



บทที่ 4

การอภิปรายผลการวิจัย

วิธีวิเคราะห์ซึ่งพัฒนาขึ้นแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการแยกเรเดียมออกจากสารตัวอย่าง ขั้นตอนที่สองเป็นการทำให้เรเดียมที่แยกออกมาบริสุทธิ์และอยู่ในรูปที่เหมาะสมต่อการวัดปริมาณรังสี ในขั้นตอนแรกได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกเรเดียมโดยเทคนิคการตกตะกอนรวมโดยใช้คิวพาแมเรียมและแมเรียม-133 เป็นสารติดตาม ที่เลือกแมเรียมเป็นคิวพาเนื่องจากแมเรียมและเรเดียมอยู่ในหมู่ธาตุเดียวกันและอยู่ติดกันในทางคิง (vertical) ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกัน ฉะนั้นในการตกตะกอนแมเรียมจึงแทนเรเดียมได้ทุกกรณี ในกรณีของสารติดตามแมเรียม-133 นั้นมีครึ่งชีวิตยาวพอสมควรและแผ่รังสีแกมมาทำให้สะดวกในการวัดปริมาณรังสี เพราะไม่ตองคำนึงถึง self-absorption จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนพบว่าค่าเท่ากับ 4.5 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างนี้นอกจากจะเหมาะสมต่อการตกตะกอนแล้ว ยังพบว่า เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับสารละลาย EDTA ที่เติมเพื่อใช้เป็นตัวกันการตกตะกอนของแคลเซียมนั้น สามารถกันการตกตะกอนของสารที่มีครึ่งชีวิตอื่น ๆ ที่แผ่รังสีอัลฟาในธรรมชาติได้อีกด้วย (133)

ในการหาปริมาณที่เหมาะสมของตัวกัน EDTA สำหรับแคลเซียมนั้นได้ทดลองกับแคลเซียมปริมาณ 200.4 มิลลิกรัม ซึ่งประมาณว่าเป็นปริมาณที่จะมีอยู่ในน้ำตามธรรมชาติหรือมากกว่าโดยอาศัยจากข้อกำหนดของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับน้ำบริโภค (134) ในตารางที่ 3.4 จะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อไม่ได้เติมตัวกัน EDTA น้ำหนักของตะกอนจะเพิ่มขึ้นมากทั้งนี้เนื่องจากแคลเซียมได้ตกตะกอนรวมเป็นแคลเซียมซัลเฟตด้วย แต่เมื่อเติมตัวกัน EDTA ลงไปแล้ว น้ำหนักตะกอนจะใกล้เคียงกันมาก เพราะจะมีเพียงตะกอนของ เรเดียม-แมเรียมซัลเฟตเท่านั้น

สำหรับตัวพาที่เหมาะสมนั้น โดยทั่วไปพบว่าถ้าเติมตัวพาจำนวนมากจะลดการสูญเสียของเรเดียมจากการตกตะกอนรวมไครนอลเช่นกัน แต่ปริมาณของตัวพาที่จะเลือกให้ใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่จะทำให้เกิดตะกอนจำนวนมากขึ้นด้วย ซึ่งจะมีผลกระทบอย่างมากต่อค่า self absorption เมื่อนำไปวัดปริมาณรังสีอัลฟา เช่นการทดลองนี้ ฉะนั้นจึงเลือกให้ปริมาณตัวพาแม่เรียมเพียง 20 มิลลิกรัม โดยทำให้เกิดความหนาของตะกอนเรเดียม-แม่เรียมซัลเฟต ประมาณ 0.4501 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะเกิด self-absorption ของปริมาณรังสีอัลฟาของเรเดียมในตะกอนสารประกอบซัลเฟตในมากนั้ และพบว่าสามารถตกตะกอนเรเดียมได้อย่างสมบูรณ์

ในขั้นตอนการทำได้บริสุทธิ์ โดยใช้สารละลาย TTA เป็นตัวสกัดนั้นพบว่ามีความเชื่อถือได้สูง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.6 ในการทดลองใช้สารประกอบของยูเรเนียมเป็นสารรับกวน เนื่องจากยูเรเนียมเป็นสารกัมมันตรังสีที่พบมากในธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับสารกัมมันตรังสีอื่น ๆ นอกจากนั้นเรเดียมยังอยู่ในอนุกรมของยูเรเนียมด้วย โดยปกติปริมาณของยูเรเนียมในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ จะมีค่าตั้งแต่ 0.016 - 47 ส่วนในพันล้านส่วน (135) ดังนั้นการเติมยูเรเนียมปริมาณ 0.036 มิลลิกรัม จึงคาดว่าพอเพียงที่จะทำให้แน่ใจได้ว่าสารละลาย TTA ในปริมาณที่ใช้สามารถสกัดแยกยูเรเนียมที่อาจรับกวนออกได้หมด ในตารางที่ 3.6 จะพบว่าปริมาณรังสีของยูเรเนียมในชั้น TTA มีค่าต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากการสกัดแยกยูเรเนียมนั้นได้ทำลายสภาวะสมดุลของยูเรเนียม (รูป 1.1) ปริมาณรังสีในชั้น TTA ซึ่งจะ เป็นของยูเรเนียมและ daughter product บางตัวเท่านั้น ซึ่ง daughter product เหนือนี้บางตัวมีครึ่งชีวิตสั้นมากจะสลายตัวหมดไป ปริมาณรังสีที่วัดได้จึงมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณรังสีในชั้นน้ำมี reproducibility สูง หลังจากการวัดปริมาณรังสีอัลฟาและแกมมา

วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนี้พบว่ามีความ reproducibility และความเชื่อถือได้สูงมาก ซึ่งแสดงผลไว้ในตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน

เรเดียม-226 ซึ่งเตรียมขึ้นได้ผลสอดคล้องและอย่างถูกต้อง ผลการวิเคราะห์ที่รายงานเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองอย่างน้อย 2 ชุด ของการวิเคราะห์ (sets of investigation) แก่วิธีที่พัฒนานี้ไม่สามารถนำมาทดสอบกับสารตัวอย่างมาตรฐาน (standard reference material) ได้ เนื่องจากไม่มีสารตัวอย่างมาตรฐานที่เป็นน้ำ เพราะการพัฒนาวิธีวิเคราะห์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจะนำมาใช้วิเคราะห์น้ำตัวอย่างซึ่งเป็นโครงการวิจัยร่วมระหว่างสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (โดยกองซังคากกับมันครึ่งดี) และกรมอนามัย (โดยกองอนามัยสิ่งแวดล้อม) อย่างไรก็ตามได้นำวิธีที่พัฒนานี้ทดสอบวิเคราะห์น้ำตัวอย่างจาก Environmental Protection Agency แห่งสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นสารตัวอย่างเปรียบเทียบพบว่าปริมาณเรเดียม-226 ที่วิเคราะห์ได้มีค่า 17.29 ± 0.95 พิโคคูรีกอดิกร ผลการวิเคราะห์จะถูกต้องแม่นยำเพียงใดจะต้องตรวจสอบกับค่าที่แท้จริงซึ่งจะส่งมาให้ทราบภายหลังต่อไป

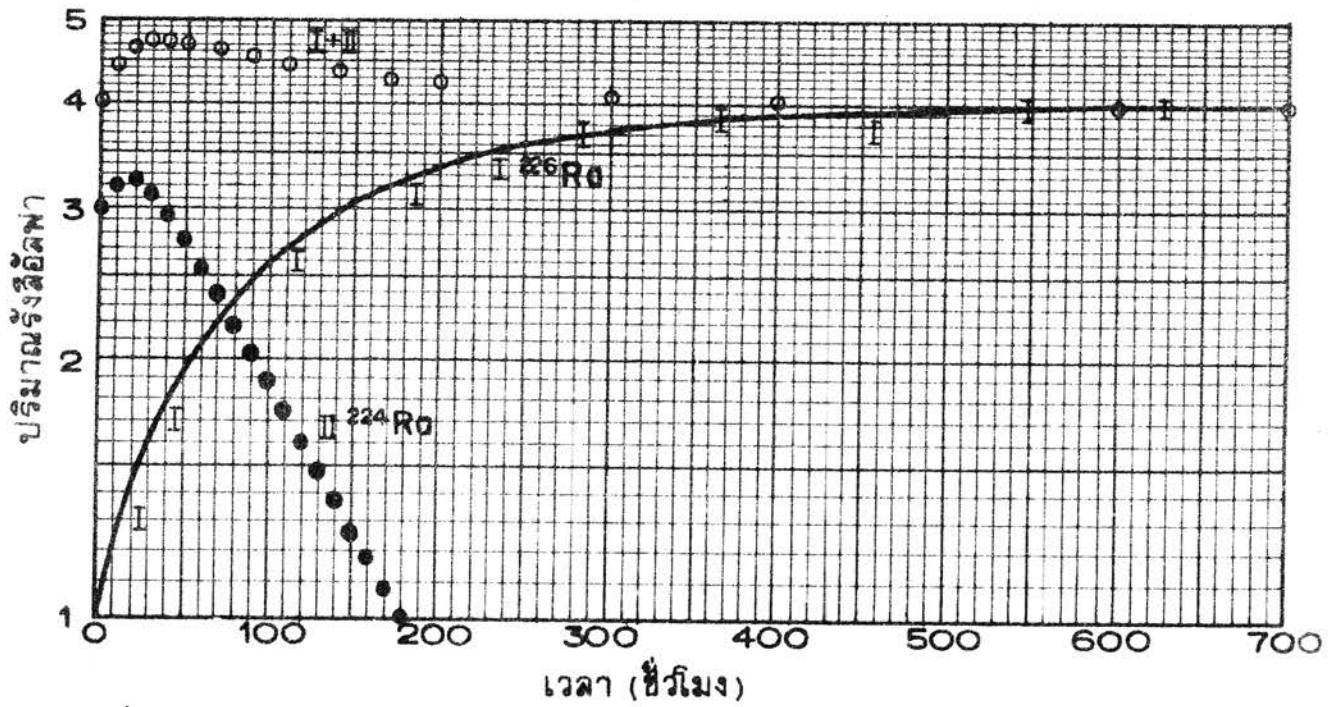
ค่าต่ำสุดของการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองมีค่า 0.02 พิโคคูรี ทั้งนี้เนื่องจากขีดจำกัดของประสิทธิภาพของ เครื่องวัดรังสีอัลฟาที่ใช้ซึ่งมีค่าแมคกวานด์ตั้งแต่ 10 ถึง 15 ครั้งต่อเวลานับ 20 นาที และยังถูกจำกัดเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความหนาของตะกอนเรเดียม-แอมเรียมซัลเฟตด้วย

ในการทำเรเดียมให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมเพื่อการวัดปริมาณรังสีได้เลือกใช้ในรูปของสารประกอบซัลเฟตซึ่งมีข้อดี คือ เมื่อเรเดียมตกตะกอนเป็นเรเดียมซัลเฟตรวมกับแอมเรียมนั้น เรดอน-222 ซึ่งเป็นก๊าซจะคงอยู่ในโครงผลึก (crystal lattice) ของแอมเรียมซัลเฟตและจะสลายตัวให้ daughter product ซึ่งได้รังสีอัลฟาอีก 2 ตัว คือ ทอโอเนียม-218 กับตะกั่ว-214 ทำให้เรเดียม-226 อยู่ในสถานะสมดุลกับ daughter product ทั้ง 3 ตัว ถึงรูปที่ 3.4 หลังจาก 15 วัน เรเดียม-226 จะอยู่ในสถานะสมดุลและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวัดปริมาณรังสีได้ถึง 4 เท่า

การวัดปริมาณรังสีรวมอัลฟาของเรเดียมในการทดลองนี้อาจจะนำมาซึ่งข้อสงสัยว่า ปริมาณรังสีที่วัดได้อาจจะเกิดมาจากเรดิโอไอโซโทปตัวอื่น ๆ ของเรเดียมซึ่งมีอยู่ตามธรรมชาติปะปนอยู่ด้วยได้ นอกเหนือจากเรเดียม-226 กล่าวคือ เรเดียม-228 และเรเดียม-224 จากอนุกรมการสลายตัวของทอเรียม-232 และเรเดียม-223 จากอนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม-235 ในการนี้อาจให้คำอธิบายได้ว่าเรเดียม-228 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 6.7 ปี สลายตัวให้รังสีเบตาเป็นแอกทิเนียม-228 มีครึ่งชีวิต 6.13 ชั่วโมง และสลายตัวให้รังสีเบตาเป็นทอเรียม-228 มีครึ่งชีวิต 1.9 ปี ฉะนั้นเรเดียม-228 ซึ่งสลายตัวแต่เพียงรังสีเบตาจึงไม่รวมรวมในการวัดรังสีนี้ แต่ทอเรียม-228 สลายตัวด้วยรังสีอัลฟาให้เรเดียม-224 มีครึ่งชีวิต 3.64 วัน และจะอยู่ในสภาวะสมดุลกับ daughter product ซึ่งให้รังสีอัลฟาอีก 2 ตัว คือ เรดอน-220 มีครึ่งชีวิต 54.5 วินาที และพอลอนเนียม-216 มีครึ่งชีวิต 0.158 วินาที ภายในเวลา 2-3 นาที หลังจากนั้นปริมาณรังสีอัลฟาจะขึ้นอยู่กับปริมาณการเกิดของตะกั่ว-212 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 10.6 ชั่วโมง และภายหลังจากเวลาผ่านไป 2-3 อาทิตย์ จะไม่มีปริมาณรังสีของเรเดียม-224 และ daughter product เหลืออยู่เลย ในกรณีของเรเดียม-223 ซึ่งมีครึ่งชีวิต 11.4 วัน ซึ่งเป็นผลของการสลายตัวของยูเรเนียม-235 จะมีปริมาณน้อยมากจนไม่นับสำคัญที่จะคงพิจารณาถึง เพราะฉะนั้นปริมาณรังสีที่วัดได้จะเป็นของเรเดียม-226 และ daughter product ของเรเดียม-226 เท่านั้น (รูป 4.1) (136)

ในการวัดปริมาณรังสีอัลฟา ข้อที่ควรคำนึงถึงอีกข้อหนึ่ง คือ ผลกระทบของความหนาของตะกอนที่มีต่อประสิทธิภาพของการวัด จากการทดลองพบว่าค่าความหนาของตะกอนตั้งแต่ 0.222-0.7205 มิลลิกรัม ต่อตารางเซนติเมตร ประสิทธิภาพของการวัดจะมีค่าคงที่ตลอดคือร้อยละ 17.73 ± 1.601 โดยคิดเฉพาะช่วงที่เรเดียม-226 สลายตัวเป็นเรดอน-222 เท่านั้น

วิธีที่พัฒนาเป็นวิธีที่มีความไวและมี selectivity สูงพอสมควร รวมทั้งเป็นวิธีการที่ง่ายไม่ต้องใช้เครื่องมือเครื่องใช้ซึ่งมีลักษณะพิเศษและมีราคาแพง



รูปที่ 4.18 การเกิดและการละลายตัวของปริมาณรังสีอัลฟาของเรเดียม-224 และเรเดียม-226 (136)

วิธีนี้นอกจากจะมีความไวสูงกว่าการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวัดรังสีแต่เพียงอย่างเดียวแล้ว ยังมีข้อได้เปรียบคือสามารถใช้แบบเรียบ-133 เป็นตัวติดตามในการตรวจสอบเคมีคลัสเตอร์ได้ (137) เวลาที่ยังใช้เวลาประมาณ 20-30 วัน นอกจากจะลดการรบกวนของเรเดียม-224 ได้สำเร็จแล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพในการวัดปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าอีกด้วย และจะไม่เป็นปัญหาต่อการวิเคราะห์ในลักษณะงานประจำตัวอย่างใด ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ไม่มากนัก โดยปกติในเวลา 2 วัน จะสามารถวิเคราะห์ได้ อย่างน้อย 8 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย 1 สารมาตรฐาน และ 7 สารตัวอย่าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของเครื่องมือ อาทิ เช่น เครื่องหมุนเหวี่ยง เครื่องเขย่า ฯลฯ ในกรณีนี้คิดจากการทำ 2 ชุด ชุดละ 4 ตัวอย่าง เพราะมีซีลจังก์ก็อยู่ที่ เครื่องหมุนเหวี่ยงซึ่งมี 4 ตัว และเครื่องเขย่าซึ่งมี 4 ตัวเช่นกัน ในการวิเคราะห์นั้นไม่จำเป็นต้องทำแบลนด์ทุกครั้ง ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจพอสมควรในการประยุกต์ใช้ในงานประจำในห้องปฏิบัติการต่าง ๆ