

การวิเคราะห์แอมไออนบางชนิดที่มีซิลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบในขณะเดียวกัน
ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี



นางอมพร สขม่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-581-603-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

019167 117152513

Simultaneous Determination of Some Sulphur Containing Anions
by Ion Chromatography

Mrs. Umaporn Sukmoung

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Department of Chemistry
Graduate School
Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-581-603-5

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมเพียงแผ่นเดียว

อุมพร สุขม่วง : การวิเคราะห์แอนไอออนบางชนิดที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในขณะเดียวกันด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี (SIMULTANEOUS DETERMINATION OF SOME SULPHUR CONTAINING ANIONS BY ION CHROMATOGRAPHY) อ.ที่ปรึกษา : รศ.แมน อมรสิทธิ์ อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.วราภรณ์ ลิพิพัฒน์ไพบูลย์ , 177 หน้า.

ISBN 974-581-603-5



งานวิจัยนี้เป็นการหาวิธี วิเคราะห์แอนไอออนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ 5 ชนิด คือ ซัลไฟด์ ซัลไฟด์ ซัลเฟต ไธโอซัลเฟต และไฮโอโซยานेट ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี โดยการเลือกใช้คอลัมน์ 2 ชนิด คือ คอลัมน์ PRP-X100 และ คอลัมน์ IC-PAK A ซึ่งเป็นคอลัมน์ชนิดแลกเปลี่ยนแอนไอออน และ เลือกใช้สารละลายตัวชะ 4 ชนิด คือ สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต สารละลายโซเดียมพาราไฮดรอกซีเบนโซเอต สารละลายโซเดียมเบนซีนซัลโฟเนต และสารละลายผสมระบบกลูโคเนต-บอเรต ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับแยกของผสมแอนไอออนเหล่านี้ให้ได้ดีที่สุดโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายตัวชะ pH ปริมาณตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้เป็นโมดิไฟเออร์ และอัตราการไหลของตัวชะ รวมทั้งศึกษาถึงการแทรกสอดจากแอนไอออนชนิดอื่น ซึ่งจะพบได้เสมอในน้ำเช่น คลอไรด์ ฟลูออไรด์ โบรไมด์ ไอโอดีน ในเครด และไนเตรด สภาวะที่ดีที่สุดที่สามารถวิเคราะห์แอนไอออนของซัลเฟอร์ได้พร้อมกันทั้ง 5 ชนิด คือใช้สารละลายผสมระบบกลูโคเนต-บอเรต ซึ่งประกอบด้วย กลูโคเนต 1.0 mM บอเรต 1.1 mM กรดบอริก 90.0 mM กลีเซอรอล 54.0 mM เกลือโซเดียมของอีดีทีเอ 0.02 mM และอะซิโตนไนทรีล 16.0 % pH 7.35 อัตราการไหล 1.2 mL/min เมื่อใช้กับคอลัมน์ IC-PAK A ความแม่นยำ และความเที่ยงของการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 93.75 ถึง 99.88 % และ 1.14 ถึง 10.19 % ตามลำดับ

ภาควิชาเคมี
สาขาวิชาเคมีวิเคราะห์
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต ๑๐๓๓๓ ๑๗๖๖
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 11/๖๓ อมรสิทธิ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ลิพิพัฒน์ไพบูลย์

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C 125199 : MAJOR ANALYTICAL CHEMISTRY

KEY WORD : ION CHROMATOGRAPHY/SULPHUR CONTAINING ANIONS ANALYSIS

UMAPORN SUKMOUNG : SIMULTANEOUS DETERMINATION OF SOME SULPHUR
CONTAINING ANIONS BY ION CHROMATOGRAPHY. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF.
MAEN AMORASIT THESIS COADVISOR : DR. VARAPORN LEEPIPATPIBOON, Ed.D.
177 pp.

ISBN 974-581-603-5

The analytical methods for determination of some anions containing sulphur atom namely sulphide , sulphite , sulphate , thiosulphate and thiocyanate by ion chromatography were investigated. Two types of anion exchange column , PRP-X100 and IC-PAK A were used throughout the experiments hydroxybenzoate solution, sodium benzenesulfonate solution and the solvent mixture system of gluconate-borate were employed. The various parameters for the suitable separation of these ions by each type of column e.g., the concentration and pH of the eluent , the amount of organic modifiers added and the flow rate were investigated. In addition, the interferences of common anions usually present in water for example , chloride , fluoride , bromide , iodide , nitrate and nitrite were also investigated. In this study, the optimal conditions for chromatographic separation applicable to the determination of these five anions simultaneously were the solvent system of gluconate-borate containing 1.0 mM gluconate, 1.1 mM borate, 90.0 mM boric acid, 54.0 mM glycerol, 0.02 mM EDTA disodium salt and 16.0 % acetonitrile , the IC-PAK A column, the pH value of 7.35 and the flow rate of 1.2 mL per minute. The accuracy and precision of the analyses are in the range of 93.75 to 99.88 % and 1.14 to 10.19 % respectively.

ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีวิเคราะห์
ปีการศึกษา 2534

ลายมือชื่อนิสิต อ.จามะ ฤกษ์รุ่ง
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วัฒน อมรวิทย์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม หล. หล.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ
ดร. วราภรณ์ ลิขิตพันธ์ไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำทั้งในงาน
วิจัยและงานเขียน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัย
ครั้งนี้ แม้จะเป็นเพียงบางส่วนก็ตาม นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบคุณอย่างที่สุดต่อ อาจารย์ อนุสิทธิ์
สุขม่วง จากสถาบันศึกษาเคมีปฏิบัติ ที่ช่วยเหลือในการพิมพ์ค้นฉบับวิทยานิพนธ์ สนับสนุนในด้านการ
เงิน และให้กำลังใจในการศึกษาของผู้เขียนตลอดมา จนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ต
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 มลเหตุจูงใจ	1
1.2 แหล่งกำเนิดของแอนไอออนที่มีซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบ	5
1.3 ผลเสียที่เกิดจากแอนไอออนที่มีซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบ	8
1.4 วัตถุประสงค์	12
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	13
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	14
2. ทฤษฎี	15
2.1 ไอออนโครมาโทกราฟี	15
2.1.1 ไอออนโครมาโทกราฟี ชนิดที่มีซิลเฟอ์เซอร์คอลลัมน์ .	17
2.1.2 ไอออนโครมาโทกราฟี ชนิดที่ไม่มีซิลเฟอ์เซอร์คอลลัมน์	18
2.2 ทฤษฎีสัมพันธ์กับภาคปฏิบัติ	19
2.2.1 รีเทนชันไทม์	19
2.2.2 ประสิทธิภาพของคอลัมน์	20
2.2.3 Capacity factor	25
2.2.4 Selectivity	25
2.2.5 การแยก	25
2.2.6 ความจุสารของเฟสคงที่	27

2.3	การแลกเปลี่ยนไอออน	27
2.4	การแยกสาร	29
2.5	ระบบของไอออนโครมาโทกราฟี	30
2.5.1	สารละลายตัวชะ	30
2.5.1.1	การเลือกสารเคมีและตัวทำละลาย	31
2.5.1.2	การเตรียมสารละลายตัวชะ	31
2.5.1.3	ภาวะบรรจุสารละลายตัวชะ	34
2.5.1.4	การเปลี่ยนสารละลายตัวชะ	35
2.5.2	เครื่องสูบ	35
2.5.2.1	เครื่องสูบชนิดที่ควบคุมปริมาตรหรือ อัตราการไหลให้คงที่	36
2.5.2.2	เครื่องสูบชนิดที่ควบคุมความดันให้คงที่ ..	36
2.5.3	Sample Introduction System	39
2.5.3.1	การนำสารตัวชะเข้าสู่คอลัมน์โดยใช้ไมโครไซริงค์	39
2.5.3.2	การใช้ Sampling Valve	40
2.5.3.3	Automatic Injectors	41
2.5.4	คอลัมน์	42
2.5.5	ดีเทกเตอร์	49
2.5.6	เครื่องบันทึกและรายงานผล	53
2.6	การทำคุณภาพวิเคราะห์	53
2.6.1	การเปรียบเทียบค่ารีเทนชันไทม์	54
2.6.2	การเติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่าง	54
2.7	การทำปริมาณวิเคราะห์	54
2.7.1	Normalization Method	57
2.7.2	Internal Standard Method	60
2.7.3	External Standard Method	61

2.7.4	Standard Addition Method	62
3	การดำเนินการทดลองและผลการทดลอง	66
3.1	เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	66
3.2	การเตรียมสารละลายตัวชี้ และสารละลายมาตรฐาน	69
3.2.1	การเตรียมสารละลายแอนไอออนที่มีซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบ	69
3.2.2	การเตรียมสารละลายต่าง ๆ ที่ต้องใช้	70
3.2.3	วิธีหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายที่ใช้เป็นสาร ละลายมาตรฐาน	71
3.2.4	การเตรียมสารละลายตัวชี้เข้มข้น	71
3.2.5	การเตรียมสารละลายตัวชี้ความเข้มข้นและ pH ต่างๆ	73
3.2.6	การเตรียมสารละลายตัวชี้ก่อนนำไปใช้	73
3.2.7	การเตรียมน้ำที่ใช้ในการทดลอง	73
3.3	การหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์แอนไอออนที่มีซิลเฟอ์เป็น เป็นองค์ประกอบ	73
3.3.1	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิล เฟอ์เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้ม ชั้นของสารละลายตัวชี้ และใช้คอลัมน์ PRP-X100	81
3.3.2	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออน ที่มี ซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบโดยการเปลี่ยนแปลง pH ของ สารละลายตัวชี้ และใช้คอลัมน์ PRP-X100	82
3.3.3	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออน ที่มี ซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ตัวทำละลายอินทรีย์ และใช้คอลัมน์ PRP-X100 ..	82
3.3.4	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออน ที่มี ซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลง อัตราการใช้คอลัมน์ PRP-X100	83

3.3.5	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออน ที่มี ซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงความ เข้มข้นของสารละลายตัวชะและใช้คอลัมน์ IC-PAK A	83
3.3.6	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออน ที่มี ซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายตัวชะ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	84
3.3.7	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออน ที่มี มีซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงแปลง ปริมาณตัวทำละลายอินทรีย์ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	85
3.3.8	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออน ที่มี ซิลเฟอ์เป็นองค์ประกอบโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการ ไหลของสารละลายตัวชะ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	86
3.3.9	ศึกษาการแทรกสอดจากไอออนที่มีประจุเดียว	86
3.3.10	ศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด	88
3.3.11	ศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เชิง ปริมาณ	88
3.3.12	ศึกษาความเที่ยงในการวิเคราะห์	89
3.3.13	ศึกษาความแม่นยำของการวิเคราะห์	89
3.4	การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	90
4	ผลการทดลอง สรุปและวิจารณ์	92
4.1	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิลเฟอ์ เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร ละลายตัวชะ และใช้คอลัมน์ PRP-X100	92
4.2	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิลเฟอ์ เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายตัวชะ และใช้คอลัมน์ PRP-X100	97

4.3	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิลเฟอรั เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวทำละลายอินทรีย์ และใช้คอลัมน์ PRP-X100	101
4.4	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิลเฟอรั เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ของสาร ละลายตัวชะ และใช้คอลัมน์ PRP-X100	103
4.5	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิลเฟอรั เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร ละลายตัวชะ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	107
4.6	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิลเฟอรั เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายตัวชะ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	117
4.7	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิลเฟอรั เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณตัวทำละลาย อินทรีย์ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	122
4.8	การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้แยกแอนไอออนที่มีซิลเฟอรั เป็นองค์ประกอบ โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการใช้ของสาร ละลายตัวชะความเข้มข้น และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	127
4.9	การศึกษาการแทรกสอดจากไอออนที่มีประจุเดียว	142
4.10	การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด	148
4.11	การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ	151
4.12	การศึกษาความเที่ยงในการวิเคราะห์	154
4.13	การศึกษาความแม่นยำของการวิเคราะห์	155
4.14	การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	159
	บรรณานุกรม	168
	ประวัติผู้เขียน	177

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงชนิดต่าง ๆ ของสารที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนและสารเคมีที่ใช้เตรียมเป็นหมู่ฟังก์ชันัล	30
2.2 แสดงคุณสมบัติของเรซินชนิดต่าง ๆ ที่ใช้บรรจุคอลัมน์แยก ในไอออนโครมาโทกราฟี	49
2.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเที่ยงของการวัดพื้นที่พีค	57
3.1 แสดงรายละเอียดและคุณลักษณะของแอนไอออนเอกซ์เชนจ์ที่ใช้ศึกษา ..	74
4.1 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต ที่ pH 5.0 อัตราการไหล 2.0 mL/min และใช้คอลัมน์ PRP-X100	93
4.2 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมพาราไฮดรอกซีเบนโซเอต ที่ pH 8.50 อัตราการไหล 2.0 mL/min และใช้คอลัมน์ PRP-X100	94
4.3 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเบนซีนซัลโฟเนต ที่ pH 8.0 อัตราการไหล 2.0 mL/min และใช้คอลัมน์ PRP-X100	95
4.4 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลต ที่มีความเข้มข้น 2.0 mM อัตราการไหล 2.0 mL/min และใช้คอลัมน์ PRP-X100	97

ตารางที่	หน้า
4.5 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโซเดียมพาราไฮดรอกซี เบนโซเอต ที่มีความเข้มข้น 4.0 mM อัตราการไหล 2.0 mL/min และใช้คอลัมน์ PRP-X100	98
4.6 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโซเดียมเบนซีนซัลโฟเนต มีความเข้มข้น 2.0 mM อัตราการไหล 2.0 mL/min และใช้คอลัมน์ PRP-X100	99
4.7 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณเมทานอล และใช้สารละลายโซเดียม พาราไฮดรอกซีเบนโซเอต ความเข้มข้น 4.0 mM pH 8.5 เป็นตัวชะ อัตราการไหล 20 mL/min และ ใช้คอลัมน์ PRP-X100	102
4.8 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮ โดรเจนฟทาเลต ความเข้มข้น 2.0 mM pH 5.0 เป็นตัวชะ และ ใช้คอลัมน์ PRP-X100	104
4.9 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกซี เบนโซเอต ความเข้มข้น 6.0 mM pH 8.0 เป็นตัวชะ และใช้คอลัมน์ PRP-X100	105
4.10 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ใช้สารละลายโซเดียมเบนซีนซัล โฟเนต ความเข้มข้น 6.0 mM pH 8.0 เป็นตัวชะ และใช้คอลัมน์ PRP-X100	106

ตารางที่	หน้า
4.11 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮ ดรอกไซด์ที่ pH 4.0 อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้ คอลัมน์ IC-PAK A	108
4.12 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมพาราไฮ ดรอกซีเบนโซเอต ที่ pH 8.5 อัตราการไหล 1.2 mL/min และ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	109
4.13 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเบนซีนซัลโฟ เนต ที่ pH 8.0 อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	110
4.14 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกลูโคเนต ใช้สารละลายตัวชะ ประกอบด้วย บอเรต 1.3 mM กรดบอริก 40.0 mM กลีเซอรอล 54.0 mM เกลือโซเดียมของอิตีทีเอ 0.02 mM อะซีโตนไนไตรล์ 12 % pH 8.0 อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	111
4.15 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของบอเรต ใช้สารละลายตัวชะ ประกอบด้วย กลูโคเนต 0.8 mM กรดบอริก 40.0 mM กลีเซอรอล 54.0 mM เกลือโซเดียมของอิตีทีเอ 0.02 mM อะซีโตนไนไตรล์ 12 % pH 8.0 อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	112
4.16 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดบอริก และ pH ของสารละลาย ใช้ สารละลายตัวชะประกอบด้วย กลูโคเนต 0.8 mM บอเรต 1.2 mM กลีเซอรอล 54.0 mM เกลือโซเดียมของอิตีทีเอ 0.02 mM อะซีโตนไนไตรล์ 12 % อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	113

4.17	แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือโซเดียมของอิตทีเอ สารละลายตัวชะ ประกอบด้วย กลูโคเนต 0.8 mM บอเรต 1.2 mM กรดบอริก 40.0 mM กลีเซอรอล 54.0 mM อะซีโตนไนไตรล์ 12 % pH 8.0 อัตราการ ไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	114
4.18	แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจน ฟทาเลต ที่มีความเข้มข้น 2.0 mM อัตราการไหล 1.2 mL/min และ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	118
4.19	แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโซเดียมพาราไฮดรอกซี เบนโซเอต ที่มีความเข้มข้น 2.0 mM อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	119
4.20	แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายโซเดียมเบนซีนซัลโฟเนต ที่มีความเข้มข้น 7.5 mM อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	120
4.21	แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณอะซีโตนไนไตรล์ ใช้สารละลายโซเดียม ไฮโดรเจนฟทาเลต ความเข้มข้น 2.0 mM pH 5.0 เป็นตัวชะ อัตรา การไหล 1.0 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	122
4.22	แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และ การแยกของพีค ที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณอะซีโตนไนไตรล์ และใช้สารละลาย โซเดียมพาราไฮดรอกซีเบนโซเอต ความเข้มข้น 3.0 mM pH 8.0 เป็นตัวชะ อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A ..	123

ตารางที่	หน้า
4.23 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณอะซีโตนไนไตรล์ และใช้สารละลายโซเดียมเบนซีนซัลโฟเนต ความเข้มข้น 7.5 mM pH 8.0 เป็นตัวชะ อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	124
4.24 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณอะซีโตนไนไตรล์ ใช้สารละลายตัวชะ ประกอบด้วย อะซีโตนไนไตรล์ กลูโคเนต 0.8 mM บอเรต 1.2 mM กรดบอริก 40.0 mM กลีเซอรอล 54.0 mM เกลือโซเดียมของอิตีเอ 0.02 mM pH 8.0 และ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	125
4.25 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮโครเจนฟทาเลต ความเข้มข้น 5.0 mM pH 4.15 เป็นตัวชะ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	128
4.26 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ใช้สารละลายโซเดียมพาราไฮดรอกซีเบนโซเอต ความเข้มข้น 3.0 mM pH 8.0 เป็นตัวชะ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	129
4.27 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล ใช้สารละลายโซเดียมเบนซีนซัลโฟเนต ความเข้มข้น 7.5 mM pH 8.0 เป็นตัวชะ และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	130
4.28 แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ และการแยกของพีคที่ติดกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล และใช้สารละลายตัวชะระบบกลูโคเนต-บอเรต ประกอบด้วยกลูโคเนต 1.0 mM บอเรต 1.1 mM กรดบอริก 90.0 mM กลีเซอรอล 54.0 mM เกลือโซเดียมของอิตีเอ 0.02 mM อะซีโตนไนไตรล์ 16 % pH 7.35 และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	131

4.29	แสดงค่ารีเทนชันไทม์ของแอนไอออนต่าง ๆ เมื่อใช้สารละลายตัวชะชนิดต่าง ๆ อัตราการไหล 2.0 mL/min สำหรับคอลัมน์ PRP-X100 และ 1.2 mL/min สำหรับคอลัมน์ IC-PAK A	147
4.30	แสดงขีดจำกัดของการตรวจวัด โดยใช้สารละลายตัวชะชนิดต่าง ๆ ใช้คอลัมน์ PRP-X100 อัตราการไหล 2.0 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A อัตราการไหล 1.2 mL/min	149
4.31	แสดงความเข้มข้นของแอนไอออนต่าง ๆ ซึ่งวิเคราะห์ซ้ำ 11 ครั้ง และผลการคำนวณหา % RSD เมื่อใช้สารละลายผสมระบบ กลูโคเนต-บอเรด pH 7.35 เป็นตัวชะ อัตราการไหล 1.2 mL/min และใช้คอลัมน์ IC-PAK A	154
4.32	แสดงค่าความแม่นยำในการวิเคราะห์แอนไอออนต่าง ๆ	158
4.33	แสดงผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่าง ๆ	164

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงวัฏจักรของซิลเฟอรัในธรรมชาติ	9
2.1	แสดงแผนภาพเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีชนิดที่มีซีฟเพรสเซอร์ คอลัมน์ และชนิดไม่มีซีฟเพรสเซอร์คอลัมน์	16
2.2	แสดงแผนภาพกระบวนการแยกแอนไอออน	17
2.3	แสดงโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ของผสม 1 และ 2 โดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี	19
2.4	แสดงสิ่งที่สนับสนุนต่อการกระจายของโมเลกุลในลิวิตโครมาโทกราฟี	21
2.5	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเร็วของการไหล ขึ้นอยู่กับค่า H และค่าต่าง ๆ ที่มีผลต่อ H	24
2.6	แสดงการแยกที่ขึ้นอยู่กับค่า R_u และอัตราส่วนของความสูงของพีค	26
2.7	แสดงการแลกเปลี่ยนไอออนของการวิเคราะห์แอนไอออน (X^-)	28
2.8	แสดงเครื่องมือที่ใช้กรองสารละลายตัวชะ	32
2.9	แสดง Reciprocating pump แบบง่าย ๆ	37
	(a) เป็น pump chamber	
	(b) single head reciprocating pump	
2.10	แสดงการทำงานของ check valve	38
2.11	แสดงสัญญาณที่ออกจากเครื่องสูบ reciprocating ชนิด single head (a) dual head circular cam (b) และ dual head sinusoidal cam (c)	38
2.12	แสดงการฉีดสารตัวอย่างโดยใช้ไซริงค์	40
2.13	แสดงลักษณะของ six-port microsampling valve	41
2.14	แสดงการทำงานของ automatic injectors	42
2.15	แสดงโครงสร้างของพอลิเมอร์ ชนิด Styrene-divinylbenzene	44

รูปที่	หน้า
2.16	แสดงโครงสร้างของเรซิน ชนิด surface sulfonated 46
2.17	แสดงโครงสร้างของเรซิน ชนิด pellicular aminated 47
2.18	แสดงเครื่องคอนดักทีวิตีเทกเตอร์ของบริษัท Waters model 430 50
2.19	แสดง flow cell ของเครื่องคอนดักทีวิตีเทกเตอร์ model 430 51
2.20	แสดงการวัดความสูงของพีคจาก base lines 55
2.21	แสดงเทคนิคต่าง ๆ ของการวัดพื้นที่พีค 56
2.22	แสดง Internal Standard Calibration Plot 61
2.23	แสดง External Standard Calibration Plot 62
2.24	(a) แสดงโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างซึ่งมีสาร 3 ชนิด
	(b) แสดงโครมาโทแกรมของสารตัวอย่างเมื่อเติมสารมาตรฐาน
	ตัวที่ 2 และ 3 ลงไป 63
2.25	แสดง Standard addition calibration curve 64
3.1	แสดงแผนภาพการทดลองเมื่อใช้คอลัมน์ PRP-X100 76
3.2	แสดงแผนภาพการทดลองเมื่อใช้คอลัมน์ IC-PAK A 77
4.1	แสดงลักษณะของโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมของ
	แอนไอออน ใช้สารละลาย KHP เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์
	PRP-X100 138
4.2	แสดงลักษณะของโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมของ
	แอนไอออน ใช้สารละลาย p-HBA เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์
	PRP-X100 139
4.3	แสดงลักษณะของโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมของ
	แอนไอออน ใช้สารละลาย BSA เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์
	PRP-X100 139
4.4	แสดงลักษณะของโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมของ
	แอนไอออน ใช้สารละลาย KHP เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์
	IC-PAK A 140

4.5	แสดงลักษณะของโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมของ แอนไอออน ใช้สารละลาย p-HBA เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	140
4.6	แสดงลักษณะของโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมของ แอนไอออน ใช้สารละลาย BSA เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	141
4.7	แสดงลักษณะของโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมของ แอนไอออน ใช้สารละลายผสมระบบกลูโคเนต-บอเรต ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	141
4.8	แสดงโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมเมื่อมีสารแทรกสอด ใช้สารละลาย KHP เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ PRP-X100	143
4.9	แสดงโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมเมื่อมีสารแทรกสอด ใช้สารละลาย p-HBA เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ PRP-X100	143
4.10	แสดงโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมเมื่อมีสารแทรกสอด ใช้สารละลาย BSA เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ PRP-X100	144
4.11	แสดงโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมเมื่อมีสารแทรกสอด ใช้สารละลาย KHP เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	144
4.12	แสดงโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมเมื่อมีสารแทรกสอด ใช้สารละลาย p-HBA เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	145
4.13	แสดงโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมเมื่อมีสารแทรกสอด ใช้สารละลาย BSA เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	145
4.14	แสดงโครมาโทแกรมการแยกสารละลายผสมเมื่อมีสารแทรกสอด ใช้สารละลาย ผสมระบบกลูโคเนต-บอเรต เป็นตัวชะ ใช้คอลัมน์ IC-PAK A	146
4.15	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับพื้นที่พีคในการศึกษา linear range ของซิลไฟด์	151

รูปที่	หน้า
4.16	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับพื้นที่ผิวในการศึกษา linear range ของซิลไฟต์ 151
4.17	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับพื้นที่ผิวในการศึกษา linear range ของซิลเฟด 152
4.18	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับพื้นที่ผิวในการศึกษา linear range ของไฮโอซิลเฟด 152
4.19	แสดงกราฟความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับพื้นที่ผิวในการศึกษา linear range ของไฮโอไซยานเนต 153
4.20	แสดงกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์สารละลายซิลไฟต์ 155
4.21	แสดงกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์สารละลายซิลไฟต์ 156
4.22	แสดงกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์สารละลายซิลเฟด 159
4.23	แสดงกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์สารละลายไฮโอซิลเฟด ... 157
4.24	แสดงกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์สารละลายไฮโอไซยานเนต... 157
4.25	แสดงโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 160
4.26	แสดงโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 161
4.27	แสดงโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 162
4.28	แสดงโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 163