

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(14)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(16)
บทที่	
1. บทนำ	1
1. บทนำตั้งเรื่อง	1
2. การตรวจเอกสาร	3
2.1 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1.1 ผ่นกรดและความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำฝนตามธรรมชาติ	3
2.1.2 แหล่งกำเนิดการตกสะสมกรดในบรรยากาศ	3
2.1.3 กลไกการตกสะสมของกรดจากบรรยากาศ	9
2.1.4 ผลกระทบจากการตกสะสมของกรด	14
2.1.5 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2 ประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรด	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.2.1 งานวิจัยต่างประเทศ	21
2.2.2 งานวิจัยในประเทศ	28
3. วัตถุประสงค์	34
4. ขั้นตอนการดำเนินงาน	35
5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	35
2. วิธีการวิจัย	36
1. วัสดุ	36
2. อุปกรณ์	36
2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างสารกรด	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างสารกรด	39
3. วิธีดำเนินการ	40
3.1 การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน	40
3.1.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	40
3.1.2 สภาพทางภูมิศาสตร์	40
3.1.3 ลักษณะภูมิประเทศ	41
3.1.4 ลักษณะภูมิอากาศ	42
3.1.5 แหล่งปล่อยสารมลพิษ	42
3.2 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง	43
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	44
3.3.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง	44
3.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่าง	48
3.3.3 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล	51
3.3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล	52
3.3.5 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2	52
3. ผลการวิจัย	53
1. ผลการศึกษาการตกสะสมของกรดเปียกและกรดแห้ง	53
1.1 ผลการศึกษาการตกสะสมของกรดเปียก	53
1.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำฝน	54
1.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการตกสะสมของกรดเปียก	66
1.1.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล	74
1.2 ผลการศึกษาการตกสะสมของกรดแห้ง	75
1.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นสารกรดแห้งในบรรยากาศ	75
1.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการตกสะสมของกรดแห้ง	81
2. ผลการศึกษาการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2	86
4. บทวิจารณ์	90
1. ผลการศึกษาการตกสะสมกรดจากข้อมูลการตรวจวัดจริง	90

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.1 การตกสะสมกรดเปียก	90
1.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำฝน	90
1.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการตกสะสมของกรดเปียก	94
1.1.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล	95
1.2 การตกสะสมกรดแห้ง	96
1.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นสารกรดแห้งในบรรยากาศ	96
1.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการตกสะสมของกรดแห้ง	97
1.3 การเปรียบเทียบปริมาณการตกสะสมกรดกับแหล่งตรวจวัดอื่นๆ	98
2. ผลการศึกษาการตกสะสมกรดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2	100
5. บทสรุป	102
1. สรุปผลการทดลอง	102
1.1 การตกสะสมกรดเปียก	102
1.2 การตกสะสมกรดแห้ง	104
1.3 การประเมินค่าการตกสะสมกรดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2	105
2. ข้อเสนอแนะ	106
บรรณานุกรม	107
ภาคผนวก	
ก รายละเอียดสถานที่ศึกษาการตกสะสมกรด	112
ข รายละเอียดการคำนวณ	120
ค ข้อมูลผลการทดลองและผลการคำนวณ	131
ง ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	152
จ ข้อมูลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2	165
ประวัติผู้เขียน	175

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
1. พลังงานกระตุ้นและปฏิกิริยาเคมีของก๊าซในบรรยากาศ	5
2. ค่าอัตราการตกสะสมของกรดเปียกสำหรับแบบจำลอง ATMOS2	19
3. ค่าอัตราการตกสะสมของกรดแห้งสำหรับแบบจำลอง ATMOS2	19
4. ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของ SO_2 เป็น SO_4^{2-}	20
5. ชนิดของแหล่งกำเนิดซัลเฟอร์และระดับชั้นบรรยากาศที่สามารถลพิษสะสมอยู่	20
6. ค่าอัตราส่วนเชิงโมล $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ ของการตกสะสมกรดเปียก	21
7. ค่าการตกสะสมกรดแห้งของซัลเฟต และร้อยละของการตกสะสม	23
8. ค่าการตกสะสมกรดแห้งของไนเตรต และร้อยละของการตกสะสม	24
9. ผลการศึกษาการตกสะสมกรดเปียกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียง ค่าเฉลี่ยของปี 2000	26
10. คุณภาพน้ำฝนเฉลี่ยในกรุงเทพฯ และปริมณฑลที่ตรวจวัดในปี พ.ศ. 2536	29
11. ค่าองค์ประกอบทางเคมีเฉลี่ยของน้ำฝนที่วัดได้ที่ ERTC ในปี พ.ศ. 2542	30
12. ค่าปริมาณการตกสะสมกรดบริเวณพื้นที่จังหวัดสงขลา ปี 2544	31
13. ค่า pH ของตัวอย่างน้ำฝนที่ตรวจวัดได้ที่สถานีต่างๆ ในปี 2543	31
14. ค่าปริมาณการตกสะสมของกรดเนื่องจากซัลเฟอร์ที่สถานีต่างๆ ในปี 2543	32
15. ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำฝน	33
16. ผลการวิเคราะห์ปริมาณการตกสะสมกรด	33
17. ชนิดของกระดาดกรองสำหรับอุปกรณ์ 4 - Stages filter pack	36
18. ชนิดและหน้าที่ของแผ่นกรองใน Filter pack holder	39
19. อุปกรณ์การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำฝน	39
20. โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ภายในจังหวัดสงขลาและตำแหน่งที่ตั้ง	43
21. ชนิดของไอออนที่ทำการวิเคราะห์ได้จากกระดาดกรอง	50
22. ค่าปริมาณน้ำฝนของพื้นที่จังหวัดสงขลาในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	54
23. ค่า pH เฉลี่ยของตัวอย่างน้ำฝนในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	56
24. ค่า EC เฉลี่ย (mS/m) ของตัวอย่างน้ำฝนในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	57
25. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนลบในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	63
26. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนบวกในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	65

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
27. อัตราส่วนความเข้มข้นและฟลักซ์การตกสะสม ของ $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ และบัฟเฟอร์ กับสารกรดระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	73
28. ค่าฟลักซ์การตกสะสมเปียกของไอออนในช่วง 12 เดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	73
29. ค่าปริมาณการตกสะสมของสารกรดเปียก ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	74
30. จำนวนค่า R_1 และ R_2 ที่อยู่ในช่วงยอมรับได้ของตัวอย่างน้ำฝน	74
31. ค่าความเข้มข้นไอออนในบรรยากาศ ในช่วง 12 เดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	77
32. อัตราส่วนความเข้มข้นไอออน ของ $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ และบัฟเฟอร์กับสารกรดแห่ง ระหว่างเม.ย. 46 – มี.ค. 47	78
33. ค่าความต้านทานการตกสะสมกรด r_1, r_2 และ r_c ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	82
34. ค่าความเร็วการตกสะสมของสารกรด ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	82
35. ค่าปริมาณการตกสะสมกรดแห้งเฉลี่ยรายวัน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	83
36. ค่าปริมาณการตกสะสมกรดแห้งเฉลี่ยรายเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	83
37. ค่าฟลักซ์การตกสะสมกรดแห้งในช่วงระยะเวลา 12 เดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	85
38. ค่าปริมาณการตกสะสมของสารกรดแห้ง ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	85
39. ค่าปริมาณการตกสะสมของกรดเปียกและกรดแห้งในช่วงเวลา 12 เดือน ระหว่างเม.ย. 46 – มี.ค. 47	85
40. ค่าปริมาณการตกสะสมของกรดในแต่ละฤดูกาล ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	86
41. ค่าปริมาณการตกสะสมสารกรดบริเวณพื้นที่จังหวัดสงขลา ในปี 2544	87
42. ค่าปริมาณการตกสะสมสารกรดบริเวณพื้นที่จังหวัดสงขลา ปี 2544 (ค่าจากการตรวจวัด)	87
43. ค่าปริมาณการตกสะสมสารกรดบริเวณพื้นที่จังหวัดสงขลา ปี 2544 (รัศมี ~500 km)	88
44. ค่าปริมาณการตกสะสมสารกรดบริเวณพื้นที่จังหวัดสงขลา ปี 2544 (พื้นที่ภาคใต้)	88
45. ค่าปริมาณการตกสะสมสารกรดบริเวณพื้นที่จังหวัดสงขลา ปี 2544 (จังหวัดสงขลา)	89
ก.1 On – site scale (within 150 m)	117
ก.2 Local scale (150 m – 10 km)	118
ก.3 Regional scale (10 km – 50 km)	119
ข.1 ช่วงของค่า R_1 ที่ยอมรับได้ที่ความเข้มข้นต่างๆ	123
ข.2 ช่วงของค่า R_2 ที่ยอมรับได้ที่ความเข้มข้นต่างๆ	124

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข.3 ค่าคงที่ของไอออนต่างๆ	125
ข.4 Input resistances (s/m) for computations of surface resistance (r_s)	127
ข.5 Relevant properties of gases for dry deposition calculations	128
ค.1 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การตกสะสมกรดเปียก	132
ค.2 ผลการคำนวณค่าฟลักซ์การตกสะสมกรดเปียก	140
ค.3 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์การตกสะสมกรดแห้ง	148
ค.4 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของก๊าซและอนุภาคกรดของการตกสะสมกรดแห้ง	150

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. ความสัมพันธ์ระหว่างสารตั้งต้นและผลผลิตก๊าซในบรรยากาศ	4
2. กลไกการตกสะสมของกรดจากบรรยากาศลงสู่พื้นโลก	10
3. Resistance model	12
4. ไดอะแกรมแสดงรูปแบบการทำงานของแบบจำลอง ATMOS2	17
5. แสดงโครงสร้างของระดับชั้นบรรยากาศที่เกิดการแพร่กระจายของซัลเฟอร์	18
6. กลไกการกระจายตัวของก้อนมวลสารในชั้นบรรยากาศต่างๆ	18
7. Automatic wet only collector	37
8. 4 - Stages filter pack และไดอะแกรม	38
9. Filter pack holder	38
10. แผนที่แสดงพื้นที่จังหวัดสงขลา	41
11. ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำฝน	44
12. ค่าปริมาณน้ำฝนในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	54
13. ค่า pH ของตัวอย่างน้ำฝนในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	55
14. ค่า pH เฉลี่ยของตัวอย่างน้ำฝนในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	55
15. ค่า EC ของตัวอย่างน้ำฝนในแต่ละวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	56
16. ค่า EC เฉลี่ยของตัวอย่างน้ำฝนในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	57
17. ค่าความเข้มข้น SO_4^{2-} ของตัวอย่างน้ำฝน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	58
18. ค่าความเข้มข้น NO_3^- ของตัวอย่างน้ำฝน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	58
19. ค่าความเข้มข้น Cl^- ของตัวอย่างน้ำฝน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	59
20. ค่าความเข้มข้น NH_4^+ ของตัวอย่างน้ำฝน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	59
21. ค่าความเข้มข้น Na^+ ของตัวอย่างน้ำฝน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	60
22. ค่าความเข้มข้น K^+ ของตัวอย่างน้ำฝน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	61
23. ค่าความเข้มข้น Ca^{2+} ของตัวอย่างน้ำฝน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	61
24. ค่าความเข้มข้น Mg^{2+} ของตัวอย่างน้ำฝน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	62
25. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนลบในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	63
26. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนบวกในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	64
27. ค่าฟลักซ์การตกสะสม SO_4^{2-} ในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	66

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
28. ค่าฟลักซ์การตกสะสม NO_3^- ในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	67
29. ค่าฟลักซ์การตกสะสม Cl^- ในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	67
30. ค่าฟลักซ์การตกสะสม NH_4^+ ในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	68
31. ค่าฟลักซ์การตกสะสม Na^+ ในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	69
32. ค่าฟลักซ์การตกสะสม K^+ ในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	69
33. ค่าฟลักซ์การตกสะสม Ca^{2+} ในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	70
34. ค่าฟลักซ์การตกสะสม Mg^{2+} ในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	70
35. ค่าฟลักซ์การตกสะสมไอออนลบในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	71
36. ค่าฟลักซ์การตกสะสมไอออนบวกในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	72
37. อัตราส่วนการตกสะสมของไอออนในช่วง 12 เดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	72
38. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนลบในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	76
39. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนบวกในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	76
40. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนตลอดระยะเวลา 12 เดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	77
41. ค่าความเข้มข้น SO_2 ของตัวอย่างอากาศในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	79
42. ค่าความเข้มข้น HNO_3 ของตัวอย่างอากาศในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	79
43. ค่าความเข้มข้น HCl ของตัวอย่างอากาศในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	80
44. ค่าความเข้มข้น NH_3 ของตัวอย่างอากาศในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	80
45. ค่าความเข้มข้นก๊าซต่างๆ ของตัวอย่างอากาศในแต่ละเดือน ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	81
46. การตกสะสมกรดแห้งเฉลี่ยรายเดือนของ SO_2 กับ SO_4^{2-} ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	84
47. การตกสะสมกรดแห้งเฉลี่ยรายเดือนของ HNO_3 กับ NO_3^- ระหว่าง เม.ย. 46 – มี.ค. 47	84
ก.1 บริเวณโคจรรอบจุดเก็บตัวอย่างรัศมี 150 เมตร	114
ก.2 บริเวณโคจรรอบจุดเก็บตัวอย่างรัศมี 150 เมตร – 10 กิโลเมตร	115
ก.3 บริเวณโคจรรอบจุดเก็บตัวอย่างรัศมี 10 – 50 กิโลเมตร	116

ตัวย่อและสัญลักษณ์

ANC	=	Acid neutralizing capacity
AP	=	Acidifying Potential
BC	=	Black carbon
CEC	=	Cation Exchange Capacity
CGRER	=	Center for Global and Regional Environmental Research
CMU	=	ChiangMai University
DI	=	Deionized
EANET	=	Acid Deposition Monitoring Network in East Asia
EC	=	Electric Conductivity
$\text{g/m}^2\cdot\text{yr}$	=	Gram per square metre per year
hp	=	Horse power
IC	=	Ion chromatography
JICA	=	Japan International Cooperation Agency
LPS	=	Large point sources
$\text{meq/m}^2\cdot\text{yr}$	=	Milliequivalent per square metre per year
mg-S/m^2	=	Milligram of Sulfur per square metre
mg/l	=	Milligram per litre
$\text{mg/m}^2\cdot\text{mth}$	=	Milligram per square metre per month
$\text{mg/m}^2\cdot\text{yr}$	=	Milligram per square metre per year
mm	=	Millimetre
$\text{mmol/m}^2\cdot\text{mth}$	=	Millimole per square metre per month
$\text{mmol/m}^2\cdot\text{yr}$	=	Millimole per square metre per year
mS/m	=	Millisemens per metre
NASA	=	National Aeronautics and Space Administration
NCAR	=	National Center for Atmospheric Research
NCEP	=	National Center for Environmental Prediction
neq/m^3	=	Nanoequivalent per cubic metre
nmol/m^3	=	Nanomole per cubic metre

ตัวย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

NM VOC	=	Non-Methane Volatile Organic Compounds
NOAA	=	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSF	=	National Science Foundation
OC	=	Organic carbon
OEPP	=	Office of Environmental Policy and Planning
PCD	=	Pollution Control Department
PAN	=	Peroxyacyl Nitrate
ppb	=	Part per billion
ppm	=	Part per million
ppt	=	Precipitation
PTFE	=	Polytetrafluoro-ethylene
R ₁	=	Ion balance check
R ₂	=	Electric conductivity check
Tg	=	Teragram (10 ¹² gram)
TMD	=	Thailand Meteorological Department
VLK	=	Vachiralongkorn Dam
v _d	=	Deposition velocity
μeq/l	=	Microequivalent per litre
μmol/l	=	Micromole per litre
μmol/m ² .d	=	Micromole per square metre per day