
ประสิทธิภาพของเส้นใยอะคริลิกแมงกานีสออกไซด์ในการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเล
Efficiency of Manganese-Oxide Acrylic Fibers for Adsorption of ²²⁶Ra from Seawater

เพชฌิมโชค จินตเศรณี

ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

Pachoenchoke Jintasaeranee

Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131 Thailand

บทคัดย่อ

ศึกษาประสิทธิภาพของเส้นใยอะคริลิกแมงกานีสออกไซด์ในการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำกลั่นซึ่งเติมเรเดียม-226 โดยใช้เส้นใยอะคริลิกชนิด TORAY 3 denier ที่ผลิตในประเทศไทย พบว่าเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ชนิด MnO₂ AF-2 ที่เตรียมโดยแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนเส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีส้มแดง แล้วแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนเส้นใยเปลี่ยนจากสีส้มแดงเป็นสีดำมัน มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำกลั่นที่เติมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ความเข้มข้นเริ่มต้น 10.0 นาโนกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 94.9±2.2 โดยมีเบลงก์ 0.2±0.1 จำนวนการสลายตัวต่อกรัมของเส้นใย เมื่อกรองน้ำกลั่นที่เติมสารมาตรฐานเรเดียม-226 ผ่านเส้นใยที่เตรียมโดยวิธีนี้หนัก 5 กรัม ที่บรรจุในท่อพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร โดยควบคุมอัตราการกรองเป็น 250 และ 500 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าเส้นใยมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ร้อยละ 88.6±2.1 และ 94.9±2.2 ตามลำดับ

สามารถใช้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมได้นี้ร่วมกับวิธีวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ละลายน้ำได้ที่มีความเข้มข้น 0.02 พิโคกรัมต่อลิตร โดยที่เส้นใยนี้มีประสิทธิภาพสูงมากพอเพื่อใช้ดูดซับเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำทะเลปริมาตร 4 ลิตร จากการตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ละลายน้ำ จำนวน 6 สถานี บริเวณบางปะกงเอสทูรีพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 13.11±2.43 ถึง 108.29±6.98 พิโคกรัมต่อหนึ่งร้อยลิตร โดยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจากปากแม่น้ำออกสู่ทะเล

คำสำคัญ : เส้นใยอะคริลิกแมงกานีสออกไซด์, เรเดียม-226, ดูดซับปริมาณเรเดียม-226, เครื่องวัดรังสีแอลฟา

* Corresponding author. E-mail: pachoen@buu.ac.th

Abstract

The efficiency of MnO_2 acrylic fiber type TORAY 3 denier that was produced in Thailand for adsorption of ^{226}Ra from distilled water spiked ^{226}Ra 10.0 $\mu\text{g/l}$, was studied. The result shown that this acrylic fiber is converted to MnO_2 acrylic fiber by soaking in 3 M NaOH solution at 80 °C for 1 hour. It will start to develop an orange-red color and then soak in 0.5 M KMnO_4 solution at 80 °C for 1 hour until it became blacken. This shown a significant adsorbent efficiency of $94.9\pm 2.2\%$, and a low blank at 0.2 ± 0.1 dpm/g-fiber. The removal efficiency of ^{226}Ra by 5 grams of MnO_2 acrylic fiber in the filter column, 1.27 cm in diameter and 20 cm long, at a linear flow rate of 250 and 500 ml/min was between $88.6\pm 2.1\%$ and $94.9\pm 2.2\%$ respectively.

The MnO_2 acrylic fiber and extraction technique participation can be used to quantitative analysis of ^{226}Ra from water concentration of 0.02 $\mu\text{g/l}$ and can be used to adsorb ^{226}Ra from 4 liters of seawater. Measuring of concentration of dissolved ^{226}Ra in seawater from 6 stations at Bangpakong estuary varied between 13.11 ± 2.43 and 108.29 ± 6.98 $\mu\text{g/100-l}$ and show higher concentration in seawater than that of river mouth.

เรเดียม-226 เป็นธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติที่พบทั่วไปในหินและแร่ มีสมบัติละลายน้ำได้ดีและมีค่าครึ่งชีวิตยาวนานกว่าเรเดียมไอโซโทปอื่น การพืงและการชะล้างเป็นตัวการนำเรเดียม-226 ละลายจากผิวดินลงสู่ลำน้ำได้ดิน เอสทูรี (estuary) และชายฝั่ง (Wang & Willis, 1965; Seymour, 1971; Faure, 1986) ในระดับความเข้มข้นต่ำมากช่วง 1-40 พิโคกรัมต่อหนึ่งร้อยลิตร (pg/100-l) (ฟูเกียรตี ลินาคม และคณะ, 2531; Moore, 1969; Moore & Reid, 1973; Hancock & Murray, 1996; Lee, Kim & Moon, 2005; Nozaki *et al.*, 2001) มีรายงานว่า แพลงก์ตอนพืชกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลตและไดอะตอมมีการสะสมเรเดียม-226 ในเซลล์ โดยพบว่ามีความเข้มข้นการสะสมเป็นปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะช่วงเวลาที่แพลงก์ตอนพืชมีการเจริญอย่างรวดเร็ว (Lee & Kim, 2006) เรเดียม-226 ที่แพลงก์ตอนพืชสะสมอยู่นั้นสามารถเคลื่อนย้ายไปตามสายใยอาหารและเข้าสู่ผู้บริโภคได้โดยตรง (IAEA, 1990) เมื่อเรเดียม-226 เข้าสู่ร่างกายผู้บริโภคแล้วจะสะสมในโครงกระดูกและอาจก่อให้เกิดมะเร็งในโครงกระดูก (Mays *et al.*, 1985; USEPA, 1996)

เนื่องจากในน้ำทะเลมีปริมาณเรเดียม-226 ละลายเป็นปริมาณน้อยมาก ทำให้ไม่สะดวกในการตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ในน้ำโดยตรง จึงมีการพัฒนาวิธีการเก็บตัวอย่างเรเดียม-226 จากน้ำทะเลโดยใช้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2 fibers) ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับแร่ธาตุสูงเป็นตัวกลางในการดูดซับเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำทะเลปริมาณมากก่อน แล้วจึงตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 จากเส้นใย (Moore, 1969; Moore & Reid, 1973) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมจากเส้นใยอะคริลิกต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลต่างกัน (Moore & Reid, 1973; Yamada & Nozaki, 1986; เพชฌุโชค จินตเศรณี, 2541) นอกจากนี้ น้ำหนักของเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่ใช้ในการดูดซับรวมทั้งอัตราการกรองตัวอย่างน้ำผ่านเส้นใยที่ต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 แตกต่างกันด้วย (Moore & Reid, 1973; Yamada & Nozaki, 1986) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาประสิทธิภาพของเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่ใช้รวมถึงน้ำหนักและอัตราการกรองที่เหมาะสมในการดูดซับเรเดียม-226 ก่อนนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่างจากภาคสนาม

การตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ที่ถูกดูดซับไว้บนเส้นใยสามารถทำได้โดยตรงจากการตรวจวัดปริมาณนิวคลีอิดของเรเดียม-226 เช่น บิสมัท-214 และเรดอน-222 แล้วจึงคำนวณปริมาณเรเดียม-226 จากปริมาณของนิวคลีอิดที่วัดได้ (Moore & Reid, 1973; Moore, 1976; Moore & Santschi, 1986; Yamada & Nozaki, 1986) แต่วิธีการตรวจวัดดังกล่าวยังมีข้อจำกัด กล่าวคือ ต้องรอให้เรเดียม-226 อยู่ในภาวะสมดุลกับนิวคลีอิดก่อนการตรวจวัด ทำให้ต้องใช้เวลามาก อีกทั้งยังต้องระวังการแทรกแซงจากการสลายตัวของยูเรเนียม-235 ทำให้ค่าที่ตรวจวัดได้สูงเกินจริง แต่หลังจาก ชนิษฐา กมลรัตน์ (2523) และ บุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) เสนอวิธีวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อแยกเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำจืด แล้วทำให้บริสุทธิ์ก่อนวัดปริมาณเรเดียม-226 โดยตรงด้วยเครื่องวัดรังสีชนิด gas flow proportional counter ซึ่งพบว่าทำให้ประสิทธิภาพการตรวจวัดสูงขึ้น 4 เท่า โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าการตรวจวัดเรเดียม-226 จากนิวคลีอิด หลังจากนั้นเพชฌุโชคจินตเศรณี (2541) พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีดังกล่าว โดยแยกเรเดียม-226 ออกจากตัวอย่างเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ในลอน และทำให้บริสุทธิ์ก่อนแล้วจึงตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 แล้วพบว่าหากใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมีร่วมกับการเก็บตัวอย่างด้วยเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ อาจสามารถวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำทะเลบริเวณเอสทูรีซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าน้ำผิวดินได้

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

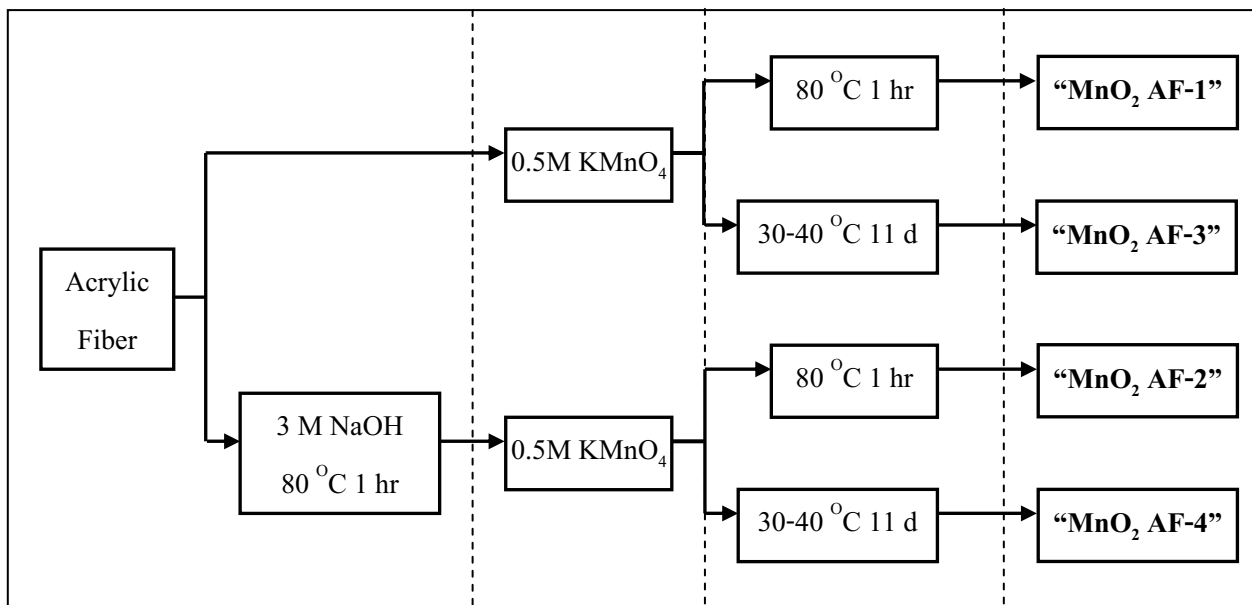
เส้นใยอะคริลิกที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นชนิด TORAY 3 denier ที่ผลิตในประเทศไทย การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น (pre test) โดยแช่เส้นใยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 โมลาร์ (6 M NaOH) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสตามวิธีของ Moore and Reid (1973) พบว่าเส้นใยอะคริลิกบางส่วนละลายและเกิดตะกอนสีขาว แต่เมื่อแช่เส้นใยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 โมลาร์ (3 M NaOH) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเส้นใยไม่ละลายและไม่เกิดตะกอน ส่วนการแช่เส้นใยในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานेट ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ (0.5 M $KMnO_4$) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ตามวิธีของ Moore (1976) ทำให้เส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีดำมันและเกิดตะกอนสีน้ำตาล แต่เมื่อแช่

ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีดำนันโดยไม่เกิดตะกอน ส่วนการแช่เส้นใยในสารละลาย 0.5 M KMnO_4 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ตามวิธีของ Moore (1976) และ Nozaki (1983) ไม่ทำให้เส้นใยเปลี่ยนเป็นสีดำนันอย่างสมบูรณ์ แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่ผลิตในประเทศไทยมีสมบัติแตกต่างจาก Moore and Reid (1973), Yamada and Nozaki (1986) และ เพชฌุโชค จินตเศรษฐ์ (2541) การทดลองเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก (การทดลองที่ 1) แล้วคัดเลือกเส้นใยที่มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุดมาใช้ในการศึกษาน้ำหนักของเส้นใยและ

อัตรากรองที่เหมาะสม (การทดลองที่ 2 และ 3) ซึ่งเส้นใยมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุด ก่อนทำการเก็บและวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 จากน้ำทะเลโดยใช้เส้นใยที่เตรียมได้ (การทดลองที่ 4)

การทดลองที่ 1 วิธีการที่เหมาะสมเพื่อเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก

ดัดแปลงวิธีเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์จากเส้นใยอะคริลิก (MnO_2 AF) ของ Moore and Reid (1973) และ Moore (1976) ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติเบื้องต้นของเส้นใย เป็นวิธีเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ 4 วิธีดังนี้ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แผนภูมิการเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่ต่างกัน 4 วิธี (ดัดแปลงจาก Moore and Reid (1973) และ Moore (1976))

วิธีที่ 1 แช่เส้นใยอะคริลิกใน 0.5 M KMnO_4 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนเส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีดำนัน หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน (deionized distilled water; DDW) ทำให้ฟูและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมได้ตามวิธีนี้เรียกว่า “ MnO_2 AF-1”

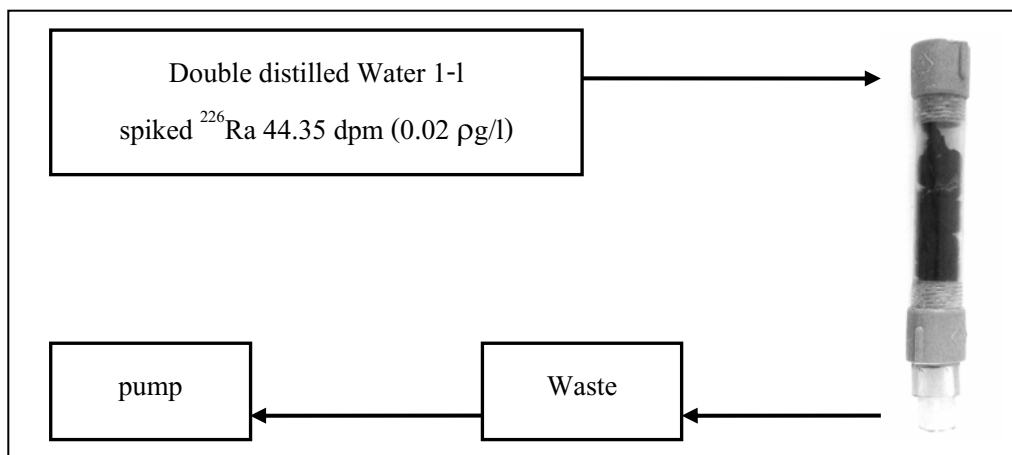
วิธีที่ 2 แช่เส้นใยอะคริลิกใน 0.5 M KMnO_4 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 11 วัน ล้างด้วยน้ำ DDW ทำให้ฟูและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมได้ตามวิธีนี้เรียกว่า “ MnO_2 AF-3”

วิธีที่ 3 แช่เส้นใยอะคริลิกใน 3 M NaOH ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนเส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีส้มแดง ล้างด้วยน้ำ DDW แล้วแช่ใน 0.5 M KMnO_4 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนเส้นใยเปลี่ยนจากสีส้มแดงเป็นสีดำนัน หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำ DDW ทำให้ฟูและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมได้ตามวิธีนี้เรียกว่า “ MnO_2 AF-2”

วิธีที่ 4 แชนเส้นใยอะคริลิกใน 3 M NaOH ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนเส้นใยอะคริลิกเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีส้มแดง ล้างด้วยน้ำ DDW แล้วแช่ใน 0.5 M KMnO_4 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 11 วัน ล้างด้วยน้ำ DDW ทำให้ฟูและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมได้ตามวิธีนี้เรียกว่า “ MnO_2 AF-4”

ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ของเส้นใยแมงกานีสออกไซด์แต่ละชนิดที่เตรียมได้ โดยเติมสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 จำนวน 22.18 จำนวนสลายตัวต่อนาทีต่อมิลลิลิตร (dpm/ml) คิดเป็นความเข้มข้น 10.0 นาโนกรัมต่อลิตร ($\mu\text{g/l}$) จำนวน 2 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น (double distilled water; DW) ปริมาตร 1 ลิตร หรือคิดเป็น ความเข้มข้น 0.02 พิโคกรัมต่อลิตร (pg/l) แล้วกรองผ่านเส้นใยแมงกานีสออกไซด์หนัก 5 กรัม ที่บรรจุในชุดกรองทำจากท่อพลาสติกพีวีซีทรงกระบอก

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ในระบบปิด (ภาพที่ 2) โดยควบคุมอัตราการกรองที่ 250 มิลลิลิตรต่อนาที ทำเช่นเดียวกันนี้กับเส้นใยแต่ละชนิดและทำการทดลอง 3 ซ้ำ การหาค่าเบสลงกรวมของเส้นใยแต่ละชนิดทำโดยกรองน้ำกลั่นปริมาตร 1 ลิตร ผ่านเส้นใยซึ่งควบคุมน้ำหนัก และอัตราการกรองเช่นเดียวกับการหาประสิทธิภาพของเส้นใย ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ปริมาณของเรเดียม-226 ทำตามวิธีวิเคราะห์ทางเคมีของ เพชฌุโชด จินตเศรณี (2541) มีหลักการคือแยกเรเดียมและธาตุปริมาณน้อยอื่นจาก MnO_2 AF ด้วยกรด แยกสารรบกวน ทำให้เรเดียม-226 ในตัวอย่างบริสุทธิ์ แล้วตกตะกอนเรเดียมในรูปของสารประกอบแบเรียม-เรเดียมซัลเฟต (Ba-RaSO_4) เพื่อวัดปริมาณเรเดียม-226 ด้วยเครื่องวัดรังสีแอลฟาชนิด gas flow proportional counter ยี่ห้อ Berthold รุ่น LB770 แบบ 10 channel Low-Level counter



ภาพที่ 2 แผนภูมิการต่อชุดกรองบรรจุ MnO_2 AF ในระบบกรองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

การทดลองที่ 2 การศึกษาน้ำหนักของเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกที่เหมาะสม

ทำโดยเติมสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 1 ลิตร คิดเป็นความเข้มข้น 0.02 pg/l แล้วกรองผ่านเส้นใยที่พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุดจากการทดลองที่ 1 หนัก 2.5, 5 และ 10 กรัม ตามลำดับ โดยควบคุมอัตราการกรอง 250 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ทำตามวิธีวิเคราะห์ทางเคมีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 3 การศึกษาอัตราการกรองที่เหมาะสม

ทำโดยเติมสารละลายมาตรฐานเรเดียม-226 ลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 1 ลิตร คิดเป็นความเข้มข้น 0.02 pg/l แล้วกรองผ่านเส้นใยที่พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุดจากการทดลองที่ 2 โดยควบคุมอัตราการกรอง 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 ทำตามวิธีวิเคราะห์ทางเคมีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 4 การเก็บและวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 จากน้ำทะเลโดยใช้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก

เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 จากบริเวณบางปะกงเอสทูรี จำนวน 6 สถานี ดังแสดงในตารางที่ 3 และภาพที่ 5 โดยใช้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุดจากการทดลองที่ 1-3 การเก็บตัวอย่างน้ำทำโดยตักน้ำจากแต่ละสถานีบรรจุใส่ถังโพลีเอธิลีนแล้วกรองตัวอย่างน้ำตามแรงโน้มถ่วงผ่านเส้นใยแมงกานีสออกไซด์หนัก 5 กรัม ที่บรรจุในท่อพลาสติกที่ใช้กับการทดลองที่ 1-3 โดยควบคุมอัตราการกรอง 500 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวอย่างเส้นใยนำกลับมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการตามวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

การคำนวณ

1. ร้อยละเคมีคัลยิลด์ (percent chemical yield; %C)

คำนวณตามสมการ $%C = 2.9421 \times w$ และร้อยละประสิทธิภาพการตรวจวัดรังสีเนื่องจากการดูดกลืนในตัวเอง (percent self adsorption; %S) คำนวณตามสมการ $%S = 27.9636 \times T^{-0.6152}$ (ชนิษฐา กมลรัตน์, 2523; บุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525; เพชฌุโชค จินตเศรณี, 2541)

2. ร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียม-226 ของเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ (%Ef) คำนวณตามสมการ (ชนิษฐา กมลรัตน์, 2523)

$$\%Ef = \frac{(R - B)' \times C \times S}{(R - B) \times C' \times S' \times W} \times 100$$

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 และค่าเฉลี่ยแปลงกัมของเส้นใย (dpm/g)

type	Self adsorption (%)	Chemical yield (%)	% efficiency $\pm 1\sigma$
MnO ₂ AF-1	37.80 \pm 0.61	26.18 \pm 0.51	50.46 \pm 1.59
MnO ₂ AF-2	16.60 \pm 0.41	99.74 \pm 1.00	94.95 \pm 2.18
MnO ₂ AF-3	24.67 \pm 0.50	52.37 \pm 0.72	10.61 \pm 0.73
MnO ₂ AF-4	16.25 \pm 0.40	103.27 \pm 1.02	10.28 \pm 0.72

type	Self adsorption (%)	Chemical yield (%)	blank (dpm/g) $\pm 1\sigma$
MnO ₂ AF-1	33.55 \pm 0.58	31.77 \pm 0.56	0.04 \pm 0.07
MnO ₂ AF-2	27.19 \pm 0.52	44.72 \pm 0.67	0.15 \pm 0.13
MnO ₂ AF-3	48.68 \pm 0.70	17.36 \pm 0.42	0.03 \pm 0.06
MnO ₂ AF-4	43.06 \pm 0.66	21.18 \pm 0.46	0.69 \pm 0.28

3. ปริมาณเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำ (A' ; qg/l) คำนวณตามสมการ (ชนิษฐา กมลรัตน์, 2523)

$$A' = \frac{(R - B)' \times C \times S \times A}{(R - B) \times C' \times S' \times V \times 2.22}$$

เมื่อ A คือปริมาณสารมาตรฐานเรเดียม-226 ในหน่วยจำนวนสลายตัวต่อนาที (disintegrations per minute; dpm)

C และ C' คือร้อยละเคมีคัลยิลด์ของสารมาตรฐาน และตัวอย่างตามลำดับ

(R - B) และ (R - B)' คือปริมาณเรเดียม-226 สุทธิที่วัดได้จากสารมาตรฐานและตัวอย่างในหน่วยจำนวนนับต่อนาที (counts per minute; cpm) ตามลำดับ

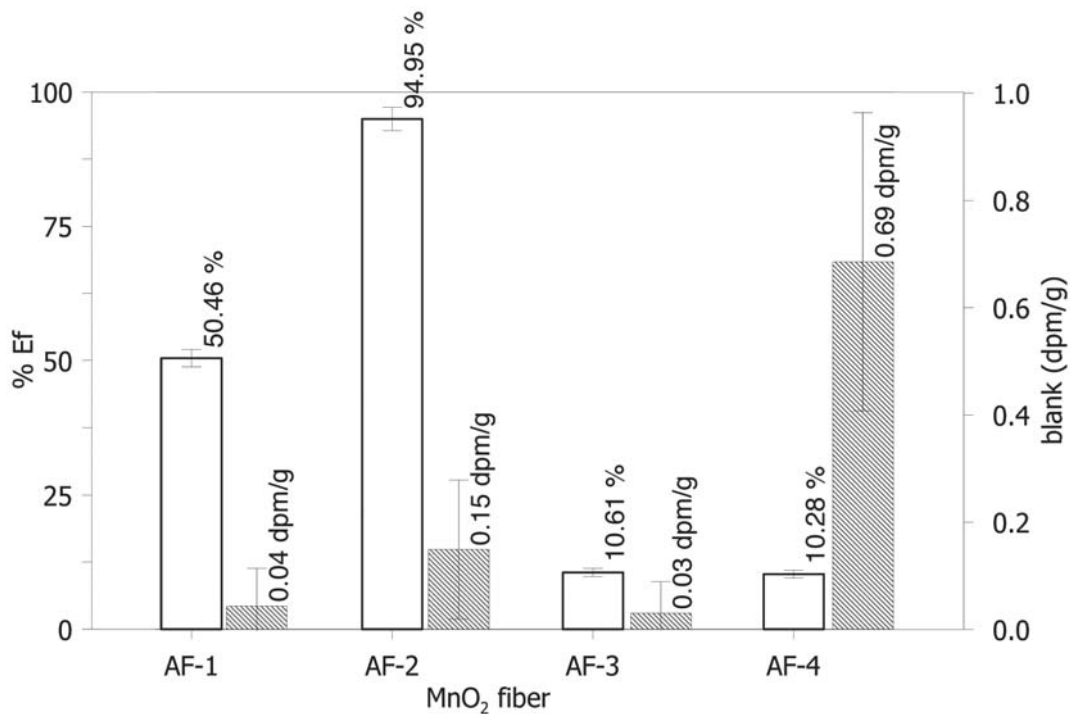
S และ S' คือค่าร้อยละประสิทธิภาพการตรวจวัดรังสีเนื่องจากการดูดกลืนในตัวเองของสารมาตรฐานและตัวอย่างตามลำดับ

T คือความหนาของตะกอนแบเรียมซัลเฟต (BaSO₄) ในหน่วยมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (mg/cm²)

V คือปริมาตรตัวอย่างน้ำในหน่วยลิตร (l)

w คือน้ำหนักตะกอนของ BaSO₄ หลังการตกตะกอนในหน่วยมิลลิกรัม (mg)

W คือน้ำหนักของเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก ที่ใช้ในหน่วยกรัม (g)



ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 และค่าเฉลี่ยแบล็กของเส้นใย (dpm/g)

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษา (ตารางที่ 1 และภาพที่ 3) พบว่าเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมจากเส้นใยอะคริลิกชนิด TORAY 3 denier ที่ผลิตในประเทศไทย มีค่าประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ดังนี้ MnO₂ AF-1 50.46±1.59%, MnO₂ AF-2 94.95±2.18%, MnO₂ AF-3 10.61±0.73% และ MnO₂ AF-4 10.28±0.72% และมีค่าเฉลี่ยแบล็กดังนี้ MnO₂ AF-1 0.04±0.07 dpm/g, MnO₂ AF-2 0.15±0.13 dpm/g, MnO₂ AF-3 0.03±0.06 dpm/g และ MnO₂ AF-4 0.69±0.28 dpm/g โดยพบว่าเส้นใยชนิด MnO₂ AF-2 มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงกว่าเส้นใยชนิด MnO₂ AF-1, MnO₂ AF-3 และ MnO₂ AF-4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) แสดงการเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์โดยแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนเส้นใยเปลี่ยนจากสีขาวเป็นสีส้มแดงก่อนแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนเส้นใยเปลี่ยนจากสีส้มแดงเป็นสีดำมัน เป็นวิธีการเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ให้มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุด

และพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่า เพชฌุโชค จินตเศรณี (2541) ที่รายงานว่าเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมจากเส้นใยไนลอน มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลร้อยละ 39.9±6.3 และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับ Moore and Reid (1973) รายงานว่าเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมจากเส้นใยอะคริลิกชนิด Monsanto 'Acrilan' 3.0 denier type B-16 มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลมากกว่าร้อยละ 95 และ Yamada and Nozaki (1986) ที่รายงานว่าเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ที่เตรียมจากเส้นใยอะคริลิกชนิด TORAY 3.0 denier มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลร้อยละ 98 ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยอะคริลิกมีขนาดเล็กกว่าไนลอน ดังนั้นเมื่อแช่เส้นใยนี้ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จึงทำให้แมงกานีสออกไซด์จับบนผิวของเส้นใยอะคริลิกเป็นปริมาณมากกว่าเส้นใยไนลอน ทำให้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 มากกว่าเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ไนลอน (Moore & Reid, 1973; Nozaki, 1983; Moore & Santschi, 1986) ในขณะที่ความเข้มข้นของสารเคมีและอุณหภูมิที่ใช้เตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ในการศึกษาคั้งนี้ต่างจากที่เคยมีรายงานไว้ จึงอาจทำให้เส้นใยที่เตรียมได้มี

ประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 แตกต่างจากที่เคยมีรายงาน โดย Moore and Reid (1973) เตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ โดยแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส ก่อนแช่ในสารละลายแมงกานีสคลอไรด์ ความเข้มข้น 5 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส ทำให้แมงกานีสออกไซด์จับที่ผิวของเส้นใยอะคริลิกได้น้อยกว่า 50% และ เส้นใยที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลมากกว่า 95% Moore (1976) และ Yamada and Nozaki (1986) เตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์โดยแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำไปแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ทำให้แมงกานีสออกไซด์จับที่ผิวของเส้นใยได้มากขึ้น และเส้นใยที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลร้อยละ 98 อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นวิธีการที่สามารถ ใช้เตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ให้มีประสิทธิภาพสูงพอที่จะนำเส้นใยแมงกานีสออกไซด์นี้ไปใช้ในการดูดซับเรเดียม-226 ในภาคสนามได้

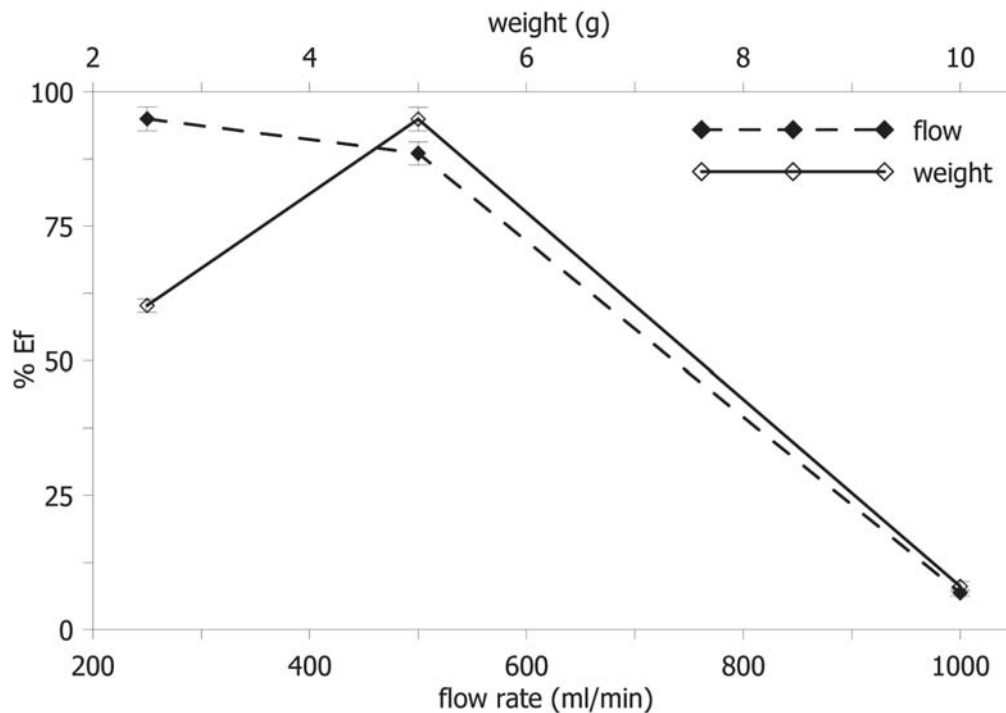
เมื่อพิจารณาแบลงก์ของเส้นใยที่เตรียมได้จากการทดลองนี้ พบว่าแบลงก์ของ MnO₂ AF-2 (0.15±0.13 dpm/g) สูงกว่าแบลงก์ของ MnO₂ AF-1 (0.04±0.07 dpm/g) และ MnO₂ AF-3 (0.03±0.06 dpm/g) แสดงให้เห็นว่าการเตรียม MnO₂ AF-2 โดยแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้แบลงก์สูงกว่าการแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ โดยตรง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Moore and Reid (1973) ว่าการแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายต่างอาจเป็นการเพิ่มแบลงก์ โดยไม่จำเป็นแต่อย่างไรก็ตามแบลงก์ของเส้นใยที่เตรียม ได้ยังต่ำกว่าแบลงก์ของแมงกานีสออกไซด์ในลอน ที่รายงาน โดย เพชฌุโชค จินตเศรษฐี (2541) และเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ของเส้นใยนี้แล้ว พบว่าแบลงก์ของเส้นใยแทบจะไม่มีค่าสำคัญจนอาจตัดทิ้งได้

ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ของ MnO₂ AF-2 หนัก 2.5, 5 และ 10 กรัม เป็น 60.21±1.23, 94.94±2.18 และ 8.01±0.90 ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4) โดยพบว่า MnO₂ AF-2 หนัก 5 g มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แสดงว่าการใช้เส้นใยหนัก 5 g ก็เพียงพอต่อการดูดซับ เรเดียม-226 โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด และค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ของ MnO₂ AF-2 ที่อัตราการกรอง 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตรต่อนาที เป็น 94.95±2.18, 88.56±2.10 และ 6.83±0.58 ตามลำดับ โดยพบว่าที่อัตราการกรอง 250 มิลลิลิตรต่อนาที เส้นใยมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุด และไม่แตกต่างกับอัตราการกรอง 500 มิลลิลิตรต่อนาทีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราการกรอง 1000 มิลลิลิตรต่อนาทีแสดงว่าการกรองด้วย

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ของ MnO₂ AF-2 ที่น้ำหนักและอัตราการกรองต่างกัน

weight (g)	Self adsorption (%)	Chemical yield (%)	% efficiency ±1σ
2.5	30.22 ± 0.55	37.66 ± 0.61	60.21 ± 1.23
5.0	16.60 ± 0.41	99.74 ± 1.00	94.94 ± 2.18
10.0	19.18 ± 0.44	78.85 ± 0.89	8.01 ± 0.90
flow rate (ml/min)	Self adsorption (%)	Chemical yield (%)	% efficiency ±1σ
250	16.60 ± 0.41	99.74 ± 1.00	94.95 ± 2.18
500	18.43 ± 0.43	84.14 ± 0.92	88.56 ± 2.10
1000	21.30 ± 0.46	66.49 ± 0.82	6.83 ± 0.58



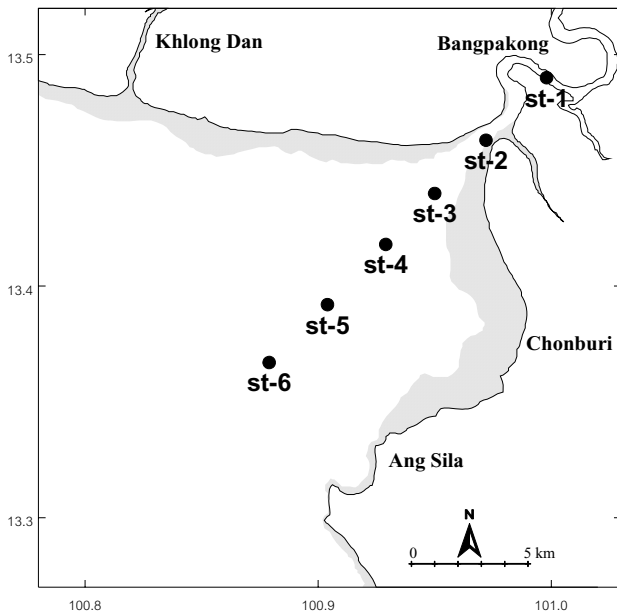
ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยร้อยละประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ของ MnO_2 AF-2 ที่น้ำหนักและอัตราการกรองต่างกัน

อัตรา 250-500 มิลลิลิตรต่อนาที มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 ของเส้นใยน้ำหนัก 10 กรัม ที่อัตราการกรอง 1000 มิลลิลิตรแล้วพบว่ามีความต่ำมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการที่บรรจุเส้นใยมากเกินไปในชุดกรองขนาดเดียวกันกับเส้นใยน้ำหนัก 2.5 และ 5 กรัม และใช้อัตรากรองสูงเกินไป ทำให้เส้นใยดูดซับเรเดียม-226 ได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น สอดคล้องกับการศึกษาของ Moore and Reid (1973) ว่าเมื่อกรองน้ำทะเลปริมาตร 20 ลิตร ผ่านเส้นใยหนัก 5 กรัม ด้วยอัตราการกรอง 100 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าเส้นใยมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลมากกว่าร้อยละ 95 แต่เมื่อกรองน้ำทะเลปริมาตร 170 ลิตร ผ่านเส้นใยหนัก 40 กรัม ด้วยอัตราการกรอง 10 ลิตรต่อนาที พบว่าเส้นใยมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลเพียงร้อยละ 56 และสอดคล้องกับการศึกษาของ Yamada and Nozaki (1986) ว่าเมื่อกรองน้ำทะเลปริมาตร 133-1503 ลิตรผ่านเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก น้ำหนักประมาณ 35 กรัม ด้วยอัตราการกรอง 2.5 ลิตรต่อนาที พบว่าเส้นใยมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 จากน้ำทะเลร้อยละ 98

ประสิทธิภาพการตรวจวัดรังสีเนื่องจากการดูดกลืนในตัวเองมีค่าอยู่ในช่วง 12.92-48.68 โดยมีค่าเฉลี่ย 22.63 ± 10.73 และร้อยละเคมีคัลยิลด์มีค่าอยู่ในช่วง 17.36-159.17 ค่าเฉลี่ย 86.54 ± 47.88 (ตารางที่ 1, 2 และ 4) พบว่าร้อยละโดยร้อยละ

ตารางที่ 3 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณบางปะกงเอสทูรี เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 และ ปริมาณน้ำ

station	position		volume (l)
st-1	13° 29' 24.0"	100° 59' 52.8"	4
st-2	13° 27' 46.8"	100° 58' 19.2"	4
st-3	13° 26' 24.0"	100° 57' 00.0"	4
st-4	13° 25' 04.8"	100° 55' 44.4"	10
st-5	13° 23' 31.2"	100° 54' 14.4"	10
st-6	13° 22' 01.2"	100° 52' 44.4"	10



ภาพที่ 5 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงเอสทรี

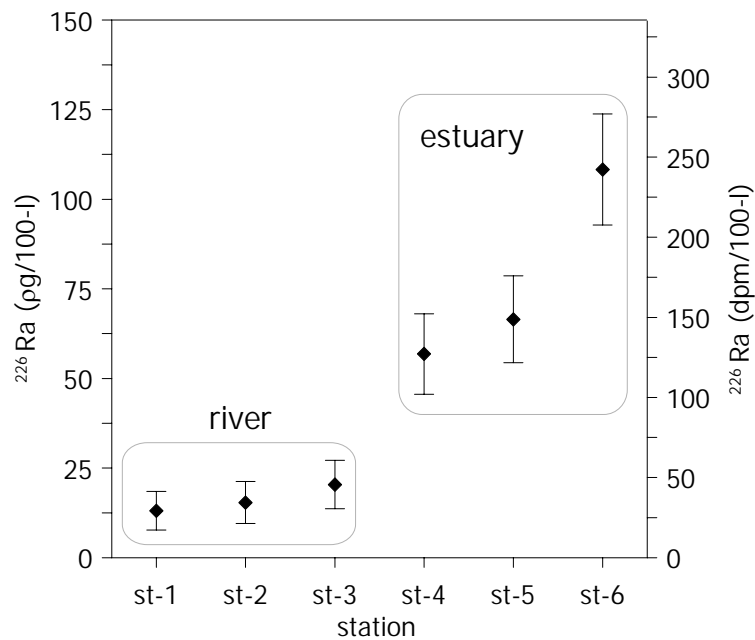
ประสิทธิภาพการตรวจวัดรังสีเนื่องจากการดูดกลืนในตัวเองมีค่าน้อยกว่าที่รายงานไว้โดย ขนิษฐา กมลรัตน์ (2523) (ร้อยละ 30.31-78.38) และมีค่ามากกว่าที่รายงานโดย บุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) (ร้อยละ 8.88-17.00) เนื่องจากความหนาของตะกอนจากการทดลองนี้มีค่าไม่อยู่ในช่วงที่เคยมีรายงานไว้ ซึ่งเมื่อพิจารณาวิธีวิเคราะห์ทางเคมีซึ่งมีการเติม EDTA 20 มิลลิลิตร และ Thenoyl-Trifluoro-Acetone (TTA) 5 มิลลิลิตร เพื่อกั้นการตกตะกอนของสารละลายแคลเซียม เหล็ก ยูเรเนียม และแบเรียมในน้ำ (ขนิษฐา กมลรัตน์, 2523) ถึงแม้ว่าสารเหล่านี้ตกตะกอนด้วยก็ไม่ทำให้น้ำหนักตะกอนเพิ่มขึ้นแต่อย่างใดเนื่องจากสารเหล่านี้

ตารางที่ 4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงเอสทรี

station	Self adsorption (%)	Chemical yield (%)	Ra-226 $\pm 1\sigma$ (dpm/100-l)	Ra-226 $\pm 1\sigma$ (qg/100-l)
st-1	14.02	139.16	29.10 \pm 5.39	13.11 \pm 2.43
st-2	13.11	155.34	34.23 \pm 5.85	15.42 \pm 2.64
st-3	12.92	159.17	45.32 \pm 6.73	20.41 \pm 3.03
st-4	15.44	118.86	126.17 \pm 11.23	56.83 \pm 5.06
st-5	13.41	149.75	147.63 \pm 12.15	66.50 \pm 5.47
st-6	13.65	145.34	240.39 \pm 15.50	108.29 \pm 6.98

ละลายอยู่ในน้ำน้อยมาก (90-432 $\mu\text{mol/kg}$ หรือประมาณ 0.013-0.059 mg/kg) (Nozaki *et al.*, 2001) ดังนั้นน้ำหนักตะกอนที่เพิ่มขึ้นจึงน่าจะเกิดจากการดูดความชื้นจากอากาศ เมื่อนำตัวอย่างออกจากโถดูดความชื้นแล้ววางทิ้งไว้ในอากาศก่อนการตรวจวัด ซึ่งควรต้องเพิ่มความระมัดระวังมากขึ้น อย่างไรก็ตามต้องมีการปรับค่าร้อยละเคมีคัลลิตี ให้เป็นร้อยละร้อยละก่อนนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณเรเดียม-226 ต่อไป และปริมาณเรเดียม-226 ที่คำนวณได้ ก็ยังอยู่ในช่วงที่รายงานไว้ โดย Moore and Reid (1973), Yamada and Nozaki (1986), Nozaki *et al.* (2001), Breier and Edmonds (2006)

ผลการศึกษา (ตารางที่ 4 และภาพที่ 6) แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ร่วมกับวิธีวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ละลายน้ำได้ด้วยความเข้มข้น 0.02 qg/l และเส้นใยนี้มีประสิทธิภาพสูงมากพอที่ใช้เพื่อดูดซับเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำทะเลปริมาตร 4 ลิตร จากการตรวจวัดพบปริมาณเรเดียม-226 ละลายน้ำบริเวณบางปะกงเอสทรีมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 13.11 \pm 2.43 ถึง 108.29 \pm 6.98 qg/100-l ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่รายงานไว้โดย Moore and Reid (1973), Yamada and Nozaki (1986), Nozaki *et al.* (2001), Breier and Edmonds (2006) และ เพชฌุโชค จินตเศรณี (2541) นอกจากนี้ยังพบปริมาณเรเดียม-226 มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจากปากแม่น้ำออกสู่ทะเล อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 จากน้ำทะเลนี้ ได้มาจากเพียง 6 สถานีเท่านั้น ทำให้มีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาการกระจายของเรเดียม-226 ละลายน้ำบริเวณนี้ได้ในช่วงของการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ดังนั้นจึงควรมีการตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ละลายน้ำให้ครอบคลุมพื้นที่และควรมีการตรวจวัดในรอบปี



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเรเดียม-226 บริเวณบางปะกงเอสทรี

สรุป

การเตรียมเส้นในแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกโดยแช่เส้นใยอะคริลิกใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนเส้นใยเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง ก่อนแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนเส้นใยเปลี่ยนเป็นสีดำมัน ทำให้เส้นใยที่ได้มีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุดคิดเป็นร้อยละ 94.95 ± 2.18 โดยมีค่าเบี่ยงล่งที่ต่ำ 0.15 ± 0.13 dpm/g จนอาจตัดทิ้งได้ การกรองตัวอย่างน้ำที่เติมสารมาตรฐานผ่านเส้นใยนี้หนัก 5 กรัม บรรจุในทอพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.27 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร พบว่าเส้นใยมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 สูงสุดคิดเป็นร้อยละ 94.94 ± 2.18 และอัตราการกรองที่ 250 และ 500 มิลลิลิตรต่ออนาที เส้นใยมีประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียม-226 คิดเป็นร้อยละ 88.5 ± 2.10 และ 94.95 ± 2.18 ตามลำดับ

สามารถใช้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์ร่วมกับวิธีวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อตรวจวัดปริมาณเรเดียม-226 ละลายน้ำได้ที่มีความเข้มข้น 0.02 pg/l และเส้นใยนี้มีประสิทธิภาพ สูงมากพอที่ใช้ในการดูดซับเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำทะเลปริมาตร 4 ลิตร จากการตรวจวัดพบปริมาณเรเดียม-226 ละลายน้ำบริเวณบางปะกงเอสทรีมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 13.11 ± 2.43 ถึง 108.29 ± 6.98 pg/100-l โดยมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นจากปากแม่น้ำออกสู่ทะเล

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนเงินอุดหนุนการวิจัยประเภทเงินรายได้ ประจำปี 2543 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ภาควิชาวาริชศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และสารเคมีบางส่วน อาจารย์ฤทธิ มีสัตย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์พรณี พักคง ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- ชนิษฐา กมลรัตน์. (2523). การพัฒนาวิธีทางเคมีวิเคราะห์สำหรับการหาเรเดียม-226 โดยวิธีการตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญสม พรเทพเกษมสันต์. (2525). การศึกษาเบื้องต้นถึงความแรงรังสีรวมแอลฟาและปริมาณของเรเดียม-226 ในน้ำจืดของทุกภาคของประเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพชฌุโชค จินตเศรษฐี. (2541). ความเป็นไปได้ในการศึกษาการไหลเวียนของมวลน้ำชั้นล่างในอ่าวไทยโดยใช้ตัวติดตามกัมมันตรังสีเรเดียม-226 ตามธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฟูเกียรติ สีนาคม, ชนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์, บุญสม พรเทพเกษมสันต์, และนันทนา สันติวุฒติ. (2531). กัมมันตรังสีรวมเบตา กัมมันตรังสีรวมแอลฟา และปริมาณเรเดียม-226 ของน้ำผิวดินในประเทศไทย. รายงานวิจัย. สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ.
- Breier, J.A., & Edmonds, H.N. (2006). High ^{226}Ra and ^{228}Ra Activities in Nueces Bay, Texas, Indicate Large Submarine Saline Discharges. *Marine Chemistry*, (in press)
- Faure, G. (1986). *Principle of Isotope Geology*. (2nd ed.). New York : John Wiley & Sons.
- Hancock, G. J., & Murray, A. S. (1996). Source and Distribution of Dissolved Radium in the Bega River Estuary, Southeastern Australia. *Earth and Planetary Science Letters*, 138, 145-155.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (1990). *The Environmental Behavior of Radium: Volume 1. Technical Reports Series No. 310*. Austria : IAEA
- Lee, Yong-Woo, & Kim, Guebuem. (2006). Linking Groundwater-Borne Nutrients and Dinoflagellate Red-Tide Outbreaks in the Southern Sea of Korea Using a Ra Tracer. *Estuarine coastal and shelf scienc*, 1-9.
- Mays, C.W., Rowland, R.E., & Stehney, A.F. (1985). Cancer Risk from the Life Time in take of Ra and U Isotope. *Health Phys.*, 48, 635-637.
- Moore, W.S. (1969). Oceanic Concentration of $^{228}\text{Radium}$. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 437-446.
- Moore, W.S. (1976). Sampling Radium-228 in the Deep Ocean. *Deep Sea Research*, 23, 647-651.
- Moore, W.S., & Reid, D.F. (1973). Extraction of Radium from Natural Water Using Manganese-Impregnated Acrylic Fibers. *J. Geophys. Res.*, 78, 8880-8886.
- Moore, W.S., & Santschi, P.H. (1986). Ra-228 in the Deep Indian Ocean. *Deep Sea Research*, 33, 107-120.
- Nozaki, Y. (1983). Determination of Thorium Isotopes in Seawater by Moored MnO_2 - Fibers Method. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, 39, 129-135.
- Nozaki, Y., Yamamoto, Yoshiyuki, Manaka, Toshiki, Amakawa, Hiroshi, & Snidvongs, Anond. (2001). Dissolved Barium and Radium Isotopes in the Chao Phraya River Estuarine Mixing Zone in Thailand. *Continental Shelf Research*, 21, 1435-1448.
- Seymour, A.H. (1971). *Radioactivity in the Marine Environment*. USA : National Academy of Science.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA). (1996). *Drinking Water Regulations and Health Advisories*. Washington DC: Office of Water, United States Environmental Protection Agency. (EPA 822-B-96-002)
- Yamada, M., & Nozaki, Y. (1986). Radium Isotopes in Coastal and Open Ocean Surface Water of the Western North Pacific. *Mar. Chem.*, 19, 379-387.
- Wang, C.H., & Willis, David L. (1965). *Radiotracer Methodology in Biological Science*. USA : Prentic-Hall.