



การวิเคราะห์หาปริมาณ Anion จากตัวอย่างดินเก็บภายหลังการระเบิด ของระเบิด ANFO
โดยเทคนิค Ion Chromatography

โดย
นายรุ่งรติศ เหมฤติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การวิเคราะห์หาปริมาณ Anion จากตัวอย่างดินเก็บภายหลังการระเบิด ของระเบิด ANFO
โดยเทคนิค Ion Chromatography

โดย
นายรุ่งรติศ เหมฤดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**DETERMINATION OF ANIONS IN SOIL SAMPLE COLLECTED FROM
POST-BLAST ANFO BY ION CHROMATOGRAPHY TECHNIQUE**

By

Rungradids Hamrudee

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

MASTER OF SCIENCE

Program of forensic science

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2011

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การวิเคราะห์หาปริมาณ Anion จากตัวอย่างดินเก็บภายหลังการระเบิด ของระเบิด ANFO โดยเทคนิค Ion Chromatography” เสนอโดย นายรุ่งรติศ เหมฤดี เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุกษัย สุกัลักษณ์นารี)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ รศ.ดร.วีรชัย พุทธวงศ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง)

...../...../.....

50312323 : สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ : ANFO/ion chromatography/นิติวิทยาศาสตร์

รู้งคดีศ เหมฤดี : การวิเคราะห์หาปริมาณ Anions จากตัวอย่างดินเก็บภายหลังการระเบิดของระเบิด ANFO โดยเทคนิค Ion Chromatography. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ดร.ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง. 75หน้า.

ANFO เป็นระเบิดที่ประกอบ ขึ้นเอง มักใช้ในการก่อคดีอาชญากรรมต่าง ๆ การเตรียม ANFO จากการผสมแอมโมเนียมไนเตรดกับน้ำมันดีเซลและบรรจุในภาชนะปิด โดยการเตรียมที่มี ส่วนผสมที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณภาพของแอมโมเนียมไนเตรดกับน้ำมันดีเซล ที่ต่างกัน งานวิจัย นี้ มีการเก็บตัวอย่างดินรอบบริเวณที่มีการจุดระเบิดของ ANFO และวิเคราะห์ปริมาณ ด้วยเทคนิค ion chromatography มี conductivity detector เป็นตัวตรวจวัด จากตัวอย่างดินรอบๆหลุมระเบิด ทั้ง 4 ทิศทาง ในระยะ 1,2 และ5 เมตรจากกลางหลุม ระเบิด โดยนำดินวิเคราะห์หา fluoride, acetate, formate, sulfate, chloride, nitrate และ phosphate จากผลการทดลองพบว่า กราฟมาตรฐานของ สารละลาย Anion แต่ละชนิด มีความเป็นเส้นตรง ในช่วงความเข้มข้น 0.11-15 ppm มีค่า สัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรง (R²) อยู่ในช่วง 0.9850-0.9999 เมื่อนำตัวอย่างดินรอบหลุมระเบิด มา วิเคราะห์ พบว่าสามารถตรวจพบ Anion ทั้ง 7 ชนิด ในบริเวณที่แตกต่างกัน ดังนั้น เทคนิค ion chromatography ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นการวิเคราะห์ ที่ง่าย สะดวก และเป็นวิธีที่ นำมา ประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ได้

สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2554
ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

50312323 : MAJOR : FORENSIC SCIENCE

KEYWORD : ANFO/ION CHROMATOGRAPHY/FORENSIC SCIENCE

RUNGRADIDS HAMRUDEE : DETERMINATION OF ANIONS IN SOIL
SAMPLES COLLECTED FROM POST-BLAST ANFO BY ION CHROMATOGRAPHY
TECHNIQUE. THESIS ADVISORS : SIRIRAT CHOOSAKOONKRIANG, Ph.D.75 pp.

It is well recognized that ANFO is an improvised explosive frequently encountered in criminal incidents. ANFO is a simple mixture of ammonium nitrate and fuel oil and commonly used in a confined container. Various formulations of ANFO can be made with different grades of ammonium nitrate and fuel oil. In this study, soil samples in areas around the location of ANFO detonation were collected and analyzed by Ion Chromatography using a conductivity detector. The samples collected in four directions at the distances of 1, 2 and 5 meters from the center of the explosion pit were analysed for fluoride, acetate, formate, sulphate, chloride, nitrate and phosphate. The calibration curves for the anions were obtained in the concentration range of 0.11-0.15 ppm with correlation coefficient (R^2) in the range of 0.9850-0.9999. In all samples analysed, the anions were found with varying amounts. The ion chromatography technique used in this work has been shown to be a simple and convenient method for forensic applications.

Department of forensic science Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2011

Student's signature

Thesis Advisors' signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือ และคำแนะนำจาก
ดร. ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี รองศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย
พุทธวงศ์ คณะกรรมการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ นางสาวจิตติมา ปานมณี ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองของการทำวิจัยครั้งนี้
ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่
ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาในการทำวิจัยในครั้งนี้ คุณค่าและ
คุณประโยชน์ของงานวิจัยเล่มนี้ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่านที่
การอบรมสั่งสอนสร้างความรู้แก่ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานในการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ข้อจำกัดในการวิจัย.....	2
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
ความหมายของวัตถุระเบิด	3
ประวัติของวัตถุระเบิด.....	3
คำจำกัดความของวัตถุระเบิด.....	4
สารประกอบวัตถุระเบิด.....	5
ชนิดของวัตถุระเบิด.....	5
คุณสมบัติของวัตถุระเบิด (EXPLOSIVE PROPERTY).....	6
คุณสมบัติทางเคมีของระเบิดANFO	7
คุณสมบัติทั่วไปของ Ammonium Nitrate.....	8
เทคนิค Ion chromatography.....	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14

บทที่		
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	16
	เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี.....	16
	การเตรียมสารละลาย.....	17
	วิธีการวิจัย.....	18
4	ผลการทดลอง.....	22
	Chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน Anion ทั้ง 7ชนิด.....	22
	การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	23
	การวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ที่มีอยู่ในตัวอย่างดิน.....	27
	การศึกษา LOD และ LOQ.....	33
	การศึกษา Repeatability method	34
5	บทสรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ.....	38
	สรุปและอภิปรายผลการวิจัย.....	38
	ข้อเสนอแนะ.....	38
	บรรณานุกรม.....	39
	ภาคผนวก.....	41
	ประวัติผู้วิจัย.....	75

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ความไวในการจุดระเบิดของวัตถุระเบิดชนิดต่างๆ.....	7
2	คุณสมบัติทางเคมีของ Ammonium nitrate	8
3	พลังงานที่สูญเสีย เมื่อมีการผสมน้ำมันดีเซลกับ Ammonium Nitrate.....	10
4	ความเร็วในการระเบิดของ ANFO เมื่อรูระเบิดมีขนาดต่าง.....	11
5	เครื่องมือ อุปกรณ์และบริษัทผู้ผลิต.....	16
6	รายชื่อสารเคมี บริษัทผู้ผลิต และเกรด.....	16
7	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เตรียมสำหรับการทำ Calibration curve...	18
8	การวิเคราะห์หา %Recoveries ในตัวอย่างดินบริเวณหลุมระเบิด.....	21
9	หมายเลขพีค และ Retention Time ของสารละลายมาตรฐาน.....	23
10	หมายเลขพีค Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินบริเวณกลางหลุมระเบิด.....	27
11	ความเข้มข้นของ Anion ทั้ง 7 ชนิดในตัวอย่างดินบริเวณกลางหลุมระเบิด.....	28
12	ค่า LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion โดยเทคนิค Ion Chromatography	34
13	% RSD ในการวิเคราะห์หา Fluoride, Acetate ,Formate, และ Chloride ในตัวอย่างดินบริเวณหลุมระเบิด.....	35
14	การหาค่า% Recovery ของ Blank (ดินก่อนการระเบิด)ในการวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้ง 7 ชนิด.....	37
15	การหาค่า % Recovery ของตัวอย่างดินบริเวณหลุมระเบิด(หลังการระเบิด) ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion.....	37
16	หมายเลขพีค Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ ระยะ 1 เมตร.....	41
17	หมายเลขพีค Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิศเหนือระยะ 5 เมตร.....	42

ตารางที่	หน้า
18.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิสเหนือระยะ 5 เมตร..... 43
19.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิสใต้ระยะ 1 เมตร..... 44
20.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิสใต้ระยะ 2 เมตร..... 45
21.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิสใต้ระยะ 5 เมตร..... 46
22.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดิน ในทิสตะวันออกระยะ 1 เมตร..... 47
23.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดิน ในทิสตะวันออกระยะ 2 เมตร..... 48
24.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดิน ในทิสตะวันออกระยะ 5 เมตร..... 49
25.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดิน ในทิสตะวันตก ระยะ1เมตร..... 50
26.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดิน ในทิสตะวันตก ระยะ2เมตร..... 51
27.	หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดิน ในทิสตะวันตก ระยะ5เมตร..... 52
28.	ค่า Retention Timeและพื้นที่ใต้พีกของตัวอย่างดินใจกลางหลุม..... 53
29.	ค่า Retention Timeและพื้นที่ใต้พีกของตัวอย่างดินที่เป็น Blank..... 53
30.	ค่า Retention Timeและพื้นที่ใต้พีกของตัวอย่างดินทิสเหนือระยะ 1 เมตร..... 54
31.	ค่า Retention Timeและพื้นที่ใต้พีกของตัวอย่างดินทิสเหนือระยะ 2 เมตร..... 54
32.	ค่า Retention Timeและพื้นที่ใต้พีกของตัวอย่างดินทิสเหนือระยะ 5 เมตร..... 55
33.	ค่า Retention Timeและพื้นที่ใต้พีกของตัวอย่างดินทิสใต้ระยะ 1 เมตร..... 55
34.	ค่า Retention Timeและพื้นที่ใต้พีกของตัวอย่างดินทิสใต้ระยะ 2 เมตร..... 56

ตารางที่	หน้า
35. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างดินทิสไล้ระยะ 5 เมตร.....	56
36. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างดินทิสตะวันออกระยะ 1 เมตร...	57
37. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างดินทิสตะวันออกระยะ 2 เมตร...	57
38. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างดินทิสตะวันออกระยะ 5 เมตร...	58
39. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างดินทิสตะวันตกระยะ 1 เมตร.....	58
40. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างดินทิสตะวันตกระยะ 2 เมตร.....	59
41. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของตัวอย่างดินทิสตะวันตกระยะ 5 เมตร.....	59
42. พื้นที่ใต้พีคของ Blank (Deionized water)	60
43. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Fluoride.....	61
44. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Acetate	62
45. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Formate	63
46. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Chloride	64
47. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Sulfate	65
48. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Nitrate	66
49. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Phosphate.....	67
50. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Ammonium.....	68
51. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Potassium	69
52. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Magnesium	70
53. ค่า Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน Calcium....	71
54. ค่าพื้นที่ใต้พีคของ Anion แต่ละชนิดจากการเติมสารละลายมาตรฐานแต่ละชนิดที่ ทราบความเข้มข้นลงไปในตัวอย่างเป็น Blank	72
55. ค่าพื้นที่ใต้พีคของ Anion แต่ละชนิดจากการเติมสารละลายมาตรฐานแต่ละชนิดที่ ทราบความเข้มข้นลงไปในตัวอย่างเป็นหลังการจุกระเบิด.....	73

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	2
2	ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่อง Ion chromatography.....	13
3	วิธีการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณรอบๆหลุมระเบิด ANFO.....	19
4	แผนผังการเก็บตัวอย่างดินบริเวณการระเบิดในทิศ(เหนือ ใต้ ตะวันออกและ ตะวันตก) และระยะ (1,2 และ 5 m) ที่แตกต่างกัน.....	20
5	วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน.....	20
6	Chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน ของ Fluoride, Acetate, Formate, Chloride,Sulfate, Nitrate และ Phosphate.....	22
7	กราฟสารมาตรฐาน Fluoride.	23
8	กราฟสารมาตรฐาน Acetate.	24
9	กราฟสารมาตรฐาน Formate 24	24
10	กราฟสารมาตรฐาน Chloride 25	25
11	กราฟสารมาตรฐาน Sulfate 25	25
12	กราฟสารมาตรฐาน Nitrate 26	26
13	กราฟสารมาตรฐาน Phosphate 26	26
14	Chromatogram ของตัวอย่างดินบริเวณกลางหลุมระเบิดโดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด.....	27
15	แผนภูมิแสดงปริมาณของ Fluoride.....	30
16	แผนภูมิแสดงปริมาณของ Acetate 30	30
17	แผนภูมิแสดงปริมาณของ Formate 31	31
18	แผนภูมิแสดงปริมาณของ Chloride 31	31
19	แผนภูมิแสดงปริมาณของ Sulfate 32	32
20	แผนภูมิแสดงปริมาณของ Nitrate 32	32
21	แผนภูมิแสดงปริมาณของ Phosphate 33	33

ภาพที่	หน้า
22	Chromatogram ของน้ำที่ใช้เป็นสารละลาย Blank สำหรับการวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ในตัวอย่างดินบริเวณหลุมระเบิด..... 33
23	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ ระยะ 1 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 41
24	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ ระยะ 2 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 42
25	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ ระยะ 5 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 43
26	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศใต้ ระยะ 1 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 44
27	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศใต้ ระยะ 2 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 45
28	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศใต้ ระยะ 5 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 46
29	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันออก ระยะ 1 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 47
30	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันออก ระยะ 2 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 48
31	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันออก ระยะ 5 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 49
32	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก ระยะ 1 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 50
33	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก ระยะ 2 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 51
34	Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก ระยะ 5 เมตร โดยวิเคราะห์ หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด..... 52

บทที่ 1

บทนำ

1.ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันนิติวิทยาศาสตร์มีบทบาทมากขึ้นในการช่วยคลี่คลายคดีต่างๆที่เกิดขึ้นในสังคมทั้งในและนอกประเทศ การก่ออาชญากรรมโดยผู้ที่ไม่หวังดีได้มีการพัฒนากระบวนการและวิธีการต่างๆ มากมาย ซึ่งพบการก่อ อาชญากรรมร้ายแรงบ่อย ครั้ง ไม่ว่าจะเป็นประเทศแถบตะวันออกกลางจนถึงในประเทศไทย เช่น อาชญากรรมด้านระเบิด โดยส่วนใหญ่เป็นระเบิดที่ไม่ มีการใช้ในระบอบทหาร แต่เป็นระเบิดที่ประกอบขึ้นเอง ได้แก่ ระเบิด ANFO ซึ่งมีส่วนผสมของแอมโมเนีย มไนเตรตและน้ำมันดีเซล เหตุผลที่นิยมเลือกใช้ระเบิดชนิดนี้เพราะมีราคาถูกรวมถึงสามารถจัดหาได้ง่าย ทั้งนี้ การทำงานที่มีประสิทธิภาพ ของระเบิดชนิดนี้ ขึ้นอยู่กับการ ผสมส่วนประกอบทั้งสอง อย่าง คือ แอมโมเนียมไนเตรตซึ่งได้จากปุ๋ยยูเรีย และน้ำมันดีเซล ฉะนั้นกลุ่มผู้ก่อเหตุ จะมีการทดลองและพัฒนาส่วนผสมต่างๆ ให้ได้สัดส่วนที่ทำให้ระเบิดเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

การวางตำแหน่งระเบิดจะมีหลายรูปแบบเช่นการวางในที่แจ้ง รถจักรยานยนต์ รถยนต์ รวมถึงจุดหลุมฝังไว้ใต้ดิน แรงระเบิดจะทำให้เกิดหลุมขนาดใหญ่ และทำลายสิ่งก่อสร้าง ต่างๆ ความรุนแรงของการทำลายล้าง ขึ้นกับขนาดของระเบิดและประสิทธิภาพของสารระเบิด การระเบิดแต่ละครั้ง สารประกอบต่างๆจะเกิดการกระจายในทุกทิศทาง จึงสามารถตรวจสอบได้ว่า มีสารประกอบอะไรบ้างรวมไปถึงชนิด ขนาดของระเบิด

นอกจากนี้ สารประกอบในระเบิด ยังมีโอกาสไปติดกับเสื้อผ้าและร่างกายของผู้ประกอบระเบิด ซึ่งการระเบิดในแต่ละครั้ง สารที่เกิดขึ้นหลังจากการระเบิด จะมี Anion คือ ค่าไอออนลบของสารปะปนอยู่กับสถาน ที่นั้นๆ ส่วนผสม ของสาร ประกอบระเบิดที่ พบในแต่ละสถานที่ เกิดเหตุ อาจมีส่วนผสมไม่เท่ากัน เพราะเกิดจากการผสมและประกอบ ระเบิดเฉพาะบุคคล หรือเฉพาะกลุ่ม จะเป็นการบอกได้ว่าการระเบิดที่เกิดขึ้นเป็นของบุคคลหรือกลุ่มใด

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อ ศึกษาปริมาณของค่า Anion ในดิน ที่จุดระเบิดของ ANFO และวิเคราะห์ปริมาณด้วยเทคนิค ion chromatography

2.วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปริมาณของค่า Anion บางชนิดในตัวอย่างดินภายหลังการระเบิด
2. เพื่อศึกษาระยะการกระจายของค่า Anion ภายหลังจากการระเบิด

3.สมมติฐานในการวิจัย

ปริมาณ Anion จากระเบิด ANFO สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ในดิน บริเวณที่มีการระเบิดโดยเทคนิค Ion chromatography

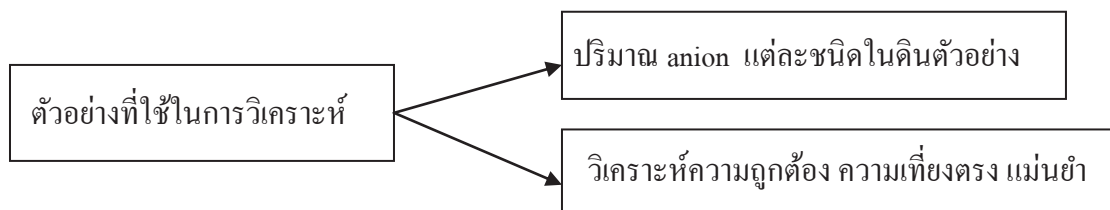
4.ขอบเขตของการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาตัวอย่างดินที่เก็บหลังการระเบิด แล้ววิเคราะห์ปริมาณ anion โดยเทคนิค Ion chromatography

5.ข้อจำกัดในการวิจัย

การวิจัยนี้มีข้อจำกัดคือ ดินตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์มี Anion ชนิดอื่นปนเปื้อนอยู่ด้วย

6.กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณ anion ในดินและวิเคราะห์ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง

7.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การศึกษาการคงอยู่ของ Anion ชนิดต่างๆในตัวอย่างดินหลังการระเบิด
2. การตรวจยืนยันเบื้องต้นว่าเป็นระเบิดชนิด ANFO

บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของวัตถุระเบิด

วัตถุระเบิด คือ สารเคมีที่เป็นสารประกอบหรือของผสม ซึ่งหากได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสมด้วยความร้อน แรงกระแทก การเสียดสีจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสลายตัวทันทีทันใดตามขั้นตอนของ Thermo chemical ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเป็นความร้อนและก๊าซที่มีความดันสูงมีอุณหภูมิประมาณ 3,000 – 7,000 องศาฟาเรนไฮต์ และความดันประมาณ 150,000 – 4 ล้าน ปอนด์ต่อตารางนิ้ว¹

2. ประวัติของวัตถุระเบิด

ระเบิดเป็นอาวุธชนิดหนึ่งที่ทหารชอบใช้ในสงครามมาเป็นเวลานานหลายร้อยปีมาแล้ว เชื่อกันว่าต้นกำเนิดมาจากประเทศจีน เพราะเป็นประเทศแรกที่อยู่จักการใช้ดินปืนซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญยิ่งของลูกกระเบิด ได้มีการใช้ดินดำ (Black powder) มาใช้งานระเบิดหินครั้งแรกเมื่อประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 และมีการใช้ต่อเนื่องมา ดังนี้

ปี ค.ศ.1846 Ascanio Sobrero ชาวอิตาลีได้ค้นพบ Nitroglycerine เป็นครั้งแรก แต่ยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยได้

ปี ค.ศ.1867 Alfred Nobel ชาวสวีเดน ได้ค้นพบวิธีนำ Nitroglycerine มาใช้ได้อย่างปลอดภัยได้เป็นครั้งแรก โดยการใช้ผงทรายและไดอะตอมไมต์ (Diatomite) มาเป็นตัวดูดซึม Nitroglycerine ได้ส่วนผสมที่เรียกว่า ไดนาไมต์ (Dynamite) ต่อมาได้มีการนำเอาโซเดียมไนเตรตและ Sodium nitrate มาเป็นตัวดูดซึม Nitroglycerine ตามลำดับ

ปี ค.ศ.1875 Alfred Nobel ได้ค้นพบวิธีการนำ Nitroglycerine มาผสมกับ Nitrocellulose ในอัตราส่วน 92:8 ได้วัตถุระเบิดชนิดใหม่เรียกว่า Blastion Gelation ซึ่งนับเป็นวัตถุระเบิดในทางการค้าที่มีพลังการทำลายสูงที่สุด

¹ ไพรัตน์ เจริญกิจ, วัตถุระเบิด [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก [http:// phairatch.bravepages.com/bl1.doc](http://phairatch.bravepages.com/bl1.doc)

ปี ค.ศ.1945 ได้มีการพัฒนาวัตถุระเบิดทางการค้าที่เรียกว่า ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil) ขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรก โดยการนำ Ammonium Nitrate (NH_4NO_3) มาผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน Ammonium Nitrate: Fuel Oil (น้ำมันดีเซล) 94:6 โดยประมาณ วัตถุระเบิดชนิดนี้ นับว่าเอื้อประโยชน์ต่อวงการวัตถุระเบิดในทางการค้ามากที่สุด เนื่องจากเป็นวัตถุระเบิดที่มีราคาต่ำ มีความปลอดภัยสูง และมีประสิทธิภาพยอดเยี่ยมเมื่อเปรียบเทียบกับราคาวัตถุระเบิดชนิดอื่น

ปี ค.ศ.1950 – 1960 ได้มีการค้นพบวัตถุระเบิดที่มีองค์ประกอบเหมือนเจล มี Ammonium Nitrate สารอินทรีย์และน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญเรียกว่า Water gel

ปี ค.ศ.1960 – ค.ศ.1970 ได้มีการค้นพบวัตถุระเบิดที่มี Ammonium Nitrate หรือ Sodium Nitrate และ จี๊ตังปิโตรเลียม (Petroleum wax) เป็นองค์ประกอบสำคัญ มีลักษณะของเหลวหนืด เรียกว่า วัตถุระเบิดแบบหนืด (Emulsion Explosive)²

3. คำจำกัดความของวัตถุระเบิด

3.1. ของแข็ง ของเหลว หรือส่วนผสมของสสาร ซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้ โดยกระตุ้นให้มวลสารถูกเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ เกิด แก๊ส ความร้อนและความดันอย่าง มหาศาล

3.2. สารเคมีที่มีปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วรุนแรง เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยความร้อนหรือ แรงสั่นสะเทือน จะสลายตัวให้พลังงานออกมาจำนวนมาก และให้ก๊าซที่มีปริมาตรขยายตัวเกิดแรงดันและความร้อนสูง³

²นภาพร กวีตระกูล, “การศึกษาการตรวจหาสารระเบิดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม้อัดด้วยเครื่องไอออนสแกน ” (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2552), 7.

³มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ , ระเบิดอะตอม [ออนไลน์].เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/atomic.../index.htm>

4. สารประกอบวัตถุระเบิด (Blasting Agent)

คือ สารประกอบหรือของผสมที่ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญสำหรับใช้ทำวัตถุแรงสูงมักเป็นวัสดุที่สามารถให้ออกซิเจน (Oxidizer) สารระเบิดเหล่านี้ไม่ได้จัดเป็นวัสดุจำพวกเชื้อเพลิง ในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วเท่านั้น ตัวอย่างสารระเบิดที่นิยมใช้ในการทำวัตถุระเบิดในทางการค้ามากที่สุดคือ Ammonium Nitrate ($\text{NH}_4 \text{NO}_3$)

5. ชนิดของวัตถุระเบิด

สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ตามคุณสมบัติในการใช้งาน ความยากง่ายในการระเบิด และตามกฎหมายควบคุมการขนส่งซึ่งมักเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการระเบิดของสารระเบิด หรือ วัตถุระเบิดชนิดนั้นๆ คือ

5.1 วัตถุแรงระเบิดต่ำ (Low Explosive) คือ ระเบิดที่ไม่ให้ช็อกเวฟ (Shock wave) ขณะระเบิด เช่น ดินดำ (Black Powder) ผงระเบิดไม่มีควัน (Smokeless Powder) ผงแฟลช (Flash Powder) วัตถุระเบิดแรงต่ำจะถูกกระตุ้นให้ระเบิดได้โดยการจุดไฟ

5.2 วัตถุระเบิดชักนำหรือวัตถุระเบิดที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดระเบิด (Initiating Explosive or Styphnate High Explosive) คือ วัตถุระเบิดที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุชักนำ ได้แก่ Lead Azide, Lead Styphnate, Mercury Fulminate, PENT,RDX เป็นต้น เป็นวัตถุระเบิดที่ใช้ทำเชื้อปะทุเพื่อจุดระเบิดแรงสูง ประกอบด้วยวัตถุแรงต่ำและวัตถุแรงสูงประกอบเข้าด้วยกัน เมื่อมีการจุดระเบิดวัตถุแรงต่ำ จะทำให้มีการกระตุ้นให้วัตถุระเบิดแรงสูงที่ใช้เป็นระเบิดชักนำในเชื้อปะทุหรือเก็บเกิดการระเบิด และไปกระตุ้นให้ระเบิดแรงสูง เชื้อปะทุที่อยู่ร่วมกับวัตถุระเบิดแรงสูงเรียกว่า Primer ส่วนระเบิดแรงสูงที่ใช้กระตุ้นระเบิดแรงสูงที่เป็นระเบิดหลัก (Main Charge) โดยไม่มีเชื้อปะทุอยู่ด้วย เรียกว่า Booster เกิดการระเบิดขึ้นในลักษณะของ ปฏิกิริยาลูกโซ่ จากระเบิดที่มีพลังงานน้อยไปสู่ วัตถุระเบิดที่มีพลังงานมากกว่า

5.3 วัตถุระเบิดแรงสูงที่เป็นระเบิดหลัก (Secondary High Explosive or Main Charge) คือ สารที่ให้ช็อกเวฟขณะระเบิด เช่น ไคนาไมต์ Water gel , Emulsion Explosive, TNT และ ANFO และสายชนวนระเบิด เป็นต้น วัตถุระเบิดแรงสูง มักจะสามารถกระตุ้นให้เกิดระเบิดได้ด้วยเก็บเบอร์ 6 หรือกระแทกอย่างแรงจนเกิดเป็น ช็อกเวฟ เช่น การถูกยิงด้วยกระสุนปืน การถูกฟ้าผ่า เป็นต้น แต่วัตถุระเบิดแรงสูงไม่สามารถกระตุ้นให้ระเบิดได้โดยการจุดไฟ จะต้องมีการเก็บหรือวัตถุที่สามารถผลิตช็อกเวฟกระตุ้นให้มีการระเบิด อย่างไรก็ตามกฎหมายมักมีความเข้มงวดในการควบคุมการขนส่งวัตถุระเบิดแรงสูง เป็นพิเศษกว่าสารประกอบระเบิด

5.4 สารประกอบระเบิด (Blasting Agent) ได้แก่สารประกอบที่ใช้ในการผลิตวัตถุระเบิดแรงสูง หรือวัตถุระเบิดแรงสูงบางชนิด ที่จุดระเบิดได้ยาก เช่น วัตถุระเบิดแบบหนืด (Emulsion Explosive) ชนิด สารประกอบระเบิดนี้กฎหมายของประเทศต่างๆ มักจะมีความเข้มงวดในการควบคุมการขนส่งน้อยกว่าวัตถุระเบิดแรงสูงเช่น แอมโมเนียมไนเตรต (Ammonium nitrate) จัดเป็นสารระเบิด (Blasting Agent) เนื่องจาก แอมโมเนียมไนเตรต ที่ยังไม่ได้ผสมกับน้ำมันดีเซล จะไม่สามารถกระตุ้นให้ระเบิดได้ จึงมีความปลอดภัยในการขนส่งมากกว่า⁴

6. คุณสมบัติของวัตถุระเบิด (EXPLOSIVE PROPERTY)

6.1 พลังหรือความแรงในการระเบิด (Strength) หมายถึง พลังความสามารถในการระเบิดของวัตถุระเบิด ที่สามารถผลิตแรงระเบิดและทำให้หินแตกได้ ผู้ผลิตวัตถุระเบิดแต่ละรายใช้วิธีการวัดความแรงในการระเบิด ด้วยวิธีต่างๆ กัน และไม่มีวิธีการวัดความแรงในการระเบิดที่ถือเป็นวิธีมาตรฐาน วัตถุระเบิดชนิดเดียวกันอาจมีประสิทธิภาพของวัตถุระเบิดบางชนิดจะสูงกว่าเมื่อใช้งานในระเบิดขนาดเล็ก

6.2 ความไวในการระเบิด (Sensitivity) คือ ความยากง่ายในการระเบิดของวัตถุระเบิด วัดได้จากพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการกระตุ้นให้วัตถุระเบิดชนิดนั้นๆ จุดระเบิด วัตถุระเบิดบางชนิดสามารถจุดระเบิดได้ง่าย เช่น ไดนาไมต์ และวัตถุระเบิดแบบหนืดบางชนิดที่สามารถจุดระเบิดได้ด้วยแท็บเบอร์ #8 ตามธรรมดา การใช้แท็บเบอร์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถที่จะจุดระเบิด ANFO และวัตถุระเบิดแบบหนืดบางชนิดได้ จำเป็นต้องใช้วัตถุระเบิดที่จุดระเบิดได้ง่ายกว่า เช่น ไดนาไมต์เป็นตัวช่วยจุดระเบิด เรียกว่า Primer หรือ Booster ตารางข้างล่างนี้เป็นตัวอย่างความยากง่ายในการจุดระเบิดของวัตถุระเบิดบางชนิด วัตถุระเบิดที่ใช้สำหรับประกอบเป็นเชื้อปะทุมักจะมีควมไวในการระเบิดสูง จึงสามารถจุดระเบิดโดยไม่ตั้งใจได้ง่าย เช่น เมื่อได้รับความร้อน การกระแทก ไฟฟ้าสถิต ไฟฟ้ารั่ว แรงอัด การเสียดสี เปลวไฟ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น คลื่นวิทยุ โทรศัพท์ และคลื่น Microwave เป็นต้น

⁴วิริยะ มีศิริ, วัตถุระเบิด [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2555. เข้าถึง ได้ จาก <http://www.arm.rtaf.mi.th/ข่าวบทความ/artknow/pdf/>

ตารางที่ 1 ความไวในการจุดระเบิดของวัตถุระเบิดชนิดต่างๆ

ชนิดของวัตถุระเบิด	ความยากง่ายในการระเบิด	ความไวในการใช้งาน
ไดนาไมต์ชนิดเม็ด (Granular Dynamite)	ปานกลาง – ง่าย	ดีเยี่ยม
ไดนาไมต์ชนิดหนืด (Gelatin Dynamite)	ปานกลาง	ดีเยี่ยม
วัตถุระเบิดแบบหนืด (Bulk Slurry)	ยาก	ดี-ดีมาก
วัตถุระเบิดแบบหนืดชนิดแท่ง (Cartridge Slurry)	ยาก	ดีมาก
ANFO หลวม (Poured ANFO)	ยาก	ดี
ANFO บรรจุแท่ง (Packaged ANFO)	ยาก	ดี-ดีมาก

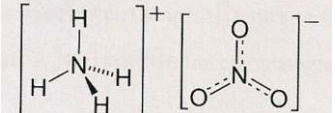
ที่มา: เรามาทำความรู้จักระเบิดกันเถอะ [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 24 ธันวาคม 2554. เข้าถึงได้จาก
[http:// www.weopenmind.net/board](http://www.weopenmind.net/board)

7. คุณสมบัติทางเคมีของระเบิด ANFO

ANFO (Ammonium Nitrate and Fuel Oil)เกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่าง NH_4NO_3 กับ Long chain hydrocarbon ที่เกิดจาก nitrogen, carbon dioxide และ water ANFO ประกอบไปด้วย 94.3% ammonium nitrate และ 5.7% fuel Oil โดยน้ำหนัก เมื่อระเบิดแล้วจะเกิดก๊าซพิษ เช่น carbon monoxide และ oxides of nitrogen (NO_x) ความหนาแน่นของ ANFO เท่ากับ 0.84 g/cm^3 Explosive velocity มีค่าเท่ากับ 5270 m/s^5

⁵วิชชุดา แสงประดับ , การพัฒนาเทคนิค GC-MS ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก http://www.thapra.lib.su.ac.th/thesis/listprogram_th.asp?program

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางเคมีของ Ammonium nitrate

Structural formula	
Properties	
Molecular Formula	(NH ₄)(NO ₃)
Molar Mass	80.043 g/mol
Melting Point	169.6 °C
Boiling point	Approx.210 °C
Density	172 g/ cm ³
Solubility in water	119 g/100 ml(0°C) 190 g/100 ml(20°C) 286 g/100 ml(40°C) 421 g/100 ml(60°C) 630 g/100 ml(80°C) 1024 g/100 ml(100°C)
Explosive data	
Explosive velocity	5270 m/s

ที่มา : นายไพรัตน์ เจริญกิจ, วัตถุระเบิด [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก
<http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/.../explosive.htm>

8.คุณสมบัติทั่วไปของ Ammonium Nitrate

Ammonium Nitrate ผลิตขึ้นจากการผสมของกรดดินประสิวและแอมโมเนีย จากนั้นจึงทำให้สารละลายระเหยและกลายเป็นของแข็งมีลักษณะเป็นรูพรุน ก้อน หรือ เกล็ด

8.1 Ammonium Nitrate ที่เหมาะแก่การใช้ในการระเบิดควรมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

8.1.1 การกระจายตัวของขนาดเม็ดปุ๋ยต้องเป็นเม็ดละเอียดสม่ำเสมอ (Size Distribution)

8.1.1.1 ขนาดโตกว่า 2.5 มม. ไม่เกิน 5%

8.1.1.2 ขนาด 0.5-2.5 มม. ไม่ต่ำกว่า 90%

8.1.1.3 ขนาดเล็กกว่า 0.5 มม. ไม่เกิน 5%

8.1.2 ความชื้นต่ำ ไม่เกิน 0.3 %

8.1.3 สารเคลือบผิว 1.3-3% โดยน้ำหนัก

8.1.4 ความหนาแน่น 0.7 – 0.90 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

8.1.5 ต้องมีเนื้อร่วนไม่จับกันเป็นก้อน และมีการไหลตัวได้ดี

8.1.6 การดูดซึมน้ำมันดีเซล 7 -12 %

8.1.7 มีปริมาณ ไนโตรเจน(Nitrogen content) ไม่น้อยกว่า 34% โดยน้ำหนัก

8.2 Ammonium Nitrate เป็นสารที่ดูดความชื้นได้ดี การบรรจุหีบห่อจึงควรป้องกันไม่ให้มีอากาศเข้าไปได้ ไม่ควรแกะภาชนะบรรจุ Ammonium Nitrate หากยังไม่ถึงเวลาใช้งาน เพราะเมื่อมันดูดความชื้นเข้าไปทำให้ประสิทธิภาพในการระเบิดต่ำลง ขณะเดียวกันไม่ควรใช้ตะขอกเกี่ยว กระสอบ หรือทำให้กระสอบทะลุเพราะเมื่อมีอากาศเข้าไปได้ Ammonium Nitrate จะเริ่มดูดความชื้น

8.3 Ammonium Nitrate เมื่อยังไม่ได้ผสมกับน้ำมันดีเซล จะไม่มีคุณสมบัติเป็นวัตถุระเบิด แต่เมื่อผสมกับน้ำมันดีเซลดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะมีคุณภาพในการระเบิดเทียบเท่าระเบิดแรงสูงชนิดอื่น เมื่อบวกกับราคาที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุระเบิดแรงสูงอื่นๆ Ammonium Nitrate ผสมน้ำมันดีเซล จึงเป็นวัตถุที่เป็นที่นิยมใช้งานเหมืองแร่แพร่หลายที่สุดทั่วโลก

8.4 Ammonium Nitrate ที่มีความหนาแน่นต่ำ คือ มีความหนาแน่น ระหว่าง 0.70-0.75 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้พลังในการระเบิดต่ำกว่า Ammonium Nitrate ที่มีความหนาแน่นสูง และสามารถจุดระเบิดได้ง่ายกว่า จึงนิยมใช้กับการระเบิดในรูระเบิดขนาดเล็ก ซึ่งมักให้ผลการระเบิดดีกว่า Ammonium Nitrate ที่มีความหนาแน่นสูง

8.5 อัตราส่วนโดยน้ำหนักที่พอดี ของการผสมกันระหว่าง Ammonium Nitrate และน้ำมันดีเซลที่ทำให้เกิดพลังในการระเบิดมากที่สุด คืออัตราส่วน Ammonium Nitrate ต่อ น้ำมันดีเซลเท่ากับ 94.3% : 5.7% สัดส่วนที่แตกต่างไปกว่านี้จะทำให้พลังในการระเบิดของ ANFO ลดน้อยลง

ตารางที่ 3 พลังงานที่สูญเสีย เมื่อมีการผสมน้ำมันดีเซลกับ Ammonium Nitrate ที่อัตราส่วนค่าต่างๆ

สภาวะการณ	ปริมาณน้ำมันดีเซล	พลังที่สูญเสีย	ผลของการระเบิด
พลังงานสมดุล	5.7	0	ผลการระเบิดดีที่สุด
น้ำมันดีเซลน้อยเกินไป	5.0	5.3	มีออกซิเจนเหลือจากปฏิกิริยา ทำให้มีการสูญเสียพลังงานทำให้เกิดก๊าซไนตรัสออกไซด์มีควันสีเหลืองส้ม
น้ำมันดีเซลน้อยเกินไป	4.0	12.1	เช่นเดียวกับข้างบน
น้ำมันดีเซลน้อยเกินไป	3.0	20.0	เช่นเดียวกับข้างบน
น้ำมันดีเซลมากเกินไป	7.0	1.5	มีออกซิเจนไม่พอในการทำปฏิกิริยา ทำให้มีการสูญเสียพลังงานเกิดก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์เป็นควันสีเทาดำ
น้ำมันดีเซลมากเกินไป	8.0	2.9	เช่นเดียวกับข้างบน
น้ำมันดีเซลมากเกินไป	9.0	4.9	เช่นเดียวกับข้างบน

ที่มา: วัตถุประสงค์สำหรับงานเหมืองแร่ [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/.../explosive.htm>

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของระเบิดมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการระเบิดของ ANFO ไม่เท่ากัน เมื่อขนาดของระเบิดโตขึ้น ANFO จะมีประสิทธิภาพดีขึ้น ตารางด้านล่างนี้แสดงความเร็วในการระเบิดของ ANFO เมื่อระเบิดมีขนาดต่างกัน ความเร็วของการระเบิดที่มากขึ้น แสดงว่า ANFO มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ตารางที่ 4 ความเร็วในการระเบิดของ ANFO เมื่อระเบิดมีขนาดต่างๆ

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของระเบิด (นิ้ว)	ความเร็วในการระเบิด (ฟุต/วินาที)
15.	8,000
2.5	11,600
3.0	12,000
6.5	13,900
9.0	14,500
15.0	15,000

ที่มา: วัตถุระเบิดสำหรับงานเหมืองแร่ [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/.../explosive.htm>

8.6 การเพิ่มประสิทธิภาพการระเบิดของ ANFO สามารถทำได้โดยการเติมผงโลหะบางชนิดที่เป็นเชื้อที่รุนแรงกว่าน้ำมันดีเซลผสมลงไป เช่น เติมอลูมิเนียมประมาณ 5 – 15 % โดยน้ำหนักทำให้ความหนาแน่นของ ANFO เพิ่มมากขึ้น เรียกว่า ANFOหนัก ซึ่งจะทำให้พลังงานในการระเบิดเพิ่มขึ้น มักนิยมใช้ในการอัดกันที่รูหรือใช้ในการระเบิดหินที่แข็งมากๆ เพื่อเพิ่มพลังในการระเบิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการเจาะเนื่องจากสามารถเพิ่มระยะระหว่างรูเจาะให้มากขึ้นได้

8.6.1 ข้อเสียเปรียบ ANFO คือ ไม่สามารถใช้ได้ผลหากมีน้ำในรูระเบิดและให้ผลการระเบิดในรูระเบิดขนาดเล็กไม่ดีเท่ากับผลการระเบิดในรูเจาะขนาดใหญ่

8.6.2 ข้อสังเกต Ammonium Nitrate (NH_4NO_3) เป็นสารเคมีคนละชนิดกับปุ๋ยยูเรีย ซึ่งไม่จัดเป็นสารประกอบระเบิด⁶

⁶ ภูริ, Ammonium Nitrate [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก <http://guru.google.co.th/guru/thread?tid = of132bea07d52e>

9.เทคนิค Ion chromatography

เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารที่มีประจุออกจากของผสม โดยอาศัยคุณสมบัติของชนิดของประจุที่แตกต่างกันระหว่างสารที่ต้องการแยก สารที่ใช้เป็นตัวกลางอยู่กับที่ (stationary phase)และสารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางที่เคลื่อนที่ (mobile phase) แบ่งเป็นสารที่มีประจุบวก (cation) กับสารที่มีประจุลบ(anion)

9.1 Eluent คือ สารละลายที่ใช้เป็นตัวกลางที่เคลื่อนที่(Mobile phase) ทำหน้าที่ในการชะสารที่ต้องการแยกออกจากคอลัมน์

9.2 Pump คือ ใช้ในการดูดแก๊ส N_2 เข้าสู่ eluent reservoir เพื่อให้ eluent ไหลผ่าน loop ภายในเครื่องเมื่อทำการวิเคราะห์

9.3 Sample injection คือ บริเวณสำหรับฉีดสารตัวอย่างเข้าไปเก็บไว้ใน loop เมื่อเครื่องทำการวิเคราะห์ จะเกิด switch loop จาก load position ไปที่ inject position เพื่อให้สารตัวอย่างเข้าสู่ Guard column ซึ่งมีลักษณะเหมือนคอลัมน์ขนาดเล็ก ทำหน้าที่ช่วยกรองสิ่งสกปรก หรือ อนุภาคที่ขนาดใหญ่ในสารละลายก่อนเข้าสู่คอลัมน์ที่ใช้แยกสาร จึงช่วยยืดอายุการใช้งานคอลัมน์ได้

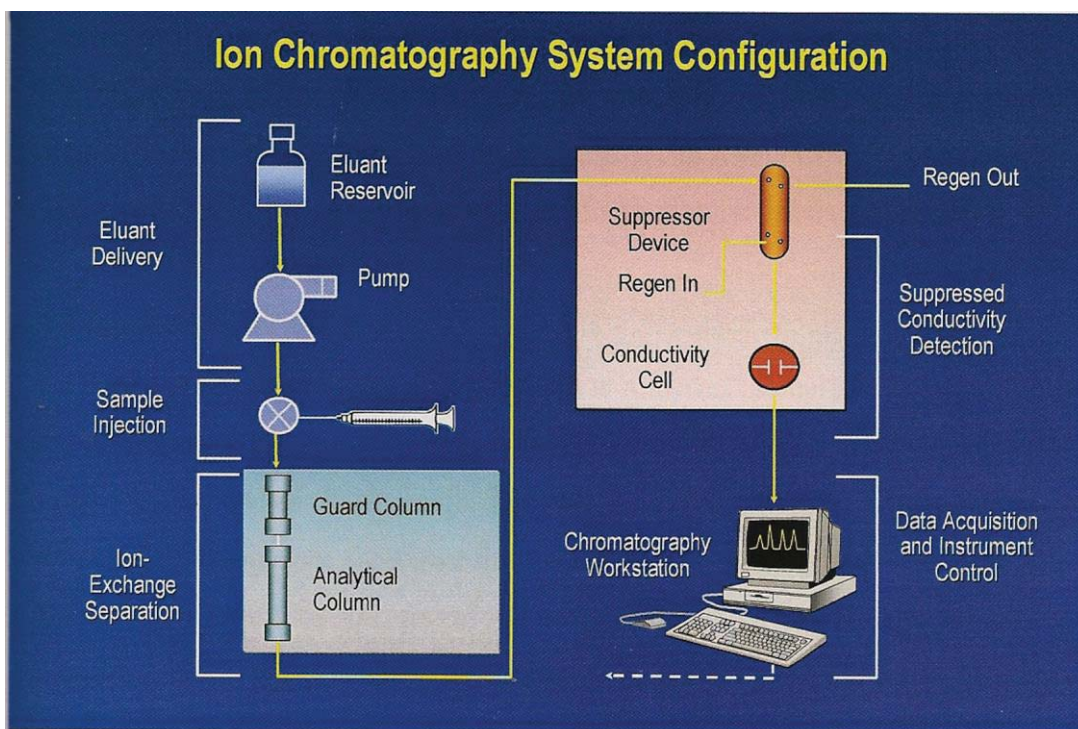
9.4 Analytical column เป็นคอลัมน์ที่สารตัวอย่างจะถูก แยก โดยการแยกจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางที่อยู่ภายในคอลัมน์

9.5 Suppressor เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มสัญญาณให้กับไอออนที่ถูกแยก แล้วจึงเข้าสู่ detector

9.6 Conductivity cell เป็น detector ที่วัดสัญญาณสารด้วยคุณสมบัติการนำไฟฟ้า ทำให้ทราบว่สารที่ได้เป็นสารชนิดใด ยิ่งสารมีประจุมาก การนำไฟฟ้ายิ่งดี

9.7 Chromatography Workstation เมื่อเครื่องทำการวิเคราะห์และตรวจวัดการนำไฟฟ้าของสารแล้วจะส่งข้อมูลมาทำการประมวลผลที่ส่วนนี้และแสดงผลออกมาในรูปของ Chromatogram ที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการนำไฟฟ้า (μS) กับเวลา (min)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion และ ที่มีอยู่ตัวอย่างดินบริเวณหลุมระเบิด ANFO หลังการ จุดระเบิด ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์เพื่อแยก Anion ที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดกล่าวในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่อง Ion chromatography

ที่มา: วัตถุประสงค์สำหรับงานเหมืองแร่ [ออนไลน์], เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก

<http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/.../explosive.htm>

10. การวิเคราะห์หาปริมาณ Anion

เครื่อง Ion chromatograph รุ่น ICS-1000(DIONEX) ประกอบด้วย Analytical column (Dionex Ionpac AS 18) ขนาด $250\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ Guard column (Dionex Ionpac AG18) ขนาด $50\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ สารที่ใช้เป็น Eluent คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยมีเครื่อง Reagent – FreeTm Controller เป็น eluent generator ช่วยในการทำ gradient mode Suppressor คือ Dionex ASRS-ULTRA ขนาด 4 mm อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับคอลัมน์คือ 30°C ปริมาตรตัวอย่างที่เข้าคอลัมน์ คือ $25\text{ }\mu\text{L}$ อัตราเร็วของสารละลายในระบบ คือ 1.00 mL/min โปรแกรม Dionex Chromeleon 6.5 ใช้ในการควบคุมการทำงาน และจัดการข้อมูล

11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2005 Kuila, Chakraborty, Xharma และ Lahiri ได้ทำการศึกษาเรื่องการหาองค์ประกอบของวัตถุระเบิดแรงต่ำจากประเทศอินเดียพบว่า จากการวิเคราะห์ตัวอย่างระเบิดและส่วนที่เหลือของระเบิดประมาณ 1000 ตัวอย่าง โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์แบบ routine พบว่าผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Ion chromatography and scanning electron microscope with energy dispersive X-ray analyzer (SEM-EDXA) สามารถหาองค์ประกอบของตัวอย่างได้ดังนี้ potassium nitrate (KNO_3) potassium chlorate ($KClO_3$), arsenic sulphide (As_2S_3) sulfur (S), aluminium (Al) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามในการผลิตระเบิดแรงต่ำแต่ละครั้งจะใช้สารเคมีที่เป็นส่วนผสมแตกต่างกันไป ระเบิดนี้เป็นเครื่องมือในการก่ออาชญากรรม จึงได้มีข้อกำหนดที่จะใช้เครื่องตรวจจับที่ได้มาตรฐานมาใช้เพื่อลดการใช้ระเบิดที่จะทำให้เกิดความเสียหายทั้งชีวิต และทรัพย์สิน

ปี ค.ศ.2008 Cameron Johns , Robert A. Shellie, Oscar G. Potter , John w.o'Reilly, Joseph P.Hutchinson , Rosanne M.Guijt, Mucgael C.Breadmore, Emily F.Hilder , Greg w. Dicoski และ Paul R. Haddad(2) ได้ทำการศึกษาในเรื่อง การระบุลักษณะของระเบิดที่สร้างขึ้นเองจากสารอนินทรีย์ โดยใช้เทคนิค Ion chromatography (IC) ในการวิเคราะห์ส่วนที่เหลือจากการระเบิด ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่า สามารถแยกและวิเคราะห์ Anion และ Cation จากส่วนที่เหลือจากการระเบิด ได้ด้วยเทคนิค Ion chromatography พบว่ามี Anion อยู่ทั้งหมด 18 ชนิด (acetate, benzoate ,bromate,carbonate, chlorate, chloride, chromate, cyanate, fluoride, formate, nitrate, nitrite, perchlorate, phosphate,sulfate, thiocyanate และ thiosulfate) และ Cation ที่พบมี 12 ชนิด (ammonium , barium(II), calcium(II), chromium(II), ethylammonium, magnesium(II), manganese(II),manganese(II), methylammonium, potassium(I) , sodium(I), strontium(II)และ zinc(II) ซึ่ง Column ที่ใช้วิเคราะห์คือ Dionex AS20 โดยใช้ Potassium hydroxide เป็น Eluent และใช้ Suppressed IC สำหรับการวิเคราะห์ Anion ส่วนการวิเคราะห์ Cation จะใช้ non – suppressed IC ซึ่งใช้ Column ชนิด Dionex SCS 1 และ oxalic acid/acetonitile มีค่า detection limit อยู่ในช่วง 13-115 ppb เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้เป็นเทคนิคที่รับการยอมรับในการวิเคราะห์หา Ion จากส่วนที่เหลือจากระเบิด ซึ่งสามารถระบุลักษณะ และแยก Ion แต่ละชนิดออกจากกันได้อย่างชัดเจน ค่า Linearity อยู่ในช่วง 0.05-50 ppm ซึ่งมีความสัมพันธ์ความเป็นเส้นตรง (R^2) อยู่ในช่วง 0.9889-1.00 จากการทำ Reproducibility(n=10) ในการวิเคราะห์ สารมาตรฐานความเข้มข้น 5 ppm พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (R.S.D.) สำหรับ Retention time และ พื้นที่ใต้พีค มีค่า อยู่ในช่วง 0.01-0.22% และ 0.29-2.16% ตามลำดับ การแยก Anion และ Cation ออกจากกันในเวลาเดียวกัน โดยใช้ Dionex ICS-2000 พบว่าเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หาสาร Inorganic ในระเบิดที่ทำ

ขึ้นเองจากตัวอย่างที่เป็นส่วนที่เหลือในการระเบิด และดินในบริเวณที่เกิดการระเบิด ผลการทดลองที่ได้สามารถยืนยันได้จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Capillary electrophoresis (CE) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับเป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ.2008 Hong-Bo Meng, Tian-Ram Wang , Bao-Yuan Guo , Yuki Hashi , Can-Xiong Guo และ Jin-Ming (3) ได้ทำการศึกษาเรื่องการหาปริมาณ Inorganic anion และ cation ในส่วนที่เหลือของระเบิด โดยใช้เทคนิค Ion chromatography ซึ่งจากการใช้เทคนิค Ion chromatography (IC) ที่เป็น non-suppressed ต่อเข้ากับ column ชนิด anion-exchange และ cation-exchange โดยตรง ซึ่งสามารถใช้แยก และหาปริมาณ anion ได้ 5 ชนิด (sulfate, nitrate, chloride, nitrite , และ chlorate) และ cation ได้ 3 ชนิด (sodium, ammonium, และ potassium) ในเวลาเดียวกัน จากการวิเคราะห์ ส่วนที่เหลือของระเบิด mobile phase ที่ใช้ประกอบไปด้วย 3.5 mM phthalic กับ 2 % acetonitrile และน้ำ อัตราการไหล 0.2 mL/min ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการแยกทั้ง anion และ cation ได้อย่างสมบูรณ์ในเวลา 16 นาที ค่า limits of detection (S/N=3) ของ anion และ anion อยู่ในช่วง 50-100 $\mu\text{g/L}$ และ 150-320 $\mu\text{g/L}$ ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง (R^2) อยู่ในช่วง 0.9941-0.9996 และค่า R.S.D. ของ retention time และ peak area มีค่าเป็น 0.10-0.29% และ 5.65-8.12% ตามลำดับ เทคนิคนี้สามารถประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ตัวอย่างระเบิดได้อย่างดี และให้ผลการวิเคราะห์เป็นที่น่าพอใจ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย
วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

ตารางที่ 5 เครื่องมือ อุปกรณ์และบริษัทผู้ผลิต

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต
ICS-1000	DIONEX
Reagent-Free Controller	DIONEX
Ultrasonic Cleaner	Cavitator
Analytical Balance	Mettler Toledo
Centrifuge	-
Syringe 3mL	Nipro Crop., Ltd
Verticlean Nylon Filter	Vertical chromatography Co.,Ltd
Filter paper	Whatman
Micropipette	SOCOREX

ตารางที่ 6 รายชื่อสารเคมี บริษัทผู้ผลิต และเกรด

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต	เกรด
Acetic acid	B.D.H.	Analytical grade
Ammonium nitrate	Fluka	Purum p.a. $\geq 99.0\%$
Calcium chloride	Fluka	Purum p.a. $\geq 99.0\%$
Formic acid	B.D.H.	Analytical grade
Magnesium sulfate	Fluka	Purum p.a. $\geq 99.0\%$
Potassium nitrate	Riedel-deHaën	Puriss 99-100.5%

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Potassium sulphate	Ajax	Analytical grade
Sodium chloride	Riedel-deHaën	Analytical grade
Sodium nitrate	Fluka	Purum p.a. $\geq 99.0\%$
Sodium fluoride	Ajax	Analytical grade
Sodium perchlorate	Fluka	Purum p.a. $\geq 98.0\%$
Sodium Phosphate monobasic	Fluka	Analytical grade
Sulfuric acid	B.D.H.	Analytical grade

2. การเตรียมสารละลาย

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm

2.1.1 สารละลายมาตรฐาน Fluoride ion เข้มข้น 1000 ppm

ชั่ง Sodium Fluoride 0.1076 กรัม ละลายด้วย Deionized water แล้วปรับปริมาตร เป็น 100 mL ในขวดปริมาตร จะได้สารละลาย Sodium Fluoride เข้มข้น 1000 ppm

2.1.2 สารละลายมาตรฐาน Acetate ion เข้มข้น 1000 ppm

ปิเปต Acetic acid 95 μL จาก Acetic acid 99.8 % ปรับปริมาตรด้วย Deionized water เป็น 100 mL ในขวดปริมาตร จะได้ละลาย Acetic acid เข้มข้น 1000 ppm

2.1.3 สารละลายมาตรฐาน Formate ion เข้มข้น 1000 ppm

ปิเปต formic acid 96 μL จาก formic acid 99.8 % ปรับปริมาตรด้วย Deionized water เป็น 100 mL ในขวดปริมาตร จะได้ละลาย Formic acid เข้มข้น 1000 ppm

2.1.4 สารละลายมาตรฐาน Chloride ion เข้มข้น 1000 ppm

ชั่ง Sodium Chloride 0.1045 กรัม ละลายด้วย Deionized water แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ในขวดปริมาตร จะได้สารละลาย Sodium Chloride เข้มข้น 1000 ppm

2.1.5 สารละลายมาตรฐาน Sulfate ion เข้มข้น 1000 ppm

ชั่ง Potassium sulphate 0.1006 กรัม ละลายด้วย Deionized water แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ในขวดปริมาตร จะได้สารละลาย Potassium sulphate เข้มข้น 1000 ppm

2.1.6 สารละลายมาตรฐาน Nitrate ion เข้มข้น 1000 ppm

ชั่ง Sodium Nitrate 0.1032 กรัม ละลายด้วย Deionized water แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ในขวดปริมาตร จะได้สารละลาย Sodium Nitrate เข้มข้น 1000 ppm

2.1.7 สารละลายมาตรฐาน Phosphate ion เข้มข้น 1000 ppm

ซึ่ง Sodium Phosphate monobasic monohydrate 0.1452 กรัม ละลายด้วย Deionized water แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 mL ในขวดปริมาตร จะได้สารละลาย Sodium Phosphate monobasic monohydrate เข้มข้น 1000 ppm

2.2 นำสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1000 ppm มาเจือจางจนมีเข้มข้นสุดท้ายตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เตรียมสำหรับการทำ Calibration curve

ลำดับที่ ขวด ปริมาตร 10 mL	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (ppm)						
	Fluoride	Acetate	Formate	Chloride	Sulfate	Nitrate	Phosphate
1	0.11	1.51	1.12	0.11	0.53	0.52	0.51
2	0.43	0.07	0.58	1.08	1.70	1.03	1.02
3	0.81	1.99	1.16	2.17	2.13	2.06	2.03
4	2.15	4.98	1.73	5.42	4.26	3.61	5.09
5	5.17	14.98	5.17	10.84	5.33	5.16	10.01

3.วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการทดลอง

3.1.1 นำสารละลายมาตรฐานที่เตรียมสำหรับการทำ Calibration curve และสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้มาฉีดเข้าเครื่อง ICS-1000 โดยใช้เครื่อง Reagent –Free Controller เพื่อทำ Gradient Mode ซึ่งใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็น eluent

3.1.2 สภาวะของการทดลอง :	Flow rate	= 1.00 mL/min
	Temperature	= 30 °C
	Inject volume	= 25 µL
	Gradient mode ; on	= 3.5 min
	EGC	= 15 mM
	Final conc.	= 35 mM
	Gradient time	= 10 min

3.1.3 ผลการทดลองได้เป็น Chromatogram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า (μS)กับเวลา (min) Calibration curve สร้างโดยการพลอตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับ พื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ได้สมการเส้นตรงจากเส้นกราฟของ Calibration curve จากนั้นใช้พื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างคำนวณหาความเข้มข้นของ ไอออนลบในตัวอย่าง ดินที่วิเคราะห์

3.2 การเก็บตัวอย่าง

3.2.1 เก็บตัวอย่างดินบริเวณผิวหน้า ของดินก่อน ทำการจุ่มระเบิด เพื่อใช้ ในการวิเคราะห์ Blank

3.2.2 เก็บตัวอย่างดินบริเวณผิวหน้าของดินหลังทำการจุ่มระเบิด โดยเก็บ ตัวอย่างทั้งหมด 13 ตัวอย่าง ดังนี้ (แสดงดังภาพที่ 3)

3.2.2.1 ตัวอย่างดินในทิศเหนือ ในระยะ 1, 2 และ 5 m จากกลางหลุมระเบิด

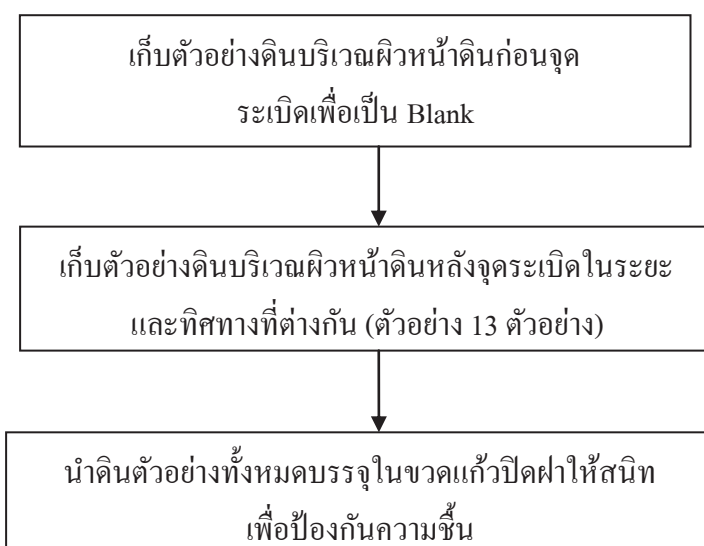
3.2.2.2 ตัวอย่างดินในทิศใต้ ในระยะ 1, 2 และ 5 m จากกลางหลุมระเบิด

3.2.2.3 ตัวอย่างดินในทิศตะวันออกในระยะ 1, 2 และ 5 m จากกลางหลุมระเบิด

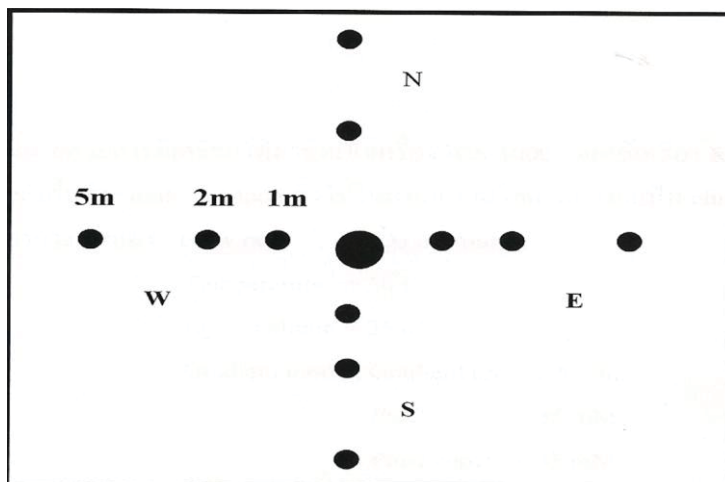
3.2.2.4 ตัวอย่างดินในทิศตะวันตก ในระยะ 1, 2 และ 5 m จากกลางหลุมระเบิด

3.2.2.5 ตัวอย่างดินบริเวณกลางหลุมระเบิด

3.2.3 นำตัวอย่างดินทั้งหมดบรรจุในขวดแก้ว ปิดฝาให้สนิท เพื่อเป็นการป้องกันความชื้น และปัจจัยอื่นๆที่อาจทำความเสียหายต่อตัวอย่าง



ภาพที่ 3 วิธีการเก็บตัวอย่างดินในบริเวณรอบๆหลุมระเบิด ANFO



ภาพที่ 4 แผนผังการเก็บตัวอย่างดินบริเวณการระเบิดในทิส(เหนือ ใต้ ตะวันออก และตะวันตก) และระยะ (1,2 และ 5 m) ที่แตกต่างกัน

3.3 การเตรียมตัวอย่างดิน

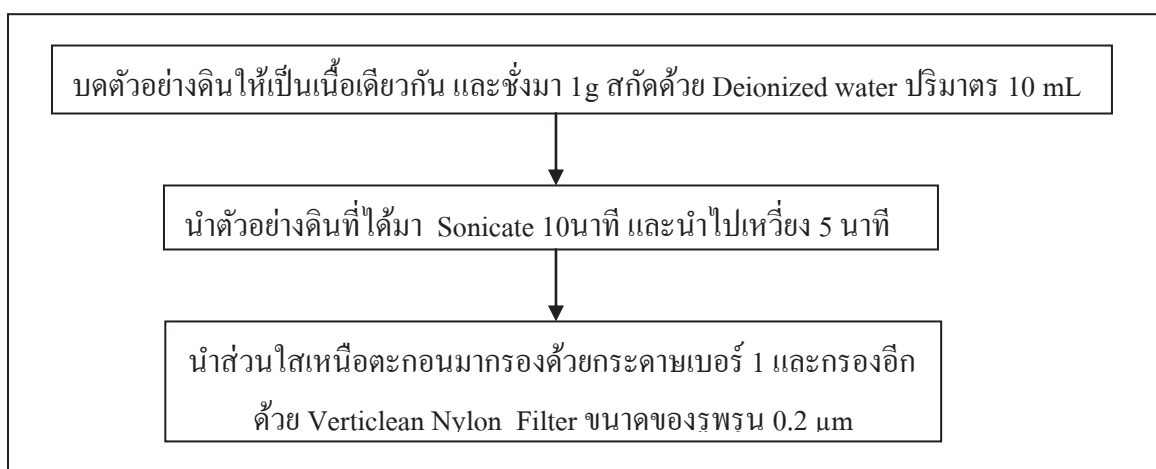
3.3.1 นำตัวอย่างดินบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.3.2 ชั่งตัวอย่างดิน 1.00 g สกัดด้วย Deionized water ปริมาตร 10 mL

3.3.3 นำตัวอย่างที่ได้ไป Sonicate ด้วยเครื่อง Ultrasonic Cleaner เป็นเวลา 10 นาที

3.3.4 นำตัวอย่างไปเหวี่ยงให้ตกตะกอนด้วยเครื่อง Centrifuge เป็นเวลา 5 นาที

3.3.5 กรองส่วนใสเหนือตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เก็บส่วนที่กรองได้ไปกรองต่อด้วย Verticlean Nylon Filter ขนาดของรูพรุน 0.2 μm



ภาพที่ 5 วิธีการเตรียมตัวอย่างดิน

3.4. วิธีการหาค่า LOD และ LOQ

3.4.1 ใช้ Deionized water ซึ่งเป็น Blank วิเคราะห์ด้วยสภาวะเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทำซ้ำ 10 ครั้ง

3.4.2 นำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่า LOD และ LOQ ซึ่ง $LOD = 3 \text{ S.D.}$ และ $LOQ = 10 \text{ S.D.}$ โดยนำจุดสูงสุดของกราฟบวกด้วยจุดต่ำสุดของกราฟ แล้วหาร 2 เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกราฟ แล้วนำไปหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ซึ่งจะสามารถหาค่า LOD และ LOQ ออกมาได้ โดยการแทนค่า 3S.D. และ 10 S.D. ลงในกราฟมาตรฐานของไอออนแต่ละชนิด

3.5 การทดลอง Repeatability method

3.5.1 พิจารณา Precision โดยหา % RSD

วิเคราะห์ตัวอย่างดินตัวอย่างละ 3 ครั้ง (n=3) นำค่าพื้นที่ใต้พีคที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละครั้งไปหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน หาค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น (X) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) คำนวณหา $\%RSD = (S.D./X) \times 100$

3.4.5. พิจารณา Accuracy โดยหา %Recoveries

เติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นลงไปในตัวอย่างเป็นตารางที่ 3.5,3.6 ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

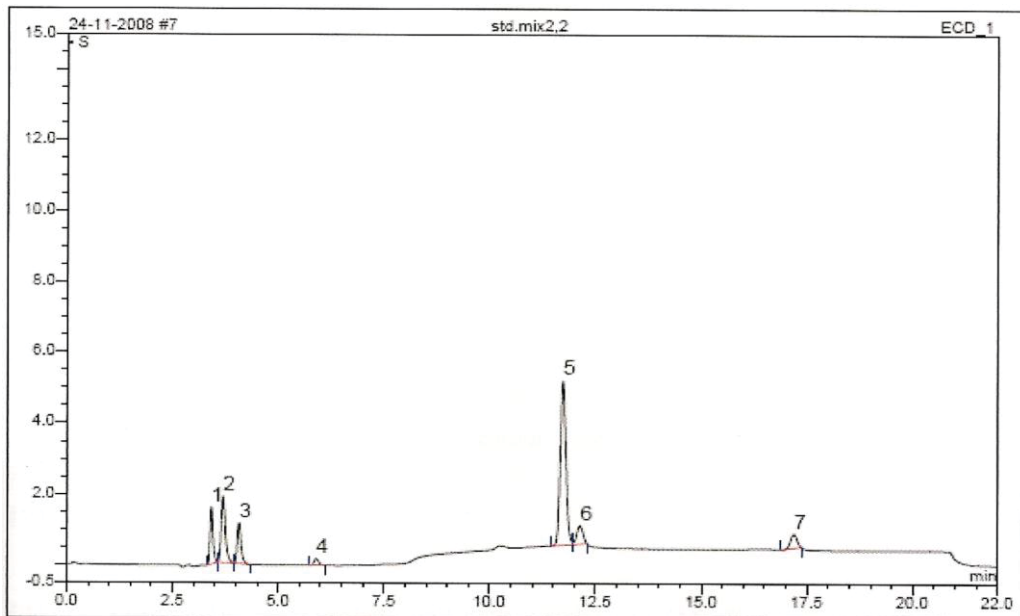
ตารางที่ 8 การวิเคราะห์หา % Recoveries ในตัวอย่างดินในบริเวณหลุมระเบิด

Standard	ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติม (ppm)	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
Fluoride	3.99	3.99
Acetate	4.83	4.84
Formate	2.26	3.94
Chloride	6.22	5.02
Sulfate	3.25	3.38
Nitrate	3.94	3.38
Phosphate	5.01	5.93

บทที่ 4 ผลการทดลอง

1. Chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน Anion ทั้ง 7 ชนิด

การวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิดในตัวอย่างคินที่อยู่รอบๆ หลุมระเบิดโดยใช้เทคนิค Ion Chromatography ด้วยเครื่อง ICS-10000 จะทำให้ผลการทดลองเป็น Chromatogram ดังนี้



ภาพที่ 6 Chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน ของ Fluoride, Acetate, Formate, Chloride Sulfate, Nitrate และ Phosphate

จาก Chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน ของ Fluoride, Acetate, Formate, Chloride Sulfate , Nitrate และ Phosphate จะเห็นได้ว่าในสภาวะการทดลองนี้สามารถแยก Anion ได้ชัดเจนได้ที่ค่า retention time ต่างๆ ดังตารางที่ 9

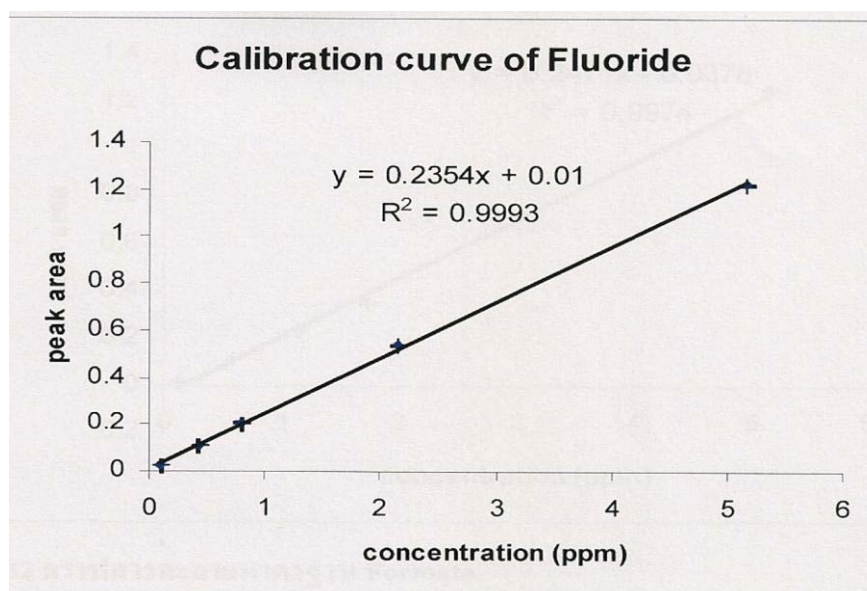
ตารางที่ 9 หมายเลขพีค และ Retention Time ของสารละลายมาตรฐาน 7 ชนิด

Anion	Peak No.	Retention Time(min)(n=3)
Fluoride	1	3.413
Acetate	2	3.638
Formate	3	4.077
Chloride	4	5.904
Sulfate	5	11.778
Nitrate	6	12.142
Phosphate	9	17.280

2. การสร้างกราฟมาตรฐาน(Calibration curve)

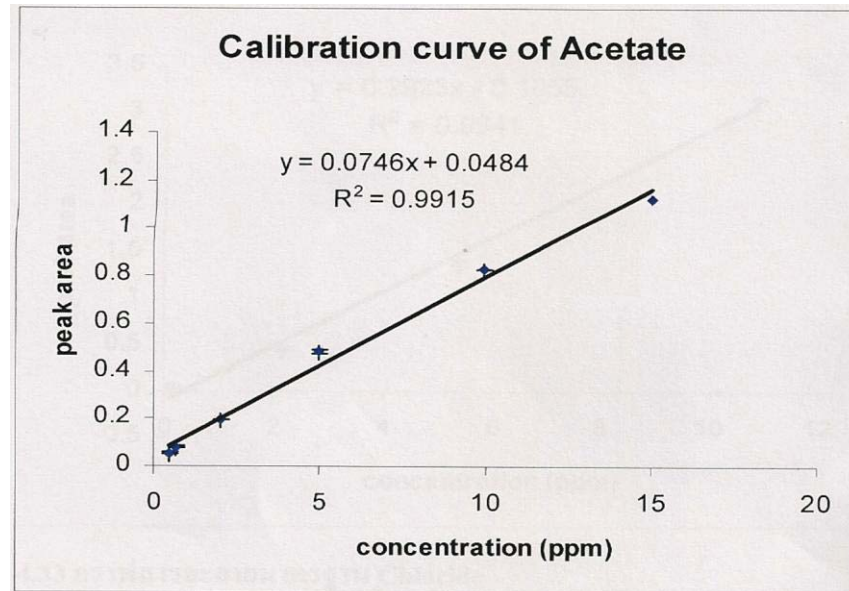
จากการทดลองในการสร้าง กราฟมาตรฐาน โดยใช้สารละลายมาตรฐานที่มีไอออนลบทั้ง 7 ชนิด มีความเข้มข้นตามตารางที่ 7 ได้กราฟมาตรฐานดังนี้

2.1 สารละลายมาตรฐาน Fluoride เข้มข้น 10.11 0.43 0.81 0.15 และ 5.17 ppm



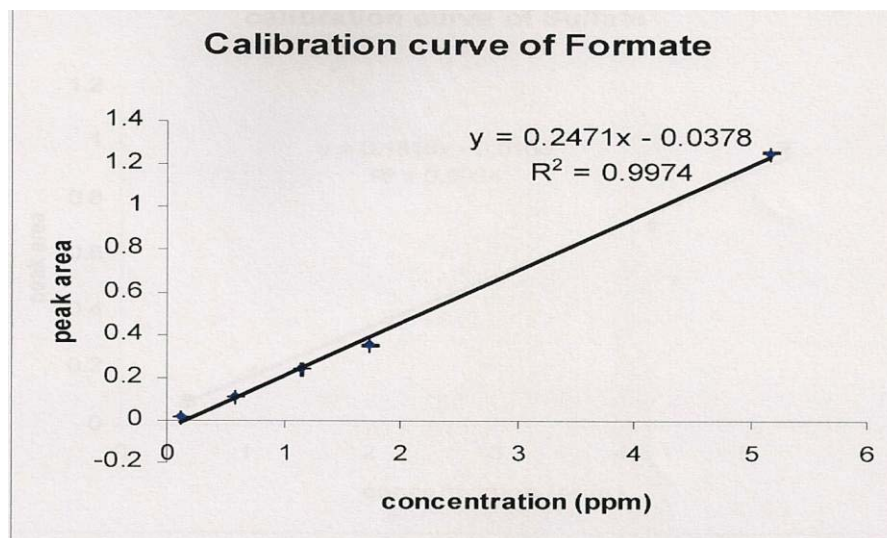
ภาพที่ 7 กราฟมาตรฐานของ Fluoride

2.2 สารละลายมาตรฐาน Acetate เข้มข้น 0.50 0.70 1.99 4.98 9.96 และ 14.93 ppm



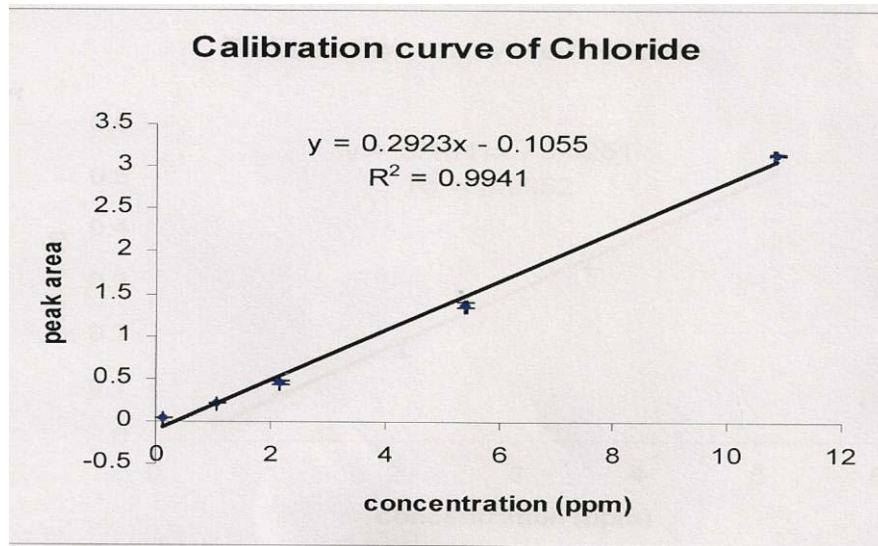
ภาพที่ 8 กราฟมาตรฐานของ Acetate

2.3 สารละลายมาตรฐาน Formate เข้มข้น 0.50 0.70 1.99 4.98 9.96 และ 14.93 ppm



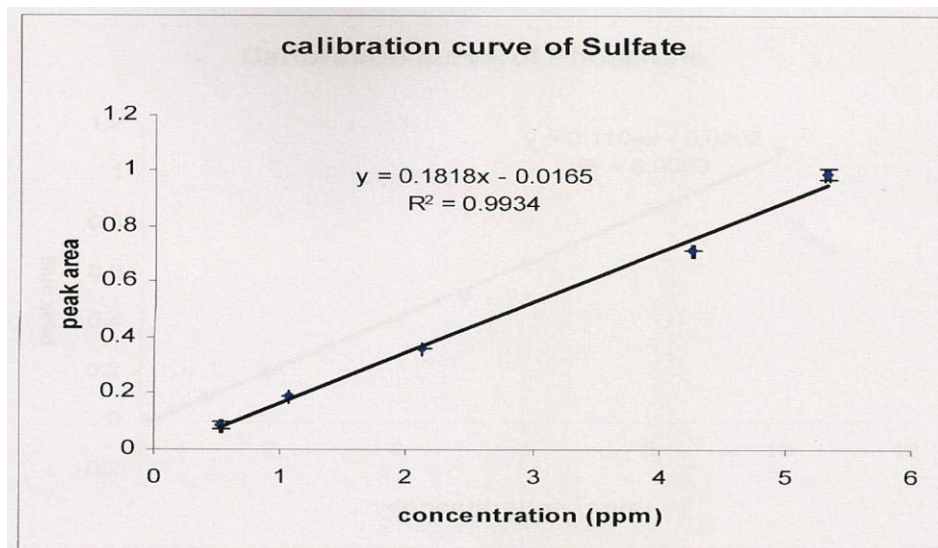
ภาพที่ 9 กราฟมาตรฐานของ Formate

2.4 สารละลายมาตรฐาน Chloride เข้มข้น 0.11 1.08 2.17 5.42 และ 10.84 ppm



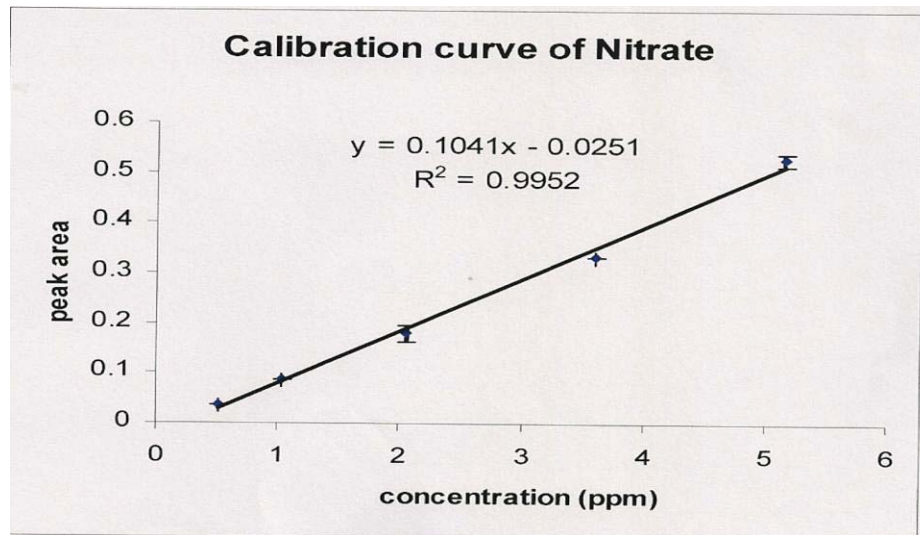
ภาพที่ 10 กราฟมาตรฐานของ Chloride

2.5 สารละลายมาตรฐาน Sulfate เข้มข้น 0.53 1.07 2.13 4.26 และ 5.33 ppm



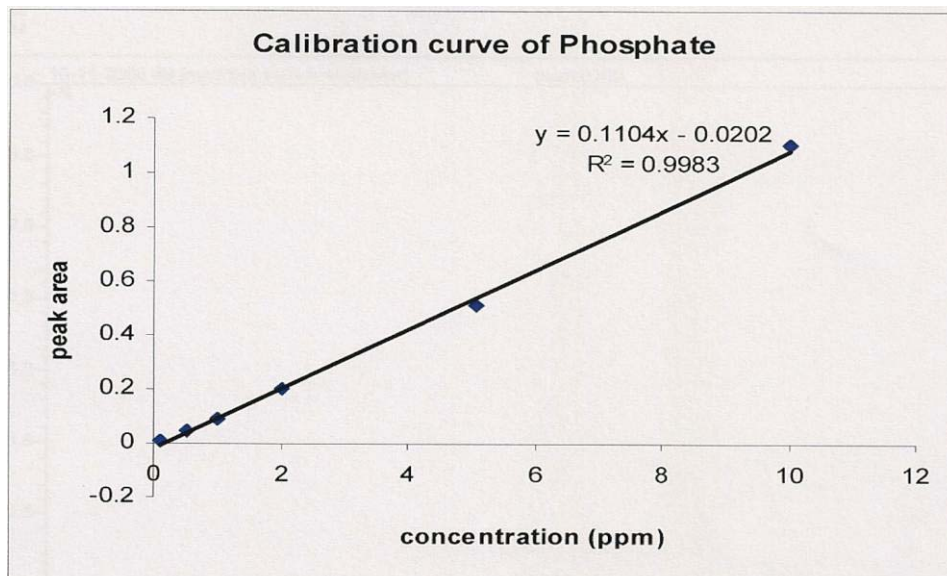
ภาพที่ 11 กราฟมาตรฐานของ Sulfate

2.6.สารละลายมาตรฐาน Nitrate เข้มข้น 0.52 1.03 2.06 3.61 และ 5.16 ppm



ภาพที่ 12 กราฟมาตรฐาน Nitrate

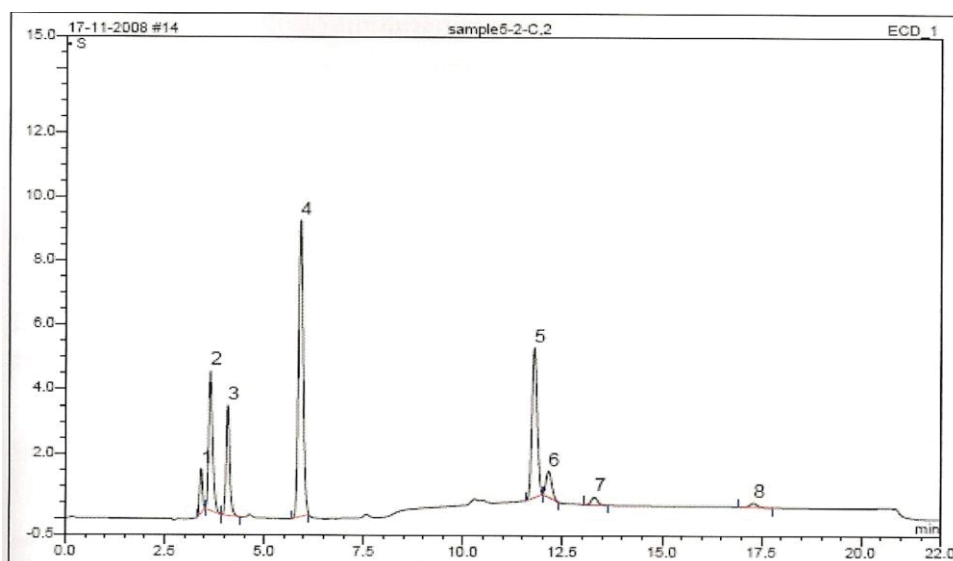
2.7 Standard Phosphate เข้มข้น 0.10 0.51 1.02 2.09 5.09 และ 10.01 ppm



ภาพที่ 13 กราฟมาตรฐาน Phosphate

3. การวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ที่มีอยู่ในตัวอย่างดินบริเวณรอบหลุมระเบิดชนิดANFO

เมื่อนำตัวอย่างน้ำที่สกัดได้จากตัวอย่างดินบริเวณกลางหลุมระเบิดมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Ion Chromatography ได้ Chromatogram โดยภาพที่ 13 แสดงตัวอย่าง ของน้ำที่สกัดจาก ตัวอย่างดิน บริเวณกลางหลุมระเบิด โดยแยก Anion ทั้ง 7 ชนิดได้ Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของแสดงใน ตารางที่ 10



ภาพที่ 14 Chromatogram ของตัวอย่างดินบริเวณกลางหลุมระเบิดโดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 10 หมายเลขพีค Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดิน บริเวณกลางหลุมระเบิด

Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.413	0.1069 \pm 0.001153
Acetate	2	3.688	0.4905 \pm 0.004537
Formate	3	4.077	0.3563 \pm 0.003143
Chloride	4	5.904	1.2110 \pm 0.001570
Sulfate	5	11.778	0.7126 \pm 0.004161
Nitrate	6	12.142	0.1345 \pm 0.006616
Phosphate	8	17.287	0.02730 \pm 0.0003610

ในการทดลองมีการหาปริมาณ Anion ทั้ง 7 ชนิด ในตัวอย่างดินบริเวณห่างจากหลุมระเบิดในทิศเหนือ ได้ ตะวันออก ตะวันตก ในระยะ 1 ,2 และ 5 เมตร โดยได้แสดง Chromatogram ที่ได้จากการทดลองดังกล่าวไว้ในภาคผนวก

จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อนำพื้นที่ใต้พีค ของ สารตัวอย่างที่ได้จากการสกัดตัวอย่างดิน มาแทนค่าลงในสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานที่ได้ของ Anion แต่ละชนิด สามารถหาค่าความเข้มข้นของ Anion แต่ละชนิดออกมาได้ ซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ความเข้มข้นของ Anion ทั้ง 7 ชนิดในตัวอย่างดินบริเวณกลางหลุมระเบิด

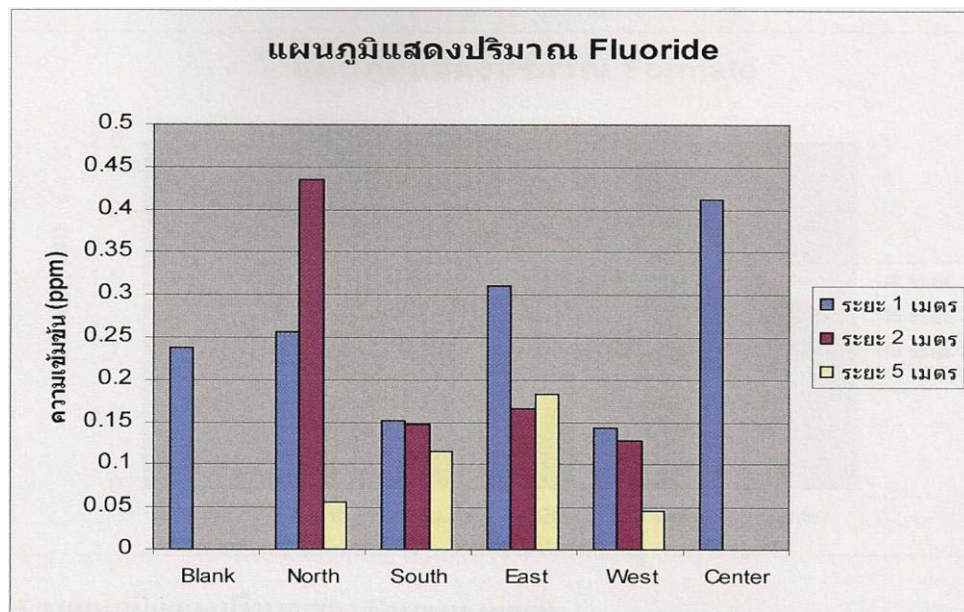
Sample	ความเข้มข้นของ Anion*(ppm)			
	Fluoride	Acetate	Formate	Chloride
Blank	0.2373±0.0013	4.3704±0.0218	3.772±0.0057	2.3070±0.0801
N1	0.2562±0.0012	3.7292±0.0411	0.3285±0.0077	2.7696±0.0093
N2	0.4346±0.0007	7.0925±0.0378	0.5790±0.0114	4.4819±0.0053
N5	0.05664±0.0006	3.8566±0.0224	0.2934±0.0041	2.8009±0.0561
S1	0.1505±0.0013	4.3360±0.0319	1.9679±0.0024	4.4719±0.0608
S2	0.1476±0.0001	3.9620±0.0297	0.3281±0.0087	4.1728±0.0150
S5	0.1147±0.0049	4.4223±0.0637	1.1183±0.0108	5.2088±0.0311
E1	0.3103±0.00229	4.5746±0.0155	0.3892±0.00713	3.8571±0.0133
E2	0.1653±0.0199	4.2945±0.2780	0.8542±0.0884	3.3487±0.1103
E5	0.1832±0.0005	9.219±0.0598	0.8368±0.0293	5.6346±0.0151
W1	0.1434±0.0005	3.1479±0.0127	0.3374±0.0030	3.1571±0.0047
W2	0.1289±0.0044	3.6162±0.0708	0.5442±0.0118	2.8536±0.0274
W5	0.04602±0.0024	3.8204±0.0651	0.7483±0.0180	2.5773±0.0145
C	0.4116±0.0049	5.9258±0.0608	1.5949±0.0127	4.5042±0.0054

ตารางที่ 11(ต่อ)

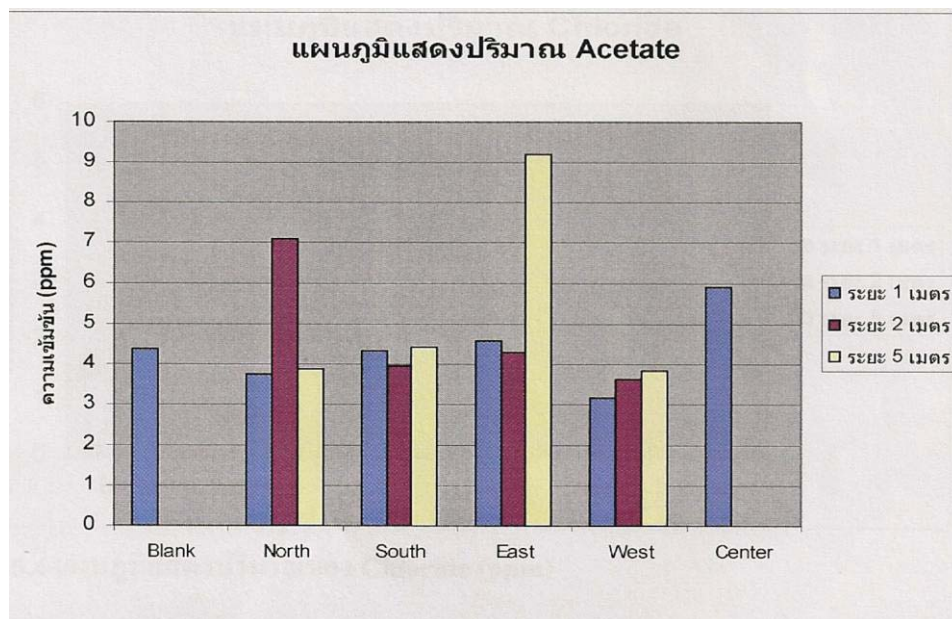
Sample	ความเข้มข้นของ Anion*(ppm)		
	Sulfate	Nitrate	Phosphate
Blank	2.1595±0.01958	1.0122±0.01997	0.3614±0.003266
N1	1.7483±0.00842	1.1921±0.005083	0.8690±0.001384
N2	2.7134±0.04210	5.0186±0.06790	3.7817±0.01371
N5	1.7673±0.001540	4.1864±0.06156	0.4713±0.00842
S1	3.5893±0.04102	2.1809±0.02659	1.7708±0.01278
S2	3.0328±0.007824	2.3244±0.005291	1.0867±0.09989
S5	2.4804±0.04397	1.5882±0.06903	1.4653±0.01815
E1	1.9485±0.005933	1.7848±0.000961	1.2397±0.00456
E2	2.3702±0.02312	1.4787±0.01538	0.6615±0.00343
E5	2.6665±0.01655	3.0183±0.01748	1.1528±0.01509
W1	1.8238±0.00127	1.7528±0.004929	0.8158±0.02882
W2	1.7191±0.02424	2.9126±0.008646	0.9284±0.00815
W5	1.9345±0.02289	2.0519±0.03117	0.7434±0.00291
C	4.0105±0.02289	1.5335±0.06356	0.4303±0.00327

จากตาราง Blank คือดินในบริเวณหลุมระเบิด ก่อนการจุดระเบิด N1, N2 และ N5 คือดินในบริเวณหลุมระเบิดในทิศทางเหนือห่างจากกลางหลุม ระยะ 1, 2 และ 5 เมตร ตามลำดับ S1, S2 และ S5 คือดินในบริเวณหลุมระเบิดในทิศใต้ห่างจากกลางหลุม ระยะ 1, 2 และ 5 เมตร ตามลำดับ E1, E2 และ E5 คือดินในบริเวณหลุมระเบิดในทิศตะวันออกห่างจากกลางหลุม ระยะ 1, 2 และ 5 เมตร ตามลำดับ W1, W2 และ W5 คือดินในบริเวณหลุมระเบิดในทิศตะวันตกห่างจากกลางหลุม ระยะ 1, 2 และ 5 เมตร ตามลำดับ และ C คือดินในบริเวณใจกลางหลุมระเบิด

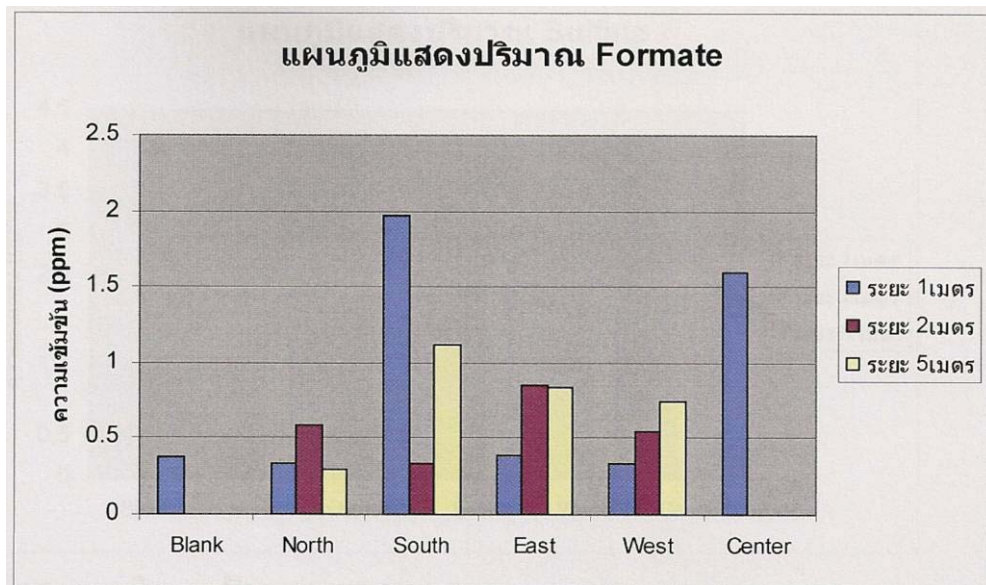
จากผลการทดลองในตารางที่ 11 นำข้อมูลมาแสดงเป็นแผนภูมิแสดงปริมาณ Anion ทั้ง 7 ชนิดในดินตัวอย่างบริเวณกลางหลุมระเบิด ทิศเหนือ ได้ ตะวันออก ตะวันตก ที่ระยะห่างจากหลุมระเบิด 1 2 และ 5 เมตร



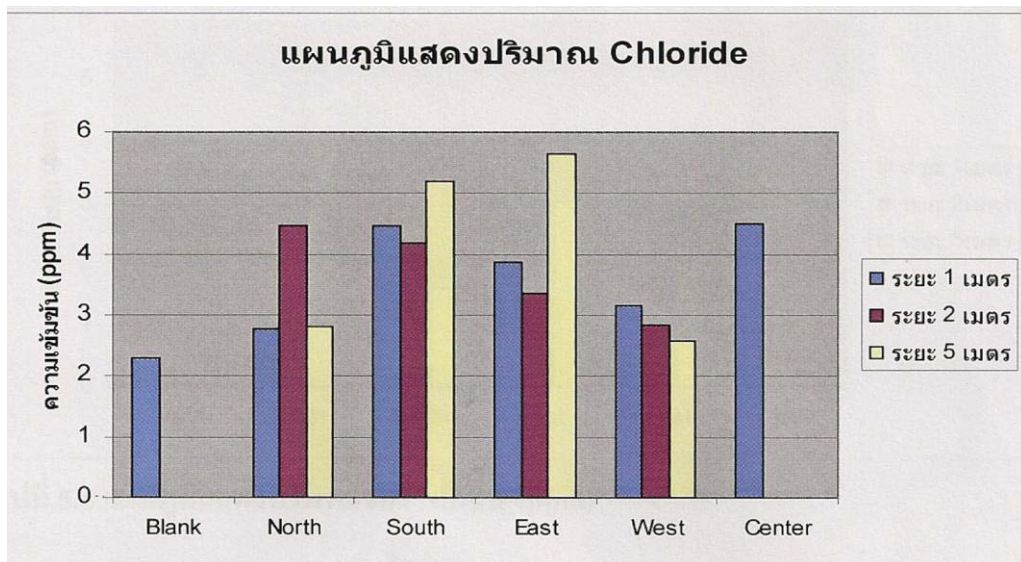
ภาพที่ 15 แผนภูมิแสดงปริมาณของ Fluoride (ppm)



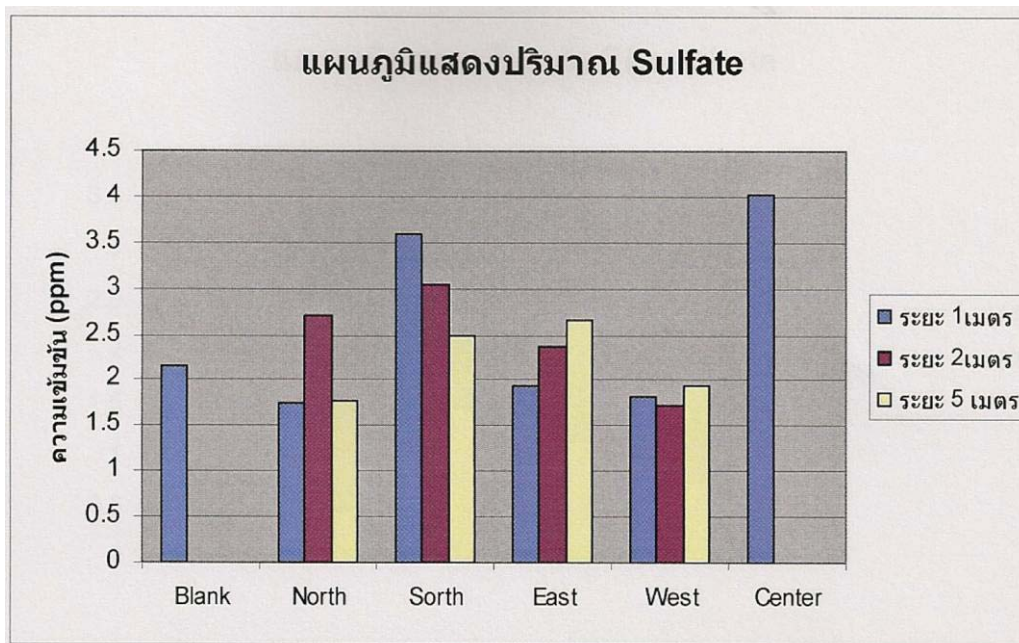
ภาพที่ 16 แผนภูมิแสดงปริมาณของ Acetate (ppm)



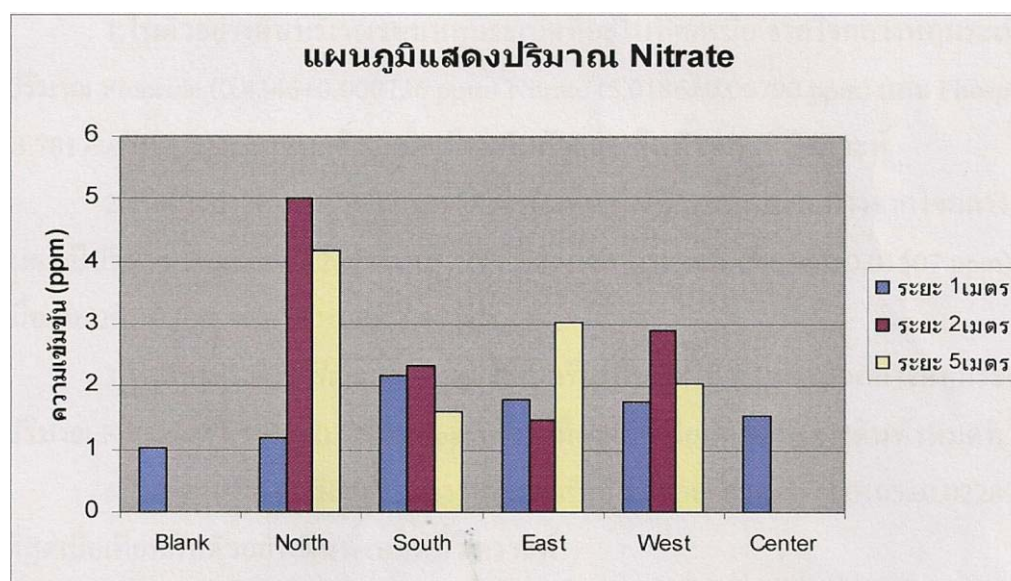
ภาพที่ 17 แผนภูมิแสดงปริมาณของ Formate (ppm)



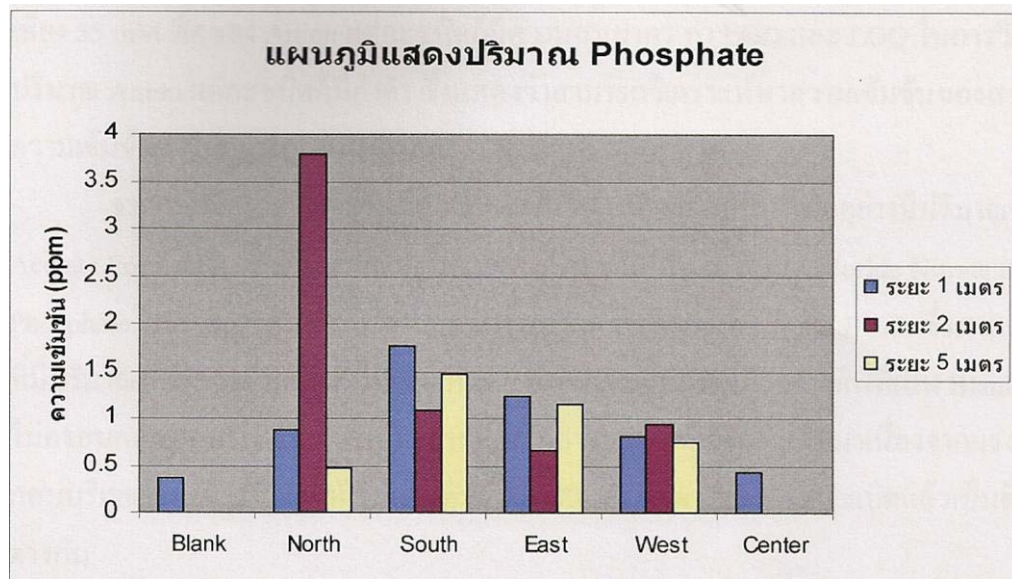
ภาพที่ 18 แผนภูมิแสดงปริมาณของ Chloride (ppm)



ภาพที่ 19 แผนภูมิแสดงปริมาณของ Sulfate (ppm)



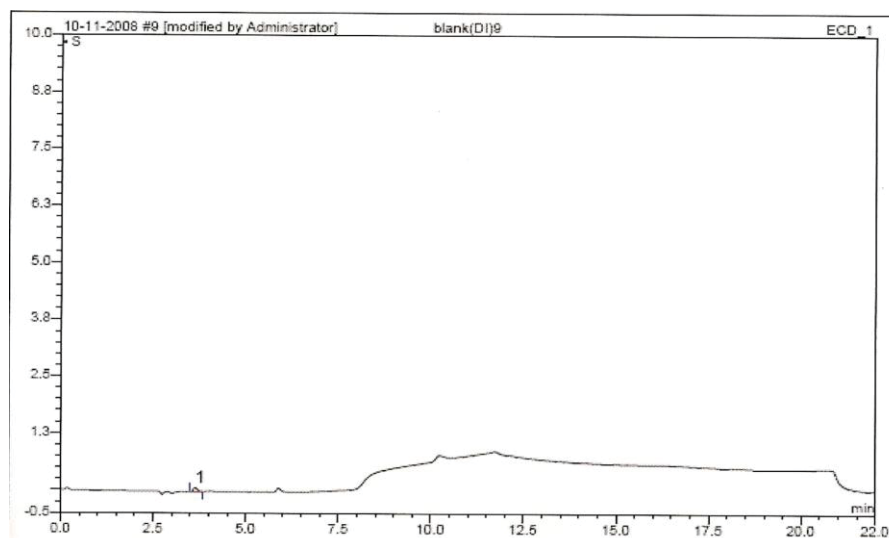
ภาพที่ 20 แผนภูมิแสดงปริมาณของ Nitrate (ppm)



ภาพที่ 21 แผนภูมิแสดงปริมาณของ Phosphate

4. การศึกษา LOD และ LOQ

การศึกษา LOD และ LOQ หาได้จากการนำสัญญาณ ของสารละลาย Blank ที่จุดสูงสุดบวก ด้วยจุดต่ำสุด แล้วหาร 2 ซึ่งจากการวิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้ง ค่าSD (ค่าความแปรปรวน) = 0.030 และค่า LOD และ LOQ ของการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion แสดงดังตารางที่ 12



ภาพที่ 22 Chromatogram ของน้ำที่ใช้เป็นสารละลาย Blank สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ในตัวอย่างดินบริเวณหลุมระเบิด

ตารางที่ 12 ค่า LODและ LOQ ของการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion โดยเทคนิค Ion Chromatrography

Anion	LOD(ppm)	LOQ(ppm)
Fluoride	0.34	1.23
Acetate	0.56	3.37
Formate	0.52	1.37
Chloride	0.67	1.39
Sulfate	0.59	1.74
Nitrate	1.11	3.12
Phosphate	1.00	2.90

5. การศึกษา Repeatability method

5.1 การหาค่า Precision ของตัวอย่างดินที่ทำการวิเคราะห์

จากการทำการวิเคราะห์ตัวอย่างดินทั้งหมดโดยทำการวิเคราะห์ 3 ครั้ง แล้วหาค่า precision ของ Fluoride, Acetate, Formate, และ Chloride ได้ผลดังตารางที่ 13

ในตาราง Blank คือดินในบริเวณหลุมระเบิด ก่อนการจู่ระเบิด N1, N2 และ N5 คือดินในบริเวณหลุมระเบิดในทิศทางเหนือห่างจากกลางหลุม ระยะ 1, 2 และ 5 เมตร ตามลำดับ S1, S2 และ S5 คือดินในบริเวณหลุมระเบิดในทิศใต้ห่างจากกลางหลุม ระยะ 1, 2 และ 5 เมตร ตามลำดับ E1, E2 และ E5 คือดินในบริเวณหลุมระเบิดในทิศตะวันออกห่างจากกลางหลุม ระยะ 1, 2 และ 5 เมตร ตามลำดับ W1, W2 และ W5 คือดินในบริเวณหลุมระเบิดในทิศตะวันตกห่างจากกลางหลุม ระยะ 1, 2 และ 5 เมตร ตามลำดับ และ C คือดินในบริเวณใจกลางหลุมระเบิด

ตารางที่ 13 % RSD ในการวิเคราะห์หา Fluoride, Acetate ,Formate, และ Chloride ในตัวอย่างดิน
บริเวณหลุมระเบิด

ตัวอย่างดิน	% RSD (n=3)			
	Fluoride	Acetate	Formate	Chloride
Blank	0.5468±0.0012	0.498±0.0217	1.5212±0.0057	3.4741± 0.0801
N1	0.4388±0.0011	1.1015±0.0410	2.3581±0.0077	0.3306± 0.0091
N2	0.1693±0.0007	0.323±0.0377	1.965±0.0113	0.1188± 0. 0053
N5	1.1456±0.0006	0.5806±0.0223	1.3998±0.0041	2.0022 ±0.0560
S1	0.8622±0.0012	0.7357±0.0319	0.140±0.0024	1.3584 ± 0.0607
S2	0.6649±0.0009	0.7492±0.0296	2.6524±0.0087	3.6050 ± 0.0150
S5	4.2714±0.0048	1.441±0.0636	0.9618±0.0107	5.9630 ±0.0310
E1	0.7113±0.0022	0.3384±0.0154	1.8318±0.0071	0.3436 ± 0.0132
E2	12.0329±0.0198	6.4744±0.2780	10.3504±0.0884	3.2944 ±0.1103
E5	2.3453±0.0042	0.6491±0.0597	3.5044±0.0293	0.2674 ±0.01506
W1	0.3420±0.0004	0.4004 ±0.1274	0.9003±0.0030	0.1503± 0.0047
W2	3.3835±0.0043	1.9567±0.0707	2.1686±0.0118	0.9616 ±0.0274
W5	5.3294±0.0024	1.7042±0.0651	2.4108±0.0180	0.5609 ±0.0144
C	1.1902±0.0048	1.0263±0.0608	0.7900±0.0127	0.1192 ±0.0053

ตารางที่ 13(ต่อ)

ตัวอย่างดิน	% RSD (n=3)		
	Sulfate	Nitrate	Phosphate
Blank	0.9066±0.0195	1.9734±0.0197	0.9036±0.0032
N1	0.4816±0.0084	0.4264±0.0050	0.1592±0.0038
N2	1.5514±0.0421	1.3530±0.0679	0.3625±0.0137
N5	0.8715±0.0154	1.4705±0.0615	1.7857±0.0084
S1	1.1428±0.0410	1.2193±0.0265	0.7216±0.0127
S2	0.2580±0.0078	0.2276±0.0052	9.1920±0.0998
S5	1.7728±0.0049	4.3466±0.0690	1.234±0.0181
E1	0.3045±0.0059	0.0538±0.0009	3.677±0.0045
E2	0.9700±0.0231	1.0400±0.0153	0.5184±0.0034
E5	0.6207±0.0165	0.5790±0.0174	1.305±0.0150
W1	0.06965±0.0027	0.2812±0.0049	3.5326±0.0288
W2	1.4102±0.0242	0.2968±0.0086	0.8780±0.0081
W5	1.4892±0.0288	1.5192±0.0311	0.3917±0.0029
C	0.5706±0.0228	4.1446±0.0635	0.7591±0.0032

จากตารางพบว่า Sulfate และ Nitrate มี%RSD น้อยกว่า 5% และ Anion อื่นๆอีก 5 ชนิด ได้แก่ Fluoride, Acetate ,Formate, Chloride และPhosphate มี % RSD น้อยกว่า 12%

5.2 ผลการหาค่า% Recovery

จากการเติมสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น ลงไปในตัวอย่างดินที่เป็น Blank และ ตัวอย่างดินหลังจุดระเบิดในการวิเคราะห์ Anion ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 14 และ 15

ตารางที่ 14 การหาค่า % Recovery ของ Blank (ดินก่อนการระเบิด) ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้ง 7 ชนิด

สารละลายมาตรฐานที่เติม	ความเข้มข้นที่เติม (ppm)	% Recovery
Fluoride	3.99	85.40±4.24
Acetate	4.83	104.90±8.25
Formate	2.26	100.74±16.90
Chloride	6.22	84.98±0.078
Sulfate	3.25	87.35±8.69
Nitrate	3.94	92.14±1.31
Phosphate	5.01	91.83±1.19

ตารางที่ 15 การหาค่า % Recovery ของตัวอย่างดินบริเวณหลุมระเบิด(หลังการระเบิด) ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion

สารละลายมาตรฐานที่เติม	ความเข้มข้นที่เติม (ppm)	% Recovery
Fluoride	3.99	87.76±2.84
Acetate	4.84	86.30±1.34
Formate	3.94	82.325±2.38
Chloride	5.20	99.14±12.42
Sulfate	3.38	92.355±6.99
Nitrate	3.88	97.355±3.80
Phosphate	5.93	83.75±1.81

จากตารางที่ 14 และ 15 พบว่า % Recovery อยู่ในช่วง 83.75 – 104 % ซึ่งถือว่าการหาค่าที่ได้ อยู่ในช่วงที่ดีตามมาตรฐาน AOACที่กำหนดว่าความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์ในระดับ ppm จะมีค่า % Recovery ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 75 – 120 % จึงกล่าวได้ว่าวิธีการหาปริมาณ Anion ในดินบริเวณที่เกิดระเบิดด้วยวิธีนี้มี Accuracy สูง

บทที่ 5

บทสรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

1. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการเก็บตัวอย่างดินรอบบริเวณที่มีการจุดระเบิดของ ANFO ทั้ง 4 ทิศทาง ในระยะ 1,2 และ 5 เมตรจากกลางหลุมระเบิด และวิเคราะห์ปริมาณ ด้วยเทคนิค ion chromatography โดยนำดินมาวิเคราะห์หา fluoride, acetate, formate, sulfate, chloride, nitrate และ phosphate จากผลการทดลองพบว่า กราฟมาตรฐานของสารละลาย Anion แต่ละชนิด มีความเป็นเส้นตรง ในช่วงความเข้มข้น 0.11-15 ppm มีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรง(R²)อยู่ในช่วง 0.9850-0.9999 เมื่อนำตัวอย่างดินรอบหลุมระเบิด มาวิเคราะห์ พบว่าสามารถตรวจพบ Anion ทั้ง 7 ชนิด ในเวลาเพียง 22 min และใช้ eluent ในความเข้มข้นเพียง 35 mM มี % Recovery อยู่ในช่วง 83.75 – 104 % ซึ่งถือว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงที่ดีตามมาตรฐาน AOAC ดังนั้นเทคนิค ion chromatography ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก และเป็นวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ได้

2. ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion พบว่าในตัวอย่างดินบางอย่างมีปริมาณของ Fluoride Acetate Formate และ Sulfate น้อยกว่าตัวอย่างเดิมที่เป็น Blank ส่วน Chloride Nitrate และ Phosphate ในตัวอย่างดินทั้งหมดจะมีปริมาณมากกว่าดินที่เป็น Blank อาจมาจากการเก็บตัวอย่างดินที่เป็น Blank ไม่ครอบคลุมทุกบริเวณที่ทำการวิเคราะห์หรืออาจมาจากดินที่กระเด็นมาเนื่องจากแรงระเบิดได้มากลบบริเวณผิวหน้าดิน ทำให้ตัวอย่างดินที่เป็น Blank กับตัวอย่างดินที่ระเบิดแล้วเป็นดินจากบริเวณต่างกัน

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กูรู. Ammonium Nitrate [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก
<http://guru.google.co.th/guru/thread?tid=of132bea07d52e>
- ไพรัตน์ เจริญกิจ. วัตถุระเบิด [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก
<http://phairatch.bravepages.com/b11.doc>
- นภาพร กัวยระกุล. “การศึกษาการตรวจหาสารระเบิดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายและไม้อัดด้วยเครื่องไอออน
 สแกน.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย
 มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2552.
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์. ระเบิดอะตอม [ออนไลน์].
 เข้าถึงเมื่อ 14 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก
<http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/atomic.../index.htm>
- วิษชุดา แสงประดับ. การพัฒนาเทคนิค GC-MS ในการตรวจวิเคราะห์สารประกอบวัตถุระเบิด
 [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก [http://thapra.lib.su.ac.th/thesis/
 listprogram_th.asp?program](http://thapra.lib.su.ac.th/thesis/listprogram_th.asp?program)
- วิริยะ มีศิริ. วัตถุระเบิด [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2555. เข้าถึงได้ จาก
<http://arm.rtaf.mi.th/ข่าวบทความ/artknow/pdf/>
- เรามาทำความรู้จักระเบิดกันเถอะ [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 24 ธันวาคม 2554. เข้าถึงได้ จาก
<http://weopenmind.net/board>
- วัตถุระเบิดสำหรับงานเหมืองแร่ [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 10 มกราคม 2555. เข้าถึงได้จาก
<http://mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/.../explosive.htm>

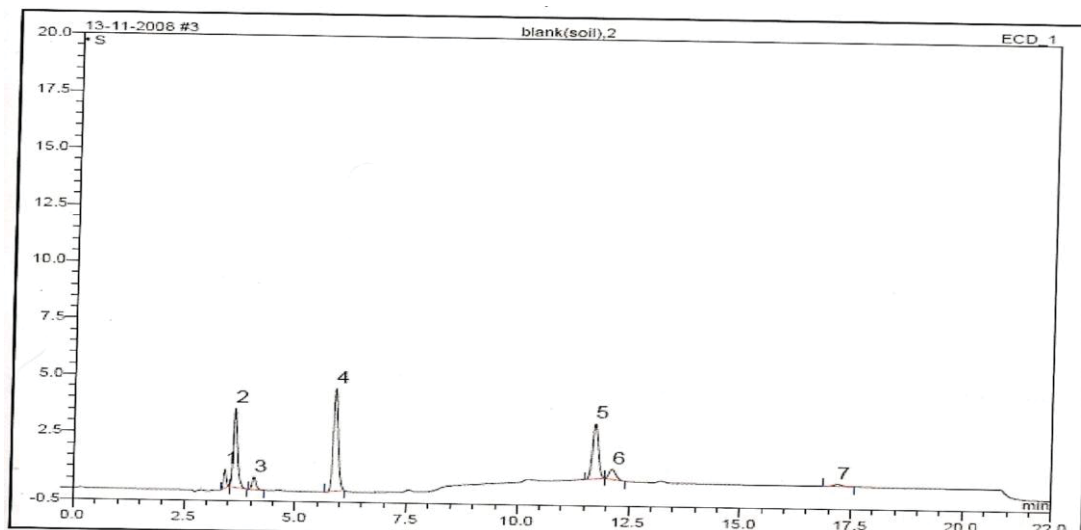
ภาษาต่างประเทศ

- D.K. Kuila and others. “Composition profile of low explosives from cases in India.” Forensic
 Sci.Int. 159 (2005):127-131.
- Cameron Johns and others. “Identification of homemade inorganic explosive by ion
 chromatographic analysis of post-blast residues.” J.of Chromatography A, 1182
 (2008):205-214.

Hong – Bo Meng and others. “Simultaneous determination of inorganic and cations in explosive residues by ion chromatography.” Talanta 76 (2008):241 – 245.

ภาคผนวก

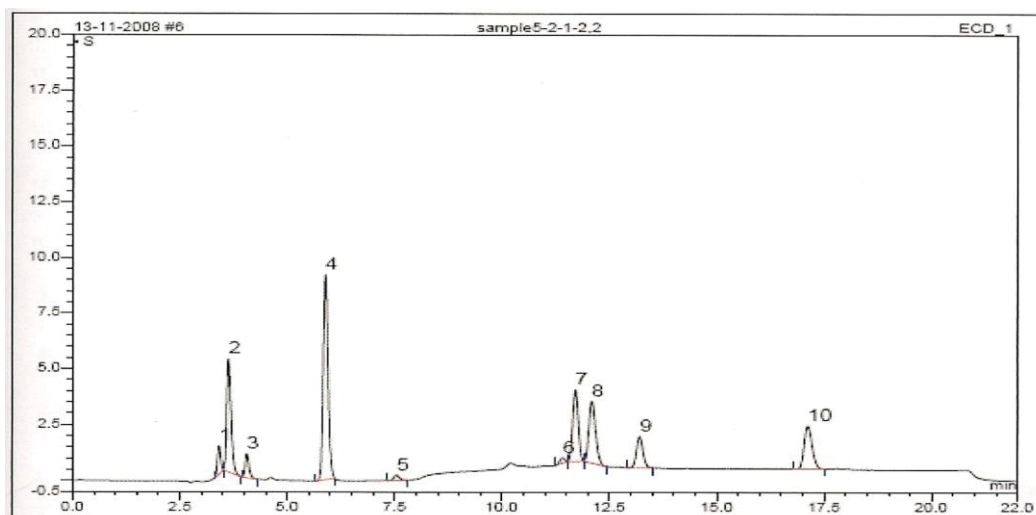
1. Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ ได้ ตะวันออก ตะวันตก ที่ระยะต่างๆ



ภาพที่ 23 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ ระยะ 1 เมตร โดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 16 หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พีกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ ระยะ 1 เมตร

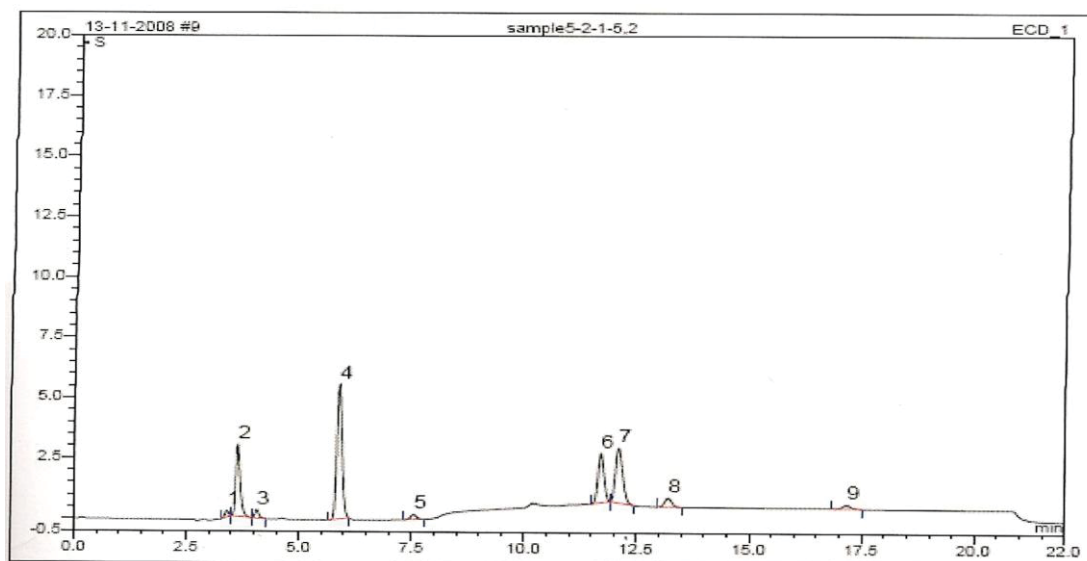
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.404	0.07030 \pm 0.0002650
Acetate	2	3.629	0.3266 \pm 0.003064
Formate	3	4.061	0.04340 \pm 0.001914
Chloride	4	5.889	0.7040 \pm 0.002676
Sulfate	5	11.724	0.3013 \pm 0.001531
Nitrate	6	12.142	0.0990 \pm 0.0005290
Phosphate	8	17.194	0.0757 \pm 0.0001530



ภาพที่ 24 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิสเหนือ ระยะ2เมตร โดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 17 หมายเลขพิก Retention Time และพื้นที่ใต้พิกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินใน ทิสเหนือระยะ2เมตร

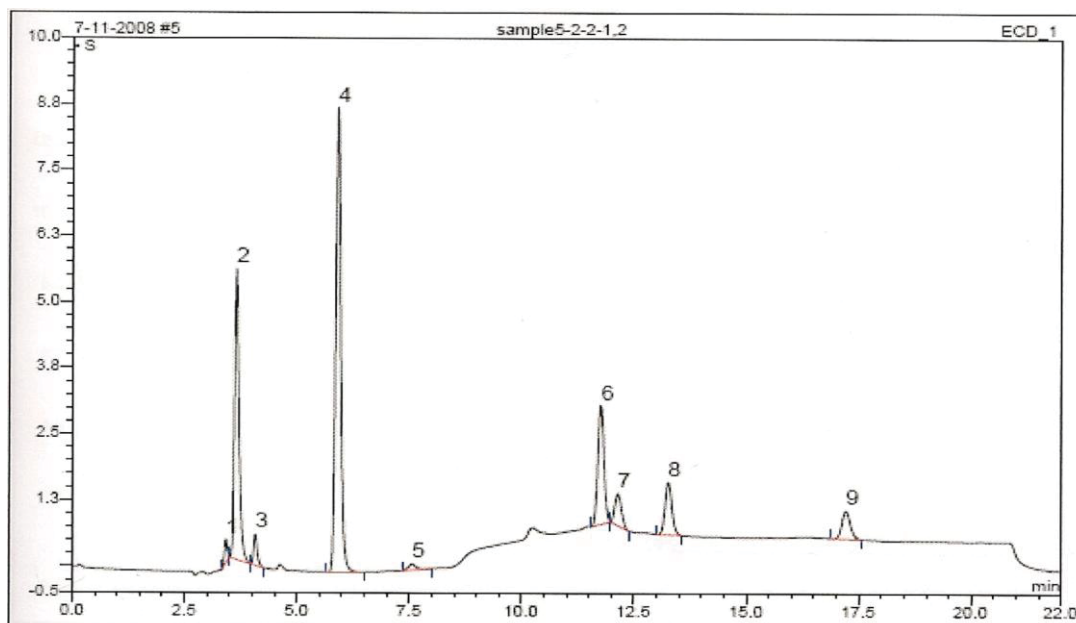
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.413	0.1123 \pm 0.0001730
Acetate	2	3.631	0.5775 \pm 0.002816
Formate	3	4.066	0.1053 \pm 0.002811
Chloride	4	5.883	1.2046 \pm 0.001557
Sulfate	7	11.713	0.4768 \pm 0.007653
Nitrate	8	12.087	0.4973 \pm 0.007068
Phosphate	10	17.112	0.3973 \pm 0.001513



ภาพที่ 25 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ ระยะ 5 เมตร โดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 18 หมายเลขพิก Retention Time และพื้นที่ใต้พิกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิศเหนือระยะ 5 เมตร

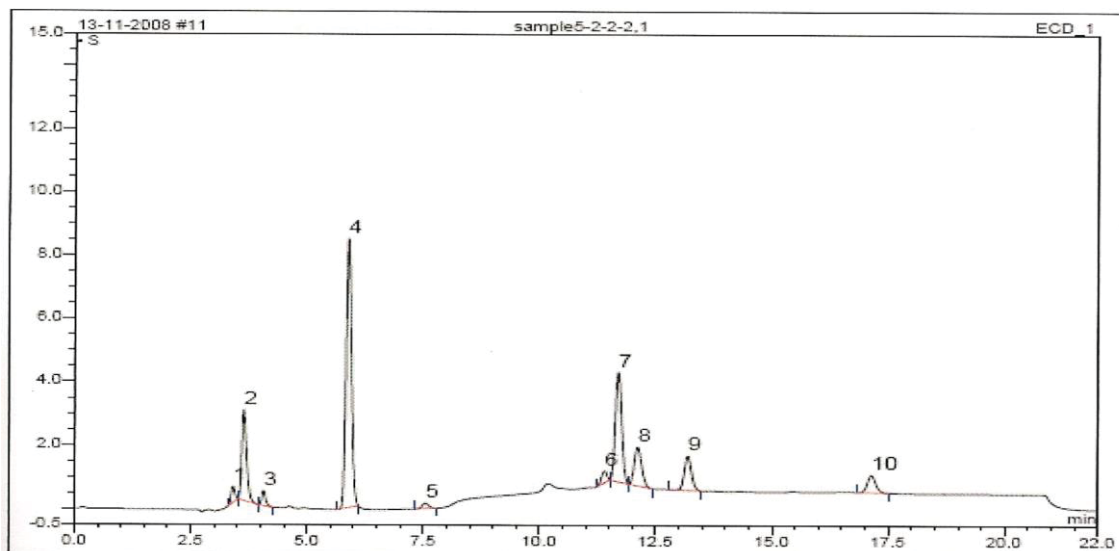
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.401	0.02330 \pm 0.0001530
Acetate	2	3.629	0.3361 \pm 0.001670
Formate	3	4.602	0.0347 \pm 0.001015
Chloride	4	5.885	0.7226 \pm 0.01639
Sulfate	6	11.702	0.3048 \pm 0.002800
Nitrate	7	12.097	0.4107 \pm 0.006409
Phosphate	9	17.162	0.0318 \pm 0.0009290



ภาพที่ 26 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิสได้ ระยะ 1 เมตร โดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 19 หมายเลขพีค Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินใน ทิสได้ระยะ 1 เมตร

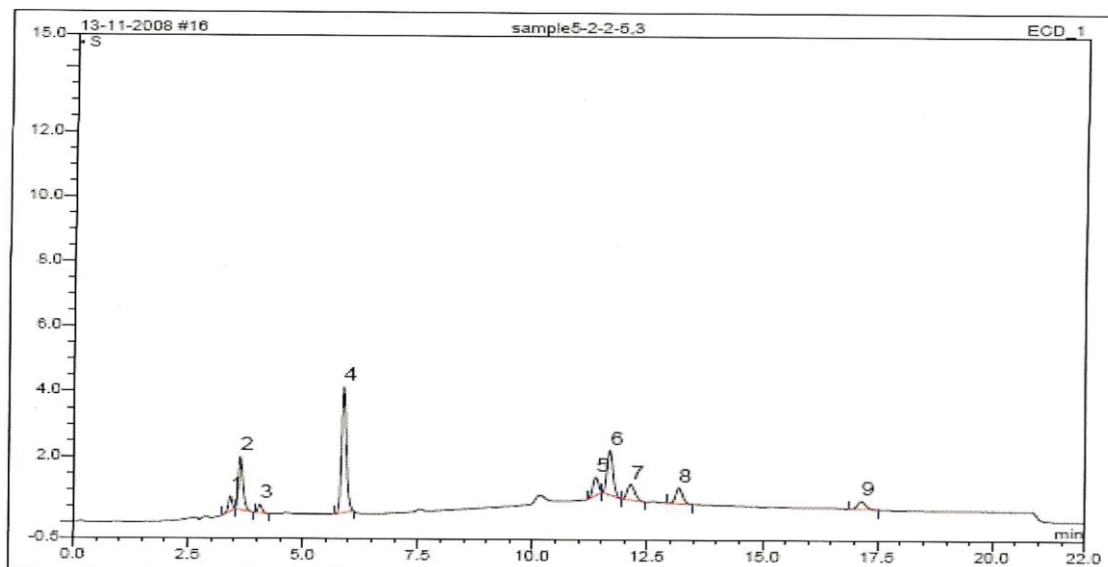
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.401	0.04540 \pm 0.0003060
Acetate	2	3.629	0.3718 \pm 0.002380
Formate	3	4.602	0.4485 \pm 0.0006030
Chloride	4	5.885	1.2016 \pm 0.01776
Sulfate	6	11.702	0.6360 \pm 0.007457
Nitrate	7	12.097	0.2020 \pm 0.002768
Phosphate	9	17.162	0.1753 \pm 0.001411



รูปที่ 27 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิสไต ระยะ 2 เมตรโดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 20 หมายเลขพิก Retention Time และพื้นที่ใต้พิกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่าง ดินในทิสไต ระยะ2เมตร

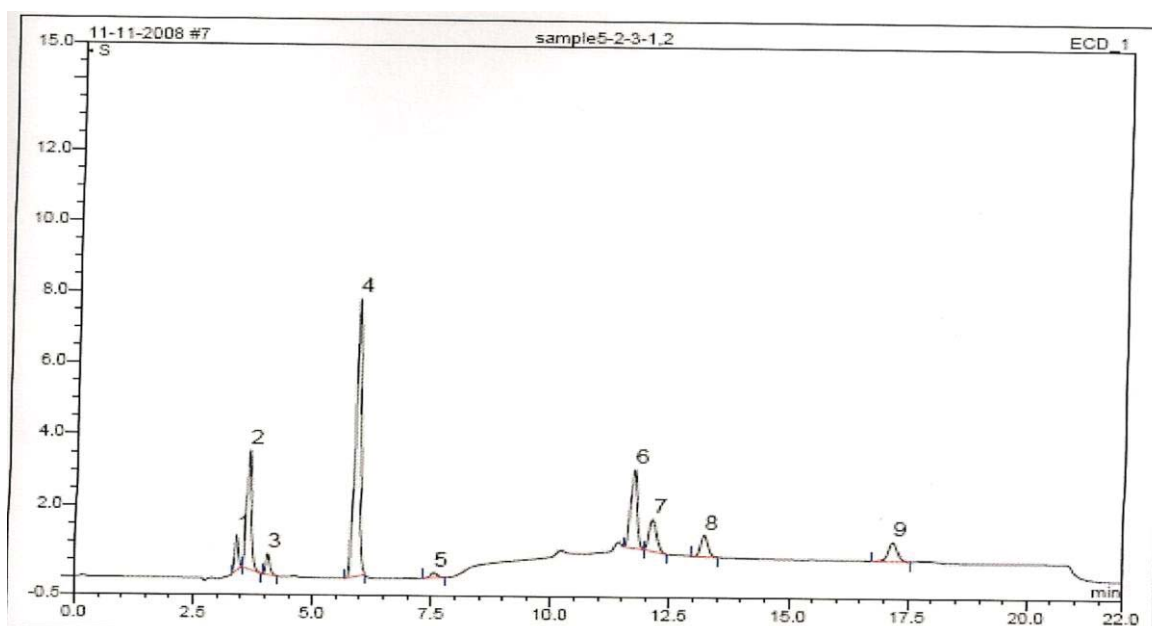
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.410	0.04470 \pm 0.0002310
Acetate	2	3.630	0.3440 \pm 0.002214
Formate	3	4.063	0.0433 \pm 0.002150
Chloride	4	5.883	1.1142 \pm 0.004397
Sulfate	6	11.692	0.5349 \pm 0.001422
Nitrate	7	12.107	0.2169 \pm 0.0005510
Phosphate	9	17.136	0.09980 \pm 0.01103



ภาพที่ 28 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทึศใต้ ระยะ 5 เมตร โดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 21 หมายเลขพืค Retention Time และพื้นที่ใต้พืคของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินใน ทึศใต้ระยะ5เมตร

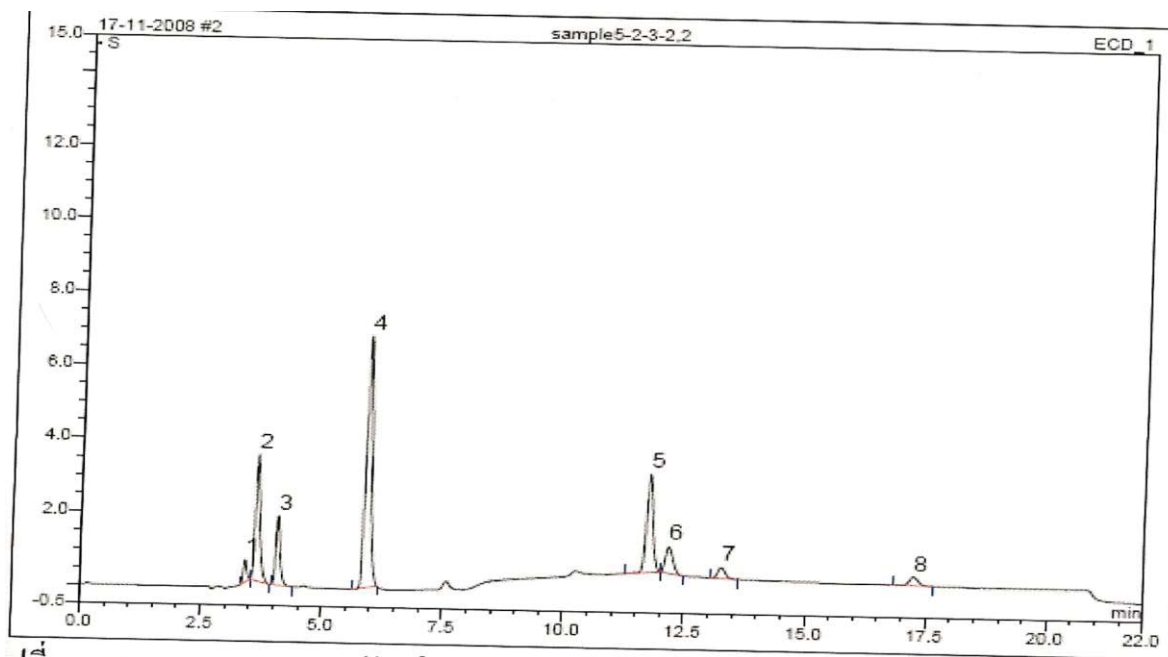
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.420	0.03700 \pm 0.001153
Acetate	2	3.638	0.3783 \pm 0.004751
Formate	3	4.080	0.2385 \pm 0.002658
Chloride	4	5.911	1.4170 \pm 0.009079
Sulfate	6	11.811	0.4344 \pm 0.007994
Nitrate	7	12.146	0.1402 \pm 0.007186
Phosphate	9	17.322	0.1415 \pm 0.001665



ภาพที่ 29 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันออก ระยะ 1 เมตรโดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 22 หมายเลขพิก Retention Time และพื้นที่ใต้พิกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินใน ทิศตะวันออกระยะ 1 เมตร

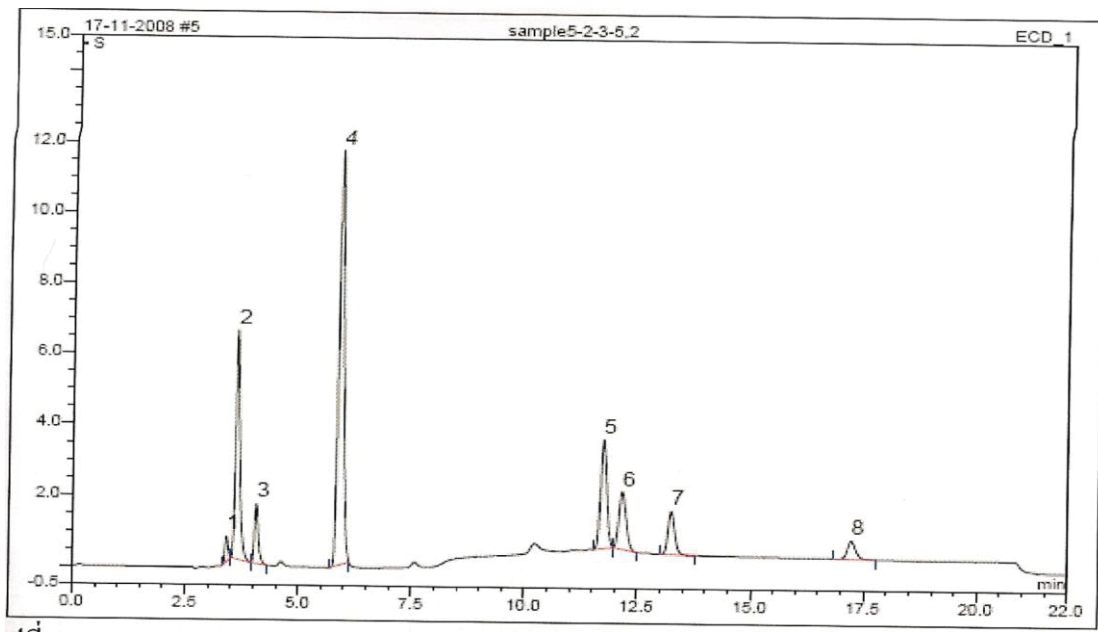
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.406	0.08320 \pm 0.0005200
Acetate	2	3.629	0.3896 \pm 0.001155
Formate	3	4.062	0.0584 \pm 0.001762
Chloride	4	5.888	1.0220 \pm 0.003873
Sulfate	6	11.717	0.3377 \pm 0.001079
Nitrate	7	12.132	0.1607 \pm 0.0001000
Phosphate	9	17.180	0.1167 \pm 0.0005030



ภาพที่ 30 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศออก ระยะ 2 เมตรโดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 23 หมายเลขพีค Retention Time และพื้นที่ใต้พีคของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิศตะวันออกระยะ 2 เมตร

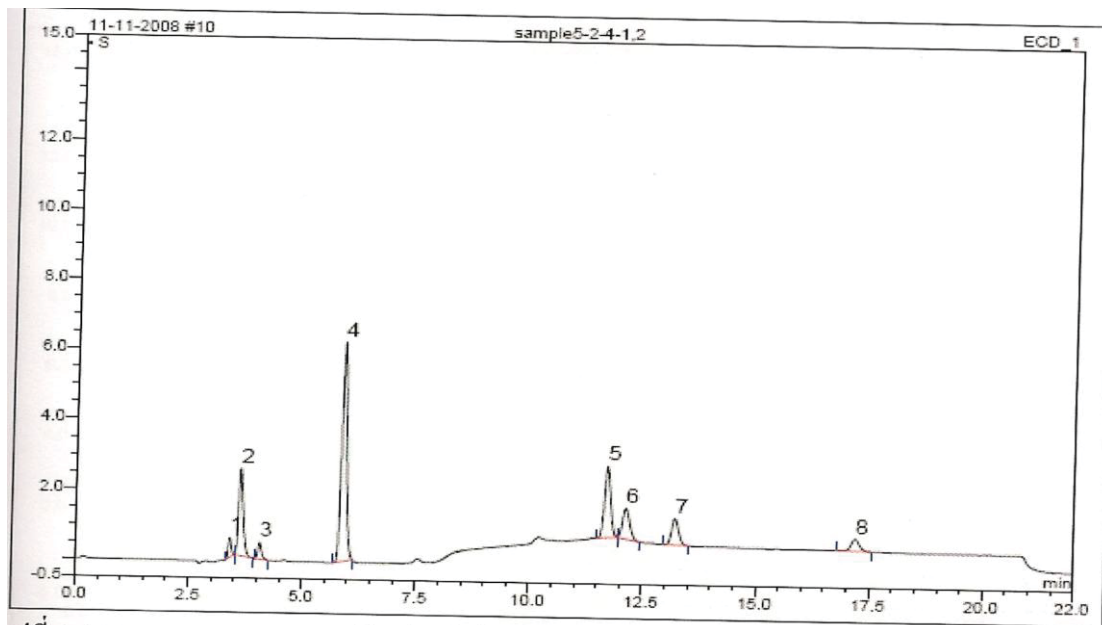
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.409	0.04890 \pm 0.004681
Acetate	2	3.632	0.3688 \pm 0.02074
Formate	3	4.072	0.1733 \pm 0.02185
Chloride	4	5.906	0.8733 \pm 0.03225
Sulfate	5	11.753	0.4144 \pm 0.004204
Nitrate	6	12.174	0.1288 \pm 0.001601
Phosphate	8	17.247	0.0528 \pm 0.0003790



ภาพที่ 31 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันออกระยะ 5 เมตร โดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 24 หมายเลขพิก Retention Time และพื้นที่ใต้พิกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิศตะวันออกระยะ 5 เมตร

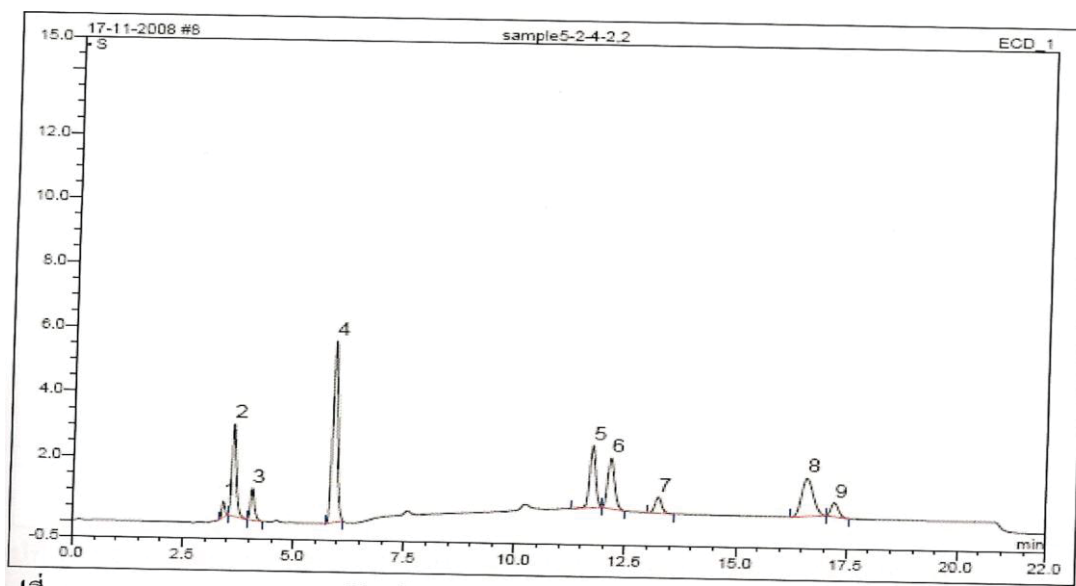
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.412	0.05310 \pm 0.001012
Acetate	2	3.636	0.7355 \pm 0.004460
Formate	3	4.072	0.1690 \pm 0.007246
Chloride	4	5.906	1.5415 \pm 0.004403
Sulfate	5	11.747	0.4683 \pm 0.001819
Nitrate	6	12.160	0.2891 \pm 0.001819
Phosphate	8	17.230	0.1071 \pm 0.001665



ภาพที่ 32 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก ระยะ 1 เมตร โดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 25 หมายเลขพิก Retention Time และพื้นที่ใต้พิกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก ระยะ 1 เมตร

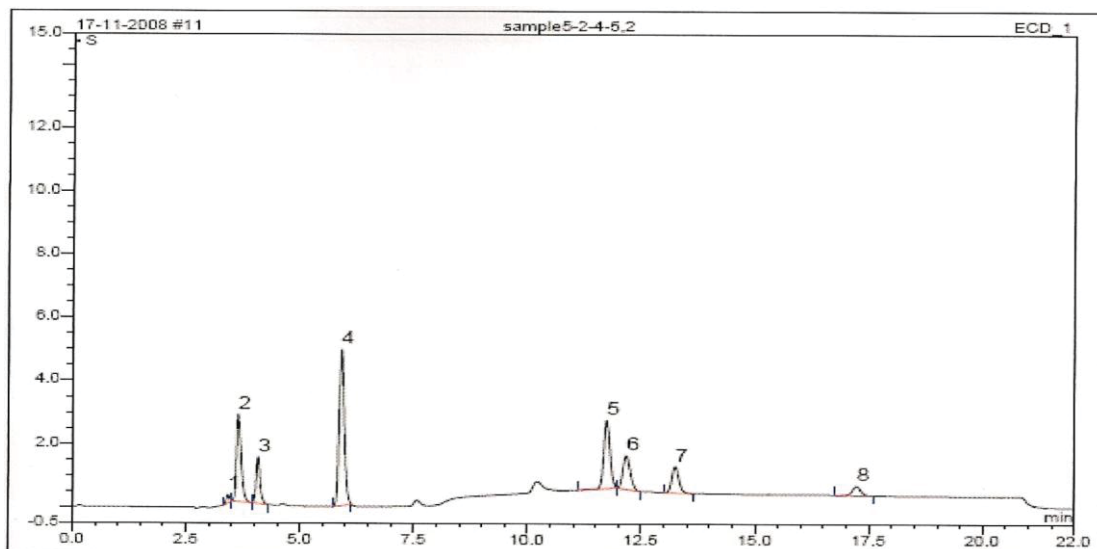
Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.406	0.04380 \pm 0.0001150
Acetate	2	3.627	0.2832 \pm 0.0009500
Formate	3	4.062	0.0456 \pm 0.0007510
Chloride	4	5.888	0.8173 \pm 0.001387
Sulfate	5	11.720	0.3151 \pm 0.0002310
Nitrate	6	12.130	0.1574 \pm 0.0005130
Phosphate	8	17.188	0.06990 \pm 0.003182



ภาพที่ 33 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตกระยะ 2 เมตรโดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 26 หมายเลขพิกัด Retention Time และพื้นที่ใต้พิกัดของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินใน ตะวันตกระยะ 1 เมตร

Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.410	0.04030 \pm 0.001026
Acetate	2	3.629	0.3181 \pm 0.005279
Formate	3	4.067	0.09670 \pm 0.002916
Chloride	4	5.901	0.7286 \pm 0.008021
Sulfate	5	11.747	0.2960 \pm 0.004407
Nitrate	6	12.159	0.2781 \pm 0.0009000
Phosphate	8	17.227	0.0823 \pm 0.0009000



ภาพที่ 34 Chromatogram ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก ระยะ 5 เมตร โดยวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ทั้งหมด 7 ชนิด

ตารางที่ 27 หมายเลขพิก Retention Time และพื้นที่ใต้พิกของ Anion ทั้ง 7 ชนิด ของตัวอย่างดินใน ตะวันตกระยะ5เมตร

Anion	Peak No.	Retention Time(min)*	Area(μ S.min)
Fluoride	1	3.412	0.02080 \pm 0.0005770
Acetate	2	3.632	0.3334 \pm 0.0004857
Formate	3	4.07	0.1471 \pm 0.004458
Chloride	4	5.902	0.6478 \pm 0.004225
Sulfate	5	11.74	0.3352 \pm 0.005237
Nitrate	6	12.163	0.1885 \pm 0.003245
Phosphate	8	17.239	0.06190 \pm 0.0003210

2.ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ Anion ในตัวอย่างดินบริเวณรอบๆ หลุมระเบิด ANFO

ตารางที่ 28 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$) ของตัวอย่างดินใจกลางหลุม

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)
Fluoride	3.413	0.1056	3.410	0.1073	3.417	0.1078
Acetate	3.637	0.4938	3.637	0.4923	3.640	0.4853
Formate	4.073	0.3585	4.077	0.3577	4.080	0.3527
Chloride	5.903	1.2093	5.903	1.2116	5.907	1.2123
Sulfate	11.767	0.7172	11.783	0.7115	11.783	0.7091
Nitrate	12.147	0.1420	12.143	0.1322	12.137	0.1294
Phosphate	17.273	0.0270	17.293	0.0277	17.293	0.0272

ตารางที่ 29 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$) ของตัวอย่างดินที่เป็น Blank

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)
Fluoride	3.403	0.0658	3.410	0.0662	3.410	0.0656
Acetate	3.623	0.3726	3.630	0.3757	3.630	0.3750
For mate	4.060	0.0538	4.067	0.0565	4.067	0.0559
Chloride	5.880	0.5418	5.890	0.5815	5.890	0.5832
Sulfate	11.717	0.3795	11.733	0.3724	11.720	0.3764
Nitrate	12.133	0.0818	12.120	0.0779	12.127	0.0811
Phosphate	17.197	0.0194	17.190	0.0201	17.193	0.0196

ตารางที่ 30 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ

ระยะ 1 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)
Fluoride	3.410	0.0700	3.400	0.0704	3.403	0.0705
Acetate	3.633	0.3244	3.627	0.3301	3.627	0.3253
Formate	4.067	0.0428	4.057	0.0455	4.060	0.0418
Chloride	5.893	0.7012	5.887	0.7045	5.887	0.7065
Sulfate	11.730	0.2996	11.723	0.3019	11.720	0.3025
Nitrate	12.143	0.0984	12.140	0.0992	12.143	0.0994
Phosphate	17.200	0.0759	17.193	0.0756	17.190	0.0757

ตารางที่ 31 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิศเหนือ

ระยะ 2 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)
Fluoride	3.420	0.1125	3.410	0.1122	3.410	0.1122
Acetate	3.640	0.5743	3.627	0.5796	3.627	0.5786
For mate	4.073	0.1034	4.063	0.1085	4.060	0.1039
Chloride	5.883	1.2044	5.883	1.2062	5.883	1.2031
Sulfate	11.707	0.4680	11.707	0.4805	11.707	0.4819
Nitrate	12.087	0.4893	12.087	0.5001	12.087	0.5026
Phosphate	17.113	0.3956	17.113	0.3978	17.110	0.3985

ตารางที่ 32 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิสเหนือ
ระยะ 5 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
Fluoride	3.400	0.0232	3.403	0.025	3.400	0.0233
Acetate	3.630	0.3346	3.630	0.3379	3.627	0.3358
For mate	4.063	0.0358	4.063	0.0345	4.060	0.0338
Chloride	5.887	0.6944	5.887	0.7245	5.883	0.7207
Sulfate	11.703	0.3016	11.703	0.3068	11.700	0.3060
Nitrate	12.097	0.4034	12.097	0.4154	12.097	0.4133
Phosphate	17.163	0.0308	17.167	0.0326	17.157	0.0321

ตารางที่ 33 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิสใต้
ระยะ 1 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret. Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
Fluoride	3.407	0.0451	3.410	0.0455	3.413	0.0457
Acetate	3.627	0.3693	3.627	0.3723	3.633	0.3740
Formate	4.067	0.4479	4.067	0.4484	4.070	0.4491
Chloride	5.887	1.1824	5.887	1.2051	5.890	1.2174
Sulfate	11.710	0.6281	11.707	0.6371	11.710	0.6429
Nitrate	12.110	0.1990	12.107	0.2023	12.110	0.2045
Phosphate	17.163	0.1768	17.160	0.1740	17.160	0.1751

ตารางที่ 34 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิสได้

ระยะ 2 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
Fluoride	3.413	0.0446	3.413	0.0450	3.403	0.0446
Acetate	3.633	0.3430	3.633	0.3424	3.623	0.3465
Formate	4.067	0.0454	4.067	0.0433	4.057	0.0411
Chloride	5.887	1.1106	5.887	1.1129	5.877	1.1191
Sulfate	11.693	0.5339	11.693	0.5342	11.69	0.5396
Nitrate	12.110	0.2174	12.107	0.2163	12.103	0.2169
Phosphate	17.137	0.1125	17.137	0.0934	17.133	0.0934

ตารางที่ 35 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิสได้

ระยะ 5 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
Fluoride	3.420	0.0357	3.420	0.0379	3.420	0.0374
Acetate	3.637	0.3736	3.637	0.3831	3.640	0.3782
Formate	4.080	0.2371	4.077	0.2416	4.083	0.2369
Chloride	5.910	1.4105	5.910	1.4274	5.913	1.4132
Sulfate	11.803	0.4419	11.813	0.4354	11.817	0.4260
Nitrate	12.147	0.1478	12.143	0.1394	12.143	0.1335
Phosphate	17.310	0.1435	17.327	0.1417	17.330	0.1395

ตารางที่ 36 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิส
 ตะวันออก ระยะ 1 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret. Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret. Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret. Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)
Fluoride	3.410	0.0826	3.403	0.0835	3.403	0.0835
Acetate	3.633	0.3890	3.627	0.3910	3.627	0.3890
Formate	4.067	0.0604	4.060	0.0574	4.060	0.0573
Chloride	5.890	1.0177	5.887	1.0253	5.887	1.0228
Sulfate	11.720	0.3365	11.717	0.3385	11.713	0.3382
Nitrate	12.137	0.1608	12.133	0.1606	12.127	0.1607
Phosphate	17.183	0.1162	17.183	0.1172	17.173	0.1166

ตารางที่ 37 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิส
 ตะวันออก ระยะ 2 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret. Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret. Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)	Ret. Time (min)	Area ($\mu\text{S} \cdot \text{min}$)
Fluoride	3.407	0.0435	3.143	0.0514	3.407	0.0518
Acetate	3.630	0.3461	3.637	0.3868	3.630	0.3734
Formate	4.070	0.1485	4.077	0.1898	4.070	0.1815
Chloride	5.903	0.8361	5.910	0.8923	5.903	0.8916
Sulfate	11.747	0.4097	11.747	0.4157	11.747	0.4178
Nitrate	12.173	0.1289	12.177	0.1272	12.173	0.1304
Phosphate	17.253	0.0531	17.247	0.0530	17.240	0.0524

ตารางที่ 38 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิศตะวันออก
ระยะ 5 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
Fluoride	3.413	0.0543	3.407	0.0525	3.417	0.0526
Acetate	3.637	0.7406	3.63	0.7322	3.640	0.7338
Formate	4.073	0.1771	4.067	0.1666	4.077	0.1632
Chloride	5.907	1.5370	5.900	1.5417	5.910	1.5458
Sulfate	11.753	0.4648	11.740	0.4698	11.747	0.4702
Nitrate	12.163	0.2870	12.157	0.2901	12.160	0.2902
Phosphate	17.237	0.1052	17.227	0.1076	17.227	0.1084

ตารางที่ 39 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก
ระยะ 1 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
Fluoride	3.407	0.0437	3.403	0.0437	3.407	0.0439
Acetate	3.627	0.2842	3.627	0.2832	3.627	0.2823
Formate	4.063	0.0463	4.060	0.0456	4.063	0.0448
Chloride	5.890	0.8158	5.887	0.8177	5.887	0.8185
Sulfate	11.270	0.3152	11.717	0.3152	11.723	0.3148
Nitrate	12.133	0.1578	12.127	0.1575	12.130	0.1568
Phosphate	17.187	0.0662	17.190	0.0715	17.187	0.0719

ตารางที่ 40 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก
ระยะ 2 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
Fluoride	3.413	0.0406	3.407	0.0412	3.410	0.0392
Acetate	3.630	0.3188	3.627	0.3231	3.630	0.3126
Formate	4.070	0.0983	4.063	0.0984	4.067	0.0933
Chloride	5.903	0.7217	5.900	0.7374	5.900	0.7267
Sulfate	11.757	0.2910	11.743	0.2979	11.74	0.2992
Nitrate	12.163	0.2781	12.157	0.2790	12.157	0.2772
Phosphate	17.240	0.0814	17.223	0.0823	17.217	0.0832

ตารางที่ 41 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของตัวอย่างดินในทิศตะวันตก
ระยะ 5 เมตร

Anion	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3	
	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)	Ret.Time (min)	Area ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
Fluoride	3.413	0.0215	3.413	0.0205	3.410	0.0205
Acetate	3.633	0.3389	3.633	0.3316	3.630	0.3297
Formate	4.070	0.1517	4.073	0.1468	4.067	0.1428
Chloride	5.903	0.6527	5.903	0.6457	5.900	0.6451
Sulfate	11.747	0.3363	11.740	0.3398	11.757	0.3295
Nitrate	12.170	0.1894	12.167	0.1912	12.153	0.1849
Phosphate	17.237	0.0620	17.223	0.0615	17.257	0.0621

3. ตารางแสดงผลการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) สำหรับหาปริมาณ Anion ใน

ตัวอย่างดินบริเวณรอบๆ หลุมระเบิด ANFO

ตารางที่ 42 พื้นที่ใต้พีคของ Blank (Deionized water) จากการวิเคราะห์ซ้ำ 10 ครั้ง

ครั้งที่	Area (μ S. min)
1	0.465
2	0.448
3	0.440
4	0.430
5	0.425
6	0.420
7	0.425
8	0.376
9	0.370
10	0.375

ตารางที่ 43 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน Fluoride

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area($\mu\text{S}\cdot\text{min}$)
0.108	1	3.420	0.0257
	2	3.413	0.0226
	3	3.413	0.0223
0.43	1	3.147	0.1065
	2	3.417	0.1090
	3	3.413	0.1101
0.807	1	3.413	0.1982
	2	3.413	0.2044
	3	3.413	0.2056
2.15	1	3.423	0.5377
	2	3.420	0.5367
	3	3.417	0.5352
5.17	1	3.420	1.2101
	2	3.423	1.2210
	3	3.423	1.2249

ตารางที่ 44 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน Acetate

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.50	1	3.683	0.0525
	2	3.683	0.0542
	3	3.680	0.0548
1.99	1	3.700	0.1859
	2	3.693	0.1987
	3	3.690	0.1990
4.98	1	3.703	0.4806
	2	3.693	0.4820
	3	3.693	0.4792
9.96	1	3.700	0.8211
	2	3.700	0.8282
	3	3.697	0.8302
14.93	1	3.703	1.1172
	2	3.700	1.1212
	3	3.700	1.1220

ตารางที่ 45 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน Formate

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.12	1	4.072	0.0157
	2	4.074	0.0144
	3	4.074	0.0156
0.58	1	4.073	0.1153
	2	4.073	0.1138
	3	4.077	0.1133
1.16	1	4.067	0.2443
	2	4.070	0.2416
	3	4.070	0.2408
1.73	1	4.073	0.3516
	2	4.073	0.3483
	3	4.070	0.3487
5.17	1	4.073	1.2644
	2	4.067	1.2515
	3	4.067	1.2437

ตารางที่ 46 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน Chloride

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Retime (min)	Area (min)
0.11	1	5.903	0.0448
	2	5.907	0.0454
	3	5.903	0.0457
1.08	1	5.903	0.2080
	2	5.900	0.2085
	3	5.903	0.2087
2.17	1	5.913	0.4359
	2	5.907	0.4654
	3	5.907	0.4666
5.42	1	5.910	1.3242
	2	5.903	1.3814
	3	5.903	1.3816
10.84	1	5.903	3.1352
	2	5.900	3.1441
	3	5.897	3.1245

ตารางที่ 47 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน Sulfate

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.53	1	11.737	0.0977
	2	11.770	0.0827
	3	11.787	0.0769
1.07	1	11.730	0.1923
	2	11.730	0.1898
	3	11.730	0.1905
2.13	1	11.743	0.3577
	2	11.743	0.3632
	3	11.737	0.3632
4.26	1	11.727	0.7122
	2	11.723	0.7122
	3	11.727	0.7140
5.33	1	11.743	0.9672
	2	11.737	0.9971
	3	11.737	1.0044

ตารางที่ 48 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน Nitrate

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.52	1	12.137	0.0355
	2	12.143	0.0363
	3	12.143	0.0370
1.03	1	12.133	0.0876
	2	12.133	0.0879
	3	12.133	0.0881
2.06	1	12.120	0.1614
	2	12.120	0.1862
	3	12.117	0.1918
3.61	1	12.113	0.3323
	2	12.110	0.3315
	3	12.110	0.3321
5.16	1	12.097	0.5412
	2	12.083	0.5244
	3	12.083	0.5167

ตารางที่ 49 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน Phosphate

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.10	1	17.227	0.0070
	2	17.223	0.0071
	3	17.223	0.0075
1.02	1	17.217	0.0891
	2	17.213	0.0892
	3	17.220	0.0892
2.03	1	17.243	0.2005
	2	17.240	0.2001
	3	17.230	0.2002
5.09	1	17.167	0.5107
	2	17.143	0.5100
	3	17.130	0.5119
10.01	1	17.213	1.0944
	2	17.220	1.1025
	3	17.243	1.1050

ตารางที่ 50 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน
Ammonium

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.51	1	5.253	0.1054
	2	5.253	0.0898
	3	5.253	0.0894
2.03	1	5.253	0.2204
	2	5.253	0.215
	3	5.257	0.2151
20.28	1	5.257	1.0171
	2	5.257	1.0197
	3	5.257	1.0261
30.42	1	5.263	1.3344
	2	5.263	1.3379
	3	5.26	1.3393
50.70	1	5.263	1.9135
	2	5.263	1.9163
	3	5.263	1.9167

ตารางที่ 51 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน

Potassium

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.53	1	6.667	0.0438
	2	6.667	0.0475
	3	6.667	0.0480
2.11	1	6.667	0.1493
	2	6.663	0.1524
	3	6.66	0.1516
21.14	1	6.637	1.5606
	2	6.640	1.557
	3	6.640	1.5585
31.71	1	6.650	2.3613
	2	6.647	2.3539
	3	6.647	2.3551
52.85	1	6.640	3.9773
	2	6.643	3.9859
	3	6.643	3.9913

ตารางที่ 52 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน
Magnesium

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.52	1	10.723	0.0472
	2	10.727	0.0477
	3	10.730	0.0426
2.07	1	10.703	0.1322
	2	10.717	0.1320
	3	10.723	0.1254
20.66	1	10.714	1.1349
	2	10.717	1.0726
	3	10.713	1.0675
30.99	1	10.700	1.5728
	2	10.693	1.6078
	3	10.693	1.6023
51.65	1	10.657	2.7253
	2	10.657	2.7549
	3	10.657	2.7582

ตารางที่ 53 ค่า Retention Time (min) และพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของสารละลายมาตรฐาน Calcium

ความเข้มข้น (ppm)	ครั้งที่	Ret.Time (min)	Area (min)
0.53	1	12.930	0.1403
	2	12.930	0.1308
	3	12.933	0.1137
2.12	1	12.903	0.2682
	2	12.913	0.2681
	3	12.920	0.2550
21.18	1	12.870	1.9502
	2	12.870	1.9932
	3	12.870	2.0268
31.77	1	12.843	2.9700
	2	12.833	3.0116
	3	12.837	2.9804
52.95	1	12.783	4.9337
	2	12.777	4.9790
	3	12.773	4.9777

5.ตารางแสดงผลการทดลองในการทำ Repeatability method

5.1 การวิเคราะห์หา % Recovery ของ Anion ในตัวอย่างดินบริเวณรอบๆ หลุมระเบิดชนิด ANFO

ตารางที่ 54 ค่าพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของ Anion แต่ละชนิดจากการเติมสารละลายมาตรฐานแต่ละชนิดที่ทราบความเข้มข้นลงไปในตัวอย่างเป็น Blank

ครั้งที่	จำนวนครั้งที่วิเคราะห์	Fluoride	Acetate	Formate	Chloride	Sulfate	Nitrate	Phosphate
1	1	0.8438	0.7523	0.8332	2.2181	1.0164	0.4589	0.5250
	2	0.8559	0.7556	0.8180	2.2288	0.9991	0.4545	0.5238
	3	0.8567	0.7618	0.8220	2.2469	1.0213	0.4695	0.5284
2	1	0.8991	0.7202	0.6965	2.2288	0.9359	0.4646	0.5407
	2	0.9016	0.7112	0.6982	2.2419	0.9313	0.4649	0.5462
	3	0.9186	0.7210	0.6911	2.2591	0.9464	0.4763	0.5456

ตารางที่ 55 ค่าพื้นที่ใต้พีค ($\mu\text{S}\cdot\text{min}$) ของ Anion แต่ละชนิดจากการเติมสารละลายมาตรฐานแต่ละชนิดที่ทราบความเข้มข้นลงไปในตัวอย่างเป็นดินหลังการจุ่มระเบิด

ครั้งที่วิเคราะห์	จำนวนครั้งที่วิเคราะห์	Fluoride	Acetate	Formate	Chloride	Sulfate	Nitrate	Phosphate
1	1	0.9010	0.5082	1.0223	2.0709	0.8221	0.5176	0.5864
	2	0.9076	0.5071	1.0206	2.0860	0.8255	0.5216	0.5918
	3	0.9023	0.4989	1.0042	2.0617	0.8222	0.5121	0.5991
2	1	0.8450	0.4964	1.0229	2.2828	0.9182	0.4592	0.6170
	2	0.8697	0.4996	1.0039	2.3517	0.9145	0.4696	0.6162
	3	0.8770	0.4995	0.9218	2.3658	0.9480	0.4573	0.6197

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นาย รุ่งรติศ เหมฤติ
ที่อยู่	6/1 หมู่ที่ 2 ตำบล ท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
ที่ทำงาน	องค์การบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์ จังหวัดพิษณุโลก
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2547	สำเร็จการศึกษา ปริญญาสาธาณสุขศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พ.ศ.2551	สำเร็จการศึกษา ปริญญานิติศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2547-2553	เจ้าพนักงานทันตสาธาณสุขชุมชนชำนาญงาน โรงพยาบาลส่งเสริมภาพ จังหวัดพิษณุโลก
พ.ศ.2554-ปัจจุบัน	เจ้าพนักงานสาธาณสุขชุมชน 5 องค์การบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์ จังหวัดพิษณุโลก