

การวิเคราะห์นิวไคลด์กัมมันตรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ด้วยระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี

สระเราะ นิยมเดชา รุ่งศักดิ์ สุวรรณกลาง พรธิภา ตั้งตระกูล



กลุ่มพัฒนาด้านความปลอดภัย
กองพัฒนาระบบและมาตรฐานกำกับดูแลความปลอดภัย
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1. ที่มาและความสำคัญ	2
2. วัตถุประสงค์.....	2
3. อุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวัด	3
3.1 ระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี หัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง.....	3
3.2 ภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่างสิ่งแวดล้อม	3
3.3 สารมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	4
4. การเปรียบเทียบระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี	8
4.1 การเลือกสารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ	8
4.2 การวัดสารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ.....	8
4.3 การเปรียบเทียบพลังงาน (Energy calibration).....	8
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบวัด (Efficiency calibration)	9
5. การเตรียมตัวอย่างสิ่งแวดล้อม	12
5.1 ชนิดของตัวอย่างสิ่งแวดล้อม	12
5.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง	14
6. การวัดตัวอย่างสิ่งแวดล้อม.....	17
6.1 ตรวจสอบระบบวัด.....	17
6.2 การวัดรังสีพื้นหลัง background.....	17
6.3 การวัดตัวอย่าง	18
7. การวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี.....	20
8. การรายงานผล	22
9. เอกสารอ้างอิง	23

1. ที่มาและความสำคัญ

นิวโคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติทั้งที่สลายตัวแบบอนุกรม (ยูเรเนียม, ทอเรียม และแอกติเนียม) และสลายตัวแบบไม่เป็นอนุกรม (โพแทสเซียม-40) สามารถพบได้ทั่วไปใน ดิน หิน แร่ น้ำ และอากาศ ปริมาณนิวโคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาพทางธรณีวิทยาในบริเวณนั้น เมื่อมีการแปรสภาพทางธรณีวิทยา การสลายตัวของหินเป็นวัตถุต้นกำเนิดดิน หรือการปรับพื้นที่เพื่อการทำเหมืองแร่ เพื่อการเกษตรกรรม จะทำให้นิวโคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้เกิดการเคลื่อนย้ายไปยังแหล่งต่างๆ ของระบบนิเวศและอาจเกิดการเคลื่อนย้ายเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งจะทำให้ผู้บริโภคได้รับนิวโคลด์กัมมันตรังสีเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนิวโคลด์รังสีในธรรมชาติแล้ว นิวโคลด์กัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ซีเซียม-137 สามารถเข้าสู่ระบบนิเวศ และห่วงโซ่อาหารได้เช่นกัน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสะสมของนิวโคลด์กัมมันตรังสีในมนุษย์ ดังนั้นจึงต้องมีการการตรวจวัดนิวโคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้ โดยเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้ในการตรวจวัดนิวโคลด์กัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อม คือ การใช้แกมมาสเปกโตรเมตรี เนื่องจากนิวโคลด์กัมมันตรังสีเหล่านี้จะให้รังสีแกมมาออกมาระหว่างที่มีการสลายสลายตัว คู่มือนี้ เป็นคู่มือแสดงขั้นตอน การเตรียมตัวอย่าง การตรวจวัด และการวิเคราะห์ปริมาณนิวโคลด์รังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ของกลุ่มพัฒนาด้านความปลอดภัย สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของนิวโคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และที่มนุษย์สร้างขึ้น ในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างดิน รวมถึงชั้นดิน ตะกอน และหิน ตัวอย่างอาหาร เช่น พืช สาหร่าย และอาหารทะเล ด้วยระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี
- 2.2 เพื่อคำนวณปริมาณกัมมันตภาพรังสีและนำผลที่ได้ไปประเมินการได้รับรังสีของประชาชน
- 2.3 เพื่อสร้างฐานข้อมูลกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินทางนิวเคลียร์และรังสี

3. อุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวัด

3.1 ระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี หัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง

ระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี ประกอบด้วย หัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง High-purity Germanium (HP-Ge) เป็นหัววัดรังสีประเภท semi-conductor โดย HP-Ge ที่ใช้งานเป็นรุ่น GCDX-45200 S/N 3598-21 (Baltic Scientific Instruments: BSI) มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 45 หน้าต่างหัววัดทำจากคาร์บอน (Carbon end cap) สามารถวัดโฟตอนได้ในช่วงพลังงานได้ตั้งแต่ 10keV-10MeV มี Energy Resolution ที่ 122 keV ได้ค่า FWHM ไม่มากกว่า 0.95 keV และที่ 1.33 keV ได้ค่า FWHM ไม่มากกว่า 2.00 keV และมี shielding ที่เป็นตะกั่วล้อมรอบหัววัดเพื่อป้องกันการรบกวนของรังสีภายนอกในการวัดตัวอย่าง โดยระบบวัดทำงานร่วมกับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณชนิดหลายช่อง (multi-channel analyzer : MCA) ที่ทำหน้าที่ในการแยกพลังงานแล้วแสดงผลออกมาในรูปแบบของสเปกตรัม และมีโปรแกรม GammaPRO สำหรับการวิเคราะห์ ที่ติดตั้งกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 1)

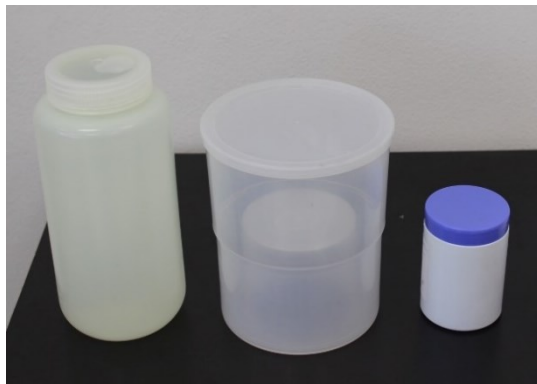


รูปที่ 1 ระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี

3.2 ภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมที่นำมาตรวจวัด ได้แก่ ตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างดิน ชั้นดิน ตะกอน หิน ตัวอย่างอาหาร เช่น พืช สหรัย และอาหารทะเล จะต้องเป็นตัวแทนของตัวอย่างและเตรียมให้มีสภาพเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด โดยตัวอย่าง

จะต้องบรรจุอยู่ในภาชนะที่เหมาะสม และมีตัวอย่างต้องมีปริมาณเพียงพอต่อการตรวจวัด เนื่องจากตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมปกติ จะมีปริมาณกัมมันตภาพรังสีในระดับต่ำ ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณตัวอย่างที่เยอะขึ้น หรือเวลานับวัดที่มากขึ้น เพื่อให้สามารถตรวจวัดตัวอย่างได้ นอกจากนี้ก็ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง คือ ภาชนะที่บรรจุตัวอย่างและบรรจุสารมาตรฐานในการหาประสิทธิภาพของระบบวัดจะต้องมี geometry ที่เหมือนกัน เช่น ขนาด รูปทรง และปริมาตรและความหนาแน่นของสารที่บรรจุ แสดงตัวอย่างภาชนะที่ใช้บรรจุตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างภาชนะที่ใช้บรรจุตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

3.3 สารมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะใช้แหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานในการเปรียบเทียบพลังงานของเครื่องมือ (รูปที่ 3) และใช้วัสดุอ้างอิงรับรอง (certified reference material; CRM คือ วัสดุอ้างอิงที่มีใบรับรองปริมาณของสารที่สนใจ และแสดงค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ระดับความเชื่อมั่นหนึ่ง ๆ และระบุการสอบย้อนกลับของการวัดได้ เพื่อใช้สำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัด การตรวจสอบความใช้ได้ และการควบคุมคุณภาพของวิธีการทดสอบ) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบวัด โดยวัสดุอ้างอิงรับรอง CRM ที่ใช้มีหลายชนิดต้องเลือกให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งาน



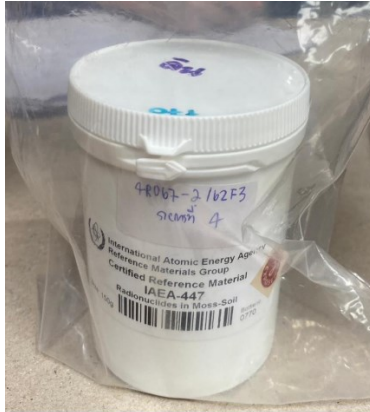
รูปที่ 3 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบพลังงาน

CRM รหัส EG-ML-E1708 (รูปที่ 4) แบบที่เป็น multinuclide distributed in epoxy matrix (Cd-109, Co-57, Te-123m, Cr-51, Sn-113, Sr-85, Cs-137, Co-60, Y-88, Am-241) บรรจุในขวด 1 ลิตร จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบวัดเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ



รูปที่ 4 CRM รหัส EG-ML-E1708

CRM รหัส IAEA-447 Soil moss (รูปที่ 5) แบบที่เป็น natural and artificial radionuclides in soil moss (Cs-137, Pb-210, Po-210, Pb-212, Ra-226, Ac-228, U-234, U-238, Pu-238, Pu-239, Pu-240) บรรจุในกระป๋องพลาสติก น้ำหนัก 150 กรัม จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบวัดเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ชั้นดิน หิน และตะกอน



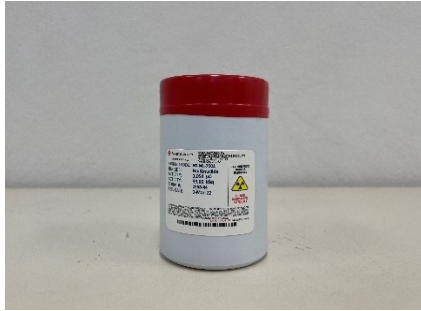
รูปที่ 5 CRM รหัส IAEA-447 Soil moss

CRM รหัส EG-ML-E1908 (รูปที่ 6) แบบที่เป็น multi-nuclide distributed in epoxy matrix (Cd-109, Co-57, Te-123m, Cr-51, Sn-113, Sr-85, Cs-137, Co-60, Y-88, Am-241) บรรจุใน Marinelli beaker ปริมาตร 1 ลิตร จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบวัดเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารแบบวัดสด



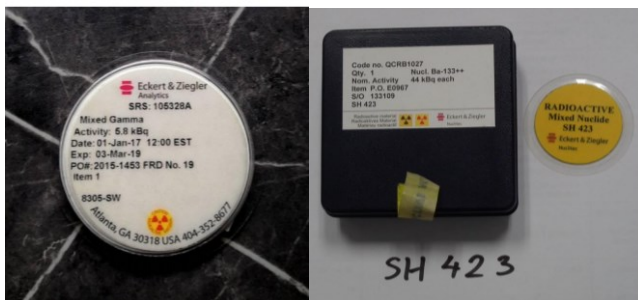
รูปที่ 6 CRM รหัส EG-ML-E1908

ตัวอย่างอาหารที่ผ่านการเผาจะใช้ CRM รหัส EG-ML7501 (รูปที่ 7) แบบที่เป็น multinuclide (Cd-109, Co-57, Te-123m, Cr-51, Sn-113, Sr-85, Cs-137, Co-60, Y-88, Am-241) บรรจุในกระป๋องพลาสติก น้ำหนัก 100 g จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบวัดเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารที่ผ่านการเผา



รูปที่ 7 CRM รหัส EG-ML7501

CRM รหัส SRS:105328A ซึ่งเป็น multinuclide, SW compressed filter in PVC container (Cd-109, Co-57, Ce-139, Sn-113, Cs-137, Y-88, Co-60, Am-241, Mn-54, Zn-65) และ CRM รหัส SH-423 ซึ่งเป็น multinuclide (Ba-133, Co-57, Ce-139, Sr-85, Cs-137, Mn-54, Zn-65, Y-88) (รูปที่ 8) จะใช้สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบวัดเมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างนิวไคลด์รังสีที่ปะปนมากับฝุ่นบนกระดาษกรองหนาและแบบบางตามลำดับ



รูปที่ 8 CRM รหัส รหัส SRS:105328A และ รหัส SH-423

4. การเปรียบเทียบระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี

ค่าพลังงานและค่าประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสี ดังนั้นจึงต้องมีการการเปรียบเทียบพลังงาน และประสิทธิภาพของระบบการวัดให้มีความถูกต้องอยู่เสมอ

4.1 การเลือกสารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ

สารมาตรฐานหรือวัสดุอ้างอิงรับรอง CRM ที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะต้องประกอบด้วยนิวไคลด์รังสีที่ครอบคลุมพลังงานในช่วงกว้าง โดยปกติจะมามีค่าตั้งแต่ 50-2,000 keV (ยกเว้นงานที่ต้องการวัดที่พลังงานต่ำกว่า 50 keV เช่น Pb-210 แสดงพีคที่พลังงาน 46.54 keV) หรือต้องครอบคลุมที่พลังงานช่วงต่ำ กลาง และสูง หรือพลังงานที่ต้องการตรวจวัด นอกจากนี้นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ต้องการตรวจวัดควรเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ถูกบรรจุอยู่ใน สารมาตรฐานหรือวัสดุอ้างอิงรับรอง CRM ด้วยคือการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีด้วยหัววัดรังสี โดยต้องอาศัยค่าพลังงาน

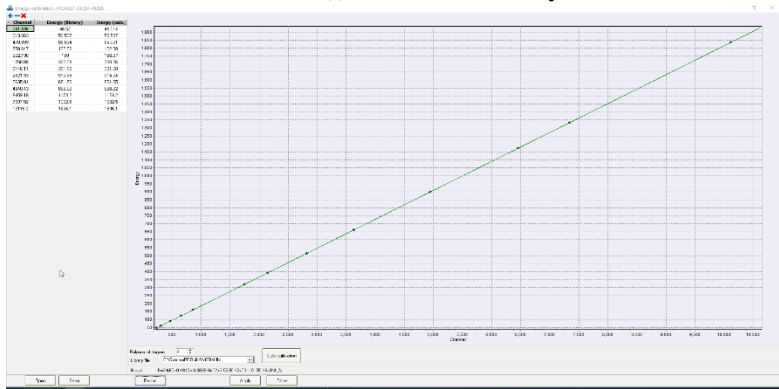
4.2 การวัดสารมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ

นำสารมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ หรือ CRM เข้าสู่ระบบวัด โดยใช้เวลานับวัด 5,000 วินาที หรือจนกระทั่งเห็นพีคของต้นกำเนิดรังสีชัดเจนขึ้นอยู่กับความแรงของ CRM แต่ละประเภท

4.3 การเทียบพลังงาน (Energy calibration)

ในการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีด้วยหัววัดรังสี ต้องอาศัยค่าพลังงานในการระบุชนิดของนิวไคลด์กัมมันตรังสี โดยการเทียบพลังงานสามารถทำได้โดยนำสารมาตรฐานที่ทราบชนิดและพลังงานที่แน่นอนของนิวไคลด์รังสีมาตรวจวัดด้วยระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี เมื่อครบเวลานับวัดแล้วจึงกำหนด ROI ของพีคที่ตรงกับระดับพลังงานของต้นกำเนิดรังสี CRM ที่ใช้ เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของรังสีแกมมาในหน่วย keV กับค่าหมายเลขช่อง ในช่วงพลังงาน 46 ถึง 1836 keV และคำนวณหาสมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง พลังงานกับช่องสัญญาณ (รูปที่ 9) โดยต้องมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 โดยปกติแล้วพลังงานจะถูกเทียบตั้งแต่มีการติดตั้งระบบวัด แต่เนื่องด้วยระยะเวลาการใช้งานมากของระบบหัววัดรังสีอาจทำให้ตอบสนองการ

ตรวจวัดรังสีเกิดการเปลี่ยนแปลงไป โดยหากพบว่าพีคที่ได้ไม่ตรงกับช่องสัญญาณ
 ต้องทำการปรับแก้ด้วยซอฟต์แวร์ปฏิบัติการเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานของรังสีแกมมา (keV) กับหมายเลขช่อง

4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบวัด (Efficiency calibration)

ประสิทธิภาพของระบบวัดคือ อัตราส่วนของจำนวนการนับวัดของสาร
 กัมมันตรังสีในช่วงเวลาหนึ่งต่ออัตราการแผ่รังสีจากสารกัมมันตรังสีนั้นในช่วงเวลา
 การนับวัดที่เท่ากัน ค่าประสิทธิภาพของระบบวัดรังสีชนิดเจอร์มานีเยมบริสุทธิ์สูง
 ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะรูปร่างของภาชนะบรรจุตัวอย่าง ขนาด
 ภาชนะบรรจุตัวอย่าง และระยะห่างระหว่างตัวอย่างกับหัววัดรังสี ดังนั้นจึงต้อง
 เลือกใช้สาร สารมาตรฐานหรือวัสดุอ้างอิงรับรอง CRM ที่มี geometry ใกล้เคียง
 กับตัวอย่างให้มากที่สุด โดยวาง CRM ลงบนหัววัด HP-Ge แล้วทำการนับวัดโดย
 ใช้เวลา 10,000 วินาที หรือจนกระทั่งเห็นพีคชัดเจน แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของ
 สาร CRM รหัส EG-ML-E1708 ดังรูปที่ 10 และหาค่าประสิทธิภาพของระบบวัด
 ได้จากสมการที่ 1

$$\epsilon = N / (A \times t \times p_{\gamma}) \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ ϵ คือประสิทธิภาพของระบบวัดรังสี (cps/Bq)

A คือค่ากัมมันตรังสีของนิวไคลด์รังสีในสารมาตรฐาน (Bq/kg)

N คืออัตราการนับวัดสุทธิ (cps)

t คือเวลาดับวัด (วินาที)

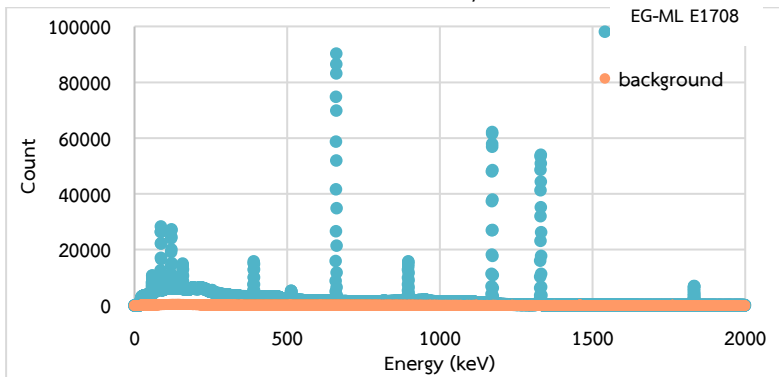
p_{γ} คืออัตราส่วนของการปล่อยรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี

ซึ่งกัมมันตภาพ ณ. วันที่ทำการวัด (Activity: A) นี้หาได้จาก กฎการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี เมื่อ A_0 เป็นกัมมันตภาพหรือความแรงรังสีของสารมาตรฐาน ณ เวลาเริ่มต้น

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

λ เป็นค่าคงที่การสลายตัว หาได้จาก

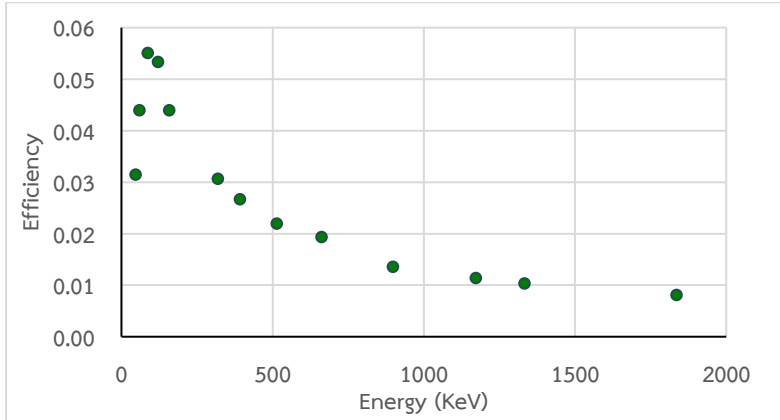
$$\lambda = 0.693 / T_{1/2}$$



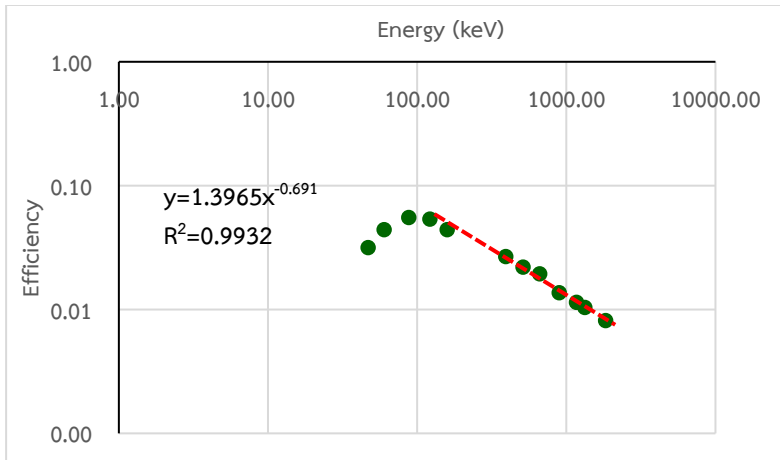
รูปที่ 10 สเปกตรัมแสดงค่านับวัดของสาร CRM รหัส EG-ML-E1708

เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบวัดและพลังงานของนิวไคลด์กัมมันตรังสี (รูปที่ 11) โดยนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ต้องการตรวจวัดจากตัวอย่างควรเป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ถูกอยู่ในสารมาตรฐาน CRM ที่นำมาใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพของระบบวัด

อย่างไรก็ตาม บางครั้งนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่ต้องการตรวจวัดเป็นนิวไคลด์ที่ไม่ได้ถูกบรรจุอยู่ในสารมาตรฐาน CRM ที่นำมาใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพของระบบวัด โดยกรณีนี้สามารถหาประสิทธิภาพของระบบวัดที่พลังงานนั้นๆ ได้จากสมการเชิงเส้นระหว่างประสิทธิภาพของระบบวัดและพลังงานของนิวไคลด์กัมมันตรังสี (รูปที่ 12)



รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของระบบวัดและพลังงานของนิวไคลด์กัมมันตรังสี



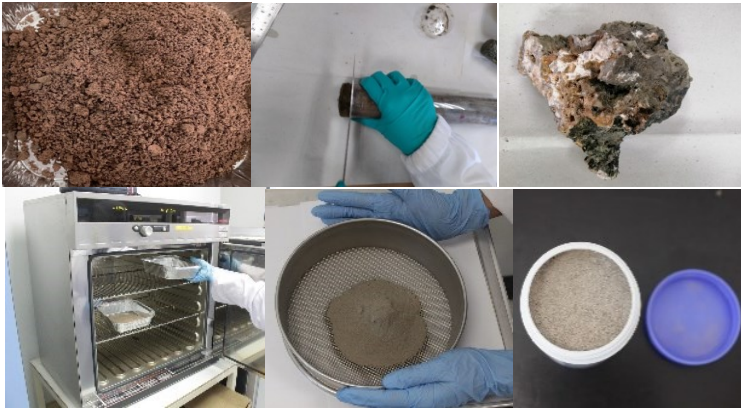
รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์และสมการเชิงเส้นระหว่างประสิทธิภาพของระบบวัดและพลังงานของนิวไคลด์กัมมันตรังสี

5. การเตรียมตัวอย่างสิ่งแวดลอม

ตัวอย่างสิ่งแวดลอมที่จะนำไปตรวจวัด จะต้องเตรียมให้อยู่ในสภาพที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด และบรรจุอยู่ในภาชนะที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

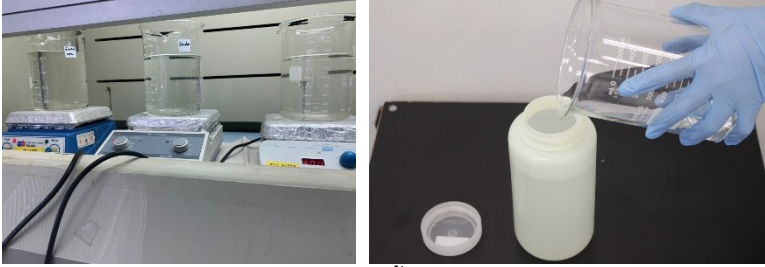
5.1 ชนิดของตัวอย่างสิ่งแวดลอม

ตัวอย่างดิน ชั้นดิน ตะกอน หิน: ตัวอย่างที่นำมาเตรียม จะต้องนำเอาเศษพืชหรือรากไม้ออกจากตัวอย่างก่อน ส่วนตัวอย่างชั้นดินจะต้องตัดชั้นดินให้มีขนาดชั้นละ 1 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่ บดตัวอย่างให้ละเอียด และรอนด้วยตะแกรงรอนขนาด 1 มิลลิเมตร (รูปที่ 13) ก่อนบรรจุในกระป๋องให้ได้ 150 กรัม



รูปที่ 13 ตัวอย่างดิน ชั้นดิน ตะกอน และตัวอย่างหิน

ตัวอย่างน้ำ: เตรียมตัวอย่างน้ำให้มีปริมาตรสุดท้าย 1 ลิตร หากนิวไคลด์กัมมันตรังสีในน้ำมีปริมาณน้อยจะต้องใช้ปริมาณน้ำตัวอย่าง 3-5 ลิตรหรือมากกว่า และลดปริมาตรโดยการระเหยจนมีปริมาตรสุดท้าย 1 ลิตร (รูปที่ 14) โดยตัวอย่างน้ำที่ไม่ได้ถูกวัดทันที จะต้องเติมกรด HCl ความเข้มข้น 11 mol/L ปริมาตร 10 mL/ตัวอย่างน้ำ 1 ลิตร เพื่อป้องกันการดูดซับของนิวไคลด์รังสีกับผนังของภาชนะที่บรรจุน้ำ



รูปที่ 14 ตัวอย่างน้ำปริมาตร 1 ลิตร

ตัวอย่างอาหาร: อาหารที่ต้องวัดสด เช่น ปลา ต้องทำการหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ และบรรจุใน Marinelli beaker น้ำหนัก 1 กิโลกรัม

: อาหารอบแห้ง เช่น พืช ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่ บดให้ละเอียดและบรรจุใน Marinelli beaker น้ำหนัก 1 กิโลกรัม (รูปที่ 15)

: อาหารที่เตรียมให้เป็นถั่ว ต้องชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้ง 40 กรัม ใส่ในครูซิเบลขนาด 200 มิลลิลิตร เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 310 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 610 °C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่ บดให้ละเอียด (รูปที่ 15)



รูปที่ 15 ตัวอย่างอาหาร

5.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

- ปรับสภาพตัวอย่างให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม เช่น ปลาที่ đôngแล้วเฉพาะเนื้อ หรือ การแยกตัวอย่างรากพืชออกจากดิน (รูปที่ 16)



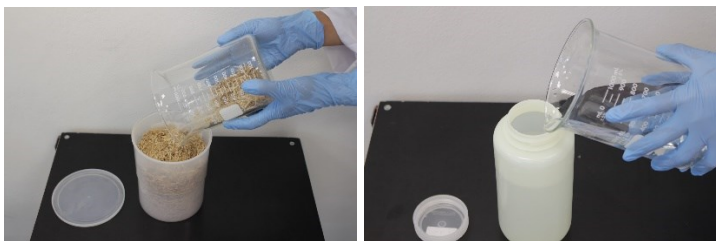
รูปที่ 16 ปรับสภาพตัวอย่างให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

- บดตัวอย่างให้อยู่ในสภาพเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด (รูปที่ 17)



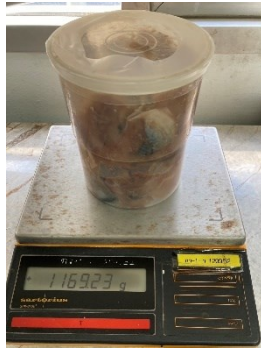
รูปที่ 17 การบดและร่อนตัวอย่าง

- บรรจุตัวอย่างลงในภาชนะ (รูปที่ 18)



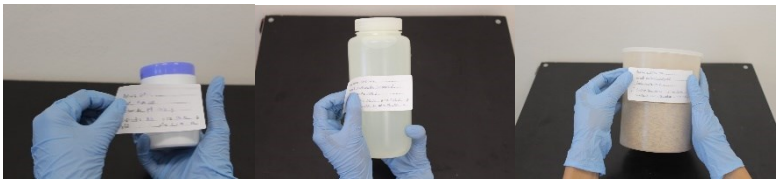
รูปที่ 18 การบรรจุตัวอย่างลงในภาชนะ

-ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง (รูปที่ 19)



รูปที่ 19 การชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

-ติดฉลากตัวอย่าง (รูปที่ 20)



รูปที่ 20 การติดฉลากตัวอย่าง

-ปิดผนึกตัวอย่าง (รูปที่ 21)



รูปที่ 21 การปิดผนึกตัวอย่าง

-เก็บตัวอย่างในตู้เก็บตัวอย่างสำหรับรอวัด โดยหากต้องการตรวจวัดนิวไคลด์รังสีในอนุกรมยูเรเนียม Ra-226 ต้องเก็บตัวอย่างที่เตรียมไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน เพื่อให้เกิดการสมดุลกัมมันตรังสี ก่อนนำไปวัดด้วยระบบวัดแกมมาสเปกโตรเมตรี (รูปที่ 22)

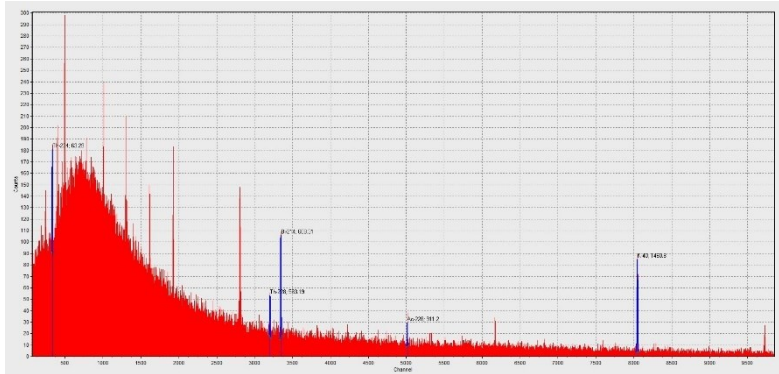


รูปที่ 22 การเก็บตัวอย่าง

-บันทึกรายละเอียดตัวอย่างลงในแบบฟอร์มการรับตัวอย่าง (รูปที่ 23)

No	ID	Sample	Scientific name	Date	หน่วยงานที่เก็บตัวอย่าง	ปีที่เก็บตัวอย่าง	ลักษณะสีภายนอก	Finish ของตะกั่ว (kg)	Preparation date	
1	SRIS-DOF01-2023	ปลาช่อนทะเล	Horse mackerel	Trachurus japonicus	09/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 3 (กรุงเทพฯ)	07/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.00	09/08/2023
2	SRIS-DOF02-2023	ปลาซิว	Sardine	Sardinops sagax	09/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 3 (กรุงเทพฯ)	03/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.00	09/08/2023
3	SRIS-DOF03-2023	ปลาทู	Chub mackerel	Scomber japonicus	17/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	08/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.01003	31/08/2023
4	SRIS-DOF04-2023	ปลาทู	Chub mackerel	Scomber japonicus	17/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	09/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.84415	31/08/2023
5	SRIS-DOF05-2023	ปลาทู	Japanese amberjack	Seriola quinqueradiata	17/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	08/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.0008	29/08/2023
6	SRIS-DOF06-2023	ปลาทู	Sea bream	Pagrus major	17/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	10/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.5590	29/08/2023
7	SRIS-DOF07-2023	ปลาทู	Red seabream	Pagrus major	17/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	10/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.88819	29/08/2023
8	SRIS-DOF08-2023	ปลาทู	Willow flounder	Tanakaia kitaharae	17/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	11/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.72564	29/08/2023
9	SRIS-DOF09-2023	ปลาทู	Red seabream	Pagrus major	17/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	11/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.08317	29/08/2023
10	SRIS-DOF10-2023	ปลาทู	Sardine	Sardinops sagax	31/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	10/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.18860	31/08/2023
11	SRIS-DOF11-2023	ปลาทู	Chub mackerel	Scomber japonicus	31/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	08/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.03782	31/08/2023
12	SRIS-DOF12-2023	ปลาทู	Skiggack	Katsuwonus pelamis	31/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	28/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.86699	01/09/2023
13	SRIS-DOF13-2023	ปลาทู	Red seabream	Pagrus major	31/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 0 (สงขลา)	15/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.67575	01/09/2023
14	SRIS-DOF14-2023	ปลาทู	Spiidndk	Beryx splendens	31/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 0 (สงขลา)	21/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.03803	01/09/2023
15	SRIS-DOF15-2023	ปลาทู	Skiggack	Katsuwonus pelamis	31/08/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 0 (สงขลา)	21/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.01988	01/09/2023
16	SRIS-DOF16-2023	ปลาทู	Pacific mackerel	Scomber japonicus	01/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 3 (กรุงเทพฯ)	18/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.05088	01/09/2023
17	SRIS-DOF17-2023	ปลาทู	Yellow Tail	Seriola quinqueradiata	01/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 3 (กรุงเทพฯ)	11/08/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.09927	01/09/2023
18	SRIS-DOF18-2023	ปลาทู	Giftred seabream	Sparus aurata	04/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	01/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.49317	06/09/2023
19	SRIS-DOF19-2023	ปลาทู	Spiidndk	Beryx splendens	04/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	01/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.94313	06/09/2023
20	SRIS-DOF20-2023	ปลาทู	Atlantic horse mackerel	Trachurus trachurus	04/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	01/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.8168	06/09/2023
21	SRIS-DOF21-2023	ปลาทู	Japanese amberjack	Seriola quinqueradiata	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 0 (สงขลา)	08/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.12938	19/09/2023
22	SRIS-DOF22-2023	ปลาทู	Chub mackerel	Scomber japonicus	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 0 (สงขลา)	01/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.99475	19/09/2023
23	SRIS-DOF23-2023	ปลาทู	Chum salmon	Oncorhynchus tshawytscha	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 0 (สงขลา)	01/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.10207	19/09/2023
24	SRIS-DOF24-2023	ปลาทู	Chub mackerel	Scomber japonicus	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 0 (สงขลา)	01/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.14309	19/09/2023
25	SRIS-DOF25-2023	ปลาทู	Skiggack	Katsuwonus pelamis	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	04/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.10181	19/09/2023
26	SRIS-DOF26-2023	ปลาทู	Chub mackerel	Scomber japonicus	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	12/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.82726	20/09/2023
27	SRIS-DOF27-2023	ปลาทู	Chub mackerel	Scomber japonicus	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	05/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.00275	20/09/2023
28	SRIS-DOF28-2023	ปลาทู	Scallop	Pecten spp.	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม	08/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	0.88812	20/09/2023
29	SRIS-DOF29-2023	ปลาทู	Pacific mackerel	Scomber japonicus	18/09/2023	ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์เขตรวม ชั้น 3 (กรุงเทพฯ)	04/09/2023	ไม่มีตะกั่ว	1.13179	21/09/2023

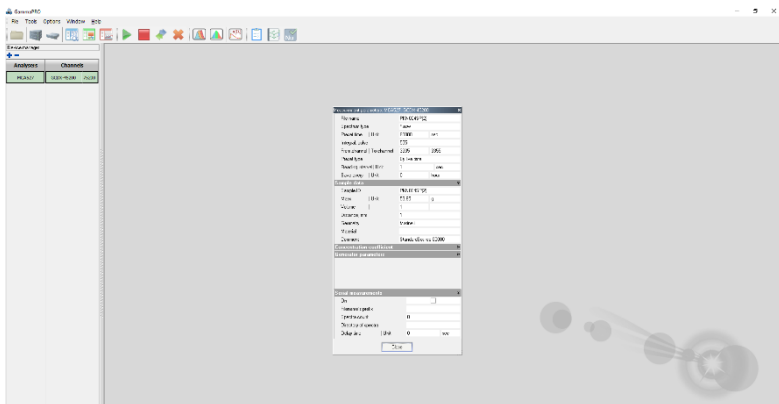
รูปที่ 23 การบันทึกรายละเอียดตัวอย่างลงในแบบฟอร์ม



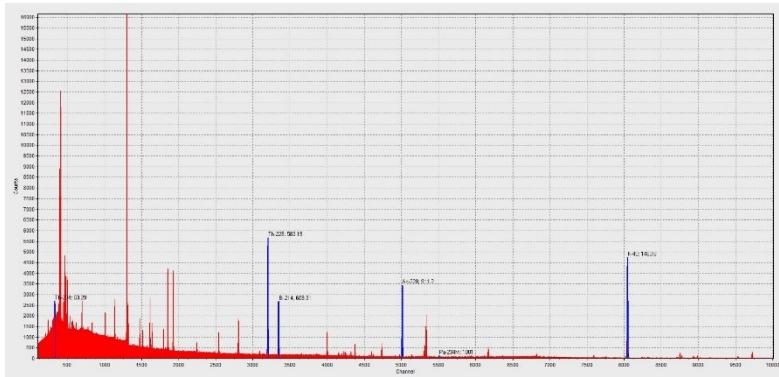
รูปที่ 25 สเปคตรัมของ background

6.3 การวัดตัวอย่าง

การตรวจวัดรังสีแกมมาจากตัวอย่าง ใช้เวลานับวัด 80,000 วินาที หรือขึ้นอยู่กับปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างนั้นๆ โดยเปิดโปรแกรม Gammapro กดเลือก measurement properties เพื่อตั้งชื่อ ตั้งเวลาในการนับวัด น้ำหนัก หรือปริมาตร geometry ของภาชนะที่บรรจุ เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว กดปิดหน้าต่างนี้ จากนั้นกดเริ่มการวัดที่ปุ่มสีเขียว (รูปที่ 27) เมื่อครบเวลานับวัดบันทึกสเปคตรัม (รูปที่ 28) นำค่านับวัดที่ได้มาใช้คำนวณปริมาณกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์แต่ละชนิด



รูปที่ 27 การตั้งค่าการวัดในโปรแกรม Gammapro สำหรับตัวอย่าง



รูปที่ 28 สเปกตรัมของตัวอย่างสิ่งแวดล้อม

7. การวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี

เมื่อตรวจวัดตัวอย่างเสร็จสิ้นแล้ว นำค่านับวัดของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่สนใจ มาคำนวณปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Activity±uncertainty) โดยค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะของยูเรเนียม U-238 จะคำนวณค่านับวัดจากนิวไคลด์รังสีลูกที่พลังงาน 63.30 keV และ 1001.03 keV ค่ามวลปริมาณ Ra-226 จากนิวไคลด์ลูกที่พลังงาน (Bi-214) 609.3 KeV ในส่วนของอนุกรมทอเรียม ค่ามวลจากนิวไคลด์ลูกของ Ra-228 ที่พลังงาน (Tl-208) 583.79 KeV และ Th-228 ที่พลังงาน (Ac-228) 911 KeV ค่ามวลปริมาณ K-40 และ Cs-137 ที่พลังงาน 1460.82 และ 661.61 keV ตามลำดับ ค่ามวลหาค่ากัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์รังสีได้จาก สมการที่ 2 และคำนวณค่า Uncertainty ดังแสดงในสมการที่ 3

$$A = N / (\varepsilon \times t \times p_{\gamma} \times w) \quad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่ A คือค่ากัมมันตรังสีของนิวไคลด์รังสีในตัวอย่างดิน (Bq/kg)

N คืออัตราการนับวัดสุทธิ (cps)

ε คือประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (cps/Bq)

t คือเวลาดับวัด (วินาที)

p_{γ} คืออัตราส่วนของการปล่อยรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี

w คือน้ำหนักตัวอย่างดินที่ทำการวัด (kg)

$$\mu(A) = A \cdot \sqrt{\left(\frac{\mu N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\mu P_{\gamma}}{P_{\gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\mu \varepsilon}{\varepsilon}\right)^2} \quad \text{สมการที่ 3}$$

โดยที่ μA คือ Standard deviation ของค่ากัมมันตรังสี A

μN คือ Standard deviation ของอัตราการนับวัดสุทธิ

$\mu \varepsilon$ คือ Standard deviation ของประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

μp_{γ} คือ Standard deviation คืออัตราส่วนของการปล่อยรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี

คำนวณค่าต่ำสุดที่ระบบแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ หัววัดชนิด HP-Ge สามารถตรวจวัดได้ (Minimum Detectable Concentration, MDC) การคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดรังสีโดยคิดค่าความเสี่ยง (risk) ร้อยละ 5 มีค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้จากสมการ

$$MDC = 4.66 \times S_n / (\epsilon \times p_\gamma \times w)$$

เมื่อ S_n = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่านับวัดสุทธิ (net count rate)
 ϵ คือประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (cps/Bq)
 p_γ คืออัตราส่วนของการปล่อยรังสีแกมมาออกมาจากแหล่งกำเนิดรังสี
 w คือน้ำหนักตัวอย่างดินที่ทำการวัด (kg)

8. การรายงานผล

การรายงานผลการตรวจวัด จะรายงานเป็นค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ คำนวณปริมาณกัมมันตภาพรังสี (Activity±uncertainty) ในหน่วย Bq/kg โดยหากค่าที่ตรวจวัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุดที่ระบบแกมมาสเปกโตรมิเตอร์ หัววัด ชนิด HPGe สามารถตรวจวัดได้ (Minimum Detectable Concentration, MDC) จะรายงานเป็น <MDC แสดงตัวอย่างรูปแบบการรายงานในรูปที่ 28

กองพัฒนากระบวนการมาตรฐานกำกับดูแลความปลอดภัย
สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
16 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร
กรุงเทพฯ 10900



รายงานผลการวิเคราะห์กัมมันตภาพรังสี
เลขที่ : RTSD-SRDG-04/2566

วิเคราะห์ : เทคนิคแกมมาสเปกโตรเมตรี

ลำดับ ที่	วันเดือนปี นำส่งตัวอย่าง	แหล่งเก็บตัวอย่าง	รายละเอียด ตัวอย่าง	ชีวโคสท์กัมมันตรังสี (Bq/kg)			
				Cs-134		Cs-137	
				กัมมันตภาพรังสี	MDC	กัมมันตภาพรังสี	MDC
1	21/09/2566	ห่านเสียดอกหมากอบารัง	Octopus	<MDC	0.54	<MDC	0.63
2	21/09/2566	ห่านอากาศยานสุพรรณภูมิ (ผู้โดยสารระหว่างประเทศ)	Hamachi	<MDC	0.58	<MDC	0.69
3	21/09/2566	ห่านอากาศยานสุพรรณภูมิ (ผู้โดยสารระหว่างประเทศ)	Madai	<MDC	1.18	<MDC	1.28
4	22/09/2566	ห่านอากาศยานสุพรรณภูมิ (คลังสินค้า)	Bluefin Tuna	<MDC	0.54	<MDC	0.64
5	22/09/2566	ห่านอากาศยานสุพรรณภูมิ (คลังสินค้า)	Buri Yellowtail Filet	<MDC	0.53	<MDC	0.55
6	26/09/2566	ห่านเช็กรุงเทพ	Scallops	<MDC	0.75	<MDC	0.76
7	26/09/2566	ห่านอากาศยานสุพรรณภูมิ (คลังสินค้า)	Snapper meat	<MDC	1.31	<MDC	1.35
8	26/09/2566	ห่านอากาศยานสุพรรณภูมิ (คลังสินค้า)	Bluefin Tuna	<MDC	0.60	<MDC	0.65
9	27/09/2566	ห่านเช็กรุงเทพ	Scallops	<MDC	0.73	<MDC	0.74
10	29/09/2566	ห่านเห็สหมอนั่ง	Skipjack	<MDC	0.75	<MDC	0.82

คำอธิบาย : MDC (Minimum Detectable Concentration) หมายถึง ค่าต่ำสุดที่ระบบแกมมาสเปกโตรเมตรี หัววัดชนิด HPGe สามารถตรวจวัดได้

หมายเหตุ : รายงานผลการวิเคราะห์นี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

ผู้วิเคราะห์ผล : ผู้ตรวจสอบ : ผู้อนุมัติ :

(นางสาวระวีระ นิยมเดชา) (นายอวิชัย ชัยชิขุนธกร) (นายอวิชัย ชัยชิขุนธกร)
นักชีววิทยารังสีปฏิบัติการ นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการพิเศษ นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการพิเศษ

รูปที่ 28 แบบฟอร์มการรายงานค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสิ่งแฉดล้อม

9. เอกสารอ้างอิง

1. Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. 1989. Technical reports series No.295. International Atomic Energy Agency, Vienna.
2. Radioactivity analysis of gamma-emitting radionuclides of environmental sample in a nuclear or radiological emergency