



การตรวจวัดสารระเบิดอนินทรีย์ที่นิยมใช้ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย

โดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

Determination of Inorganic Explosives Widely Used in Three Border Provinces of
Southern Thailand Using Ion Chromatography

ภูริภัทร เพชรคง

Phuriphat Phetkong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Science in Forensic Science

Prince of Songkla University

2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การตรวจวัดสารระเบิดอินทรีย์ที่นิยมใช้ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้
 ของประเทศไทย โดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

ผู้เขียน นายภูริภัทร เพชรคง

สาขาวิชา นิติวิทยาศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา)ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ พ.ต.อ.สันต์ สุขวิจน์)
.....
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(รองศาสตราจารย์ ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา)
.....
(ดร.จงดี ธรรมเขต)	(ดร.จงดี ธรรมเขต)
.....
	(ดร.วรากร ลิ่มบุตร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
 ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

.....
 (ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)
 คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และ
ขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เพริศพิชญ์ คณาธารณา)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายภูริภัทร เพชรคง)

นักศึกษา

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายภูริภัทร เพชรคง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การตรวจวัดสารระเบิดอนินทรีย์ที่นิยมใช้ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ของประเทศไทย โดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี
ผู้เขียน	นายภูริภัทร เพชรคง
สาขาวิชา	นิติวิทยาศาสตร์
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์สารระเบิดอนินทรีย์ ที่เป็นสารตั้งต้นในการประกอบ
ระเบิดแสวงเครื่องที่ใช้ก่อเหตุใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ (ยะลา ปัตตานี และนราธิวาส) ซึ่งผู้ก่อเหตุ
นิยมใช้ระเบิดแสวงเครื่องสำหรับก่อเหตุ จึงมีความสำคัญในการตรวจวิเคราะห์สารตั้งต้นในการ
ประกอบระเบิด โดยสนใจวิเคราะห์ไอออนที่หลีกเลี่ยงจากการระเบิด ได้แก่ ไนเตรท เปอร์คลอเรต
โพแทสเซียม และแอมโมเนียม ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ใช้บัฟเฟอร์ของ โซเดียมคาร์บอเนต
2.70 มิลลิโมลาร์ และ โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.30 มิลลิโมลาร์ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที และ
กรดซัลฟิวริก 11.00 มิลลิโมลาร์ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสำหรับไอออนลบ (ไนเตร
ทและเปอร์คลอเรต) และไอออนบวก (โพแทสเซียมและแอมโมเนียม) ตามลำดับ จากสถานะที่
เหมาะสม ช่วงการตอนสนองเชิงเส้นของแอมโมเนียมอยู่ในช่วง 7 ถึง 100,000 ไมโครกรัมต่อลิตร
โพแทสเซียมอยู่ในช่วง 6 ถึง 100,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ไนเตรทอยู่ในช่วง 2 ถึง 100,000
ไมโครกรัมต่อลิตร และเปอร์คลอเรตอยู่ในช่วง 4 ถึง 100,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ได้ค่าสหสัมพันธ์เชิง
ปริมาณ (R^2) มีค่ามากกว่า 0.99 ชีตจำกัดการตรวจวัด (LOD) ของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท
และเปอร์คลอเรต คือ 28, 6, 12, 6 และ 8 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ร้อยละการได้กลับคืน
อยู่ในช่วง 97 ± 1 ถึง 98 ± 1 และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างสารระเบิดที่ได้ก่อนการระเบิด และ
ตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด สามารถคาดคะเนได้ว่าสารที่นำมาใช้ประกอบระเบิดเป็นสารใน
กลุ่มโพแทสเซียมไนเตรต แอมโมเนียมไนเตรต โพแทสเซียมเปอร์คลอเรต และแอมโมเนียมเปอร์คลอ
เรต

Thesis Title	Determination of Inorganic Explosives Widely Used in Three Border Provinces of Southern Thailand Usin Ion Chromatography
Author	Mr. Phuriphat Phetkong
Major Program	Forensic Science
Academic Year	2011

Abstract

In recent years, rebellions in three border provinces of southern Thailand (Yala, Pattani, Narathiwat) are continuously increased by terrorists. Normally, they used homemade explosive devices (HMEs) for making these events. It is important to determine the original substance of HMEs from pre-blast and post-blast residues. Major anions and cations explosive residues (nitrate, perchlorate, potassium and ammonium) were investigated using ion chromatography (IC) with a conductivity detector. The eluent was composed of 2.70 mM sodium carbonate with 0.30 mM sodium bicarbonate at flow rate 1.25 mL min⁻¹ for anions analysis (nitrate and perchlorate) and 11.00 mM sulfuric acid at flow rate 1.00 mL min⁻¹ for cations analysis (potassium and ammonium). Under the optimal conditions, linear range for ammonium, nitrate and perchlorate were in the range of 7 – 100,000 µg L⁻¹, 6 – 100,000 µg L⁻¹, 2 – 100,000 µg L⁻¹ and 4 - 100,000 µg L⁻¹, respectively with the coefficient of determination (R^2) greater than 0.99 for all ions. Low limit of detection ($S/N \geq 3$) for ammonium, potassium, nitrate and perchlorate were 28, 12, 6 and 8 µg L⁻¹, respectively, The spiked recoveries were 96 ± 1% to 97 ± 1%. The results showed that, the major ions that found in real samples were potassium, ammonium, nitrate and perchlorate that are the expected ions from HMEs which are potassium nitrate, ammonium nitrate, ammonium perchlorate and potassium perchlorate explosives.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายท่าน และจากหลายหน่วยงาน ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เพรศพิชญ์ คณาธารณา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.จงดี ธรรมเขต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พ.ต.อ.สันต์ สุขวิจน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.วรากร ลิ้มบุตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ปณต ถาวรังกูร ดร.อารีย์ ชูดำ และ ดร.ชิตนนท์ บุรณชัย ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ สถานวิจัยการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยและไบโอเซนเซอร์ (Trace Analysis and Biosensor Research Center; TAB-RC) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนผู้ช่วยวิจัย เครื่องมือ อุปกรณ์ สารเคมี และสถานที่สำหรับการทำวิจัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายเพื่อไปเสนอผลงานวิชาการ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่ในการทำงานวิจัย รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการทำวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ และหลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลืองานด้านเอกสารต่าง ๆ

ขอขอบคุณ สมาชิกสถานวิจัยการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยและไบโอเซนเซอร์ และเพื่อน ๆ ห้อง Ch 315 ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อสอนอง คุณแม่อุบล เพชรคง และครอบครัวสำหรับกำลังใจที่ดี และให้การสนับสนุนการศึกษา รวมทั้งให้คำปรึกษาในทุก ๆ เรื่องด้วยดีเสมอมา จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

ภูริภัทร เพชรคง

สารบัญ

	หน้า
หน้าอำนวยการ	(3)
บทคัดย่อภาษาไทย	(5)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(12)
รายการรูป	(14)
รายการรูปภาพผนวก	(16)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 ประวัติความเป็นมาของวัตถุระเบิด	6
1.3 ระเบิดแสวงเครื่อง	7
1.4 การตรวจเอกสาร	10
1.5 สมบัติของสารประกอบระเบิด	16
1.6 วัตถุประสงค	20
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	20
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	21
2.1 สารเคมี	21
2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย	22
2.3 อุปกรณ์	23
2.4 ตัวอย่างจริง	23
2.5 สารละลายมาตรฐาน	23
2.6 การเตรียมตัวชะ	24
2.6.1 การเตรียมตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก	24
	(8)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 การเตรียมตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ	25
2.7 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารประกอบระเบิดอินทรีย์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี	25
2.7.1 อัตราไหลของตัวชะ	26
2.7.2 ความเข้มข้นของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก	26
2.7.3 พีเอชของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ	27
2.8 ศึกษาการใช้ได้ของวิธี	27
2.8.1 ความเที่ยงของเครื่องมือ	27
2.8.2 ช่วงความเป็นเส้นตรง	27
2.8.3 ขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ	28
2.9 การเตรียมตัวอย่าง	28
2.9.1 ศึกษาเวลาที่ใช้สำหรับการเตรียมดินมาตรฐาน	29
2.9.2 ปัจจัยที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่าง	29
2.9.2.1 ปริมาตรตัวสกัด	30
2.9.2.2 เวลาสำหรับการสกัด	30
2.9.2.3 เวลาในการหมุนเหวี่ยง	31
2.9.3 ร้อยละการได้กลับคืน	31
2.10 การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	32
2.10.1 ผลของตัวรบกวน	32
2.10.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ	34
2.10.3 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ	34
บทที่ 3 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	35
3.1 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารประกอบระเบิดอินทรีย์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี	35
3.1.1 อัตราไหลของตัวชะ	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 ความเข้มข้นของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก	40
3.1.3 พีเอชของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ	43
3.2 การศึกษาการใช้ได้ของวิธี	46
3.2.1 ความเที่ยงของเครื่องมือ	46
3.2.2 ช่วงความเป็นเส้นตรง	47
3.2.3 ขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ	48
3.3 การเตรียมตัวอย่าง	54
3.3.1 ศึกษาเวลาที่ใช้สำหรับการเตรียมดินมาตรฐาน	54
3.3.2 ปัจจัยที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่าง	55
3.3.2.1 ปริมาตรตัวสกัด	55
3.3.2.2 เวลาสำหรับการสกัด	57
3.3.2.3 เวลาในการหมุนเหวี่ยง	59
3.3.3 ร้อยละการได้กลับคืน	60
3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	62
3.4.1 ผลของตัวรบกวนของการวิเคราะห์ไอออนบวก	62
3.4.2 ผลของตัวรบกวนของการวิเคราะห์ไอออนลบ	63
3.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างจากสถานที่เกิดเหตุจริง	64
บทที่ 4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	73
4.1 บทสรุป	73
4.1.1 ปัจจัยที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์ด้วยเทคนิค ไอออนโครมาโทกราฟี	73
4.1.2 การใช้ได้ของวิธี	74
4.1.3 การเตรียมตัวอย่าง	76
4.1.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	90
ก โครมาโทแกรมจากการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	91
ประวัติผู้เขียน	116

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า	
1.1	สรุปการใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสำหรับการวิเคราะห์สารที่ตกค้างจากการระเบิด	13
2.1	ชนิดและความเข้มข้นของตัวรบกวนที่พบในตัวอย่างดินและวัตถุระเบิด	33
3.1	HETP และเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ของแอมโมเนียมและโพแทสเซียม ที่อัตราไหลต่าง ๆ	37
3.2	HETP และเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ของไนเตรทและเปอร์คลอเรต ที่อัตราไหลต่าง ๆ	39
3.3	เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์และพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียมและโพแทสเซียม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกรดซัลฟิวริก	41
3.4	เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์และพื้นที่ใต้พีคของไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ค่าพีเอชต่าง ๆ ของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์	44
3.5	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์และพื้นที่ใต้พีค ของแอมโมเนียมและโพแทสเซียม	46
3.6	ขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต	53
3.7	ร้อยละการได้กลับคืนของไอออนในการเติมสารละลายมาตรฐานที่เวลาต่าง ๆ	54
3.8	พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต แต่ละปริมาตรที่ใช้ในการสกัด	56
3.9	พื้นที่ใต้พีคของไอออนที่สกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath ที่เวลาต่าง ๆ	58
3.10	พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่เวลาต่าง ๆ ในการหมุนเหวี่ยง	59
3.11	ร้อยละการได้กลับคืนของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	61
3.12	ความเข้มข้นของแต่ละไอออนที่ได้จากวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	65

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.13 จำนวนโมลของแต่ละไอออนที่พบในตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเบิด และหลังจากการระเบิด	67
3.14 ชนิดของสารระเบิดอนินทรีย์ที่ใช้ในการประกอบระเบิดที่พบจากการ วิเคราะห์ตัวอย่างจริง	68
4.1 สภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี	74
4.2 เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ ความเที่ยง ช่วงความเป็นเส้นตรง ความแม่นยำ ร้อยละการได้กลับคืน ชีตจำกัดการตรวจวัด และชีตจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ	75
4.3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดตัวอย่าง	76
4.4 ชนิดของสารระเบิดอนินทรีย์ที่ใช้ในการประกอบระเบิดที่พบจาก การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง	77

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	สถิติการวางระเบิดในจังหวัดยะลา ปัตตานี และนราธิวาส ปี 2547 ถึง 2554	1
3.1	โครมาโทแกรมที่ได้จากเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี	36
3.2	แวน ดีมเตอร์ พล็อต	36
3.3	แวน ดีมเตอร์ พล็อตของการวิเคราะห์แอมโมเนียมและโพแทสเซียม	38
3.4	แวน ดีมเตอร์ พล็อตของการวิเคราะห์ไนเตรทและเปอร์คลอเรต	40
3.5-ก	ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกต่อเวลาที่แอมโมเนียมและโพแทสเซียม ที่ถูกหน่วงในคอลัมน์	42
3.5-ข	พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียมและโพแทสเซียมต่อความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก	42
3.6-ก	ผลของพีเอชของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ต่อเวลาที่ถูกหน่วงในคอลัมน์ของไนเตรท และเปอร์คลอเรต	45
3.6-ข	ผลของพีเอชของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ต่อพื้นที่ใต้พีคของไนเตรทและเปอร์คลอเรต	45
3.7-ก	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต	47
3.7-ข	กราฟมาตรฐานของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต	48
3.8	โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม (S/N \geq 3) ของแอมโมเนียม	49
3.9	โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม (S/N \geq 3) ของโพแทสเซียม	49
3.10	โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม (S/N \geq 3) ของไนเตรท	50
3.11	โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม (S/N \geq 3) ของเปอร์คลอเรต	50
3.12	โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ (S/N \geq 10) ของแอมโมเนียม	51

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) ของโพแทสเซียม	51
3.14	โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) ของไนเตรท	52
3.15	โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) ของเปอร์คลอเรต	52
3.16	ร้อยละการได้กลับคืนของไอออน ในการเติมสารมาตรฐานไอออนลงในดินที่เวลาต่าง ๆ	55
3.17	พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ปริมาตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการสกัด	57
3.18	พื้นที่ใต้พีคของไอออนในการสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath ที่เวลาต่าง ๆ	58
3.19	ผลของเวลาสำหรับการหมุนเหวี่ยงต่อพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต	60
3.20	โครมาโทแกรมของตัวรบกวนของไอออนบวก	62
3.21	โครมาโทแกรมของตัวรบกวนของไอออนลบ	63
3.22	โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 1	70
3.23	โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 1	70
3.24	โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 3	71
3.25	โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 3	71

รายการรูปภาพผนวก (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก-47	โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 24	114
ก-48	โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 24	114
ก-49	โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 25	115
ก-50	โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 25	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

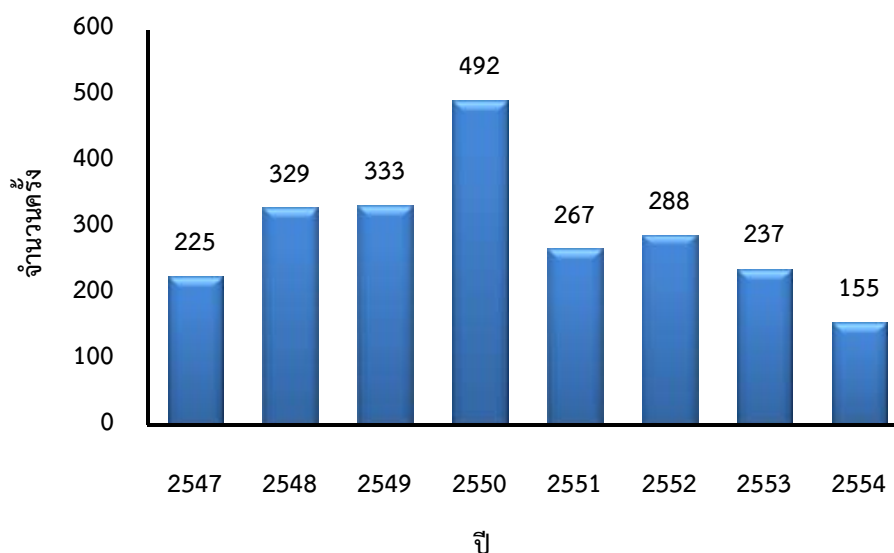
จากเหตุการณ์ความไม่สงบที่เกิดขึ้นในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย (ยะลา ปัตตานี นราธิวาส) ซึ่งนับวันยิ่งค่อย ๆ ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ มีการก่อเหตุร้ายวัน ทั้งการลอบยิงประชาชนผู้บริสุทธิ์ เจ้าหน้าที่ของรัฐ การลอบวางเพลิง ถึงขั้นมีการวางระเบิดในสถานที่ต่าง ๆ ทั้งหน่วยงานราชการและเอกชน รวมทั้งสถานที่สาธารณะ เช่น ตลาดสด ซึ่งล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อสภาพจิตใจ และการใช้ชีวิตของประชาชนในพื้นที่ ที่สำคัญก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นปัญหาสำคัญของชาติที่ต้องเร่งแก้ไข

นิติวิทยาศาสตร์เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ทุกสาขาของนิติวิทยาศาสตร์สามารถตรวจพิสูจน์วัตถุพยานต่าง ๆ ที่ตรวจพบในสถานที่เกิดเหตุ ใช้เป็นพยานหลักฐานในกระบวนการยุติธรรม เพื่อนำตัวผู้กระทำความผิดมาลงโทษตามกฎหมาย ซึ่งจากหลาย ๆ เหตุการณ์ที่ผ่านมาหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ได้รับความเชื่อถือสูงในชั้นศาลและจากสังคม ถึงแม้ผู้ต้องหาจะไม่ยอมรับสารภาพ หรือกลับคำให้การก็สามารถใช้เป็นหลักฐานยืนยันความผิดได้

สำหรับเหตุการณ์ความไม่สงบที่เกิดขึ้นนั้น การลอบวางระเบิดเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด และก่อให้เกิดความเสียหายมากที่สุดเช่นเดียวกัน โดยสถิติการวางระเบิดใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ตั้งแต่ปี 2547 ถึง 2554 สรุปได้ดังแผนภูมิแท่งในรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าในแต่ละปีนั้นมีการลอบวางระเบิดหลายครั้ง โดยระเบิดที่มักจะนำมาใช้ในการก่อเหตุ มีทั้ง ระเบิดแสวงเครื่อง (improvised explosive devices; IED หรือ homemade explosive devices; HMEs) และระเบิดขว้างสังหาร (stick hand grenade)

ระเบิดที่ผู้ก่อความไม่สงบนิยมใช้ก่อเหตุใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ คือ ระเบิดแสวงเครื่อง จัดเป็นรูปแบบหนึ่งของกับระเบิด (booby traps) ที่สามารถประกอบขึ้นเองได้ง่ายจากวัสดุที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ราคาถูก มีความทนทาน และมีประสิทธิภาพสูง วัสดุที่นำมาใช้ประกอบระเบิด แสวงเครื่อง เช่น ถังแก๊สที่ใช้ในครัวเรือน ถังดับเพลิง ท่อน้ำพีวีซี ครอบป้องกันน้ำอัดลม กระเป่า

เดินทาง กล่องพัสดุ กระบอกไม้ไผ่ ถังใส่น้ำ เป็นต้น วัตถุระเบิดแสวงเครื่องจึงไม่มีรูปแบบที่แน่นอน อีกทั้งไม่มีตัวอักษร หรือสัญลักษณ์ใด ๆ แสดงให้เห็นว่าเป็นวัตถุระเบิดอีกด้วย จึงทำให้ยากต่อการ ป้องกันและตรวจสอบ



รูปที่ 1.1 สถิติการวางระเบิดในจังหวัดยะลา ปัตตานี และนราธิวาส ปี 2547 ถึง 2554

ที่มา : ศูนย์เฝ้าระวังสถานการณ์ภาคใต้ และศูนย์ข้อมูลวัตถุระเบิด ศูนย์ปฏิบัติการสำนักงาน ตำรวจแห่งชาติส่วนหน้า

ส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการผลิตระเบิดอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือสารผสม หากได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสมด้วยความร้อน แรงกระแทก การเสียดสีหรือคลื่นกระแทก (shock wave) จะเกิดปฏิกิริยาสลายตัวทันทีตามหลักกระบวนการทางเคมีความร้อน (chemical thermodynamics) (Makhviladze *et al.*, 1991) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทำให้มีอุณหภูมิประมาณ 3,000 ถึง 7,000 องศาฟาเรนไฮต์ (Commander, 1972; สุขวัจน, 2551; ธนวัฒน์วงศ์ธร, 2551) เกิดเป็นความร้อนและก๊าซที่มีความดันสูงประมาณ 150,000 ถึง 4,000,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทำให้เกิดการระเบิดและเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดความเสียหายแก่บริเวณโดยรอบ ส่วนประกอบหลักที่ใช้ผลิตระเบิด ได้แก่ ดินระเบิดหลัก หรือวัตถุระเบิดหลัก (main charge) ซึ่งนิยมใช้แอมโมเนียมไนเตรทผสมน้ำมัน (ammonium nitrate - fuel oil; ANFO) และพบการใช้สารในกลุ่มคลอเรท (chlorate) โบรเมท (bromate) ปูยูเรีย (urea) ไนเตรท (nitrate) ไนไตรท์ (nitrite) ซิงค์ (zinc) อะซิเตท (acetate) คาร์บอเนต (carbonate) คลอไรด์ (chloride) โครเมท (chromate)

ไซยาเนต (cyanate) เปอร์คลอเรต (perchlorate) แอมโมเนียม (ammonium) แบเรียม (barium) แคลเซียม (calcium) โซเดียม (sodium) โพแทสเซียม (potassium) และดินดำ (black powder) จากพลู ปรอท ดอกไม้ไฟ สารไพโรเทคนิค หรือดินส่งกระสุนปืน เป็นต้น (Johns *et al.*, 2008)

สารที่นำมาใช้ในการประกอบระเบิดส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มสารระเบิดอนินทรีย์ (inorganic explosives) ซึ่งสามารถสังเคราะห์ได้ง่าย มีความเสถียร ราคาถูก และซื้อขายได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการทหาร เป็นต้น และที่สำคัญให้อำนาจการระเบิดรุนแรง (Johns *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008) จึงทำให้ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการก่อเหตุใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้

การตรวจสอบและพิสูจน์ทราบสารตกค้างภายหลังการระเบิด (post – explosive residues) ถือเป็นงานที่ยาก และท้าทายมากที่สุดอย่างหนึ่งในเรื่องของวัตถุระเบิด ซึ่งสามารถจำแนกงานดังกล่าวออกได้เป็น 2 ส่วน (Johns *et al.*, 2008) คือ

1. การตรวจสอบและพิสูจน์หาสารตกค้างที่เกิดขึ้นภายหลังจากการระเบิด (post – explosive residues) เพื่อระบุว่าสารเคมีที่ตรวจพบจากการก่ออาชญากรรมหรือการก่อการร้าย เป็นสารประกอบวัตถุระเบิดหรือไม่ และเป็นสารประกอบวัตถุระเบิดชนิดใด การตรวจพบและพิสูจน์ทราบสารประกอบวัตถุระเบิดที่ตกค้างอยู่ตามซากปรักหักพัง หรือเศษซาก อาจจะเป็นหลักฐานเกี่ยวข้องกับผู้ต้องสงสัยได้ เมื่อทราบว่าสารที่นำมาใช้ในการประกอบระเบิดเป็นสารชนิดใดสามารถนำไปสืบหาหลักฐานเพิ่มเติมได้ เช่น ถ้าทราบตัวผู้ต้องสงสัยแล้ว จึงตรวจสอบต่อว่าผู้ต้องสงสัยมีส่วนเกี่ยวข้องโดยมีการซื้อขายหรือครอบครองไว้หรือไม่ ซึ่งจะใช้เป็นหลักฐานดำเนินคดีได้

2. การตรวจสอบและพิสูจน์หาสารประกอบวัตถุระเบิดที่ติดตามส่วนต่าง ๆ ของตัวผู้ต้องสงสัย เช่น ร่างกาย เสื้อผ้า รวมทั้งสิ่งของต่าง ๆ ภายในบ้านหรือรถยนต์ ทั้งนี้เพื่อตั้งข้อสงสัยว่าบุคคลดังกล่าวผ่านการสัมผัสสารประกอบวัตถุระเบิดหรือไม่ ในการตรวจพบสารประกอบวัตถุระเบิดที่ตกค้างดังกล่าวนี้ อาจจะสามารถบอกได้ว่ามีการครอบครองวัตถุระเบิดอย่างผิดกฎหมาย

การตรวจสอบและการพิสูจน์หาสารประกอบระเบิดสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (capillary electrophoresis, CE) (Hopper *et al.*, 2005; McCord *et al.*, 1998; Ernesto *et al.*, 2004) ไอออนโครมาโทกราฟี (ion chromatography, IC) (Meng *et al.*, 2008) แก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography - mass spectrometry) (Burns *et al.*, 1998) และของเหลวโครมาโทกราฟีสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography, HPLC) (Paull *et al.*, 2004; Schreiber *et al.*, 2000) เทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส ใช้เวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่างค่อนข้างนาน (Hopper *et al.*, 2005) มีหลายขั้นตอน และต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญ ในขณะที่เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรเมตรี เป็นเทคนิคที่เครื่องมือวิเคราะห์มีราคาแพงมาก ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องสูง และต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญสูงเช่นเดียวกัน (อมรสิทธิ์ และเพชรสม 2553) สำหรับเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เป็นเทคนิคที่ต้องอาศัยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งใช้เวลานาน และอาจจะต้องมีการเตรียมอนุพันธ์ก่อนการวิเคราะห์ จึงไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความรวดเร็ว ในขณะที่เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคที่ใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพในการแยกสูง (high separation efficiency) ความไววิเคราะห์สูง (high sensitivity) ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น (short analysis time) ใช้ตัวทำละลายน้อย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Jorgenson และ Lukacs, 1989; Ding *et al.*, 1997; Doyle *et al.*, 2000; Johns *et al.*, 2008) จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์วัตถุระเบิดอินทรีย์

เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับวิเคราะห์สารระเบิด เช่น จากตัวอย่างท่อพีวีซี (Green *et al.*, 1985; McCord *et al.*, 1994; Doyle *et al.*, 2000; Johns *et al.*, 2008) สารระเบิดจากตัววัตถุระเบิด (Storey *et al.*, 1986; Burn *et al.*, 1998; Klassen *et al.*, 2002) ดินดำ (McCord *et al.*, 1994; Storey *et al.*, 1986; Doyle *et al.*, 2000) ดิน (Green *et al.*, 1985; Klassen *et al.*, 2002; Johns *et al.*, 2008) ANFO (Henderson *et al.*, 1992; Green *et al.*, 1985; Klassen *et al.*, 2002) โลหะ ผ้า พลาสติก แก้ว และหินแกรนิต (Tyrrel *et al.*, 2011) เป็นต้น เทคนิคดังกล่าวถูกพัฒนามาจากโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงเพื่อให้สามารถวิเคราะห์สารในลักษณะของไอออนได้ดีขึ้น ไม่ว่าจะอยู่ในรูปไอออนบวก ไอออนลบ โลหะทรานซิชัน กรดอินทรีย์ และเบสอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ นอกจากนี้ยังมีตัวตรวจวัดให้เลือกใช้ได้หลายชนิด ได้แก่ ตัวตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ค่ากระแสที่

เปลี่ยนแปลงไปที่ศักย์คงที่ (amperometry) และค่าการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet absorbance) เป็นต้น (DIONEX, 2010) และจากการรายงานของผลงานวิจัยต่าง ๆ พบว่า สามารถวิเคราะห์สารได้ในระดับที่ต่ำกว่าล้านในล้านส่วน (sub-parts per million levels) (Verweij *et al.*, 1986; Bender, 1989; McCord *et al.*, 1994; Meng *et al.*, 2008)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจศึกษาและตรวจพิสูจน์สารประกอบระเบิดอินทรีย์ที่เป็นผลิตภัณฑ์หรือสารตกค้างจากระเบิดแสวงเครื่อง ที่มีองค์ประกอบของสารประกอบวัตถุระเบิดหลัก คือ โพลแทสเซียมไนเตรท โพลแทสเซียมเปอร์คลอเรต แอมโมเนียมไนเตรท และแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต เนื่องจากใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้นิยมใช้สารเหล่านี้ในการประกอบระเบิดแสวงเครื่องที่ใช้ในการก่อเหตุ และจากข่าวมีการรายงานการจับกุมผู้ที่ครอบครองสารเหล่านี้ในปริมาณที่มากเกินไป ความจำเป็นอยู่บ่อย ๆ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่มีไว้เพื่อใช้สำหรับการประกอบระเบิด ในงานวิจัยนี้สนใจวิเคราะห์ไอออน 4 ชนิด คือ โพลแทสเซียม แอมโมเนียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี โดยจะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟีสำหรับการวิเคราะห์ไอออนที่สนใจ เพื่อให้เทคนิควิเคราะห์มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด จากนั้นจึงศึกษาประสิทธิภาพของวิธี พิสูจน์การใช้ได้ของวิธี และวิเคราะห์ตัวอย่างจริง

1.2 ประวัติความเป็นมาของวัตถุระเบิด

วัตถุระเบิดถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกเมื่อประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 ด้วยการใช้อินดำ (black powder) ในงานอุตสาหกรรมการระเบิดหิน (Davis, 1941; Akhavan, 1998) แต่ยังไม่ให้ประสิทธิภาพต่ำ จึงได้มีการพัฒนาให้มีอำนาจในการระเบิดสูงขึ้น โดย Ascanio Sobrero ซึ่งเป็นชาวอิตาลี ได้นำไนโตรกลีเซอริน (nitroglycerine) มาใช้สำหรับการประกอบระเบิด แต่ไม่สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย เนื่องจากไนโตรกลีเซอรินมีพิษสูงและระเบิดได้ง่าย (Davis 1941; Akhavan 1998) ต่อมา Alfred Nobel ได้ค้นพบวิธีนำไนโตรกลีเซอรินมาใช้อย่างปลอดภัยเป็นครั้งแรก โดยการใช้ผงทรายและไดอะตอมไมต์ (diatomite) มาเป็นตัวดูดซับ (adsorbent) ไนโตรกลีเซอริน ได้ส่วนผสมที่เรียกว่า ไดนาไมต์ (dynamite) จากนั้นมีการพัฒนามาเป็นลำดับ เช่น การใช้ ขี้เลื่อยและโซเดียมไนเตรทมาเป็นตัวดูดซับไนโตรกลีเซอริน เพื่อให้ใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น ที่สำคัญได้ค้นพบวิธีการนำไนโตรกลีเซอรินมาผสมกับไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) ในอัตราส่วน 92 ต่อ 8 เกิดเป็นวัตถุระเบิดชนิดใหม่เรียกว่าระเบิดเจลาติน (blasting gelatin) ซึ่งนับเป็นวัตถุระเบิดในทางการค้าที่มีอำนาจในการทำลายสูงที่สุด นิยมใช้สำหรับการทหารและสงคราม (Akhavan, 1998; Davis, 1941) แต่ระเบิดชนิดนี้มีขั้นตอนในการผลิตที่ยุ่งยาก ต้องใช้ความระมัดระวังสูง สารตั้งต้นที่ใช้มีราคาแพงและอันตราย จึงมีการพัฒนาวัตถุระเบิดทางการค้าชนิดใหม่ที่เรียกว่า ANFO (ammonium nitrate - fuel oil) โดยการนำแอมโมเนียมไนเตรทผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 94 ต่อ 6 โดยประมาณ วัตถุระเบิดชนิดนี้นับว่าเอื้อประโยชน์ต่อวงการวัตถุระเบิดในทางการค้ามากที่สุด เนื่องจากเป็นวัตถุระเบิดที่มีราคาต่ำ มีความปลอดภัยสูง และมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบกับวัตถุระเบิดชนิดอื่น (Akhavan, 1998)

จากนั้นได้มีการพัฒนาส่วนประกอบของระเบิด เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น โดยการใช้สารอินทรีย์ผสมกับแอมโมเนียมไนเตรทและขี้ผึ้ง (petroleum wax) ได้ระเบิดที่มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด เรียกว่าวัตถุระเบิดแบบหนืด (emulsion explosive) และมีการพัฒนาโดยการเปลี่ยนแอมโมเนียมไนเตรท เป็นสารระเบิดอนินทรีย์ชนิดอื่นที่มีสมบัติใกล้เคียง มาเป็นส่วนผสมในการประกอบระเบิด เช่น แอมโมเนียมคลอเรต แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต โพแทสเซียม ไนเตรท โพแทสเซียมเปอร์คลอเรต เป็นต้น ซึ่งนิยมใช้สำหรับการประกอบระเบิดแสงเครื่อง (Davis, 1941; Akhavan, 1998; ธนวัฒน์วงศ์ธร, 2551; สุขวัจน, 2551) ระเบิดที่ใช้ก่อเหตุใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยส่วนใหญ่เป็นระเบิดแสงเครื่อง ที่ใช้สารในกลุ่มนี้ในการประกอบระเบิด

1.3 ระเบิดแสงเครื่อง

ระเบิดแสงเครื่องหรือวัตถุระเบิดแสงเครื่อง (improvised explosive devices; IED หรือ homemade explosive devices; HMEs) หมายถึง วัตถุระเบิดประเภทหนึ่งที่ไม่ได้ใช้กรรมวิธีการผลิตแบบมาตรฐานการผลิตในโรงงาน เนื่องจากการผลิตและประกอบขึ้นเอง จึงไม่มีมาตรฐานและขั้นตอนที่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ผลิตแต่ละคน โดยมีส่วนบรรจุเป็นสารระเบิดมาตรฐาน หรือสารระเบิดที่ผสมขึ้นเอง ใช้วัสดุที่หาได้ใกล้ตัว วัตถุระเบิดแสงเครื่องจึงไม่มีรูปแบบที่แน่นอน อีกทั้งไม่มีตัวอักษร หรือสัญลักษณ์ใด ๆ แสดงให้เห็นว่าเป็นวัตถุระเบิดอีกด้วย วัสดุที่ใช้บรรจุและห่อหุ้มวัตถุระเบิดแสงเครื่อง ส่วนใหญ่ที่นิยมใช้กัน มีดังนี้ (วันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2553 ปีที่ 20 ฉบับที่ 7256 ข่าวสดรายวัน; ฐานข้อมูลข่าวจังหวัดชายแดนภาคใต้)

- ประเภทโลหะ ได้แก่ กระจังนวมผง กระจังน้ำอัดลม กระจังใบชา ถังแก๊ส ถังดับเพลิง หรือวัสดุที่มีขนาดใหญ่พอจะใส่วัตถุระเบิด พร้อมทั้งเครื่องจุดและสะเก็ดระเบิดได้
- ประเภทหีบห่อ เช่น กระจังเป่าถั่ว กระจังเป่าเดินทาง กระจังเป่าหนีบ กล่องพัสดุ
- ประเภทวัสดุก่อสร้าง เช่น ท่อประปา ท่อเอสลอน
- ประเภทห่อหุ้ม เช่น ใส่ในถุงพลาสติกแล้วพันด้วยเทปกาวให้แน่น
- ประเภทวัสดุในครัวเรือน เช่น กระจังบอกลมไม้ไผ่ กระจังขี้ข้าวเหนียว หม้อ ถังใส่น้ำ

โดยระเบิดแสงเครื่องจะแบ่งออกไป 3 ประเภท (วันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2553 ปีที่ 20 ฉบับที่ 7256 ข่าวสดรายวัน; ฐานข้อมูลข่าวจังหวัดชายแดนภาคใต้, Robert *et al.*, 2008; Clinton *et al.*, 2010) คือ

- **วัตถุระเบิด (explosive devices)** ออกแบบเพื่อให้เป้าหมายบาดเจ็บเสียชีวิต หรือสร้างความชำรุดเสียหายกับทรัพย์สิน มีส่วนประกอบสำคัญคือ อุปกรณ์เริ่มจุด ซึ่งอาจจุดระเบิดได้หลายวิธีทั้งการบังคับด้วยมือ กรรมวิธีทางเคมี กลไก หรือไฟฟ้า เชื้อปะทุ ส่วนบรรจุที่เป็นสารระเบิด และอาจมีเปลือกหรือภาชนะบรรจุที่จะทำให้เกิดสะเก็ดระเบิด

- **วัตถุระเบิดความร้อนสูง (incendiary device)** ออกแบบเพื่อทำลายทรัพย์สิน โดยเกิดจากเพลิงไหม้ มีส่วนประกอบสำคัญคือ อุปกรณ์เริ่มจุด เชื้อปะทุ ส่วนบรรจุที่เป็นสารระเบิด และส่วนบรรจุเชื้อเพลิงความร้อนสูง

● **วัตถุระเบิด/เพลิงไหม้ (explosive/incendiary)** ออกแบบเพื่อใช้สังหารบุคคล ทำลายทรัพย์สินด้วยแรงระเบิดและการเผาไหม้ มีส่วนประกอบสำคัญคือ อุปกรณ์เริ่มจุดเชื้อปะทุ ส่วนบรรจุที่เป็นสารระเบิด และส่วนบรรจุเชื้อเพลิงความร้อนสูง

สำหรับการประกอบระเบิดแสวงเครื่องนั้นจะมีสูตรในการประกอบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่าต้องการระเบิดที่ให้อำนาจในการระเบิดแบบใด ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

● **การประกอบระเบิดแสวงเครื่องที่ให้อำนาจผลักดัน (high explosive lifting charge)** โดยสารระเบิดที่ให้อำนาจการผลักดัน ส่วนผสมหลักจะเป็นแอมโมเนียมไนเตรท และโพแทสเซียมไนเตรท ซึ่งจะอยู่ในรูปของปุ๋ยเคมีชนิดต่าง ๆ ลักษณะที่มองเห็นเป็นผลึกไม่มีสี ดูดความชื้นได้ดีจึงมีการเคลือบด้วยสารกันน้ำ ปุ๋ยที่จะนำมาเป็นส่วนผสมของระเบิดได้ จะต้องมีส่วนผสมของแอมโมเนียมไนเตรทหรือโพแทสเซียมไนเตรท อย่างน้อยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 33 เมื่อนำมาผสมกับสารผสมอื่นๆ (น้ำมันเครื่อง ผงอะลูมิเนียม ผงถ่าน) จะได้สารระเบิดแรงสูงที่ให้อำนาจผลักดันมีอัตราการปะทุ 2,000-5,000 เมตรต่อวินาที แต่สารระเบิดประเภทนี้ค่อนข้างเฉื่อย การจุดระเบิดจำเป็นต้องใช้เชื้อระเบิดหรือดินขยายระเบิดเสริมด้วย

● **การประกอบระเบิดแสวงเครื่องที่ให้อำนาจฉีกขาด (high explosive cutting charge)** สารที่ให้อำนาจฉีกขาดมีส่วนผสมหลัก คือ สารโพแทสเซียมคลอเรต โพแทสเซียมเปอร์คลอเรต และแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต มีลักษณะเป็นผลึกแข็งสีขาว เมื่อนำมาผสมกับวุ้น ไซ หรือซีเมนต์จะเป็นสารระเบิดแรงสูงที่มีประสิทธิภาพมาก เมื่อแข็งตัวจะเหมือนแท่งเทียน หรืออาจอยู่ในรูปของของเหลวคล้ายสบู่

ระเบิดแสวงเครื่อง จะเกิดการระเบิดเมื่อได้รับแรงกระทำหรือการกระตุ้น การทำงานของระเบิดแสวงเครื่องแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

● **ทำงานจากการกระทำของเหยื่อ** เป็นระเบิดแสวงเครื่องที่ต้องอาศัยบุคคล หรือสิ่งอื่น ๆ มากระทำเพื่อให้เกิดการระเบิด เช่น ยระเบิด เป็ดระเบิด หรือเหยียงระเบิด

- **การทำงานแบบบังคับชุด** เป็นระเบิดแสวงเครื่องที่สามารถควบคุมการทำงานได้จากระยะไกล (remote control) เช่น วิทยุรับ-ส่ง โทรศัพท์มือถือ ผู้ที่ประดิษฐ์ระเบิดแบบนี้จะต้องมีความรู้พื้นฐานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างดี

- **การทำงานแบบถ่วงเวลา** ใช้อุปกรณ์ตั้งเวลาการทำงาน เช่น ใช้นาฬิกา หรือวงจรนับแบบอิเล็กทรอนิกส์

- **การทำงานแบบอาศัยสภาพแวดล้อม** เช่น เมื่อโดนแสงสว่าง หรือมีเสียงดัง

เมื่อระเบิดแสวงเครื่องเกิดการระเบิดแล้ว จะทำให้เกิดสารหรือไอออนต่าง ๆ มากมาย เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม ลิเทียม สังกะสี เหล็ก สตรอนเทียม แมงกานีส แบเรียม โครเมียม และนิกเกิล เป็นต้น ซึ่งไอออนดังกล่าวมาจากสารประกอบที่นำมาใช้ทำวัสดุสำหรับประกอบระเบิดแสวงเครื่อง และจากสารที่นำมาใช้ประกอบระเบิด เมื่อเกิดการระเบิดสารเหล่านั้นจะเกิดการเผาไหม้ หรือเปลี่ยนรูปไป จะมีบางส่วนที่ตกค้างอยู่ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แอมโมเนียม ไนเตรท ไนไตรท์ คาร์บอน คาร์ไบด์ เปอร์คลอเรต เป็นต้น ในทางนิติวิทยาศาสตร์จะวิเคราะห์สารตกค้างเพื่อระบุหรือบ่งชี้ว่าสารที่นำมาใช้ประกอบระเบิดเป็นสารชนิดไหน และเป็นระเบิดชนิดใด เพื่อใช้เป็นหลักฐานในการดำเนินคดีกับผู้ที่กระทำความผิด และนำข้อมูลมารวบรวมเพื่อใช้เป็นสถิติของฐานข้อมูลชนิดของระเบิด จะได้มีมาตรการป้องกันไม่ให้เกิดการซื้อขาย หรือครอบครองสารดังกล่าวในปริมาณมากเกินไปจนความจำเป็น (Meng *et al.*, 2008; John *et al.*, 2008; Tyrrell *et al.*, 2011)

1.4 การตรวจเอกสาร

การตรวจวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์ สามารถทำได้หลายวิธี ในระยะแรกจะใช้วิธีการทดสอบสี (color test) โดยสังเกตสีที่ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างตัวอย่างกับน้ำยาที่ใช้ทดสอบ แต่วิธีนี้มีข้อด้อย คือ ผู้ทดสอบต้องมีความสามารถในการสังเกตสี และอาจจะให้ผลบวกปลอม (false positive) เมื่อนำไปเป็นหลักฐานในชั้นศาลอาจเกิดข้อโต้แย้งได้ (Amas และ Yallop 1966; Dicoski *et al.*, 2011) ส่วนเทคนิคที่เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้สำหรับการตรวจวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์ ได้แก่ แก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรเมตรี (Kollar, 1994; Fetterolt, 1995; Sharma และ Lahiri, 2000) คาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Wu *et al.*, 1995; Doyle และ McCord, 1995; Wang *et al.*, 2002; Morales *et al.*, 2004; Versari *et al.*, 2004; Pumera *et al.*, 2008; Sarazin *et al.*, 2010) โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (Kennedy และ Silva, 1997; EPA, 2004; Paull *et al.*, 2004; Guarav และ Rai, 2008; Perrett *et al.*, 2008) และไอออนโครมาโทกราฟี (Hagadon และ McCord, 1992; McCord *et al.*, 1994; Kolla *et al.*, 1994; Ding *et al.*, 1997; Alcazar *et al.*, 2003; Weiss, 2004; Meng, 2008)

เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี - แมสสเปกโตรเมตรี เป็นเทคนิคที่มีความไววิเคราะห์สูง สามารถวิเคราะห์สารที่มีปริมาณน้อยมากได้ แต่เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง และต้องอาศัยผู้ที่มีความชำนาญในการวิเคราะห์ นอกจากนี้เทคนิคดังกล่าว เหมาะสมกับการวิเคราะห์สารที่สามารถกลายเป็นไอหรือเป็นแก๊สได้ดี แต่สารระเบิดอินทรีย์เป็นสารที่มีความเสถียร กลายเป็นไอหรือแก๊สได้ยาก จึงไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์สารประกอบระเบิดอินทรีย์ (อมรสิทธิ์ และเพชรสม 2553; Burn *et al.*, 1998; John *et al.*, 2008) ส่วนเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการแยกสูง (Liu *et al.*, 2006) แต่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างยุ่งยากเทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สารระเบิด อินทรีย์จากระเบิดแสวงเครื่องได้ โดยมีการพัฒนาเทคนิคให้สามารถวิเคราะห์ไอออนได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม (Hutchinson *et al.*, 2007) และวิเคราะห์ไอออนบวกและไอออนลบได้ในเวลาเดียวกัน (Morales และ Vázquez 2004) แต่เทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส มีขีดจำกัดในการทำซ้ำและมีความไววิเคราะห์ต่ำ (Doyle และ McCord 1998) จึงไม่เหมาะสมกับงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ที่ต้องการความละเอียดสูง ใช้เวลาน้อย และสามารถทำซ้ำได้

เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์จากตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเบิดและที่ตกค้างจากการระเบิด เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีความไววิเคราะห์สูงและมีความจำเพาะต่อสารอินทรีย์ (Klassen *et al.*, 2002) โดยในปี 1983 เอฟบีไอ (The US Federal Bureau of Investigation; FBI) ใช้ไอออนโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างที่ตกค้างจากการระเบิด แต่ยังมีประสิทธิภาพต่ำ แยกได้ไม่ดี มีความไววิเคราะห์ต่ำ และใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน จึงพัฒนาเทคนิคดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการพัฒนาคอลัมน์ให้มีขนาดสั้นลง และสังเคราะห์เรซินที่ใช้สำหรับแลกเปลี่ยนไอออนพร้อมกับศึกษาตัวชะที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกไอออนและลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Tyrrell *et al.*, 2008) และนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์ที่ใช้ในการประกอบระเบิดแสงเครื่อง จากตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด แบ่งเป็นสารประกอบระเบิดไอออนลบ (anion) จำนวน 18 ชนิด (อะซิเตต เบนโซเอต โบรมेट คาร์บอเนต คลอเรต คลอไรด์ ครอไดรท์ โครเมต ไฮชเชเนต ฟลูออไรด์ ฟอสเฟต เปอร์คลอเรต ไนเตรท ไนไตรท์ ฟอสเฟต ซัลเฟต ไฮโอไฮชเชเนต และไฮโอซัลเฟต) ใช้เวลาวิเคราะห์ 44 นาที และสารประกอบระเบิดไอออนบวก (cation) จำนวน 12 ชนิด (แอมโมเนียม แบริียม แคลเซียม โครเมียม เอทิลแอมโมเนียม แมกนีเซียม แมงกานีส เมทิลแอมโมเนียม โพแทสเซียม โซเดียม สตรอนเตียม และซิงค์) ใช้เวลาวิเคราะห์ 18 นาที (John *et al.*, 2008) โดยทำการวิเคราะห์แยกครั้งกันระหว่างไอออนลบและไอออนบวก นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีให้สามารถวิเคราะห์ทั้งไอออนบวกและไอออนลบได้ในเวลาเดียวกัน เพื่อลดเวลาในการวิเคราะห์ลง โดยการต่อ anion-exchange และ cation - exchange คอลัมน์เข้าด้วยกัน เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์สารประกอบระเบิดไอออนบวก จำนวน 3 ชนิด (โซเดียม แอมโมเนียม และโพแทสเซียม) และสารประกอบระเบิดไอออนลบ จำนวน 5 ชนิด (ซัลเฟต ไนเตรท ครอไรด์ ไนเตรท และคลอเรต) จากตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด พบว่าใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 18 นาที (Meng *et al.*, 2008)

สำหรับงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ส่วนมากจะใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีเพื่อวิเคราะห์สารที่ตกค้างจากการระเบิด เช่น การวิเคราะห์หาโซเดียม แอมโมเนียม ไนไตรท์ ลิเทียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ คลอเรต ไนเตรท เปอร์คลอไรด์ ซัลเฟต ไฮโอไฮชเชเนต เปอร์คลอเรต เอทานอลามีน และโมโนเอทิลเอมีน จากท่อพีวีซีที่ได้หลังจากการระเบิด (Green *et al.*, 1985; McCord *et al.*, 1994; Doyle *et al.*, 2000; Johns *et al.*, 2008) นอกจากนี้ในตาราง

ที่ 1.1 ยังมีการใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างหลาย ๆ ชนิดที่เกี่ยวข้องหรือได้จากการระเบิด เพื่อพัฒนาเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์สารระเบิด วิเคราะห์หาสารตั้งต้นที่นำมาใช้สำหรับการประกอบระเบิด สารที่ตกค้างจากการระเบิด และที่สำคัญเพื่อเป็นข้อมูลหรือหลักฐานในการชั้นศาล

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี สำหรับการวิเคราะห์สารระเบิดอนินทรีย์ที่ใช้ในการประกอบระเบิดแสวงเครื่อง เนื่องจากเป็นเทคนิคที่มีความจำเพาะ สามารถทำได้ง่าย มีความไววิเคราะห์สูง มีราคาถูก ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น และสามารถวิเคราะห์ได้ในระดับที่ต่ำกว่าล้านในล้านส่วน (sub-parts per million levels) (อมรสิทธิ์ และเพชรสม 2553) โดยก่อนการวิเคราะห์จะใช้เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายสำหรับการสกัดสารระเบิดอนินทรีย์ จะเลือกใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากสารที่สนใจวิเคราะห์สามารถละลายได้ดีในน้ำ มีราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเทคนิคนี้เป็นเทคนิคมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างไม่ยุ่งยาก รวดเร็ว และมีราคาถูก (Walter และ Baumgarten, 1987)

ตารางที่ 1.1 สรุปการใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสำหรับการวิเคราะห์สารที่ตกค้างจากการระเบิด

ตัวอย่าง	ไอออนที่วิเคราะห์	คอลัมน์	ตัวชะ	ตัวตรวจวัด	อ้างอิง
ท่อน้ำพีริซี	โซเดียม แอมโมเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม ไนไตรท์ ไฮโอไซยะเนต ลิเทียม เปอร์คลอเรต โปแทสเซียม คลอไรด์ คลอเรต ซัลเฟต ไนเตรท โมโนเอทิลเอมีน และเอทานอลามีน	anion column 269- 001, Waters IC-Pak Anion HR, AG20/AS20, Interaction Ion 210 และ Vydac 302IC 4.6	โปแทสเซียมไฮโดรเจนแพทตะ- เลต กรดบอริก เซอเรียมซัลเฟต น้ำผสมเมทานอล และกรดไอ- โซแพทตะเลต	ค่าการนำไฟฟ้า และค่า การดูดกลืนแสงอัล- ตราไวโอเลต	Green <i>et al.</i> , 1985; McCord <i>et al.</i> , 1994; Doyle <i>et al.</i> , 2000; Johns <i>et al.</i> , 2008
สารระเบิดจากตัวระเบิด	ฟลูออไรด์ คลอไรด์ เปอร์คลอเรต โซเดียมเปอร์คลอเรต โปแทสเซียม ไนเตรท แคลเซียม แอมโมเนียม และเมทิลแอมโมเนียม	AG9/AS9, AG16/AS16 และ CG12/CS12	กรดไฮโดรคลอริก โซเดียมคาร์ บอ-เนตบัพเฟอร์ โซเดียมไฮ- ดรอกไซด์ และกรดมีเทนซัล- โฟนิก	ค่าการนำไฟฟ้า	Storey <i>et al.</i> , 1986; Burn <i>et al.</i> , 1998; Klassen <i>et al.</i> , 2002

ตารางที่ 1.1 สรุปการใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสำหรับการวิเคราะห์สารที่ตกค้างจากการระเบิด (ต่อ)

ตัวอย่าง	ไอออนที่วิเคราะห์	คอลัมน์	ตัวชะ	ตัวตรวจวัด	อ้างอิง
ดินดำ	โซเดียม แอมโมเนียม ไนไตรท์ คลอไรด์ โพแทสเซียม แคลเซียม ซัลเฟต คลอเรต เปอร์คลอเรต ไธโอซัลเฟต แมกนีเซียม ไนเตรท และไฮโอไซอะเนต	Waters IC-Pak Anion HR, NG1/NS1 Interaction Ion 210, Vydac 302IC 4.6 และ AG4/AS4	กรดไอโซแพทตะเลต เซอริยม- ซัลเฟต อะซิโตนไนเตรล์ โซเดียม- คาร์บอนเนตบัพเฟอร์ กรดบอริก และเตตระบิวทิลแอมโมเนียม- ไฮดรอกไซด์	ค่าการนำไฟฟ้า และค่าการ ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต	McCord <i>et al.</i> , 1994; Storey <i>et al.</i> , 1986; Doyle <i>et al.</i> , 2000
ดิน	โซเดียม โครเมต แอมโมเนียม ไฮโอ ซัลเฟต แมกนีเซียม ไฮอะเนต ฟลูออไรด์ คลอเรต เบนโซเอต คลอไรด์ ไนเตรท เปอร์คลอเรต คาร์บอนเนต โบรเมท อะซิเตท ไฮโอไซอะเนต ซัลเฟต และ ฟอสเฟต	anion column 269-001, CG12A/CS12A และ AG20/AS20	โพแทสเซียมไฮโดรเจนแพทตะ- เลต โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และกรดมีเทนซัลโฟนิก	ค่าการนำไฟฟ้า และค่าการ ดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ต	Green <i>et al.</i> , 1985; Klassen <i>et al.</i> , 2002; Johns <i>et al.</i> , 2008

ตารางที่ 1.1 สรุปการใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสำหรับการวิเคราะห์สารที่ตกค้างจากการระเบิด (ต่อ)

ตัวอย่าง	ไอออนที่วิเคราะห์	คอลัมน์	ตัวชะ	ตัวตรวจวัด	อ้างอิง
ANFO	แอมโมเนียม แมกนีเซียม เปอร์คลอเรต โซเดียม ฟลูออไรด์ คลอไรด์ คลอเรต โครเมต โรโอไฮเซนไนเตรท เบนโซเอต อะซิเตท ไฮเซนไนเตรท ซัลเฟต โบรเมต ฟอสเฟต และ คาร์บอเนต	AG9HC/AS9HC, Alltech Universal, CG12A/CS12A และ AG20/AS20	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต กรด แพทตะเลต และกรดมี- เทนซัลโฟนิก	ค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าการดูดกลืนแสงอัล- ตราไวโอเล็ต	Henderson <i>et al.</i> , 1992; Green <i>et al.</i> , 1985; Klassen <i>et al.</i> , 2002
ผ้า พลาสติก แกรนิต โลหะ แก้ว	ฟลูออไรด์ คลอไรด์ คลอเรต เบนโซเอต ฟอสเฟต ซัลเฟต ไนเตรท โรโอไฮเซนไนเตรท เอซีน และเปอร์คลอเรต	AS20	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	ค่าการนำไฟฟ้า	Tyrrell <i>et al.</i> , 2011

1.5 สมบัติของสารประกอบระเบิด

1.5.1 แอมโมเนียมไนเตรท (ammonium nitrate)

สูตรโครงสร้าง	
สมบัติ	
สูตรโมเลกุล	NH ₄ NO ₃
มวลโมเลกุล	80.05 กรัมต่อโมล
จุดเดือด	210 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	169.6 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.72 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ค่าการละลายน้ำ	150 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (20 องศาเซลเซียส)
ตัวทำละลาย	น้ำ อะซิโตน เมทานอล และอีเทอร์

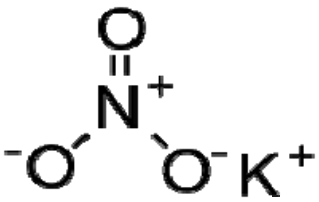
ที่มา : Dordrecht, 1991 (Chemical safety sheets : working safety with hazardous chemicals) และบัญชีวัตถุอันตราย 2554

1.5.2 แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต (ammonium perchlorate)

สูตรโครงสร้าง	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}=\text{Cl}-\text{O}^- \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \quad \text{NH}_4^+$
สมบัติ	
สูตรโมเลกุล	NH_4ClO_4
มวลโมเลกุล	117.49 กรัมต่อโมล
จุดเดือด	-
จุดหลอมเหลว	240 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	1.959 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ค่าการละลายน้ำ	20.85 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (20 องศาเซลเซียส)
ตัวทำละลาย	อีเทอร์ อะซิโตน และเมทานอล

ที่มา : Dordrecht, 1991 (Chemical safety sheets : working safety with hazardous chemicals) และบัญชีวัตถุอันตราย 2554

1.5.3 โพแทสเซียมไนเตรท (potassium nitrate)

สูตรโครงสร้าง	
สมบัติ	
สูตรโมเลกุล	KNO ₃
มวลโมเลกุล	101.01 กรัมต่อโมล
จุดเดือด	400 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	334 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	2.169 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ค่าการละลายน้ำ	360 กรัมต่อ 1,000 มิลลิลิตร (25 องศาเซลเซียส)
ตัวทำละลาย	เอทานอล กรีเซอรอล และแอมโมเนีย

ที่มา : Dordrecht, 1991 (Chemical safety sheets: working safety with hazardous chemicals) และบัญชีวัตถุอันตราย 2554

1.5.4 โพแทสเซียมเปอร์คลอเรต (potassium perchlorate)

สูตรโครงสร้าง	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{O}=\text{Cl}-\text{O}^- \text{ K}^+ \\ \\ \text{O} \end{array}$
สมบัติ	
สูตรโมเลกุล	KClO ₄
มวลโมเลกุล	138.55 กรัมต่อโมล
จุดเดือด	600 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	535 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	2.523 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ค่าการละลายน้ำ	1.5 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (25 องศาเซลเซียส)
ตัวทำละลาย	แอลกอฮอล์ และอีเทอร์

ที่มา : Dordrecht, 1991 (Chemical safety sheets : working safety with hazardous chemicals) และบัญชีวัตถุอันตราย 2554

1.6 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาและตรวจพิสูจน์สารประกอบระเบิดอนินทรีย์ที่เป็นผลิตภัณฑ์หรือสารตกค้างจากระเบิดแสวงเครื่องด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวกและไอออนลบ ของสารประกอบระเบิดอนินทรีย์ จากตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเบิดและที่ตกค้างจากการระเบิด เพื่อระบุหรือบ่งชี้ว่าสารที่นำมาใช้ประกอบระเบิดเป็นสารชนิดใด โดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์เกี่ยวกับระเบิด และสามารถนำข้อมูลไปเป็นหลักฐานในชั้นศาลได้

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 สารเคมี

- 2.1.1 สารละลายมาตรฐานของลิเทียม โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม (บริษัท Dionex, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.1.2 สารละลายมาตรฐานของฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรไมด์ ไนเตรท ไนไตรท์ ฟอสเฟส และซัลเฟต (บริษัท Dionex, ประเทศสหรัฐอเมริกา)
- 2.1.3 แอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3 , AR grade, บริษัท LAB-SCAN, ประเทศไทย)
- 2.1.4 แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต (NH_4ClO_4 , AR grade, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.5 น้ำปราศจากไอออน (18.2 มิลลิโอม, บริษัท ELGA, ประเทศอังกฤษ)
- 2.1.6 กรดไนตริก (HNO_3 , AR grade, บริษัท LAB-SCAN, ประเทศไทย)
- 2.1.7 โพแทสเซียมเปอร์คลอเรต (KClO_4 , AR grade, บริษัท Merck, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.8 โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl , AR grade, บริษัท UNIVAG, ประเทศออสเตรเลีย)
- 2.1.9 โซเดียมไนเตรท (NaNO_3 , AR grade, บริษัท Ajax finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 2.1.10 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl , AR grade, บริษัท LAB-SCAN, ประเทศไทย)
- 2.1.11 โซเดียมเอซีน (NaN_3 , AR grade, บริษัท Ajax finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 2.1.12 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3 , AR grade, บริษัท Ajax finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 2.1.13 โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3 , AR grade, บริษัท Ajax finechem, ประเทศออสเตรเลีย)
- 2.1.14 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , AR grade, บริษัท Ajax finechem, ประเทศออสเตรเลีย)

2.1.15 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4 , AR grade, บริษัท LAB-SCAN, ประเทศไทย)

2.1.16 ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$, AR grade, บริษัท UNILAB, ประเทศออสเตรเลีย)

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

2.2.1 เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatography) รุ่น DX 500 (บริษัท Dionex, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.2.2 ตัวตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้า (conductivity detector) รุ่น CD 25 (บริษัท Dionex, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.2.3 ปั๊ม (pump) รุ่น IP 25 (บริษัท Dionex, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.2.4 คอลัมน์ (column) ชนิด CS12A สำหรับแยกไอออนบวก และ AS12A สำหรับแยกไอออนลบ (บริษัท Dionex, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.2.5 การ์ดคอลัมน์ (guard column) ชนิด CG12A สำหรับแยกไอออนบวก และ AG12A สำหรับแยกไอออนลบ (บริษัท Dionex, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.2.6 Suppressor column ชนิด CSRS สำหรับแยกไอออนบวก และ ASRS สำหรับแยกไอออนลบ (บริษัท Dionex, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.2.7 เครื่อง Ultrasonic bath รุ่น AS7240AT Ultrasonic Cleaner (บริษัท Automatic Science (Tianjin) Instrument co., TLD, ประเทศจีน)

2.2.8 ชุดกรองตัวทำลายอินทรีย์ (บริษัท Alltec, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2.2.9 เครื่องวัดพีเอช (บริษัท Mettler Toledo Inlab[®] Expert Pro pH, ประเทศจีน)

2.2.10 เครื่องซั่ง 4 ตำแหน่ง (บริษัทเมริทเทค ประเทศไทย)

2.2.11 เครื่องหมุนเหวี่ยง รุ่น EBA 20 (บริษัท Hettich, ประเทศเยอรมัน)

2.3 อุปกรณ์

2.3.1 ไมโครปิเปต ขนาด 10, 100, 200, 1,000 และ 5,000 ไมโครลิตร (บริษัท Eppendorf, ประเทศเยอรมัน)

2.3.2 ปิเปตขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร (บริษัท Pregcolor, ประเทศเยอรมัน)

2.3.3 ขวดเกลียวฝาปิด ขนาด 5 มิลลิลิตร

2.3.4 หลอดทดลอง ขนาด 15 มิลลิลิตร

2.3.5 ไนลอนเมมเบรน (nylon membrane) ที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร (บริษัท Whatman, ประเทศอังกฤษ)

2.3.6 เครื่องแก้วที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ เช่น ปีกเกอร์ ขวดวัดปริมาตร กระจกบอ ตวง กระจกนาฬิกา แท่งแก้ว หลอดทดลอง และขวดแก้วเกลียว เป็นต้น

2.4 ตัวอย่างจริง

ตัวอย่างสารประกอบระเบิดก่อนการระเบิดจากจังหวัดยะลา 4 ตัวอย่าง และ ตัวอย่างดินหลังจากการระเบิดในจังหวัดยะลา 9 ตัวอย่าง ปัตตานี 8 ตัวอย่าง และนราธิวาส 4 ตัวอย่าง ได้รับความอนุเคราะห์จาก ศูนย์ข้อมูลวัตถุระเบิด ศูนย์ปฏิบัติการสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ส่วนหน้า (Bomb Data Centre, Forward Operation Centre of Royal Thai Police)

2.5 สารละลายมาตรฐาน (standard solution)

เตรียมสารละลายมาตรฐานผสมของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์-คลอเรต ที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งแอมโมเนียมไนเตรทและโปแทสเซียม ไนเตรท อย่างละ 0.1000 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามที่ต้องการด้วยน้ำปราศจากไอออน และเก็บไว้ที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.6 การเตรียมตัวชะ (eluent preparation)

ตัวชะหรือเฟสเคลื่อนที่ ทำหน้าที่พาสารตัวอย่างหรือไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ให้เคลื่อนที่เข้าสู่คอลัมน์ที่มีเฟสคงที่บรรจุอยู่ เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สารประกอบระเบิด ไอออนบวกและไอออนลบแยกครั้งกัน จึงจำเป็นต้องใช้ตัวชะต่างชนิดกัน โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวชะสำหรับวิเคราะห์ไอออนบวก และโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์เป็นตัวชะสำหรับวิเคราะห์ไอออนลบ (Dionex, 2010)

2.6.1 การเตรียมตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก (แอมโมเนียมและโพแทสเซียม)

คอลัมน์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก คือ CS12A มีเฟสคงที่เป็นหมู่คาร์บอกซิลเลต (carboxylate functionalized) ซึ่งถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้กรดมีเทนซัลโฟนิก และกรดซัลฟิวริกเป็นตัวชะ แต่กรดมีเทนซัลโฟนิกมีพิษสูงกว่ากรดซัลฟิวริก (Weiss, 2004; Dionex, 2010; Delaunay *et al.*, 2010) ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนียมและโพแทสเซียม

เตรียมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ โดยปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 14.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ซึ่งจะเก็บไว้เป็นความเข้มข้นตั้งต้น (stock solution) แต่ตัวชะที่ใช้จริงจะใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ เตรียมได้โดย

ปิเปตสารมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.50 โมลาร์ ปริมาตร 22.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน กรองด้วยไนลอนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร และกำจัดออกซิเจน (degas) ด้วยเครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 20 นาที

2.6.2 การเตรียมตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ (ไนเตรทและเปอร์คลอเรต)

คอลัมน์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ คือ AS12A มีเฟสคงที่เป็นหมู่ควอเทอนารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium groups) ซึ่งถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์เป็นตัวชะ (Dionex, 2010)

เตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมคาร์บอเนต 26.49 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร และเตรียมโซเดียมโบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมโบคาร์บอเนต 21.00 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นจึงเตรียมตัวชะที่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ของโซเดียมคาร์บอเนต โดยปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ ปริมาตร 5.40 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมโบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ ปริมาตร 0.60 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน วัดและปรับพีเอชให้ได้ตามที่ต้องการ กรองด้วยไนลอนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร และกำจัดออกซิเจน (degas) ด้วยเครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 20 นาที (Dionex, 2010)

2.7 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารประกอบระเบิดอนินทรีย์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

การวิเคราะห์สารประกอบระเบิดอนินทรีย์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีจำเป็นต้องมีการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ เพื่อให้เทคนิคที่ใช้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สูงสุด สัญญาณการตอบสนองสูงสุด (high response) ประสิทธิภาพในการแยกดี (good resolution) ลักษณะของพีคมีความสมมาตร (symmetry) และใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น (short analysis time) ปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย อัตราไหลของตัวชะ (eluent flow rate) ความเข้มข้นของตัวชะ (concentration of eluent) และพีเอชของตัวชะ (pH of eluent)

สำหรับงานวิจัยนี้ การวิเคราะห์ที่ใช้ไม่สามารถวิเคราะห์ไอออนบวกและไอออนลบในคราวเดียวกันได้ จำเป็นต้องมีการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของตัวชะที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ไอออน

แต่ละกลุ่ม โดยใช้สารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ความเข้มข้น 50.00 ไมโครกรัมต่อลิตร และวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

การศึกษาแต่ละปัจจัยนั้น จะศึกษาโดยการวิเคราะห์สารมาตรฐานความเข้มข้น 50.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 ไมโครลิตร จำนวนทำซ้ำ 5 ครั้ง แล้วพิจารณาที่อัตราไหล ความเข้มข้น และพีเอชของตัวชะ ที่ให้สัญญาณการตอบสนองสูงที่สุด พีคที่ได้มีความสมมาตร และใช้เวลาในวิเคราะห์น้อยที่สุดเป็นปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ และในการศึกษาจะทำการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ศึกษาที่ละปัจจัย และคงปัจจัยอื่น ๆ ไว้ เมื่อได้ปัจจัยที่เหมาะสมแล้วจะใช้ปัจจัยนั้นสำหรับการศึกษาปัจจัยอื่นต่อไป

2.7.1 อัตราไหลของตัวชะ (eluent flow rate)

ตัวชะที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ กรดซัลฟิวริกสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวกและโซเดียมคาร์บอเนตบัพเฟอร์สำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ ทำการศึกษาที่อัตราไหลเดียวกันสำหรับการวิเคราะห์ไอออนทั้งสองกลุ่ม คือ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00, 2.25 และ 2.50 มิลลิลิตรต่อนาที นำข้อมูลที่ได้จากโครมาโทแกรมที่แต่ละอัตราไหลมาคำนวณหาจำนวนเพลท (N, plate number) และความกว้างของเพลทสมมุติทางทฤษฎี (HETP, height equivalent to a theoretical plate) จากนั้นจึงเขียนกราฟแวน ดีมเตอร์ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า HETP กับอัตราไหลของตัวชะ อัตราไหลที่เหมาะสมจะเป็นอัตราไหลที่ให้ค่า HETP ต่ำที่สุด

2.7.2 ความเข้มข้นของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก (concentration of eluent for cations analysis)

ศึกษาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก สำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนียมและโปแทสเซียม โดยความเข้มข้นที่มีการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้อและเป็นความเข้มข้นที่บริษัท Dionex กำหนดให้ใช้ได้สำหรับคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองนี้ อยู่ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 3.00 ถึง 11.00 มิลลิโมลาร์ (Christopher, 1996; Matthew, 2003; Dionex, 2010) พิจารณาความเข้มข้นที่เหมาะสมจากความเข้มข้นที่ให้สัญญาณการตอบสนองสูงสุด

2.7.3 พีเอชของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ (pH of eluent for anions analysis)

ศึกษาพีเอชของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ สำหรับการวิเคราะห์ไนเตรทและเปอร์คลอเรต โดยพีเอชที่มีการศึกษาในงานวิจัยก่อนหน้านี้และเป็นพีเอชที่บริษัท Dionex กำหนดให้ใช้ได้สำหรับคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองนี้ อยู่ในช่วงพีเอชตั้งแต่ 9.5 ถึง 11.0 (Christopher, 1996; Matthew, 2003; Dionex, 2010) พิจารณาพีเอชที่เหมาะสมจากพีเอชที่ให้สัญญาณการตอบสนองสูงสุด

2.8 ศึกษาการใช้ได้ของวิธี (validation method)

การพิสูจน์การใช้ได้ของวิธีเพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์ เป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจริงได้ โดยปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเที่ยง (precision) ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear dynamic range) ความแม่นยำ (accuracy) ร้อยละการได้กลับคืน (recovery) ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection; LOD) และขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (limit of quantification; LOQ)

2.8.1 ความเที่ยงของเครื่องมือ (instrument precision)

ศึกษาความสามารถในการทำซ้ำของวิธีวิเคราะห์ภายใต้ปัจจัยปกติ ซึ่งปกติความเที่ยงจะรายงานเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard deviation, %RSD) ที่จำนวนครั้งใด ๆ ทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 50.00 ไมโครกรัมต่อลิตร จากนั้นนำเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ (retention time) และพื้นที่ใต้พีค (peak area) ที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้ง มาคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

2.8.2 ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear dynamic range)

ศึกษาช่วงความเข้มข้นของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ให้ค่าการตอบสนองเชิงเส้น โดยการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โพแทสเซียม

ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ถึง 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นละ 5 ครั้ง จากนั้นเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณการตอบสนองกับความเข้มข้น ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ยอมรับได้ ต้องมีค่าสหสัมพันธ์เชิงปริมาณ (correlation coefficient; R^2) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.99 (Miller และ Miller, 2000)

2.8.3 ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection; LOD) และขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (limit of quantification; LOQ)

ศึกษาโดยการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ถึง 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพิจารณาขีดจำกัดการตรวจวัดจากความเข้มข้นที่ให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน มากกว่าหรือเท่ากับสาม ($S/N \geq 3$) และขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณจากความเข้มข้นที่ให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) (URACHEM, 1998; Coleman *et al.*, 2001)

2.9 การเตรียมตัวอย่าง (sample preparation)

การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบที่ได้ก่อนและหลังการระเบิด ใช้เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) ในการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ จะใช้ดินมาตรฐาน (blank soil) และหลังจากได้สถานะที่เหมาะสม จะนำสถานะที่ได้ใช้สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง

การศึกษากการเตรียมตัวอย่างทำได้โดยใช้สารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ความเข้มข้น 100.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ลงในดินมาตรฐาน 5.0000 กรัม สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน นำไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath เพื่อแยกไอออนที่สนใจวิเคราะห์ออกจากดินมาอยู่ในสารละลาย หมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เพื่อให้ดินและสารละลายแยกออกจากกัน กรองด้วยไนลอนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

2.9.1 ศึกษาเวลาที่ใช้สำหรับการเตรียมดินมาตรฐาน

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมดินมาตรฐาน (blank soil) จากตัวอย่างดินในอำเภอเมือง จังหวัดยะลา เป็นบริเวณที่ใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดเหตุการณ์ระเบิด เพื่อเป็นการจำลองเหตุการณ์ให้ใกล้เคียงกับตัวอย่างจริงที่ใช้วิเคราะห์ โดยเติมสารมาตรฐานไอออนทั้ง 4 ชนิด ลงในดิน เพื่อให้ดินดูดซับไอออนก่อนทำการสกัด เนื่องจากเมื่อเกิดการระเบิดแล้วสารที่สนใจวิเคราะห์ และสารอื่น ๆ อาจจะถูกดูดซับอยู่กับดินบริเวณที่เกิดการระเบิด การดูดซับจะมากจะน้อยขึ้นอยู่กับเวลาหลังจากระเบิด ดังนั้นเวลาหลังจากที่เกิดการระเบิดจึงมีความสำคัญต่อการดูดซับอยู่บนผิวดินของสารที่สนใจวิเคราะห์ ซึ่งเวลาในการดูดซับจะมีผลต่อการสกัด ถ้านำตัวอย่างดินหลังจากที่ระเบิดมาสกัดทันที จะทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสารที่วิเคราะห์ยังอยู่ที่ผิวดิน ยังไม่ได้ดูดซับเป็นเนื้อเดียวกับดิน แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถทำอย่างนั้นได้ โดยทั่วไปจะเก็บตัวอย่างได้เมื่อเวลาผ่านไปนานพอสมควร ทำให้สารที่ได้จากการระเบิดถูกดูดซับอยู่กับดินได้ดีขึ้น เมื่อนำมาสกัดจะทำให้สกัดได้น้อยลง ดังนั้นเวลาในการดูดซับอยู่กับดินของสารที่สนใจวิเคราะห์จึงมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการสกัด เพื่อเป็นการจำลองเหตุการณ์ให้คล้ายกับตัวอย่างจริง จึงจำเป็นต้องศึกษาเวลาในการดูดซับอยู่กับดินของสารที่สนใจวิเคราะห์ โดยการเติมสารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ความเข้มข้น 100.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ลงในดินมาตรฐาน 5.0000 กรัม ศึกษาที่เวลา 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 และ 32 ชั่วโมง พิจารณาจากเวลาที่ใกล้เคียงเหตุการณ์จริงมากที่สุดที่สามารถเก็บตัวอย่างได้หลังจากที่เกิดการระเบิด เป็นเวลาน้อยที่สุดและให้ร้อยละการได้กลับคืนสูงที่สุด

2.9.2 ปัจจัยที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่าง (optimization of sample preparation)

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด จะใช้ตัวอย่างดินที่เตรียมได้จากข้อ 2.9.1 ปริมาณ 5.0000 กรัม (Alexande, 1977; Peck, 1988; EPA, 2003)

สำหรับการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการสกัด ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาตรของตัวสกัด เวลาในการสกัด และเวลาในการหมุนเหวี่ยง ซึ่งศึกษาปัจจัยละ 5 ครั้ง นำสารละลายที่ได้กรองด้วยไนลอนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยศึกษาที่ละปัจจัยและคงปัจจัยอื่นไว้ เมื่อได้ปัจจัยที่เหมาะสมแล้วจะใช้ปัจจัยนั้นสำหรับการศึกษาปัจจัยอื่นต่อไป

2.9.2.1 ปริมาตรตัวสกัด (solvent volume)

ศึกษาปริมาตรของตัวสกัดโดยการเติมสารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียมโพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ความเข้มข้น 100.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ลงไปในดินมาตรฐาน 5.0000 กรัม ที่ไว้ตามระยะเวลาจากการศึกษาในข้อ 2.9.1 สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน โดยปริมาตรของน้ำปราศจากไอออนที่ใช้ในการศึกษา คือ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00, 8.00, 9.00 และ 10.00 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกไอออนที่สนใจวิเคราะห์ออกจากดินมาอยู่ในสารละลาย หมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้ดินและสารละลายแยกออกจากกัน นำสารละลายไปกรองด้วยไนลอนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ ปริมาตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดจะพิจารณาจากปริมาตรที่ให้สัญญาณการตอบสนองสูงสุด

2.9.2.2 เวลาสำหรับการสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath (sonication time)

สำหรับการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath ทำได้โดยเติมสารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 100.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ลงไปในดินมาตรฐาน 5.0000 กรัม ที่ไว้ตามระยะเวลาจากการศึกษาในข้อ 2.9.1 สกัดน้ำปราศจากไอออน ใช้ปริมาตรที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2.9.2.1 เขย่าเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที เพื่อแยกไอออนที่สนใจวิเคราะห์ออกจากดินมาอยู่ในสารละลาย หมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 3 นาที เพื่อให้ตัวอย่างดินและสารละลายแยกออกจากกัน นำสารละลายไปกรองด้วยไนลอนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟ เวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดด้วยการสั่นด้วยเครื่อง ultrasonic bath จะพิจารณาจากเวลาที่ให้สัญญาณการตอบสนองสูงสุด และใช้เวลาให้น้อยที่สุด

2.9.2.3 เวลาในการหมุนเหวี่ยง (centrifugation time)

ศึกษาเวลาที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยงเพื่อให้ดินกับสารละลายแยกออกจากกัน โดยการเติมสารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โพลีแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 100.00 ไมโครลิตรต่อลิตร ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ลงไปในดินมาตรฐาน 5.0000 กรัม ที่ไว้ตามระยะเวลาจากการศึกษาในข้อ 2.9.1 สกัดน้ำปราศจากไอออน โดยใช้ปริมาตรที่ได้จากการศึกษาในข้อ 2.9.2.1 เขย่าเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath โดยใช้เวลาที่ได้จากข้อ 2.9.2.2 หมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1, 3, 5, 7 และ 10 นาที เพื่อให้ตัวอย่างดินและสารละลายแยกออกจากกัน นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยไนลอนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี เวลาที่เหมาะสมที่สุดในการหมุนเหวี่ยงจะพิจารณาจากเวลาที่ให้สัญญาณการตอบสนองสูงสุด และใช้เวลาน้อยที่สุดเป็นเวลาสำหรับการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที

2.9.3 ร้อยละการได้กลับคืน (recovery)

เมื่อได้ปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างแล้ว นำปัจจัยทั้งหมดมาศึกษา ร้อยละการได้กลับคืนของการวิเคราะห์ โดยการเติมสารละลายมาตรฐานของแอมโมเนียม โพลีแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 30.00, 50.00, 70.00, 100.00, 1,000.00 และ 10,000.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ลงไปในมาตรฐาน 5.0000 กรัม ที่ไว้เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายมาตรฐานถูกดูดซับอยู่กับดิน สกัดด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้ดินและน้ำผสมกัน หลังจากนั้นจึงนำไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกไอออนที่สนใจวิเคราะห์ออกจากดินมาอยู่ในสารละลาย จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ดินและสารละลายแยกออกจากกัน นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยไนลอนเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่อง ไอออนโครมาโทกราฟีและคำนวณหาร้อยละการได้กลับคืนโดยคำนวณจากสูตร ดังนี้ (URACHEM, 1998)

$$\text{ร้อยละการได้กลับคืน} = \frac{C_1 - C_2}{C_3} \times 100$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จากดินที่เต็มสารมาตรฐาน

C_2 คือ ความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้จากดินที่ไม่เต็มสารมาตรฐาน

C_3 คือ ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

ร้อยละการได้กลับคืนที่ยอมรับได้อยู่ในช่วง 80 ถึง 120 (ASTM, 1997)

2.10 การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง (real samples analysis)

วิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบระเบิดที่ได้ก่อนการระเบิด และตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ จำนวน 25 ตัวอย่าง

สำหรับการเตรียมตัวอย่างสารประกอบระเบิดที่ได้ก่อนการระเบิด จะใช้ปริมาณตัวอย่าง 0.0100 กรัม และตัวอย่างดินที่ได้หลังจากที่ระเบิด จะใช้ปริมาณตัวอย่าง 5.0000 กรัม (Peck, 1988; EPA, 2003; Dionex, 2012) สกัดและเตรียมตัวอย่างด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ศึกษาในหัวข้อ 2.9.2 และวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

2.10.1 ผลของตัวรบกวน (interference effect)

เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เป็นตัวอย่างสารประกอบระเบิดที่ได้ก่อนการเปิด และตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด ซึ่งจะมีไอออนที่ไม่ได้สนใจวิเคราะห์อยู่ อาจจะมาจากรวมนำมาใช้ในการประกอบระเบิดชนิดอื่น จากวัสดุที่นำมาใช้บรรจุสารประกอบระเบิด และจากดิน เป็นต้น โดยจะมีแร่ธาตุหรือไอออนต่าง ๆ ผสมอยู่เป็นจำนวนมาก (Nelson, 2005; Arienzo *et al.*, 2009; Coyne และ Thompson, 2006; Hutchinson *et al.*, 2007; Johns *et al.*, 2008; Klassen *et al.*, 2002; McCord *et al.*, 1994; Meng *et al.*, 2008; Pumera *et al.*, 2008; Tyrrell *et al.*, 2011) ซึ่งสารหรือไอออนเหล่านี้อาจเป็นตัวรบกวนการวิเคราะห์ ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาผลของตัวรบกวนต่อการวิเคราะห์ ตัวรบกวนและความเข้มข้นที่ศึกษาดังสรุปในตารางที่ 2.1 สำหรับความเข้มข้นที่ศึกษานั้น เป็นระดับความเข้มข้นที่พบในตัวอย่างที่วิเคราะห์ จึงเลือกใช้ความเข้มข้นดังกล่าวสำหรับการศึกษาผลของตัวรบกวน โดยพิจารณาจากโครมาโทแกรมของสัญญาณของ

ไอออนลบกว่าข้อบกพร่องหรือข้อบกพร่องสัญญาณของไอออนที่วิเคราะห์หรือไม่ ถ้าสัญญาณของตัวบวกรวมไม่ข้อบกพร่องหรือข้อบกพร่องสัญญาณของไอออนที่วิเคราะห์ แสดงว่าตัวบวกรวมไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ แต่ถ้าตัวบวกรวมข้อบกพร่องหรือข้อบกพร่องสัญญาณของไอออนที่วิเคราะห์ แสดงว่าตัวบวกรวมมีผลต่อการวิเคราะห์ จำเป็นต้องกำจัดผลของตัวบวกรวมเพื่อไม่ให้ข้อบกพร่องหรือข้อบกพร่องสัญญาณของไอออนที่วิเคราะห์ เช่น อาจลดอัตราไหลของตัวชะหรืออาจกำจัดออกในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่าง เป็นต้น (URACHEM, 1998)

ตารางที่ 2.1 ชนิดและความเข้มข้นของตัวบวกรวมที่พบในตัวอย่างดินและวัตถุระเบิด

ตัวบวกรวม	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ตัวบวกรวม	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
แอมโมเนียม	20.00	เอซีน	4.00
โพแทสเซียม	90.00	โบรมีน	10.00
โซเดียม	30.00	คาร์บอน	3.00
แบเรียม	2.00	คลอรีน	14.00
แคลเซียม	15.00	ไฮโดรเจน	15.00
แมงกานีส	8.00	ฟลูออไรด์	5.00
แมกนีเซียม	20.00	ไนโตรเจน	10.00
โครเมียม	1.00	ฟอสเฟต	15.00
ซิงค์	5.00	เปอร์คลอเรต	8.00
สตรอนเตียม	3.00	ไฮโดรเจน	1.00
อะซีเตต	1.00	ไฮโดรซัลเฟต	10.00

ที่มา : สถานีพัฒนาที่ดินจังหวัดยะลา สถานีพัฒนาที่ดินจังหวัดนราธิวาส สถานีพัฒนาที่ดินจังหวัดปัตตานี Office of Soil Survey and Land Use Planning, Land Development Department; Coyne และ Thompson, 2006; Hutchinson *et al.*, 2007; Johns *et al.*, 2008; Klassen *et al.*, 2002; McCord *et al.*, 1994; Meng *et al.*, 2008; Pumera *et al.*, 2008; Tyrrell *et al.*, 2011

2.10.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis)

การวิเคราะห์ตัวอย่างสารประกอบระเบิดที่ได้ก่อนการระเบิดและตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด เพื่อบ่งชี้ว่ามีสารหรือไอออนที่สนใจวิเคราะห์หรือไม่ โดยการเปรียบเทียบเวลาที่ถูกหน่วงอยู่ในคอลัมน์ของสารที่สนใจวิเคราะห์กับสารมาตรฐาน ถ้าเวลาที่ถูกหน่วงอยู่ในคอลัมน์ของสารที่สนใจวิเคราะห์ที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง มีค่าเท่ากับเวลาที่ถูกหน่วงอยู่ในคอลัมน์ของสารมาตรฐาน สามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างจริงมีสารที่สนใจวิเคราะห์อยู่ (อมรสิทธิ์ และเพชรสม 2553; URACHAM, 1998)

2.10.3 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis)

วิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบระเบิดอนินทรีย์ที่ได้ก่อนการระเบิดและตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด โดยการใช้กราฟมาตรฐานที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 2.8.2 การหาปริมาณของสารหรือไอออนที่สนใจวิเคราะห์ทำได้โดยการนำพื้นที่ใต้พีคที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างจริงเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน จะได้ความเข้มข้นของไอออนที่สนใจวิเคราะห์ ถ้าความเข้มข้นของสารที่สนใจวิเคราะห์มีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ) แต่มากกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) สามารถวิเคราะห์ได้แต่ไม่สามารถหาปริมาณได้ (detected หรือ not determination) และถ้ามีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) จะไม่สามารถวิเคราะห์ได้ (non detectable; ND) (อมรสิทธิ์ และเพชรสม, 2553; URACHAM, 1998)

บทที่ 3

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

3.1 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารประกอบระเบิดอนินทรีย์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

3.1.1 อัตราไหลของตัวชะ (eluent flow rate)

อัตราไหลที่เหมาะสมที่สุดของตัวชะ หาได้จากการนำข้อมูลที่ได้จากโครมาโทแกรม (รูปที่ 3.1) ที่อัตราไหลต่าง ๆ มาเขียนกราฟระหว่างค่า HETP (height equivalent to a theoretical plate) กับอัตราไหลของตัวชะ หรือที่เรียกว่า แวน ดีมเตอร์ (van Deemter's plot) (รูปที่ 3.2) โดยค่า HETP สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{HETP} = L/N \quad 3.1$$

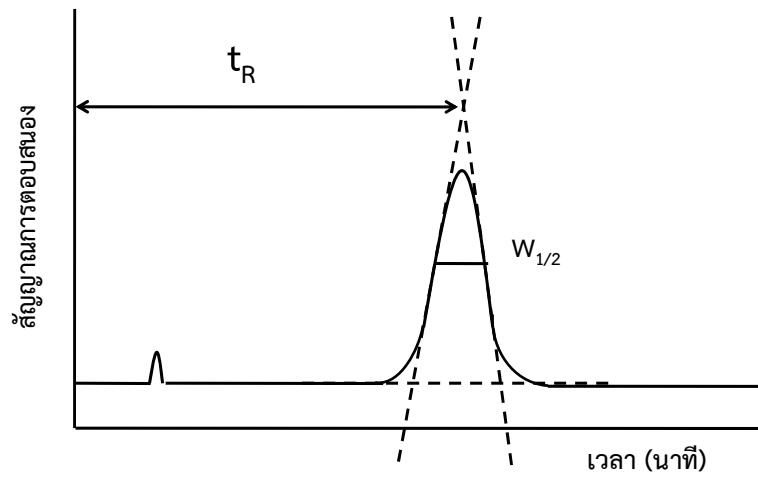
เมื่อ L คือ ความยาวของคอลัมน์

N คือ จำนวนเพลทที่มีอยู่ในคอลัมน์นั้น ๆ โดย N หาได้จาก

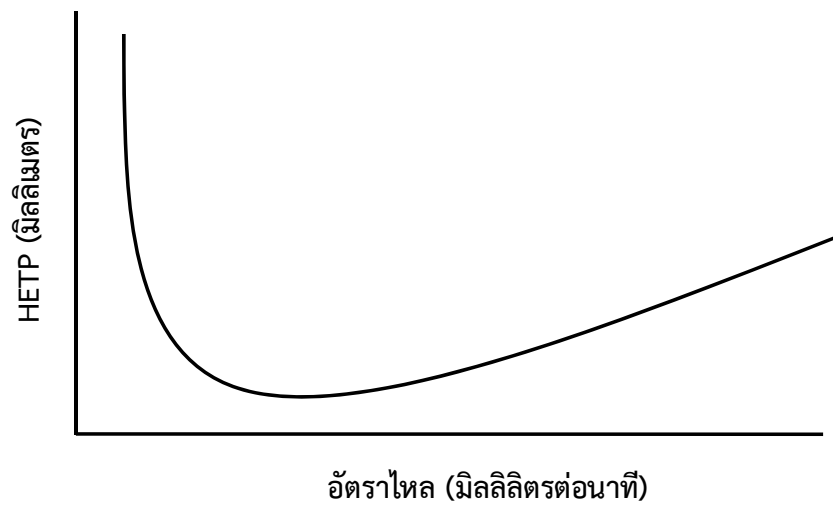
$$N = 5.54 (t_R/W_{1/2})^2 \quad 3.2$$

เมื่อ t_R คือ เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์

$W_{1/2}$ คือ ความกว้างของพีคที่ครึ่งหนึ่งของความสูง



รูปที่ 3.1 โครมาโทแกรมที่ได้จากเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

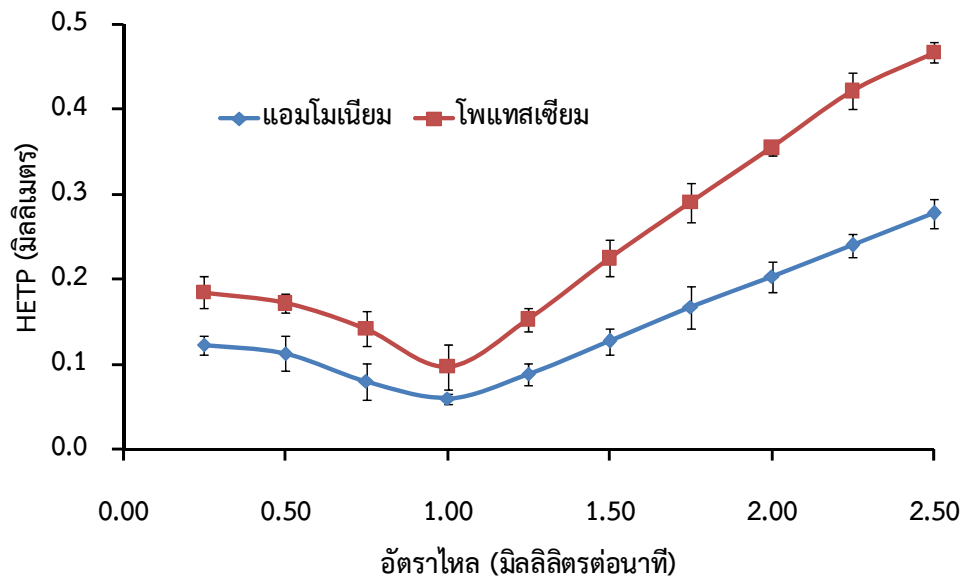


รูปที่ 3.2 แวน ดิมเตอร์ พล็อต

จากนั้นนำค่าที่ได้จากโครมาโทแกรมที่อัตราไหลต่าง ๆ ไปคำนวณหาค่า N ดังสมการที่ 3.2 นำค่า N ที่ได้ไปคำนวณหาค่า HETP ในสมการที่ 3.1 ในการทดลองนี้จะใช้คอลัมน์ ยาว 250 มิลลิเมตร และ 200 มิลลิเมตร สำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวกและไอออนลบ ตามลำดับ จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 แสดงเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์และค่า HETP ของแอมโมเนียม โพลแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต จากการศึกษาอัตราไหลที่เหมาะสมของตัวชะ โดยการฉีด สารมาตรฐานของแอมโมเนียม โพลแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 50.00 ไมโครกรัมต่อลิตร อัตราไหลที่เหมาะสมที่สุดของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์โพลแทสเซียมและ แอมโมเนียม คือ 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที (รูปที่ 3.3) และอัตราไหลที่เหมาะสมที่สุดของตัวชะ สำหรับการวิเคราะห์ไนเตรท และเปอร์คลอเรต คือ 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที (รูปที่ 3.4) เนื่องจากเป็นอัตรา ไหลที่ให้ค่า HETP ต่ำที่สุด ซึ่งเป็นอัตราไหลที่คอลัมน์มีประสิทธิภาพในการแยกดีที่สุด

ตารางที่ 3.1 HETP และเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ของแอมโมเนียมและโพลแทสเซียมที่อัตราไหล ต่าง ๆ

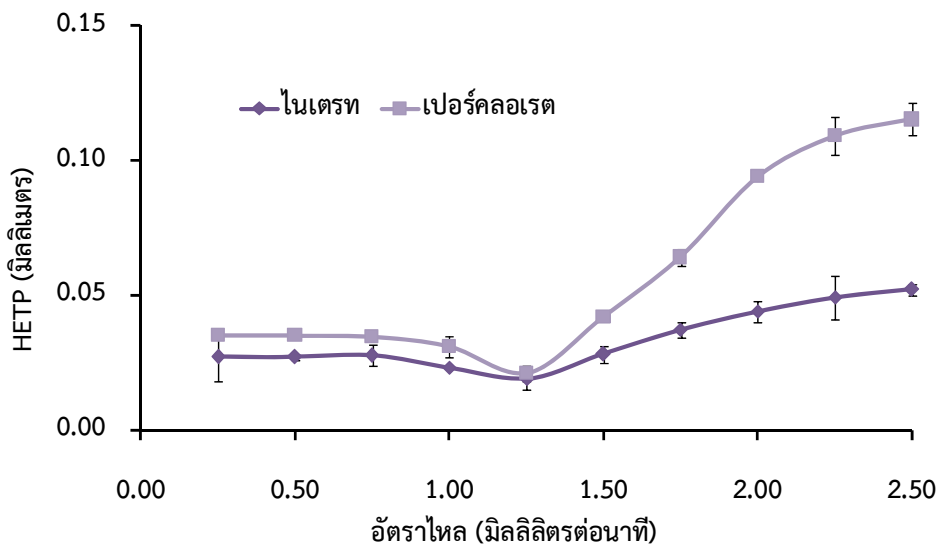
อัตราไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)	เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ (นาที)		HETP (มิลลิเมตร)	
	แอมโมเนียม	โพลแทสเซียม	แอมโมเนียม	โพลแทสเซียม
0.25	10.50 ± 0.01	14.80 ± 0.02	0.12 ± 0.01	0.19 ± 0.02
0.50	7.30 ± 0.02	9.40 ± 0.01	0.11 ± 0.02	0.17 ± 0.01
0.75	5.70 ± 0.02	7.20 ± 0.02	0.08 ± 0.02	0.14 ± 0.02
1.00	4.60 ± 0.01	5.80 ± 0.03	0.06 ± 0.01	0.09 ± 0.03
1.25	3.90 ± 0.01	4.90 ± 0.01	0.09 ± 0.01	0.15 ± 0.01
1.50	3.40 ± 0.02	4.30 ± 0.02	0.12 ± 0.02	0.22 ± 0.02
1.75	2.90 ± 0.03	3.20 ± 0.02	0.17 ± 0.03	0.29 ± 0.02
2.00	2.60 ± 0.02	2.90 ± 0.01	0.20 ± 0.02	0.35 ± 0.01
2.25	1.80 ± 0.01	2.10 ± 0.02	0.24 ± 0.01	0.42 ± 0.02
2.50	1.30 ± 0.02	1.60 ± 0.01	0.28 ± 0.02	0.46 ± 0.01



รูปที่ 3.3 แวน ตีมเตอร์ พล็อตของการวิเคราะห์แอมโมเนียมและโพลแทสเซียม (ใช้กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)

ตารางที่ 3.2 HETP และเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ของไนเตรทและเปอร์คลอเรตที่อัตราไหลต่าง ๆ

อัตราไหล (มิลลิลิตรต่อนาที)	เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ (นาที)		HETP (มิลลิเมตร)	
	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
0.25	25.10 ± 0.01	32.20 ± 0.04	0.03 ± 0.10	0.04 ± 0.01
0.50	20.10 ± 0.01	28.40 ± 0.04	0.03 ± 0.01	0.04 ± 0.01
0.75	17.40 ± 0.03	25.80 ± 0.03	0.03 ± 0.04	0.04 ± 0.01
1.00	13.40 ± 0.02	20.90 ± 0.03	0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.01
1.25	11.30 ± 0.02	17.60 ± 0.02	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.02
1.50	8.80 ± 0.03	15.30 ± 0.04	0.03 ± 0.03	0.04 ± 0.01
1.75	7.50 ± 0.04	13.20 ± 0.06	0.04 ± 0.03	0.06 ± 0.03
2.00	6.20 ± 0.04	10.20 ± 0.10	0.04 ± 0.03	0.09 ± 0.01
2.25	5.30 ± 0.05	8.20 ± 0.11	0.05 ± 0.01	0.11 ± 0.01
2.50	3.90 ± 0.05	6.00 ± 0.12	0.05 ± 0.01	0.11 ± 0.01



รูปที่ 3.4 แวน ตีมเตอร์ พลั๊ตของการวิเคราะห์ไนเตรทและเปอร์คอลลอเรต (ใช้โซเดียมคาร์บอเนต บัฟเฟอร์ พีเอช 10.5 เป็นตัวชะ ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)

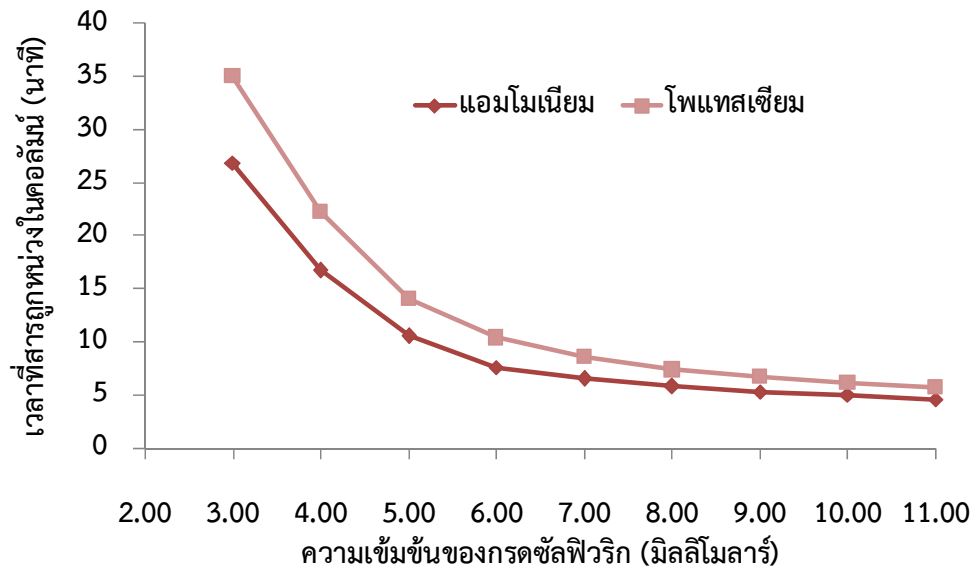
3.1.2 ความเข้มข้นของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก (concentration of eluent for cations analysis)

ความเข้มข้นของตัวชะมีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออน เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวชะ ทำให้ความสามารถในการแทนที่ไอออนของตัวชะดีขึ้น ส่งผลให้เวลาในการชะน้อยลง นั่นคือ เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์จะน้อยลง (Fritz และ Gjerde 1999; Pohl *et al.*, 1997) ในการพิจารณาความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัวชะนั้น นอกจากพิจารณาจากความเข้มข้นที่ให้พื้นที่ได้พีคสูงสุดแล้ว ยังพิจารณาจากความเข้มข้นที่ให้เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์น้อย จึงเลือกใช้ความเข้มข้นนั้นสำหรับการวิเคราะห์ ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.3 พบว่าความเข้มข้นที่ให้พื้นที่ได้พีคสูงสุดและเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์น้อยที่สุด คือ 11.00 มิลลิโมลาร์ (รูปที่ 3.5 ก และ 3.5 ข) แต่ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกมากกว่า 11.00 มิลลิโมลาร์ จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้ารวม (background conductivity) ของระบบมีค่ามากกว่า 3.0 Siemens และความดันของระบบมีค่ามากกว่า 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (pound per square inch; psi) ซึ่งจะส่งผลต่อคอลัมน์ ทำให้เฟสคงที่ที่บรรจุ

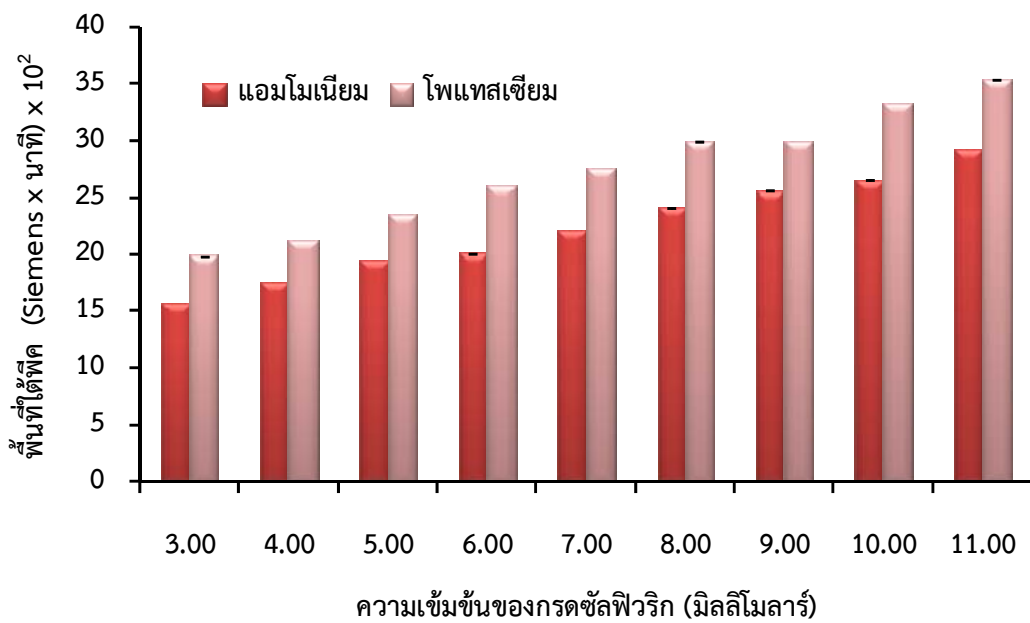
ภายในคอลัมน์หลุดและเกิดการเสียหายได้ นอกจากนี้ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงจะมีโอกาสบดบังสัญญาณของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ ทำให้สัญญาณที่ได้มีค่าน้อย ดังนั้นความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนียม และโพแทสเซียม ที่เหมาะสม คือ 11.00 มิลลิโมลาร์

ตารางที่ 3.3 เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์และพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียมและโพแทสเซียม ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกรดซัลฟิวริก

ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (มิลลิโมลาร์)	เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ (นาที)		พื้นที่ใต้พีค (Siemens x นาที)	
	แอมโมเนียม	โพแทสเซียม	แอมโมเนียม	โพแทสเซียม
3.00	26.90 ± 0.22	35.10 ± 0.07	1563 ± 2	1985 ± 2
4.00	16.70 ± 0.07	22.20 ± 0.06	1752 ± 1	2124 ± 1
5.00	10.50 ± 0.11	14.00 ± 0.13	1953 ± 2	2354 ± 2
6.00	7.60 ± 0.04	10.40 ± 0.06	2013 ± 4	2598 ± 4
7.00	6.50 ± 0.07	8.60 ± 0.08	2214 ± 5	2753 ± 4
8.00	5.80 ± 0.03	7.40 ± 0.06	2412 ± 1	2998 ± 3
9.00	5.30 ± 0.04	6.70 ± 0.05	2565 ± 4	2998 ± 1
10.00	4.90 ± 0.04	6.10 ± 0.01	2654 ± 4	3321 ± 1
11.00	4.60 ± 0.02	5.80 ± 0.03	2923 ± 2	3543 ± 4



รูปที่ 3.5-ก ผลของความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกต่อเวลาที่แอมโมเนียมและโพแทสเซียมที่ถูกหน่วงในคอลัมน์ ที่อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร



รูปที่ 3.5-ข พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียมและโพแทสเซียมแต่ละความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก ที่อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร

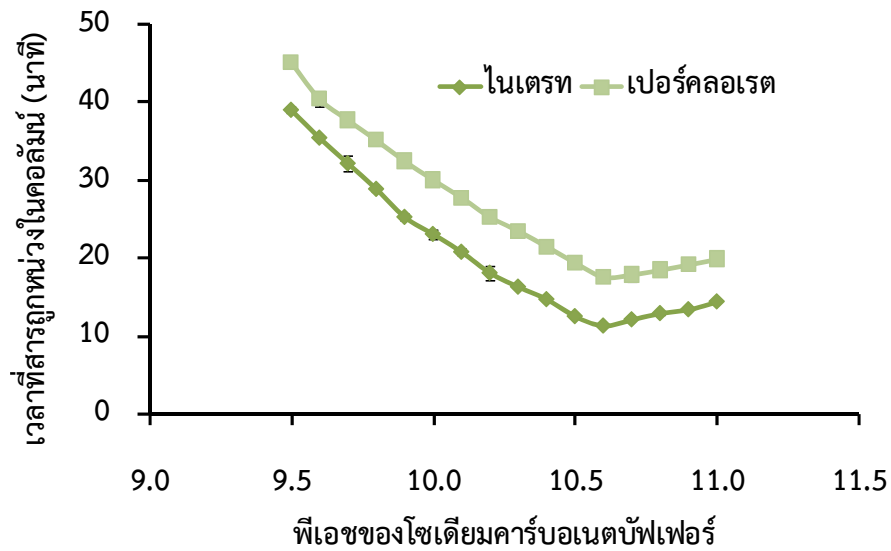
3.1.3 พีเอชของตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ (pH of eluent for anions analysis)

พีเอชของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์มีผลต่อการแลกเปลี่ยนไอออน เนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าพีเอชของตัวชะ จะทำให้ความแรงไอออนของตัวชะ (eluent ionic strength) มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ได้เร็วขึ้น เวลาที่ถูกลงในคอลัมน์ของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์มีค่าลดลง (Pohl *et al.*, 1997) จึงจำเป็นต้องศึกษาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

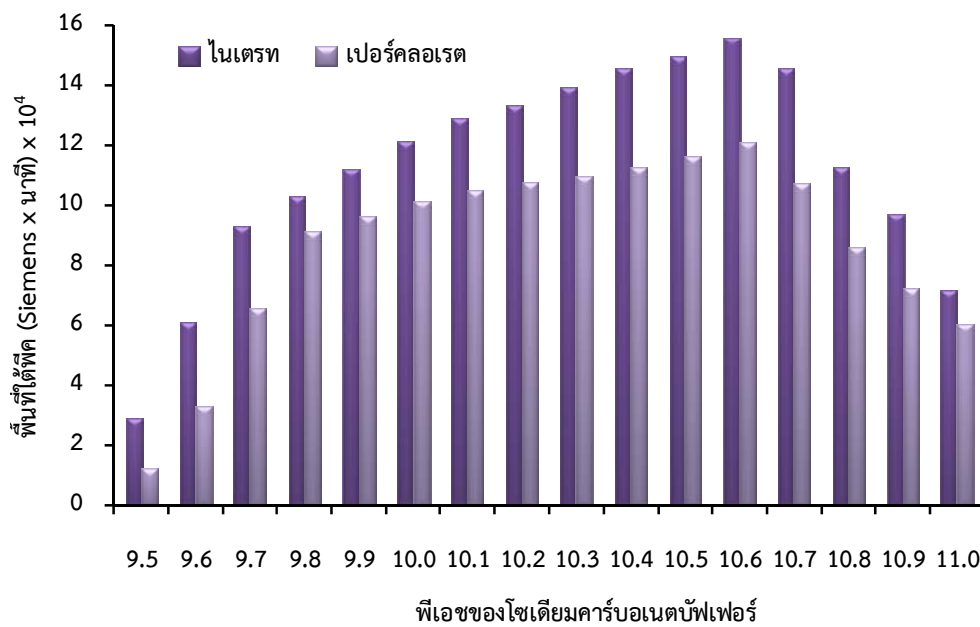
ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 3.4 ค่าพีเอชที่ให้พื้นที่ใต้พีคสูงสุด และให้เวลาที่สารถูกลงในคอลัมน์น้อยที่สุดคือ 10.6 (รูปที่ 3.6 ก และ 3.6 ข) แต่พบว่าเมื่อเพิ่มค่าพีเอชมากกว่า 10.6 จะทำให้ค่าการนำไฟฟ้ารวมของระบบมีค่ามากกว่า 15.0 Siemens และความดันรวมของระบบมีมากกว่า 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าที่จะใช้งานได้ตามที่บริษัท Dionex ได้กำหนดไว้ (Dinex, 2010) อาจทำให้เฟสคงที่ที่บรรจุภายในคอลัมน์หลุดและเกิดการเสียหายได้ และถ้าการนำไฟฟ้าสูงจะมีโอกาสสงบสัญญาณของไอออนที่ต้องการวิเคราะห์ ทำให้สัญญาณที่ได้มีค่าน้อย ดังนั้นพีเอชของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ที่ใช้เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่เหมาะสม คือ 10.6

ตารางที่ 3.4 เวลาที่ถูกหน่วงในคอลัมน์และพื้นที่ใต้พีคของไนเตรท และเปอร์คลอเรตที่ค่าพีเอชต่าง ๆ ของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์

พีเอชของโซเดียม คาร์บอเนตบัฟเฟอร์	เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ (นาที)		พื้นที่ใต้พีค (Siemens x นาที) x 10 ⁴	
	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
9.5	39.10 ± 0.30	45.20 ± 0.53	2.89 ± 0.05	1.21 ± 0.07
9.6	35.50 ± 0.34	40.50 ± 0.23	6.06 ± 0.15	3.30 ± 0.01
9.7	32.20 ± 0.25	37.80 ± 0.98	9.28 ± 0.01	6.55 ± 0.01
9.8	28.90 ± 0.98	35.20 ± 0.13	10.28 ± 0.02	9.09 ± 0.01
9.9	25.30 ± 0.34	32.50 ± 0.34	11.19 ± 0.04	9.59 ± 0.11
10.0	23.10 ± 0.33	30.10 ± 0.49	12.12 ± 0.05	10.10 ± 0.05
10.1	20.80 ± 0.64	27.80 ± 0.31	12.88 ± 0.01	10.46 ± 0.39
10.2	18.10 ± 0.45	25.30 ± 0.03	13.31 ± 0.03	10.76 ± 0.18
10.3	16.30 ± 0.92	23.50 ± 0.42	13.89 ± 0.03	10.92 ± 0.19
10.4	14.70 ± 0.20	21.50 ± 0.11	14.55 ± 0.04	11.21 ± 0.45
10.5	12.50 ± 0.02	19.40 ± 0.24	14.92 ± 0.03	11.59 ± 0.10
10.6	11.30 ± 0.12	17.60 ± 0.01	15.56 ± 0.03	12.07 ± 0.64
10.7	12.10 ± 0.04	17.90 ± 0.24	14.53 ± 0.02	10.70 ± 0.24
10.8	12.90 ± 0.01	18.50 ± 0.98	11.21 ± 0.01	8.60 ± 0.10
10.9	13.40 ± 0.09	19.20 ± 0.12	9.68 ± 0.04	7.20 ± 0.01
11.0	14.40 ± 0.04	19.90 ± 0.53	7.11 ± 0.01	6.01 ± 0.08



รูปที่ 3.6-ก ผลของพีเอชของซิลเดียมคาร์บอนเตบ์เฟอร์ต่อเวลาที่ถูกลงในคอลัมน์ของไนเตรทและเปอร์คลอเรต ที่อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร



รูปที่ 3.6-ข ผลของพีเอชของซิลเดียมคาร์บอนเตบ์เฟอร์ต่อพื้นที่ที่ได้ฟิคของไนเตรทและเปอร์คลอเรต ที่อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร

3.2 ศึกษาการใช้ได้ของวิธี (validation method)

3.2.1 ความเที่ยงของเครื่องมือ (instrument precision)

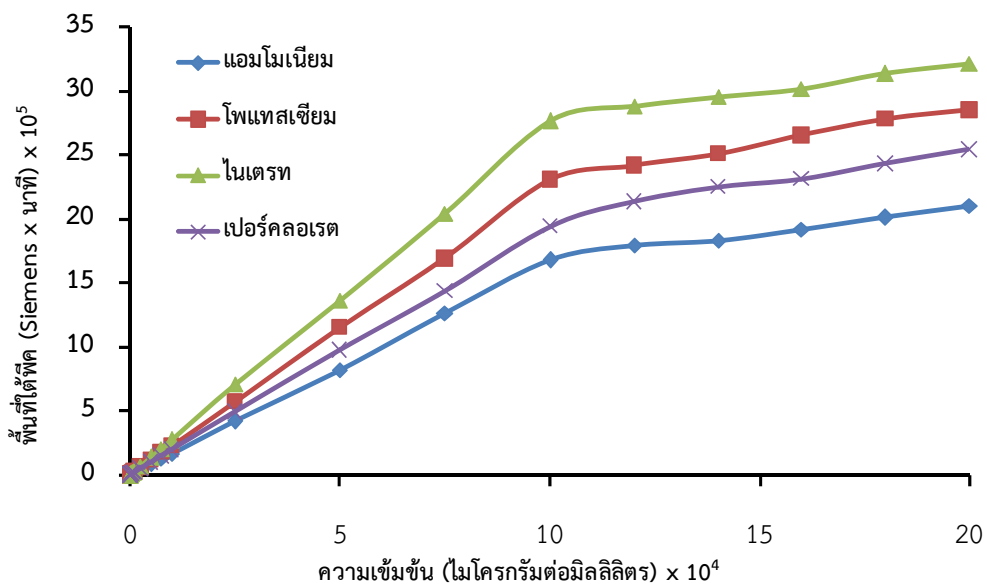
ผลการศึกษาความเที่ยงของเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี แสดงในตารางที่ 3.5 พบว่าเวลาที่ถูกหน่วงในคอลัมน์ของแอมโมเนียม โพลีแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เป็น 0.5, 0.2, 0.5 และ 0.2 ตามลำดับ และพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โพลีแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์เป็น 2.0, 1.9, 1.3 และ 0.2 ตามลำดับ โดยทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของเวลาที่ถูกหน่วงในคอลัมน์และพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โพลีแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต มีค่าน้อยกว่า 1 และ 4% ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้สำหรับเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ และพื้นที่ใต้พีค ตามลำดับ นั่นแสดงว่าเครื่องมือที่ใช้มีความเที่ยงดีมาก (Synder และ Kirkland 1979)

ตารางที่ 3.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของเวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์และพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียมและโพลีแทสเซียม

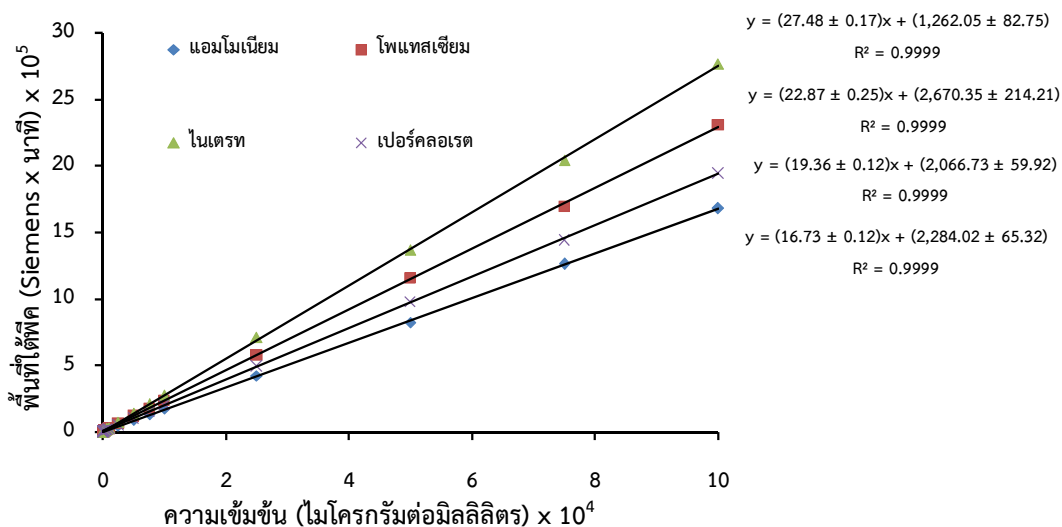
ครั้งที่	เวลาที่ถูกหน่วงในคอลัมน์ (นาที)				พื้นที่ใต้พีค (Siemens x นาที)			
	แอมโมเนียม	โพลีแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต	แอมโมเนียม	โพลีแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
1	4.59	5.73	11.65	17.64	2891	3531	2851	2860
2	4.60	5.72	11.45	17.57	2857	3556	2850	2856
3	4.65	5.70	11.52	17.57	2872	3532	2850	2865
4	4.62	5.69	11.58	17.59	2873	3539	2856	2849
5	4.62	5.72	11.49	17.59	2930	3445	2798	2849
6	4.63	5.72	11.54	17.63	2849	3565	2867	2853
7	4.62	5.72	11.45	17.67	2928	3489	2759	2858
8	4.59	5.73	11.54	17.57	2919	3669	2798	2863
9	4.60	5.73	11.50	17.55	3046	3651	2859	2860
10	4.58	5.73	11.55	17.53	2916	3546	2856	2858
เฉลี่ย	4.61	5.72	11.53	17.59	2908	3552	2834	2857
SD	0.02	0.01	0.06	0.04	57	67	36	5
%RSD	0.5	0.2	0.5	0.2	2.0	1.9	1.3	0.2

3.2.2 ช่วงความเป็นเส้นตรง (linear dynamic range)

ผลการศึกษาช่วงความเป็นตรงของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต แสดงดังรูปที่ 3.7 ก พบว่าพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นจนถึงความเข้มข้น 100,000 ไมโครกรัมต่อลิตร จากนั้นกราฟจะเริ่มโค้งและไม่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น ดังนั้นช่วงความเป็นเส้นตรงของแอมโมเนียมอยู่ในช่วง 7 ถึง 100,000 ไมโครกรัมต่อลิตร โปแทสเซียมอยู่ในช่วง 6 ถึง 100,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ไนเตรทอยู่ในช่วง 2 ถึง 100,000 ไมโครกรัมต่อลิตร และเปอร์คลอเรตอยู่ในช่วง 4 ถึง 100,000 ไมโครกรัมต่อลิตร โดยมีค่าสหสัมพันธ์เชิงปริมาณมากกว่า 0.99 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (รูปที่ 3.7-ข)



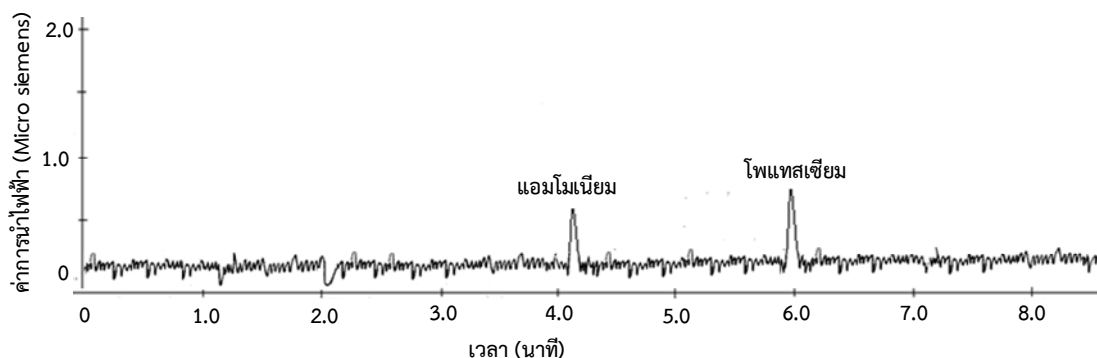
รูปที่ 3.7-ก ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต



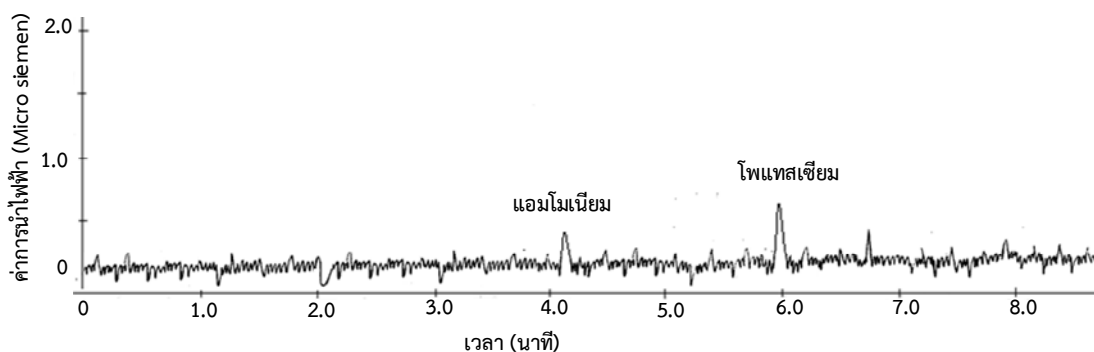
รูปที่ 3.7-ข กราฟมาตรฐานของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต

3.2.3 ขีดจำกัดการตรวจวัด (limit of detection; LOD) และขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (limit of quantification; LOQ)

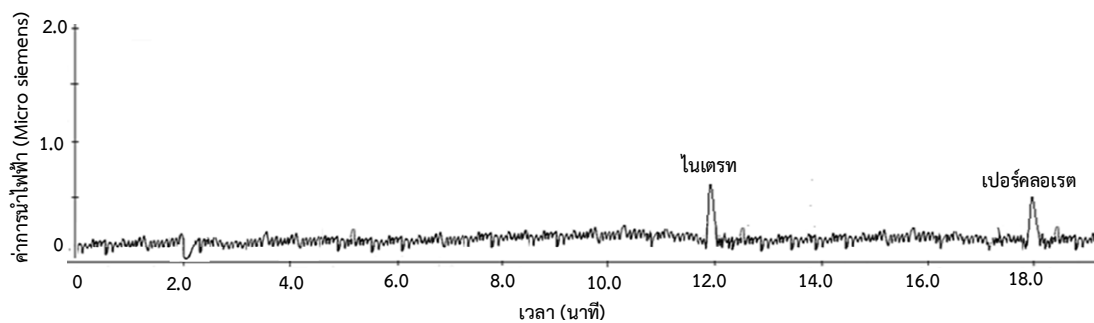
จากผลศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต รูปที่ 3.8 ถึงรูปที่ 3.11 แสดงโครมาโทแกรมของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 28, 12, 6 และ 8 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม ($S/N \geq 3$) และรูปที่ 3.12 ถึงรูปที่ 3.15 แสดงโครมาโทแกรมของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 94.00, 38.00, 22.00 และ 28.00 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ให้ขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ให้อัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) ขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต สรุปได้ดังตารางที่ 3.6



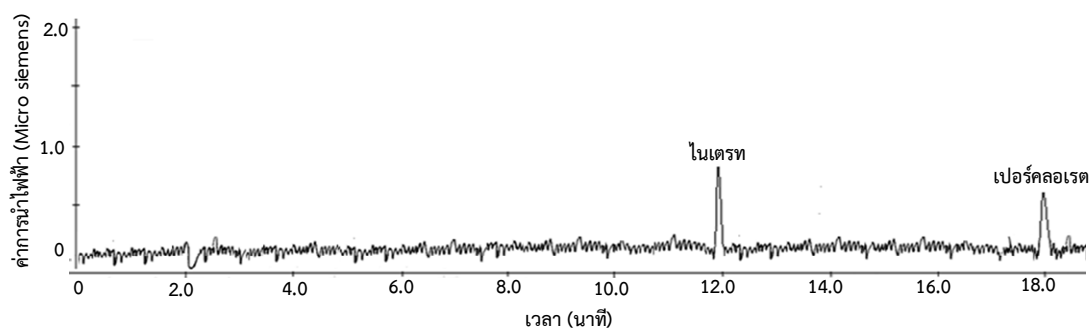
รูปที่ 3.8 โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม ($S/N \geq 3$) ของแอมโมเนียม ที่ความเข้มข้น 28 ไมโครกรัมต่อลิตร (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



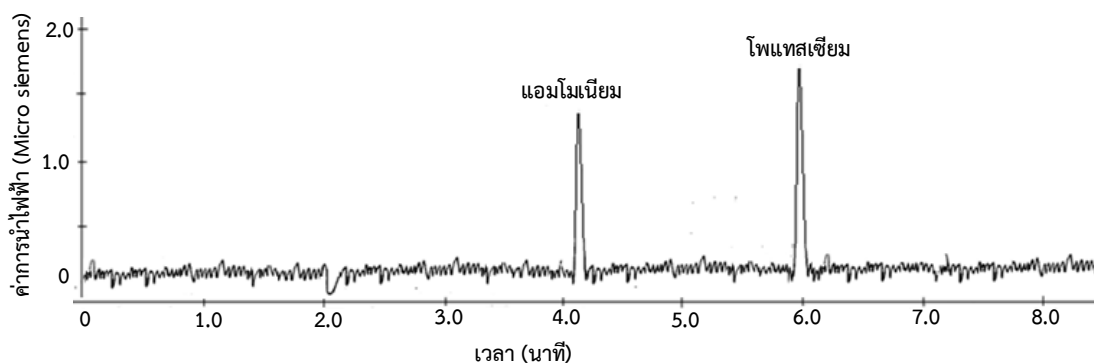
รูปที่ 3.9 โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม ($S/N \geq 3$) ของโพแทสเซียม ที่ความเข้มข้น 12 ไมโครกรัมต่อลิตร (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



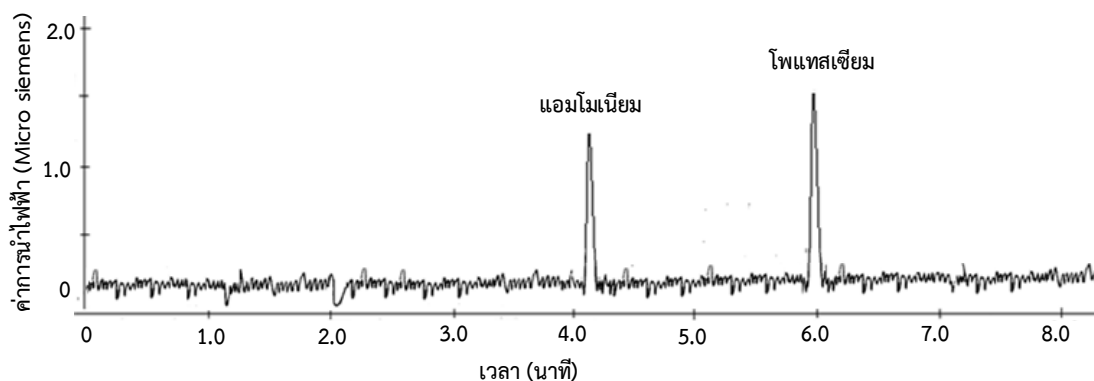
รูปที่ 3.10 โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม ($S/N \geq 3$) ของไนเตรท ที่ความเข้มข้น 6 ไมโครกรัมต่อลิตร (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



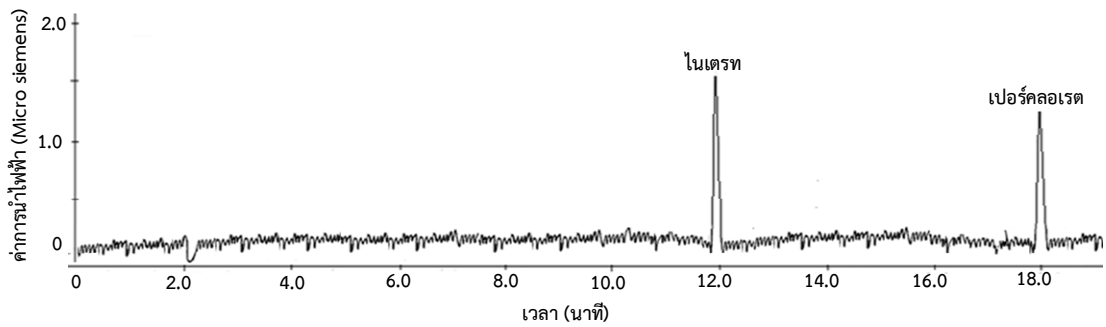
รูปที่ 3.11 โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสาม ($S/N \geq 3$) ของเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 8 ไมโครกรัมต่อลิตร (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



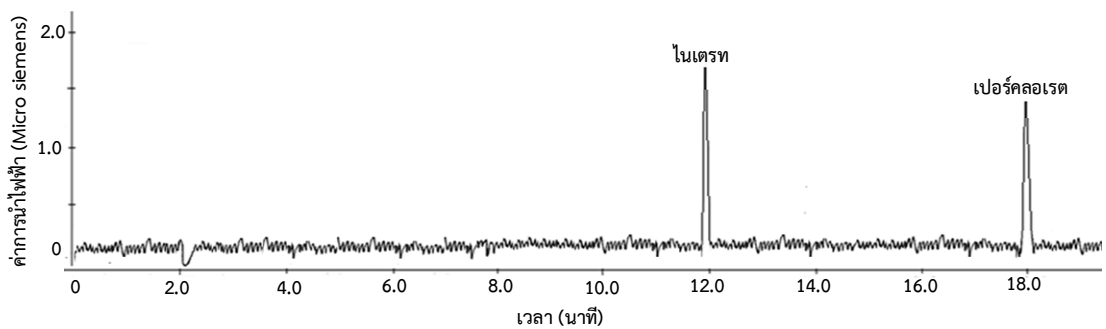
รูปที่ 3.12 โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) ของแอมโมเนียม ที่ความเข้มข้น 94 ไมโครกรัมต่อลิตร (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



รูปที่ 3.13 โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) ของโพแทสเซียม ที่ความเข้มข้น 38 ไมโครกรัมต่อลิตร (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



รูปที่ 3.14 โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) ของไนเตรท ที่ความเข้มข้น 22 ไมโครกรัมต่อลิตร (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



รูปที่ 3.15 โครมาโทแกรมอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าหรือเท่ากับสิบ ($S/N \geq 10$) ของเปอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้น 28 ไมโครกรัมต่อลิตร (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)

ตารางที่ 3.6 ขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณของแอมโมเนียม โฟสเฟตซีเอ็ม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต

ไอออน	ขีดจำกัดการตรวจวัด (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (ไมโครกรัมต่อลิตร)
แอมโมเนียม	28	94
ฟอสเฟตซีเอ็ม	12	38
ไนเตรท	6	22
เปอร์คลอเรต	8	28

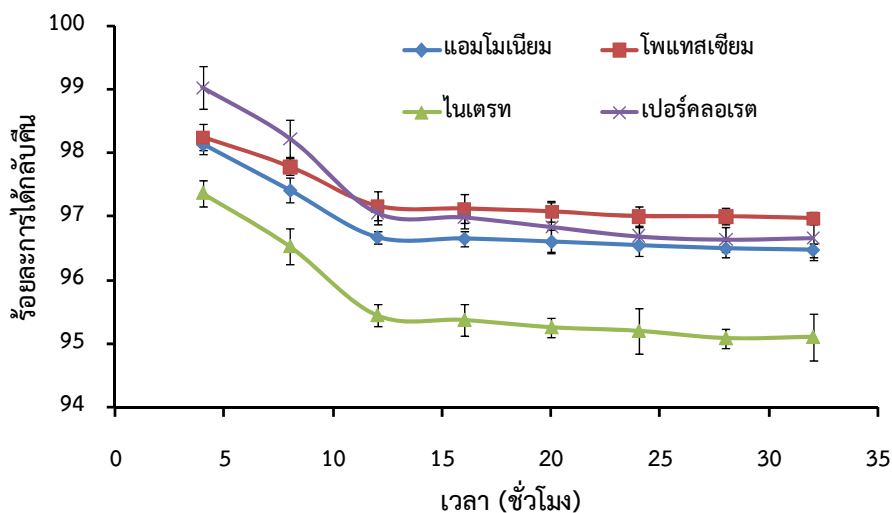
3.3 การเตรียมตัวอย่าง (sample preparation)

3.3.1 ศึกษาเวลาที่ใช้สำหรับการเตรียมดินมาตรฐาน

จากผลการศึกษาในตารางที่ 3.7 แสดงร้อยละการได้กลับคืนของไอออน ในการเติมสารมาตรฐานไอออนลงในดินที่เวลาต่าง ๆ และเมื่อนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการได้กลับคืนกับเวลาที่เติมสารมาตรฐานลงในดิน (รูปที่ 3.16) พบว่าร้อยละการได้กลับคืนที่เวลาต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน โดยเฉพาะที่เวลา 4 และ 8 ชั่วโมงจะให้ร้อยละการได้กลับคืนสูง เนื่องจากสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไปยังไม่ได้อุดซบอยู่กับดิน เมื่อทำการสกัดจึงทำให้สามารถสกัดสารออกมาได้เกือบทั้งหมด ซึ่งในเหตุการณ์จริงแล้ว ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ภายในเวลาดังกล่าวได้ จึงไม่เลือกใช้เวลา 4 และ 8 ชั่วโมง แต่ที่เวลาตั้งแต่ 12 ถึง 32 ชั่วโมง จะให้ร้อยละการได้กลับคืนที่ใกล้เคียงกัน ประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ ร้อยละ 80 ถึง 120 เมื่อพิจารณาในรูปที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าที่เวลา 12 ชั่วโมง เป็นเวลาที่กราฟเริ่มโค้ง ซึ่งไม่เหมาะที่จะเลือกเป็นเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้การทดลองมีความถูกต้อง และใกล้เคียงกับเหตุการณ์จริงมากที่สุด จึงเลือกที่เวลา 16 ชั่วโมง สำหรับการเติมสารมาตรฐานลงในดินก่อนทำการสกัด ซึ่งถือเป็นเวลาที่นานพอสมควรที่จะสามารถเข้าไปในที่เกิดเหตุเพื่อเก็บตัวอย่างได้

ตารางที่ 3.7 ร้อยละการได้กลับคืนของไอออนในการเติมสารละลายมาตรฐานที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ร้อยละการได้กลับคืน			
	แอมโมเนียม	โพแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
4	98 ± 1	99 ± 2	97 ± 2	99 ± 1
8	97 ± 2	98 ± 1	97 ± 2	98 ± 2
12	97 ± 1	97 ± 2	95 ± 2	97 ± 2
16	97 ± 1	97 ± 2	95 ± 2	96 ± 2
20	97 ± 2	97 ± 2	95 ± 2	96 ± 1
24	97 ± 2	97 ± 1	95 ± 1	96 ± 1
28	97 ± 2	97 ± 1	95 ± 1	96 ± 2
32	96 ± 1	96 ± 1	95 ± 1	96 ± 2



รูปที่ 3.16 ร้อยละการได้กลับคืนของไอออน ในการเติมสารมาตรฐานไอออนลงในดินที่เวลาต่าง ๆ (ใช้กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก และใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)

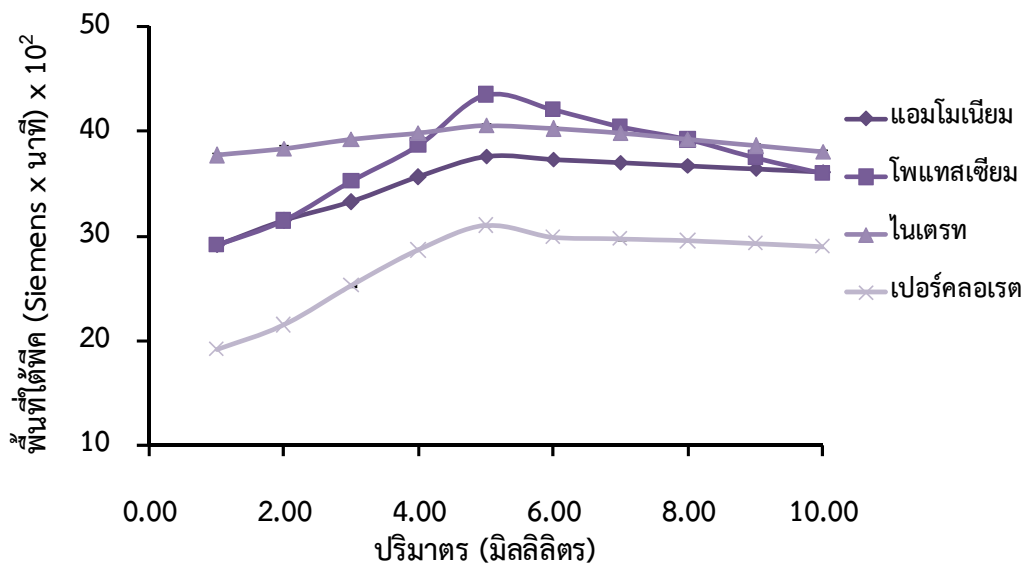
3.3.2 ปัจจัยที่เหมาะสมของการเตรียมตัวอย่าง (optimization of sample preparation)

3.3.2.1 ปริมาตรตัวสกัด (solvent volume)

ตารางที่ 3.8 แสดงพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเพอร์คลอเรต ที่ปริมาตรต่าง ๆ และเมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับปริมาตรที่ใช้สกัด (รูปที่ 3.17) พบว่าที่ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร จะให้พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเพอร์คลอเรต สูงที่สุด แสดงว่าที่ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร สามารถสกัดไอออนแต่ละออกมาได้มากที่สุด โดยที่ไอออนที่สกัดออกมาได้ ไม่ถูกเจือจางด้วยปริมาตรที่มากเกินไปของตัวทำละลายที่ใช้สกัด ดังนั้นจะเลือกใช้ปริมาตรของน้ำปราศจากไอออน 5.00 มิลลิลิตร สำหรับการสกัด เนื่องจากเป็นปริมาตรที่น้อยที่สุดและที่ให้พื้นที่ใต้พีคสูงที่สุด

ตารางที่ 3.8 พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต แต่ละปริมาตรที่ใช้ในการสกัด

ปริมาตร (มิลลิลิตร)	พื้นที่ใต้พีค (Siemens x นาที)			
	แอมโมเนียม	โปแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
1	2918 ± 4	29189 ± 4	3771 ± 2	1919 ± 4
2	3147 ± 4	3148 ± 4	3836 ± 4	2148 ± 4
3	3326 ± 4	3526 ± 4	3925 ± 4	2526 ± 4
4	3565 ± 2	3865 ± 2	3985 ± 6	2865 ± 2
5	3762 ± 2	4353 ± 2	4059 ± 6	3102 ± 6
6	3736 ± 4	4208 ± 6	4025 ± 5	2994 ± 5
7	3705 ± 4	4052 ± 6	3985 ± 4	2976 ± 4
8	3674 ± 1	3920 ± 3	3924 ± 4	2950 ± 4
9	3642 ± 4	3751 ± 3	3862 ± 7	2931 ± 3
10	3618 ± 4	3600 ± 2	3804 ± 4	2905 ± 3



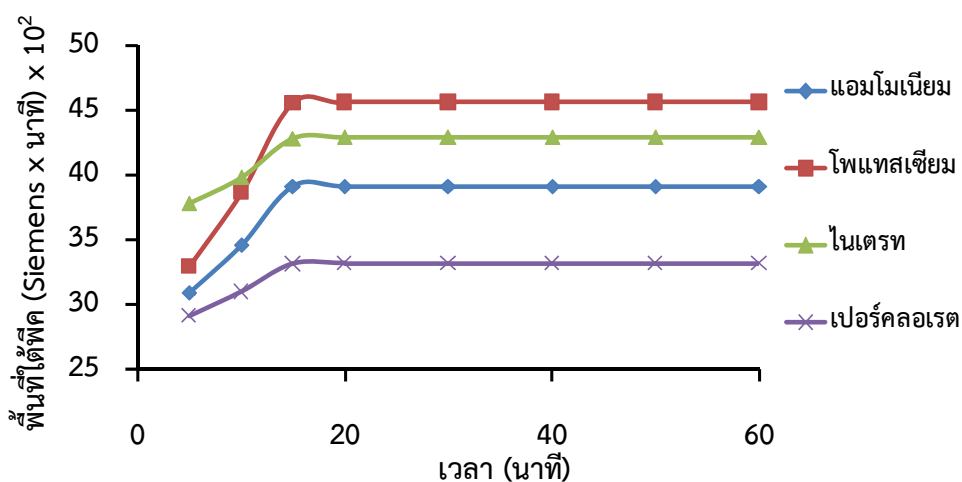
รูปที่ 3.17 พื้นที่ได้ฟิคของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ปริมาตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการสกัด (ใช้กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก และใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)

3.3.2.2 เวลาสำหรับการสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath (sonication time)

ตารางที่ 3.9 แสดงพื้นที่ได้ฟิคของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath ที่เวลาต่าง ๆ และเมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ได้ฟิคกับเวลาที่ใช้สกัด (รูปที่ 3.18) พบว่าที่เวลา 15 นาที ให้พื้นที่ได้ฟิคของแอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต สูงที่สุด และพื้นที่ได้ฟิคของแต่ละไอออนจะมีค่าคงที่ตั้งแต่เวลา 15 ถึง 60 นาที แสดงว่าที่เวลาดังกล่าวตั้งแต่ 15 ถึง 60 นาที สามารถสกัดไอออนออกมาได้หมด จึงเลือกที่เวลา 15 นาที เนื่องจากเป็นเวลาที่น้อยที่สุด

ตารางที่ 3.9 พื้นที่ใต้พีคของไอออนที่สกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath ที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (นาทีก)	พื้นที่ใต้พีค (Siemens x นาทีก)			
	แอมโมเนียม	โพแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
5	3095 ± 3	3296 ± 1	3784 ± 2	2915 ± 2
10	3464 ± 1	3864 ± 1	3985 ± 1	3101 ± 1
15	3915 ± 2	4561 ± 2	4286 ± 1	3314 ± 3
20	3917 ± 3	4564 ± 2	4296 ± 2	3321 ± 2
30	3918 ± 3	4566 ± 4	4294 ± 1	3322 ± 2
40	3917 ± 2	4565 ± 3	4295 ± 3	3320 ± 1
50	3919 ± 1	4565 ± 1	4296 ± 1	3321 ± 3
60	3918 ± 1	4563 ± 2	4293 ± 1	3322 ± 2



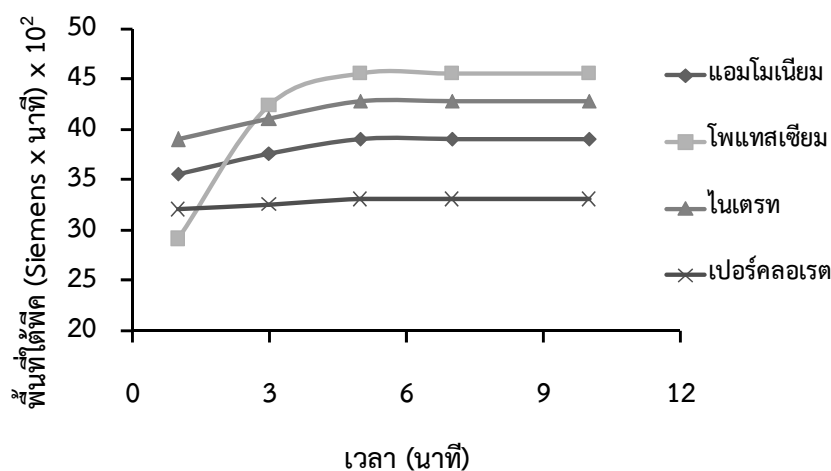
รูปที่ 3.18 พื้นที่ใต้พีคของไอออนในการสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath ที่เวลาต่าง ๆ (ใช้กรด ซัลฟิวริก ความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสำหรับการ วิเคราะห์ไอออนบวก และใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อ นาที เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)

3.3.2.3 เวลาในการหมุนเหวี่ยง (centrifugation time)

ตารางที่ 3.10 แสดงพื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่เวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที และเมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับเวลาที่หมุนเหวี่ยง (รูปที่ 3.19) พบว่าที่เวลา 5 นาที จะให้พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต สูงที่สุด และจะมีค่าคงที่ตั้งแต่เวลา 5 ถึง 10 นาที แสดงว่าที่ตั้งแต่ 5 ถึง 10 นาที สามารถแยกสารละลายและไอออนออกจากดินได้หมด จึงเลือกที่เวลา 5 นาที เนื่องจากเป็นเวลาน้อยที่สุด

ตารางที่ 3.10 พื้นที่ใต้พีคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต ที่เวลาต่าง ๆ ในการหมุนเหวี่ยง

เวลา (นาที)	พื้นที่ใต้พีค (Siemens x นาที)			
	แอมโมเนียม	โปแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
1	3565 ± 4	2918 ± 4	3802 ± 5	3211 ± 4
3	3766 ± 4	4249 ± 2	4009 ± 4	3259 ± 4
5	3914 ± 4	4562 ± 3	4290 ± 5	3311 ± 4
7	3916 ± 5	4562 ± 2	4291 ± 3	3312 ± 2
10	3913 ± 5	4564 ± 6	4291 ± 4	3313 ± 6



รูปที่ 3.19 ผลของเวลาสำหรับการหมุนเหวี่ยงที่มีต่อพื้นที่ได้ฟิคของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเพอร์คลอเรต (ใช้กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 11.00 มิลลิโมลาร์ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนบวก และใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์ไอออนลบ ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)

3.3.3 ร้อยละการได้กลับคืน (recovery)

ตารางที่ 3.11 แสดงร้อยละการได้กลับคืนของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเพอร์คลอเรต ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าร้อยละการได้กลับคืนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของแอมโมเนียม โปแทสเซียม ไนเตรท และเพอร์คลอเรต มีค่าเท่ากับ 96 ± 1 , 96 ± 1 , 97 ± 1 และ 97 ± 1 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ คือ ร้อยละ 80 ถึง 120 (ASTM, 1987) แสดงว่าวิธีการสกัดที่ศึกษา เป็นวิธีการที่มีความถูกต้องสูง สามารถนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างจริงได้

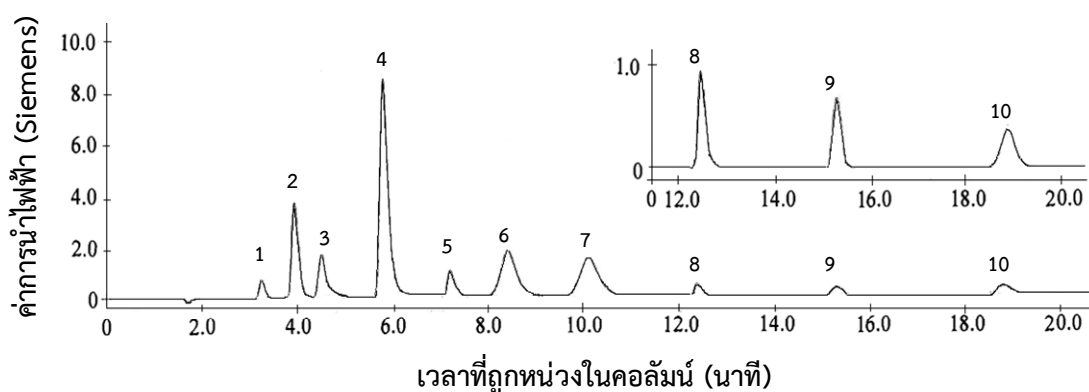
ตารางที่ 3.11 ร้อยละการได้กลิ่นของแอมโมเนียม โพลแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ร้อยละการได้กลิ่น			
	แอมโมเนียม	โพลแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
30.00	97 ± 1	96 ± 1	95 ± 2	96 ± 1
50.00	95 ± 1	95 ± 2	98 ± 2	96 ± 1
70.00	95 ± 1	94 ± 1	97 ± 1	96 ± 1
100.00	96 ± 1	97 ± 1	97 ± 1	97 ± 2
1000.00	96 ± 1	97 ± 1	97 ± 2	97 ± 1
10000.00	96 ± 1	97 ± 1	97 ± 1	96 ± 1

3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง (real samples analysis)

3.4.1 ผลของตัวรบกวนของการวิเคราะห์ไอออนบวก (โพแทสเซียมและแอมโมเนียม)

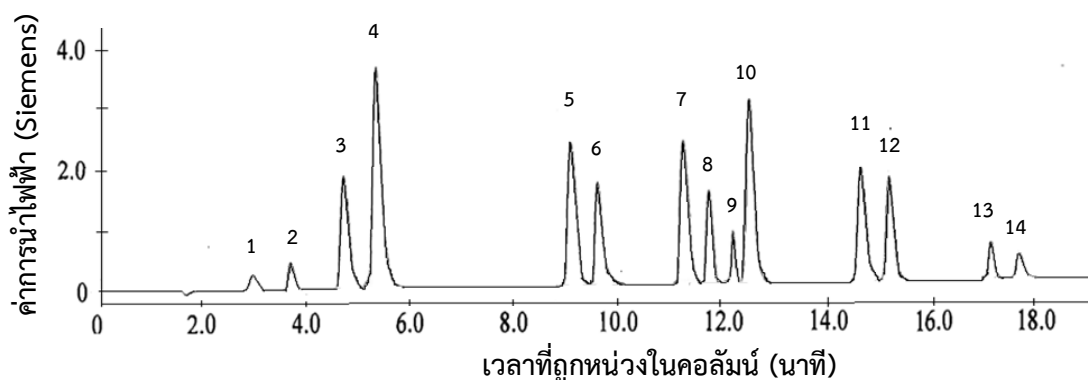
จากผลการศึกษาในรูปที่ 3.20 พบว่าตัวรบกวนไม่มีผลต่อพีคของแอมโมเนียม (พีคที่ 3) และโพแทสเซียม (พีคที่ 4) ซึ่งเป็นไอออนที่สนใจวิเคราะห์ เนื่องจากสัญญาณของตัวรบกวนไม่บดบังหรือซ้อนทับสัญญาณของไอออนที่สนใจวิเคราะห์ โดยเฉพาะพีคที่ 2 ซึ่งเป็นพีคของโซเดียม (เวลาที่ถูกห้วงในคอลัมน์ใกล้เคียงกับแอมโมเนียมมากที่สุด) ค่าการแยก (resolution) ระหว่างพีคของโซเดียม (พีคที่ 2) กับพีคของแอมโมเนียม (พีคที่ 3) เท่ากับ 1.6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Synder และ Kirkland 1979) ส่วนพีคของโพแทสเซียม (พีคที่ 4) เวลาที่ถูกห้วงในคอลัมน์ของตัวรบกวนไม่มีค่าใกล้เคียงกับพีคของโพแทสเซียม ดังนั้นจะเห็นว่าตัวรบกวนไม่มีผลต่อการวิเคราะห์โพแทสเซียมและแอมโมเนียม



รูปที่ 3.20 โครมาโทแกรมของตัวรบกวนของไอออนบวก (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม (8) สตรอนเตียม (9) แบเรียม และ (10) โครเมียม)

3.4.2 ผลของตัวรบกวนของการวิเคราะห์ไอออนลบ (ไนเตรทและเปอร์คลอเรต)

จากผลการศึกษาในรูปที่ 3.21 พบว่าตัวรบกวนไม่มีผลต่อพีคของไนเตรท (พีคที่ 7) และเปอร์คลอเรต (พีคที่ 14) ซึ่งเป็นไอออนที่สนใจวิเคราะห์ เนื่องจากสัญญาณของตัวรบกวนไม่บดบังหรือซ้อนทับสัญญาณของไอออนที่สนใจวิเคราะห์ โดยเฉพาะพีคที่ 8 ซึ่งเป็นพีคของเอซีน (เวลาที่ถูกระบุในคอลัมน์มีค่าใกล้เคียงกับพีคของไนเตรทมากที่สุด) ค่าการแยก (resolution) ระหว่างพีคของไนเตรท (พีคที่ 7) กับพีคของเอซีน (พีคที่ 8) เท่ากับ 1.5 และพีคที่ 13 ซึ่งเป็นพีคของไฮโอไซยะเนต (เวลาที่ถูกระบุในคอลัมน์มีค่าใกล้เคียงกับพีคของเปอร์คลอเรตมากที่สุด) ค่าการแยก (resolution) ระหว่างพีคของเอซีน (พีคที่ 13) กับพีคของเปอร์คลอเรต (พีคที่ 14) เท่ากับ 1.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Synder และ Kirkland 1979) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าตัวรบกวนไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ไนเตรทและเปอร์คลอเรต



รูปที่ 3.21 โครมาโทแกรมของตัวรบกวนของไอออนลบ (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรท์ (6) ไฮอะเนต (7) ไนเตรท (8) เอซีน (9) คาร์บอเนต (10) ซัลเฟต (11) ฟอสเฟส (12) ไฮโอซิลเฟต (13) ไฮโอไซยะเนต และ (14) เปอร์คลอเรต)

3.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างจากสถานที่เกิดเหตุจริง

ตัวอย่างจริงที่นำมาวิเคราะห์มีทั้งหมด 25 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างที่ได้ในพื้นที่ 3 จังหวัดยะลา ปัตตานี และนราธิวาส ประกอบด้วยตัวอย่างสารระเบิดที่ได้ก่อนการระเบิดในพื้นที่จังหวัดยะลา ทั้งหมด 4 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 1 ถึงตัวอย่างที่ 4) และเป็นตัวอย่างดินที่ได้หลังจากระเบิด ทั้งหมด 21 ตัวอย่าง เป็นตัวอย่างจากจังหวัดปัตตานี 8 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 5 ถึงตัวอย่างที่ 12) จากจังหวัดยะลา 9 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 13 ถึงตัวอย่างที่ 21) และจากจังหวัดนราธิวาส 4 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 22 ถึงตัวอย่างที่ 25) เตรียมตัวอย่างโดยการสกัดด้วยน้ำปราศจากไอออน วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี ในการวิเคราะห์จะทำซ้ำตัวอย่างละ 5 ครั้ง สำหรับตัวอย่างดินจะทำการหักลบความเข้มข้นของแต่ละไอออนที่พบในตัวอย่างดินที่ได้จากการระเบิด ออกจากดินบริเวณที่ใกล้เคียงกับบริเวณระเบิด เพื่อเป็นการหักลบ background ion ของดินในพื้นที่เก็บตัวอย่าง เนื่องจากไอออนที่ศึกษาจะมีอยู่ในดินด้วย ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3.12 พบว่ามีแอมโมเนียมอยู่ในช่วง 1 ถึง 90 มิลลิกรัมต่อลิตร โพแทสเซียมอยู่ในช่วง 1 ถึง 95 มิลลิกรัมต่อลิตร ไนเตรทอยู่ในช่วง 4 ถึง 340 มิลลิกรัมต่อลิตร และเปอร์คลอเรตอยู่ในช่วง 3 ถึง 94 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3.12 ความเข้มข้นของแต่ละไอออนที่ได้จากวิเคราะห์ตัวอย่างจริง

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
	แอมโมเนียม	โพแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
1	N.D.	57 ± 1	229 ± 2	N.D.
2	52 ± 3	N.D.	216 ± 5	N.D.
3	N.D.	95 ± 4	340 ± 7	N.D.
4	75 ± 2	N.D.	296 ± 3	N.D.
5	8 ± 1	8 ± 1	223 ± 1	N.D.
6	24 ± 1	27 ± 2	73 ± 1	N.D.
7	29 ± 1	30 ± 1	90 ± 1	N.D.
8	18 ± 1	18 ± 1	49 ± 1	32 ± 1
9	14 ± 1	16 ± 1	44 ± 1	30 ± 1
10	19 ± 1	18 ± 1	59 ± 1	N.D.
11	N.D.	32 ± 3	14 ± 1	16 ± 1
12	5 ± 1	4 ± 1	15 ± 1	4 ± 1
13	38 ± 1	39 ± 7	73 ± 1	76 ± 1
14	59 ± 1	N.D.	25 ± 1	26 ± 1
15	36 ± 1	17 ± 3	65 ± 1	32 ± 3
16	18 ± 1	20 ± 1	40 ± 1	60 ± 1
17	29 ± 1	30 ± 1	N.D.	89 ± 1
18	90 ± 1	N.D.	46 ± 1	44 ± 1
19	64 ± 1	33 ± 1	63 ± 3	94 ± 1
20	25 ± 1	26 ± 1	N.D.	76 ± 1
21	87 ± 5	N.D.	44 ± 1	46 ± 1
22	88 ± 1	N.D.	44 ± 1	46 ± 1
23	8 ± 1	15 ± 2	22 ± 1	15 ± 1
24	2 ± 1	2 ± 1	5 ± 1	3 ± 1
25	N.D.	29 ± 4	14 ± 1	16 ± 2

N.D. = non detectable (ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีความเข้มข้นต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD))

จากตารางที่ 3.12 จะเห็นว่าตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 25 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่
มีไอออนที่สนใจศึกษาซึ่งเป็นไอออนที่มาจากสารประกอบระเบิดอินทรีย์ แสดงว่าสารตั้งต้นที่

นำมาใช้สำหรับประกอบระเบิดแสงเครื่องในการก่อเหตุเป็นสารระเบิดอินทรีย์ แต่ไม่สามารถระบุชนิดได้ว่าใช้แอมโมเนียมไนเตรท โพลทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต หรือโพลทสเซียมเปอร์คลอเรต เพียงชนิดเดียวหรือผสมกัน สำหรับประกอบระเบิด ดังนั้นจึงเปลี่ยนความเข้มข้นที่พบเป็นจำนวนโมล โดยใช้สมการที่ 3.3 จากนั้นนำจำนวนโมลที่ได้ของแต่ละไอออนมาเปรียบเทียบกับเพื่อระบุว่าแต่ละตัวอย่างใช้สารระเบิดอินทรีย์ชนิดใดเป็นสารตั้งต้น เนื่องจากการเกิดเป็นสารประกอบของสารระเบิดอินทรีย์ที่ศึกษานั้น จะคิดเป็นอัตราส่วนโมล 1 ต่อ 1

$$\text{จำนวนโมล} = \frac{\text{มิลลิกรัม}}{1,000 \times \text{มวลโมเลกุล}} \quad 3.3$$

เมื่อนำจำนวนโมลของแต่ละไอออนจากตารางที่ 3.12 มาคิดเป็นอัตราส่วนโมล (ตารางที่ 3.13) แล้วพิจารณาว่าไอออนที่พบในแต่ละตัวอย่างมาจากสารระเบิดอินทรีย์ชนิดใดพบว่าแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม (ตารางที่ 3.14) คือ กลุ่มที่ใช้เพียงหนึ่งชนิด (โพลทสเซียมไนเตรทหรือแอมโมเนียมไนเตรท) กลุ่มที่ใช้สองชนิด (โพลทสเซียมไนเตรทกับแอมโมเนียมไนเตรท หรือโพลทสเซียม หรือไนเตรทกับโพลทสเซียมเปอร์คลอเรต โพลทสเซียมไนเตรทกับแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต หรือแอมโมเนียมไนเตรทกับแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต หรือโพลทสเซียมเปอร์คลอเรตกับแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต) และกลุ่มที่ใช้สามชนิด (โพลทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมไนเตรท และแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต) แต่จะเห็นได้ว่าในแต่ละตัวอย่างไอออนที่พบในปริมาณมาก ได้แก่ ไนเตรท โพลทสเซียม และแอมโมเนียม

ตารางที่ 3.13 จำนวนโมลของแต่ละไอออนที่พบในตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเบิดและหลังจากการระเบิด

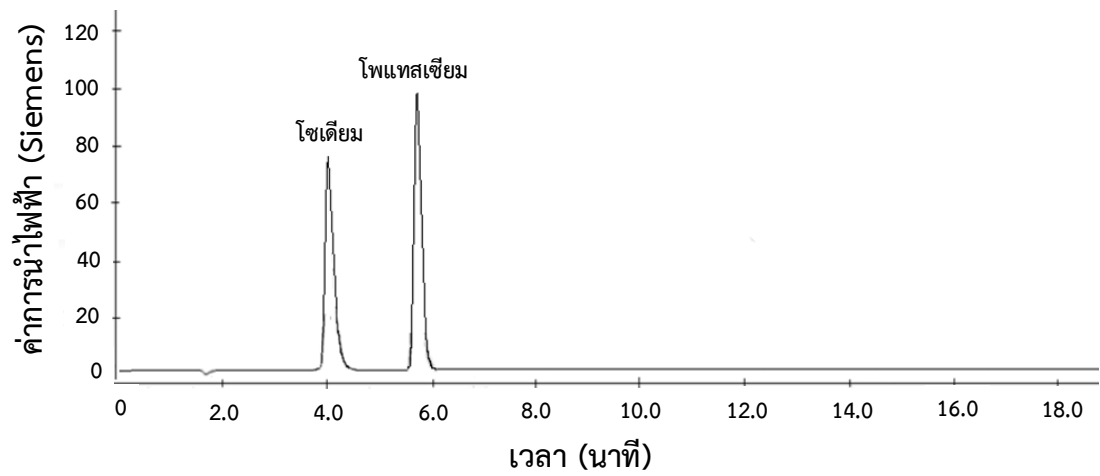
ตัวอย่าง	จำนวนโมล $\times 10^{-3}$			
	แอมโมเนียม	โพแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
1	N.D.	1.5 \pm 0.1	3.7 \pm 0.1	N.D.
2	2.9 \pm 0.1	N.D.	3.5 \pm 0.1	N.D.
3	N.D.	2.4 \pm 0.1	5.5 \pm 0.1	N.D.
4	4.2 \pm 0.1	N.D.	4.8 \pm 0.1	N.D.
5	0.5 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	N.D.
6	1.3 \pm 0.1	0.7 \pm 0.1	1.2 \pm 0.1	N.D.
7	1.6 \pm 0.1	0.8 \pm 0.1	1.5 \pm 0.1	N.D.
8	1.0 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	0.8 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1
9	0.8 \pm 0.2	0.4 \pm 0.1	0.7 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1
10	1.1 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1	1.0 \pm 0.1	N.D.
11	N.D.	0.8 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1
12	0.3 \pm 0.1	0.1 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1	0.1 \pm 0.1
13	2.1 \pm 0.1	0.1 \pm 0.1	1.2 \pm 0.1	0.8 \pm 0.1
14	3.3 \pm 0.1	N.D.	0.4 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1
15	2.0 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	1.1 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1
16	1.0 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1	0.6 \pm 0.1	0.6 \pm 0.1
17	1.6 \pm 0.1	0.8 \pm 0.1	N.D.	0.9 \pm 0.1
18	5.0 \pm 0.1	N.D.	0.7 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1
19	3.6 \pm 0.1	0.9 \pm 0.1	1.0 \pm 0.1	1.0 \pm 0.1
20	1.4 \pm 0.1	0.7 \pm 0.1	N.D.	0.8 \pm 0.1
21	4.8 \pm 0.1	N.D.	0.7 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1
22	4.9 \pm 0.1	N.D.	0.7 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1
23	0.4 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1
24	0.1 \pm 0.1	0.1 \pm 0.1	0.1 \pm 0.1	0.1 \pm 0.1
25	N.D.	0.7 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1

N.D. = non detectable (ไม่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากมีความเข้มข้นต่ำกว่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD))

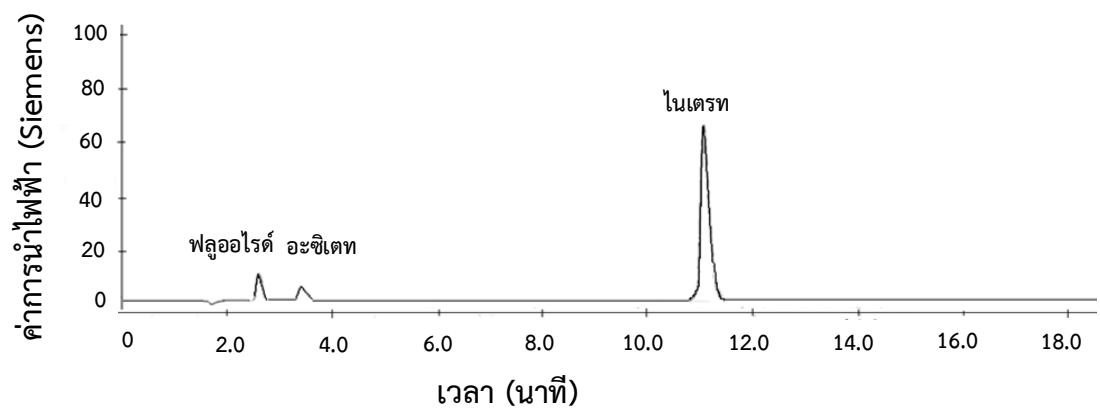
ตารางที่ 3.14 ชนิดของสารระเบิดอินทรีย์ที่ใช้ในการประกอบระเบิดที่พบจากการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง

กลุ่มที่	สารระเบิดอินทรีย์	จำนวนตัวอย่าง	ไอออนที่มีปริมาณมาก
1	โพแทสเซียมไนเตรท	2	ไนเตรท
	แอมโมเนียมไนเตรท	2	—
2	โพแทสเซียมไนเตรทและแอมโมเนียมไนเตรท	4	แอมโมเนียม
	โพแทสเซียมไนเตรทและโพแทสเซียมเปอร์คลอเรต	2	โพแทสเซียม
	โพแทสเซียมไนเตรทและแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต	4	แอมโมเนียม
	แอมโมเนียมไนเตรทและแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต	4	แอมโมเนียม
	โพแทสเซียมเปอร์คลอเรตและแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต	2	แอมโมเนียม
3	โพแทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมไนเตรท และแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต	5	แอมโมเนียม

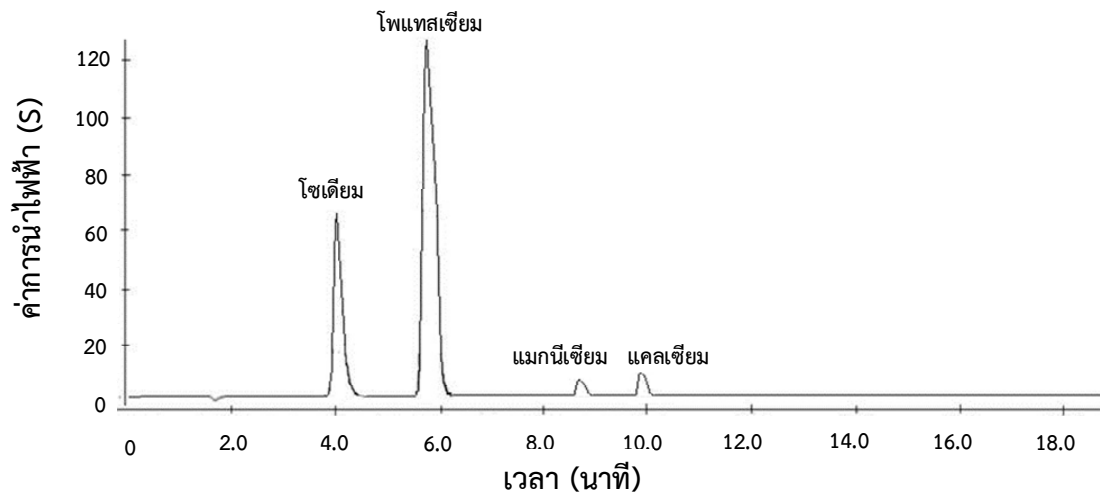
สาเหตุที่ทำให้พบไนเตรท โพแทสเซียม และแอมโมเนียม ในปริมาณมาก เนื่องจากการทดลองนี้ใช้ตัวอย่างดินสำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งในดินธรรมชาติจะมีโพแทสเซียม และแอมโมเนียมอยู่แล้ว ถึงแม้จะมีการหักลบความเข้มข้นของไอออนที่พบออกจากไอออนในดินบริเวณที่ใกล้เคียงกับบริเวณที่เกิดการระเหิดแล้วก็ตาม แต่ธรรมชาติของดินในแต่ละพื้นที่จะมีปริมาณไอออนต่างกัน ถึงแม้พื้นที่จะห่างกันเพียงเล็กน้อย (Nelson, 2005) โดยโพแทสเซียมที่มีปริมาณมากเกิดจากการย่อยสลายของหินและแร่ จากการใช้ปุ๋ย ซึ่งหินแกรนิต และบริเวณที่เป็นดินเหนียว จะมีโพแทสเซียมมากที่สุด ส่วนแอมโมเนียม เกิดจากแบคทีเรียต่าง ๆ การใช้ปุ๋ย การย่อยสลายของซากพืชซากสัตว์ ของเสียจากสิ่งมีชีวิต และจากวัฏจักรไนโตรเจน (Arienzo *et al.*, 2009; Nelson, 2005) เป็นสาเหตุที่ทำให้พบแอมโมเนียมในปริมาณสูง ส่วนกรณีของไนเตรทที่มีปริมาณมากที่พบในตัวอย่างที่ 1 และ 3 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเหิด ดังนั้นไนเตรทที่มีปริมาณมากจึงไม่ได้มาจากดิน แต่มาจากสารตั้งต้นที่นำมาใช้ในการประกอบระเหิด เมื่อพิจารณาจากโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกและไอออนลบของตัวอย่างที่ 1 (รูปที่ 3.22 และ 3.23) และตัวอย่างที่ 3 (รูปที่ 3.24 และ 3.25) ในการวิเคราะห์ไอออนบวกจะมีสัญญาณของโซเดียมปรากฏอยู่ทั้งสองตัวอย่าง และในการวิเคราะห์ไอออนลบจะมีสัญญาณของไนเตรท แสดงว่าไนเตรทที่พบมาจากโพแทสเซียมไนเตรท และโซเดียม ไนเตรท ซึ่งมีรายงานการใช้โซเดียมไนเตรทสำหรับเป็นสารตั้งต้นในการประกอบระเบิด (Beitia *et al.*, 1994; Jimmie *et al.*, 1992)



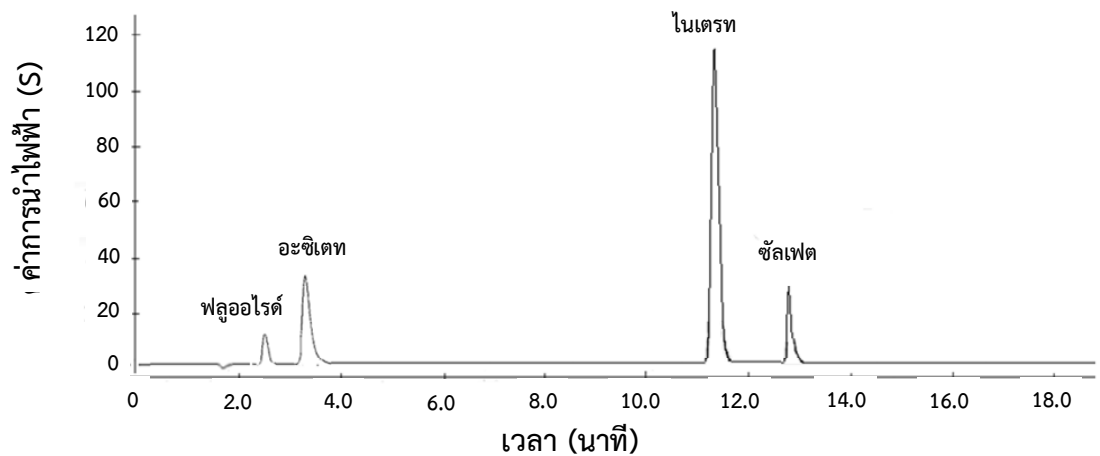
รูปที่ 3.22 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 1 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



รูปที่ 3.23 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 1 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



รูปที่ 3.24 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 3 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)



รูปที่ 3.25 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 3 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร)

จากการวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์ที่ใช้สำหรับประกอบระเบิดแสงเครื่องที่ใช้ก่อเหตุใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย ในตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเบิดและตัวอย่างดินที่ได้หลังจากระเบิดทั้งหมด 25 ตัวอย่าง โดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี พบว่าสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับการประกอบระเบิด ส่วนใหญ่จะใช้สารระเบิดอินทรีย์ เช่น โพลแทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมไนเตรท โพลแทสเซียมเปอร์คลอเรต และแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต ซึ่งอาจจะใช้เพียงชนิดเดียว สองชนิด หรือสามชนิดผสมกัน

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองการตรวจวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์สำหรับประกอบระเบิด แสงสว่างที่ใช้ก่อเหตุใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย วิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์ 4 ชนิด คือ แอมโมเนียมไนเตรท โพแทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต และโพแทสเซียมเปอร์คลอเรต ในรูปของไอออน 4 ชนิด คือ แอมโมเนียม โพแทสเซียม ไนเตรท และเปอร์คลอเรต จากตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเบิดและตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด เตรียมตัวอย่างโดยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย วิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี สรุปผลได้ดังนี้

4.1 บทสรุป

4.1.1 ปัจจัยที่เหมาะสมของการวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

สภาวะที่ศึกษาประกอบด้วย อัตราไหลของตัวชะ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ใช้เป็นตัวชะสำหรับการวิเคราะห์แอมโมเนียมและโพแทสเซียม และพีเอชของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ที่ใช้เป็นตะสำหรับการวิเคราะห์ไนเตรทและเปอร์คลอเรต โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์สรุปในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

สภาวะที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
อัตราการไหลของตัวชะ (มิลลิลิตรต่อนาที)	
- กรดซัลฟิวริก	1.00
- โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์	1.25
ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก (มิลลิโมลาร์)	11.00
พีเอชของโซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์	10.6

4.1.2 การใช้ได้ของวิธี

โดยปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเที่ยง ช่วงความเป็นเส้นตรง ความแม่นยำ ร้อยละการได้กลับคืน ขีดจำกัดการตรวจวัด และขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ผลที่ได้ดังสรุปในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ ความเที่ยง ช่วงความเป็นเส้นตรง ความแม่นยำ ร้อยละการได้กลับคืน ซีดจำกัดการตรวจวัด และขีดจำกัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

ปัจจัยที่ศึกษา	ไอออน			
	แอมโมเนียม	โพแทสเซียม	ไนเตรท	เปอร์คลอเรต
เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์ (นาที) ($n=10$)	4.61	5.72	11.53	17.58
% RSD เวลาที่สารถูกหน่วงในคอลัมน์	0.5	0.2	0.5	0.2
% RSD พื้นที่ใต้พีค	2.0	1.9	1.3	0.2
ช่วงความเป็นเส้นตรง (ไมโครกรัมต่อลิตร)	7 - 100,000	6 - 100,000	2 - 100,000	4 - 100,000
ค่าสหสัมพันธ์เชิงปริมาณ (R^2)	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
ขีดจำกัดการตรวจวัด (ไมโครกรัมต่อลิตร)	28	12	6	8
ขีดจำกัดการตรวจวัดเชิงปริมาณ (ไมโครกรัมต่อลิตร)	94	38	22	28
ร้อยละการได้กลับคืน	96 ± 1	96 ± 1	97 ± 1	97 ± 1

4.1.3 การเตรียมตัวอย่าง

ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุด สำหรับการสกัดตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเบิด ปริมาณ 0.0100 กรัม และตัวอย่างดินที่ได้หลังจากการระเบิด ปริมาณ 5.0000 กรัม สภาวะที่ศึกษาได้แก่ ปริมาตรของน้ำปราศจากไอออนที่ใช้สกัด เวลาในการสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic bath และเวลาในการหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที ผลที่ได้ตั้งสรุปในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดตัวอย่าง

สภาวะที่ศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
ปริมาตรของน้ำปราศจากไอออน (มิลลิลิตร)	5.00
เวลาสำหรับสกัดด้วยคลื่นความถี่สูง (นาที)	15
เวลาสำหรับหมุนเหวี่ยง (นาที)	5

4.1.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างจริง

จากการวิเคราะห์สารระเบิดอินทรีย์ที่ใช้สำหรับการประกอบระเบิดแสงเครื่องจากตัวอย่างที่ได้ก่อนการระเบิดและหลังจากการระเบิดจำนวน 25 ตัวอย่าง เพื่อระบุหรือบ่งชี้ว่าสารระเบิดที่นำมาใช้สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการประกอบระเบิดแสงเครื่องที่ใช้ก่อเหตุใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย เป็นสารระเบิดอินทรีย์หรือไม่ ถ้าใช่เป็นสารระเบิดอินทรีย์ชนิดใดวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เมื่อพิจารณาจากไอออนที่พบสามารถบ่งชี้ได้ว่าสารระเบิดอินทรีย์ที่นำมาใช้เป็นสารตั้งต้นเป็นสารระเบิดอินทรีย์ชนิดใด จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 25 ตัวอย่าง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (ตารางที่ 4.4) คือ กลุ่มที่ใช้เพียงหนึ่งชนิด คิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ผสมกันสองชนิด คิดเป็น 64 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ผสมกันสามชนิด คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 ชนิดของสารระเบิดอนินทรีย์ที่ใช้ในการประกอบระเบิดที่พบจากการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง

กลุ่มที่	สารระเบิดอนินทรีย์	จำนวนตัวอย่าง
1	โพแทสเซียมไนเตรท	2
	แอมโมเนียมไนเตรท	2
2	โพแทสเซียมไนเตรทและแอมโมเนียมไนเตรท	4
	โพแทสเซียมไนเตรทและโพแทสเซียมเปอร์คลอเรต	2
	โพแทสเซียมไนเตรทและแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต	4
	แอมโมเนียมไนเตรทและแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต	4
	โพแทสเซียมเปอร์คลอเรตและแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต	2
3	โพแทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมไนเตรท และแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต	5

จากการทดลองพบว่า ผู้ก่อความไม่สงบจะนิยมใช้แอมโมเนียมไนเตรท โพแทสเซียมไนเตรท แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต และโพแทสเซียมเปอร์คลอเรต ซึ่งเป็นสารระเบิดอนินทรีย์สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการประกอบระเบิดแสงเครื่องเพื่อใช้ก่อเหตุใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งอาจจะใช้เพียงชนิดเดียว สองชนิด สามชนิด หรือมากกว่านั้นผสมกัน ขึ้นอยู่กับชนิดหรือปริมาณของสารตั้งต้นที่มีอยู่ โดยส่วนใหญ่จะใช้โพแทสเซียมไนเตรท หรือแอมโมเนียมไนเตรท เป็นสารตั้งต้นหลัก และอาจจะผสมกับโพแทสเซียมเปอร์คลอเรต หรือแอมโมเนียมเปอร์คลอเรต สำหรับประกอบระเบิดแสงเครื่อง

จากผลการศึกษาข้างต้นจะเห็นว่าเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์สารระเบิดอนินทรีย์จากตัวอย่างจริงได้ สามารถระบุว่ามีสารที่นำมาใช้ประกอบระเบิดเป็นสารระเบิดอนินทรีย์ชนิดไหน เพื่อใช้เป็นหลักฐานในชั้นศาลได้ และป้องกันการครอบครองสารประกอบระเบิดมากเกินไปกำหนด และเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่สามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว มีความไววิเคราะห์สูง ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ และสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความหลากหลายมากขึ้น เช่น เสื้อผ้า หิน น้ำ โลหะ พลาสติก หรือตัวอย่างที่ได้จากการ swab เพื่อบ่งชี้หรือยืนยันว่าสารที่นำมาใช้ในการประกอบระเบิด แสวงเครื่องเป็นสารระเบิดอนินทรีย์จริง และเพื่อยืนยันว่าเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างระเบิด อนินทรีย์ได้

2. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างหลังจากที่เกิดการระเบิด เพื่อศึกษาว่าสารระเบิดอนินทรีย์สามารถอยู่ได้นานเท่าไร

3 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราส่วนที่แท้จริงในการใช้สารระเบิดอนินทรีย์สำหรับประกอบระเบิด

บรรณานุกรม

แม่น้ำ อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2553. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันดี สุขวำจน์. 2551. นิติวิทยาศาสตร์ 1. นครปฐม: โรงเรียนนายร้อยตำรวจสามพราน

ธรรมภรณ์ ธนวัฒน์วงศธร. 2551. นิติวิทยาศาสตร์ 2. นครปฐม: โรงเรียนนายร้อยตำรวจสามพราน

ข่าวสดรายวัน วันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2553 ปีที่ 20 ฉบับที่ 7256 ฐานข้อมูลข่าวจังหวัดชายแดนภาคใต้ (<http://wbns.oas.psu.ac.th/newsgroup.html>)

ศูนย์ข้อมูลวัตถุระเบิด ศูนย์ปฏิบัติการสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ส่วนหน้า (Bomb Data Centre, Forward Operation Centre of Royal Thai Police) 9 ถนนสุขยางค์ ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา 95000

ศูนย์เฝ้าระวังสถานการณ์ภาคใต้ (Deep South Watch – DSW)
<http://www.deepsouthwatch.org/>

Akhavan, J. (1998). "Chemistry of Explosives"

Alcázar, A., P. L. Fernández-Cáceres, et al. (2003). "Ion chromatographic determination of some organic acids, chloride and phosphate in coffee and tea." Talanta 61(2): 95-101.

Alexander, M. (1977). Nitrification. Denitrification. In Introduction to Soil Microbiology.

- Amas, S. A. H. and H. J. Yallop (1966). "The Identification of Industrial Blasting Explosives of the Gelignite Type." Journal of the Forensic Science Society **6**(4): 185-188.
- Bender, E., A. D. Beveridge, et al. (1998). "Analysis of Low Explosives." Forensic Investigations of Explosives: 231-265.
- Beveridge, A., S. Payton, et al. (2005). "Systematic analysis of explosive residues." Journal of Forensic Sciences **20**: 431-454.
- Crowson, A., S. Doyle, et al. (2007). "Quality assurance testing of an explosives trace analysis laboratory - further improvements." Journal of Forensic Sciences **52**: 830-837.
- D.D. Fetterolf (1995). "Detection and identification of explosives by mass spectrometry." Forensic Applications of Mass Spectrometry **3**: 215.
- Davis, T. L. (1941). "Chemistry of Powder and Explosives."
- Dionex Corporation (2010). CDX 500 Ion Chromatography Product Manual. Document No. 031132 "
- Dionex Corporation (2000). "IP 25 Isocratic Pump Operator's Manual Document No. 031375"
- Dionex Corporation (2001). "CD 25 Conductivity Detector Operator's Manual Document No. 031774"

- Ding, M. Y., P. R. Chen, et al. (1997). "Simultaneous determination of organic acids and inorganic anions in tea by ion chromatography." Journal of Chromatography A **764**(2): 341-345.
- Douglas, T. A., L. Johnson, et al. (2009). "A time series investigation of the stability of nitramine and nitroaromatic explosives in surface water samples at ambient temperature." Chemosphere **76**(1): 1-8.
- Doyle, J., M. Miller, et al. (2000). "A multicomponent mobile phase for ion chromatography applied to the separation of anions from the residue of low explosives." Analytical Chemistry **72**: 2302-2307
- Doyle, J. M. and B. R. McCord (1998). "Novel electrolyte for the analysis of cations in low explosive residue by capillary electrophoresis." Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications **714**(1): 105-111.
- Dreifuss, P. and J. Goodpaster (2004). "Atmospheric pressure ionization LC/MS methods for the analysis of black powder substitutes. 8th International Symposium on Analysis and Detection of Explosives." 168-180.
- Dreifuss, P. and K. Klontz (2001). "Advances in atmospheric pressure ionization (API) LC/MS and GC/MS methods for the analysis and detection of explosives." 7th International Symposium on Analysis and Detection of Explosives.
- Ernesto, B. M. and R. V. A. L. (2004). "Simultaneous determination of inorganic and organic gunshot residues by capillary electrophoresis." Journal of Chromatography A **1061**(2): 225-233.

- Ewing, R. G., D. A. Atkinson, et al. (2001). "A critical review of ion mobility spectrometry for the detection of explosives and explosive related compounds." Talanta **54**(3): 515-529.
- Felt, D. R., S. L. Larson, et al. (2008). "An extraction/concentration procedure for analysis of low-level explosives in soils." Talanta **76**(1): 21-28.
- Goodpaster, J. and R. Keto (2004). " Identification of ascorbic acid and its degradation products in black powder substitutes." Journal of Forensic Sciences **49**: 523-528.
- Guide EURACHEM (1998). "The fitness for purpose of analytical methods: a laboratory." Guide to method Validation and Related Topics.
<http://www.eurachem.org>.
- Hargadon, K. A. and B. R. McCord (1992). "Explosive residue analysis by capillary electrophoresis and ion chromatography." Journal of Chromatography A **602**(1-2): 241-247.
- Hopper, K. and B. McCord (2005). "A comparison of smokeless powders and mixtures by capillary zone electrophoresis." Journal of Forensic Sciences **50**: 307-315.
- Hutchinson, J., C. Evenhuis, et al. (2007). "Identification of inorganic improvised explosive devices by analysis of post-blast residues using portable capillary electrophoresis instrumentation and indirect photometric detection with a light emitting diode." Analytical Chemistry **79**: 7005-7013.

IUPAC (1007). "IUPAC Gold Book. " from <http://www.iupac.org/goldbook/S05924>.

Johns, C., R. A. Shellie, et al. (2008). "Identification of homemade inorganic explosives by ion chromatographic analysis of post-blast residues." Journal of Chromatography A **1182**(2): 205-214.

Kishi, T., J. Nakamura, et al. (1998). "Application of capillary electrophoresis for the determination of inorganic ions in trace explosives and explosive residues." Electrophoresis **19**: 3-5.

Kolla, P. (1994). "Gas chromatography, liquid chromatography and ion chromatography adapted to the trace analysis of explosives." Journal of Chromatography A **674**(1-2): 309-318.

Kolla, P. (2004). "Trace analysis of salt based explosives by ion chromatography." Forensic Science International **50**(2): 217-226.

Kuila, D. K., A. Chakraborty, et al. (2006). "Composition profile of low explosives from cases in India." Forensic Science International **159**(2-3): 127-131.

LaboratoryExplosivesGroup, T. (2007). "Recommended guidelines for forensic identification of intact explosives."

Lahoda, K., O. Collin, et al. (2008). "A survey of background levels of explosives and related compounds in the environment." Journal of Forensic Sciences **53**: 802-806.

- Lang, L. and K. Boyle (2007). "The analysis of black powder substitutes containing ascorbic acid by ion chromatography/mass spectrometry (IC/MS)." 9th International Symposium on Analysis and Detection of Explosives.
- LeClair, H., K. Hopper, et al. (2005). " A novel method for analysis of explosives residues by simultaneous detection of anions and cations via capillary zone electrophoresis." Talanta **67**(304-312).
- Levin, S. (2002). "Analytical of ions using high performance liquid chromatography: Ion-Chromatography." http://www.forumsci.co.il/HPLC/ion_chrm.html
- Lim, C., P. Chia, et al. (2007). "Low level detection of low explosives by Raman spectroscopy." 9th International Symposium on Analysis and Detection of Explosives.
- Lloyd, J. B. F., G. E., et al. (1992). "HPLC of ExplosivesMaterials." Advances in Chromatography **32**: 174.
- Long, L. G., Winefordner and D, J. (1983). "Limit of detection a closer look at the IUPAC definition." Analytical Chemistry **55**: 712A-724A.
- Mahoney, C., G. Gillen, et al. (2006). "Characterization of gunpowder samples using time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS)." Forensic Science International **158**: 39-51.
- Man, A. and P. Amorn (2010). "Principle and Techniques of Instrumental Analysis Part II."

Maximilian, K., S. Andreas, et al. (2001). "Practical Ion Chromatography An Introduction."

McCord, B. R. and E. Bender (1998). "Chromatography of Explosives." Forensic Investigations of Explosives: 231-265.

McCord, B. R., K. A. Hargadon, et al. (1994). "Forensic analysis of explosives using ion chromatographic methods." Analytica Chimica Acta **288**(1-2): 43-56.

Meng, H.-B., T.-R. Wang, et al. (2008). "Simultaneous determination of inorganic anions and cations in explosive residues by ion chromatography." Talanta **76**(2): 241-245.

Midkiff, C. A. (2001). "Explosives Investigation." Forensic Science Handbook, 2nd.

Miller, C.E. (1990). "Chemical Separation; Principles, Techniques, and Experiments. 1st Edition USA, John Wiley and Sons, Inc.

Morales, E. B. and A. L. Vázquez (2004). "Simultaneous determination of inorganic and organic gunshot residues by capillary electrophoresis." Journal of Chromatography A **1061**(2): 225-233.

Nelson, P. (2003). "Index to EPA Test Methods." US EPA New England Region 1 Library

Norman, W. and S. Ouderkirk (2007). " IC-MS detection of inorganic ions of interest in explosives. 9th International Symposium on Analysis and Detection of Explosives."

Ochsenbein, U., M. Zeh, et al. (2008). "Comparing solid phase extraction and direct injection for the analysis of ultra-trace levels of relevant explosives in lake water and tributaries using liquid chromatography–electrospray tandem mass spectrometry." Chemosphere **72**(6): 974-980.

Oxley, J. (2007). "Woodfin, R., Ed.; John Wiley & Sons: Hoboken." Trace Chemical Sensing of Explosives.

Paull, B., C. Roux, et al. (2004). "Rapid screening of selected organic explosives by high performance liquid chromatography using reversed-phase monolithic columns." Journal of Forensic Sciences **49**: 1181-1186.

Perrett, D., S. Marchese, et al. (2008). "LC-MS-MS determination of stabilizers and explosives residues in hand-swabs." Chromatographia **68**: 517-524.

Popov, I. C., H., O. Kharybin, et al. (2005). "Detection of explosives on solid surfaces by thermal desorption and ambient ion/molecule reactions." Chemical Communications **15**: 1953-1955.

Pumera, M. (2006). "Analysis of explosives via microchip electrophoresis and conventional capillary electrophoresis: A review." Electrophoresis **27**: 244–256.

Pumera, M. (2008). "Trends in analysis of explosives by microchip electrophoresis and conventional CE." Electrophoresis **29**: 269–273.

Robert R., Lenz. (1965). "Explosive and Bomb Disposal Guide." Springfield Illinois: Charles C., Thomas. Publisher.

- Roy, M. (2004). "Analysis of dicyandiamide (DCDA), sodium benzoate, and 3-nitrobenzoic acid by LC/MS and LC/MS/MS." 8th International Symposium for the Analysis and Detection of Explosives: 433-442.
- Royds, D., S. W. Lewis, et al. (2005). "A case study in forensic chemistry: The Bali bombings." Talanta **67**(2): 262-268.
- Sarazin, C., N. Delaunay, et al. (2010). "Identification and determination of inorganic anions in real extracts from pre- and post-blast residues by capillary electrophoresis." Journal of Chromatography A **1217**(44): 6971-6978.
- Schiewe, J., Y. Mrestani, et al. (1995). "Application and optimization of capillary zone electrophoresis in vitamin analysis." Journal of Chromatography A **717**(1-2): 255-259.
- Schreiber, A., J. Efer, et al. (2000). "Application of spectral libraries for high-performance liquid chromatography-atmospheric pressure ionisation mass spectrometry to the analysis of pesticide and explosive residues in environmental samples." Journal of Chromatography A **869**(1-2): 411-425.
- Sharma, S. and S. Lahiri (200). "5Characterization and identification of explosives and explosives residues using GC-MS and FTIR microscope, and HPTLC." Journal of Energetic Materials **23**: 239-264.
- Skoog, D., F. Holler, et al. (1998). "Principles of Instrumental Analysis."

Small, H., T. Stevens, et al. (1975). "Novel ion exchange chromatographic method using conductometric detection." Analytical Chemistry **47**: 1801.

Swartz, M.E. and Krull, I. S. (1997). "Analytica Method Development and validation. " 1st edition USA, Marcel Dekker, Inc.

Snyder, L. R. and Kirkland, J. J. (1979). "Introduction to Modern Liquid Chromatography. " 2nd edition USA, John Wiley and Sons, Inc.

Tachon, R., V. Pichon, et al. (2008). "Comparison of solid-phase extraction sorbents for sample clean-up in the analysis of organic explosives." Journal of Chromatography A **1185**(1): 1-8.

Thompson, R., D. Fetterolf, et al. (1999). "Aqueous recovery from cotton swabs of organic explosives residue followed by solid phase extraction." Journal of Forensic Sciences **44**: 795-804.

Thompson, M., Ellison, S. L. R. and Wood, R. (2002). "Harmonized Guidelines for Singlelaboratory Validation Method of Analysis (IUPAC Technical Report)." Pure Appl. Chem: 835-855.

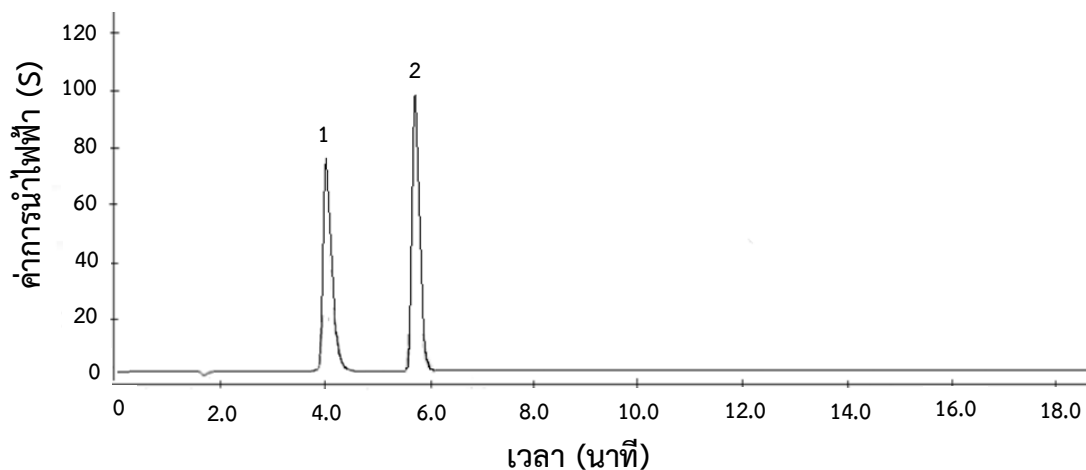
Tyrrell, É., G. W. Dicoski, et al. (2011). "Coupled reversed-phase and ion chromatographic system for the simultaneous identification of inorganic and organic explosives." Journal of Chromatography A **1218**(20): 3007-3012.

- Tyrrell, É., E. F. Hilder, et al. (2008). "Packing procedures for high efficiency, short ion-exchange columns for rapid separation of inorganic anions." Journal of Chromatography A **1208**(1-2): 95-100.
- Versari, A., A. Mattioli, et al. (2004). "Rapid analysis of ascorbic and isoascorbic acids in fruit juice by capillary electrophoresis." Food Control **15**(5): 355-358.
- Verweij, A., M. De Bruyne, et al. (1996). "Anionenaustauschchromatographie in der analyse von Bombenrückständen." Archiv für Kriminologie **177**: 91-94.
- Walters, A. (1995). "Systematic approach to the identification of explosives residues VIII: ascorbic acid containing propellants." 5th International Symposium on Analysis and Detection of Explosives.
- Warren, D., R. W. Hiley, et al. (1999). "Novel technique for the combined recovery, extraction and clean-up of forensic organic and inorganic trace explosives samples." Science & Justice **39**(1): 11-18.
- Weiss, J. (2004). "Handbook of Ion Chromatography, Third."
- Wu, C. H., Y. S. Lo, et al. (1995). "Capillary electrophoretic determination of organic acids with indirect detection." Journal of Chromatography A **716**(1-2): 291-301.
- Zeichner, A., S. Abramovich-Bar, et al. (2009). "A feasibility study on the use of double-sided adhesive coated stubs for sampling of explosive traces from hands." Forensic Science International **184**(1-3): 42-46.

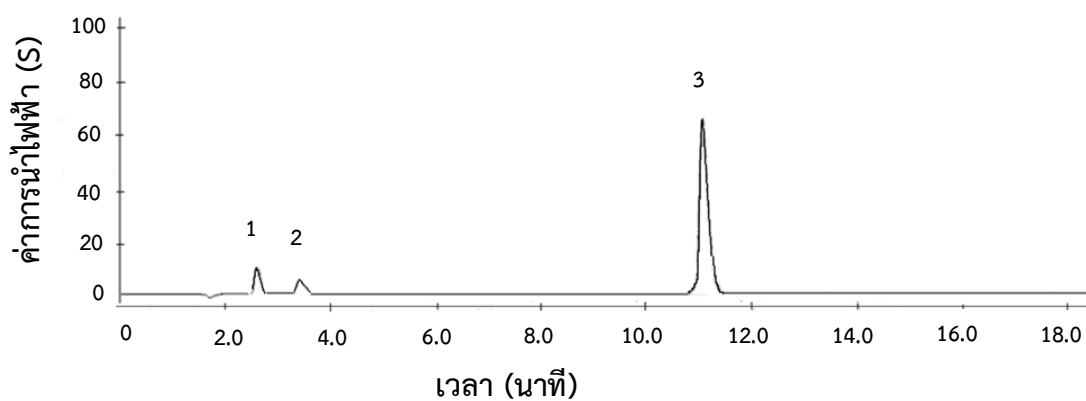
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างที่ 1

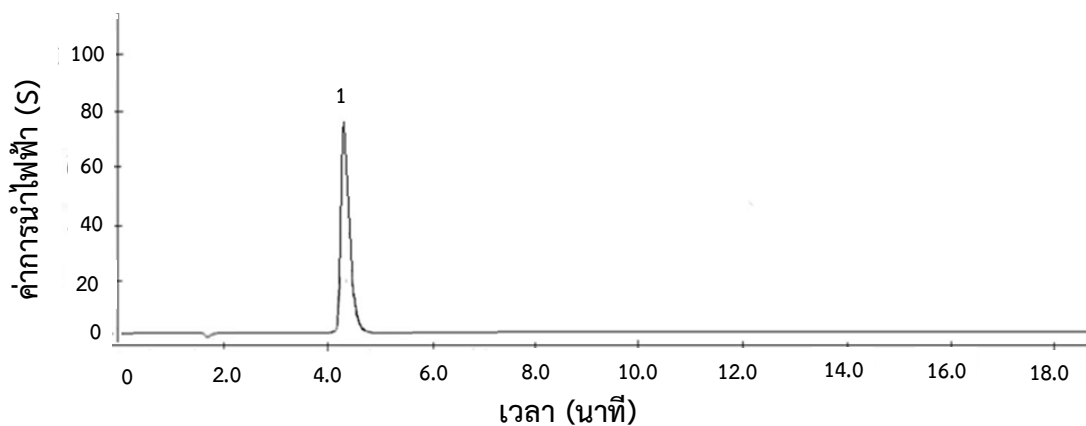


รูปที่ ก-1 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 1 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) โซเดียม และ (2) โพแทสเซียม)

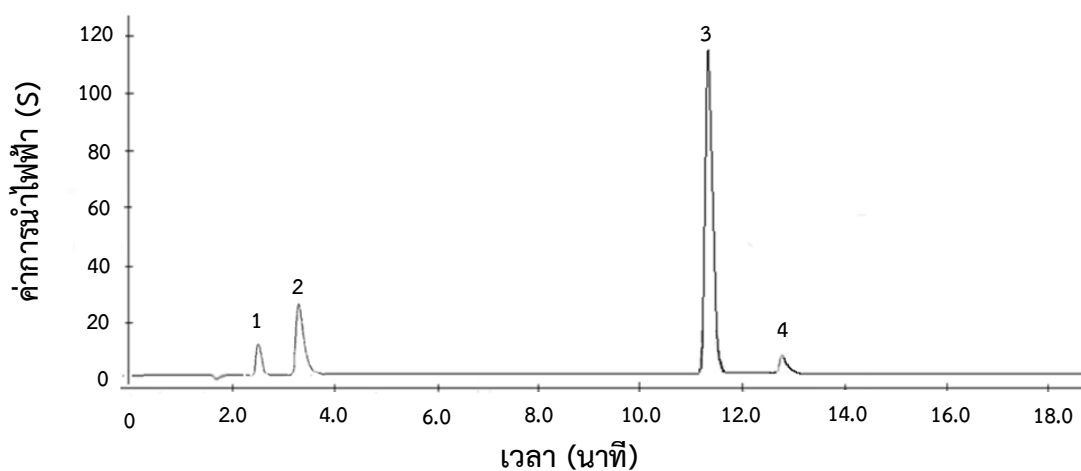


รูปที่ ก-2 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 1 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท และ (3) ไนเตรท)

ตัวอย่างที่ 2

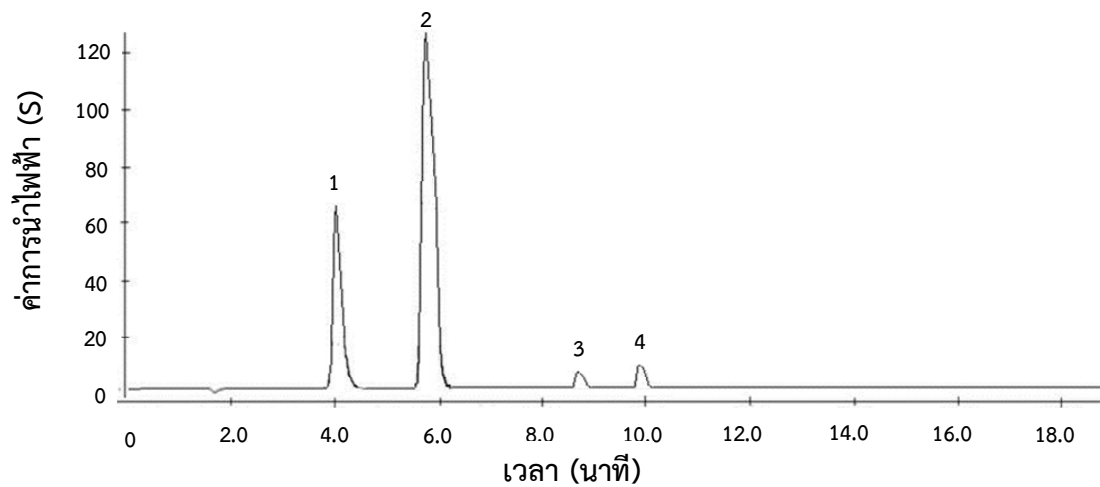


รูปที่ ก-3 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 2 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) แอมโมเนียม)

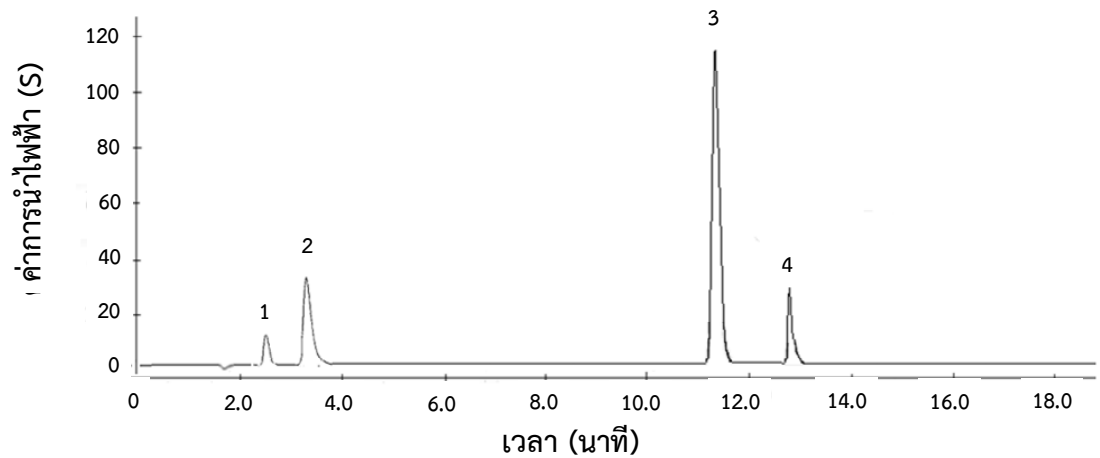


รูปที่ ก-4 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 2 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) ไนเตรท และ (4) ซัลเฟต)

ตัวอย่างที่ 3

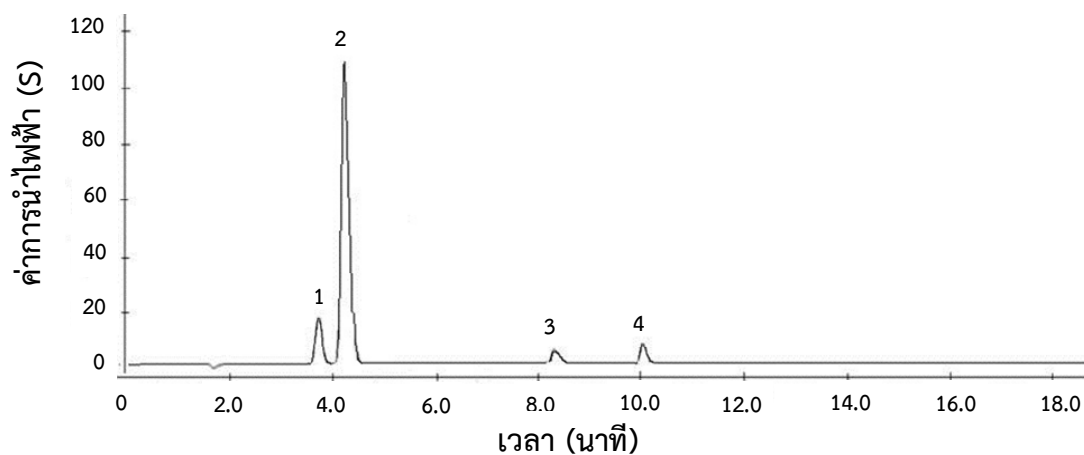


รูปที่ ก-5 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 3 ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) โซเดียม และ (2) โพแทสเซียม)

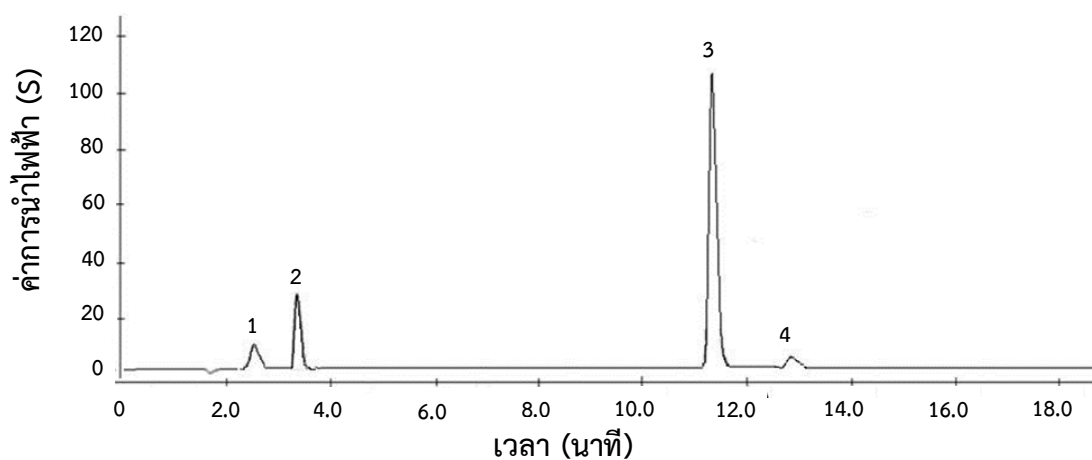


รูปที่ ก-6 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 3 ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) ไนเตรท และ (4) ซัลเฟต)

ตัวอย่างที่ 4

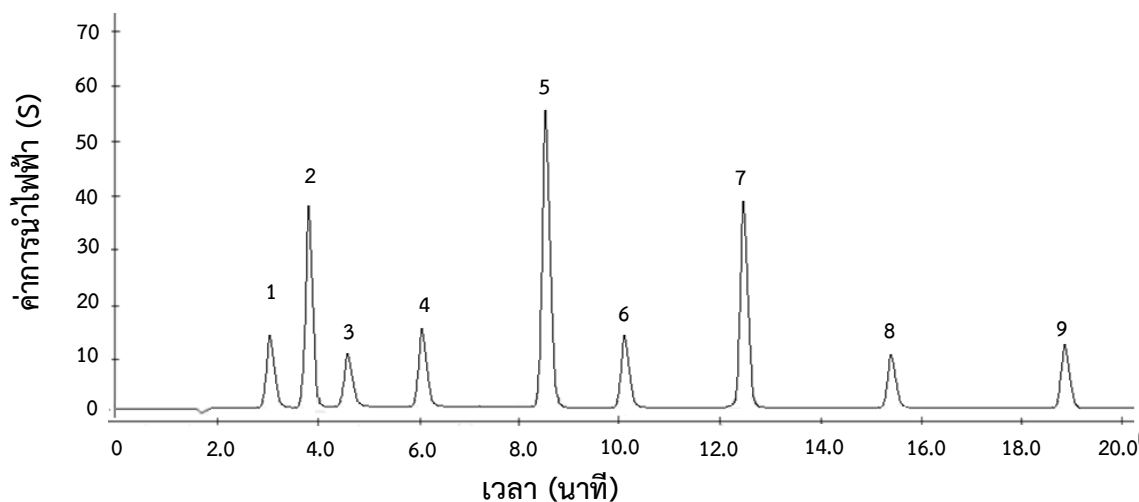


รูปที่ ก-7 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 4 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) โซเดียม (2) แอมโมเนียม (3) แมกนีเซียม และ (4) แคลเซียม)

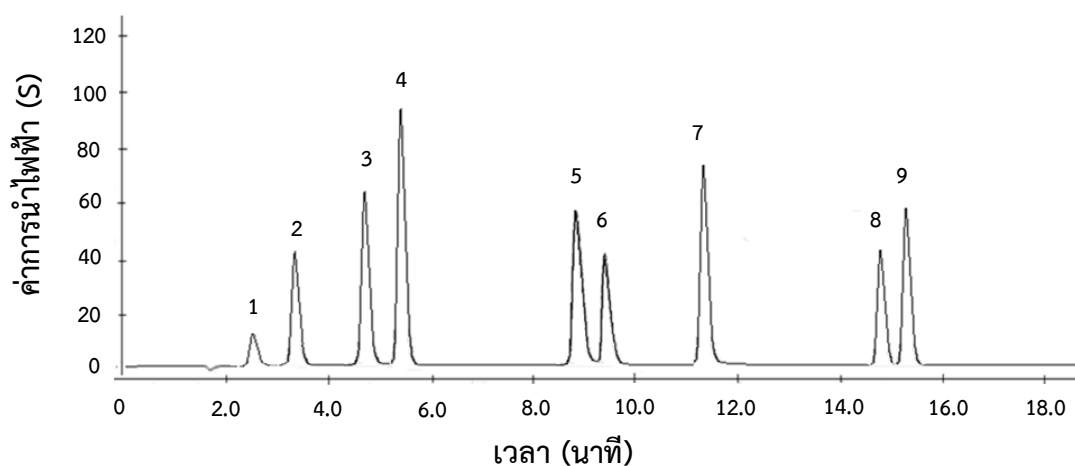


รูปที่ ก-8 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 4 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) ไนเตรท และ (4) ซัลเฟต)

ตัวอย่างที่ 5

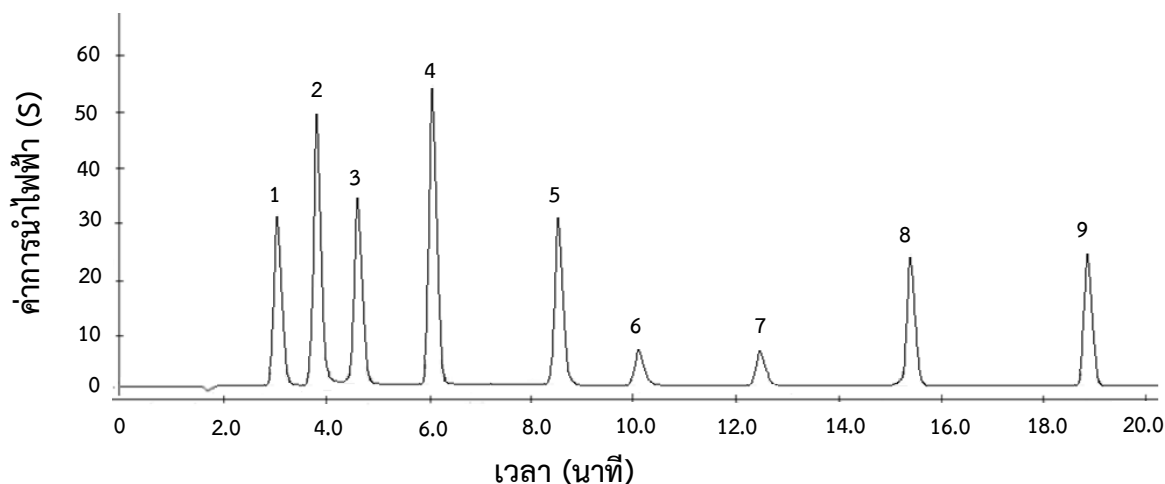


รูปที่ ก-9 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 5 ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมกนีเซียม (6) แคลเซียม (7) สตรอนเตียม (8) แบเรียม และ (9) โครเมียม)

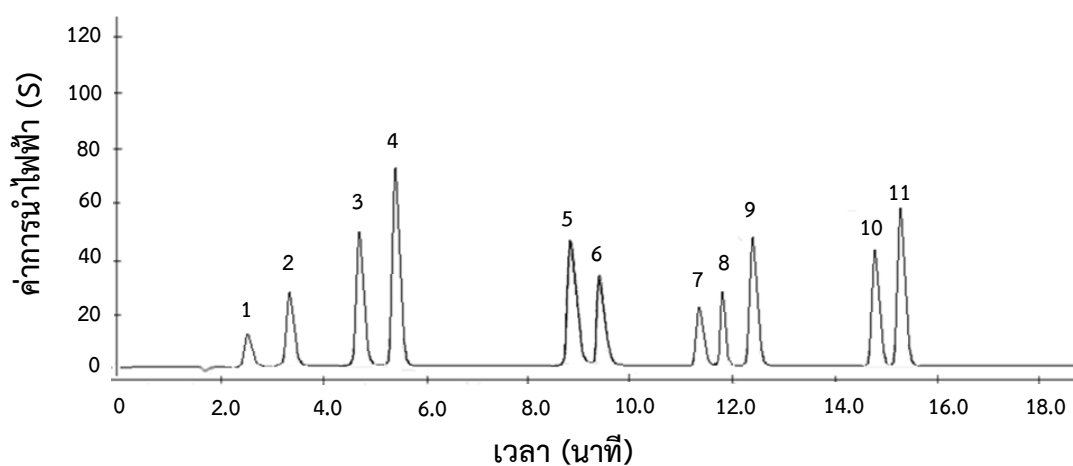


รูปที่ ก-10 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 5 ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรท์ (6) ไซยาเนต (7) ไนเตรท (8) ฟอสเฟต และ (9) ไฮโปไซยาเนต)

ตัวอย่างที่ 6

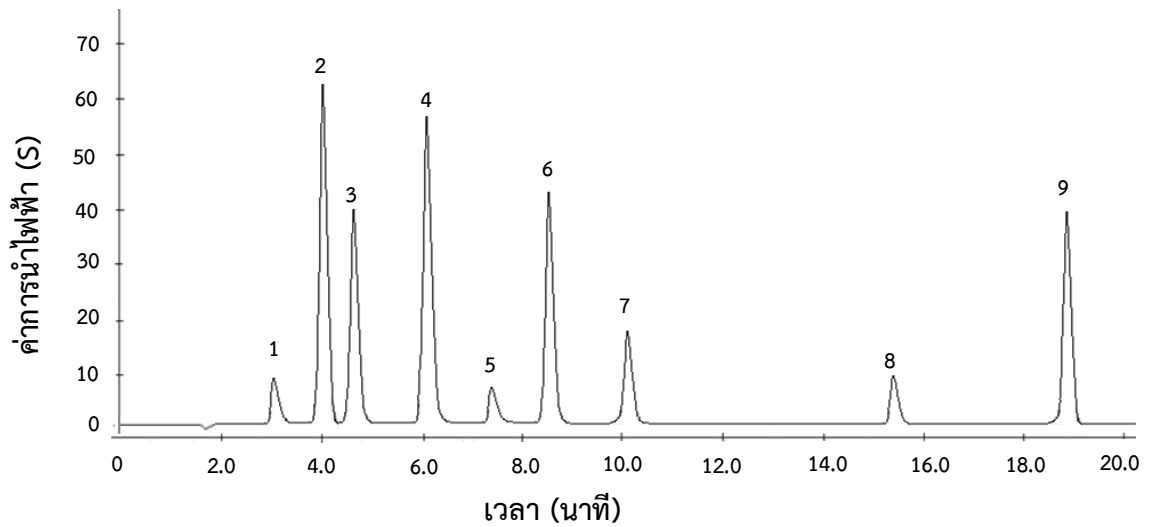


รูปที่ ก-11 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 6 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมกนีเซียม (6) แคลเซียม (7) สตรอนเตียม (8) แบเรียม และ (9) โครเมียม)

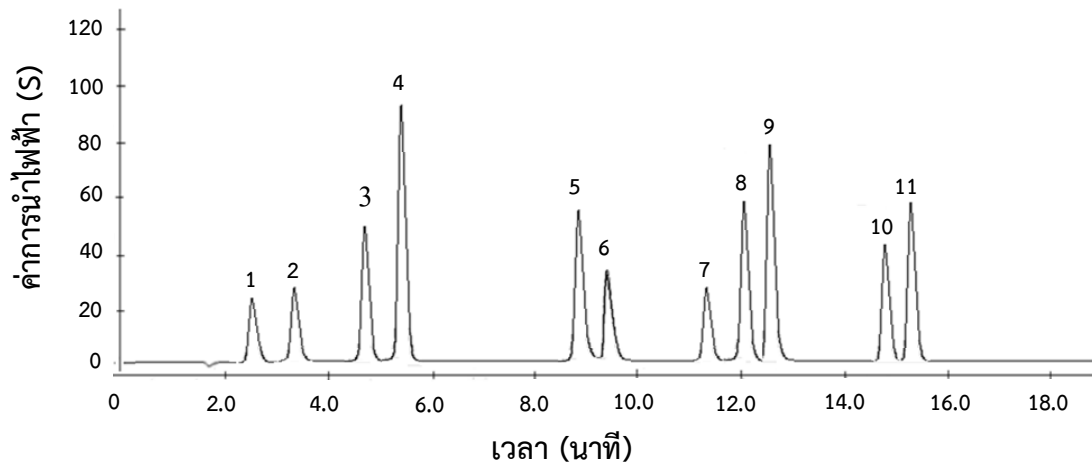


รูปที่ ก-12 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 6 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรท์ (6) ไฮโปไนไท์ (7) ไนเตรท (8) เอซีน (9) ซัลเฟต (10) ฟอสเฟต และ (11) ไฮโปไฮโปไนไท์)

ตัวอย่างที่ 7

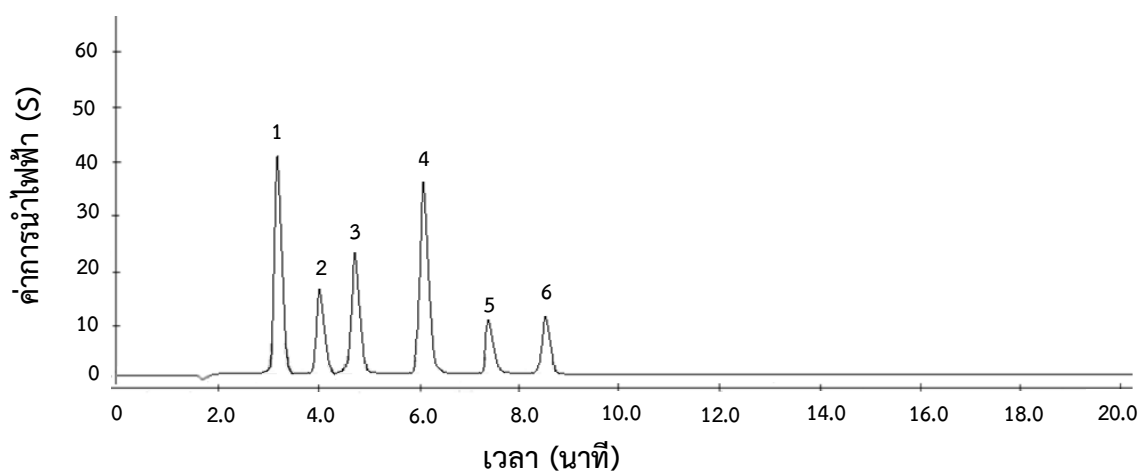


รูปที่ ก-13 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 7 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม (8) แบเรียม และ (9) โครเมียม)

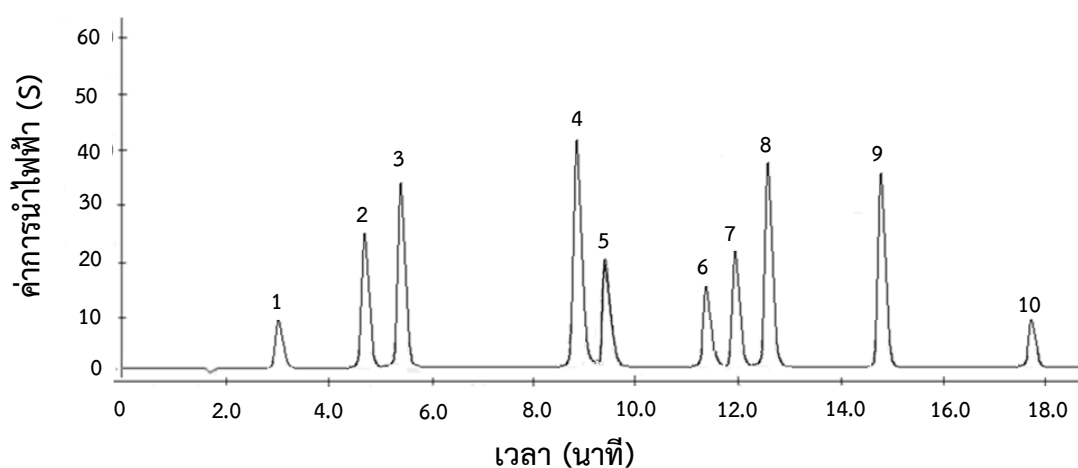


รูปที่ ก-14 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 7 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรต์ (6) ไฮยอะเนต (7) ไนเตรท (8) คาร์บอเนต (9) ซัลเฟต (10) ฟอสเฟต และ (11) ไรโอไฮยอะเนต)

ตัวอย่างที่ 8

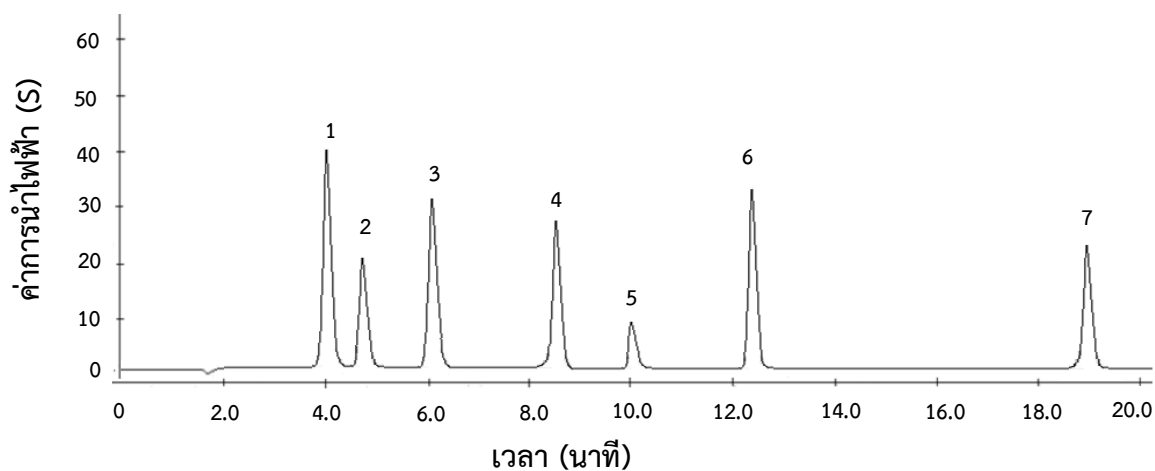


รูปที่ ก-15 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 8 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมกนีเซียม และ (6) แมกนีเซียม)

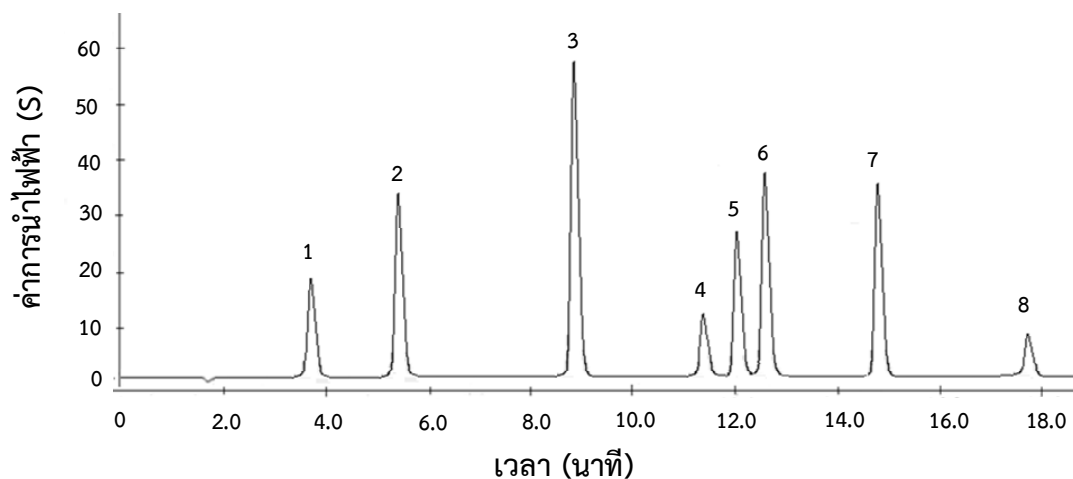


รูปที่ ก-16 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 8 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ไนไตรท์ (5) ไฮยเนต (6) ไนเตรท (7) เอซีน (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต และ (10) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 9

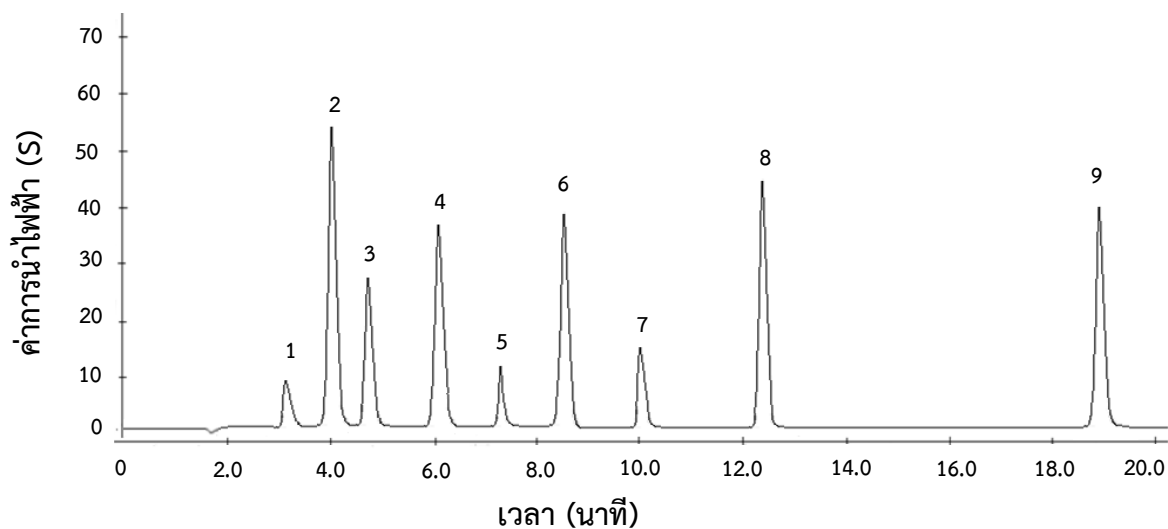


รูปที่ ก-17 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 9 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) โซเดียม (2) แอมโมเนียม (3) โพแทสเซียม (4) แมกนีเซียม (5) แคลเซียม (6) สตรอนเตียม และ (7) โครเมียม)

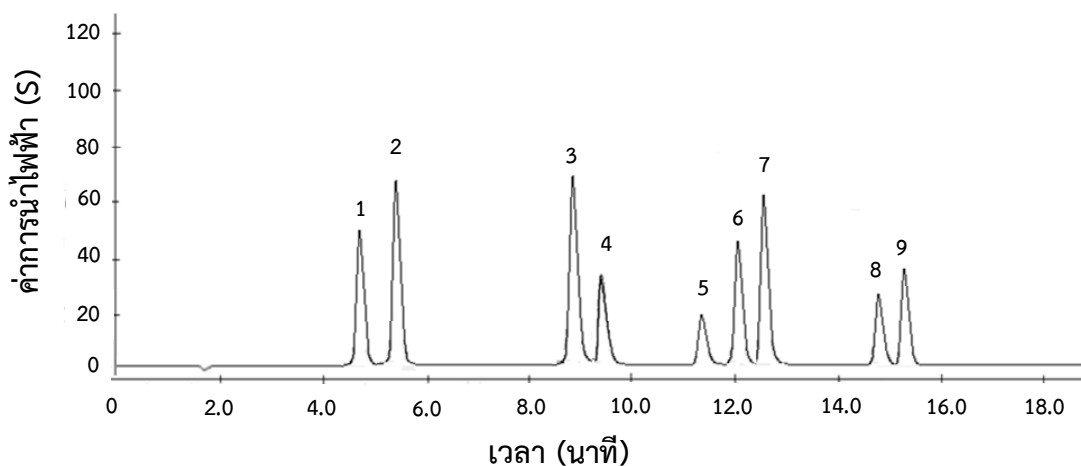


รูปที่ ก-18 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 9 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) อะซิเตท (2) ครอไรด์ (3) ไนไตรท์ (4) ไนเตรท (5) เอซีน (6) ซัลเฟต (7) ฟอสเฟต และ (8) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 10

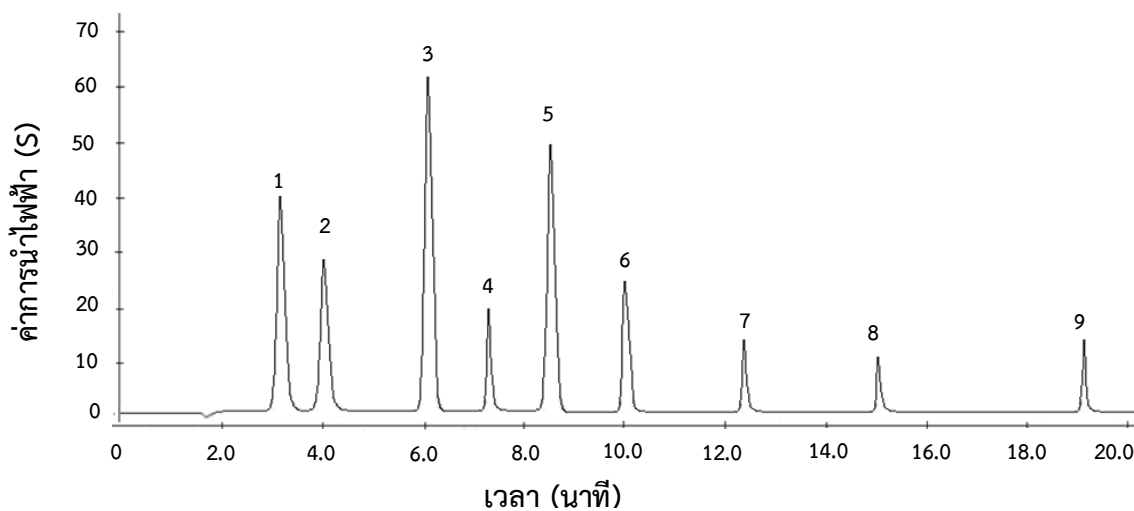


รูปที่ ก-19 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 10 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม (8) สตรอนเตียม และ (9) โครเมียม)

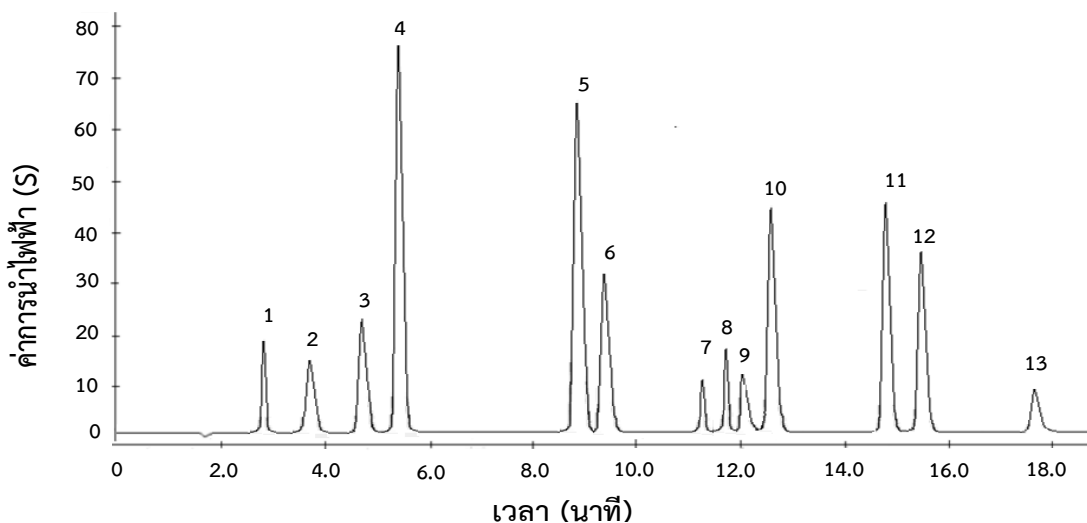


รูปที่ ก-20 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 10 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) โบรเมต (2) ครอไรด์ (3) ไนไตรท์ (4) ไซยาเนต (5) ไนเตรต (6) คาร์บอเนต (7) ซัลเฟต (8) ฟอสเฟต และ (9) โธไอไซยาเนต)

ตัวอย่างที่ 11

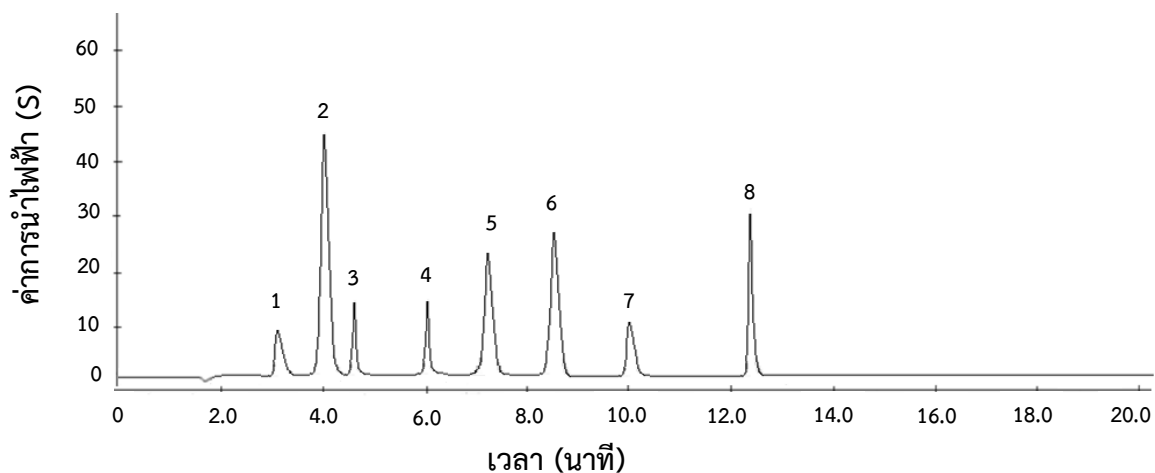


รูปที่ ก-21 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 11 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) โพแทสเซียม (4) แมงกานีส (5) แมกนีเซียม (6) แคลเซียม (7) สตรอนเตียม (8) แบเรียม และ (9) โครเมียม)

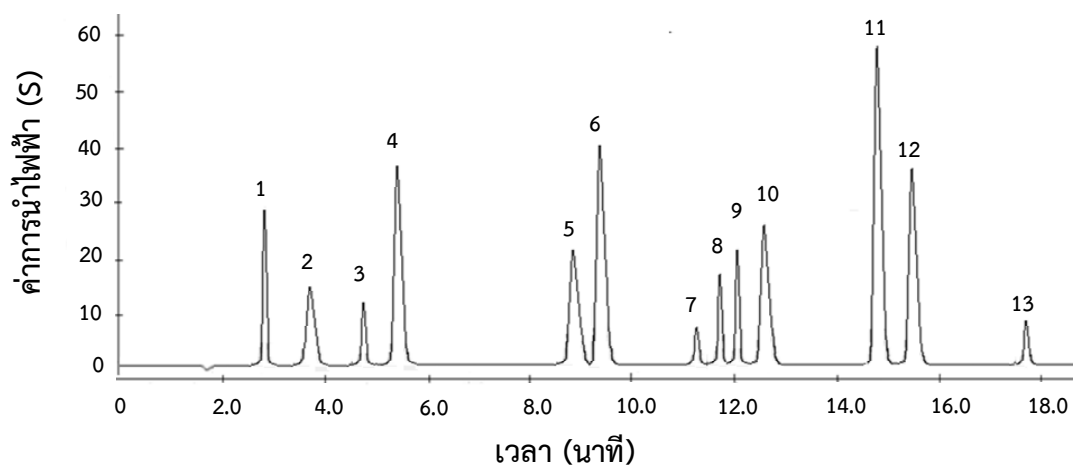


รูปที่ ก-22 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 11 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรท์ (6) ไฮไซเนต (7) ไนเตรท (8) เอซีน (9) คาร์บอเนต (10) ซัลเฟต (11) ฟอสเฟต (12) โธโอไฮไซเนต และ (13) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 12

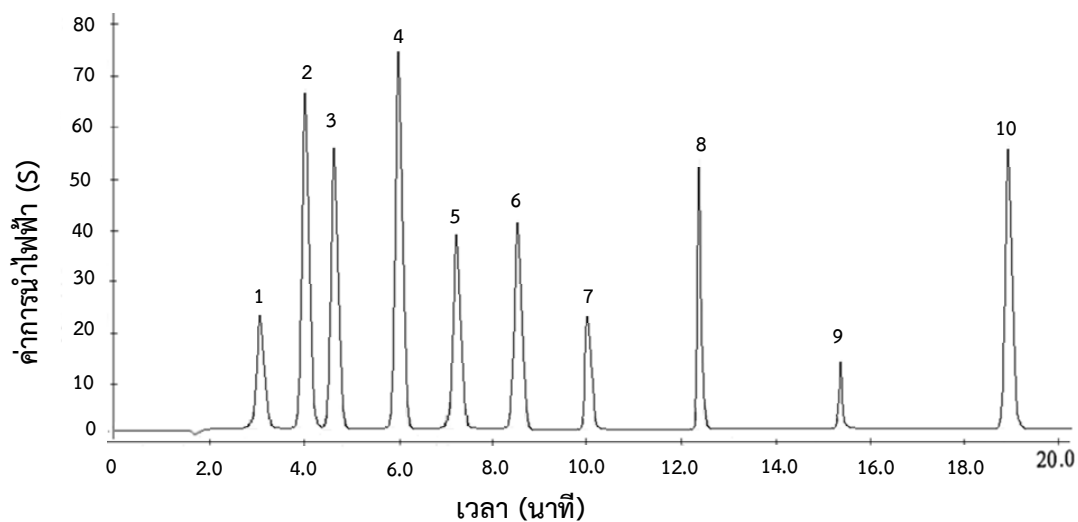


รูปที่ ก-23 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 12 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม และ (8) สตรอนเตียม)

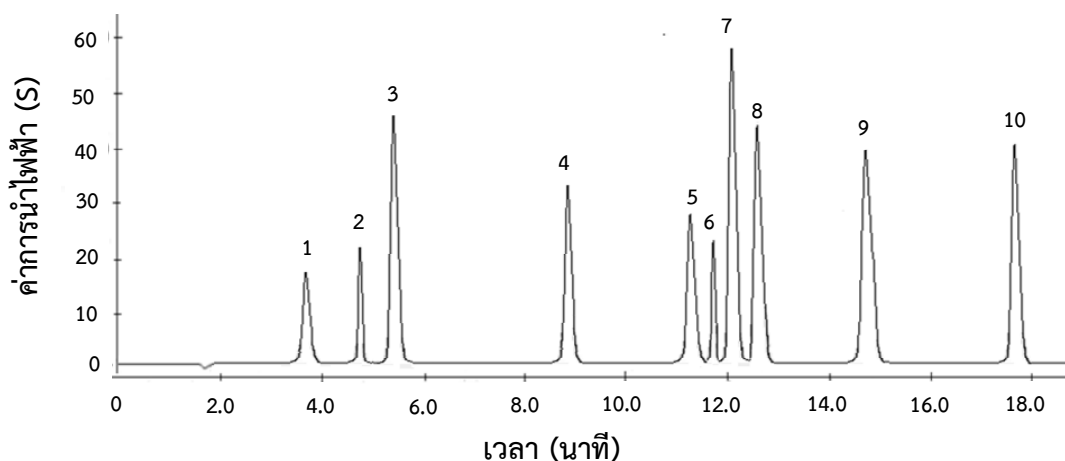


รูปที่ ก-24 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 12 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรท์ (6) ไซยาเนต (7) ไนเตรท (8) เอซีน (9) คาร์บอเนต (10) ซัลเฟต (11) ฟอสเฟต (12) ไฮโปไซยาเนต และ (13) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 13

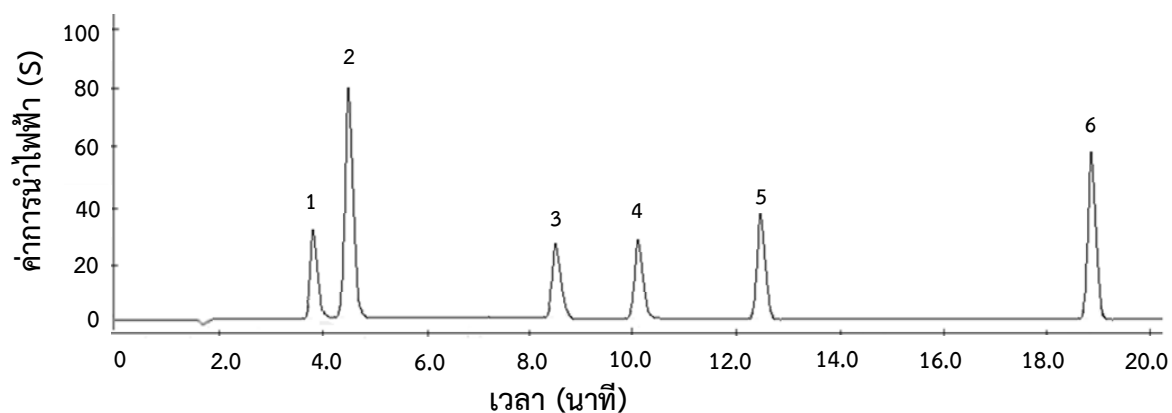


รูปที่ ก-25 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 13 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม (8) สตรอนเตียม (9) แบเรียม และ (10) โครเมียม)

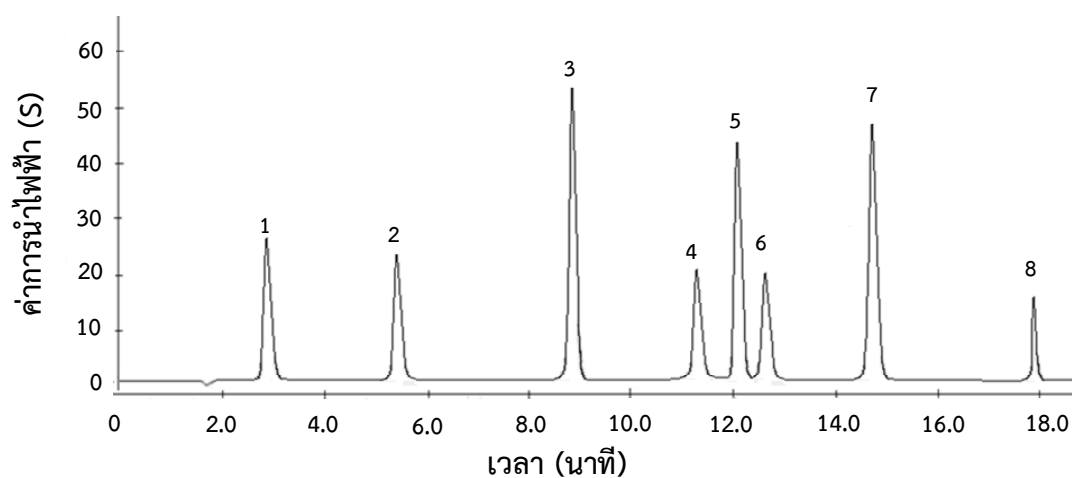


รูปที่ ก-26 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 13 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่ฉีด 25.00 ไมโครลิตร; (1) อะซิเตท (2) โบรเมท (3) ครอโรด์ (4) ไนไตรท์ (5) ไนเตรท (6) เอซีน (7) คาร์บอเนต (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต และ (10) เพอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 14

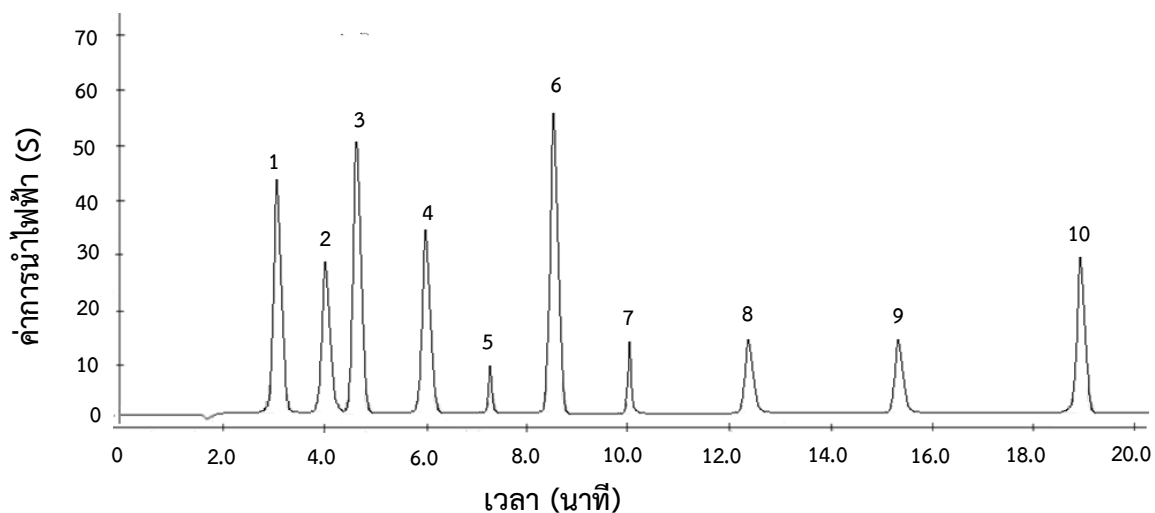


รูปที่ ก-27 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 14 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) โซเดียม (2) แอมโมเนียม (3) แมกนีเซียม (4) แคลเซียม (5) สตรอนเตียม และ (6) โครเมียม)

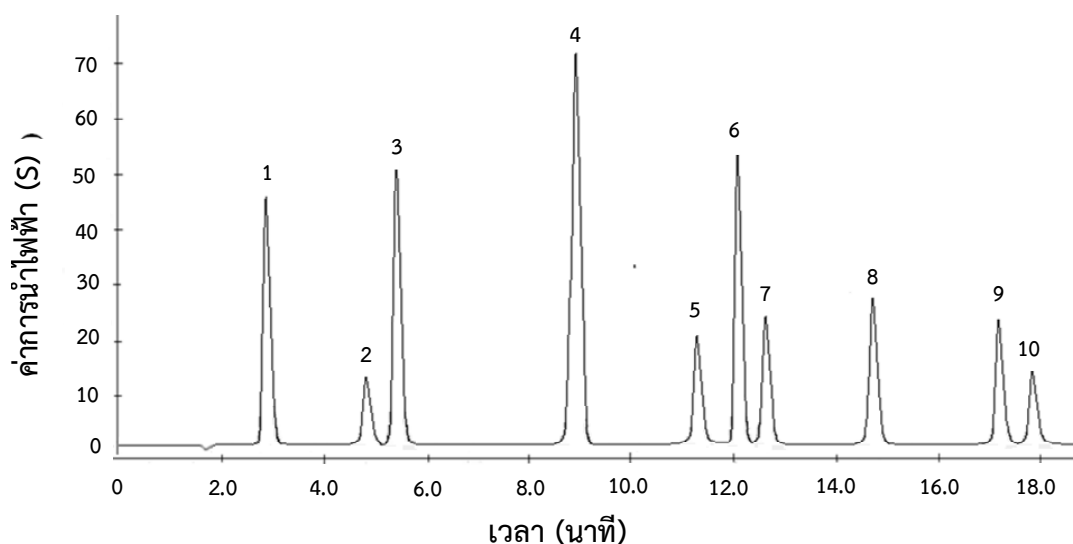


รูปที่ ก-28 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 14 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) ครอไรด์ (3) ไนไตรท์ (4) ไนเตรท (5) คาร์บอเนต (6) ซัลเฟต (7) ฟอสเฟต และ (8) เพอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 15

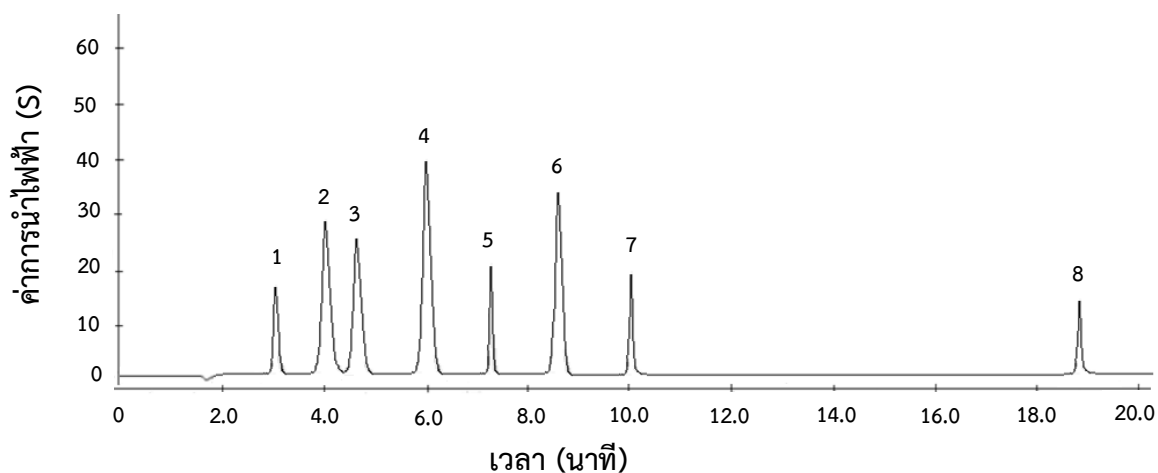


รูปที่ ก-29 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 15 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม (8) สตรอนเตียม (9) แบเรียม และ (10) โคโรเนียม)

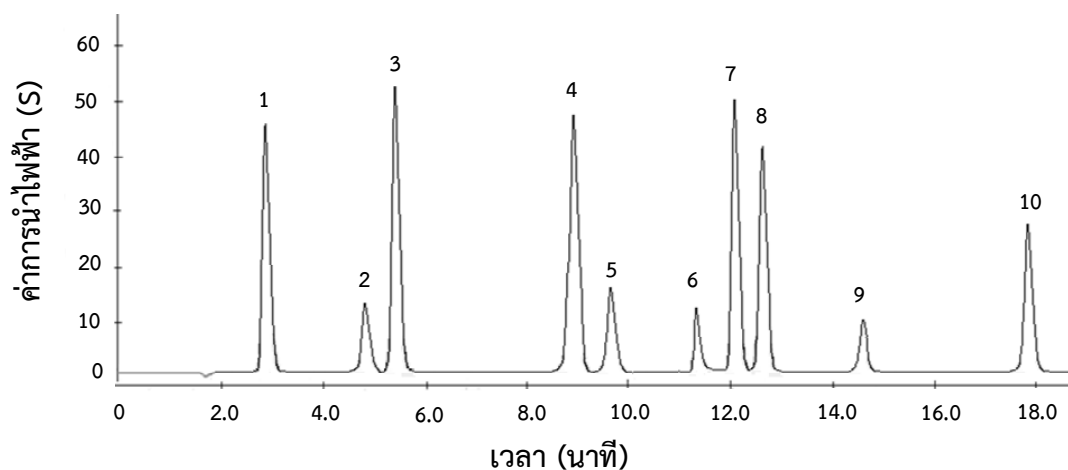


รูปที่ ก-30 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 15 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) โบรเมต (3) ครอไรด์ (4) ไซยาเนต (5) ไนเตรต (6) คาร์บอเนต (7) ซัลเฟต (8) ฟอสเฟต (9) โรโอไฮไซยาเนต และ (10) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 16

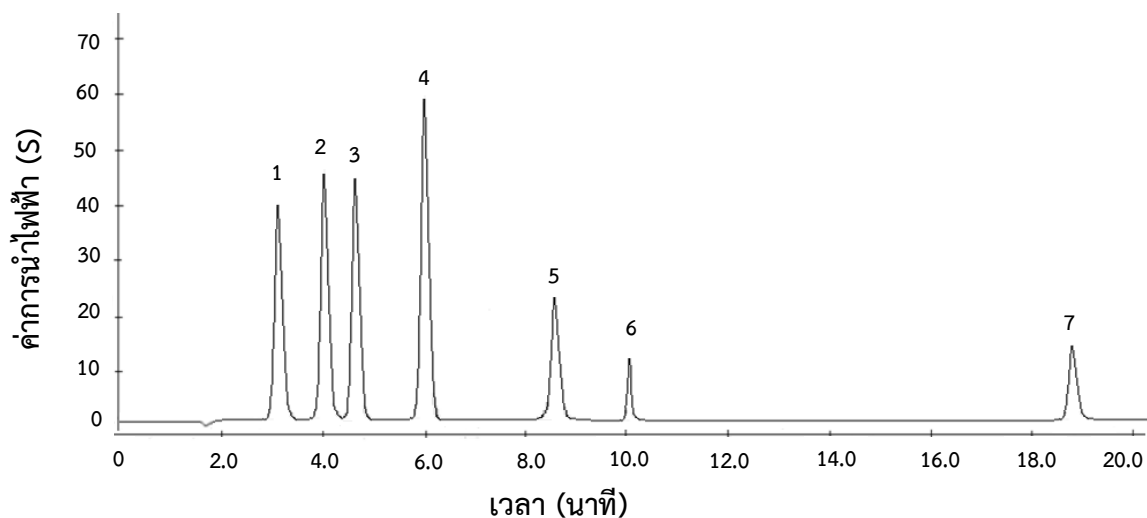


รูปที่ ก-31 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 16 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม และ (8) โคโรเนียม)

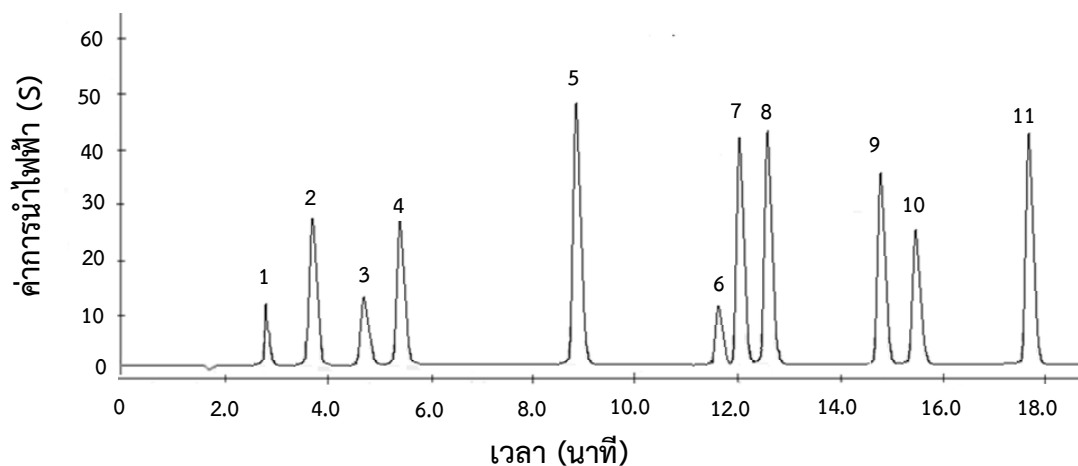


รูปที่ ก-32 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 16 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) โบรเมต (3) ครอไรด์ (4) ไนไตรท์ (5) ไซยาเนต (6) ไนเตรท (7) คาร์บอเนต (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต และ (10) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 17

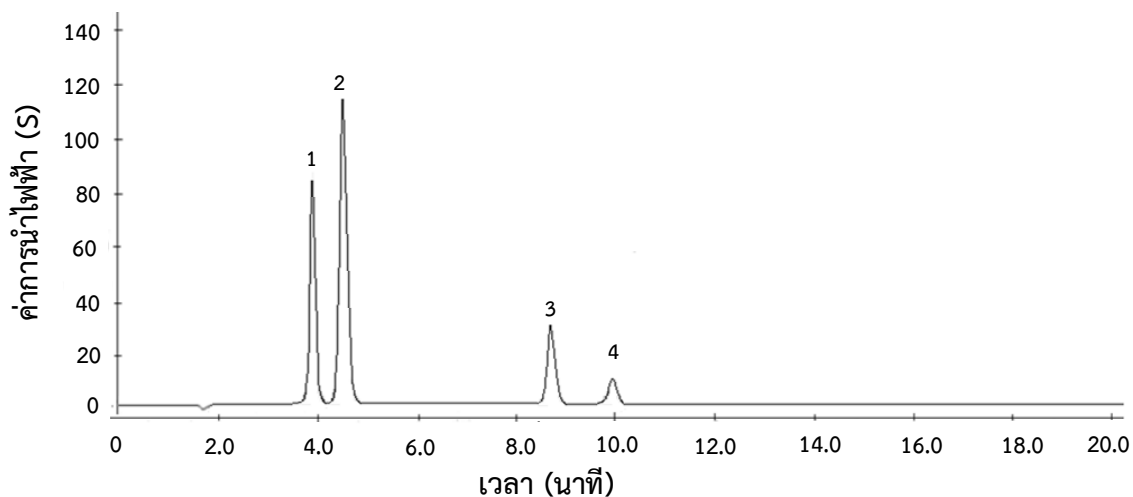


รูปที่ ก-33 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 17 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมกนีเซียม (6) แคลเซียม และ (7) โคโรเนียม)

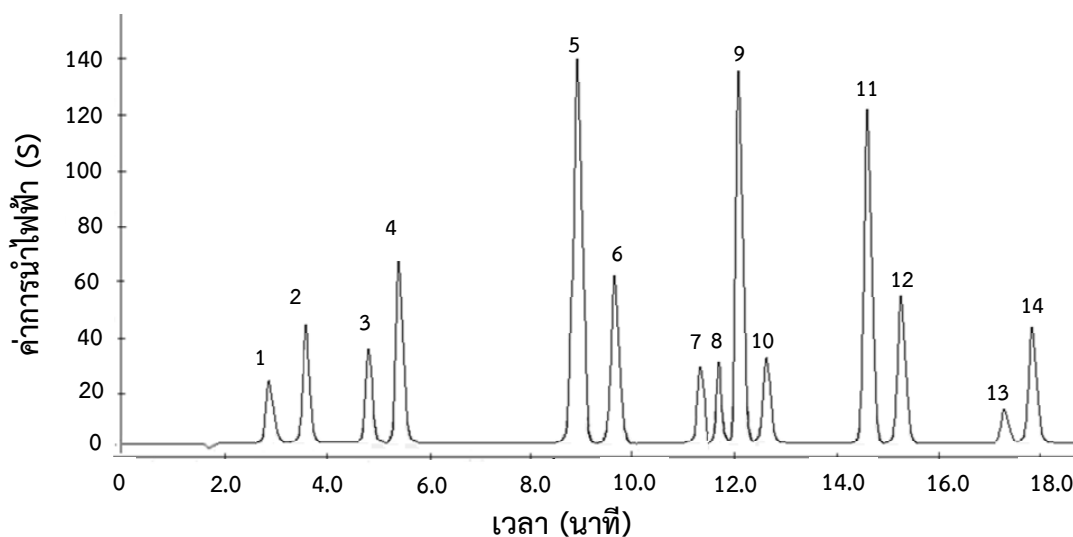


รูปที่ ก-34 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 17 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรท์ (6) เอซีน (7) คาร์บอเนต (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต (10) โธไอซัลเฟต และ (11) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 18

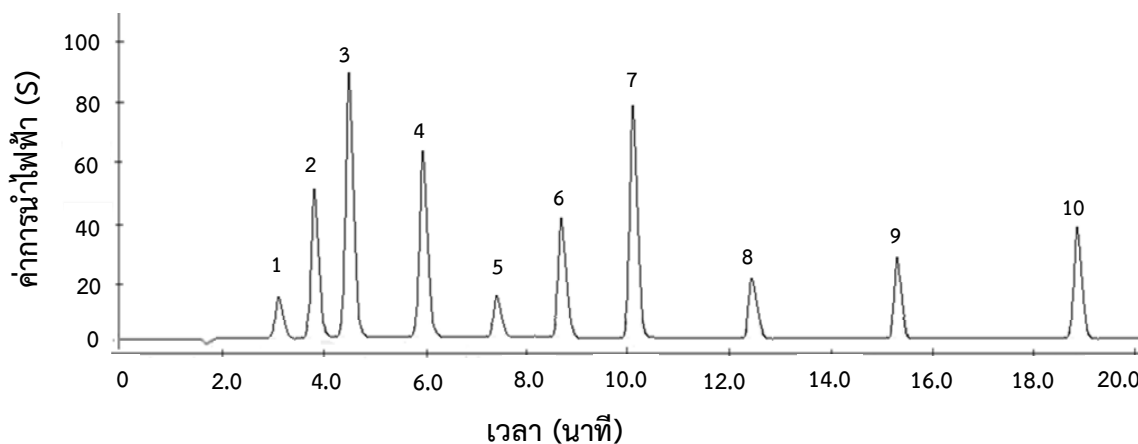


รูปที่ ก-35 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 18 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) โซเดียม (2) แอมโมเนียม (3) แมกนีเซียม และ (4) แคลเซียม)

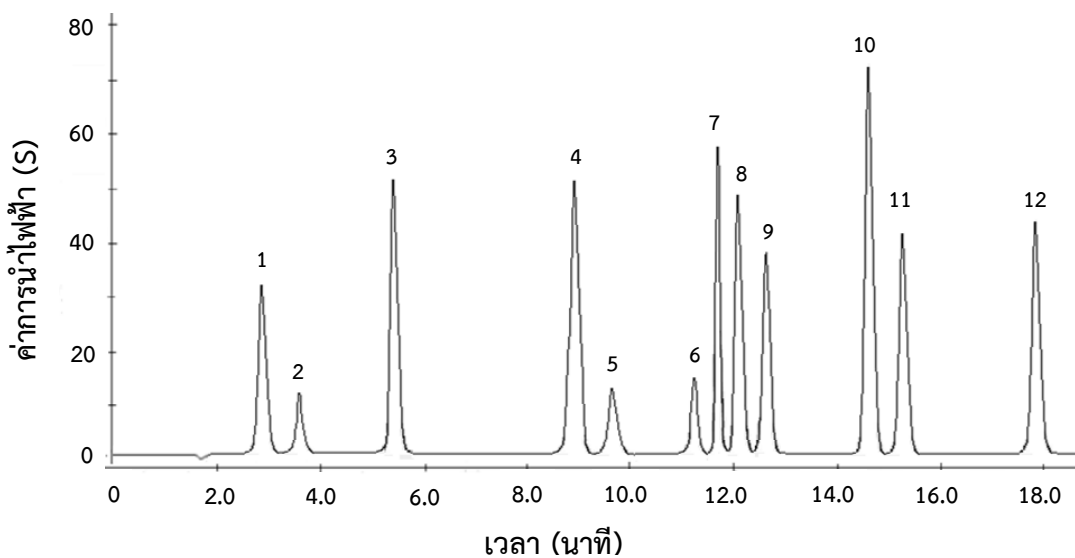


รูปที่ ก-36 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 18 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรท์ (6) ไฮยเนต (7) ไนเตรท (8) เอซีน (9) คาร์บอเนต (10) ซัลเฟต (11) ฟอสเฟต (12) โธโอซัลเฟต (13) โธโอไฮยเนต และ (14) เพอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 19

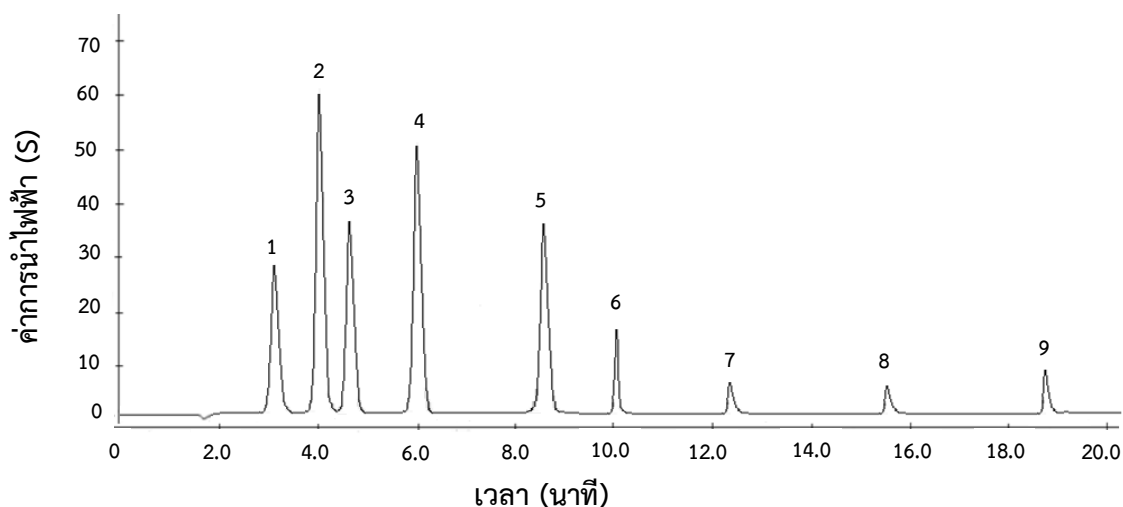


รูปที่ ก-37 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 19 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม (8) สตรอนเทรียม (9) แบเรียม และ (10) โคเรียม)

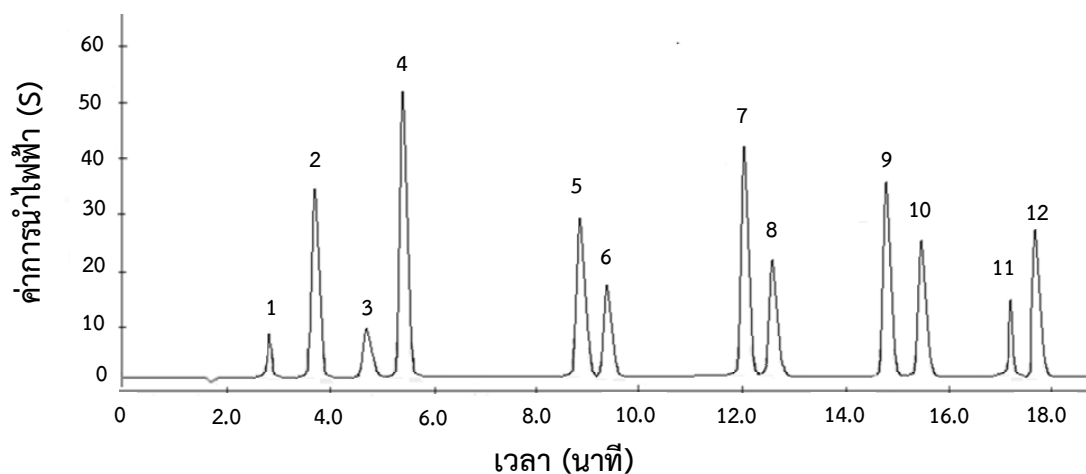


รูปที่ ก-38 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 19 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) ครอไรด์ (4) ไนไตรท์ (6) ไฮยเนต (6) ไนเตรท (7) เอซีน (8) คาร์บอเนต (9) ซัลเฟต (10) ฟอสเฟต (11) ไธโอซัลเฟต และ (12) เพอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 20

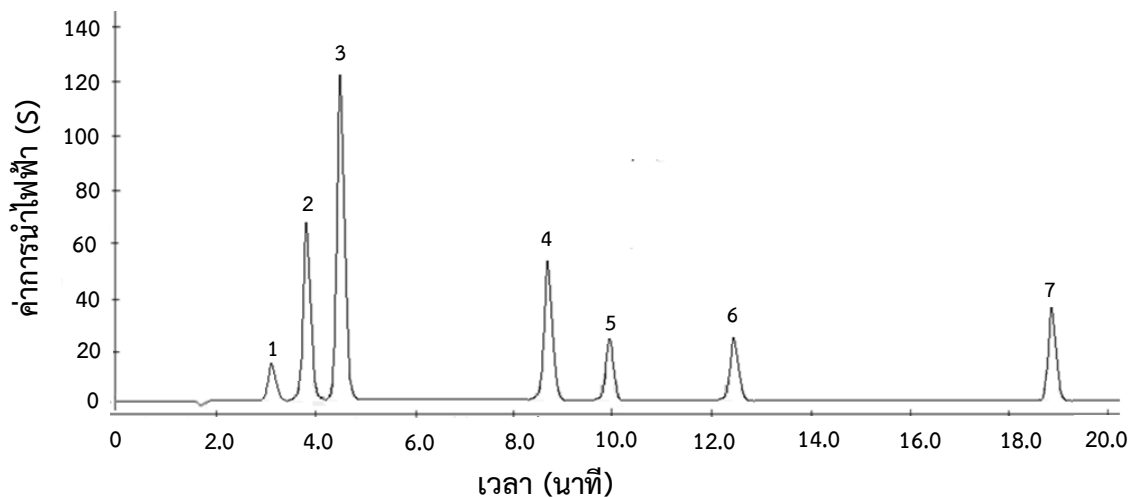


รูปที่ ก-39 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 20 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมกนีเซียม (6) แคลเซียม (7) สตรอนเตียม (8) แบเรียม และ (9) โคโรเนียม)

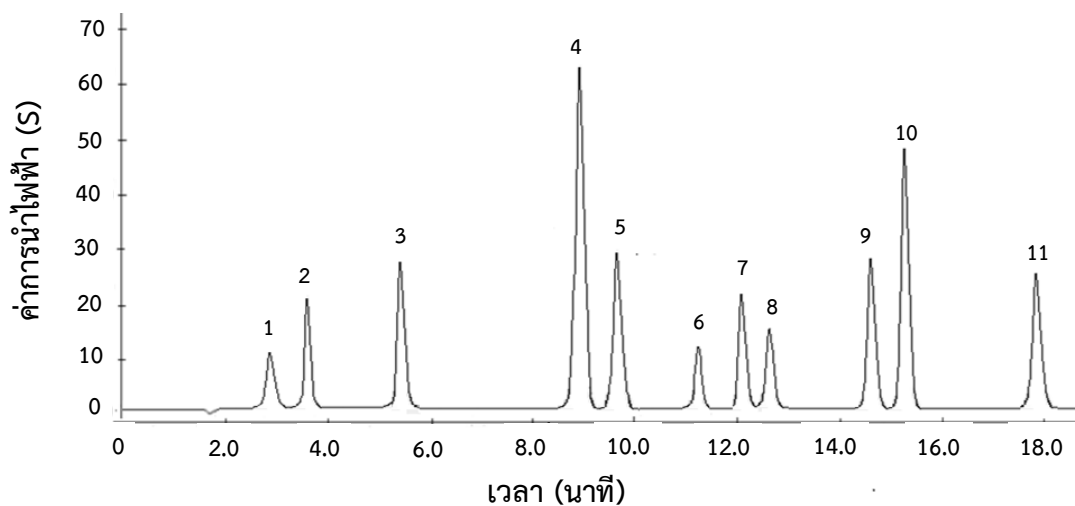


รูปที่ ก-40 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 20 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) โบรเมท (4) ครอไรด์ (5) ไนไตรท์ (6) ไซยาเนต (7) คาร์บอเนต (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต (10) ไฮโปซัลเฟต (11) ไฮโอไซยาเนต และ (12) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 21

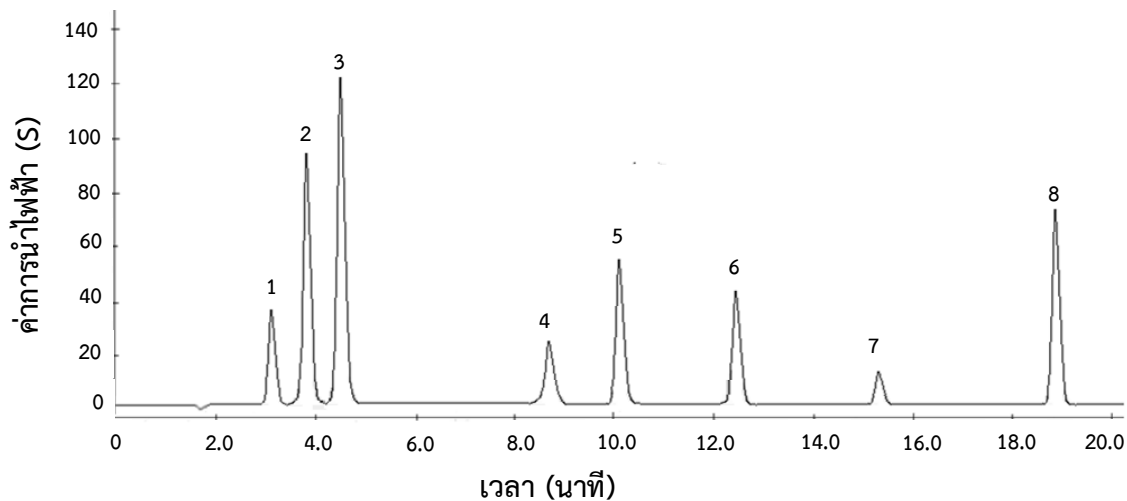


รูปที่ ก-41 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 21 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) แมกนีเซียม (5) แคลเซียม (6) สตรอนเตียม และ (7) โครเมียม)

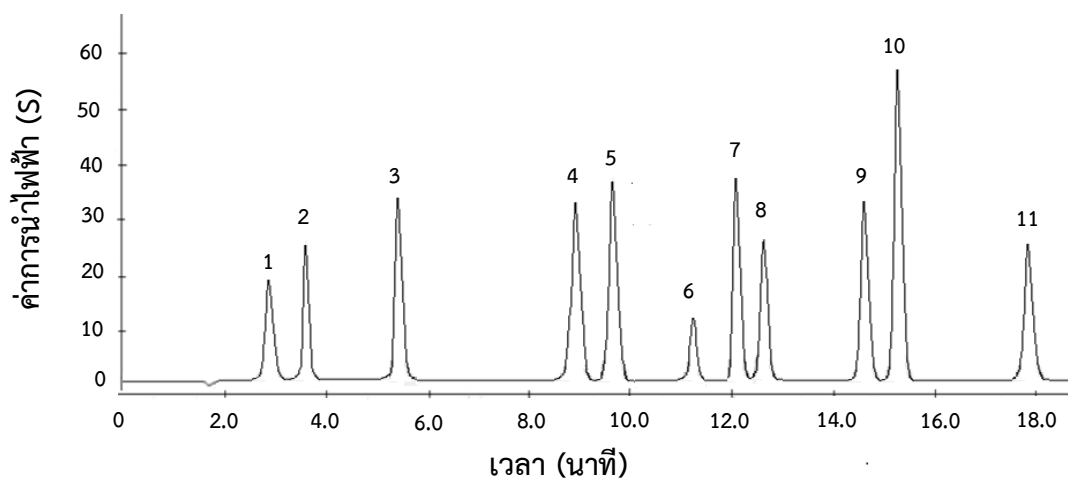


รูปที่ ก-42 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 21 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) ครอไรด์ (4) ไนไตรท์ (5) โซยเนต (6) ไนเตรท (7) คาร์บอเนต (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต (10) โบโรซิลเฟต และ (11) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 22

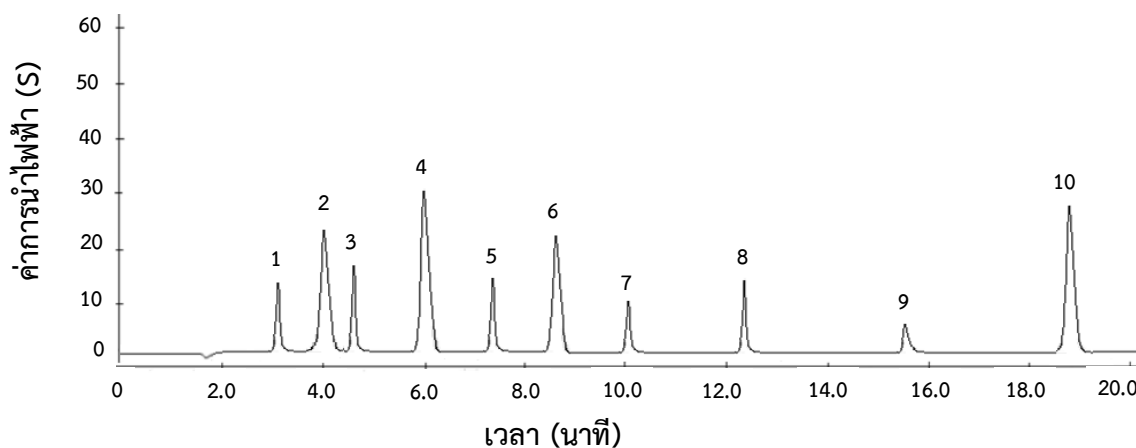


รูปที่ ก-43 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 22 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) แมกนีเซียม (5) แคลเซียม (6) สตรอนเตียม (7) แบเรียม และ (8) โครเมียม)

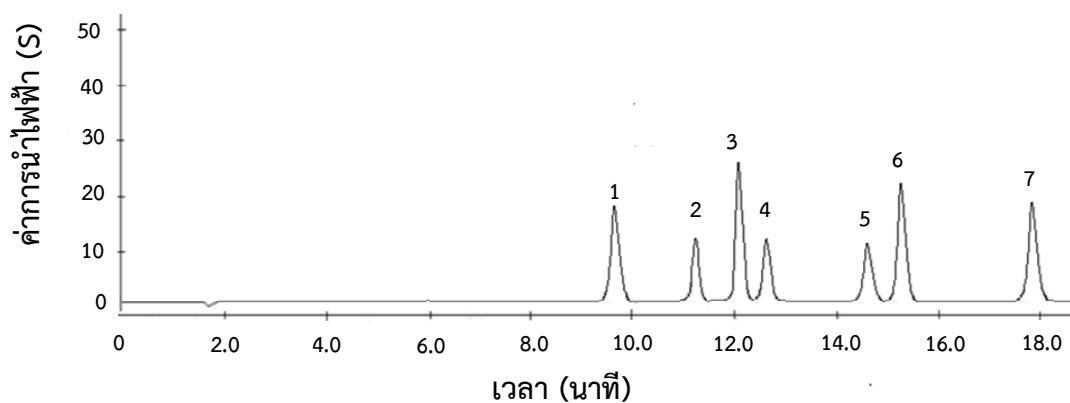


รูปที่ ก-44 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 22 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) ครอไรด์ (4) ไนไตรท์ (5) ไซยาเนต (6) ไนเตรท (7) คาร์บอเนต (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต (10) โรโอซิลเฟต และ (11) เพอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 23

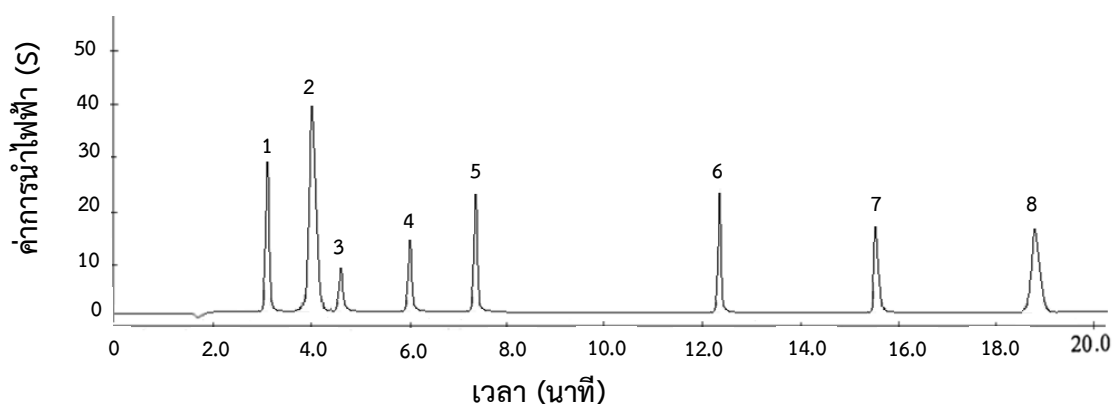


รูปที่ ก-45 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 23 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แมกนีเซียม (7) แคลเซียม (8) สตรอนเตียม (9) แบเรียม และ (10) โคโรเมียม)

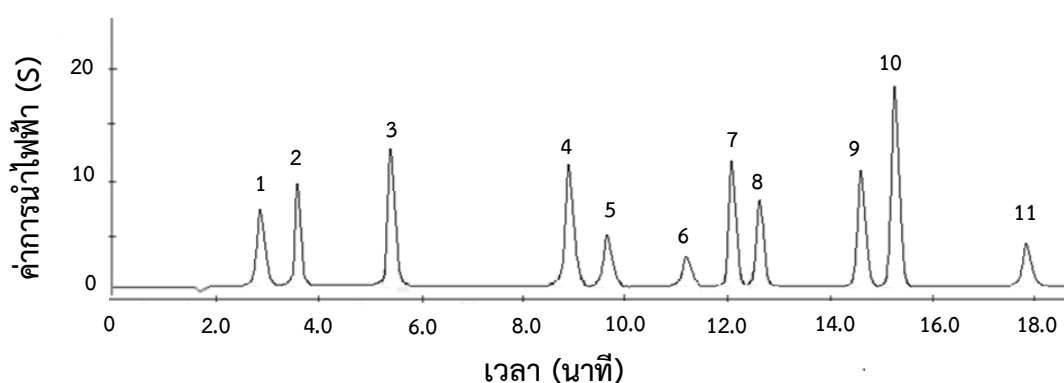


รูปที่ ก-46 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 23 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ไซยาเนต (2) ไนเตรท (3) คาร์บอเนต (4) ซัลเฟต (5) ฟอสเฟต (6) โรโอซัลเฟต และ (7) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 24

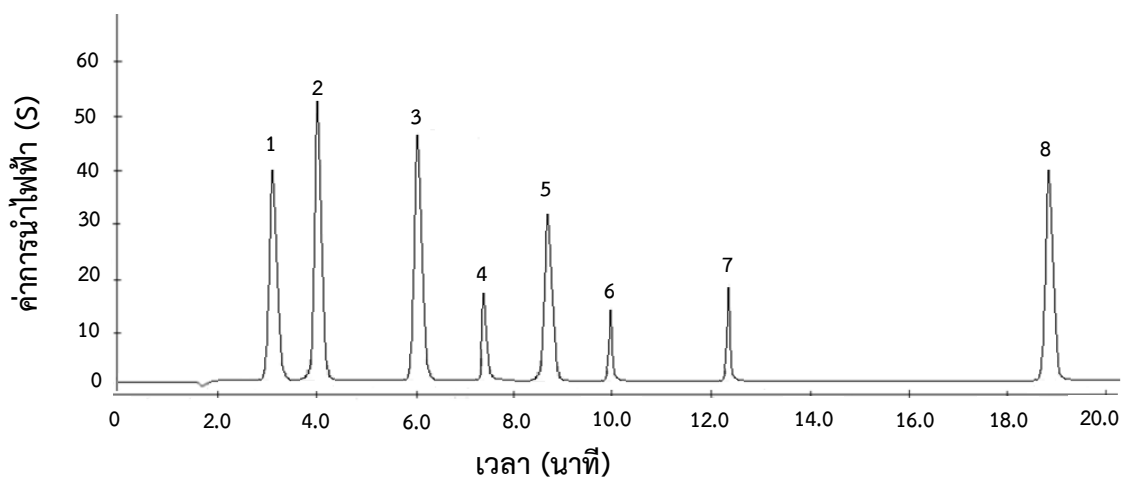


รูปที่ ก-47 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 24 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) แอมโมเนียม (4) โพแทสเซียม (5) แมงกานีส (6) แคลเซียม (7) สตรอนเตียม (8) แบเรียม และ (9) โครเมียม)

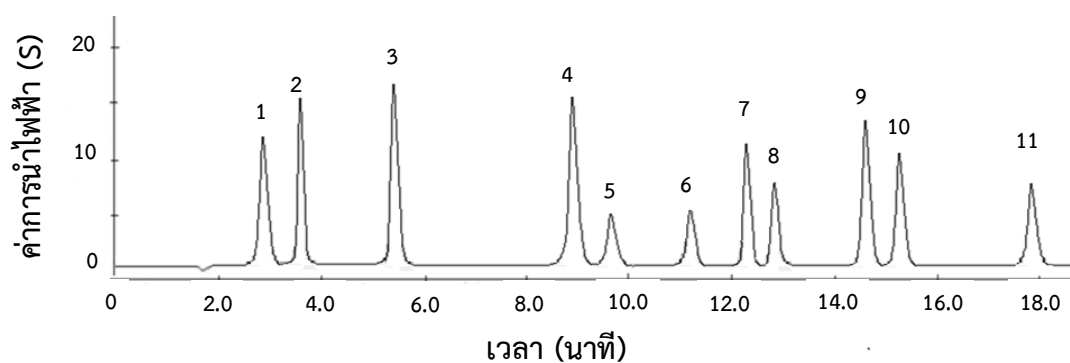


รูปที่ ก-48 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 24 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) ครอไรด์ (4) ไนไตรท์ (5) ไฮยเนต (6) ไนเตรท (7) คาร์บอเนต (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต (10) โธไอซัลเฟต และ (11) เปอร์คลอเรต)

ตัวอย่างที่ 25



รูปที่ ก-49 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนบวกของตัวอย่างที่ 25 (ใช้กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 11.0 มิลลิโมลาร์ เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.00 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; 1) ซิงค์ (2) โซเดียม (3) โพแทสเซียม (4) แมงกานีส (5) แมกนีเซียม (6) แคลเซียม (7) สตรอนเตียม และ (8) โครเมียม)



รูปที่ ก-50 โครมาโทแกรมของการวิเคราะห์ไอออนลบของตัวอย่างที่ 25 (ใช้โซเดียมคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.6 เป็นตัวชะ อัตราไหล 1.25 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรที่วิเคราะห์ 25.00 ไมโครลิตร; (1) ฟลูออไรด์ (2) อะซิเตท (3) ครอไรด์ (4) ไนไตรท์ (5) ไซยาเนต (6) ไนเตรท (7) คาร์บอเนต (8) ซัลเฟต (9) ฟอสเฟต (10) โธโอซัลเฟต (และ (11) เปอร์คลอเรต)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายภูริภัทร เพชรคง	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5210220058	
วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2552
ศิลปศาสตรบัณฑิต (รัฐศาสตร์)	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	2553

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการการศึกษา)

1. ทุนผู้ช่วยวิจัย สถานวิจัยการวิเคราะห์สารปริมาณน้อยและไบโอเซนเซอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2553 และ 1/2554

การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน

1. Phuriphat Phetkong^{1,2,*} Chongdee Thammakhet^{1,3} Panote Thavarungkul^{1,4} Aree Choodum^{1,2} and Proespichaya Kanatharana^{1,3,**} “Determination of Inorganic Explosives Widely Used in Three Border Provinces of Southern Thailand Using Ion Chromatography” The 1st ASEAN Plus Three Graduate Research Congress (AGRC 2012), 1-2 March, Chiang Mai, Thailand, 2012.