

การหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยใช้แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิกเป็นตัวดูดซับ



นางสาวภาวิณี วิสัยแสง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1216-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF RADIUM-226 CONTENT IN WATER USING
MANGANESE DIOXIDE-COATED ACRYLIC FIBER AS AN ADSORBENT



Miss Pawinee Wisaisawang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1216-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยใช้แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบ
บนเส้นใยอะคริลิกเป็นตัวดูดซับ
โดย นางสาวภาวิณี วิสัยแสง
สาขาวิชา นิเวศวิทยเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาวิณี วิสัยแสวง : การหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยใช้แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบ
บนเส้นใยอะคริลิกเป็นตัวดูดซับ (DETERMINATION OF RADIUM-226 CONTENT IN
WATER USING MANGANESE DIOXIDE-COATED ACRYLIC FIBER AS AN
ADSORBENT) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุพิชชา จันทโรยธา, 80 หน้า. ISBN 974-53-1216-9

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคในการหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยใช้
แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิกเป็นตัวดูดซับ โดยทำการศึกษาหาถึงเงื่อนไขที่
เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก ประกอบด้วย สีของเส้นใยอะคริลิก, อุณหภูมิและความ
เข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และเวลาที่ใช้ในการเคลือบ นอกจากนี้ยังได้
ศึกษาตัวแปรต่างๆที่อาจมีผลต่อการดูดซับเรเดียมของเส้นใยอะคริลิกที่เคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์
การวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ทำโดยการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของบิสมัท-214 ที่
พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

การศึกษาคือการเคลือบโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตบนเส้นใยอะคริลิก พบว่า เงื่อนไขที่
เหมาะสม คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เท่ากับ 0.5 โมล ต่อ ลิตร
อุณหภูมิของสารละลายให้มีค่าอยู่ในช่วง 70 -80 องศาเซลเซียส เวลาในการเคลือบเส้นใยประมาณ
20-30 นาที และสีของเส้นใยอะคริลิกควรมีสีดำ สำหรับปริมาณของเส้นใยอะคริลิกที่เคลือบด้วย
แมงกานีสไดออกไซด์ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) สามารถดูดซับเรเดียม-226 ในน้ำธรรมชาติที่มี
ปริมาตร 20-100 ลิตร ได้ดี และสำหรับการศึกษาอัตราการไหลและค่าความเป็นกรดต่างของตัวอย่าง
น้ำพบว่า อัตราการไหลที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 1 – 2 ลิตรต่อนาที และ ค่าความเป็นกรดต่างของ
ตัวอย่างน้ำควรมีค่าประมาณ 6-7 ผลของการศึกษานี้ขนาดของเส้นใยอะคริลิก พบว่า เส้นใยอะคริลิก
ขนาดต่างๆ มีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมบนแมงกานีสไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน ค่าต่ำสุดใน
การวัดสำหรับเทคนิคนี้มีค่าเท่ากับ 0.001 เบคเคอเรล ต่อ ลิตร

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยีลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2547

4570466921 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: RADIUM-226 / MANGANESE DIOXIDE / ACRYLIC FIBER/ GAMMA SPECTROMETRY

PAWINEE WISAISAWANG : DETERMINATION OF RADIUM-226 CONTENT IN WATER USING MANGANESE DIOXIDE-COATED ACRYLIC FIBER AS AN ADSORBENT. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUPITCHA CHANYOTHA , Ph.D., 80 pp. ISBN 974-53-1216-9

This research was aimed to develop a technique for determination of radium-226 content in water using manganese dioxide-coated acrylic fiber as adsorber. The suitable conditions for coating acrylic fiber with KMnO_4 including color, temperature, KMnO_4 concentration and coating time were studied. In addition, the various parameters that might effect the adsorption of ^{226}Ra on Mn-coated fiber during collecting water sample were also investigated. Gamma spectrum of 609.3 keV of ^{214}Bi was used to analyze the ^{226}Ra concentration.

The study of KMnO_4 coated on acrylic fiber found that the best used conditions are as follows: 0.5 M/L, 70-80 °C, 20-30 min coating time and the color of Mn-coated fiber should be black. The amount 60 gram of Mn-coated fiber was capable for absorbing ^{226}Ra in 20-100 L of natural water sample. The appropriate range of pH and flow rate of collected water should be 6-7 and 1-2 L/min respectively. The efficiency of ^{226}Ra adsorpted on different sizes of Mn-coated local fibers gave the same results. This technique has minimum detectable activity, (MDA) 0.001 Bq/L

DepartmentNuclear Technology.....Student's signature.....

Field of study...Nuclear Technology.....Advisor's signature.....

Academic year...2004

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิชชา จันทรโยธา ที่ให้ความกรุณาช่วยให้คำปรึกษา ชี้แนะ และความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ ทำให้ในงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ Professor William C. Burnett และ Henrieta Dulaiova จากมหาวิทยาลัยแห่งรัฐฟลอริดา ที่ช่วยให้ความรู้ในเรื่องเทคนิคการเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึงทำการทดลองเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่กองการวัดกัมมันภาพรังสีในสิ่งแวดล้อม สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเตรียมตัวอย่าง และการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณบริษัท ไทยอะคริลิกไฟเบอร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยอะคริลิกที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณภาควิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำ Deionized

ขอขอบคุณ บริษัทเหล่าซงสิงห์ และบ้านสวาทยานนท์ จ.สมุทรปราการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำบาดาล

ขอขอบคุณ คุณชุตติมา กรานรอด และ คุณรวีวรรณ กฤษณานูวัตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณ อาจารย์ เจ้าหน้าที่ทุกท่าน และเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนในภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ที่ให้ความช่วยเหลือ ด้วยดีเสมอมา

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ ความห่วงใย และให้การสนับสนุนในทุกๆด้าน ด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้.....	4
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	
2.1 แหล่งกำเนิดของรังสี.....	7
2.1.1 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ.....	7
2.1.1.1 รังสีคอสมิก.....	7
2.1.1.2 แหล่งกำเนิดรังสีในพื้นที่กำเนิดขึ้นมาพร้อมกับโลก.....	7
2.2 คุณสมบัติของเรเดียม-226.....	11
2.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของไอโซโทปเรเดียม ในน้ำด้วยเทคนิคทางรังสี.....	12
2.3.1 วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา.....	12
2.3.2 วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา.....	12
2.3.3 วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์รังสีบีตา.....	12

2.4 การเคลือบเมงกานีสไดออกไซด์บนตัวกลางต่างๆ	
2.4.1 เคลือบบนแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์.....	15
2.4.1.1 วิธีการเคลือบแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์.....	15
2.4.1.2 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้แผ่นดิสก์โพลีเอไมด์.....	15
2.4.2 เคลือบบนเรซิน.....	16
2.4.2.1 การเตรียมเมงกานีสไดออกไซด์เรซิน.....	16
2.4.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้เมงกานีสไดออกไซด์เรซิน.....	16
2.4.3 เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก.....	18
2.4.3.1 วิธีการเคลือบเส้นใยอะคริลิก.....	18
2.4.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้เส้นใยอะคริลิก.....	18
2.6 ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา.....	19
2.5.1 กลไกการทำงานของหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำ.....	20
2.5.2 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา.....	22
2.5.2.1 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาจากตัวอย่าง.....	23
2.6 การคำนวณความเข้มข้นรังสีของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ.....	23
2.7 ค่าต่ำสุดในการวัด.....	24
2.7.1 ค่าต่ำสุดในการวัดของระบบวัดรังสี.....	24
2.7.2 ค่าต่ำสุดในการวัดของการวัดตัวอย่าง.....	25
2.8 มาตรฐานของนิวไคลด์รังสีในน้ำดื่ม.....	26
2.9 ตัวอย่างปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำบางแหล่งในประเทศ.....	28
3 วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	29
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	29
3.2 อุปกรณ์.....	29
3.3 เครื่องมือ.....	30
3.4 การดำเนินการวิจัย.....	30
3.4.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ต้องเตรียมเพื่อใช้ในการทดลอง.....	30
3.4.2 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเส้นใยอะคริลิก.....	32

สารบัญ(ต่อ)	ฉ
บทที่	หน้า
3.4.2.1การศึกษาเรื่องสีของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบ ด้วยแมงกานีสไดออกไซด์.....	33
3.4.2.2การศึกษาอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ เส้นใยอะคริลิก.....	34
3.4.2.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียม- เปอร์แมงกาเนตและปริมาณเส้นใยอะคริลิก	34
3.4.3 การศึกษาปริมาณ Mn-Fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ.....	36
3.4.4 การศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิกที่ใช้.....	37
3.4.5 การศึกษาอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำผ่าน Mn-fiber.....	39
3.4.6 การศึกษาความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ.....	41
3.4.7 การเตรียม Standard Mn-fiber.....	41
3.4.8 การเตรียม แบลงค์.....	41
3.4.9 ทดลองใช้กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นภายใต้เงื่อนไขเพื่อหาปริมาณ เรเดียมในน้ำจากแหล่งอื่นๆ.....	41
3.4.10 ยืนยันผลการทดลอง.....	42
3.4.10.1 ขนาดของเส้นใยอะคริลิก.....	42
3.4.10.2 การวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ.....	42
3.4.11 การวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ของตัวอย่างน้ำโดย Mn-fiber.....	43
4 ผลการวิจัย.....	48
4.1 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก ด้วยแมงกานีสไดออกไซด์.....	48
4.1.1 ผลการศึกษาสีของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบ ด้วยแมงกานีสไดออกไซด์.....	48
4.1.2 การศึกษาอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ เส้นใยอะคริลิก.....	49
4.1.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และปริมาณเส้นใยอะคริลิก.....	50
4.2 การศึกษาปริมาณ Mn-fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ.....	52

บทที่	หน้า
4.3 การศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิกที่ใช้.....	54
4.4 การศึกษาอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ.....	55
4.5 การศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ.....	58
4.6 การศึกษาแบลงค์M n-fiber	61
4.7 ทดลองใช้กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม ในตัวอย่างน้ำจากแหล่งอื่นๆ.....	62
4.8 ยืนยันผลการทดลอง.....	63
4.8.1 ขนาดของเส้นใยอะคริลิก.....	63
4.8.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ.....	64
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสม.....	65
5.2 สรุปปริมาณ Mn-fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ.....	66
5.3 สรุปผลการศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิกที่ใช้.....	66
5.4 สรุปการศึกษ้อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ.....	66
5.5 สรุปการศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ.....	66
5.6 สรุปผลการทดลองใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นหาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำ.....	67
5.7 ข้อเสนอแนะ.....	68
รายการอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก ก.....	71
ภาคผนวก ข.....	75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238.....	8
2.2 อนุกรมการสลายตัวของทอเรียม-232.....	9
2.3 นิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติที่อยู่นอกเหนือ อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 และทอเรียม-232.....	9
2.4 วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของไอโซโทปเรเดียม ในตัวอย่างน้ำ.....	13
2.5 ตัวอย่างวิธีวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียมในสิ่งแวดล้อม.....	14
2.6 ตัวแปรที่มีผลต่อการจับเรเดียมบนแมงกานีสไดออกไซด์ ที่เคลือบบนตัวกลางต่างๆ.....	19
2.7 มาตรฐานปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำดื่ม.....	27
2.8 มาตรฐานปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำแร่ในประเทศไทย.....	27
2.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำประปาและน้ำแร่ในประเทศเยอรมนี.....	28
2.10 ปริมาณเรเดียม-226 ที่มีในแหล่งน้ำต่างๆในประเทศไทย.....	28
4.1 สีและอัตรานับรังสีของเส้นใยอะคริลิกภายหลังการเคลือบ ด้วยแมงกานีสไดออกไซด์.....	48
4.2 ผลของอุณหภูมิของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก.....	49
4.3 เงื่อนไขความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก.....	51
4.4 ผลของปริมาณเส้นใยอะคริลิกที่ใช้เก็บตัวอย่าง สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226.....	53
4.5 ผลของปริมาณเส้นใยอะคริลิกที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำแร่จังหวัดราชบุรี.....	53
4.6 ประสิทธิภาพในการจับเรเดียม-226 ของ Mn-fiber ชนิดต่างๆ.....	54
4.7 ผลของอัตราการไหลของตัวอย่างสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ผ่าน Mn-fiber.....	55
4.8 ผลของอัตราการไหลของตัวอย่างสารละลายมาตรฐานแบเรียม-133 ผ่าน Mn-fiber.....	57
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ กับ ความเข้มข้นรังสีของ เรเดียม-226 (cpm).....	58

ตาราง	หน้า
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ กับ อัตรานับรังสีของแบเรียม-133(cpm).....	60
4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ.....	62
4.12 ประสิทธิภาพในการจับเรเดียม-226 ของ Mn-fiber ชนิดต่างๆ.....	63
4.13 ประสิทธิภาพในการจับเรเดียม-228 ของ Mn-fiber ชนิดต่างๆ.....	63
4.14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 จากการใช้ Mn-fiber คนละชนิดและระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาที่แตกต่างกัน.....	64
5.1 เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก.....	67



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U และ ^{232}Th	10
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ กับการดูดซับของเรเดียมบน โพลีเอไมด์คิงส์	16
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ กับการดูดซับของเบเรียม-133 บนแมงกานีสไดออกไซด์เรซิน	17
2.4 ไดอะแกรมหัววัดรังสีแบบ HPGe	21
2.5 แสดงแผนผังการจัดระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมา	21
2.6 การหาความเข้มข้นรังสีสุทธิ	22
2.7 ค่าต่ำสุดในการวัดเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ โดย ใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน	25
3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง	31
3.2 ขั้นตอนการศึกษาสีของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบด้วย แมงกานีสไดออกไซด์	35
3.3 ขั้นตอนการศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	35
3.4 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณ Mn-fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ	38
3.5 ขั้นตอนการศึกษานาของเส้นใยอะคริลิก	38
3.6 ขั้นตอนการศึกษ้อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ	40
3.7 ขั้นตอนการศึกษาความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ	40
3.8 กระบอกพลาสติกที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง Mn-fiber	43
3.9 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยผ่าน Mn-fiber	44
3.10 Mn-fiber ก่อนทำการเผา	44
3.11 Mn-fiber หลังเผา	45
3.12 การผึ่ง Mn-fiber หลังจากทำการเผาแล้ว	45
3.13 Mn-fiber ที่ทำการปิดผนึกเรียบร้อยแล้วพร้อมสำหรับการวัดรังสีแกมมา	46
3.14 หัววัดรังสีและตะกั่วกำบังรังสี	46
3.15 เครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง	47

รูปที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต กับเวลาที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิกและกับอัตรานับรังสี.....	51
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ กับ อัตรานับรังสีของเรเดียม-226.....	56
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ กับ อัตรานับรังสีของแบเรียม-133.....	57
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ กับ การจับเรเดียม-226 ของ Mn-fiber.....	59
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ กับ การจับแบเรียม-133 ของ Mn-fiber.....	60
4.6 อัตราการนับรังสีของแบลงค์Mn-fiber	61
ก-1 โปรแกรม Genie 2000 ของ Canberra.....	74
ก-2 สเปคตรัมรังสีแกมมา.....	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา [1],[2]

ส่วนประกอบของเปลือกโลกมีสารกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมกับการเกิดโลกปะปนอยู่ในปริมาณน้อยแต่ในระดับที่สามารถตรวจวัดได้ สารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตั้งแต่การเกิดโลกเรียกว่า วัสดุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Naturally Occurring Radioactive Material) หรือเรียกสั้นๆว่า NORM มี NORM มากกว่า 60 ชนิด ที่สามารถพบได้ในธรรมชาติ NORM ที่สำคัญ คือ ยูเรเนียมและทอเรียม ซึ่งสลายตัวให้ธาตุกัมมันตรังสีเป็นอนุกรมต่อเนื่องประมาณธาตุละ 10 กว่าชนิด ในสิ่งแวดล้อมจึงมี NORM ปะปนอยู่ทั่วไปไม่ว่าจะเป็น ดิน น้ำ อากาศ พืช สัตว์ ในอาคารบ้านเรือนที่ก่อสร้างจากวัสดุธรรมชาติ และแม้แต่ในตัวของมนุษย์เอง ถ้า NORM ถูกทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเนื่องด้วยเทคนิคหรือกระบวนการใดๆ NORM จะเรียกว่า TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material) ซึ่ง TENORM เหล่านี้อาจทำให้สิ่งแวดล้อมแปรอะเปื้อนในระดับที่เสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนได้ NORM ที่สำคัญได้แก่ ยูเรเนียม-238 (^{238}U), ทอเรียม-232 (^{232}Th), เรเดียม-226 (^{226}Ra), เรเดียม-228 (^{228}Ra), เรดอน-222 (^{222}Rn) และ โทรอน-224 (^{224}Rn)

น้ำเป็นของเหลวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการรวมตัวของธาตุไฮโดรเจนและออกซิเจนมีสูตรทางเคมีว่า H_2O น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดอย่างหนึ่ง สามารถละลายธาตุต่างๆที่มีอยู่ในดิน หิน และทราย ดังนั้นจึงทำให้มีสารกัมมันตรังสีละลายปะปนอยู่ในน้ำ เช่น ธาตุในอนุกรมยูเรเนียม อนุกรมทอเรียม โพแทสเซียม-40 (^{40}K) จากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียมจะให้เรเดียมซึ่งละลายน้ำได้ และสลายตัวต่อให้เรดอนซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซแพร่กระจายสู่บรรยากาศ ชนิดและปริมาณของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในน้ำ ขึ้นอยู่กับสารประกอบของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในพื้นดินที่น้ำนั้นไหลผ่าน ซึ่งมีผลต่อปริมาณของธาตุกัมมันตรังสีในน้ำ

ชนิดและปริมาณของธาตุกัมมันตรังสีในน้ำนอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่มีอยู่ในพื้นดินที่น้ำไหลผ่านยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ ทางเคมีและฟิสิกส์ ของสารประกอบของธาตุกัมมันตรังสีดังนี้

1. ความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบของแข็งที่มีสารไอโซโทปรังสีเป็นส่วนประกอบ
2. ความสามารถในการแยกตัวออกในรูปของตะกอนดิน ของสารไอโซโทปรังสีในน้ำ
3. ความสามารถในการดูดซึมก๊าซไอโซโทปรังสีไว้ในน้ำ เช่น การดูดซึมก๊าซเรดอน

4. ความสามารถในการแยกตัวของก๊าซไอโซโทปรังสีดังกล่าวจากน้ำ เป็นขบวนการทางฟิสิกส์ ซึ่งไม่มีผลต่อ ปริมาณไอโซโทปในน้ำโดยตรง แต่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารไอโซโทปในน้ำทางอ้อม เนื่องจาก

- การระเหยและการแข็งตัวของน้ำ ยังผลให้ความเข้มข้นของสารไอโซโทปรังสีในแหล่งน้ำนั้นเพิ่มขึ้น
- การไหลมารวมกันของแหล่งน้ำที่มีความเข้มข้นของสารไอโซโทปรังสีต่างๆ

ไอโซโทปรังสีของธาตุต่างๆ จะมีผลต่อร่างกายแตกต่างกัน สำหรับไอโซโทปรังสีที่พบในน้ำธรรมชาติ ที่นับว่าเป็นอันตรายต่อมนุษย์มากหากมีปริมาณสูง คือ ธาตุเรเดียม-226 (^{226}Ra)

International Commission on Radiological Protection (ICRP) [3] กำหนดให้ปริมาณสูงสุดของเรเดียม-226 ให้มีในร่างกายได้โดยไม่เกิดอันตรายเท่ากับ 0.1 ไมโครคูรี และ United States Environmental Protection Agency (EPA) กำหนดปริมาณเรเดียม-226 กับเรเดียม-228 ไว้ในมาตรฐานน้ำดื่ม ว่าไม่ควรเกิน 5 พิโคคูรีต่อลิตร(0.185 เบคเคอเรล ต่อ ลิตร)

ดังนั้น การทราบปริมาณของธาตุเรเดียม-226 ในแหล่งน้ำต่างๆจะเป็นประโยชน์ทางด้านสุขภาพ ความปลอดภัย และชีวนามัยของประชากรที่อาศัยแหล่งน้ำเหล่านั้นในการอุปโภคและบริโภค

ปัจจุบันวิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของไอโซโทปเรเดียมในน้ำด้วยเทคนิคทางรังสีมี 3 วิธีใหญ่ๆ ดังนี้

1. วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา เช่น วิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation Method) หรือ เทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Technique) ซึ่งวิธีนี้มีเทคนิคทางเคมีที่มีความยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่าง
2. วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์รังสีบีตา เช่น การสกัดแอกติเนียม-228 ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี หรือ การดูดซับบนแผ่นดิสก์ที่เคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์
3. วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา เช่น การตกตะกอนร่วมด้วยแบเรียมซัลเฟต หรือ ต้มระเหยตัวอย่างน้ำเพื่อลดปริมาตรและเพิ่มความเข้มข้นให้เหลือตัวอย่างปริมาณน้อยลง หรือวิธีที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เคลือบเส้นใยอะคริลิกด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ ซึ่งวิธีนี้การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ไม่ยุ่งยากสามารถใช้งานได้ง่าย

ซึ่งวิธีการหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยใช้แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิกเป็นตัวดูดซับ ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ในงานทางด้านสมุทรศาสตร์ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงพัฒนาเทคนิคนี้เพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ในแหล่งน้ำธรรมชาติอื่นๆ โดยใช้เส้นใยอะคริลิกที่ผลิตในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำโดยการดูดซับด้วยเมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก (Acrylic Fiber) และวัดรังสีแกมมา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 พัฒนาเทคนิคการเคลือบเมงกานีสไดออกไซด์บนเส้นใยอะคริลิกที่ผลิตในประเทศซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการจับเรเดียม
- 1.3.2 ศึกษาผลกระทบของความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ และอัตราการไหลผ่านตัวกลางในการจับเรเดียม
- 1.3.3 วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 โดยวิธีวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา จากตัวอย่างแก้วของเส้นใยอะคริลิก
- 1.3.4 ทดลองใช้กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นวิเคราะห์เรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำบางแหล่งในประเทศ

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างการเคลือบด้วยเมงกานีสไดออกไซด์บนเส้นใยอะคริลิก ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม
- 1.4.3 ออกแบบอุปกรณ์สำหรับการทดลอง และจัดระบบวิเคราะห์รังสีโดยใช้หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์เมเนียมบริสุทธิ์สูง
- 1.4.4 ใช้เส้นใยอะคริลิก ที่เคลือบด้วยเมงกานีสไดออกไซด์ จับเรเดียมจากตัวอย่างน้ำตามเงื่อนไขที่เหมาะสม
- 1.4.5 วิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 จากแก้วของเส้นใยอะคริลิกโดยการวัดรังสีแกมมา
- 1.4.6 สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้

- 1.5.1 ได้เทคนิคและเงื่อนไขในการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำโดยการดูดซับด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก ซึ่งไม่ต้องใช้กระบวนการทางเคมีที่ยุ่งยาก
- 1.5.2 สามารถนำเทคนิคที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียมในน้ำจากแหล่งอื่นๆ

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี 1980 ขนิษฐา กมลรัตน์ ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาวิธีทางเคมีวิเคราะห์สำหรับการหาเรเดียม-226 โดยวิธีตกตะกอน โดยการตกตะกอนเรเดียมออกจากสารตัวอย่างในรูปของสารประกอบเรเดียมและ เบริยมซัลเฟต โดยใช้แบเรียม-133 เป็นสารติดตาม (tracer) เพื่อหาเคมีคัล ยิลด์ แล้วทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิคการสกัด วัดปริมาณรังสีหลังจากปล่อยทิ้งไว้ 2-3 อาทิตย์ เพื่อให้เรเดียม-226 อยู่ในสภาวะสมดุลกับ daughter product reproducibility และความเชื่อถือได้ของเทคนิคการวิเคราะห์ ได้ทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเรเดียม ซึ่งเตรียมขึ้น ชิดจำกัดต่ำสุดของวิธีที่พัฒนาภายใต้สภาวะทดลองนี้มีค่า 0.02 พิโคคูรี วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนี้ นำมาใช้ได้ดีกับสารตัวอย่างที่มีปริมาณแคลเซียมไม่สูงมากนักเช่น น้ำ แต่อาจจะไม่เหมาะนักถ้า นำมาใช้กับสารตัวอย่างที่มีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น กระดูก และนม เป็นต้น

1.6.2 ปี 1988 นันทชัย ทองแป้น ได้ทำการศึกษาเรื่อง การหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี โดยใช้หัววัดโซเดียมไอโอไดต์ (ทัลเลียม) ขนาด 3" x 3" และ 5" x 5" วัดรังสีแกมมา พลังงาน 352 และ 609 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ปลดปล่อยจากตะกั่ว-214 และ บิสมัท-214 ภายหลังการเกิดสมดุลกัมมันตรังสีแล้ว จากการเปรียบเทียบด้วยสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 พบว่าขีดจำกัดในการวิเคราะห์ที่พลังงาน 352 และ 609 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ของหัววัด ขนาด 3" x 3" เมื่อใช้เวลานับรังสี 30000 วินาที มีค่า 44.13 ± 2.55 และ 51.00 ± 3.37 พิโคคูรี ต่อ 200 ซีซี. ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 9 ตัวอย่างจากบริเวณเหมืองดีบุกในจังหวัดภูเก็ต นครศรีธรรมราช และจากภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าจำนวน 3 ตัวอย่างมีปริมาณเรเดียมอยู่ในช่วง 8.78 ± 2.90 ถึง 27.58 ± 2.93 พิโคคูรีต่อลิตร สำหรับหัววัด 5" x 5" มีปริมาณเรเดียม 10.20 ± 4.58 พิโคคูรีต่อลิตร ในขณะที่ตัวอย่างที่เหลือไม่พบเรเดียม ผลการวิจัย

จากหัววัดทั้งสองขนาดและที่รังสีแกมมาสองพลังงานมีค่าสอดคล้องกันดี นอกจากนี้ยังได้ใช้หัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง หาปริมาณเรเดียมในตัวอย่งน้ำหนึ่งตัวอย่างจากจังหวัดนครศรีธรรมราชพบว่าปริมาณเรเดียม 40.20 ± 1.88 และ 37.43 ± 0.68 พิโคคูรีต่อลิตร ที่พลังงาน 352 และ 609 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ในขณะที่ผลจากหัววัดโซเดียมไอโอไดด์อยู่ในช่วง 22.58 ± 4.58 ถึง 27.58 ± 2.93 และ 20.48 ± 2.60 ถึง 26.68 ± 6.68 พิโคคูรีต่อลิตร ตามลำดับ ผลจากหัววัดรังสีสองชนิดต่างกันอาจเกิดจากพื้นที่ใต้พิภพมีค่าน้อยมากสำหรับหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

1.6.3 ปี 2000 Jost Eikenberg , Aude Tricca , Guido Vezzu , Sixto Bajo , Max Ruethi , Heinz Surbeck ได้ทำการศึกษาเรื่อง Determination of ^{228}Ra , ^{226}Ra and ^{224}Ra in Natural Water via Absorption on MnO_2 - Coated Discs โดยทำการวิเคราะห์ อนุภาคแอลฟาจากแผ่นดิสก์โพลิเอไมด์ที่เคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ ได้โดยตรง ทำให้สามารถวัดอนุภาคแอลฟาที่ปลดปล่อยจาก เรเดียม - 224 และ เรเดียม -226 และ เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 6 เดือนสามารถวัดการปลดปล่อยอนุภาคบีตา ของ เรเดียม - 228 ซึ่งได้มาจากการปลดปล่อยจากนิวไคลด์ลูกของ ทอเรียม - 228 บนดิสก์ที่เคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ การวิเคราะห์สามารถใช้ตัวอย่างประมาณ 0.5 – 1 ลิตร ใช้เวลาในการวัดนานถึง 1 สัปดาห์ และใช้ซิลิกอนบริสุทธิ์สูงเป็นผิวหน้าหัววัด สำหรับการวัด เรเดียม -226 มีขีดจำกัดในการวัดเท่ากับ 0.15 มิลลิเบคเคอเรล ต่อ ลิตร และสำหรับ เรเดียม- 224 ($T_{1/2} = 3.7$ วัน) และทอเรียม -228 (สำหรับการหาปริมาณเรเดียม-228) จะเกิดขึ้นบางส่วนของตัวอย่าง ทำให้มีขีดจำกัดในการวัดสูงกว่าเล็กน้อยคือเท่ากับ 0.24 มิลลิเบคเคอเรล ต่อ ลิตร ดังนั้นกระบวนการจึงนี้มีประสิทธิภาพพอที่จะวิเคราะห์ไอโซโทปเรเดียมในตัวอย่างน้ำในสิ่งแวดล้อม

1.6.4 ปี 2003 D.S. Moon , W.C. Burnett , S. Nour , P Horwitz , A. Bond ได้ทำการศึกษาเรื่อง Preconcentration of Radium Isotopes from Natural Water Using MnO_2 Resin โดยทำการศึกษา และพัฒนาลักษณะเฉพาะของ “ MnO_2 Resin” โดยศึกษาเงื่อนไขการดูดซับเรเดียมเช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของตัวอย่างน้ำ เวลาของการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของเกลือ พบว่าการดูดซับของ แบเรียม-133 ซึ่งใช้เป็นตัวติดตามเรเดียม ขึ้นกับค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของน้ำตัวอย่างโดยช่วงpH ที่เหมาะสมคือ 4 ถึง 8 ในน้ำที่มีความเค็มต่ำ การดูดซับของเรเดียมบน MnO_2 Resin จะเกิดขึ้นได้ดีและเรเดียมจะถูกดูดซับได้ดีกว่าแบเรียมที่อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำสูงกว่า 10 มิลลิลิตรต่อนาที การศึกษานี้ได้ใช้เทคนิคการวัดรังสีแกมมา โดยวัดรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาจาก แอคติเนียม - 228 ที่พลังงาน 338 และ 911 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

1.6.5 ปี 2004 Henrieta Dulaiova , William C. Burnett ได้ทำการศึกษาเรื่อง An Efficient Method for γ -Spectrometric Determination of Radium-226,228 via Manganese Fibers โดยนำน้ำธรรมชาติผ่าน Mn-fiber แล้วทำการผึ่งกันอย่างง่าย ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 โดยนำ Mn-fiber ใส่ในถ้วยสเตนเลสพอยล์ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส เป็นผลทำให้มวลของ Mn-fiber ลดลงไปประมาณ 90 % จากนั้นทำการผึ่งโดยใช้ไฮดรอลิก และทำการผึ่งด้านบนด้วยซิลิโคน เพื่อป้องกันไม่ให้เรดอนหลุดออกมา จากนั้นนำ Mn-fiber ที่ทำการผึ่งเรียบร้อยแล้วไปวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา สำหรับเรเดียม-228 จะวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของนิวไคลด์ลูกคือ เอกติเนียม-228 ที่พลังงาน 338 และ 911 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ สำหรับเรเดียม-226 จะวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาที่พลังงาน 186.2 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ หรือวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของนิวไคลด์ลูก คือ บิสมัท-214 และ ตะกั่ว-214 หลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 3 สัปดาห์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 แหล่งกำเนิดของรังสี[4]

มนุษย์ได้รับรังสีทั้งจากทางตรงและทางอ้อม คือ การได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีที่อยู่ภายนอกร่างกายโดยตรง และได้รับรังสีทางอ้อม เช่น การบริโภคอาหารและน้ำที่เป็นส่วนหนึ่งในทางผ่านของสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย แหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์ได้รับนั้นมีทั้งแหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติและแหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ

2.1.1.1 รังสีคอสมิก (Cosmic ray)

รังสีคอสมิกเป็นรังสีที่มีต้นกำเนิดจากภายนอกโลก ซึ่งอาจจะมาจากดวงอาทิตย์หรือจากอวกาศภายนอกโลก ในระดับพื้นดินทั่วไปปริมาณรังสีภายนอกที่ประชาชนได้รับจากรังสีคอสมิก มีค่าประมาณ 30 นาโนเกรย์ต่อชั่วโมง แต่ปริมาณรังสีจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก หากอยู่ในพื้นที่ที่สูงจากระดับน้ำทะเลมาก โดยจะเพิ่มสูงขึ้นสองเท่าที่ระดับ 1500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และสำหรับผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่บางแหล่งที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลมาก เช่น ที่เม็กซิโก จะได้รับปริมาณรังสีสูงกว่าปกติประมาณ 2 – 3 เท่า

นอกจากนี้รังสีคอสมิกยังทำปฏิกิริยากับบรรยากาศของโลก ทำให้เกิดสารกัมมันตรังสีอีกหลายชนิด เช่น ^3H , ^{14}C และ ^7Be

2.1.1.2 แหล่งกำเนิดรังสีในพื้นที่กำเนิดขึ้นมาพร้อมกับโลก

ประกอบด้วยสารกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตยาวมาก คือ อนุกรมยูเรเนียมและอนุกรมทอเรียม เช่น U-238 มีค่าครึ่งชีวิต 4.47×10^9 ปี และ Th-232 มีค่าครึ่งชีวิต 1.41×10^{10} ปี เป็นต้น รวมทั้งที่อยู่นอกเหนืออนุกรมทั้งสอง เช่น K-40 มีค่าครึ่งชีวิต 1.28×10^9 ปี, Rb-87 มีค่าครึ่งชีวิต 4.7×10^{10} ปี เป็นต้น

นอกจากนี้ U-238 และ Th-232 ยังเป็นต้นกำเนิดไอโซโทปรังสีอื่นอีกเป็นจำนวนมาก โดยมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องไปสิ้นสุดที่ไอโซโทปเสถียร อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238 และทอเรียม-232 แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ 2.2 สำหรับไอโซโทปที่อยู่นอกเหนืออนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียมและทอเรียม แสดงไว้ในตาราง 2.3 ซึ่งไอโซโทปรังสีเหล่านี้จะปะปนอยู่ใน

สิ่งแวดล้อม ทั้งในบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่เราอาศัยอยู่ ทำให้มนุษย์ได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติทั้งทางตรงและทางอ้อม

แหล่งกำเนิดรังสีประเภทนี้ เป็นแหล่งกำเนิดที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัว ดังนั้น ระหว่างที่มนุษย์มีกิจกรรมในชีวิตประจำวันหรือประกอบอาชีพต่างๆ มนุษย์จึงไม่อาจหลีกเลี่ยงการได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีประเภทนี้ได้ การได้รับรังสีของมนุษย์นั้นจะได้รับมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับสถานที่อยู่อาศัย ลักษณะนิสัย และอาชีพ

ตารางที่ 2.1 อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-238

Nuclide	Half-life	Energy(MeV)			ร้อยละของการปลดปล่อยรังสีแกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
²³⁸ U	4.47×10 ⁹ y	4.2	-	0.048	23
²³⁴ Th	24.1 d	-	0.19	0.09	4
²³⁴ Pa	1.17 m , 6.69 h	-	2.29	1.0	0.6
²³⁴ U	2.46×10 ⁵ y	4.8	-	0.05	28
²³⁰ Th	7.54×10 ⁴ y	4.8	-	0.068	24
²²⁶ Ra	1600 y	4.8	-	0.186	4
²²² Rn	3.82 d	5.49	-	0.5	0.07
²¹⁸ Po	3.10 m	6.00	-	-	-
²¹⁴ Pb	27 m	-	0.65	0.24	4
²¹⁴ Bi	19.9 m	5.5	1.5	0.61	47
²¹⁴ Po	164 μs	7.7	-	0.8	0.014
²¹⁰ Pb	22.6 y	-	0.016	0.046	81
²¹⁰ Bi	5.01 d	-	1.16	-	-
²¹⁰ Po	138.38 d	5.30	-	0.80	0.001
²⁰⁶ Pb			stable		

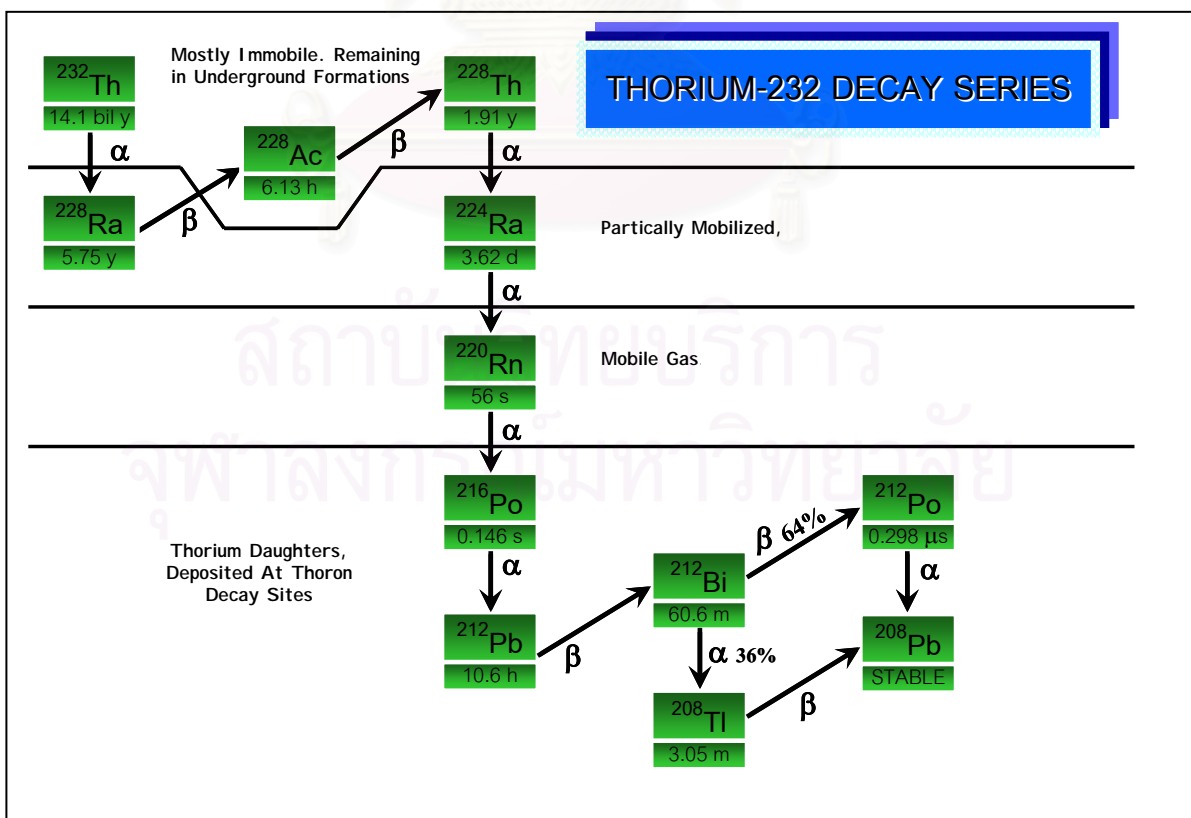
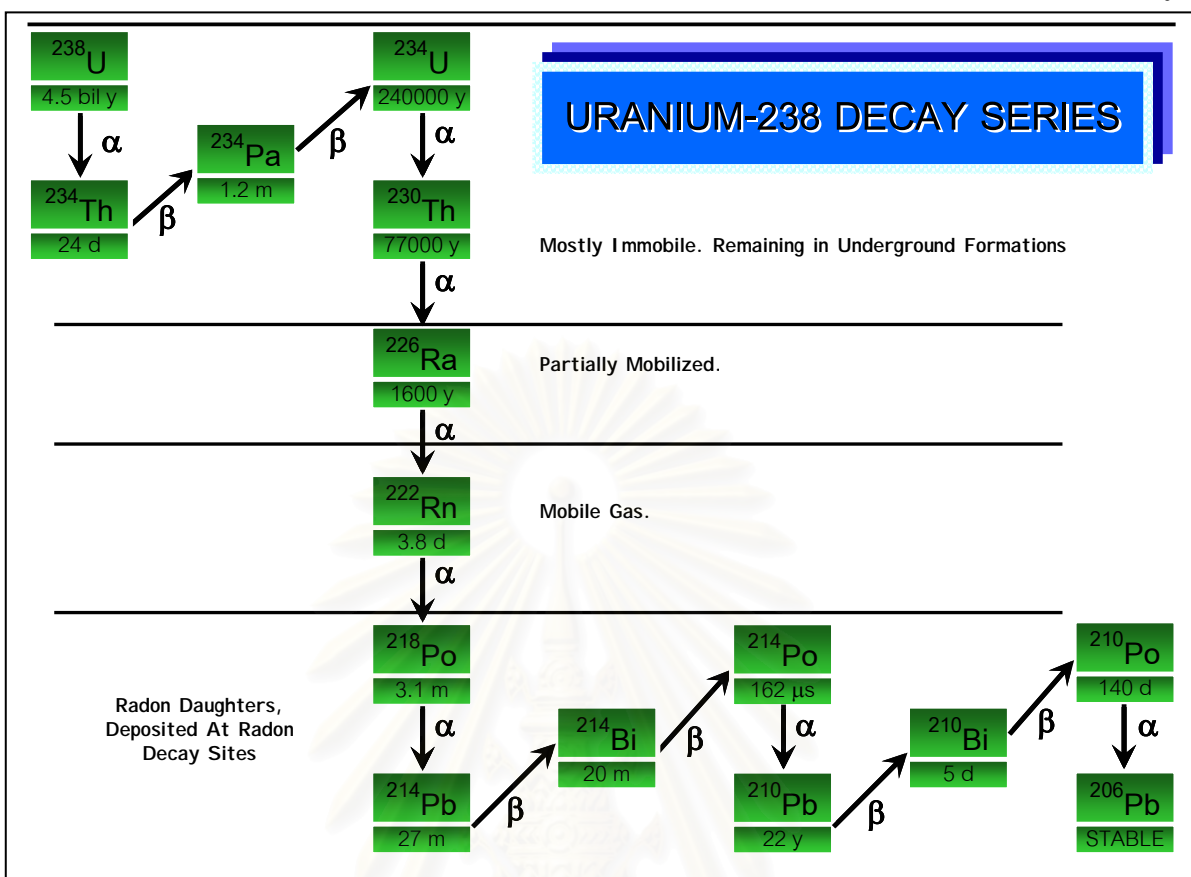
ตารางที่ 2.2 อนุกรมการสลายตัวของทอเรียม-232

Nuclide	Half-life	Energy(MeV)			ร้อยละของการปลดปล่อยรังสีแกมมา
		แอลฟา	บีตา	แกมมา	
²³² Th	1.40×10 ¹⁰ y	4.0	-	0.06	23
²²⁸ Ra	5.76 y	-	0.054	-	-
²²⁸ Ac	6.15 h	-	1.11	0.09	30
²²⁸ Th	1.913 y	5.43	-	0.08	28
²²⁴ Ra	3.66 d	5.68	-	0.24	5
²²⁰ Rn	55.6 s	6.29	-	-	-
²¹⁶ Po	0.145 s	6.78	-	-	-
²¹² Pb	10.64 h	-	0.36	0.238	81
²¹² Bi	1.009 h	6.05	2.20	0.04	17
²¹² Po	0.29 μs	8.78	-	-	-
²⁰⁸ Tl	3.053 m	-	1.79	2.62	100
²⁰⁸ Pb		stable			

ตารางที่ 2.3 นิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติที่อยู่นอกเหนืออนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม- 238 และทอเรียม-232

Nuclide	Decay mode	Half life(y)	Abundance(%)
⁴⁰ K	β, EC	1.28×10 ⁹	0.0117
⁸⁷ Rb	β	4.8×10 ¹⁰	27.83
¹¹⁵ In	β	5.1×10 ¹⁴	95.7
¹³⁸ La	β, EC	1.1×10 ¹¹	0.089
¹⁴⁷ Sm	β	1.06×10 ¹¹	15.5
¹⁷⁶ Lu	β	3.6×10 ¹⁰	2.61
¹⁸⁷ Re	β	4×10 ¹⁰	62.60
¹⁹⁰ Nd	β	6×10 ¹¹	0.013
¹⁴⁴ Nd	β	2.1×10 ¹⁵	23.8

จากตารางที่ 2.1 พบว่าเรเดียม-226 เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดรังสีจากพื้นดิน สำหรับไอโซโทปของเรเดียมมีทั้งหมด 4 ตัว คือ เรเดียม-223 (half life= 11.4 วัน), เรเดียม-224 (half life= 3.6 วัน), เรเดียม-226 (half life= 1600 ปี), เรเดียม-228(half life= 5.7 ปี) ซึ่งไอโซโทปตัวที่สำคัญของเรเดียมคือ เรเดียม-226 เนื่องจากมีค่าครึ่งชีวิตยาวที่สุดเมื่อเทียบกับไอโซโทปตัวอื่นๆ



รูปที่ 2.1 อนุกรมการสลายตัวของ ^{238}U และ ^{232}Th [5]

2.2 คุณสมบัติของเรเดียม-226 (^{226}Ra) [2]

เลขอะตอม : 88

มวลอะตอม : 226

จุดหลอมเหลว : 973 องศาเซลเซียส หรือ 700 องศาเซลเซียส หรือ 1292 องศาฟาเรนไฮด์

จุดเดือด : 1413 องศาเซลเซียส หรือ 1140 องศาเซลเซียส หรือ 2084 องศาฟาเรนไฮด์

ความหนาแน่น : 5 กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร

เรเดียม (Ra) เป็นธาตุในกลุ่มอัลคาไลด์ มีลักษณะทางเคมีคล้ายกับธาตุแบเรียม (Ba) เรเดียมมีประจุเป็น +2 เรเดียมเป็นธาตุที่มีปริมาณน้อยในธรรมชาติ จึงอยู่รวมกันในรูปของแร่ สามารถตกตะกอนร่วมกับธาตุในกลุ่มอัลคาไลด์ที่เป็นเกลือซัลเฟต หรือ แร่คาร์บอเนต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือ แบเรียมซัลเฟต (BaSO_4) เรเดียม-226 พบมากในสินแร่ ยูเรเนียม เช่น แร่พิชเบลนด์ 1 ตัน จะมีเรเดียม-226 ประมาณ 400 มิลลิกรัม นอกจากนั้นยังพบ เป็นธาตุจำนวนน้อย (Trace element) ในสารต่างๆที่มีอยู่ในธรรมชาติหลายชนิด

เรเดียม-226 เป็นไอโซโทปที่มีปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับไอโซโทปของเรเดียม ทั้งหมด และเป็นนิวไคลด์หนึ่งในอนุกรมยูเรเนียม-238 ซึ่งเป็นไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติเป็น ปริมาณสูงด้วย เรเดียม-226 มีครึ่งชีวิตประมาณ 1600 ปี สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 186 กิโล อิเล็กตรอนโวลต์ (4%) และสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา กลายเป็นเรดอน-222 ซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซจึง สามารถฟุ้งกระจายได้ดีซึ่งจะสลายตัวต่อไปเรื่อยๆอีก นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เป็นนิวไคลด์ลูกของ เรเดียม-226 ตัวที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของเรเดียม-226 ทางอ้อมคือ บิสมัท-214 (Bi-214) มีครึ่ง ชีวิต 19.7 นาที สลายตัวให้รังสีแกมมาหลายพลังงานที่สำคัญ ได้แก่ 609 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (43%) และ อีกตัวหนึ่งคือตะกั่ว-214 (Pb-214) ซึ่งมีครึ่งชีวิต 26.8 นาที สลายตัวให้รังสีแกมมาหลาย พลังงาน ที่สำคัญคือ 352 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

เนื่องจากเรเดียมมีความสามารถในการละลายน้ำได้ ดังนั้น เรเดียม-226 ที่ละลายปนอยู่ใน น้ำ จะผ่านเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายทั้งจากการบริโภคน้ำโดยตรง และผ่านทางวัฏจักรอาหาร เมื่อผ่านเข้า สู่ร่างกายแล้ว อาจก่อให้เกิดอันตรายได้มาก เนื่องจากเรเดียม-226 มีคุณสมบัติทางเคมีเหมือนธาตุ แคลเซียม จึงสามารถเข้าไปแทนที่แคลเซียมในกระดูกได้และเกิดการสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา ซึ่ง มีค่าการแตกตัวเป็นไอออนจำเพาะในเนื้อเยื่อสูง เรเดียม-226 ที่สะสมในกระดูกจะมีอัตราการกำจัด ออกจากร่างกายช้ามากดังนั้นอาจทำให้ เป็นมะเร็งกระดูกได้

2.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของไอโซโทปเรเดียมในน้ำด้วยเทคนิคทางรังสี

2.3.1 วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา

เป็นการแยกธาตุเรเดียม-226 ออกจากเรดิโอไอโซโทปอื่น ๆ ซึ่งให้อนุภาคแอลฟา โดยให้มีความบริสุทธิ์สูง เทคนิคที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป คือ

- วิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation Method)
- เทคนิคของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange Technique)
- เทคนิคการสกัด (Solvent Extraction Technique)
- วิธีการดูดซับบนแผ่นดิสก์ที่เคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์
- การแยกด้วยโครมาโทกราฟี
- การตกตะกอนบนแพลทินัม (Pt) ด้วยวิธีอิเล็กโตรไลซิส

วิธีเตรียมตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ปริมาณธาตุเรเดียมแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และ 2.5 จากนั้นทำการวิเคราะห์ให้อนุภาคแอลฟาที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุเรเดียม หรือทำการวัดอนุภาคแอลฟาที่ปลดปล่อยออกมาจากก๊าซเรดอนด้วยเครื่องวัดรังสีแบบแปลงแสงวัดชนิดของเหลว

2.3.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

- วิธีการตกตะกอนร่วมด้วยแบเรียมซัลเฟต
- วิธีต้มระเหยตัวอย่างน้ำเพื่อลดปริมาตรและเพิ่มความเข้มข้นให้เหลือตัวอย่างปริมาณน้อยลง
- วิธีการดูดซับบนแมงกานีสไดออกไซด์เรซิน

วิธีเตรียมตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ปริมาณธาตุเรเดียมแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และ 2.5 จากนั้นทำการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

2.3.3 วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์รังสีบีตา

- วิธีการแยกแอกติเนียม-228 ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี
- วิธีการดูดซับบนแผ่นดิสก์ที่เคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์
- วิธีการดูดซับบนแมงกานีสไดออกไซด์เรซิน แล้วนำไปวิเคราะห์รังสีบีตา

วิธีเตรียมตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์ปริมาณธาตุเรเดียมแสดงไว้ในตารางที่ 2.4 และ 2.5 จากนั้นนำไปวิเคราะห์รังสีบีตาด้วยหัววัดพรอบพรอซันนัล

ตารางที่ 2.4 วิธีเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณของไอโซโทปเรเดียม ในตัวอย่างน้ำ [6]

ไอโซโทปของเรเดียม	อนุภาคที่ปลดปล่อย	ค่าครึ่งชีวิต	นิวไคลด์ลูกที่ใช้วิเคราะห์	วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์
เรเดียม – 228	อนุภาคบีตา	5.78 ปี	แอกติเนียม – 228	(a) , (b) , (c)
เรเดียม – 226	อนุภาคแอลฟาและรังสีแกมมา	1603 ปี	เรดอน -222 ตะกั่ว -214 บิสมัท -214	(a) , (c) , (d) , (e) , (f) ,(g)
เรเดียม – 224	อนุภาคแอลฟา และรังสีแกมมา	3.66 วัน	เรดอน – 220 โพโลเนียม – 216 โพโลเนียม – 212 บิสมัท – 212	(a) , (c) , (e) , (f) , (h)
เรเดียม – 223	อนุภาคแอลฟา	11.43 วัน	เรดอน – 219 โพโลเนียม – 215 บิสมัท - 211	(a) , (c) , (e) , (f) , (h)

- โดยที่
- วิธีตกตะกอนด้วยเบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา ของนิวไคลด์ลูกคือ แอกติเนียม – 228 บิสมัท – 214 ตะกั่ว – 214
 - การสกัดแอกติเนียม – 228 โดยวิธีโครมาโทกราฟี
 - การดูดซับบนเมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนแผ่นคิสก์
 - การวัดการปลดปล่อยเรดอน – 222 ด้วย เครื่องวัดรังสีแบบแปลงแสงวับชนิดของเหลว
 - ตกตะกอนของเมงกานีสไดออกไซด์ และการตกตะกอนด้วยเบเรียมซัลเฟตสำหรับการวิเคราะห์ อนุภาคแอลฟา
 - ทำการแยกด้วยโครมาโทกราฟี และทำให้เรเดียมตกตะกอนบนแพลทินัม (Pt) ด้วยวิธีอิเล็กโตรไลซิส และทำการวิเคราะห์อนุภาคแอลฟา
 - ทำการสกัดด้วยโครมาโทกราฟี และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีแมสสเปกโตรเมตรี
 - วัดการปลดปล่อยเรดอน ของ เรดอน -219 และ เรดอน -220 ด้วยเครื่องนับแบบอนุภาคกระทบ หัววัดพร้อมกัน (coincidence) ในอุปกรณ์แปลงแสงวับ

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างวิธีวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียมในสิ่งแวดล้อม [7]

ลักษณะตัวอย่าง	การเตรียมตัวอย่าง	วิธีวิเคราะห์	ขีดจำกัดค่าสุดในการวัด	ความแม่นยำ	อ้างอิง
น้ำ	ตกตะกอนด้วยแบเรียมซัลเฟตและเหล็กไฮดรอกไซด์	ระบบนับรังสีแอลฟา	ไม่พบข้อมูล	94.2%	Whittaker 1986
น้ำ	ตกตะกอนด้วยแบเรียมซัลเฟตและเลดซัลเฟต	ระบบนับรังสีแอลฟา	ไม่พบข้อมูล	94.9-99.4%	APHA 1985
น้ำ	ตกตะกอนด้วยแบเรียมซัลเฟตและการเกิดเรดอน	ระบบนับรังสีแอลฟา นิวไคลด์ลูกของเรดอน	0.03 pCi / L	97.1-98.0%	APHA 1985
น้ำ(สำหรับเรเดียม-228)	ตกตะกอนด้วยแบเรียมซัลเฟตและเลดซัลเฟตและทำการแยกแอกติเนียม-228	นับรังสีบีต้าของแอกติเนียม-228	ไม่พบข้อมูล	94.2%	APHA 1985
น้ำ	ตกตะกอนด้วยแบเรียมซัลเฟตและเลดซัลเฟต	นับรังสีแอลฟาของไอโซโทปเรเดียม	1 pCi / L	ไม่พบข้อมูล	ASTM 1988
น้ำ, ดิน, ตะกอน	เก็บตัวอย่างโดยใช้เรซิน	ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา	0.5 pCi / L (สำหรับเรเดียม-226)	100 ±2%	Lucus 1978
น้ำ	ตกตะกอนด้วยแบเรียมซัลเฟตและเลดซัลเฟต	นับรังสีแอลฟาของไอโซโทปเรเดียม	ไม่พบข้อมูล	ไม่พบข้อมูล	EPA 1986

สำหรับตัวอย่างวิธีวิเคราะห์ไอโซโทปของเรเดียมที่กล่าวมาข้างต้น วิธีที่ไม่ต้องใช้กระบวนการทางเคมีที่ยุ่งยากมากนัก คือ การเคลือบแมงกานีสไดออกไซด์บนตัวกลางซึ่งมีการใช้

3 ลักษณะ คือ

- เคลือบบนแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ (Polyamide) และนำไปวิเคราะห์ด้วยระบบวัดรังสีแอลฟาและบีตา
- เคลือบบนเรซิน และนำไปวิเคราะห์ด้วยระบบวัดรังสีแกมมา และบีตา
- เคลือบบนเส้นใยอะครีลิก (Acrylic Fiber) และนำไปวิเคราะห์ด้วยระบบวัดรังสีแกมมา

2.4 การเคลือบเมงกานีสไดออกไซด์บนตัวกลางต่าง ๆ

2.4.1 เคลือบบนแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ (Polyamide)

โพลีเอไมด์ เป็น พลาสติกชนิดหนึ่ง que เมื่อถูกความร้อนทำให้ไม่สูญเสียสภาพคุณลักษณะ ไม่เปลี่ยนสภาพเมื่อถูกหลอมด้วยความร้อน สามารถแข็งตัวใหม่ได้เหมือนเดิม

2.4.1.1 วิธีการเคลือบแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์

2.4.1.1.1 เตรียมแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 28 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร และทำการล้างแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ ด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร และน้ำ Deionized

2.4.1.1.2 แช่แผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์เมงกาเนตความเข้มข้น 2 % (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.4.1.1.3 ล้างแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ที่ผ่านการเคลือบแล้ว ด้วยน้ำ Deionized และทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

สำหรับการเคลือบแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ จะต้องให้ความหนาของชั้นเมงกานีสไดออกไซด์น้อยกว่า 1 ไมโครเมตร โดยที่ปริมาณของเมงกานีสที่เคลือบบนแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ จะขึ้นอยู่กับเวลาในการแช่แผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ และอุณหภูมิของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์เมงกาเนต

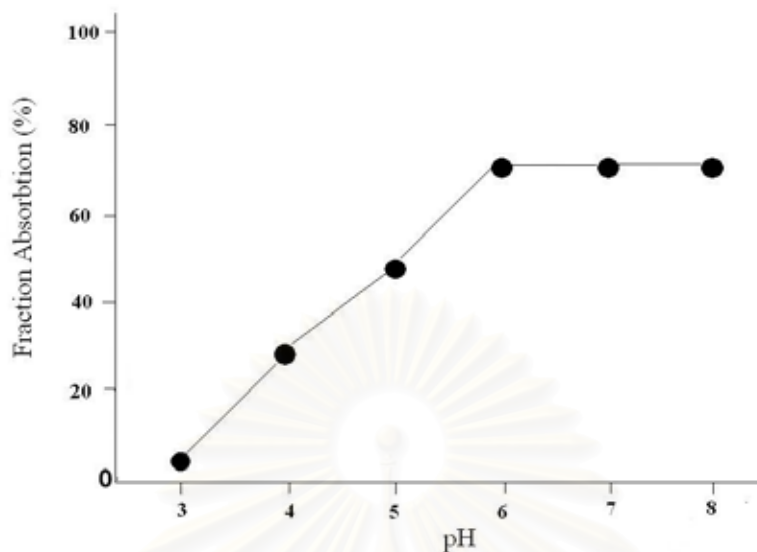
2.4.1.2 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้แผ่นดิสก์โพลีเอไมด์

2.4.1.2.1 เตรียมน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตรและทำการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำให้มีค่าประมาณ 7-8 โดยในการทดลองนี้ อุณหภูมิของน้ำตัวอย่างจะอยู่ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20 องศาเซลเซียส)

2.4.1.2.2 ทำการจุ่มแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ ลงในตัวอย่างน้ำ โดยให้แผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ สัมผัสน้ำเพียงด้านเดียว ใช้เวลาในการจุ่มประมาณ 2 วัน โดยทำการกวนสม่ำเสมอ

2.4.1.2.3 ทำให้แผ่นดิสก์โพลีเอไมด์แห้ง และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 และ เรเดียม-224 โดยเทคนิควิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟา และทิ้งไว้ประมาณ 6-12 เดือน แล้วนำไปวิเคราะห์รังสีบีตาเพื่อหาปริมาณเรเดียม-228

และได้มีการศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำต่อการจับเรเดียมบนแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำกับการดูดซับของเรเดียมบนแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์ [6]

จากรูปพบว่าแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์สามารถดูดซับเรเดียมได้ดีเมื่อตัวอย่างน้ำมีสภาพเป็นกลางจนกระทั่งเป็นเบสอ่อนๆ (pH= 6-8)

2.4.2. เคลือบบนเรซิน

2.4.2.1 การเตรียมเมงกานีสไดออกไซด์เรซิน

ใช้เมงกานีสไดออกไซด์เรซิน AR Grade ขนาด 80-160 ไมโครเมตร เตรียมโดยการตตะกอนของเมงกานีสไดออกไซด์บนเรซิน ล้างอนุภาคที่เป็นของแข็งด้วยน้ำ deionized และเทน้ำออกโดยไม่ทำให้ตะกอนที่ก้นขวดขุ่น จากนั้นนำของแข็งสีน้ำตาลดำที่ได้ ทำให้แห้งเป็นเวลาประมาณ 15 นาที และเก็บในภาชนะที่มิดชิด

2.4.2.2 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้เมงกานีสไดออกไซด์เรซิน

2.4.2.2.1 เตรียมตัวอย่างน้ำประมาณ 1 ลิตร และทำการปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำประมาณ 7

2.4.2.2.2 นำเมงกานีสไดออกไซด์เรซินใส่ในท่อพลาสติกขนาด กว้าง 0.9 เซนติเมตรและยาว 6.5 เซนติเมตรประมาณ 1 กรัม

2.4.2.2.3 นำตัวอย่างน้ำไหลผ่านเมงกานีสไดออกไซด์เรซิน ด้วยอัตราการไหลประมาณ 1 มิลลิลิตร ต่อ นาที

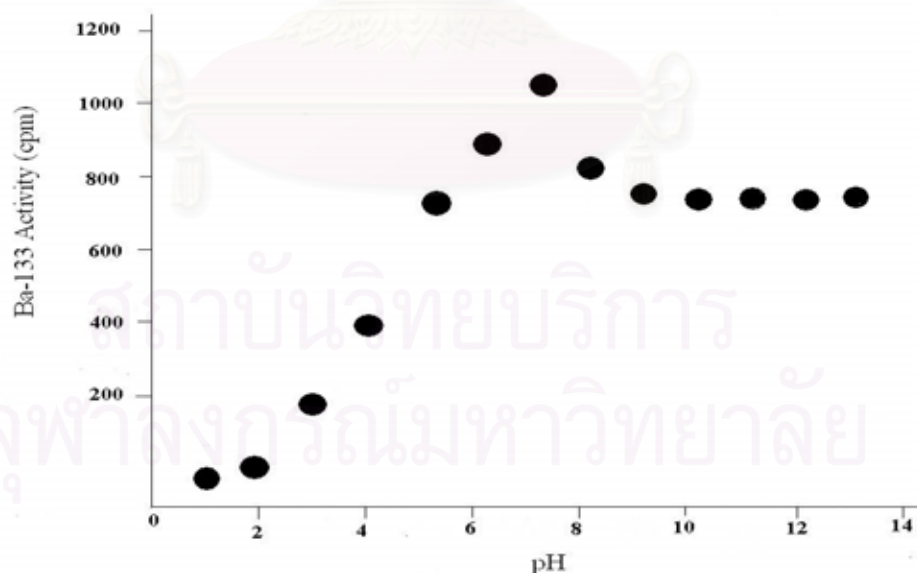
2.4.2.2.4 ทำการล้างเมงกานีสไดออกไซด์เรซินด้วยกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของแบเรียม-133

2.4.2.2.5 เก็บสารละลายที่ได้จากข้อ 2.4.2.2.4 เป็นเวลา 30 ชั่วโมง และนำสารละลายที่ได้ไหลผ่าน ไดฟอนิกเรซิน(Diphonix Resin) ขนาด 80-160 ไมโครเมตร ของบริษัท Eichrom Industrie,Inc USA

2.4.2.2.6 ทำการล้างเรซินในข้อ 2.4.2.2.5 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และทำการแยกแอกติเนียม-228 โดยการล้างด้วย กรดไฮดรอกซิลอีเทน-1-1-ไดฟอสฟอนิก (HEDPA) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

2.4.2.2.7 นำสารละลายที่ได้ในข้อ 2.4.2.2.6 ไปวิเคราะห์รังสีบีตา ด้วยเครื่องวัดรังสีแบบแปลงแสงวับชนิดของเหลว

และได้มีการศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำต่อการจับแบเรียม-133 บนเมงกานีสไดออกไซด์เรซิน ซึ่งแบเรียมเป็นธาตุในหมู่เดียวกันกับเรเดียม ประจุเดียวกันและมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำกับการดูดซับของแบเรียม-133 บนเมงกานีสไดออกไซด์เรซิน [8]

จากรูปพบว่าแมงกานีสไดออกไซด์เรซินสามารถดูดซับแบเรียม-133 ได้ดีเมื่อ ตัวอย่างน้ำมีสภาพเป็นกลางจนกระทั่งเป็นเบสอ่อนๆ (pH= 5-8) ซึ่งให้ผลการทดลองที่คล้ายคลึงกับการจับเรเดียมบนแผ่นดิสก์โพลีเอไมด์

2.4.3 เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก

เส้นใยอะคริลิก เป็น โพลีเมอร์ชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วย อะครีโลไนไทรล์ (Acrylonitrile) $(CH_2CH(CN))_x$ อย่างน้อย 85 % โดยน้ำหนัก ซึ่งอะครีโลไนไทรล์ เป็นสารที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม โดยส่วนใหญ่ เส้นใยอะคริลิกจะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิต เสื้อผ้า ถุงเท้า ผ้าห่ม หรือ พรม เป็นต้น

สำหรับคุณสมบัติของเส้นใยอะคริลิก คือ แข็งแรง ทนทาน แสงแดด ทนสีง่าย รูปร่างคงทน ต่อต้านความชื้น และสภาพอากาศ

2.4.3.1 วิธีการเคลือบเส้นใยอะคริลิก [9]

2.4.3.1.1 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร และตั้งอุณหภูมิของสารละลายไว้ที่ประมาณ 75 องศาเซลเซียส

2.4.3.1.2 ใส่เส้นใยอะคริลิกลงในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต แล้วต้มจนกระทั่งเส้นใยอะคริลิกเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีดำ ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที

2.4.3.1.3 ทำการล้างเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์เรียบร้อยแล้ว ด้วยน้ำ Ra free deionized โดยทำการล้างจนกระทั่งน้ำที่ใช้ล้างเป็นสีใสหรือไม่ มีสี จากนั้นเก็บเส้นใยอะคริลิกที่เตรียมได้ในถุงซิปล็อค

2.4.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยใช้เส้นใยอะคริลิก

2.4.3.2.1 ใช้ตัวอย่างน้ำประมาณ 20-150 ลิตร โดยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6-7 ไหลผ่านเส้นใยอะคริลิกในอัตราการไหลประมาณ 1-2 ลิตรต่อนาที

2.4.3.2.2 นำเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านตัวอย่างน้ำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมงโดยใส่ในถ้วยสแตนเลสฟอยล์ แล้วทำการปิดผนึกด้วยซิลิโคน บันทึกรวัน เดือน ปี ที่เตรียมไว้ทิ้งไว้ประมาณ 30 วัน เพื่อให้เกิดสมดุลแบบเชกคูลาร์ระหว่างเรเดียม-226 และเรเดียม-228 กับนิวไคลด์ลูก จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมา

ค่าตัวแปรต่างๆของการจับเรเดียมบนแมงกานีสไดออกไซด์เคลือบบนตัวกลางข้างต้น แสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวแปรที่มีผลต่อการจับเรเดียมบนแมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนตัวกลางต่าง
[4], [8], [9]

ตัวแปร	โพลีเอไมด์ดิสก์	เส้นใยอะคริลิก	เรซิน
pH	7 – 8	6.5 – 8	5 - 8
ปริมาตรของน้ำ	0.5 – 1 ลิตร	20 – 150 ลิตร	1 ลิตร
อัตราการไหล	ไม่มีผลเนื่องจากแช่อยู่ในตัวอย่างน้ำ	1-2 ลิตร / นาที	1 มิลลิลิตร / นาที

จากการศึกษาการดูดซับเรเดียมในน้ำธรรมชาติด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนตัวกลางต่างๆ พบว่าเรเดียมจะถูกดูดซับได้ดีในสถานะที่เป็นกลาง ส่วนสถานะเป็นกรด (คือ ค่า pH ต่ำกว่า 4) แมงกานีสจะมีความเป็นประจุบวกมากขึ้น ทำให้เรเดียมซึ่งมีประจุเป็น +2 ไม่สามารถถูกดูดซับบนผิวหน้าได้ และเมื่อค่าความเป็นด่างมากขึ้น (pH สูงขึ้น) หมู่ฟังก์ชัน ไฮดรอกไซด์ จะเกิดบนผิวของเส้นใยทำให้สัดส่วนของเรเดียมที่ถูกดูดซับบนผิวหน้าเพิ่มมากขึ้น แต่พบว่าที่ pH สูงกว่า 9 เรเดียมในน้ำธรรมชาติจะเกิดเป็นตะกอนรูปอื่นเช่นเรเดียมคาร์บอเนต $Ra(CO_3)$ ทำให้การดูดซับเรเดียมบนผิวหน้าเส้นใยจะน้อยลง และได้มีการศึกษาพบว่าแคลเซียม (Ca) มีผลต่อการจับเรเดียมบนแมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก เนื่องจากแคลเซียมเป็นธาตุในหมู่เดียวกับเรเดียมจึงมีคุณสมบัติที่คล้ายกัน สามารถถูกดูดซับได้เช่นเดียวกับเรเดียม ดังนั้น ถ้าน้ำตัวอย่างมีปริมาณแคลเซียมมากจะทำให้การจับเรเดียมบนแมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนตัวกลางต่างๆ มีประสิทธิภาพลดลง

2.5 ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา [10]

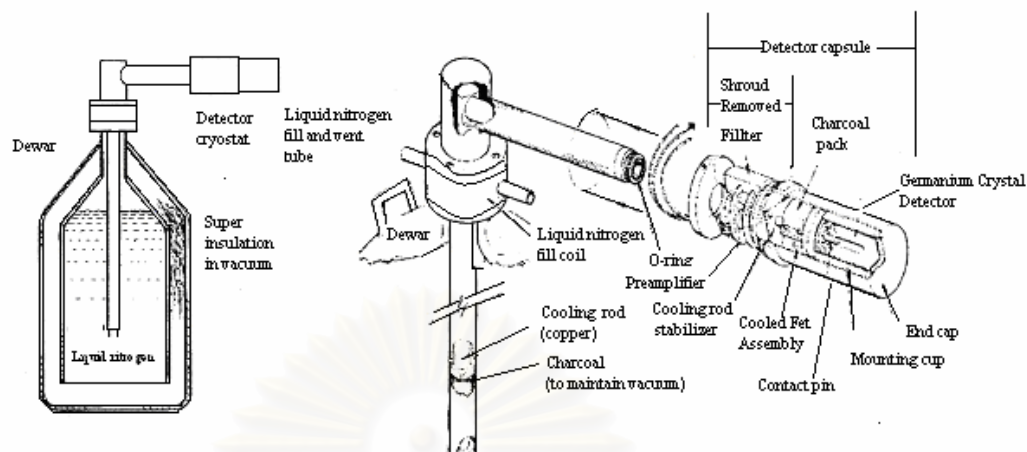
สำหรับระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาสำหรับการทดลองนี้ใช้หัววัดเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (High-purity germanium detectors) ซึ่งเป็นหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detectors) ซึ่งข้อดีของหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำคือ

- มีความสามารถในการแยกแยะพลังงานสูง
- มีขนาดเล็ก
- มี rise time ของการตอบสนองที่เร็วมาก (rise time หมายถึง ช่วงของเวลาที่สัญญาณมีขนาดจาก 10% - 90% ของค่า แอมพลิจูด)
- การตอบสนองมีการแปรเปลี่ยนเชิงเส้น กับ พลังงานที่ ดูดกลืนในหัววัด และไม่ขึ้นกับชนิดของรังสี
- ไม่มีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากหน้าต่างของหัววัด

ข้อจำกัดในการใช้งานหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำ คือ ราคาของหัววัดสูงมากเมื่อเทียบกับหัววัดรังสีแบบอื่นๆ และข้อจำกัดที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ความจำเป็นที่ต้องให้มีการทำงานของหัววัดที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้ในโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส เป็นตัวลดอุณหภูมิ เพื่อลดสัญญาณรบกวน

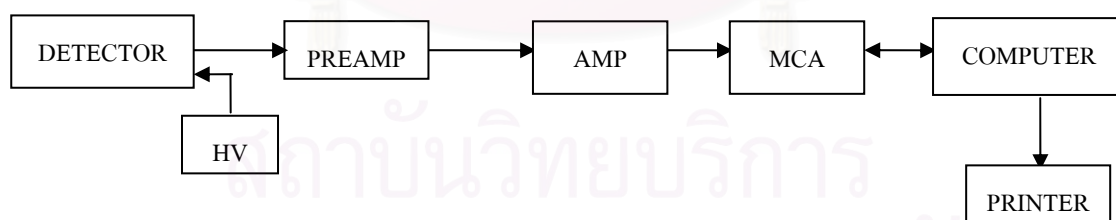
2.5.1 กลไกการทำงานของหัววัดรังสีสารกึ่งตัวนำ [4]

เมื่อนำสารเจือ (impurity) มาเติมลงในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ดังที่เรียกว่าการโด๊ป (doping) สารเจือที่เติมลงไปแม้จะมีปริมาณน้อย แต่มีผลทำให้การนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อนำสารเจือซึ่งเป็นธาตุในกลุ่ม 5 ของตารางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส มาเติมลงในสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิคอน ทำให้ได้อิเล็กตรอนเป็นตัวนำไฟฟ้าส่วนใหญ่ (majority carriers) เรียกสารกึ่งตัวนำนี้ว่าชนิดเอ็น (N-Type) แต่ถ้าเติมลงด้วยสารเจือซึ่งเป็นธาตุในกลุ่ม 3 ของตารางธาตุ เช่น ธาตุโบรอน ทำให้ได้โฮลเป็นตัวนำไฟฟ้าส่วนใหญ่ เรียกสารกึ่งตัวนำนี้ว่า ชนิดพี (P-Type) เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและพีมาชนกันเกิดรอยต่อที่เรียกว่า P-N junction อิเล็กตรอนจากผลึกชนิดเอ็นจะเคลื่อนกระจายผ่านรอยต่อไปในผลึกชนิดพี และโฮลจากผลึกชนิดพี จะเคลื่อนกระจายผ่านรอยต่อไปในผลึกชนิดเอ็น เกิดเป็นแนวขั้วไฟฟ้าบวกในผลึกชนิดเอ็น และแนวขั้วไฟฟ้าลบในผลึกชนิดพี โดยมีรอยต่ออยู่ตรงกลาง จะมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นจากแนวขั้วบวกไปยังแนวขั้วลบ ตรงบริเวณระหว่างแนวขั้วไฟฟ้าจะไม่มีตัวนำประจุเหลืออยู่เลย เรียกบริเวณนี้ว่าเขตปลอดพาหะ (depletion region) บริเวณปลอดพาหะเป็นเสมือนตัวกลางกั้นในหัววัดรังสีชนิดบรรจุด้วยก๊าซเมื่อต่อขั้วศักย์ไฟฟ้าบวกเข้ากับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และต่อขั้วลบเข้ากับด้านสารกึ่งตัวนำชนิดพีเรียกการต่อลักษณะนี้ว่า reverse bias จะมีผลทำให้บริเวณปลอดพาหะขยายตัวกว้างขึ้น เมื่อรังสีตกกระทบในบริเวณปลอดพาหะ เกิดการถ่ายเทพลังงานได้เป็นคู่ของอิเล็กตรอน-โฮล จำนวนมาก เกิดการเคลื่อนที่ประจุไปตามอิทธิพลของสนามไฟฟ้า และเกิดมีกระแสไหลในวงจรที่ต่อครบ



รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมหัววัดรังสีแบบ HPGe [4]

ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา โดยทั่วไปจะประกอบด้วย หัววัด และเครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง(MCA) โดยหัววัดจะต่ออยู่กับแอมพลิฟาย เพื่อขยายสัญญาณ และมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงจ่ายกระแสให้กับหัววัด และเมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้าทำอันตรกิริยากับหัววัดทำให้เกิดอิเล็กตรอนและเปลี่ยนเป็นสัญญาณ จากนั้นทำการขยายสัญญาณและเข้าเครื่องนับ ซึ่งขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ดูดกลืนในหัววัด

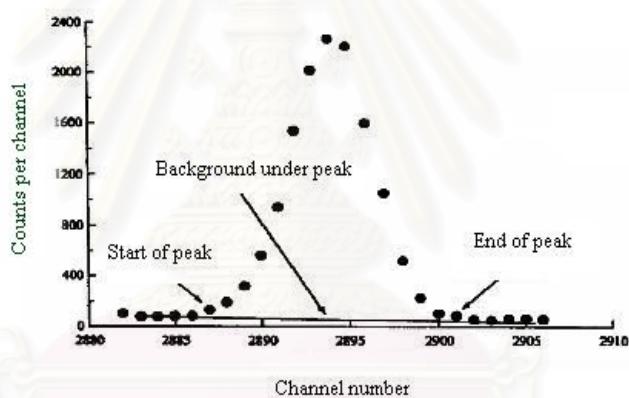


รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังการจัดระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมา [2]

2.5.2 การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา [11]

สำหรับการหาความเข้มข้นรังสีจากการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา ทำได้โดยการหาอัตราการนับของโฟโตพีคของนิวไคลด์ที่ต้องการหา ซึ่งอัตราการนับดังกล่าวคำนวณได้จากจำนวนนับรังสี (Net Peak Area) หารด้วย เวลาที่ต้องการนับวัด (Total Live Time)

โดยหลักการเลือกโฟโตพีคนั้นจะเลือกพีคที่มีสัดส่วนของความเข้มรังสีแกมมา (Intensity) สูง และพีคดังกล่าวต้องไม่มีการรบกวนจากโฟโตพีคของนิวไคลด์ตัวอื่นๆ



รูปที่ 2.6 การหาความเข้มรังสีสุทธิ (net peak area) [11]

2.5.2.1 การวิเคราะห์รังสีแกมมาจากตัวอย่าง

การวิเคราะห์รังสีแกมมาจากตัวอย่างสามารถทำได้ 2 วิธีดังนี้

- วัดโดยตรงจากรังสีแกมมาพลังงาน 186.2 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ ของ เรเดียม – 226
- วัดโดยอ้อมจากธาตุลูกซึ่งได้จากการสลายตัวของ เรเดียม – 226 คือ ตะกั่ว – 214 ที่พลังงาน 352 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ และ บิสมัท – 214 ที่พลังงาน 609 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ ภายหลังจากเกิดภาวะสมดุลทางกัมมันตรังสี (Radioactive Equilibrium) กับ เรเดียม -226 แล้วต้องใช้เวลาประมาณ 3-4 สัปดาห์ จากนั้นนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

2.6 การคำนวณความเข้มข้นรังสีของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ

การคำนวณค่าความเข้มข้นรังสีของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ จะทำการคำนวณความเข้มข้นรังสีโดยใช้ค่า ความเข้มข้นรังสีสุทธิ (Net peak area) ของพีคที่สนใจสำหรับการทดลองนี้พีคที่สนใจก็คือ พีคของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ เนื่องจากให้ความเข้มข้นของพลังงานที่สูงกว่าธาตุอื่นและให้ค่าเบคกราวนด์ต่ำ สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณมีดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นรังสี (เบคเคอเรล / ลิตร)} = \frac{cps}{E \times I \times V}$$

โดยที่ cps = จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ ต่อ เวลาที่ใช้ ในการวัด (วินาที)

E = ประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

I = สัดส่วนของความเข้มของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ มีค่าเท่ากับ 0.46

V = ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (ลิตร)

2.7 ค่าต่ำสุดในการวัด

2.7.1 ค่าต่ำสุดในการวัดของระบบวัดรังสี (Lower Limit of Detection –LLD)[12]

เป็นค่าที่บอกถึงคุณสมบัติของระบบเครื่องวัดว่ามีระดับความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่าแบคกราวนด์และค่าวัดตัวอย่าง ได้อย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไร และสำหรับการวัดค่าแบคกราวนด์และค่าวัดตัวอย่างมีการกระจายทางสถิติอยู่ด้วย ดังนั้นในการคำนวณค่า LLD จึงมีค่าทางสถิติมาเกี่ยวข้องด้วย

ในปี 1971 Pasternack and Harley (1971) ได้ทำการพัฒนาระบบการคำนวณค่า LLD ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดในการวัดตัวอย่าง โดยคำนวณได้จากสมการ

$$LLD = (k_{\alpha} + k_{\beta}) S_0$$

โดยที่ k_{α} คือ ค่า upper percentile ที่มีการกระจายอย่างปกติของค่าที่ไม่ถูกต้อง (α)

k_{β} คือ ระดับความเชื่อมั่นของความแรงรังสีที่มีอยู่ในตัวอย่าง ($1-\beta$)

S_0 คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานสำหรับความแรงรังสีในตัวอย่าง

ถ้าค่าความแรงรังสีของแบคกราวนด์กับความแรงรังสีของตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันจะได้

$$S_{net} = \sqrt{S_{gross}^2 + S_{bkg}^2} = S_b \sqrt{2}$$

$$\text{ดังนั้น } LLD = 2\sqrt{2}k S_b$$

โดยที่ค่า k สามารถคำนวณได้จากระดับความเชื่อมั่นต่าง

α	$1-\beta$	k	LLD
0.01	0.99	2.327	$6.59 S_b$
0.02	0.98	2.054	$5.81 S_b$
0.05	0.95	1.645	$4.66 S_b$
0.10	0.90	1.282	$3.63 S_b$
0.20	0.80	0.842	$2.38 S_b$
0.50	0.50	0	0

ซึ่งโดยส่วนใหญ่ในการคำนวณค่า LLD จะใช้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่า

$$LLD = 4.66 S_b$$

$$\text{โดยที่ } S_b = \sqrt{\text{จำนวนนับรังสีของแบคกราวด์(counts)}}$$

ตัวอย่าง เช่น

ค่าแบคกราวด์มีค่านับวัด 145 counts

ใช้เวลาในการวัด 1440 นาที

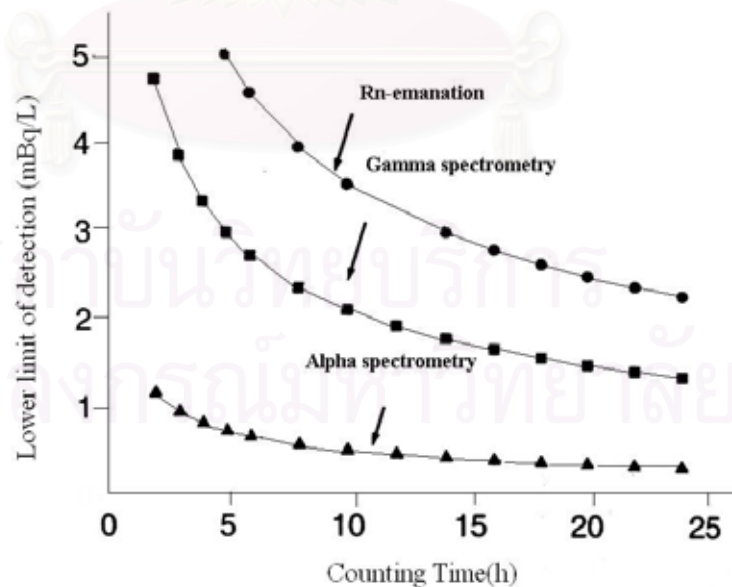
ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความแรงรังสีในแบคกราวด์

$$\text{มีค่าเท่ากับ } \frac{\sqrt{145}}{1440} = 0.008 \text{ cpm}$$

$$\text{ค่าการวัดแบคกราวด์จะได้เท่ากับ } \frac{145}{1440} \pm 0.008 \text{ cpm.}$$

$$\text{หรือ } 0.1 \pm 0.008 \text{ cpm.}$$

ดังนั้น LLD จึงมีค่าเท่ากับ $4.66 * 0.008 = 0.037 \text{ cpm.}$



รูปที่ 2.7 ค่าต่ำสุดในการวัดเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน [6]

จากรูปจะเห็นว่าค่าต่ำสุดในการวัดด้วยเทคนิควิเคราะห์รังสีแอลฟาจะให้ค่าที่ต่ำที่สุด เนื่องจากระบบในการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแอลฟาจะไม่มีค่าแบคกราวด์ แต่สำหรับระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาและเรดอนอิมานชันจะมีค่าแบคกราวด์ ดังนั้น จึงทำให้ค่าต่ำสุดในการวัดมีค่าสูงกว่า

2.7.2 ค่าต่ำสุดในการวัดของการวัดตัวอย่าง (Minimum Detectable Activity, MDA)

เป็นค่าที่ใช้บอกว่าเทคนิคที่ใช้ในการวัดตัวอย่าง สามารถวัดปริมาณธาตุที่สนใจว่ามีค่าต่ำสุดเท่าใดในตัวอย่าง เช่นการหาปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำโดยใช้เทคนิคการดูดซับบนแมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก ค่า MDA คือ ปริมาณเรเดียม-226 ต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคนี้

$$MDA (Bq / l) = \frac{2.71 + 4.66\sigma_B}{txVxIxE}$$

โดยที่ t = เวลาที่ใช้ในการวัดตัวอย่าง (วินาที)

V = ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (ลิตร)

I = สัดส่วนของความเข้มของรังสีแกมมาที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

มีค่าเท่ากับ 0.46

E = ประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

2.8 มาตรฐานของปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำดื่ม [13]

มาตรฐานของปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำดื่มนี้ United States Environmental Protection Agency (EPA) เป็นผู้ประกาศใช้กฎข้อบังคับนี้ขึ้น โดยมีการกำหนดปริมาณ นิวไคลด์รังสีในน้ำดื่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำดื่มซึ่งกำหนดโดย EPA [13]

ธาตุ / ชนิดของรังสี	Minimum Contaminant Level (MCL)	แหล่งกำเนิดรังสี	ผลต่อสุขภาพ
เรเดียม-226 กับเรเดียม-228	5 พิโคคูรี ต่อ ลิตร (1976)	แหล่งกำเนิดรังสี ในธรรมชาติ	ถ้าได้รับปริมาณเรเดียม-226 กับเรเดียม-228 ซึ่งปนเปื้อนในน้ำดื่มเกิน MCL เป็นเวลานานหลายปี อาจทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งสูงขึ้น
รังสีแอลฟา	15 พิโคคูรี ต่อ ลิตร (ในที่นี้ ไม่รวมถึง เรดอน และ ยูเรเนียม)(1976)	แหล่งกำเนิดรังสี ในธรรมชาติ	ถ้าได้รับปริมาณรังสีแอลฟา ซึ่งปนเปื้อนในน้ำดื่มเกิน MCL เป็นเวลานานหลายปีอาจทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งสูงขึ้น
อนุภาคบีตา และ รังสีแกมมา	4 mrem ต่อ ปี (1976)	อาจเกิดจากการ ปนเปื้อนของ เครื่องมือหรือ กระบวนการผลิต วัสดุกัมมันตรังสี	ถ้าได้รับปริมาณรังสีบีตา และโพตอน ซึ่งปนเปื้อนในน้ำดื่มเกิน MCL เป็นเวลานานหลายปีอาจทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งสูงขึ้น
ยูเรเนียม	30 ไมโครกรัม ต่อ ลิตร(2000)	แหล่งกำเนิดรังสี ในธรรมชาติ	ปริมาณของยูเรเนียมในน้ำดื่มอาจมีผลที่เป็นพิษต่อไต และถ้าได้รับปริมาณรังสีแอลฟา ซึ่งปนเปื้อนในน้ำดื่มเกิน MCL เป็นเวลานานหลายปีอาจทำให้มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งสูงขึ้น

$$1 \text{ Bq} = 27.02 \text{ pCi}$$

จากตารางที่ 2.7 พบว่า EPA กำหนดปริมาณเรเดียม-226 กับเรเดียม-228 ในน้ำดื่มว่าไม่ควรเกิน 5 พิโคคูรีเนื่องจาก มีค่าความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งทั้งมะเร็งกระดุกและมะเร็งในเนื้อเยื่อต่างๆ อยู่ในช่วง 0.7-3 ต่อปีต่อประชากร 1,000,000 คน หรือระหว่าง $0.5-2 \times 10^{-4}$ ตลอดช่วงอายุ 70 ปี

และสำหรับในประเทศไทยได้มีการกำหนดปริมาณรังสีในน้ำแร่โดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.8

ตาราง 2.8 มาตรฐานนิวไคลด์รังสีในน้ำแร่ในประเทศไทย [14]

นิวไคลด์รังสี	ความเข้มข้นของนิวไคลด์ในน้ำแร่ Bq / L (pCi / L)
รังสีแอลฟา	< 0.1 Bq / L (2.7)
รังสีบีตา	< 1 Bq / L (27)

2.9 ตัวอย่างปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำบางแหล่งในประเทศ

สำหรับในประเทศเยอรมนีค่าเฉลี่ยปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำประปาและน้ำแร่ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ค่าเฉลี่ยปริมาณนิวไคลด์รังสีในน้ำประปาและน้ำแร่ในประเทศเยอรมนี [15]

นิวไคลด์	ความเข้มข้นของนิวไคลด์ในน้ำประปา (mBq / L)	ความเข้มข้นของนิวไคลด์ในน้ำแร่ (mBq / L)
ยูเรเนียม-238	5	8
ยูเรเนียม-234	5	20
เรเดียม-226	4	25
เรดอน-222	5600	-
ตะกั่ว-210	1	9
โพโลเนียม-210	0.5	2
โพแทสเซียม-40	70	660

ตารางที่ 2.10 ปริมาณเรเดียม-226 ที่มีในแหล่งน้ำต่างๆในประเทศไทย จากการวิเคราะห์ทางเรดิโอเคมี [16]

แหล่งน้ำ	ปริมาณเรเดียม-226 (pCi / L)
กรุงเทพมหานคร	
- สะพานพระพุทธยอดฟ้า	0.32
- สะพานกรุงเทพ	0.15
แม่น้ำท่าจีน จ.สมุทรสาคร	0.23
อ. สามพราน จ. นครปฐม	0.67
อ. บางปลาม้า จ. สุพรรณบุรี	0.23
อ. หันคา จ. ชัยนาท	0.18
แม่น้ำน่าน จ. นครสวรรค์	0.13
อ. บ้านสร้าง จ. ปราจีนบุรี	0.21
แม่น้ำป่าสัก จ. อโยธยา	0.10
อ. เสาไห้ จ. สระบุรี	0.17
อ. เมือง จ. เพชรบูรณ์	0.30
อ. อัมพวา จ. สมุทรสงคราม	0.58

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

- 3.1.1 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4), AR Grade บริษัท Ajax Finechem
- 3.1.2 สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรงรังสี 2220 dpm/ml ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน 2547
- 3.1.3 สารละลายมาตรฐานแบเรียม-133 ความแรงรังสี 1008 Bq/ml ณ วันที่ 20 พฤศจิกายน 2547
- 3.1.4 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), AR Grade บริษัท MERCK
- 3.1.5 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl), AR Grade บริษัท MERCK
- 3.1.6 น้ำ Deionized
- 3.1.7 เส้นใยอะคริลิก จากบริษัท ไทยอะคริลิกไฟเบอร์ ขนาด Denier 1.2, 1.5, 2 และ 3
- 3.1.8 ซิลิโคน

3.2 อุปกรณ์

- 3.2.1 บีเปต ขนาด 100 – 1000 ไมโครลิตรและ ขนาด 20-100 ไมโครลิตร
- 3.2.2 กระจกตวงขนาด 100, 50 มิลลิลิตร
- 3.2.3 ถังมือยาง
- 3.2.4 หม้อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 เซนติเมตร
- 3.2.5 แท่งแก้วคนสาร
- 3.2.6 เตาไฟฟ้าชนิดปรับอุณหภูมิได้ (50 - 400 องศาเซลเซียส)
- 3.2.7 ถ้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 110 มิลลิเมตร x 35 มิลลิเมตร
- 3.2.8 อะลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 45 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร
- 3.2.9 ถังน้ำพลาสติกขนาดต่างๆ
- 3.2.10 กระจกพลาสติก
- 3.2.11 ถังซีปัส
- 3.2.12 กระจกพลาสติกสำหรับบรรจุเส้นใยอะคริลิก ยาว 20 เซนติเมตร หน้า 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 เซนติเมตร ปริมาตร 180 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 3.2.13 สายยางขนาดต่างๆ

- 3.2.14 กรวยพลาสติก
- 3.2.15 บิ่มน้ำซึ่งมีอัตราบิ่มสูงสุด 2000 ลิตร ต่อ ชั่วโมง
- 3.2.16 กระดาษลิตมัส ของ MACHERY-NAGEL

3.3 เครื่องมือ

- 3.3.1 เตาเผาตัวอย่างซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิได้รุ่น Control 201 ของ Carbolite
- 3.3.2 เครื่องชั่งสารมีความละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 3.3.3 หัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ขนาด 3 นิ้ว x 3 นิ้ว ของ Canberra
- 3.3.4 เครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง (Multichannel analyzer; MCA) รุ่น Inspector 2000 ของ Canberra
- 3.2.18 เครื่องคอมพิวเตอร์
- 3.2.19 โปรแกรม Genie-2000 ของ Canberra

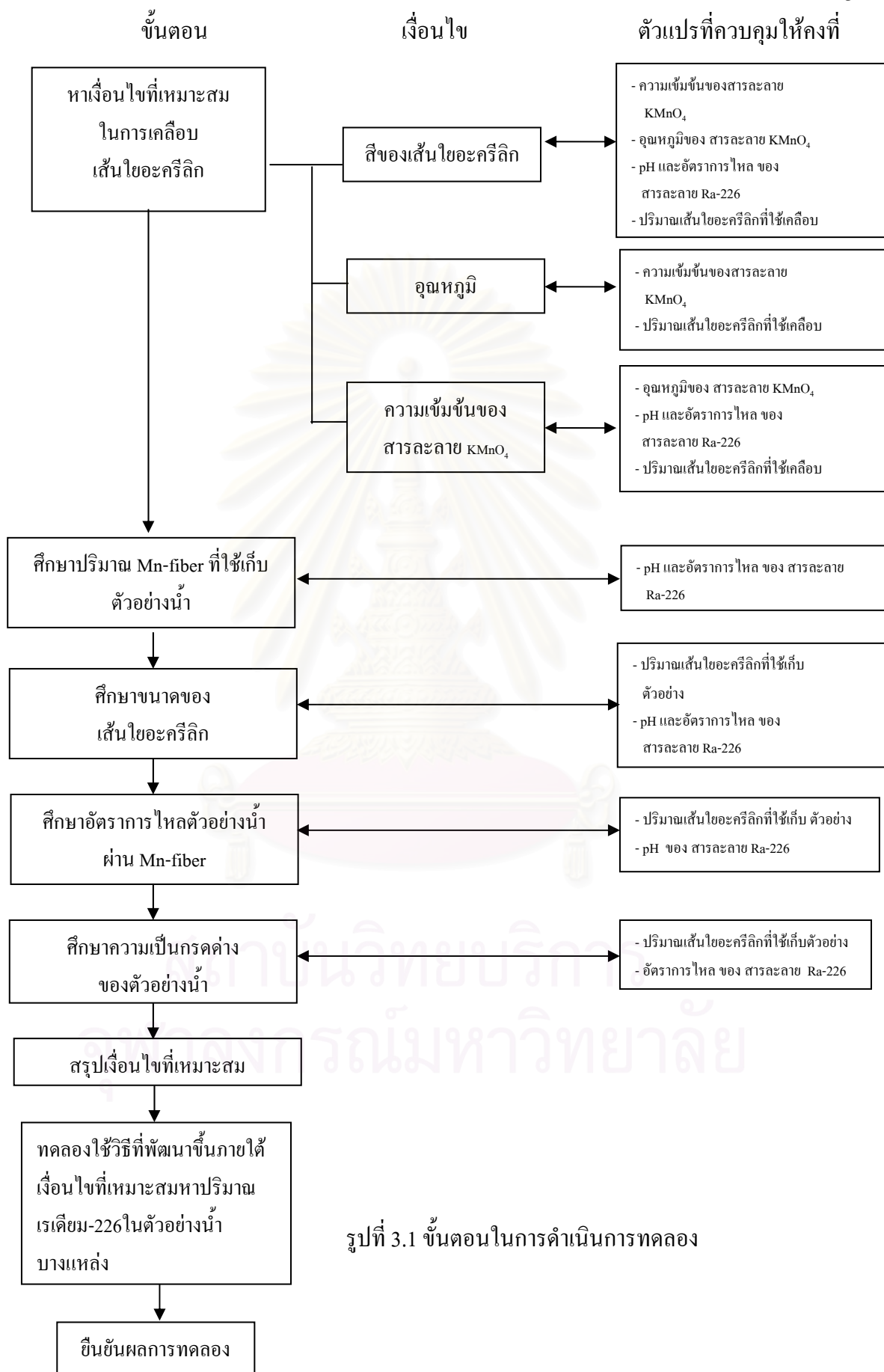
3.4 การดำเนินการวิจัย

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการดำเนินการทดลองโดยในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ศึกษาดังนี้

- เส้นใยที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเส้นใยอะคริลิก
- ปริมาณอะคริลิกที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่าง
- ประสิทธิภาพในการจับเรเดียมของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบด้วยเส้นใยที่เหมาะสม
- อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ
- ความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ

3.4.1 วัสดุและสารเคมีที่ต้องเตรียมเพื่อใช้ในการทดลอง

3.4.1.1 น้ำ Ra free Deionized เตรียมจากการนำ น้ำ Deionized ไหลผ่านเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบด้วยเมงกานีสไดออกไซด์ซึ่งบรรจุในท่อพลาสติกเก็บตัวอย่าง 2-3 ครั้ง ต่อไปขอใช้คำว่า Mn-fiber แทน เส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบด้วยเมงกานีสไดออกไซด์ โดยในการเตรียม น้ำ Ra free Deionized ครั้งแรกได้รับความอนุเคราะห์ Mn-fiber จาก Professor Dr.Burnett จาก Florida State University ในการเตรียมครั้งต่อไปได้ใช้เส้นใยอะคริลิกที่เตรียมขึ้นจากเส้นใยที่เหมาะสม



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง

3.4.1.2 สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรงรังสี 2220 dpm ต่อ มิลลิลิตร ซึ่งเตรียมจากสารละลายมาตรฐานตั้งต้นที่มีความแรงรังสี 1 ไมโครคูรี/ 5 มิลลิลิตร และเตรียมสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226ที่มีความแรงรังสีดังนี้

3.4.1.2.1 สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรงรังสี 444 dpm ต่อ ลิตร ซึ่งเตรียมจากการหยดสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ซึ่งเตรียมได้จากข้อ 3.4.1.2 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ลงในน้ำ Ra free Deionized ปริมาตร 1 ลิตร

3.4.1.2.2 สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรงรังสี 444 dpm ต่อ 20 ลิตร ซึ่งเตรียมจากการหยดสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ซึ่งเตรียมได้จากข้อ 3.4.1.2 ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ลงในน้ำ Ra free Deionized ปริมาตร 20 ลิตร

3.4.1.2.3 สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ความแรงรังสี 1000 dpm ต่อ ลิตร ซึ่งเตรียมจากการหยดสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226ซึ่งเตรียมได้จากข้อ 3.4.1.2 ปริมาตร 0.45 มิลลิลิตร ลงในน้ำ Ra free Deionized ปริมาตร 1 ลิตร

3.4.1.3 สารละลายมาตรฐานแบเรียม-133 ความแรงรังสี 1008 Bq/ml ณ วันที่ 20 พฤศจิกายน 2547 และเตรียมสารละลายมาตรฐานแบเรียมความแรงรังสีต่างๆดังนี้

3.4.1.3.1 สารละลายมาตรฐานแบเรียม-133 ความแรงรังสี 1209 dpm ต่อ ลิตร ซึ่งเตรียมโดยการหยดสารละลายมาตรฐานแบเรียม-133 ความแรงรังสี 1008 Bq/ml ปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร ลงในน้ำ Ra free Deionized ปริมาตร 1 ลิตร

3.4.1.3.2 สารละลายมาตรฐานแบเรียม-133 ความแรงรังสี 1209 dpm ต่อ 20 ลิตร ซึ่งเตรียมโดยการหยดสารละลายมาตรฐานแบเรียม-133 ความแรงรังสี 1008 Bq/ml ปริมาตร 0.02 มิลลิลิตร ลงในน้ำ Ra free Deionized ปริมาตร 20 ลิตร

3.4.2 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเส้นใยอะคริลิก

เนื่องจากในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเรื่องการหาปริมาณเรเดียม -226 โดยการดูดซับด้วยเมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก ก่อนอื่นจึงต้องมีการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเส้นใยอะคริลิกด้วยเมงกานีสไดออกไซด์ ในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าอัตราการนับวัด (count rate)เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียม บนเส้นใยอะคริลิก จากการศึกษาทางเอกสารพบว่า มีตัวแปรที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการจับเรเดียม ดังนี้

- สีของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบด้วยเมงกานีสไดออกไซด์(Mn-fiber)
- อุณหภูมิของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต
- ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ดังนั้น ในการศึกษาตัวแปรใดจะต้องมีการควบคุมตัวแปรอื่นให้มีค่าคงที่เสมอและในการทดลองขั้นนี้ได้เลือกใช้เส้นใยอะคริลิกชนิด Denier 1.2 เนื่องจากพื้นที่ผิวมากกว่า Denier เบอร์อื่นๆ ที่นำมาใช้ (Denier หมายถึง หน่วยน้ำหนักต่อความยาวของเส้นใยถ้าเบอร์เล็กหมายถึงเส้นใยนั่นมีความละเอียดกว่าเส้นใยที่มีเบอร์สูงกว่า เช่น Denier 1.2 มีความละเอียดของเส้นใยมากกว่า Denier 3.0)

3.4.2.1 การศึกษาสีของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ สำหรับในการศึกษาเรื่องสีของ Mn-fiber มีการควบคุมตัวแปรให้มีค่าคงที่ดังนี้ ความเข้มข้นของสารละลายมีค่า 0.5 โมล ต่อ ลิตร, อุณหภูมิของสารละลายให้มีค่าประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส ใช้เส้นใยอะคริลิกประมาณ 30 กรัม ค่าความเป็นกรดค่าของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 มีค่าประมาณ 6-7 และอัตราการไหลของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ให้มีค่าประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาทีโดยปรับอัตราการไหลที่วาล์วของภาชนะที่บรรจุตัวอย่างน้ำ โดยทำการทดลองดังนี้

3.4.2.1.1 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานีสความเข้มข้น 0.5 (158 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร) โมลต่อลิตร และ ควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้มีค่าประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส

3.4.2.1.2 ใส่เส้นใยอะคริลิกประมาณ 30 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ในสารละลายที่เตรียมได้ จากนั้นต้มไปจนกระทั่งเส้นใยอะคริลิกเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีน้ำตาล แบ่งเส้นใยบางส่วนออกมาล้างด้วยน้ำ Ra free deionized จนกระทั่งน้ำที่ใช้ล้างเป็นสีใสหรือไม่มีสีและต้มเส้นใยอะคริลิกที่เหลือต่อจนกระทั่งเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลเป็นสีดำ ตักเส้นใยอะคริลิกที่มีสีดำขึ้นและล้างด้วยน้ำ Ra free deionized จนกระทั่งน้ำที่ใช้ล้างเป็นสีใสหรือไม่มีสี

3.4.2.1.3 ชั่ง Mn-fiber ทั้งสีน้ำตาลและสีดำในปริมาณที่เท่าๆกันอย่างละ 2 ตัวอย่าง ๆ ละประมาณ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) แยกบรรจุในกระบอกพลาสติกตัวอย่างน้ำ โดยทำการทดลอง 3 ชั่วโมงในแต่ละตัวอย่าง

3.4.2.1.4 นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม -226 มีความแรงรังสี 444 dpm ต่อ ลิตรที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.2.1 ไหลผ่านกระบอกพลาสติกที่บรรจุ Mn-fiber ทั้งสีน้ำตาลและสีดำที่เตรียมไว้ในข้อ 3.4.2.1.3 ในอัตราการไหลที่เท่ากันประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาที ปริมาณทั้งหมด 1 ลิตร ต่อ ตัวอย่าง

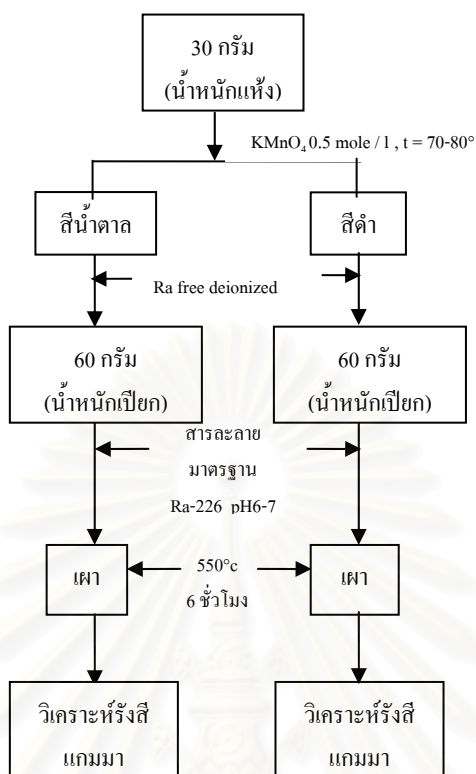
3.4.2.1.5 นำ Mn-fiber ที่ผ่านสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ทั้ง 2 ลิตร บรรจุลงในถ้วยฟอยล์แล้วนำไปเผาอุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง จากนั้นทำการปิดผนึกด้วยซิลิโคน จากนั้นทำการพ่นในกระบอกพลาสติกที่ปิดมิดชิด บันทึกวัน เดือน ปี ที่เตรียมไว้ ตั้งไว้ประมาณ 30 วัน เพื่อให้เกิดสมดุลแบบเชกคูลาร์ระหว่างเรเดียม-226 กับนิวไคลด์ลูก จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ของ บิสมัท-214 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ และเครื่องมือวัดแสดงไว้ในรูป 3.8 - 3.15

3.4.2.2 การศึกษาอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก

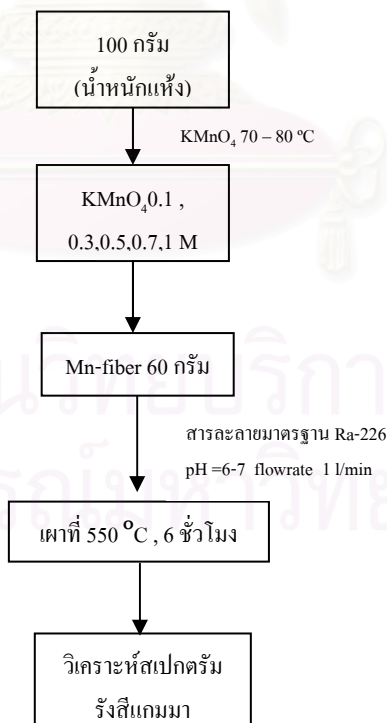
สำหรับการศึกษาอุณหภูมิของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีการควบคุมตัวแปรให้มีค่าคงที่ดังนี้ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีค่า 0.5 โมล ต่อ ลิตร และเส้นใยอะคริลิกที่ใส่ในแต่ละตัวอย่างประมาณ 50 กรัม (น้ำหนักแห้ง) และทำการต้มสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆดังนี้ 30 , 50 , 70 , 90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และทำการต้มจนกระทั่งเส้นใยอะคริลิกเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีดำเพราะจากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 3.4.2.1 พบว่า Mn-fiber ที่มีสีดำจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมได้ดีกว่าสีน้ำตาล(รายละเอียดของผลการทดลองอยู่ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.1)

3.4.2.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

สำหรับการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีการควบคุมตัวแปรให้มีค่าคงที่ดังนี้ อุณหภูมิของสารละลายให้มีค่าประมาณ 70 – 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการศึกษาในข้อ 3.4.2.2 (รายละเอียดของผลการศึกษาในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2) ปริมาณของเส้นใยอะคริลิกที่ใช้ในการเคลือบประมาณ 100 กรัม ควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ที่ใช้ไหลผ่าน Mn-fiber ให้มีค่าประมาณ 6-7 และควบคุมอัตราการไหลของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ในอัตราที่เท่ากันคือประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาที โดยปรับอัตราการไหลที่วาล์วของภาชนะที่บรรจุตัวอย่างน้ำ โดยทำการทดลองดังนี้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการศึกษาสีของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานีส

3.4.2.3.1 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันดังนี้ 0.1 (15.8 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร) , 0.3(47.4 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร) , 0.5 (79 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร) , 0.7(110.6 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร) , 1(158 กรัมต่อ น้ำ 1 ลิตร) โมลต่อลิตร และตั้งอุณหภูมิของสารละลายไว้ที่ประมาณ 70 – 80 องศาเซลเซียส

3.4.2.3.2 ใส่เส้นใยอะคริลิกประมาณ 100 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ลงไปในแต่ละสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จากนั้น ดมเส้นใยอะคริลิกจนกระทั่งเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีดำ

3.4.2.3.3 ทำการล้าง Mn-fiber ด้วยน้ำ Ra free deionized จนกระทั่งน้ำที่ใช้ล้างเป็นสีใสหรือไม่มีสี

3.4.2.3.4 ชั่ง Mn-fiber ที่ผ่านการเคลือบด้วยความเข้มข้นต่างๆในปริมาณที่เท่าๆกัน ตัวอย่าง ๑ ละประมาณ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) บรรจุลงในท่อพลาสติก

3.4.2.3.5 นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม -226 มีความแรงรังสี 444 dpm ต่อ ลิตรที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.2.1 มาไหลผ่าน Mn-fiber ที่ผ่านการเคลือบด้วยความเข้มข้นแตกต่างกันด้วยอัตราการไหลที่เท่ากันคือประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาที ปริมาณ ทั้งหมด 1 ลิตรต่อตัวอย่างโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

3.4.2.3.6 นำ Mn-fiber ที่ผ่านสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 แล้วไปเผาภายใต้เงื่อนไขเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1.5 จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมา เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.4.3 การศึกษาปริมาณ Mn-Fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ

เมื่อทำการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิกแล้ว จำเป็นจะต้องทราบปริมาณที่เหมาะสมของ Mn-fiber ที่จะใช้ในการเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้ง ภาชนะที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างซึ่งเป็นกระบอกพลาสติกมีขนาดยาว 20 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 4 เซนติเมตร มีปริมาตร 180 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับการทดลองนี้มีการควบคุมตัวแปรให้มีค่าคงที่ ดังนี้ อัตราการไหลของน้ำผ่าน Mn-fiber ให้มีอัตราที่เท่ากัน คือ ประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาทีโดยปรับอัตราการไหลที่วาล์วของภาชนะที่บรรจุตัวอย่างน้ำและมีการควบคุมค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ให้มีค่าประมาณ 6-7 โดยทำการทดลองทดสอบกับน้ำตัวอย่าง 2 ชนิดคือสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 และน้ำแร่จากจังหวัดราชบุรี ดังนี้

3.4.3.1 ชั่ง Mn-Fiber ที่เตรียมโดยเงื่อนไขที่เหมาะสมในปริมาณที่แตกต่างกันคือ 30 , 60 , 90 กรัม ตามลำดับ บรรจุในท่อพลาสติกเก็บตัวอย่างน้ำ

3.4.3.2 นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 มีความแรงรังสี 444 dpm ที่เตรียมได้มาไหลผ่าน Mn-fiber ที่ปริมาณต่างๆคือ 30, 60, 90 กรัมตามลำดับ โดยควบคุมอัตราการไหลของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ในอัตราที่เท่ากันคือประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาที และค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายให้มีค่าอยู่ในช่วง 6-7 ปริมาณทั้งหมด 1 ลิตร ต่อ ตัวอย่างโดยทำการทดลอง 2 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

3.4.3.3 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.4.3.1 และ 3.4.3.2 แต่เปลี่ยนเป็นตัวอย่างน้ำแร่จากจังหวัดราชบุรีแทนสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226

3.4.3.4 นำ Mn-fiber ที่ผ่านสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 และน้ำแร่จากจังหวัดราชบุรี แล้วไปเผาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับข้อ 3.4.2.1.5 จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

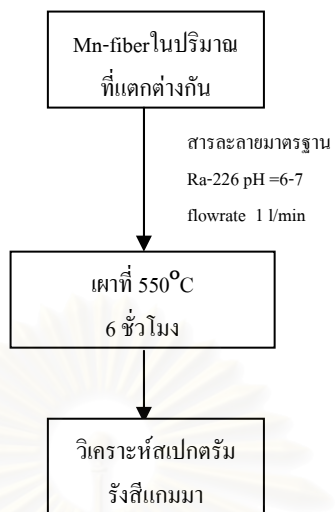
3.4.4 การศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิกที่ใช้

เนื่องจากเส้นใยอะคริลิกที่ทางบริษัทไทยอะคริลิกไฟเบอร์ผลิตขึ้นมีหลายขนาด จึงต้องทำการทดลองหาประสิทธิภาพในการจับเรเดียมของ Mn-fiber ในแต่ละขนาดว่ามีประสิทธิภาพในการจับเรเดียมแตกต่างกันหรือไม่จึงได้ทำการเคลือบเส้นใยอะคริลิกขนาดต่างๆ คือ Denier 1.2 , 1.5 , 2.0 , 3.0 ตามลำดับตามเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้ และทำการหาประสิทธิภาพในการจับเรเดียม ซึ่งในการหาประสิทธิภาพในการจับเรเดียมได้ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ให้มีค่าประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาที โดยทำการปรับอัตราการไหลที่วาล์วของภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำและค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายให้มีค่าประมาณ 6-7 โดยทำการทดลองดังนี้

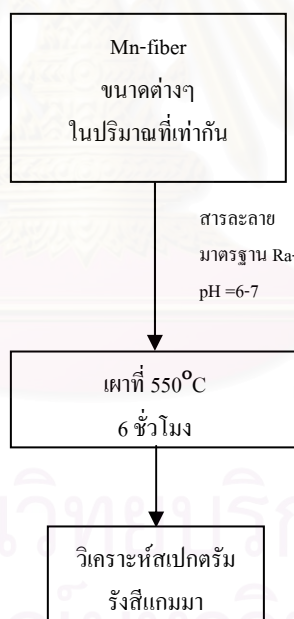
3.4.4.1 ชั่ง Mn-fiber แต่ละชนิด ในปริมาณที่เท่ากันคือ ประมาณ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) บรรจุในท่อพลาสติกเก็บตัวอย่าง

3.4.4.2 นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม -226 มีความแรงรังสี 1000 dpm ต่อ ลิตรที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.2.3 มาไหลผ่าน Mn-fiber ขนาดต่างๆคือ Denier 1.2 , 1.5 , 2.0 , 3.0 ตามลำดับ ด้วยอัตราการไหล ประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาที ปริมาณทั้งหมด 1 ลิตร ต่อ นาทีโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

3.4.4.3 นำ Mn-fiber ที่ผ่านสารละลายมาตรฐานแล้ว ไปเผาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับข้อ 3.4.2.1.5 จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณ Mn-fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิก

หลังจากได้มีการศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิกว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมแตกต่างกันหรือไม่ จึงได้มีการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมในแต่ละครั้งของการนำตัวอย่างน้ำไหลผ่าน Mn-fiber โดยเป็นการทดลองเพื่อให้ทราบว่าต้องนำตัวอย่างน้ำไหลผ่าน Mn-fiber กี่ครั้งจึงจะสามารถดูดซับเรเดียมได้ทั้งหมด ซึ่งทำการทดลองโดย นำท่อพลาสติกเก็บตัวอย่างน้ำ 2 ท่อ ต่อกันและบรรจุ Mn-fiber ในปริมาณที่เท่ากันคือ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) จากนั้นนำน้ำบาดาล จ.นครปฐม ปริมาตร 100 ลิตร ไหลผ่าน Mn-fiber ด้วยอัตราการไหล 1 ลิตร ต่อ นาที จากนั้นนำ Mn-fiber ทั้ง 2 ตัวอย่างมาวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา เพื่อหาปริมาณเรเดียม-226

3.4.5 การศึกษาอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำผ่าน Mn-fiber

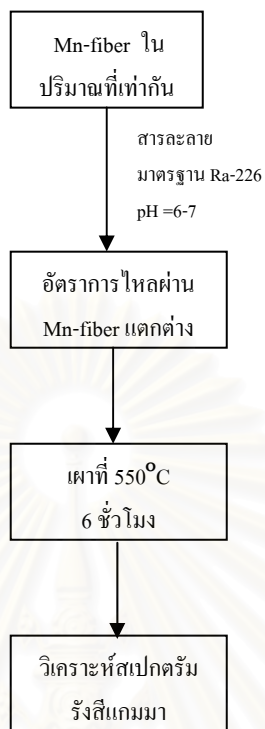
เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการพัฒนาเทคนิคการหาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำ ซึ่งในการทดลองเก็บตัวอย่างในแต่ละครั้งอาจใช้อัตราการไหลตัวอย่างน้ำผ่าน Mn-fiber ในอัตราการไหลที่แตกต่างกันซึ่งอาจมีผลต่อการดูดซับเรเดียมของ Mn-fiber สำหรับในการทดลองนี้ได้ควบคุมค่าความเป็นกรด่างของตัวอย่างน้ำให้มีค่าประมาณ 6-7 และทำการทดลองกับสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 และสารละลายมาตรฐานแบเรียม-133ดังนี้

3.4.5.1 ชั่ง Mn-fiber ในปริมาณ ที่เท่ากัน 6 ตัวอย่างๆละประมาณ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) บรรจุในท่อพลาสติกเก็บตัวอย่าง

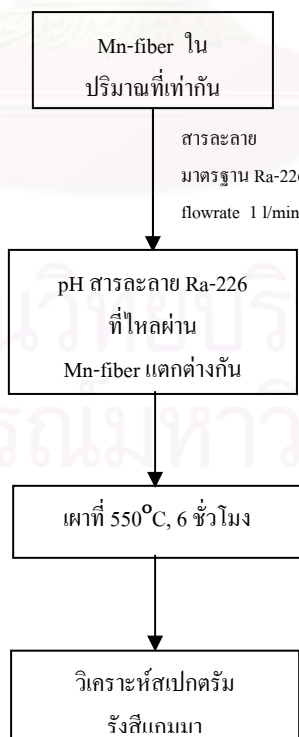
3.4.5.2 นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม -226 มีความแรงรังสี 444 dpm ต่อ 20 ลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.2.2 ไหลผ่าน Mn-fiber ในอัตราการไหลที่แตกต่างกันคือ 0.5 , 1 , 1.5 , 2 , 2.5 , 3 ลิตร ต่อ นาที โดยทำการปรับอัตราการไหลที่วาล์วของภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำ เมื่อเปิดวาล์วเต็มที่อัตราการไหลจะมีค่าประมาณ 1.5 ลิตร ต่อ นาที ดังนั้น ในการปรับอัตราการไหลที่สูงกว่าจึงต้องใช้ปั๊มน้ำช่วย โดยทำการทดลอง 3 ชั่วโมงในแต่ละตัวอย่าง

3.4.5.3 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.4.5.1-3.4.5.2 แต่เปลี่ยนจากสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 เป็นสารละลายมาตรฐานแบเรียม-133

3.4.5.4 นำ Mn-fiber ที่ผ่านสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 และแบเรียม-133 ในอัตราการไหลที่แตกต่างกัน ไปเผาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับข้อ 3.4.2.1.5 จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการศึกษาอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการศึกษาความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ

3.4.6 การศึกษาความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อพัฒนาเทคนิคการหาปริมาณเรเดียมในน้ำ จึงต้องมีการทดลองนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการหาปริมาณเรเดียมในแหล่งน้ำต่างๆ ซึ่งในแต่ละแหล่งน้ำอาจมีความเป็นกรดแตกต่างกันไป ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาถึง ผลของค่าความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำซึ่งอาจมีผลต่อการจับเรเดียมของ Mn-fiber สำหรับในการทดลองนี้ได้ควบคุมอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำให้มีค่าประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาทีโดยปรับวาล์วที่ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำ และทำการทดลองดังนี้

3.4.6.1 ชั่ง Mn-fiber ในปริมาณที่เท่ากัน 5 ตัวอย่างๆละประมาณ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) บรรจุในท่อพลาสติกเก็บตัวอย่าง

3.4.6.2 นำสารละลายมาตรฐานเรเดียม -226 มีความเข้มข้น 444 dpm ต่อ ลิตร ที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.1.2.1 ปรับค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายให้มีค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน โดยเริ่มที่ 2, 4, 6, 8, 10 โดยใช้ กรดไฮโดรคลอริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.4.6.3 นำสารละลายที่ทำการปรับค่าความเป็นกรดต่างที่แตกต่างกันไหลผ่าน Mn-fiber ในอัตราที่เท่ากันคือ ประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาที โดยทำการทดลอง 3 ชั่วโมงในแต่ละตัวอย่าง

3.4.6.4 ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.4.6.1-3.4.6.3 แต่เปลี่ยนจากสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 เป็นสารละลายมาตรฐานแบเรียม-133

3.4.6.5 นำ Mn-fiber ที่ผ่านสารละลายมาตรฐานเรเดียม- 226 ที่ ค่าความเป็นกรดต่าง ต่างๆเรียบร้อยแล้วไปเผาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับข้อ 3.4.2.1.5 จากนั้น นำไปวัดรังสีแกมมา เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.4.7 การเตรียม Standard Mn-fiber

3.4.7.1 ทำการหดยสารมาตรฐานเรเดียม-226 ซึ่งมีความเข้มข้น 1000 dpm ลงใน Mn-fiber ขนาดต่างๆ

3.4.7.2 นำ Mn-fiber ที่หดยสารมาตรฐานแล้ว ไปเผาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับข้อ 3.4.2.1.5 จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมา เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

3.4.8 การเตรียม แบลงค์ (แบลงค์ก็คือ Mn-fiber ที่เตรียมได้ตามเงื่อนไขที่เหมาะสมแล้ว ทำการล้างด้วยน้ำ Ra free deionized) และทำการเผาภายใต้เงื่อนไขเดียวกับข้อ 3.4.2.1.5 จากนั้นนำไปวัดรังสีแกมมา เป็นการหาค่าต่ำสุดในการวัดว่าเทคนิคนี้จะสามารถหาค่าความเข้มข้นในตัวอย่างได้ต่ำสุดเท่าใด โดยทำการทดลอง 3 ชั่วโมงในแต่ละตัวอย่าง

3.4.9 ทดลองใช้กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นภายใต้เงื่อนไขเพื่อหาปริมาณเรเดียมในน้ำจากแหล่งอื่นๆ

เมื่อทำการศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลื่อนเส้นใยอะคริลิก และ ศึกษาอัตราการไหล และค่าความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำแล้ว จึงได้นำเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้ทดลองหาปริมาณเรเดียมในน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ เช่น น้ำบาดาล จังหวัด สมุทรสงคราม น้ำบาดาล จ. นครปฐม น้ำแร่ จ.ราชบุรี และ น้ำจากแหล่งผลิตน้ำมัน จ.สุพรรณบุรี

3.4.10 ยืนยันผลการทดลอง

3.4.10.1 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียมบน Mn-fiber ขนาดต่างๆ

ผู้วิจัยทำการเคลื่อนเส้นใยอะคริลิกขนาด 1.2, 1.5, 2.0, 3.0 ด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสม และ ส่ง Mn-fiber ทุกขนาดที่เตรียมขึ้นให้กับ Florida State University เพื่อทดลองหาประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ซึ่งได้ทำการทดลองโดยนำสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ซึ่งมี ความแรงรังสี 1140.1 และ 934.3 dpm ตามลำดับ มีปริมาตรรวม 0.5 ลิตร และมีค่าความเป็นกรดต่าง ประมาณ 6.4 - 6.9 ไหลผ่าน Mn-fiber ขนาดต่างๆ ด้วยอัตราการไหลประมาณ 1 ลิตร ต่อ นาที ทั้งหมด 5 ครั้ง จากนั้นนำสารละลายที่ไหลผ่าน Mn-fiber ไปวัดปริมาณกัมมาเรดอนเพื่อจะได้ทราบปริมาณเรเดียมที่เหลืออยู่ในสารละลาย โดยใช้เครื่องวัดรังสี coincidence และจะได้ทราบปริมาณเรเดียมที่ถูกดูดซับบน Mn-fiber

3.4.10.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำเดียวกัน แต่ต่างสถาบัน

ในโอกาสที่ Professor Dr. Burnett จาก Florida State University ได้เดินทางมาเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล เพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม ในการศึกษาการซึมผ่านของน้ำจืดเข้าสู่พื้นที่ทะเลบริเวณรอบปากแม่น้ำเจ้าพระยา โดยทำการเก็บน้ำผ่าน Mn-fiber ที่เตรียมมาจาก Florida State University ผู้วิจัยได้เข้าร่วมเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลนั้นด้วย แต่ใช้ Mn-fiber ที่ผู้วิจัยเตรียมขึ้นจากเงื่อนไขที่เหมาะสม จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ในตัวอย่างน้ำบาดาลดังกล่าว เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของ Prof. Dr. Burnett ซึ่งนำกลับไปวิเคราะห์ที่ Florida State University

3.4.11 การวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ของตัวอย่างน้ำโดย Mn-fiber

เรเดียม-226 สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 186.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ 4 % หากวัดรังสีแกมมาจากพลังงานนี้โดยตรง จะมีปัญหาเนื่องจากเป็นพลังงานต่ำและค่าเบคกราวด์ในช่วงพลังงานต่ำมีค่าสูงกว่าที่พลังงานสูงจะทำให้ค่าสถิติในการนับรังสีไม่ดี จึงต้องทำการวัดรังสีแกมมาจาก นิวไคลด์ลูกของเรเดียม-226 ซึ่งมีพลังงานสูงกว่า ซึ่ง นิวไคลด์ลูกของเรเดียม-226 ที่สนใจคือ Pb-214 และ Bi-214 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 20 และ 27 นาที และสลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 352 และ 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ โดยจะต้องทิ้งตัวอย่างไว้ประมาณ 30 วัน จึงเกิดความสมดุลย์ทางรังสีระหว่างเรเดียม-226 และนิวไคลด์ลูก ตามแผนผังการสลายตัว ทำให้สามารถวัดปริมาณของ Pb-214 และ Bi-214 ที่พลังงานดังกล่าวได้ ซึ่งสามารถนำไปคำนวณย้อนกลับเพื่อหาปริมาณของ เรเดียม-226 เพราะว่าขณะเกิดสมดุลแบบเชกคูลาร์ความแรงรังสีของเรเดียม-226 จะเท่ากับความแรงรังสีของ Pb-214 และ Bi-214 ซึ่งเป็น นิวไคลด์ลูก



รูปที่ 3.8 ครอบอกพลาสติกที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง Mn-fiber



รูปที่ 3.9 การเก็บตัวอย่างน้ำโดยผ่าน Mn-fiber



รูปที่ 3.10 Mn-fiber ก่อนทำการเผา



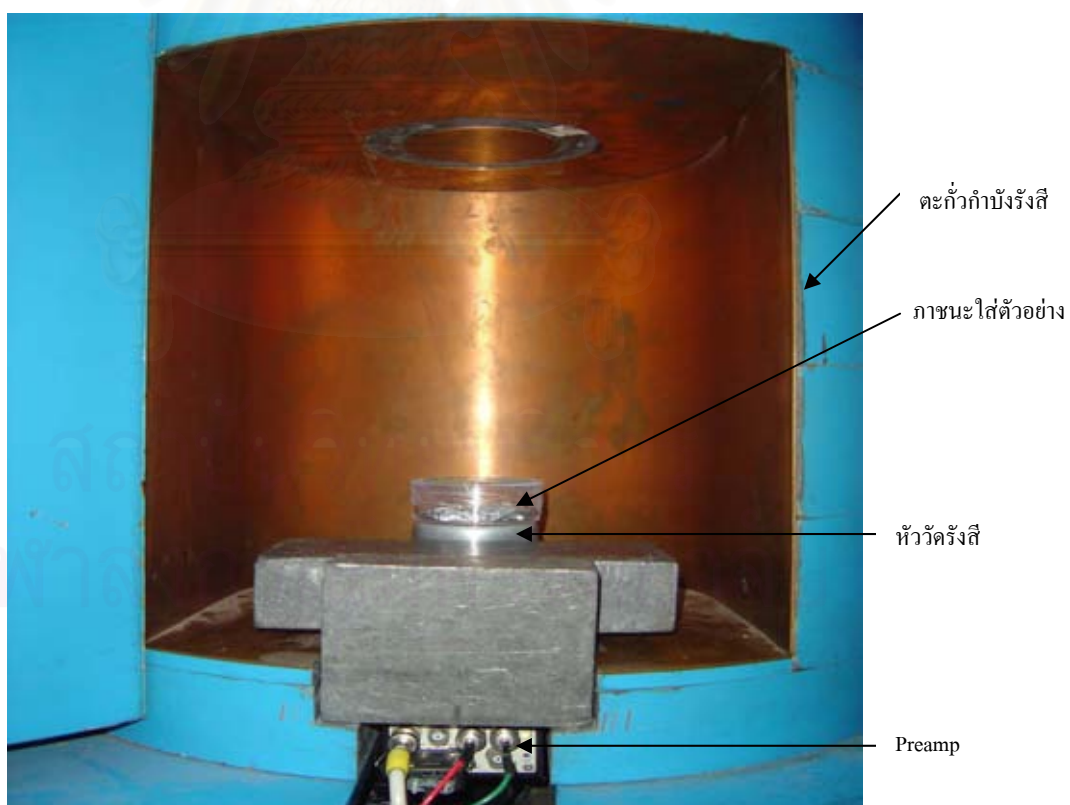
รูปที่ 3.11 Mn-fiber หลังเผา



รูปที่ 3.12 การฉีก Mn-fiber หลังจากทำการเผาแล้ว



รูปที่ 3.13 Mn-fiber ที่ทำการปิดผนึกเรียบร้อยแล้วพร้อมสำหรับการวัดรังสีแกมมา



รูปที่ 3.14 หัววัดรังสีและตะกั่วกำบังรังสี



ด้านหลัง



ด้านหน้า

รูป 3.15 เครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่อง (Multichannel analyzer; MCA)

รุ่น Inspector 2000 ของ Canberra

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลื่อนเส้นใยอะคริลิกด้วยแมงกานีสไดออกไซด์

สำหรับการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลื่อนเส้นใยอะคริลิกด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ ตัวแปรที่ใช้บ่งชี้ได้ว่าเงื่อนไขใดเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสม คือ ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมในที่นี้จะใช้ค่า จำนวนนับรังสีที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมนั้นคือ ค่าจำนวนนับรังสีที่สูงกว่าแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมได้ดีกว่าจำนวนนับรังสีที่มีค่าต่ำกว่าเมื่อใช้เวลาในการวัดที่เท่ากันโดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการจับเรเดียม ดังนี้

- สีของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลื่อนด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ (Mn-fiber)
- อุณหภูมิของสารละลาย
- ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษามีดังนี้

4.1.1 ผลการศึกษาสีของเส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลื่อนด้วยแมงกานีสไดออกไซด์

สำหรับการศึกษานี้เป็นการศึกษาเงื่อนไขการเคลื่อนเส้นใยอะคริลิกด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ ซึ่งในการทดลองขั้นนี้ได้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยอะคริลิก พบว่าสีของเส้นใยอะคริลิกสีเดิมคือ สีขาว เมื่อถูกเคลื่อนจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและสีดำ ตามลำดับ และเมื่อทำการนับวัดหาอัตราการนับวัดรังสีเรเดียมของเส้นใยอะคริลิกที่มีสีต่างๆ ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 สีและจำนวนนับรังสีของบิสมัทที่พลังงาน 609.3 keV ของเส้นใยอะคริลิกภายหลังการเคลื่อนด้วยแมงกานีสไดออกไซด์

สีของเส้นใยอะคริลิก (สังเกตด้วยตาเปล่า)	จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV
ขาว	126 ± 6
น้ำตาล	1937 ± 25
ดำ	2617 ± 30

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- KMnO_4 0.5 mole/L , อุณหภูมิ 70-80 °C
- ปริมาณเส้นใยเริ่มต้น 30 g (dry), Mn-fiber 60 g (wet)
- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 444 dpm / L, อัตราการไหล 1 L / min, pH 6-7, ปริมาตรน้ำ 1 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 12 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่า จำนวนน้บรังสีของเส้นใยอะคริลิกที่เป็นสีดำมีค่ามากกว่าจำนวนน้บรังสีของเส้นใยอะคริลิกที่เป็นสีน้ำตาลประมาณ 1.35 เท่า ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าเส้นใยอะคริลิกจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมได้ดีเมื่อเส้นใยอะคริลิกถูกเคลือบจนเป็นสีดำ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสีของเส้นใยสามารถดูได้ด้วยตาเปล่า และสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ถ้าสารละลายเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีน้ำตาลและสารละลายเดือจจนเส้นใยฟูขึ้น แสดงว่าเส้นใยเปลี่ยนเป็นสีดำทั่วแล้ว จึงทำการตักขึ้น ดังนั้นขั้นตอนการเคลือบเส้นใยอะคริลิกด้วยแมงกานีสไดออกไซด์จะต้องทำการเคลือบจนกระทั่งเส้นใยถูกเคลือบจนเป็นสีดำ แล้วจึงตักขึ้นมาล้างน้ำให้สะอาดก่อนที่จะนำไปใช้ดูดซับเรเดียม

4.1.2 การศึกษาอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก

สำหรับการศึกษาอุณหภูมิของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้เคลือบเส้นใยอะคริลิก ได้ทดลองต้มสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆในการเคลือบเส้นใยอะคริลิกเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเคลือบ โดยมีเงื่อนไขว่าจะต้องทำการเคลือบจนกระทั่งเส้นใยอะคริลิกเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีดำ เนื่องจากเส้นใยอะคริลิกสีดำมีประสิทธิภาพในการจับเรเดียมสูงกว่าสีน้ำตาลซึ่งเป็นผลจากการทดลองในข้อ 4.1.1 ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีปัจจัยของเวลาในการเคลือบเส้นใยเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังผลการทดลองที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก

อุณหภูมิของสารละลาย (องศาเซลเซียส)	เวลาที่ใช้ในการเคลือบ เส้นใยอะคริลิก (นาท)	สีของเส้นใยอะคริลิก (สังเกตด้วยตาเปล่า)
30	~14วัน	น้ำตาล
50	90	ดำ
70	20	ดำ
90	10	ดำ

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- KMnO_4 0.5 mole/L , อุณหภูมิ 70-80 °C

- ปริมาณเส้นใยเริ่มต้น 50 g (dry)

จากการทดลองพบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิในการเคลือบตัวอย่างประมาณ 30 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการเคลือบตัวอย่างอย่างน้อย 14 วันและเส้นใยอะคริลิกยังคงมีสีน้ำตาลซึ่งจากผลการทดลองในข้อ 4.1.1 ทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพในการจับเรเดียมของ Mn-fiber ที่เป็นสีน้ำตาลมีค่าต่ำกว่าสีดำ ดังนั้น สำหรับที่อุณหภูมินี้จึงไม่สามารถใช้ได้เนื่องจากใช้เวลาในการเคลือบนานมาก และเส้นใยอะคริลิกยังไม่ถูกเคลือบจนเป็นสีดำ เมื่อพิจารณาอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่า เส้นใยอะคริลิกเปลี่ยนเป็นสีดำเมื่อใช้เวลาในการเคลือบประมาณ 90 นาทีและพบว่าเส้นใยมีการขาดออกจากกัน ส่วนการใช้อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก จนเปลี่ยนเป็นสีดำนั้นจะใช้เวลาในการเคลือบประมาณ 20 นาทีและ 10 นาทีตามลำดับซึ่งมีระยะเวลาสั้นกว่าที่ใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมากและเส้นใยไม่มีการขาดออกจากกัน แต่พบว่า สำหรับอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นเร็วมากและเกิดฟองไอ ทำให้ควบคุมได้ยาก จึงอาจเป็นอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากจะต้องทำการกวนสารละลายตลอดเวลาการเคลือบเส้นใย ดังนั้น อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเส้นใยอะคริลิกควรอยู่ระหว่างอุณหภูมิประมาณ 70 – 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากประหยัดเวลา และปลอดภัยในการทำงาน

4.1.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

สำหรับการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เหมาะสม จากผลการทดลองในข้อ 4.1.1 ทำให้ทราบว่าจำเป็นต้องทำการเคลือบเส้นใยอะคริลิกจนกระทั่งเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีดำจึงจะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการจับเรเดียมสูง ดังนั้นในการทดลองนี้ได้ทำการเคลือบเส้นใยอะคริลิกด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นต่างๆจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีดำซึ่งการศึกษานี้มีปัจจัยของเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยดังผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1

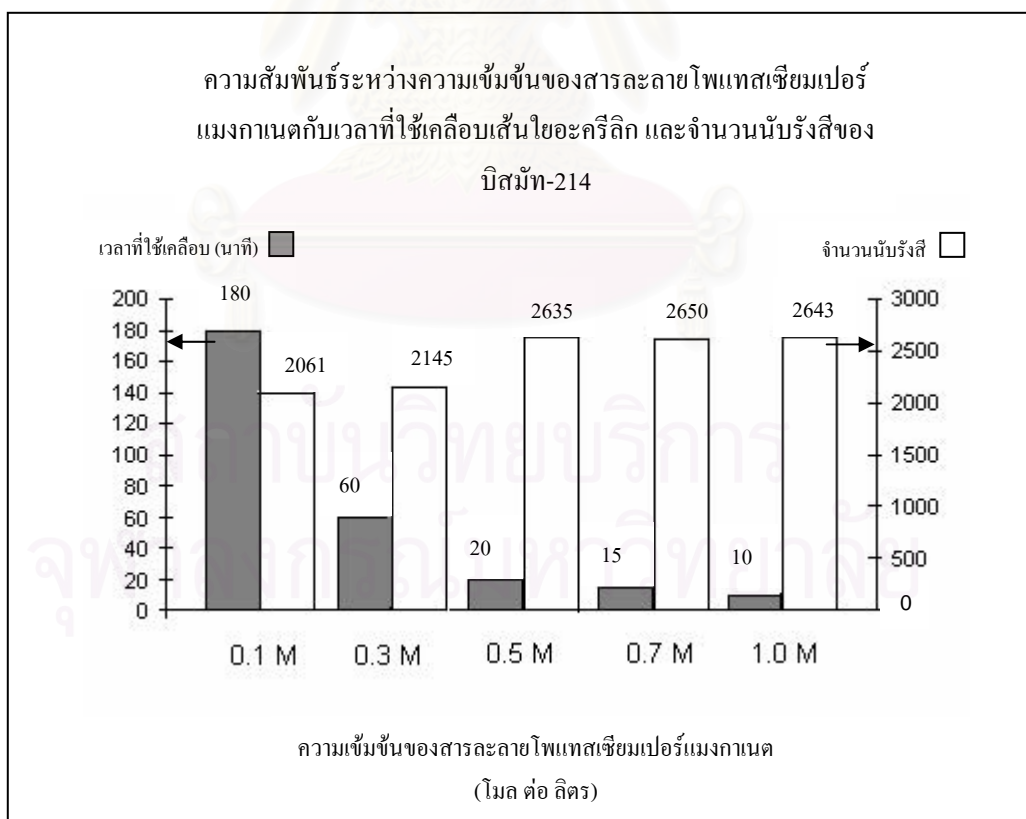
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 เงื่อนไขความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก

ความเข้มข้น (โมล ต่อ ลิตร)	เวลาในการเคลือบ ตัวอย่าง (นาทึ)	สีของเส้นใย ภายหลังการเคลือบ	จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV
0.1	180	น้ำตาล	2061± 26
0.3	60	น้ำตาล	2145 ± 27
0.5	20	ดำ	2635 ± 30
0.7	15	ดำ	2650 ± 30
1.0	10	ดำ	2643 ± 30

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- KMnO_4 อุณหภูมิ 70-80 °C
- ปริมาณเส้นใยเริ่มต้น 100 g (dry), Mn-fiber 60 g (wet)
- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 444 dpm / L, อัตราการไหล 1 L / min, pH 6-7, ปริมาตรน้ำ 1 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 12 ชั่วโมง



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตกับเวลาที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิกและกับจำนวนนับรังสีของบิสมัท-214

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อพิจารณาจำนวนนับรังสีของเส้นใยที่ทำการเคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.3 โมลต่อลิตร จะมีจำนวนนับรังสีต่ำกว่าจำนวนนับรังสีของเส้นใยที่เคลือบด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นสูงกว่า 0.3 โมลต่อลิตรมาก นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตต่ำกว่า 0.3 โมลต่อลิตรต้องทำการเคลือบเส้นใยอะคริลิกเป็นเวลานานกว่าความเข้มข้นอื่นมาก สาเหตุนี้เนื่องมาจาก ปริมาณเส้นใยอะคริลิกที่ใช้มากเกินไป หรือความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้มีค่าต่ำเกินไป แต่สำหรับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่สูงกว่า 0.3 โมลต่อลิตร พบว่า เวลาที่ใช้ในการเคลือบเส้นใยอะคริลิกมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตมีค่าสูงขึ้น แต่สัดส่วนการลดลงของเวลาน้อยกว่าสัดส่วนการลดลงของเวลาที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตต่ำกว่า 0.3 โมลต่อลิตรมาก นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าใช้ความเข้มข้นสูงขึ้นปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเร็วมาก สำหรับในทางปฏิบัติแล้วจะยากต่อการควบคุม และอาจเป็นอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการทดลองที่ 4.1.2 จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตควรมีค่าสูงกว่า 0.3 โมลต่อลิตร ดังนั้น ผู้ทำการวิจัยจึงเลือกใช้ เงื่อนไข ที่ความเข้มข้นของสารละลาย มีค่า 0.5 โมล ต่อ ลิตร ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำหรับการใช้ปริมาณเส้นใยอะคริลิก 100 กรัม ต่อ สารละลายปริมาตร 1 ลิตร เนื่องจากจำนวนนับรังสีของความเข้มข้น 0.5, 0.7 และ 1 M ให้ค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 ความเข้มข้นและเป็นการประหยัดสารเคมีที่ใช้

แต่ถ้าต้องการเคลือบเส้นใยอะคริลิกในปริมาณน้อยก็สามารถเลือกใช้ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 0.5 โมลต่อลิตรก็ได้ เช่นที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ควรใช้เส้นใยอะคริลิกน้อยกว่า 30 กรัม และ สำหรับความเข้มข้น 0.3 โมลต่อลิตร ควรใช้เส้นใยอะคริลิกน้อยกว่า 50 กรัม

4.2 การศึกษาปริมาณ Mn-fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการศึกษาปริมาณ Mn-fiber ที่เหมาะสมสำหรับใช้เก็บตัวอย่างน้ำแต่ละครั้งโดยใช้สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 แทนน้ำตัวอย่าง และตารางที่ 4.5 เป็นผลจากการทดลองที่ใช้ตัวอย่างน้ำแร่จากจังหวัดราชบุรี

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณเส้นใยอะคริลิกที่ใช้เก็บตัวอย่างสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226

ปริมาณ Mn-fiber เริ่มต้น (กรัมแห้ง)	ปริมาณ Mn-fiber สุดท้าย (กรัมเปียก)	อัตราการไหล ของตัวอย่างน้ำ ¹ (L / min)	จำนวนนับรังสี บิสมัท-214 ²
30	~3	2	2606 ± 36
60	~6	1.5	2642 ± 36
100	~10	1	2614 ± 36

หมายเหตุ 1 คือ อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำผ่าน Mn-fiber เมื่อเปิดวาล์วเต็มที่

2 คือ จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 444 dpm / L, อัตราการไหล 1 L / min, pH 6-7, ปริมาตรน้ำ 1 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 12 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณเส้นใยอะคริลิกที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำเร่งจังหวัดราชบุรี

ปริมาณ Mn-fiber เริ่มต้น (กรัม)	ปริมาณ Mn-fiber สุดท้าย (กรัม)	อัตราการไหล ของตัวอย่างน้ำ ¹ (L / min)	จำนวนนับรังสี บิสมัท-214 ²
30	~3	2	389 ± 20
60	~6	1.5	374 ± 19
100	~10	1	403 ± 20

หมายเหตุ 1 คือ อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำผ่าน Mn-fiber เมื่อเปิดวาล์วเต็มที่

2 คือ จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 444 dpm / L, อัตราการไหล 1 L / min, pH 6-7, ปริมาตรน้ำ 1 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 24 ชั่วโมง

จากผลการทดลองใช้ปริมาณ Mn-fiber ที่แตกต่างกันเก็บตัวอย่างน้ำในปริมาตรที่เท่ากัน พบว่าจำนวนนับรังสีมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่า Mn-fiber ทั้ง 3 ปริมาณสามารถดูดซับเรเดียมซึ่งมีความเข้มข้นรังสี 444 dpm / L ได้หมด แต่พบว่าหลังจากทำการเผาตัวอย่างซึ่งเป็นการไล่ความชื้นออกจากตัวอย่างเนื่องจากน้ำสามารถคดทอนรังสีแกมมาได้ และเพื่อลดปริมาณให้สะดวกต่อการผึ่ง และสะดวกต่อการนำไปวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณของ Mn-fiber ที่เหลืออยู่จะลดลงไปจากเดิมประมาณ 90% ดังนั้น ถ้าเลือกใช้ปริมาณของ Mn-fiber 30 กรัมจะเหลือปริมาณเก็บตัวอย่างน้อย

เกินไปไม่เหมาะที่จะนำไปวิเคราะห์ และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณ Mn-fiber 100 กรัม พบว่า อาจสิ้นเปลืองปริมาณ Mn-fiber มากเกินไป ดังนั้นปริมาณ Mn-fiber 60 กรัม จึงเหมาะสมที่จะเลือกใช้ได้เนื่องจากเป็นปริมาณที่ไม่มากหรือน้อยจนเกินไปเนื่องจากปริมาณหลังจากการเผาเหลืออยู่ในปริมาณที่เหมาะสมสำหรับนำไปวิเคราะห์ ดังนั้น สำหรับในงานวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้ปริมาณ Mn-fiber เริ่มต้นเท่ากับ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำ

4.3 การศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิกที่ใช้

ผลการศึกษขนาดของเส้นใยอะคริลิกว่าขนาดของเส้นใยอะคริลิกมีผลต่อการจับเรเดียมหรือไม่ โดยเคลือบเส้นใยอะคริลิกแต่ละขนาดด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมและหาประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมของเส้นใยอะคริลิกแต่ละขนาดซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยประสิทธิภาพการดูดซับหาได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ} = \frac{\text{ความแรงรังสีของ Mn-fiber หลังการดูดซับ}}{\text{ความแรงรังสีของสารละลายมาตรฐาน}} \times 100 \%$$

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการจับเรเดียม-226 ของ Mn-fiber ชนิดต่างๆ

ชนิดของเส้นใยอะคริลิก	ความแรงรังสีในสารละลาย dpm , (Bq)	ความแรงรังสีใน Mn-fiber dpm,(Bq)	ประสิทธิภาพ ของการดูดซับเรเดียม-226
Denier 1.2	1000(16.67)	957 ± 12.81 (15.95)	95.7%
Denier 1.5	1000(16.67)	954 ± 12.69 (15.90)	95.4%
Denier 2	1000(16.67)	950 ± 12.69 (15.83)	95%
Denier 3	1000(16.67)	933 ± 12.57 (15.55)	93.3%

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- Mn-fiber 60 g (wet)
- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 444 dpm / L, อัตราการไหล 1 L / min, pH 6-7, ปริมาตรน้ำ 1 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 12 ชั่วโมง

จากผลการทดลองจับเรเดียมของ Mn-fiber ขนาดต่างๆ พบว่า ประสิทธิภาพในการจับเรเดียมของ Mn-fiber แต่ละขนาดมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าโดยเฉลี่ยแล้วมีค่ามากกว่า 90% ดังนั้นในการเตรียม Mn-fiber แต่ละครั้งควรมีการเช็คประสิทธิภาพในการจับเรเดียมของ Mn-fiber ทุกครั้งเพื่อจะได้ใช้เป็นค่าปรับแก้ในการคำนวณหาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำที่แท้จริง

และจากการศึกษาประสิทธิภาพของการจับเรเดียมเมื่อนำตัวอย่างน้ำบาดาล จ.นครปฐม ปริมาตร 100 ลิตร ไหลผ่าน Mn-fiber ที่บรรจุในท่อพลาสติกเก็บตัวอย่างน้ำ 2 ท่อต่อกัน ด้วยอัตราการไหล 1 ลิตร ต่อ นาที ซึ่งผลการทดลองพบว่า จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ของ Mn-fiber ในท่อแรก มีค่าเท่ากับ 6668 ± 82 และ สำหรับ Mn-fiber ในท่อที่สอง มีค่าประมาณ 242 ± 16 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแบลงค์ Mn-fiber ซึ่งมีค่าประมาณ 230 ± 15 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสำหรับขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง การนำน้ำไหลผ่าน Mn-fiber เพียงครั้งเดียว สามารถดูดซับเรเดียมที่มีอยู่ในตัวอย่าง ได้ทั้งหมด

4.4 การศึกษาอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ

ผลการศึกษาอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำต่อประสิทธิภาพการจับเรเดียม โดยดูจากจำนวนนับรังสีของ Mn-fiber ที่มีอัตราการไหลของน้ำแตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่

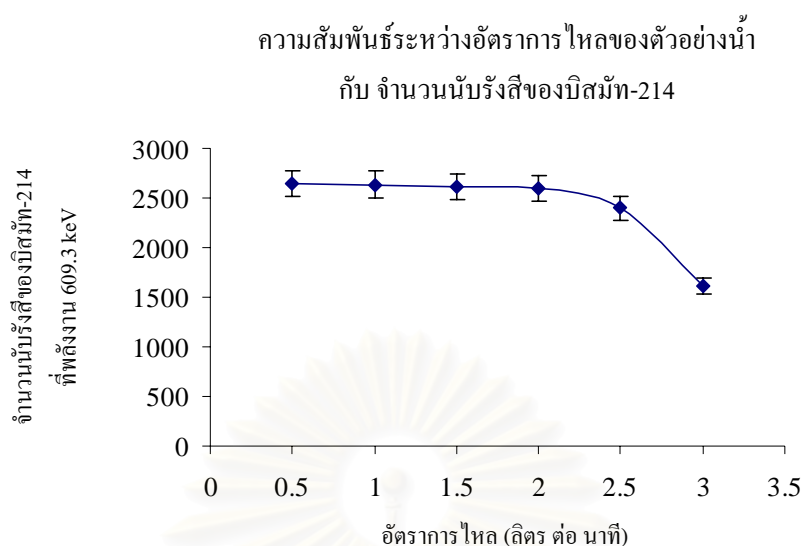
4.7

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของเรเดียม-226 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ (ลิตร/นาที)	เวลาที่ใช้ (นาที)	จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV
0.5	40	2648 ± 30
1	20	2635 ± 30
1.5	13	2612 ± 30
2	10	2598 ± 29
2.5	8	2396 ± 28
3	7	1619 ± 23

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- Mn-fiber 60 g (wet)
- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 444 dpm / 20 L, pH 6-7, ปริมาตรน้ำ 20 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 12 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

จากผลการทดลองพบว่า Mn-fiber สามารถดูดซับเรเดียมได้ดีเมื่ออัตราการไหลของตัวอย่างน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.5 – 2 ลิตร ต่อ นาที เนื่องจากได้จำนวนนับรังสีใกล้เคียงกัน แต่สำหรับอัตราการไหล 0.5 ลิตร ต่อ นาที พบว่า ใช้เวลานานมาก ซึ่งในการเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละครั้งจะต้องใช้น้ำในปริมาณที่มาก ถ้าใช้อัตราการไหลต่ำขนาดนี้จะทำให้เสียเวลามาก เมื่อพิจารณาที่อัตราการไหลระหว่าง 1 - 2 ลิตร ต่อ นาที พบว่าเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้อยกว่าที่อัตราการไหล 0.5 ลิตรต่อนาทีมาก และให้ค่าจำนวนนับที่ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าใช้อัตราการไหลสูงกว่านี้ (2.5-3 ลิตรต่อนาที) พบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมมีค่าต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น อัตราการไหลที่เหมาะสมที่ควรใช้ก็คือ 1-2 ลิตร ต่อ นาที เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น คือ ให้ จำนวนนับรังสีที่สูงและไม่สิ้นเปลืองเวลาในการเตรียมตัวอย่าง

ผลการทดลองในทำนองเดียวกันโดยใช้สารมาตรฐานแบเรียม-133 ซึ่งอยู่ในกลุ่มธาตุเดียวกับเรเดียมไหลผ่าน Mn-fiber ในอัตราการไหลที่แตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 4.8

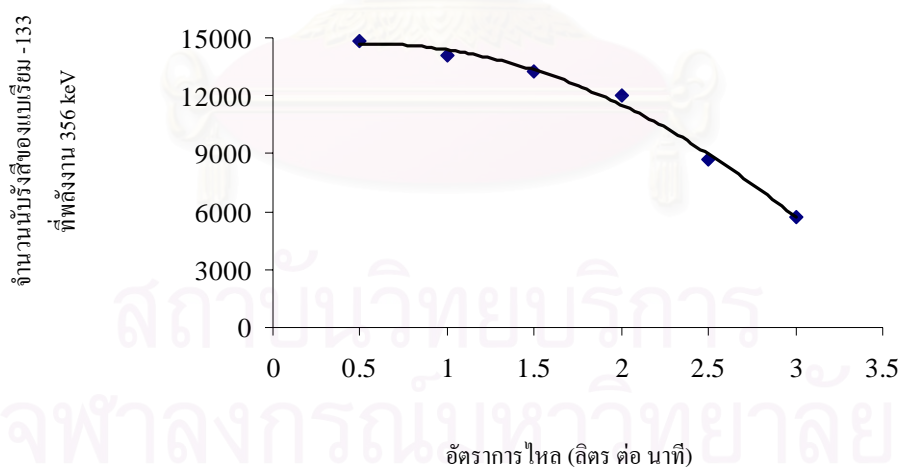
ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของแบเรียม-133 ที่พลังงาน 365 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ (ลิตร / นาที)	เวลาที่ใช้ (นาที)	จำนวนนับรังสีของแบเรียม-133 ที่พลังงาน 356 keV
0.5	40	14829 ± 122
1	20	14100 ± 119
1.5	14	13239 ± 115
2	10	12000 ± 110
2.5	8	8688 ± 93
3	7	5730 ± 76

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- Mn-fiber 60 g (wet)
- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 1209 dpm / 20 L, pH 6-7, ปริมาตรน้ำ 20 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 5 ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ
กับจำนวนนับรังสีของแบเรียม-133



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของแบเรียม-133 ที่พลังงาน 365 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

จากผลการทดลองโดยใช้สารละลายมาตรฐานแบเรียม-133 ไหลผ่าน Mn-fiber ใน อัตราการไหลที่แตกต่างกัน พบว่า ผลการทดลองเป็นในทำนองเดียวกันกับการใช้สารละลาย มาตรฐานเรเดียม-226 คือ จำนวนนับรังสีของอัตราการไหลระหว่าง 1-2 ลิตร ต่อ นาทีมีค่าใกล้เคียง กัน ดังนั้นจึงถือได้ว่าอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำผ่าน Mn-fiber ควรจะอยู่ในช่วง 1 ลิตร ต่อ นาที จึงจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการจับเรเดียมบน Mn-fiber

4.5 การศึกษาผลของความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ

ผลการศึกษาความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำต่อการจับเรเดียมของ Mn-fiber โดยใช้ ตัวอย่างน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกัน ไหลผ่าน Mn-fiber ให้ผลการทดลองดังแสดงใน ตารางที่ 4.9

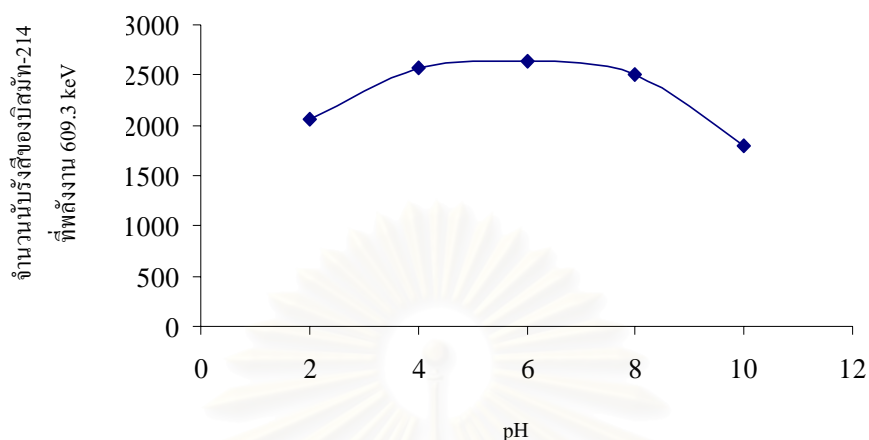
ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

ความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ	จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV
2	2064 ± 26
4	2578 ± 29
6	2635 ± 29
8	2504 ± 28
10	1798 ± 24

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- Mn-fiber 60 g (wet)
- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 444 dpm / L, อัตราการไหล 1 L / min, ปริมาตรน้ำ 1 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 12 ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างของ
ตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของบิสมัท-214



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสี ของ บิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

จากผลการทดลองพบว่า การจับเรเดียมของ Mn-fiber มีใกล้เคียงกันเมื่อสารละลาย มีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 4-8 ดังนั้น จึงพอสรุปได้ว่าค่าความเป็นกรดของสารละลายที่ เหมาะสมที่ Mn-fiber สามารถจับเรเดียมได้ดีคือ ที่สภาวะกรดอ่อนๆไปจนถึงเบสอ่อนๆนั่นเอง ทั้งนี้เนื่องจากที่สภาวะกรด ชั้นของแมงกานีสจะมีความเป็นประจุบวกมากขึ้น ทำให้เรเดียมซึ่งมี ประจุเป็น +2 ไม่สามารถถูกดูดซับบนผิวหน้าได้ และเมื่อค่าความเป็นด่าง สูงขึ้น หมู่ฟังก์ชัน ไฮดรอกไซด์ จะเกิดบนผิวทำให้สัดส่วนของเรเดียมที่ถูกดูดซับบนผิวหน้าเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าความ เป็นด่างมากกว่า 8 จะพบว่าหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกไซด์เข้ามาจับแทนจึงทำให้เรเดียมถูกดูดซับน้อยลง มีการศึกษาพบว่าธาตุหมู่เดียวกับเรเดียมซึ่งมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันกับเรเดียม สามารถถูกดูดซับ ได้ดีบน Mn-fiber เช่นเดียวกับเรเดียม จึงได้มีการทดลองโดยใช้สารมาตรฐานแบเรียมซึ่งมีค่าความ เป็นกรดต่างแตกต่างกันไหลผ่าน Mn-fiber และได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

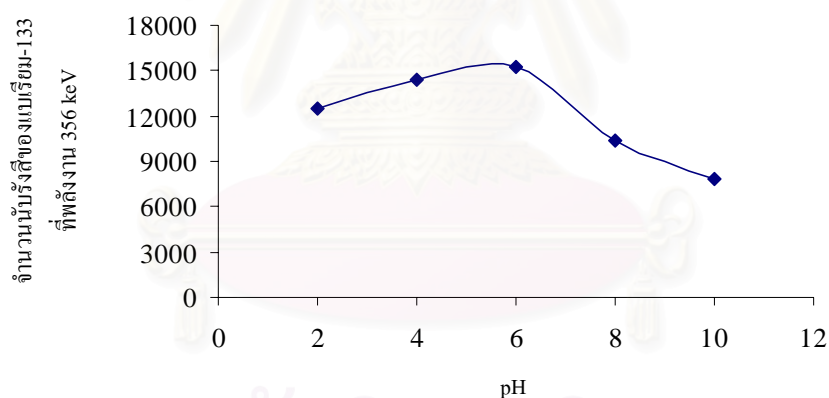
ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของ
แบเรียม-133 ที่พลังงาน 356 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

ความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ	จำนวนนับรังสีของแบเรียม-133 ที่พลังงาน 356 keV
2	12535 ± 112
4	14421 ± 120
6	15238 ± 123
8	10404 ± 102
10	7824 ± 88

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- Mn-fiber 60 g (wet)
- ตัวอย่างน้ำเป็นสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 : 1209 dpm / L, อัตราการไหล 1 L / min, ปริมาตรน้ำ 1 L / ตัวอย่าง
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 6 ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างของ
ตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของแบเรียม-133



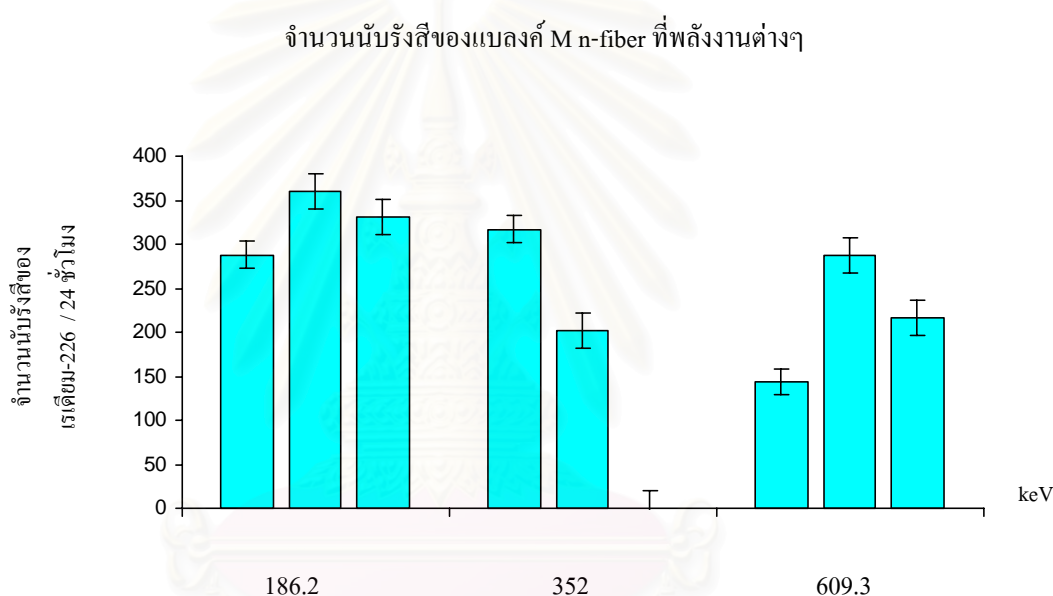
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ กับ จำนวนนับรังสีของ
แบเรียม-133 ที่พลังงาน 356 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้สารมาตรฐานแบเรียม-133 ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่างแตกต่างกันไหลผ่าน Mn-fiber ให้ผลสอดคล้องกับการใช้สารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 คือช่วงความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมสำหรับการจับเรเดียมของ Mn-fiber อยู่ในช่วง 4-8

ดังนั้น เมื่อทำการทดลองหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยก่อนที่ใช้เทคนิคนี้ จึงต้องมีการวัดค่าความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำก่อนที่จะทำการไหลผ่าน Mn-fiber ถ้าน้ำในแหล่งน้ำนั้นมีความเป็นกรด หรือเป็นด่างมากเกินไป ควรปรับให้มีสภาพเป็นกลางจะดีที่สุด แต่ถ้าแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะมีความเป็นกรดอยู่ในช่วง 6-8 อยู่แล้วไม่จำเป็นต้องมีการปรับสภาพ

4.6 การศึกษาแบลด์ก Mn-fiber

เนื่องจากโดยปกติปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็น น้ำจากแม่น้ำ หรือน้ำทะเล จะมีค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงค่าจำนวนนับรังสีใน Mn-fiber ที่ยังไม่ได้ผ่านตัวอย่างน้ำว่ามีค่ามากหรือน้อยเพียงใด ถ้ามีค่ามากจะมีผลต่อ ค่าจำนวนนับรังสีของเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำที่ทำการวิเคราะห์ ทำให้ได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาที่พลังงานต่างๆคือ 186.2 , 352 , 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 จำนวนนับรังสีของแบลด์ก Mn-fiber ที่พลังงานต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าจำนวนนับรังสีของเรเดียม-226 ใน Mn-fiber มีค่าต่ำมาก จึงไม่กวนกับค่าจำนวนนับรังสีจากตัวอย่างน้ำอื่นๆ ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้เทคนิคนี้ในการหาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำ และได้มีการคำนวณค่าต่ำสุดในการวัด(MDA) พบว่า มีค่าประมาณ 0.001 เบคเคอเรลต่อ ลิตร ซึ่งพบว่ามีค่าต่ำมาก ดังนั้นเทคนิคนี้จึงเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำ

4.7 ทดลองใช้กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำจากแหล่งอื่นๆ

เมื่อได้ทำการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก และได้ทำการศึกษาผลของอัตราการไหลและค่าความเป็นกรดที่เหมาะสมแล้ว จึงได้นำเทคนิคที่ได้นี้ทดลองหาปริมาณเรเดียมจากตัวอย่างน้ำในแหล่งต่างๆ ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ในตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่างๆ

ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณเรเดียม-226 (Bq / l)	ปริมาณเรเดียม-228 (Bq / l)
Produced water จาก แหล่งผลิตน้ำมัน UT1-3 จ.สุพรรณบุรี	0.34 ± 0.03	0.14 ± 0.01
Produced water จาก แหล่งผลิตน้ำมัน UT1-7 จ.สุพรรณบุรี	0.31 ± 0.03	0.2 ± 0.02
น้ำบาดาล จ. สมุทรสงคราม	0.11 ± 0.005	0.06 ± 0.01
น้ำบาดาล จ. นครปฐม	0.14 ± 0.01	0.08 ± 0.02
น้ำแร่ จ. ราชบุรี	0.03 ± 0.01	0.01 ± 0.01

หมายเหตุ ค่าคงที่ของตัวแปรที่ใช้:

- Mn-fiber 60 g (wet)
- เวลาในการวิเคราะห์รังสีแกมมา 24 ชั่วโมง

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 จากตัวอย่างน้ำทั้งหมด 5 ตัวอย่างพบว่า มีปริมาณเรเดียม-226 ซึ่งเป็นนิวไคลด์รังสีในอนุกรมยูเรเนียม มากกว่าเรเดียม-228 ซึ่งเป็นนิวไคลด์รังสีในอนุกรมทอเรียม-232 จึงสรุปได้ว่านิวไคลด์รังสีส่วนใหญ่อยู่ในอนุกรมยูเรเนียม-238 มากกว่าอนุกรมทอเรียม-232

4.8 ยืนยันผลการทดลอง

4.8.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียมบน Mn-fiber ขนาดต่างๆ

ผลการทดลองหาประสิทธิภาพในการจับเรเดียมของ Mn-fiber ที่มีขนาดต่างๆ ซึ่งทำการทดลองหาโดย Florida State University โดยใช้ Mn-fiber ที่ผู้วิจัยเตรียมขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม ที่ทำได้ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.12 ประสิทธิภาพในการจับเรเดียม-226 ของ Mn-fiber ชนิดต่างๆ

ชนิดของเส้นใยอะคริลิก	ความแรงรังสีในสารละลาย dpm , (Bq)	ความแรงรังสีใน Mn-fiber dpm,(Bq)	ประสิทธิภาพ ของการดูดซับเรเดียม-226
Denier 1.2	1140.1(19)	1124.0(18.70)	98.6%
Denier 1.5	1140.1(19)	1114.9(18.60)	97.8%
Denier 2	1140.1(19)	1107.3(18.50)	97.1%
Denier 3	1140.1(19)	863.8(14.40)	76.8%

ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพในการจับเรเดียม-228 ของ Mn-fiber ชนิดต่างๆ

ชนิดของเส้นใยอะคริลิก	ความแรงรังสีในสารละลาย dpm , (Bq)	ความแรงรังสีใน Mn-fiber dpm,(Bq)	ประสิทธิภาพ ของการดูดซับเรเดียม-228
Denier 1.2	934.3(15.57)	921.1(15.4)	98.6%
Denier 1.5	934.3(15.57)	913.7(15.2)	97.8%
Denier 2	934.3(15.57)	907.4(15.1)	97.1%
Denier 3	934.3(15.57)	707.9(11.8)	76.8%

จากผลการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพของการจับเรเดียม-226 ใน Mn-fiber ที่ทำการทดลองจาก Florida State University ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองในข้อ 4.3 แต่ต่างกันที่เส้นใยเบอร์ 3 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเส้นใยขนาดอื่นมาก Professor Dr. Burnett ให้เหตุผลว่าอาจ คัมเคลือบเส้นใยนานเกินไปทำให้เส้นใยขาดจากกันเป็นฝอย ทำให้มีการสูญเสียไปในระหว่างการทดลองซึ่งอาจมีผลต่อการดูดซับเรเดียม

ดังนั้นจากผลการทดลองในข้อ 4.3 และผลการทดลองนี้ จึงสามารถสรุปได้ว่า ขนาดของเส้นใยไม่มีผลต่อการจับเรเดียม สามารถเลือกใช้เส้นใยอะคริลิกขนาดใดก็ได้ในการเคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ เพื่อดูดซับเรเดียม แต่ควรทำการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียมของ Mn-fiber แต่ละครั้งที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าให้ถูกต้อง

4.8.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ในตัวอย่างน้ำ

ผู้วิจัยได้นำ Mn-fiber ที่เตรียมขึ้น ทดสอบเทียบกับ Mn-fiber ที่เตรียมขึ้นและวิเคราะห์ จาก Florida State University โดยใช้น้ำตัวอย่างจากแห่งเดียวกัน ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 จากการใช้ Mn-fiber คนละชนิด และระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาที่แตกต่างกัน

Mn-fiber	น้ำบาดาล		น้ำจากโรงงาน	
	เรเดียม-226 (dpm / L)	เรเดียม-228 (dpm / L)	เรเดียม-226 (dpm / L)	เรเดียม-228 (dpm / L)
Florida	1.05	1.78	13.24	9.19
Thailand	1.98 ± 0.16	1.53 ± 0.12	14.93 ± 0.24	9.17 ± 0.21

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.14 พบว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันได้ว่าเทคนิคที่พัฒนาขึ้นให้ค่าที่ถูกต้องสูง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเทคนิคการหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำ เนื่องจากเทคนิคการหาปริมาณเรเดียมในน้ำทั่วไปค่อนข้างมีความยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่างทางเคมี ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคการหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยการดูดซับบนแมงกานีสไดออกไซด์เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก และนำไปวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ สำหรับเทคนิคนี้ไม่ต้องอาศัยเทคนิคทางเคมีที่ยุ่งยาก และวัตถุดิบที่ใช้มีผลิตในประเทศ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบเส้นใยอะคริลิก ปริมาณเส้นใยอะคริลิกที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ ขนาดของเส้นใยอะคริลิก ผลของอัตราการไหลและค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำต่อการจับเรเดียมของเส้นใยอะคริลิก และทดลองใช้เทคนิคที่พัฒนาขึ้นหาปริมาณเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 ในตัวอย่างน้ำบางแหล่งในประเทศ ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก

จากการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิกพบว่าจะต้องทำการเคลือบเส้นใยอะคริลิกจนกระทั่งสีของเส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีดำ เนื่องจากเส้นใยอะคริลิกสีดำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมสูงสุด สำหรับอุณหภูมิของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานेटควรตั้งไว้อยู่ที่ประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เนื่องจากประหยัดเวลาในการเคลือบตัวอย่างและปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นอย่างช้าๆ สามารถควบคุมได้ง่ายจึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน สำหรับความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานेटที่เหมาะสมคือ 0.5 โมลต่อลิตร และใช้ปริมาณเส้นใยอะคริลิกในการเคลือบประมาณ 100 กรัม ต่อสารละลาย 1 ลิตร เนื่องจากให้จำนวนนับรังสีสูง ซึ่งเงื่อนไขที่เหมาะสมสามารถสรุปแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

สำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้นี้ สามารถใช้ได้กับการเคลือบเส้นใยอะคริลิกในปริมาณที่ไม่เกิน 1 กิโลกรัม เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานेटอาจจะน้อยเกินไป ถ้าจะทำการเคลือบเส้นใยอะคริลิกในปริมาณที่มากกว่านี้ ควรใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานेटที่สูงกว่านี้ และควรทำการกวนอยู่เสมอเพื่อให้เส้นใยอะคริลิกสัมผัสทั่วสารละลาย และในการเตรียม Mn-fiber แต่ละครั้งควรเตรียมปริมาณเส้นใยอะคริลิกไม่มากไม่น้อยเกินไป เนื่องจากในการเตรียม Mn-fiber แต่ละครั้งต้องทำการเช็คประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมของ Mn-fiber ถ้าเตรียม Mn-fiber ในปริมาณน้อย จะต้องทำการ

หาประสิทธิภาพบ่อยครั้ง ทำให้เสียเวลา ถ้าเตรียมในปริมาณมากเกินไป ขณะในการเคลือบเส้นใยอะคริลิกถ้าทำการคนไม่ทั่วสารละลายเส้นใยบางส่วนจะถูกเคลือบไม่สมบูรณ์ ดังนั้น จึงควรเลือกใช้ภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองให้เหมาะสมกับปริมาณเส้นใยอะคริลิกที่ใช้ในการเคลือบเพื่อความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานและทำให้ได้เส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบอย่างสมบูรณ์

5.2 สรุปปริมาณ Mn-fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ

จากผลการศึกษาในเรื่องปริมาณ Mn-fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำทำให้ทราบว่าปริมาณ Mn-fiber ที่เหมาะสมคือ 60 กรัม(น้ำหนักเปียก) เนื่องจากปริมาณที่ใช้ไม่มากหรือน้อยเกินไป หลังจากการเผาเหลืออยู่ในปริมาณที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

5.3 สรุปผลการศึกษานาขนาดของเส้นใยอะคริลิกที่ใช้

จากการศึกษาการใช้ขนาดของเส้นใยอะคริลิกหลายๆขนาดโดยเคลือบด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมพบว่า ประสิทธิภาพในการจับเรเดียมบน Mn-fiber แต่ละขนาดมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าประสิทธิภาพในการจับประมาณมากกว่า 90% ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียมบน Mn-fiber โดย Florida State University ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ขนาดของเส้นใยอะคริลิกไม่มีผลต่อการดูดซับเรเดียม และเส้นใยอะคริลิกทั้งในและต่างประเทศให้คุณสมบัติในการดูดซับเรเดียมที่คล้ายคลึงกัน

5.4 สรุปการศึกษ้อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ

จากการศึกษาอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำกับประสิทธิภาพในการจับเรเดียมพบว่า อัตราการไหลที่เหมาะสมของตัวอย่างน้ำผ่าน Mn-fiber มีค่าอยู่ในช่วง 1-2 ลิตร ต่อ นาที เนื่องจากใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างไม่มากและให้อัตราการนับวัดที่ใกล้เคียงกัน

5.5 สรุปการศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำ

จากการศึกษาผลของความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างน้ำพบว่า Mn-fiber จะดูดซับเรเดียมได้ดีที่สุดเมื่อตัวอย่างน้ำมาสภาพเป็นกรดอ่อนๆจนถึงเบสอ่อนๆคืออยู่ในช่วง pH 4-8 ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Jost Eikenberg , Aude Tricca , Guido Vezzu , Sixto Bajo , Max Ruethi , Heinz Surbeck [6] และผลการทดลองของ D.S. Moon , W.C. Burnett , S. Nour , P Horwitz , A. Bond [8]

5.6 สรุปผลการทดลองใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นหาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำ

ได้ทดลองใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นหาปริมาณเรเดียม-226 และ เรเดียม-228 จากตัวอย่างน้ำ 3 ประเภทได้แก่ น้ำแร่, น้ำบาดาล และ น้ำจากกระบวนการผลิตน้ำมัน พบว่ามีปริมาณนิวไคลด์รังสีในอนุกรมยูเรเนียม-228 มากกว่านิวไคลด์รังสีในอนุกรมทอเรียม-232

และเมื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 จากแหล่งน้ำเดียวกันแต่ใช้ Mn-fiber คนละชนิดกัน โดย Mn-fiber ที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบผลการทดลองเป็นของ Florida State University ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า Mn-fiber ทั้ง 2 แหล่งให้ผลในการวิเคราะห์ทั้งปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 ใกล้เคียงกัน

ดังนั้น จึงเป็นการยืนยันได้ว่าเทคนิคนี้สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำได้ เนื่องจากเมื่อเทียบกับเทคนิคเดียวกัน ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

เทคนิคการหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยใช้แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิกเป็นตัวดูดซับ โดยส่วนใหญ่จะใช้ในงานวิจัยด้านสมุทรศาสตร์ แต่สำหรับเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถหาปริมาณเรเดียมในน้ำประเภทอื่นๆ ซึ่งเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิกให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Professor Dr. Burnett Florida State University และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของเส้นใยอะคริลิกที่ผลิตในประเทศและต่างประเทศพบว่าไม่มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.15 ดังนั้น เทคนิคนี้จึงเหมาะสมสำหรับการหาปริมาณเรเดียมในตัวอย่างน้ำ เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมและการเก็บตัวอย่างไม่ยุ่งยาก และให้ผลในการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง

ตารางที่ 5.1 เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก และ การนำ Mn-fiber ไปใช้

ตัวแปรที่ศึกษา	เงื่อนไขที่เหมาะสม
เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก	
- สีของเส้นใยอะคริลิก (สังเกตด้วยตาเปล่า)	ดำ
- อุณหภูมิของสารละลาย $KMnO_4$ (องศาเซลเซียส)	70 – 80
- ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ (โมลต่อลิตร)	0.5
- ปริมาณเส้นใยอะคริลิก (กรัม)	100
- เวลาในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก (นาที)	20 - 30
เงื่อนไขที่เหมาะสมในการนำ Mn-fiber ไปใช้	
- ปริมาณ Mn-fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ (กรัม)	60
- อัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ (L / min)	1 – 2
- ค่าความเป็นกรด่างของตัวอย่างน้ำ	4 - 8

5.7 ข้อเสนอแนะ

เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคนิคการหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยการดูดซับบนแมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิก

- ทดลองใช้เทคนิคนี้ในการหาปริมาณธาตุอื่นๆที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับเรเดียมในตารางธาตุ และธาตุที่เป็นองค์ประกอบในน้ำว่าสามารถวิเคราะห์ได้หรือไม่
- ทดลองใช้แมงกานีสไดออกไซด์เคลือบบนตัวกลางอื่นแทนเส้นใยอะคริลิก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. International atomic Energy Agency (IAEA). An Overview of International Status and Trends in Radioactive Waste Mangement. Austria: IAEA WMDB ST 1 ,2001.
2. นันทชัย ทองแป้น. การหาปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตตรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.
3. National Bureau of Standards. Handbook no.69 . U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service. Washington DC. , 1959.
4. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ2. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,2546.
5. American Petroleum Institute. Management and Disposal Alternative for Naturally Occuring Radioactive Material (NORM) Waste in oil Production and Gas Plant Equipment, 1997.
6. Jost Eikenberg. Radium Isotope Systematics in Nature: Application in Geochronology and Hydrogeochemistry. Switzerland: Division for Radiation Safety Paul Scherrer Institute CH-5232 Villigen (PSI) , 2002.
7. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Analytical methods . [Online].Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp144-c6-pdf> [2005,January 15].
8. D.S. Moon, W.C. Burnett, S. Nour, P Horwitz, A. Bond. Preconcentration of Radium Isotopes from Natural Water Using MnO₂ Resin, J. Apply Radiation and Isotope 59 (October2003):255-262.
9. Henrieta Dulaiova, William C. Burnett. An Efficient Method for Gamma Spectrometric Determination of Radium-226,228 via Manganese Fibers. Available from: <http://aslo.org/lomethods/free/2004/0256.pdf>[2004,October 10]
10. วิวัฒน์ จันทราพรชัย. ฟิสิกส์รังสี. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ,2543.
11. John R.cooper, Keith Randle, Ranject S.Sokhi. Radioactive Releases in The Environment Impact and Assessment. UK. :John Wiley & Sons ,2003.

12. Environmental Measurements Laboratory. Quality Control and Detection Limits .
U.S.Department of Energy , 1990.
13. United States Environmental Protection Agency, Radionuclides in Drinking Water.
[Online].Available from <http://www.epa.gov/safewater/standard/pp/radnucpp.html>[2004,December 24].
14. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำบริโภค.กระทรวงอุตสาหกรรม,2545
15. J.Hofmann, R.Leicht, H.J.Wingender, J.Worner. Radiological Impact due to Wastes Containing Radionuclides from Use and Treatment. European Commission,2002.
16. ขนิษฐา กมลรัตน์, การพัฒนาวิธีทางเคมีวิเคราะห์ สำหรับเรเดียม-226 โดยวิธีตกตะกอน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาเคมีเทคโนโลยีบัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ก-1 ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นรังสี และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

น้ำบาดาลจากจังหวัดสมุทรปราการ

	พื้นที่ได้พิค	เวลาในการวิเคราะห์ตัวอย่าง(วินาที)
แบลจค์	230	86400
ตัวอย่าง	570	86400
สารมาตรฐาน	13940	86400

โดยกำหนดค่าคงที่ต่างๆดังนี้

- ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 15 ลิตร

- สัดส่วนของความเข้มข้นรังสีแกมมาที่พลังงาน 609.3 keV เท่ากับ 46%

- ความแรงรังสีของสารมาตรฐาน 1124 dpm.

$$\text{อัตรานับรังสีของตัวอย่าง} = \left(\frac{570}{86400} \times 60 \right) \pm \left(\frac{\sqrt{570}}{86400} \times 60 \right) = 0.40 \pm 0.017 \text{ cpm}$$

$$\text{อัตรานับรังสีของแบลจค์} = \left(\frac{230}{86400} \times 60 \right) \pm \left(\frac{\sqrt{230}}{86400} \times 60 \right) = 0.16 \pm 0.01 \text{ cpm}$$

$$\text{อัตรานับรังสีสุทธิ} = (0.40 - 0.16) \pm \sqrt{(0.017)^2 + (0.01)^2}$$

$$= 0.24 \pm 0.02 \text{ cpm}$$

$$\text{อัตรานับรังสีของสารมาตรฐาน} = \left(\frac{13940}{86400} \times 60 \right) \pm \left(\frac{\sqrt{13940}}{86400} \times 60 \right) = 9.68 \pm 0.082 \text{ cpm}$$

$$\text{ประสิทธิภาพในการวัด} = \left(\frac{9.68 - 0.16}{0.46 \times 1124} \right) \pm \left(\frac{\sqrt{0.082^2 + 0.01^2}}{0.46 \times 1124} \right) = 0.018 \pm 0.00016$$

ความเข้มข้นรังสีในตัวอย่างน้ำ

$$= \left(\frac{0.24}{15 \times 0.46 \times 0.018} \right) \pm \left(\frac{0.02}{15 \times 0.46 \times 0.018} \right) = 1.93 \pm 0.16$$

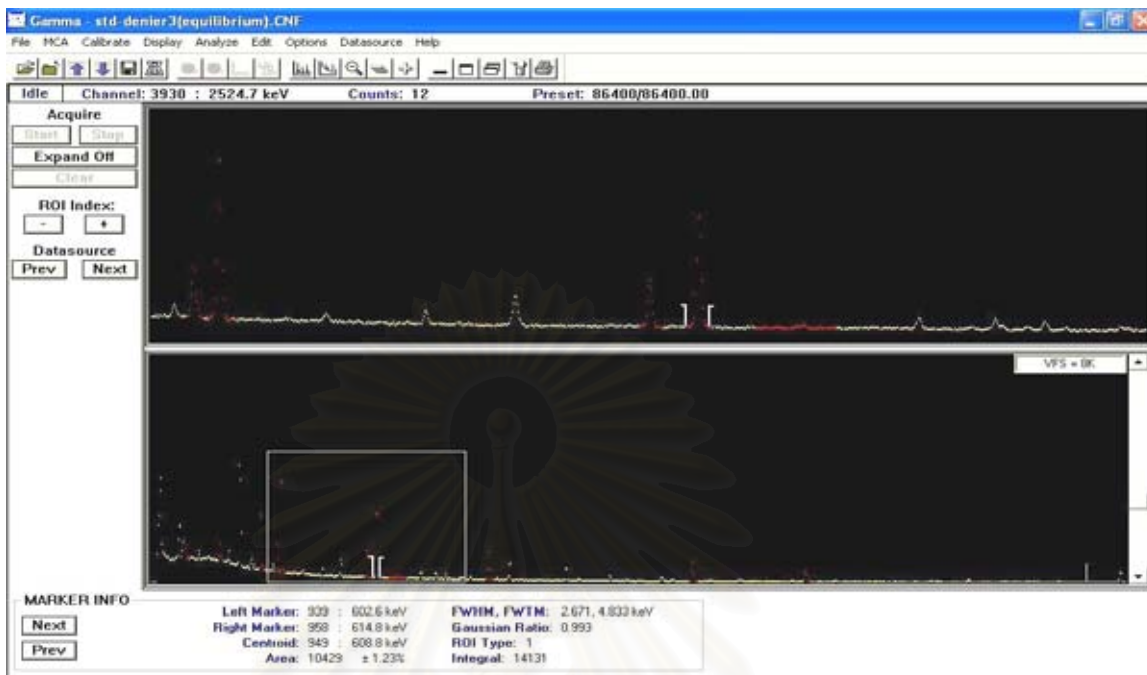
ความเข้มข้นรังสีในตัวอย่างน้ำ = 1.98 ± 0.16 เบคเคอเรล ต่อ ลิตร

ก-2 การคำนวณค่าต่ำสุดในการวัดตัวอย่าง(MDA)

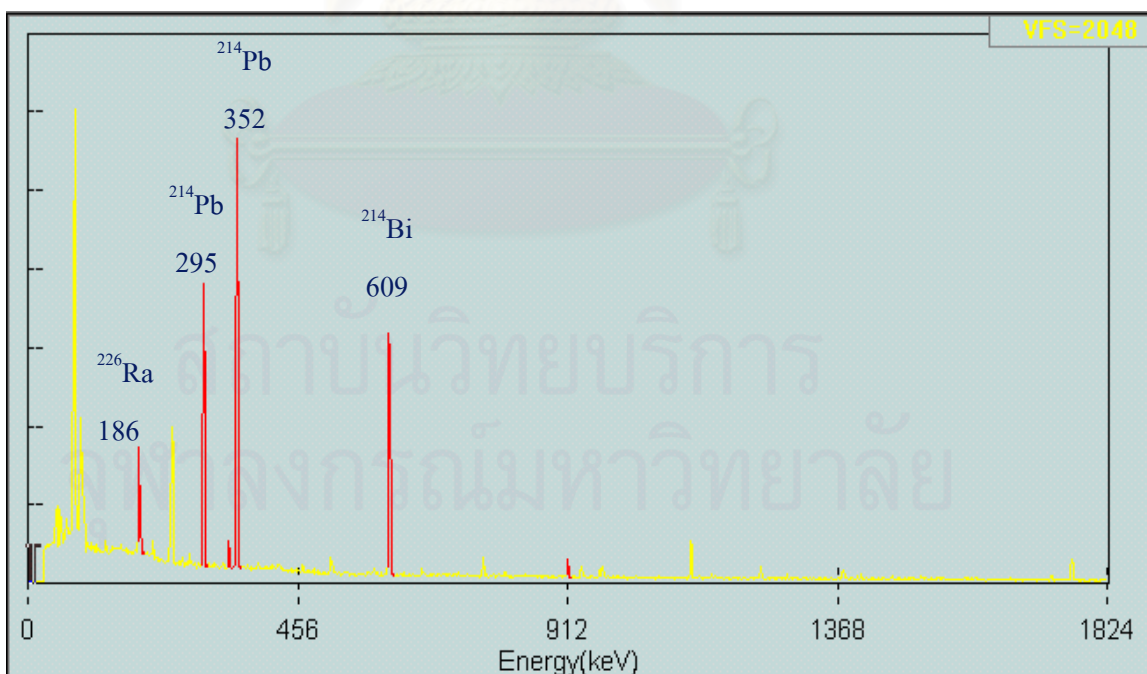
- ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 60 ลิตร
- อัตรานับรังสีของแบคกราวนด์ 230 count
- เวลาที่ใช้ในการวัด 86400 วินาที
- ประสิทธิภาพของหัววัดที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เท่ากับ 0.018
- สัดส่วนของความเข้มรังสีแกมมาที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เท่ากับ 0.46

$$\begin{aligned} \text{MDA (Bq / l)} &= \frac{2.71 + 4.66\sigma_B}{txVxIx E} \\ &= \frac{2.71 + 4.66\sqrt{230}}{86400 \times 60 \times 0.47 \times 0.018} \\ &= 0.0017 \text{ เบคเคอเรล ต่อ ลิตร} \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-1 โปรแกรม Genie 2000 ของ Canberra



รูปที่ ก-2 สเปกตรัมรังสีแกมมา



ภาคผนวก ข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1 การศึกษาเรื่องสีของเส้นใยอะครีลิกภายหลังการเคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์

สี	พื้นที่ได้ฟลักของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV			เฉลี่ย
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	
ขาว	108 ± 10	149 ± 12	121 ± 11	126 ± 6
น้ำตาล	1922 ± 44	1846 ± 43	2043 ± 45	1937 ± 25
ดำ	2628 ± 51	2542 ± 50	2681 ± 52	2617 ± 30

หมายเหตุ เวลาในการวัดตัวอย่าง 12 ชั่วโมง

ตาราง ข-2 การศึกษาเรื่องความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ความเข้มข้นของ สารละลาย KMnO_4	พื้นที่ได้ฟลักของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV			เฉลี่ย
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	
0.1	2098 ± 46	1986 ± 45	2099 ± 46	2061 ± 26
0.3	2102 ± 46	2039 ± 45	2294 ± 48	2145 ± 27
0.5	2508 ± 50	2733 ± 52	2664 ± 52	2635 ± 30
0.7	2602 ± 51	2749 ± 52	2599 ± 51	2650 ± 30
1	2702 ± 52	2609 ± 51	2618 ± 51	2643 ± 30

หมายเหตุ เวลาในการวัดตัวอย่าง 12 ชั่วโมง

ตาราง ข-3 การศึกษาปริมาณ Mn-Fiber ที่ใช้เก็บตัวอย่างน้ำ

ปริมาณ Mn-fiber (กรัม)	พื้นที่ได้ฟลักของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV		เฉลี่ย
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	
30	2731 ± 53	2481 ± 50	2606 ± 36
60	2638 ± 51	2646 ± 51	2642 ± 36
90	2650 ± 51	2578 ± 51	2614 ± 36

หมายเหตุ เวลาในการวัดตัวอย่าง 12 ชั่วโมง

ตาราง ข-4 การศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิกที่ใช้

ชนิดของ เส้นใยอะคริลิก	พื้นที่ได้ฟิสิกของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV			เฉลี่ย
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	
Denier 1.2	5749 ± 76	5802 ± 76	5957 ± 77	5836 ± 44
Denier 1.5	5896 ± 77	5749 ± 76	5761 ± 76	5802 ± 44
Denier 2.0	5843 ± 76	5612 ± 75	5894 ± 77	5783 ± 44
Denier 3.0	5702 ± 76	5649 ± 75	5701 ± 75	5684 ± 46

หมายเหตุ เวลาในการวัดตัวอย่าง 12 ชั่วโมง

ตาราง ข-5 การศึกษาอัตราการไหลของตัวอย่างน้ำ

อัตราการไหลของ ตัวอย่างน้ำ (ลิตร / นาที)	พื้นที่ได้ฟิสิกของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV			เฉลี่ย
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	
0.5	2496 ± 50	2673 ± 52	2775 ± 53	2648 ± 30
1	2702 ± 52	2531 ± 50	2672 ± 52	2635 ± 30
1.5	2679 ± 52	2496 ± 50	2661 ± 52	2612 ± 30
2	2432 ± 49	2604 ± 51	2758 ± 53	2598 ± 29
2.5	2438 ± 49	2351 ± 50	2219 ± 47	2396 ± 28
3	1576 ± 40	1703 ± 42	1578 ± 40	1619 ± 23

หมายเหตุ เวลาในการวัดตัวอย่าง 12 ชั่วโมง

ตาราง ข-6 การศึกษาผลของความเป็นกรดต่างของตัวอย่างน้ำ

ค่าความเป็นกรดต่าง ของตัวอย่างน้ำ	พื้นที่ได้ฟิสิกของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 keV			เฉลี่ย
	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	
2	2139 ± 46	2032 ± 45	2021 ± 50	2064 ± 26
4	2634 ± 51	2607 ± 51	2493 ± 50	2578 ± 29
6	2498 ± 50	2574 ± 51	2833 ± 52	2635 ± 29
8	2419 ± 49	2501 ± 50	2592 ± 51	2504 ± 29
10	1874 ± 43	1818 ± 43	1702 ± 41	1798 ± 24

หมายเหตุ เวลาในการวัดตัวอย่าง 12 ชั่วโมง

Mn-fiber standards prepared on fibers from Thailand (4 different Deniers, 1 standard each) standards prepared on September 14,2004

Indicated Ra activities decay corrected to September 14,2004

0.5 L Ra solution pH=6.4-6.8, passed through fibers 5 times

Denier 3 fiber overcooked

Ra-226

Fiber type	Total activity in solution (dpm)	Lost (as measured on Rn-line), dpm	% of total lost	Ra-226 on fiber,dpm	Bq
Denier 1.2	1140.1	16.09	1.4	1124.0	18.7
Denier 1.5	1140.1	25.19	2.2	1114.9	18.6
Denier 2	1140.1	32.81	2.9	1107.3	18.5
Denier 3	1140.1	276.27	24.2	863.8	14.4

Ra-226

Fiber type	Total activity in solution (dpm)	Lost (as measured on Rn-line), dpm	% of total lost	Ra-226 on fiber,dpm	Bq
Denier 1.2	934.3	13.2	1.4	921.1	15.4
Denier 1.5	934.3	20.6	2.2	913.7	15.2
Denier 2	934.3	26.9	2.9	907.4	15.1
Denier 3	934.3	226.4	24.2	707.9	11.8

William C.Burnett Environmental Radioactivity Measurement Facility

Department of Oceanography Florida State University Tallahassee,FL 32306 U.S.A

Tel: +850-644-6703 Fax: +850-644-2581 Email:wburnett@mailers.fsu.edu

Hi Pawinee,

Here are the measured radium activities from the fibers. All activities are listed in dpm/100L. Well salinity

Source	Ra-223	Ra-224	Ra-226	Ra-228
Ground water	0.56	156	105	178
Water from factory	78.9	922	1324	919

Henrieta Dulaiova Ph.D.Student

Environmental Radioactivity Measurement Facility

Department of Oceanography

Florida State University

Tallahassee,FL 32306

U.S.A.

Tel: +850-644-6703

Fax: +850-644-2581

Email: dulaiova@ocean.fsu.edu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภาวิณี วิสัยแสง เกิดเมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2523 ที่กรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ จากคณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2544 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยา ศาสตรมหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2545 ในสาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย