

บทที่ 2

สำรวจเอกสาร

Moore and Reid (1973) ได้ทดลองใช้เส้นใยอะคริลิก (acrylic fiber) ซึ่งถูกย้อมด้วยสารละลายแมงกานีสออกไซด์ - ไดออกไซด์ เพื่อดูดซับเรเดียมที่บริเวณผิวหนังน้ำทะเลและจากที่ลึก การเก็บตัวอย่างเรเดียมตามวิธีการนี้ทำโดยบรรจุเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก (MnO_2 -acrylic fiber) ประมาณ 100 – 500 กรัม ในท่อพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 เซนติเมตร ยาว 23 เซนติเมตร แล้วลากพลาสติกนี้ผ่านน้ำทะเลบริเวณผิวหน้าด้วยความเร็ว 18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นระยะทาง 20 เมตร เพื่อให้ น้ำทะเลไหลผ่านท่อพลาสติกในปริมาณที่แน่นอน ส่วนการเก็บตัวอย่างเรเดียมจากน้ำทะเลในที่ลึกทำโดยแช่ท่อพลาสติกทรงกระบอก ที่บรรจุเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกที่ระดับความลึกที่ต้องการประมาณ 1 ชั่วโมง วิธีการเหล่านี้เป็นการทดลองเก็บเรเดียมในรูปซึ่งถูกทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการดูดซับบนเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกเป็นครั้งแรก โดยที่เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกนี้มีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมจากน้ำทะเลได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

Moore (1976) ได้ปรับปรุงวิธีการเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก จากวิธีการเตรียมของ Moore and Reid (1973) โดยการแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.5 โมล ที่อุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเส้นใยกลายเป็นสีดำมัน หรือสามารถเตรียมได้อีกวิธีหนึ่งโดยการแช่เส้นใยอะคริลิกในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตความเข้มข้น 0.5 โมล เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งเมื่อทดลองนำเส้นใยที่ถูกย้อมแล้วนี้ไปแช่ในน้ำทะเลประมาณ 1 – 3 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 พบว่าเส้นใยอะคริลิกนี้สามารถดูดซับเรเดียมได้ปริมาณเท่ากับเรเดียมซึ่งอยู่ในน้ำทะเลประมาณ 1000 – 2000 ลิตร และวิธีการเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการเตรียมของ Moore and Reid (1973) อย่างไรก็ตามวิธีการเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกที่ได้ถูกปรับปรุงนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเส้นใยแบบอื่น ๆ ได้ เช่น ไนลอน, โพลีเอสเตอร์ และเซลลูโลส

Yamada and Nozaki (1986) ศึกษาการแพร่กระจายของเรเดียม-226 ในบริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศญี่ปุ่น และบางส่วนของทะเลทางฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก วิธีการเก็บตัวอย่างทำโดยการสูบน้ำทะเลที่บริเวณผิวหน้าประมาณ 133 – 1503 ลิตร ด้วยอัตรา 2.5 ลิตรต่อนาที แล้วกรองผ่านตัวกรองขนาดรูพรุน 0.1 ไมครอน จากนั้นจึงปล่อยให้ให้น้ำตัวอย่างไหลผ่านเส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกประมาณ 35 กรัม เพื่อดูดซับเรเดียม จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาวัดปริมาณรังสีแกมมาของเรเดียม-226 โดยใช้เครื่องวัดรังสีแกมมา (well type pure germanium detector) ผลการศึกษาแสดงถึงปริมาณเรเดียม-226 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ (57.9 ± 1.0 ถึง 85.8 ± 1.6 ดีพีเอ็มต่อ 100 กิโลกรัมของน้ำทะเล) และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน y (K_y) ซึ่งคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใน 1 มิติ เป็น 4×10^5 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ที่ระยะทางในแนวแกน y น้อยกว่า 200 กิโลเมตร และ 4×10^7 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ที่ระยะทางในแนวแกน y มากกว่า 200 กิโลเมตร

Cochran (1980) ศึกษาฟลักซ์ของเรเดียม-226 ในตะกอนในทะเลลึกจำนวน 10 แห่งจากทั่วโลก โดยคำนวณฟลักซ์ของเรเดียม-226 ได้จากสมดุลระหว่างผลผลิตของเรเดียม-226 ที่ได้จากการสลายตัวของทอเรียมในตะกอนรวมกับเรเดียม-226 ซึ่งเป็นตะกอนแขวนลอยอยู่ในมวลน้ำกับเรเดียม-226 ซึ่งตกตะกอนไปสะสมอยู่ในตะกอนกับฟลักซ์ของเรเดียม-226 ซึ่งมีการสลายตัวตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากการคำนวณแสดงว่า ฟลักซ์ของเรเดียม-226 จากตะกอนบริเวณมหาสมุทรแอตแลนติกมีค่าน้อยกว่า 0.0015 ดีพีเอ็มต่อตารางเซนติเมตรต่อปี และบริเวณตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิกมีค่าประมาณ 0.21 ดีพีเอ็มต่อตารางเซนติเมตรต่อปี โดยฟลักซ์ของเรเดียม-226 มีความสัมพันธ์น้อยมากกับชนิดของตะกอนดิน นอกจากนี้ยังรายงานผลว่า บริเวณซึ่งเรเดียม-226 มีการผสมผสานกันเป็นอย่างดีในตะกอนนั้น อยู่ใกล้กับบริเวณผิวหน้าตะกอน ซึ่งสัมพันธ์กับมวลน้ำจันกระทั้งถึงที่ลึกประมาณ 8 เซนติเมตร และอัตราส่วนระหว่างเรเดียม-226 ต่อทอเรียม-230 ในตะกอนเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.94

Moore and Santschi (1986) ทำการวัดปริมาณเรเดียมจากน้ำทะเลในที่ลึกของมหาสมุทรอินเดีย โดยใช้เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิก ซึ่งเตรียมตามวิธีของ Moore (1969 ; 1976) เพื่อดูดซับเรเดียมจากน้ำทะเลประมาณ 30 ลิตร พบปริมาณเรเดียม-226 อยู่ในช่วง 20.8 – 33.0 ดีพีเอ็มต่อน้ำทะเล 100 กิโลกรัม และปริมาณของเรเดียม-228 อยู่ในช่วง

0.41 – 4.66 ดีพีเอ็มต่อน้ำทะเล 100 กิโลกรัม และปริมาณเรเดียม-226 และเรเดียม-228 จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อสัมผัสกับตะกอน นอกจากนี้ปริมาณเรเดียม-228 ยังมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับซิลิโคน เส้นใยแมงกานีสออกไซด์อะคริลิกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีค่าเบี่ยงเบนน้อยมาก (ประมาณ 0.1 ดีพีเอ็มต่อ 100 กรัมของเส้นใยอะคริลิก) และมีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมประมาณ 70 – 90 เปอร์เซ็นต์

ขนิษฐา กมลรัตน์ (2523) ได้พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียม-226 เพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 จากตัวอย่างน้ำจืดตามธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคการตกตะกอนร่วมของเรเดียม และแบเรียมในรูปของสารประกอบซัลเฟต โดยใช้ EDTA เพื่อป้องกันการตกตะกอนของสารประกอบแคลเซียมซัลเฟต และเลือกพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนรูปตะกอนเรเดียมให้อยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอเนต เพื่อให้เรเดียม-226 บริสุทธิ์ โดยการสกัดด้วย TTA แล้วจึงตกตะกอนกลับให้อยู่ในรูปของสารประกอบซัลเฟตอีกครั้งหนึ่ง เพื่อวัดปริมาณรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ซึ่งหลังจากปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 3 สัปดาห์ เพื่อให้เรเดียม-226 อยู่ในสภาวะสมดุลกับนิวไคลด์ลูก (daughter products) แล้วจะสามารถวัดปริมาณรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ได้สูงจนถึง 4 เท่า การวิเคราะห์วิธีนี้ใช้แบเรียม-133 เป็นสารติดตามเพื่อหาค่า chemical yield วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการวัดปริมาณเรเดียม-226 นอกจากนี้วิธีการวิเคราะห์ก็ไม่ยุ่งยากหรือต้องใช้เครื่องมือที่เฉพาะ ทำให้มีความเหมาะสมในการใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่มีจำนวนมากได้ดี โดยมีขีดจำกัดของการวัดปริมาณรังสีแอลฟาของเรเดียม-226 ตามวิธีการนี้เป็น 0.044 ดีพีเอ็ม ซึ่งการนับปริมาณรังสีจะไม่ถูกรบกวนโดยการดูดกลืนปริมาณรังสีในตัวเอง เมื่อตะกอนมีความหนาในช่วง 0.222 – 0.7205 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

บุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) ทำการวัดปริมาณรังสีรวมแอลฟา และปริมาณของเรเดียม-226 ในน้ำจืดทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ซึ่งพัฒนาโดย ขนิษฐา กมลรัตน์ (2523) และพัฒนาวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ โดยการกรองเอาสารแขวนลอยออกจากตัวอย่างน้ำที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ และทำการลดปริมาณโดยการระเหย เพื่อทำให้ปริมาณเรเดียมในน้ำตัวอย่างเข้มข้นขึ้นก่อนนำมาตกตะกอน ผลการศึกษาแสดงว่าในตัวอย่างน้ำซึ่งนำไปวัดปริมาณรังสีแอลฟารวมนั้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณเรเดียม-226 ในอัตราส่วน 25 ต่อ 1 ซึ่งเป็นประโยชน์ในการพิจารณาปริมาณของเรเดียม-226 ซึ่งอยู่

ในน้ำตัวอย่าง อย่างไรก็ตามก็ตีสัดส่วนที่แสดงนี้ยังไม่มีความแน่นอนที่จะนำมาใช้ได้จริง เนื่องจากมีบางตัวอย่างซึ่งวัดปริมาณรังสีแอลฟารวมได้มาก แต่ไม่มีปริมาณเรเดียม-226 อยู่เลย ซึ่งอาจเกิดจากการรบกวนของสารตัวอื่นซึ่งปล่อยรังสีแอลฟา ในทางกลับกันบางตัวอย่างมีปริมาณรังสีแอลฟาน้อยมาก แต่สามารถวัดปริมาณเรเดียม-226 ได้มาก วิธีการวิเคราะห์ที่พบว่ามีค่า chemical yield สูงถึงร้อยละ 94–98 โดยมีขีดจำกัดต่ำสุดของการวัดรังสีอยู่ที่ 0.024 ดีพีเอ็มต่อลิตร และเมื่อตะกอนมีความหนา 2.444–4.752 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะให้ค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีมีค่าค่อนข้างคงที่ 13.549–12.611 เปอร์เซ็นต์

Ku and Luo (1994) ได้ใช้แบบจำลองไฮโดรไดนามิกแบบ 2 มิติ เพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ (K_x และ K_y) และสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง (K_z) รวมถึงความเร็วในการเคลื่อนที่ของมวลน้ำ โดยใช้ข้อมูลของเรเดียม-226 แบบเรียม ความเค็ม และ potential density จากด้านตะวันออก และบริเวณตอนกลางของมหาสมุทรอินเดียที่ได้จากการสำรวจของ GEOSECS เป็นข้อมูลนำเข้า ผลจากการคำนวณ ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบและแนวตั้ง อยู่ในช่วง 10^4 – 10^8 ตารางเซนติเมตรต่อวินาที และ 10^{-2} ตารางเซนติเมตรต่อวินาทีตามลำดับ และมีค่า upwelling อยู่ในช่วง 1–10 เมตรต่อปี ในขณะที่ค่า downwelling อยู่ในช่วง 0.01–0.1 เมตรต่อปี และมีความเร็วในการเคลื่อนที่ของมวลน้ำในแนวราบอยู่ในช่วง 0.01–0.1 เซนติเมตรต่อวินาที

วิธีการศึกษา

การเตรียมเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ไนลอน (MnO_2 nylon fibers)

ทำโดยนำเส้นใยไนลอน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ประมาณ 50 ± 2 กรัม มาแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกานีสอิ่มตัว ($KMnO_4$ ความเข้มข้นประมาณ 0.5 โมล) ที่อุณหภูมิประมาณ 70 ถึง 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเส้นใยไนลอนกลายเป็นสีดำ จากนั้นล้าง MnO_2 nylon fibers ที่ได้ด้วยน้ำ Deionized water แล้วจึงทำเส้นใยที่ได้นั้นให้แห้งและฟู หลังจากนั้นบรรจุเส้นใยที่ได้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อนำไปใช้ต่อไป วิธีการเตรียม MnO_2 nylon fibers นี้ได้ดัดแปลงมาจากวิธีที่รายงานไว้โดย Moore and Reid (1973); Moore (1976); Nozaki (1983); Nozaki and Nakanishi (1985); Yamada and Nozaki (1986) และ Buessler *et al.* (1992)

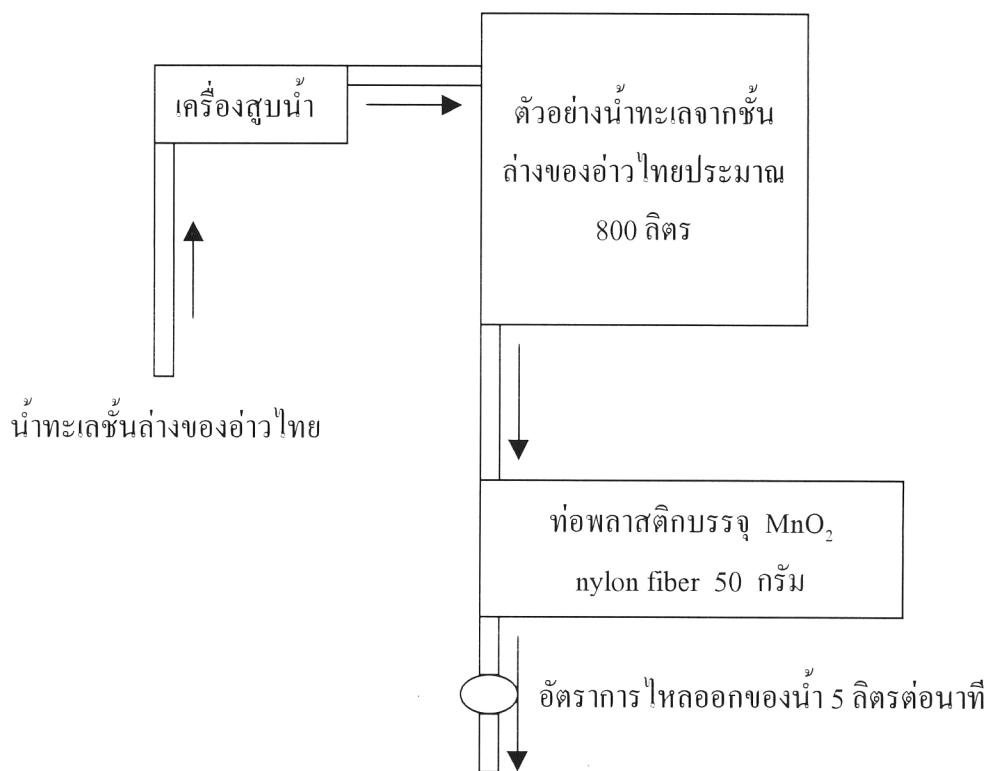
การเก็บตัวอย่าง Ra-226 จากน้ำทะเลชั้นล่างของอ่าวไทย

การเก็บตัวอย่างน้ำทะเล ทำโดยการสูบน้ำทะเลจากระดับความลึกประมาณ 5 เมตรเหนือพื้นทะเลขึ้นมา ปล่อยน้ำทะเลที่สูบได้ทิ้งไปเป็นเวลาประมาณ 10 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าได้ตัวอย่างน้ำทะเลในระดับที่ต้องการ แล้วจึงสูบน้ำทะเลขึ้นมาเก็บไว้ในถังพลาสติกประมาณ 800 ลิตร (รูปที่ 3)

การเก็บตัวอย่าง Ra-226 ทำโดยการปล่อยให้ น้ำทะเลตัวอย่างที่ได้เก็บไว้ในถังพลาสติกนั้นไหลผ่านท่อ PVC ที่บรรจุ MnO_2 nylon fibers ประมาณ 50 กรัม โดยควบคุมอัตราการไหลออกของน้ำเป็น 5 ลิตรต่อนาที ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่าง MnO_2 nylon fibers ที่ได้ดูดจับ Ra-226 แล้วนี้ในถุงพลาสติกที่ปิดสนิท เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์ Ra-226 ในห้องปฏิบัติการต่อไป

การเก็บตัวอย่างตะกอน และการเตรียมตัวอย่างตะกอน

ทำการตัดแบ่งตะกอนที่เก็บโดยใช้ core sampler ออกให้มีความหนา 2 เซนติเมตรตลอดความยาวของแท่งตะกอน แล้วเก็บใส่ในตลับพลาสติก หลังจากนั้นนำตะกอนที่เก็บได้แต่ละชั้นมาอบให้แห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วทำการบดตะกอนที่อบแห้ง และนำมาร่อนผ่านเครื่องร่อนขนาดตา 125 ไมครอน แล้วทำให้แห้งอีกครั้ง จากนั้นชั่งตัวอย่าง 3 กรัม นำมาใส่ในบีกเกอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ Th-230 ในห้องปฏิบัติการต่อไป

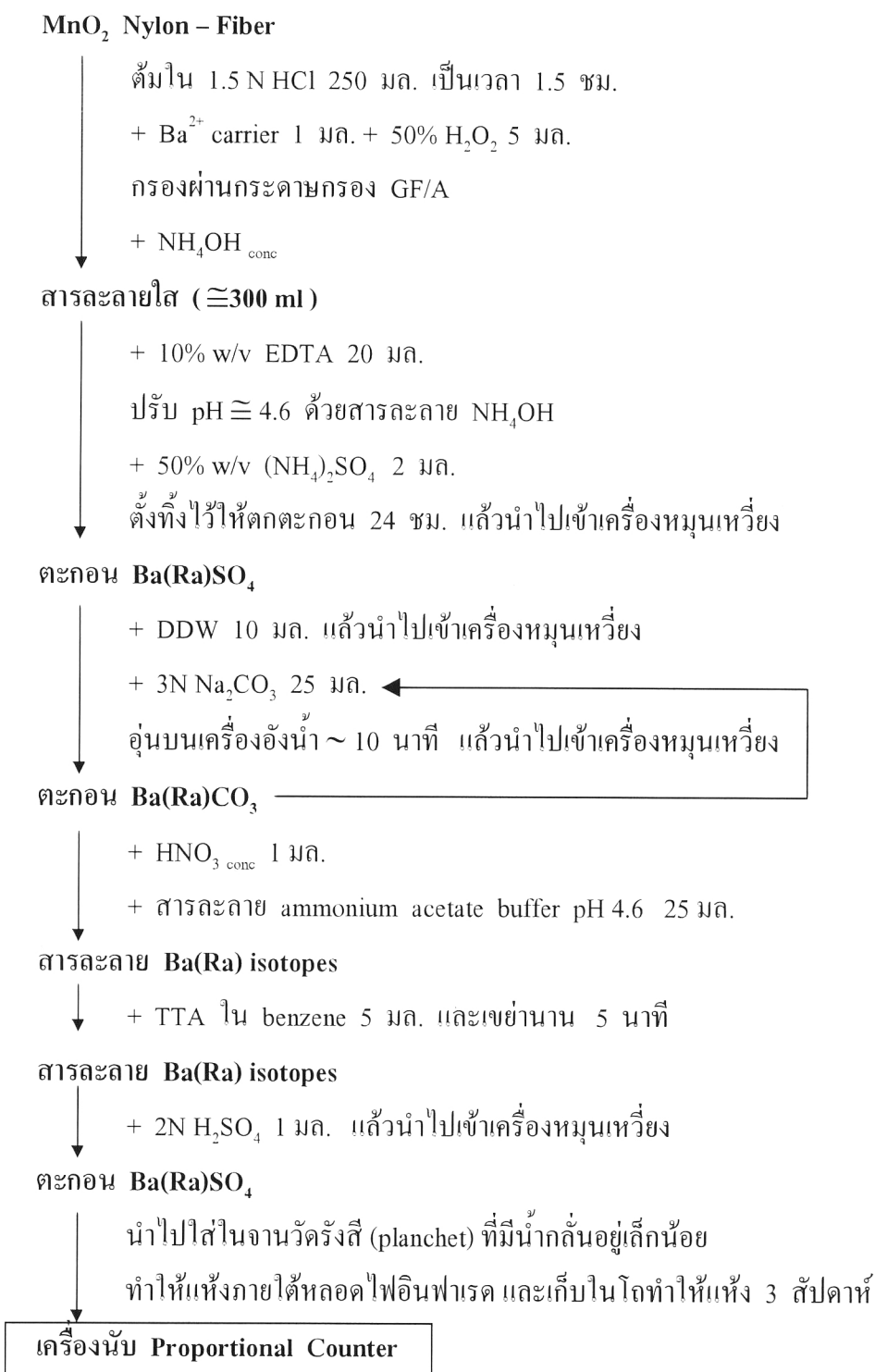


รูปที่ 3. แสดงการเก็บตัวอย่างน้ำทะเลชั้นล่างของอ่าวไทยโดยการสูบน้ำทะเลตัวอย่างจากมวลน้ำชั้นล่างของอ่าวไทยประมาณ 800 ลิตร มาเก็บไว้ในถังพลาสติกแล้วปล่อยให้ไหลผ่านท่อที่บรรจุ MnO_2 nylon fiber 50 กรัมเพื่อดูดซับเรเดียมโดยควบคุมอัตราการไหลออกของน้ำเป็น 5 ลิตรต่อนาที

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. การหาปริมาณ Ra-226 โดยวิธีการตกตะกอน

หลักการโดยทั่วไปในการวิเคราะห์หาปริมาณ Ra-226 จากตัวอย่างน้ำทะเลที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ แบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการแยกเรเดียม และโลหะปริมาณน้อยตัวอื่น ๆ ออกจาก MnO_2 nylon fibers โดยต้มเส้นใยที่ใช้ในการดูดซับเรเดียมจากตัวอย่างน้ำทะเลแล้วใน 1.5 N HCl ซึ่งเติมสารละลายตัวพาแบเรียม (Ba^{2+} carrier) 1 มิลลิกรัม เป็นสารติดตาม เพื่อหาค่าเคมีคัล ยิลด์ (chemical yield) และในขั้นตอนที่สอง เป็นการตกตะกอนเรเดียมออกจากสารตัวอย่างในรูปของแบเรียม – เรเดียมซัลเฟต ($Ba(Ra)SO_4$) โดยเติมสารละลาย EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid) เพื่อป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียม และสารกัมมันตรังสีอื่น ๆ ในธรรมชาติที่ให้อนุภาคแอลฟา หลังจากนั้นเปลี่ยนตะกอนซัลเฟตให้อยู่ในรูปของสารประกอบคาร์บอเนต เพื่อให้เรเดียมบริสุทธิ์ โดยการสกัดด้วยสารละลาย TTA (thenoyltrifluoroacetone) แล้วตกตะกอนเรเดียมกลับมาในรูปของ $Ba(Ra)SO_4$ เพื่อวัดนับจำนวนอนุภาคแอลฟาของ Ra-226 ต่อนาที (cpm) ด้วยเครื่องนับรังสีชนิด proportional counter หลังจากที่ได้เก็บตัวอย่าง Ra-226 ไว้ในโถทำแห้งเป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อให้ Ra-226 ที่เกิดขึ้นสมดุลกับนิวไคลด์ลูก (daughter products) (ภาคผนวก ก.)



รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ activity ของ Ra-226 จากน้ำทะเลชั้นล่างของ
 อ่าวไทยที่ถูกดูดซับ โดยใช้ MnO₂ nylon – fiber ตามวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้น

การคำนวณ activity ของ Ra-226 ทั้งหมดสำหรับแต่ละตัวอย่าง ในหน่วยของ จำนวนการสลายตัวต่อนาที (dpm) ทำได้โดยการคำนวณเทียบกับสารมาตรฐาน Ra-226 (standard Ra-226) ที่เตรียมได้ตามวิธีการวิเคราะห์เรเดียมข้อ 2 ในภาคผนวก ก. ซึ่งการคำนวณตามวิธีนี้ได้คิดรวมประสิทธิภาพในการนับรังสีแอลฟาของเครื่องนับรังสี (Efficiency of Detector : Ed) ประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมของ MnO_2 nylon fibers (Efficiency of fiber ; En) ประสิทธิภาพการนับรังสีจากการดูดกลืนในตัวเอง (Self-absorption ; S) และ เคมีคัล ยิลด์ (Chemical yield ; C) แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$Rs(dpm) = \left[\frac{Rs(cpm) - Rb(cpm)}{Ed \times En \times C \times S} \right]_{sam} \times \left[\frac{Ed \times En \times C \times S}{Rs(cpm) - Rb(cpm)} \right]_{stm} \times Rstm(dpm)$$

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

$Rstm(dpm)$ คือ activity ของ Ra-226 ในสารมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 45.74 dpm

sam เป็นสัญลักษณ์กำหนดให้เป็นค่าของตัวอย่าง

stm เป็นสัญลักษณ์กำหนดให้เป็นค่าของสารมาตรฐาน ซึ่งรวม En อยู่ด้วย

$Rs(cpm)$ คือ activity ของ Ra-226 ซึ่งได้จากการนับรังสี โดยที่สารมาตรฐาน

Ra-226(stm) นับได้ 27 cpm

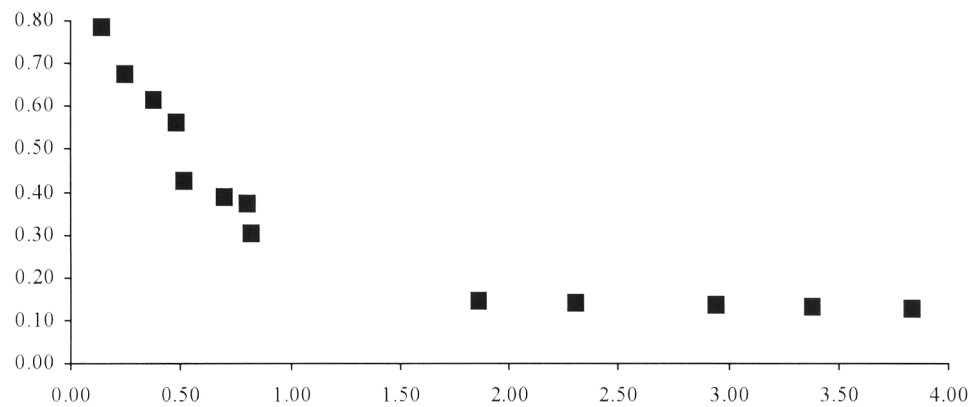
$Rb(cpm)$ คือค่าเบสคราวน์ของอนุภาคแอลฟาในเครื่องนับรังสีมีค่าเท่ากับ 6 cpm

Ed มีค่าเท่ากับ 0.306 ทั้งจาก sam และ stm

En มีค่าเท่ากับ 0.529 ทั้งจาก sam และ stm

C มีค่าเท่ากับ 0.729 ทั้งจาก sam และ stm

S มีค่าขึ้นอยู่กับความหนาของตะกอน $Ba(Ra)SO_4$ ในจานนับรังสี (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร) โดยถ้าตะกอนมีความหนามากจะมีผลให้เครื่องมือนับรังสีมีประสิทธิภาพในการนับรังสีน้อยลง จากข้อมูลของขนิษฐา กมลรัตน์ (2523) และบุญสม พรเทพเกษมสันต์ (2525) แสดงได้ในรูปที่ 5

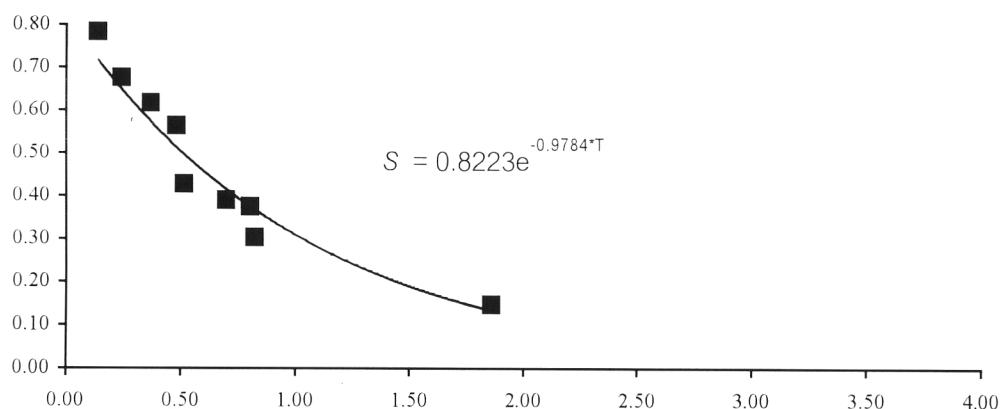


รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของตะกอน $Ba(Ra)SO_4$ เป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (แกน x) และประสิทธิภาพในการนับรังสีแอลฟาของ Ra-226 (แกน y) เนื่องจาก self-absorption (ข้อมูลจากขนิษฐา กมลรัตน์, 2523 และบุญสม พรเทพเกษมสันต์, 2525)

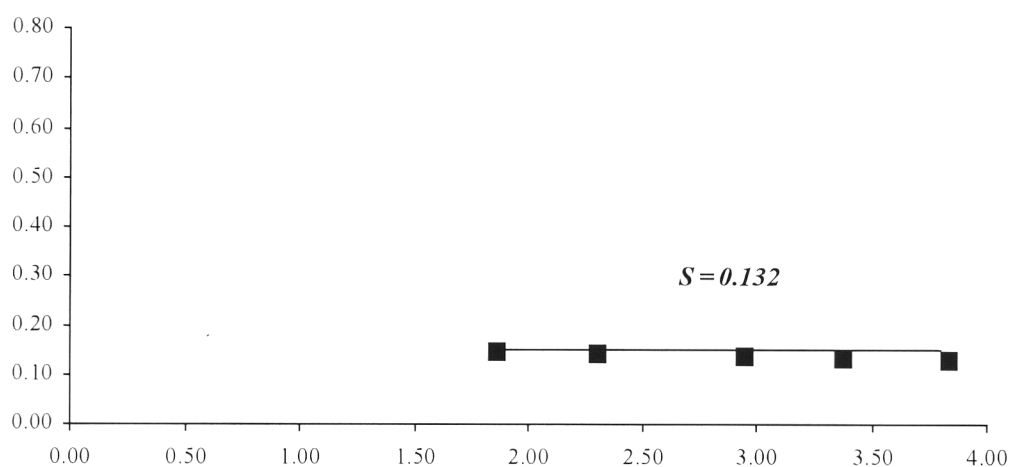
อย่างไรก็ตาม เมื่อความหนาของตะกอนเพิ่มมากขึ้นผ่านระดับหนึ่งแล้ว จะมีผลให้ประสิทธิภาพในการนับรังสีแอลฟาของเครื่องนับรังสีมีค่าคงที่ตลอด ถึงแม้ว่าความหนาของตะกอนจะเพิ่มมากขึ้นอีกเท่าใดก็ตาม จะทำให้ประสิทธิภาพในการนับรังสีแอลฟามีค่าเท่ากันตลอด ดังนั้นจากรูปที่ 5 จึงแบ่งการคำนวณหาประสิทธิภาพในการนับรังสีแอลฟา ได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 เมื่อความหนาของตะกอนยังไม่เพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งทำให้ประสิทธิภาพในการนับรังสีคงที่ (รูปที่ 6)

กรณีที่ 2 เมื่อความหนาของตะกอนเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งทำให้ประสิทธิภาพ ในการนับรังสีคงที่ (รูปที่ 7)



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของตะกอน Ba(Ra)SO_4 เป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (แกน x) และประสิทธิภาพในการนับรังสีแอลฟาของ Ra-226 (แกน y) เนื่องจาก self-absorption ในกรณีที่ตะกอนมีความหนาดังแต่ 0.14 – 1.86 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การนับรังสีได้จากสมการ $S = 0.8223e^{-0.9784*T}$



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของตะกอน Ba(Ra)SO_4 เป็นมิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (แกน x) และประสิทธิภาพในการนับรังสีแอลฟาของ Ra-226 (แกน y) เนื่องจาก self-absorption ในกรณีที่ตะกอนมีความหนามากกว่า 1.86 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนับรังสีคงที่เป็น 0.132

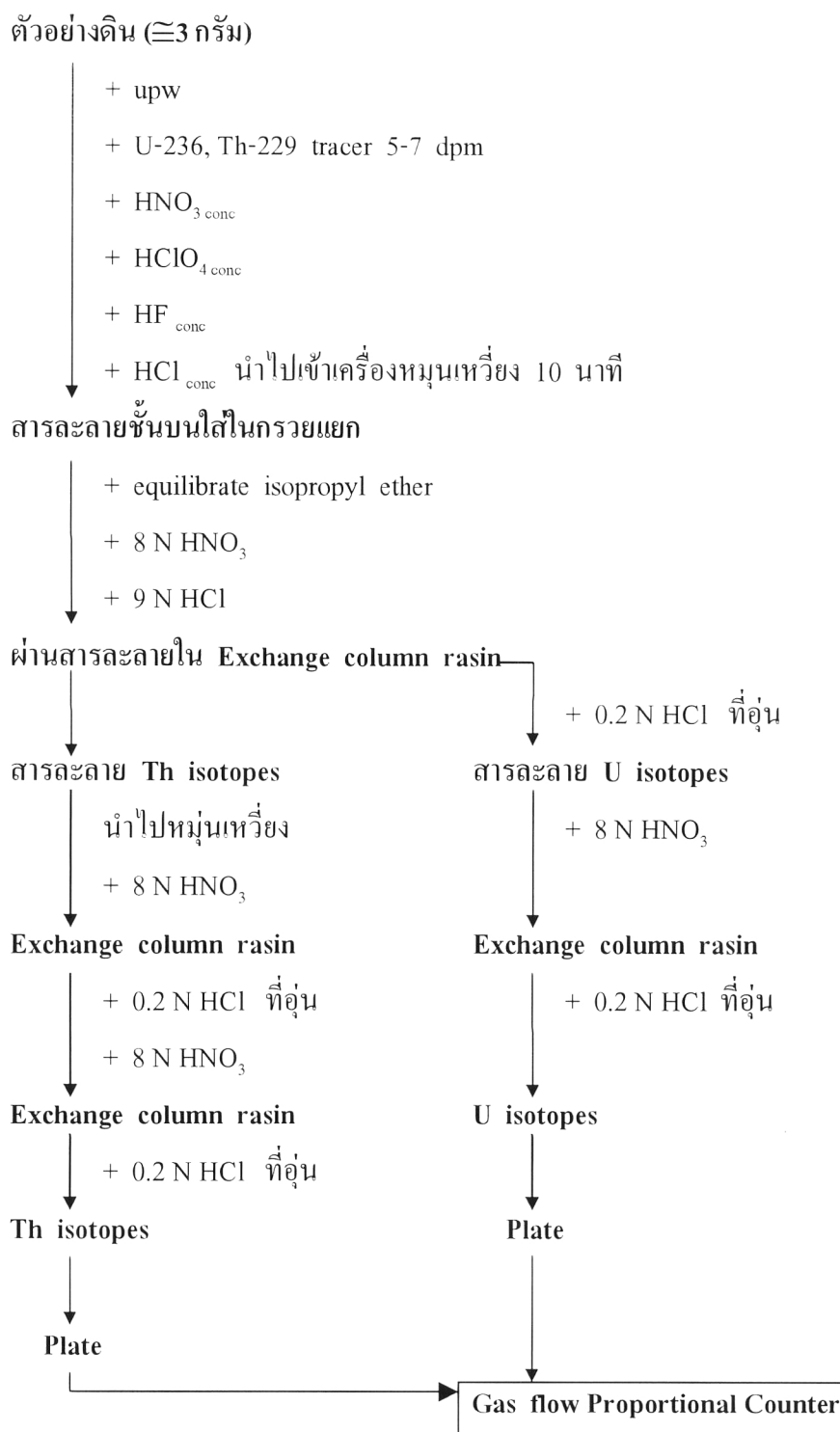
และ activity ของ Ra-226 ซึ่งมีอยู่จริงในตัวอย่าง (net R_s (dpm/l)) คำนวณได้ โดยการลบค่าแบลด์คั้งของน้ำที่ใช้ในการเตรียมรีเอเจนต์ต่าง ๆ (B_w) และค่าแบลด์คั้งของ MnO₂ nylon fiber (B_n) ออกแล้ว ซึ่งแสดงได้ตามสมการ

$$net\ R_s\ (dpm/l) = \frac{R_s(dpm) - B_n(dpm) - B_w(dpm)}{V\ (l)} \quad (2)$$

โดยที่ V แทนปริมาตรของตัวอย่างน้ำทะเลเป็นลิตร ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ activity ของ Ra-226 (ภาคผนวก ก.)

2. การหา activity ของ Th-230 ในตะกอน

หลักการโดยทั่วไป เป็นการสกัดทอริยมและยูเรเนียมจากตะกอน โดยใช้วิธีการย่อยด้วยกรด (acid digestion) โดยใช้ Th-229 เป็นสารติดตาม แล้วทำการแยกสารรบกวนออกจากตัวอย่าง โดยใช้ equilibrate isopropyl ether หลังจากนั้นจึงทำการสกัดแยกทอริยมและยูเรเนียม โดยผ่านเรซินชนิด AG1-X8 (Biorad) ซึ่งในสภาวะที่เรซินอยู่ในรูปของ 9 N HCl จะมีคุณสมบัติในการจับยูเรเนียมไว้ และปล่อยทอริยมออกมา สารละลายของทอริยมที่แยกออกมาได้จะถูกทำให้บริสุทธิ์ โดยผ่านเรซินที่อยู่ในสภาวะของ 8 N HNO₃ ในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการแยกทอริยมจากสารละลาย โดยใช้วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า แล้วเคลื่อนลงบนแผ่นสแตนเลส เพื่อนับปริมาณรังสีแอลฟาของทอริยม โดยใช้เครื่องนับรังสีชนิด Gas Flow Proportional Counter ต่อไป



รูปที่ 8 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณทอเรียม-230 จากตะกอนพื้นทะเลของอ่าวไทย

การคำนวณ activity ของ Th-230 จากตัวอย่างตะกอนพื้นทะเลของอ่าวไทย ทำได้
โดยการคำนวณเทียบกับสารติดตาม Th-229 ตามสมการ

$$T_s(dpm / g - sed) = \frac{T_s(cts) \times T_T(dpm / ml) \times T_T(\mu l) \times F}{T_T(cts) \times 1000 \times T_s(g)} \quad (3)$$

โดยที่ $T_s(dpm / g - sed)$ เป็นปริมาณ activity ของ Th-230 ในตะกอนน้ำหนัก 1 กรัม

$T_s(cts)$ เป็นจำนวนนับของ Th-230 ที่ได้จากการนับรังสีแอลฟาของ Th-230

$T_s(g)$ เป็นน้ำหนักแห้งของตะกอนที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณ Th-230

$T_T(dpm / ml)$ เป็นปริมาณ Th-229 ในสารติดตามต่อมิลลิลิตร

$T_T(\mu l)$ เป็นปริมาณสารติดตามที่เติมลงในตะกอน

$T_T(cts)$ เป็นจำนวนนับของ Th-229 ที่ได้จากการนับรังสีแอลฟาพร้อมกับการนับ

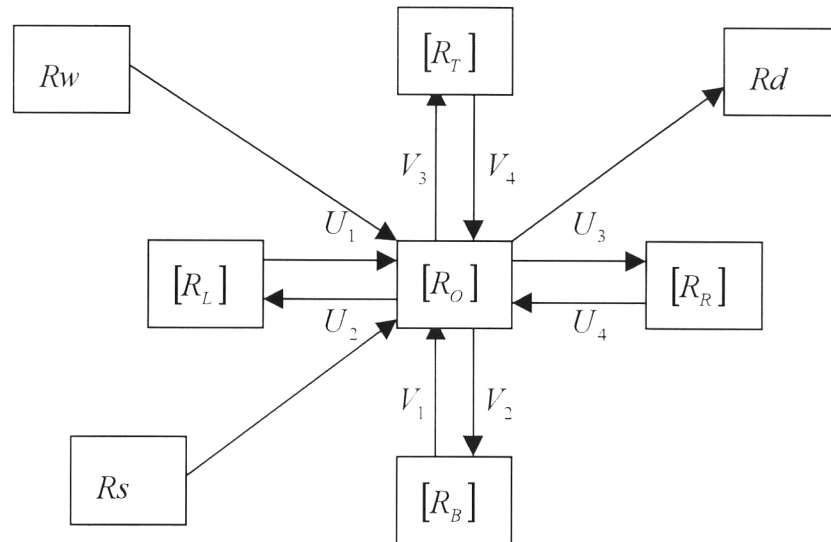
ตัวอย่าง

F เป็นค่าคงตัวของน้ำหนักเกลือที่อยู่ในตะกอนดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ภาค

ผนวก ข.)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

activity ของ Ra-226 ในตัวอย่าง (dpm/l) ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ สามารถคำนวณเป็น ความเข้มข้นของ Ra-226 ในหน่วยของอะตอมต่อลูกบาศก์เมตร (atom / m^3) โดยที่ความเข้มข้น ของ Ra-226 ที่คำนวณได้นี้ จะถูกนำมาพิจารณาในเทอมของฟลักซ์สุทธิของ Ra-226 ในหน่วย ของอะตอมต่อปี ($D \text{ (atom / y)}$) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง เป็นผลมาจากฟลักซ์ที่ไม่ อนุรักษ์ของ Ra-226 ที่ได้รับเพิ่มมาจากการสลายตัวของ Th-230 ในตะกอน (R_s) โดยสมมติให้ Ra-226 เข้ามาละลายอยู่ในมวลน้ำที่สัมผัสกับตะกอนเพียง 6% ของ Ra-226 ที่เกิดขึ้นทั้งหมดใน ตะกอน (Cochran, 1980) และจาก Ra-226 ที่ได้รับเพิ่มจาก Th-230 ซึ่งอยู่ในรูปที่ละลายในมวล น้ำ และอนุภาคแขวนลอย (R_w) โดยสมมติให้เป็น $0.1 \text{ dpm} / 10^3 \text{ kg}$ (Yamada and Nozaki, 1986 อ้างถึงใน Nozaki, 1981) แต่ฟลักซ์ของ Ra-226 ในมวลน้ำนั้นก็ได้มีการสลายตัว (R_d) ไปด้วยเช่นกัน (Moore, 1969 ; Ku *et al.*, 1970 และ Koczy, 1958 อ้างถึงใน Okubo, 1990) นอกจากนี้ยังเกิดจากกระบวนการอนุรักษ์ ได้แก่ การพา (advection) และการแพร่ (dispersion) ของมวลน้ำที่มีความเข้มข้นต่างกันทั้งในแนวแกน y และแนวแกน x ด้วย ซึ่งสามารถแสดงรวม ในรูปของการเคลื่อนย้ายมวลน้ำ (transport volume) เมื่อตั้งข้อสมมติให้ความเข้มข้นของ Ra-226 ที่มีการเปลี่ยนแปลงในสถานะเก็บตัวอย่างนั้นเข้าสู่สภาวะสมดุล (steady state) แล้วสามารถเขียน แผนผังได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนภูมิแสดง activity ของ Ra-226 ในมวลน้ำในอ่าวไทย ซึ่งมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์สุทธิที่ไม่อนุรักษ์ของ Ra-226 การพา (advection) และการแพร่ (diffusion) ของมวลน้ำที่มีความเข้มข้นของ Ra-226 ไม่เท่ากับมวลน้ำข้างเคียง

และแสดงเป็นสมการ โดยให้ฟลักซ์สุทธิที่ไม่อนุรักษ์เท่ากับฟลักซ์ที่อนุรักษ์ ได้ดังนี้

$$D = V_1 R_B - V_2 R_O + V_3 R_O - V_4 R_T + U_1 R_L - U_2 R_O + U_3 R_O - U_4 R_R \quad (4)$$

โดยที่ D แทน ฟลักซ์สุทธิที่ไม่อนุรักษ์ของ Ra-226 (atom/y) ในมวลน้ำแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 2) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$D = R_d - R_w - R_s \quad (5)$$

$$R_d (\text{atom} / \text{y}) = R_o (\text{dpm} / \text{m}^3) \times [60 \times 24 \times 365] (\text{y}) \times [\Delta x \times \Delta y \times \Delta z] (\text{m}^3) \quad (6)$$

โดยที่ $R_o(dpm/m^3) = net\ Rs(dpm/l) \times 1000$

R_o, R_B, R_T, R_L และ R_R เป็นความเข้มข้นของ Ra-226 (Rc) ($atom/m^3$) ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$Rc(atom / m^3) = net\ Rs(dpm / l) \times \left[\frac{1622 \times 1000}{0.693} \times 60 \times 24 \times 365 \right] (y) \quad (7)$$

$$Rw(atom / y) = [0.1] \left(\frac{dpm}{m^3} \right) \times [60 \times 24 \times 365] (y) \times [\Delta x \times \Delta y \times \Delta z] (m^3) \quad (8)$$

โดยที่ Δz คือความลึกเป็นเมตรจากระดับ 38 เมตรถึงพื้นทะเล และ $\Delta x = \Delta y$ เป็นระยะห่างระหว่างสถานีเก็บตัวอย่าง (เมตร) ซึ่งเท่ากับ 55560 เมตร

$$R_s(atom / y) = 0.06 \times T_s(dpm / g - sed) \times \rho(g / cm^3) \times [100 \times 100 \times \Delta x \times \Delta y] (m^2) \times [60 \times 24 \times 365] (y) \times l(cm) \quad (9)$$

โดยที่ T_s เป็นปริมาณ Th-230 ในตะกอน ซึ่งหาได้จากค่าเฉลี่ยของปริมาณ Th-230 ในตะกอนที่วิเคราะห์ได้จากสถานีที่ 21 27 และ 41 (รูปที่ 2) รวมกับปริมาณ Th-230 ในตะกอนที่พื้นทะเลในอ่าวไทย ซึ่งรายงานโดย Srisuksawad *et al.* (1997) มีค่าเป็น 2.48 dpm/g-sed

ρ เป็นความหนาแน่นของตะกอนเฉลี่ย (bulk density) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ Th-230 จากสถานีที่ 21 27 และ 41 มีค่าเป็น 1.42 g/cm^3

l เป็นความหนาของชั้นตะกอนที่นำมาหาค่าเฉลี่ย (cm)

เมื่อคำนวณค่าต่าง ๆ ที่สามารถคำนวณได้ทั้งหมด แล้วนำมาใส่ในสมการที่ (1) แล้ว จะพบว่ามีความ transport volume ที่ต้องการหาถึง 8 ค่า ซึ่งจำเป็นต้องใช้อีก 7 สมการในการคำนวณค่าเหล่านี้ แต่จากข้อมูลที่มีอยู่สามารถหาสมการในการคำนวณได้อีกเพียง 3 สมการ คือ สมการอนุรักษ์ของเกลือ (conservation of salt) สมการอนุรักษ์ความร้อน (conservation of heat) และสมการสมดุลมวลของน้ำ (mass balance equation) แสดงตามลำดับได้เป็น

$$0 = V_1 S_B - V_2 S_0 + V_3 S_0 - V_4 S_T + U_1 S_L - U_2 S_0 + U_3 S_0 - U_4 S_R \quad (10)$$

$$0 = V_1 T_B - V_2 T_0 + V_3 T_0 - V_4 T_T + U_1 T_L - U_2 T_0 + U_3 T_0 - U_4 T_R \quad (11)$$

$$0 = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + U_1 + U_2 + U_3 + U_4 \quad (12)$$

โดยที่ S_i และ T_i แทนค่าเฉลี่ยของความเค็มและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในแต่ละสถานีที่เก็บตัวอย่าง น้ำทะเลชั้นล่างของอ่าวไทยจากระดับ 38 เมตรถึงพื้นทะเล ซึ่ง i แทน B, O, T, L และ R ซึ่งอ้างอิงตามรูปที่ 9

เมื่อนำสมการ (1), (7), (8) และ (9) มาพิจารณาเพื่อแก้สมการหาค่า transport volume ต่าง ๆ แล้วยังพบว่าขาดสมการที่จำเป็นอีกถึง 4 สมการ ในการคำนวณหาค่าเหล่านี้ จึงใช้เทคนิค ในการกำหนดค่าขอบเขต (boundary condition) โดยกำหนดให้สถานีเก็บตัวอย่างที่ด้านซ้ายและ ด้านล่างติดกับแผ่นดิน (สถานีที่ 18 25 41 51 52 61 64 และ 75) ไม่มีการพาและการแพร่ทางด้านนั้น ทำให้ได้ว่า สำหรับสถานีเหล่านี้ $V_1 = V_2 = U_1 = U_2 = 0$ ทำให้สมการที่ (1) (7) (8) และ (9) ที่ถูกกำหนดตามเงื่อนไขนี้แล้วลดรูปลงเป็น

$$D = V_3 R_0 - V_4 R_T + U_3 R_0 - U_4 R_R \quad (13)$$

$$0 = V_3 S_0 - V_4 S_T + U_3 S_0 - U_4 S_R \quad (14)$$

$$0 = V_3 T_0 - V_4 T_T + U_3 T_0 - U_4 T_R \quad (15)$$

และ $0 = V_3 + V_4 + U_3 + U_4 \quad (16)$

จากสมการเหล่านี้จะสามารถคำนวณค่า transport volume (V_3 , V_4 , U_3 และ U_4) ได้ หลังจากนั้นจะใช้ค่า transport volume ที่คำนวณได้นี้แทนเป็นค่า V_1 , V_2 , U_1 และ U_2 เพื่อคำนวณหาค่า V_3 , V_4 , U_3 และ U_4 สำหรับสถานีอื่นที่ไม่ได้เป็น boundary station ต่อไป ทิศทางการคำนวณทั้งหมดแสดงในรูปที่ 10

หลังจากคำนวณค่า transport volume ทุก ๆ สถานีได้แล้ว จะสามารถคำนวณหาค่า advection และ dispersion ของแต่ละ boundary ได้โดยสมการ

$$\text{advection} \quad v = \frac{\Delta V_i}{\Delta x \times \Delta z} \quad (m/y) \quad (17)$$

$$u = \frac{\Delta U_i}{\Delta y \times \Delta z} \quad (m/y) \quad (18)$$

โดยที่

$$\Delta v_i = V_1 - V_2 \quad \text{หรือ} \quad V_3 - V_4$$

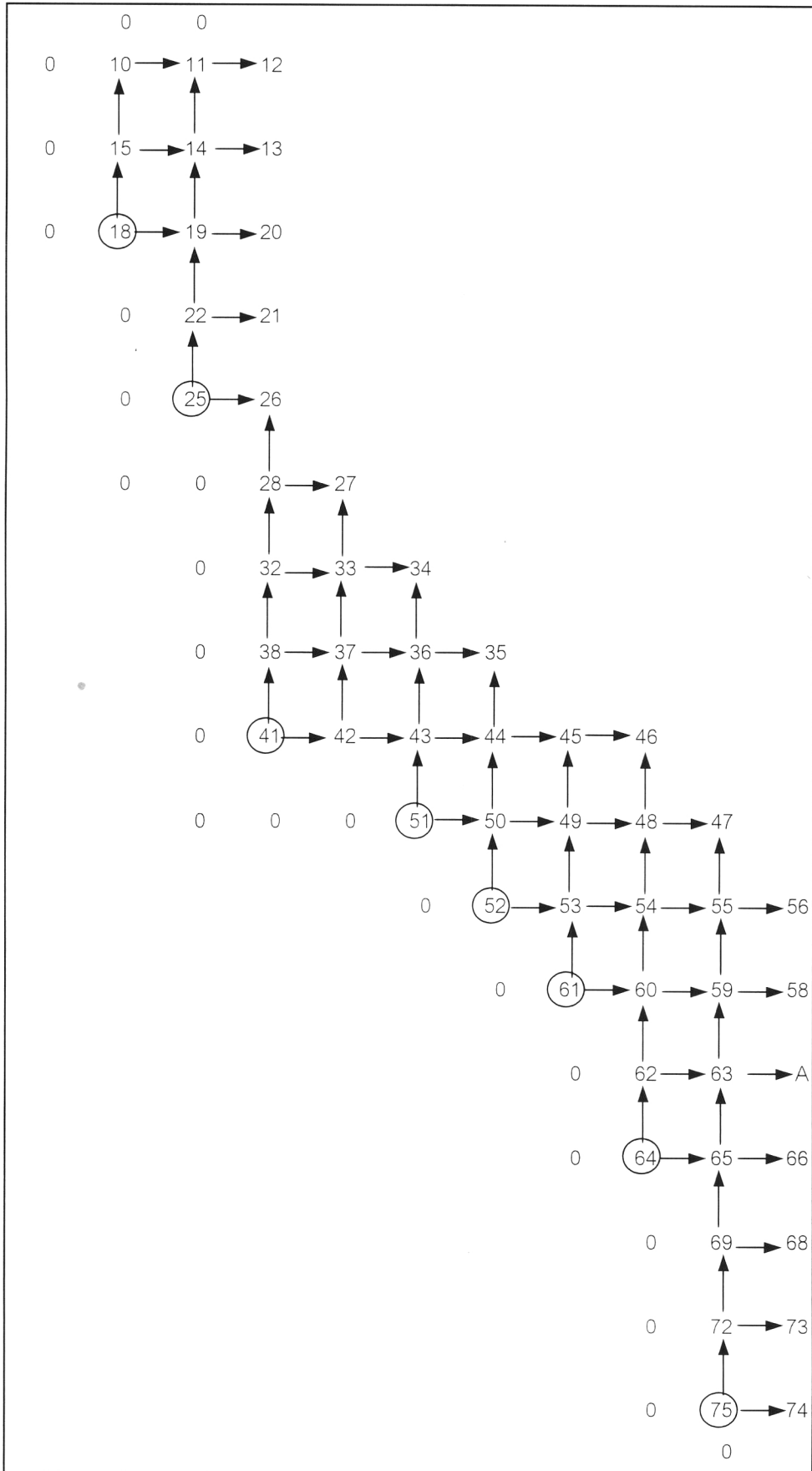
$$\Delta u_i = U_1 - U_2 \quad \text{หรือ} \quad U_3 - U_4 \quad (\text{รูปที่ 9})$$

$$\text{และ dispersion} \quad Ky = \frac{|V_i| \min}{\Delta x} \quad (m^3/y) \quad (19)$$

$$Kx = \frac{|U_i| \min}{\Delta y} \quad (m^3/y) \quad (20)$$

โดยที่ $|V_i| \min$ คือ absolute minimum ของ V ระหว่าง V_1 และ V_2 หรือ V_3 และ V_4
 $|U_i| \min$ คือ absolute minimum ของ U ระหว่าง U_1 และ U_2 หรือ U_3 และ U_4
 (รูปที่ 9)

และค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ คำนวณได้จาก $\sqrt{Ky \times Kx}$ (21)



รูปที่ 10 แสดงทิศทางการแก้สมการเพื่อหาค่า transport volume ในแต่ละสถานี โดยที่สถานีที่ได้วงกลมไว้ นั้น เป็นสถานีที่ถูกกำหนดให้ $V_1 = V_2 = U_1 = U_2 = 0$ และเป็นสถานีที่กำหนดเป็น boundary station เพื่อแก้สมการขึ้นไปตามแนวแกน y เพื่อหาค่า transport volume