

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการตารางภาคผนวก	(12)
รายการภาพประกอบ	(14)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(18)
บทที่	
1    บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	4
วัตถุประสงค์ของโครงการ	50
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	50
ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย	50
2    วิธีดำเนินการศึกษา	51
อุปกรณ์และสารเคมี	51
การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออน	56
การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน	59
การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection) ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออนด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี	61

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection) ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี	63
การเก็บตัวอย่างและการเก็บรักษาตัวอย่างน้ำฝน	64
การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณแอมโมเนียมและปริมาณแคตไอออนในน้ำฝน	67
3 ผลการทดลอง	70
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม	70
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน	77
ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection) ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม	84
ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection) ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน	91
ผลการศึกษาค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณแอมโมเนียมและปริมาณแคตไอออน ในตัวอย่างน้ำฝน	97
4 วิจัยณ์ผลการทดลอง	109
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม	109
ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน	111
ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection) ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม	112

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection) ความถูกต้อง (accuracy) และความแม่นยำ (precision) ของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน	114
ผลการศึกษาค่าความเป็นกรดต่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณแอนไอออน และปริมาณแคตไอออน ในตัวอย่างน้ำฝน	115
5 สรุปผลการทดลอง	122
เอกสารอ้างอิง	125
ภาคผนวก	135
ประวัติผู้เขียน	155

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ปริมาณของก๊าซในอากาศที่ระดับน้ำทะเล	4
1.2	มลสารเฉพาะชนิด และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
1.2	มลสารเฉพาะชนิด และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)	7
1.3	Primary Associations in Rain	11
1.4	แหล่งที่มาของไอออนชนิดต่างๆ ในน้ำฝน	12
1.5	ปริมาณการตกสะสมของแอมโมเนียม ( $\text{NH}_4^+$ )	18
1.6	โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ภายในจังหวัดสงขลา และตำแหน่งที่ตั้ง	31
1.7	Chromatographic term	33
1.8	ชนิดของ Cation exchange และ Anion exchange	38
1.9	ตัวอย่างการวิเคราะห์ปริมาณไอออนในน้ำฝน	42
1.9	ตัวอย่างการวิเคราะห์ปริมาณไอออนในน้ำฝน (ต่อ)	43
1.10	การวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออนและแคตไอออนด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีในน้ำฝนจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย	43
1.11	ปริมาณน้ำฝน (mm.) ปริมาณแอนไอออนและแคตไอออน ( $\text{mg L}^{-1}$ ) ค่าพีเอช (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) ของการวิเคราะห์คุณภาพน้ำฝนจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยในปี 2001	44
2.1	ความเข้มข้นของแอนไอออนใน stock standard solution ( $\text{mg L}^{-1}$ )	56
2.2	การเตรียมสารละลายมาตรฐานแอนไอออนเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน	57
2.3	การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ของ $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ ที่ความเข้มข้นต่างๆ	57
2.4	ความเข้มข้นของแคตไอออนใน stock standard solution ( $\text{mg L}^{-1}$ )	59
2.5	การเตรียมสารละลายมาตรฐานแคตไอออนเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน	59
2.6	การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆ	60
2.7	การเก็บรักษาตัวอย่างน้ำฝน	66

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
2.8	ช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนไอออนในการสร้างกราฟมาตรฐาน	68
2.9	ช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคตไอออนในการสร้างกราฟมาตรฐาน	69
3.1	ค่า retention time ของแอนไอออนแต่ละชนิด เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวชะต่างๆ กัน	70
3.2	ค่า retention time ของแอนไอออนแต่ละชนิด เมื่อใช้อัตราการไหลของตัวชะต่างๆ กัน	74
3.3	ค่า retention time ของแคตไอออนแต่ละชนิด เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวชะต่างๆ กัน	77
3.4	ค่า retention time ของแคตไอออนแต่ละชนิด เมื่อใช้อัตราการไหลของตัวชะต่างๆ กัน	81
3.5	ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ของการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออน	84
3.6	ช่วงความเข้มข้นของกราฟมาตรฐาน (application range) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออนในตัวอย่าง	86
3.7	ขีดจำกัดการตรวจวัดของการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออนใน reagent blank (deionized water)	88
3.8	ความถูกต้องของการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออนใน reagent Blank (deionized water)	89
3.9	ความถูกต้องของการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออนในน้ำฝน (rainwater)	89
3.10	ความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออน (amount precision) และ retention time ( $t_R$ precision)	90
3.11	ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear range) ของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน	91

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.12	ช่วงความเข้มข้นของกราฟมาตรฐาน (application range) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนในตัวอย่าง	92
3.13	ขีดจำกัดการตรวจวัดของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนใน reagent blank (deionized water)	94
3.14	ความถูกต้องของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนใน reagent blank (deionized water)	95
3.15	ความถูกต้องของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนในน้ำฝน (rainwater)	96
3.16	ความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน (amount precision) และ retention time ( $t_R$ precision)	96

## รายการตารางภาคผนวก

ตารางที่		หน้า
1	ผลของความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ ที่ใช้เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม	136
2	ผลของอัตราการไหลของ $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ ที่ใช้เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม	136
3	ผลของของความเข้มข้นของ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ที่ใช้เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม	137
4	ผลของอัตราการไหลของ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ที่ใช้เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม	137
5	ช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม (linear range)	138
6	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม ( $\text{F}^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ และ $\text{SO}_4^{2-}$ ) จำนวน 7 ครั้ง	140
7	ขีดจำกัดการตรวจวัด (method detection limit, MDL) ของการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม	140
8	ผลการวิเคราะห์หรือลดการได้กลับคืนของแอมโมเนียมใน deionized water จำนวน 7 ครั้ง	141
9	ร้อยละการได้กลับคืนของการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมใน deionized water	141
10	ผลการวิเคราะห์หรือลดการได้กลับคืนของแอมโมเนียมในน้ำฝน จำนวน 7 ครั้ง	142
11	ร้อยละการได้กลับคืนของการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมในน้ำฝน	142
12	ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียม จำนวน 7 ครั้ง (amount precision)	143

## รายการตารางภาคผนวก (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของ retention time ของการวิเคราะห์ปริมาณ แอนไอออนจำนวน 7 ครั้ง (retention time precistion)	143
14	ช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน (linear range)	144
15	ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน ( $\text{Li}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ และ $\text{Ca}^{2+}$ ) จำนวน 7 ครั้ง	147
16	ขีดจำกัดการตรวจวัด (method detection limit, MDL) ของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน	147
17	ผลการวิเคราะห์ร้อยละการได้กลับคืนของแคตไอออนใน deionized water	148
18	ร้อยละการได้กลับคืนของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนใน deionized water	148
19	ผลการวิเคราะห์ร้อยละการได้กลับคืนของแคตไอออนในน้ำฝน	149
20	ร้อยละการได้กลับคืนของการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออนในน้ำฝน	149
21	ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน จำนวน 7 ครั้ง (amount precision)	150
22	ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของ retention time สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน (retention time precision)	150
23	ข้อมูลทั่วไปของการเก็บตัวอย่าง	152
24	ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแอนไอออนในน้ำฝน	153
25	ข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแคตไอออน ค่าความเป็นกรดต่าง และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำฝน	154



## รายการภาพประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	ปริมาณซัลเฟอไรด์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์ใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ปี พ.ศ. 2546	2
1.2	การตกสะสมของฝนกรด	8
1.3	วัฏจักรน้ำ	10
1.4	วัฏจักรของคลอรีนในบรรยากาศ	14
1.5	วัฏจักรของโซเดียม	15
1.6	วัฏจักรของไนโตรเจน	19
1.7	วัฏจักรของซัลเฟอไรด์	21
1.8	พื้นที่เขตเทศบาลนครหาดใหญ่และจุดเก็บตัวอย่างน้ำฝน	26
1.9	ทิศทางลมมรสุม	27
1.10	ปริมาณน้ำฝนตลอดปีในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2512 – 2547	28
1.11	ปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนเฉลี่ยในช่วง ปี พ.ศ. 2512 – 2547	29
1.12	จำนวนวันที่มีฝนตกตลอดปีในช่วงปี พ.ศ. 2512 – 2547	29
1.13	จำนวนวันที่มีฝนตกในแต่ละเดือนเฉลี่ย ช่วงปี พ.ศ. 2512 – 2547	30
1.14	กระบวนการแยกสารทางโครมาโทกราฟี	32
1.15	Ion Chromatography using suppressed conductivity detection	40
2.1	ส่วนประกอบของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี	52
2.2	suppressor column, analytical column และ guard Column	52
2.3	อุปกรณ์กรองตัวอย่างน้ำฝน 1) syringe 2) filter และ 3) ขวดโพลีเอทิลีน	54
2.4	เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า	54
2.5	เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH meter)	55
2.6	อุปกรณ์สำหรับเก็บน้ำฝน	55

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตัวชะกับค่า retention time ของแอนไอออนแต่ละชนิด	71
3.2	ลักษณะพีคของแอนไอออนแต่ละไอออน เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวชะต่างๆ กัน	73
3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของตัวชะกับค่า retention time ของแอนไอออนแต่ละชนิด	74
3.4	ลักษณะพีคของแอนไอออนแต่ละไอออน เมื่อใช้อัตราการไหลของตัวชะต่างๆ กัน	76
3.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกกับค่า retention Time ของแคตไอออนแต่ละชนิด	77
3.6	ลักษณะพีคของแคตไอออนแต่ละไอออน เมื่อใช้ความเข้มข้นของตัวชะต่างๆ กัน	80
3.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของตัวชะกับค่า retention time ของแคตไอออนแต่ละชนิด	81
3.8	ลักษณะพีคของแคตไอออนแต่ละไอออน เมื่อใช้อัตราการไหลของตัวชะต่างๆ กัน	83
3.9	ช่วงความเป็นเส้นตรงของฟลูออไรด์	84
3.10	ช่วงความเป็นเส้นตรงของคลอไรด์	84
3.11	ช่วงความเป็นเส้นตรงของไนไตรต์	85
3.12	ช่วงความเป็นเส้นตรงของโบรมைด์	85
3.13	ช่วงความเป็นเส้นตรงของไนเตรต	85
3.14	ช่วงความเป็นเส้นตรงของฟอสเฟต	85
3.15	ช่วงความเป็นเส้นตรงของซัลเฟต	85
3.16	กราฟมาตรฐานของฟลูออไรด์	86

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.17	กราฟมาตรฐานของคลอไรด์	86
3.18	กราฟมาตรฐานของไนไตรต์	86
3.19	กราฟมาตรฐานของโบรไมด์	86
3.20	กราฟมาตรฐานของไนเตรต	87
3.21	กราฟมาตรฐานของฟอสเฟต	87
3.22	กราฟมาตรฐานของซัลเฟต	87
3.23	ช่วงความเป็นเส้นตรงของลิเทียม	91
3.24	ช่วงความเป็นเส้นตรงของโซเดียม	91
3.25	ช่วงความเป็นเส้นตรงของแอมโมเนียม	92
3.26	ช่วงความเป็นเส้นตรงของโปแทสเซียม	92
3.27	ช่วงความเป็นเส้นตรงของแมกนีเซียม	92
3.28	ช่วงความเป็นเส้นตรงของแคลเซียม	92
3.29	กราฟมาตรฐานของของลิเทียม	93
3.30	กราฟมาตรฐานของโซเดียม	93
3.31	กราฟมาตรฐานของแอมโมเนียม	93
3.32	กราฟมาตรฐานของโปแทสเซียม	93
3.33	กราฟมาตรฐานของแมกนีเซียม	93
3.34	กราฟมาตรฐานของแคลเซียม	93
3.35	ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำฝน	97
3.36	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำฝน ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	98
3.37	ปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	99
3.38	ปริมาณคลอไรด์ในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	100
3.39	ปริมาณไนไตรต์ในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	101
3.40	ปริมาณไนเตรตในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	102
3.41	ปริมาณซัลเฟตในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	103

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.42	ปริมาณโซเดียมในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	104
3.43	ปริมาณแอมโมเนียมในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	105
3.44	ปริมาณโปแตสเซียมในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	106
3.45	ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	107
3.46	ปริมาณแคลเซียมในน้ำฝน ( $\text{mg L}^{-1}$ )	108
4.1	เปรียบเทียบปริมาณไนเตรตและซัลเฟตในน้ำฝนที่เก็บในช่วงเวลา กลางคืนและกลางวัน	120

## ตัวย่อและสัญลักษณ์

IC	=	Ion Chromatography
U.S.EPA	=	United States Environmental Protection Agency
EANET	=	Acid Deposition Monitoring Network in East Asia
EC	=	Electrical Conductivity
EMEP	=	Cooperative programme for monitoring and evaluation of long-range transmission of air pollutants in Europe
MDL	=	Method detection limit