

การกระจายของเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงเอสทูรี
Ra-226 Distribution in Bangpakong Estuary

จตุรงค์ พิรุฬห์ภาวดี
Jaturonk Phirulpawadee

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

#PK0080059


0819

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ปีการศึกษา 2545


หัวข้อปัญหาพิเศษ การกระจายของมรเดียม-226 บริเวณบางปะกงมอสมบุรี
โดย นายจตุรงค์ พิรุฬห์ภาวดี
ภาควิชา วาริชศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เผชิญโชค จินตเศรษฐี

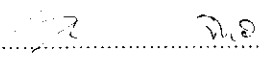
ภาควิชาวาริชศาสตร์ได้พิจารณาปัญหาพิเศษฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการตรวจสอบปัญหาพิเศษ

.....ประธาน
(อาจารย์ ดร. สุวรรณ ภาณุตระกูล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์เผชิญโชค จินตเศรษฐี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมถวิล จิตถาวร)

.....กรรมการ
(อาจารย์วิชญา กัณบัว)

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การกระจายของเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงเอสทูรี
	Ra-226 Distribution in Bangpakong Estuary
ชื่อผู้วิจัย	นายจตุรงค์ พิรุฬห์ภาวดี
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
สาขาวิชา	วาริชศาสตร์
ภาควิชา	วาริชศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์เผชิญโชค จินตเศรษฐี
ปีการศึกษา	2545

บทคัดย่อ

ศึกษาปริมาณของเรเดียม-226 ที่กวน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีทั้งสิ้น 23 สถานี ในรอบปี 2545 โดยเก็บตัวอย่างน้ำในแต่ละสถานีปริมาตร 20 ลิตร แล้วกรองผ่านเส้นใยอะคริลิกที่เชื่อมด้วย โฟแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตน้ำหนัก 2.5 กรัม โดยควบคุมอัตราไหลของน้ำ 0.5 ลิตรต่อนาที หลังจากนั้นจึงแยกเรเดียม-226 ออกจากเส้นใยอะคริลิกเพื่อสกัดและทำให้บริสุทธิ์ แล้วตกตะกอน ในรูปของแบเรียม-เรเดียมซัลเฟต แล้วจึงวัดรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 หลังจากทิ้งให้สมดุลกับ นิวไคลด์ลูกแล้ว 4 สัปดาห์ด้วยเครื่องวัดรังสีชนิด proportional counter

ข้อมูลที่ได้ในเดือนเมษายนมีค่าเรเดียม-226 ละลายน้ำอยู่ในพิสัย 0.06 -12.71 dpm/l ในเดือนมิถุนายนมีค่าเรเดียม-226 ละลายน้ำอยู่ในพิสัย 0 - 0.73 dpm/l เดือนกันยายนมีค่าเรเดียม-226 ละลายน้ำอยู่ในพิสัย 0 - 0.29 dpm/l เดือนธันวาคมมีค่าเรเดียม-226 ละลายน้ำ อยู่ในพิสัย 0 - 0.27 dpm/l ตามลำดับ

การกระจายของเรเดียม-226 ในเดือนเมษายน 2545 มีปริมาณมากบริเวณปากแม่น้ำ บางปะกง ซึ่งน่าจะเกิดจากการละลายกลับจากตะกอนของทอเรียม-230 จากพื้นที่ก้นน้ำบริเวณ ปากแม่น้ำผสมกับของเรเดียม-226 ที่ละลายมาจากต้นแม่น้ำ ในเดือนมิถุนายนและกันยายนพบ การกระจายของเรเดียม-226 ปริมาณน้อยในคอนกลางของเอสทูรีซึ่งอาจเกิดจากการพัดพา โดยอิทธิพลของน้ำท่าและมีการการสะสมตัวห่างออกมาจากบริเวณปากแม่น้ำ ส่วนในเดือน ธันวาคมพบการสะสมของเรเดียม-226 อยู่หน้าชลบุรี ซึ่งน่าจะเกิดจากการละลายกลับจากตะกอน จากพื้นที่ก้นน้ำ แต่อย่างไรก็ตามเรเดียม-226 ที่พบในเดือนมิถุนายน กันยายนและธันวาคม นั้น มีปริมาณน้อยมากจนแทบไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเทียบกับเดือนเมษายน

Title	Ra-226 Distribution in Bangpakong Estuary
Name	Mr.Jaturonk Phirulpawadee
Department	Aquatic Science
Advisor	Mr.Pachoenchoke Jintasaeranee
Academic Year	2002

Abstract

Twenty-three subsurface water sample were collected from Bangpakong Estuary for absorb radium-226 by gravitational filtering through Manganese Oxide Acrylic fiber 2.5 grams and control flow rate at 0.5 liter/minute. After that, Ra-226 was extracted from each fiber, purified and precipitated to measure its α -particle by proportional counter after keep it in the desicator for 4 weeks.

The results show that dissolved Ra-226 on April ranged between 0.06 and 12.71 dpm/l, June ranged between 0 and 0.73 dpm/l, September ranged between 0 and 0.29 dpm/l and December ranged between 0 and 0.27 dpm/l respectively.

On April, a high activity of Ra-226 appeared near the Bangpakong river mouth at station number 1, 2 and 3 because of a high activity of Th-230 in sediments and dissolved from a river discharge. The distribution of the other months, June, September and December are same because a low activity of Ra-226 from river discharge and the dilution.

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน
จึงจะขอขอบพระคุณ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์เผชิญโชค จินตเสรณี อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำปัญหาพิเศษ
ในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณสำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือทุก ๆ ด้านซึ่งอาจารย์ได้ช่วยเหลือ
เป็นอย่างดี อาจารย์ ดร. สุวรรณ ภาณุตระกูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมถวิล จริตควร
และอาจารย์วิชา ก้นบัว กรรมการในการสอบปัญหาพิเศษ รวมถึงบุคลากรของภาควิชา
วาริชศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องต่าง ๆ อาจารย์ฤทธิ มีสัตย์
ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับ
ความช่วยเหลือด้านการวัดรังสี ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่ให้กำลังใจทั้งในด้านการเรียนการทำการวิจัยในครั้งนี้
และขอขอบพระคุณสำหรับคุณยาย ในทุก ๆ สิ่งทุก ๆ อย่าง ที่ท่านได้ให้ผมมาในชีวิตนี้ถึงแม้ท่านจะ
ไม่ได้ได้เห็นความสำเร็จในครั้งนี้ของข้าพเจ้าก็ตาม

สุดท้ายต้องขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ และอีกหลายท่านซึ่งไม่อาจกล่าวถึงในที่นี้ได้
ในความหวังใจและกำลังใจในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้

จตุรงค์ พิรุฬห์ภาวดี

มิถุนายน 2546

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญสัญลักษณ์	ญ

บทที่

บทที่ 1 บทนำ

บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
สมมติฐานของการศึกษา.....	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
ขอบเขตการศึกษา.....	2

บทที่ 2 สํารวจเอกสาร

สํารวจเอกสาร.....	3
ความเป็นพิษของเรเดียม-226.....	3
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา.....	13
ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง.....	14
วิธีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล.....	14
วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226.....	16
ค่าเบี่ยงคล้จากการทดลอง.....	18
การคำนวณเรเดียม-226.....	18

บทที่ 4 ผลการศึกษา

ผลการศึกษา.....	20
-----------------	----

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา	
อภิปรายและสรุปผลการศึกษา.....	27
ข้อเสนอแนะ.....	28
เอกสารอ้างอิง	29
ภาคผนวก	31

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 ตำแหน่งของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงเอสทูรี.....	14
3.2 ชุดกรองที่บรรจุเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก (MnO ₂ AF) หนักประมาณ 2.5 กรัม.....	15
3.3 เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก (MnO ₂ AF).....	15
3.4 การเก็บเรเดียม-226 จากน้ำทะเล.....	16
3.5 ตะกอน Ba(Ra)SO ₄ ที่ได้หลังจากเก็บไว้แห้งแล้ว 4 สัปดาห์.....	17
4.1 ปริมาณเรเดียม-226 (counts) ที่คือน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรี ในเดือนเมษายน 2545 ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	20
4.2 ปริมาณเรเดียม-226 (counts) ที่คือน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรี ในเดือนมิถุนายน 2545 ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	21
4.3 ปริมาณเรเดียม-226 (counts) ที่คือน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรี ในเดือนกันยายน 2545 ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	21
4.4 ปริมาณเรเดียม-226 (counts) ที่คือน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรี ในเดือนธันวาคม 2545 ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	22
4.5 แสดงการกระจายความเค็ม (psu) และการกระจายเรเดียม-226 (dpm/l) ที่คือน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนเมษายน 2545.....	23
4.6 การกระจายของความเค็ม (psu) และการกระจายของเรเดียม-226 (dpm/l) ที่คือน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนมิถุนายน 2545.....	24
4.7 การกระจายของความเค็ม (psu) และการกระจายของเรเดียม-226 (dpm/l) ที่คือน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนกันยายน 2545.....	25
4.8 การกระจายของความเค็ม (psu) และการกระจายของเรเดียม-226 (dpm/l) ที่คือน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนธันวาคม 254.....	26

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พิกัดของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ	
เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226บริเวณบางปะกงแควสุรี.....	13
4.1 พิสัยของปริมาณเรเดียม-226 บริเวณฝูวน้ำ เดือนเมษายน – ธันวาคม 2545.....	20
4.2 พิสัยความเข้มข้นของเรเดียม-226 (dpm/l)	
บริเวณฝูวน้ำ เดือนเมษายน – ธันวาคม 2545.....	22
4.3 พิสัยของความเค็ม (psu) บริเวณฝูวน้ำ เดือนเมษายน – ธันวาคม 2545.....	22

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

สารบัญสัญลักษณ์

- Bg_{dpm} คือปริมาณรังสีที่วัดเป็นค่าพื้นฐาน (Background) ในหน่วยนับจำนวนต่อนาที (count per minute : dpm)
- C คือค่าเคมีคัล ยิลด์ (Chemical yield)
- cpm คือปริมาณรังสีที่วัดได้ในหน่วยจำนวนนับต่อนาที (count per minute : cpm)
- dpm คือปริมาณรังสีที่เติมในตัวอย่างในหน่วยการสลายตัวต่อนาที (disintegration per minute :dpm)
- Ed คือค่าประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสี
- Ef คือค่าประสิทธิภาพของ MnO_2AF (Efficiency of Fibers)
- S คือค่าประสิทธิภาพในกรณีรับรังสีเนื่องจากการดูดกลืนรังสีในตัวเอง (Self Absorption)
- sam_{cpm} คือปริมาณรังสีที่วัดได้จากตัวอย่างในหน่วยจำนวนนับต่อนาที (cpm)
- sam_{dpm} คือปริมาณรังสีที่วัดได้จากตัวอย่างในหน่วยการสลายตัวต่อนาที (dpm)
- std_{cpm} คือปริมาณรังสีที่วัดได้จากสารมาตรฐานในหน่วยจำนวนนับต่อนาที (cpm)
- std_{dpm} คือปริมาณรังสีที่วัดได้จากสารมาตรฐานในหน่วยการสลายตัวต่อนาที (dpm)
- น. คือน้ำหนักตะกอนของ $Ba(Ra)SO_4$ ในหน่วยมิลลิกรัม

บทที่ 1

บทนำ

เอสทวารี (Estuary) เป็นบริเวณชายฝั่งทะเลซึ่งมีลักษณะกึ่งปิดกั้น (semi-enclose coastal body water) และน้ำทะเลของเอสทวารีจะถูกเจือจางด้วยอิทธิพลของน้ำจืดที่ไหลลงมาจากปากแม่น้ำ และแผ่นดิน การไหลเวียนของน้ำในบริเวณเอสทวารีโดยปกติจะถูกควบคุมโดยน้ำจืด (fresh water discharge) และกระแสน้ำขึ้นน้ำลง (tidal current) ซึ่งองค์ประกอบของน้ำในเอสทวารีจึงเกี่ยวเนื่องกับการผสมผสานกันของมวลน้ำทั้งสอง (อัปสรสุดา ศิริพงษ์, 2524)

แม่น้ำบางปะกงเป็นแม่น้ำที่สำคัญมากสายหนึ่งของภาคตะวันออก เกิดจากการรวมตัวกันของแม่น้ำนครนายกและแม่น้ำปราจีนบุรี ซึ่งไหลมาบรรจบกันที่อำเภอบ้านสร้าง จังหวัดปราจีนบุรี ไหลผ่านครอบคลุมพื้นที่จังหวัดนครนายก ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทราและชลบุรี และไหลลงสู่อ่าวไทยตอนบนที่อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยแม่น้ำบางปะกงมีความยาวทั้งสิ้น 122 กิโลเมตร พื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงส่วนใหญ่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัย การเกษตรกรรม การประมง เลี้ยงสัตว์ และเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โรงงานชุบโลหะ โรงไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้แม่น้ำบางปะกงเป็นแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากชุมชน การทำเกษตรกรรมและจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะไหลมารวมกันบริเวณปากแม่น้ำและอ่าวไทยตอนบนในที่สุด (พิพัฒน์ สุภรณ์, 2544)

สารปริมาณน้อย (Trace element) ในน้ำทะเลเป็นสารที่ละลายอยู่ในน้ำปริมาณที่น้อยมาก (ประมาณ 0.05 – 50 $\mu\text{mol/l}$) (เชษฐโชค จินตเสรณี, 2543 อ้างถึง Susan, 1992) สารปริมาณน้อยเหล่านี้ถูกนำพาลงสู่ทะเลโดยการพัดพาของลมและน้ำท่า การแพร่ออกจากตะกอนและการกระทำของมนุษย์ จากการใช้เรเดียม-226 (Ra-226) เป็นสารปริมาณน้อยซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสี (Radioisotopes) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ปะปนอยู่กับหินและแร่ต่าง ๆ สามารถถูกชะล้าง (leach) จากหินและแร่ต่าง ๆ ผ่านวัฏจักรของน้ำ (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525) จากต้นแม่น้ำลงสู่บริเวณบางปะกงเอสทวารีได้

เรเดียม-226 เกิดจากการสลายตัวของทอเรียม-230 (Th-230) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มีค่าครึ่งชีวิต (half live; $t_{1/2}$) 1620 ปี ซึ่งยาวกว่าไอโซโทปอื่น ๆ ของเรเดียมมาก เมื่อสลายตัวให้อนุภาคแอลฟา (α particle) 76.3 % ที่ระดับพลังงาน 4.687 MeV และ 23.4 % ที่ระดับพลังงาน 4.621 MeV ตามลำดับ (ขนิษฐา กมลรัตน์, 2523) โดยปกติเรเดียม-226 ในน้ำทะเลจะสลายตัว (decay) มาจากทอเรียม-230 จากตะกอนดิน และพบว่าบริเวณที่มีปริมาณทอเรียม-230 มากก็จะมีเรเดียม-226 มากตามไปด้วย (ฟูเกียริ สีนาคุม และคณะ 2531 อ้างถึง Cochran, 1980)

สำหรับประเทศไทยมีการวัดปริมาณเรเดียม-226 มานานแล้วโดยสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แต่การศึกษาส่วนใหญ่ยังเป็นการศึกษาในน้ำจืดหรือฝักผลไม้เป็นหลัก เนื่องจากมีปริมาณมากพอที่จะสามารถวัดได้และมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อมนุษย์ อย่างไรก็ตามในการวัดปริมาณสารแต่ละชนิดต้องใช้วิธีการเฉพาะ ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ค่อนข้างซับซ้อน (ณินฐา กมลรัตน์, 2523 และ บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525) แต่หลังจากเชญูโชค จินตศรณี, (2543) ได้พัฒนาวิธีการศึกษาเรเดียม-226 โดยเก็บตัวอย่างน้ำทะเลและทำให้เข้มข้นขึ้นบนเส้นใยอะคริลิก แล้วทำให้สามารถศึกษาสารปริมาณน้อยชนิดนี้ได้ง่ายขึ้น

จากการศึกษาการกระจายของเรเดียม-226 ในครั้งนี้ น่าจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นของการศึกษากการกระจายเรเดียม-226 ในแง่ของสารปริมาณน้อยโดยวิธีการใช้ MnO_4^- เพื่อดูดซับเรเดียม-226 ในน้ำทะเล และอาจมีการพัฒนาการใช้เส้นใย MnO_4^- ในการศึกษาการกระจายของสารปริมาณน้อยอื่นในทะเลต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปริมาณของเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงแควสุรี
2. เพื่อศึกษาการกระจายของเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงแควสุรี
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงแควสุรี

สมมติฐานของการศึกษา

ฤดูกาลมีผลต่อการกระจายเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงแควสุรี

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณของเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงแควสุรี
2. ทราบลักษณะการกระจายตามฤดูกาลของเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงแควสุรี
3. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาสารปริมาณน้อยในบริเวณบางปะกงแควสุรีต่อไป

ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษาเรเดียม-226 ที่ผิวน้ำบริเวณบางปะกงแควสุรีจำนวน 23 สถานี โดยเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 4 ครั้งในรอบปี คือ เดือนเมษายน, มิถุนายน, กันยายนและธันวาคม 2545

บทที่ 2

สำรวจเอกสาร

ความเป็นพิษของเรเดียม-226

เรเดียม-226 สามารถเข้าสู่ร่างกายได้สามทาง คือ การหายใจ ทางบาดแผลที่เกิดบนผิวหนัง และทางระบบทางเดินอาหาร นอกเหนือจากการฉีดเข้าเส้นเลือดเพื่อการรักษาบางอย่างในสมัยก่อน (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Rowland, 1970)

เรเดียม-226 ที่เข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินอาหารนั้น นับว่ามีอันตรายน้อยที่สุด เนื่องจากการดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตเป็นไปได้น้อย มีเพียงร้อยละ 2 ที่ไปสะสมที่บริเวณกระดูก โครงสร้าง ส่วนที่เหลือถูกขับถ่ายออกจากร่างกายโดยทางอุจจาระมากกว่าทางปัสสาวะ พบว่าการขับถ่ายออกทางปัสสาวะมีเพียงร้อยละ 2-5 เท่านั้น และอัตราการขับถ่ายเร็วมาก กล่าวคือ ภายหลังจากที่ได้รับเรเดียม-226 เพียง 5 วัน ร่างกายจะขับถ่ายออกและเหลืออยู่เพียงร้อยละ 1-9 ของปริมาณที่ได้รับทั้งหมด (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Silverstein, 1950) เรเดียมที่เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ เกิดจากการสูดฝุ่นที่มีเรเดียมปะปนอยู่เข้าไป ซึ่งในกรณีนี้ เรเดียม-226 ไม่เพียงแต่ทำอันตรายต่อเนื้อเยื่อของปอดเท่านั้น แต่ยังทำอันตรายต่อเนื้อเยื่ออื่น ๆ อีกด้วย เนื่องจากเมื่อเข้าไปในปอดแล้วมีเพียงบางส่วนของที่สะสมอยู่ที่ปอด ส่วนที่เหลือจะค่อย ๆ ละลายอยู่ในของเหลวภายในปอด (พลาสมา) ซึ่งเรเดียม-226 ส่วนที่ละลายอยู่จะถูกพาออกจากปอดไปยังส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย แล้วอาจสะสมเข้าสู่อวัยวะต่าง ๆ ที่ผ่านไป เช่น กระดูก กิ่งน้ำดี หรือตับ เป็นต้น สารประกอบของเรเดียม ที่เกิดขึ้นในกรณีเช่นนี้ ได้แก่ เรเดียมซัลเฟต ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้เท่ากับ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง ICCP publication, 1981)

บุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) อ้างถึง Aub (1952) ได้กล่าวถึงอุบัติเหตุที่คนงานผู้หนึ่งซึ่งสูดเรเดียมซัลเฟต เข้าไปในระยะแรกปริมาณเรเดียมที่อยู่ในปอดจะลดลงอย่างรวดเร็ว แล้วจึงค่อย ๆ ลดลง อย่างช้า ๆ แบบ exponential ในภายหลัง เรเดียมจะถูกขจัดออกจากปอดเป็นปริมาณครึ่งหนึ่งภายในเวลา 30 วัน ซึ่งเป็น biological half life ของเรเดียม-226 ในปอด

ความเป็นพิษของเรเดียม-226 ที่เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ พบว่าจะพบกับคนงานที่ทำงานเหมืองเป็นส่วนใหญ่ ได้มีรายงานถึงคนงานทำเหมืองแร่พิทช์เบลนด์ในบริเวณที่ราบสูงโคโลราโด และคนงานทำเหมืองแร่โคบอลต์ที่ประเทศเชโกสโลวาเกียว่าเสียชีวิตลง

เป็นจำนวนมากด้วยโรคระบาดที่มีชื่อว่า "Mountain Sickness" อาการที่ตรวจพบ ได้แก่ บริเวณปอดมีการสร้างเยื่อพังผืด (fibrosis) ขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งภายหลังกลายเป็นมะเร็ง (malignancies) จากการสำรวจพบว่ามีเรเดียมปะปนอยู่ในดินและฝุ่นละอองบริเวณเหมืองปริมาณสูงมาก (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Hugh, 1969) สำหรับการเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนังโดยผ่านทางบาดแผลหรือฉีดเข้าเส้นโลหิต เพื่อการรักษาโรคบางอย่างในสมัยก่อนนั้นจะทำอันตรายต่อร่างกายได้มากที่สุด เนื่องจากเรเดียม-226 ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตโดยตรง

ในการทดลองกับหนูที่ฉีดเรเดียมคลอไรด์เข้าทางเส้นเลือด พบว่าเรเดียม-226 ส่วนใหญ่จะไปสะสมที่กระดูก มีส่วนน้อยที่พบในบริเวณทางเดินอาหาร กล้ามเนื้อ ผิวหนังและไต กระดูกส่วนที่มีการสะสมมาก ได้แก่ บริเวณที่เป็นเนื้อเยื่อส่วนที่เป็นเส้นใยของกระดูก (trabecular) และตอนปลายของกระดูกทั้ง 2 ข้าง (epiphyseal bone) มีเป็นจำนวนน้อยที่สะสมบริเวณส่วนกลางของกระดูก (metaphyses) กะโหลกศีรษะและกระดูกสันหลัง มีรายงานว่าเรเดียม-226 ที่สะสมในเนื้อเยื่อจะถูกขจัดออกเร็วกว่าบริเวณอื่น ๆ ฟันและบริเวณส่วนกลางของกระดูกถูกขจัดออกช้าที่สุด (ขนิษฐา กมลรัตน์, 2523 อ้างถึง Robertson & Chon, 1959)

อาการพิษเรื้อรัง (chronic) ของเรเดียม-226 ที่พบในคนงานเขียนหน้าปัดนาฬิกาที่ใช้สีผสมด้วยเรเดียม ได้แก่ โรคโลหิตจาง (Aplastic anaemia) ทั้งนี้เนื่องจากผลของเรเดียม-226 ที่มีต่อไขกระดูก (bone marrow) ในบางรายพบว่าเรเดียม-226 ไปมีผลต่อเซลล์สร้างเม็ดเลือดแดง (marrow aplasia) ทำให้เกิดอาการมะเร็งในเม็ดเลือด (Aleukaemic leukaemia) บุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) อ้างถึง Martland (1925) ได้รายงานถึงการพบอาการภาวะกระดูกตาย (necrosis) ที่กระดูกขากรรไกรและมะเร็งกระดูก (bone sarcoma) ทั่วไป นอกจากนั้นยังพบว่าบางรายเกิดมะเร็งที่ช่องว่างในกะโหลกศีรษะ (carcinoma of the mastoid air cells) ส่วนพิษของเรเดียมแบบเฉียบพลัน (acute) พบว่าทำให้เกิดมะเร็งในเม็ดเลือดและโรคโลหิตจางชนิดรุนแรง เนื่องจากผลของเรเดียม-226 ที่มีต่อไขกระดูกและม้าม (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Hugh, 1969)

สำหรับอาการภาวะกระดูกตายที่ขากรรไกร บุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) อ้างถึง Stewart (1943) ได้รายงานว่า ตรวจพบที่บริเวณขากรรไกรล่างมากกว่าขากรรไกรบน และยังตรวจพบอีกว่า อาการมะเร็งที่เกิดบริเวณปากมักจะเกิดขึ้นมากที่สุดที่ลิ้น ริมฝีปากล่าง กระดูกขากรรไกรล่าง และบริเวณลำคอมากกว่าจะเกิดทางส่วนเหนือขากรรไกรบนขึ้นไป

บุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) อ้างถึง Looney (1955) ได้รายงานว่ามีปริมาณเรเดียมที่น้อยกว่า $3.6 \mu\text{Ci}$ จะไม่ทำให้เกิดมะเร็งในกระดูก ในปี ค.ศ. 1969 นักชีววิทยารังสี (Radiobiologist) ชื่อ Dr. A. J. Finkel และคณะ ได้รายงานถึงกรณีการเกิดเนื้องอกบนผิวหนังที่ก่อให้ด้วยกระดูกขากรรไกรของคนไข้รายหนึ่งว่า ได้รับเรเดียม-226 เข้าสู่ร่างกายในปริมาณ $0.13 \mu\text{Ci}$

คณะกรรมการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ (The International Commission on Radiological Protection) (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง National Bureau of Standards, 1959) และคณะกรรมการป้องกันอันตรายจากรังสีแห่งสหรัฐอเมริกา (The National Committee on Radiological Protection) (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง National Bureau of Standards, 1954) กำหนดปริมาณสูงสุดของเรเดียม-226 ที่ยอมให้มีอยู่ในร่างกายได้โดย 'ไม่เกิดอันตรายเท่ากับ 0.1 μCi และปริมาณสูงสุดในอากาศที่อนุญาตให้มีได้เท่ากับ 10^{11} μCi /ตารางเซนติเมตร กระทรวงสาธารณสุขของสหรัฐอเมริกา (The United States Public Health Service) (ขนิษฐา กมลรัตน์, 2523 อ้างถึง United States Department of Health, 1962) และองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) (ขนิษฐา กมลรัตน์, 2523 อ้างถึง World Health Organization, 1971) กำหนดปริมาณ International Commission on Radiological Protection-226 ไว้ในมาตรฐานน้ำดื่มว่าไม่ควรมีค่าเกิน 3 pCi/l

อวัยวะที่เรเดียม-226 ทำอันตรายได้มากที่สุด คือ กระดูก เนื่องจากเมตาบอลิซึมของร่างกายคือเรเดียมและแคลเซียมคล้ายคลึงกัน เรเดียมจึงเข้าแทนที่แคลเซียมในกระดูกได้ (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง National Academy of Science, 1972) จากการศึกษาค้นคว้าวิธีการถ่ายภาพสารตัวอย่างที่มีรังสีในตัวเอง (Autoradiograph) ในกระดูกของผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับเรเดียม-226 พบว่าบุคคลที่ได้รับเรเดียม-226 ในระบบทางเดินอาหารปริมาณสูง ๆ ช่วงที่ยังมีอายุน้อย การเข้าสะสมจะอยู่ในลักษณะไม่เป็นระเบียบ (non-uniform) กระจุกกระจายทั่วไป (diffuse) และจะสะสมมากในบริเวณที่ใกล้ หรืออยู่ในบริเวณช่องทางติดต่อของกลุ่มเซลล์ที่อยู่ล้อมรอบหลอดเลือดและเส้นประสาท (Haversian's canal) โดยจะเข้าแทนที่สารอินทรีย์ที่อยู่รอบ ๆ ทางติดต่อ (canal) เหล่านั้นด้วยขบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion-exchange process) สำหรับเรเดียม-226 ที่ได้รับทางระบบทางเดินอาหารอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องกัน และมีการขับถ่ายออกไปตลอดชั่วอายุ การเข้าแทนที่ จะแสดงลักษณะเป็นระเบียบมากขึ้น และถึงแม้ว่าเรเดียม-226 จะถูกกำจัดออกจากกระดูกโครงร่างอย่างช้า ๆ ก็ตาม แต่การได้รับเป็นประจำทุกวันจากอาหาร จะทำให้ปริมาณเรเดียม-226 ในกระดูกโครงร่างมีค่าคงที่ในบุคคลทุกวัย (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Berch, 1962)

พิษของเรเดียม-226 ที่มีต่อกระดูก คือ ทำให้กระดูกบางลง ความหนาแน่นของกระดูกลดลง ข้อต่อหลวม ทำลายเนื้อเยื่อบริเวณลอมโบน และเมื่อได้รับเรเดียม-226 เป็นปริมาณมากขึ้น จะเกิดการแตกร้าวที่กระดูกซี่โครงและกระดูกสันหลัง, การแตกร้าวเกิดเป็นวงรอบ ๆ (spiral features) ที่กระดูกต้นแขนและต้นขา (ขนิษฐา กมลรัตน์, 2523 อ้างถึง William & Hanson, 1968) ทำให้เกิดเนื้องอกของกระดูก ซึ่งพบมากในส่วนลอมโบน กระดูกเชิงกราน และกะโหลกศีรษะมากกว่าส่วนอื่น ๆ อาการที่ตามมาภายหลัง คือ มะเร็งในกระดูก คนไข้ที่สูงอายุและมีประวัติ

ได้รับเรเดียมในปริมาณสูง เป็นระยะเวลาสั้น พบว่ากระดูกส่วนที่รองรับน้ำหนักตัวหรือกระดูกซี่โครงทำงานผิดปกติ (ขนิษฐา กมลรัตน์, 2523 อ้างถึง Robertson & Chon, 1959)

ในสัตว์ทดลอง เช่น หนู และสุนัข ที่ได้รับเรเดียม-226 ในปริมาณสูงและเป็นเวลานาน จะแสดงอาการที่ฟัน กล่าวคือ กระดูกฟัน, รากฟันถูกทำลาย และฟันหลุด อันเป็นผลเนื่องมาจากส่วนที่ยึดฟันกับเหงือก (cemento-enamel junction) ถูกทำลายทำให้รูปร่างของฟันเปลี่ยนไป ทำให้ความแข็งแรงของฟันลดลง และเป็นสาเหตุให้สีของฟันเป็นสีชมพู (pinkish) นอกจากนี้เรเดียม-226 ยังมีผลต่อการยับยั้งต่อการงอกของฟัน ซึ่งได้ตรวจพบเดนตินและอีนาเมล (dentin and enamel) บริเวณกระดูกขากรรไกร ทำให้เกิดเนื้ออกตรงบริเวณเนื้อเยื่อที่ติดกับฟันกราม และเมื่อเพิ่มปริมาณเรเดียม-226 ขึ้นจะพบว่า ทำให้เกิดเนื้ออกที่กระดูกเพิ่มขึ้นและช่วงชีวิต (life span) สั้นลง หลังจากนั้นอาจมีการทำลายเซลล์ของกระดูก (osteomyelitis) และเซลล์ที่สร้างเม็ดเลือดแดง (marrow stem cell) แต่ไม่พบว่าเรเดียม-226 มีผลต่อเกล็ดเลือด (blood platelet) (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง ICCP publication, 1981)

บุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) อ้างถึง Aub (1952) ได้รายงานถึงพิษของเรเดียม-226 ที่เกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อ ได้แก่การเกิดเนื้ออกที่เนื้อเยื่อซึ่งอยู่ติดกับกระดูก ซึ่งภายหลังเปลี่ยนไปเป็นมะเร็ง บริเวณที่ตรวจพบ ได้แก่ เนื้อเยื่อตรงรอยต่อของกระดูกขา, ข้อศอก และในโพรงจมูก สำหรับพลังงานของเรเดียมที่มีผลต่อเนื้อเยื่อ มีค่าเท่ากับ 100 MeV (Shapiro, 1972) ในกรณีที่เรเดียมไม่ได้เข้าสู่ร่างกายพบว่า ผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับเรเดียม-226 เป็นเวลานาน เกิดอาการผิวหนังไหม้ (skin burn) อันเป็นผลการทำลายจากรังสีบีตาและแกมมาที่ปลดปล่อยออกมา (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Hugh, 1969)

จากการศึกษาถึงผลของเรเดียม-226 ต่อดวงตาของสุนัขทดลอง พบว่าในดวงตาจะมีความสามารถในการเก็บสะสมเรเดียม-226 มากกว่าในกระดูกโครงร่างถึง 10 เท่า ซึ่งเป็นความสามารถพิเศษเฉพาะของเนื้อเยื่อดวงตาที่ทนต่ออนุภาคแอลฟาได้มาก (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Fisher *et al.*, 1976) และเมื่อเพิ่มปริมาณเรเดียม-226 ในระดับที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดเนื้ออกที่ดวงตาและภายหลังตาจะถลน (enucleation) ซึ่งแสดงถึงอาการมะเร็งที่ดวงตา (Malignant melanoma) จากการศึกษาด้วยการถ่ายภาพทางรังสีและทางเรดิโอเคมีพบว่า มีเรเดียม-226 เป็นจำนวนมากไปสะสมบริเวณที่เป็นเม็ดสี (pigment) (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Stover *et al.*, 1962)

สำหรับผลของเรเดียม-226 ที่มีต่อพันธุกรรม ได้มีรายงานถึงการศึกษาเกี่ยวกับพบว่า ตัวอ่อนของกบที่ได้รับเรเดียม-226 เมื่อไปผสมกับไข่ ตัวอ่อนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะผิดปกติ (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Presed, 1974)

การดูดซึมและเก็บสะสมเรเดียม-226 พบว่า ฟันมีการสะสมเรเดียมมากที่สุด รองลงมาคือขากรรไกร กระโหลกศีรษะ กระดูกสันหลังและกระดูกเชิงกราน ในจำพวกเนื้อเยื่อ ไส้และน้ำม

รับเรเดียมได้ดีที่สุด คับรับได้ช้าที่สุด ปอด สมอง และตับอ่อนรับได้ในระดับปานกลาง ในโลกคิด
พบว่ามีสารเรเดียม-226 ใต้น้ำน้อยมากและกระจายไปทั่ว ๆ กันระหว่างมีดเกลือแดงและ
พลาสติก (บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525 อ้างถึง Silverstein, 1950)

สำหรับประเทศไทยมีการกำหนดเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำใน
ประเทศไทยไว้ โดยกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งให้มีเรเดียม-226 ไม่เกิน 6 dpm/l
(กรมควบคุมมลพิษ, 2538)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Moore and Reid (1973) ทดลองใช้เส้นใยอะคริลิก (acrylic fibers) ซึ่งย้อมด้วย
สารละลายแมงกานีสออกไซด์-ไดออกไซด์ เพื่อดูดซับเรเดียมบริเวณผิวหน้าน้ำทะเลและจากที่ลึกลง
โดยบรรจุเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก (MnO_2 acrylic fibers : MnO_2 AF) ประมาณ 100 ถึง
500 กรัม ในท่อพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร ยาว 23 เซนติเมตร
แล้วลากท่อพลาสติกนี้ผ่านน้ำทะเลบริเวณผิวหน้าน้ำด้วยอัตราเร็ว 300 เมตรต่อนาที เป็นระยะทาง
20 เมตร เพื่อให้ น้ำทะเลไหลผ่านท่อพลาสติกในปริมาณที่แน่นอน ส่วนการเก็บตัวอย่างเรเดียม
จากน้ำทะเลในที่ลึกลงทำโดยแช่ท่อพลาสติกทรงกระบอกที่บรรจุเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก
ในระดับความลึกที่ต้องการประมาณ 1 ชั่วโมง วิธีการเหล่านี้เป็นการทดลองเก็บเรเดียมในรูป
ซึ่งถูกทำให้เข้มข้นโดยการดูดซับบนเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก เป็นครั้งแรก โดยที่เส้นใย
แมงกานีสออกไซด์อะคริลิกนี้มีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมจากน้ำทะเลได้มากกว่าร้อยละ 95

Moore (1976) ได้ปรับปรุงวิธีการเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก จากวิธีการ
ของ Moore and Reid (1973) โดยแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต
($KMnO_4$) ความเข้มข้น 0.5 โมล ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเส้นใยเป็นสีดำมัน
หรือสามารถเตรียมได้อีกวิธีหนึ่งโดยการแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโพแทสเซียม -
เปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.5 โมล เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งเมื่อทดลองนำเส้นใยที่ถูกย้อมแล้วนี้
ไปแช่ในน้ำทะเลประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 พบว่าเส้นใย
อะคริลิกนี้สามารถดูดซับเรเดียมได้ในปริมาณเท่ากับปริมาณเรเดียมที่อยู่ในน้ำทะเลประมาณ 1000
ถึง 2000 ลิตร และวิธีการเตรียมเส้นใยอะคริลิกนี้ มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการเตรียมของ Moore
and Reid (1973) และวิธีการเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกที่ถูกปรับปรุงนี้ สามารถ
นำไปประยุกต์ใช้กับเส้นใยแบบอื่น ๆ ได้ เช่น ไนลอน โพลีเอสเตอร์หรือเซลลูโลส

Yamada and Nozaki (1986) ศึกษาการกระจายของเรเดียม-226 บริเวณชายฝั่งทะเลของ ประเทศญี่ปุ่น และบางส่วนของทะเลทางฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก วิธีการเก็บตัวอย่าง ทำโดยการสูบน้ำที่บริเวณผิวหน้าประมาณ 133 – 1503 ลิตร ด้วยอัตรา 2.5 ลิตรต่อนาที แล้วกรอง ผ่านตัวกรองขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน จากนั้นจึงปล่อยให้แห้งตัวอย่างให้เลผ่านเส้นใยแมงกานีส ออกไซด์อะคริลิกประมาณ 35 กรัม เพื่อดูดซับเรเดียม จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาวัดปริมาณรังสี แกมมาของเรเดียม-226 โดยใช้เครื่องวัดรังสีแกมมาชนิด well pure germanium detector ผลการศึกษาแสดงถึงปริมาณเรเดียม-226 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ ระหว่าง 57.9 ± 0.1 dpm/100 กิโลกรัม ถึง 85.8 ± 1.6 dpm/100 กิโลกรัมของน้ำทะเล และค่าสัมประสิทธิ์ การแพร่ในแนวแกน y (K_y) ซึ่งคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 1 มิติ (เท่ากับ 4×10^7 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ที่ระยะทางในแนวแกน x น้อยกว่า 200 กิโลเมตร และ 4×10^7 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ที่ระยะทางในแนวแกน x มากกว่า 200 กิโลเมตร

Moore and Santschi (1986) วัดปริมาณเรเดียมจากน้ำทะเลในที่ตั้งของมหาสมุทรอินเดีย โดยเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก ซึ่งเตรียมตามวิธีของ Moore (1969) และ Moore (1976) เพื่อดูดซับเรเดียมจากน้ำทะเลประมาณ 30 ลิตร พบปริมาณเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 20.8 - 33.0 dpm/100 กิโลกรัมของน้ำทะเล และปริมาณของเรเดียม-228 อยู่ในช่วง 0.41 - 4.66 dpm/100 กิโลกรัมของน้ำทะเล โดยที่ปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 จะเพิ่มมากขึ้น เมื่อสัมผัสตะกอน นอกจากนี้ปริมาณเรเดียม-228 ยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปเป็นในลักษณะเดียวกัน กับซีลิกอน เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนน้อยมาก (ประมาณ 0.1 dpm/100 กิโลกรัม fibers) และมีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมประมาณ ร้อยละ 70 - 90

Rhein *et al.*, (1987) ได้ทำการศึกษาปริมาณเรเดียม-226 ในบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือ ของมหาสมุทรแอตแลนติก โดยทำการวิเคราะห์น้ำทะเลในที่ตั้งตั้งแต่ 3400 - 4700 เมตรจำนวน น้ำทั้งสิ้น 10 สถานี พบปริมาณเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 16.4 - 22.5 dpm/100 กิโลกรัมของ น้ำทะเลโดยที่ ปริมาณเรเดียม-226 จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อสัมผัสตะกอน นอกจากนี้ปริมาณ เรเดียม-226 ยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปเป็นในลักษณะเดียวกันกับซีลิกอน

Srisuksawad *et al.*, (1997) ได้ทำการศึกษาปริมาณสารกัมมันตรังสีจากตะกอนดินในอ่าว ไทยในช่วงฤดูร้อนในปี 1995 จากการศึกษาพบว่าปริมาณ ทอเรียม-230 (Th-230) 2.80 dpm/g ในตะกอนดินบริเวณบางปะกงเอสบูรี ซึ่งเรเดียม-226 เกิดจากการสลายตัวของทอเรียมที่อยู่ในดิน และแร่ลามธรรมชาติ โดยปกติทอเรียม-230 จะปะปนอยู่ในตะกอนที่อยู่ในน้ำทะเลและจะไม่

ละลายน้ำ แต่เมื่อสลายตัวเป็นเรเดียม-226 แล้วจะละลายน้ำได้ดี และยังพบว่าในบริเวณที่มีปริมาณตะกอนของทอริยม-230 มากก็จะพบว่าความเข้มข้นของเรเดียม-226 มากตามไปด้วย โดยทอริยม-230 สามารถสลายตัวให้เรเดียม-226 ได้ร้อยละ 4.69 และเรเดียม-226 ที่ได้สลายตัวมาจากการสลายตัวของทอริยม-230 สามารถละลายน้ำได้ร้อยละ 6 (ฟูเกียร์ลี ตีนาคม และคณะ 2531 อ้างถึง Cochran, 1980)

ขนิษฐา กมลรัตน์ (2523) ได้พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำจืดตามธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วมของเรเดียมและแบเรียมในรูปของสารประกอบซัลเฟต โดยใช้ EDTA เพื่อป้องกันการตกตะกอนของสารประกอบแคลเซียมซัลเฟต และเลือก pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอน หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนรูปตะกอนเรเดียมให้อยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอเนต เพื่อให้เรเดียม-226 บริสุทธิ์โดยการสกัดด้วยสารละลาย Thenoyl Trifluoro Acetone : Benzene : 1 : 10 w/v (TTA) แล้วจึงตกตะกอนให้กลับอยู่ในรูปของสารประกอบซัลเฟตอีกครั้ง เพื่อวัดปริมาณรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 หลังจากปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 3 สัปดาห์ เพื่อให้เรเดียม-226 อยู่ในสภาวะสมดุลกับนิวไคลด์ลูก (daughter products) แล้วพบว่าสามารถวัดรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ได้สูงขึ้นถึง 4 เท่า การวิเคราะห์วิธีนี้ใช้แบเรียม-133 (Ba-133) เป็นสารติดตามเพื่อหาค่า chemical yield วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการวัดปริมาณเรเดียม-226 นอกจากนี้การวิเคราะห์ก็ไม่ยุ่งยากหรือต้องใช้เครื่องมือที่เฉพาะ ทำให้มีความเหมาะสมในการใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่มีจำนวนมากได้ดี โดยมีขีดจำกัดของการวัดปริมาณรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ตามวิธีกรรมนี้เป็น 0.044 dpm ซึ่งการนับปริมาณรังสีจะไม่ถูกรบกวนโดยการดูดกลืนปริมาณรังสีในตัวเอง เมื่อตะกอนมีความหนาในช่วง 0.222 - 0.7205 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

บุญสม พรเทพเกษมตันต์ (2525) ทำการวัดปริมาณรังสีรวมแอลฟา และปริมาณของเรเดียม-226 จากน้ำจืดทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ซึ่งพัฒนาโดยขนิษฐา กมลรัตน์ (2523) นอกจากนี้ยังเพิ่มวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์โดยการกรองเอาสารแขวนลอยออกจากตัวอย่างน้ำที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ และทำการลดปริมาตรโดยการระเหย เพื่อให้ปริมาณเรเดียมในน้ำตัวอย่างเข้มข้นขึ้นก่อนนำมาตกตะกอน ผลการศึกษาแสดงว่าในตัวอย่างน้ำซึ่งนำไปวัดปริมาณรังสีแอลฟารวมนั้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณเรเดียม-226 ในอัตราส่วน 25 ต่อ 1 ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพิจารณาปริมาณของเรเดียม-226 ซึ่งอยู่ในน้ำตัวอย่าง อย่างไรก็ตามวิธีที่สัดส่วนที่แสดงนี้ยังไม่มีความแน่นอนที่จะนำมาใช้ได้จริง เนื่องจากมีบางตัวอย่างซึ่งวัดปริมาณรังสีแอลฟารวมได้มาก แต่ไม่มีปริมาณเรเดียม-226 อยู่เลย ซึ่งอาจเกิดจากการรบกวนของสารตัวอื่นที่ให้อนุภาคแอลฟา ในทางกลับกันบางตัวอย่างมีปริมาณรังสีแอลฟารวม

น้อยมาก แต่สามารถวัดปริมาณเรเดียม-226 ได้มาก วิธีการวิเคราะห์นี้พบว่ามีความค่า chemical yield สูงถึงร้อยละ 94 - 98 โดยมีขีดจำกัดค่าสุดของการวัดรังสีอยู่ที่ 0.024 dpm/l และเมื่อตะกอนมีความหนา 2.444 - 4.752 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะให้ค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีมีค่าค่อนข้างคงที่ร้อยละ 13.549 - 12.611

ฟูเกียร์ติ สีนาคม และคณะ (2531) ได้ทำการศึกษากัมมันตรังสีรวมเบตา กัมมันตรังสีรวมแอลฟา และปริมาณเรเดียม-226 ของน้ำผิวดินในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2523 ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำผิวดินจำนวน 295 ตัวอย่าง จากแหล่งน้ำ 14 แหล่งน้ำทั่วประเทศ โดยกำหนดสถานีการเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำทั่วประเทศไว้แน่นอน สำหรับแต่ละบริเวณจะเก็บตัวอย่างเป็นประจำทุกเดือนสลับกันไปตามความเหมาะสม การเก็บตัวอย่างน้ำทำโดยการเก็บตัวอย่างน้ำ 4 - 9 ลิตร นำมาทำให้เข้มข้นโดยนำมากรองด้วยกระดาษกรองชนิด GFA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร จากนั้นนำน้ำที่รู้ปริมาตรแน่นอนน้ำไประเหยจนได้ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 โดยกรรมวิธีทางเคมี นำน้ำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาแยกเรเดียมออก ในรูปของสารประกอบซัลเฟต ใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วม แล้วทำให้บริสุทธิ์โดยเทคนิคการสกัด โดยใช้เบเรียม-133 เป็นตัวติดตาม จากการศึกษาพบว่าการกระจายของเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 0.02 - 0.90 pCi/l (0.044 - 1.998 dpm/l) โดยมีค่ามากที่สุดที่แม่น้ำบางปะกง บริเวณหน้าท่าการอำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี ค่าเฉลี่ยตลอดปีมีค่า 0.032 ± 0.004 pCi/l (0.0710 ± 0.0089 dpm/l) ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลกถึง 94 เท่า ในปี พ.ศ. 2524 ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ผิวดินจำนวน 119 ตัวอย่าง จากแหล่งน้ำ 23 แหล่ง พบว่าการกระจายของเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 0.01 - 0.40 pCi/l (0.222 - 0.888 dpm/l) ค่าเฉลี่ยตลอดปีมีค่า 0.025 ± 0.002 pCi/l (0.0555 ± 0.0044 dpm/l) ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลกถึง 120 เท่า โดยองค์การอนามัยโลกปี 1984 กำหนดว่าเรเดียม-226 ควรมีต่ำกว่า 3 pCi/l (6.66 dpm/l)

ปรัชญา ประเสริฐผล (2543) ทำการหาประสิทธิภาพของ MnO_2 acrylic fibers (MnO_2 AF) ในการ ดูดจับเรเดียม-226 โดยหาวิธีที่เหมาะสมในการเตรียม MnO_2 AF พบว่าการเตรียม MnO_2 AF โดยการต้มเส้นใยอะคริลิกในสารละลาย 6N $KMnO_4$ ประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำ De-ionized แล้วจึงนำไปต้มใน 0.5 N $KMnO_4$ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสประมาณ 1 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำ De-ionized แล้วนำไปทำให้ฟูแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการดูดจับเรเดียม-226 ร้อยละ 94.8 และได้ทำการหาค่าพิกัดที่เหมาะสมของ MnO_2 AF ที่ใช้ในการจับเรเดียม-226 โดยนำ MnO_2 AF โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำเป็น 250 มิลลิลิตรต่อนาที จากการทดลองพบว่าน้ำหนัก

MnO₂ AF อย่างน้อย 5 กรัม สามารถดูดซับเรเดียม-226 ได้ร้อยละ 99.9 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Moor and Reid (1973) ที่รายงานไว้ว่า MnO₂ AF 5 กรัมสามารถดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำตัวอย่างได้มากกว่าร้อยละ 95 และทำการทดลองหาอัตราการไหลที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ที่เหมาะสมที่ MnO₂ AF จะสามารถดูดซับได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 250 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพมากที่สุดถึงร้อยละ 100 ส่วนที่อัตราการไหลของน้ำ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 93 และพบว่าอัตราการไหลของน้ำที่ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีความเหมาะสมต่อการปฏิบัติงานจริงในภาคสนามมากกว่า เนื่องจากที่อัตราการไหล 250 มิลลิลิตรต่อนาที ถึงจะมีประสิทธิภาพดีกว่าแต่มีข้อจำกัดในด้านของเวลา เมื่อปฏิบัติงานจริงในภาคสนามซึ่งมีเวลาในการเก็บตัวอย่างค่อนข้างจำกัด

เผชิญโชค จินตเศรษฐี (2541) หาปริมาณเรเดียม-226 จากน้ำทะเลชั้นล่างบริเวณอ่าวไทย โดยเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 59 ตัวอย่างทั่วอ่าวไทย โดยใช้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ในลอน (MnO₂ nylon fibers) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ประมาณ 50 ± 2 กรัม โดยเก็บตัวอย่างน้ำชั้นล่างของอ่าวไทยจากระดับความลึกประมาณ 5 เมตรเหนือพื้นทะเลใส่ถังพลาสติกประมาณ 800 ลิตร แล้วปล่อยให้ตัวอย่างน้ำที่เก็บในถังไหลผ่านท่อ PVC ที่บรรจุ MnO₂ nylon fibers 50 กรัม โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำเป็น 5 ลิตรต่อนาที หลังจากนั้นนำ MnO₂ nylon fibers ที่ได้ดูดซับเรเดียม-226 แล้วใส่ถังพลาสติกที่ปิดสนิท แล้วนำไปวิเคราะห์เรเดียม-226 โดยวิธีการสกัดกะกอนร่วมกับแบเรียมตามวิธีการของ ขนิษฐ กมลรัตน์ (2523) แล้วทำการวัดปริมาณโดยเครื่องนับรังสีชนิด Proportional Counter พบว่า MnO₂ nylon fibers ที่ใช้มีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียม-226 คิดเป็นร้อยละ 52.9 และมวลน้ำชั้นล่างของอ่าวไทย มีปริมาณเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 1.088 - 12.265 dpm/l

เผชิญโชค จินตเศรษฐี (2543) ได้พัฒนาการใช้สารติดตามเพื่อศึกษาการกระจายของสารปริมาณน้อยบริเวณบางปะกงออสบุรี โดยหาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อเตรียม MnO₂ AF ที่มีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับเรเดียม-226 พบว่าการเตรียม MnO₂ AF โดยการต้มเส้นใยอะคริลิกในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานีส ความเข้มข้น 3 โมล (3 M KMnO₄) ประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำ De-ionized แล้วจึงนำไปต้มใน 0.5 N KMnO₄ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสประมาณ 1 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำ DDW แล้วนำไปทำให้ฟูแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียม-226 ร้อยละ 94.77 ได้ทำการหาค่าหนักที่เหมาะสมของ MnO₂ AF ที่ใช้ในการจับเรเดียม-226 โดยนำ MnO₂ AF โดยควบคุม

อัตราการไหลของน้ำเป็น 250 มิลลิลิตรต่อนาที จากการทดลองพบว่าน้ำหนัก MnO_2 AF อย่างน้อย 5 กรัม สามารถดูดซับเรเดียม-226 ได้ร้อยละ 99.95 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปรัชญา ประเสริฐผล (2543) ที่รายงานว่า MnO_2 AF อย่างน้อย 5 กรัมสามารถดูดซับเรเดียม-226 ได้ร้อยละ 99.9 และได้ทำการทดลองหาอัตราการไหลที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐาน เรเดียม-226 ที่ MnO_2 AF จะสามารถดูดซับได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 250 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพมากที่สุดถึงร้อยละ 99.97 ส่วนที่อัตราการไหลของน้ำ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 93.32 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของปรัชญา ประเสริฐผล (2543) ที่รายงานว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 250 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพมากที่สุดถึงร้อยละ 100 ส่วนที่อัตราการไหลของน้ำ 500 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพในการดูดซับร้อยละ 93 เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีค่าเบี่ยงล่งน้อยมาก และได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลจากบริเวณบางปะกงเอสทูรีจำนวน 6 ตัวอย่าง ปริมาตร 4 ลิตร และ 10 ลิตร ตามลำดับ แล้วกรองผ่าน MnO_2 AFหนัก 5 กรัม โดยควบคุมอัตราการกรองเป็น 250 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าปริมาณเรเดียม-226 ที่ละลายอยู่ในตัวอย่างน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.366 ± 0.06 ถึง 3.020 ± 0.16 dpm/l

บทที่ 3

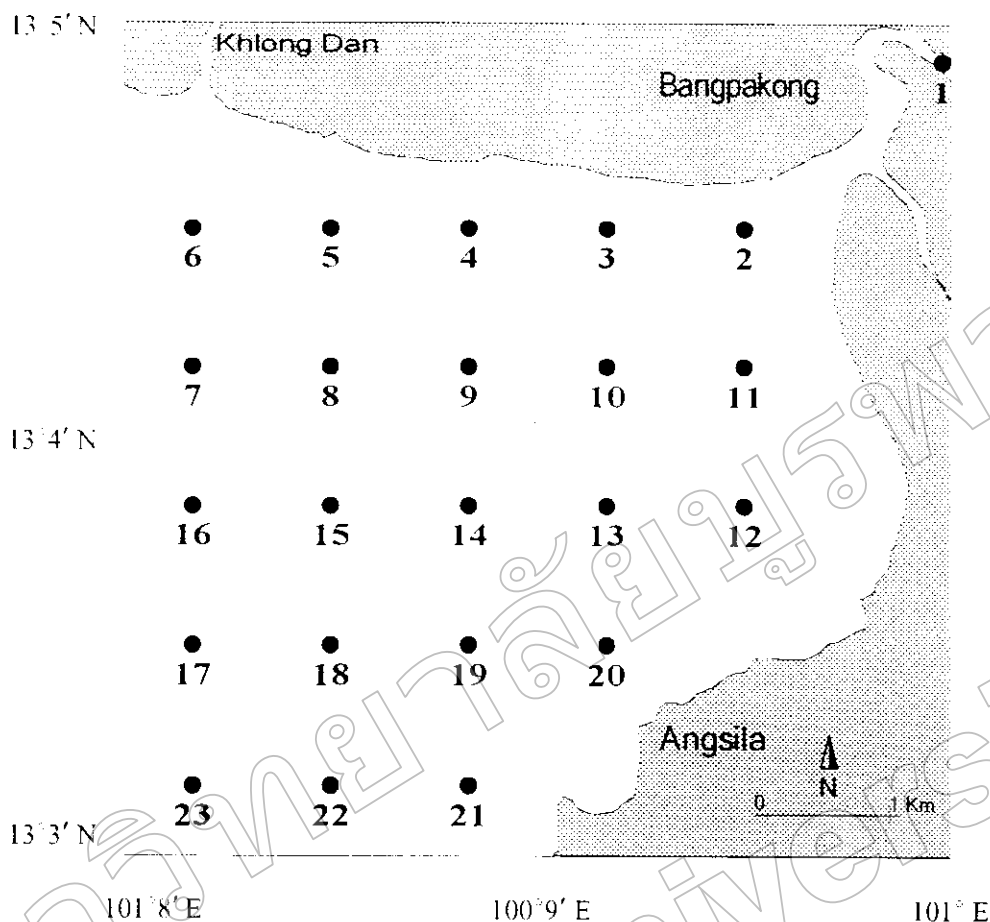
วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาคือบริเวณบางปะกงเอสทรี โดยกำหนดสถานีเก็บตัวอย่างจำนวน 23 สถานี (ตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.1) เนื่องจากการศึกษาครอบคลุมทั้งปี ดังนั้นการกำหนดสถานีจึงเป็นแบบตรึง (fix station) โดยใช้เครื่องตรวจวัดพิกัดบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม (Global Position System ; GPS) ช่วยในการตรวจสอบพื้นที่ในการปฏิบัติการแต่ละครั้ง

ตารางที่ 3.1 พิกัดของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ เรเดียม-226 บริเวณบางปะกง เอสทรี

สถานีที่	ละติจูด	ลองจิจูด	สถานีที่	ละติจูด	ลองจิจูด
1	13°29'23.0" N	100°59'53.0" E	13	13°23' N	100°55' E
2	13°27' N	100°57' E	14	13°23' N	100°53' E
3	13°27' N	100°55' E	15	13°23' N	100°51' E
4	13°27' N	100°53' E	16	13°23' N	100°49' E
5	13°27' N	100°51' E	17	13°21' N	100°49' E
6	13°27' N	100°49' E	18	13°21' N	100°51' E
7	13°25' N	100°49' E	19	13°21' N	100°53' E
8	13°25' N	100°51' E	20	13°21' N	100°55' E
9	13°25' N	100°53' E	21	13°19' N	100°53' E
10	13°25' N	100°55' E	22	13°19' N	100°51' E
11	13°25' N	100°57' E	23	13°19' N	100°49' E
12	13°23' N	100°57' E			



ภาพที่ 3.1 ตำแหน่งของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงเอสทรี

ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างทั้งสิ้น 4 ครั้งในรอบปี คือช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นตะวันตกเฉียงใต้ในวันที่ 5 และ 7 เมษายน 2545 ช่วงฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในวันที่ 15-16 มิถุนายน 2545 ช่วงเปลี่ยนฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เป็นตะวันออกเฉียงเหนือในวันที่ 14 - 15 กันยายน 2545 และช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในวันที่ 13-14 ธันวาคม 2545

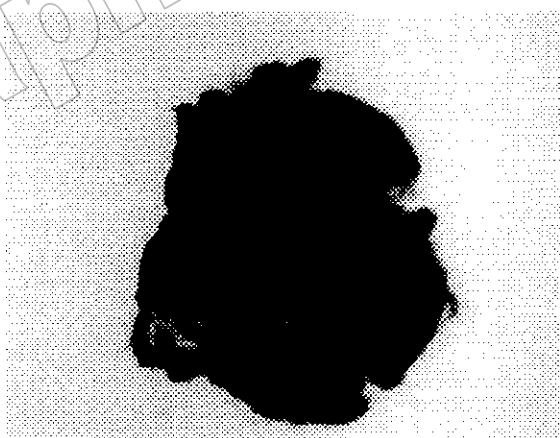
วิธีเก็บตัวอย่างน้ำทะเล

โดยการตักน้ำบริเวณผิวหน้าน้ำในสถานีเก็บตัวอย่าง จำนวน 20 ลิตรใส่ในถังเก็บตัวอย่างน้ำ (ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร) จากนั้นปล่อยให้ตัวอย่างน้ำถึงเก็บตัวอย่างน้ำไหลผ่านชุดกรอง (ท่อพลาสติก PVC ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ½ นิ้ว ยาว 20 เซนติเมตร) (ภาพที่ 3.2) ที่บรรจุสัณนิเมงกานีสออกไซด์อะคริลิก ($MnO_2 \cdot AF$) (ภาพที่ 3.3) หนักประมาณ 2.5 กรัม ที่ได้จากการเตรียมของ เชนจูโซค จินลเศรณี (2543) (ภาคผนวก) ซึ่งคั่งอยู่กับถังเก็บตัวอย่างน้ำด้วยอัตรา

การไหล 0.5 ลิตรต่อนาที (ภาพที่ 3.4) หลังจากนั้นจึงนำเส้นใย MnO_2AF ที่ผ่านการกรองแล้ว ไปวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ในห้องปฏิบัติการ ตามวิธีการของ เผล็ญโซค จินตสรณี (2543) (ภาคผนวก) และวัดปริมาณเรเดียม-226 ด้วยเครื่องวัดรังสีชนิด Proportional Counter ยี่ห้อ Berthold รุ่น LB770 (10 channel Low-Level counter)



ภาพที่ 3.2 ชุดกรองที่บรรจุเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก (MnO_2AF) หนักประมาณ 2.5 กรัม

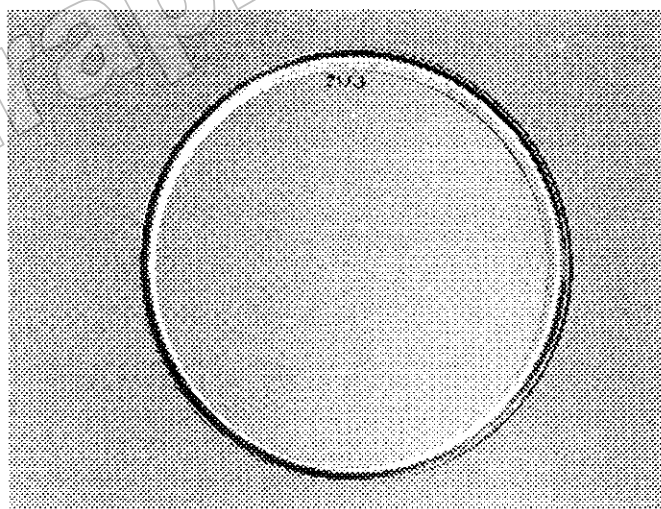


ภาพที่ 3.3 เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก (MnO_2AF)

นำสารละลายที่ได้ผสมกับ 10% EDTA 20 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการตกตะกอนของ แคลเซียม แล้วตกตะกอนเรเดียม-แบเรียมในรูปของสารประกอบ $Ba(Ra)SO_4$ ซึ่งทำได้โดยการปรับ pH ของสารละลายเป็น 4.6 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH solution) และเติม สารละลาย 50% w/v ของ $(NH_4)_2SO_4$ 2 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถ่ายตะกอนที่ได้ลงสู่หลอดหมุนเหวี่ยง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที

ล้างตะกอนซึ่งก็อยู่บนหลอดหมุนเหวี่ยง โดยการเติมน้ำ De-ionized จากนั้นเติม 3N Na_2CO_3 25 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 10 นาทีเพื่อให้เกิดตะกอนของสารประกอบเรเดียม-แบเรียม คาร์บอเนต ($Ba(Ra)CO_3$) ซึ่งจะถูกเก็บหลังจากการปั่นตกตะกอน หลังจากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) 1 มิลลิลิตร เพื่อละลายตะกอนแล้วทำให้สารละลายเป็นกลางโดยเติมสารละลายบัฟเฟอร์ (ammonium acetate buffer) pH 4.6 จำนวน 25 มิลลิลิตร แล้วย้ายสารละลายลงสู่กรวยแยก

สารละลายเรเดียม-แบเรียมที่ได้จากขั้นตอนข้างบนถูกทำให้บริสุทธิ์โดยใช้สารละลาย Thenoyl Trifluoro Acetone : Benzene ; 1 : 10 w/v (TTA) 5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นตกตะกอนเรเดียมที่อยู่ในรูปของเรเดียม-แบเรียมอีกครั้ง โดยใช้สารละลาย 2 N H_2SO_4 1 มิลลิลิตร ตะกอนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปกรองผ่านด้วยกระดาษกรอง cellulose nitrite ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ซึ่งตะกอนที่ตกอยู่บนกระดาษกรอง (ภาพที่ 3.5) นำไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นทำให้แห้งทิ้งไว้ประมาณ 4 สัปดาห์ เพื่อให้เรเดียม-226 สมดุลกับนิวไคลด์ลูก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักตะกอนที่แน่นอนแล้วจึงทำการวัด อนุภาคแอลฟาของเรเดียม-226 โดยใช้เครื่องนับรังสีชนิด proportional counter



ภาพที่ 3.5 ตะกอน $Ba(Ra)SO_4$ ที่ได้หลังจากเก็บไว้แห้งแล้ว 4 สัปดาห์

ค่า Blank จากการทดลอง

ตามวิธีการของ เผชญูโชค จินตเศรษฐี (2543) (ภาคผนวก) ค่า Blank ที่ได้จากการเตรียมเส้นใย $MnO_2 \cdot AF$ มีค่าน้อยกว่ามาก ซึ่งค่า Blank นั้นแทบไม่มีความสำคัญจนอาจตัดทิ้งได้

การคำนวณเรเดียม-226 (เผชญูโชค จินตเศรษฐี, 2543)

$$Sam(dpm) = \left[\frac{Sam(cpm)}{Ef \times Ed \times C \times S} \right] \times \left[\frac{Ef \times Ed \times C \times S}{Std(cpm)} \right] \times Std(dpm) \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดยที่

$Sam(dpm)$ คือ activity ของ Ra-226 ในตัวอย่าง มีหน่วยเป็น dpm

$Std(dpm)$ คือ activity ของ Ra-226 ในสารมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 44.35 dpm

$Std(cpm)$ คือ activity ของ Ra-226 ในสารมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 10.94 cpm

$Sam(cpm)$ คือ activity ของ Ra-226 ซึ่งได้จากการวัดปริมาณรังสีในหน่วย cpm

S ประสิทธิภาพในการวัดรังสีเนื่องจากการดูดกลืนรังสีในตัวเอง (Self Absorption) มีค่าขึ้นอยู่กับความหนาของตะกอน $Ba(Ra)SO_4$ ในงานนับรังสี (mg/cm^2) โดยถ้าตะกอนมีความหนามากจะมีผลให้เครื่องมือนับรังสีมีประสิทธิภาพในการนับรังสีน้อยลง คำนวณได้ตามสมการ

$$S = 0.2883 \times T^{0.6105} \quad \dots\dots\dots(2)$$

C คือค่า Chemical yield ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกประสิทธิภาพของวิธีการที่ใช้วิเคราะห์

คำนวณค่าเคมีคัล ยิลด์ (chemical yield) ได้จาก

$$C = w/33.9893 \quad \dots\dots\dots(3)$$

Ed ประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสี (Efficiency of detector) คำนวณได้จาก

$$Ed = \frac{cpm}{dpm} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมของ $MnO_2 \cdot AF$ (Ef) และอัตราการปลดปล่อยอนุภาคของเรเดียม-226 ของสารมาตรฐานซึ่งรวมค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียม เป็นไปตามสมการ

$$Ef = \left(\frac{sam_{cpm} - bg_{cpm}}{S_{sam} \times C_{sam}} \right) \times \left(\frac{S_{std} \times C_{std}}{std_{cpm} - bg_{cpm}} \right) \times \left(\frac{std_{dpm}}{sam_{dpm}} \right) \dots\dots\dots(5)$$

ความแรงรังสีของแบบลงค์ของ MnO_2AF สามารถถูกคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับความแรงรังสีของสารมาตรฐานของเรเดียม-226 ได้โดยสมการ

$$BF_{dpm} = \left(\frac{BF_{cpm} - bg_{cpm}}{S_B \times C_B} \right) \times \left(\frac{S_{std} \times C_{std}}{std_{cpm} - bg_{cpm}} \right) \times std_{dpm} \dots\dots\dots(6)$$

ความแรงรังสีของแบบลงค์ของน้ำ De-ionized ที่ใช้ในการเตรียมสารเคมีในการวิเคราะห์ของเรเดียม-226 สามารถคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับความแรงรังสีของสารมาตรฐานเรเดียม-226 ได้โดยสมการ

$$BW_{dpm} = \left(\frac{BW_{cpm} - bg_{cpm}}{S_w \times C_w} \right) \times \left(\frac{S_{std} \times C_{std}}{std_{cpm} - bg_{cpm}} \right) \times std_{dpm} \dots\dots\dots(7)$$

ความแรงรังสีของตัวอย่าง สามารถคำนวณได้โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเรเดียม-226 ตามสมการ

$$sam_{dpm} = \left(\frac{sam_{cpm} - bg_{cpm}}{S_{sam} \times C_{sam}} \right) \times \left(\frac{S_{std} \times C_{std}}{std_{cpm} - bg_{cpm}} \right) \times std_{dpm} \dots\dots\dots(8)$$

อัตราการปล่อยอนุภาคของเรเดียม-226 (dpm) สุทธิในตัวอย่าง คำนวณได้โดยการหักลบค่าแบบลงค์ของ MnO_2AF และน้ำ De-ionized ตามสมการ

$$Ra - 226_{dpm} = sam_{dpm} - BF_{dpm} - BW_{dpm} \dots\dots\dots(9)$$

อัตราการปลดปล่อยอนุภาคของเรเดียม-226 (dpm/l) สุทธิต่อลิตร คำนวณได้จาก

$$Ra - 226_{dpm/l} = \frac{Ra - 226_{dpm}}{Volume(l)} \dots\dots\dots(10)$$

บทที่ 4

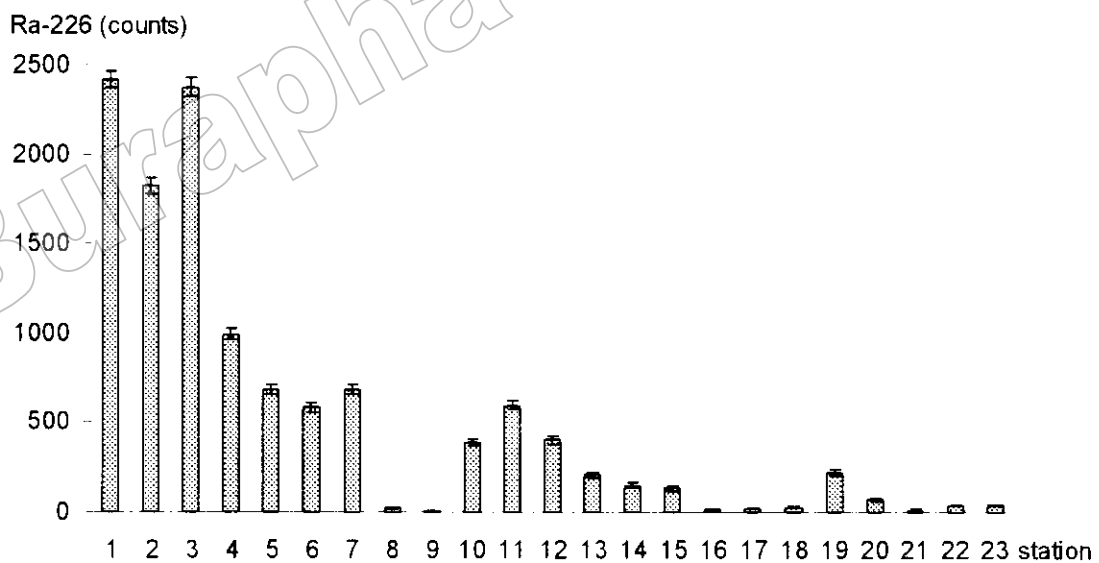
ผลการศึกษา

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาปริมาณเรเดียม-226 และความเค็มพื้นทะเลบริเวณบางปะกง
เอสทูรีในปี 2545 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง 4.3

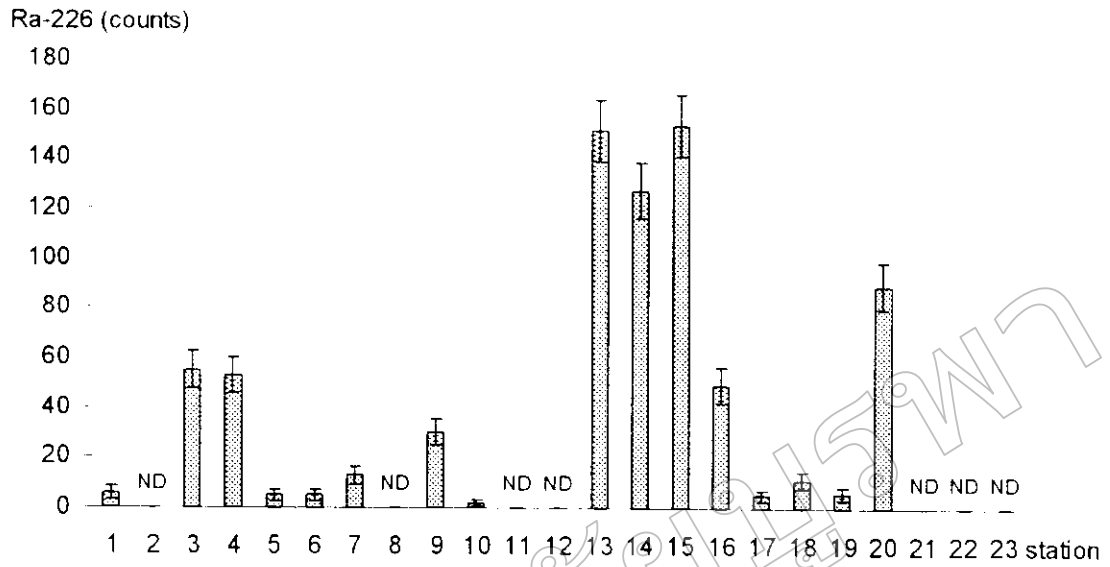
ตารางที่ 4.1 พิสัยของปริมาณเรเดียม-226 บริเวณผิวน้ำ เดือนเมษายน - ธันวาคม 2545

เดือน	เรเดียม-226 (count)	
	Min	Max
เมษายน	10	2418
มิถุนายน	ND	153
กันยายน	ND	40
ธันวาคม	ND	40

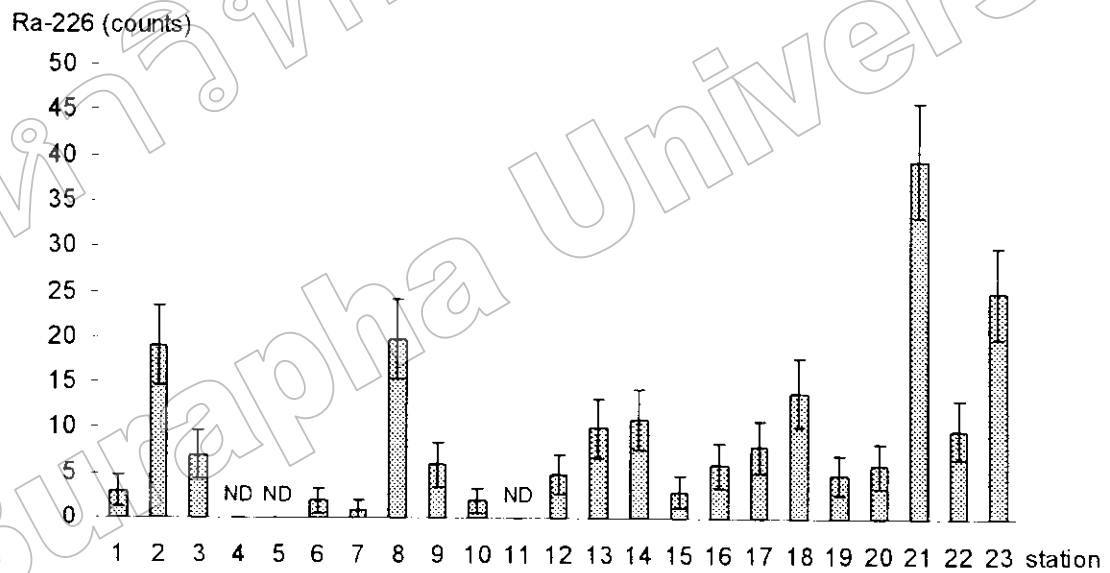
หมายเหตุ : ND = Non Detected



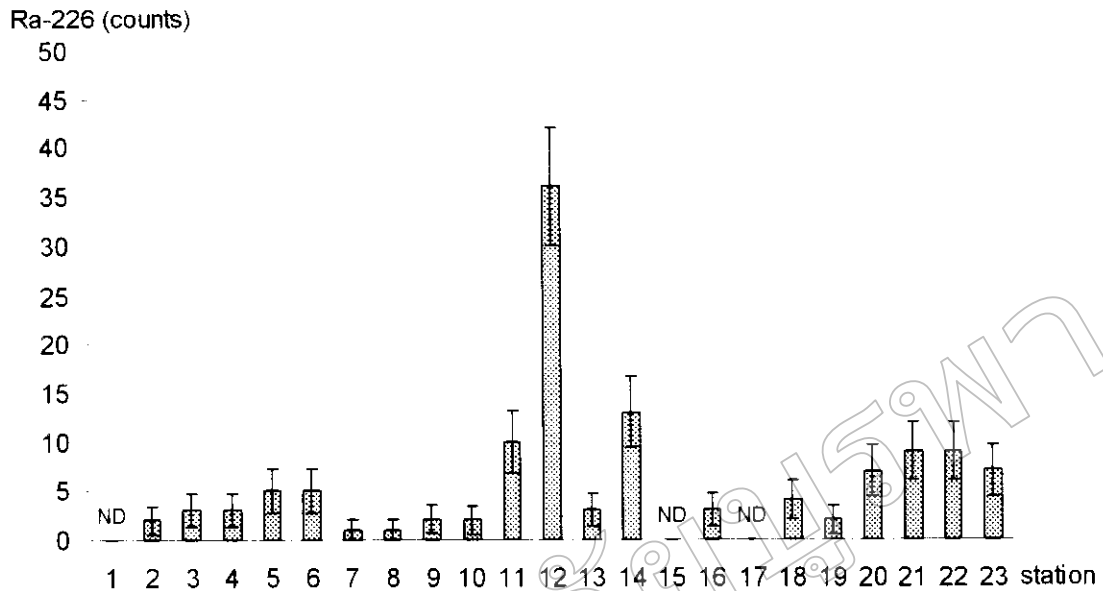
ภาพที่ 4.1 ปริมาณเรเดียม-226 (counts) ที่ผิวน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนเมษายน 2545
ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 4.2 ปริมาณเรเดียม-226 (counts) ที่คิวน้ำบริเวณบางปะกงเอสทรีในเดือนมิถุนายน 2545
ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง



ภาพที่ 4.3 ปริมาณเรเดียม-226 (counts) ที่คิวน้ำบริเวณบางปะกงเอสทรีในเดือนกันยายน 2545
ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง



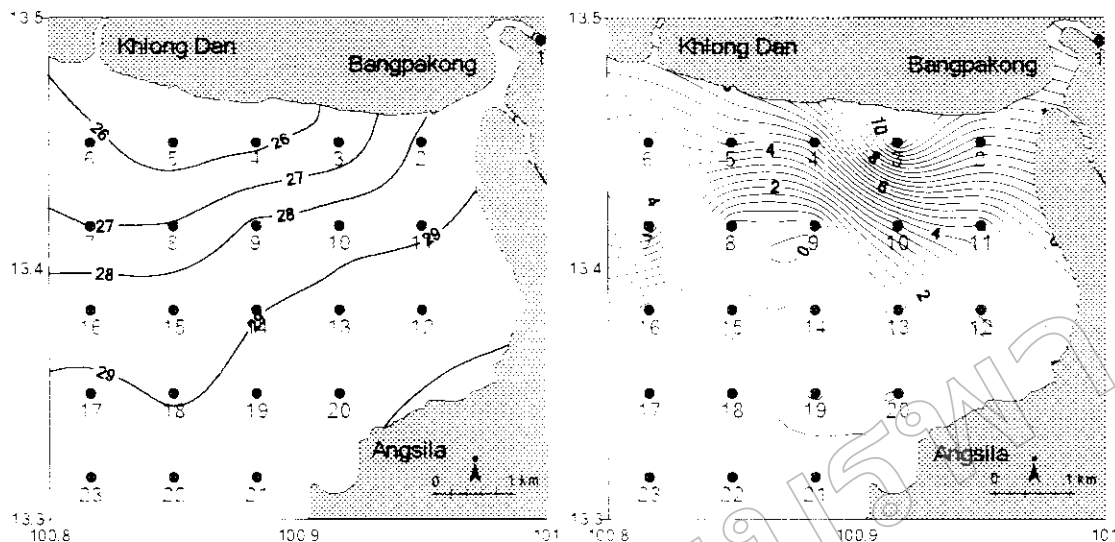
ภาพที่ 4.4 ปริมาณเรเดียม-226 (counts) ที่ผิวน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนธันวาคม 2545 ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 พิสัยของความเข้มข้นของเรเดียม-226 (dpm/l) บริเวณผิวน้ำเดือนเมษายน - ธันวาคม 2545 ทำการคำนวณได้ตามสมการ 1 - 10

เดือน	เรเดียม-226 (dpm/l)	
	Min	Max
เมษายน	0.06	12.71
มิถุนายน	0.00	0.73
กันยายน	0.00	0.29
ธันวาคม	0.00	0.27

ตารางที่ 4.3 พิสัยของความเค็ม (psu) บริเวณผิวน้ำ เดือนเมษายน - ธันวาคม 2545

เดือน	ความเค็ม (psu)	
	Min	Max
เมษายน	25.43	29.88
มิถุนายน	6.80	27.86
กันยายน	0.02	18.95
ธันวาคม	20.92	32.60



ภาพที่ 4.5 การกระจายความเค็ม (psu) (ซ้าย) และการกระจายเรเดียม-226 (dpm/l) (ขวา) ที่พื้นน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนเมษายน 2545 (จุดวงกลมแสดงสถานีเก็บตัวอย่างทั้งหมด)

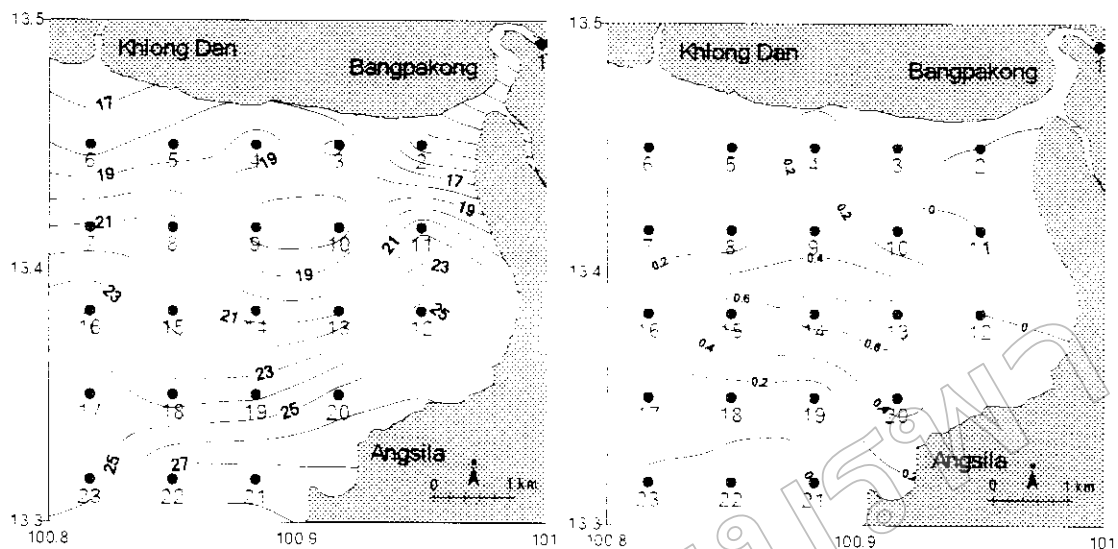
เมื่อนำข้อมูลความเค็มที่ได้จากการศึกษามาแสดงผลในรูปแบบการกระจาย (contour line) ในเดือนเมษายนพบว่า การกระจายของความเค็มมีค่ามากขึ้นเมื่อออกห่างจากบริเวณคลองด่าน แสดงให้เห็นว่ามีน้ำจืดไหลลงมาจากบริเวณคลองด่าน มาผสมกับน้ำจืดปริมาณน้อยไหลลงมาจากแม่น้ำบางปะกงลงสู่เอสทูรี เมื่อพิจารณาการกระจายของเรเดียม-226 ที่ได้จากการศึกษาพบว่ามีความแตกต่างกับลักษณะการกระจายของความเค็ม โดยแม่น้ำบางปะกงกลับนำเรเดียม-226 ลงสู่บางปะกงเอสทูรีมากกว่าบริเวณคลองด่าน และพบปริมาณเรเดียม-226 มากในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำบางปะกง (12.71 dpm/l) และมากกว่าในช่วงเวลาอื่นของการศึกษา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเป็นช่วงน้ำลง จึงทำให้บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างค่อนข้างตื้น เรเดียม-226 ที่ได้ อาจเกิดจากจากการไหลลงมาจากแม่น้ำบางปะกงและการละลายกลับจากตะกอนของทอเรียม-230 ในพื้นที่ท้องน้ำจากบริเวณปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่ง Srisuksawad *et al.*, (1997) ได้รายงานว่าในช่วงฤดูร้อนในปี 1995 พบปริมาณทอเรียม-230 ในตะกอนดินบริเวณบางปะกงเอสทูรี 2.80 dpm/g เมื่อพิจารณาค่าครึ่งชีวิตและอัตราการสลายตัวของ เทียบกับเรเดียม-226 แล้วพบว่า ทอเรียม-230 สามารถสลายเป็นเรเดียม-226 ได้ร้อยละ 4.69 และเรเดียม-226 ที่เกิดจากตะกอนให้พื้นที่ท้องน้ำสามารถสลายน้ำได้ร้อยละ 6 (ฟูเกียร์ติ สีนาคม และคณะ 2531 อ้างถึง Cochran, 1980) ซึ่งส่งผลให้พบปริมาณเรเดียม-226 บริเวณสถานีที่ 1, 2 และ 3 มากกว่าปกติ

๑๖

๑๑๓๘๐

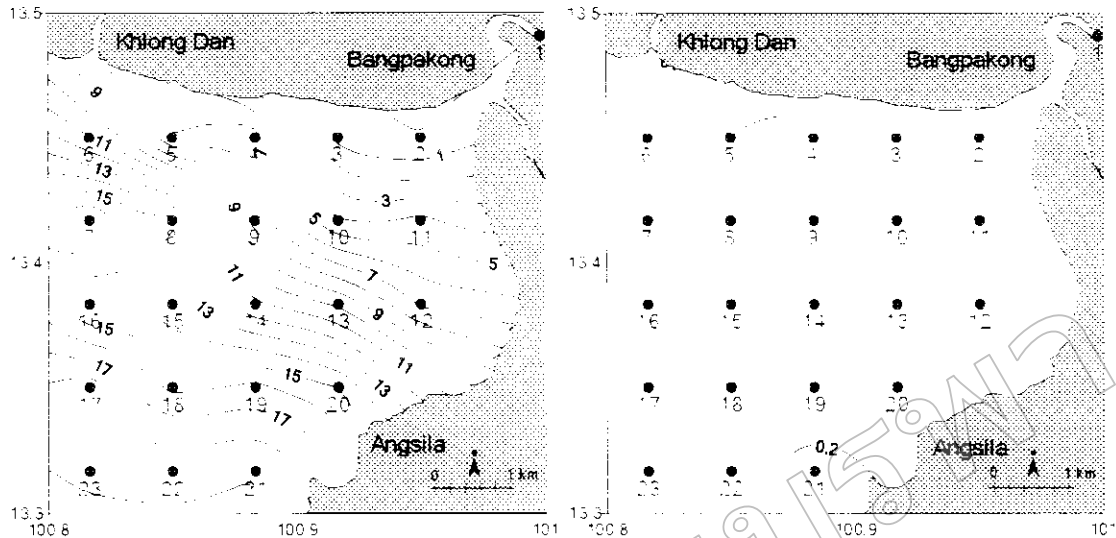
๒๕๔๕

0819



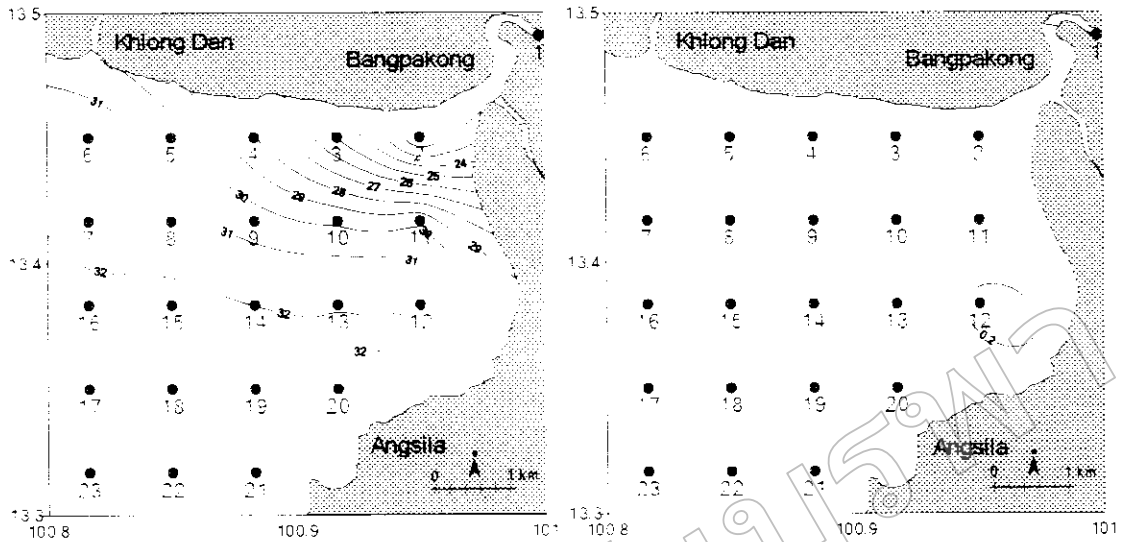
ภาพที่ 4.6 การกระจายของความเค็ม (psu) (ซ้าย) และการกระจายของเรเดียม-226 (dpm/l) (ขวา) ที่ผิวน้ำ บริเวณบางปะกงออสทูรีในเดือนมิถุนายน 2545 (จุดวงกลมแสดงสถานีเก็บตัวอย่างทั้งหมด)

เมื่อนำข้อมูลการกระจายของความเค็มและการกระจายของเรเดียม-226 ที่ได้จากการศึกษา มาแสดงผลในรูปแบบการกระจาย (contour line) พบว่าในเดือนมิถุนายน 2545 (ภาพที่ 4.6) การกระจายของความเค็มในออสทูรีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อออกห่างจากปากแม่น้ำบางปะกง เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดซึ่งไหลลงมาจากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งมีการกระจายเพิ่มขึ้นของความเค็มไม่มากนัก โดยการกระจายความเค็มในเดือนนี้มีความแตกต่างกับการกระจายของปริมาณเรเดียม-226 คือพบการกระจายของเรเดียม-226 ออกจากตอนกลางของออสทูรีบริเวณหน้าชลบุรี ปริมาณเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากในเดือนนี้เป็นช่วงฤดูฝนจึงทำให้เรเดียม-226 ถูกนำมาโดยแม่น้ำแล้วมีการพัดพาและมีการการสะสมตัวห่างออกมาจากบริเวณปากแม่น้ำ แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การกระจายของเรเดียม-226 ในเดือนนี้แทบไม่แตกต่างกัน เนื่องจากพบปริมาณของเรเดียม-226 น้อยมาก (0 - 0.73 dpm/l)



ภาพที่ 4.7 การกระจายของความเค็ม (psu) (ซ้าย) และการกระจายของเรเดียม-226 (dpm/l) (ขวา) ที่ผิวน้ำ บริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนกันยายน 2545 (จุดวงกลมแสดงสถานีเก็บตัวอย่างทั้งหมด)

เมื่อนำข้อมูลการกระจายของความเค็มและการกระจายของเรเดียม-226 ที่ได้จากการศึกษา มาแสดงผลในรูปแบบการกระจาย (contour line) พบว่าในเดือนกันยายน 2545 (ภาพที่ 4.7) การกระจายความเค็มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อออกห่างจากปากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งมีการกระจายเพิ่มขึ้นของความเค็มมาก เนื่องจากในช่วงเดือนกันยายนนี้มีปริมาณน้ำที่ไหลออกมาจากแม่น้ำบางปะกงเป็นจำนวนมาก จึงทำให้น้ำในเอสทูรีบริเวณปากแม่น้ำบางปะกงมีความเค็มต่ำมากกว่าในช่วงอื่นของการศึกษา โดยพบว่า การกระจายความเค็มในเดือนนี้มีความแตกต่างกับการกระจายของปริมาณเรเดียม-226 คือพบการกระจายของเรเดียม-226 เพียงเล็กน้อยที่บริเวณหน้าคลองด่าน และบริเวณเขาสามมุขในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งปริมาณเรเดียม-226 ที่พบหน้าคลองด่านน่าจะเกิดจากการไหลออกมากับน้ำจากคลองด่านและการละลายจากตะกอนของทอริยม-230 และบริเวณเขาสามมุขอาจเกิดจากการละลายกลับจากตะกอนของทอริยม-230 จากพื้นท้องน้ำ ทำให้พบการกระจายของเรเดียม-226 ในบริเวณนี้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การกระจายของเรเดียม-226 ในเดือนนี้แทบไม่แตกต่างกัน เนื่องจากพบปริมาณของเรเดียม-226 น้อยมาก (0 - 0.29 dpm/l)



ภาพที่ 4.8 การกระจายของความเค็ม (psu) (ซ้าย) และการกระจายของเรเดียม-226 (dpm/l) (ขวา) ที่ผิวน้ำ บริเวณบางปะกงเอสทูรีในเดือนธันวาคม 2545 (จุดวงกลมแสดงสถานีเก็บตัวอย่างทั้งหมด)

เมื่อนำข้อมูลการกระจายของความเค็มและการกระจายของเรเดียม-226 ที่ได้จากการศึกษา มาแสดงผลในรูปแบบการกระจาย (contour line) พบว่าในเดือนธันวาคม 2545 (ภาพที่ 4.8) การกระจายของความเค็มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อออกห่างจากปากแม่น้ำมากขึ้นเนื่องมาจากได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดที่ไหลมาจากแม่น้ำบางปะกง ซึ่งในเดือนธันวาคมนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำจืดที่ไหลลงมาจากแม่น้ำบางปะกงน้อยกว่าในเดือนมิถุนายนและกันยายน 2545 โดยการกระจายความเค็มในเดือนนี้มีความแตกต่างกับการกระจายของปริมาณเรเดียม-226 ซึ่งพบการกระจายในปริมาณน้อยที่หน้าชลบุรี ซึ่งปริมาณเรเดียม-226 ที่พบอาจเนื่องมาจากการละลายกลับของ เรเดียม-226 จากตะกอนของทอเรียม-230 บริเวณหน้าชลบุรี แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การกระจายของเรเดียม-226 ในเดือนนี้แทบไม่แตกต่างกัน เนื่องจากพบปริมาณของเรเดียม-226 น้อยมาก (0 - 0.27 dpm/l)

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าปริมาณเรเดียม-226 ที่ผิวน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรีทั้งสิ้น 23 สถานี (ภาพที่ 3.1) เดือนเมษายนมีค่าอยู่ในพิสัย 0.06 -12.71 dpm/l เดือนมิถุนายน อยู่ในพิสัย 0 - 0.73 dpm/l เดือนกันยายน อยู่ในพิสัย 0 - 0.29 dpm/l เดือนธันวาคม อยู่ในพิสัย 0 - 0.27 dpm/l ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของผศ.ดร.จินตเสรณี (2543) ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลจากบริเวณบางปะกงเอสทูรีจำนวน 6 ตัวอย่าง พบปริมาณเรเดียม-226 ที่ละลายอยู่ในตัวอย่างน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.366 ± 0.06 ถึง 3.020 ± 0.16 dpm/l และสอดคล้องกับการศึกษาของฟูเกียรติ สีนาคม และคณะ (2531) ได้ทำการศึกษาปริมาณ เรเดียม-226 ของน้ำผิวดินในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2523 พบว่าการกระจายของเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 0.044 - 1.998 dpm/l ค่าเฉลี่ยตลอดปีมีค่า 0.0710 ± 0.0089 dpm/l และในปี พ.ศ. 2524 ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำผิวดินจำนวน 119 ตัวอย่าง จากแหล่งน้ำ 23 แหล่ง พบว่าการกระจายของเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 0 - 0.111 dpm/l ค่าเฉลี่ยตลอดปีมีค่า 0.0555 ± 0.0044 dpm/l

จากผลของการศึกษาพบว่า ในเดือนมิถุนายน กันยายนและธันวาคมมีปริมาณเรเดียม-226 น้อยกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่งซึ่งกำหนดให้เรเดียม-226 มีค่าน้อยกว่า 6 dpm/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) แต่ในเดือนเมษายน 2545 พบว่ามีปริมาณเรเดียม-226 มากกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อให้เกิดการสะสมของเรเดียม-226 ในร่างกายและอวัยวะของสิ่งมีชีวิตในบริเวณนี้

ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในเดือนเมษายน 2545 พบปริมาณเรเดียม-226 มากกว่าในช่วงอื่นมาก โดยเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำ (สถานีที่ 1-3) ทั้งนี้เนื่องจากอาจเกิดการละลายกลับของเรเดียม-226 จากตะกอนที่มีทอเรียม-230 จากพื้นที่ของน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรี โดย Srisuksawad *et al.*, (1997) ซึ่งได้ทำการศึกษาปริมาณสารกัมมันตรังสีจากตะกอนดินในอ่าวไทย พบว่าตะกอนดินบริเวณบางปะกงเอสทูรีในช่วงฤดูร้อนในปี 1995 มีปริมาณทอเรียม-230 (Th-230) 2.80 dpm/g และจากการศึกษาของฟูเกียรติ สีนาคม และคณะ (2531) อ้างถึง Cochran, (1980) พบว่าทอเรียม-230 สามารถสลายตัวให้เรเดียม-226 ได้ร้อยละ 4.69 และเรเดียม-226 ที่ได้มาจากการสลายตัวของทอเรียม-230 สามารถละลายน้ำได้ร้อยละ 6 และในช่วงเดือนเมษายนเป็นช่วงฤดูร้อนมีปริมาณน้ำไหลลงมาจากแม่น้ำปริมาณน้อย จึงมีปริมาณเรเดียม-226 มากกว่าในช่วงอื่น

โดยในเดือนมิถุนายน, กันยายนและธันวาคม 2545 พบว่ามีปริมาณเรเดียม-226 ในปริมาณน้อยและมีความแตกต่างกันน้อยมาก จึงทำให้การกระจายของเรเดียม-226 ของแต่ละเดือนในช่วงนี้แทบไม่มีความแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำงานเก็บน้ำตัวอย่าง ควรใช้เส้นใย MnO_2/AF ที่แห้งและฟู และควรบรรจุเส้นใย MnO_2/AF ในท่อพลาสติก PVC ไม่แน่นเกินไปเพราะจะทำให้การไหลของน้ำเป็นไปอย่างสะดวก
2. ในกระบวนการวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 หากมีน้ำหนักของตะกอนมากจะส่งผลให้ความหนาของตะกอน $Ba(Ra)SO_4$ ในจานนับรังสีมากขึ้นด้วย โดยถ้าตะกอนมีความหนามากจะมีผลให้เครื่องมือนับรังสีมีประสิทธิภาพในการนับรังสีน้อยลง

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2538. เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำในประเทศไทย.
กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. 175 หน้า.
- ขนิษฐา กมลรัตน์. 2523. การพัฒนาวิธีทางเคมีวิเคราะห์สำหรับการหาเรเดียม-226 โดยวิธีการตกตะกอน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาคศึกษานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 64 หน้า.
- บุญสม พรเทพเกษมสันต์. 2525. การศึกษาเบื้องต้นถึงความแรงรังสีรวมแอลฟาและปริมาณของ
เรเดียม-226 ในน้ำจืดของทุกภาคของประเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต
ภาคศึกษานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 84 หน้า.
- ปรัชญา ประเสริฐผล. 2543. ประสิทธิภาพของ MnO₂ acrylic fiber ในการดูดซับเรเดียม-226.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาคศึกษาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 28 หน้า.
- เชษฐโชค จินตสรณ์. 2541. ความเป็นไปได้ในการศึกษาการไหลเวียนของมวลน้ำชั้นล่างในอ่าวไทย
โดยใช้สารติดตามกัมมันตรังสีเรเดียม-226 ตามธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 71 หน้า.
- 2543. การพัฒนาการใช้สารติดตามเพื่อศึกษาการแพร่กระจายของสารปริมาณน้อย
บริเวณบางปะกงอ่าวสุรี. ภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 26 หน้า
- พิพัฒน์ สุภรณ์. 2544. สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งและสัมประสิทธิ์การกระจายในแนวราบของ
เอสซูรี บริเวณปากแม่น้ำบางปะกงในฤดูน้ำมากและฤดูน้ำน้อย. 45 หน้า.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาคศึกษาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ฟูเกียรติ สีนาคม, ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, บุญสม พรเทพเกษมสันต์, นันทนา สันติวุฒิ. 2531.
กัมมันตรังสีรวมเบตา กัมมันตรังสีรวมแอลฟา และปริมาณเรเดียม-226 ของน้ำผิวดินใน
ประเทศไทย. สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. 17 หน้า.
- อัปสรสุดา ศิริพงศ์. 2524. สมุทรศาสตร์ฟิสิกส์ของอ่าวสุรี. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 440 หน้า.

Moore, W.S. 1969. Oceanic concentration of ²²⁸Radium. Earth Planet. Sci. Lett. 437-446.

Moore, W.S. and D.F. Reid. 1973. Extraction of Radium from natural water using manganese-
impregnated acrylic fibers. J. Geophys. Res. 78:8880-8886.

Moore, W.S. 1976. Sampling Radium-228 in deep ocean. Deep Sea Reserch. 23:647-651.

Moore, W.S. and P.H. Santschi. 1986. Ra-228 in the deep Indian Ocean. Deep Sea Research. 33: 107-120.

Rhein, M., L. H. Chan., W. Rother. and P. Shlosser. 1987. ^{226}Ra and Ba in Northeast Atlantic Deep Water. Deep Sea Research. 34:1541-1564.

Srisuksawad, K., B. Pomtepkasemsan., S. Nouchpramool., P. Yamkate., R. Carpenter., M.L. Peterson. and T. Hamilton. 1997. Radionuclide activities, geochemistry and accumulation rate of sediments in Gulf of Thailand. Continental Shelf Research. 17:925-965.

Yamada, M. and Y. Nozaki. 1986. Radium isotopes in coastal and open ocean surface water of the Western North Pacific. Mar. Chem. 19:397-387.

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก

การเตรียมสารละลายมาตรฐานของเรเดียม

ในการคำนวณความแรงรังสีที่มีอยู่จริงในตัวอย่างนั้น เป็นการคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งเรเดียม-226 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนในตัวเอง และค่าเคมีคลิซิดด์ (Chemical yield) เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมสารมาตรฐานเรเดียม-226 นอกจากนี้ยังต้องลบค่าเบี่ยงเบนของเส้นไอโซคริติก และเบี่ยงเบนของน้ำกลั่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกไปด้วย จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้ มีขั้นตอนการเตรียมได้ดังนี้

ผสมสารละลายมาตรฐานซึ่งมีจำนวนการสลายตัวของอนุภาคแอลฟาทั้งหมด 22.18 dpm โดยเตรียมทั้งสิ้น 6 ตัวอย่าง โดยเติมเรเดียม-226 มาตรฐาน ลงในตัวอย่างปริมาตรดังนี้ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร ตามลำดับ ในหลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube) ที่บรรจุน้ำ De-ionized ปริมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายตัวพาแบเรียม (Ba^{2+} carrier) ซึ่งมีปริมาณแบเรียม 2 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปปรับค่า pH เป็น 4.6 แล้วนำไปเติมสารละลาย 50% w/v ของ $(NH_4)_2SO_4$ 2 มิลลิลิตร หลังจากทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีที่จะเกิดตะกอนสารประกอบแบเรียม(เรเดียม)ซัลเฟต ($Ba(Ra)SO_4$) แล้วจึงทำการแยกตะกอนออกจากสารละลายโดยการกรองผ่านกระดาษกรองขนาด 0.2 ไมครอน (cellulose nitrate) ที่รูน้าหนักแน่นอน แล้วนำไปวางบนจานนับรังสี (planchet disc) ทำให้แห้งเก็บไว้ในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่แน่นอน

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม (cpm)

เรเดียมและธาตุปริมาณน้อยอื่น ๆ จะถูกแยกออกจากเส้นไอแมงกานีสออกไซด์อะคริติกได้โดยใช้เทคนิคการสกัด ซึ่งหลังจากทำการแยกสารรบกวนและทำให้ Ra-226 ในสารตัวอย่างบริสุทธิ์แล้วเรเดียม-226 จะถูกตกตะกอนในรูปของสารประกอบซัลเฟต ($Ba(Ra)SO_4$) เพื่อวัดความแรงรังสีแอลฟา ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียมสามารถแยกได้เป็น

1. เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction technique)

ตัวอย่างจะถูกต้มใน 6 N HCl ปริมาตร 50 มิลลิลิตร โดยเติม Ba^{2+} carrier 1 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นสารติดตาม เพื่อสกัดเรเดียมไอโซโทปและธาตุปริมาณน้อยตัวอื่น ๆ ออกจาก MnO_2AF

จากนั้นตัวอย่างจะถูกรีดิวซ์ด้วย 50% H_2O_2 จำนวน 5 มิลลิลิตร จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีขาว แยกเส้นใยออกจากสารละลายแล้วกรองสารละลายที่ได้ผ่านกระดาษกรอง GF/A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 74 มิลลิเมตร เพื่อแยกอนุภาคแขวนลอยของเส้นใยอะคริลิกซึ่งตกค้างอยู่ในสารละลายออก เพื่อให้แน่ใจว่าจะคอนที่กีดขึ้นนั้นหลังจากผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้งหมดแล้วเป็นตะกอนของ $Ba(Ra)SO_4$ จากนั้นทำการปรับ pH ของสารละลายให้ได้ประมาณ 4.6 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (NH_4OH) หลังจากนั้นจึงนำสารละลายที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการตกตะกอนต่อไป

2. เทคนิคการตกตะกอนร่วม (co-precipitation technique)

ทำการผสมสารละลายตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 กับ 10% EDTA 20 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียม แล้วตกตะกอนเรเดียม-แบเรียมในรูปของสารประกอบ $Ba(Ra)SO_4$ ซึ่งทำได้โดยการปรับ pH ของสารละลายเป็น 4.6 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH solution) และเติมสารละลาย 50% w/v ของ $(NH_4)_2SO_4$ 2 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องก่อนถ่ายตะกอนที่ได้ลงสู่หลอดหมุนเหวี่ยง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างตะกอนที่ได้นำไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 3 ต่อไป

3. เทคนิคการทำให้บริสุทธิ์-การสกัด (purification – extraction technique)

ล้างตะกอนซึ่งเก็บอยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง โดยการเติมน้ำ De-ionized จากนั้นเติม 3N Na_2CO_3 25 มิลลิลิตร(*)ลงไป แล้วทิ้งไว้ 10 นาทีเพื่อให้เกิดตะกอนของสารประกอบเรเดียม-แบเรียมคาร์บอเนต ($Ba(Ra)CO_3$) ซึ่งจะถูกเก็บหลังจากการปั่นตกตะกอน หลังจากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น (HNO_3) 1 มิลลิลิตร เพื่อละลายตะกอนแล้วทำให้สารละลายเป็นกลางโดยเติมสารละลายบัฟเฟอร์ ammonium acetate pH 4.6 จำนวน 25 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อปั่นให้ตกตะกอนแล้วย้ายสารละลายลงสู่กรวยแยก ซึ่งในกรณีที่มีตะกอนเหลือตกค้างอยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยงให้เริ่มทำในขั้นตอน * อีกครั้ง

สารละลายเรเดียม-แบเรียมที่ได้จากขั้นตอนข้างบนถูกทำให้บริสุทธิ์โดยใช้สารละลาย Thenoyl Trifluoro Acetone : Benzene ; 1 : 10 w/v (TTA) 5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นตกตะกอนเรเดียมที่อยู่ในรูปของเรเดียม-แบเรียมอีกครั้ง โดยใช้สารละลาย 2N H_2SO_4 1 มิลลิลิตร ตะกอนที่เกิดขึ้นนี้จะถูกนำไปกรองผ่านด้วยกระดาษกรองขนาด 0.2 ไมครอน (cellulose nitrite) ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ซึ่งตะกอนที่ตกอยู่บนกระดาษกรองนี้จะนำไปใส่ไว้ในโกลด์ความชื้น ทำให้แห้ง

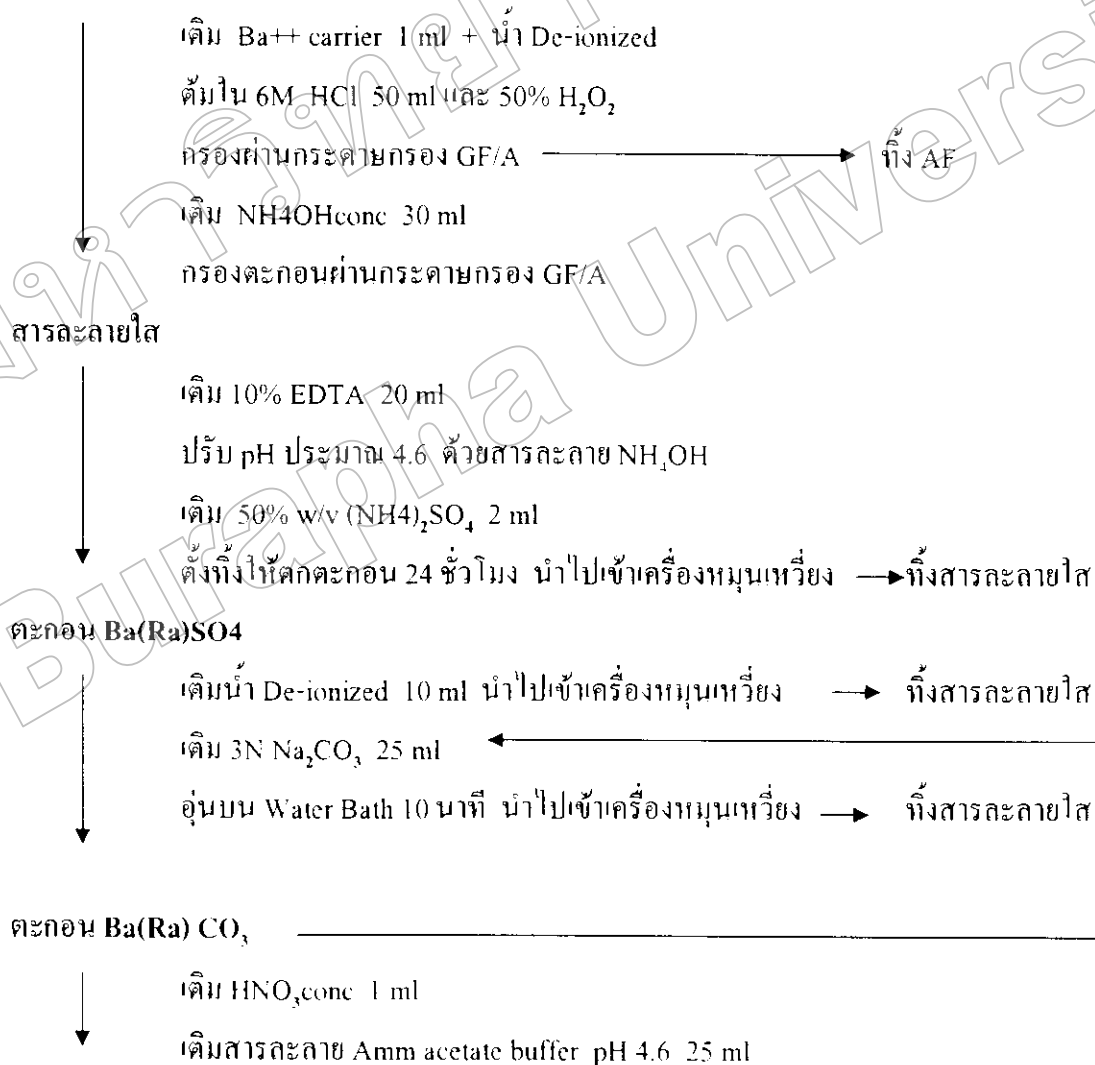
ทิ้งไว้ประมาณ 4 สัปดาห์ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักตะกอนที่แน่นอนแล้วจึงทำการวัดอนุภาคแอลฟาของเรเดียม-226 โดยใช้เครื่องนับรังสีชนิด proportional counter

การหา Blank จากการทดลอง

นำ $MnO_2 \cdot AF$ ที่ได้จากการเตรียม 5 กรัม นำไปวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 โดยกรองน้ำ De-ionized ปริมาตร 1 ลิตร โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำเป็น 250 มิลลิลิตรต่อนาที แล้วนำเส้นใย $MnO_2 \cdot AF$ ที่ผ่านการกรองแล้วแยกเรเดียม-226 ออกตามวิธีกระบวนการวิเคราะห์เรเดียม-226 แล้วจึงวัดรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ด้วยเครื่องวัดรังสีชนิด Proportional Counter

กระบวนการวิเคราะห์เรเดียม-226

$MnO_2 \cdot AF + Sample$



สารละลาย Ba(Ra) isotope

- ↓
- เติมสารละลาย Thenoyl-Trifluoro-Acetone (TTA) ใน benzene 5 ml
 - เขย่า 5 นาที
 - เก็บสารละลายด้านล่าง เติม 2N H₂SO₄ 1 ml

ตะกอน Ba(Ra)SO₄

- ↓
- กรองผ่านกระดาษกรอง cellulose nitrate ขนาด 0.2 ไมครอน
 - เก็บให้แห้ง 4 สัปดาห์

วัดรังสีแอลฟาด้วยเครื่องวัดรังสีชนิด Proportional Counter

การเตรียมรีเอเจนต์

- 1) HNO₃ ^{conc} ≈ 100 ml ใส่ขวดสีชา (250 ml)
- 2) Br² carrier ซึ่งมีปริมาณ Br 20 mg/ml โดยละลายเบเรียมโบเรต 9.525 g ในน้ำ De-ionized 200 ml เติม HNO₃ 0.25 ml แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 ml ด้วยน้ำ De-ionized เก็บในขวดสีชา
- 3) 10 % w/v EDTA ละลาย EDTA 100 mg ในน้ำ De-ionized 1000 ml ถ่ายลงในขวดสีชา
- 4) 50% w/v (NH₄)₂SO₄ ละลาย (NH₄)₂SO₄ 250 g ในน้ำ De-ionized 500 ml ใส่ขวดสีชา
- 5) 3N Na₂CO₃ ละลาย Na₂CO₃ 318 g ในน้ำ De-ionized 500 ml ปรับปริมาตรเป็น 1000 ml ถ่ายใส่ขวดสีชา
- 6) Ammonium acetate buffer pH 4.6 ละลาย Ammonium acetate (C₂H₇NO₂) 138.5 g ในน้ำ De-ionized เติมกรดกลูซีอิกอะซิติก (Acetic acid Glacial) 28.6 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 1000 ml ด้วยน้ำ De-ionized ปรับ pH 4.6 ถ่ายใส่ขวดสีชา
- 7) Thenoyl Trifluoro Acetone : Benzene ; 1 : 10 w/v (TTA) ละลาย Thenoyl Trifluoro Acetone 25 g ในเบนซีน 250 ml ใส่ขวดสีชา
- 8) 2N H₂SO₄ 13.88 g ในน้ำ De-ionized แล้วปรับปริมาตรเป็น 250 ml ใส่ขวดสีชา
- 9) 6N HCl นำ HCl 501.05 ml ปรับปริมาตรให้เป็น 1000 ml ใส่ขวดสีชา
- 10) H₂O₂ ใส่ขวดสีชา 250 ml

สมการการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสี

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(1)$$

N_0 คือ ปริมาณสารกัมมันตภาพรังสีเริ่มต้น

N คือ ปริมาณสารกัมมันตภาพรังสีที่เหลืออยู่ ณ เวลาปัจจุบัน

T คือ ระยะเวลา(ปี)

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัวของเรเดียม-226 มีค่าเท่ากับ $\ln 2/t_{1/2} = 0.693/1620$

การแสดงผลประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (Ed)

$$Ed = \frac{cpm}{dpm} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

cpm คือ อัตราการนับปริมาณพลังงานของรังสีที่ปล่อยออกมาต่อวินาที (counts per minute)

dpm คือ อัตราการสลายตัวของรังสีต่อวินาที (disintegration per minute)

สมการการหาค่าเคมีคัล ยิลด์ (chemical yield ; C)

คำนวณค่า เคมีคัล ยิลด์ (chemical yield) ได้จาก

Ba^{2+} 137330 mg ได้ตะกอนอยู่ในรูปของ $BaSO_4$ 233387.6 mg

Ba^{2+} 20 mg ได้ตะกอนอยู่ในรูปของ $BaSO_4$ $233387.6 \times 20/137330 = 33.9893$ mg

ให้นำน้ำหนักตะกอน 33.9893 mg คิดเป็น 1 chemical yield

ให้นำน้ำหนักตะกอน w. mg คิดเป็น $1 \times w(mg)/33.9893$ chemical yield

$$C = w/33.9893 \dots\dots\dots(3)$$

การคำนวณ activity ของเรเดียม-226 ทั้งหมดสำหรับแต่ละตัวอย่างในหน่วยของจำนวนการสลายตัวก่อนหน้า (dpm) ทำได้โดยการคำนวณเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเรเดียม-226 ทำได้โดยการเทียบสารมาตรฐานเรเดียม-226 (standard Ra-226) ที่เตรียมได้ตามวิธีวิเคราะห์เรเดียม ซึ่งการคำนวณตามวิธีนี้คิดรวมประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมของ MnO₂ acrylic fibers (Efficiency of fiber : Ef) ประสิทธิภาพจากการดูดซับรังสีจากการดูดกลืนในตัวอง (self absorption : S) และเคมีคัลยิตต์ (Chemical yield : C) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$Sam(dpm) = \left[\frac{Sam(cpm)}{Ef \times Ed \times C \times S} \right] \times \left[\frac{Ef \times Ed \times C \times S}{Std(cpm)} \right] \times Std(dpm) \dots\dots\dots(4)$$

โดยที่

Sam(dpm) คือ activity ของ Ra-226 ในตัวอย่าง มีหน่วยเป็น dpm

Std(dpm) คือ activity ของ Ra-226 ในสารมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 44.35 dpm

Sam(cpm) คือ activity ของ Ra-226 ซึ่งได้จากการนับรังสี

Std(cpm) คือ activity ของ Ra-226 ในสารมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 10.94 cpm

S ประสิทธิภาพในการวัดรังสีเนื่องจากการดูดกลืนรังสีในตัวอง (Self Absorption) มีค่าขึ้นอยู่กับความหนาของตะกอน Ba(Ra)SO₄ ในงานนับรังสี (mg/cm²) โดยถ้าตะกอนมีความหนามากจะมีผลให้เครื่องมือวัดรังสีมีประสิทธิภาพ ในการนับรังสีน้อยลง คำนวณได้จาก

$$S = 0.2883 \times T^{-0.6105} \dots\dots\dots(5)$$

โดย T คือความหนาของตะกอน Ba(Ra)SO₄ ในหน่วย mg/cm²

ประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมของ MnO₂AF (Ef) และอัตราการปลดปล่อยอนุภาคของเรเดียม-226 ของสารมาตรฐานซึ่งรวมค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียม เป็นไปตามสมการ

$$Ef = \left(\frac{sam_{cpm} - bg_{cpm}}{S_{sam} \times C_{sam}} \right) \times \left(\frac{S_{std} \times C_{std}}{std_{cpm} - bg_{cpm}} \right) \times \left(\frac{std_{dpm}}{sam_{dpm}} \right) \dots\dots\dots(6)$$

ความแรงรังสีของแบลคซ์ของ MnO₂AF (BF) สามารถถูกคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับความแรงรังสีของสารมาตรฐานของเรเดียม-226 ได้โดยสมการ

$$BF_{dpm} = \left(\frac{BF_{cpm} - bg_{cpm}}{S_B \times C_B} \right) \times \left(\frac{S_{std} \times C_{std}}{std_{cpm} - bg_{cpm}} \right) \times std_{dpm} \dots\dots\dots(7)$$

ความแรงรังสีของเบงค้ำของน้ำ De-ionized (BW) ที่ใช้ในการเตรียมสารเคมีในการวิเคราะห์ของเรเดียม-226 สามารถคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับความแรงรังสีของสารมาตรฐานเรเดียม-226 ได้โดยสมการ

$$BW_{dpm} = \left(\frac{BW_{cpm} - bg_{cpm}}{S_w \times C_w} \right) \times \left(\frac{S_{std} \times C_{std}}{std_{cpm} - bg_{cpm}} \right) \times std_{dpm} \quad \dots\dots\dots(8)$$

ความแรงรังสีของตัวอย่าง สามารถคำนวณได้โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานเรเดียม-226 ตามสมการ

$$sam_{dpm} = \left(\frac{sam_{cpm} - bg_{cpm}}{S_{sam} \times C_{sam}} \right) \times \left(\frac{S_{std} \times C_{std}}{std_{cpm} - bg_{cpm}} \right) \times std_{dpm} \quad \dots\dots\dots(9)$$

อัตราการปล่อยอนุภาคของเรเดียม-226 (dpm) สุทธิในตัวอย่าง คำนวณได้โดยการหักลบค่าเบงค้ำของ MnO_2AF และน้ำ Deionized ตามสมการ

$$Ra-226_{dpm} = sam_{dpm} - BF_{dpm} - BW_{dpm} \quad \dots\dots\dots(10)$$

อัตราการปลดปล่อยอนุภาคของเรเดียม-226 (dpm/l) สุทธิต่อลิตร คำนวณได้จาก

$$Ra-226_{dpm/l} = \frac{Ra-226_{dpm}}{Volume(l)} \quad \dots\dots\dots(11)$$

0819

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นายจตุรงค์ พิรุฬห์ภาวดี
เกิดเมื่อวันที่ 19 สิงหาคม 2523
ที่อยู่ 78/102 หมู่ 5 ถ.บ้านกล้วย-ไทรน้อย ต.บางคูรัด อ.บางบัวทอง จ.นนทบุรี
ประวัติการศ -2536 -2541 มัธยมศึกษา โรงเรียนปากพลีวิทยาคาร อ.ปากพลี จ.นครนายก
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2545

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University