

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ฎ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ฝนกรดและความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำฝนตามธรรมชาติ	4
2.2 แหล่งกำเนิดของสารกรดในบรรยากาศ	4
2.2.1 แหล่งธรรมชาติ	5
2.2.1.1 แหล่งธรรมชาติที่ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x)	5
2.2.1.2 แหล่งธรรมชาติที่ก่อให้เกิดออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO _x)	5
2.2.2 แหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น	5
2.2.2.1 แหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้นที่ก่อให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x)	5
2.2.2.2 แหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้นที่ก่อให้เกิดออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO _x)	6
2.3 สารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดสารกรด	8
2.3.1 สารประกอบออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO _x)	8

2.3.2	สารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x)	8
2.3.3	สารประกอบของไฮโดรคาร์บอน	8
2.4	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารมลพิษ (Pollutant) ในบรรยากาศ	9
2.4.1	อุณหภูมิต้อง	9
2.4.2	ปฏิกิริยาเคมี	9
2.4.3	การตกของสารมลพิษ	9
2.5	กลไกการเกิดสารกรดในบรรยากาศและการตกสะสมจากบรรยากาศสู่พื้นโลก	10
2.5.1	กลไกการเกิดสารกรดในบรรยากาศ	10
2.5.2	การตกสะสมของสารกรดสู่พื้นโลก	11
2.5.2.1	การตกสะสมเปียก (Wet Deposition)	12
2.5.2.2	การตกสะสมแห้ง	13
2.6	ความสำคัญของกรดอินทรีย์ในน้ำฝน	15
2.7	กรดอินทรีย์ที่พบมากในบรรยากาศ	16
2.8	แหล่งของกรดอินทรีย์ในชั้นโทรโพสเฟียร์	17
2.8.1	การปล่อยโดยตรงจากกิจกรรมของมนุษย์ (Primary anthropogenic emissions)	17
2.8.1.1	การเผาชีวมวล เผาไม้ ไฟป่า เผาทางการเกษตร	17
2.8.1.2	การปล่อยจากไอเสียยานพาหนะ	18
2.8.2	การปล่อยโดยตรงจากกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต (Primary biogenic emissions)	19
2.8.2.1	การเกิดกรดคาร์บอกซิลิกจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียในหยดน้ำหรือละอองน้ำในเมฆ	19
2.8.2.2	การปล่อยของกรดฟอร์มิกจากมดชนิด formicine ants	19
2.8.2.3	การปล่อยจากดินและการเกษตร	19
2.8.3	ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลจากสารตั้งต้นในรูปสารละลาย แก๊สและอนุภาค (Photochemical transformations of precursors in aqueous, gaseous and particulate phases)	20
2.8.3.1	แก๊ส	20
2.8.3.2	สารละลาย	22
2.9	การตกสะสมของกรดคาร์บอกซิลิกในชั้นโทรโพสเฟียร์	22
2.10	ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของกรดอินทรีย์	23

2.11	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำฝน จากปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดอินทรีย์ในบรรยากาศสถานะละลาย (Photooxidation of carboxylic acids in atmospheric aqueous phase)	23
2.12	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
3.	การดำเนินงานวิจัย	32
3.1	ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน	35
3.1.1	ทำการรวบรวมข้อมูลทฤษฎีงานวิจัย และการทดลองที่เกี่ยวข้อง	35
3.1.2	ศึกษาข้อมูลการติดตามตรวจสอบที่ต้องการ โดยอ้างอิงตามข้อกำหนด ของการจัดตั้งเครือข่ายติดตามตรวจสอบการตกสะสมของกรดในภูมิภาค เอเชียตะวันออก (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia :EANET)	35
3.1.3	รวบรวมข้อมูลพื้นที่ที่ใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่างทางด้านที่ตั้งทางสภาพภูมิศาสตร์	35
3.1.3.1	ที่ตั้งทางสภาพภูมิศาสตร์	35
3.1.3.2	ลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณ โดยรอบจุดเก็บตัวอย่าง	35
3.1.3.3	ลักษณะภูมิอากาศ	39
3.1.4	รวบรวมข้อมูลแหล่งปล่อยมลพิษบริเวณพื้นที่ศึกษา	40
3.1.5	ศึกษาข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาในอดีตของพื้นที่ที่ทำการศึกษา	40
3.2	กำหนดจุดเก็บตัวอย่างของการตกสะสมของสารกรด	41
3.3	ดำเนินการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตัวอย่างการตกสะสมของสารกรด	41
3.3.1	การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างการตกสะสมของสารกรดเปียก	41
3.3.1.1	อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง	41
3.3.1.2	ความถี่ในการตรวจวัด	42
3.3.1.3	การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำฝน	42
3.3.1.4	การวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้านการตกสะสมของสารกรดเปียก (Wet deposition)	43
3.3.2	การเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างการตกสะสมของสารกรดแห้ง (Dry deposition)	44
3.3.2.1	อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างการตกสะสมของสารกรดแบบแห้ง (Dry deposition)	44

3.3.2.2 ความถี่ในการตรวจวัด	45
3.3.2.3 การวิเคราะห์การตกสะสมของสารกรดแห้ง (Dry deposition)	45
3.4 การคำนวณ	47
3.4.1 การตกสะสมของสารกรดเปียก	47
3.4.1.1 การคำนวณหาค่าความเข้มข้นของไอออน	47
3.4.1.2 การคำนวณค่าการตกสะสมของสารกรดเปียก (Wet deposition)	48
3.4.2 การตกสะสมของสารกรดแห้ง	48
3.4.2.1 การคำนวณความเข้มข้นของสารต่างๆ	48
3.5 สมดุลของไอออนบวกและไอออนลบ (R_1)	49
3.6 การเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าระหว่างค่าที่คำนวณได้ กับค่าที่วัดได้ (R_2)	50
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	50
4.1 องค์ประกอบทางเคมีในน้ำฝน	52
4.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	52
4.1.2 ความเข้มข้นของสารกรดเปียก	55
4.1.2.1 ความเข้มข้นของไอออนบวกและไอออนลบ	55
4.1.2.2 ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำฝน	60
4.1.3 ความเข้มข้นของสารกรดแห้ง	61
4.2 การเปลี่ยนแปลงทางฤดูกาลของกรดอินทรีย์ในน้ำฝน	63
4.3 สมดุลไอออนบวกและไอออนลบ	67
4.3.1 สมดุลของไอออนบวกและไอออนลบ (R_1)	70
4.3.2 การเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้ (R_2)	71

	หน้า
4.4 แหล่งปล่อยที่เป็นไปได้ของกรดอินทรีย์ในน้ำฝน	74
4.4.1 สัดส่วนของกรดคาร์บอกซิลิกจากแหล่งปล่อยปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ (Contribution of carboxylic acids from primary or secondary sources)	74
4.5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำฝนจากปฏิกิริยา การสลายตัวของกรดอินทรีย์ในบรรยากาศสถานะละลาย (Photooxidation of carboxylic acids in atmospheric aqueous phase)	76
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางและความเร็วลมกับแหล่งปล่อยของกรดอินทรีย์	78
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	82
ภาคผนวก	
ก. ข้อมูลอุตุนิมวิทยา	86
ข. ข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำฝน (Wet Form A)	99
ค. ข้อมูลการวิเคราะห์ตัวอย่าง Filter Packs	200
ประวัติผู้วิจัย	205

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในน้ำฝน	44
3.2	สรุปการใช้ 4-Stage Filter Pack	47
3.3	สมการที่ใช้ในการคำนวณความเข้มข้นของสารต่างๆ	49
3.4	เกณฑ์ที่ต้องการสำหรับ R_1	50
3.5	เกณฑ์ที่ต้องการของค่า R_2	51
4.1	ความเข้มข้นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก/ปริมาณการตกของฝน (Volume-weighted mean concentrations/Precipitation (Monthly))	53
4.2	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในบรรยากาศ วันที่ 3 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึง 31 เดือนมกราคม พ.ศ. 2556	62
4.3	ค่าคงที่ของอ็อกอน	70
4.4	เกณฑ์ที่ต้องการสำหรับ R_1	71
4.5	เกณฑ์ที่ต้องการสำหรับ R_2	71
4.6	ผลของค่าสมมูลอ็อกอน (R_1) และค่าเปรียบเทียบการนำไฟฟ้า (R_2)	72
4.7	อัตราส่วนความเข้มข้นของกรดฟอร์มิกและกรดอะซิติกสภาวะสารละลายและแก๊ส ในบรรยากาศ	75

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 ระบบของมลภาวะทางอากาศและแหล่งกำเนิดของสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดสารกรด	7
2.2 โครงสร้างของกระบวนการตกสะสมเปียก	13
2.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกรดอินทรีย์ (ก) กรดมอนอคาร์บอกซิลิก (ข) กรดไดคาร์บอกซิลิก	16
2.4 แหล่งของไอเลฟินส์ในบรรยากาศ	21
2.5ก ปฏิริยาการสลายตัวของกรดอินทรีย์ในบรรยากาศสภาวะสารละลาย	24
2.5ข ปฏิริยาการสลายตัวของกรดไดคาร์บอกซิลิกในอนุภาคของแข็ง ที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ	24
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป	34
3.2ก ลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณโดยรอบจุดเก็บตัวอย่างระดับสถานที่	37
3.2ข ลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณโดยรอบจุดเก็บตัวอย่างระดับสถานที่เก็บและ	38
3.3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างการตกสะสมของสารกรดแบบเปียกและแบบแห้ง จุดติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างการตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง ในสถานีอุตุนิยมวิทยาชัชวาทและบริเวณโดยรอบของจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 8 ทิศทาง	39
3.4 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างการตกสะสมของสารกรดเปียก (Wet deposition)	42
3.5 การวิเคราะห์ทางเคมีของการตกสะสมของสารกรดเปียก (Wet deposition)	43
3.6 (ก) ขั้นตอนการต่อชุดอุปกรณ์ฟิลเตอร์แพค (ข) ลักษณะของฟิลเตอร์แพคแบบ 4 ชั้น (ค) ติดตั้งอุปกรณ์ฟิลเตอร์แพค	45
3.7 การวิเคราะห์ทางเคมีของการตกสะสมของสารกรดแห้ง (Dry deposition)	46
4.1 ค่า pH และปริมาณน้ำฝนช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	55
4.2 สัดส่วนของ (ก) อีออนบวกและอีออนลบ (ข) อีออนทั้งหมด	57
4.3 สัดส่วนของอีออนบวก	58
4.4 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของอีออนบวกในน้ำฝนช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	58
4.5 สัดส่วนของอีออนลบ	59
4.6 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของอีออนลบในน้ำฝนช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	59

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูป	หน้า	
4.7	สัดส่วนของกรดอินทรีย์ในน้ำฝน	60
4.8	เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของกรดอินทรีย์แต่ละชนิดในน้ำฝนจำนวน 42 ตัวอย่าง	61
4.9	ความเข้มข้นเฉลี่ยของกรดอินทรีย์สถานะแก๊สในบรรยากาศ	62
4.10	ความเข้มข้นเฉลี่ยของกรดอินทรีย์สถานะแก๊สในบรรยากาศช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	63
4.11	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของกรดอินทรีย์ในน้ำฝนช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	65
4.12	เปรียบเทียบผลของฤดูกาลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำฝน	65
4.13	ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนที่ค่า pH ต่างๆ ช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	66
4.14	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน	66
4.15	สัดส่วนของไอออนบวกและไอออนลบเมื่อ (ก) ไม่รวมกรดอินทรีย์ (ข) รวมกรดอินทรีย์	68
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างผลรวมไอออนบวกและผลรวมไอออนลบ	69
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความนำไฟฟ้าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้	69
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า R_1	73
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า R_2	73
4.20	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของกรดอินทรีย์ในน้ำฝนช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	77
4.21	ความเข้มข้นเฉลี่ยของกรดอินทรีย์สถานะแก๊สในบรรยากาศช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	77
4.23	ทิศทางลมบริเวณสถานีอุตุนิยมวิทยาชัยนาทตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2556	79

ประมวลศัพท์และคำย่อ

Ca^{2+}	=	Calcium ion
CH_4	=	Methane
CH_3COO^-	=	Acetate ion
CO	=	Carbon monoxide
CO_2	=	Carbon dioxide
Cl^-	=	Chloride ion
Cu	=	Copper ion
C_z	=	Concentration of pollutant at Z meter
$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$	=	Citrate ion
$\text{C}_2(\text{CH}_2)_2\text{O}_4^{2-}$	=	Succinate ion
$\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}$	=	Tartrate ion
$\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-$	=	Lactate ion
$\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5^{2-}$	=	Malate ion
EANET	=	Acid Deposition Monitoring Network in East Asia
EC	=	Electrical conductivity
F_d	=	Deposition Flux
F^-	=	Fluoride ion
HCOO^-	=	formate ion
H_2CO_3	=	Carbonic acid
HNO_3	=	Nitric acid
H_2SO_4	=	Sulphuric acid
HCO_3^-	=	Bicarbonate ion
H_2O_2	=	Hydrogen peroxide
IC	=	Ion chromatograph
K^+	=	Potassium ion
mg/L	=	Milligram per liter
$\text{mol/m}^2/\text{year}$	=	Millimole per square meter per year
Mg^{2+}	=	Magnesium ion
mS/m	=	Millisemens per meter

nmol/m^3	=	nanomole per cubic meter
Na^+	=	Sodium ion
NH_4^+	=	Ammonium ion
NO	=	Nitrogen oxide
NO_2	=	Nitrogen dioxide
NO_3^-	=	Nitrate ion
NO_x	=	Oxide of nitrogen
OH^\cdot	=	Hydroxyl radical
ppm	=	Part per million
PO_4^{3-}	=	Phosphate ion
S	=	Sulphur
SO_2	=	Sulphur dioxide
SO_3	=	Sulphur trioxide
SO_x	=	Oxide of Sulphur
SO_4^{2-}	=	Sulphate ion
V_d	=	Deposition velocity
$\mu\text{eg/L}$	=	microequivalent per liter
$\mu\text{eg/m}^2/\text{month}$	=	milliequivalent per square meter per month