

การทดลอง (Experimental Procedure)

3.1 สารตัวอย่าง

สารตัวอย่างในการวิเคราะห์นี้ คือ ดิน และ ดินที่เพาะปลูกดินในภาคเหนือของประเทศไทย ตัวอย่างดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์การแพทย์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตัวอย่างเหล่านี้เก็บจากพื้นที่ปลูกดินของหมู่บ้านชาวเขาต่างๆในเขตจังหวัดเชียงใหม่ คัดแผนที่ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2

ตัวอย่างดิน เก็บในรูปของยางดินดิบ

ตัวอย่างดิน เก็บจากไร่ดินในฤดูกาลที่ปลูกดินนั้น โดยเก็บจากจุดต่างๆในไร่ดิน 7

จุด

3.1.1 การเตรียมสารตัวอย่าง

3.1.1.1 ตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินที่ได้รับมีลักษณะเป็นยางชั้น สีน้ำตาลเข้ม หรือสีดำ ใส่ไว้ในขวดพลาสติก นำตัวอย่างที่ได้รับมาดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1) นำยางดินมาทำให้แห้ง โดยใส่ไว้ในภาชนะเปิด และ เก็บไว้ใน desiccator เพื่อให้ silica gel คูดน้ำที่มีอยู่ในยางดินออก จนกระทั่งยางดินแห้งสนิท มีลักษณะเป็นของแข็ง สีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ น้ำหนักจะคงที่

2) นำยางดินที่แห้งแล้วนี้มาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยมีดผ่าตัดที่ใหม่และสะอาด แล้วเก็บไว้ในขวดพลาสติกที่สะอาด ปิดฝาให้สนิทและเก็บไว้ใน desiccator เพื่อป้องกันความชื้น

3.1.1.2 ตัวอย่างดิน ตัวอย่างดินที่ได้รับเป็นดินก้อนที่แห้ง มีก้อนหินปะปนอยู่ มีสีต่างกันตามแหล่งที่เก็บ เช่น สีดำ สีน้ำตาล สีแดง เป็นต้น นำตัวอย่างมา

ปฏิบัติตามขั้นตอน ดังนี้

- 1) นำตัวอย่างดินมาเลือกเอาก้อนหินใหญ่ออกให้หมด
- 2) ทำการบดดินที่เลือกหินออกแล้วให้แตกเป็นก้อนเล็กๆ โดยใช้ที่บดซึ่งทำด้วยไม้ แล้วร่อนดินนั้นด้วยตะแกรงหยาบ (ขนาด 16 mesh) เพื่อแยกเอาเศษหินที่ปะปนอยู่ออกไป
- 3) นำดินที่ผ่านตะแกรงหยาบนี้ไปบดซ้ำหลายๆครั้งจนละเอียด แล้วร่อนด้วยตะแกรงละเอียด (ขนาด 45-60 mesh) อีกครั้งหนึ่ง เก็บตัวอย่างดินที่บดละเอียดแล้วนี้ไว้ในขวดพลาสติก
- 4) เนื่องจากตัวอย่างดินนี้เก็บจากจุดต่างๆกันในไร่นาทั้งสิ้น 7 จุด จึงต้องผสมตัวอย่างดินที่จะเป็นตัวแทนของดินทั้งหมดในไร่ การผสมตัวอย่างดินจะกระทำดังนี้
 - ก) ชั่งตัวอย่างดินที่เก็บจากจุดต่างๆซึ่งบดแล้ว จุดละประมาณ 100 กรัม
 - ข) นำดินแต่ละจุดที่ชั่งไว้มารวมกัน แล้วคลุกเคล้าให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
 - ค) แบ่งดินทั้งหมดออกเป็น 4 ส่วน เท่าๆกัน แล้วเลือกออกมา 2 ส่วน
 - ง) นำดิน 2 ส่วนนี้ มาคลุกเคล้ารวมกันเป็นเนื้อเดียว แล้วแบ่งออกเป็น 4 ส่วน เท่าๆกัน และเลือกออกมา 2 ส่วน
 - จ) ทำวิธีการดังข้อ ง) ซ้ำกันไป จนกระทั่งเหลือตัวอย่างดิน ซึ่งมีน้ำหนักตามต้องการ คือ ประมาณ 10 กรัม
 - ฉ) เก็บตัวอย่างดินนี้ไว้ในขวดพลาสติก และปิดฝาให้สนิท

3.1.2 สารมาตรฐานเปรียบเทียบ

สารมาตรฐานเปรียบเทียบ (standard reference materials) ซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบหาปริมาณของธาตุต่างๆในสารตัวอย่างดินและดินนี้ ได้แก่

3.1.2.1 Orchard leaves, SRM 1571 เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบของ National Bureau of Standards (NBS) แห่งสำนักงาน Standard Reference Materials กรุงวอชิงตัน ดี.ซี. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.2.2 Soil-5 สารมาตรฐานเปรียบเทียบของ International Atomic Energy Agency (IAEA) กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย

3.1.2.3 Lake sediment sample, SI-1 สารมาตรฐานเปรียบเทียบของ IAEA

3.1.2.4 Animal muscle, H-4 สารมาตรฐานเปรียบเทียบของ IAEA ปริมาณของธาตุต่างๆในสารมาตรฐานเปรียบเทียบซึ่งได้รับการรับรองความถูกต้องแล้วนี้ จะแสดงไว้ในตารางที่ 2

3.2 การอบรังสีนิวตรอน

การอบรังสีนิวตรอนของสารตัวอย่าง จะกระทำในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/ปรับปรุง 1 ของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

ลักษณะการนำสารตัวอย่างดินและดินเข้าอบรังสี จะแบ่งตามครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางที่ 3 คือ

3.2.1 ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้น การอบรังสีนิวตรอนจะกระทำในท่อลม (pneumatic tube) ค่ายเวลาสั้นมาก คือ ในช่วงของวินาทีเท่านั้น นำสารตัวอย่างที่รูน้ำหนักแน่นอนแล้วบรรจุลงในขวดโพลีเอทิลีน (polyethylene) ขนาดเล็กและใส่ไว้ในหลอดโพลีเอทิลีนสำหรับอบรังสี (rabbit) พร้อมกับสารมาตรฐานเปรียบเทียบที่รูน้ำหนักแน่นอน แล้วนำเข้าอบรังสีนิวตรอน เพื่อวิเคราะห์ธาตุต่อไปนี้ คือ Al, Ca, Mg,

V, Cl, I และ Mn

3.2.2 ไอโซโทปแก๊สมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตปานกลาง การอบรังสีนิวตรอนจะกระทำในท่อซึ่งหมุนรอบแกนเชื่อเพลิง (rotary specimen rack หรือ Lazy Susan) ในตำแหน่งที่มีความเข้มข้นนิวตรอน 1.6×10^{11} นิวตรอน ต่อ ตร.ซม. ต่อ วินาที เป็นเวลา 5-15 ชั่วโมง สารตัวอย่างซึ่งจะนำเข้าอบรังสีจะถูกบรรจุไว้ในขวดโพลีเอทิลีน แล้วใส่ไว้ในกระบอกอะลูมิเนียมเฝ้ายางสำหรับนำสารเข้าอบรังสี (aluminium container) พร้อมกับสารมาตรฐานเปรียบเทียบ

ธาตุที่จะวิเคราะห์โดยการอบรังสีนิวตรอนใน Lazy Susan ได้แก่ As, Br, Cu, K, La, Ga, Na และ Sm

3.2.3 ไอโซโทปแก๊สมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตยาว เนื่องจากการอบรังสีต้องใช้เวลานาน การอบรังสีนิวตรอนจึงต้องกระทำใน wet tube ซึ่งอยู่ในน้ำและมีความเข้มข้นนิวตรอนเป็น 2×10^{12} นิวตรอน ต่อ ตร.ซม. ต่อ วินาที เวลาที่ใช้ในการอบรังสีประมาณ 70 ชั่วโมง

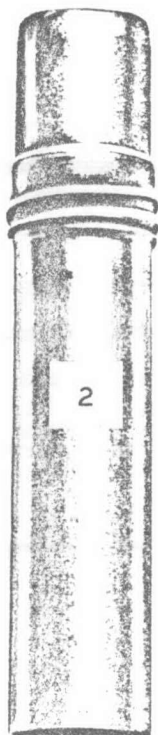
เนื่องจากการอบรังสีกระทำในน้ำ ดังนั้น สารตัวอย่างที่จะนำเข้าอบรังสีจึงต้องบรรจุไว้ในหลอดแก้วควอตซ์ (quartz tube) และเชื่อมปิดปากหลอดให้สนิทเพื่อป้องกันน้ำเข้าไป แล้วใส่ลงในกระบอกอะลูมิเนียมขนาดใหญ่สำหรับใส่อบรังสีใน wet tube พร้อมกับสารมาตรฐานเปรียบเทียบ

ธาตุที่จะทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Lu, Rb, Se, Sc, Ta, Tb, Yb, Zn, Ag และ Au

ภาชนะสำหรับบรรจุสารตัวอย่าง และภาชนะสำหรับนำสารเข้าอบรังสีแบบต่างๆที่ใช้ในการอบรังสีนิวตรอนจะมีลักษณะดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3



ขวดโพลี-เอทิลีน

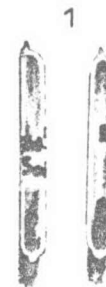


กระบอกอะลูมิเนียม

รูป 3ก



รูป 3ข



หลอดแก้วควอทซ์



กระบอกอะลูมิเนียม

รูป 3ค

รูปที่ 3 ภาพระบรจสารตัวอย่าง (1) และ ภาพแนะนำสารเข้าอามรังสีนิวตรอน (2)

รูป 3ก ภาพระบรจและนำสารเข้าอามรังสีใน Lazy Susan

รูป 3ข ภาพระบรจและนำสารเข้าอามรังสีใน pneumatic tube

รูป 3ค ภาพระบรจและนำสารเข้าอามรังสีใน wet tube

ตารางที่ 2 ปริมาณของธาตุต่างๆที่มีการรับรองความถูกต้องแล้วในสารมาตรฐานเปรียบเทียบ

ชนิด ของ ธาตุ	ปริมาณของธาตุในสารมาตรฐานเปรียบเทียบ			
	Orchard leaves NBS-SRM 1571	Soil-5 IAEA	Sediment IAEA SL-1	Animal muscle IAEA H-4
Al	-	8.19 ± 0.28 ppm	-	-
As	14 ± 2 ppm	93.9 ± 7.5 ppm	27.5 ± 2.9 ppm	-
Ba	-	562 ± 53 ppm	639 ± 53 ppm	-
Br	-	5.4 ± 1.0 ppm	6.82 ± 1.73 ppm	4.07 ppm
Ca	2.09 ± 0.03 %	-	-	188.00 ppm
Ce	-	57.9 ± 3.0 ppm	117 ± 17 ppm	-
Cl	-	-	-	1.89 mg/g
Co	-	14.8 ± 0.76 ppm	19.8 ± 1.5 ppm	-
Cr	-	28.9 ± 2.8 ppm	104 ± 9 ppm	-
Cs	-	56.7 ± 3.3 ppm	7.01 ± 0.88 ppm	0.12 ppm
Cu	12 ± 1 ppm	77.1 ± 4.7 ppm	30.0 ± 5.6 ppm	3.96 ppm
Eu	-	1.18 ± 0.08 ppm	-	-
Fe	300 ± 20 ppm	4.45 ± 0.19 %	6.47 ± 0.17 %	49.10 ppm
Ga	-	18.4 ± 1.6 ppm	-	-
Hf	-	6.30 ± 0.30 ppm	4.16 ± 0.58 ppm	-
K	1.47 ± 0.03 %	1.86 ± 0.15 %	-	15.80 mg/g
La	-	28.1 ± 1.5 ppm	52.6 ± 3.1 ppm	-
Lu	-	0.336 ± 0.044 ppm	-	-
Mg	0.62 ± 0.02 %	-	-	1.05 ppm
Mn	91 ± 4 ppm	852 ± 37 ppm	0.346 ± 0.016 %	0.52 ppm
Na	82 ± 6 ppm	1.92 ± 0.11 %	0.172 ± 0.012 %	2.06 mg/g
Rb	12 ± 1 ppm	138 ± 7.4 ppm	113 ± 11 ppm	18.70 ppm
Sb	-	14.3 ± 2.2 ppm	1.31 ± 0.12 ppm	-
Sc	-	14.8 ± 0.66 ppm	17.3 ± 1.1 ppm	-
Se	0.08 ± 0.01 ppm	-	-	0.28 ppm
Sm	-	5.42 ± 0.39 ppm	9.25 ± 0.51 ppm	-
Ta	-	0.764 ± 0.056 ppm	-	-
Tb	-	0.665 ± 0.075 ppm	-	-
Th	-	11.3 ± 0.73 ppm	14 ± 1 ppm	-
Ti	-	-	0.517 ± 0.037 %	-
V	-	-	170 ± 15 ppm	-
Yb	-	2.24 ± 0.20 ppm	3.42 ± 0.64 ppm	-
Zn	25 ± 3 ppm	368 ± 8.2 ppm	223 ± 10 ppm	86.30 mg/g

3.3 การนับรังสีแกมมา

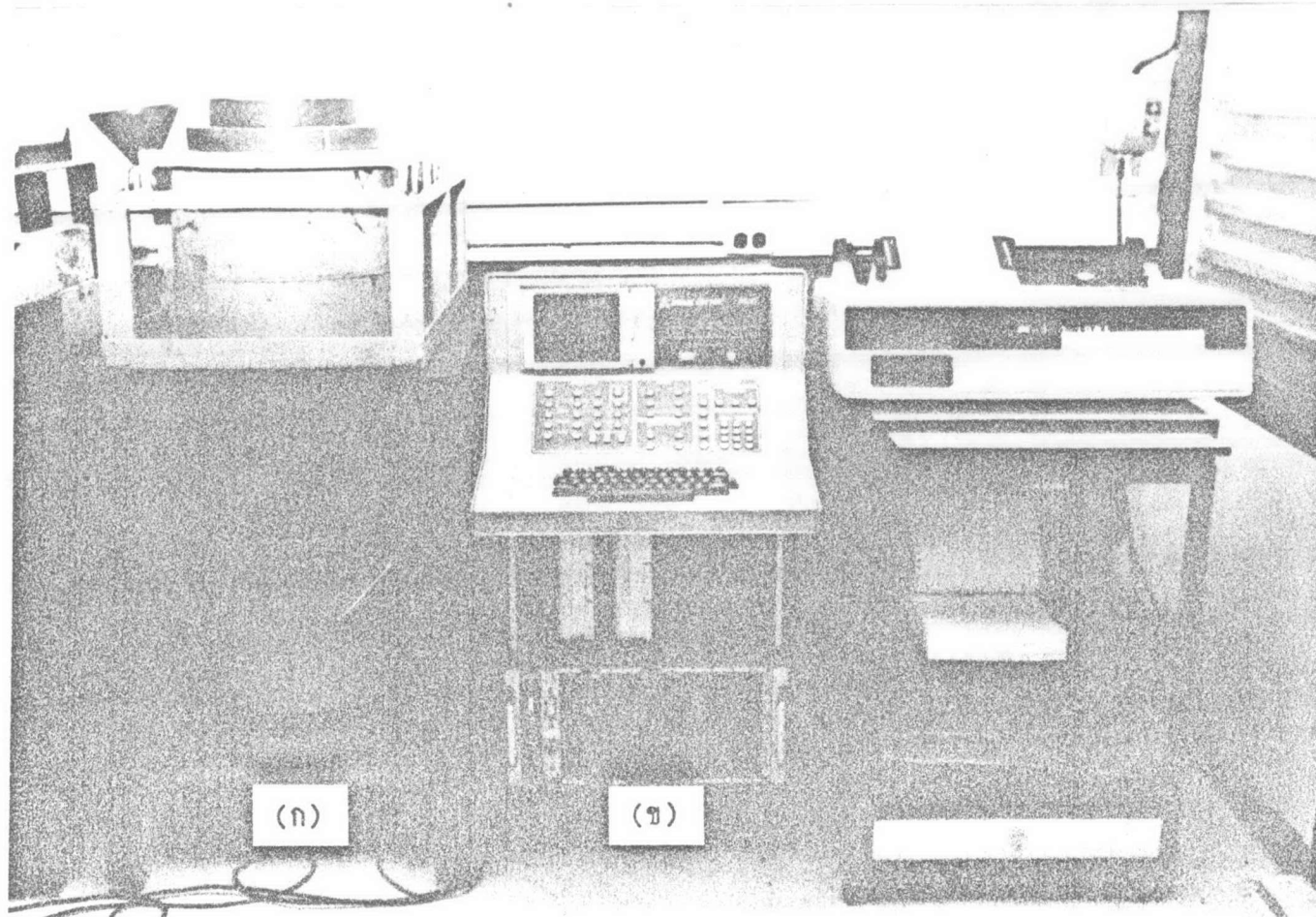
การนับรังสีแกมมาของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจะกระทำโดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ (semiconductor detector) ชนิด Ge(Li) coaxial detector ขนาดปริมาตร 26 ลบ.ซม. (ORTEC Model 8001-2021 T) ต่อเข้ากับเครื่องมือนับรังสีแบบหลายช่อง (multi-channel analyzer) ชนิด 4096 ช่อง ซึ่งใช้ร่วมกับมินิคอมพิวเตอร์ (ORTEC Model 7030) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4

3.3.1 ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้น การนับรังสีจะกระทำเมื่อเสร็จสิ้นการอาบรังสีโดยเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะไอโซโทปกัมมันตรังสีบางตัวมีครึ่งชีวิตสั้นมาก เพียง 2-3 นาทีเท่านั้น การเปรียบเทียบปริมาณรังสีระหว่างสารตัวอย่างและสารมาตรฐานจะต้องปรับให้ค่าปริมาณรังสีอยู่ในเวลาเดียวกันที่เริ่มนับรังสี

3.3.2 ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตปานกลาง เมื่อสิ้นสุดการอาบรังสีจะปล่อยให้สารตัวอย่างทิ้งไว้ประมาณ 2-5 วัน เพื่อให้ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้นสลายตัวไปก่อน จากนั้นจึงถ่ายสารตัวอย่างใส่ในขวดพลาสติกใบใหม่ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำเข้าวัดปริมาณรังสีแกมมา

3.3.3 ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตยาว เมื่อสิ้นสุดการอาบรังสีแล้วจะปล่อยให้ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตปานกลางสลายตัวลดปริมาณรังสีลงประมาณ 20 วัน แล้วจึงนำเอาหลอดแก้วควอตซ์ที่บรรจุตัวอย่างมาล้างด้วยกรดไนตริกเจือจางและน้ำเพื่อขจัดสิ่งเปื้อนภายนอกออก จากนั้นจึงตัดปากหลอดและถ่ายสารตัวอย่างใส่ขวดพลาสติกที่รูน้ำหนักแน่นอน แล้วนำเข้าวัดปริมาณรังสีแกมมา

การชั่งน้ำหนักของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเปรียบเทียบที่ใช้จะกระทำเมื่อปล่อยให้มีการสลายตัวลดปริมาณรังสีลงเล็กน้อยๆ แล้วจึงนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเปรียบเทียบไปชั่งทั้งขวดที่บรรจุ เมื่อหักเอาน้ำหนักขวดที่ชั่งหาไว้แล้ว จะได้น้ำหนักของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเปรียบเทียบที่ใช้



รูปที่ 4 หัววัดรังสีแกมมา และ เครื่องมือนับรังสีแกมมา

(ก) หัววัดรังสีแกมมาแบบกึ่งตัวนำ ชนิด Ge(Li)

(ข) เครื่องมือนับรังสีแบบหลายช่อง ชนิด 4096 ช่อง ซึ่งใช้ร่วมกับมินิคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 3 การอาบรังสีนิวตรอนและการนับรังสีแกมมาของสารตัวอย่างพื้นและดิน

ตัวอย่าง	facility* ที่ใช้อาบรังสี	เวลาที่ใช้ อาบรังสี	เวลาที่ปล่อยให้ สลายตัว	ธาตุที่วิเคราะห์
ดิน	pneumatic tube	30 sec	3 min	Al, V, Ca, Mg
			45 min	I, Cl, Mn
ดิน	pneumatic tube	5 sec	5 min	Al, V, Mg
			60 min	Mn
ดิน	Lazy Susan	15 hr	65 hr	As, Br, Cu, K, La, Na, Sm
ดิน	Lazy Susan	5 hr	45 hr	As, Cu, Ga, K, Na
			110 hr	Br, La, Sm
ดิน, ดิน	wet tube	70 hr	17 d	Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Lu, Rb, Se, Sc, Ta, Tb, Yb, Zn, Ag, Au

*ความเข้มของนิวตรอนที่ใช้ในการอาบรังสีสารตัวอย่างพื้นและดิน

ก) ใน pneumatic tube = 1.8×10^{12} n cm⁻² sec⁻¹

ข) ใน Lazy Susan = 1.6×10^{11} n cm⁻² sec⁻¹

ค) ใน wet tube = 2.0×10^{12} n cm⁻² sec⁻¹



3.4 การคำนวณค่าความแรงรังสี

การคำนวณค่าความแรงรังสีแกมมา ในที่นี้ได้ใช้การคำนวณหาพื้นที่ภายใต้ photo-peak จากสเปกตรัมที่ปรากฏ โดยคิดคำนวณพื้นที่ฐานแล้วหักออกจากพื้นที่ทั้งหมดของ photo-peak ตามวิธีที่ดัดแปลงจากของ Cove11 (15,16)

3.5 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์สารตัวอย่างป็นและดินเชิงคุณภาพนี้ ได้อาศัยคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นจากการอาบรังสี คือ ครึ่งชีวิต และ พลังงานรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีแต่ละชนิด เมื่อนำสารตัวอย่างที่อาบรังสีแล้วเข้าเครื่องนับรังสี พลังงานที่ปลดปล่อยของไอโซโทปกัมมันตรังสีจะถูกแยกออกเป็นสเปกตรัม จากพลังงานของสเปกตรัมเหล่านี้ทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่าเป็นสเปกตรัมของไอโซโทปกัมมันตรังสีใดบ้าง โดยการตรวจสอบกับตารางที่แสดงคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดต่างๆ

การตรวจสอบเพื่อยืนยันชนิดของไอโซโทปกัมมันตรังสี จะกระทำโดยการตรวจสอบครึ่งชีวิต คือ เวลาที่สารกัมมันตรังสีใช้ในการสลายตัวจนเหลือปริมาณเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเมื่อเริ่มต้น การตรวจสอบครึ่งชีวิตนี้จะกระทำได้โดยติดตามการลดลงของปริมาณรังสีของสเปกตรัมเมื่อปล่อยให้สลายตัวในช่วงเวลาอันหนึ่ง ถ้าการลดลงของปริมาณรังสีของสเปกตรัมนั้นสอดคล้องกับครึ่งชีวิตของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่คาดคะเนไว้ จะเป็นการยืนยันว่าสเปกตรัมที่พลังงานนั้นเป็นสเปกตรัมของไอโซโทปกัมมันตรังสีนั้นจริง

โดยวิธีการนี้ ทำให้สามารถจะวิเคราะห์ชนิดของธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่างป็นและดินได้ สำหรับคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของธาตุที่ทำการวิเคราะห์ในตัวอย่างป็นและดินนี้ จะแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางนิวเคลียร์ของไอโซโทปกัมมันตรังสีต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่างผืนและดิน (17, 18, 19)

stable isotope	radio isotope	%abundance of parent	cross-section, (barn)	half-life of daughter	γ -ray energy, (eV)
^{27}Al	^{28}Al	100	0.234	2.31 m	1778.80
^{51}V	^{52}V	99.76	4.9	3.75 m	1434.20
^{48}Ca	^{49}Ca	0.185	1.1	8.70 m	3084.40
^{26}Mg	^{27}Mg	11.01	0.03	9.48 m	1014.40
^{127}I	^{128}I	100	6.4	24.99 m	442.89
^{37}Cl	^{38}Cl	24.50	0.4	37.30 m	2167.50
^{55}Mn	^{56}Mn	100	13.3	2.582 hr	1811.20
^{41}K	^{42}K	6.8	1.2	12.36 hr	1524.70
^{63}Cu	^{64}Cu	69.17	4.7	12.80 hr	511.00
^{71}Ga	^{72}Ga	39.80	5.0	14.12 hr	2201.60
^{23}Na	^{24}Na	100	0.53	15.00 hr	1368.55
^{186}W	^{187}W	28.40	40.0	24.00 hr	685.70
^{75}As	^{76}As	100	4.5	26.30 hr	559.10
^{81}Br	^{82}Br	49.31	3.1	35.40 hr	776.50
^{139}La	^{140}La	99.91	8.9	40.27 hr	1596.20
^{152}Sm	^{153}Sm	26.63	210	46.80 hr	103.18
^{197}Au	^{198}Au	100	98.8	2.697 d	411.80
^{121}Sb	^{122}Sb	57.25	6.0	2.70 d	564.04
^{174}Yb	^{175}Yb	31.84	9.0	4.21 d	396.10
^{176}Lu	^{177}Lu	2.6	2100	6.74 d	208.34

ตารางที่ 4 (ต่อ)

stable isotope	radio isotope	%abundance of parent	cross-section, (barn)	half-life of daughter	γ -ray energy, (eV)
^{130}Ba	^{131}Ba	0.1	3.8	11.50 d	496.30
^{85}Rb	^{86}Rb	72.15	0.9	18.60 d	1078.76
^{233}Th	^{233}Pa	100	7.4	27.40 d	311.90
^{50}Cr	^{51}Cr	4.345	16.0	27.80 d	320.10
^{140}Ce	^{141}Ce	88.48	0.6	32.38 d	145.45
^{180}Hf	^{181}Hf	35.24	12.2	42.50 d	482.16
^{58}Fe	^{59}Fe	0.33	1.2	44.60 d	1099.27
^{202}Hg	^{203}Hg	29.80	4.0	46.59 d	279.17
^{159}Tb	^{160}Tb	100	46.0	72.10 d	298.54
^{45}Sc	^{46}Sc	100	15.0	83.90 d	889.30
^{181}Ta	^{182}Ta	99.987	21.0	115.00 d	1221.31
^{74}Se	^{75}Se	0.87	58.0	120.00 d	264.50
^{64}Zn	^{65}Zn	48.90	0.46	243.80 d	1115.52
^{109}Ag	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	48.18	4.0	250.40 d	657.72
^{133}Cs	^{134}Cs	100	29.9	2.046 y	795.79
^{59}Co	^{60}Co	100	19.0	5.263 y	1332.52
^{151}Eu	^{152}Eu	47.8	5900	12.70 y	1407.92

3.6 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

เมื่อนำสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเปรียบเทียบเข้านับปริมาณรังสี โดยใช้เวลาในการนับเท่ากันแล้ว การวิเคราะห์เชิงปริมาณจะกระทำโดยคำนวณค่าความแรงรังสีภายใต้ photopeak ของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่จะวิเคราะห์ ทั้งในสารตัวอย่างและในสารมาตรฐานเปรียบเทียบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน จะคำนวณหาปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{\text{น้ำหนักของธาตุในสารตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักของธาตุในสารมาตรฐาน}} = \frac{\text{ความแรงรังสีของไอโซโทปกัมมันตรังสีในสารตัวอย่าง}}{\text{ความแรงรังสีของไอโซโทปกัมมันตรังสีในสารมาตรฐาน}}$$

3.7 การทดสอบความเชื่อถือได้ของวิธีวิเคราะห์ (reliability test)

การวิเคราะห์นี้ ได้ตรวจสอบความเชื่อถือได้ (reliability) คือ ความถูกต้อง (accuracy) และ ความแม่นยำ (precision) โดยใช้สารมาตรฐานเปรียบเทียบ (SRM) เป็นตัวตรวจสอบ

3.7.1 ความแม่นยำ ความแม่นยำของการวิเคราะห์สามารถหาได้จากการทดลองซ้ำกันหลายๆ ครั้งของตัวอย่างและวิธีการเดียวกัน แล้วตรวจดูว่าผลการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกันเพียงใด

3.7.2 ความถูกต้อง ความถูกต้องของวิธีการ จะกระทำโดยการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในสารมาตรฐานเปรียบเทียบซึ่งได้มีการรับรองค่าความถูกต้อง (certified value) ของธาตุที่จะวิเคราะห์ไว้แล้ว เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ธาตุจะทราบถึงความถูกต้องในวิธีวิเคราะห์ที่ใช้