

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จนิษฐา กมลรัตน์. 2523. การพัฒนาวิธีทางเคมีวิเคราะห์สำหรับการหาเรเดียม-226 โดยวิธีการตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญสม พรเทพเกษมสันต์. 2525. การศึกษาเบื้องต้นถึงความแรงรังสีแอลฟาและปริมาณของเรเดียม-226 ในน้ำจืดจากทุกภาคของประเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Buesseler, K.O., *et al.* 1992. Determination of Thorium isotopes in seawater by non-destructive and radiochemical procedures. Deep Sea Research. 39:1103-1114.
- Cochran, K. 1980. The flux of ^{226}Ra from deep-sea sediments. Earth Planet. Sci. Lett. 49:381-392.
- Fanning, K. A., J. A. Breland, and R. H. Byrne. 1982. Radium-226 and Radon-222 in the coastal waters of West Florida : High concentrations and atmospheric degassing. Science. 215. 667 – 670.
- Ku, T.L., and S. Luo. 1994. New appraisal of ^{226}Ra as large-scale ocean circulation tracer. J. Geophys. Res. 99 : 255-273.
- 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., 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., and P.H. Santschi. 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 MnO₂-fibers method. J. Oceanogr. Soc. Jpn. 39:129-135.
- Nozaki, Y., and T. Nakanishi. 1985. ²³¹Pa and ²³⁰Th profiles in the open ocean water column. Deep Sea Research. 32:1209-1220.
- Okubo, T. 1990. Radium in oceans and seas. The environmental behavior of Radium. 429. International Atomic Energy Agency.
- Snidvong, A., P. Rochana-anawat, and W. Longmanee. 1995. The catalogue of oceanographic profiles of the Western Gulf of Thailand and Eastern peninsula Malaysia in September 1995. SEAFDEC Training Department.
- Snidvongs, A., *et al.* 1996. SE32D001-81.PRS. SEAFDEC Department.
- Srisuksawad, K., B. Porntepkasemsan, S. Nouchpramool, P. Yamkate, R. Carpenter, M.L. Peterson, and T. Hamilton. 1997. Radionuclide activity, geochemistry and accumulation rates of sediments in the 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. 19:379-387.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์เรเดียม

การเตรียมสารมาตรฐานและแหล่งของเรเดียม

การคำนวณความแรงรังสีที่มีอยู่จริงในตัวอย่างนั้น เป็นการคำนวณโดยการเปรียบเทียบ กับสารมาตรฐาน ซึ่ง Ra-226 จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนในตัวเอง และค่าเคมีคัล ยิลด์ (chemical yeild) เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมสารมาตรฐาน Ra-226 นอกจากนี้ยังต้องลบค่าเบี่ยงเบนของเส้นใยในลอน และเบี่ยงเบนของน้ำกลั่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ออกไปด้วย จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดนี้ สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนการเตรียมได้ดังนี้

1. การเตรียมสารมาตรฐาน Ra-226 (std)

ผสมสารละลายมาตรฐานซึ่งมีจำนวนการสลายตัวของอนุภาคแอลฟาทั้งหมด 13.07 ต่อนาที (dpm) ในหลอดหมุนเหวี่ยง (centrifugal tube) ที่บรรจุน้ำกลั่น 2 ครั้ง (Double distilled water : DDW) ประมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายตัวพาแบเรียม (Ba^{2+} carrier) ซึ่งมีปริมาณแบเรียม 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร และสารละลาย 50% w/v ของ $(NH_4)_2SO_4$ 2 มิลลิลิตรเข้าไปด้วยกันในหลอดหมุนเหวี่ยง หลังจากที่เกิดตะกอนสารประกอบแบเรียม (เรเดียม) ซัลเฟต ($Ba(Ra) SO_4$) แล้ว จะทำการปั่นแยก (centrifuge) และย้ายตะกอนที่ได้ลงสู่จานวัดรังสี (planchet disc) ทำให้แห้ง และชั่งน้ำหนัก แล้วอนุภาคแอลฟาของมาตรฐาน Ra-226 นั้นจะถูกรัดหลังจากปล่อยทิ้งไว้ 3 สัปดาห์ เพื่อให้ Ra-226 ซึ่งอยู่ในจานวัดรังสีสมดุลกับนิวไคลด์ลูก (daughter products) ที่เกิดขึ้น สารมาตรฐาน Ra-226 ซึ่งนำมาวัดความแรงรังสีเป็นจำนวนนับต่อนาที (cpm) แล้วจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสี และใช้ในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนของน้ำกลั่นซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

2. การเตรียมสารมาตรฐาน Ra-226 ซึ่งรวมค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมของ MnO_2 nylon fibers (*stm*)

การเตรียมสารมาตรฐาน Ra-226 ซึ่งอยู่ในรูปของสารมาตรฐานที่รวมประสิทธิภาพการดูดซับเรเดียมของเส้นใยไนลอนด้วย กระทำโดยการแช่ MnO_2 nylon fibers จำนวน 50 กรัม ใน DDW 250 มิลลิลิตร ที่มีการเติมสารมาตรฐาน Ra-226 ซึ่งมีอนุภาคแอลฟาทั้งหมด 45.74 dpm ไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เรเดียมตามวิธีการวิเคราะห์ทุกขั้นตอน โดยใช้ Ba^{2+} carrier 1 มิลลิลิตร เป็นสารติดตาม เพื่อหาค่าเคมีคัล ยิลด์ต่อไป

3. แบลงค์ของน้ำกลั่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ (DDW)

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.5 นอร์แมล (1.5 N HCl) ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ถูกใช้เป็นตัวแบลงค์ของ Ra-226 โดยการผสม Ba^{2+} carrier 1 มิลลิลิตร แล้วทำตามขั้นตอนการวิเคราะห์ Ra-226 ทุกประการ หลังจากที่ถูกทำให้ตกตะกอนและทำให้บริสุทธิ์ แล้วจึงทำการวัดความแรงรังสีของ Ra-226 โดยเทียบกับความแรงรังสีของสารมาตรฐาน Ra-226 (*std*)

4. แบลงค์ของ MnO_2 nylon fibers

MnO_2 nylon fibers จำนวน 50 กรัม ถูกใช้แทนตัวอย่างในการวิเคราะห์หา activity ของ Ra-226 โดยจะทำการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของการวิเคราะห์ Ra-226 ทุกประการ

วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม (dpm)

เรเดียม และธาตุปริมาณน้อยอื่น ๆ จะถูกแยกจากเส้นใยแมงกานีสออกไซด์ในลอนได้ โดยใช้เทคนิคการสกัด ซึ่งหลังจากทำการแยกสารรบกวน และทำให้ Ra-226 ในสารตัวอย่างบริสุทธิ์แล้ว Ra-226 จะถูกตกตะกอนในรูปของสารประกอบซัลเฟต (Ba(Ra)SO_4) เพื่อวัดความแรงรังสีแอลฟา ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณเรเดียมที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นสามารถแยกได้เป็น

1. เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction Technique)

ตัวอย่างจะถูกต้มใน 1.5 N HCl ปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยเติม Ba^{2+} carrier 1 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นสารติดตาม เป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อสกัดเรเดียมไอโซโทป และธาตุปริมาณน้อยตัวอื่น ๆ ออกจาก MnO_2 nylon fibers จากนั้นตัวอย่างจะถูกรีดิวซ์ด้วย 50 % H_2O_2 จำนวน 5 มิลลิลิตร จนกระทั่งเส้นใยเปลี่ยนเป็นสีขาว หลังจากชะเส้นใยด้วย 1.5 N HCl และ DDW อีกครั้งก่อนแยกเส้นใยในลอนออกจากสารละลาย แล้วกรองสารละลายที่ได้ผ่านกระดาษกรอง GF/A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร เพื่อแยกอนุภาคแขวนลอยของเส้นใยในลอน ซึ่งตกค้างอยู่ภายในสารละลายออกจากสารละลาย เพื่อให้แน่ใจว่าตะกอนที่เกิดขึ้นหลังจากผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้งหมดแล้วเป็นตะกอนของ Ba(Ra)SO_4 แล้วทำการปรับ pH ของสารละลายให้ได้ประมาณ 4 ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ($\text{NH}_4\text{OH}_{\text{conc}}$) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร หลังจากนั้นจึงนำสารละลายที่ได้ไปผ่านขั้นตอนการตกตะกอนร่วมต่อไป

2. เทคนิคการตกตะกอนร่วม (Co-precipitation Technique)

ทำการผสมสารละลายตัวอย่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 กับ EDTA (10% w/v) 20 มิลลิลิตร เพื่อป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียม แล้วตกตะกอนเรเดียม-แบเรียมในรูปของสารประกอบ (Ba(Ra)SO_4) ซึ่งทำได้โดยการปรับพีเอช (pH) ของสารละลายเป็น 4.6 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH solution) และเติมสารละลาย 50% w/v ของ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ก่อนถ่ายตะกอนที่ได้ลงสู่หลอดหมุนเหวี่ยง แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 2000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงเก็บตัวอย่างตะกอนที่ได้นำไปวิเคราะห์ตามขั้นตอนที่ 3 ต่อไป

3. เทคนิคการทำให้บริสุทธิ์ – การสกัด (Purification – Extraction Technique)

ล้างตะกอนซึ่งเก็บอยู่ภายในหลอดหมุนเหวี่ยง โดยการเติม DDW 10 มิลลิลิตร (*) จากนั้นเติม 3 N Na_2CO_3 25 มิลลิลิตร ลงไปในตะกอน แล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดตะกอนของสารประกอบเรเดียม – แบเรียมคาร์บอเนต ($\text{Ba}(\text{Ra})\text{CO}_3$) ซึ่งจะถูกเก็บหลังจากการปั่นตกตะกอน หลังจากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร เพื่อละลายตะกอน แล้วทำให้สารละลายนั้นเป็นกลางโดยเติมสารละลายบัฟเฟอร์ ammonium acetate pH 4.6 จำนวน 25 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงเพื่อปั่นตกตะกอน และย้ายสารละลายลงสู่กรวยแยก ซึ่งในกรณีที่ยังมีตะกอนตกค้างอยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง ให้เริ่มทำในขั้นตอน * อีกครั้งหนึ่ง

สารละลายเรเดียม – แบเรียมที่ได้จากขั้นตอนข้างบน ถูกทำให้บริสุทธิ์โดยใช้ 5 มิลลิลิตร ของ TTA ใน benzene (Thenoyl-Trifluoro-Acetone : Benzene ; 1 : 10 w/v) หลังจากนั้นตกตะกอนเรเดียมที่อยู่ในรูปของเรเดียม-แบเรียมอีกครั้ง โดยใช้สารละลาย 2 N H_2SO_4 1 มิลลิลิตร ตะกอนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายลงสู่จานนับรังสี (planchet) ที่รู้น้ำหนักแน่นอน หลังจากนั้นตะกอนที่อยู่ในจานนับรังสีนี้จะถูกทำให้แห้ง โดยใช้หลอดไฟอินฟราเรด เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นเก็บจานนับรังสีไว้ในโถทำแห้ง (desiccator) เป็นเวลา 3 สัปดาห์ เพื่อให้เรเดียมสมดุลกับนิวไคลด์ลูก (daughter products) และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นจึงทำการวัดอนุภาคแอลฟาของ Ra-226 โดยใช้เครื่อง proportional counter ที่พลังงาน 4.7844 และ 4.602 Mev ตามลำดับ

การเตรียมรีเอเจนต์

1. Ba^{2+} carrier ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เตรียมได้โดยละลาย Barium nitrate 9.525 กรัม ใน DDW 20 มิลลิลิตร และเติมกรดไนตริกเข้มข้น 0.25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปรับปริมาตรให้เป็น 250 มิลลิลิตรโดยใช้ DDW

2. สารละลายบัฟเฟอร์ Ammonium acetate pH 4.6 เตรียมได้โดยการละลาย ammonium acetate 138.5 กรัมใน DDW 500 มิลลิลิตร และเติมกรดกลacialอะซีติก (glacial acetic acid) ปริมาตร 28.6 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร โดยใช้ DDW

การคำนวณปริมาณเรเดียม

1. ประสิทธิภาพในการนับรังสี (Counting efficiency) และประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสี (efficiency of detector)

$$\text{counting efficiency} = \frac{cpm}{dpm}$$

$$\text{activity (cpm)} = \text{total}_{(cpm)} - \text{bgd}_{(cpm)}$$

2. Chemical yield (C)

คำนวณค่า Chemical yield ได้จาก

Ba ²⁺	137330 มก. ได้ตกตะกอนอยู่ในรูปของ BaSO ₄	233387.6 มก.
Ba ²⁻	20 มก. ได้ตกตะกอนอยู่ในรูปของ BaSO ₄	$\frac{233387.6 \times 20}{137330}$ มก.
		33.9893 มก.

ให้น้ำหนักตะกอน 33.9893 มก. คิดเป็น 1 chemical yield

ถ้าน้ำหนักตะกอน w มก. คิดเป็น $\frac{1 \times w_{(mg)}}{33.9893_{(mg)}}$ chemical yield

$$C = \frac{w}{33.9893}$$

ตัวอย่างเช่น น้ำหนักแห้งของตัวอย่างซ้ำที่ 1 เป็น 25.6 มก. ดังนั้น

$$\text{ประสิทธิภาพ Chemical yield} = \frac{25.6}{33.9893} = 0.75$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ Chemical yield} = 0.73$$

3. ประสิทธิภาพในการนับรังสีเนื่องจากการดูดกลืนรังสีในตัวเอง (self-absorption : Es)

ถ้าแทนความหนาของตะกอน (มก.ต่อตร.ซม.) ด้วย T

ตามรูปที่ 3 ประสิทธิภาพของการนับรังสี เนื่องจากการดูดกลืนปริมาณรังสีในตัวเอง

สามารถคำนวณได้จากสมการ :

$$Es = 0.2775 * T^{-0.6399}$$

4. ความแรงรังสีของสารมาตรฐานเรเดียม (cpm) และประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสี (Ed)

$$std_{(cpm)} = total_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}$$

$$Ed = \frac{cpm}{dpm}$$

ตัวอย่างเช่น : สารมาตรฐาน Ra-226 ซึ่งถูกเติมเป็นปริมาณที่จะถูกนับได้ 13.07 อะตอมต่อนาที และเมื่อนำไปนับจำนวนอะตอมของรังสีแล้ว ให้ค่าเป็น 10 จำนวนนับของรังสีต่อนาที โดยมีค่า background เป็น 6 จำนวนนับต่อนาที แล้วสามารถคำนวณจำนวนนับรังสีที่แท้จริงได้โดย

$$std(cpm) = 10(cpm) - 6(cpm) = 4.00(cpm)$$

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสีมีค่าเป็น

$$Ed = \frac{4.00}{13.07} = 0.31$$

5. ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมของเส้นใยไนลอน (En) และอัตราการปลดปล่อยอนุภาคของ Ra-226 ของสารมาตรฐานซึ่งรวมค่าประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมไว้ด้วย ซึ่งจะเป็นไปตามสมการ :

$$stn_{(dpm)} = \left(\frac{stn_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}}{Ed * En * Es * C} \right)_{stn} * \left(\frac{Ed * Es * C}{std_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}} \right)_{std} * std_{(dpm)}$$

ตัวอย่างเช่น

$$45.74(dpm) = \left(\frac{27(cpm) - 6(cpm)}{0.31 * En * 0.17 * 0.73} \right) * \left(\frac{0.31 * 0.11 * 0.73}{10(cpm) - 6(cpm)} \right) * 13.07(dpm)$$

$$45.74(dpm) = \frac{23.67(dpm)}{En}$$

$$En = \frac{23.67}{45.74} = 0.52$$

6. ความแรงรังสีของแหล่งของเส้นใยไนลอน สามารถถูกคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับ ความแรงรังสีของสารมาตรฐาน Ra-226 ได้ โดยใช้สมการ

$$B_{f(dpm)} = \left(\frac{B_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}}{Ed * En * Es * C} \right)_f * \left(\frac{Ed * En * Es * C}{std_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}} \right)_{std} * std_{(dpm)}$$

ตัวอย่างเช่น : ความแรงรังสีของแหล่งของเส้นใยไนลอนในตัวอย่างที่ 1 นับจำนวนรังสีต่อ นาทีได้เป็น 11 จำนวนนับรังสีต่อนาที ซึ่งเมื่อคำนวณเปรียบเทียบกับความแรงรังสีของสาร มาตรฐาน Ra-226 (*std*) แล้วมีค่าแหล่งเป็น

$$\begin{aligned} B_f(dpm) &= \left(\frac{11(cpm) - 6(cpm)}{0.31 * 0.52 * 0.32 * 0.73} \right) * \left(\frac{0.31 * 0.52 * 0.32 * 0.73}{27(cpm) - 6(cpm)} \right) * 45.74(dpm) \\ &= 20.65(dpm) \end{aligned}$$

7. ความแรงรังสีของแหล่งของน้ำก้นที่ใช้ในการเตรียมสารเคมีในการวิเคราะห์ Ra-226 ครั้งนี้ สามารถคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับความแรงรังสีของสารมาตรฐาน Ra-226 ได้ โดยใช้สมการ

$$B_{w(dpm)} = \left(\frac{B_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}}{Ed * Es * C} \right)_w * \left(\frac{Ed * Es * C}{std_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}} \right)_{std} * std_{(dpm)}$$

ตัวอย่างเช่น : วัดความแรงรังสีของน้ำกลั่นจำนวน 800 มิลลิลิตร ได้เป็น 6 cpm ดังนั้นค่า
แปลงค่าน้ำเป็น

$$B_w(dpm) = \left(\frac{6(cpm) - 6(cpm)}{0.31 * 0.17 * 0.73} \right) * \left(\frac{0.31 * 0.11 * 0.73}{10(cpm) - 6(cpm)} \right) * 13.07(dpm) = 0(dpm)$$

8. ความแรงรังสีของตัวอย่าง สามารถคำนวณได้โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Ra-226 ตามสมการ

$$sam_{(dpm)} = \left(\frac{sam_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}}{Ed * En * Es * C} \right)_{stn} * \left(\frac{Ed * En * Es * C}{stn_{(cpm)} - bgd_{(cpm)}} \right)_{stn} * stn_{(dpm)}$$

ตัวอย่างเช่น : ความแรงรังสีของ Ra-226 ในตัวอย่างที่สถานีที่ 18 ซึ่งวัดความแรงรังสีได้
เป็น 632 cpm ดังนั้นสามารถคำนวณอัตราการปล่อยอนุภาคของ Ra-226 ต่อนาที ซึ่งได้เป็น

$$sam(dpm) = \left(\frac{632(cpm) - 6(cpm)}{0.31 * 0.52 * 0.26 * 0.73} \right) * \left(\frac{0.31 * 0.52 * 0.32 * 0.73}{27(cpm) - 6(cpm)} \right) * 45.74(dpm)$$

$$= 1666.31(dpm)$$

9. อัตราการปลดปล่อยอนุภาคของ Ra-226 สุทธิในตัวอย่าง (ดีพีเอ็มต่อลิตร) สามารถคำนวณได้
โดยการหักค่าแปลงค่าน้ำในลอน และหักน้ำกลั่นออก ตามสมการ

$$net\ sam_{(dpm)} = sam_{(dpm)} - B_{f(dpm)} - B_{w(dpm)}$$

ตัวอย่างเช่น : อัตราการปลดปล่อยอนุภาคสุทธิของตัวอย่างที่สถานีที่ 27 ได้ดังนี้

$$net\ sam(dpm) = 1666.31(dpm) - 20.66(dpm) - 0(dpm) = 1645.66(dpm)$$

10. อัตราการปลดปล่อยอนุภาคของ Ra-226 สุทธิต่อลิตร (ดีพีเอ็มต่อลิตร) สามารถคำนวณได้จาก

$$net\ sam_{(dpm/L)} = \frac{net\ sam_{(dpm)}}{seawater_{(L)}}$$

ตัวอย่างเช่น : อัตราการปลดปล่อยอนุภาคสุทธิของตัวอย่าง Ra-226 ต่อน้ำทะเล 1000 ลิตร (ดีพีเอ็มต่อ 1000 ลิตร)

$$net\ sam(dpm/L) = \frac{1645.66}{800} = 2.06(dpm/L)$$

ภาคผนวก ข.

วิธีการวิเคราะห์ท่อเรียม

สกัดท่อเรียมออกจากตะกอนดินโดยการย่อย หลังจากนั้นทำการแยกสารรบกวนออก และทำให้บริสุทธิ์ แยกท่อเรียมด้วยไฟฟ้า แล้วเคลื่อนลงบนแผ่นสแตนเลส สำหรับวัดความแรงรังสีแอลฟา ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. การย่อยด้วยกรด (Acid Digestion)

เติม HNO_3 (conc.) 30 มิลลิลิตร เพื่อย่อยตัวอย่างแล้วระเหยแห้งบนเตาให้ความร้อน เติม HClO_4 (conc.) 20 มิลลิลิตร จากนั้นระเหยให้แห้ง ถ่ายตะกอนลงในจานเทฟลอน โดยล้างด้วยสารละลาย 8 N HNO_3 และระเหยแห้ง เติม HF (conc.) 20 มิลลิลิตร ถ่ายตะกอนลงในจานเทฟลอน ระเหยแห้งแล้วย่อยซ้ำอีกครั้ง จากนั้นล้างด้วย HCl (conc.) 30 มิลลิลิตร และระเหยแห้ง แล้วละลายตะกอนและถ่ายลงสู่หลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube) ด้วยสารละลาย 9 N HCl นำไปปั่นที่ความเร็วประมาณ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเทสารละลายใส่กรวยแยก (ถ้ายังมีตะกอนเหลืออยู่ให้ละลายซ้ำอีกครั้ง)

2. การแยกสารรบกวน (Excluding Interfering Substrate)

เติมสารละลาย equilibrate isopropyl ether 50 มิลลิลิตร (HCl (conc.) 30 มิลลิลิตร ; isopropyl ether 100 มิลลิลิตร) ทำการผสมตัวอย่างเพื่อให้ท่อเรียมไอโซโทปบริสุทธิ์ เก็บสารละลายชั้นล่างเพื่อให้ตัวอย่างมีความบริสุทธิ์มากที่สุด จากนั้นระเหยแห้งในบีกเกอร์ เติม 8 N HNO_3 20 มิลลิลิตร ระเหยซ้ำอีกครั้ง เติมสารละลาย 9 N HCl

3. การสกัด (Extraction)

ผ่าน exchange column rasins ซึ่งเตรียมในรูปของ 9 N HCl [เตรียมโดยใช้ AG1-X8 (Biorad) ในสารละลาย 9 N HCl เพียงเล็กน้อย] เพื่อแยกท่อเรียมไอโซโทปออกจากยูเรเนียมไอโซโทป สารละลายที่ได้ คือ ท่อเรียมไอโซโทป จากนั้นล้างคอลัมน์ด้วย 0.2 N HCl ที่อุณหภูมิ 40 – 50 มิลลิลิตร เพื่อแยกยูเรเนียมไอโซโทป นำสารละลายมาระเหยแห้ง

4. การทำให้บริสุทธิ์ (Purification)

เติม 8 N HNO₃ [เตรียมโดยละลาย AG1-X8(Biorad) ในสารละลาย 8 N HNO₃ เพียงเล็กน้อย] แยกยูเรเนียมไอโซโทปด้วย 0.2 N HCl ที่อุณหภูมิ 40 มิลลิลิตร และระเหยแห้ง ส่วนทอเรียมไอโซโทปนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง จากนั้นนำสารละลายไปผ่าน exchange column rasins ซึ่งเตรียมโดยใช้สารละลาย 8 N HNO₃ แล้วแยกทอเรียมไอโซโทป โดยใช้สารละลาย 0.2 N HCl ที่อุณหภูมิประมาณ 40 มิลลิลิตร และระเหยแห้ง จากนั้นทำทอเรียมไอโซโทปให้บริสุทธิ์อีก 1 ครั้ง แล้วละลายด้วยสารละลาย 8 N HNO₃ 20 มิลลิลิตร

5. วิธีการเคลือบ (Plating method)

ทั้งยูเรเนียมและทอเรียมไอโซโทปจะถูกนำมาผสมด้วยสารละลาย 0.01N HNO₃ ที่อุณหภูมิ 1 มิลลิลิตร จากนั้นล้างด้วยสารละลายอิ่มตัวของ ammonium oxalate ที่อุณหภูมิ 2 มิลลิลิตร ต่อจากนั้นล้างด้วย 2 M NH₄Cl ที่อุณหภูมิ 2 มิลลิลิตร เพื่อปรับ pH ของสารละลายให้ได้ 2 จากนั้นถ่ายสารละลายใส่ลงในหลอดที่บรรจุ aluminum plate (copper) (anion) และ platinum (cation) ผ่านกระแส 1.2 A ไม่เกิน 10 V เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ล้าง plate ด้วยน้ำกลั่นและปล่อยให้แห้งเพื่อวัดรังสี โดยใช้ gas flow detector [²³²Th (4.013 และ 3.95 Mev), ²³⁰Th (4.688 และ 4.621 Mev) ²²⁹Th (4.845 และ 4.901 Mev), ²²⁸Th (5.423 และ 5.340 Mev), ²³⁸U (4.197 และ 4.147 Mev) และ ²³⁶U (4.494 และ 4.445 Mev)] ตามลำดับ

การคำนวณปริมาณทอเรียม

1. ประสิทธิภาพในการนับรังสี (Counting efficiency) ของความแรงรังสีทอเรียม

ถ้ารู้ความแรงรังสีของสารมาตรฐานทอเรียม แล้วก็จะสามารถบอกได้ถึงความแรงรังสี
ได้ ดังนั้นประสิทธิภาพในการนับจะเหมือนกับประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดรังสี

$$\text{counting efficiency} = \frac{\text{cpm}}{\text{dpm}} = \text{Efficiency of Detector}$$

$$\text{dpm} = \frac{\text{cpm}}{\text{counting efficiency}}$$

2. การคำนวณค่า Salts Coefficient Factor (SCF)

ถ้า น้ำทะเล 1000 มล. มีเกลือบรรจุอยู่	S	กรัม
น้ำทะเล W_L มล. มีเกลือบรรจุอยู่	$\frac{W_L * S}{1000}$	กรัม
สันนิษฐานว่าในการระเหยมีเกลือบางส่วนถูกเก็บไว้ในตะกอนดินที่แห้ง		
ดังนั้น ตะกอนดินแห้งทั้งหมด (W_T) จะมีเกลืออยู่	$\frac{W_L * S}{1000}$	กรัม
ตัวอย่างตะกอนดินแห้ง (W_A) จะมีเกลืออยู่	$\frac{W_L * S * W_A}{W_T * 1000}$	กรัม
ดังนั้น น้ำหนักแห้งของตัวอย่างตะกอนที่หักปริมาณเกลือออกไปแล้ว (W_B)	$= W_A - \left(\frac{W_L * S * W_A}{W_T * 1000} \right)$	กรัม
Salts Coefficient Factor (SCF)	$= \frac{W_A}{W_B}$	

ตัวอย่างเช่น : การคำนวณหาค่า SCF ของสถานีที่ 27

ถ้า น้ำทะเล 1000 กรัม มีเกลือบรรจุอยู่	33.8175	กรัม
ดังนั้น น้ำทะเล 24.6685 กรัม จะมีเกลืออยู่	$\frac{24.6685 * 33.8175}{1000}$	กรัม

สันนิษฐานว่าในการระเหยมีเกลือบางส่วนถูกเก็บไว้ในตะกอนดินที่แห้ง

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ตะกอนดินแห้งทั้งหมด } (W_T) & \text{ จะมีเกลืออยู่ } \frac{24.6685 * 33.8175}{1000} \text{ กรัม} \\ \text{ตัวอย่างตะกอนดินแห้ง } (W_A) & \text{ จะมีเกลืออยู่ } \frac{24.6685 * 33.8175 * 3.0047}{41.6185 * 1000} \text{ กรัม} \\ \text{ดังนั้น น้ำหนักแห้งของตัวอย่างตะกอนที่หักปริมาณเกลือออกไปแล้ว } (W_B) & \\ W_B & = 3.0047 - \left(\frac{24.6685 * 33.8175 * 3.0047}{41.6185 * 1000} \right) \text{ กรัม} \\ \text{ดังนั้น Salts Coefficient Factor (SCF)} & = \frac{3.0047}{2.9445} = 1.0205 \end{aligned}$$

3. การคำนวณความแรงรังสีของตัวติดตามทอเรียม

$$A_{(dpm/ml)} = A_{o(dpm/ml)} * e^{-\lambda t}$$

ตัวอย่างเช่น : การคำนวณความแรงรังสีของตัวติดตามทอเรียม-229 (ดีพีเอ็มต่อมิลลิลิตร) ที่ได้เตรียมไว้เมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2533 แล้วนำมาใช้เมื่อวันที่ 14 พฤศจิกายน 2540 นั้น ดังนั้น เวลาที่ใช้จะเป็น 7.71 ปี

$$\begin{aligned} Th-229(dpm/ml) & = 25.273(dpm/ml) * e^{\left(\frac{-0.693}{7300(y)}\right) * 7.71(y)} \\ Th-229 & = 25.255(dpm/ml) \end{aligned}$$

4. การคำนวณความแรงของรังสีทอเรียมถ้าเราสามารถวัดความแรงของตัวอย่างรังสีทอเรียม และตัวติดตามรังสีทอเรียมได้ในเวลาเดียวกัน ความแรงของตัวอย่างรังสีทอเรียมจะสามารถคำนวณได้โดยเปรียบเทียบกับความแรงของตัวติดตามรังสีทอเรียม นั่นคือ

$$\begin{aligned} Th_{(dpm/g-sed)} & = \frac{sam_{(cpm)}}{\text{efficiency of Detector}} \\ & = \frac{sam_{(cpm)}}{\left(\frac{tra_{(cpm)}}{tra_{(dpm)}}\right)} \\ & = \frac{sam_{(cpm)} * tra_{(dpm)}}{tra_{(cpm)}} \end{aligned}$$

$$= \frac{sam_{(cts)} * tra_{(dpm/ml)} * tra_{(\mu L)} * SCF}{tra_{(cts)} * 1000 * sam_{(g)}}$$

ตัวอย่างเช่น : การคำนวณความแรงของรังสีทอเรียมที่สถานีที่ 27 ที่ระดับความลึก 0-2 เซนติเมตร (ดีพีเอ็มต่อกรัมตะกอน)

$$Th(dpm/g\ sed) = \frac{911(cts) * 25.255(dpm/ml) * 300.37(\mu L) * 1.0205}{1027(cts) * 1000 * 3.0047(g)}$$

$$Th = 2.29(dpm/g\ sed)$$

5. การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Th-230 จากอัตรานับปริมาณรังสี

$$1SD = \left(\frac{sam_{(cts)}}{tra_{(cts)}} \right) * \sqrt{\left(\frac{1}{sam_{(cts)}} + \frac{1}{tra_{(cts)}} \right)} * \left(\frac{tra\ spike\ (dpm/ml)}{1000} \right) * \left(\frac{tra_{(\mu L)}}{sam\ weight\ (g) * SSCF} \right)$$

6. ความแรงรังสีทอเรียมในตะกอนดินต่อหน่วยพื้นที่

$$Th_{(dpm/cm^2)} = Th_{(dpm/g\ sed)} * \rho_{(g/cm^3)} * h_{(cm)}$$

$$\rho_{(g/cm^3)} = \frac{W_{L(g)}}{\pi r^2 (cm^2) * h_{(cm)}}$$

$$Th_{(dpm/m^2)} = Th_{(dpm/cm^2)} * 10000$$

ตัวอย่างเช่น :

ค่าเฉลี่ยของความแรงรังสีทอเรียมในตะกอนดินเป็น 2.48 ดีพีเอ็มต่อกรัมตะกอน

ค่าเฉลี่ยของปริมาตรน้ำในตะกอนดินเป็น 23.4906 กรัม

$$\rho(g/cm^3) = \frac{23.4906(g)}{\pi * (5.25/2)^2 (cm^2) * 2(cm)} = 0.54(g/cm^3)$$

$$\begin{aligned} Th(dpm/cm^2) &= 2.48(dpm/g \text{ sed}) * 0.54(g/cm^3) * 2(cm) \\ &= 2.68(dpm/cm^2) \end{aligned}$$

ประวัติผู้วิจัย

นายเชษฐโชค จินตเศรษฐี เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2515 ที่อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2537 และเข้ารับการศึกษาคือต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร-มหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล (สมุทรศาสตร์เคมี) ในขณะเดียวกันก็ได้ทำการสอนอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

