

การหาปริมาณเรเดียมและสหสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีในกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม



นางสาวนันทนิช จิตต์ธรรม

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

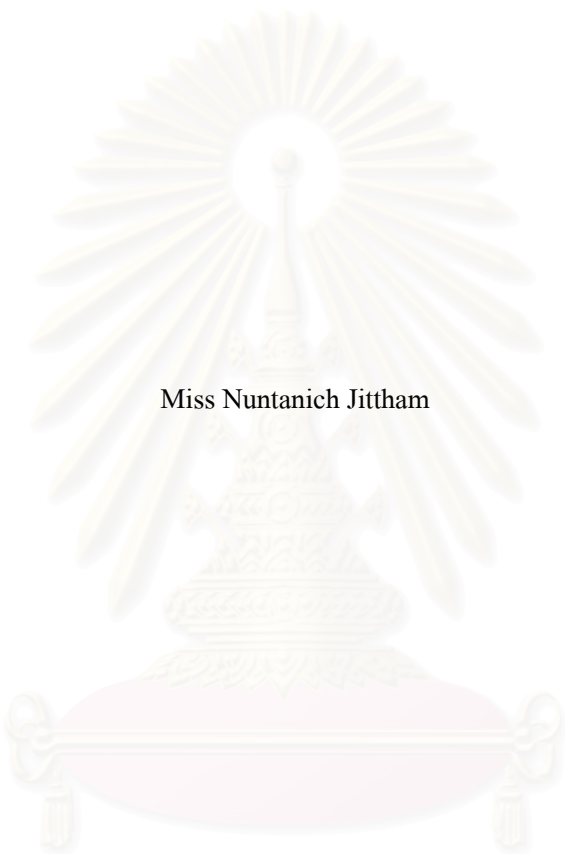
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-1753-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF RADIUM CONTENT AND ITS CORRELATION WITH
CHEMICAL COMPOSITION IN PETROLEUM WASTE



Miss Nuntanich Jittham

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-14-1753-5

นันทนิช จิตต์ธรรม : การหาปริมาณเรเดียมและสหสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีในกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม. (DETERMINATION OF RADIUM CONTENT AND ITS CORRELATION WITH CHEMICAL COMPOSITION IN PETROLEUM WASTE) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร. สุพิชชา จันทโรยธา, อ.ที่ปรึกษาร่วม: อ. จเด็จ เย็นใจ, 81 หน้า. ISBN 974-14-1753-5.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในกากที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมภายในประเทศ และ วิเคราะห์หาสหสัมพันธ์กับปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียม ตัวอย่างที่กากใช้ในการวิจัย คือ ตัวอย่างสลัดจ์และตะกอน จากแหล่งก๊าซธรรมชาติบงกช และ แหล่งน้ำมันสิริกิติ์

ได้ทำการวิเคราะห์หาความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ในตัวอย่างสลัดจ์ และตะกอน ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ผลที่ได้พบว่า ในตัวอย่างสลัดจ์มีค่าเฉลี่ยของความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 อยู่ในช่วง 0.27 - 2.45 และ 0.35 - 2.06 พิโคคูรีต่อกรัม ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยของความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างตะกอนพบว่ามีค่าความแรงรังสีจำเพาะเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 อยู่ในช่วง 0.25 - 119.91 และ 0.31 - 140.07 พิโคคูรีต่อกรัม ตามลำดับ โดยพบตัวอย่างตะกอน 2 ตัวอย่างจากแหล่งสิริกิติ์ มีค่าความแรงรังสีสูงกว่าที่มีอยู่ตามดินในธรรมชาติของแหล่งผลิตเองถึง 100 เท่า นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างระดับปริมาณของเรเดียมกับปริมาณธาตุ แบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียมในตัวอย่างสลัดจ์และตะกอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อนิสิต..... นันทนิช จิตต์ธรรม
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4570381121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: NORM / WAST / GAMMA SPECTROMETRY / PETROLEUM / RADIUM

NUNTANICH JITTHAM: DETERMINATION OF RADIUM CONTENT AND ITS CORRELATION WITH CHEMICAL COMPOSITION IN PETROLEUM WASTE.

THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SUPITCHA CHANYOTHA, PhD., THESIS

COADVISOR : CHADET YENCHAI, 81 pp. ISBN 974-14-1753-5.

The objectives of this research were to study the specific activity of petroleum waste from the petroleum industry in Thailand, as well as its correlation to barium, strontium and calcium contents. The petroleum waste samples include sludge and scale from Bongkot gas field and Sirikit oil field.

In this study, the specific activities of ^{226}Ra and ^{228}Ra in sludge and scale samples were determined by gamma-spectroscopy technique. Their chemical contents were analyzed by X-ray fluorescence technique. It was shown that in sludge samples, the average specific activities of ^{226}Ra and ^{228}Ra range from 0.27-2.45 and 0.35-2.06 pCi/g, respectively. The average specific activities of ^{226}Ra and ^{228}Ra in scale samples range from 0.25-119.91 and 0.31-140.07 pCi/g, respectively. Two samples of scale from Sirikit field had average specific activity level of radium 100 times higher than the level that found in the local soil. In addition, the positive correlation was found between the specific activity level of radium and chemical composition; barium, strontium and calcium; contained in sludge and scale samples.

Department..... Nuclear Technology..... Student's signature..... *Nuntanich Jittham*
 Field of study..... Nuclear Technology..... Advisor's signature..... *S. Supittha*
 Academic year..... 2005..... Co-advisor's signature..... *Chadet Yenchai*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สุพิชชา จันทโรยธา เป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสในการทำงานวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางการวิจัย แง่คิดทางวิชาการและให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่เพื่อใช้ในการงานวิจัย รวมทั้งตรวจทานวิทยานิพนธ์ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการตลอดระยะเวลาที่วิจัย

ขอขอบคุณ อาจารย์ จเด็จ เย็นใจ ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางในการวิจัย และตรวจสอบข้อบกพร่องในงานวิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชานิเวศวิทยเทคโนโลยี ที่ให้ความรู้ทางวิชาการ และให้คำแนะนำตลอดการศึกษา

ขอขอบคุณสมบุรณ์ เจริญภูมิการกิจ เจ้าหน้าที่ประจำเครื่อง XRF ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ปตท.สผ. จำกัด (มหาชน) และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย และเอื้อเฟื้อในเรื่องของข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชุติมา กรานรอด และ คุณอรวรรณ ตรรกนาค ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และ พี่ ๆ ทุกคนในภาควิชานิเวศวิทยเทคโนโลยี ที่ให้ความสนับสนุนทั้งในเรื่องงานวิจัย และการเป็นกำลังใจให้กันมาตลอด

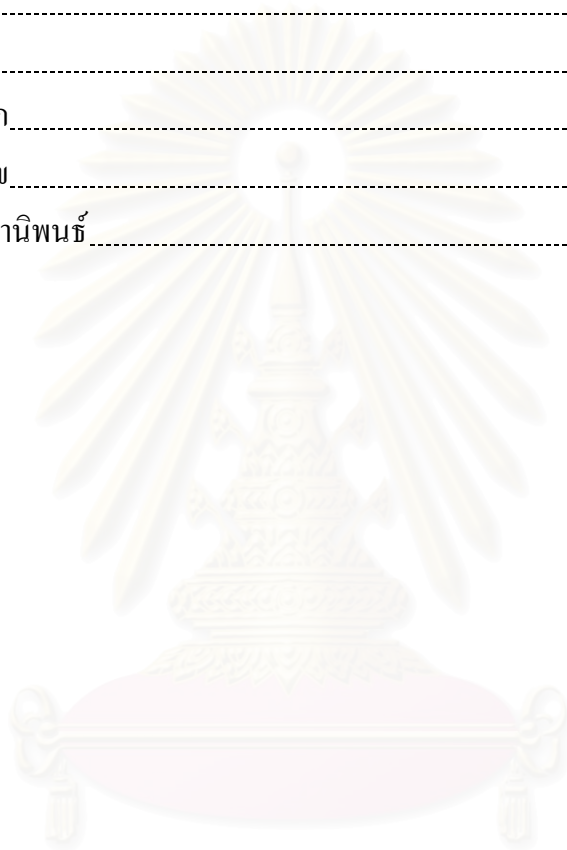
ท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้ความสนับสนุนในทุก ๆ ด้านด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ

บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2. ทฤษฎี.....	5
2.1 แหล่งกำเนิดรังสี.....	5
2.2 ธาตุกัมมันตรังสีในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ.....	10
2.3 แหล่งปิโตรเลียมในประเทศไทย.....	14
2.4 เรเดียม.....	21
2.5 การวัดความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม โดยระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา.....	22
2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง.....	27
2.7 การวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์.....	37
3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	40
3.1 วัสดุอุปกรณ์.....	40
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	41
4. ผลการวิจัย.....	52
4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียมในตัวอย่างกากอุตสาหกรรม ปิโตรเลียม.....	52
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม.....	57

บทที่	หน้า
4.3 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมี ในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม.....	60
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	74
ภาคผนวก ก.....	75
ภาคผนวก ข.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	81



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แร่กัมมันตรังสีบางชนิดและรูปแบบการเกิด.....	6
2.2 นิวไคลด์ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238.....	7
2.3 นิวไคลด์ในอนุกรมการสลายตัวของทอเรียม-232.....	7
2.4 นิวไคลด์ในอนุกรมการสลายตัวของแอกติเนียม.....	8
2.5 ไอโซโทปกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่ไม่ได้มาจากอนุกรมของยูเรเนียม ทอเรียม และแอกติเนียม.....	8
2.6 ความเข้มข้นของยูเรเนียม ทอเรียม และเรเดียมในหินและน้ำประเภทต่าง ๆ	12
2.7 Petroleum System of Thailand.....	16
2.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติตามตารางธาตุของโลหะในกลุ่มอัลคาไลน์เอิร์ธ.....	21
2.9 Solubilities of simple group II salt / mol dm ⁻¹	22
2.10 สภาพไฟที่สุดในการวิเคราะห์ระดับจุลภาคโดยเครื่องมือ/วิธีต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุด.....	28
2.11 เปรียบเทียบปัจจัยหลายด้านระหว่างเครื่องมือวิเคราะห์หลายชนิด.....	29
4.1 ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างสลัดจ์.....	52
4.2 ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างตะกอน.....	54
4.3 ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน.....	56
5.1 ปริมาณเรเดียมในตัวอย่างสลัดจ์ และตะกอนจากแหล่งปิโตรเลียมในประเทศต่าง ๆ	68

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U และ ^{232}Th	9
2.2 แสดงการแทรกตัวเข้าสู่กระบวนการผลิตปิโตรเลียมของ NORM	11
2.3 แสดงอุปกรณ์และการเกิดกากในกระบวนการผลิตปิโตรเลียม.....	12
2.4 แผนที่แสดงแหล่งปิโตรเลียมในประเทศไทย.....	15
2.5 การเรียงลำดับชั้นหินในแอ่งพิชฌุโลกแหล่งสิริกิติ์.....	19
2.6 การเรียงลำดับชั้นหินในแอ่งปัตตานีอ่าวไทย.....	20
2.7 หัววัดรังสีแบบ HPGe.....	23
2.8 แสดงแผนผังการจัดระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมา.....	23
2.9 การหาความเข้มรังสีสุทธิ.....	25
2.10 การเลี้ยวเบนของรังสีเมื่อผ่านผลึกภายใต้เงื่อนไขของ Bragg's Law.....	31
2.11 แผนภาพแสดงองค์ประกอบของระบบวิเคราะห์ EDXRF	32
2.12 แผนภาพแสดงการจัดวางตัวอย่างระบบวิเคราะห์ EDXRF.....	32
2.13 ตัวอย่างสเปกตรัมจากเครื่อง WDXRF สารตัวอย่างเป็นเหล็กกล้าสนิม 347.....	33
2.14 การจัดวางหลอดรังสีเอกซ์ สารตัวอย่างและหัววัดในระบบวิเคราะห์ WDXRF.....	33
2.15 แผนภาพกระจายระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x และ y.....	38
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการการดำเนินการวิจัย.....	41
3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม.....	45
3.3 ลักษณะตัวอย่างตะกั่วในท่ออุปกรณ์.....	46
3.4 ลักษณะของตัวอย่างสลัดจ์.....	46
3.5 ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา.....	47
3.6 ภาพขณะบรรจุตัวอย่างวางอยู่บนหัวHPGe ภายในกำบังรังสีเพื่อทำการวัดรังสีแกมมา.....	48
3.7 ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีแกมมาที่วัดได้แสดงผลด้วยโปรแกรม Genie 2000.....	48
3.8 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง model Inspector 2000.....	49
3.9 เป้าอะลูมิเนียม.....	50
3.10 สารตัวอย่างในเป้าอะลูมิเนียม.....	50
3.11 เครื่องบดสารตัวอย่าง Centrifugal ball รุ่น s100.....	51
3.12 เครื่องผสมสารตัวอย่าง mixer/ mill รุ่น 8000M.....	51
4.1 ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างสลัดจ์.....	53
4.2 ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างตะกั่ว.....	55

ภาพประกอบ	หน้า
4.3 ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่งดินจากหลุมเจาะน้ำมัน.....	56
4.4 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยที่มีอยู่ในตัวอย่างสลัดจ์ทุกตัวอย่างรวมกัน.....	58
4.5 ปริมาณธาตุ Ba, Sr และ Ca ในแต่ละตัวอย่างสลัดจ์.....	58
4.6 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยที่มีอยู่ในตัวอย่างตะกอนทุกตัวอย่างรวมกัน.....	59
4.7 ปริมาณธาตุ Ba, Sr และ Ca ในแต่ละตัวอย่างตะกอน.....	59
4.8 ปริมาณธาตุ Ba, Sr และ Ca ในแต่ละตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน.....	60
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม ในตัวอย่างสลัดจ์.....	61
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแคลเซียม ในตัวอย่างสลัดจ์.....	62
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุสทรอนเซียม ในตัวอย่างสลัดจ์.....	62
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม ในตัวอย่างตะกอน.....	63
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแคลเซียม ในตัวอย่างตะกอน.....	64
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุสทรอนเซียม ในตัวอย่างตะกอน.....	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา[1]

วัสดุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Naturally Occurring Radioactive Material) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า NORM นั้นมีปะปนอยู่ทั่วไปในธรรมชาติไม่ว่าจะเป็นดิน น้ำ อากาศ พืช สัตว์ และแม้แต่ในตัวมนุษย์เอง ในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์จึงได้รับรังสีจากธรรมชาติในระดับหนึ่ง ที่จัดเป็นระดับรังสีพื้นฐาน (background radiation) ซึ่งไม่มีผลต่อร่างกายมนุษย์ ไอโซโทปรังสีในธรรมชาติมีมากกว่า 50 ชนิด แต่ส่วนใหญ่จะมีกัมมันตภาพรังสีที่ต่ำมาก ธาตุหลักที่มักจะได้รับการสนใจในการสำรวจด้านกัมมันตภาพรังสี คือ ยูเรเนียม ทอเรียม และ โปแตสเซียม

เคมีที่รังสีจาก NORM ที่มีอยู่ในวัตถุดิบปกติที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมไม่จัดเป็นวัสดุกัมมันตรังสีจึงไม่ถูกจัดไว้ในข้อกำหนดด้านความปลอดภัยจากการใช้งานวัสดุกัมมันตรังสีทั้งในระดับชาติ และ นานาชาติ แต่หาก NORM ถูกทำให้มีความเข้มข้นขึ้นเนื่องด้วยเทคโนโลยีใด ๆ ทางอุตสาหกรรม NORM จะถูกเรียกว่า TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material) ซึ่ง TENORM เหล่านี้ อาจทำให้สิ่งแวดล้อมเกิดการเปราะเปื้อนในระดับที่เสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชน ได้ ดังนั้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เป็นต้นมาหน่วยงานในหลายประเทศทั่วโลกทั้งภาครัฐที่มีความรับผิดชอบในการออกกฎระเบียบและภาคเอกชนที่ทำให้เกิด TENORM ได้ให้ความสนใจ และได้ร่วมทุนกันทำการศึกษาเกี่ยวกับ NORM และ TENORM นอกจากนี้ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) และ International Commission on Radiological Protection, ICRP ซึ่งมีหน้าที่ออกข้อกำหนด ควบคุม และป้องกันอันตรายทางรังสีได้จัดทำเกณฑ์การควบคุมและป้องกันอันตรายทางรังสีใหม่โดยให้ครอบคลุมถึง NORM และ TENORM ที่ทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี (mSv/yr)[2]

อุตสาหกรรมปิโตรเลียมก็เป็นอีกแหล่งหนึ่งที่ทำให้เกิด TENORM ขึ้นจากกระบวนการผลิตและขนส่ง ปกติแล้วน้ำใต้ดินในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติจะมี NORM บางตัวละลายอยู่ในปริมาณไม่มากนัก แต่ส่วนใหญ่แล้วน้ำในบริเวณบ่อน้ำมันจะเป็นพวกน้ำเค็มหรือเป็นสารประกอบคลอไรด์ จึงทำให้ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะเรเดียมละลายออกมาจากหิน ดิน ที่อยู่ในแหล่งน้ำมันนั้นได้มากขึ้น ดังนั้นน้ำในแหล่งน้ำมันจึงมีเรเดียมละลายอยู่ในปริมาณสูงพอควร ในกระบวนการผลิตปิโตรเลียมเมื่อทำการสูบน้ำมันขึ้นมาจากใต้ดิน ความดันในบ่อน้ำมันจะลดลง น้ำ

ที่อยู่รอบ ๆ บ่อจึงซึมเข้ามาในบ่อขณะเดียวกันก็ชะล้างเอา NORM ในหิน ดินเข้ามาด้วย ในขณะที่น้ำเหล่านี้ถูกสูบขึ้นมาพร้อมกับน้ำมัน อุณหภูมิและความดันของสภาพแวดล้อมลดลง NORM ในน้ำจึงตกตะกอนเป็นคราบของแข็งหรือตะกรันเกาะติดที่ผิวด้านในของท่อส่งน้ำมัน น้ำที่ปนเปื้อน NORM นี้จะถูกแยกออก (Produce water) และกำจัดทิ้งไป โดยความเข้มข้นของเรเดียมในน้ำและตะกรันนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเรเดียมที่มีอยู่ในแหล่งน้ำมัน ดังนั้นในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่มีโครงสร้างทางธรณีที่แตกต่างกัน จึงมีสภาพทางรังสีของกากจากกระบวนการผลิตปิโตรเลียมที่ต่างกัน

เนื่องจากเรเดียม-226 เป็นไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่พบในปริมาณมาก เมื่อเทียบกับไอโซโทปอื่น ๆ ของเรเดียมเพราะนอกจากจะมีครึ่งชีวิตที่ยาวมากแล้วยังอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม-238 ที่มีอยู่ในธรรมชาติปริมาณสูงด้วย และเรเดียมมีความสามารถในการละลายสูงกว่ายูเรเนียม และทอเรียม จึงพบเรเดียมในน้ำจากกระบวนการผลิตปิโตรเลียม (produce water) ในปริมาณที่สูงกว่า นอกจากนั้นธาตุเรเดียมยังมีคุณสมบัติทางเคมีคล้ายธาตุแบเรียม จึงสามารถตกตะกอนร่วมกับธาตุแบเรียมและธาตุแคลเซียมในรูปของสารประกอบซัลเฟตหรือคาร์บอเนต

ในหลาย ๆ ประเทศมีผลการวิจัยที่แสดงว่าความเข้มข้นของธาตุบางตัวในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติจะมีผลต่อสภาพทางกัมมันตรังสีของกากจากแหล่งนั้น ๆ สำหรับในประเทศไทยซึ่งได้ดำเนินผลิตปิโตรเลียมมาเป็นระยะเวลายาวนานเช่นกัน ยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับกัมมันตภาพรังสีในกากของเสียจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมอย่างเป็นระบบ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น น้ำจากกระบวนการผลิต (produced water) ตะกอน (sludge) ตะกรัน (scale) เป็นต้น ด้วยระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกากเหล่านี้ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีในกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมโดยการวัดรังสีแกมมา

1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับความเข้มข้นของธาตุแคลเซียม สทรอนเซียม และแบเรียม ในกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 กากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ สลัดจ์ (sludge) และตะกอน (Scale)
- 1.3.2 ใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรีวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม
- 1.3.3 ใช้วิธีทางเคมีและ / หรือเทคนิคนิวเคลียร์ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุแคลเซียม สตรอนเชียม และแบเรียม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีในกากอุตสาหกรรมผลิตปิโตรเลียม

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษา ค้นคว้า รวบรวมข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 จัดระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา เพื่อใช้วิเคราะห์หาความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่าง
- 1.4.3 เตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์รังสีแกมมาและการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
- 1.4.4 วิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยการวัดรังสีแกมมา
- 1.4.5 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมด้วยวิธีที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างแต่ละชนิด
- 1.4.6 เปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง
- 1.4.7 สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.5.1 ได้ข้อมูลความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่ผลิตในประเทศไทย
- 1.5.2 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับความเข้มข้นของธาตุแคลเซียม สตรอนเชียม และแบเรียม ในกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการจัดตั้งกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมได้

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 N.C. Strucho และ คณะ[3] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของไอโซโทปที่มีครึ่งชีวิตยาวนานอย่างเรเดียมในชั้นหินเกลืออุ้มน้ำยุคพาลีโซอิก โดยใช้เทคนิคแกมมา สเปกโตรเมตรี วิเคราะห์ความแรงรังสีของเรเดียม-228 และเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำใต้ดิน ทั้งน้ำจืดและน้ำเค็ม ตัวอย่างน้ำทะเล และตัวอย่างหิน และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง โดยใช้อุปกรณ์ ICP-AES และพบว่าในตัวอย่างของเหลวที่มีเกลือละลายปนอยู่ 200-250,000 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดความแรงรังสีของเรเดียมได้ 0.66-7660 dpm/Kg และพบว่าปริมาณความแรงรังสีของเรเดียม มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเกลือ และธาตุ อัลคาไลน์เอิร์ธตัวอื่น ๆ (Ca, Sr, Ba) ที่ละลายปนอยู่

1.6.2 S.F. Jerez Vegueria และคณะ[4] ได้ทำการศึกษาปลดปล่อยของเรเดียมและแบเรียม โดยน้ำจากกระบวนการผลิตปิโตรเลียม (produced water) จากแท่นขุดเจาะในแหล่งน้ำมัน Bacia de Campos ประเทศบราซิล โดยคณะวิจัยได้เก็บตัวอย่างน้ำจากกระบวนการผลิตจากแท่นเจาะต่าง ๆ กันในแหล่งน้ำมันนี้ และวิเคราะห์ปริมาณเรเดียมโดยการทำการวัดรังสีแอลฟาและบีตา ด้วยหัววัดพรอพอร์ชันนัล และวัดปริมาณแบเรียมโดยใช้เครื่องมือ ICP-OES พบว่า ในตัวอย่างมีความเข้มข้นของแบเรียมและเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 0.36-25.37 mg/l และ 0.012-6.0 Bq/l ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมและแบเรียมอีกด้วย ($r^2=0.926$)

1.6.3 Jose Marcus Godoy และ Rosana Petinatti da Cruz[5] ได้ทำการศึกษาปริมาณเรเดียมและองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างตะกอนและตะกอนจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมในแหล่งน้ำมัน Bacia de Campos ประเทศบราซิล โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี วัดปริมาณเรเดียมในตัวอย่าง และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน ผลการวิเคราะห์พบว่าร้อยละ 75 ของตัวอย่างตะกอน เป็น แบเรียมซัลเฟต และสทรอนเซียมซัลเฟต ส่วนปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 เฉลี่ย 106 และ 78 kBq/kg ตามลำดับ ในขณะที่ตะกอนจะมีทั้งปริมาณเรเดียม และส่วนประกอบทางเคมีมากกว่าที่พบในตะกอน โดยวัดปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 ได้ 0.36-367 และ 0.25-343 kBq/kg ตามลำดับ

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แหล่งกำเนิดรังสี[6]

จุดกำเนิดของธาตุกัมมันตรังสีธรรมชาติในโลกนั้นมาจากปรากฏการณ์การเกิดดวงดาว มีธาตุกัมมันตรังสีมากกว่า 60 ชนิด ที่สามารถพบได้ในธรรมชาติ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.1.1 รังสีคอสมิก (Cosmic ray)

รังสีคอสมิกเป็นรังสีที่มีต้นกำเนิดจากภายนอกโลก ซึ่งอาจมาจากดวงอาทิตย์หรือจากอวกาศภายนอกโลก ในระดับพื้นดินทั่วไปปริมาณรังสีภายนอกร่างกายที่ประชาชนได้รับจากรังสีคอสมิก มีค่าประมาณ 30 นาโนเกรย์ต่อชั่วโมง แต่ปริมาณรังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก หากอยู่ในพื้นที่ที่สูงจากระดับน้ำทะเลมาก โดยจะเพิ่มสูงขึ้นสองเท่าที่ระดับ 1500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล นอกจากนี้รังสีคอสมิกยังทำอันตรกิริยากับบรรยากาศของโลก ทำให้เกิดธาตุกัมมันตรังสีอีกหลายชนิด เช่น ^3H , ^{14}C และ ^7Be ธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยานี้ส่วนใหญ่จะมีค่าครึ่งชีวิตต่ำกว่าธาตุกัมมันตรังสีที่มีมาตั้งแต่เริ่มแรกโลกเกิด (Primordial radionuclides)

2.1.2 ธาตุกัมมันตรังสีที่มีมาตั้งแต่เริ่มแรกโลกเกิด (Primordial radionuclides)

ธาตุกัมมันตรังสีที่มีมาตั้งแต่เริ่มแรกโลกเกิด เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาวประมาณหลายร้อยล้านปีขึ้นไป และมีปริมาณน้อยอย่างมีนัยสำคัญ ธาตุยูเรเนียมเชื่อกันว่าเกิดมาจากการระเบิดของซูเปอร์โนวา ซึ่งควันจากการระเบิดนี้จะปกคลุมเมื่อเกิดโลก 4.6 พันล้านปีมาแล้ว ธาตุกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่าร้อยล้านปีจะไม่ปรากฏอยู่ จะเหลือแต่ไอโซโทปที่เสถียรและธาตุกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตยาวมาก เนื่องจากธาตุตั้งต้นของอนุกรมยูเรเนียม ทอเรียม และแอกติเนียมมีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวมาก ปัจจุบันเราจึงพบธาตุกัมมันตรังสีลูกที่ได้จากการสลายตัวจากอนุกรมเหล่านี้ในธรรมชาติ และยังพบธาตุกัมมันตรังสีลูกจากอนุกรมการสลายตัวเนปจูเนียมซึ่งธาตุกัมมันตรังสีตั้งต้นนั้น ได้สลายตัวไปหมดแล้ว

2.1.3 ธาตุกัมมันตรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น (Man-made sources of radionuclides)

สารรังสีได้ถูกใช้โดยมนุษย์มากกว่าร้อยปีมาแล้ว แต่มีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับที่มีอยู่ในธรรมชาติและส่วนใหญ่เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น ได้แก่ ธาตุกัมมันตรังสีที่ใช้

ประโยชน์ในทางการแพทย์ (Tc-99m) งานวิจัย อุตสาหกรรม และ การผลิตไอโซโทป รวมถึงฝุ่นละอองรังสี (fallout) ที่เกิดจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ (I-131, I-129, Cs-137, Sr-99) และจากการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ (Tritium, Kr-85, Xe-133) ธาตุกัมมันตรังสีเหล่านี้อยู่ในรูปของ ของเหลว ของแข็ง และก๊าซ ธาตุกัมมันตรังสีกลุ่มนี้ที่มนุษย์ได้รับรังสีโดยตรง เช่น รังสีเอกซ์ (X-rays) ทางทางการแพทย์ และจากหน้าปัดนาฬิกาเรืองแสง (luminous paints) เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แร่กัมมันตรังสีบางชนิดและรูปแบบการเกิด[7]

ธาตุกัมมันตรังสี	แร่	การเกิด
โปแตสเซียม	(i) Orthoclase and microcline feldspar ($KAlSi_3O_8$) (ii) Muscovite ($H_2KAl(SiO_4)_3$) (iii) Alunite ($K_2Al_6(OH)_{12}SiO_4$) (iv) Sylvite, carnallite, ($KCl, MgCl_2, 6H_2O$)	(i),(ii) ส่วนประกอบหลักใน acid igneous rocks และ pegmatites (iii) Alteration in acid volcanics (iv) Saline deposits in sediment
ทอเรียม	(i) Monazite ($ThO_2 +$ Rare earth phosphate) (ii) Thorianite [$(Th,U)O_2$] (iii) Thorite, uranothorite [$ThSiO_4 + U$]	(i) Granites, Pegmatites, Granites, Pegmatites, Placers (ii) เหมือนกับ (ii)
ยูเรเนียม	(i) Uranite [Oxide of U,Pb,Ra + Th, rare earths] (ii) Carnotite [$K_2O \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot 2H_2O$] (iii) Gummite [Uranite alteration]	(i) Granites, Pegmatites and with vein deposit of Ag, Pb,Cu (ii) Sand Stones (iii) Assocaiator with uranium

ตารางที่ 2.2 นิวไคลด์ในอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238[1]

Raionuclide	Historical name	Hafe life	Major Radiation
²³⁸ U	Uranium I	4.47×10 ⁹	α 4.198 (77%), 4.149(23%), <1%γ
²³⁴ Th	Uranium X ₁	24.1 d	β 0.198 (72%)
^{234m} Pa	Uranium X ₂	41.17 m	β 2.29 (98%), <1%γ
²³⁴ U	Uranium II	2.46×10 ⁵ y	α 4.773 (72%), 4.721 (27%), <1%γ
²³⁰ Th	Ionium	7.54×10 ⁴ y	α 4.688 (76%), 4.602 (6%), γ
²²⁶ Ra	Radium	1600 y	α 5.490, <1% γ
²²² Rn	Emanation	3.28 d	α 6.003, <1%γ
²¹⁸ Po	Radium A	3.10 m	β 0.65 (50%), γ 0.295 (19%), 0.352 (37%)
²¹⁴ Pb	Radium B	26.8 m	β 3.26, γ 0.609 (46%), 1.120 (15%), 1.765 (16%)
²¹⁴ Bi	Radium C	19.1 m	α 7.687, <1%γ
²¹⁴ Po	Radium C	164.3 μs	β 0.015 (81%),γ
²¹⁰ Pb	Radium D	22.3 y	β 1.161 (100%)
²¹⁰ Bi	Radium E	5.01 d	α 5.297, <1%γ
²¹⁰ Po	Radium F	138.4 d	None
²⁰⁶ Pb	Radium'G	Stable	

ตารางที่ 2.3 นิวไคลด์ในอนุกรมการสลายตัวของทอเรียม-232[1]

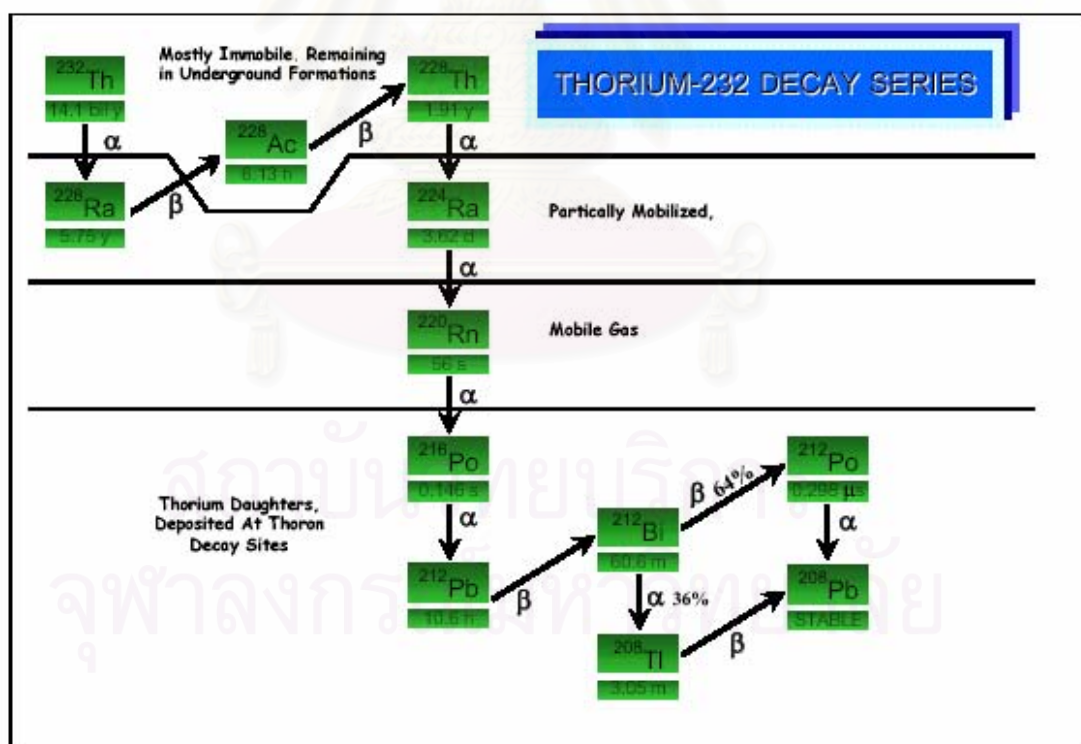
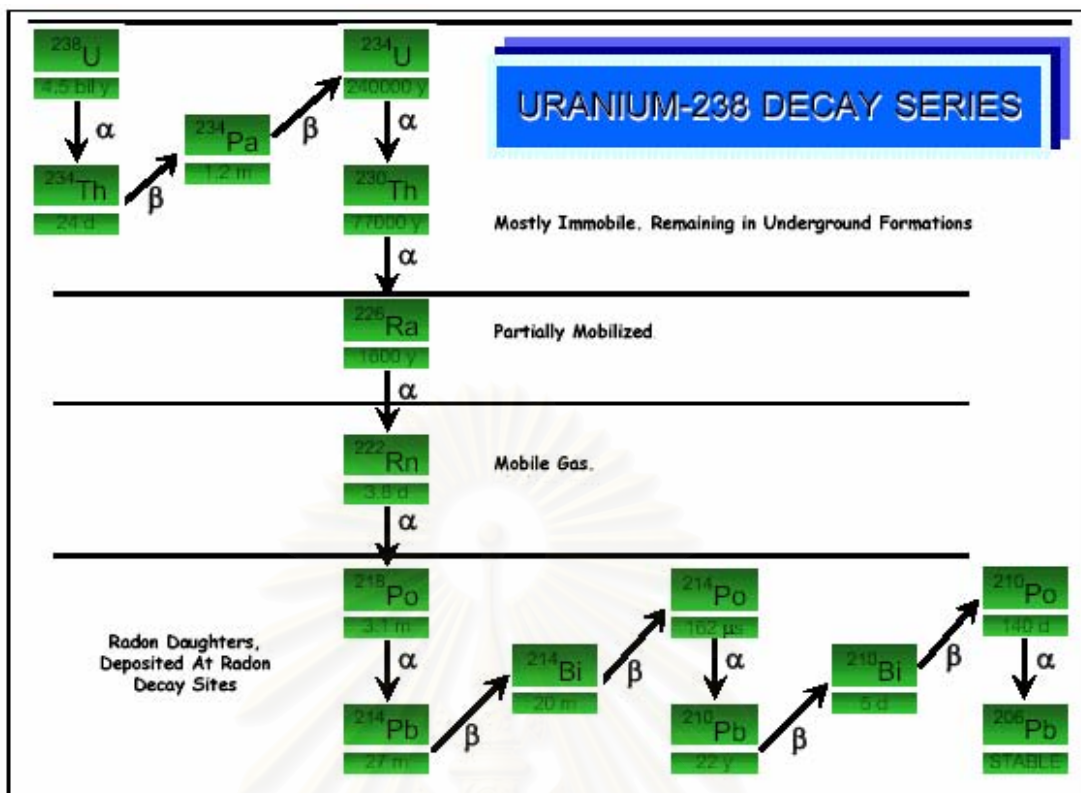
Raionuclide	Historical name	Hafe life	Major Radiation
²³² Th	Thorium	1.14×10 ¹⁰ y	α, <1%γ
²²⁸ Ra	Mesothorium I	5.75 y	β, <1%γ
²²⁸ Ac	Mesithorium II	6.15 h	β, γ
²²⁸ Th	Raiothorium	1.94 y	α, γ
²²⁴ Ra	Thorium X	3.66 d	α, γ
²²⁰ Rn	Emanation	55.6 s	α, γ
²²² Rn	Emanation	3.28 d	α, <1%γ
²¹⁶ Po	Thorium A	0.145 s	α, <1%γ
²¹² Pb	Thorium B	10.64 h	β, γ
²¹² Bi	Thorium C	1.01 h	α, γ
	Thorium C'/	164.3 μs	α, <1%γ
²¹⁴ Po (64%) ²⁰⁸ Tl (36%)	Thorium C''	0.3 ms/3.05m	α /β, γ
²⁰⁸ Pb	Thorium D	Stable	

ตารางที่ 2.4 นิวไคลด์ในอนุกรมการสลายตัวของแอกติเนียม[1]

Radionuclide	Historical name	Half life	Major Radiation
^{235}U	Actinouranium	7.04×10^8 y	α, γ
^{231}Th	Uranium Y	1.06 d	β, γ
^{231}Pa	Protoactinium	3.28×10^4 y	α, γ
^{227}Ac	Actinium	21.77 y	$\beta, <1\% \gamma$
^{227}Th (98.62%) ^{223}Fr (1.38%) <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> \swarrow \searrow </div>	Raioactinium/	18.72 d	α, γ
	Actinium K	22.0 m	β, γ
^{223}Ra	Actinium X	1.44 d	α, γ
^{219}Rn	Actinon	3.96 s	α, γ
^{215}Po	Actinium A	1.78 ms	$\alpha, <1\% \gamma$
^{211}Pb	Actinium B	36.1 m	β, γ
^{211}Bi	Actinium C	2.14 m	α, γ
^{207}Tl	Actinium C'	4.77m	$\beta, <1\% \gamma$
^{207}Pb	Actinium D	Stable	None

ตารางที่ 2.5 ไอโซโทปกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่ไม่ได้มาจากอนุกรมของยูเรเนียม ทอเรียม และแอกติเนียม[1]

Radionuclide	Half life, y	Major Radiation
^{40}K	1.28×10^9	β, γ
^{50}V	1.4×10^{17}	γ
^{87}Rb	4.75×10^{10}	β
^{113}Cd	9×10^5	β
^{115}In	6×10^{14}	β
^{123}Te	1.24×10^{13}	X-ray
^{138}La	1.05×10^{11}	β, γ
^{142}Ce	$>5 \times 10^{16}$	β
^{144}Nd	2.29×10^{15}	α
^{147}Sm	1.06×10^{11}	α
^{152}Gd	1.08×10^{14}	α
^{174}Hf	2.0×10^{15}	α
^{176}Lu	3.73×10^{10}	β, γ
^{187}Re	4.3×10^{10}	β
^{190}Pt	6.5×10^{11}	α



รูปที่ 2.1 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U และ ^{232}Th

2.2 ธาตุกัมมันตรังสีในแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ[8]

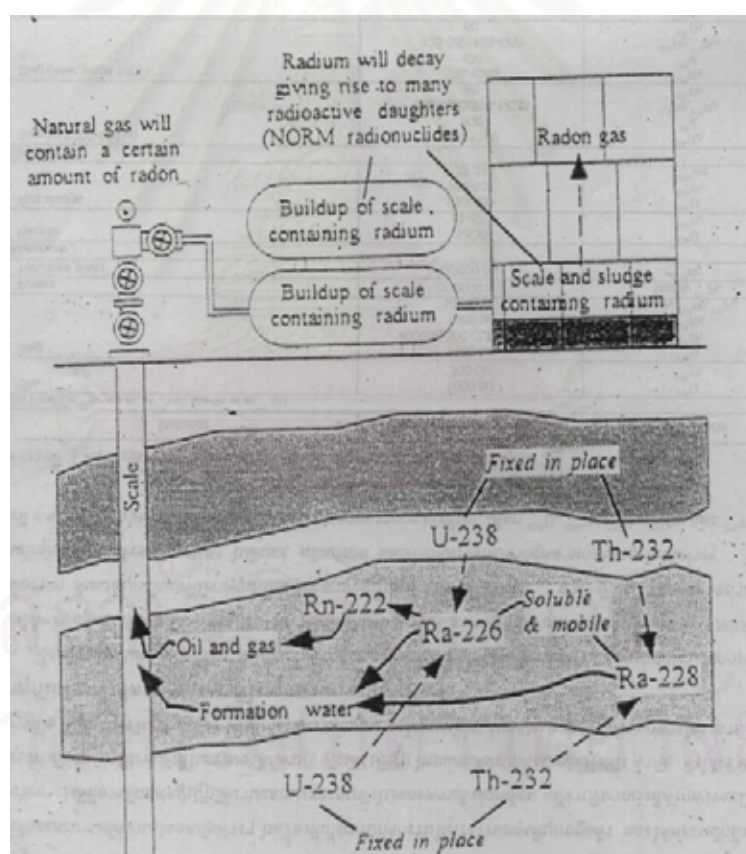
ความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติในแหล่งปิโตรเลียมแต่ละแหล่งจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางธรณีของแหล่งนั้นๆ แหล่งกำเนิดปิโตรเลียมที่เป็นหินดินดาน จะพบธาตุกัมมันตรังสีในปริมาณที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยทั่วไป (ดังแสดงในตาราง 2.6) จากการที่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ในแหล่งผลิตอยู่แล้วจึงมีการแทรกตัวเข้าสู่ระบบการผลิตได้ตามความสามารถในการละลายได้ของน้ำมัน อย่างไรก็ตามลักษณะทางกายภาพและเคมีของแหล่งปิโตรเลียมมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความสามารถในการละลายได้ของธาตุเหล่านี้เข้าสู่ระบบการผลิตได้

ปกติแล้วน้ำใต้ดินจะมี NORM บางตัวละลายอยู่ในปริมาณไม่มากนัก แต่ถ้าน้ำใต้ดินมีสภาพเป็นน้ำเค็มหรือมีสารละลายคลอไรด์ปนอยู่ ดังเช่นน้ำในบริเวณแหล่งน้ำมัน ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะเรเดียมจะถูกชะละลายออกมาจากหิน ดินในแหล่งปิโตรเลียมนั้นได้มากขึ้น ดังนั้นน้ำจากแหล่งปิโตรเลียมบางแห่งจึงอาจพบธาตุเรเดียมละลายอยู่ในปริมาณที่สูงได้[3] ส่วนยูเรเนียม และ ทอเรียม จะพบเพียงปริมาณเล็กน้อยเนื่องจากมีความสามารถในการละลายในน้ำต่ำกว่าเรเดียม

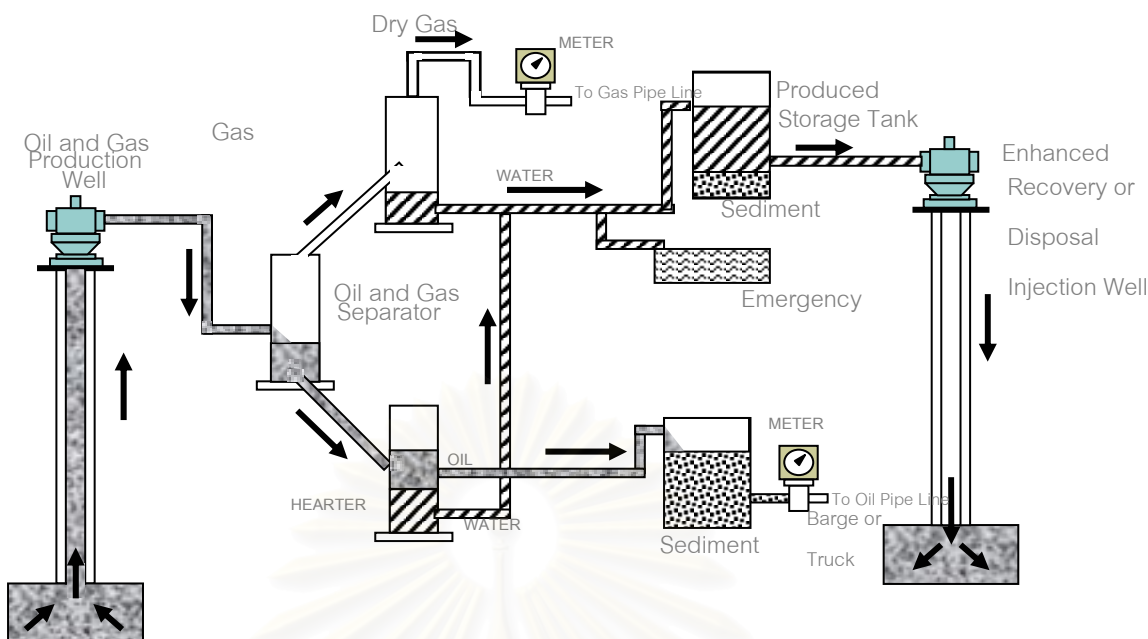
ในกระบวนการผลิตปิโตรเลียมเมื่อทำการสูบน้ำมันและก๊าซธรรมชาติขึ้นมาจากใต้ดิน จะส่งผลให้ความดันในบ่อลดลง น้ำที่อยู่บริเวณรอบ ๆ บ่อจึงซึมเข้ามาในบ่อขณะเดียวกันจะชะล้างเอา NORM ที่มีอยู่ในดินหรือหินที่อยู่รอบบริเวณนั้นมาด้วย เมื่อธาตุกัมมันตรังสีซึ่งมีความเข้มข้นแตกต่างกันตามลักษณะของแหล่งถูกดึงขึ้นสู่ผิวโลกด้วยกระบวนการผลิต ธาตุกัมมันตรังสีเหล่านี้มักจะปนอยู่กับน้ำในกระบวนการผลิต มีส่วนน้อยมากที่อยู่ในน้ำมัน น้ำที่มีธาตุกัมมันตรังสีละลายปนอยู่จะถูกสูบน้ำขึ้นมาพร้อมกับน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เมื่อน้ำถูกสูบน้ำมาสู่ผิวโลก อุณหภูมิและความดันจะเปลี่ยนซึ่งส่งผลให้ NORM ในน้ำโดยเฉพาะธาตุเรเดียม ซึ่งละลายน้ำได้ตกตะกอนร่วม (co-precipitate) กับแบเรียม และ/หรือ แคลเซียม (Ca) ในรูปของสารประกอบซัลเฟต หรือ คาร์บอเนต เป็นคราบของแข็งหรือตะกอน (hard scale) เกาะติดตามผิวด้านในของท่อส่งน้ำมัน และ ปลอกในของวัสดุ หรือ ตกตะกอนร่วมกับ ซิลิเกต และ คาร์บอเนต ในรูปของ สลัดจ์ ตามอุปกรณ์ แยก (separators), heater / treaters ถึงเก็บน้ำ (storage tank) หรือตามอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่น้ำมีอยู่ในกระบวนการผลิต (produced water) ไหลผ่าน โดยความเข้มข้นกัมมันตภาพของเรเดียมในน้ำและคราบที่เกาะในท่อนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเรเดียมที่มีอยู่ในแหล่งน้ำมันและโครงสร้างธรณีวิทยาบริเวณนั้น

จึงสรุปได้ว่า NORM ที่พบในเครื่องมือและกากจากกระบวนการผลิตปิโตรเลียมอาจอยู่ในรูปของ

- สลัดจ์ (Sludge) และตะกรัน (Scale) ตามท่อ (tubing) ในระบบผลิตบนดินและภายในท่อของหลุมทั้งน้ำ บ่ออัดน้ำกลับ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีการสัมผัสหรือปฏิบัติงานกับน้ำจากแหล่งน้ำมันและก๊าซต่างๆ ธาตุที่อาจพบ คือธาตุเรเดียม-226 (^{226}Ra) และ ก๊าซเรดอน-222 (^{222}Rn)
- คราบบาง ๆ (Film) ของ ตะกั่ว-210 (^{210}Pb) และ โพลonium-210 (^{210}Po) ที่เกาะติดภายในผิวของท่อและอุปกรณ์อื่นที่ใช้ในการผลิตและขนส่งก๊าซธรรมชาติ
- น้ำในกระบวนการผลิต (Produced water) โดยเฉพาะแหล่งผลิตที่มีอายุการดำเนินการมานาน
- ดินปนเปื้อน NORM ในบริเวณที่มีการกำจัดของเสีย หรือทำความสะอาดท่อ หรือ บริเวณที่ปล่อยทิ้งของน้ำจากกระบวนการผลิต (Produced water)



รูปที่ 2.2 แสดงการแทรกตัวเข้าสู่กระบวนการผลิตปิโตรเลียมของ NORM



รูปที่ 2.3 แสดงอุปกรณ์และการเกิดกากในกระบวนการผลิตปิโตรเลียม[9]

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของยูเรเนียม ทอเรียม และเรเดียมในหินและน้ำประเภทต่าง ๆ[10]

Type of sample		^{238}U		^{232}Th		$^{226}\text{Ra}^{(1)}$	
		(ppm)	(mBq/g)	(ppm)	(mBq/g)	(ppm)	(mBq/g)
Igneous	Granite	2-10	25-120	5-30	20-120	0.5-4	25-120
	Grabbo	0.5-2	5-25	2-6	5-25	0.1-0.5	5-25
	Basalt	0.1-1	1-10	0.3-4	1-15	0.02-0.5	1-10
	Ultramafic	<0.,02	<0.2	<0.05	<0.2	<0.01	<0.2
Sedimentary	Shale	2-4	25-50	5-15	20-120	0.05-1	25-50
	Limestone	1-3	10-40	0-3	0-10	0.2-1	10-40
	Speleothem	1-3	10-40	0-3	0-10	0.2-1	10-40
	Coral	2-4	25-40	<0.01	<0.04	0.5-1	25-50
	Clay	1-4	10-50	1-15	5-60	0.2-1	10-50
Water ⁽²⁾	Sea water	3-4	40-50	<0.01	<0.05	0.01-0.1	0.5-5
	River water	0.1-1	1-10	<0.01	<0.05	0.01-0.1	0.5-5

(1) ค่าเป็นอัตราส่วนสำหรับสมดุลถาวรระหว่างทุกไอโซโทปของการสลายตัวในอนุกรมยูเรเนียม

(2) หน่วยสำหรับตัวอย่างน้ำคือ (ppb) และ (mBq/liter)

2.2.1 ระดับความแรงรังสีหรือความแรงรังสีจำเพาะ (Activity level/Specific activity)

ความแรงรังสี คือ ค่าที่บอกถึงการสลายตัวของอะตอมของสารกัมมันตรังสีต่อเวลา ซึ่งการสลายตัวนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การแผ่รังสี เนื่องจากมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีซึ่งประกอบด้วยอนุภาคและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หน่วยที่ใช้ในการวัดความแรงรังสีคือ คูรี (1 คูรีเท่ากับการสลายตัว 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที) หรือใน หน่วยเอสไอ (SI Unit) คือ เบคเคอเรล (1 เบคเคอเรลเท่ากับการสลายตัว 1 ครั้งต่อวินาที) โดยปกติ ระดับความแรงรังสีของสารรังสีในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมที่พบมีค่าน้อยมากจึงมักใช้หน่วย พิโคคูรี (picoCurie) ซึ่งเท่ากับ 10^{-12} คูรี ส่วนความเข้มข้นกัมมันตภาพจะมีหน่วยเป็น

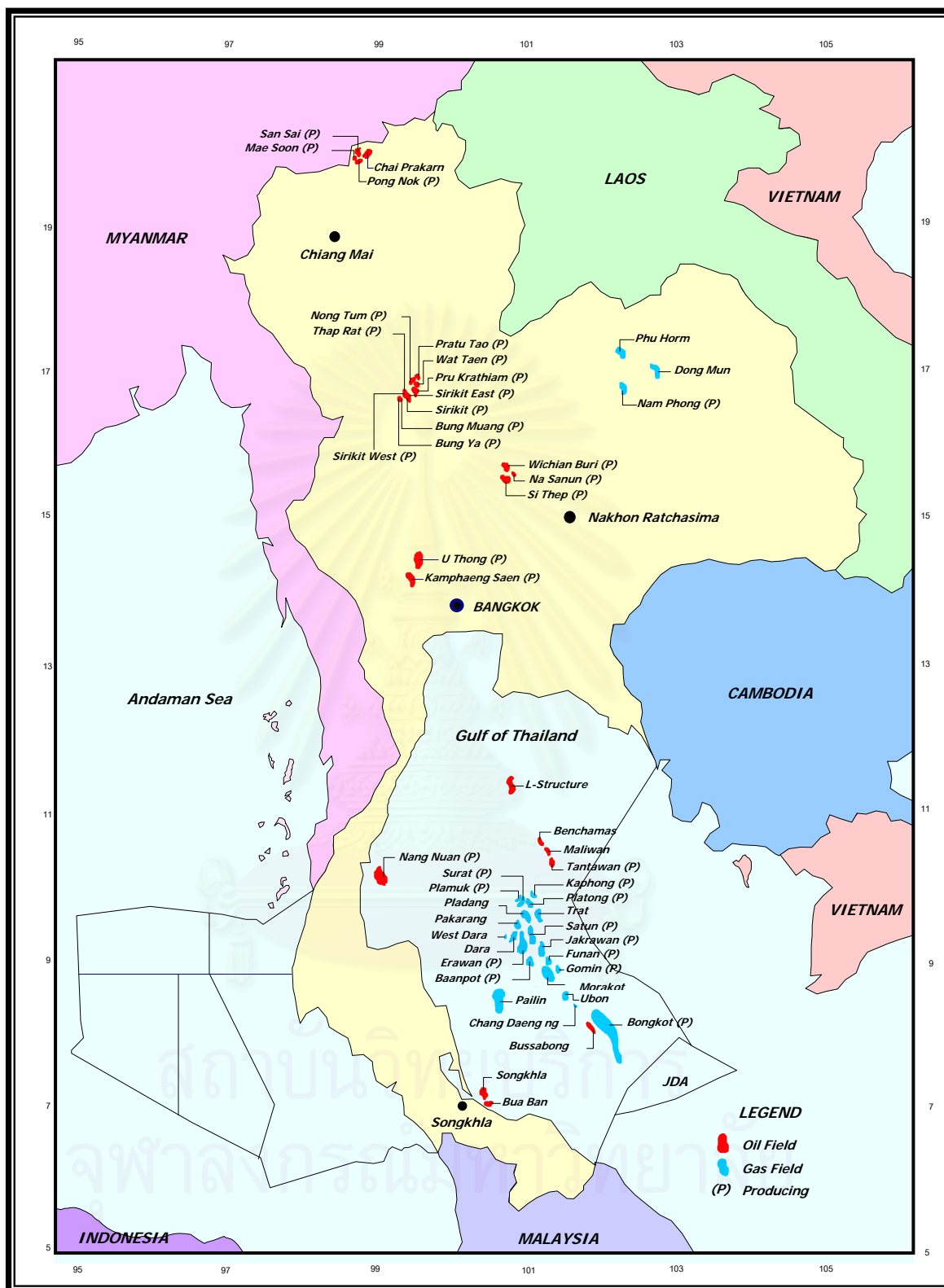
- ความแรงรังสีต่อปริมาตรของวัสดุที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ ได้แก่ เบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตร หรือต่อลิตร (Bq/m^3 , Bq/L) หรือ พิโคคูรีต่อลิตร (liter : pCi/L)
- ความแรงรังสีต่อน้ำหนักของวัสดุที่เป็นของแข็ง ได้แก่ พิโคคูรีต่อกรัม (pCi/g) หรือ เบคเคอเรลต่อกรัม หรือ กิโลกรัม (Bq/g , Bq/kg)

2.3 แหล่งปิโตรเลียมในประเทศไทย[11]

การผลิตปิโตรเลียมในประเทศไทยเริ่มเมื่อปี พ.ศ. 2524 โดยบริษัทยูโนแคล ไทยแลนด์ จำกัด ผลิตก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเอราวัณกลางอ่าวไทย ส่งขึ้นฝั่งที่มาบตาพุดจังหวัดระยอง ปัจจุบันมีผู้รับสัมปทานทำการผลิตปิโตรเลียมทั้งบนบกและในทะเลรวม 8 บริษัทผู้รับสัมปทาน โดยพบแหล่งผลิตปิโตรเลียมทั้งที่หยุดการผลิตแล้วและกำลังทำการผลิตอยู่รวมทั้งสิ้น 33 แหล่ง อยู่ในอ่าวไทย 18 แหล่ง และบนบก 15 แหล่ง ดังนี้

แหล่งผลิตปิโตรเลียม	ผู้ดำเนินการ	ชนิดปิโตรเลียม
แหล่งสิริกิติ์และและใกล้เคียง (7) แปลง S1	ปตท.สผ. สยามจำกัด	น้ำมันและก๊าซ
แหล่งกำแพงแสน,อู่ทอง (2) แปลง PTTEP1	ปตท.สผ.ฯ	น้ำมัน
แหล่งบึงม่วง,บึงหญ้า (2) แปลง NC	ซิโน ยูเอส	น้ำมัน
แหล่งวิเชียรบุรี,ศรีเทพและนาสนุ่น (3) แปลง SW1	แปซิฟิกไทเกอร์	น้ำมัน
แหล่งน้ำพอง (1) แปลง E5	เอ็กซอน โมบิลฯ	ก๊าซธรรมชาติ
แหล่งเอราวัณและแหล่งใกล้เคียง (14) แปลง B10,11,12,13	ยูโนแคลฯ	ก๊าซธรรมชาติและ ก๊าซธรรมชาติเหลว
แหล่งบงกช (1) แปลง B15,16,17	ปตท.สผ	ก๊าซธรรมชาติและ ก๊าซธรรมชาติเหลว
แหล่งทานตะวันและเบญจมาศ (2) แปลง B8/32	เซพรอนออฟชอร์ฯ	น้ำมันและก๊าซ
แหล่งนางนวล (2) แปลง B 6/27	ปตท. สผ.ฯ	น้ำมัน
แหล่งฝาง (1)	กรมพลังงานทหาร	น้ำมัน

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมจาก 2 แหล่งผลิตคือ แหล่งสิริกิติ์ และแหล่ง บงกช



รูปที่ 2.4 แผนที่แสดงแหล่งปิโตรเลียมในประเทศไทย[11]

ตารางที่ 2.7 Petroleum System of Thailand[11]

BASIN	SOURCE ROCKS	RESERVOIR ROCKS	TRAP	SEAL
NORTHERN INTERMONTANE	- Miocene shale	- Miocene Lacustrine sandstone - Fractured/weathered Pre-Tertiary rocks	- Tilted fault, rollover anticline and Stratigraphic trap - Burried Hill type	- Miocene shale
CENTRAL PLAIN	- Miocene shale	- Miocene Fluvio-lacustrine sandstone - Fractured/weathered Pre-Tertiary rocks	- Rollover, faulted anticline, tilted fault and stratigraphic trap - Burried Hill type	- Miocene shale
GULF OF THAILAND	- Oligocene Lacustrine shale - Miocene Alluvial plain and Miocene Delta plain shale - Marine shale (Pattani and Malay basin)	- Miocene/ Oligocene sandstone - Fractured/weathered Pre-Tertiary rocks	- Faulted anticline, tilted faults, rollover anticlines and stratigraphic trap - Burried Hill type	- Miocene/ Oligocene shale
ANDAMAN SEA	- Oligocene deltaic shale and Miocene marine shale	- Oligocene sandstone, Lower Miocene sandstone and carbonate - Fractured/weathered Pre-Tertiary rocks	- Tilted fault, wrench related anticline, shale diapirs, draped horsts and reef - Burried Hill type	- Miocene/ Upper Miocene / Pliocene marine shale
NORTHEASTERN THAILAND	- Triassic Lacustrine shale - Permian marine shale/ carbonates - Upper Carboniferous coal/shale	- Permian carbonates - Triassic Fluvio-lacustrine sandstone	- Anticline, reef, tilted fault and stratigraphic trap	- Permian /Triassic shale - Base Khorat Group

2.3.1 ธรณีวิทยาปิโตรเลียม

2.3.1.1 แหล่งสิริกิติ์

อยู่ในบริเวณอำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร ดำเนินการผลิตโดย บริษัท ปตท. สผ. สยามจำกัด จำกัด (ชื่อเดิมบริษัทไทยเซลล์ เอ็กพลอเรชั่น โพรดักชั่น จำกัด)

- หินต้นกำเนิด (Source Rock) หินต้นกำเนิดปิโตรเลียมในแอ่งพิบูลย์โลกเกิดจากหมวดหินขุมแสง ซึ่งเป็นหินดินดาน และหินโคลน ซึ่งสะสมตัวในสภาพแวดล้อมแบบทะเลสาบน้ำจืด มีคุณสมบัติที่จะให้น้ำมันโดยกำเนิด ซึ่งบริเวณที่ให้กำเนิดปิโตรเลียมนี้อยู่ทางด้านเหนือของแอ่ง จากนั้นจึงเคลื่อนไหลมารวมตัวกันในบริเวณแหล่งสิริกิติ์ ชั้นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมในแอ่งพิบูลย์โลกมีความหนาประมาณ 400 เมตร
- หินกักเก็บ (Reservoir Rock) หินกักเก็บปิโตรเลียมในบริเวณนี้ได้แก่ หินทรายของหมวดหินลานกระบือ (Lan Krabu Formation) ถูกปิดกั้น (seal) ด้วยโคลนจากหมวดหินขุมแสง และจากการเกิดสลับกั้นของหมวดหินทั้ง 2 หมวดทำให้มีหินซึ่งสามารถเก็บน้ำมันได้ถึง 4 ชั้น

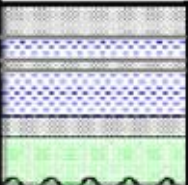




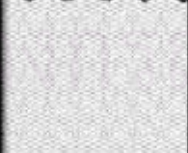
2.3.1.2 แหล่งบงกช

แหล่งบงกชเป็นแหล่งก๊าซในอ่าวไทย แอ่งปัตตานี ปัจจุบันทำการผลิตโดยบริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) อ่าวไทยเป็นแอ่งสะสมตะกอนอายุเทอร์เชียรี วางตัวแนวเหนือ-ใต้ มีลักษณะเป็นแอ่งย่อย ลักษณะแคบและยาวเป็นทั้งกิ่งกราเบนและกราเบน เป็นผลมาจากรอยเลื่อนตามแนวระดับ (Strike-slip Fault) ที่สำคัญคือ รอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ วางตัวแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และรอยเลื่อนระนองคลองमारูย วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีรอยเลื่อนปกติ (normal fault) ที่ทำให้เกิดแอ่งต่างๆ วางตัวในแนวเหนือ-ใต้

ลักษณะของอ่าวไทย แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยที่มีแนวสันเกาะกระเป็นตัวแบ่งคือด้านตะวันตก (Western Graben Area) เป็นบริเวณของแอ่งระหว่างภูเขาซึ่งประกอบด้วยแอ่งเล็กๆ 10 แอ่ง คือ แอ่งสาคร แอ่งปากน้ำ แอ่งหัวหิน แอ่งประจวบ แอ่งตะวันตกเฉียงเหนือ แอ่งตะวันตก แอ่งกระ แอ่งชุมพร แอ่งนคร และแอ่งสงขลา ด้านตะวันออก เป็นบริเวณของแอ่งลึก (Main Basinal Area) ประกอบด้วย 2 แอ่ง คือ แอ่งปัตตานี และแอ่งมาเลย์ หินตะกอนอายุเทอร์เชียรีที่สะสมตัวอยู่ใน

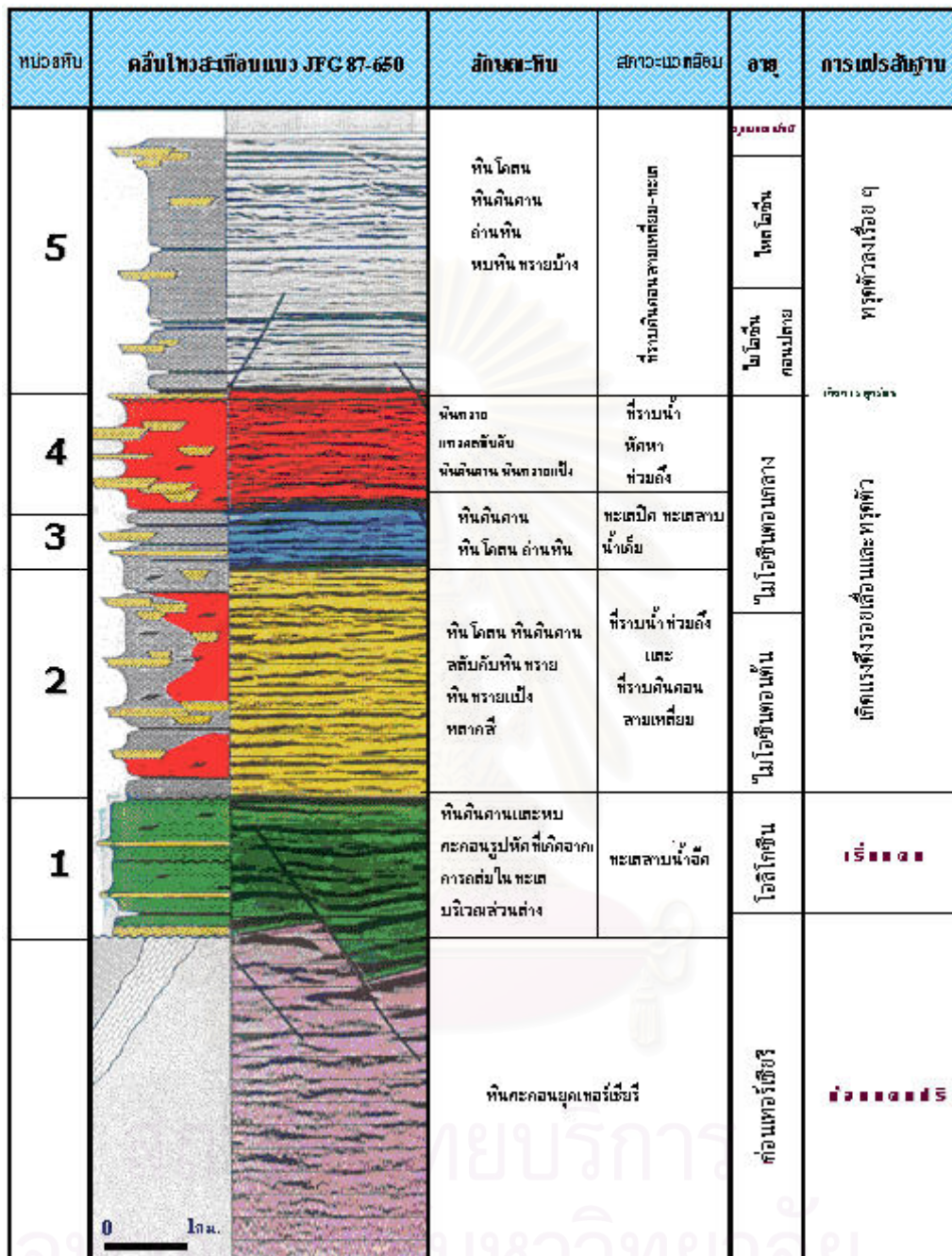
แอ่ง เป็นตะกอนน้ำพา(Alluvial)ทะเลสาบ (Lacustrine) ธารน้ำ พา (Fluviatile) และทะเลน้ำตื้น (Shallow-Marine) มีความหนาไม่เท่ากันโดยที่ชั้นตะกอน Main-Basinal Area หนา 8 กม. ในขณะที่ Western Graben Area จะหนาเพียง 4.5 กม. หรือน้อยกว่านี้ หินพื้นฐานเท่าที่พบเป็น Cretaceous granite และ Permian carbonates

- หินต้นกำเนิด (Source Rock) หินต้นกำเนิดปิโตรเลียมในอ่าวไทย ได้แก่หินตะกอน ซึ่งมีสภาพสะสมตัวแบบทะเลสาบน้ำจืด มีคุณสมบัติให้น้ำมันโดยกำเนิด และหินตะกอนที่มีสภาพสะสมตัวแบบตะกอนทางน้ำและตะกอนปากแม่น้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติที่จะให้ก๊าซธรรมชาติโดยกำเนิด
- หินกักเก็บ (Reservoir Rock) หินกักเก็บในอ่าวไทยส่วนใหญ่เป็นหินทรายพบโดยทั่วไปในแอ่งปัตตานี
- โครงสร้างกักเก็บ (Trap) และหินปิดกั้น (Seal) โครงสร้างกักเก็บในอ่าวไทยส่วนใหญ่เกิดจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกทำให้เกิดแนวรอยเลื่อนอย่างหนาแน่น ซึ่งเป็นโครงสร้างกักเก็บที่ดี ส่วนหินปิดกั้นในอ่าวไทยได้แก่หินดินดานและหินโคลนที่สะสมตัวในทะเลอ่าวไทย

AGE	UNIT	THICKNESS (UP TO)	LITHOLOGY	ENVIROMENT
LATE MIOCENE - RECENT	IV	1,300 m.	 <p>SANDS/GRAVELS WITH ASSOCIATED CLAYS Sands, clear, white coarse grained, occasionally gravel Gravels, varigrained, lithic Clays, varicoloured, sandy, silty</p>	Alluvial Fan & Alluvial Plain
MIDDLE MIOCENE - LATE MIOCENE	III B	1,600 m.	 <p>SANDS/ CLAYS Sands, clear, white, coarse grained, occasionally gravel Clays, varicoloured, sandy, silty</p>	Fluviatile
	III A	2,200 m.	 <p>SAND(STONES)/ CLAY(STONES) Sand(stones), Clear, white, fine - coarse grained Clay(stones), redbrown, varicoloured, sandy, silty</p>	Ephemeral Lacustrine Fluviatile & Alluvial plain
EARLY MIOCENE - MIDDLE MIOCENE	II	2,200 m.	 <p>CLAYSTONES AND SILTSTONES / SANDSTONES Claystones and siltstones, gray, silty, occasionally gas tripod-bearing and carbonaceous Sandstone, clear, white, grey, fine-medium grained, thinly bedded</p>	Lacustrine & Fluvialacustrine
OLIGOCENE - EARLY MIOCENE	I	1,200 m.	 <p>CLAYSTONES Claystone, redbrown, occasionally gray to varicoloured, with minor coarse, fine thick sandstones</p>	Alluvial & Flood Plains, Fluvio- & Ephemeral Lacustrine
PRE-TERTIARY BASEMENT			 <p>MESOZOIC-PALEOZOIC CLASTIC, CARBONATE, VOLCANIC CLASTIC, IGNEOUS, AND METAMORPHIC ROCK</p>	

รูปที่ 2.5 การเรียงลำดับชั้นหินในแอ่งพิษณุโลก แหล่งสิริกิติ์[11]

การเรียงลำดับชั้นหินยุคเทอร์เชียรีในแอ่งปิดตานี อ่าวไทย
(จากบริษัทยูทิลิตี้ไทยแลนด์ จำกัด)



รูปที่ 2.6 การเรียงลำดับชั้นหินในแอ่งปิดตานี อ่าวไทย[11]

2.4 เรเดียม

เรเดียม-226 เป็นไอโซโทปรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในปริมาณมาก เมื่อเทียบกับไอโซโทปอื่น ๆ ของเรเดียมเพราะนอกจากจะมีครึ่งชีวิตที่ยาวมาก ($T_{1/2}=1600$ ปี) แล้วยังอยู่ในอนุกรมยูเรเนียม-238 ที่มีอยู่ในธรรมชาติปริมาณสูงด้วย ในระบบตารางธาตุเรเดียมถูกจัดอยู่ในหมู่ที่สอง ซึ่งเป็นหมู่ของธาตุอัลคาไลเอิร์ธ อันได้แก่ แบรียม (Be), แมกนีเซียม (Mg), แคลเซียม (Ca), สตรอนเชียม (Sr), แบเรียม (Ba) และเรเดียม (Ra) ธาตุอัลคาไลเอิร์ธเหล่านี้จะไม่พบเป็นธาตุอิสระในธรรมชาติ แต่พบเป็นคาร์บอเนต, ซัลเฟต และคลอไรด์ในแร่ต่าง ๆ เช่นพบแคลเซียมเป็น CaCO_3 อยู่ในรูปต่าง ๆ เช่นหินอ่อน หินปูน แคลไซต์ พบสตรอนเชียม เป็น SrCO_3 อยู่ในรูปของแร่สตรอนไทไนท์ และแบเรียมเป็น BaSO_4 ในรูปของแร่แบไรท์ สำหรับ สตรอนเชียม และแบเรียม ค่อนข้างหายาก ส่วนเรเดียมเป็นธาตุที่มีอยู่น้อยและเป็นธาตุกัมมันตรังสี สารประกอบของโลหะในหมู่อัลคาไลเอิร์ธ มักไม่ค่อยละลายน้ำ คุณสมบัติในการละลายจะลดลงเมื่อโลหะมีขนาดโตขึ้นหรือเลขอะตอมสูงขึ้น ดังนั้นเรเดียมจึงมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำที่สุดในธาตุหมู่เดียวกัน เรเดียมจะไม่แตกตัวในน้ำที่มีค่า pH ต่ำกว่า 12 ซึ่งไม่พบในน้ำภาคพื้นทวีป เมื่ออยู่ในสารละลาย เรเดียมจะอยู่ในรูป Ra^{2+} ถึงแม้ในธรรมชาติจะมีเรเดียมที่เกิดเป็นแร่ร่วมกับธาตุอื่น ๆ น้อยมาก แต่ Ra^{2+} สามารถตกตะกอนร่วมกับโลหะอัลคาไลเอิร์ธซัลเฟต และ แร่คาร์บอเนต เช่น CaCO_3 , SrSO_4 , SrCO_3 หรือ BaSO_4 โดยเฉพาะหากมี BaSO_4 เกิดร่วมกับแหล่งที่มีความเข้มข้นของยูเรเนียมสูง อาจเป็นสาเหตุในการเพิ่มปริมาณธาตุกัมมันตรังสี เนื่องจากเกิดการแทนที่ ของแบเรียมกับเรเดียม

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติตามตารางธาตุของโลหะในกลุ่มอัลคาไลเอิร์ธ[12]

	Ca	Sr	Ba	Ra
Atomic radius (Å)	1.97	2.15	2.22	2.33
Oxidation number	2	2	2	2
Ionic radius (Å)	0.99	1.12	1.34	1.43
Electronegativity	1	0.95	0.89	0.89

ตารางที่ 2.9 Solubilities of simple Group II salts / mol dm⁻³[13]

	chloride Cl ⁻	hydroxide OH ⁻	carbonate CO ₃ ²⁻	sulfate SO ₄ ²⁻
Mg ²⁺	5.57	2 x 10 ⁻⁴	1.5 x 10 ⁻³	1.83
Ca ²⁺	5.36	1.53 x 10 ⁻²	1.3 x 10 ⁻³	4.66 x 10 ⁻²
Sr ²⁺	0.1	3.37 x 10 ⁻²	7.38 x 10 ⁻⁵	7.11 x 10 ⁻⁴
Ba ²⁺	1.46	0.15	9.12 x 10 ⁻⁵	9.43 x 10 ⁻⁶

2.5 การวัดความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมโดยระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา

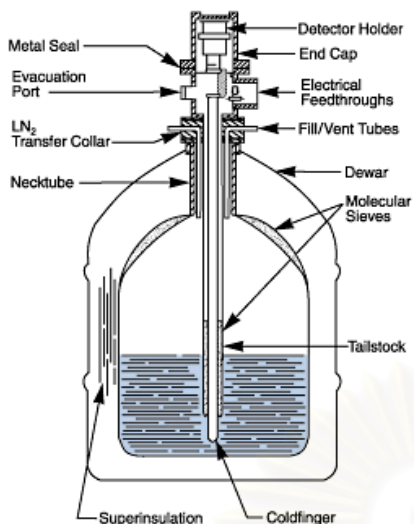
2.5.1 ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา

สำหรับระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาสำหรับการวิจัยนี้ใช้หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detectors) ชนิดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (High-purity germanium, HPGe) ซึ่งมีความสามารถในการจำแนกพลังงานของอนุภาคออกจากสเปกตรัมพลังงานที่มีหลายพลังงาน ข้อดีอื่น ๆ ของหัววัดชนิดนี้คือ

- ตอบสนองเชิงเส้นในช่วงกว้างของพลังงาน
- ประสิทธิภาพสูงกว่าหัววัดประเภทอื่นในขนาดเดียวกันเนื่องจากความหนาแน่นสูงของวัสดุของแข็งที่ใช้ทำหัววัด
- มีความเป็นไปได้อย่างดีสำหรับการจัดวางเชิงเรขาคณิตพิเศษ
- เวลาลาดพัลส์เร็ว (Fast pulse risetime)
- สามารถทำงานในสุญญากาศ
- ไม่ไวต่อสนามแม่เหล็ก

ข้อจำกัดในการใช้งานหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ คือ ราคาของหัววัดสูงมากเมื่อเทียบกับหัววัดรังสีแบบอื่น ๆ และ ความจำเป็นที่ต้องให้มีการทำงานของหัววัดที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส เป็นตัวลดอุณหภูมิ

ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา โดยทั่วไปจะประกอบด้วย หัววัด และเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (Multichannel analyzer, MCA) โดยหัววัดจะต่ออยู่กับแอมพลิฟายเออร์ เพื่อขยายสัญญาณ และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงจ่ายกระแสให้กับหัววัด ในแต่ละอันตรกิริยา พลังงานรังสีที่เข้ามาจะถ่ายทอให้กับอิเล็กตรอนในอะตอมของหัววัดเกิดเป็นสัญญาณพัลส์ เครื่องวิเคราะห์



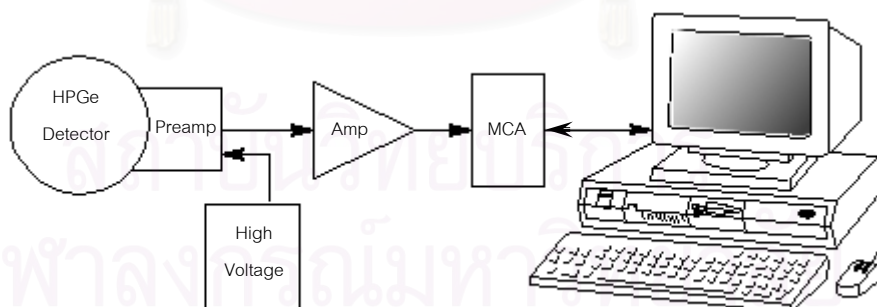
(a)



(b)

รูปที่ 2.7 หัววัดรังสีแบบ HPGe

สัญญาณหลายช่อง (MCA) จะบันทึกและเก็บพัลส์ที่ขึ้นอยู่กับขนาดความสูง หน่วยเก็บแต่ละหน่วยจะเรียกว่าช่อง (channel) ความสูงของพัลส์จะทำให้ทราบจะทำให้ทราบความสัมพันธ์ในรูปของปฏิภาคกับพลังงานที่เข้าสู่หัววัด แต่ละพัลส์จะถูกเก็บในช่องเฉพาะที่สมนัยกับพลังงานนั้น ๆ การแจกแจงของพัลส์ในช่องก็คือภาพของการแจกแจงพลังงานของอนุภาค เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (MCA) จะเปลี่ยนสัญญาณที่บันทึกเป็นสัญญาณดิจิทัลและแสดงผลออกมาเป็นสเปกตรัม



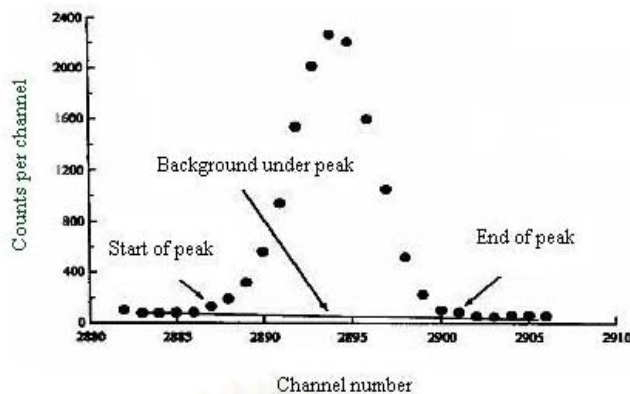
รูปที่ 2.8 แผนผังการจัดระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมา

เมื่อมีรังสีแกมมาตกกระทบบนหัววัด จะเกิดอันตรกิริยาแบบต่าง ๆ ดังนี้คือ

- โฟโตอิเล็กทริก เป็นกระบวนการที่โฟตอนถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในการชนเพียงครั้งเดียวอิเล็กตรอนจะหลุดออกจากวงโคจร โดยมีพลังงานจลน์เท่ากับพลังงานของโฟตอนลบด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน
- คอมป์ตัน คือการที่โฟตอนเกิดอันตรกิริยากับอะตอมในวัสดุโดยถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนที่ถูกชนหลุดออกไปเพียงส่วนหนึ่งและส่วนที่เหลือจะเป็นโฟตอนที่มีความถี่และทิศทางเปลี่ยนไปจากเดิม และสามารถทำอันตรกิริยาอื่นๆ ได้อีก หากมีพลังงานเพียงพอ
- แพร่ โปรดัคชัน (pair production) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อรังสีแกมมาที่มาตกกระทบมีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV โดยโฟตอนจะหายไปและเกิดเป็นอิเล็กตรอนและโพสิตรอนขึ้นมาหนึ่งคู่ พลังงานของโฟตอนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคทั้งสอง และเมื่อโพสิตรอนสูญเสียพลังงานทำให้เคลื่อนที่ช้าลงก็จะเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอนกลายเป็นโฟตอนสองตัวที่มีพลังงานตัวละ 0.511 MeV เคลื่อนที่ออกจากกันไปในทิศทางตรงกันข้าม เรียกโฟตอนนี้ว่า แอนนิฮิเลชัน โฟตอน (Annihilation Photon)

2.5.2 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

สำหรับการหาความแรงรังสีจากการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา ทำได้โดยการวัดอัตราการนับสำหรับแต่ละนิวไคลด์ที่มีอยู่ในสเปกตรัม พารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการคำนวณหาความแรงรังสีก็คือ ความเข้มรังสีสุทธิ (net peak area) เวลาที่ต้องการนับวัด (total live time) และเวลาที่ใช้จริง (total time) ของแต่ละโฟโตพีคสำหรับนิวไคลด์ที่ต้องการหาความแรงรังสี การเลือกโฟโตพีคขึ้นอยู่กับความแรงรังสีของนิวไคลด์นั้น ๆ เนื่องจาก มีโฟโตพีคของนิวไคลด์ตัวอื่น ๆ จากตัวอย่างปรากฏอยู่ในสเปกตรัมด้วย ทำให้สเปกตรัมมีความซับซ้อน โดยปกติจะเลือกใช้โฟโตพีคที่มีความเข้มสูงสุดเพราะโฟโตพีคที่มีความเข้มสูงสุดจะให้ความไวที่ดีกว่า ทำการหาพื้นที่ใต้พีค (total peak area) ที่สนใจโดยการรวมอัตราการนับของพีคในช่วงที่สนใจ และลบด้วยแบลคกราวด์ใต้พีคในช่วงเดียวกัน จะได้ความเข้มรังสีสุทธิ ซึ่งก็คือค่าอัตราการนับของนิวไคลด์ที่ต้องการ



รูปที่ 2.9 การหาความเข้มรังสีสุทธิ (net peak area)

2.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นและความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม

2.5.3.1 การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226

การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของ ^{226}Ra ด้วยหัววัดรังสีเจอร์มานเนียมชนิดความบริสุทธิ์ สูงสามารถใช้ในการตรวจวัดได้ 2 วิธีคือ

- วัดโดยตรงจากรังสีแกมมาพลังงาน 186.2 keV ของ ^{226}Ra
- วัดโดยอ้อมจากนิวไคลด์ลูกซึ่งได้จากการสลายตัวของ ^{226}Ra คือ ^{214}Pb ที่พลังงาน 352 keV และ ^{214}Bi ที่พลังงาน 609 keV ภายหลังการเกิดสภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสีกับ ^{226}Ra

จากนั้นคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเรเดียมชนิดผงและใช้วิธีวัดสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีแกมมาพลังงานต่ำของสารมาตรฐานและตัวอย่างในการคำนวณปรับแก้ค่าผลการวิเคราะห์รังสีแกมมา

2.5.3.2 การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-228

การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของ ^{228}Ra สามารถวัดทางอ้อมจากนิวไคลด์ลูกซึ่งได้จากการสลายตัวของ ^{228}Ra คือ ^{228}Ac พลังงาน 911 keV และ ^{208}Tl พลังงาน 538 keV ภายหลังการเกิดสภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสีกับ ^{228}Ra และคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานทอเรียม

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเอง

$$f_{ab} = \frac{\ln(I_0 / I_x)}{1 - (I_x / I_0)} \quad \text{-----}(2.1)$$

เมื่อ f_{ab} = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเอง

I_0 = ค่าอัตรานับวัดรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านขณะไม่มีสารตัวอย่าง

I_x = ค่าอัตรานับวัดรังสีสุทธิที่ทะลุผ่านสารตัวอย่าง

การคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

$$A_{(sample)} = A_{(Std)} \times \frac{wt_{(Std)}}{wt_{(sample)}} \times \frac{R_{(sample)}}{R_{(Std)}} \times \frac{f_{ab(sample)}}{f_{ab(Std)}} \quad \text{-----}(2.2)$$

เมื่อ $A_{(Std)}$ = ความแรงรังสีของสารมาตรฐาน (พิโคคูรีต่อกรัม)

$A_{(Sample)}$ = ความแรงรังสีของตัวอย่าง (พิโคคูรีต่อกรัม)

$Wt_{(Std)}$ = น้ำหนักสารมาตรฐาน (กรัม)

$Wt_{(Sample)}$ = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$R_{(Std)}$ = อัตรานับรังสีสุทธิของสารมาตรฐาน จำนวนนับ / วินาที)

$R_{(Sample)}$ = อัตรานับรังสีสุทธิของตัวอย่าง (จำนวนนับ / วินาที)

$f_{ab(Std)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเองของสารมาตรฐาน

$f_{ab(sample)}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเองของตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง

2.6.1 เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์[14]

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเพื่อที่จะเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กับความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่าง ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้เลือกวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence Technique, XRF) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารตัวอย่างต่าง ๆ ทั้งในเชิงอนุมาณและเชิงปริมาณ หลักการคือ กระตุ้นสารตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา หรืออนุภาค เช่น อิเล็กตรอนหรือโปรตอน อะตอมของธาตุต่าง ๆ ในสารตัวอย่างหลังจากโดนกระตุ้นจะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะ (characteristic X-ray) รังสีที่ปล่อยออกมานี้จะมีพลังงานอยู่ในช่วงประมาณ 1-60 keV ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณขีดจำกัดในการตรวจวัด (detection limit) อาจตรวจได้ถึงระดับ 1 ppm และถ้าใช้สารตัวอย่างแบบฟิล์มบาง (thin film sample) อาจตรวจได้ถึงระดับต่ำกว่า 1 ppm ในช่วงแรก ๆ นั้นเทคนิคนี้ เป็นที่นิยมในการตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างทางโลหกรรม (metallurgy) และทางด้านธรณีเคมี (geochemistry) แต่ในระยะหลังเริ่มมีการนำไปใช้ในงานต่าง ๆ มากขึ้นกว่าเดิม เช่น สารตัวอย่างจากการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม การตรวจวิเคราะห์กัมมันตและธาตุอื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เป็นต้น

เครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองมีข้อได้เปรียบในการใช้งานเมื่อเทียบกับเครื่องมืออื่นอยู่หลายประการ เช่น ตรวจวิเคราะห์เชิงอนุมาณได้ในเวลาอันรวดเร็ว ตรวจได้คราวละหลายธาตุพร้อมกัน (multi-element capability) ไม่ทำลายสารตัวอย่างหรือทำให้สารตัวอย่างสูญเสียสภาพเดิม (non-destructive method) ใช้สารตัวอย่างในสภาพที่เป็นของแข็งได้ ข้อเสียเปรียบที่เห็นได้ชัดคือสภาพไว (sensitivity) ในการตรวจวัด กล่าวคือ ถ้าต้องการตรวจวัดสารที่มีปริมาณน้อยมาก อาจจะตรวจวิเคราะห์ได้ไม่ต่ำมากนักเมื่อเทียบกับเครื่องมืออื่น ในตาราง 2.10 แสดงข้อมูลปริมาณต่ำสุดที่เครื่องมือหรือวิธีแต่ละชนิดจะตรวจวัดได้ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุดของเครื่องมือ/วิธีนั้น ๆ เทาที่จะทำได้

ตารางที่ 2.10 สภาพไวที่สุดในการวิเคราะห์ระดับจุลภาคโดยเครื่องมือ/วิธีต่างๆ ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุด[14]

เครื่องมือ/วิธี	ปริมาณต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (กรัม)
Microchemistry	10^{-9}
Polarography (voltammetry)	10^{-9}
X-ray Fluorescence Spectrometry (XRFS)	10^{-9}
Optical Absorption Spectrometry	10^{-10}
Optical Emission Spectrography	10^{-10}
Atomic Absorption Spectrometry (AAS)	10^{-11}
Flame Emission Spectrometry	10^{-12}
Ion-Induced X-ray Spectrometry	10^{-12}
Ion-Scattering Spectrometry (IIS)	10^{-13}
Mass Spectrometry (MS)	10^{-13}
Neutron Activation Analysis (NAA)	10^{-13}
Optical Fluorescence Microscopy	10^{-14}
X-ray-induced Photoelectron Spectrometry (XPES)	10^{-14}
Auger-Electron Spectrometry (AES)	10^{-15}
Electron-Probe Microanalysis (EPMA)	10^{-15}
Radioactive Tracer Analysis	10^{-18}
Secondary-Ion Mass Spectrometry (SIMS)	10^{-18}

ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องมือที่จะนำมาใช้ศึกษาหาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทางด้านสภาวะแวดล้อม โดยใช้เกณฑ์การเปรียบเทียบดังนี้

- สามารถตรวจหาธาตุได้มากหลายชนิดได้อย่างสะดวก (Multi-element capability)
- สภาพไว (sensitivity)
- มีความแม่นยำและความเที่ยง (Accuracy and precision) ดี
- ต้นทุนในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง (Analysis costs)
- ลักษณะหรือสถานะของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Sample characteristics)
- เป็นวิธีการที่พัฒนามาดีแล้วและเป็นที่ใช้กันโดยทั่วไป (Availability)

จากเกณฑ์ 6 ข้อที่ตั้งไว้นี้ได้้นำเครื่องมือ 5 ชนิดมาเปรียบเทียบกันในแต่ละหัวข้อ ดังแสดงในตารางที่ 2.11

2.6.2 หลักการเรืองรังสีเอกซ์

เมื่อมีการกระตุ้นสารตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาหรืออนุภาค เช่น อิเล็กตรอนหรือโปรตอน จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับตัวกลาง ผลที่เกิดตามมาก็คือ การหลุดออกไปจากชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอน ทำให้มีช่องว่างเกิดขึ้นภายในชั้นวงโคจร ผลที่เกิดตามมาก็คือ การแทนที่ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นวงโคจรถัดไป เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่วงโคจรนอกเข้าไปแทนที่ยังที่ว่างในวงโคจรชั้นในนั้น อิเล็กตรอนจะคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า รังสีเอกซ์เรือง (Fluorescent x-ray) หรือรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray)

รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะประกอบไปด้วยอนุกรมของรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวหลายพลังงาน ซึ่งแต่ละพลังงานจะมีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานระหว่างชั้นวงโคจรที่อิเล็กตรอนเข้าแทนที่ และมีค่าเฉพาะในแต่ละธาตุ ซึ่งอนุกรมรังสีเอกซ์ที่ถูกปล่อยออกมาแต่ละชั้นวงโคจรจะมีชื่อเรียกตามชั้นวงโคจรที่เกิดช่องว่างและถูกของอิเล็กตรอนเข้าแทนที่

2.6.3 ระบบวิเคราะห์รังสีเอกซ์

ในการวิเคราะห์ธาตุโดยการเรืองรังสีเอกซ์นั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ คือ

2.6.3.1 Non-dispersion หรือ Energy Dispersive X-ray Fluorescence System (EDXRF)

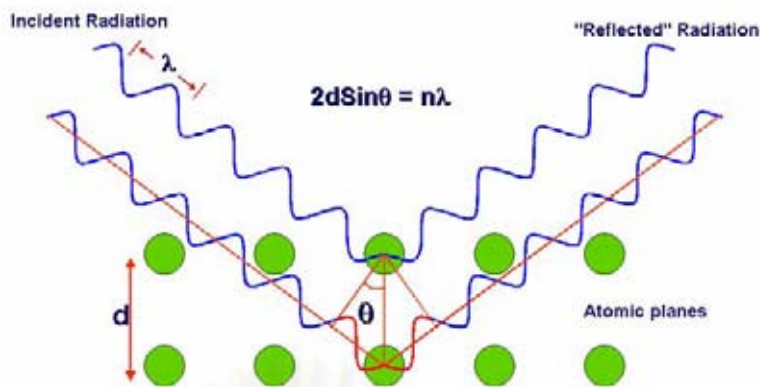
ระบบ EDXRF เป็นระบบวิเคราะห์รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างโดยตรง สเปกตรัมรังสีเอกซ์ถูกแจกแจงตามค่าพลังงานโดยที่ต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ (Primary -radiation source) อาจมาจากแหล่งกำเนิดรังสีที่เป็นหลอดรังสีเอกซ์หรือที่เป็นธาตุกัมมันตรังสีก็ได้

2.6.3.2 Dispersion หรือ Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence System (WDXRF)

ระบบ WDXRF เป็นระบบวิเคราะห์รังสีเอกซ์ ซึ่งจะแจกแจงรังสีเอกซ์ตามความยาวคลื่น โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตามสมการของแบร็กก์ดังนี้

$$\text{Bragg's Law} \quad 2d \sin \theta = n\lambda \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

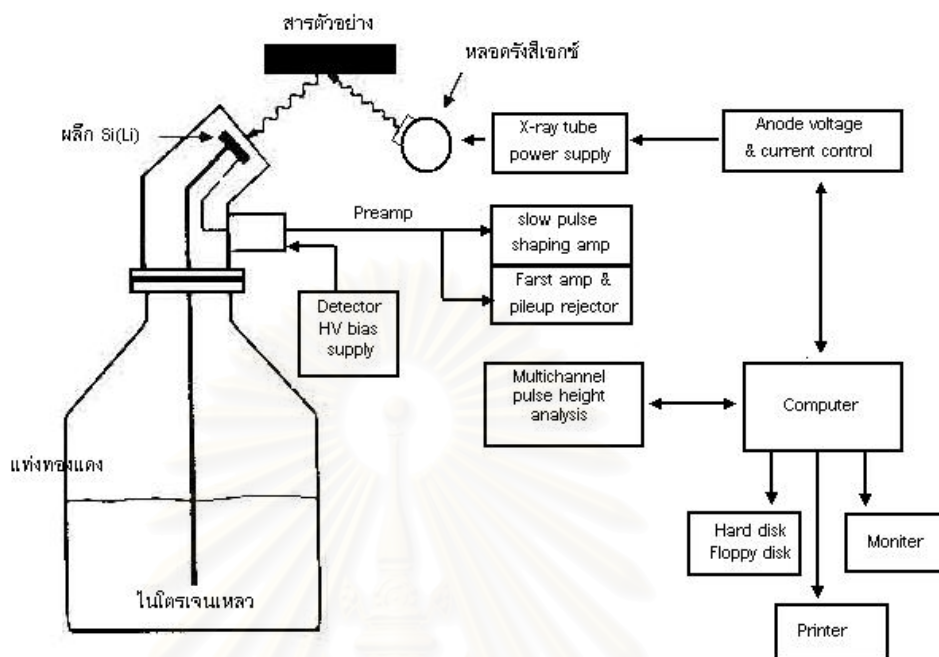
เมื่อ	d	คือ	ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก
	θ	คือ	มุมตกกระทบซึ่งเท่ากับมุมสะท้อน
	n	คือ	เลขจำนวนเต็มมีค่าเท่ากับ 1, 2, 3,
	λ	คือ	ความยาวคลื่น



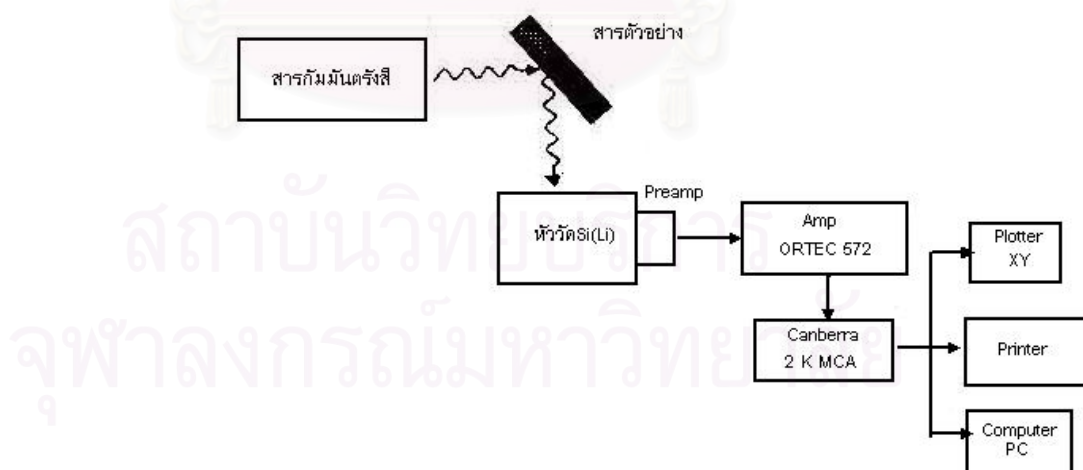
รูปที่ 2.10 การเลี้ยวเบนของรังสีเมื่อผ่านผลึกภายใต้เงื่อนไขของ Bragg's Law

ระบบ WDXRF ประกอบด้วย

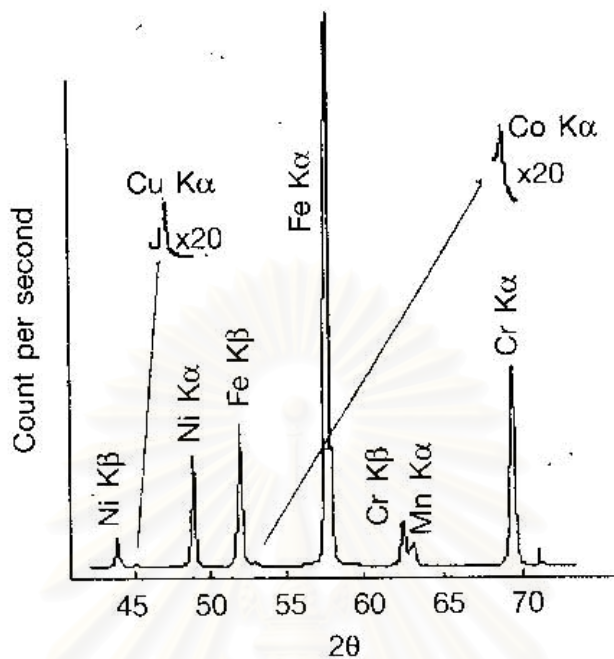
- ผลึกวิเคราะห์ (Analyzing crystal) ทำหน้าที่หักเหรังสีตามสมการของแบร์รีก์ (สมการ 2.1) และกระจายหรือแยกแยะรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่าง ๆ กันตามลำดับความยาวคลื่น ความเข้มรังสีจะถูกวัดด้วยการสแกนของหัววัดรังสี สัญญาณที่วัดได้จะแสดงผลเป็นสเปกตรัมความเข้มรังสีเอกซ์กับมุม 2θ ซึ่งแปรผันตามความยาวคลื่น
- ต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ ได้แก่หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์
- หัววัดรังสีเอกซ์
- เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA)
- โคนิโอมิเตอร์ (Goniometer) ซึ่งใช้ควบคุมปรับเปลี่ยนมุมระหว่างสารตัวอย่าง ผลึกกระจายรังสีและหัววัดให้เหมาะกับรังสีนั้น ๆ
- พรีแอมพลิไฟเออร์ (preamplifier) และแอมพลิไฟเออร์ (amplifier) ทำหน้าที่ขยายและปรับแต่งสัญญาณ
- Collimator



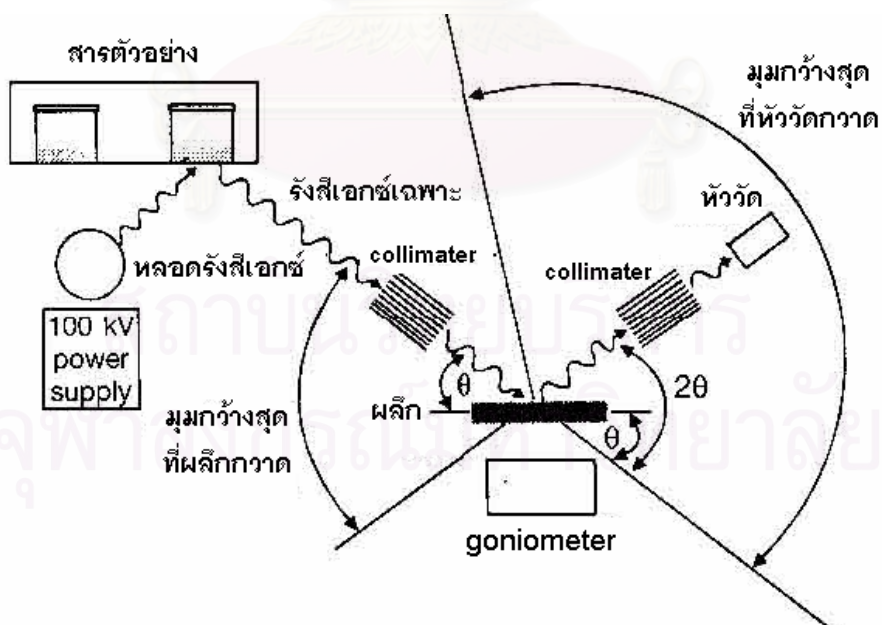
รูปที่ 2.11 แผนภาพแสดงองค์ประกอบของระบบวิเคราะห์ EDXRF[14]



รูปที่ 2.12 แผนภาพแสดงการจัดวางตัวอย่างระบบวิเคราะห์ EDXRF[14]



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างสเปกตรัมจากเครื่อง WDXRF สารตัวอย่างเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 347[14]



รูปที่ 2.14 การจัดวางหลอดรังสีเอกซ์ สารตัวอย่างและหัววัดในระบบวิเคราะห์ WDXRF[14]

2.6.4 เทคนิคการวิเคราะห์

2.6.4.1 การวิเคราะห์เชิงอนุมาน (Qualitative Analysis)

ในการวิเคราะห์เชิงอนุมานเพื่อธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารตัวอย่าง โดยวิธี XRF นั้น กระทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยใช้ระบบวิเคราะห์ EDXRF เนื่องจากระบบนี้ใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA) ทำให้สามารถจัดแบ่งช่วงรับสัญญาณให้ครอบคลุมช่วงพลังงานกว้าง ๆ ได้ ด้วยเหตุนี้การตรวจวัดพลังงานของรังสีเอกซ์เข้าสู่หัววัดจึงสามารถกระทำพร้อม ๆ กันหลายระดับพลังงาน จากข้อมูลสเปกตรัม XRF ของสารตัวอย่าง สามารถนำมาตีความเป็นการวิเคราะห์เชิงอนุมานได้ทันทีว่าในสารตัวอย่างมีธาตุใดเป็นองค์ประกอบอยู่บ้าง ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการบ่งบอกว่ามีธาตุใดอยู่บ้างนั้นก็คือตำแหน่งของพีคต่าง ๆ ที่ปรากฏที่แต่ละค่าพลังงานนั่นเอง เนื่องจากแต่ละธาตุจะมีค่าพลังงานเฉพาะและไม่ซ้ำกัน

2.6.4.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis)

ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ได้จากสารตัวอย่างกับความเข้มรังสีเอกซ์ที่ได้จากสารมาตรฐาน โดยความเข้มที่เกิดจากธาตุนั้นจะเกี่ยวข้องกับการดูดกลืนและการปลดปล่อยของรังสีเอกซ์ของธาตุนั้น รวมทั้งธาตุต่างๆที่เป็นส่วนประกอบของสารต่างๆหรือเรียกว่า “Matrix Element” ดังนั้นในการวิเคราะห์จะต้องแก้ไขหรือลดผลจากผลของแมทริกซ์นี้ ทำให้ในทางปฏิบัติมีเทคนิคการวิเคราะห์เชิงปริมาณหลายวิธี เช่น Comparison-standard method, thin film technique, Dilution technique, Standard addition technique, internal standard technique, Scatter correction และ Mathematical correction

เทคนิคในการวิเคราะห์เชิงปริมาณต่างๆเหล่านี้ การเตรียมสารตัวอย่างจะต้องเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน ขนาดของอนุภาคจะต้องละเอียดมากๆ และผิวหน้าจะต้องเรียบ โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในการวิเคราะห์บางเทคนิค ดังนี้

- วิธีเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน (Comparison-standard method)

วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยการทำการมาตรฐาน (calibration) จากการใช้สารมาตรฐานซึ่งมีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน หรืออาจใช้วิธีเปรียบเทียบกันโดยตรงดังสมการที่ 2.3

$$\frac{I_x}{I_s} = \frac{C_x}{C_s} \quad \text{.....(2.4)}$$

เมื่อ I_x และ I_s เป็นความเข้มของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน
 C_x และ C_s เป็นความเข้มข้นของสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน

- วิธี Dilution (Dilution Technique)

วิธีนี้เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันทั่วไปเพื่อลดผลของแมทริกซ์ โดยใช้วิธีทำให้สารมาตรฐานและสารตัวอย่างเจือจางด้วยการเติมตัวทำละลาย (solvent) หรือ diluent ลงไป สารพวกนี้จะมีการดูดกลืนรังสีเอกซ์ต่ำ เช่น LiCO_3 หรืออาจใช้วิธีหลอมสารตัวอย่างกับฟลักซ์ เช่น พวกบอแรกซ์ คาร์บอนेट หรือ ไพโรซิลเฟต ดังนั้น

$$\lim_{W_u \rightarrow 0} \mu_{\text{sample}} = \mu_{\text{solvent}} \quad \text{.....(2.5)}$$

เมื่อ W_u คือ weight fraction ของสารตัวอย่าง
 μ คือ ค่าเฉลี่ยของ linear absorption coefficient ของสารตัวอย่างและตัวทำละลายที่ความยาวคลื่นกำหนดให้

- วิธีการเติมมาตรฐาน (Standard Addition technique)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ใช้วิธีเติมมาตรฐานลงไปในการวิเคราะห์ โดยธาตุที่เติมลงไปจะเป็นชนิดเดียวกันกับธาตุที่จะวิเคราะห์ เพื่อวัดค่าความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เพิ่มขึ้นเทียบกับความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวก่อนเติมมาตรฐาน แล้วนำค่ามาคำนวณดังสมการ

$$\frac{I_x}{I_{x+\Delta x}} = \frac{C_x}{DC_x + C_{\Delta x}} \quad \text{.....(2.6)}$$

เมื่อ C_x คือ ความเข้มข้นของธาตุที่สนใจ
 I_x คือ ความเข้มรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่สนใจ

D คือ dilution factor ซึ่งเท่ากับ $\text{น.น.ตัวอย่าง} / (\text{น.น.ตัวอย่าง} + \text{น.น.สารมาตรฐานที่เติม})$

$C_{\Delta X}$ คือ ความเข้มข้นของธาตุที่สนใจจากสารมาตรฐานที่เติมลงไป ซึ่งเท่ากับ $\text{น.น.ของธาตุที่เติมลงไป} / (\text{น.น.ตัวอย่าง} + \text{น.น.ของสารมาตรฐานที่เติม})$

- วิธีการเติมธาตุข้างเคียง (Internal Standard technique)

เป็นเทคนิคที่เติมธาตุมาตรฐานคนละธาตุกับธาตุที่สนใจลงไปในตัวอย่ธาตุที่เติมลงไปเป็น internal standard ปกติจะเติมธาตุที่มีเลขอะตอมมากกว่าหรือน้อยกว่าธาตุที่สนใจอยู่หนึ่งลงไป การคำนวณความเข้มข้นของธาตุที่สนใจสามารถหาได้จาก

$$C_A = C_{IS} \left(\frac{1}{D} \right) \left(\frac{I_{IS}}{I_A} \right)_{std} \left(\frac{I_A}{I_{IS}} \right)_{sam} \dots\dots\dots(2.7)$$

เมื่อ C_A คือ ความเข้มข้นของธาตุที่สนใจ
 C_{IS} คือ ความเข้มข้นของ internal standard ในตัวอย่าง
 $(I_{IS} / I_A)_{std}$ คือ intensity correction factor เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีเอกซ์ของ internal standard ต่อความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุที่สนใจ เมื่อ internal standard กับธาตุที่สนใจมีความเข้มข้นเท่ากัน
 $(I_A / I_{IS})_{sam}$ คือ ส่วนระหว่างความเข้มรังสีเอกซ์ของธาตุที่สนใจต่อความเข้มรังสีเอกซ์ของ internal standard ในตัวอย่าง

- วิธี Scatter Correction

สารตัวอย่างนอกจากจะให้รังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุแล้ว ยังสามารถทำให้รังสีเอกซ์จากหลอดรังสีเอกซ์เกิดการกระเจิงได้ การกระเจิงนี้อาจเป็น coherent นั่นคือ รังสีที่กระเจิงมีพลังงานเท่ากับรังสีเอกซ์เดิม หรืออาจเป็น incoherent ซึ่งรังสีที่กระเจิงนั้นจะมีพลังงานลดลงจากเดิมเล็กน้อย (Compton scatter) การกระเจิงนี้สามารถนำมาใช้แก้ค่าผลของแมทริกซ์ได้ เพราะทั้งรังสีเอกซ์ที่ใช้วิเคราะห์ และรังสีที่กระเจิงต่างก็มีผลกระทบบกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลรวม (Total mass attenuation coefficient) ของตัวอย่าง เทคนิคนี้ให้ผลดีโดยเฉพาะกับสารตัวอย่างที่มีเลขอะตอมต่ำ

2.7 การวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์

การวิจัยครั้งนี้ทำการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม กับ ปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวอย่าง เพื่อการศึกษาหาความสัมพันธ์ที่มีผลให้การเพิ่มขึ้นของ ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่าง

2.7.1 สหสัมพันธ์ (Correlation)[15]

สหสัมพันธ์คือความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ว่ามีความสัมพันธ์ ซึ่งกันและกันและมากน้อยเพียงใด เช่น

ความสูงกับน้ำหนักและอายุ

คะแนนสอบวิชาแคลคูลัสกับคะแนนสอบวิชาสถิติ

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปนั้น ถ้ามีตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัว เรียกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ว่า สหสัมพันธ์อย่างง่าย ซึ่งเป็นการหา สหสัมพันธ์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยตัวแปรที่ใช้ในการหาสหสัมพันธ์คือปริมาณความแรงรังสี รังสีจำเพาะของเรเดียม กับปริมาณธาตุองค์ประกอบที่วัดได้จากตัวอย่าง

2.7.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)[16]

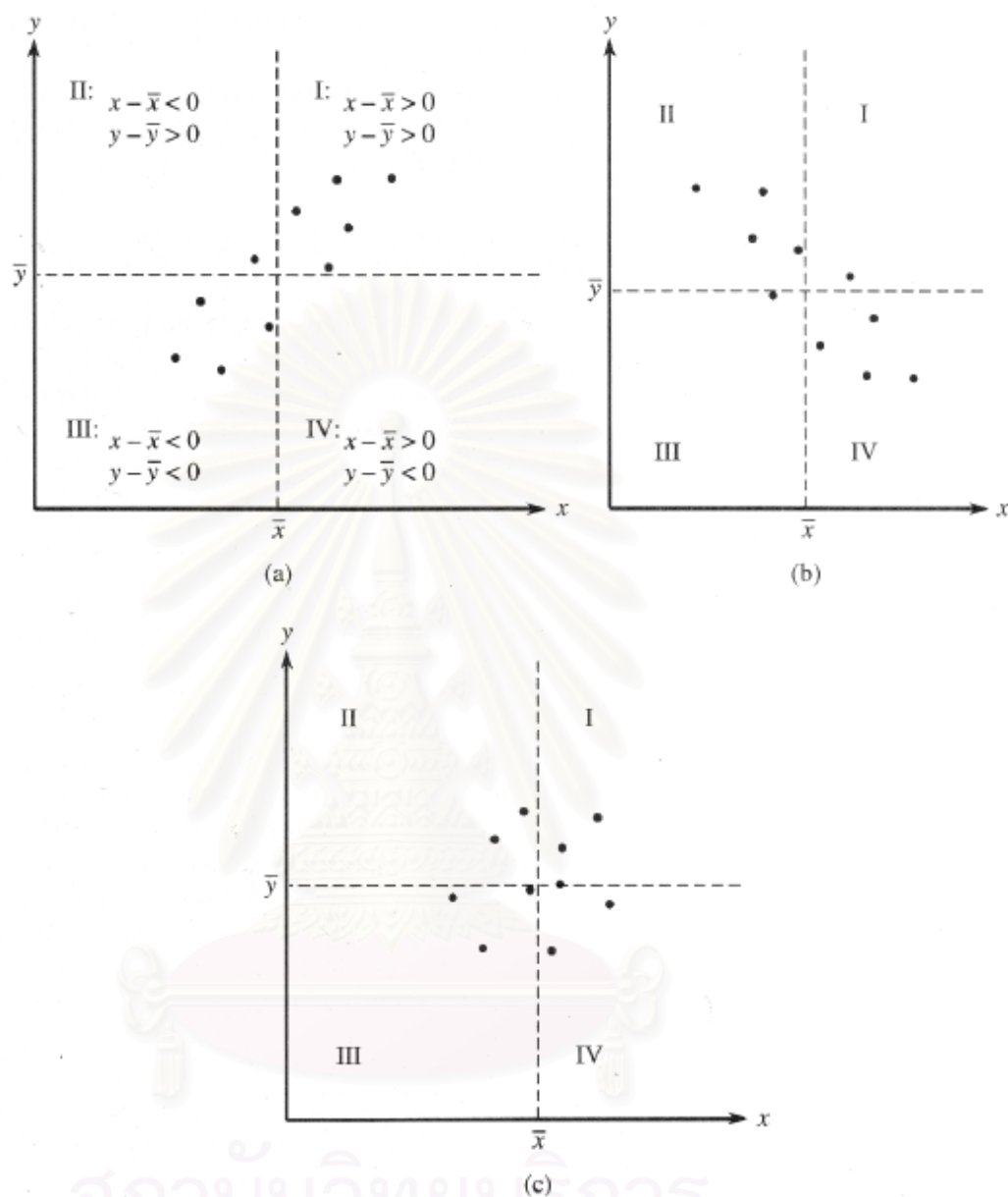
แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล 2 ชุด คือ X และ Y ดังแสดงในรูปที่ 2.15 จะบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ในรูปแบบต่างๆ รูป 2.15 (a) จะเป็นความสัมพันธ์ ทางบวกระหว่าง X และ Y นั่นคือทุก ๆ คู่ของค่า X และ Y ที่พล็อตลงไปในนั้น เมื่อ X มีค่าเพิ่มขึ้น แล้ว Y ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนในรูป 2.15(b) จะแสดงการเพิ่มของค่า X และ Y ในทิศทางตรงข้าม ก็คือเมื่อมีค่า X เพิ่มขึ้นแล้ว Y จะมีค่าลด เรียกว่ามีความสัมพันธ์ทางลบ ส่วนในรูป 2.15 (c) แสดงความไม่สัมพันธ์กันระหว่าง X และ Y ก็คือเมื่อ X เพิ่มขึ้น Y อาจลดหรือเพิ่มก็ได้

ความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรงของตัวแปร X และ Y พิจารณาได้ว่า ถ้าค่าของตัวแปรสองตัวมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีเครื่องหมายเป็นบวก และในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงกลับกัน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีเครื่องหมายลบ และถ้าไม่มีสหสัมพันธ์ ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0 สมการที่เป็นที่นิยมแพร่หลายในการคำนวณหาความสัมพันธ์ คือ สมการสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ซึ่งมีดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน } (r) = \frac{\sum(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{(N-1)S_X S_Y} \dots\dots\dots(2.8)$$

เมื่อ S_X และ S_Y คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่า X และ Y

\bar{X} และ \bar{Y} คือค่าเฉลี่ย ของค่า X และ Y



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.15 แผนภาพการจัดกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x และ y [16]

สมการในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อีกสมการหนึ่งที่ไม่จำเป็นต้องใช้ส่วนเบี่ยงเบนในการคำนวณก็คือ

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{N}}{\sqrt{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}} \sqrt{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}}} \quad \text{.....(2.9)}$$

คุณสมบัติของ r

1. ค่าของ r ไม่ขึ้นกับหน่วยของการวัดของตัวแปรทั้งสอง
2. ค่าของ r อยู่ระหว่าง -1.00 ถึง 1.00 ถ้าหากค่า r มีมากกว่า 0 แล้วจะเป็นความสัมพันธ์ทางบวก ถ้าหากมีค่าน้อยกว่า 0 แล้วจะเป็นความสัมพันธ์ทางลบ ตัวแปรจะสัมพันธ์กัน สูง ปานกลาง หรือต่ำมีหลังเกณฑ์ดังนี้ (Cohen. 1988)
 - สหสัมพันธ์ที่มีขนาดเล็ก หรือมีความสัมพันธ์กันน้อย ค่าสหสัมพันธ์จะอยู่ระหว่าง -0.29 ถึง -0.10 หรือ 0.10 ถึง 0.29
 - สหสัมพันธ์ที่มีขนาดปานกลาง หรือมีความสัมพันธ์กันปานกลาง ค่าสหสัมพันธ์จะอยู่ระหว่าง -0.49 ถึง -0.30 หรือ 0.30 ถึง 0.49
 - สหสัมพันธ์ที่มีขนาดใหญ่ หรือมีความสัมพันธ์กันสูง ค่าสหสัมพันธ์จะอยู่ระหว่าง -1.00 ถึง -0.50 หรือ 0.50 ถึง 1.00

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

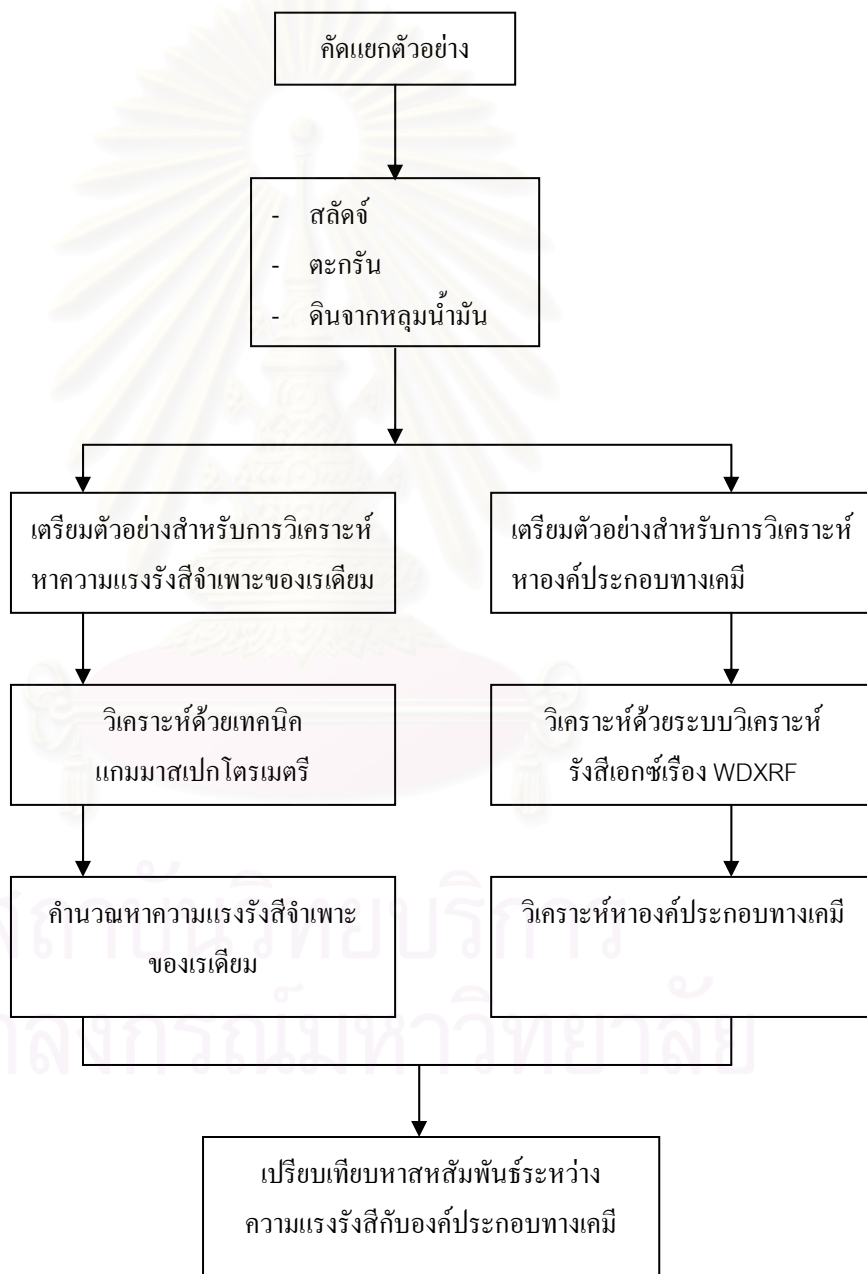
วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์

- 3.1.1 สารมาตรฐานแร่ยูเรเนียม ของ IAEA รหัส RGU-1 ที่มียูเรเนียมเข้มข้น 400 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
- 3.1.2 สารมาตรฐานแร่ทอเรียม ของ IAEA รหัส RGTb-1 ที่มีทอเรียมเข้มข้น 800 มิลลิกรัม / กิโลกรัม
- 3.1.3 ต้นกำเนิดรังสีเรเดียม-226 แบบปิดผนึกความแรงรังสี 0.964 μCi เมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 1980
- 3.1.4 หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High Purity germanium, HPGe) แบบ coaxial ขนาด 3 นิ้ว \times 3 นิ้วของCANBERRA มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (relative efficiency) ที่พลังงาน 1.33 MeV เท่ากับ 30 %
- 3.1.5 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง (Multichannel analyzer, MCA) model Inspector 2000 ชนิดประมวลผลด้วยระบบดิจิทัล ของ CANBERRA
- 3.1.6 คอมพิวเตอร์
- 3.1.7 โปรแกรมสำเร็จรูป genie 2000
- 3.1.8 ตะกั่วกำบังรังสี (Shield) ที่ให้ค่าเบคกราวด์ต่ำ ของ CANBERRA
- 3.1.9 กระจุกโพลิเอทิลีนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 1.5 นิ้ว
- 3.1.10 หน้ากากป้องกันไอปรอท ของ 3 M
- 3.1.11 เครื่องอัดตัวอย่างระบบไฮดรอลิก
- 3.1.12 เครื่องบดตัวอย่าง Centrifugal ball mill รุ่นs100
- 3.1.13 เครื่องผสมตัวอย่าง mixer/ mill รุ่น 8000M
- 3.1.14 เป้าอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร
- 3.1.15 เตาไฟฟ้าชนิดปรับอุณหภูมิได้ (50 - 400 องศาเซลเซียส)
- 3.1.16 สารประกอบบอริก (boric acid, H_3BO_3)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ 1. การวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่าง 2. การวิเคราะห์องค์ทางเคมีในตัวอย่าง และ 3. การหาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง ซึ่งแสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัยอย่างคร่าว ๆ ดังรูปที่ 3.1 และมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 วิเคราะห์หาความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และเรเดียม-228

ในหัวข้อการวิเคราะห์หาความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมนี้ ได้แสดงแผนผังขั้นตอนการทดลองในรูปที่ 3.2 และรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.2.1.1 การเตรียมตัวอย่างสารมาตรฐานยูเรเนียมและทอเรียม



- 1) บรรจุสารมาตรฐานลงในกระปุกโพลีเอทิลีนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ไร่ให้เต็ม
- 2) ชั่งน้ำหนัก บันทึกรับน้ำหนักและวันที่บรรจุลงบนฉลากติดบนภาชนะบรรจุ
- 3) ปิดฝาภาชนะบรรจุตัวอย่าง และผนึกให้แน่นโดยใช้ซีลิกอนและเทปกาว เพื่อไม่ให้มีอากาศผ่านเข้าออกจากภาชนะบรรจุตัวอย่างได้
- 4) เก็บสารมาตรฐานยูเรเนียมและทอเรียมที่ผนึกเรียบร้อยแล้วไว้อย่างน้อย 3 สัปดาห์เพื่อให้เกิดสมดุลทางกัมมันตรังสี หลังจากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี

3.2.1.2 การเตรียมตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

- 1) คัดแยกตัวอย่างที่ได้รับมาโดยแยกตามชนิดของกาก อันได้แก่
 - สลัดจ์ (sludge) สลัดจ์เป็นกากที่เกิดจากการตกตะกอนในอุปกรณ์ต่างๆ ที่ น้ำในกระบวนการผลิต (produced water) ไหลผ่าน ซึ่งมีจำนวน 21 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างที่ 1-21 โดยตัวอย่างที่ 1-15 เป็นตัวอย่างจากแหล่งบงกชที่เก็บจากถังเก็บสลัดจ์ ภายในโรงเก็บกากหน่วยซ่อมบำรุง จังหวัดสงขลา ตัวอย่างลำดับที่ 16-19 เป็นตัวอย่างจากแต่ละแท่นขุดเจาะ ของแหล่งบงกช และตัวอย่างลำดับที่ 20, 21 เป็นตัวอย่างจากถังตกตะกอนของน้ำจากกระบวนการผลิตของแหล่งสิริกิติ์ จำนวนและที่มาของตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.1
 - ตะกรัน (scale) ตะกรันเป็นคราบของแข็งที่เกาะติดตามผิวด้านในของท่อส่งน้ำมัน หรืออุปกรณ์แยกต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันของน้ำจากกระบวนการผลิต ซึ่งมีจำนวน 12 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ 1-10 เป็นตัวอย่างตะกรันจากอุปกรณ์ของกระบวนการผลิตน้ำมัน ส่วนตัวอย่างลำดับที่ 11 และ 12 เป็นตัวอย่างตะกรันที่มาจากอุปกรณ์กรองน้ำใต้ดินที่สูบขึ้นมาเพื่ออัดกลับลงไปเพิ่มความดันให้แก่หลุมน้ำมัน ตัวอย่างตะกรันทั้งหมดมาจากแหล่งสิริกิติ์ จำนวนและที่มาของตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.2



- 2) นำตัวอย่างออกจากภาชนะบรรจุกาก หรืออุปกรณ์ที่เกิดกากนั้นๆ ในปริมาณที่มากพอจะบรรจุจนเต็มปากโพลีเอทิลีนที่เตรียมไว้ การแก้ค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ต่างกันจะทำได้โดยการคำนวณภายหลังการวัดรังสีแกมมา ในขั้นตอนนี้ควรปฏิบัติด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากในตัวอย่างสัลดจ์มีโลหะปรอทปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง
- 3) ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 4 ในข้อ 3.2.1.1

3.2.1.3 การเตรียมตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน

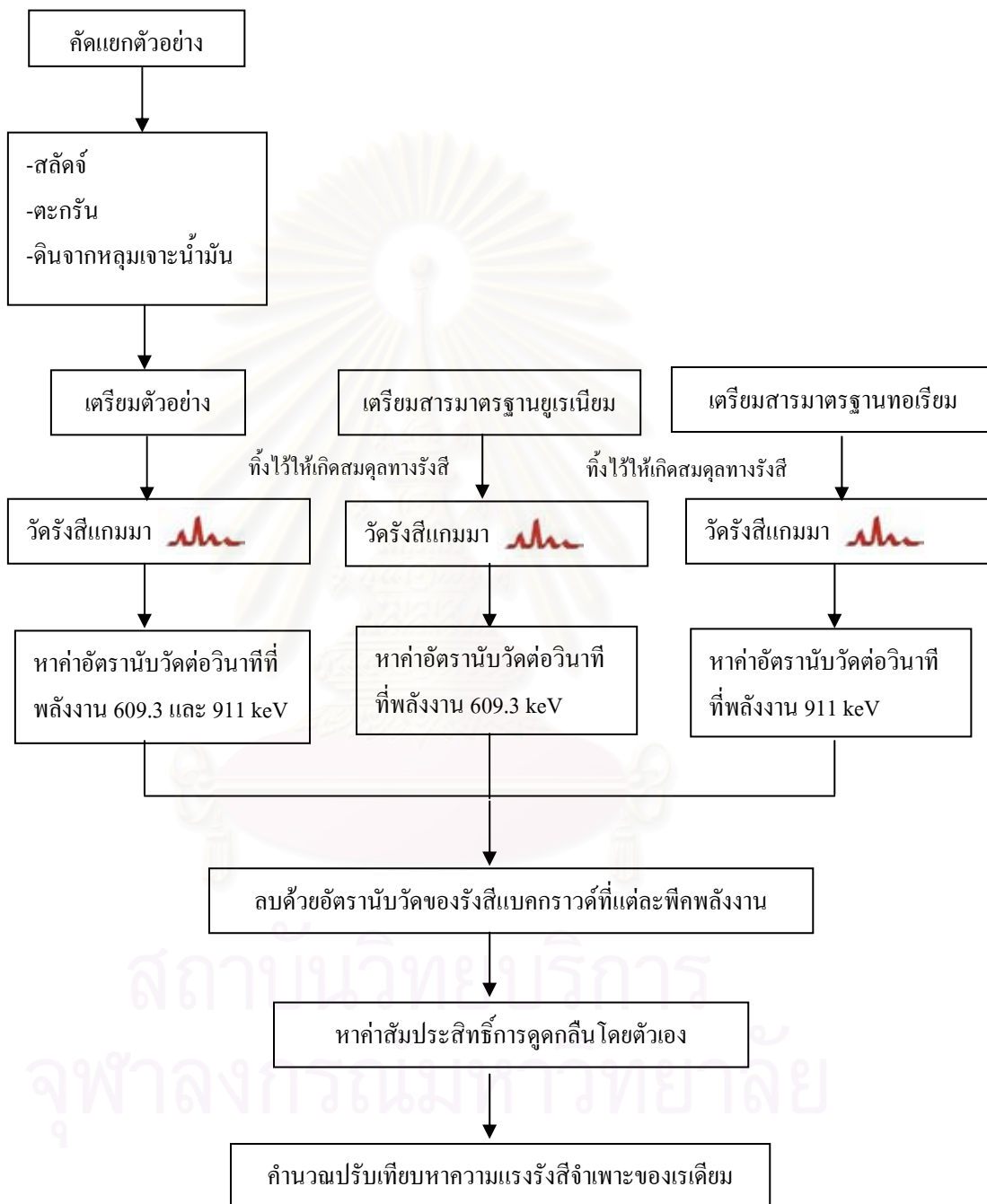
ในการวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในดินจากหลุมเจาะน้ำมันเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมที่มีอยู่ในธรรมชาติของดินจากแหล่งน้ำมันนั้น ๆ โดยตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมันที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นดินจากหลุมเจาะน้ำมัน A-16 ของแหล่งสิริกิติ์ ที่ความลึกต่างกัน 4 ระดับ จำนวน 4 ตัวอย่าง รายการจำนวนตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.3

การเตรียมตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน ปฏิบัติเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 ในการเตรียมตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

3.2.1.4 วิธีการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี

- 1) จัดระบบวัดรังสีแกมมา
- 2) วัดรังสีแบคกราวด์ภายในวัสดุกำบังรังสี ขณะไม่มีตัวอย่างเป็นเวลา 3600 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาพลังงาน 609 keV จากบิสมัท-214 และพลังงาน 911 keV จากแอกติเนียม-228
- 3) นำสารมาตรฐานยูเรเนียม เข้าวัดรังสีแกมมา เป็นเวลา 3600 วินาที หาค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV สำหรับคำนวณเปรียบเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226ในตัวอย่าง
- 4) นำสารมาตรฐานทอเรียม เข้าวัดรังสีแกมมา เป็นเวลา 3600 วินาที หาค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 911 keV สำหรับคำนวณเปรียบเทียบหาความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-228ในตัวอย่าง
- 5) นำตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างจากข้อ 3.2.1.2 ที่เกิดสมมูลทางกัมมันตรังสีแล้ว เข้าวัดรังสีแกมมา เป็นเวลา 864000 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV และ 911 keV

- 6) นำอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 5 ของสารมาตรฐานยูเรเนียม สารมาตรฐานทอเรียม และตัวอย่าง ตามลำดับ หักลบกับค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของแบคกราวด์ที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 ค่าที่ได้คือ ค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของสารมาตรฐาน (R_{std}) และ ค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของตัวอย่าง (R_{sample})
- 7) หาค่าการดูดกลืนโดยตัวเอง (self absorption) ของตัวอย่าง โดยการวางต้นกำเนิดรังสีเรเดียม-226 ใว้บนภาชนะบรรจุที่ว่างเปล่าทำการวัดรังสีเป็นเวลา 600 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV ค่าอัตรานับวัดที่ได้คือ I_0 ในสมการที่ (2.1)
- 8) วางต้นกำเนิดรังสีใว้บนภาชนะบรรจุที่มีสารตัวอย่างทำการวัดรังสีเป็นเวลา 600 วินาที และหาค่าอัตรานับรังสีสุทธิต่อวินาทีของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609 keV ค่าอัตรานับวัดที่ได้คือ I_x ในสมการที่ (2.1)
- 9) หาค่าการดูดกลืนโดยตัวเองของสารมาตรฐานยูเรเนียม ปฏิบัติเหมือนขั้นตอนที่ 8
- 10) คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเอง ในตัวอย่างและสารมาตรฐานดังสมการที่ 2.1 (ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก)
- 11) คำนวณหาค่าความแรงรังสี ในตัวอย่างดังสมการที่ 2.2 (ตัวอย่างการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก)

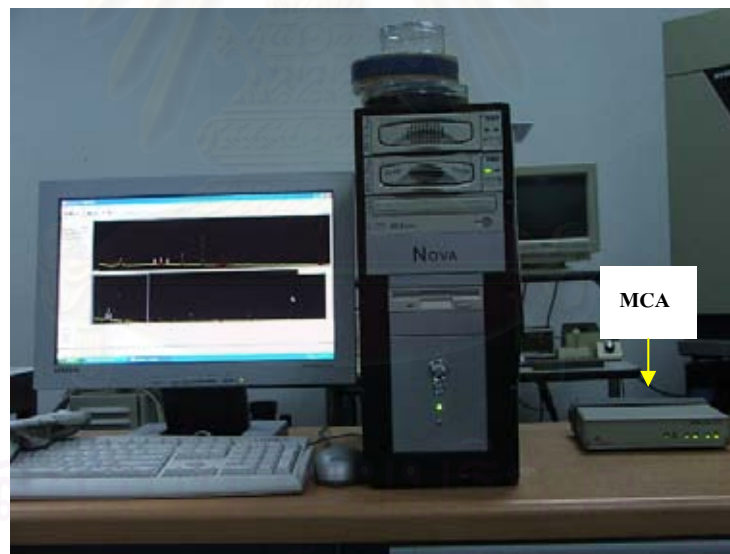
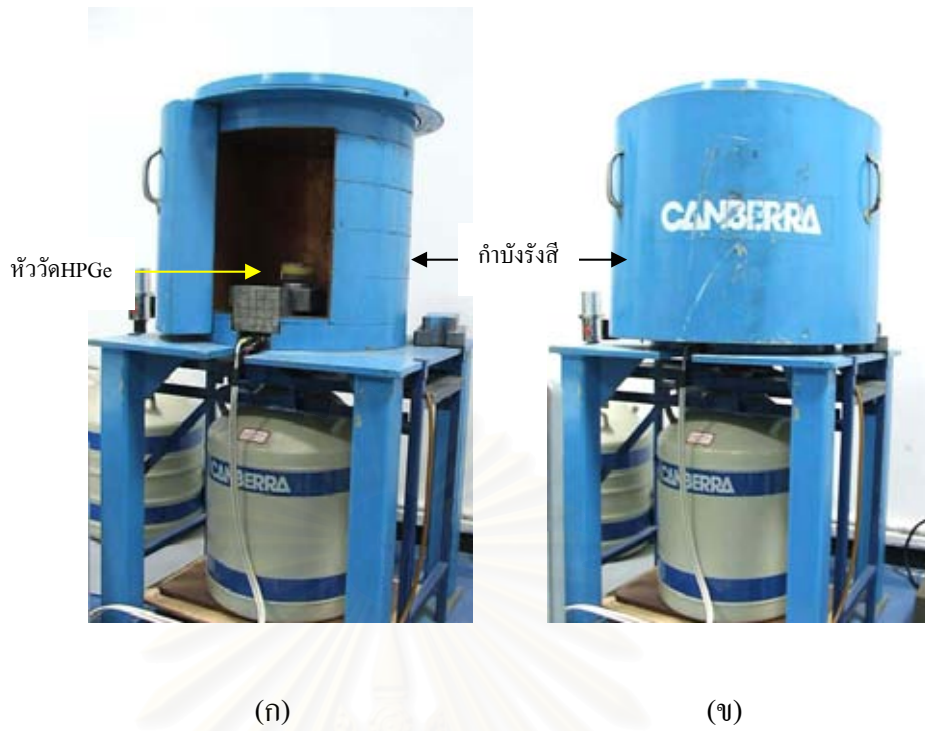




รูปที่ 3.3 ลักษณะของตัวอย่างตะกอนในท่ออุปกรณ์



รูปที่ 3.4 ลักษณะของตัวอย่างสลัดจ์



รูปที่ 3.5 แสดงระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา

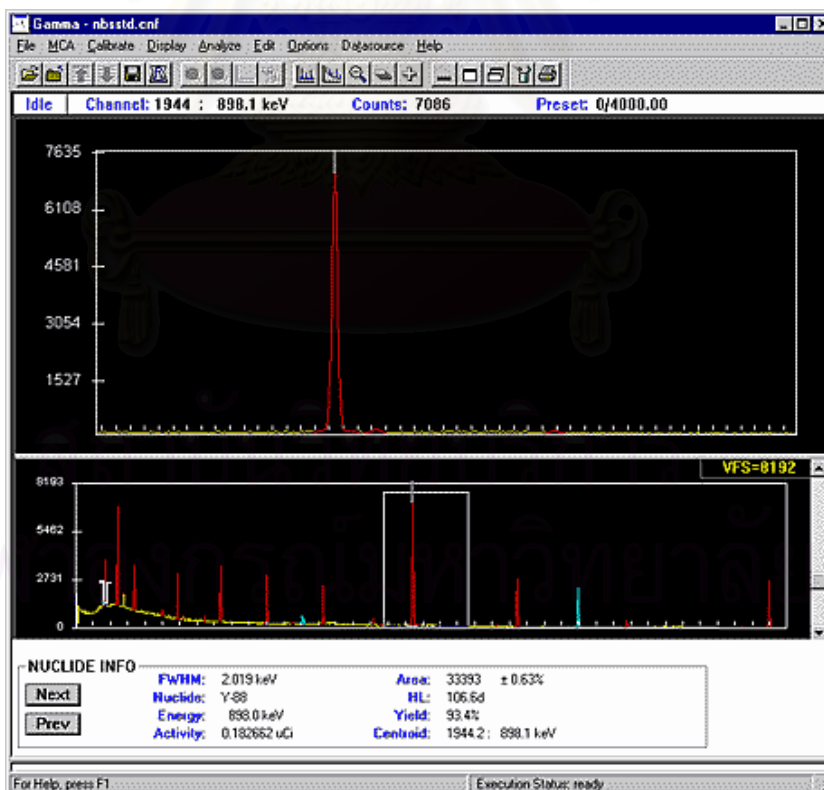
(ก) หัววัด HPGe และกำบังรังสี (ขณะเปิด)

(ข) กำบังรังสี(ขณะปิด)

(ค) คอมพิวเตอร์ที่ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Genie 2000 และ MCA



รูปที่ 3.6 ภาพขณะบรรจุตัวอย่างวางอยู่บนหัววัด HPGe ภายในกำบังรังสีเพื่อทำการวัดรังสีแกมมา



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างสเปกตรัมรังสีแกมมาที่วัดได้แสดงผลด้วยโปรแกรม Genie 2000



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.8 เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multichannel analyzer, MCA)

Model Inspector 2000 (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

3.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์

ในการวิจัยนี้ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างกาก ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ การวิเคราะห์เชิงอนุมานพิจารณาจากพลังงานของแต่ละฟิสิกในสเปกตรัม ส่วนการวิเคราะห์เชิงปริมาณทำโดยคำนวณความเข้มของฟิสิกเป็นสัดส่วนร้อยละ ขององค์ประกอบที่สนใจด้วยโปรแกรม SemiQ ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) นำตัวอย่างกาก น้ำหนักประมาณ 10 กรัม อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 400°C แล้วบดด้วยเครื่อง Centrifugal ball mill รุ่น s100
- 2) ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่บดแล้วจากขั้นตอนที่ 1 หนักประมาณ 5 กรัม ผสมกับ boric acid ในสัดส่วน 10 % โดยน้ำหนักของตัวอย่าง
- 3) จากขั้นตอนที่ 2 ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องผสมตัวอย่าง Mixer/Mill รุ่น 8000M เป็นเวลาประมาณ 7-10 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวอย่าง
- 4) อัดตัวอย่างที่ผสมแล้วลงในเป้าอะลูมิเนียมด้วยแรงอัด 20 นิวตัน
- 5) นำตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 ไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ระบบ WDXRF

3.2.3 เปรียบเทียบหาสหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตริกกับองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ในตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน และวัดขนาดความสัมพันธ์ โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

- สหสัมพันธ์ขนาดเล็ก หรือมีความสัมพันธ์กันน้อย ค่าสหสัมพันธ์ อยู่ระหว่าง -0.29 ถึง -0.1 หรือ 0.1 ถึง 0.29
- สหสัมพันธ์ที่มีขนาดปานกลาง หรือมีความสัมพันธ์กันปานกลาง ค่าสหสัมพันธ์ อยู่ระหว่าง -0.49 ถึง -0.30 หรือ 0.30 ถึง 0.49
- สหสัมพันธ์ที่มีขนาดใหญ่หรือมีความสัมพันธ์กันสูง ค่าสหสัมพันธ์ อยู่ระหว่าง -1.0 ถึง -0.50 หรือ 0.50 ถึง 1.0



รูปที่ 3.9 เป้าอะลูมิเนียม



รูปที่ 3.10 สารตัวอย่างในเป้าอะลูมิเนียม



รูป 3.11 เครื่องบดสารตัวอย่าง Centrifugal ball mill รุ่นs100



รูป 3.12 เครื่องผสมสารตัวอย่าง mixer/ mill รุ่น 8000M

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียมในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

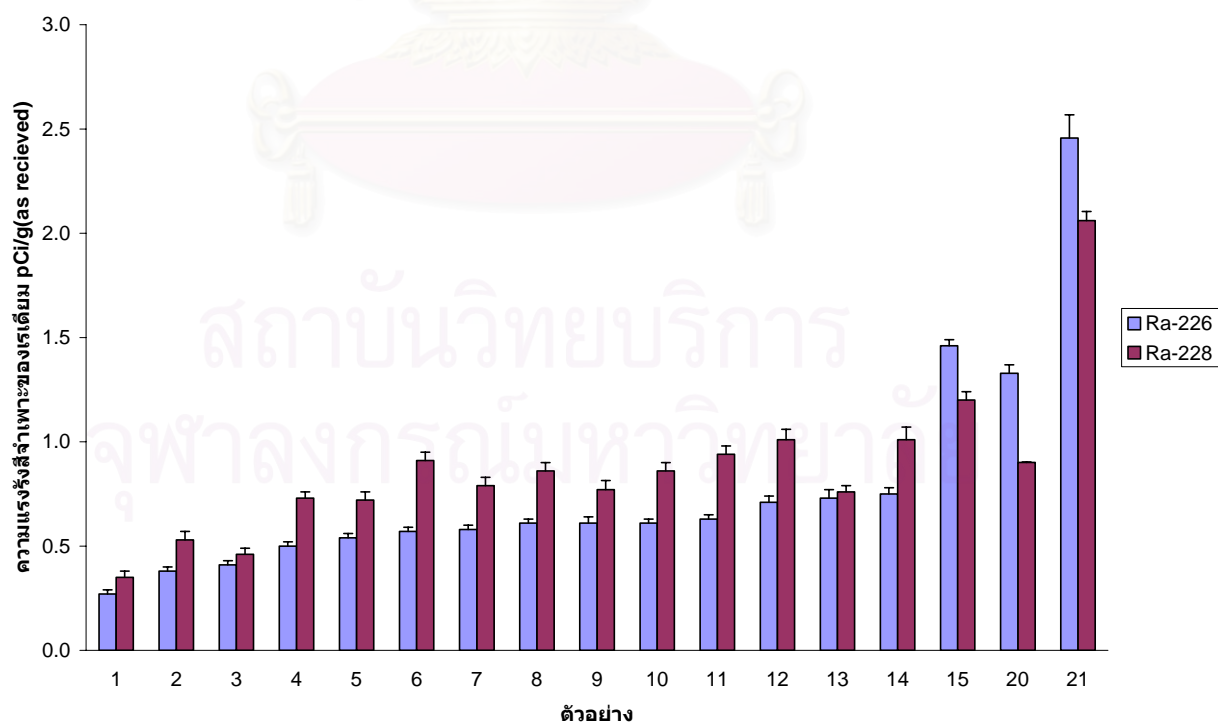
การวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ด้วยการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-228 และเรเดียม-228 โดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี และแบ่งกลุ่มของตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยออกเป็น สลัดจ์ ตะกรัน และดินจากหลุมเจาะน้ำมัน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างสลัดจ์

ตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่าง	แหล่งที่มา	ความแรงรังสีจำเพาะ pCi/g (as received)±Counting S.D		
			Ra-226	Ra-228	Total Ra
1	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2885 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.27±0.02	0.35±0.03	0.62±0.03
2	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2800 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.38±0.02	0.53±0.04	0.91±0.04
3	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ3326 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.41±0.02	0.46±0.03	0.87±0.03
4	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2736 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.50±0.02	0.73±0.03	1.23±0.03
5	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2849 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.54±0.02	0.72±0.04	1.26±0.04
6	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2721 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.57±0.02	0.91±0.04	1.48±0.04
7	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ3260 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.58±0.02	0.79±0.04	1.37±0.04
8	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2767 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.61±0.02	0.86±0.04	1.47±0.04
9	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2878 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.61±0.03	0.77±0.04	1.38±0.44
10	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2816 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.61±0.02	0.86±0.04	1.47±0.04
11	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2785 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.63±0.02	0.94±0.04	1.57±0.04
12	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ3264 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.71±0.03	1.01±0.05	1.72±0.05
13	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2863 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.73±0.04	0.76±0.03	1.49±0.05
14	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2912 โรงเก็บกาก (บงกช)	0.75±0.03	1.01±0.06	1.76±0.06
15	ตะกอนเหลวปนน้ำมัน น้ำและปรอท	ถังเก็บ2921 โรงเก็บกาก (บงกช)	1.46±0.03	1.20±0.04	2.66±0.05

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างสกัด (ต่อ)

ตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่าง	แหล่งที่มา	ความเข้มข้นรังสีจำเพาะ pCi/g (as received) \pm Counting S.D		
			Ra-226	Ra-228	Total Ra
16	ตะกอนเหลวปนน้ำมันและปรอท	PR3020, PIG Receiver (บงกช)	วัดไม่ขึ้น	วัดไม่ขึ้น	-
17	ตะกอนเหลวปนน้ำมันและปรอท	MFE Pigging, แท่นขุดเจาะ WP-7 (บงกช)	วัดไม่ขึ้น	วัดไม่ขึ้น	-
18	ตะกอนเหลวปนน้ำมันและปรอท	sealine batch Treatment แท่นขุดเจาะ WP-6 (บงกช)	วัดไม่ขึ้น	วัดไม่ขึ้น	-
19	ตะกอนเหลวปนน้ำมันและปรอท	sealine batch แท่นขุดเจาะ WP-8 (บงกช)	วัดไม่ขึ้น	วัดไม่ขึ้น	-
20	ตะกอนแข็งปนน้ำมัน	ส่วนบนของแท็งก์ T-4102 ที่รวบรวมน้ำจากกระบวนการผลิตจากแท็งก์กักเก็บน้ำมัน จากหลุมบำบัดน้ำใต้ดิน (สิริกิติ์)	1.33 \pm 0.04	0.90 \pm 0.01	2.23 \pm 0.09
21	ตะกอนแข็งปนน้ำมัน	กึ่งกลางของแท็งก์ T-4102 ที่รวบรวมน้ำจากกระบวนการผลิตจากแท็งก์กักเก็บน้ำมัน จากหลุมบำบัดน้ำใต้ดิน (สิริกิติ์)	2.45 \pm 0.11	2.06 \pm 0.04	4.52 \pm 0.12



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างสกัด

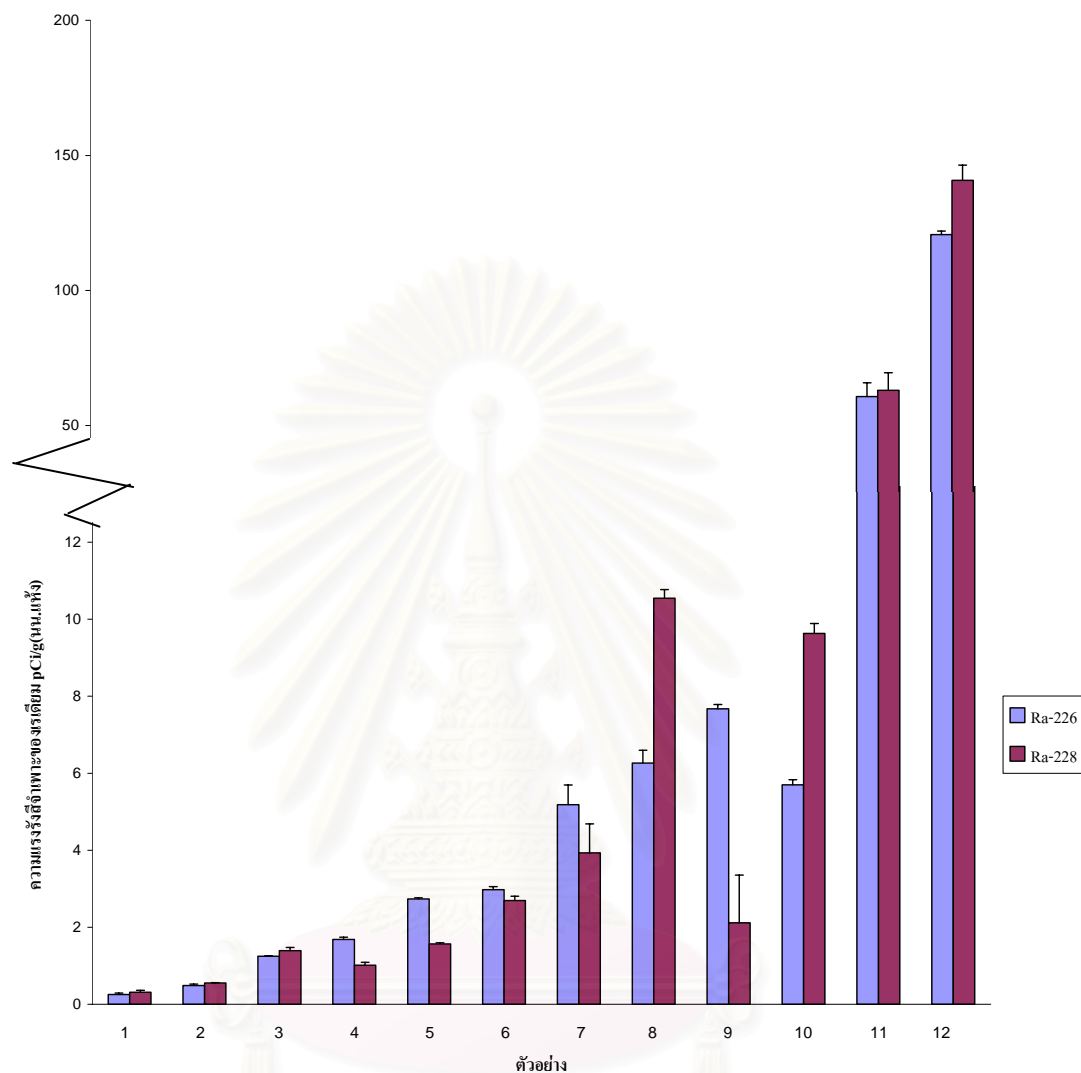
จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และเรเดียม-228 พบว่า ในตัวอย่างสลัดจ์ มีระดับความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และเรเดียม-228 อยู่ในช่วง 0.27 ± 0.02 ถึง 2.45 ± 0.11 พิโคคูรีต่อกรัม และ 0.35 ± 0.03 ถึง 2.06 ± 0.04 พิโคคูรีต่อกรัม ตามลำดับ โดยตัวอย่างที่มีความแรงรังสีสูงสุดคือตัวอย่างที่ 15 จากแหล่งสิริกิติ์

จากรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นแผนภูมิแสดงระดับความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 เทียบกับเรเดียม-228 จะเห็นว่าตัวอย่างสลัดจ์ส่วนใหญ่จะมีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 น้อยกว่าเรเดียม-228 ยกเว้น ตัวอย่างที่ 15 จากแหล่งบงกช และตัวอย่างที่ 20, 21 จากแหล่งสิริกิติ์

ในตัวอย่างที่ 16, 17, 18 และ 19 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่มีโลหะปรอทปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง วัดความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมได้ต่ำกว่าระดับรังสีแบคกราวด์ในระบบวัด

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างตะกอนจากแหล่งสิริกิติ์

ตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่าง	แหล่งที่มา	ความแรงรังสีจำเพาะ pCi/g (น้ำหนักแห้ง) \pm Counting S.D		
			Ra-226	Ra-228	Total Ra
1	คราบของแข็ง	Separator 5-2200 ทำหน้าที่แยกของเหลว ออกจากก๊าซ	0.25 ± 0.04	0.31 ± 0.05	0.57 ± 0.06
2	คราบของแข็ง ติดภายในท่อ	ท่อจากหลุม C-03 ทำหน้าที่ดูดน้ำและน้ำมันจากหลุมผลิต	0.48 ± 0.04	0.55 ± 0.01	1.04 ± 0.04
3	คราบของแข็ง ติดภายในท่อ	ท่อจากหลุม K-03 ทำหน้าที่ดูดน้ำและน้ำมันจากหลุมผลิต	1.25 ± 0.01	1.39 ± 0.09	2.64 ± 0.08
4	คราบของแข็ง	wemco unit ท่อที่รวบรวมน้ำจากกระบวนการชะล้างในสถานีผลิต ก่อนที่จะลงไป wemco unit	1.68 ± 0.06	1.01 ± 0.07	2.70 ± 0.09
5	คราบของแข็ง	เส้นท่อ SD-01 สำหรับลำเลียงน้ำ produced water	2.74 ± 0.03	1.56 ± 0.03	4.30 ± 0.04
6	คราบของแข็ง	Separator S-2300 ทำหน้าที่แยกของเหลว ออกจากก๊าซ	2.97 ± 0.08	2.69 ± 0.11	5.67 ± 0.13
7	คราบของแข็ง	Separator S-2300 ทำหน้าที่แยกของเหลว ออกจากก๊าซ	5.18 ± 0.51	3.93 ± 0.75	9.12 ± 0.90
8	คราบของแข็ง	Dow-38 หลุมบำบัดน้ำใต้ดินระดับต้นเป็นบ่อสำหรับสูบน้ำอัดลงในหลุมน้ำมัน	6.27 ± 0.33	10.54 ± 0.23	16.81 ± 0.40
9	คราบของแข็ง	เส้นท่อ SD-01 สำหรับลำเลียงน้ำ produced water	7.67 ± 0.11	2.12 ± 1.24	9.79 ± 1.24
10	คราบของแข็ง	Jet pump สำหรับอัด crude หรือดีเซลลงไปหลุมผลิต NTM-A01	5.7 ± 0.13	9.63 ± 0.26	15.33 ± 0.29
11	ผงละเอียด	Filter ตัวกรองตะกอน ซึ่งขึ้นมาจากหลุมน้ำจากฐานการผลิต TRT-B	60.01 ± 5.08	62.29 ± 6.53	122.30 ± 8.27
12	ผงละเอียด	Filter ตัวกรองตะกอน ซึ่งขึ้นมาจากหลุมน้ำจากฐานการผลิต TRT-B (LKU)	119.91 ± 1.34	140.07 ± 5.63	259.98 ± 5.78

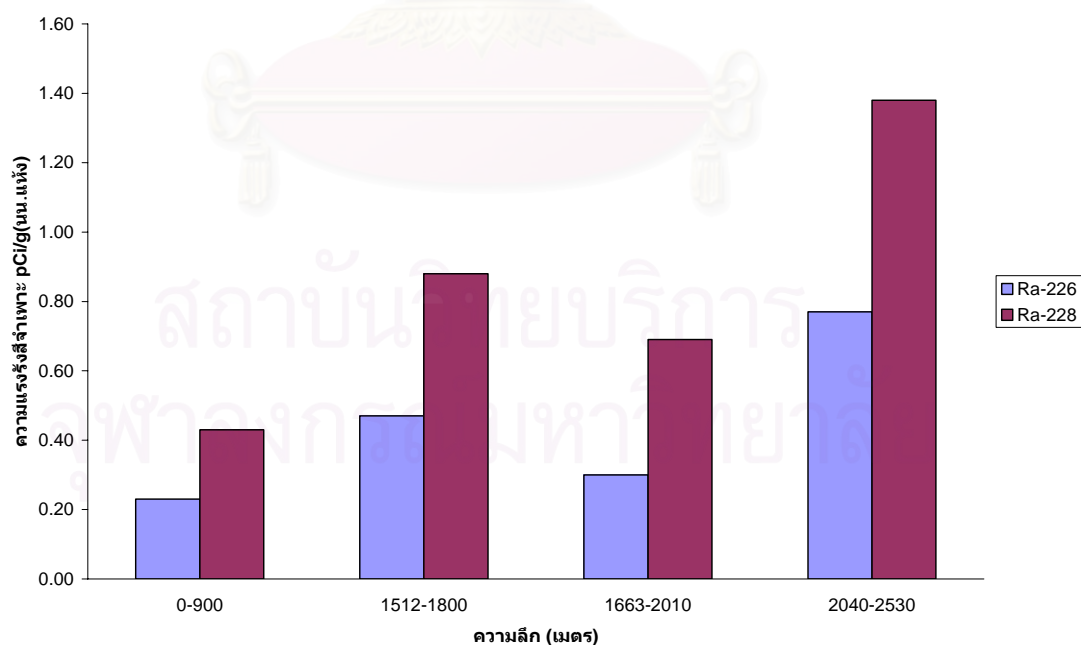


รูปที่ 4.2 ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างตะกอน

จากตารางที่ 4.2 แสดงถึงผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ในตัวอย่างตะกอน พบว่า ในตัวอย่างตะกอนส่วนใหญ่มีระดับความแรงรังสีจำเพาะของ เรเดียมสูงกว่าในตัวอย่างสลัดจ์โดยมีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 0.25 ± 0.04 ถึง 119.91 ± 1.34 พิโคคูรีต่อกรัม และ ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-228 อยู่ในช่วง 0.31 ± 0.05 ถึง 140.07 ± 5.63 พิโคคูรีต่อกรัม ตัวอย่างตะกอนที่นำมาวิเคราะห์เป็นตัวอย่างจากแหล่งสิริกิติ์ และ ตัวอย่างที่มีระดับความแรงรังสีสูงอย่างเห็นได้ชัดคือตัวอย่างลำดับที่ 11 และ 12 ซึ่งทั้งสองตัวอย่าง เป็นตะกอนที่เกิดจาก ตัวกรอง (filter) ตะกอน ทราบ และตะกอนอื่น ๆ ที่ขึ้นมากับหลุมน้ำใต้ดินที่ ถูกสูบขึ้นมาเพื่ออัดกลับลงไปเพิ่มความดันให้แก่หลุมน้ำมัน

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน

ตัวอย่าง	ลักษณะตัวอย่าง	แหล่งที่มา	ความแรงรังสีจำเพาะ pCi/g (น้ำหนักแห้ง) \pm Counting S.D		
			Ra-226	Ra-228	Total Ra
1	ดินปนทราย	Top hole cutting Depth:0m-900m น้ำโคลนจากกระบวนการขุดเจาะชั้นต้นหลุมการผลิต C16 ฐานการผลิต NMM-C ที่ความลึกไม่เกิน 900 เมตร จากผิวดิน	0.23 \pm 0.01	0.43 \pm 0.02	0.66 \pm 0.02
2	ดินปนทราย ปน น้ำมัน	Main seal formation Depth:1800mMD/1512mTVD จากกระบวนการขุดเจาะหลุมการผลิต a-16 ฐานการผลิต LKU-A ที่ความลึก 1800 เมตรจากผิวดิน	0.47 \pm 0.03	0.88 \pm 0.07	1.35 \pm 0.07
3	ดินปนทราย ปน น้ำมัน	LKU formation Depth:2010mMD/1663mTVD จากกระบวนการขุดเจาะหลุมการผลิต a-16 ฐานการผลิต LKU-A ที่ความลึก 2010 เมตรจากผิวดิน	0.30 \pm 0.03	0.69 \pm 0.06	0.99 \pm 0.06
4	ดินปนทราย ปน น้ำมัน	Basal shale formation Depth:2530mMD/2040mTVD จากกระบวนการขุดเจาะหลุมการผลิต a-16 ฐานการผลิต LKU-A ที่ความลึก 2530 เมตรจากผิวดิน	0.77 \pm 0.03	1.38 \pm 0.07	2.15 \pm 0.07



รูปที่ 4.3 ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน

จากตารางที่ 4.3 แสดงถึงผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ของตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ จากหลุมเจาะน้ำมัน A-16 ของแหล่งสิริกิติ์ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ จะแสดงถึงความเข้มข้นของปริมาณเรเดียมที่กระจายอยู่ตามธรรมชาติ ในแหล่งสิริกิติ์และใช้เป็นข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบกับกากจากกระบวนการผลิตที่เกิดจากแหล่งนี้ ซึ่งพบว่า ในตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 2530-2040 เมตร มีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 สูงสุด คือ 0.77 ± 0.03 และ 1.38 ± 0.07 พิโคคูรีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งที่ระดับความลึกดังกล่าวเป็นชั้นหินดินดานใต้ชั้นแอ่งน้ำมัน และในตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-900 เมตร ซึ่งเป็นชั้นหินทรายมีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 วัดได้ต่ำสุด คือ 0.23 ± 0.01 และ 0.43 ± 0.02 พิโคคูรีต่อกรัม ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมที่วัดได้ในดินจากหลุมเจาะน้ำมันของ แหล่งสิริกิติ์นี้ มีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 (จากอนุกรมการสลายตัวยูเรเนียม) น้อยกว่า เรเดียม-228 (จากอนุกรมการสลายตัวทอเรียม) แสดงว่าในแหล่งสิริกิติ์มีปริมาณทอเรียม-232 มากกว่ายูเรเนียม-238 ซึ่งสอดคล้องกับผลที่วัดได้จากตัวอย่างตะกอนส่วนใหญ่จากแหล่งนี้

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

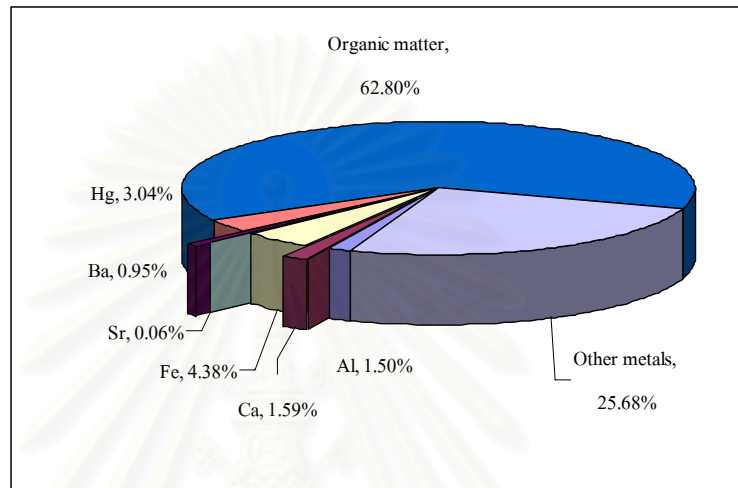
การวิจัยนี้ได้วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงผลธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ใน ตัวอย่างในหน่วยของร้อยละโดยน้ำหนักตัวอย่างของแต่ละองค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.4, 4.6 และ 4.8

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างสลัดจ์

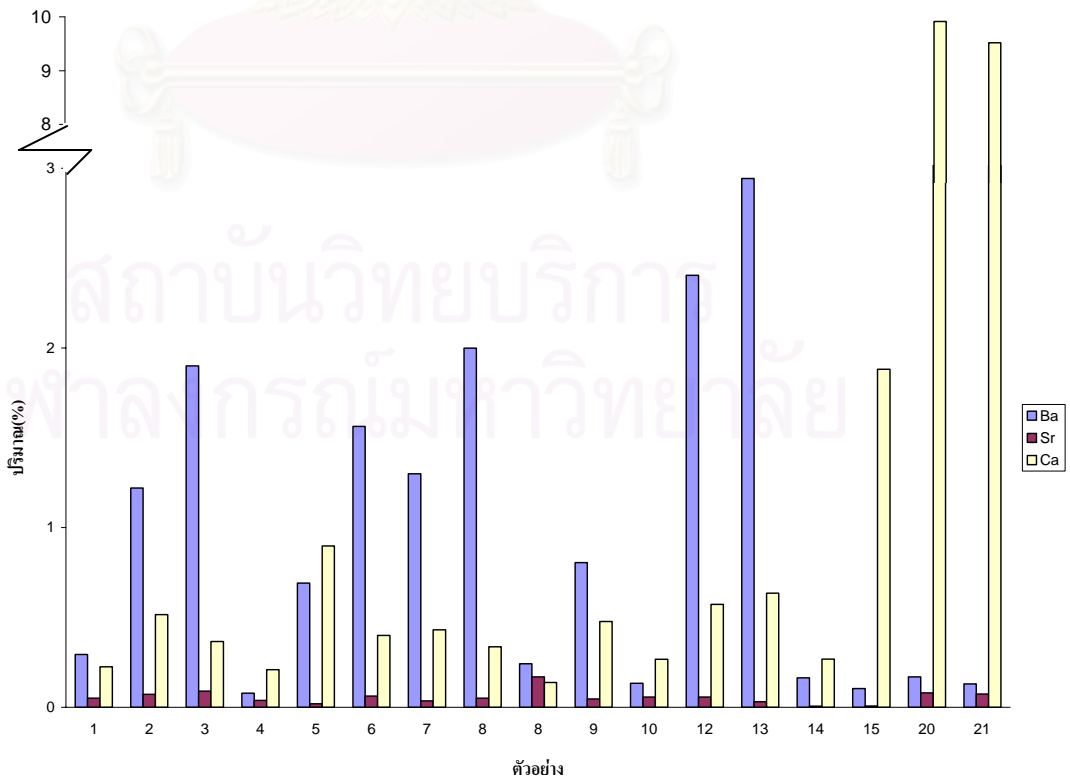
จากการวิเคราะห์พบว่าในตัวอย่างสลัดจ์มีธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 21 ธาตุ คือ Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Zr, Ba, Hg โดยมีธาตุที่มีปริมาณมากอยู่ในตัวอย่างส่วนใหญ่คือ Al, Si, Fe, Hg

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณมากกว่า 60 % ของตัวอย่างสลัดจ์เป็น สารประกอบอินทรีย์ ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ส่วนองค์ประกอบที่สนใจในการทดลองนี้คือธาตุ Ba, Sr และ Ca มีปริมาณ 2.6% โดยมีปริมาณ ธาตุดังกล่าวในตัวอย่าง โดยเฉลี่ยแล้ว 0.95%, 0.06% และ 1.59% ตามลำดับ และ มีค่าอยู่ในช่วง 0.08%-2.94%, 0.03%-0.09% และ 0.20%-9.84% ตามลำดับ นอกจากนั้นคือองค์ประกอบที่เป็นธาตุโลหะอื่น ๆ เฉลี่ย ประมาณ 26%

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าในตัวอย่างสกัดจากแหล่งบงกชส่วนใหญ่ (ยกเว้นตัวอย่างที่ 15) มีธาตุแบเรียมเป็นองค์ประกอบมากกว่าธาตุแคลเซียม และ สทรอนเซียม ส่วน ตัวอย่างจากแหล่งสิริกิติ์ (ตัวอย่างลำดับที่ 20, 21) มีปริมาณของธาตุแคลเซียมสูงกว่า อีกสองธาตุที่เหลืออย่างเห็น ได้ชัด ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 จากตัวอย่างเดียวกัน



รูปที่ 4.4 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยที่มีอยู่ในตัวอย่างสกัดทุกตัวอย่างรวมกัน



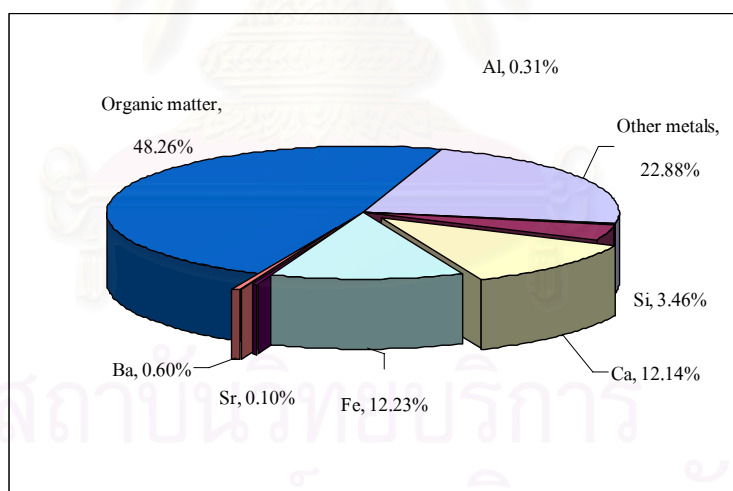
รูปที่ 4.5 ปริมาณธาตุ Ba, Ca และ Sr ในแต่ละตัวอย่างสกัด

4.2.2 องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างตะกอน

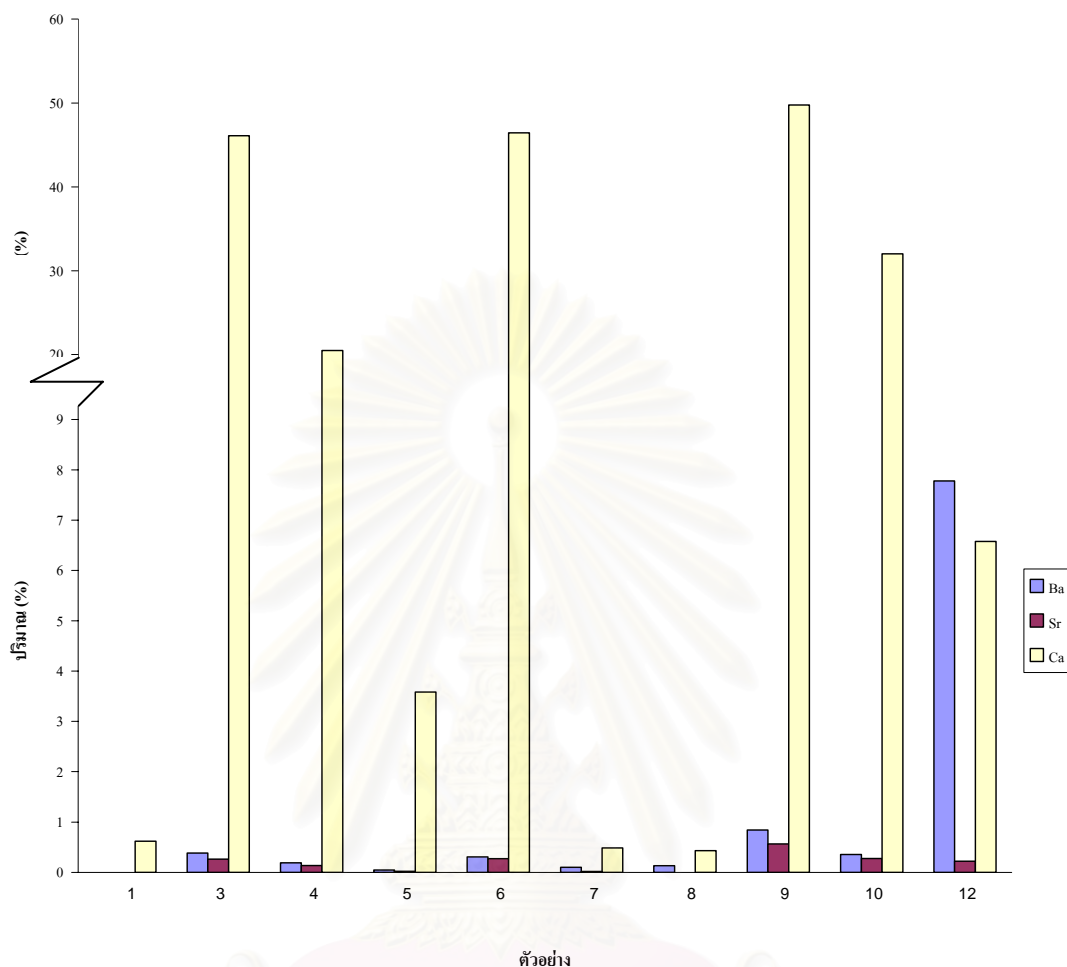
ผลการวิเคราะห์พบว่าในตัวอย่างตะกอนมีธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบน้อยกว่าในตัวอย่างสลัดจ์ คือ มีเพียง 17 ธาตุ ได้แก่ Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr และ Ba โดยธาตุที่มีปริมาณมากอยู่ในตัวอย่างส่วนใหญ่คือ Al, Si, Fe

จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าในตัวอย่างตะกอนมีสารประกอบอินทรีย์เป็นองค์ประกอบน้อยกว่าในตัวอย่างสลัดจ์ คือมีค่าเฉลี่ยประมาณ 48% ส่วนปริมาณธาตุ Ba, Sr และ Ca มีสัดส่วนโดยเฉลี่ยประมาณ 2.7% ช่วงปริมาณที่วัดได้ของธาตุดังกล่าวในตัวอย่างตะกอน คือ 0.35%-0.84%, 0.02%-0.56% และ 0.43%-49.76% ตามลำดับ ส่วนธาตุโลหะอื่น ๆ นอกเหนือจากนี้ มีปริมาณเฉลี่ยประมาณ 23%

และจากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าในตัวอย่างตะกอนส่วนใหญ่จะมีธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบมากกว่าแบเรียม และสตรอนเซียม และมีความแตกต่างอย่างชัดเจนกับอีกสองธาตุที่เหลือ ยกเว้นในตัวอย่างลำดับที่ 12 ซึ่งเป็นตะกอนของแผ่นกรอง (filter) จากหลุมน้ำใต้ดิน



รูปที่ 4.6 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยที่มีอยู่ในตัวอย่างตะกอนทุกตัวอย่างรวมกัน

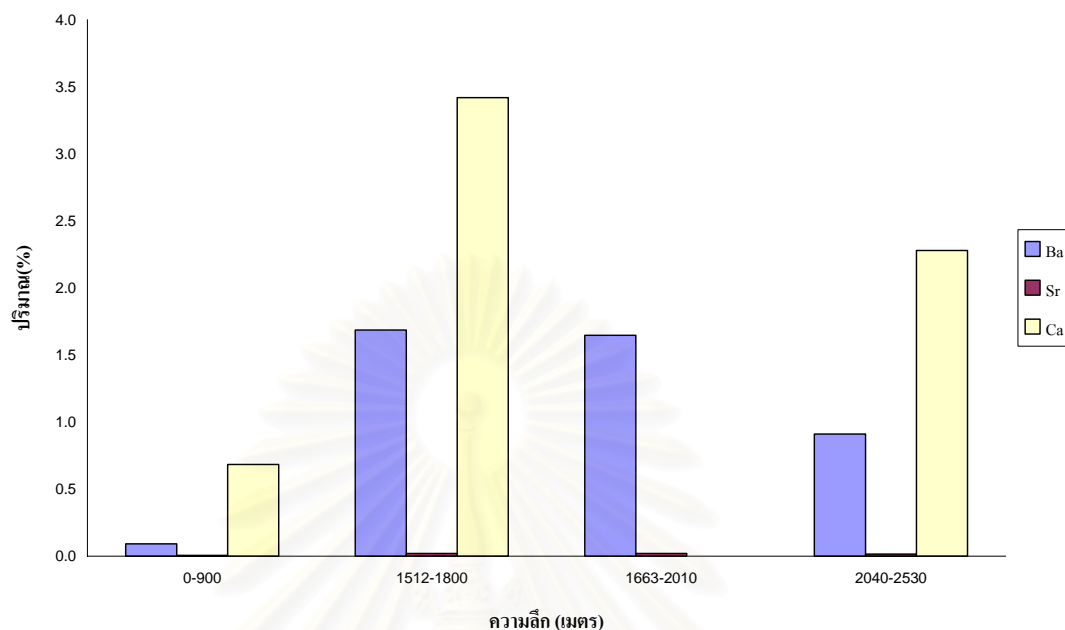


รูปที่ 4.7 ปริมาณธาตุ Ba, Sr และ Ca ในแต่ละตัวอย่างตะกอน

4.2.3 องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมันของแหล่งสิริกิติ์

จากการวิเคราะห์ พบว่าในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมันมีธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบ 18 ธาตุ ได้แก่ Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr และ Ba โดยมีธาตุหลักที่มีปริมาณมากอยู่ในเกือบทุกตัวอย่างคือ Al, Si, Fe เช่นเดียวกับในตัวอย่างตะกอน

และจากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมันส่วนใหญ่มีปริมาณธาตุแคลเซียมสูงกว่าแบเรียมและสตรอนเชียม ยกเว้นในตัวอย่างที่ระดับความลึก 1663 ถึง 2010 เมตร ซึ่งที่ระดับความลึกดังกล่าว เป็นความลึกของชั้นแอ่งน้ำมันจากแหล่งสิริกิติ์



รูปที่ 4.8 ปริมาณธาตุ Ba, Sr และ Ca ในแต่ละตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน

4.3 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

ในการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างกากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมครั้งนี้ทำโดยพิจารณาค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมรวม (เรเดียม-226, เรเดียม-228) กับ ปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเชียม และแคลเซียม และวิเคราะห์สหสัมพันธ์แยกตามชนิดของตัวอย่าง และแสดงความมีสหสัมพันธ์ในแต่ละกลุ่มตัวอย่างด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งหลังจากพิจารณาข้อมูลตามสถิติแล้ว ได้เลือกบางข้อมูลที่จะนำมาใช้เพื่อหาสหสัมพันธ์ ผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

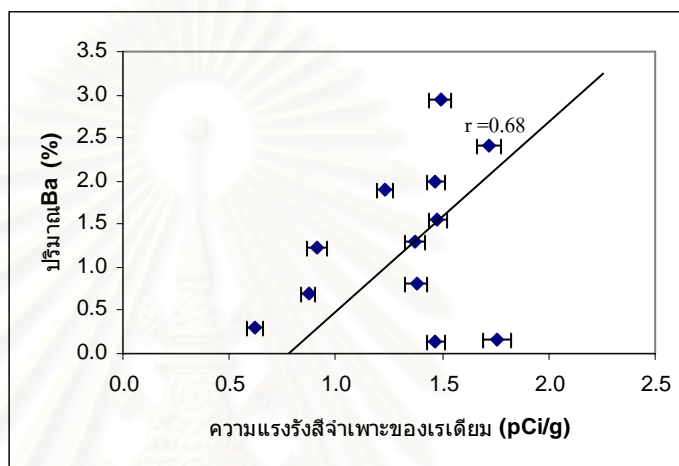
4.3.1 สหสัมพันธ์ในตัวอย่างสลัดจ์

ในการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเชียม และแคลเซียมในตัวอย่างสลัดจ์ครั้งนี้ ไม่ใช่ข้อมูลที่วัดได้จากตัวอย่างสลัดจ์ของแหล่งสิริกิติ์มาพิจารณาหาสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวอย่างสลัดจ์ที่เหลือ เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่มาจากต่าง

แหล่ง และมีจำนวนเพียง 2 ตัวอย่าง ซึ่งไม่เพียงพอที่จะใช้พิจารณาหาสหสัมพันธ์ ดังนั้นตัวอย่าง สลัดจ์ที่ใช้ในหาสหสัมพันธ์ในครั้งนี้ จึงเป็นตัวอย่างจากแหล่งบงกชเท่านั้น

4.3.1.3 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับธาตุแบเรียมในตัวอย่างสลัดจ์

ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมได้ถูกนำมาเขียนกราฟกับปริมาณของ ธาตุแบเรียมเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ของธาตุทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 4.9

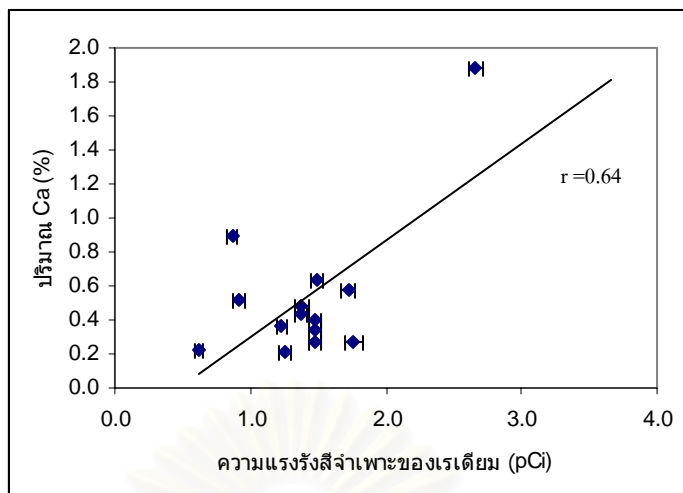


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียมในสลัดจ์

จากรูปที่ 4.9 พบว่า มีแนวโน้มของความมีสหสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณ ความแรงรังสีจำเพาะกับปริมาณธาตุแบเรียม โดยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และจากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของกลุ่มตัวอย่าง ได้เท่ากับ 0.68 แสดงว่าสหสัมพันธ์เป็นไปในทางบวก คือ เมื่อปริมาณธาตุแบเรียมเพิ่มขึ้น ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.68 ซึ่งเป็นค่าสหสัมพันธ์ขนาดใหญ่หรือความความแรงรังสีจำเพาะของ เรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียมในตัวอย่างสลัดจ์มีความสัมพันธ์กันมาก

4.3.1.2 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับธาตุแคลเซียมในตัวอย่างสลัดจ์

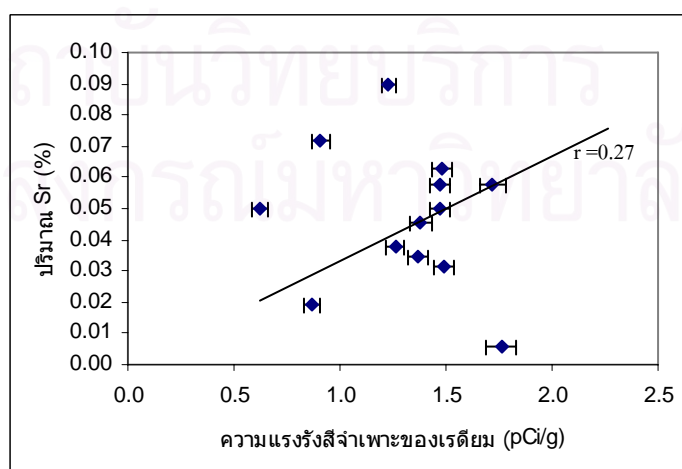
ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมได้ถูกนำมาเขียนกราฟกับปริมาณของ ธาตุแคลเซียมเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ของธาตุทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแคลเซียมในสลัดจ์

จากรูปที่ 4.10 พบว่ามีแนวโน้มของความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณความแรงรังสีจำเพาะกับปริมาณธาตุแคลเซียม โดยมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน และจากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะกับปริมาณธาตุแคลเซียมพบว่ามีความเท่ากับ 0.64 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ขนาดใหญ่ หรือมีความสัมพันธ์กันมาก ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแคลเซียมในตัวอย่างสลัดจ์ นั่นคือ เมื่อปริมาณธาตุแคลเซียมเพิ่มขึ้น ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

4.3.1.3 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับธาตุสตรอนเชียมในตัวอย่างสลัดจ์



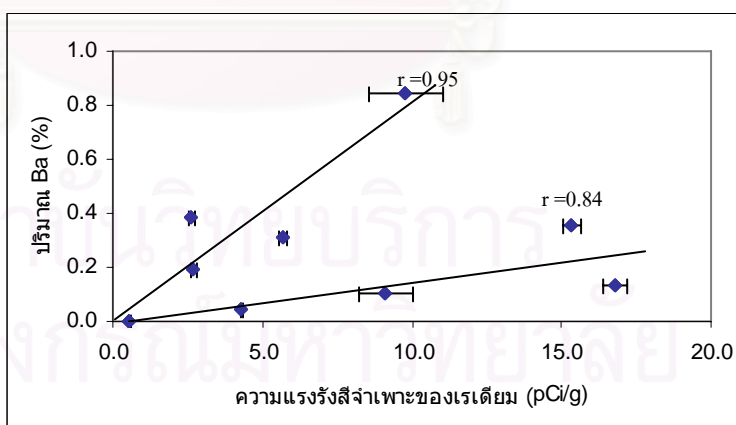
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุสตรอนเชียมในสลัดจ์

จากรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณ ธาตุสทรอนเชียมในตัวอย่างสลัดจ์ พบแนวโน้มความสัมพันธ์กัน ในทางบวกและจากการคำนวณหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ซึ่งมีค่า 0.27 แสดงมีสหสัมพันธ์กันระหว่างระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุ สทรอนเชียมขนาดเล็กในตัวอย่างสลัดจ์ นั่นคือ ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุสทรอนเชียมในตัวอย่างสลัดจ์มีความสัมพันธ์กันน้อย เนื่องจากธาตุสทรอนเชียมเป็นธาตุหายาก (rare earth) และพบในปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับธาตุอื่น ๆ ที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในตัวอย่างสลัดจ์ จึงทำให้ไม่มีผลต่อค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมน้อยกว่าธาตุอื่น ๆ

4.3.2 สหสัมพันธ์ในตัวอย่างตะกอน

ในการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเชียม และแคลเซียมในตัวอย่างตะกอนครั้งนี้ ไม่นำข้อมูลที่วัดได้จากตัวอย่างตะกอนที่เกิดจากแผ่นกรองของหลุมน้ำใต้ดินมาพิจารณาหาสหสัมพันธ์ร่วมกับตัวอย่างที่เหลือ เนื่องจากเป็นตัวอย่างที่มีค่าความแรงรังสีอยู่ในช่วงที่แตกต่างกับกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์เป็นดังนี้

4.3.2.1 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับธาตุแบเรียมในตัวอย่างตะกอน



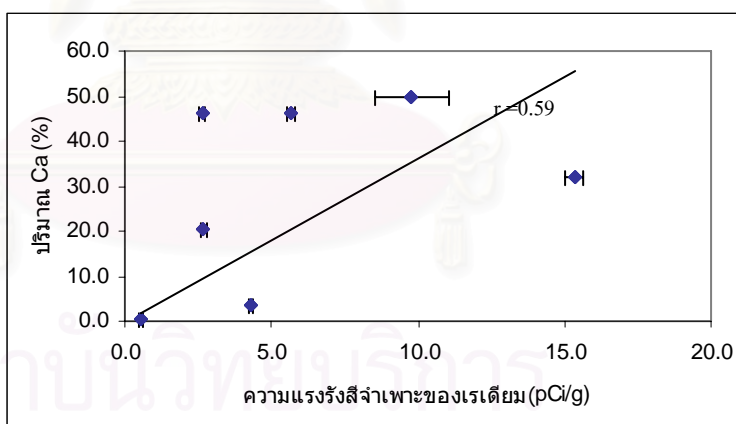
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณ ธาตุแบเรียมในตะกอน

จากรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียมในตัวอย่างตะกอน เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการ

วิเคราะห์มีจำนวนน้อย ในการพิจารณาหาสหสัมพันธ์ จึงพิจารณาแยกเป็นสอง แนวโน้ม และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากกลุ่มข้อมูลในแต่ละ แนวโน้ม ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.95 และ 0.84 ซึ่งเป็น สหสัมพันธ์ในทางบวกขนาดใหญ่ แสดงว่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับ ปริมาณธาตุแคลเซียมในตัวอย่างตะกอนมีความสัมพันธ์กันมาก

4.3.2.2 สหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุ แคลเซียมในตัวอย่างตะกอน

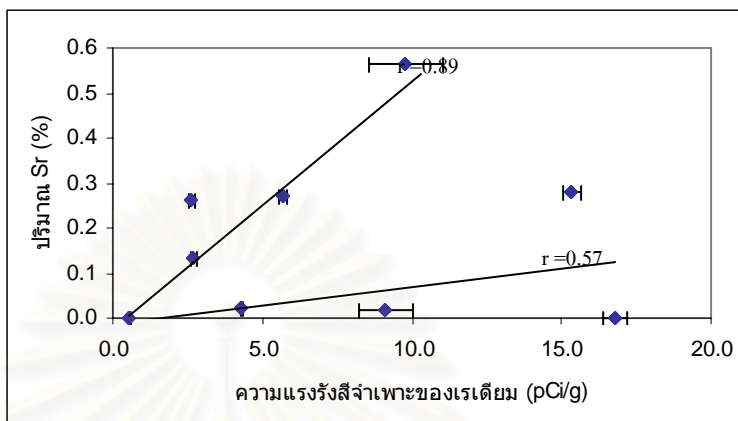
ในการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับ ปริมาณธาตุแคลเซียมในตัวอย่างตะกอนไม่นำข้อมูลที่วัดได้จากตัวอย่างตะกอนที่ 8 และ 9 มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เนื่องจากปริมาณแคลเซียมที่วัดได้ จากตัวอย่างดังกล่าวมีค่าต่างไปจากค่าเฉลี่ยของปริมาณแคลเซียมที่วัดได้จาก ตัวอย่างตะกอนทั้งหมด เกินกว่าค่าเบี่ยงเบนของกลุ่มตัวอย่าง ผลจากการวิเคราะห์ พบแนวโน้มความมีสหสัมพันธ์ในทางบวก ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณแคลเซียมในตะกอน

จากรูปที่ 4.13 เมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้เท่ากับ 0.59 แสดงว่าปริมาณความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแคลเซียมใน ตัวอย่างตะกอนมีสหสัมพันธ์กันมาก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ของความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแคลเซียมใน ตัวอย่างสลัดจ์

4.3.2.3 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับธาตุสตรอนเชียมในตัวอย่างตะกอน



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุสตรอนเชียมในตะกอน

จากรูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุสตรอนเชียมในตัวอย่างตะกอน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ได้พิจารณาหาสหสัมพันธ์ แยกเป็นสองแนวโน้ม และคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จากกลุ่มข้อมูลในแต่ละแนวโน้ม ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.89 และ 0.57 ซึ่งเป็นสหสัมพันธ์ในทางบวกขนาดใหญ่ แสดงว่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุสตรอนเชียมในตัวอย่างตะกอนมีความสัมพันธ์กันมาก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในกระบวนการผลิตปิโตรเลียมเมื่อทำการสูบน้ำมันและก๊าซธรรมชาติขึ้นมาจากใต้ดิน จะชะล้างเอาเรเดียมที่มีอยู่ในดินหรือหินที่อยู่รอบบริเวณนั้นมาด้วย น้ำจากกระบวนการผลิตที่มีธาตุเรเดียมละลายปนอยู่นี้จะถูกสูบน้ำขึ้นมาพร้อมกับน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ และเมื่อผ่านเข้าสู่ขั้นตอนในการผลิต จึงทำให้เกิดกากที่มีการปนเปื้อนทางรังสีในระบบผลิตและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีการสัมผัสหรือปฏิบัติงานกับน้ำจากกระบวนการผลิตของแหล่งปิโตรเลียม

ในการศึกษานี้ได้วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียมในรูปของความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมในประเทศไทย โดยใช้เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี และตัวอย่างกากที่ใช้ในการวิจัยคือ ตัวอย่างสลัดจ์และตะกอนจากกระบวนการผลิตปิโตรเลียมของแหล่งบงกช และแหล่งสิริกิติ์ นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมที่วิเคราะห์ได้กับองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างกากปิโตรเลียมอีกด้วย ซึ่งผลจากการวิจัยสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม

- ตัวอย่างสลัดจ์ (Sludge)

ได้ทำการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะในตัวอย่างสลัดจ์ ซึ่งเป็นกากที่เกิดจากการตกตะกอน ในอุปกรณ์การผลิตปิโตรเลียมที่น้ำจากกระบวนการผลิตไหลผ่าน ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างสลัดจ์ทั้งหมด 21 ตัวอย่าง แบ่งเป็นตัวอย่างจากแหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติ บงกชจำนวน 19 ตัวอย่าง และ 2 ตัวอย่าง จากถังตกตะกอนของน้ำจากกระบวนการผลิตจากแหล่งผลิตน้ำมันสิริกิติ์

ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี พบว่าค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และเรเดียม-228 ในตัวอย่างสลัดจ์อยู่ในช่วง 0.27 ± 0.025 ถึง 2.45 ± 0.01 และ 0.35 ± 0.03 ถึง 2.06 ± 0.04 พิโคคูรีต่อกรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่าของความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ที่พบในตัวอย่างสลัดจ์ทั้งหมด อยู่ในช่วงของค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 จากดินทั่วไปของประเทศไทย คือ 0.29 ถึง 2.12 พิโคคูรีต่อกรัม [15] โดยตัวอย่างสลัดจ์ที่มีค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมสูงสุด คือ ตัวอย่างที่ 21 จากแหล่งสิริกิติ์ และพบว่าตัวอย่างสลัดจ์จากแหล่งสิริกิติ์ทั้งสองตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 20 และ 21) มีค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมสูงกว่าตัวอย่างสลัดจ์ทุกตัวอย่างจากแหล่งบงกช (ยกเว้นตัวอย่างที่ 15) ทั้งนี้เนื่องจากแหล่ง

ผลิตทั้งสองมีอายุของการดำเนินการผลิตที่แตกต่างกัน โดยแหล่งสิริกิติ์มีอายุการดำเนินการผลิตนานกว่าแหล่งบงกช ซึ่งมีผลอย่างมากต่อปริมาณเรเดียมที่ละลายปนอยู่ในน้ำจากกระบวนการผลิต อันเป็นแหล่งกำเนิดของเรเดียมที่จะพบในตัวอย่างสลัดจ์ นอกจากนี้จากข้อมูลความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในน้ำจากกระบวนการผลิตที่เคยมีการวิเคราะห์ไว้[8] พบว่าน้ำจากกระบวนการผลิตในแหล่งสิริกิติ์มีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมสูงกว่าในแหล่งบงกช (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) เป็นเหตุให้สลัดจ์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตในแหล่งสิริกิติ์มีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมสูงกว่าสลัดจ์จากแหล่งบงกช

- ตัวอย่างตะกอน (Scale)

ได้ทำการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างตะกอน ที่เกิดเป็นคราบแข็งเกาะติดตามผิวด้านในของท่อหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่น้ำจากกระบวนการผลิตไหลผ่าน ซึ่งมีทั้งหมดจำนวน 12 ตัวอย่าง ตัวอย่างตะกอนทั้งหมดมาจากแหล่งสิริกิติ์

ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรีพบว่า ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ในตัวอย่างตะกอน มีค่าอยู่ในช่วง 0.25 ± 0.04 ถึง 119.910 ± 5.63 และ 0.31 ± 0.05 ถึง 140.07 ± 5.63 พิโคคูรีต่อกรัม ตามลำดับ โดยตัวอย่างตะกอนที่มีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมสูงสุดคือตัวอย่างที่ 12 รองลงมาคือตัวอย่างที่ 11 ซึ่งเป็นตัวอย่างตะกอนจากแผ่นกรองน้ำใต้ดิน (ground water) ที่สูบขึ้นมาและอัดกลับลงไปในหลุมน้ำมันเพื่อเพิ่มความดันให้แก่ น้ำมันในหลุมข้างเคียงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งปกติแล้วน้ำใต้ดินบริเวณแหล่งปิโตรเลียมจะมีความเค็มสูงกว่าน้ำใต้ดินทั่วไป จึงเพิ่มความสามารถในการละลายของเรเดียม ทำให้ น้ำที่สูบขึ้นมามีเรเดียมละลายอยู่สูง ดังนั้นจึงเกิดเป็นตะกอนที่แผ่นกรอง ทำให้ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมที่วัดได้จากตัวอย่างทั้งสองนี้ สูงกว่าตัวอย่างตะกอนอื่น ๆ ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของน้ำในกระบวนการผลิต (produced water)

- ตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน

ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมันของแหล่งสิริกิติ์ เพื่อหาความเข้มข้นของปริมาณเรเดียมที่มีกระจายอยู่ตามธรรมชาติในแหล่งสิริกิติ์ และใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างความปริมาณเรเดียมที่มีอยู่ตามธรรมชาติในแหล่งสิริกิติ์กับปริมาณเรเดียมที่มีอยู่ในกากจากกระบวนการผลิตในแหล่งเดียวกัน

ผลการวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมด้วยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรีพบว่า ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ที่วัดได้ในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมันมีค่าอยู่ในช่วง 0.23 ± 0.01 ถึง 0.77 ± 0.03 และ 0.43 ± 0.02 ถึง 1.38 ± 0.07 พิโคคูรีต่อกรัมตามลำดับ ตัวอย่างดินที่วัดค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมได้สูงสุด คือ ตัวอย่างดินที่ความลึก 2040 ถึง

2530 เมตร ซึ่งที่ความลึกดังกล่าวเป็นระดับความลึกของชั้นหินดินดานใต้ชั้นน้ำมัน และพบว่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ที่วัดได้จากตัวอย่างนี้มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ในหินดินดานทั่วโลกที่มีรายงานในเอกสารอ้างอิงที่ 17

ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมที่วัดได้ในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน แสดงถึงความเข้มข้นของเรเดียมที่กระจายอยู่ตามธรรมชาติของดินรอบ ๆ แหล่งสิริกิติ์ และจากการศึกษาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างสลัดจ์และตัวอย่างตะกอนของแหล่งผลิตนี้ พบว่ามีปริมาณเรเดียมสูงกว่าที่มีอยู่ในธรรมชาติหลายเท่า จึงอาจสรุปได้ว่าปริมาณเรเดียมที่สูงขึ้นในสลัดจ์และตะกอนนั้น ถูกทำให้สูงขึ้น (Enhanced) ด้วยกระบวนการผลิตปิโตรเลียม

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเรเดียมในสลัดจ์และตะกอนที่ทำการศึกษาในครั้งนี้อยู่กับปริมาณเรเดียมในสลัดจ์และตะกอนจากแหล่งปิโตรเลียมของหลาย ๆ ประเทศที่เคยมีการศึกษาไว้ พบว่ากากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมในประเทศไทยมีปริมาณเรเดียมต่ำกว่าที่พบในหลาย ๆ ประเทศหลายเท่า ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ปริมาณเรเดียมในตัวอย่างสลัดจ์ และตะกอนจากแหล่งปิโตรเลียมในประเทศต่าง ๆ

	สลัดจ์ (pCi/g)		ตะกอน (pCi/g)	
	Ra-226	Ra-228	Ra-226	Ra-228
นอร์เว[18]	2.7 - 127.03	2.7 - 124.32	108.11 - 872.97	70.27 - 905.4
บราซิล[5]	9.7-9918.91	6.76 - 9270.26	2864.86	2108.11
ออสเตรเลีย[19]	675.68	810.81	6756.76	8108.11
แอลจีเรีย[20]	-	-	486.49-17432.43	-
ไทย	0.27 - 2.45	0.35 - 2.06	0.25 - 119.91	0.31 - 140.07

5.1.2 องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง

ในการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง จำเป็นต้องทราบธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่าง ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ในแต่ละตัวอย่าง และพบว่า ในตัวอย่างสลัดจ์และตะกอน ทั้งจากแหล่งบงกช แหล่งสิริกิติ์มีจำนวนธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในตัวอย่างไม่แตกต่างกันมากนัก แต่มีปริมาณของธาตุเบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียมแตกต่างกันดังนี้

- ตัวอย่างสลัดจ์

ปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างสลัดจ์มีค่าอยู่ในช่วง 0.35%-0.84%, 0.02%-0.56% และ 0.43%-49.76% ตามลำดับ โดยที่ตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีปริมาณของธาตุแบเรียมเป็นองค์ประกอบมากกว่าอีกสองธาตุที่เหลือ

จากข้อมูลของสถาบันปิโตรเลียมแห่งอเมริกา (American Petroleum Institute) รายงานว่าปริมาณธาตุองค์ประกอบเหล่านี้เมื่อตกตะกอนอยู่ในสลัดจ์มักจะอยู่ในรูปสารประกอบคาร์บอเนต และแบเรียมคาร์บอเนต (BaCO_3) ซึ่งมีค่าคงที่การละลาย (solubility product constant, K_{sp}) ต่ำกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ผลจากจากการวิเคราะห์จึงพบปริมาณธาตุแบเรียมสูงกว่าธาตุแคลเซียมในตัวอย่างสลัดจ์ส่วนใหญ่ เนื่องจาก ส่วนสารประกอบสทรอนเซียมคาร์บอเนต มีค่า K_{sp} ต่ำกว่าสารประกอบสองตัวแรกทำให้สารประกอบ สทรอนเซียมละลายออกมาสู่แหล่งผลิตได้น้อย นอกจากนั้น ธาตุสทรอนเซียมยังเป็นธาตุหายาก (rare earth) มีความเข้มข้นอยู่ได้ทั่วโลกต่ำ จึงมีธาตุสทรอนเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในตัวอย่างสลัดจ์น้อยกว่าธาตุอื่น ๆ

- ตัวอย่างตะกอน

ปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างตะกอนมีค่าอยู่ในช่วง 0.35%-0.84%, 0.02%-0.56% และ 0.43%-49.76% ตามลำดับ โดยที่ตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีปริมาณของธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบมากกว่าอีกสองธาตุที่เหลือซึ่งสอดคล้องกับผลที่วิเคราะห์ได้จากดินหลุมเจาะน้ำมันในแหล่งเดียวกัน แสดงว่าในแหล่งสิริกิติ์มีปริมาณความเข้มข้นของธาตุแคลเซียมสูงกว่าอีกสองธาตุที่เหลือมาก จึงพบธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในตัวอย่างตะกอนมากกว่าธาตุแบเรียม และเช่นเดียวกับในตัวอย่างสลัดจ์ สทรอนเซียม มีความเข้มข้นอยู่ได้ทั่วโลกต่ำ จึงมีธาตุสทรอนเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ในตัวอย่างสลัดจ์น้อยกว่าธาตุอื่น ๆ

- ตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบในตัวอย่างดินจากหลุมเจาะน้ำมัน มีปริมาณของปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียม อยู่ในช่วง 0.09%-0.1.69%, 0.01%-0.56% และ 0.01%-0.02% ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้แสดงถึงความเข้มข้นของธาตุเหล่านี้ที่มีอยู่ตามธรรมชาติของแหล่งผลิตเอง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างตะกอน ของแหล่งเดียวกันพบว่าในตัวอย่างตะกอนมีปริมาณของธาตุแบเรียม สทรอนเซียมและแคลเซียมสูงขึ้นไปกว่าที่มีอยู่ตามธรรมชาติ โดยเฉพาะ ธาตุแคลเซียมที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นกว่าในธรรมชาติอย่างชัดเจน

5.1.3 สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม

ได้ทำการศึกษาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเรเดียมกับองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียม และแสดงความมีสหสัมพันธ์ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- ตัวอย่างสลัดจ์

ผลการวิเคราะห์พบว่ามีสหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียม ในทางบวก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.68 , 0.27 และ 0.64 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในตัวอย่างสลัดจ์จากแหล่งบงกช เมื่อมีปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียมสูงจะมีผลให้ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมสูงขึ้นเช่นกัน โดยปริมาณธาตุแบเรียมจะมีสหสัมพันธ์กับค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมมากกว่าปริมาณธาตุแคลเซียม และสทรอนเซียม

- ตัวอย่างตะกรัน

ผลการวิเคราะห์พบว่ามีสหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียม ในตัวอย่างตะกรัน ในทางบวก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.84-0.95 , 0.59 และ 0.57-0.89 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในตัวอย่างตะกรันจากแหล่งบงกชเมื่อมีปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียมสูงจะมีผลให้ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมสูงขึ้นเช่นกัน โดยพบว่าปริมาณธาตุแบเรียมจะมีสหสัมพันธ์กับค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมมากกว่าปริมาณธาตุแคลเซียม และสทรอนเซียม

จึงสามารถสรุปได้ว่ามีสหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม แคลเซียม และสทรอนเซียม ในตัวอย่างกากจากอุตสาหกรรม และจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมมีสหสัมพันธ์กับปริมาณธาตุแบเรียมมากที่สุด เนื่องจากเรเดียมมีคุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกับแบเรียมมากกว่าสทรอนเซียม และแคลเซียม เรเดียมจึงสามารถเข้าแทนที่ในโครงสร้างผลึกสารประกอบของแบเรียมได้ดีกว่า จึงพบว่าปริมาณธาตุแบเรียมมีผลต่อความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมมากกว่าธาตุสทรอนเซียมและแคลเซียม

เพื่อเป็นการสนับสนุนผลการวิจัย จึงได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำจากกระบวนการผลิต จากตัวอย่างแมงกานีสไฟเบอร์ (Mn fiber) ที่ใช้ดูดซับธาตุเรเดียมสำหรับวิเคราะห์ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในน้ำจากกระบวนการผลิตปิโตรเลียมของแหล่งบงกช และแหล่งสิริกิติ์[8],[19] เนื่องจากแมงกานีสไฟเบอร์มีความสามารถดูดซับเรเดียมโดยการแลกเปลี่ยนไอออน แมงกานีสไฟเบอร์จึงสามารถดูดซับธาตุอื่น ๆ ในหมู่เดียวกันกับเรเดียมได้ดังนั้นจึงนำตัวอย่างแมงกานีสไฟเบอร์จากห้องปฏิบัติการ NORM LAB ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียมด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ เพื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเชียม และแคลเซียมในตัวอย่างน้ำจากกระบวนการผลิต ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ (แสดงในภาคผนวก ข) พบว่ามีสหสัมพันธ์ขนาดใหญ่อย่างเห็นได้ชัด ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเชียม และแคลเซียมในตัวอย่างน้ำจากกระบวนการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับสหสัมพันธ์ที่พบในตัวอย่างสลัดจ์และตะกอน

5.2 วิจัยผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.2.1 ตัวอย่างสลัดจ์ที่ใช้ในการทำการวิจัยนี้บางตัวอย่างมีการปนเปื้อนของโลหะปรอทในปริมาณสูง จึงอาจมีความคลาดเคลื่อนของผลจากการวัดความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างได้ ถึงแม้ผู้ทำการวิจัยจะทำการแก้ค่าด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตนเองของตัวอย่างแล้วก็ตาม ปรอทเป็นธาตุโลหะหนักที่มีมวลอะตอมสูง ดังนั้นเมื่อกำหนดค่าความแรงรังสีเป็นความแรงรังสีจำเพาะ(ความแรงรังสีต่อน้ำหนักตัวอย่าง) ในตัวอย่างที่มีปรอทปนเปื้อนสูงจึงอาจมีค่าความแรงรังสีจำเพาะน้อยกว่าที่มีอยู่จริง

5.2.2 สำหรับการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์ควรมีการเก็บจำนวนตัวอย่างมากกว่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อลดค่าเบี่ยงเบนของกลุ่มข้อมูล ทำให้ค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

5.2.3 สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของแต่ละธาตุองค์ประกอบด้วยโปรแกรม SemiQ เนื่องจากตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยมีจำนวนไม่เพียงพอที่จะลดผลของแมทริกซ์ ด้วยเทคนิคอื่น ๆ ได้ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีความถูกต้องในเชิงสัดส่วนเปรียบเทียบกับองค์ประกอบแต่ละธาตุในตัวอย่าง แต่หากต้องการคำนวณหาปริมาณของธาตุอย่างละเอียด ควรใช้เทคนิคการสร้างกราฟมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ

รายการอ้างอิง

1. สุพิชชา จันทโรยธา. การจัดการกากกัมมันตรังสี. เอกสารประกอบคำสอน ภาควิชา
นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
2. International Atomic Energy Agency (IAEA). 2001. An Overview of International
Status and Trends in Radioactive Waste Management, IAEA/WMDB/ST/1.
Austria, September
3. N.C. Sturchio, J.L. Banner, C.M. Binz, L.B. Heraty, M. Musgrove. Radium
Geochemistry of Ground Water in Palezoic Carbonate Aquifers, Midcontinent,
USA. Applied Geochemistry 16 (2002): 109-122
4. S.F. Jerez Vegueria, J.M. Godoy and N. Miekeley. Enviromental Impact Studies of
Barium and Radium Discharges by Produced Water from the “Bacia de
Compos” Oil Offshore Platforms, Brazil. Journal of Enviromental Radioactivity
62 (2002): 29-38
5. Jose Marcus Godoy and Rosana Petinatti da cruz. ^{226}Ra and ^{228}Ra in Scale and Sludge
Samples And their Correlation with the Chemical Composition. Journal of
Environmental Radioactivity (2003)
6. John R. Cooper, Keith Randle and Ranjeet S. Sokhi. Radioactive Releases in the
Environment : Impact and Assement. Antony Rowe Ltd, Great Britain, 2002
7. Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. and Keys, D.A.. Applied Geophysic.
Cambridge University Press, Cambridge, 1976
8. สุพิชชา จันทโรยธา. การหาปริมาณธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ ในผลิตภัณฑ์
ผลิตภัณฑ์พลอยได้และกากจากอุตสาหกรรมแร่เชื้อเพลิง แร่หินอุตสาหกรรม แร่
หนัก และกากจากการบำบัดน้ำประปา. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548. (รายงานประจำปีงบประมาณ
2547 โครงการวิจัยร่วมภาครัฐกับเอกชน)
9. Philip Egidi, Oak Ridge National Laboratory. Introduction to Naturally Occurring
Radioactive Material. 42nd. Annual Meeting of the Helth Physics Society, 1997
10. American Petroleum Institute. Management and Disposal Allternative for Naturally
Occuring Radioactive Material (NORM) Waste in oil Production and Gas Plant
Equipment. November

11. ทรัพย์ากรธรณี, กรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ธรณีวิทยาแห่งประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี. (เฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในโอกาสพระราชพิธีมหามงคล เฉลิมพระชนมพรรษา 6 รอบ 5 ธันวาคม 2542), 2544
12. เทพจันทร์ แสงสุนทร. เคมี ม.4 เล่ม 2 ว.032. กรุงเทพฯ : ภูมิบัณฑิต
13. Alan Carter. The Chemistry of the s block,with a focus on Group IIThe Alkaline Earth Metals. Department of Chemistry,Wellington College. Available from: <http://www.wellingtoncollege.berks.sch.uk/intranets/chemistry/resources/AS/M1/Group%202%20-%20The%20alkaline%20Earh%20Elemnts.DOC>
14. สัมพันธ์ วงศ์นาวา. เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ : สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
15. นัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. การวัดความสัมพันธ์:pearson's sample correlation coefficient. กศม. (การวัดผลการศึกษา). แหล่งที่มา: <http://www.watpon.com>
16. ชีรศักดิ์ อัจฉนนนท์. ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สกายบุ๊ก, 2546
17. UNSCEAR, Ionization Radiation: Sources and Biological Effects. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation 2000. Report to the General Assembly, with Annexes, United Nation, Newyork
18. I. Lysebo, T. Strand. NORM in Oil Production in Norway. International Symposium on Radiological Problems in the Non-nuclear Industry, Amsterdam, September 1997
19. B. Cassels, A. White. Regulatory Management of NORM Wastes from Petroleum Exploration Activities in the Northern Territory. Radiation Protection in Australasia, 2001, vol.18, No.1, pp.16-34
20. M.S. Hamlat, S. Djefal, M. Khelidj, L. Kheznadji. Naturally Occurring Radioactive Materials in Algeria. NORM-II International Symposium, November 1998, Krefeld, Germany
21. ภาวิณี วิสัยแสง. การหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยใช้แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิกเป็นตัวดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

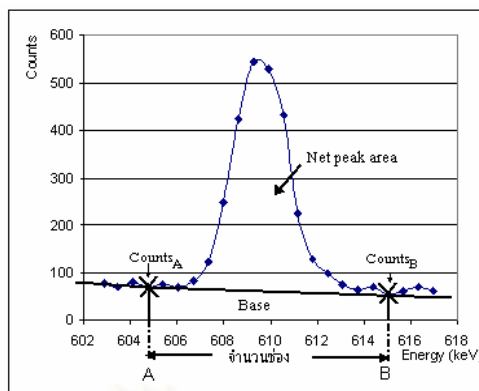
1. ตัวอย่างการคำนวณหาจำนวนหาอัตรานับสุทธิ

ตาราง ก-1 ข้อมูลอัตรานับที่พีคพลังงาน 609.3 keV จากตะกรันตัวอย่างที่ 3

Channel	Eergy (keV)	Counts
941	604.12	81
942	604.76	69
943	605.40	76
944	606.04	70
945	606.68	83
946	607.32	124
947	607.97	247
948	608.61	423
949	609.25	544
950	609.89	527
951	610.53	432
952	611.18	223
953	611.82	129
954	612.46	99
955	613.10	76
956	613.74	65
957	614.38	70
958	615.03	53
959	615.67	62
960	616.31	70

ค่าอัตรานับที่จุดเริ่มพีค (C_A) (ค่าเฉลี่ยอัตรานับจาก 4 ช่อง)

ค่าอัตรานับที่จุดสิ้นสุดพีค (C_B) (ค่าเฉลี่ยอัตรานับจาก 4 ช่อง)



รูป ก-1 พื้นที่ใต้พีคพลังงาน 609.3 keV แสดงค่าอัตรานับในตัวอย่างตารางที่ 3

เมื่อนำข้อมูลอัตรานับที่วัดได้จากตัวอย่างมาสร้างเป็นกราฟระหว่างพลังงานกับค่าอัตรานับ ดังรูป ก-1 จะได้จุดเริ่มและจุดสิ้นสุดพีค เพื่อใช้ในการในการคำนวณหาอัตรานับสุทธิ ซึ่งจากตาราง ก-1 และรูป ก-1 จะได้ จุดเริ่มพีคที่ Channel 944 และสิ้นสุดที่ 957

ค่าอัตรานับสุทธิของพีคพลังงาน 609.3 keV หาได้จากพื้นที่ใต้พีคที่สร้างจากข้อมูลที่วัดได้ นั่นเอง ค่าอัตรานับสุทธิ (Net peak area) จะเท่ากับ พื้นที่ใต้พีคทั้งหมด (Peak integral) ลบด้วย พื้นที่ฐานของพีค (Base)

$$\text{Net peak area} = \text{Peak integral} - \text{Base}$$

$$\text{ดังนั้น Peak integral} = \sum_{\text{Channel}=944}^{957} \text{count}$$

$$= \frac{(81 + 69 + 76 + 70)}{4} + 83 + 124 + 247 + 423 + 544 + 527 + 432 + 223 + 129 + 99 + 76 + 65 + \frac{(70 + 53 + 62 + 70)}{4}$$

$$= 3190$$

$$\text{และ Base} = \frac{1}{2} \times (C_a + C_b) \times (B - A + 1)$$

$$= \frac{1}{2} \times \left\{ \left(\frac{81 + 69 + 76 + 70}{4} \right) + \left(\frac{70 + 53 + 62 + 70}{4} \right) \right\} \times (957 - 944 + 1)$$

$$= 964$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ค่าอัตรานับสุทธิ} = 3190 - 964$$

$$= 2145$$

2. ตัวอย่างการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเองในตะกอนตัวอย่างที่ 3
ค่าอัตรานับสุทธิที่ได้จากขั้นตอนที่ 7 ในข้อ 3.2.1.4 คือค่า $I_0 = 110518$

จากขั้นตอนที่ 8 ได้ค่า $I_x = 87107$

แทนค่า I_0 และ I_x ลงในสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเอง} &= \frac{\ln(110518/87107)}{1 - (87107/110518)} \\ &= 1.124 \end{aligned}$$

นั่นคือ ในตัวอย่างที่ 3 มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโดยตัวเองเท่ากับ 1.124

3. ตัวอย่างการการคำนวณหาค่าความแรงรังสีในตะกอนตัวอย่างที่ 3
จากสมการที่ 2.2 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{ความแรงรังสีจำเพาะในตะกอนตัวอย่างที่ 3} &= 133.51 \times \frac{133.31}{105} \times \frac{20901}{14703} \times \frac{1.124}{1.126} \\ &= 1.25 \text{ pCi/g} \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

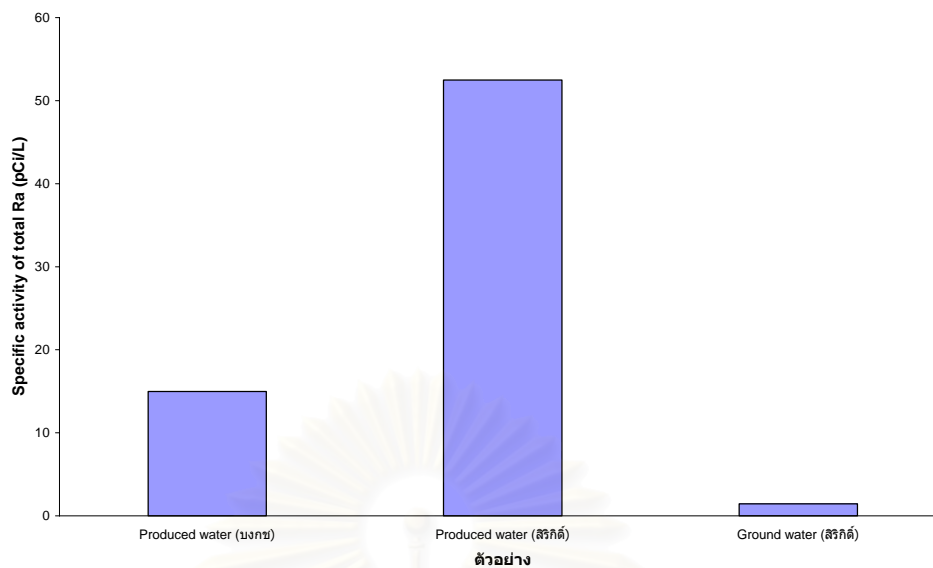
ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแมงกานีสไฟเบอร์ (Mn fiber)

1. ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมจากตัวอย่างน้ำ โดยใช้เทคนิคดูดซับด้วยแมงกานีสไฟเบอร์ และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

ตาราง ข-1 ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมในตัวอย่างน้ำ[8]

ตัวอย่าง	ประเภท	แหล่งที่มา	ความแรงรังสีจำเพาะ : pCi/L		
			Ra-226	Ra-228	Total Ra
1	น้ำในกระบวนการผลิต (P75107)	Sc-5040 (Jan.) (บงกช)	6.09±0.04	11.10±0.74	17.19±0.08
2	น้ำในกระบวนการผลิต (P75121)	Sc-5040 (Mar.) (บงกช)	5.13±0.25	9.76±0.55	14.89±0.60
3	น้ำในกระบวนการผลิต (P75004)	Sc-5071 (Apr.) (บงกช)	4.07±0.33	8.78±0.71	12.85±0.78
4	น้ำในกระบวนการผลิต	แท็งก์ตกตะกอนน้ำ, น้ำมัน T302 (Sep.) (สิริกิติ์)	13.37±0.44	25.28±0.93	38.65±1.03
5	น้ำในกระบวนการผลิต	แท็งก์ตกตะกอนน้ำ, น้ำมัน T302 (Oct.) (สิริกิติ์)	22.30±0.48	35.77±0.96	58.07±1.07
6	น้ำในกระบวนการผลิต	แท็งก์ตกตะกอนน้ำ, น้ำมัน T302 (Nov.) (สิริกิติ์)	22.68±0.50	38.04±1.00	60.72±1.12
7	น้ำใต้ดินในแหล่งผลิต	หลุมน้ำใต้ดิน Dow-39 Down stream (สิริกิติ์)	1.83±0.18	1.56±0.38	3.39±0.42
8	น้ำใต้ดินในแหล่งผลิต	หลุมน้ำใต้ดิน Dow-16 Up stream (สิริกิติ์)	0.25±0.17	0.37±0.36	0.62±0.40
9	น้ำใต้ดินในแหล่งผลิต	หลุมน้ำใต้ดิน DDC (IOW-3) (สิริกิติ์)	0.24±0.17	0.12±0.36	0.36±0.40

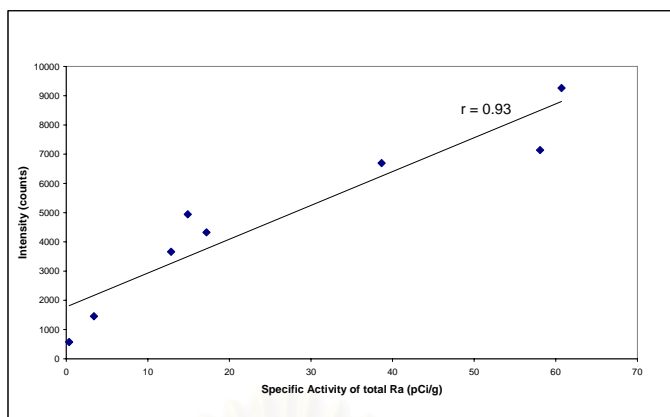


รูป ข-1 ความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมเฉลี่ยในตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์ด้วยการวัดรังสีแกมมาจาก Mn fiber

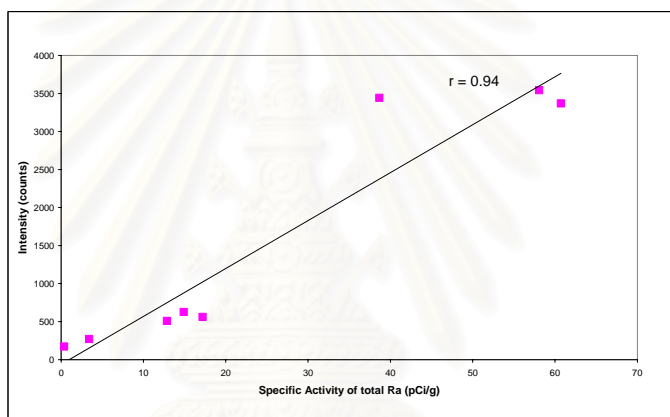
2. ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเมงกานีสไฟเบอร์ ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ เพื่อหาปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียมที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ

ตาราง ข-2 ปริมาณธาตุแบเรียม สทรอนเซียม และแคลเซียมที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำ

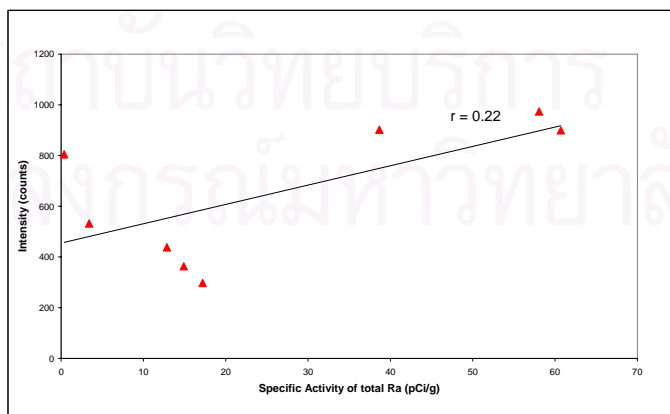
ตัวอย่าง	Ba (wt %)	Sr (wt %)	Ca (wt %)
1	1.03	0.15	1.16
2	1.09	0.15	1.51
3	0.82	0.12	1.67
4	1.68	0.76	3.64
5	1.64	0.74	1.31
6	2.61	0.71	3.74
7	0.27	0.06	1.94
8	0.06	0.05	2.51
9	0.10	0.04	3.18



รูป ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแบเรียมในตัวอย่างน้ำ



รูป ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุสตรอนเชียม ในตัวอย่างน้ำ



รูป ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียมกับปริมาณธาตุแคลเซียมในตัวอย่างน้ำ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ข้าพเจ้า นางสาวนันทนิช จิตต์ธรรม จบการศึกษาในระดับอุดมศึกษาจาก ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) ในปีพ.ศ. 2545 และเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นิวเคลียร์เทคโนโลยี) ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย