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองตามจุดตรวจวัดทั้ง 3 จุดตรวจวัด โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากจุดตรวจวัดละ 3 ระดับความสูง ทุก 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจากจุดตรวจวัดละ 3 ระดับความสูง ทุก 6 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง สำหรับฝุ่นละอองรวม ทั้งนี้มีรายละเอียดของขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองดังนี้

1) ติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง Hi-Volume Air Sample เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนหัวคัดขนาดอนุภาค (PM_{10} และ TSP) ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และติดตั้งสายไฟให้เรียบร้อย

ในส่วนควบคุมอัตราการไหลของอากาศ มีการปรับเทียบเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองปริมาตรสูง มีสองประเภท คือเครื่องสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม ที่มีไม่อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Volumetric flow controller, VFC) ในการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างดังกล่าว จะดำเนินการปรับเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary standard) และได้รับการรับรองจากผู้ผลิตแล้ว ที่เรียกว่าชุดปรับเทียบ orifice flow rate transfer standard หรือ Calibration orifice โดยชุดปรับเทียบ มีอุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่

- Orifice เป็นกระบอกโลหะ เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร ยาว 15.6 เซนติเมตร มีรูเปิดที่ปลายด้านหนึ่ง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.1 เซนติเมตร

- Resistance plates เป็นแผ่นต้านทานการไหลของอากาศจำนวน 5 แผ่น แต่ละแผ่นมีจำนวนรูต่างกัน ตั้งแต่ 5,7,10 และ 18 รู หรือ 10,13,18,22 และ 24 รู

การเปรียบเทียบในกรณีที่เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเป็นการเปรียบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศด้วยชุดปรับเทียบ Orifice มีขั้นตอนการปรับเทียบดังต่อไปนี้

1. ตรวจสอบการรั่วของอากาศ และเปิดฝาของเครื่องเก็บตัวอย่าง กลายเนื้อที่ยึดแผ่นหน้าของกระดาศกรอง (Face plate) แล้วเอาแผ่นหน้าที่ยึดกระดาศกรองดังกล่าวออก
2. ติดตั้งระบบการปรับเทียบชุดปรับเทียบ Orifice โดยไม่ต้องใส่ กระดาศกรอง
3. ตรวจสอบการเชื่อมต่อ และการอุดตันหรือหักงอของท่อต่อ ระหว่างเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศกับ Pressure tap ที่อยู่ด้านล่างของมอเตอร์
4. ใส่กระดาศกรรฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ
5. ตรวจสอบการรั่วของอากาศทั้งระบบ โดยใช้ฝามือปิดช่องทางเข้า อากาศของ Orifice และใช้นิ้วหัวแม่มือปิดปลายท่อที่ใช้สำหรับต่อกับมาร์นอมิเตอร์น้ำแล้วเปิดมอเตอร์
6. สังเกตการรั่วของอากาศที่ผ่านกระบอกใส่มอเตอร์ด้านล่าง เครื่อง โดยไม่ควรเปิดมอเตอร์ขณะที่อุดช่องทางเข้าของอากาศ Orifice นานเกิน 30 วินาที เพราะจะ ทำให้มอเตอร์เสียหายได้
7. ปิดมอเตอร์ เอาฝามือที่ปิดช่องทางเข้าอากาศของ Orifice ออก แล้วตรวจสอบการหักงอหรือฉีกขาดของจุดเชื่อมต่อกับมาร์นอมิเตอร์ เปิดปลายท่อมาร์นอมิเตอร์ ปล่อยให้อากาศไหลผ่าน
8. ถ้าไม่มีการรั่วไหล ให้ทำตามขั้นตอนต่อไป
9. วางแผ่นด้านทานการไหลของอากาศแผ่นแรกลงบนระหว่าง Orifice กับที่จับกระดาศกรอง โดยทำการปรับเทียบอย่างน้อย 4 จุด

10. ตรวจสอบเช็คการรั่วไหลของอากาศทั้งหมด

11. ตรวจสอบเช็คการหักงอของจุดเชื่อมต่อกับมาร์นอมิเตอร์ หมุนเปิดปลายท่อของมาร์นอมิเตอร์ ปล่อยให้อากาศไหลผ่าน แล้วสังเกตการไหลของเหลวในท่อ เลื่อนสเกลของมาร์นอมิเตอร์ที่เป็นศูนย์ให้อยู่ตรงกลางกับระดับของเหลวที่อยู่ในท่อ จากนั้นต่อมาร์นอมิเตอร์เข้ากับ Orifice และต่อเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศเข้ากับ Pressure tap ที่อยู่ด้านล่างของมอเตอร์

12. บันทึกจุดเก็บตัวอย่าง หมายเลขเครื่องเก็บตัวอย่าง วันที่ และผู้ปฏิบัติงานไว้ด้านหลังกระดาษกราฟวงกลม สำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ

13. เปิดมอเตอร์ทิ้งไว้ ประมาณ 3-5 นาที อ่านและบันทึกค่าที่อ่านได้จากมาร์นอมิเตอร์ของ Orifice (Pressure drop) บันทึกค่าที่อ่านได้จากกระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ และข้อมูลอื่นๆ ลงในแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลการเปรียบเทียบ เช่น วันที่ สถานที่ หมายเลขเครื่องเก็บตัวอย่าง อุณหภูมิ ความดันอากาศ และหมายเลข Orifice เป็นต้น

14. ปิดมิเตอร์ วางแผ่นด้านทานการไหลของอากาศแผ่นที่มีจำนวนรูมากขึ้นลงไปแล้วดำเนินการตามขั้นตอนข้างต้นจนครบทุกแผ่น

15. นำชุดเปรียบเทียบ Orifice ออกจากเครื่องเก็บตัวอย่าง

2) นำกระดาษกรองที่เก็บรักษาไว้ในอลูมิเนียม แกะออกจากถุงซีป แล้วใช้คีมคีบปากแบน ที่พันด้วยเทปลอนคีบกระดาษกรองใส่บนตะแกรงสำหรับวางกระดาษกรอง โดยให้หงายด้าน (หยาบ) ที่ใช้เก็บตัวอย่างขึ้น จัดวางกระดาษกรองให้สมดุลกับตะแกรง จะไม่ให้อ้อมสัมผัสกระดาษกรอง ตรวจสอบเช็คจุดเชื่อมต่อระหว่างมอเตอร์กับเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ

3) ใส่กระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศในเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศ และปรับขีดกระดาษกราฟวงกลมให้ตรงกับเวลาที่เริ่มต้นเก็บตัวอย่าง และทำการเปลี่ยนกระดาษกราฟวงกลมทุก 24 ชั่วโมง

4) เปิดสวิตซ์ให้เครื่องทำงาน และตรวจสอบอัตราการไหลของอากาศในเบื้องต้นโดยทำการตรวจสอบจากกระดาษ Flow

5) บันทึกวันที่ เวลา หมายเลขกระดาษกรอง จดบันทึกเลขมิเตอร์ของเครื่อง Hi - Volume Air sample และจดบันทึกสภาพลมฟ้าอากาศในแต่ละครั้งก่อนทำการเก็บตัวอย่าง

6) สำหรับเครื่อง Hi - Volume Air sample ที่มีหัวคัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร จะทำการเปลี่ยนกระดาษกรองทุก 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง เครื่อง Hi - Volume Air sample ที่มีหัวคัดฝุ่นละอองรวม จะทำการเปลี่ยนกระดาษกรองทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง

7) หลังเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ครบ 3 ชั่วโมง และฝุ่นละอองรวม ครบ 6 ชั่วโมง ปิดเครื่อง Hi - Volume Air sample ก่อนจะนำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างครบเวลาที่กำหนดแล้วออกจากเครื่อง จะต้องใช้คีมคีบปากแบบที่พันด้วยพาราฟิล์ม พับกระดาษกรองครึ่งหนึ่งแล้วเก็บใส่ในกระดาษอลูมิเนียมแผ่นเดิมทีละ 1 แผ่น แล้วใส่ถุงซิปล็อค ปิดปากถุงพลาสติกซิปล็อคให้เรียบร้อย แล้วนำไปแช่เย็นอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

8) บันทึกวันที่ เวลา จดเลขมิเตอร์เริ่มต้นของเครื่อง Hi - Volume Air sample และจดบันทึกสภาพลมฟ้าอากาศหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง

9) ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองใหม่ โดยทำตามขั้นตอนในข้างต้น ทุก 3 ชั่วโมงสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และทุก 6 ชั่วโมงสำหรับฝุ่นละอองรวม เมื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองครบ 3 วันแล้ว จะทำการเก็บเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างของพื้นที่ศึกษานั้นๆ ทำความสะอาดรวมทั้งทำการปรับเทียบอัตราการไหลของอากาศใหม่ก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ต่อไป

3.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3.4.1 เตรียมกระดาษกรองในการวิเคราะห์

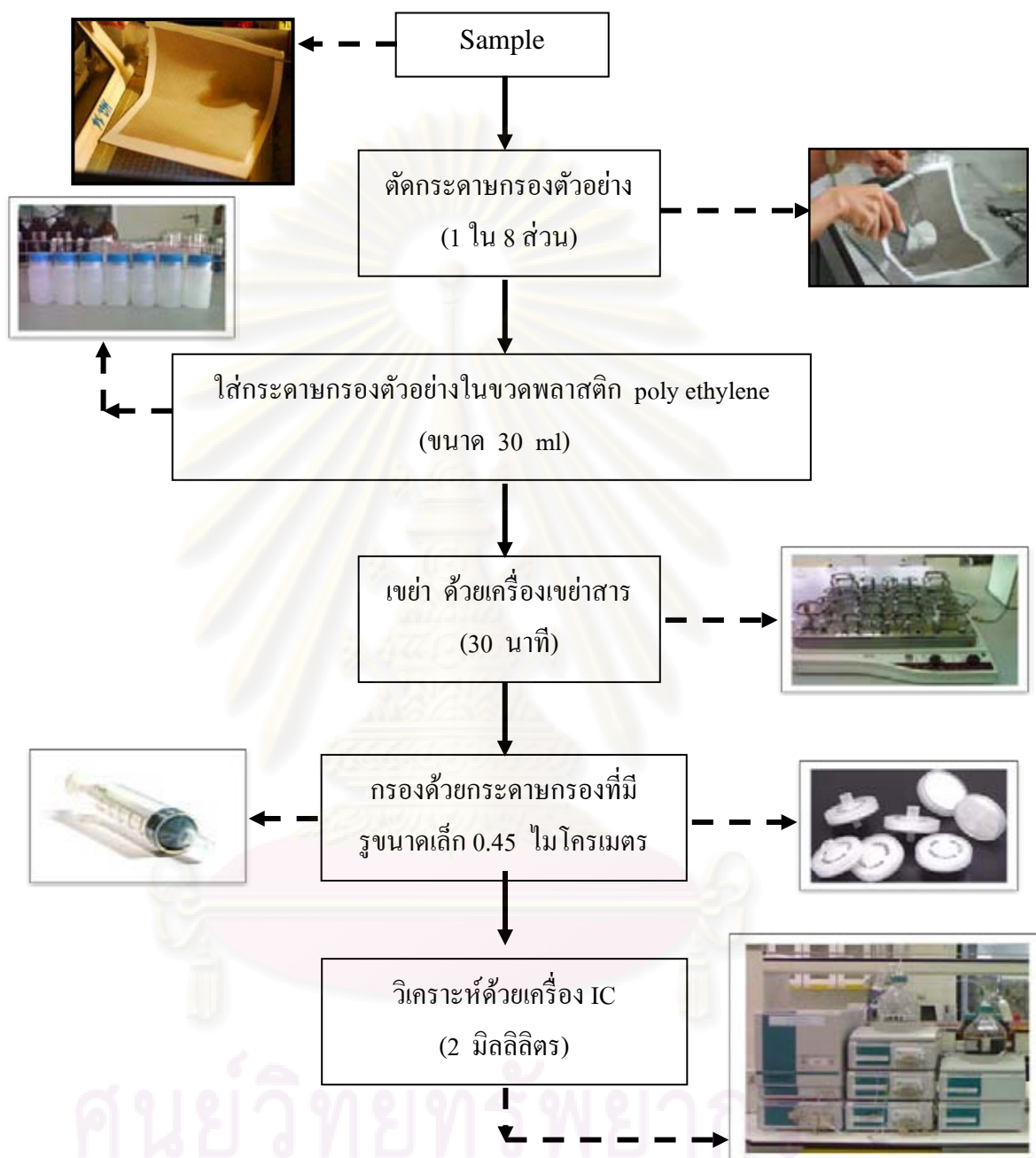
หลังจากที่ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวมแล้ว จะทำการตรวจสอบสภาพของกระดาษกรอง แล้วนำกระดาษกรองไปใส่ในตู้ดูดความชื้น (Dessicator) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำกระดาษกรองมาตัดแบ่งเพื่อจะทำการวิเคราะห์ต่อไป โดย

1) นำกระดาษกรองหลังจากเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม มาตัดเพื่อแบ่งหาสารไอออนิก โดยตัด 1 ใน 8 ส่วนต่อกระดาษกรอง 1 แผ่น ตัดโดยใช้ pizza cut เพื่อป้องกันมือไปสัมผัสกับกระดาษกรอง เมื่อตัดเสร็จแล้วทำการพับกระดาษกรองครึ่งหนึ่งแล้วเก็บกระดาษกรองห่อด้วยอลูมิเนียม เก็บใส่ถุงพลาสติกซิปล็อค แช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

3.3.4.2 การวิเคราะห์สารไอออนิก (Ion species)

1) การเตรียมตัวอย่าง

นำกระดาษกรองตัวอย่างไปใส่ในขวดพลาสติก poly ethylene ที่มีฝาปิด ขนาด 30 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน (Deionizing water) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร โดยให้กระดาษกรองทั้งหมดเปียก ปิดฝาขวดแล้วนำไปแช่ด้วยเครื่องเขย่าเป็น 30 นาที จากนั้นแล้วเก็บกระดาษกรองออกด้วยคีบคีบปากแบน กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Syring filter ที่มีรูขนาดเล็ก 0.45 ไมโครเมตร ระวังไม่ให้กระดาษกรองตัวอย่างหลุดลงมา และเก็บน้ำตัวอย่างที่ได้จากการสกัดใส่ขวดพลาสติก poly ethylene ขนาด 30 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาให้สนิท พันด้วยเทปลอน และแช่ให้เข้ากัน เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทดลอง

2) การวิเคราะห์สารไอออนิก

วิเคราะห์สารไอออนิก 7 ชนิด ได้แก่ แอมโมเนียม โซเดียมไอออน โพแทสเซียมไอออน แคลเซียมไอออน คลอไรด์ไอออน ไนเตรท และซัลเฟต ด้วยเครื่อง Ion

Chromatography รุ่น Modular IC ซึ่งการวิเคราะห์สารไอออนิกจะทำการวิเคราะห์ที่สหสาขาวิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ชั้น17 ห้อง1703/2 ตึกมหามกุฏ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดยแบ่งการวิเคราะห์ ออกเป็น

ก. วิธีวิเคราะห์สารไอออนิกประจุลบ (Anion)

การวิเคราะห์หาสารไอออนิกประจุลบ โดยใช้เครื่อง Ion
Chromatography (IC) รุ่น Modular IC โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการสกัด มาวิเคราะห์ โดยกำหนดสภาวะ
การทำงานของเครื่องเพื่อวิเคราะห์สารไอออนิกประจุลบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทำงานของเครื่อง Ionchromatography(IC) ในการวิเคราะห์ สารไอออนิกประจุลบ

IC	วิเคราะห์ไอออนิกลบ	- คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต
(Anion)	ชนิดของคอลัมน์ (Column type)	- รุ่น A SUPP 5 ยาว 10 cm - เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.0 mm
	เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)	- สาร Eluent 1. NaHCO_3 1 mmol (0.084 g) และ Na_2CO_3 3.2 mmol (0.3392 g) ในน้ำ ปราศจากไอออน (Mili-Q water) 1 L คนในเข้ากัน 2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 1.0 M (1.12 ml) ในน้ำ ปราศจากไอออน (Mili-Q water) 1 L คนในเข้ากัน 3. น้ำกลั่น (Mili-Q water) 1 L - อัตราการไหล 0.70 ml/min - ความดัน 5.5 Mpa.
	อุณหภูมิของ Transferline	- 25 องศาเซลเซียส
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	- ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 2 ml - เครื่องวิเคราะห์ 20 μl

เมื่อเตรียมสารตัวนำพาเสร็จแล้ว ก่อนจะทำการวิเคราะห์ ตัวอย่างเพื่อหาสารไอออนิก ต้องทำ Baseline ประมาณ 30 นาที ทุกครั้งก่อนใช้เครื่อง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเครื่องอยู่ในระดับที่พร้อมใช้ และป้องกันการปนเปื้อน จากนั้นเตรียม standard anion solution 3 ความเข้มข้น คือ 1 ppm, 5 ppm และ 10 ppm ตามลำดับ และจะฉีดวิเคราะห์ standard ทุกๆ วันในวันที่ฉีด วิเคราะห์ตัวอย่าง วันละ 3 เวลา คือ ก่อนวิเคราะห์ตัวอย่างแรก กลางวัน และหลังการวิเคราะห์ตัวอย่าง สุดท้าย และนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อสร้าง Standard Curve (ภาคผนวก จ) ในการทำการวิเคราะห์ตัวอย่างหา สารไอออนิกในฝุ่นละออง สำหรับการวิเคราะห์หาสารไอออนิกประจุลบ จะใช้เวลา (Retention time) 12 นาที

Instrument Detection Limit หมายถึง ขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่อง Ion Chromatography ที่สามารถทำการวิเคราะห์หาสารไอออนิกแต่ละชนิดที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ได้ รายละเอียดดังตารางที่ 3.2 แสดงเวลาที่พบสารและค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 3.2 แสดงเวลาที่พบสาร และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้

สารไอออนิกลบ	IDL(ppb)	R.T. (min)
คลอไรด์	2.7	3.2
ไนเตรท	3.7	5.3
ซัลเฟต	50.1	7.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. วิธีวิเคราะห์สารไอออนิกประจุบวก (Cation)

การวิเคราะห์หาสารไอออนิกประจุบวก โดยใช้เครื่อง Ion Chromatography (IC) รุ่น Modular IC โดยนำตัวอย่างที่ได้จากการสกัด มาวิเคราะห์ โดยกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องเพื่อวิเคราะห์สารไอออนิกประจุบวก ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะการทำงานของเครื่อง Ionchromatography(IC)ในการวิเคราะห์ สารไอออนิกประจุบวก

IC (Cation)	วิเคราะห์ไอออนิกบวก	- โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม แคลเซียม
	ชนิดของคอลัมน์ (Column type)	- รุ่น C 2 100 ยาว 10 cm - เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.0 mm
	เฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase)	- สาร Eluent 1. Tartaric acid 1.2 g และ Dipicolinic acid 0.25 g ในน้ำปราศจากไอออน (Mili-Q water) 2 L คนในเข้ากัน - อัตราการไหล 1 ml/min - ความดัน 5.1 Mpa.
	อุณหภูมิของ Transferline	- 25 องศาเซลเซียส
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	- ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 2 ml - เครื่องวิเคราะห์ 20 µl

เมื่อเตรียมสารตัวนำพาเสร็จแล้ว ก่อนจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาสารไอออนิก ต้องทำ Baseline ประมาณ 30 นาที ทุกครั้งก่อนใช้เครื่อง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเครื่องอยู่ในระดับที่พร้อมใช้ และป้องกันการปนเปื้อน จากนั้นเตรียม standard cation solution 4 ความเข้มข้น คือ 0.1 ppm, 1 ppm, 5 ppm และ 10 ppm ตามลำดับ และจะฉีดวิเคราะห์ standard ทุกๆ วัน ในวันที่วิเคราะห์ตัวอย่าง วันละ 3 เวลา คือ ก่อนจะวิเคราะห์ตัวอย่างแรก กลางวัน และหลังการวิเคราะห์ตัวอย่างสุดท้าย และนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อสร้าง Standard Curve (ภาคผนวก จ) แล้วทำการวิเคราะห์หาสารไอออนิกในฝุ่นละออง สำหรับการวิเคราะห์สารไอออนิกประจุบวก จะใช้เวลา (Retention time) 12 นาที

Instrument Detection Limit หมายถึง ขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่อง Ion Chromatography ที่สามารถทำการวิเคราะห์หาสารไอออนิกแต่ละชนิดที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ได้ รายละเอียดดังตารางที่ 3.4 แสดงเวลาที่พบสาร และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 3.4 แสดงเวลาที่พบสาร และค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้

สารไอออนิกบวก	IDL(ppb)	R.T. (min)
โซเดียม	9.3	3.9
แอมโมเนียม	6.2	4.3
โพแทสเซียม	37.5	5.3
แคลเซียม	34.6	11.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. วิธีการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละออง

$$\text{Ionic in PM}_{10} \text{ or TSP} = \frac{\left(\frac{X \times 30}{1000} \right) \times 8 \times 1000}{V}$$

ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละออง = ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

X = ความเข้มข้นของสารไอออนิกในตัวอย่างฝุ่นละออง (mg/l)

30 = ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ในการสกัด (ml)

8 = กระจายกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

V = ปริมาตรอากาศ ทั้งหมด (m^3)

3.3.5 การรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.5.1 การรวบรวมข้อมูล

1) รวบรวมข้อมูลสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม จากการเก็บตัวอย่าง และนำมาหาความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองทั้ง 2 ขนาด ที่ห้องปฏิบัติการ

3.3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

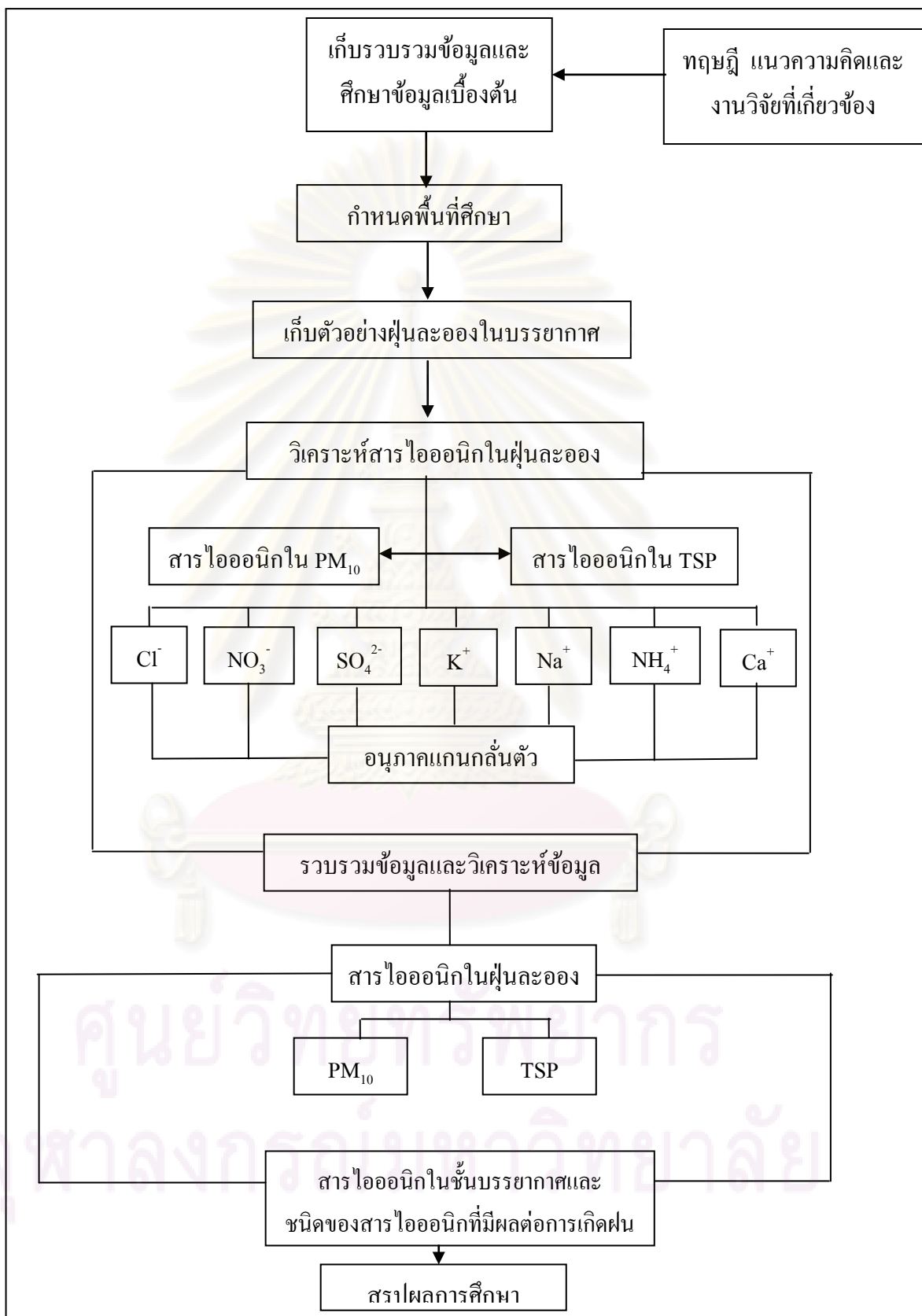
1) วิเคราะห์หาสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม

2) วิเคราะห์สัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร กับฝุ่นละอองรวม เพื่อบอกสัดส่วนของสารไอออนิกทั้ง 2 ขนาด และบอกแนวโน้มการคงตัวอยู่ในบรรยากาศของสารไอออนิก ในแต่ละระดับความสูงของแต่ละพื้นที่ศึกษา และความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวมที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว สำหรับการเกิดฝน

3) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ one – way anova คือ เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารไอออนิก ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม ตามชั้นบรรยากาศ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการศึกษา

4.1 สารไอออนิกในฝุ่นละอองที่มีศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัว

ฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ดีที่เอื้อต่อการเกิดฝนได้ จะต้องมีส่วนประกอบของสารไอออนิกเป็นองค์ประกอบ และสารไอออนิกแต่ละชนิดก็ทำหน้าที่แตกต่างกันไปเช่น โซเดียมคลอไรด์ ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัว และกลายเป็นแกนกลั่นตัวแบบสารละลายเข้มข้นจากการกลั่นตัวจะคายความร้อนแฝงทำให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศก่อให้เกิดขบวนการกลั่นตัวอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน และปริมาณสารไอออนิกยิ่งมีมาก ความสามารถในการกลั่นตัวก็จะดีขึ้น โดยไม่ต้องรอให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (Small et al, 2005; เมธา รัชตะปิติ, 1995; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540)

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ประเมินศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัวสูง โดยพิจารณาจาก 1) ชนิดของสารไอออนิก ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม 2) ปริมาณของสารไอออนิก ซึ่งถ้าพบสารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว (คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม) ในปริมาณสูง ก็จะมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงด้วย และ 3) ขนาด คือ สารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาด 10 ไมโครเมตร และไม่เกิน 100 ไมโครเมตร จะเร่งให้เกิดฝนเร็วขึ้น (Rosenfeld et al, 1994) ซึ่งก็คือสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม

ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม เฉลี่ย 3 ชั่วโมง สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และเฉลี่ย 6 ชั่วโมง สำหรับฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งได้แก่สารไอออนิก 7 ชนิดคือ คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม รายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 สารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่มีศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัว

จากการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร จากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 พื้นที่ (ตารางที่ 4.1) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10

ไมโครเมตร ที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ที่ชั้นล่าง มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 118.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่เดียวกันก็ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีค่าน้อยที่สุด ในพื้นที่ศึกษา อำเภอบางใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ชั้นกลาง มีค่าเท่ากับ 41.29 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถสรุปรายละเอียดได้ดัง ตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของพื้นที่ศึกษา ทั้ง 3 พื้นที่ (เฉลี่ย)

ชนิดของ ฝุ่นละออง	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร								
	หาดใหญ่			กรุงเทพมหานคร			เชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
PM10	42.48	41.29	46.61	118.66	113.12	112.34	92.05	110.31	91.91

และผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร จากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 พื้นที่ (ตารางที่ 4.2) ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่าค่าของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่ามากที่สุดในทุกพื้นที่ศึกษาได้แก่ กรุงเทพมหานคร มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 9.73 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ เชียงใหม่ และหาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 9.78 และ 6.40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และในขณะเดียวกันก็พบค่าของโพแทสเซียม ที่ชั้นบน ของอำเภอบางใหญ่ จังหวัดสงขลา มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ โซเดียม ที่ชั้นกลาง กรุงเทพมหานคร และโซเดียม ที่ชั้นล่าง อำเภอมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเท่ากับ 0.41 และ 0.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สามารถสรุปรายละเอียดได้ดัง ตารางที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (เฉลี่ย 3 ชั่วโมง) ของพื้นที่ศึกษา ทั้ง 3 พื้นที่

สารไอออนิก	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)								
	หาดใหญ่			กรุงเทพมหานคร			เชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
คลอไรด์	4.89	4.30	3.98	0.81	0.70	0.65	0.42	0.43	0.47
ไนเตรท	1.07	1.30	1.41	4.50	4.57	4.20	2.52	2.19	2.43
ซัลเฟต	5.69	6.04	5.79	8.48	9.73	9.34	4.33	6.87	4.65
โซเดียม	3.33	4.30	3.98	0.47	0.41	0.50	0.05	0.09	0.06
แอมโมเนียม	0.25	0.23	0.28	1.19	1.36	1.66	0.95	2.05	1.17
โพแทสเซียม	0.27	0.20	0.14	1.57	1.43	1.23	0.99	0.98	1.09
แคลเซียม	0.15	0.53	0.60	0.95	0.89	0.79	0.79	1.41	1.93

4.1.1.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 ชั้นความสูง เฉลี่ยทุก 3 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.3) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.01 ถึง 12.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบค่าของซัลเฟตมีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโพแทสเซียมและแคลเซียม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ น้อยกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้รายละเอียดของผลการตรวจวัดในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) **ชั้นล่าง** (ตารางที่ 4.3) ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.01 ถึง 6.90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโพแทสเซียม และแคลเซียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ น้อยกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) **ชั้นกลาง** (ตารางที่ 4.3) ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.01 ถึง 7.40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 7.40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโพแทสเซียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ น้อยกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(3) **ชั้นบน** (ตารางที่ 4.3) ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.08 ถึง 2.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบซัลเฟต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโพแทสเซียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรของพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทั้ง 3 ชั้นความสูง มีค่าแตกต่างกัน โดยพบค่าของซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงที่สุด (เฉลี่ย 6.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ในขณะเดียวกันก็พบค่าของ โพแทสเซียม ที่ชั้นบน มีค่าต่ำที่สุด (เฉลี่ย 0.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) แนวโน้มค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ที่ชัดเจนกับชั้นความสูงได้ อันเนื่องมาจากความชื้นและฝนตกในระหว่างการเก็บตัวอย่าง

และยังพบความเข้มข้นของ คลอไรด์ และ โซเดียม ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีลักษณะภูมิประเทศที่ล้อมรอบไปด้วยทะเล ซึ่ง คลอไรด์ และ โซเดียม เป็นองค์ประกอบที่มาจากละอองไอทะเล (Harrison et al, 1995; Chan et al, 1997) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า อนุภาคทั้ง 2 ชนิด มีแหล่งกำเนิดมาจากทะเล แต่ คลอไรด์ และ โซเดียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีขนาดเล็กเกินไปที่จะเป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบว่า ถ้าขนาดอนุภาครัศมี 5 ถึง 10 ไมโครเมตร เป็นเพียงการเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติภายในเมฆ แต่ไม่เกิดการก่อตัวของเมฆ และตกลงมาเป็นฝนได้ ส่วนความเข้มข้นของซัลเฟต พบในปริมาณที่สูง เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นเขตเมือง มีการจราจรที่หนาแน่น ซัลเฟต เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิดที่มีการเผาไหม้เครื่องยนต์ (Qin et al, 2003) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า ซัลเฟตที่ตรวจพบจะมีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจร แต่ถึงแม้จะพบในปริมาณสูง แต่เนื่องจาก ซัลเฟต ไม่ปรากฏว่าเป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นแกนกลั่นตัว ดังนั้น ซัลเฟตที่ตรวจพบ จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทั้ง 3 ชั้นความสูง

สารไอออนิก (Ionic Species)	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	ชั้นล่าง		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	
คลอไรด์	2.95	6.77	0.88	6.32	2.21	5.31
ไนเตรท	0.29	2.08	0.40	1.90	0.90	2.10
ซัลเฟต	3.83	6.90	3.16	7.40	1.23	12.32
โซเดียม	2.05	4.30	0.88	4.21	2.21	5.31
แอมโมเนียม	0.18	0.39	0.08	0.33	0.17	0.45
โพแทสเซียม	0.00 ⁽ⁿ⁾	0.61	0.00 ⁽ⁿ⁾	0.34	0.08	0.35
แคลเซียม	0.00 ⁽ⁿ⁾	0.29	0.07	0.95	0.45	0.76

หมายเหตุ ⁽ⁿ⁾ ค่าที่ไม่สามารถตรวจพบ

4.1.1.2 กรุงเทพมหานคร

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 ชั้นความสูง เฉลี่ยทุก 3 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.4) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.04 ถึง 13.55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่า ค่าของซัลเฟตมีค่าสูงสุดเท่ากับ 15.29 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโซเดียม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้รายละเอียดของผลการตรวจวัดในแต่ละชั้นความสูงสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) **ชั้นล่าง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.04 ถึง 12.99 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.99 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโซเดียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) **ชั้นกลาง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.23 ถึง 15.29 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดย

พบ ซัลเฟต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 15.29 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโซเดียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(3) **ชั้นบน** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง 00.16 ถึง 13.55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบไนเตรท มีค่าสูงสุดเท่ากับ 13.55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโซเดียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 00.16 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ทั้ง 3 ชั้นความสูง มีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่าค่าของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 9.73 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และในขณะเดียวกันค่าของ โซเดียม ที่ชั้นกลาง มีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 0.41 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และยังพบอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีปริมาณค่อนข้างต่ำ และมีขนาดเล็กเกินไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 และ Tzivion et al, 1994 ที่พบว่าขนาดของอนุภาคต่ำกว่า 10 ไมโครเมตร เป็นเพียงการเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติภายในเมฆเท่านั้น แต่เมฆไม่สามารถรวมตัวกันแล้วตกลงมาเป็นฝนได้ เนื่องจากมีขนาดเล็กเกินไป ดังนั้น คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่ตรวจพบ จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ เนื่องจากมีขนาดและปริมาณไม่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร กรุงเทพมหานคร ทั้ง 3 ชั้นความสูง

สารไอออนิก (Ionic Species)	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	ชั้นล่าง (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		ชั้นกลาง (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		ชั้นบน (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	
คลอไรด์	0.53	1.61	0.42	2.24	0.46	1.89
ไนเตรท	1.48	11.26	2.04	13.46	1.93	13.55
ซัลเฟต	4.08	12.99	6.33	15.29	6.09	13.37
โซเดียม	0.04	1.51	0.23	0.83	0.16	1.59
แอมโมเนียม	0.13	1.95	0.87	2.05	0.79	3.11
โพแทสเซียม	0.79	5.56	0.69	2.53	0.72	2.08
แคลเซียม	0.08	1.54	0.58	1.43	0.46	1.29

4.1.1.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 ชั้นความสูง เฉลี่ยทุก 3 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.5) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.01 ถึง 12.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่า ค่าของซัลเฟตมีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโซเดียม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ น้อยกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้รายละเอียดของผลการตรวจวัดในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) **ชั้นล่าง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.01 ถึง 5.35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบซัลเฟต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโซเดียม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) **ชั้นกลาง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.01 ถึง 12.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบซัลเฟต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโพแทสเซียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(3) **ชั้นบน** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.01 ถึง 8.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบซัลเฟต มีค่าสูงสุดเท่ากับ 8.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบว่าค่าของโพแทสเซียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ น้อยกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ทั้ง 3 ชั้นความสูง มีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่าค่าของซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 6.87 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และในขณะที่เดียวกันก็พบค่าของโซเดียม ที่ชั้นล่าง มีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 0.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

นอกจากนั้นยังพบว่าอนุภาคของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ที่เอื้อต่อการเกิดฝน มีลักษณะเพิ่มขึ้นตามความความสูง โดยพบ ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีปริมาณที่ค่อนข้างสูง เนื่องจาก พื้นที่ศึกษาเป็นเขตเมือง มีการจราจรที่หนาแน่น ไนเตรทในบรรยากาศสามารถเปลี่ยนรูปได้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง อาทิเช่น ยานพาหนะประเภทต่างๆ รวมทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (QUARG, 1996; cheng et al, 2000; Celis et al, 2004) ดังนั้นไนเตรทที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษานี้ จึงมีความเป็นไปได้ว่ามาจากการจราจรเป็นส่วนใหญ่ ส่วนแอมโมเนียม ก็พบในปริมาณที่สูง เนื่องจาก จังหวัดเชียงใหม่ มีการประกอบกิจกรรมการเกษตรมาก และแอมโมเนียม ที่ตรวจพบจึงมีความเป็นไปได้สูงว่ามาจากการเกษตร แต่อย่างไรก็ตาม ไนเตรท และแอมโมเนียม ที่ตรวจพบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีขนาดเล็กเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 และ Tzivion et al, 1994 ที่พบว่าขนาดของอนุภาคต่ำกว่า 10 ไมโครเมตร เป็นเพียงการเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติภายในเมฆเท่านั้น แต่เมฆไม่สามารถรวมตัวกันแล้วตกลงมาเป็นฝนได้ เนื่องจากมีขนาดเล็กเกินไป ดังนั้น ไนเตรท และแอมโมเนียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่พบจึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ เพราะมีขนาดเล็กเกินไป

และยังพบ คลอไรด์ โซเดียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีปริมาณต่ำ ประกอบกับขนาดไม่เหมาะสม ดังนั้น อนุภาคทั้ง 3 ชนิดนี้ จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ

ตารางที่ 4.5 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ทั้ง 3 ชั้นความสูง

สารไอออนิก (Ionic Species)	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	ชั้นล่าง		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)
คลอไรด์	0.30	0.82	0.32	0.81	0.34	1.17
ไนเตรท	0.84	5.08	0.59	5.69	0.88	6.74
ซัลเฟต	2.41	5.35	3.51	12.63	3.21	8.08
โซเดียม	0.01	0.10	0.01	0.24	0.00	0.18
แอมโมเนียม	0.50	2.27	0.77	3.85	0.66	2.53
โพแทสเซียม	0.47	1.51	0.52	1.59	0.55	1.82
แคลเซียม	0.49	1.37	1.22	1.62	0.91	3.86

ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ส่วนใหญ่มีลักษณะแปรผกผันกับความสูง โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ และก็ยังพบว่าอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ที่เอื้อต่อการเกิดฝน ที่ตรวจพบ เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในฝุ่นขนาดเล็กเกินไป จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ นอกจากนี้จะพบในฝุ่นละอองขนาดเล็ก ประกอบกับมีปริมาณที่ต่ำเกินไป และความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่ศึกษายังไม่สูงพอที่ อนุภาคของแกนกลั่นตัวจะเกิดการควบแน่นได้ (อนุภาคแกนกลั่นตัว จะเริ่มควบแน่นในสภาพอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ จากกระบวนการทำให้อากาศเย็นตัวลง หรือกระบวนการเพิ่มปริมาณน้ำในอากาศ หรือรวมกันทั้ง 2 กระบวนการ เมื่ออากาศเย็นตัวลงความสามารถในการรับปริมาณไอน้ำสูงสุดของอากาศจะลดตัวลงที่อุณหภูมิจุดน้ำค้างอากาศจะลอยอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยไอน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่า (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2523; Vali et al, 1988) ส่วนพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบคลอไรด์ และ โซเดียม มีปริมาณค่อนข้างสูง เนื่องจากพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีลักษณะภูมิประเทศที่ล้อมรอบไปด้วยทะเล ซึ่งคลอไรด์ และ โซเดียม เป็นองค์ประกอบที่มาจากทะเล (Harrison et al, 1995; Chan et al, 1997) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า อนุภาคทั้ง 2 ชนิด มีแหล่งกำเนิดมาจากทะเล แต่ คลอไรด์ และ โซเดียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีขนาดเล็กเกินไปที่จะเป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบว่า ถ้าขนาดอนุภาครังสีมี 5 ถึง 10 ไมโครเมตร เป็นเพียงการเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติภายในเมฆ แต่ไม่เกิดการก่อตัวของเมฆ และตกลงมาเป็นฝนได้

ดังนั้นอนุภาคของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 พื้นที่ จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กเกินไป

4.1.2 สารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว

จากการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 พื้นที่ (ตารางที่ 4.6) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวม ที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ที่ชั้นล่าง มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 140.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่เดียวกันก็ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม มีค่าน้อยที่สุด ในพื้นที่ศึกษา อำเภอลำลูกกา จังหวัดสิงห์บุรี ที่ชั้นกลาง มีค่าเท่ากับ 35.94 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถสรุปรายละเอียดได้ดัง ตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษา ทั้ง 3 พื้นที่ (เฉลี่ย)

ชนิดของ ฝุ่นละออง	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร								
	หาดใหญ่			กรุงเทพมหานคร			เชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
TSP	44.09	35.94	48.51	140.01	128.68	111.97	99.49	122.85	92.60

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 แห่ง (ตารางที่ 4.7) ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พบว่าค่าของ ซัลเฟตมีค่ามากที่สุด ในทุกพื้นที่ศึกษาคือ กรุงเทพมหานคร ชั้นกลาง มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 23.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ เชียงใหม่ และหาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 12.00 และ 11.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และในขณะเดียวกันก็พบค่าของโซเดียม ที่เชียงใหม่ ชั้นบน มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ แอมโมเนียม ที่หาดใหญ่ มีค่าเท่ากับ 0.18 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และโซเดียมที่กรุงเทพมหานคร มีค่าเท่ากับ 1.41 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม (เฉลี่ย 6 ชั่วโมง) ของพื้นที่ศึกษา ทั้ง 3 พื้นที่

สารไอออนิก (Ionic Species)	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)								
	หาดใหญ่			กรุงเทพมหานคร			เชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
คลอไรด์	8.32	7.23	5.42	1.90	2.09	1.51	0.90	0.84	0.96
ไนเตรท	2.25	1.79	1.43	13.38	14.73	10.24	6.54	5.43	6.55
ซัลเฟต	11.88	10.49	10.08	21.77	23.71	15.11	6.79	12.00	9.44
โซเดียม	9.59	8.34	6.45	1.71	1.89	1.41	0.28	0.28	0.15
แอมโมเนียม	6.30	4.88	0.18	2.37	2.68	2.20	0.97	1.55	0.99
โพแทสเซียม	0.33	0.52	0.48	3.83	3.94	2.53	2.90	2.65	2.33
แคลเซียม	2.90	1.90	1.67	12.69	11.99	7.41	9.11	9.28	7.86

4.1.2.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทั้ง 3 ชั้นความสูง เฉลี่ยทุก 6 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.8) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.12 ถึง 13.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่าค่าของซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 13.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบค่าของแอมโมเนียม ที่ชั้นบน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้รายละเอียดของผลการตรวจวัดในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) **ชั้นล่าง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พบว่ามีระหว่างช่วง 0.15 ถึง 13.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟต มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 13.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ โพแทสเซียมมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) **ชั้นกลาง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พบว่ามีระหว่างช่วง 0.13 ถึง 13.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟต มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 13.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ โพแทสเซียมมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(3) **ชั้นบน** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวมพบว่า มีระหว่างช่วง 0.12 ถึง 12.54 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟต มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 12.54 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ โปแทสเซียมมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม โปแทสเซียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองรวมของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ทั้ง 3 ชั้นความสูง มีค่าแตกต่างกัน โดยพบค่าของ ซัลเฟต ที่ชั้นล่าง มีค่าสูงที่สุด (เฉลี่ย 11.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และในขณะที่พบค่าของ แอมโมเนียม ที่ชั้นบน มีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 0.18 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) พบความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ค่อนข้างสูง และยังพบอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) มีลักษณะแปรผกผันกับความสูง เนื่องจากฝุ่นละอองที่ลอยได้สูงส่วนใหญ่จะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร จะรวมตัวกับน้ำได้ดี โดยเฉพาะสารไอออนิก (ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์, 2525) ประกอบกับช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมีฝนตก น้ำฝนที่ตกลงมาจึงละลายสารไอออนิกไปด้วย และช่วงเวลาดังกล่าวอากาศนิ่ง (stable) ลมทะเลที่ลอยมาจึงยังไม่ได้ลอยขึ้นสู่ที่สูง จึงทำให้อนุภาคของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พบมากในชั้นล่าง และลดลงเมื่อสูงขึ้น

ดังนั้นอนุภาคของคลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองรวม ที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษานี้ จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง เอื้อต่อการเกิดฝน เนื่องจากมีปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทั้ง 3 ชั้นความสูง

สารไอออนิก (Ionic Species)	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	ชั้นล่าง		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		(ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	
คลอไรด์	1.92	12.73	1.22	12.73	2.65	9.55
ไนเตรท	3.58	9.39	0.34	3.70	0.53	2.61
ซัลเฟต	8.10	13.80	7.27	13.88	7.51	12.54
โซเดียม	6.95	12.43	3.80	10.88	4.19	8.58
แอมโมเนียม	4.45	10.43	4.01	6.34	0.12	0.24
โพแทสเซียม	0.15	0.55	0.13	0.77	0.42	0.69
แคลเซียม	0.42	0.78	0.22	2.89	0.52	2.67

4.1.2.2 กรุงเทพมหานคร

ผลการตรวจวัด ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษา ทั้ง 3 ชั้นความสูง เฉลี่ยทุก 6 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.9) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกมีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.54 ถึง 33.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่าค่าของ ซัลเฟต ที่ชั้นล่าง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่พบค่าของ แอมโมเนียม ที่ชั้นล่าง มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รายละเอียดผลการตรวจวัดในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) **ชั้นล่าง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวมพบว่า มีระหว่างช่วง 0.85 ถึง 32.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟต มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 32.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่พบโพแทสเซียมมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) **ชั้นกลาง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวมพบว่า มีระหว่างช่วง 1.34 ถึง 29.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟต มีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 29.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่พบแอมโมเนียมมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 1.34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(3) **ชั้นบน** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวมพบว่ามีระหว่างช่วง 0.54 ถึง 33.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ไนเตรทมีความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 33.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่พบคลอไรด์ มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดเท่ากับ 0.54 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองรวมของพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ทั้ง 3 ชั้นความสูง มีค่าแตกต่างกัน โดยพบค่าของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 23.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และในขณะเดียวกันก็พบค่าของ คลอไรด์มีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 1.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยพบ ไนเตรท และแคลเซียม ในปริมาณที่สูง เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นเขตเมือง มีการจราจรที่หนาแน่น อนุภาคของไนเตรท ในบรรยากาศสามารถเปลี่ยนรูปได้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง อาทิเช่น ยานพาหนะประเภทต่างๆ รวมทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (QUARG, 1996; cheng et al, 2000; Celis et al, 2004) ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่า ไนเตรทในฝุ่นละอองรวม ที่ตรวจพบของพื้นที่ศึกษานี้ มาจากการจราจร เช่น ยานพาหนะต่างๆ และยังพบแคลเซียมในปริมาณที่สูง เนื่องจากใกล้บริเวณพื้นที่ศึกษา มีการก่อสร้างถนน ซึ่งตามที่ QUARG, 1996; U.S.EPA, 1996b. ได้กล่าวไว้ว่า แคลเซียมเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก ที่อยู่ในหิน และดิน โดยบรรยากาศของพื้นที่เขตเมือง จะมาจากการฟุ้งกระจายขึ้นมาอีกครั้ง ของฝุ่นละอองที่พื้นผิว เช่น การก่อสร้างถนน หรือการก่อสร้างตึก ดังนั้น อนุภาคของแคลเซียม ที่ตรวจพบ จึงมีความเป็นไปได้สูงว่ามาจากฟุ้งกระจายขึ้นมาอีกครั้งของฝุ่น การก่อสร้าง ซึ่งอนุภาคของแคลเซียมเมื่อดูดซับความชื้นแล้วจะให้ความร้อน และกลายเป็นแกนกลั่นตัวที่เป็นสารละลายเข้มข้นที่มีความไวในการดูดซับความชื้นที่ผิวสูง (Rosenfeld et al., 1994) ดังนั้น ไนเตรท และแคลเซียม ในฝุ่นละอองรวม ที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษานี้ มีทั้งปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม อนุภาคทั้งสองชนิดนี้ จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง ส่วนคลอไรด์ โซเดียม และแอมโมเนียม พบในปริมาณที่ต่ำ ถ้าพิจารณาจากปริมาณ โดยไม่พิจารณาขนาดของฝุ่นละออง อนุภาคของคลอไรด์ โซเดียม และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองรวม ที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษานี้ จะมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ

ตารางที่ 4.9 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ทั้ง 3
ชั้นความสูง

สารไอออนิก (Ionic Species)	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	ชั้นล่าง (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		ชั้นกลาง (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		ชั้นบน (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	
คลอไรด์	1.07	4.31	1.18	5.39	4.49	33.64
ไนเตรท	5.55	27.26	7.38	29.07	4.49	33.64
ซัลเฟต	13.41	32.59	15.81	29.6	10.38	26.85
โซเดียม	1.09	4.29	1.16	4.35	0.81	4.68
แอมโมเนียม	0.85	4.05	1.34	4.25	1.18	5.85
โพแทสเซียม	2.19	7.53	2.58	7.17	1.48	3.87
แคลเซียม	8.45	16.87	8.52	15.87	4.24	12.69

4.1.2.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 ชั้นความสูง เฉลี่ยทุก 6 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.10) พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.01 ถึง 28.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่าค่าของ ซัลเฟตมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 28.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบค่าของ โซเดียม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ น้อยกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้รายละเอียดของผลการตรวจวัดในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) **ชั้นล่าง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.17 ถึง 13.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ แคลเซียมมีค่าความเข้มข้นสูงที่สุดเท่ากับ 13.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบค่าของ โซเดียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.17 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) **ชั้นกลาง** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง น้อยกว่า 0.01 ถึง 28.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟตมีค่าความเข้มข้นสูงที่สุดเท่ากับ 28.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบค่าของ โซเดียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ น้อยกว่า 0.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(3) **ชั้นบน** ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม พบว่ามีค่าอยู่ระหว่างช่วง 0.02 ถึง 12.87 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบ ซัลเฟตมีค่าความเข้มข้นสูงที่สุดเท่ากับ 12.87 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะเดียวกันก็พบค่าของโซเดียมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.02 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรต ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองรวมของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ทั้ง 3 ชั้นความสูง มีค่าแตกต่างกัน โดยพบค่าของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลางมีค่าสูงที่สุด (เฉลี่ย 12.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และในขณะที่พบค่าของ โซเดียม ที่ชั้นบน มีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 0.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยพบ คลอไรด์ โซเดียม และแอมโมเนียม ในปริมาณที่ต่ำ ซึ่งอนุภาคดังกล่าว เป็นองค์ประกอบที่มาจากละอองไอทะเล (Harrison et al, 1995; Chan et al, 1997) ดังนั้น จึงทำให้ตรวจพบในปริมาณต่ำ เมื่อเทียบกับที่ตรวจพบที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และกรุงเทพมหานคร เนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่ มีลักษณะภูมิประเทศที่ตั้งห่างไกลจากทะเล จึงทำให้ตรวจพบอนุภาคดังกล่าวในปริมาณต่ำกว่า ดังนั้น คลอไรด์ โซเดียม และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองรวม ถ้าพิจารณาจากปริมาณ โดยไม่พิจารณาจากขนาด อนุภาคทั้ง 3 ชนิดนี้ จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ

แต่ก็ยังพบอนุภาคของ ไนเตรต และแคลเซียม ที่มีปริมาณค่อนข้างสูง ซึ่งอนุภาคแคลเซียม ไปสอดคล้องกับงานวิจัยของ QUARG, 1996 ที่พบว่าอนุภาคของแคลเซียมเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกที่มีอยู่ในหินและดิน โดยในบรรยากาศของพื้นที่เขตเมืองจะมาจากการฟุ้งกระจายขึ้นมาอีกครั้งของฝุ่นละอองที่พื้นผิว เช่น ถนน หรือการก่อสร้างตึก และเนื่องจากพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ มีการทำการเกษตร ยังเป็นไปได้ว่า อนุภาคแคลเซียม จะเกิดจากการไถพรวนหรือลมพัดผ่านเหนือพื้นดิน (U.S.EPA, 1996b) ส่วนอนุภาคไนเตรต ที่มีแหล่งจาก ยานพาหนะประเภทต่างๆ โรงไฟฟ้า แต่บางครั้งอาจพบในรูปโซเดียมไนเตรต โดยอนุภาคของไนเตรตในบรรยากาศสามารถเปลี่ยนรูปได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง (QUARG, 1996; U.S.EPA, 1996b) ดังนั้นแคลเซียม และไนเตรต ที่ตรวจพบในพื้นที่ศึกษานี้ มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง เนื่องจากมีปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่กล่าวว่าขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมโครเมตร และไม่เกิน 100 ไมโครเมตร ทำให้เกิดการข้ามขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติและเร่งกระบวนการชนและรวมตัวกัน ให้ช่วงการเกิดฝนเร็วที่สุด

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัด เชียงใหม่ ทั้ง 3 ชั้นความสูง

สารไอออนิก (Ionic Species)	ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	ชั้นล่าง (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		ชั้นกลาง (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)		ชั้นบน (ค่าต่ำสุด - ค่าสูงสุด)	
คลอไรด์	0.60	1.96	0.51	1.65	0.67	2.67
ไนเตรท	2.33	12.29	2.62	11.79	3.78	12.29
ซัลเฟต	4.92	11.08	5.61	28.45	6.62	12.87
โซเดียม	0.17	0.47	0.00	0.70	0.02	0.45
แอมโมเนียม	0.38	1.82	0.74	2.57	0.59	1.95
โพแทสเซียม	1.23	4.93	1.47	3.48	1.11	3.39
แคลเซียม	5.50	13.32	4.83	14.62	5.31	11.03

ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่สารไอออนิกมีลักษณะแปรผกผันกับความสูง โดยเฉพาะ คลอไรด์ ไนเตรท โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองรวม ซึ่งมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง ที่เอื้อต่อการเกิดฝน (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) และอนุภาคจะเริ่มควบแน่นเป็นไอน้ำที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (เกษม, 2526) แต่ถ้าอนุภาคแกนกลั่นตัวมีจำนวนมากพอ ความชื้นสัมพัทธ์จะไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคก็สามารถกลั่นตัวได้ เช่นอนุภาคของสารไอออนิกที่ตรวจพบที่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบคลอไรด์ โซเดียม ในฝุ่นละอองรวม มีปริมาณที่ค่อนข้างสูง ประกอบกับขนาดของคลอไรด์ และโซเดียม ในฝุ่นละอองรวม มีขนาดที่เหมาะสม ที่จะมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง สำหรับการเกิดฝนได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่กล่าวว่าขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมโครเมตร และไม่เกิน 100 ไมโครเมตร ทำให้เกิดการข้ามขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติและเร่งกระบวนการชนและรวมตัวกัน ให้ช่วงการเกิดฝนเร็วที่สุด และเป็นอนุภาคที่มาจากทะเล อนุภาคเหล่านี้ สามารถที่จะเร่งการกลั่นตัวของไอน้ำ การกลั่นตัวจะเริ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์มาก ถ้าเป็น คลอไรด์ และโซเดียม ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถกลั่นตัวได้แล้ว (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540; ทรงกต ทศานนท์, 2547; Vali, 1988)

ส่วนการตรวจวัดที่กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ก็พบว่าอนุภาคของไนเตรท และแคลเซียม มีค่าค่อนข้างสูง ซึ่งอนุภาคของแคลเซียมที่ตรวจพบเหล่านั้น มี

แหล่งกำเนิดมาจากการก่อสร้างถนน หรือตึกอาคารต่างๆ (QUARG, 1996; U.S.EPA, 1996b) โดยเฉพาะที่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีความเป็นไปได้สูงว่าจะมาจากการไถพรวนหรือลมพัดผ่านเหนือพื้นดิน(U.S.EPA, 1996b) เนื่องจากจังหวัดเชียงใหม่มีการทำการเกษตรมาก และอนุภาคของไนเตรท ที่ตรวจพบ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจาก ยานพาหนะประเภทต่างๆ โรงไฟฟ้า แต่บางครั้งอาจพบในรูปโซเดียมไนเตรท โดยอนุภาคของไนเตรทในบรรยากาศสามารถเปลี่ยนรูปได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง (QUARG, 1996; U.S.EPA, 1996b) ดังนั้น อนุภาคของไนเตรท และแคลเซียม ที่ตรวจพบจึงเป็นอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง ที่เอื้อต่อการเกิดฝน เนื่องจากมีขนาดที่เหมาะสม ที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tzivion et al, 1994 ที่กล่าวว่าอนุภาคขนาด 20 ถึง 25 ไมโครเมตร ให้ผลดีกว่าอนุภาครัศมีขนาด 10 ไมโครเมตร และให้เกิดฝนตกได้เร็วกว่าขนาดเล็กลง

จึงสรุปได้ว่า อนุภาคของแกนกลั่นตัว (คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม) ที่ตรวจพบในฝุ่นละอองรวม มีศักยภาพการเป็นแกนกลั่นตัวสูง ที่เอื้อต่อการเกิดฝนได้ดีกว่า อนุภาคของแกนกลั่นตัว (คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม) ที่ตรวจพบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เนื่องจาก มีขนาดอนุภาคที่พอเหมาะ ที่จะป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ดี และปริมาณความเข้มข้นที่ตรวจพบในฝุ่นละอองรวมก็มีค่ามากกว่าที่ตรวจพบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร

4.2 การเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง

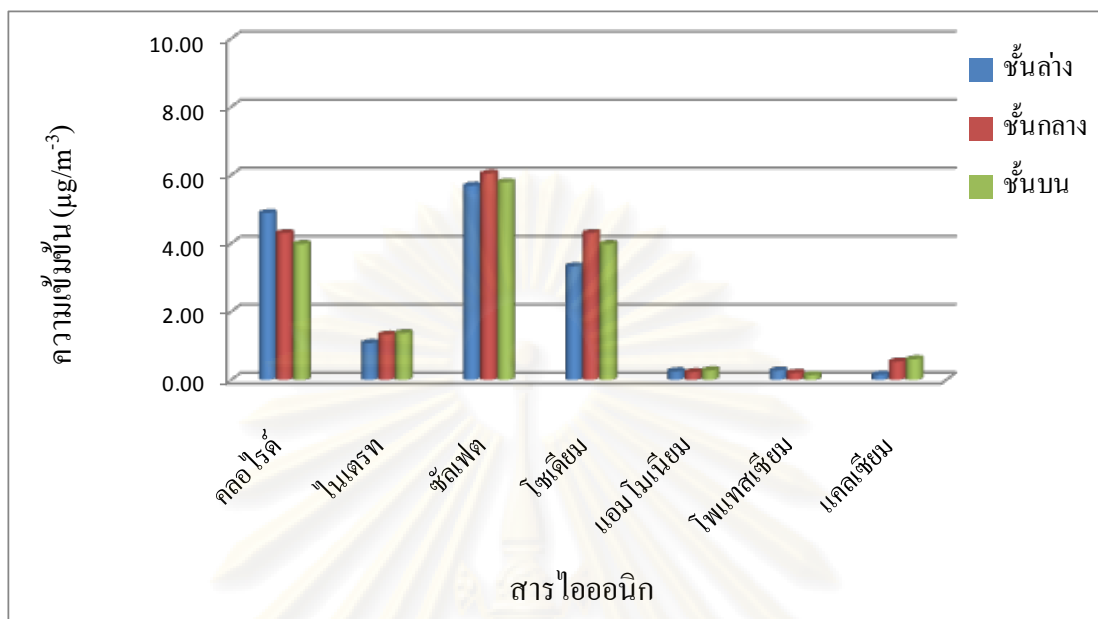
ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร กับความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ละ 3 วัน จากจำนวนตัวอย่าง 216 ตัวอย่าง สำหรับเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และ 108 ตัวอย่าง สำหรับเก็บฝุ่นละอองรวม ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดได้ดังนี้

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง

4.2.1.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น(เฉลี่ย 3 ชั่วโมง) ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา รายละเอียดของในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.1

จากการศึกษา พบว่า ความเข้มข้นของ คลอไรด์ ที่ชั้นล่างสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 4.51 ± 5.26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด เท่ากับ 5.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ ไนเตรท ที่ชั้นบน มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 1.25 ± 1.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 1.58 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 5.76 ± 6.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 6.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 5.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โซเดียม ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 2.63 ± 3.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 3.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 2.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แอมโมเนียม ที่ชั้นบน มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.26 ± 0.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โพแทสเซียม ที่ชั้นล่าง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.21 ± 0.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แคลเซียม ที่ชั้นบน มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.56 ± 0.65 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.69 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.53 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกลบ (คลอไรด์ ไนเตรท และซัลเฟต) และไอออนิกบวก (โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม) ในแต่ละชั้นมีค่าแตกต่างกัน คือ ปริมาณรวมของสารไอออนิกลบที่ชั้นล่างและชั้นกลาง มีค่าสูงสุด เท่ากับ 11.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และชั้นบน มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 11.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ยังพบสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ (ฝายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) สูงที่สุดที่ชั้นล่าง คือ ในชั้นล่างมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 4.89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นกลาง และชั้นบน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.30 และ 3.98 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น ถ้าพิจารณาจากปริมาณของสารไอออนิกลบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร พบว่า ที่ชั้นล่างมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงกว่า ชั้นกลางและชั้นบน ส่วนไอออนิกบวกในแต่ละชั้นก็จะมีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่า ปริมาณรวมไอออนิกบวก ที่ชั้นกลางมีค่าสูงสุด เท่ากับ 5.26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นบน ชั้นล่าง มีค่าเท่ากับ 5.00 และ 4.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และยังพบสารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว คือ โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม มากที่สุดที่ชั้นกลาง ดังนั้นถ้าพิจารณาจากปริมาณพบสารไอออนิกบวกที่ชั้นกลางมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง

อย่างไรก็ตาม ถึงปริมาณของสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวจะมีมากเพียงพอก็ยังพบว่า แต่ก็ยังพบว่า สารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม เหล่านี้ เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในฝุ่นขนาดเล็กเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบว่า ถ้าขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เป็นเพียงการเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติภายในเมฆ แต่ไม่เกิดการก่อตัวของเมฆ และตกลงมาเป็นฝนได้

4.2.1.2 กรุงเทพมหานคร

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น(เฉลี่ย 3 ชั่วโมง) ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างกรุงเทพมหานคร รายละเอียดของในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.2

จากการศึกษา พบว่า (ภาพที่ 4.2) ความเข้มข้นของ คลอไรด์ ที่ชั้นล่างสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 4.51 ± 5.26 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด เท่ากับ 5.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.22 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของไนเตรท ที่ชั้นบน มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 1.25 ± 1.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 1.58 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 5.76 ± 6.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 6.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 5.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โซเดียม ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 2.63 ± 3.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 3.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 2.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แอมโมเนียม ที่ชั้นบน มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.26 ± 0.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โพแทสเซียม ที่ชั้นล่าง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.21 ± 0.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แคลเซียม ที่ชั้นบน มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.56 ± 0.65 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.69 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.53 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกลบ (คลอไรด์ ไนเตรท และซัลเฟต) และไอออนิกบวก (โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม) ในแต่ละชั้นมีค่าแตกต่างกัน คือ ปริมาณรวมของสารไอออนิกลบที่ชั้นกลาง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 15.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ชั้นบน และชั้นล่าง เท่ากับ 14.18, 13.79 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ยังพบอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี คือ คลอไรด์ (ฝ้ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) มีลักษณะแปรผกผันกับชั้นความสูง คือ ที่ชั้นล่างมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นกลาง และชั้นบน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.70 และ 0.65 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากปริมาณ พบว่าสารไอออนิกลบ ที่ชั้นล่าง จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงกว่า ชั้นกลางและชั้นบน ส่วนสารไอออนิกบวก ในแต่ละชั้นก็จะมีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่า สารไอออนิกบวก ในชั้นล่าง และชั้นบน มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 4.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นบน ชั้นกลาง มีค่าเท่ากับ 4.18 และ 4.09 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ยังพบอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม (ฝ้ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) พบมากที่สุดที่ชั้นล่าง ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากปริมาณ พบว่า สารไอออนิกบวก ที่ชั้นล่าง จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง

อย่างไรก็ตาม ถึงปริมาณของสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวจะมีมากเพียงพอก็ยังพบว่า แต่ก็ยังพบว่า สารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม เหล่านี้ เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในฝุ่นขนาดเล็กเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบว่า ถ้าขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เป็นเพียงการเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติภายในเมฆ แต่ไม่เกิดการก่อตัวของเมฆ และตกลงมาเป็นฝนได้

4.2.1.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น(เฉลี่ย 3 ชั่วโมง) ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ รายละเอียดของในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.3

จากการศึกษา พบว่า (ภาพที่ 4.3) ความเข้มข้นของ คลอไรด์ ที่ชั้นบน สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.39 ± 0.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.36 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ ไนเตรท ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.04 ± 0.06 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 3.88 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.92 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 5.22 ± 8.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 10.62 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 4.53 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โซเดียม ที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.06 ± 0.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แอมโมเนียม ที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 1.52 ± 2.58 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 2.84 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โพแทสเซียม ที่ชั้นบน มีสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.88 ± 1.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 1.53 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด 0.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แคลเซียม ที่ชั้นบน สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 1.43 ± 2.42 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 2.74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.03 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกลบ (คลอไรด์ ไนเตรท และซัลเฟต) และไอออนิกบวก (โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม) ในแต่ละชั้นมีค่าแตกต่างกัน คือ ปริมาณรวมของสารไอออนิกลบ ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 9.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ชั้นบน ชั้นล่าง เท่ากับ 7.55 และ 7.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ยังพบอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) มีลักษณะแปรผกผันกับชั้นความสูง คือที่ชั้นล่างมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นกลาง และชั้นบน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.43 และ 0.42 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากปริมาณ พบว่าสารไอออนิกลบ ที่ชั้นล่าง จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงกว่า ชั้นกลางและชั้นบน ส่วนสารไอออนิกบวก ในแต่ละชั้นก็จะมีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่า ปริมาณรวมของสารไอออนิกบวก ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 4.54 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นบน ชั้นล่าง มีค่าเท่ากับ 4.54 และ 2.78 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และยังพบสารไอออนิก ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) คือ โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม พบมากที่สุดที่ชั้นกลาง ดังนั้น ที่ชั้นกลาง จึงพบสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง กว่าชั้นบน และชั้นล่าง

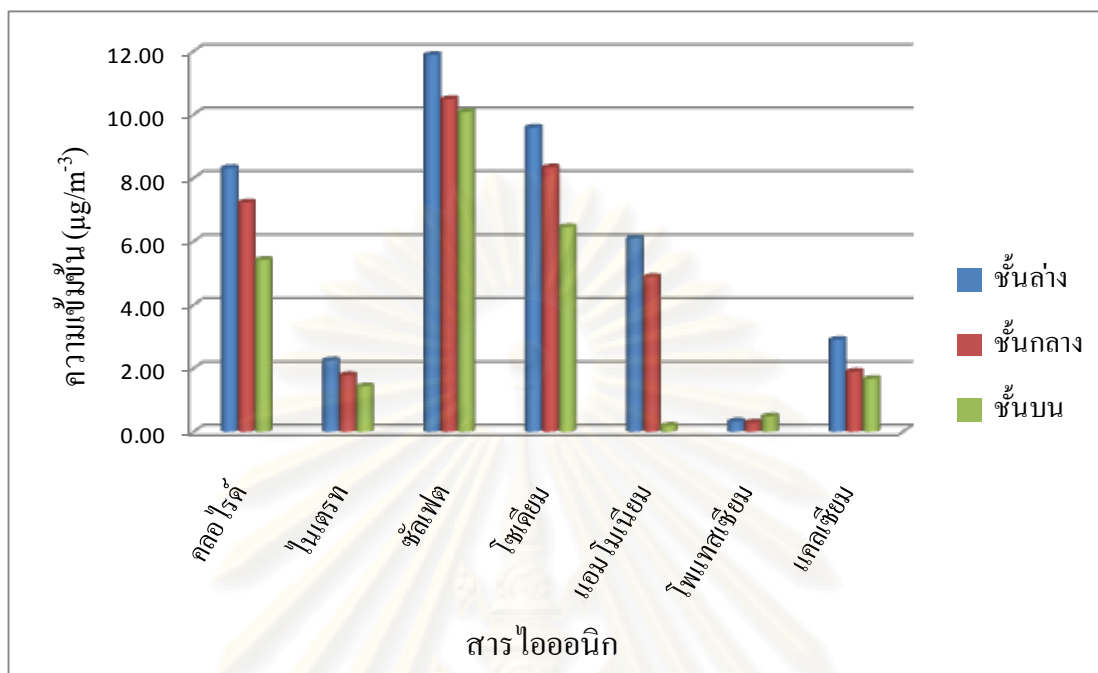
อย่างไรก็ตาม ถึงปริมาณของสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวจะมีมากเพียงพอก็ยังพบว่า แต่ก็ยังพบว่า สารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม เหล่านี้ เป็นองค์ประกอบที่อยู่ในฝุ่นขนาดเล็กเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบว่า ถ้าขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร เป็นเพียงการเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติภายในเมฆ แต่ไม่เกิดการก่อตัวของเมฆ และตกลงมาเป็นฝนได้

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง

4.2.2.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น(เฉลี่ย 6 ชั่วโมง) ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ณ จุดเก็บตัวอย่างอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ รายละเอียดของในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.4

จากการศึกษา พบว่า (ภาพที่ 4.4)ความเข้มข้นของ คลอไรด์ ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 3.44 ± 13.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด เท่ากับ 9.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.78 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของไนเตรท ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.98 ± 3.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 2.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ ซัลเฟต ที่ชั้นล่าง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 9.29 ± 14.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 11.19 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 9.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โซเดียม ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 7.60 ± 11.58 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 9.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 7.11 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แอมโมเนียม ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 5.38 ± 7.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 5.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 4.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โพแทสเซียม ที่ชั้นบน สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.41 ± 0.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด 0.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แคลเซียม ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.69 ± 4.74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 2.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.06 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาย่านเอกวาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกลบ (คูลอไรด์ ไนเตรท และซัลเฟต) และไอออนิกบวก (โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียม) ในแต่ละชั้นมีค่าแตกต่างกัน คือ พบปริมาณรวมของสารไอออนิกลบ ที่ล่าง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 22.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ชั้นกลาง ชั้นบน เท่ากับ 19.50 และ 16.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และยังพบความเข้มข้นของสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คูลอไรด์ (Rosenfeld et al, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) มีลักษณะแปรผกผันกับชั้นความสูง คือ ที่ชั้นล่างมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 8.32 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นกลาง และชั้นบน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.23 และ 5.42 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น ถ้าพิจารณาจากปริมาณ และขนาดของสารไอออนิก (คูลอไรด์ ในฝุ่นละอองรวม) พบว่า ที่ชั้นล่าง จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงกว่า ชั้นกลางและชั้นบน ส่วนสารไอออนิกบวก ในแต่ละชั้นก็จะมีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่า ปริมาณรวมของสารไอออนิกบวก ที่ชั้นล่าง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 18.91 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นกลาง ชั้นบน มีค่าเท่ากับ 15.40 และ 8.79 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และยังพบความเข้มข้นของสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม (Rosenfeld et al, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) มีลักษณะแปรผกผันกับความสูง คือ ที่ชั้นล่างมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 9.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

รองลงมาคือชั้นกลาง และชั้นบน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.09 และ 2.90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น ถ้าพิจารณาจากปริมาณและขนาดของสารไอออนิก (โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองรวม) ที่ชั้นล่าง จึงพบสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง

อย่างไรก็ตาม จากทั้งปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบว่า ถ้าขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร จะทำให้เกิดการข้ามขั้นตอนโดยธรรมชาติของการเกิดเมฆ และส่งผลให้เมฆก่อตัว และตกลงมาเป็นฝน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Tzivion et al, 1994 ก็ยังพบว่า ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 20–25 ไมโครเมตร เป็นขนาดที่เร่งให้เกิดฝนเร็วขึ้น ดังนั้น สารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld et al, 1994; ฝ่ายปฏิบัติกร ฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นบละอองรวม จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง

4.2.2.2 กรุงเทพมหานคร

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ย (ทุก 6 ชั่วโมง) ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ณ จุดเก็บตัวอย่างกรุงเทพมหานคร รายละเอียดของผลการตรวจวัดในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.5

จากการศึกษา พบว่า (ภาพที่ 4.5) ความเข้มข้นของ คลอไรด์ ที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.59 ± 3.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด เท่ากับ 3.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของไนเตรท ที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 6.04 ± 23.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 22.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 11.46 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 18.97 ± 27.84 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 26.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 19.70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โซเดียม ที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 1.15 ± 2.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 2.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แอมโมเนียมที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 1.80 ± 3.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 3.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โพแทสเซียม ที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง $2.51 \pm$

5.38 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 5.03 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด 2.82 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แคลเซียม ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 10.82 ± 14.57 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 14.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 11.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกลบ และ ไอออนิกบวก ในแต่ละชั้นมีค่าแตกต่างกัน คือ พบปริมาณรวมของสารไอออนิกลบ ที่ชั้นกลางมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 40.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ชั้นล่าง ชั้นบน เท่ากับ 37.47 และ 26.86 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และยังพบสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ (Rosenfeld et al, 1994; ฝ้ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นละอองรวม มากที่สุดที่ชั้นกลาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.09 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นล่าง และชั้นบน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.90 และ 1.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น ถ้าพิจารณาจากปริมาณ และขนาด พบว่า คลอไรด์ ที่ชั้นกลาง มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงกว่า เมื่อเทียบกับ ชั้นล่าง และชั้นบน ส่วนปริมาณรวมของไอออนิกบวก ในแต่ละชั้นก็จะมีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่า ปริมาณรวมของสารไอออนิกบวก ที่ชั้นล่างมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 20.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นกลาง ชั้นบน มีค่าเท่ากับ

20.50 และ 13.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และยังพบสารที่มีศักยภาพเป็นแก๊สพิษตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม (Rosenfeld et al, 1994; ฝ้ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ดังนั้นถ้าพิจารณาจากปริมาณ และขนาด พบว่า โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม ในฝุ่นละอองรวม ที่ชั้นล่าง มีศักยภาพเป็นแก๊สพิษตัวสูงกว่า ที่ชั้นกลาง และชั้นบน

อย่างไรก็ตาม จากทั้งปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบว่า ถ้าขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร จะทำให้เกิดการข้ามชั้นตอนโดยธรรมชาติของการเกิดเมฆ และส่งผลให้ไม่หมกตัว และตกลงมาเป็นฝน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Tzivion et al, 1994 ก็ยังพบว่า ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 20–25 ไมโครเมตร เป็นขนาดที่เร่งให้เกิดฝนเร็วขึ้น ดังนั้น สารที่มีศักยภาพเป็นแก๊สพิษตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld et al, 1994; ฝ้ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นละอองรวม จึงมีศักยภาพเป็นแก๊สพิษตัวสูง

4.2.2.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นเฉลี่ย (ทุก 6 ชั่วโมง) ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ณ จุดเก็บตัวอย่างอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ รายละเอียดของผลการตรวจวัดในแต่ละชั้นความสูง สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.6

จากการศึกษา พบว่า (ภาพที่ 4.6) ความเข้มข้นของ คลอไรด์ ที่ชั้นบน สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.52 ± 1.40 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด เท่ากับ 1.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.77 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของไนเตรท ที่ชั้นบน สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 4.15 ± 8.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 8.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 4.67 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ ซัลเฟต ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 3.89 ± 21.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 19.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 7.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ โซเดียม ที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.05 ± 0.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 0.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 0.16 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แอมโมเนียม ที่ชั้นกลาง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 0.660 ± 3.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 3.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 1.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์

เมตร ความเข้มข้นของ โปแทสเซียม ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 1.38 ± 3.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 3.58 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด 8.48 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของ แคลเซียม ที่ชั้นล่าง สูงสุด มีค่าระหว่างช่วง 6.96 ± 11.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด 10.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ค่าต่ำสุด เท่ากับ 8.48 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ทั้งนี้พบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกลบ และ ไอออนิกบวก ในแต่ละชั้นมีค่าแตกต่างกัน คือ พบปริมาณรวมของสารไอออนิกลบ ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 18.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือ ชั้นบน ชั้นล่าง เท่ากับ 16.95 และ 14.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่ยังพบสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝนคือ คลอไรด์ (Rosenfeld et al, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นละอองรวม พบมากที่สุดที่ชั้นบน ซึ่งมีค่ามากที่สุด เท่ากับ 0.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นล่าง และชั้นกลาง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.90 และ 0.84 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น ถ้าพิจารณาจากปริมาณ และขนาด พบว่า คลอไรด์ ในฝุ่นละอองรวม ที่ชั้นบนมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงกว่า ที่ชั้นล่าง และชั้นกลาง ส่วนสารไอออนิกบวก ในแต่ละชั้นก็จะมีค่าแตกต่างกัน โดยพบว่า ปริมาณรวมของไอออนิกบวก ที่ชั้นกลาง มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 14.38 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รองลงมาคือชั้นล่าง ชั้นกลาง มีค่า

เท่ากับ 13.25 และ 11.34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และยังพบสารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว ที่เอื้อต่อการเกิดฝนคือ โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม (Rosenfeld et al, 1994; ฝายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นละอองรวม ที่ชั้นกลางมีค่ามากที่สุด ดังนั้น สารไอออนิกทั้ง 4 ชนิดนี้ ที่ตรวจพบที่ชั้นกลาง จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง ที่เอื้อต่อการเกิดฝน

อย่างไรก็ตาม จากทั้งปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม ของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบว่า ถ้าขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร จะทำให้เกิดการข้ามขั้นตอนโดยธรรมชาติของการเกิดเมฆ และส่งผลให้เมฆก่อตัว และตกลงมาเป็นฝน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Tzivion et al, 1994 ก็ยังพบว่า ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 20–25 ไมโครเมตร เป็นขนาดที่เร่งให้เกิดฝนเร็วขึ้น ดังนั้น สารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld et al, 1994; ฝายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นบละอองรวม จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง

4.3 สัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม

ทำการรวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 พื้นที่ ซึ่งได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่ละ 3 ชั้นความสูง โดยรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง และวิเคราะห์หาสารไอออนิกทั้ง 7 ชนิด ซึ่งได้แก่ คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต แอมโมเนียม โซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลสัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ทั้งนี้จะไม่รายงานสัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองทั้ง 2 ขนาดที่มีค่าต่ำกว่า 0.01 และไม่สามารถตรวจพบ

สัดส่วน(Fraction) ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละออง หมายถึง ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

4.3.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

รวบรวมความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกใน ฝุ่นละอองรวม ทั้ง 7 ชนิด จากพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา รายละเอียดในแต่ละชั้นความสูงมีดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.11)

(1) **ชั้นล่าง** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของโพแทสเซียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.84 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แคลเซียม และแอมโมเนียม มีสัดส่วนเท่ากับ 0.68, 0.52, 0.49, 0.35, 0.07 และ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

(2) **ชั้นกลาง** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของไนเตรทในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.81 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ คลอไรด์ ซัลเฟต โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแอมโมเนียม มีสัดส่วนเท่ากับ 0.66, 0.59, 0.49, 0.37, 0.31 และ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

(3) **ชั้นบน** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1.55 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ไนเตรท คลอไรด์ ซัลเฟต โซเดียม แคลเซียม และโพแทสเซียม มีสัดส่วนเท่ากับ 0.99, 0.76, 0.57, 0.46, 0.39 และ 0.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 สัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

สารไอออนิก	สัดส่วนระหว่างสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
คลอไรด์	0.68	0.66	0.76
ไนเตรท	0.52	0.81	0.99
ซัลเฟต	0.49	0.59	0.57
โซเดียม	0.35	0.37	0.46
แอมโมเนียม	0.04	0.05	1.55
โพแทสเซียม	0.84	0.49	0.29
แคลเซียม	0.07	0.31	0.39

จากผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทุกชั้นความสูงส่วนใหญ่มีค่าไม่ถึง 1 ซึ่งหมายความว่า ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ไม่ใกล้เคียงกับ ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คือค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวมสูงกว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และยังพบว่า สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความสูง โดยเฉพาะค่าของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม สารที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน (Rosenfeld,1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) จะพบในฝุ่นละอองรวม มากกว่าในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ขนาดของอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมโครเมตร และไม่เกิน 100 ไมโครเมตรทำให้เกิดการข้ามขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติของการเกิดเมฆและแรงกระบวนกรชน และรวมตัวกัน ให้ช่วงการเกิดฝนเร็วที่สุด (Rosenfeld et al, 1994) ส่วน Tzivion et al, 1994 กล่าวว่า ในบางครั้งก็พบว่า มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 20–25 ไมโครเมตร เป็นขนาดที่เร่งให้เกิดฝนเร็วขึ้น ได้เช่นเดียวกัน และความเข้มข้นของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่น

ละอองรวม ยังมีลักษณะลดลงตามชั้นความสูง เมื่ออนุภาคเหล่านี้ลอยขึ้นมาจนถึงจุดที่อุณหภูมิเท่ากับจุดน้ำค้าง (dew point) ไอน้ำจะกลั่นตัวบนอนุภาคกลั่นตัวเล็ก (condensation nuclei) การกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ ทำให้เกิดเม็ดเมฆเป็นจำนวนมาก แล้วตกลงมาเป็นฝน (พรทิพย์ ภัทรภริรักษ์, 2549; Rosenfeld et al., 1994; Rosinski, และ Gandrud, 1984) ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า อนุภาคของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ที่ตรวจพบในฝุ่นละอองรวม จะมีศักยภาพเป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวสูง ที่เอื้อต่อการเกิดฝนได้ เนื่องจากมีขนาดของอนุภาคที่เหมาะสม ที่จะป็นอนุภาคแกนกลั่นตัว

4.3.2 กรุงเทพมหานคร

รวบรวมความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกใน ฝุ่นละอองรวม ทั้ง 7 ชนิด จากพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร รายละเอียดในแต่ละชั้นความสูงมีดังต่อไปนี้ (ตารางที่ 4.12)

(1) **ชั้นล่าง** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.51 เปอร์เซนต์ รองลงมาคือ คลอไรด์ โพแทสเซียม ซัลเฟต ไนเตรท โซเดียม และแคลเซียม มีสัดส่วนเท่ากับ 0.46, 0.42, 0.39, 0.34, 0.28 และ 0.07 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

(2) **ชั้นกลาง** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 0.53 รองลงมาคือ ซัลเฟต คลอไรด์ โพแทสเซียม ไนเตรท โซเดียม และแคลเซียม มีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 0.42, 0.36, 0.36, 0.32, 0.23 และ 0.07 ตามลำดับ

(3) **ชั้นบน** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 0.79 เปอร์เซนต์ รองลงมาคือ ซัลเฟต โพแทสเซียม คลอไรด์ ไนเตรท โซเดียม และแคลเซียม มีสัดส่วนเท่ากับ 0.63, 0.50, 0.48, 0.44, 0.38 และ 0.11 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 สัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

สารไอออนิก	สัดส่วนระหว่างสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
คลอไรด์	0.46	0.36	0.48
ไนเตรท	0.34	0.32	0.44
ซัลเฟต	0.39	0.42	0.63
โซเดียม	0.28	0.23	0.38
แอมโมเนียม	0.51	0.53	0.79
โพแทสเซียม	0.42	0.36	0.5
แคลเซียม	0.07	0.07	0.11

จากผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ทุกชั้นความสูงมีค่าไม่ถึง 1 ซึ่งหมายถึงว่า ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ไม่ใกล้เคียงกับ ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คือ ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม สูงกว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร แต่ก็ยังพบว่า ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียม ทั้ง 3 ชั้นความสูง มีค่าสูงกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากพื้นที่ศึกษา มีการก่อสร้างอาคาร ค่อนข้างมาก จึงพบค่าของแอมโมเนียม ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการก่อสร้างมาก (กัลยากร, 2549) และยังพบว่า อนุภาคของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ที่เป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการ เกิดฝน (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) มีลักษณะลดลงตามความสูง อนุภาคเหล่านี้เมื่อลอยขึ้นมาจนถึงจุดที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (dew point) ไอน้ำจะกลั่นตัวบนอนุภาคกลั่นตัวเล็ก (condensation nuclei) การกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ ทำให้เกิดเม็ดเมฆเป็นจำนวนมาก แล้วตกลงมาเป็นฝน (พรทิพย์ ภัทรารักษ์, 2549; Rosenfeld et al, 1994; Rosinski และ Gandrud, 1984) แสดงให้เห็นถึง อนุภาคแกนกลั่นตัว ที่เกิดการควบแน่นเป็นเมฆ มาจากที่ระดับล่าง แล้วลอยขึ้นไปกลั่นตัวในที่สูง ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง 100 เปอร์เซ็นต์ (พรทิพย์ ภัทรารักษ์, 2549) อนุภาคแกนกลั่นตัวเหล่านี้ จะเริ่มกลั่นตัวกลายเป็นก้อนเมฆ และตกลงมาเป็นฝน และยังพบอนุภาคของสารไอออนิก ในฝุ่นละอองรวม มากกว่าอนุภาคของสารไอออนิกในฝุ่นละออง

ขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ขนาดของอนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว ขนาดอนุภาคตั้งแต่ 10 ไมโครเมตร และไม่เกิน 100 ไมโครเมตร ทำให้เกิดการข้ามชั้นตอนการเปลี่ยนแปลงโดยธรรมชาติและเร่งกระบวนการชนและรวมตัวกันให้ช่วงการเกิดฝนเร็วที่สุด (Rosenfeld et al, 1994) ส่วน Tzivion et al, 1994 กล่าวว่า ในบางครั้งก็พบว่า มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 20–25 ไมโครเมตร เป็นขนาดที่เร่งให้เกิดฝนเร็วขึ้น ได้เช่นเดียวกัน ดังนั้น อนุภาคของ คอลลอยด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ที่ตรวจพบในฝุ่นละอองรวม จะมีศักยภาพเป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวสูง ที่เอื้อต่อการเกิดฝน แต่อนุภาคเหล่านี้ มีสัดส่วนที่ค่อนข้างน้อย ไม่เหมาะสมที่จะเกิดการกลั่นตัวเป็นเมฆ และตกลงมาเป็นฝนได้ อาจจะเนื่องมาจาก ในช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างเป็นฤดูแล้ง จึงทำให้ตรวจพบอนุภาคแกนกลั่นตัวในปริมาณที่ต่ำ

4.3.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

รวบรวมความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม จากพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (ตารางที่ 4.13)

(1) **ชั้นล่าง** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1.08 รองลงมาคือ ซัลเฟต คอลลอยด์ ไนเตรท โพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียม มีสัดส่วนเท่ากับ 0.65, 0.48, 0.39, 0.36, 0.16 และ 0.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

(2) **ชั้นกลาง** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 0.97 รองลงมาคือ ซัลเฟต คอลลอยด์ ไนเตรท โพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียม มีสัดส่วนเท่ากับ 0.59, 0.54, 0.41, 0.38, 0.29 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

(3) **ชั้นบน** ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คิดเป็นสัดส่วนพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นของแอมโมเนียมในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม มีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 1.23

เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ คลอไรด์ ซัลเฟต โปแทสเซียม โซเดียม ไนเตรท และแคลเซียม มีสัดส่วนเท่ากับ 0.51, 0.49, 0.49, 0.39, 0.37 และ 0.27 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 สัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

สารไอออนิก	สัดส่วนระหว่างสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อฝุ่นละอองรวม		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
คลอไรด์	0.48	0.54	0.51
ไนเตรท	0.39	0.41	0.37
ซัลเฟต	0.64	0.59	0.49
โซเดียม	0.16	0.29	0.39
แอมโมเนียม	1.08	0.97	1.23
โปแทสเซียม	0.36	0.38	0.49
แคลเซียม	0.09	0.16	0.24

จากผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารไอออนิก ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ทุกชั้นมีค่าไม่ถึง 1 ซึ่งหมายความว่า ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ไม่ใกล้เคียงกับ ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม คือค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวมสูงกว่าค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร โดยเฉพาะสัดส่วนของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแคลเซียม ที่เป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) มีลักษณะเพิ่มขึ้นตามความสูง เช่นเดียวกับอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นไปได้ว่า อนุภาคแกนกลั่นตัวที่เอื้อต่อการเกิดฝน จะลอยขึ้นไปจากข้างล่างแล้วไป จนถึงจุดที่อุณหภูมิเท่ากับจุดน้ำค้าง (dew point) ไอน้ำจะกลั่นตัวบนอนุภาคกลั่นตัวเล็ก (condensation nuclei) การกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศ ทำให้เกิดเม็ดเมฆเป็นจำนวนมาก แล้วตกลงมาเป็นฝน (พรทิพย์ ภัทรารักษ์, 2549; Rosenfeld et al, 1994; Rosinski และ Gandrud, 1984) แต่ก็ยังพบว่า อนุภาคของคลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ที่ตรวจพบในมีปริมาณที่ต่ำมาก ที่จะทำให้เกิดฝนได้

แต่ก็ยังพบว่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียม มีค่าใกล้เคียงกับ 1 ซึ่งหมายความว่า ปริมาณของแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มีค่าใกล้เคียงกับแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองรวม เนื่องจากพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่ที่มีการทำการเกษตรมาก ดังนั้นแอมโมเนียมที่ตรวจพบอาจจะมาจากกิจกรรมการเกษตรก็ได้ เพราะแอมโมเนียมเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในปุ๋ย เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต หรือ แอมโมเนียมไนเตรท (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Rööslä et al, 2001 ที่พบองค์ประกอบดังกล่าวในพื้นที่เกษตร

จากสัดส่วนความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ต่อความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า สารไอออนิกจะมีชนิดและสัดส่วนที่แตกต่างกันออกไปตามประเภทของแหล่งกำเนิด แต่ก็ยังพบว่า สัดส่วนของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม เป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำ นั่นก็คือ ปริมาณของคลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองรวม สูงกว่า ปริมาณของ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ได้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rosenfeld et al, 1994 ที่พบ คลอไรด์ โซเดียม และแคลเซียม ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร เป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ดี ที่ส่งผลให้การก่อตัวของเมฆมากที่สุด เช่นเดียวกับการศึกษาของ Tzivion et al, 1994 ที่พบว่าอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ดีจะต้องมีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมโครเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 สารไอออนิกในฝุ่นละอองที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว

5.1.1.1 สารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว

แนวโน้มค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ส่วนใหญ่มีลักษณะแปรผกผันกับความสูง ในทุกพื้นที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้น สารไอออนิก ที่ตรวจพบเหล่านี้ จะมีแหล่งกำเนิดมาจากบริเวณใกล้เคียงจุดเก็บตัวอย่าง เนื่องจาก ฝุ่นละอองที่มาจากแหล่ง ยังไม่ได้รับอิทธิพลของลมให้พัดขึ้นในที่สูง จึงทำให้ตรวจพบที่ชั้นล่างมีค่ามากที่สุด แต่ก็ยังพบว่าสารไอออนิก ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) นี้ เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ซึ่งถ้าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร จะทำให้เกิดเพียงการก่อตัวเป็นเมฆ แต่ไม่สามารถรวมกันเป็นฝนได้ เนื่องจากเม็ดน้ำในเมฆมีขนาดเล็กเกินไป (Rosenfeld, 1994) และยังตรวจพบ สารไอออนิกทั้ง 5 ชนิดนี้ ในปริมาณค่อนข้างต่ำ ยกเว้นค่าความเข้มข้นของ คลอไรด์ และโซเดียม ที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เนื่องจาก คลอไรด์ และโซเดียม เป็นองค์ประกอบที่มาจากระอบไอทะเล (Harrison et al, 1995; Chan et al, 1997)

แต่อนุภาคที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่น ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เหล่านี้ มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ เนื่องจากมีปริมาณ และขนาดที่ไม่เหมาะสม และยังพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่ศึกษาไม่สูงมากพอที่จะเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำได้ โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนพื้นที่ศึกษาอำเภอ

หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีความชื้นสัมพัทธ์สูงพอที่ไอน้ำจะสามารถกลั่นตัวได้ เนื่องจากในช่วงที่เก็บตัวอย่างในช่วงฝนตก

5.1.1.2 สารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว

แนวโน้มค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ของพื้นที่ศึกษา ส่วนใหญ่สารไอออนิกมีลักษณะแปรผกผันกับความสูง โดยเฉพาะสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) อนุภาคต่างๆจะเริ่มควบแน่นเป็น ไอน้ำ ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (เกษม จันทร์แก้ว, 2526) แต่ถ้าอนุภาคแกนกลั่นตัวมีจำนวนมากพอ ความชื้นสัมพัทธ์จะไม่ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคก็สามารถกลั่นตัวได้ เช่นอนุภาคของสารไอออนิกที่ตรวจพบที่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบคลอไรด์ โซเดียม และแคลเซียม ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง และเป็นอนุภาคที่มาจากทะเล อนุภาคเหล่านี้ สามารถที่จะเร่งการกลั่นตัวของไอน้ำ การกลั่นตัวจะเริ่มที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์มาก ถ้าเป็น โซเดียมและคลอไรด์ ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ก็สามารถกลั่นตัวได้แล้ว (ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540 ; ทรงกต ทศานนท์, 2547 ; Vali, 1988) ส่วนพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ก็พบว่าอนุภาคของแคลเซียม ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เช่นเดียวกับพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งอนุภาคของแคลเซียมเหล่านั้น มีแหล่งกำเนิดมาจากการก่อสร้างถนน อนุภาคฝุ่นดิน แต่ความชื้นสัมพัทธ์ก็ยังต่ำเกินไป ที่จะเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำได้ อนุภาคของสารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน (คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม) ในฝุ่นละอองรวมของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด ที่ตรวจพบ มีทั้งปริมาณ และขนาดที่เหมาะสม ดังนั้นสารไอออนิกทั้ง 5 ชนิดนี้ จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูง

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง

5.1.2.1 การเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามชั้นความสูง

ผลการศึกษาจากพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง พบปริมาณของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม) ที่ชั้นกลาง มีค่าความเข้มข้นมากที่สุด อาจเนื่องมาจากมีแหล่งกำเนิดที่ระยะไกล จากจุดเก็บตัวอย่าง จึงทำให้ตรวจพบที่ชั้นกลางมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือชั้นบนและชั้นล่าง ตามลำดับ และยังพบว่า สารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ (คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม) ที่ชั้นกลางมีค่ามากที่สุดเช่นกัน ดังนั้นสารไอออนิกที่ตรวจพบที่ชั้นกลาง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะมีศักยภาพเป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวสูง ที่เอื้อต่อการเกิดฝนมากที่สุด แต่เนื่องจาก อนุภาคดังกล่าว เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กเกินไป ประกอบกับตรวจพบในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้น สารไอออนิกที่ตรวจพบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด มีปริมาณน้อย และเป็นองค์ประกอบในฝุ่นขนาดเล็กเกินไป จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวต่ำ

5.1.2.2 การเปลี่ยนแปลงสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ตามชั้นความสูง

ผลการศึกษาจากพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง พบว่า พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบปริมาณรวมของไอออนิกในฝุ่นละอองรวม (คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม) ที่ชั้นล่าง มีค่าความเข้มข้นมากที่สุด เนื่องจากในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างเป็นช่วงเวลาที่มีฝนตก ประกอบกับช่วงเวลานั้นอากาศค่อนข้างนิ่ง (stable) จึงทำให้ฝุ่นละอองไม่สามารถลอยขึ้นในที่สูงได้ จึงตรวจพบมากที่สุดที่ชั้นล่าง รองลงมาคือชั้นกลาง และชั้นบน ตามลำดับ และก็ยังพบว่า สารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ของพื้นที่ศึกษานี้ มีค่าสูงสุดที่ชั้นล่างเช่นเดียวกัน ดังนั้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จึงพบว่าสารไอออนิกที่ชั้นล่าง มีศักยภาพเป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวสูง ส่วนพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบปริมาณรวมของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม (คลอไรด์ ไนเตรท ซัลเฟต โซเดียม แอมโมเนียม และแคลเซียม) ที่ชั้นกลาง มีค่าความเข้มข้นมากที่สุด และก็ยังพบว่า สารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 จังหวัดนี้ มีค่ามากที่สุดที่ชั้นกลาง ดังนั้น

กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จึงพบสารไอออนิกที่ชั้นกลาง มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นสูง เนื่องจากสารไอออนิกที่ตรวจพบ มีปริมาณ และขนาดที่เหมาะสมที่จะเป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่เอื้อต่อการเกิดฝน

5.1.3 สัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และฝุ่นละอองรวม

สัดส่วนของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม สูงกว่าเมื่อเทียบกับสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ดังนั้น สารไอออนิกที่มีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวที่ดี ที่เอื้อต่อการเกิดฝน คือ คลอไรด์ โซเดียม แคลเซียม ไนเตรท และแอมโมเนียม (Rosenfeld, 1994; ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง, 2540) ในฝุ่นละอองรวม ที่ตรวจพบจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด จึงมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัวสูงที่เอื้อต่อการเกิดฝน เนื่องจากมีขนาดที่เหมาะสม ที่จะเป็แกนกลั่นตัวที่ดี ประกอบกับตรวจพบในปริมาณความเข้มข้นที่ค่อนข้างสูง ฝนที่เกิดขึ้นจึงเป็นไปได้ว่ามาจากสารไอออนิกที่ตรวจพบ โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งมีฝนตกในช่วงเก็บตัวอย่าง ส่วนพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร และอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ พบอนุภาคที่เป็นแกนกลั่นตัวเพียงแค่ แคลเซียมที่เป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวที่เอื้อต่อการเกิดฝนได้ ส่วน คลอไรด์ และโซเดียม ที่พบใน 2 พื้นที่ศึกษานี้ มีปริมาณความเข้มข้นที่ค่อนข้างต่ำ ประกอบกับ ความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงที่เก็บตัวอย่าง ยังไม่สูงพอที่จะเกิดการกลั่นตัวเป็นฝนได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาอนุภาคแกนกลั่นตัว ใน 2 ช่วงฤดู เปรียบเทียบกัน คือ ฤดูฝน และฤดูร้อน เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพของอนุภาคแกนกลั่นตัวได้อย่างชัดเจนขึ้น เนื่องจากในการศึกษารั้งนี้ ในบางพื้นที่ศึกษา ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝน ส่วนบางพื้นที่เป็นฤดูร้อนเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ไม่สามารถสรุปได้อย่างชัดเจน เกี่ยวกับความแตกต่างของฤดูกาล ซึ่งอาจมีผลต่อการมีศักยภาพเป็นแกนกลั่นตัว ดังนั้นปริมาณของอนุภาคแกนกลั่นตัวที่ตรวจพบ จึงไม่สามารถบ่งชี้ได้ชัดเจนว่า ทำหน้าที่เป็นอนุภาคแกนกลั่นตัวได้หรือไม่

5.2.2 ควรจะมีการศึกษาอนุภาคแกนกลั่นตัวที่มาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน เช่น เปรียบเทียบแหล่งกำเนิดในเมือง และเขตชนบท เพื่อที่จะดูว่า พื้นที่ใด เป็นพื้นที่ที่เป็นแหล่งกำเนิดของอนุภาคแกนกลั่นตัวที่แท้จริง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- เกษม จันทร์แก้ว. 2526. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2523. นิยามศัพท์อุตุนิยมวิทยา. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2540. นิยามศัพท์อุตุนิยมวิทยา. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กัลยากรณ์ ตั้งอุไร. 2549. ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศจังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 9. กอดถึงกรุงเทพ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชชัย. 2525. เคมี 1 (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.
- ทรงกต ทศานนท์. 2547. หลักอุตุนิยมวิทยา เล่ม 1. สาขาวิชาการรับรู้จากทางระยะไกล สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช. 2544. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปาจริย์ ทองสนิท และวนิดา จีนศาสตร์. 2548. รายงานการวิจัยเรื่ององค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่น PM₁₀ ในเขตเมืองพิษณุโลก. กรุงเทพมหานคร:ทบวงมหาวิทยาลัย และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- ฝ่ายปฏิบัติการฝนหลวง ส่วนฝนหลวง สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร. 2540. เอกสารวิชาการเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการปฏิบัติการฝนหลวง. อนุภาคแกนกลั่นตัวของเมฆกับการเกิดละอองหยดน้ำในเมฆ.
- พรทิพย์ ภัทรภักดิ์. 2549. การศึกษาสภาพของอากาศ การเกิดเมฆ ฝน หอจุดาวเกิดแก้ว. รายงานวิจัย สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- พิทยา ว่องกุล. 2537. สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.
- ภิญโญ มานะเสถียร. 2545. פלั๊กซ์การสะสมของโลหะในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- รังสรรค์ อาภาศัพทะกุล. 2547. อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอด. 2543. มลภาวะทางอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วนิดา จีนศาสตร์, 2550. มลพิษทางอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : มิสเตอร์ก๊อปปี้ (ประเทศไทย) จำกัด.
- วราวุธ ชันติยานันท์. 2539. การทำฝนหลวงในประเทศไทย (ฉบับปรับปรุงใหม่ปี 2539). เอกสารการฝึกอบรมเชิงวิชาการสำหรับนักปฏิบัติการฝนหลวง ระหว่างวันที่ 22-26 มกราคม 2539. โรงแรมชะอำลภูริสอร์ท เพชรบุรี.
- ศิริวรรณ แก้วงาม. 2543. สัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุธิลา ตูลยะเสถียร, โกศล วงศ์สวรรค์ และสถิต วงศ์สวรรค์. 2544. มลพิษสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์รวมสาส์น.
- สำนักฝนหลวงและการบินเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. เป็นฝนสู่ประชาชนจากบิดาของแผ่นดิน.
- อนามัย, กรม. 2535. คู่มือเจ้าหน้าที่สาธารณสุข เล่ม 4 การเฝ้าระวังคุณภาพอากาศและเสียง. กรุงเทพมหานคร : กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- อรุบล โชติพงศ์. 2541. รายงานวิจัย เรื่อง การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อระบบการหายใจ. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Ahems, C.D. 1986. Meteorology Today. West Pubuishing, Minnesota, U.S.A.

Calloway,C.P., Li, S., Buchanan,J.W., and steven,R.K. 1989. A refinement of the potassium tracer method for residential wood smoke. Atmospheric Environment.

Celis, J. E., Molrales, J. R., Zaror, C. A./ and Inzanza, J. C. 2004. A study of the particulate matter PM₁₀ composition in the atmosphere of Chillán, Chile. Chemosphere.

- Chan, Y. C., Simpson, R. W., Mctainsh, G.H., and Vowles, P.D. 1997. Characterization of chemical species in PM_{2,5} and PM₁₀ aerosols in Brisbane, Australia. Atmospheric Environment.
- Guinot, B., 2006. Physical-chemical studies of the anthropogenic aerosol and its evolution in Beijing. Ph.D. Thesis, University Paris 7.
- Harrison, R. M., and Jones, M. 1995. The chemical composition of airborne particles in the UK atmosphere. The Science of the Total Environment.
- Harrison, R. M., Jones, A. M., and Lawrence, R. G. 2004. Major component composition of PM₁₀ and PM_{2.5} from roadside and urban background sites. Atmospheric Environment.
- Ho, K.F., Lee, S.C., Chan, C.K., Yu, J.C., Chow, J.C., and Yao, X.H. 2003. Characterization of chemical species in PM_{2,5} and PM₁₀ aerosols in Hong Kong. Atmospheric Environment.
- Morales, J.A., Hermoso, M., Serrano, J., and SanHueza, E. 1990. Trace element in the Venezuelan savannah atmosphere during dry and wet without vegetation burning. Atmospheric Environment 24: 407-414.
- Olmez, I., Sheffield, A.E., Gordon, G.E., Houck, J.E., Pritxhett, L.C., Cooper, J.A., Dzubay, T.G., And Bennett, R.L. 1988. Composition of particles from selected source in receptor modeling application. Air Pollution Control Association 38: 1392-1402
- Qin, Y., and Oduyemi, K. 2003. Chemical composition of atmospheric aerosol in Dundee, UK. Atmospheric Environment 37: 93-104
- QUARG. 1996. Airborne particulate matter in the United Kingdom. The third report from the quality of urban air review group. Department of the Environment. London, United Kingdom.
- Querol, X., Alastuey, A., Rodrigues, S., Plana, F., Mantilla, E., and Ruiz, C. 2001. Monitoring of PM₁₀ And PM_{2,5} around primary particulate anthropogenic emission source. Atmospheric Environment 35: 845-858
- Röösli, M., Theis, G., Kunzli, N., Staehelin, N., Staehelin, J., Mathys, P., Oglesby, I., Camenzind, M., and Braun-Fahrländer, Ch. 2001. Temporal and Spatial Variation of the chemical composition of PM₁₀ at Urban and rural sites in the Basel area, Switzerland. Atmospheric Environment 35: 3701-3713
- Roger, R.R. 1985. A Short Course in Cloud in Cloud Physics. Pergamon Press Inc, New York, U.S.A.

- Rosenfeld, D., Woodley, W.L., Silverman, B.A., Hartzell, C., Khantiyanan, W., Sukanjanaset, W., Sudhikoses, P., and Nirel, R. 1994. Testing of Dynamic Cold-Cloud Seeding concepts in Thailand. Part II : result of analysis. The Asean workshop on a scientific plan for and Asean cooperative weather Modification project document NO.7 Phetchaburi, Thailand .
- Rosinski, J., and Gandrud, B.W. 1984. Cumulative chemical composition of atmospheric cloud condensation nuclei. 709 – 718.
- Seinfeld, J.H., and Pandis, S.N. 1995. Atmospheric Chemistry and physics. New York: Wiley Press.
- Silverman, B.A., Changnon, S.A., Flueck, I.A. and Intner, S.F. 1986. Weather Modification Assessment Kingdom of Thailand Division of Atmospheric Resources Research Bureau of Reclamation, U.S. Department of the Interior, U.S.A.
- Small, J.D., and Chuang, P.Y. 2005. Collision-Coalescence Nuclei Measurements During the Rain In Cumulus over the Ocean. Experiment. American Geophysical Union. Fall Meeting.
- Summer, G. 1988. Precipitation Process and Analysis. The Bath Press Bath, Avon, Great Britain.
- Tzivion, S., Reisin, T. and Levin, Z. , 1994 Numerical Simulation of Hygroscopic Seeding in Convective Cloud. American Meteorology Society, 33; 252-267
- United States Environmental Protection Agency. 1996a. Air quality criteria for particulate matter. Volume 1. Triangle Park, Washington DC.
- United States Environmental Protection Agency. 1996b. Air quality criteria for particulate matter. Volume 3. Triangle Park, Washington DC.
- Vali, G. 1988. Lecture Note on the Basis Principles of Precipitation Enhancement. Atmospheric Water Resources Management Symposium. February 10 to 19, 1988 Chiang Mai .
- Wangkiat, A. 2002. Source receptor modeling of particulate matter in Mea Moh area. Doctor of philosophy 's dissertation The joint graduate school of energy and environment King Mongkut 's University of Technology Thonburi.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร

ตารางที่ ก-1 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นล่าง บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
17/12/2007	21.00-00.00	4.29	1.81	5.86	3.14	0.32	0.00	0.00
18/12/2007	00.00-03.00	4.44	1.47	6.35	3.46	0.39	0.00	0.00
	03.00-06.00	3.98	0.79	4.80	2.80	0.31	0.00	0.00
	06.00-09.00	4.29	0.84	6.46	2.47	0.19	0.00	0.00
	09.00-12.00	2.95	0.41	3.83	2.05	0.22	0.61	0.00
	12.00-15.00	4.58	1.15	5.51	3.27	0.25	0.35	0.00
	15.00-18.00	4.13	0.48	4.35	2.56	0.26	0.34	0.00
	18.00-21.00	5.43	0.95	6.78	3.68	0.37	0.34	0.19
	21.00-00.00	4.60	0.29	4.38	2.92	0.24	0.28	0.22
19/12/2007	00.00-03.00	4.94	0.33	6.36	3.66	0.27	0.28	0.19
	03.00-06.00	5.71	0.73	6.90	3.60	0.21	0.29	0.19
	06.00-09.00	6.19	1.45	6.20	3.96	0.25	0.33	0.22
	09.00-12.00	5.02	1.07	6.21	3.54	0.26	0.32	0.29
	12.00-15.00	4.84	0.49	4.50	3.16	0.19	0.28	0.22
	15.00-18.00	6.77	1.89	5.29	4.30	0.18	0.29	0.23
	18.00-21.00	5.97	0.98	5.14	4.18	0.20	0.33	0.25
	21.00-00.00	5.86	0.85	6.37	4.16	0.27	0.33	0.25
20/12/2007	00.00-03.00	5.86	0.71	6.45	4.07	0.23	0.28	0.22
	03.00-06.00	6.19	1.22	5.04	4.21	0.28	0.40	0.22
	06.00-09.00	3.52	1.35	5.63	2.46	0.19	0.39	0.22
	09.00-12.00	4.93	1.40	5.07	3.13	0.21	0.27	0.22
	12.00-15.00	3.24	1.25	5.60	2.55	0.23	0.28	0.18
	15.00-18.00	4.82	1.79	6.67	3.40	0.27	0.31	0.17
	18.00-21.00	4.76	2.08	6.75	3.44	0.27	0.22	0.22

ตารางที่ ก-2 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นกลาง บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
17/12/2007	21.00-00.00	4.31	1.13	6.70	2.55	0.31	0.29	0.12
18/12/2007	00.00-03.00	3.43	0.52	6.56	2.62	0.31	0.28	0.08
	03.00-06.00	3.70	0.67	7.18	3.07	0.33	0.26	0.47
	06.00-09.00	3.62	0.56	6.64	2.32	0.12	0.28	0.54
	09.00-12.00	0.88	0.38	3.16	1.46	0.08	0.34	0.64
	12.00-15.00	4.07	1.54	6.11	2.91	0.25	0.29	0.95
	15.00-18.00	3.80	1.29	4.71	2.61	0.20	0.26	0.07
	18.00-21.00	4.30	1.26	5.99	3.21	0.23	0.26	0.46
	21.00-00.00	3.79	0.96	5.84	3.39	0.22	0.31	0.65
19/12/2007	03.00-06.00	5.00	1.38	7.22	4.00	0.22	0.32	0.63
	06.00-09.00	4.94	1.58	6.84	3.32	0.32	0.28	0.69
	09.00-12.00	4.56	1.92	7.40	3.52	0.23	0.26	0.66
	12.00-15.00	6.23	1.72	6.34	4.21	0.23	0.00	0.85
	15.00-18.00	4.27	1.28	4.64	2.75	0.19	0.08	0.66
	18.00-21.00	6.23	1.91	6.43	2.57	0.15	0.08	0.54
	21.00-00.00	2.55	0.95	4.00	0.64	0.12	0.02	0.73
20/12/2007	00.00-03.00	4.61	1.18	5.61	3.30	0.22	0.15	0.66
	03.00-06.00	4.22	1.14	6.14	3.37	0.18	0.15	0.62
	06.00-09.00	5.19	1.54	5.32	3.29	0.24	0.22	0.34
	09.00-12.00	4.81	1.36	6.39	3.43	0.23	0.15	0.41
	12.00-15.00	5.22	1.75	7.20	3.87	0.26	0.15	0.45
	15.00-18.00	4.47	1.89	7.34	3.55	0.30	0.14	0.50
	18.00-21.00	4.10	1.72	5.83	3.14	0.25	0.14	0.53

ตารางที่ ก-3 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นบน บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
17/12/2007	21.00-00.00	4.52	1.77	6.13	2.92	0.45	0.15	0.54
18/12/2007	00.00-03.00	3.52	1.51	6.07	2.37	0.43	0.09	0.54
	03.00-06.00	3.59	1.42	7.75	2.66	0.43	0.16	0.59
	06.00-09.00	5.15	1.57	7.54	4.13	0.24	0.16	0.67
	09.00-12.00	2.21	1.01	4.82	1.73	0.17	0.09	0.76
	12.00-15.00	3.33	1.37	4.50	2.17	0.20	0.09	0.62
	15.00-18.00	3.42	1.27	4.79	2.20	0.29	0.09	0.59
	18.00-21.00	3.64	1.13	5.14	2.59	0.27	0.15	0.63
	21.00-00.00	3.64	0.97	5.43	2.75	0.27	0.15	0.51
19/12/2007	00.00-03.00	4.64	1.37	5.66	3.37	0.28	0.08	0.45
	03.00-06.00	4.27	1.32	5.70	3.17	0.25	0.09	0.61
	06.00-09.00	3.41	1.14	4.75	3.21	0.23	0.08	0.58
	09.00-12.00	4.54	2.10	7.03	3.60	0.32	0.17	0.67
	12.00-15.00	4.75	1.66	5.94	3.50	0.28	0.35	0.71
	15.00-18.00	3.63	1.35	1.23	2.40	0.22	0.09	0.53
	18.00-21.00	4.73	1.40	6.10	3.63	0.28	0.15	0.51
	21.00-00.00	5.31	0.86	12.32	3.70	0.26	0.15	0.65
20/12/2007	00.00-03.00	3.00	0.87	4.84	2.56	0.20	0.15	0.59
	03.00-06.00	3.83	1.08	5.66	2.95	0.21	0.15	0.59
	06.00-09.00	3.07	1.04	5.47	2.55	0.28	0.27	0.62
	09.00-12.00	3.87	1.23	4.72	2.95	0.28	0.15	0.62
	12.00-15.00	4.64	1.72	5.62	3.27	0.30	0.08	0.63
	15.00-18.00	4.25	1.65	5.55	3.42	0.30	0.14	0.58
	18.00-21.00	4.56	2.02	6.21	3.67	0.27	0.19	0.68

ตารางที่ ก-4 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นล่าง บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
18/2/2008	21.00-00.00	1.51	8.56	12.49	1.54	1.83	1.26	0.11
19/2/2008	00.00-03.00	1.61	11.26	11.08	1.51	1.45	1.45	0.18
	03.00-06.00	0.74	4.32	6.92	0.25	0.82	1.30	0.09
	06.00-09.00	0.67	2.51	5.59	0.44	1.05	1.88	0.08
	09.00-12.00	0.78	2.22	6.85	0.04	0.29	1.85	1.04
	12.00-15.00	0.85	3.00	6.48	0.81	0.82	1.24	0.70
	15.00-18.00	0.79	2.50	5.70	0.53	0.69	0.88	0.76
	18.00-21.00	0.88	4.55	7.34	0.59	1.05	5.56	1.13
	21.00-00.00	0.91	6.26	7.59	0.46	0.94	2.47	1.17
20/2/2008	00.00-03.00	0.64	3.39	5.45	0.22	0.60	1.16	1.54
	03.00-06.00	0.74	2.61	4.66	0.20	0.57	0.86	1.19
	06.00-09.00	0.62	1.48	4.08	0.22	0.13	0.79	0.93
	09.00-12.00	0.66	1.88	7.05	0.33	0.89	0.80	0.90
	12.00-15.00	0.80	2.46	8.43	0.70	1.21	1.08	1.02
	15.00-18.00	0.70	4.12	10.13	0.61	1.54	1.63	1.29
	18.00-21.00	0.84	5.29	10.57	0.49	1.71	1.41	1.17
	21.00-00.00	1.03	7.10	10.87	0.41	1.86	2.75	1.53
21/2/2008	00.00-03.00	1.03	8.81	9.85	0.39	1.76	2.33	1.26
	03.00-06.00	0.53	2.46	9.73	0.20	1.49	0.91	1.36
	06.00-09.00	0.56	3.08	9.76	0.22	1.45	1.09	0.81
	09.00-12.00	0.60	4.14	7.96	0.15	1.18	0.86	1.08
	12.00-15.00	0.59	5.56	10.68	0.26	1.61	0.99	1.04
	15.00-18.00	0.67	6.08	12.99	0.45	1.95	1.50	1.29
	18.00-21.00	0.69	4.41	11.27	0.33	1.72	1.67	1.17

ตารางที่ ก-5 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นกลาง บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
18/2/2008	21.00-00.00	1.84	9.31	12.06	0.75	1.29	1.31	0.70
19/2/2008	00.00-03.00	2.24	13.46	12.21	0.83	1.32	1.51	0.77
	03.00-06.00	0.64	4.37	7.60	0.48	1.32	1.65	0.69
	06.00-09.00	0.60	2.85	7.10	0.23	1.10	1.23	0.58
	09.00-12.00	0.66	2.35	6.81	0.40	0.87	0.89	1.04
	12.00-15.00	0.71	2.97	7.64	0.71	0.98	1.10	1.05
	15.00-18.00	0.58	2.32	7.61	0.58	1.08	0.97	0.97
	18.00-21.00	0.78	4.56	7.09	0.46	1.05	1.13	0.89
	21.00-00.00	0.81	5.43	7.99	0.37	1.08	2.28	0.93
20/2/2008	00.00-03.00	0.61	3.26	6.53	0.33	0.87	1.37	1.30
	03.00-06.00	0.59	2.53	6.68	0.26	0.93	1.70	1.34
	06.00-09.00	0.62	2.44	8.66	0.53	1.18	0.89	0.98
	09.00-12.00	0.47	2.16	8.01	0.34	1.05	0.69	0.88
	12.00-15.00	0.45	2.04	6.33	0.28	0.92	0.70	0.85
	15.00-18.00	0.49	4.11	10.89	0.53	1.60	1.39	0.70
	18.00-21.00	0.58	5.55	11.74	0.40	1.71	1.65	0.58
	21.00-00.00	0.64	5.90	10.74	0.26	1.44	2.19	0.58
21/2/2008	00.00-03.00	0.68	8.61	11.74	0.40	1.81	2.53	0.61
	03.00-06.00	0.42	2.92	11.37	0.26	1.77	2.17	0.72
	06.00-09.00	0.45	3.31	11.27	0.24	1.75	1.15	1.39
	09.00-12.00	0.54	4.69	11.73	0.34	1.66	1.10	0.77
	12.00-15.00	0.50	4.81	13.12	0.35	2.03	1.32	0.62
	15.00-18.00	0.47	5.09	13.26	0.29	1.72	1.26	1.43
	18.00-21.00	0.55	4.71	15.29	0.32	2.05	2.07	0.93

ตารางที่ ก-6 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นบน บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
18/2/2008	21.00-00.00	1.86	10.81	11.00	1.65	2.02	1.26	0.60
19/2/2008	00.00-03.00	1.89	13.55	12.20	1.59	3.11	1.57	0.60
	03.00-06.00	0.48	3.84	8.09	0.53	1.28	1.44	0.63
	06.00-09.00	0.51	2.60	6.61	0.24	0.98	0.88	0.77
	09.00-12.00	0.50	2.10	6.26	0.42	0.77	0.76	0.77
	12.00-15.00	0.57	2.58	6.97	0.66	0.86	0.95	0.67
	15.00-18.00	0.48	2.57	8.35	0.72	1.10	1.15	0.85
	18.00-21.00	0.55	3.90	7.78	0.63	1.11	1.46	0.81
	21.00-00.00	0.60	3.83	7.10	0.54	0.90	1.74	0.84
20/2/2008	00.00-03.00	0.49	2.59	6.09	0.43	0.82	1.17	1.06
	03.00-06.00	0.57	2.16	6.38	0.41	0.89	0.84	0.71
	06.00-09.00	0.51	2.42	8.75	0.30	0.98	1.00	0.74
	09.00-12.00	0.49	1.93	8.43	0.34	1.02	0.72	0.65
	12.00-15.00	0.50	2.04	7.76	0.38	1.00	0.87	0.76
	15.00-18.00	0.50	3.83	10.57	0.44	1.84	1.34	0.73
	18.00-21.00	0.76	5.47	12.62	0.49	2.61	2.08	0.93
	21.00-00.00	0.57	4.23	10.24	0.29	2.06	1.44	0.95
21/2/2008	00.00-03.00	0.61	4.61	10.54	0.41	2.44	1.67	0.88
	03.00-06.00	0.54	2.13	9.60	0.25	2.24	0.89	0.71
	06.00-09.00	0.51	2.54	9.42	0.19	2.05	0.99	0.46
	09.00-12.00	0.52	5.82	12.60	0.29	2.63	1.19	0.50
	12.00-15.00	0.46	5.50	10.07	0.16	1.85	0.95	1.11
	15.00-18.00	0.57	5.53	13.37	0.42	2.50	1.47	0.98
	18.00-21.00	0.54	4.19	13.28	0.27	2.73	1.65	1.29

ตารางที่ ก-7 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นล่าง บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
25/2/2008	21.00-00.00	0.52	4.37	5.35	0.10	0.63	1.49	1.00
26/2/2008	00.00-03.00	0.42	4.21	4.81	0.05	0.88	1.32	0.99
	03.00-06.00	0.35	1.90	3.97	0.03	0.70	0.82	0.95
	06.00-09.00	0.43	3.30	4.40	0.04	0.53	1.33	0.92
	09.00-12.00	0.36	3.08	5.02	0.04	0.86	1.11	0.94
	12.00-15.00	0.39	1.67	4.65	0.05	1.02	1.07	0.94
	15.00-18.00	0.35	0.87	3.62	0.02	0.67	1.02	0.79
	18.00-21.00	0.48	2.02	3.90	0.09	0.50	0.90	0.67
	21.00-00.00	0.41	3.16	3.93	0.05	0.65	1.51	0.94
27/2/2008	00.00-03.00	0.36	2.64	4.27	0.02	0.72	1.27	0.93
	03.00-06.00	0.34	2.12	4.00	0.02	0.87	0.95	0.93
	06.00-09.00	0.41	3.27	4.15	0.02	0.96	1.04	0.97
	09.00-12.00	0.58	4.68	4.93	0.08	1.03	1.06	1.04
	12.00-15.00	0.33	1.96	2.41	0.08	2.27	1.18	1.37
	18.00-21.00	0.35	1.21	4.98	0.04	0.98	0.65	0.53
	21.00-00.00	0.38	2.33	4.66	0.03	1.04	0.66	0.54
28/2/2008	00.00-03.00	0.42	2.47	4.31	0.05	0.61	1.39	0.59
	03.00-06.00	0.77	3.47	4.42	0.06	1.33	0.71	0.49
	06.00-09.00	0.82	5.08	4.93	0.08	1.34	1.05	0.49
	09.00-12.00	0.32	1.44	4.03	0.01	0.75	0.47	0.64
	12.00-15.00	0.30	0.84	3.96	0.04	1.09	0.63	0.55
	15.00-18.00	0.34	0.98	4.73	0.06	1.25	0.58	0.56
	18.00-21.00	0.32	0.97	4.16	0.06	1.10	0.57	0.50

ตารางที่ ก-8 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นกลาง บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
25/2/2008	21.00-00.00	0.56	3.60	5.14	0.15	1.26	1.59	1.62
26/2/2008	00.00-03.00	0.37	3.64	4.95	0.07	1.43	1.29	1.60
	03.00-06.00	0.32	1.54	3.88	0.03	0.90	0.79	1.55
	06.00-09.00	0.36	2.80	4.35	0.06	1.02	1.30	1.46
	09.00-12.00	0.40	2.22	5.30	0.04	1.05	1.24	1.54
	12.00-15.00	0.32	1.16	7.05	0.24	2.59	0.67	1.59
	15.00-18.00	0.35	0.83	10.21	0.10	2.86	0.52	1.33
	18.00-21.00	0.41	1.68	4.46	0.12	2.54	0.52	1.22
	21.00-00.00	0.40	2.85	3.89	0.01	1.35	1.40	1.47
27/2/2008	00.00-03.00	0.34	2.24	3.51	0.03	0.78	1.19	1.46
	03.00-06.00	0.33	2.35	4.36	0.03	0.81	0.95	1.45
	06.00-09.00	0.37	2.41	3.53	0.01	0.77	1.09	1.40
	09.00-12.00	0.59	4.54	6.76	0.07	1.89	1.20	1.33
	12.00-15.00	0.33	1.57	12.13	0.10	3.71	1.28	1.30
	15.00-18.00	0.60	1.51	9.64	0.23	2.29	1.04	1.35
	18.00-21.00	0.44	1.33	8.31	0.14	2.14	0.78	1.32
	21.00-00.00	0.51	1.71	12.63	0.19	3.55	0.87	1.32
28/2/2008	00.00-03.00	0.42	1.97	11.72	0.11	3.85	0.72	1.45
	03.00-06.00	0.81	3.62	5.59	0.06	2.24	0.86	1.31
	06.00-09.00	0.77	5.69	5.69	0.09	2.00	1.27	1.29
	09.00-12.00	0.35	1.03	6.65	0.07	1.67	0.72	1.31
	12.00-15.00	0.32	0.80	7.15	0.01	1.97	0.65	1.41
	15.00-18.00	0.36	0.87	12.02	0.08	3.39	0.75	1.42
	18.00-21.00	0.33	0.59	5.91	0.08	3.09	0.91	1.44

ตารางที่ ก-9 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ชั้นบน บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
25/2/2008	21.00-00.00	0.50	3.43	4.99	0.08	1.12	1.52	2.35
26/2/2008	00.00-03.00	0.55	2.94	5.32	0.18	1.24	1.25	1.93
	03.00-06.00	0.35	1.65	3.99	0.01	1.02	0.88	0.96
	06.00-09.00	0.41	2.75	4.52	0.05	1.10	1.30	1.76
	09.00-12.00	0.41	3.00	4.93	0.06	1.16	1.16	3.02
	12.00-15.00	0.37	1.31	3.95	0.03	1.07	0.71	1.75
	15.00-18.00	0.38	0.88	3.63	0.04	0.66	0.55	2.47
	18.00-21.00	0.41	1.42	3.71	0.11	0.78	0.81	2.12
	21.00-00.00	0.35	2.14	3.93	0.03	0.80	1.28	1.53
27/2/2008	00.00-03.00	0.41	2.54	3.95	0.00	0.77	1.32	1.02
	03.00-06.00	0.34	2.13	4.39	0.00	1.06	1.15	0.91
	06.00-09.00	0.40	2.92	4.32	0.03	0.70	1.46	2.09
	09.00-12.00	0.61	4.74	4.89	0.09	1.23	1.56	3.36
	12.00-15.00	0.36	1.87	8.08	0.08	2.53	1.18	1.69
	15.00-18.00	0.43	1.30	5.97	0.08	1.37	1.19	3.86
	18.00-21.00	0.46	1.32	5.44	0.13	1.30	0.77	1.88
	21.00-00.00	0.40	2.33	4.33	0.04	1.20	0.82	1.44
28/2/2008	00.00-03.00	0.51	3.00	4.41	0.04	1.21	1.09	1.44
	03.00-06.00	1.05	4.61	4.70	0.04	1.74	1.19	1.22
	06.00-09.00	1.17	6.74	5.65	0.09	2.11	1.82	2.66
	09.00-12.00	0.36	1.58	4.19	0.02	1.06	1.00	1.74
	12.00-15.00	0.34	1.12	4.23	0.03	0.95	0.61	1.34
	15.00-18.00	0.36	1.12	4.83	0.05	1.02	0.93	1.88

ภาคผนวก ข

ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม

ตารางที่ ข-1 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นล่าง บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ₂ ⁺
12/17/2007	21.00-03.00	7.43	2.57	12.61	9.30	5.03	0.42	2.96
12/18/2007	03.00-09.00	11.14	3.43	12.79	11.18	5.43	0.43	3.79
	09.00-15.00	9.95	3.28	9.70	8.11	4.83	0.31	5.89
	15.00-21.00	9.37	2.18	12.89	10.06	4.45	0.26	3.43
	21.00-03.00	3.46	0.66	9.01	7.22	6.17	0.19	1.67
12/19/2007	03.00-06.00	5.26	1.21	13.35	8.95	5.52	0.15	2.01
	09.00-15.00	12.73	3.21	12.39	12.01	7.63	0.28	3.29
	15.00-21.00	11.08	2.42	13.80	11.94	4.69	0.52	2.85
	21.00-03.00	1.92	0.39	8.10	6.95	5.11	0.19	0.78
12/20/2007	03.00-09.00	6.48	1.58	13.32	9.77	8.72	0.55	1.80
	09.00-15.00	10.00	2.47	11.44	9.34	7.65	0.29	3.17
	15.00-21.00	10.96	3.58	13.14	10.25	10.43	0.35	3.15

ตารางที่ ข-2 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นกลาง บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ₂ ⁺
12/17/2007	21.00-03.00	6.94	1.99	12.59	8.63	5.49	2.10	2.05
12/18/2007	03.00-09.00	1.22	0.34	7.27	3.80	4.83	1.37	1.27
	09.00-15.00	3.94	1.28	7.54	4.40	4.19	0.13	2.20
	15.00-21.00	9.59	2.36	12.17	8.86	4.98	0.35	2.86
	21.00-03.00	2.62	0.49	8.16	6.64	4.89	0.14	0.22
12/19/2007	03.00-06.00	4.66	1.06	12.41	7.97	5.50	0.36	1.93
	09.00-15.00	12.61	3.06	12.08	10.88	5.42	0.35	2.89
	15.00-21.00	7.42	1.52	10.52	9.79	4.01	0.14	1.86
	21.00-03.00	4.77	0.88	8.14	8.14	4.25	0.29	0.91
12/20/2007	03.00-09.00	9.04	1.85	13.88	10.43	4.37	0.29	1.60
	09.00-15.00	12.73	2.93	11.05	10.30	6.34	0.25	2.43
	15.00-21.00	11.21	3.70	10.03	9.84	4.91	0.29	2.56

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นบน บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ₂ ⁺
12/17/2007	21.00-03.00	9.55	2.61	12.54	8.58	0.12	0.69	2.45
12/18/2007	03.00-09.00	3.77	1.08	10.38	5.54	0.24	0.43	0.52
	09.00-15.00	4.17	1.42	7.78	4.19	0.22	0.47	2.67
	15.00-21.00	6.02	1.49	9.21	6.26	0.20	0.49	1.64
	21.00-03.00	4.65	0.86	9.88	7.12	0.18	0.50	0.96
12/19/2007	03.00-06.00	4.00	1.00	11.06	6.47	0.17	0.47	1.76
	09.00-15.00	6.67	1.98	12.30	7.32	0.19	0.52	2.47
	15.00-21.00	2.65	0.82	7.99	4.44	0.18	0.42	1.08
	21.00-03.00	4.18	0.53	7.51	6.31	0.17	0.45	0.87
12/20/2007	03.00-09.00	4.03	0.89	10.73	6.79	0.17	0.45	1.12
	09.00-15.00	8.40	2.02	10.41	7.47	0.17	0.45	2.47
	15.00-21.00	6.94	2.45	11.22	6.95	0.20	0.45	2.02

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-4 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นล่าง บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ₂ ⁺
18/2/2008	21.00-03.00	4.31	27.26	28.25	4.29	3.69	3.83	12.50
19/2/2008	03.00-09.00	1.18	7.84	15.72	1.38	1.77	3.47	16.87
	09.00-15.00	1.71	7.41	14.89	2.19	1.61	3.14	12.42
	15.00-21.00	1.67	9.60	13.41	1.59	1.51	2.90	11.97
	21.00-03.00	1.65	12.45	14.98	1.22	0.87	4.54	12.25
20/2/2008	03.00-06.00	1.34	5.55	14.62	1.27	0.85	3.52	8.98
	09.00-15.00	1.07	5.65	16.83	1.34	1.85	2.19	10.45
	15.00-21.00	2.12	17.97	30.82	1.93	3.20	4.80	15.49
	21.00-03.00	3.37	27.21	32.49	1.68	4.05	7.53	14.92
21/2/2008	03.00-09.00	1.42	8.45	25.14	1.09	3.04	2.98	8.45
	09.00-15.00	1.15	19.21	24.49	1.12	2.73	2.78	13.26
	15.00-21.00	1.86	17.01	29.55	1.38	3.23	4.27	14.75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-5 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นกลาง บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ₂ ⁺
18/2/2008	21.00-03.00	5.39	29.07	26.88	4.35	4.25	3.33	11.43
19/2/2008	03.00-09.00	1.47	11.31	21.42	1.59	2.25	4.03	9.93
	09.00-15.00	1.69	7.85	15.81	1.81	1.34	2.58	9.44
	15.00-21.00	1.87	12.94	23.08	2.37	2.79	4.40	11.73
	21.00-03.00	1.96	15.74	17.29	1.39	1.71	4.60	12.38
20/2/2008	03.00-06.00	1.87	16.33	27.82	1.22	2.76	3.88	15.55
	09.00-15.00	1.55	7.38	18.50	2.15	1.82	2.93	9.03
	15.00-21.00	1.91	15.62	24.59	1.70	2.84	4.33	15.87
	21.00-03.00	3.11	24.04	29.35	1.73	3.76	7.17	15.20
21/2/2008	03.00-09.00	1.41	9.17	29.60	1.35	3.79	3.82	8.52
	09.00-15.00	1.18	19.14	24.80	1.16	2.73	2.94	14.40
	15.00-21.00	1.65	8.46	21.73	1.81	2.11	3.30	10.38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-6 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นบน บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ³⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ₂ ⁺
18/2/2008	21.00-03.00	5.53	33.64	26.85	4.68	5.85	3.87	7.81
19/2/2008	03.00-09.00	1.03	6.57	14.38	1.10	2.02	2.98	5.28
	09.00-15.00	0.98	5.02	11.90	0.92	1.18	1.61	7.99
	15.00-21.00	1.42	7.13	12.41	1.46	1.56	2.40	6.50
	21.00-03.00	1.18	6.76	10.38	1.15	1.28	2.75	5.82
20/2/2008	03.00-06.00	1.06	4.49	12.07	1.03	1.53	1.69	4.24
	09.00-15.00	0.92	4.56	12.81	1.10	1.31	1.48	6.07
	15.00-21.00	1.43	9.84	16.69	1.22	2.01	2.86	9.57
	21.00-03.00	1.48	10.48	19.55	1.26	2.56	3.56	7.48
21/2/2008	03.00-09.00	0.93	6.35	12.66	0.81	2.22	1.81	4.46
	09.00-15.00	0.84	15.26	15.08	1.10	2.57	2.41	11.01
	15.00-21.00	1.31	12.78	16.50	1.13	2.33	2.97	12.69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-7 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นล่าง บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง
จังหวัดเชียงใหม่

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
25/2/2008	21.00-03.00	1.06	11.91	9.02	0.47	1.13	4.93	13.32
26/2/2008	03.00-09.00	0.83	6.11	6.27	0.22	0.71	3.37	8.10
	09.00-15.00	0.69	5.72	5.64	0.17	0.58	2.22	10.68
	15.00-21.00	0.87	3.83	5.02	0.32	0.38	2.06	10.18
	21.00-03.00	0.76	6.48	4.93	0.22	0.52	3.56	7.95
27/2/2008	03.00-06.00	0.79	7.21	6.15	0.23	0.83	4.22	7.96
	09.00-15.00	0.96	9.37	11.08	0.46	1.82	4.00	12.51
	15.00-21.00	0.74	2.33	4.92	0.22	0.44	1.23	8.95
	21.00-03.00	0.83	6.23	7.08	0.17	1.40	2.15	5.50
28/2/2008	03.00-09.00	1.96	12.29	7.96	0.36	1.74	3.17	9.37
	09.00-15.00	0.60	3.65	6.56	0.20	0.97	1.89	7.05
	15.00-21.00	0.71	3.40	6.88	0.29	1.06	1.99	7.76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-8 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นล่าง บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง
จังหวัดเชียงใหม่

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
26/2/2008	03.00-09.00	0.70	5.52	6.01	0.20	0.96	3.21	6.80
	09.00-15.00	0.71	6.69	5.61	0.09	0.74	3.48	7.39
	15.00-21.00	0.78	3.32	13.16	0.36	2.03	2.05	9.48
	21.00-03.00	0.62	4.43	11.47	0.25	1.83	2.23	12.55
27/2/2008	03.00-06.00	0.74	6.68	6.15	0.06	0.91	3.28	8.06
	09.00-15.00	0.93	7.61	16.13	0.36	2.57	3.17	12.34
	15.00-21.00	1.17	4.11	18.61	0.70	2.29	2.86	14.62
	21.00-03.00	0.76	4.36	28.45	0.52	5.30	2.31	4.83
28/2/2008	03.00-09.00	1.65	11.79	8.87	0.21	2.05	2.92	8.74
	09.00-15.00	0.51	2.62	9.17	0.15	1.69	1.47	7.73
	15.00-21.00	0.67	2.62	8.42	0.50	3.19	2.12	9.57

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข-9 ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม ชั้นบน บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง
จังหวัดเชียงใหม่

วัน/เดือน/ปี	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิก (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)						
		Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺
25/2/2008	21.00-03.00	0.87	7.39	10.40	0.10	1.08	3.39	7.47
26/2/2008	03.00-09.00	0.73	6.49	9.63	0.05	0.85	2.44	5.31
	09.00-15.00	0.71	6.58	8.73	0.12	0.79	2.36	9.67
	15.00-21.00	0.71	6.03	9.62	0.06	0.59	1.49	8.24
	21.00-03.00	0.75	6.35	6.82	0.03	0.82	3.19	5.95
27/2/2008	03.00-06.00	0.75	6.15	6.62	0.02	0.81	2.81	5.84
	09.00-15.00	0.94	8.38	12.87	0.28	1.29	2.73	11.03
	15.00-21.00	0.96	4.21	12.02	0.20	0.75	1.85	10.48
	21.00-03.00	0.98	7.09	10.60	0.29	1.35	2.27	6.49
28/2/2008	03.00-09.00	2.64	12.29	9.52	0.45	1.95	2.72	7.82
	09.00-15.00	0.67	3.92	6.79	0.05	0.71	1.19	6.72
	15.00-21.00	0.79	3.78	9.63	0.20	0.91	1.49	9.32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร

ตารางที่ ค-1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
12/17/2007	21.00-00.00	24.17	48.88	47.77
12/18/2007	00.00-03.00	36.27	43.98	39.15
	03.00-06.00	33.05	43.01	33.78
	06.00-09.00	49.56	49.31	38.11
	09.00-12.00	27.35	34.82	15.74
	12.00-15.00	36.64	43.19	47.54
	15.00-18.00	35.49	40.85	29.13
	18.00-21.00	43.72	58.12	47.14
	21.00-00.00	33.00	44.88	31.77
12/19/2007	00.00-03.00	42.37	ND	28.54
	03.00-06.00	61.41	32.84	34.34
	06.00-09.00	38.81	46.00	41.10
	09.00-12.00	57.92	38.30	36.16
	12.00-15.00	47.34	42.33	65.00
	15.00-18.00	54.05	41.13	44.30
	18.00-21.00	64.49	40.23	61.36
	21.00-00.00	46.41	34.75	68.36
12/20/2007	00.00-03.00	51.70	33.28	49.12
	03.00-06.00	44.97	39.92	65.49
	06.00-09.00	45.30	42.94	61.11
	09.00-12.00	49.89	43.21	56.71
	12.00-15.00	32.27	35.48	63.63
	15.00-18.00	25.02	38.27	55.66
	18.00-21.00	38.28	33.89	57.67

หมายเหตุ ND คือ ค่าที่สามารถตรวจพบ

ตารางที่ ค-2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

วัน	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
12/17/2007	21.00-00.00	150.46	117.36	173.09
12/18/2007	00.00-03.00	143.23	136.95	122.63
	03.00-06.00	120.30	113.79	107.61
	06.00-09.00	117.08	106.89	98.27
	09.00-12.00	95.33	107.40	113.64
	12.00-15.00	94.06	113.04	115.28
	15.00-18.00	109.00	110.87	102.85
	18.00-21.00	122.78	128.77	117.53
	21.00-00.00	153.13	156.62	124.76
12/19/2007	00.00-03.00	119.00	113.35	100.01
	03.00-06.00	97.92	98.30	84.74
	06.00-09.00	88.43	89.41	100.26
	09.00-12.00	109.80	78.14	111.84
	12.00-15.00	93.91	93.45	97.01
	15.00-18.00	125.27	120.45	106.39
	18.00-21.00	139.59	128.74	116.27
	21.00-00.00	142.74	132.70	122.97
12/20/2007	00.00-03.00	164.60	144.24	110.20
	03.00-06.00	98.22	90.80	80.97
	06.00-09.00	103.29	101.12	113.51
	09.00-12.00	117.50	99.97	117.65
	12.00-15.00	125.95	103.46	115.92
	15.00-18.00	105.98	104.01	121.51
	18.00-21.00	110.16	122.85	110.23

ตารางที่ ค-3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร บริเวณพื้นที่ศึกษา
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

วัน	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
12/17/2007	21.00-00.00	149.79	142.58	124.27
12/18/2007	00.00-03.00	123.66	115.73	140.35
	03.00-06.00	95.46	66.06	89.75
	06.00-09.00	106.65	95.78	85.61
	09.00-12.00	114.64	115.91	129.50
	12.00-15.00	55.72	77.81	84.35
	15.00-18.00	62.31	64.82	68.74
	18.00-21.00	117.78	90.19	82.61
	21.00-00.00	118.94	123.09	93.22
12/19/2007	00.00-03.00	92.71	108.45	86.09
	03.00-06.00	90.11	111.70	86.62
	06.00-09.00	111.43	112.30	109.10
	09.00-12.00	147.96	160.89	154.42
	12.00-15.00	114.01	160.54	124.29
	15.00-18.00	ND	203.07	141.59
	18.00-21.00	82.17	80.98	53.58
	21.00-00.00	70.26	95.00	64.78
12/20/2007	00.00-03.00	52.43	91.81	64.65
	03.00-06.00	64.11	88.93	60.54
	06.00-09.00	93.71	113.85	104.41
	09.00-12.00	72.46	85.24	64.46
	12.00-15.00	59.16	85.07	49.42
	15.00-18.00	63.42	110.86	72.83
	18.00-21.00	58.25	146.71	70.70

หมายเหตุ ND คือ ค่าที่สามารถตรวจพบ

ภาคผนวก ง

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม

ตารางที่ ง-4 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
2/25/2008	21.00-03.00	45.71	35.52	57.93
2/26/2008	03.00-09.00	45.56	33.96	40.35
	09.00-15.00	49.01	28.79	33.99
	15.00-21.00	34.21	28.17	44.31
	21.00-03.00	33.40	36.67	35.40
2/27/2008	03.00-09.00	54.46	33.94	39.76
	09.00-15.00	43.78	37.79	59.48
	17.40-21.00	48.22	48.48	55.64
	21.00-03.00	45.83	35.09	54.12
2/28/2008	03.00-09.00	43.46	35.47	45.24
	09.00-15.00	45.47	39.45	54.39
	15.00-21.00	40.02	38.00	61.54

ตารางที่ ง-5 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

วัน	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
2/25/2008	21.00-03.00	136.81	128.15	96.31
2/26/2008	03.00-09.00	96.75	85.70	81.86
	09.00-15.00	112.48	111.84	104.49
	15.00-21.00	96.98	101.53	69.96
	21.00-03.00	103.47	108.28	84.36
2/27/2008	03.00-09.00	100.13	108.28	90.26
	09.00-15.00	136.25	152.27	133.77
	17.40-21.00	81.31	281.36	156.54
	21.00-03.00	65.41	92.96	61.88
2/28/2008	03.00-09.00	99.27	98.25	79.84
	09.00-15.00	79.60	90.46	68.99
	15.00-21.00	85.48	115.10	82.95

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-5 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

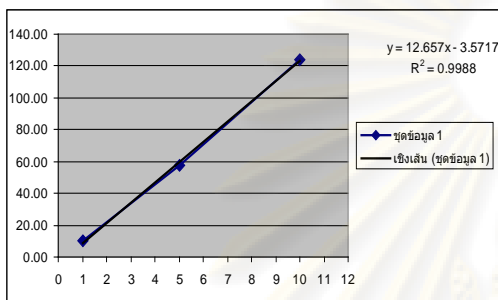
วัน	เวลา	ความเข้มข้นของสารไอออนิกในฝุ่นละอองรวม (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)		
		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
2/25/2008	21.00-03.00	136.81	128.15	96.31
2/26/2008	03.00-09.00	96.75	85.70	81.86
	09.00-15.00	112.48	111.84	104.49
	15.00-21.00	96.98	101.53	69.96
	21.00-03.00	103.47	108.28	84.36
2/27/2008	03.00-09.00	100.13	108.28	90.26
	09.00-15.00	136.25	152.27	133.77
	17.40-21.00	ND	281.36	156.54
	21.00-03.00	ND	92.96	61.88
2/28/2008	03.00-09.00	99.27	98.25	79.84
	09.00-15.00	79.60	90.46	68.99
	15.00-21.00	85.48	115.10	82.95

หมายเหตุ ND คือ ค่าที่ไม่สามารถตรวจพบ

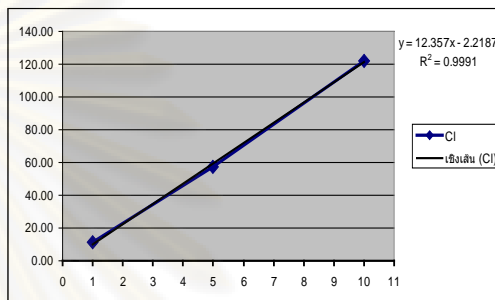
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
Standard Curve

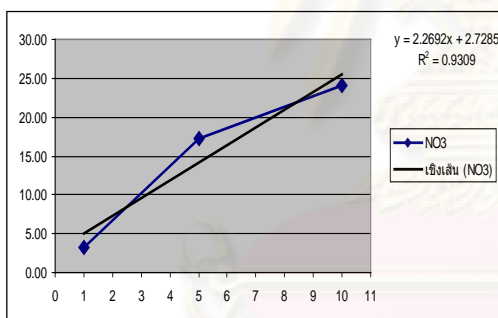
ภาพที่ จ-1 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2551



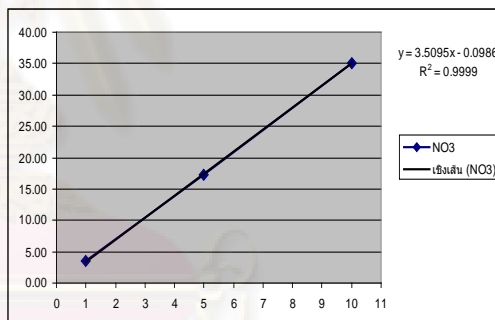
ภาพที่ จ-4 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2551



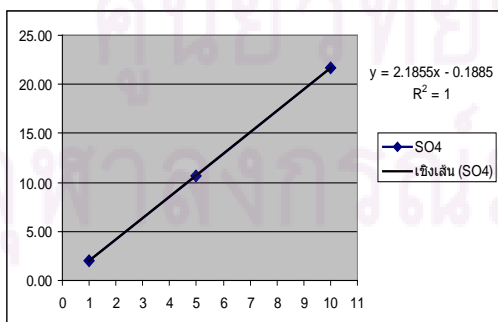
ภาพที่ จ-2 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2551



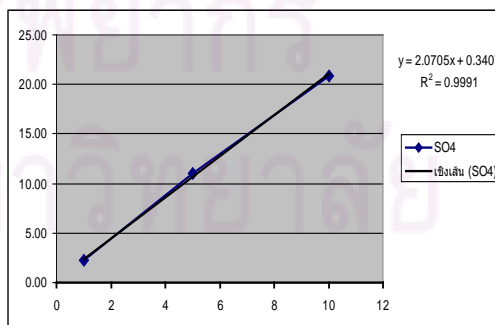
ภาพที่ จ-5 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2551



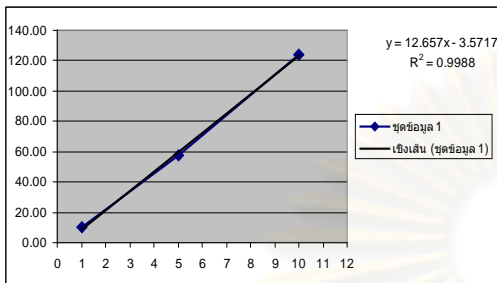
ภาพที่ จ-3 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2551



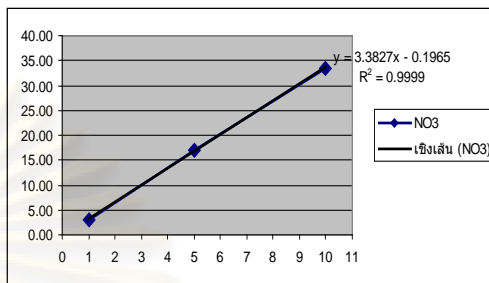
ภาพที่ จ-6 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2551



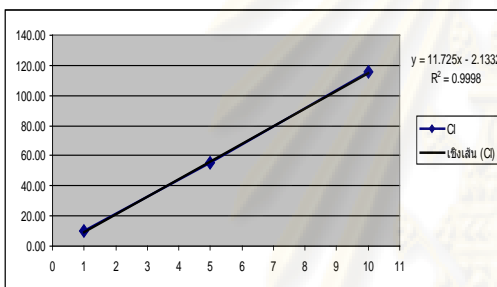
ภาพที่ จ-7 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2551



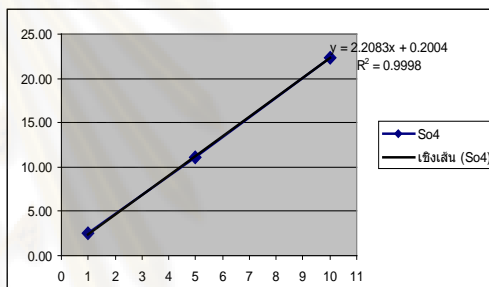
ภาพที่ จ-11 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2551



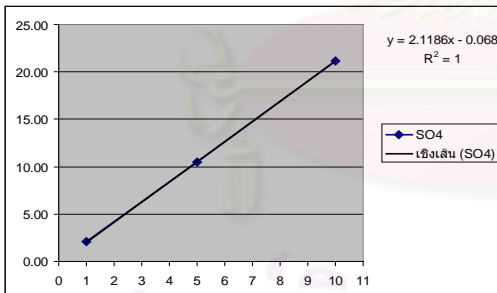
ภาพที่ จ-8 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2551



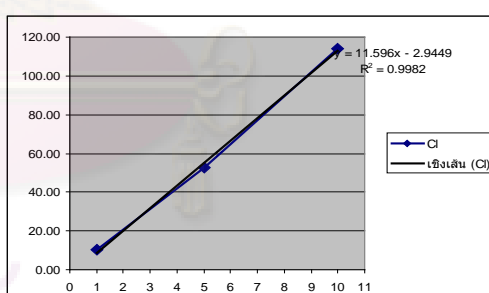
ภาพที่ จ-12 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2551



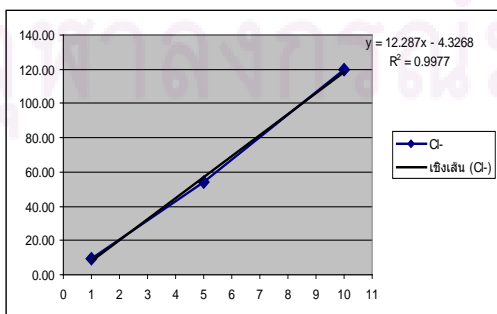
ภาพที่ จ-9 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 19 กันยายน พ.ศ. 2551



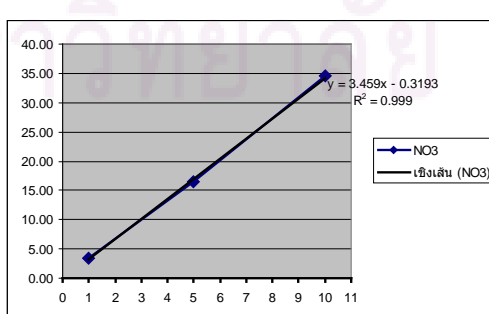
ภาพที่ จ-13 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2551



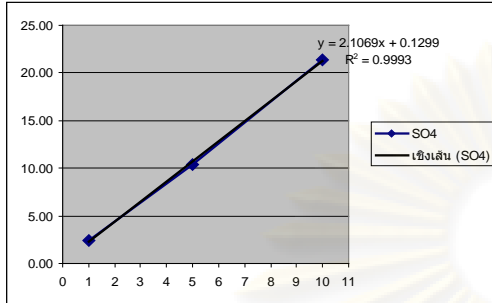
ภาพที่ จ-10 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2551



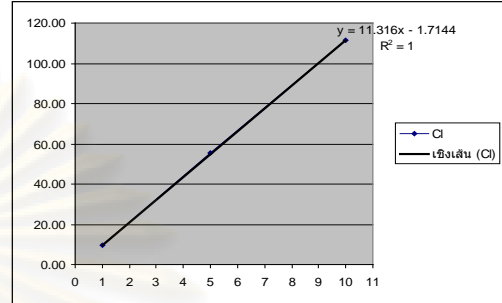
ภาพที่ จ-14 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2551



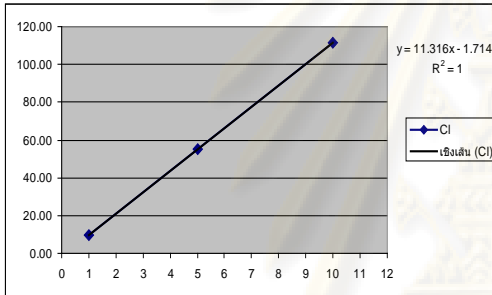
ภาพที่ จ-15 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2551



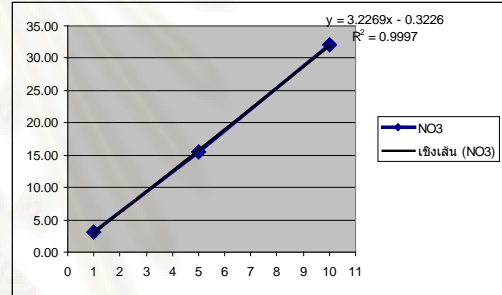
ภาพที่ จ-19 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2551



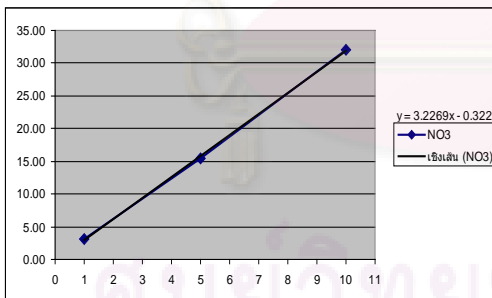
ภาพที่ จ-16 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2551



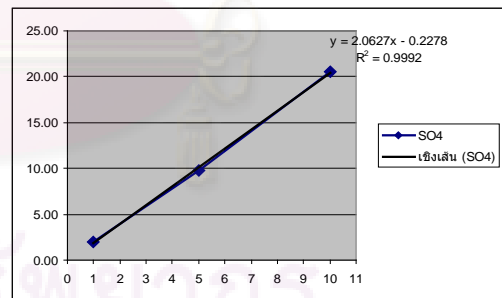
ภาพที่ จ-20 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2551



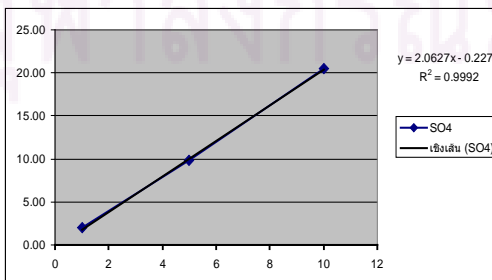
ภาพที่ จ-17 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2551



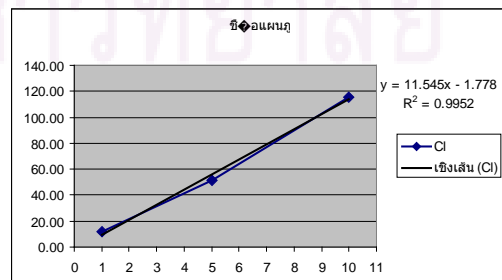
ภาพที่ จ-21 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 26 กันยายน พ.ศ. 2551



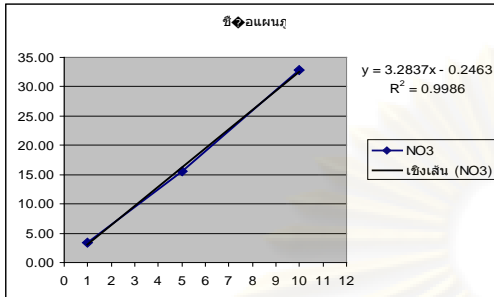
ภาพที่ จ-18 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2551



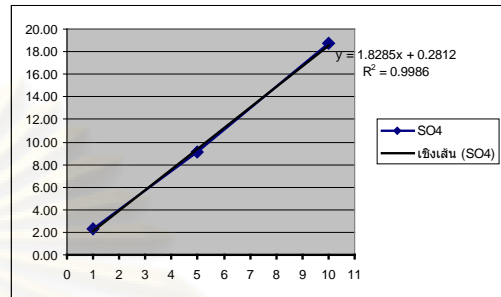
ภาพที่ จ-22 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2551



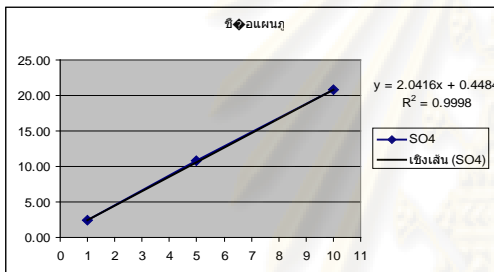
ภาพที่ จ-23 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2551



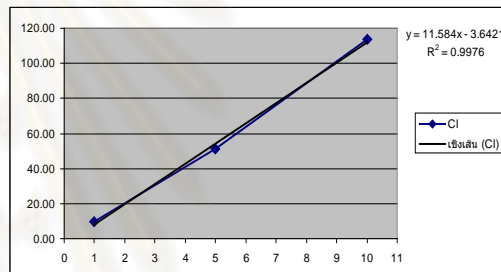
ภาพที่ จ-27 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2551



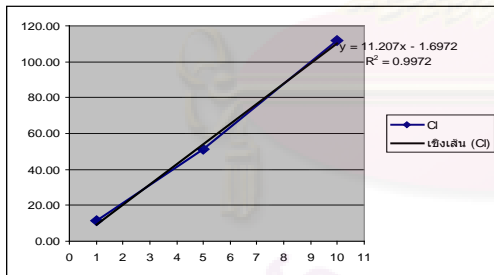
ภาพที่ จ-24 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2551



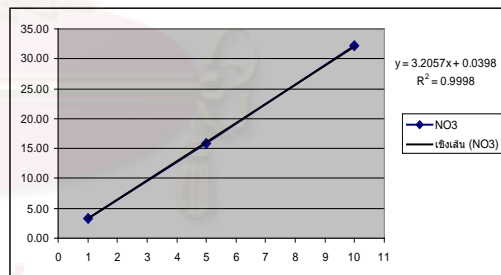
ภาพที่ จ-28 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2551



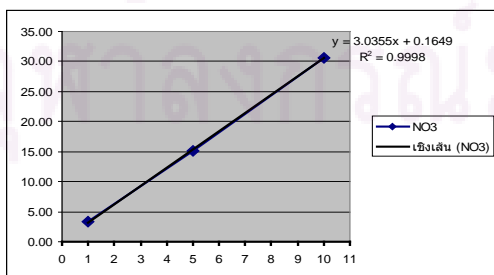
ภาพที่ จ-25 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2551



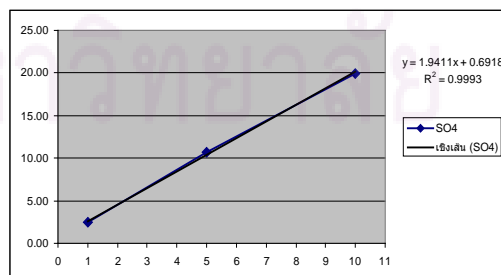
ภาพที่ จ-29 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2551



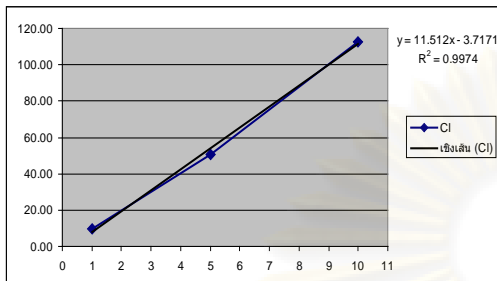
ภาพที่ จ-26 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2551



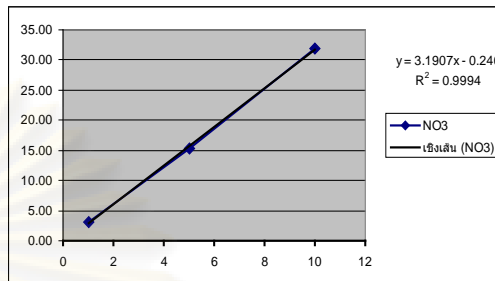
ภาพที่ จ-30 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2551



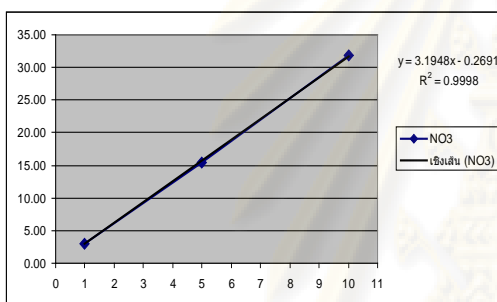
ภาพที่ จ-31 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2551



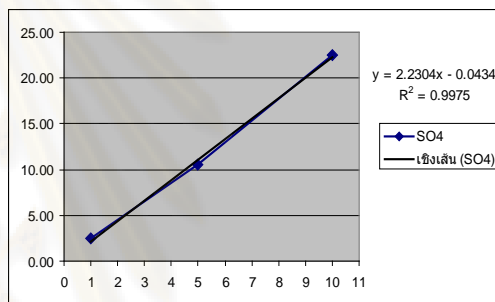
ภาพที่ จ-35 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2551



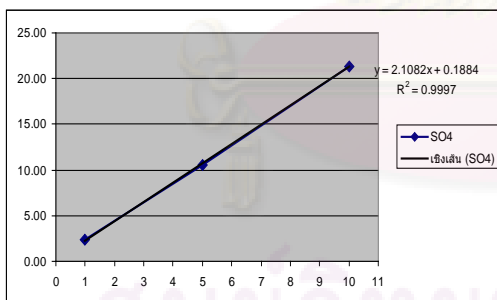
ภาพที่ จ-32 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2551



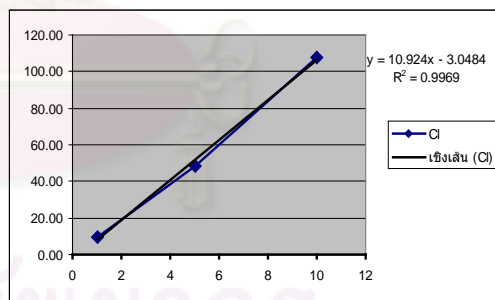
ภาพที่ จ-36 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2551



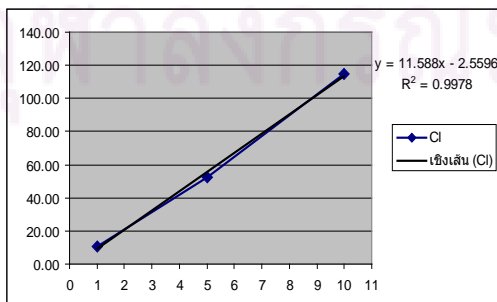
ภาพที่ จ-33 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2551



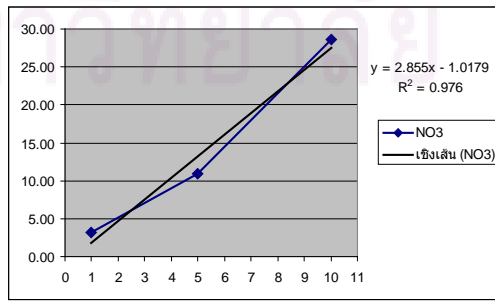
ภาพที่ จ-37 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2551



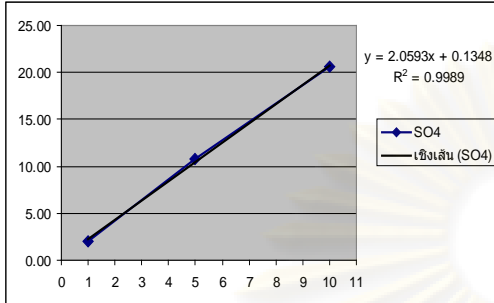
ภาพที่ จ-34 standard Curve ของคลอไรด์
วันที่ 6 ตุลาคม พ.ศ. 2551



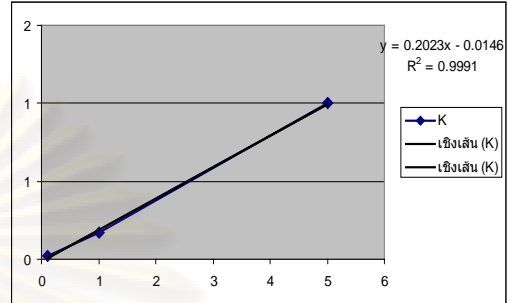
ภาพที่ จ-38 standard Curve ของไนเตรท
วันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2551



ภาพที่ จ-39 standard Curve ของซัลเฟต
วันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2551

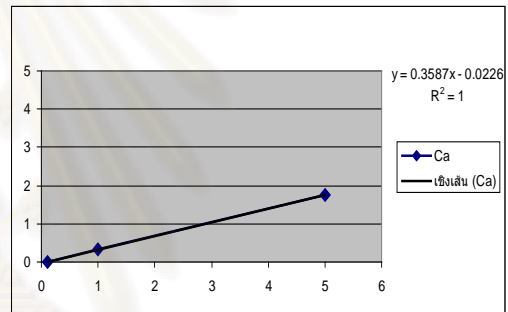


ภาพที่ จ-42 standard Curve ของโพแทสเซียม
วันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2551

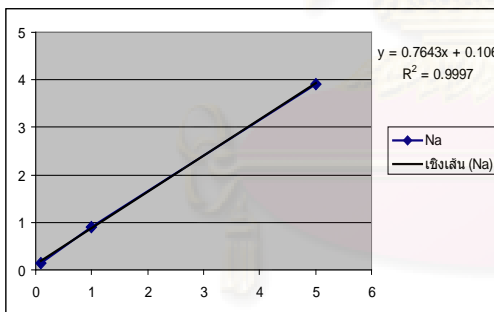


ค่า Standard Curve ของแคทไอออน
วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Ion Chromatography

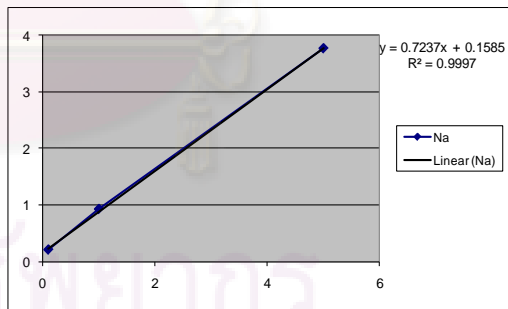
ภาพที่ จ-43 standard Curve ของแคลเซียม
วันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2551



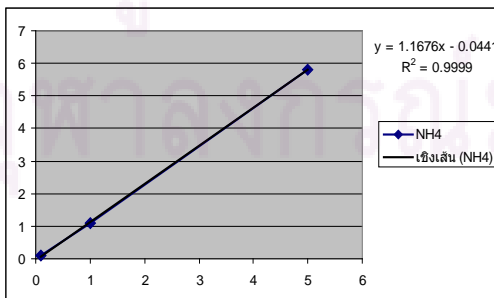
ภาพที่ จ-40 standard Curve ของโซเดียม
วันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2551



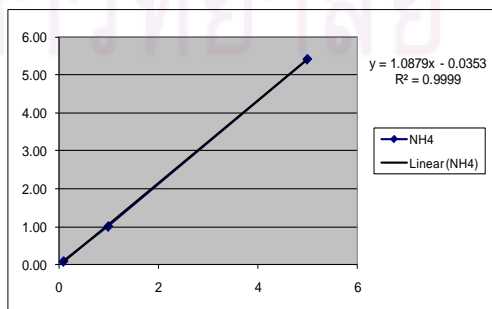
ภาพที่ จ-44 standard Curve ของโซเดียม
วันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2551



ภาพที่ จ-41 standard Curve ของแอมโมเนียม
วันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2551

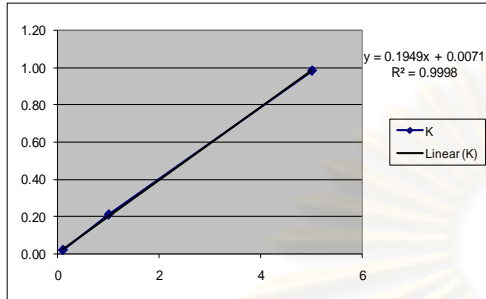


ภาพที่ จ-45 standard Curve ของแอมโมเนียม
วันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2551



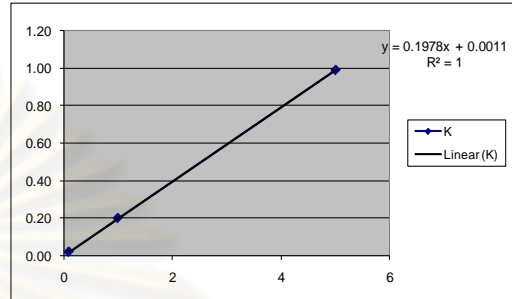
ภาพที่ จ-46 standard Curve ของโพแทสเซียม

วันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2551



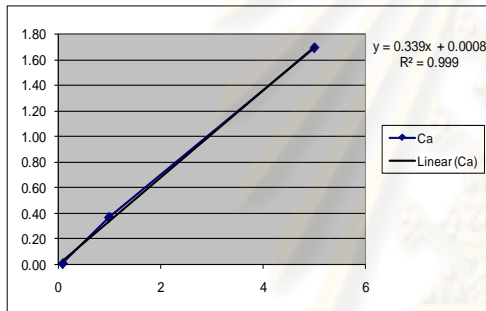
ภาพที่ จ-50 standard Curve ของโพแทสเซียม

วันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2551



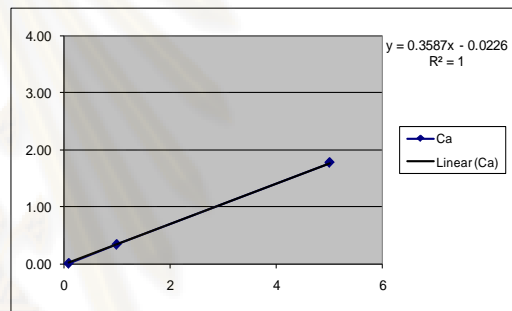
ภาพที่ จ-47 standard Curve ของแคลเซียม

วันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2551



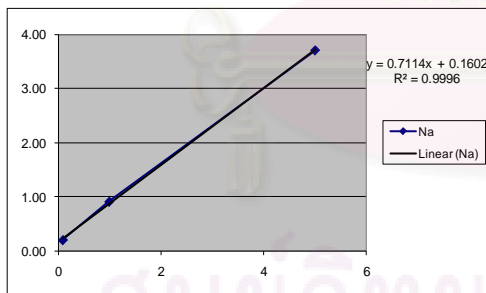
ภาพที่ จ-51 standard Curve ของแคลเซียม

วันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2551



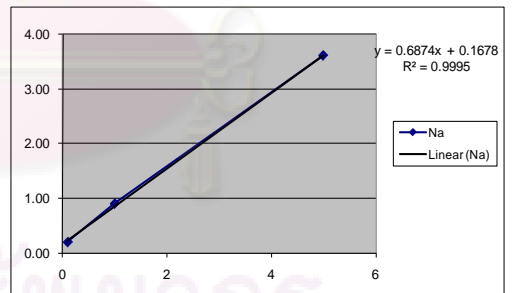
ภาพที่ จ-48 standard Curve ของโซเดียม

วันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2551



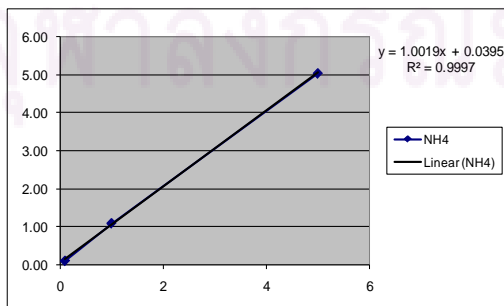
ภาพที่ จ-52 standard Curve ของโซเดียม

วันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2551



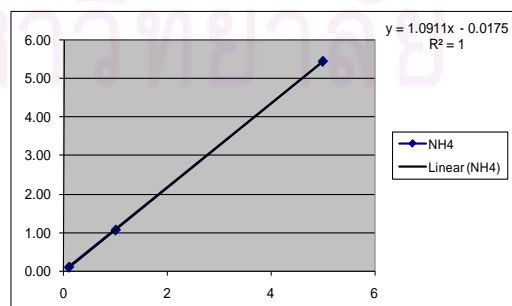
ภาพที่ จ-49 standard Curve ของแอมโมเนียม

วันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2551



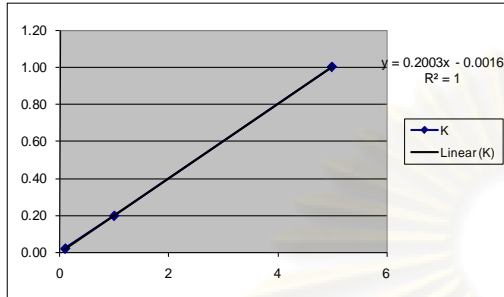
ภาพที่ จ-53 standard Curve ของแอมโมเนียม

วันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2551



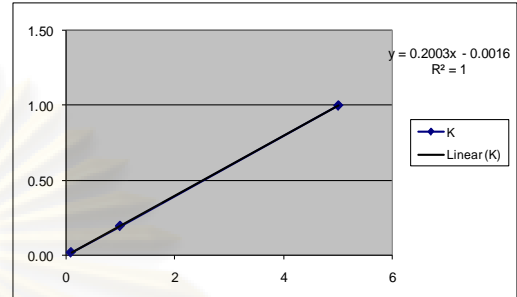
ภาพที่ จ-54 standard Curve ของโพแทสเซียม

วันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2551



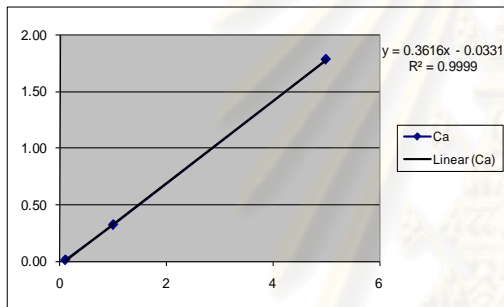
ภาพที่ จ-58 standard Curve ของโพแทสเซียม

วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2551



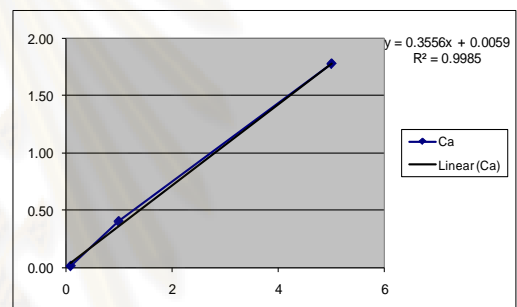
ภาพที่ จ-55 standard Curve ของแคลเซียม

วันที่ 24 ตุลาคม พ.ศ. 2551



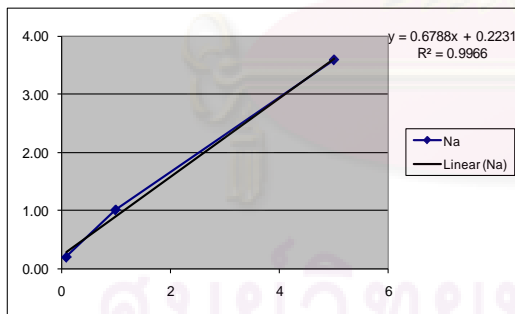
ภาพที่ จ-59 standard Curve ของแคลเซียม

วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2551



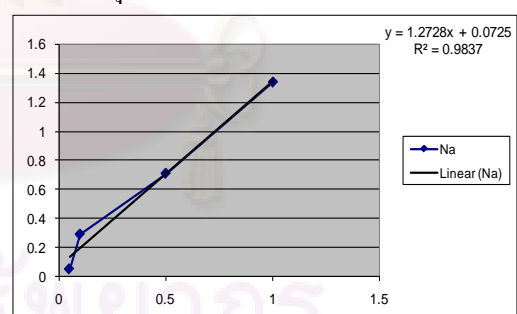
ภาพที่ จ-56 standard Curve ของโซเดียม

วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2551



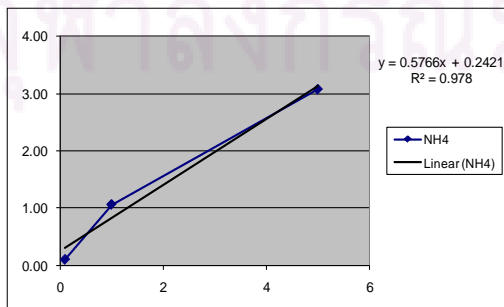
ภาพที่ จ-60 standard Curve ของโซเดียม

วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2551



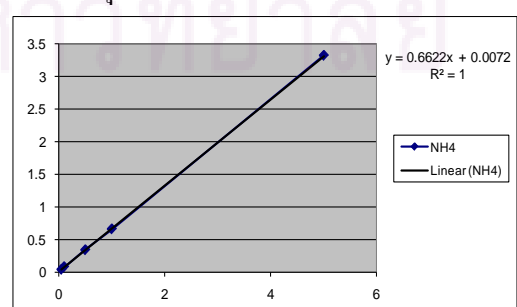
ภาพที่ จ-57 standard Curve ของแอมโมเนียม

วันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2551

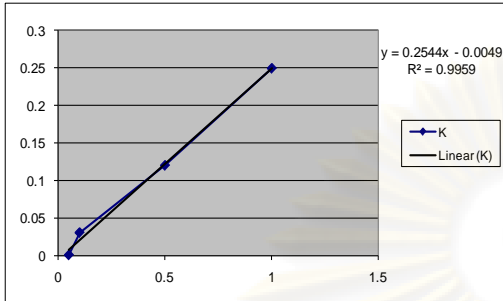


ภาพที่ จ-61 standard Curve ของแอมโมเนียม

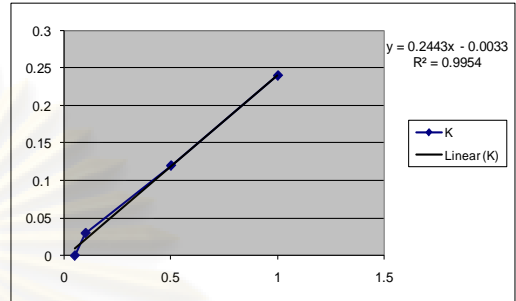
วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2551



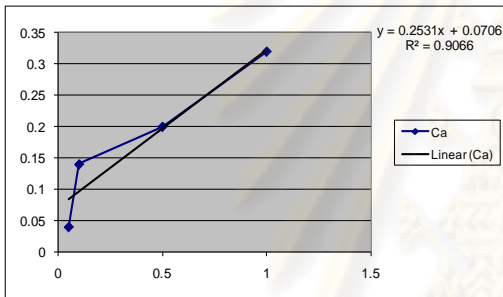
ภาพที่ จ-62 standard Curve ของโพแทสเซียม
วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2551



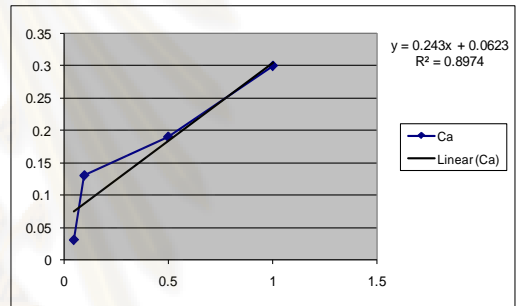
ภาพที่ จ-66 standard Curve ของโพแทสเซียม
วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



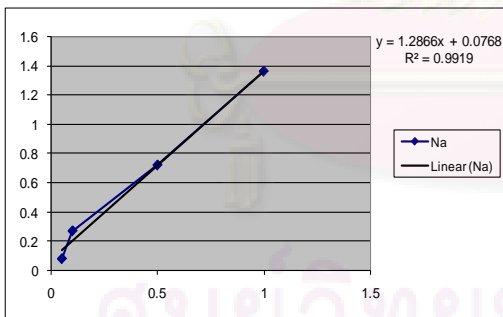
ภาพที่ จ-63 standard Curve ของแคลเซียม
วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2551



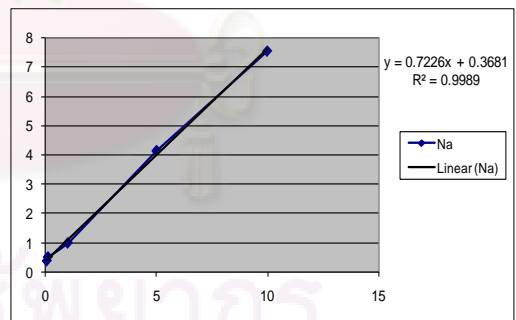
ภาพที่ จ-67 standard Curve ของแคลเซียม
วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



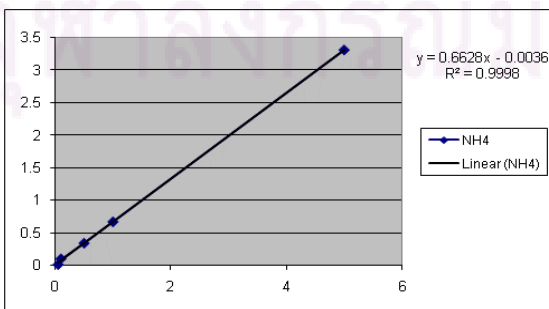
ภาพที่ จ-64 standard Curve ของโซเดียม
วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



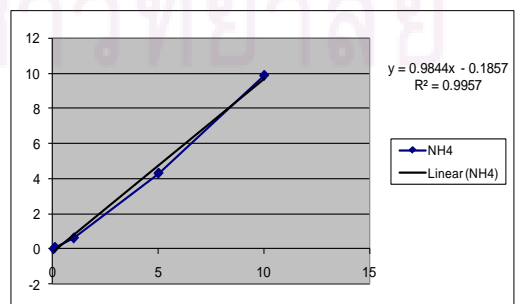
ภาพที่ จ-68 standard Curve ของโซเดียม
วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



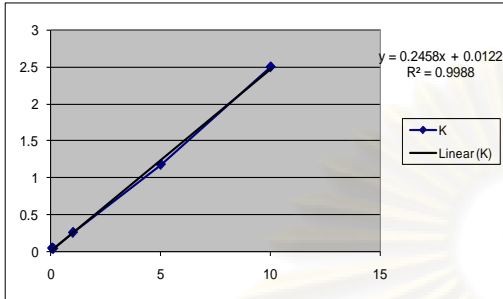
ภาพที่ จ-65 standard Curve ของแอมโมเนียม
วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



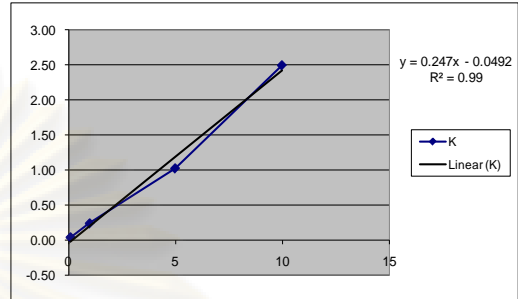
ภาพที่ จ-69 standard Curve ของแอมโมเนียม
วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



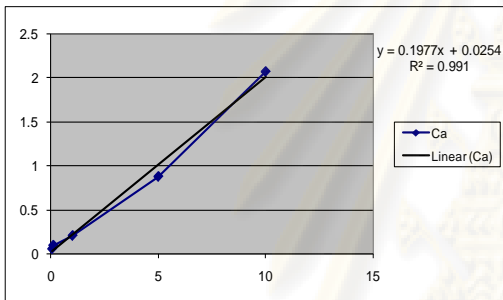
ภาพที่ จ-70 standard Curve ของโพแทสเซียม
วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



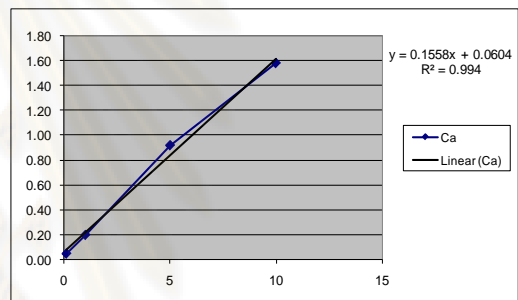
ภาพที่ จ-74 standard Curve ของโพแทสเซียม
วันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



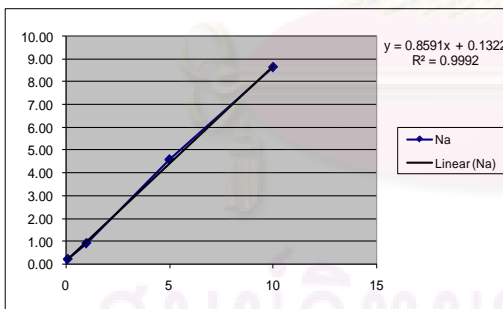
ภาพที่ จ-71 standard Curve ของแคลเซียม
วันที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



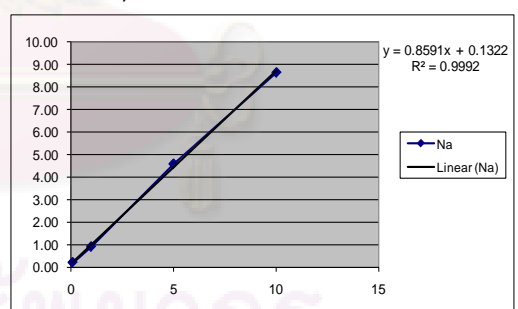
ภาพที่ จ-75 standard Curve ของแคลเซียม
วันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



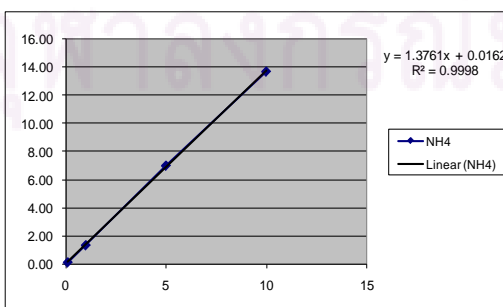
ภาพที่ จ-72 standard Curve ของโซเดียม
วันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



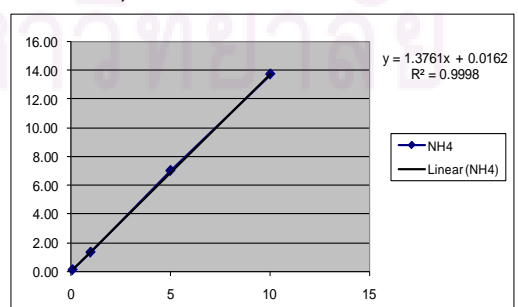
ภาพที่ จ-76 standard Curve ของโซเดียม
วันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



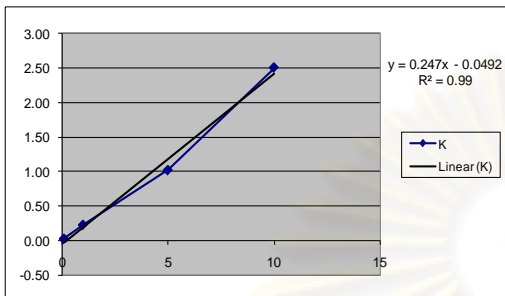
ภาพที่ จ-73 standard Curve ของแอมโมเนียม
วันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



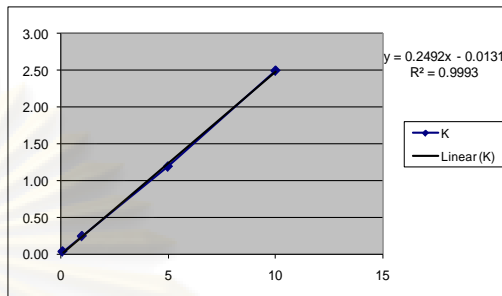
ภาพที่ จ-77 standard Curve ของแอมโมเนียม
วันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



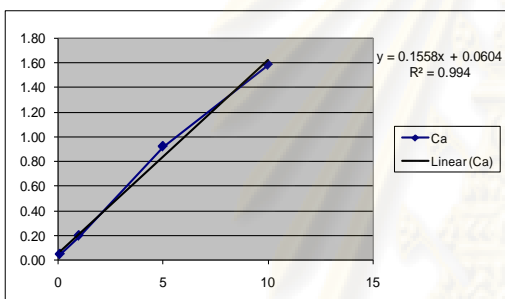
ภาพที่ จ-78 standard Curve ของโพแทสเซียม
วันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



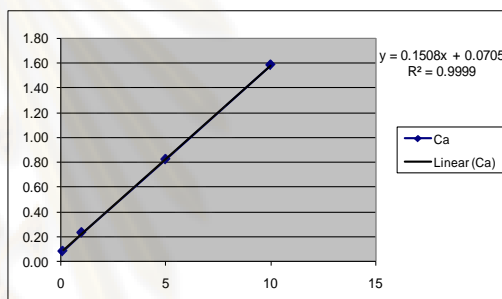
ภาพที่ จ-82 standard Curve ของโพแทสเซียม
วันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



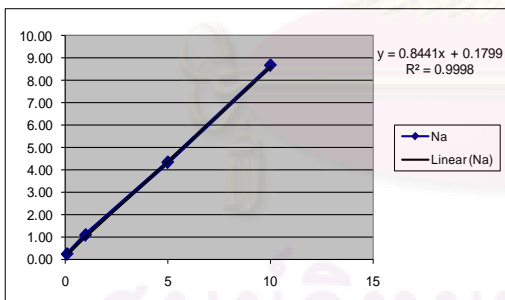
ภาพที่ จ-79 standard Curve ของแคลเซียม
วันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



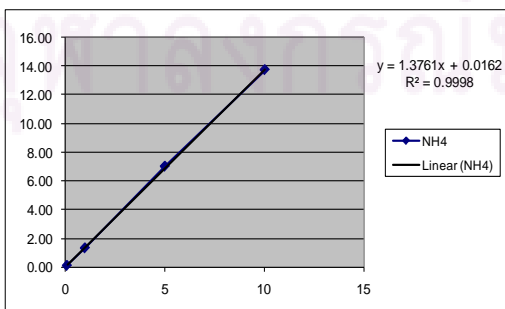
ภาพที่ จ-83 standard Curve ของแคลเซียม
วันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



ภาพที่ จ-80 standard Curve ของโซเดียม
วันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



ภาพที่ จ-81 standard Curve ของแอมโมเนียม
วันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2551



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจิราภรณ์ ทิพคุณ เกิดวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2526 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ คณะมนุษยศาสตร์และ สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2550 ในระหว่างการศึกษา ได้ไปนำเสนอผลงานแบบ บรรยาย ในการประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 12 (The National Graduate Research Conference) ระหว่างวันที่ 12-13 กุมภาพันธ์ 2552 จัดโดยบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย