

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว



ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การผลิตและควบคุมคุณภาพต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานไอโอคีน-131 และแบเรียม-133

Production and Quality Control of Iodine-131 and Barium-133 Standard Sources

โดย

นางสาววิชชุตา ประคิษฐ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และไอโซโทป) พ.ศ. 2553

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

วิชชุตา ประดิษฐ์ 2553: การผลิตและควบคุมคุณภาพต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ใอโอดีน-131 และแบเรียม-133 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (รังสีประยุกต์และ ใอโซโทป) สาขารังสีประยุกต์และใอโซโทป ภาควิชารังสีประยุกต์และใอโซโทป อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์พรรณี พักกง, M.S. 100 หน้า

ผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 ชนิดวงแหวน และแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน และหลุมอะคริลิก สำหรับใช้ในการสอบเทียบระบบวิเคราะห์รังสีแกมมาสเปกโทรเมตรี โดย วิธีการชั่งแบ่งมวลปริมาณสารละลายรังสีไอโอดีน-131 และ แบเรียม-133 อ้างอิง แล้วนำไป คำนวณค่ากัมมันตภาพรังสี ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 ชนิดวงแหวน มีค่าระหว่าง 0.151-0.175 ไมโกกูรี และกำนวณก่ากัมมันตภาพรังสี ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวนและหลุมอะกริลิก มีก่าระหว่าง 0.001-0.580 และ 0.030-0.189 ไมโกกูรี ตามลำดับ

การควบคุมคุณภาพค้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131ตามวิธี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 ด้วยการทดสอบ 4 เงื่อนไข คือ wipe test แรงกระทบ การรั่วไหลและความเป็นเนื้อเดียว การคำนวณหาค่าครึ่งชีวิต ของ ไอโอดีน-131 สำหรับการทดสอบรั่วไหลและความเป็นเนื้อเดียวใช้ค่า PSL (photostimulated luminescence) จากเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (BAS 2500) สำหรับการควบคุม คุณภาพดันกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ตามวิธี Radiation Protection – Sealed Radioactive Source ของ 2919 ด้วยการทดสอบ 4 เงื่อนไข คือ wipe test แรงกระทบ การรั่วไหล และการชะ รวมทั้งมีการทดสอบค่าความหนาของพลาสติกใสที่เหมาะสมสำหรับการปิดผนึกต้นกำเนิดรังสี มาตรฐาน โดยคำนวณก่า PSL (photostimulated luminescence) จากเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสี แบบดิจิตอล (BAS 2500) และทำการตรวจสอบค่าพลังงานของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ที่ผลิตตามวิธี Monographie BIPM-5 โดยการตรวจวัดพลังงานรังสีแกมมาด้วยตัวตรวจวัด เจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ผลการทดสอบพบว่าด้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ไอโอดีน-131 และแบเรียม-133 ที่ทำการผลิตได้ผ่านการควบคุมคุณภาพตามเงื่อนไข และสามารถ นำไปใช้ในการผลิตและควบคุมคุณภาพด้นกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิดอื่นต่อไปได้

ถายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

/ /

ลิขสิทชิ้ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

Wichuta Pradit 2010: Production and Quality Control of Iodine-131 and Barium-133Standard Sources. Master of Science (Applied Radiation and Isotope), Major Field:Applied Radiation and Isotope, Department of Applied Radiation and Isotope.Thesis Advisor: Associate Professor Pannee Pakkong, M.S. 100 pages.

Standard sealed source of Iodine-131 in ring type and Barium-133 in ring and acrylic hole types had been produced for calibrating gamma ray spectrometry by using gravimetric dispensing the reference Iodine-131 and Barium-133 solution. The results of radioactivity for Iodine-131 standard source ring type were calculated in between 0.151-0.175 microcurie and Barium-133 standard source ring and acrylic hole types in between 0.001-0.580 and 0.030-0.189 microcurie respectively.

The quality control of Iodine-131 standard source were tested in 4 conditions following to Production techniques and quality control of sealed radioactive source IAEA-TECDOC 1512 as wipe impact leakage and homogeneity test. Half-life of Iodine131 was calculated from photostimulated luminescence intensity by using digital radiography reader (BAS 2500) for leakage and homogeneity tests. The quality control of Barium-133 standard source were tested in 4 conditions following Radiation Protection – Sealed Radioactive Source 2919 as wipe impact leakage and leaching test. Optimum thickness value of polyethylene for sealing Barium-133 standard source was calculated from photostimulated luminescence intensity by using digital radiography reader (BAS 2500) and gamma energy of Barium-133 was determined following to Monographie BIPM-5 by measuring with high pure germanium of planna type detector. The results from all conditions for quality control of Iodine-131 and Barium-133 standard sources production had been characterized. The methods and quality control can be used for production standard source .

Student's signature

Thesis Advisor's signature

สิบสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยภายใต้ โครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ผนวท) ที่ปฏิบัติงาน ณ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พรรณี พักคง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ คำปรึกษาและแนะนำตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดทั้งจากการค้นคว้าและจากการทดลอง รวมถึงการแก้ไขความถูกต้องของวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระกุณ กุณธงชัย สุดประเสริฐ ผู้อำนวยการกลุ่มมาตรฐานการวัครังสีและ กัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนความปลอคภัยการกำกับดูแลความปลอคภัยจากพลังงานปรมาณู นักวิจัยที่รับผิดชอบโครงการวิจัยรองรับ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องมือ ความช่วยเหลือในการทดลองรวมถึงการให้คำปรึกษาและแนะนำการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น ทั้งจากการก้นคว้า จากการทดลองและการแก้ไขความถูกต้องของวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ นายปพน เผือกคะเชนทร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติด้านกัมมันตภาพรังสีและวัสดุ อ้างอิงรังสี ที่ช่วยในด้านการรับรองต้นกำเนิดรังสีอ้างอิง และใช้ห้องปฏิบัติการเคมีรังสี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ ชี้แนะและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

> วิชชุตา ประดิษฐ์ มีนาคม 2553



สารบัญ

หน้า

(1)

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	33
ผล	33
วิจารณ์	57
สรุปและเสนอแนะ	61
สรุป	61
ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	64
ภาคผนวก	68
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	100



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเสี่ยงกับของอวัยวะและเนื้อเยื่อเมื่อได้รับรังสี	10
2	การคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิดวงแหวน	38
3	ตรวจสอบความเปรอะเบอนควยเครองวด เกเกอรมูลเลอรแบบสารวจความเปร *	02
	เปื้อนทางรังสีของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิควงแหวน	40
4	ค่าความหนาของแผ่นพลาสติก (mg/cm²) และค่า PSL	44
5	การคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิดหลุมอะคริลิก	46
6	ตรวจสอบความเปรอะเปื้อนด้วยเครื่องวัดไกเกอร์มูลเลอร์แบบสำรวจความเปร	១ះ
	เปื้อนทางรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะกริลิก	48
7	การนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 หาค่าประสิทธิภาพวัด	
	ของหัววัค ใกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ	54
8	เปรียบเทียบการวัดสเปกตรัมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ที่ได้จากการผลิตกับงานวิจัยอื่น	58
9	เปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ที่ได้จากการผลิตและจากการตรวจวัด	59
ตารางผนวก	ที่	

1	ลักษณะของตัวตรวจวัค HPGe แบบต่าง ๆ	76
2	แสดงการกำนวณก่ากัมมันตภาพรังสีของตัวอย่าง	
	ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131	82
3	การคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน	
	แบเรียม-133ชนิดวงแหวน	83

ลิขสิทฮิ์ มตาวิทยาลัยเทษยรศาสยร

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

(3)

4	การคำนวณก่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิครังสีมาตรฐาน	
	แบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิก	86
5	ค่า PSL จากการวัดไอโอดีน -131 สำหรับตรวจการรั่วไหล	89
6	การคิด Normallize ผลการทดลองแบบเชิงเส้นและแบบกึ่งล็อก	
	สำหรับการคำนวณค่าครึ่งชีวิต	91
7	ค่าพลังงานและค่าประสิทธิภาพการวัดของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน	
	แบเรียม -133 ชนิดวงแหวน	93
8	ค่าพลังงานและค่าประสิทธิภาพการวัคของต้นกำเนิ ครังสีมาตรฐาน	
	แบเรียม -133 ชนิดหลุมอะคริลิก	96



สารบัญภาพ

ภาพที่

1	ลักษณะภาชนะที่บรรจุสารรังสีที่ทำจากสแตนเลส	4
2	วิธีการเตรียมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน	6
3	ระบบตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง	8
4	โครงสร้างและส่วนประกอบแผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต	9
5	การกระจายตัวแบบการแจกแจงปกติ	18
6	ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) แบบเพลนนา	20
7	โปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสี Gamma Vision V3.2	20
8	ถัง Dewar ซึ่งติดตั้งอยู่กับ Cryostat และหัววัด	21
9	เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล (Digital radiography reader)	22
10	เครื่องชั่งมวลมาตรฐานสำหรับการแบ่งชั่ง	24
11	การหยุดสารรังสีลงบนวงแหวนอะคริลิก	26
12	การหยุดสารรังสีลงบนหลุมอะคริลิก	30
13	การทำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานให้แห้ง	30
14	ค่า PSL-BG และเวลาที่ทาบต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิดจุด	
	แบบปิดผนึกการ์บอน-14	34
15	ทดสอบด้วยวิธี wipe test ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอคีน-131	35
16	ทคสอบด้วยวิธีแรงกระทบ ต้นกำเนิครังสีมาตรฐานไอโอคีน-131	36
17	ค่าครึ่งชีวิตของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอคีน 131 ที่ผลิต	37
18	ค่าครึ่งชีวิตของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานใอโอคีน-131	
	จากการคำนวณตามทฤษฎี	37
19	ทคสอบด้วยวิชี wipe test ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน	34
20	ทคสอบด้วยวิธีแรงกระทบ ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน	41
21	ทคสอบด้วยวิธีรั่วไหลของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน	41
22	สเปกตรัมการทดสอบด้วยวิธีรั่วไหลของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิดวงแหวนในน้ำที่ตรวจวัด	42

(4)

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ทคสอบด้วยวิชีการชะ ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน	42
24	สเปกตรัมการทคสอบค้วยวิธีการชะ ต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิควงแหวนในน้ำที่ตรวจวัด	43
25	ค่า PSL กับ ความหนา (g/cm²)	44
26	สเปกตรัมตรวจสอบพลังงานต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิควงแหวร	น 45
27	กราฟแสดงประสิทธิภาพวัดของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิดวงแหวน	45
28	ทคสอบด้วยวิชี wipe test ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133ชนิดหลุมอะคริลิ	ัก 48
29	รูปทรงของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิกก่อนทดสอว	บ
	แรงกระแทก	49
30	รูปทรงของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิกหลังทดสอบ	J
	แรงกระแทก	49
31	ทคสอบด้วยวิธีการรั่วไหลต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิดหลุมอะคริลิก	50
32	สเปกตรัมการทคสอบค้วยวิธีรั่วไหลของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิดหลุมอะคริลิกในน้ำที่ตรวจวัด	50
33	ทคสอบด้วยวิธีการชะต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิก	51
34	สเปกตรัมการทคสอบค้วยวิธีการชะของต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิคหลุมอะคริลิกในน้ำที่ตรวจวัด	51
35	สเปกตรัมตรวจสอบพลังงานของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133	
	ชนิคหลุมอะคริลิก	52
36	กราฟประสิทธิภาพวัดของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม 133	
	ชนิคหลุมอะคริลิก	52
37	กราฟการหาก่าพลาโตของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
38	การกระจายแบบ Poisson distribution ของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน	
	แบเรียม-133	55
39	ความหนาของตัวดูดกลื่นชนิดต่างๆ (mg/cm²) และอัตราการนับ (CPM)	56
ภาพผนวกที่		

1	แสดงปรากฏการณ์ดูดกลื่น โฟโตอิเล็กตริก	70
2	แสดงปรากฏการณ์การกระเจิงคอมป์ตัน	71
3	แสดงปรากฏการณ์การผลิตคู่	72
4	แสดงระบบวัครั้งสีและอุปกรณ์ที่สำคัญในงานวิจัย	72
5	แสดงการทำงานของวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเคี่ยว (SCA)	74
6	โครงสร้างของตัวตรวจวัคเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงชนิดเพลนนา	79
7	โครงสร้างและส่วนประกอบแผ่นอิมเมจจิงเพลต	80
8	แสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ยอมรับค่าครึ่งชีวิตของต้นกำเนิครังสีมาตรฐาน	
	ไอโอดีน-131ที่ผลิตขึ้น	99

การผลิตและควบคุมคุณภาพต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ไอโอดีน-131 และแบเรียม-133

Production and Quality Control of Iodine-131 and Barium-133

Standard Sources

คำนำ

รังสี คือ พลังงานที่แผ่ออกมาจากค้นกำเนิดในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า รังสีสามารถแบ่งออก ใด้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ รังสีที่ก่อให้เกิดการแตกตัวของไอออน เรียกว่า Ionizing radiation และ รังสีที่ไม่ทำให้อากาศแตกตัวเป็นไอออน เรียกว่า Non-Ionizing radiation รังสีทั้งสองประเภทนี้ เกิดขึ้นได้ทั้งจากธรรมชาติและจากการกระทำของมนุษย์ ส่วนที่เกิดเองตามธรรมชาติ ได้แก่ รังสี คอสมิก รังสีจากพื้นดิน สินแร่ และสิ่งแวดล้อม ส่วนรังสีที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ การเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู การระเบิดของระเบิดนิวเคลียร์ รวมทั้งการผลิตสารกัมมันตรังสีจาก ปฏิกิริยานิวเคลียร์ต่างๆ เพื่อมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ

ปัจจุบันจะเห็นได้ว่ามีการนำต้นกำเนิดรังสีแบบปิดผนึกมาใช้งานกว้างขวาง เช่น ในทาง การแพทย์ ใช้ตรวจวินิจฉัยและบำบัดโรคของผู้เจ็บไข้ได้ป่วย ทางการเกษตร ปรับปรุงพันธุ์พืชและ การกำจัดแมลงศัตรูพืช ทางอุตสาหกรรม ตรวจสอบรอยเชื่อม รอยร้าวในชิ้นส่วนโลหะ นอกจากนี้ ยังใช้วิจัยทางวิทยาศาสตร์ เช่น การถนอมอาหาร การตรวจอายุวัตถุโบราณ เป็นต้น จะเห็นได้ว่า ประเทศไทยมีการสั่งซื้อต้นกำเนิดรังสีมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมากขึ้น ซึ่งมีการตรวจวัดอย่าง ถูกต้องและเที่ยงตรงกับดิ้นกำเนิดรังสีมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมากขึ้น ซึ่งมีการตรวจวัดอย่าง ถูกต้องและเที่ยงตรงกับดิ้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน แต่เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานมีราคาแพง จึงต้องช่วยแบ่งเบาภาระการสั่งซื้อต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน นอกจากนี้มนุษย์ไม่สามารถวัดหรือรับรู้ ปริมาณรังสีที่ได้จากการผลิตโดยใช้ประสาทสัมผัสต่างๆ งานทางด้านการวัดและการตรวจสอบ รังสีจึงด้องคิดค้นประดิษฐ์เกรื่องมือวัดขึ้นมา จึงมีกวามจำเป็นต้องนำเครื่องมือวัดทางรังสีมาใช้ โดยรังสีจะทำอันตรกิริยากับวัสดุภายในหัววัดแล้วถ่ายทอดพลังงานออกมา จากนั้นก็เปลี่ยนในรูปที่ ตรวจวัดได้ เพราะฉะนั้น ด้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ผลิตขึ้นก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสอบ เทียบระบบวัดแบบแกมมาสเปกโทรเมตรีได้อีกด้วย งานวิจัยชิ้นนี้ จึงได้เล็งเห็นความสำคัญการ ผลิตและควบกุมกุณภาพต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

วัตถุประสงค์

 เพื่อพัฒนาเทคนิคการควบคุมคุณภาพการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานสำหรับใช้ในการ สอบเทียบระบบวิเคราะห์แกมมาสเปกโทรเมตรี

 เพื่อนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ได้จากการควบคุมคุณภาพไปใช้ประโยชน์ในการสอบ เทียบระบบวิเคราะห์แกมมาสเปกโทรเมตรี



การตรวจเอกสาร

งานวิจัยนี้ทำการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 และ แบเรียม-133 ที่สลายตัว ให้รังสีแกมมา รวมทั้งควบคุมคุณภาพการผลิต โดยใช้วิธี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 และวิธี Radiation Protection – Sealed Radioactive Source ของ ISO 2919 ซึ่งมีตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิด เพลนนา และเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล เป็นตัวตรวจวัด ดังนั้นการเตรียมและการ กวบคุมคุณภาพการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานจำเป็นต้องเข้าใจการทำงานของเครื่องวัดเหล่านี้ทั้ง ในทางทฤษฎีและปฏิบัติ ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

การเตรียมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

ในการเตรียมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานจะใช้วิธีการเตรียมสองรูปแบบ คือ volumetric และ gravimetric สำหรับวิธี volumetric เป็นเทคนิคที่ง่ายไม่ซับซ้อนและอุปกรณ์ราคาไม่สูงมากนัก เหมาะกับงานวิจัยทั่วไป แต่ความแม่นยำต่ำกว่าเทคนิค gravimetric ส่วนเทคนิค gravimetric เหมาะกับการเตรียมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ที่อยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งเทคนิคนี้มีความแม่นยำ สูง สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เลือกวิธี gravimetric โดยการใช้ pycnometer ในการแบ่งสารละลายรังสีได้ อย่างรวดเร็ว และสามารถทำการทดลองแบบต่อเนื่องได้ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การเตรียมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิดอื่นดังนี้

Mostafa et al. (2008) ได้ทำการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบบปิดผนึกที่มีค่าครึ่งชีวิต ยาว มีลักษณะเป็น point source ได้แก่ Co-60 และ Cs-137 มีขั้นตอนการเตรียม ดังนี้ การเตรียมต้น กำเนิดรังสี Cs-137 โดยใช้สาละลาย ¹³⁷CsNO₃ ผสมใน 6-WCe gel และ การเตรียมต้นกำเนิดรังสี Co-60 ใช้สารละลาย ⁶⁰Co(NO₃)₂ นำมาผสมในสารละลาย Al(NO₃)₃ จากนั้นเตรียมภาชนะที่บรรจุ ซึ่งทำจากสเตนเลส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร และ หนา 1 เซนติเมตร นำสารรังสี ที่เตรียมไว้ใส่ในหลุม แล้วใช้กาวอีพีอกซี่ ยึดไว้เพื่อไม่ให้เกิดการรั่วไหลของสารรังสีออกมา



ภาพที่ 1 ลักษณะภาชนะที่บรรจุสารรังสีที่ทำจากสเตนเลส

ทีมา: Mostafa et al. (2008)

IAEA (2006) ได้มีการเตรียมต้นกำเนิดรังสีไอโอดีน-125 ที่บรรจุในแกนแท่งเงิน ซึ่งมี วิธีการเตรียมหลายวิธี ดังนี้

 วิธีการดูดซับทางเคมี-ฟิสิกส์ (Physico-chemical adsorption) โดยใช้แกนแท่งเงิน ที่เตรียมไว้แช่ในสารละลาย PdCl₂ จากนั้นทำให้แห้ง แล้วนำมาแช่ในสารรังสีไอโอดีน-125 ที่มีค่า ความแรงรังสี 48 เมกกะเบคเคอเรล และ KI 5 ไมโครกรัม ล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง แล้วทำให้แห้ง อีกครั้ง

 วิธีการดูดซับโดย ceramic rod (Physical adsourption on ceramic rod) นำ Al₂O₃ เคลือบ บนแท่งเงิน จากนั้นนำไปแช่ในสารรังสี ไอโอดีน-125 ที่มีค่าความแรงรังสี 5 มิลลิกูรี

 วิธีการทคลองในสุญญากาศ (Vacuum sublimation) โดยการนำแท่งเงินไปฉาบในระบบ สุญญากาศ ล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วทำให้แห้ง

3ธีการดูดบนแท่งเงิน (Adsorption of I-125 on chlorinated silver bars) นำแท่งเงินชุบ
 ด้วย hydrogen dioxide กับ hydrochloric acid เป็น chlorination บนผิวบนแท่งเงิน จากนั้นดูด
 ไอโอดีน-125 เป็นเวลา 15 ชั่วโมง รวมทั้งควบคุมค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 5

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

Masayasu (2008) ศึกษาการเตรียมต้นกำเนิดรังสีสำหรับใช้ในงานสอบเทียบระบบแกม มาสเปกโทรเมทตรี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคของ Masayasu มาพัฒนาขั้นตอนการผลิต ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การเตรียมสารรังสี

1.1 ชั่ง ampoule ที่มีสารรังสีบรรจุอยู่ (W_A) จดบันทึกน้ำหนักไว้

1.2 ดูดสารละลายรังสี 5 กรัม ใส่ใน ampoule ขนาด 20 มิลลิลิตร จากนั้นนำ ampoule ที่ดูดสารรังสีออกแล้ว (W_B)ชั่งอีกครั้ง เพื่อหาน้ำหนักสารรังสีที่ใส่ใน ampoule ขนาด 20 มิลลิลิตร:
 W_C = W_A- W_B

 1.3 เติมผง gelatin (W_G) และผงสีแดงละลายในน้ำร้อนอุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส

1.4 คำนวณความเข้มข้นสารรังสี (Bq/g) : $D = D_{_0}W_{_C}/(W_{_C} + W_{_G})$

 1.5 นำสารรังสีที่เตรียมไว้ใน ampoule เทลงในภาชนะบรรจุสารรังสี หลังจากนั้น นำ gelatin 5 กรัม ผสมลงไป จากนั้นปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมบาง

2. การเตรียมภาชนะบรรจุสารรังสี

2.1 นำกระดาษกรองตัดเป็นวงกลมโดยใช้คัตเตอร์ตัดให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง
 60 มิลลิเมตร จากนั้นกระดาษกรองไปวางบนภาชนะบรรจุสารรังสีที่เตรียมไว้

2.2 ดูดสารรังสีที่เตรียมไว้สารรังสีที่เตรียมไว้ด้วยปีเปตโพลีเอทีลีนขึ้นมาประมาณ
 1 กรัม จากนั้นชั่งแล้วบันทึกน้ำหนัก: W₁(มิลลิกรัม)

2.3 หยุดสารรังสีลงบนกระดาษกรอง ชั่งแล้วบันทึกน้ำหนักสารรังสีอีกครั้ง : W_2 (มิลลิกรัม) ดังนั้นสารรังสีที่หยุดลงบนกระดาษกรอง(W_D)จะเท่ากับ $W_D = W_1 - W_2$

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

- 2.4 ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง
- 2.5 คำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของตัวอย่าง; $A_D = DW_D$



ภาพที่ 2 วิธีการเตรียมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

ที่มา: Masayasu (2008)

การควบคุมคุณภาพการผลิต

ในการผลิตด้นกำเนิดรังสีมาตรฐานสิ่งสำคัญในการผลิตจะต้องมีการควบคุมคุณภาพของ การผลิต เนื่องจากการนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานมาใช้ความเป็นมาตรฐานมีความสำคัญที่จะช่วย สร้างความเชื่อถือให้กับผู้ใช้งานทางด้านรังสี ดังนั้น การควบคุมคุณภาพการผลิตจึงเป็นปัจจัย สำคัญในการทำงานวิจัยด้านการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ซึ่งได้ทำการศึกษางานวิจัยอื่นๆ ที่มี ความเกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพดังนี้

Mostafa *et al.* (2008) ได้ทำการผลิตสารรังสีมาตรฐาน Co-60 และ Cs-137 แล้วทำ การทดสอบการควบคุมคุณภาพหลังการผลิต ดังนี้

 ทคสอบด้วยวิชี wipe test โดยการนำใยฝ้ายที่ชุบอะซีโตนเช็ดต้นกำเนิดรังสี จากนั้น ตรวจสอบการปนเปื้อนที่ผิวหน้าต้นกำเนิดรังสี

 2. ทคสอบด้วยวิชี แรงกระทบ โดยการปล่อยต้นกำเนิดรังสีหล่นจากความสูง 9 เมตร ลงบนพื้นที่แข็ง แล้วนำมาตรวจสอบความเสียหายของรูปทรง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

 ทดสอบด้วยวิธี การรั่วไหล โดยนำต้นกำเนิดแช่ในน้ำโดยให้อยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 5 เซนติเมตรใน water bath ที่มีอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นสังเกตฟองอากาศที่ออกมาจาก แหล่งกำเนิดเป็นเวลา 2 นาที

4. ทดสอบด้วยวิธี การชะ โดยการนำต้นกำเนิดรังสีใส่ใน water bath ที่อุณหภูมิ 50 องศา เซลเซียส แช่นาน 4 ชั่วโมง จากนั้นตรวจสอบการปล่อยของรังสี

 การวัดค่ากัมมันตภาพรังสี จะทำการวัดหลังผ่านการทดสอบควบคุมคุณภาพแล้ว เพื่อรับรองว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับรังสี

6. ขั้นตอนการเตรียมสุดท้าย จะทำการติดสติกเกอร์ เพื่อแสดงว่าวัตถุชิ้นนี้เป็นต้นกำเนิด รังสี

IAEA (2006) ได้มีการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอคีน-125 เป็นแบบแท่งเงิน ที่เคลือบสารรังสี จากนั้นทำการทดสอบการควบคุมคุณภาพของไอโอคีน-125 ดังนี้

1. ทคสอบรูปทรงต้นกำเนิครั้งสีด้วยเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรั้งสีแบบดิจิตอล

2. ทคสอบการชะในน้ำและสารละลายที่เป็นเกลือ

3. ทคสอบการรั่วไหล

4. ทดสอบการทำ wipe tests

5. ทคสอบความคงทนมีขั้นตอนดังนี้

5.1 ทคสอบที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส (20 นาที) ถึง 600 องศาเซลเซียส (1 ชั่วโมง)

5.2 ทคสอบที่ความคัน 25 กิโลปาสคาล – 2 เมกกะปาสคาล

5.3 ทคสอบแรงกระทบที่ระยะ 1 เมตร โคยการปล่อยลงมาที่พื้น จากนั้น ตรวจสอบรูปทรง

วัดค่ากัมมันตภาพรังสี

เทคนิคการวัดรังสื

งานวิจัยนี้ทำการผลิตต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแกมมา ซึ่งจำเป็นต้องใช้ตัวตรวจวัคเจอร์มา เนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิคเพลนนา และเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล (Digital radiography reader) ในการควบคุมคุณภาพการผลิต ดังนั้นเรากวรทำความเข้าใจการทำงานของ หัววัครังสีเป็นอย่างดี ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง ดังนี้

 ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (High – Purity Germanium; HPGe) เป็นตัวตรวจวัด แบบสารกึ่งตัวนำที่มีความสามารถในการวัดพลังงานรังสีแกมมา และแยกแยะความแตกต่างของ พลังงานได้ Knoll (2000) ซึ่งตัวตรวจวัดชนิดนี้มีหลายแบบ แต่สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ตัวตรวจวัด เจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ลักษณะภายนอกแบบเพลนนาจะมีพื้นที่หน้าตัด กว้าง มีความหนา 5-10 มิลลิเมตรหน้าต่างมักทำจากโบรอนที่มีความหนา 0.3 ไมโครเมตร โดยการ ทำงานจะใช้เทคนิคการทำให้ผลึกมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ต้องการไนโตรเจนเหลวในการให้ความ เย็นกับระบบของหัววัด รวมทั้งสามารถแยกแยะพลังงานในช่วง 550-700 อิเล็กตรอนโวลต์ Carchon *et al.* (2007)



ภาพที่ 3 ระบบตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง

ที่มา: Defelice et al. (2006)

 2. เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล (digital radiography reader) เป็นตัวตรวจวัด ที่ใช้หลักการบันทึกพลังงานบนแผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต แล้วนำแผ่นมาอ่านด้วยเครื่องอ่าน ภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล ด้วยแสงเลเซอร์ ที่มีความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร กระตุ้นปริมาณ อิเล็กตรอนที่กักเก็บไว้ที่บริเวณ F-center ให้ลงสู่สถานะพื้นหลังและปลดปล่อยแสงที่มีความเข้ม เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงาน ทำให้ภาพที่ออกมาวัคเป็นค่า PSL (photostimulated luminescence intensity)



ภาพที่ 4 โครงสร้างและส่วนประกอบแผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต

ที่มา: Glenn (1989)

การป้องกันอันตรายจากรังสื

ในการผลิตด้นกำเนิดรังสีมาตรฐานจะเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับสารรังสี จึงต้องมีความ ระมัดระวังและมีระบบการป้องกันอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นการวางแนวทางปฏิบัติเพื่อการ ป้องกันอันตรายจากรังสีถือได้ว่าเป็นมาตรการที่ดีสุดที่จะช่วยให้การทำงานมีความปลอดภัยมาก ที่สุดอย่างสมเหตุสมผล ALARA (As Low As Reasonably Achievable) ซึ่งถือว่าเป็นกฎพื้นฐาน ของการวางระบบความปลอดภัยที่จะช่วยลดการได้รับรังสีให้น้อยที่สุดโดยมีหลักการ 3 ประการ ดังนี้

 Justification of practice คือ การยึดหลักการที่ว่าไม่มีการทำงานใดๆอย่างเด็ดขาด ถ้าไม่ มีแผนปฏิบัติงานที่มีการป้องกันอันตรายจากรังสีที่ดีพอ Optimization คือ การคำนวณและประเมินเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยการนำเอาปัจจัย ต่างๆ เช่น เศรษฐกิจ สังกมและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการป้องกันอันตรายจากรังสีเพื่อให้ได้ แนวทาง มาตรการ หรือแนวปฏิบัติที่ดีและคุ้มค่าที่สุด

3. Individual Dose Limitation คือ การกำหนดระดับรังสีที่ยอมรับได้

3.1 การเสี่ยงภัยของอวัยวะและเนื้อเยื่อ เป็นดังตารางที่ 1

3.2 Dose-equivalent limits (DEL) การได้รับรังสีเพียงครั้งเดียว อาจมีผลกระทบต่อ การเสียหายระยะยาวได้ ซึ่งแบ่งผลออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

3.2.1 ผลด้าน Deterministic effects

- 0.5 ซีเวิร์ต (50 เรม) สำหรับเนื้อเยื่อ/อวัยวะทุกชนิด ยกเว้นเลนส์ตา
- 0.15 ซีเวิร์ต (15 เรม) สำหรับเลนส์ตา

3.2.2 ผถด้าน Stochastic effects

- การได้รับร่างกายทั่วร่างกาย 50 มิถลิซีเวิร์ต (5 เรม) ต่อปี

ตารางที่ 1 แสดงการเสี่ยงของอวัยวะและเนื้อเยื่อเมื่อได้รับรังสี

Tissue	Risk (Sv)	Comments	W
Gonads	0.004	Genetic risk to first 2 generation	0.25
Breast	0.0025	Average for all ages and both sexed	0.15
Red bone marrow	0.002	Leukemia	0.12
Lung	0.002	Cancer	0.12
Thyroid	0.0005	Fatal cancer	0.03
Bone surface	0.0005	Osteosarcoma	0.03
Remainder	0.0005	Cancer	0.03
Total risk		0.0165	

แต่การที่จะได้รับรังสีจะมากหรือน้อยสามารถป้องกันได้ โดยเลือกปฏิบัติตามหลักพื้นฐาน 3 วิธี ดังนี้

 เวลา (Time) การควบคุมเวลาในการปฏิบัติงานกับสารรังสีเป็นหลักการสำคัญในการลด ปริมาณรังสีที่ได้รับในขณะที่ทำงานเกี่ยวกับสารรังสีหรือสัมผัสสารรังสี ซึ่งสามารถคำนวณเวลา ที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงานดังสมการที่ 1

โดย D = อัตราการรับปริมาณรังสีในขณะที่ทำงาน R = อัตราปริมาณรังสี T = เวลาที่ใช้ในการทำงาน

 ระยะทาง (Distance) การควบคุมระยะห่างระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสี เป็นอีกวิธีหนึ่งในการลดอันตรายจากรังสีที่อยู่ภายนอกร่างกาย หากผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานให้ ห่างจากต้นกำเนิดรังสี โดยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการได้รับรังสีกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี สามารถกำนวนได้จาก Inverse squares law ดังนี้

$$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2$$

D

โดย I₁ = อัตราปริมาณรังสี เมื่อห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นระยะทาง d₁ I₂ = อัตราปริมาณรังสี เมื่อห่างจากต้นกำเนิดรังสีเป็นระยะทาง d₂ d₁, d₂ = ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี

 เครื่องกำบังรังสี (Shielding) กรณีที่ไม่สามารถลดการทำงานได้ และจำเป็นที่ต้องทำงาน อยู่ใกล้ต้นกำเนิดรังสี ผู้ปฏิบัติงานสามารถลดการได้รับปริมาณรังสีลงได้โดยใช้เครื่องกำบังรังสี ซึ่งขึ้นอยู่กับความแรงรังสี ชนิดรังสี และค่าที่ยอมรับได้หลังผ่านเครื่องกำบังรังสี

(1)

(2)

การชำระล้างความเปรอะเปื้อน

ในการผลิตต้นกำเนิดรังสีการเปรอะเปื้อนทางรังสีมักเกิดขึ้น จำเป็นต้องมีการชำระความ เปรอะเปื้อน แต่ต้องพิจารณาถึงชนิดของสารรังสีด้วย ในกรณีของก่าครึ่งชีวิตยาวจะต้องพิจารณาว่า กวามเปรอะเปื้อนสามารถกำจัดเป็นกากกัมมันตภาพรังสีหรือชำระถ้าง แต่ถ้าเป็นก่าครึ่งชีวิตสั้น อาจจะปล่อยทิ้งไว้ให้ก่ากัมมันตภาพรังสีสถายตัวเป็นระยะเวลาประมาณ 10 ครึ่งชีวิต แถ้วกำจัดเป็น ขยะสามัญทั่วไป หรือชำระถ้างโดยทั่วไป การเปรอะเปื้อนทางรังสีออกเป็น 3 แบบ ดังนี้ แบ่งตาม ชนิดกัมมันตภาพรังสีที่แผ่ออกมาได้แก่ การเปรอะเปื้อนสารกัมมันตภาพรังสีที่ให้แอลฟา บีตา หรือ แกมมา แบ่งตามถักษณะของการเปรอะเปื้อน ได้แก่ แบบไม่ยึดติด (Loosed From) แบบฝังแน่น (Fixed From) กับพื้นผิว และแบ่งตามลักษณะทางกายภาพของสารที่ปนเปื้อน ได้แก่ การเปรอะ เปื้อนในรูปของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ดังนั้นในการชำระถ้างกวามเปรอะเปื้อนเบื้องต้น ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

- 1. การชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีออกจากตัวบุคคล
 - 1.1 ชำระความเปรอะเปื้อนทันทีกับสบู่และน้ำ

 1.2 เปรอะเปื้อนบนใบหน้า ควรซับความเปรอะเปื้อนออกเสียก่อน จากนั้นด้างด้วยสบู่ กับน้ำมากๆ แล้วใช้กระดาษซับให้แห้ง

- 1.3 ชำระล้างบนเส้นผม ควรใช้แชมพูหลายครั้ง แล้วล้างค้วยน้ำมากๆ
- 2. การชำระความเปรอะเปื้อนทางรังสีในบริเวณปฏิบัติงาน
 - 2.1 ชำระความเปรอะเปื้อนทางรังสีชนิคเปรอะเปื้อนแบบหละหลวม
 - ใช้เครื่องดูดฝุ่นที่มีระบบกรองอากาศชนิดพิเศษ

 ใช้การชำระล้างที่มีตัวขาชนิดเกลือกอมเพลกซ์ละลายปะปนอยู่ โดยใช้ฟองน้ำ จุ่มน้ำยา แล้วเช็คถูและซับ

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

 ใช้เล็กเกอร์ชนิคพิเศษที่สามารถคลุมแล้วลอกออกได้ ถ้าบริเวณเปรอะเปื้อน กว้างมาก

2.2 ชำระความเปรอะเปื้อนทางรังสีชนิคเปรอะเปื้อนแบบฝังแน่น

ชะถ้างโดยวิธีเปียก คือใช้สารซักถ้างสิ่งสกปรกทั่วๆ ไปตลอดจนคราบไขมัน
 ออกเสียก่อน แต่ถ้าไม่สามารถชำระล้างความเปรอะเปื้อนออกได้ก็จะต้องใช้วิธีการชำระล้างด้วย
 น้ำยาผสมเกลือคอมเพลกซ์

 หลังการชำระแล้วมีสารตกค้างควรขจัดค้วยการขัดถู แต่หากการชำระล้าง ดังกล่าวไม่เป็นผลอาจจำเป็นต้องตัด หรือลอกผิวบริเวณที่เปรอะเปื้อนออกเสีย ยกเว้นกรณีสาร กัมมันตภาพรังสีฝังลึกในพื้น ควรกำจัดทิ้ง

การชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีออกจากวัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือ

3.1 ชำระถ้างอุปกรณ์และเครื่องมือในน้ำอุณหภูมิสูง เพื่อชำระถ้างสิ่งสกปรกและ คราบไขมันออก ตามด้วยการเช็ดหรือซับด้วยกระดาษ

3.2 ล้างด้วยน้ำอีกครั้ง จากนั้นทำให้แห้ง แล้วตรวจวัดรังสีอีกครั้งเพื่อสำรวจว่ายังมี ความเปรอะเปื้อนด้างอยู่หรือไม่

3.3 หากความเปรอะเปื้อนยังคงอยู่ ให้ใช้เทคนิคการขัดถู และจุ่มแช่ลงในสารชำระล้าง ที่มีอุณหภูมิสูง หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด ทำให้แห้ง และตรวจวัดรังสีอีกครั้ง

3.4 หากความเปรอะเปื้อนยังคงอยู่ จำเป็นจะชำระล้างด้วยกรดแก่บริเวณเปรอะเปื้อน โดยระวังมิให้ผิวของอุปกรณ์ถูกกัดกร่อนด้วย หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วทิ้งให้แห้ง นำไป ตรวจวัดรังสีอีกครั้ง

3.5 หากดำเนินการแล้ว ยังคงมีความเปรอะเปื้อนก้างอยู่ ควรพิจารณาอีกครั้งว่าจะทิ้ง หรือนำกลับมาใช้ใหม่ 4. การชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีบนเสื้อผ้าและชุคคลุมปฏิบัติการ

4.1 เสื้อผ้าและชุดคลุมปฏิบัติการทางรังสี ต้องชำระถ้างด้วยสารซักถ้างที่เหมาะสม

4.2 เสื้อผ้าที่เปรอะเปื้อนด้วยสารกัมมันตภาพรังสีเป็นหย่อมๆ อาจใช้เครื่องดูดฝุ่นเอา ความเปรอะเปื้อนออก แล้วซักล้างด้วยเครื่องซักผ้าต่อไป

 การชำระล้างความเปรอะเปื้อนทางรังสีบนพื้นผิวด้วยสารชำระล้างต่างๆ การชำระล้าง ความเปรอะเปื้อนทางรังสีโดยวิธีเปียกนั้น ต้องใช้สารชำระล้างแตกต่างกันไปตามชนิดความ เปรอะเปื้อนที่เกิดขึ้น พอสรุปได้ดังนี้

5.1 สบู่และแชมพู เหมาะในการชำระล้างความเปรอะเปื้อนออกจากบุคคล

5.2 สารละลายกรค เช่น กรคฟอสฟลอริก กรคกำมะถัน และกรคคินประสิว ใช้ชำระ ล้างกวามเปรอะเปื้อนทางรังสีบนวัสคุที่เป็นโลหะ

5.3 สารละลายเกลือคอมเพลกซ์ สามารถใช้ประกอบสารชำระล้างอื่นๆ เพื่อดึงเอาสาร กัมมันตภาพรังสีออกมา

5.4 สารละลายชนิดอินทรีย์สาร เช่น อาซีโตน แอลกอฮอล์ และพาราฟิน นำมาชำระ ล้างวัสดุที่เป็นผิวมัน

ข้อกำหนดในการปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสีแบบเปิดผนึกอย่างปลอดภัย

โดยทั่วไปการได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย สามารถป้องกันและเป็นไปตามหลัก ALARA ได้ หากผู้ทำการทดลองยึดถือและปฏิบัติตามข้อกำหนดในการปฏิบัติงานที่เกี่ยวกับสาร รังสีได้อย่างปลอดภัย ดังต่อไปนี้ ห้ามสูบบุหรี่ รับประทานอาหาร ดื่มเครื่องดื่มในห้องปฏิบัติการทางรังสี

2. ห้ามดูดปีเปตที่มีสารรังสีด้วยปาก

ห้ามใช้เตาอบไมโครเวฟที่มีในห้องปฏิบัติการอุ่นอาหาร

 ผู้ปฏิบัติงานและเจ้าหน้าที่ควรได้รับอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยทางรังสีก่อน เข้าปฏิบัติงานด้านรังสี

5. เครื่องหมาย คำเตือน ข้อปฏิบัติต่างๆเกี่ยวกับสารกัมมันตรังสีจะต้องติดให้ชัดเจน

 ห้องปฏิบัติการทางรังสี่ต้องสะอาด ระเบียบ และควรแยกจากห้องพัก พร้อมทั้งมี่ตู้ควัน เพื่อใช้สำหรับสารกัมมันตภาพรังสีประเภทระเหยง่าย

7. พื้นผิวปฏิบัติการควรปูทับด้วยกระดาษซับเพื่อป้องกันการเปรอะเปื้อนทางรังสี

8. ควรสวมเสื้อกลุมในขณะปฏิบัติงานด้านรังสี

9. การปฏิบัติงานด้านรังสี ควรมีการวางแผนก่อนการปฏิบัติทุกครั้ง

10. ควรติดเกรื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคลที่เหมาะสมกับชนิด และระดับรังสี

11. กากกัมมันตภาพรังสีที่เหลือจากการปฏิบัติงาน ควรปฏิบัติดังนี้

11.1 กากกัมมันตภาพรังสีที่ประกอบด้วยสารกัมมันตภาพรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิต<2 เดือน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ นำกากกัมมันตภาพรังสีที่เป็นของแข็งใส่ถุงพลาสติกใสชนิดโพลีเอทิลีนอย่าง
 หนา ปริมาตร 20 ลิตร ขนาด กว้าง*ยาว= 18" * 30" ปิดปากถุงให้แน่น พร้อมตรวจสอบ
 ความเปรอะเปื้อนทางรังสีที่ผิวด้านนอกของถุงบรรจุกาก

 ติดฉลากเครื่องหมายทางรังสี ระบุวันที่เก็บรวบรวมกาก น้ำหนัก ปริมาตร ชนิดและความแรงรังสี

 นำถุงกากกัมมันตภาพรังสีใส่ในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนอีกชั้นหนึ่ง แล้วนำไป เก็บรักษาไว้ ณ สถานที่เก็บกากชั่วคราว รอเวลาให้กัมมันตภาพรังสีสลายตัวเป็นระยะเวลาประมาณ 10 ครึ่งชีวิต

 แต่ถ้าความแรงรังสีไม่เกินมาตรฐานการทิ้งกากกัมมันตภาพรังสีสามารถกำจัด ได้ด้วยวิธีเดียวกับขยะสามัญ บันทึกแจ้งรายละเอียดการทิ้งกากกัมมันตภาพรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อม ไปยังสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติเพื่อทราบ

11.2 กากกัมมันตภาพรังสีที่ประกอบด้วยสารกัมมันตภาพรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิต>1 ปี ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติเหมือนกับข้อ 6.11.1

สถิติของการวัดรังสื

ในการควบคุมคุณภาพจะรวมถึงแนวทางการตรวจวัดตั้งแต่เก็บตัวอย่างจนถึงรายงานผล การวัด เพื่อสร้างความมั่นใจ แม่นยำ และถูกต้อง ในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ควบคุมคุณภาพต้องผ่าน การวิเคราะห์ 5 รูปแบบด้วยกัน ดังนี้

 การปรับเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดทางรังสี สำหรับสารรังสีมาตรฐานที่นำมา ปรับเทียบต้องมีใบปรับเทียบกับองค์กรที่ทำการสอบเทียบ เช่น NIST

2. การเตรียมตัวอย่างพื้นหลัง จะเตรียมภาชนะที่ว่างเปล่าแล้วทำการวัด

 การควบคุมตัวอย่าง จะต้องทราบความเข้มข้นขณะทำการวิเคราะห์ โดยจะต้องเตรียม ตัวอย่างที่มีลักษณะเหมือนกับตัวอย่างที่วิเคราะห์เป็นประจำ และความเข้มข้นของกัมมันตภาพรังสี ที่ใช้ไม่ควรแตกต่างไปจากเดิมเช่นกัน

 4. ตัวอย่างที่เตรียมโดยการเติมกัมมันตภาพรังสี สามารถนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของ กัมมันตภาพรังสีชนิดนั้นได้

5. ควรมีการทำซ้ำ และตัวอย่างที่เตรียมควรตรวจวัคด้วยวิธีแบบไม่ทำลายหรือไม่ เปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนั้นเทคนิกที่เหมาะสมกือ แกมมาสเปกโทรเมตรี

ดังนั้นสถิติจึงเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของตัวอย่าง ที่ทำการตรวจวัด

 ค่าเฉลี่ย (Mean; X) จะถูกคำนวณโดยการรวมจำนวนนับของแต่ละการทดลอง แล้วหารด้วยจำนวนครั้งของการทดลองทั้งหมด แต่ในกรณีจำนวนครั้งการวัดมากขึ้นค่าเฉลี่ยของ ตัวอย่าง จะเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยถูกต้อง ของตัวอย่าง มากขึ้น

$$\overline{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i$$

ค่าความแปรปรวน (Variance) ความแปรปรวนของประชากร (Population Variance) จะมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4 เมื่อ **O** เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร แต่เนื่องจาก ค่าเฉลี่ยถูกต้อง เป็นค่าที่ไม่ทราบได้แน่นอน ดังนั้นจำเป็นจะต้องใช้ก่าเฉลี่ยของตัวอย่าง และเมื่อ s เป็นค่าเบี่ยงเบนของตัวอย่าง ซึ่งก่าความแปรปรวนของตัวอย่าง จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\sigma^{2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (X_{i} - \mu)^{2}$$
(4)

(3)

3. การกระจายข้อมูล โดยทั่วไปมี 3 ลักษณะ คือ แบบทวินาม (Binomial Distribution) แบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution) แบบการแจกแจงปกติ (Normal distribution) สำหรับ ในงานวิจัยนี้ลักษณะข้อมูลที่ทำการทดลองมีจำนวนน้อย และเป็น single sample ดังนั้นจึงเป็น การกระจายแบบการแจกแจงปกติหรือแบบเกาส์เซียน พบว่าค่าเฉลี่ยเป็นตัวแทนของความถี่ที่พบ มากที่สุด ลักษณะพีกเป็นรูปเส้น โด้งระฆังคว่ำ และค่าประมาณ SD ได้กำหนดช่วงความเชื่อมั่น Int โดย ±1S ใช้ระดับความเชื่อมั่น 68 % ±2S ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95 % ±3S ใช้ระดับความเชื่อมั่น 99 % ซึ่งในงานวิจัยเลือกใช้ ±3S ใช้ระดับความเชื่อมั่น 99 % EML (1997) เพราะเป็นช่วงที่ยอมรับค่าครึ่ง ชีวิตของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131



ภาพที่ 5 การกระจายตัวแบบการแจกแจงปกติ (Normal distribution)

ที่มา: EML (1997)

$$P(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-(x-\mu)^2/2\sigma^2\right]$$
(5)
$$\bar{x} = \sum_{x=0}^{n} x P(x) = pn$$
(6)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

เครื่องวัดรังสีแกมมาสเปกโทรเมตรี (HPGe) ประกอบด้วย

 ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธ์สูงชนิดเพลนนา (High – Purity Germanium Planar Type; HPGe) ของบริษัท EG&G ORTEC GLP-3360/13-S Serial No. 37-E243 มีส่วนประกอบ ดังนี้

1.1 Dewar (Model SD-GLP-S) ภาคบยายส่วนหน้า (Preamplifier) Model 239POF

1.2 แหล่งจ่ายไฟแรงสูง (Hight-Voltage Filter) ความต่างศักย์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 1000 โวลต์

1.3 Cryostats เส้นผ่านศูนย์กลาง 36 มิลลิเมตร ยาว 13 มิลลิเมตร

1.4 Multi-channel Analyzer, MCA (DSPEC)

1.5 โปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสี Gamma Vision V3.2

1.6 ฐานข้อมูลสารรังสี BITM



ภาพที่ 6 ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา

GernmeVision be-133#23 09 2009#7big point 95.5pc (be-133#beck#point #7 big)	Ø 💈
le Acquire Calorate Calculate Analyze Library Services ROC Display	Markin
	Putre Ht. Analysis Start 12:31:38 Pt 9/23/200 Pearl 1.1655
11 - SKS - 1	Dead 349 : R01 1. Tre Del
	Pesk <u> Pesk</u> <u> rite</u>
	7EGL6 ORTEC 22152PM Thu 9/24/2005
	1.7

ภาพที่ 7 โปรแกรมวิเคราะห์สเปกตรัมรังสี Gamma Vision V3.2





ภาพที่ 8 ถัง Dewar ซึ่งติดตั้งอยู่กับ Cryostat และหัววัด

 เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (Digital radiography reader) ยี่ห้อ FUJIFILM BAS 2500 ประกอบด้วย

- 2.1 เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสี
- 2.2 เครื่องลบสัญญาณภาพถ่ายทางรังสี

2.3 แผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต SR 2040 No.1 S/N 2983 ตัวแผ่นเป็นสีฟ้า ขนาด กวามกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร มีค่าความละเอียด 50 ไมโครเมตร และแผ่น MS 2040
20260591 ตัวแผ่นเป็นสีขาว ขนาดความกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตรมีความไวในการ ตอบสนองสูง

2.4 กล่องบรรจุแผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต (BAS CASSETTE 2040) ขนาดความกว้าง20 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร



ภาพที่ 9 เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล (Digital radiography reader)

- 3. อุปกรณ์การตรวจวัดและการป้องกัน
 - 3.1 อุปกรณ์การตรวจวัด
 - เครื่องวัดไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger)
 - เครื่องวัดไกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ
 - เครื่องชั่งมวลมาตรฐานชนิคสามตำแหน่ง
 - สารละลายไอโอดีน-131 และ แบเรียม-133
 - ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานการ์บอน-14 แบบจุดชนิดปิดผนึก
 - หลอดสำหรับบรรจุสารกัมมันตภาพรังสีแบบปิดผนึก (ampoule)
 - กระคาษกรองเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร

แผ่นอะคริลิกมี 2 ชนิด คือ ชนิดวงแหวนขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร กว้าง 15
 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 52 มิลลิเมตร และชนิดหลุมมี 2 ขนาด คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 37
 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร

- pycnometer

- เทปกาวใส (polyester tape)

- กรรไกร

3.2 อุปกรณ์การป้องกัน

- ห้องเตรียมตัวอย่าง พร้อมตู้กวัน (Fume Hood)

ชุดแผ่นอะลูมิเนียมความหนาต่างๆ สำหรับทดสอบการดูดกลื่นรังสี

- หน้ากากกันไอระเหย

- ถุงมือ
- คีบ
- ถังสำหรับเก็บกากกัมมันตภาพรังสี
- แท่งตะกั่วกำบังรังสี



ภาพที่ 10 เครื่องชั่งมวลมาตรฐานสำหรับแบ่งชั่ง

ີວີຮີ່ຄາຮ

ในการทดลองนี้เพื่อผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 (ค่าครึ่งชีวิต 8.02 วัน) และ แบเรียม-133 (ค่าครึ่งชีวิต 10.54 ปี) เป็นต้นกำเนิดรังสีแบบจุดชนิดปิดผนึก(Sealed point source) โดยจะแบ่งการทดลองเป็น 5 การทดลอง ดังนี้

 การตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล (Digital radiography reader)

ระบบการทำงานของเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล (Digital radiography reader) ใช้หลักการบันทึกค่า PSL บนแผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต แล้วนำแผ่นไปอ่านค่า PSL ด้วย เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล ซึ่งในงานวิจัยจะใช้ค่า PSL ในการคำนวณ ดังนั้นก่อนทำ การทดลองจำเป็นที่ต้องมีการตรวจสอบระบบการทำงานของเครื่องก่อน ดังนี้

 1.1 นำแผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต SR 2040 No.1 S/N 2983 ลบสัญญาณ ด้วยเครื่อง ลบสัญญาณภาพถ่ายทางรังสี เป็นเวลา 10 นาที

1.2 วางแผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต SR 2040 No.1 S/N 2983 บนต้นกำเนิดรังสี
 คาร์บอน-14 แบบจุดชนิดปิดผนึก บนต้นกำเนิดรังสีในตำแหน่งที่ต้องการที่บรรจุในกล่องบรรจุ
 แผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต (BAS CASSETTE 2040) ทำการทาบแผ่น เป็นเวลา 5 10 และ 20 นาที

จากนั้นนำแผ่นอิมเมจจิงเพลตไปวางในเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล ทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้สัญญาณรบกวนจางหายไป จึงกคปุ่มอ่านแผ่นทันที

 1.3 นำค่า PSL และที่เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอลอ่านได้มาทำการหักลบ กับค่ารังสีพื้นหลัง (BG) เพื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง PSL-BG กับเวลาที่ทาบรังสี

2. การผลิตต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานไอโอคีน-131 ชนิควงแหวน

2.1 การเตรียมสารรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131

2.1.1 เตรียมอุปกรณ์ป้องกันและควบคุมความเปรอะเปื้อน เช่น ถาคหุ้มด้วย กระดาษกรอง , พื้นที่ทำการทดลองจำเป็นปูด้วยกระดาษกรอง เป็นต้น

2.1.2 นำแผ่นอะคริลิกที่ตัดเป็นรูปวงแหวน มีขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร กว้าง 15 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 52 มิลลิเมตร

2.1.3 ตัดกระดาษกรองเป็นวงกลม ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.5 เซนติเมตร นำไปติดบนเทปกาวใสที่อยู่บนวงแหวนอะคริลิกบริเวณที่ใช้หยุดสารรังสี

2.1.4 เตรียมสารกัมมันตภาพรังสีไอโอดีน-131 โดยใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณแบบ แบ่งชั่ง (Gravimetric method) แต่ก่อนจะเตรียมสารรังสีกัมมันตภาพกวรมีการทดสอบกวามถูกต้อง และแม่นยำของเครื่องชั่งก่อน โดยทำการวัด pycnometer เปล่า วัดซ้ำๆ อย่างน้อย 5 กรั้ง ถ้าเครื่องชั่งมี ปัญหากวรทำการปรับเทียบเครื่องชั่ง โดยการกดปุ่ม set นอกจากนี้ก่อนเตรียมสารกัมมันตภาพรังสี กวรทำการตรวจสอบระดับกัมมันตภาพรังสีด้วย เครื่องวัดไกเกอร์แบบสำรวจกวามเปรอะเปื้อนทาง รังสี (Survey meter Geiger) เพื่อต้องการทราบก่ากวามแรงของกัมมันตภาพรังสีเบื้องต้นก่อนทำ การทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมสารกัมมันตภาพรังสีดังต่อไปนี้

- ชั่ง pycnometer เปล่า และบันทึกน้ำหนัก
- เปิดหลอดสำหรับบรรจุสารกัมมันตภาพรังสีแบบปิดผนึก (ampoule) ที่บรรจุสารกัมมันตภาพรังสีโดยใช้กัตเตอร์แกะฝาอลูมิเนียมที่ใช้ปิดผนึกออก แล้วเจาะจุกยางให้ เป็นช่องเพื่อใส่ pycnometer ดูดสารขึ้นมาให้หมด จากนั้นเก็บ pycnometerไว้ในแท่งตะกั่วกำบัง รังสีปิดหลอดสำหรับบรรจุสารกัมมันตภาพรังสีแบบปิดผนึก (ampoule) ให้มิดชิดแล้วนำไปแยก เป็นกากกัมมันตรังสี เพื่อรอการกำจัดต่อไป

- ใช้คีบหนีบ pycnometer ที่มีสารกัมมันตภาพรังสีอยู่ เช็คปลายหลอคและ ปิดปลายหลอดด้วยแผ่นพาราฟิน นำไปเก็บไว้ในแท่งตะกั่วกำบังรังสี

 นำ pycnometer ที่มีสารกับบันตภาพรังสีไอโอคีน-131 ออกมาแล้วหยด ลงบนกระดาษกรอง ที่เตรียมไว้ ปิดด้วยเทปใส จากนั้นนำ pycnometer ไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักสาร รังสีไอโอคีน-131 ที่หยดลงไป จดบันทึกก่าน้ำหนัก แล้วปิด pycnometer ให้บิดชิด นำไปเก็บไว้ ในแท่งตะกั่วกำบังรังสี



ภาพที่ 11 การหยุดลงบนวงแหวน

2.1.5 นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 ที่เตรียมแล้วมาทำให้แห้งด้วย IR Lamp เป็นระยะเวลา 2 วัน

2.1.6 เมื่อเตรียมต้นกำเนิครังสีไอโอคีน-131 ครบทุกตัวอย่าง แล้วทำการชั่ง pycnometer อีกครั้งเพื่อหาน้ำหนักของสารกัมมันตภาพรังสีไอโอคีน-131 ที่เหลือจากการใช้แล้ว บันทึกค่าน้ำหนักไว้

26

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

2.1.7 นำสารกัมมันตภาพรังสีไอโอดีน-131 ส่วนที่เหลือ บรรจุในขวดหลอด สำหรับบรรจุสารกัมมันตภาพรังสีแบบปิดผนึก (ampoule) ที่เตรียมไว้ปิดผนึก เก็บไว้ในแท่งตะกั่ว กำบังรังสี แล้วนำไปวัดด้วยระบบวัดชนิด 4 เพื่อหาก่ากัมมันตภาพรังสีรวม (A_c) นำก่าที่ได้ไป กำนวณก่ากัมมันตภาพรังสีของตัวอย่าง ซึ่งมีสูตรดังต่อไปนี้

ก่ากับมันตภาพรังสีจำเพาะ = ก่ากับมันตภาพรังสีรวม / น้ำหนักสารรังสีที่เหลือจากการหยุด (7)

ค่ากัมมันตภาพรังสี = ค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะ* น้ำหนักสารรังสีที่หยดในแต่ละตัวอย่าง (8)

ข้อควรระวัง

- ห้ามนำหลอดสำหรับบรรจุสารกัมมันตภาพรังสีแบบปิดผนึก (ampoule) ไปลนไฟ

2.2 การควบคุมคุณภาพการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 ชนิดวงแหวน

การควบคุมคุณภาพตามวิธี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 มี 4 วิธี ดังนี้

2.2.1 การทคสอบด้วยวิธี wipe test นำกระคาษกรองไปชุบแอลกอฮอล์เช็คต้น กำเนิดรังสีที่ผลิตขึ้น จากนั้นนำกระคาษกรองไปวัดปริมาณรังสีเพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของ ไอโอดีน-131 ด้วยเครื่องวัดไกเกอร์แบบสำรวจกวามเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger)

2.2.2 การทคสอบด้วยวิธี แรงกระทบ (impact test) นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ใอโอดีน-131 ที่ผลิตขึ้นปล่อยให้ตกจากที่สูง 1 เมตร แล้วนำมาตรวจสอบความเสียหายของรูปทรง ตัวอย่างหลังจากการปล่อย

2.2.3 การทคสอบด้วยวิธี ความเป็นเนื้อเดียว (homogeneity test) โดยใช้เทคนิค การถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล เพื่อตรวจสอบลักษณะความเป็น ต้นกำเนิดรังสีชนิดจุด (point source) 2.2.4 การทดสอบด้วยวิธี การรั่วไหล (leakage test) โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพ รังสีด้วยเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล ทำการบันทึกค่า PSL ทุกวันเป็นเวลา 26 วัน จากนั้นนำค่า PSL มาใช้กำนวณค่าครึ่งชีวิตของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 ที่ผลิตขึ้น เทียบกับค่าครึ่งชีวิตตามทฤษฎี เพื่อตรวจสอบการรั่วไหลของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

3. การผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน

3.1 การเตรียมสารรังสีมาตรฐานแบเรียม-133

3.1.1 การเตรียมสารรังสีแบเรียม-133 มีขั้นตอนดังนี้

- เตรียม กรคไฮโครคลอลิก 0.1 M เตรียมโดยใช้กรคไฮโครคลอลิก จำนวน 0.2 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 25 มิลลิลิตร เก็บกรคไฮโครคลอลิกไว้ในขวค vial

- จากนั้นดูด กรดไฮโดรคลอลิก ด้วยpycnometer แล้วไปชะล้างสารรังสี แบเรียม-133 เพื่อดึงสารรังสีมาเก็บไว้ใน pycnometer ปีดผนึกปลายหลอด pycnometer ให้มิดชิด เก็บในแท่งตะกั่วกำบังรังสี

3.1.2 นำสารรังสีแบเรียม-133 ที่อยู่ใน pycnometer หยุดลงบนกระดาษกรอง ที่เตรียมไว้ทั้งหมด 20 ตัวอย่าง (R-1 ถึง R-20 ตามลำดับ) ทำการผลิตตัวอย่างเหมือนขั้นตอน ที่ 2.1.1-2.1.7 ของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131

3.2 การควบคุมคุณภาพการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน

ในการควบคุมคุณภาพการผลิตใช้วิธี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 มี 2 วิธี คือ wipe test และ แรงกระทบ และวิธี Radiation Protection – Sealed Radioactive Source ของ ISO 2919 มี 2 วิธี คือ การรั่วไหล และการชะ (leaching) รวมทั้งมีการตรวจสอบค่าพลังงาน ด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา 3.2.1 การทดสอบด้วยวิธี wipe test นำกระคาษกรองไปชุบแอลกอฮอล์เซ็ดต้น กำเนิดรังสีที่ผลิตขึ้น จากนั้นนำกระคาษกรองไปวัดปริมาณรังสีเพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนของ แบเรียม-133 ด้วยเครื่องวัดไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger)

3.2.2 การทดสอบด้วยวิธี แรงกระทบ (impact test) นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน แบเรียม-133 ที่ผลิตขึ้นปล่อยให้ตกจากที่สูง 1 เมตร แล้วนำมาตรวจสอบความเสียหายของรูปทรง ตัวอย่างหลังจากการปล่อย

 3.2.3 การทดสอบด้วยวิธี การรั่วไหล (leakage test) นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน แบเรียม-133 ที่ผลิตขึ้นไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที สังเกตดูการ เกิดฟองอากาศในขณะให้ความร้อน จากนั้นนำน้ำไปตรวจด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา

3.2.4 การทดสอบด้วยวิธี การชะ (Leaching) นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม 133 ที่ผลิตขึ้นไปให้กวามร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำน้ำ
ไปตรวจสอบการปนเปื้อนของแบเรียม-133 ด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิด
เพลนนา

3.2.5 การทคสอบด้วยวิธี ชุดมาตรฐานปรับเทียบความหนา (Step weight) นำพลาสติกใสที่มีขนาดความหนา 0.0034 g/cm² วางทีละชั้นบริเวณผิวหน้าต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน แบเรียม-133 แล้วทำการบันทึกค่า PSL ที่อ่านได้จากเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล จน กรบจำนวน 10 ชั้น

3.2.6 การตรวจสอบค่าพลังงาน นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ที่ เตรียมขึ้น วัดด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา จากนั้นนำก่าพลังงานที่ วัดได้เทียบกับ Monographie BIPM-5 เพื่อตรวจสอบก่าพลังงานที่ถูกต้อง

4. การผลิตต้นกำเนิดรังสีแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิก

สำหรับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะกริลิกที่มีขนาด 2 ขนาด คือ เส้น ผ่าศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร และ 25 มิลลิเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 15 ตัวอย่าง (H-1 ถึง

สิขสิทขึ้ มหาวิทยาลัยเทษกรร่าสกร์

H-15 ตามถำดับ) จะใช้วิธีการผลิตและการควบคุมคุณภาพเดียวกับการผลิตต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐาน แบเรียม-133 ชนิดวงแหวน



ภาพที่ 12 การหยุดลงบนหลุมอะคริลิก



ภาพที่ 13 การทำให้แห้ง

5. การนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ผลิตไปประยุกต์ใช้งานจริง

นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ไปใช้ในการสอบเทียบเครื่องวัดไกเกอร์มูล เลอร์แบบปฏิบัติการ ยี่ห้อ: CANBERRA รุ่น: 10000 Serial No.: 03970223 เพื่อนำผลการทดลอง ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในด้านการเรียนการสอนของภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะ ้วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

5.1 การหาค่าพลาโตของเครื่องวัดใกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ มีขั้นตอนดังนี้

วัดรังสีพื้นหลัง 3 ครั้งๆ ละ 1 นาที บันทึกก่าอัตราการนับ แล้วหาก่าเฉลี่ย นำต้น กำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ที่ผลิตขึ้น วางในชั้นใส่ตัวอย่าง จากนั้นเริ่มก่ากวามต่างศักย์ที่ 660 โวลต์แล้วเพิ่มก่ากวามต่างศักย์ไฟฟ้าครั้งละ 20 โวลต์ จนได้ก่ากวามต่างศักย์ไฟฟ้า 1060 โวลต์ จากนั้นนำก่ากวามต่างศักย์ไฟฟ้าและอัตรานับสุทธิมาเขียนกราฟเพื่อเลือกช่วงที่เป็น operating voltage หาก่ากวามต่างศักย์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานเกรื่องวัดไกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ

5.2 การหาค่าประสิทธิภาพการวัดของเครื่องวัดไกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ

นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 วางในชั้นตัวอย่าง ทำการวัดครั้งละ 3 นาที แล้วบันทึกก่าอัตรานับวัดแต่ละชั้นจนครบ10 ชั้น จากนั้นนำก่าอัตรานับสุทธิมากำนวณก่า ประสิทธิภาพตามสมการที่ 9 แล้วนำก่าประสิทธิภาพที่ได้มากำนวณก่ากัมมันตภาพรังสีตามสมการ ที่ 10 เพื่อตรวจสอบว่าต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ผลิตขึ้นมีก่ากัมมันตภาพรังสีเท่ากับก่า ที่ได้จากการวัด

Efficiency = (อัตราการนับ / อัตราการสลายตัว)* 100 (9)

Activity (Bq) = อัตราการนับ / ประสิทธิภาพการวัด (10)

5.3 การหาค่าสถิติการนับรังสีของเครื่องวัดใกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ

จัดเครื่องวัครังสี ตั้งค่าความต่างศักย์สำหรับใช้งาน (operating voltage) ที่ได้จาก การทคลองที่ 5.1 วัคค่ารังสีภูมิหลัง 3 ครั้งๆละ 3 นาที วางต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ในชั้นใส่ตัวอย่างชั้นที่ 1 จากนั้นวัคอัตราการสลายตัวทุกๆ 3 นาทีเป็นจำนวน 100 ครั้ง โคยไม่ต้อง หยุดเครื่อง จากนั้นนำข้อมูลของอัตรานับที่อ่านได้จากเครื่องวัคไกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ มาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อมาเขียนกราฟฮีทโตแกรม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับสุทธิกับ ก่าความถี่

ลิขสิทชิ้ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

5.4 ทดสอบการดูดกลิ่นรังสี

จัดเครื่องวัดรังสี โดยตั้งค่าความต่างศักย์สำหรับใช้งาน (operating voltage) ที่ได้ จากการทดลองที่ 5.1 ทำการวัดค่ารังสีภูมิหลัง 3 ครั้งๆ ละ 3 นาที แล้วหาค่าเฉลี่ย นำต้นกำเนิดรังสี มาตรฐานแบเรียม-133 วางในชั้นตัวอย่างชั้นที่2 ทำการวัดอัตราการนับรังสีแกมมา 3 ครั้ง แล้วหา ค่าเฉลี่ย จากนั้นนำแผ่นดูดกลืนที่มีขนาดความหนาตั้งแต่ 0.0 – 1602.2 mg/cm² จำนวน 25 ชิ้นวาง ในชั้นเหนือต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 แล้วบันทึกค่าอัตรานับรังสี เพื่อเขียนกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างกวามหนาของตัวดูดกลืนและอัตราการนับสุทธิ



ผลและวิจารณ์

ผล

ในการผลิตต้นกำเกิดรังสีมาตรฐานจากการทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง ดังนี้ การตรวจสอบความถูกต้องการทำงานของเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (digital radiography reader) การผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 และแบเรียม-133 ชนิดวง แหวนและหลุมอะคริลิก การควบคุมคุณภาพการผลิต รวมทั้งการไปประยุกต์ใช้งานจริง ซึ่งได้ แสดงผลการทดลองทั้งหมดดังต่อไปนี้

 การตรวจสอบความถูกต้องการทำงานของครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (Digital radiography reader)

ในการทดลองให้ถูกต้องจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความความถูกต้องการทำงานของ เครื่องพร้อมแผ่นอิมเมจจิงเพลต ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง ซึ่งผลการตรวจสอบได้ดังกราฟ ภาพที่ 14 พบว่าค่า PSL รวม ที่เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอลอ่านได้ภายหลังหักลบกับก่า รังสีพื้นหลัง (BG) มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ทาบรังสีต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิดจุดแบบปิดผนึก การ์บอน-14 โดยกราฟมีลักษณะเป็นสมการเชิงเส้นตรง แสดงว่าระบบเครื่องและแผ่นมีความ ความถูกต้องเพราะสามารถตอบสนองการทำงานได้ดี ทำให้สามารถดำเนินการทดลองขั้นตอน อื่นต่อไปได้



กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และ PSL-BG

ภาพที่ 14 ค่า PSL-BG และเวลาที่ทาบค้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานชนิดจุดแบบปิดผนึกการ์บอน-14

2. การผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131

จากการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 เมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2552 โดยวิธี วิเคราะห์ปริมาณแบบแบ่งชั่ง (Gravimetric method) และการควบคุมคุณภาพตามวิธี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 ใน 4 วิธี คือ wipe test แรงกระทบ การรั่วไหลและความเป็นเนื้อเดียว โดยใช้เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสี แบบดิจิตอล (Digital radiography reader) ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

2.1 การเตรียมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอคีน-131

ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ผลิตแล้วได้จำนวน 3 ตัวอย่าง มีค่ากัมมันตภาพรังสี ในหน่วยเบคเกอเรล (Bq) ตามลำดับดังนี้ 5587 6475 และ 11174 ตามด้วยหน่วย ไมโกกูรี (*µCi*) ตามลำดับดังนี้ 0.151 0.175 และ 0.302

2.2 การควบคุมคุณภาพการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131

ผลการควบคุมคุณภาพใน 4 วิธีของดันกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 ตัวที่ 1-3 แสดงผลการทดลองดังนี้ ผลการทดสอบ wipe test ด้วยกระดาษกรองชุบแอลกอฮอล์ หลัง ตรวจสอบด้วยเครื่องไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger) พบว่า กระดาษกรองไม่มีการปนเปื้อนของสารรังสีไอโอดีน-131 ผลการทดสอบแรงกระทบ หลังจาก ปล่อยให้หล่นจากความสูง 1 เมตร ลงบนพื้นแข็ง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของตัวอย่าง ผลการทดสอบการรั่วไหลและความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (digital radiography reader) ตลอดระยะเวลา 26 วัน พบว่าค่า PSL ที่ได้จากการอ่านภาพถ่ายทาง รังสี เมื่อนำผลที่ได้มา Normalized transmitted PSL ratio จะได้ค่าทั้งแบบเชิงเส้น (linear graph) และ แบบกึ่งลีอก (semi-logarithmic graph) แต่งานวิจัยนี้เลือกแบบกึ่งลีอก เนื่องจากให้ค่าที่สามารถ กำนวนค่าครึ่งชีวิตได้อย่างถูกต้อง

2.2.1 ผลการทดสอบด้วยวิธี wipe test

ผลทคสอบต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานตัวที่ 1 2 และ 3 เมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2552 ไม่พบการปนเปื้อนของสารรังสีไอโอคีน-131 บนกระคาษกรองภายหลังตรวจสอบค้วยเครื่องไกเกอร์ แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger)



ภาพที่ 15 การทดสอบด้วยวิธี wipe test



ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

2.2.2 ผลการทดสอบด้วยวิธีแรงกระทบ

ผลทคสอบต้นกำเนิครังสีมาตรฐานตัวที่ 1 2 และ 3 พบว่ารูปทรงของต้นกำเนิค รังสีมาตรฐานไอโอคีน-131 หลังปล่อยที่ระยะ 1 เมตรไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าภาชนะที่บรรจุ ต้นกำเนิครังสีมีความคงทน



ภาพที่ 16 การทดสอบด้วยวิธีแรงกระทบ

2.2.3 ผลการทคสอบด้วยวิธีความเป็นเนื้อเดียวและการรั่วไหล

ผลจากการวัดด้วยเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (digital radiography reader) มีลักษณะความเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อนำค่า PSL ที่ผ่านการ Normalized transmitted PSL ratio มาเขียนกราฟแบบกึ่งล็อก ได้กราฟดังภาพที่ 17 และสมการที่ 11 12และ 13 นำสมการที่ ได้มาคำนวณค่าครึ่งชีวิตของไอโอดีน-131 ที่ผลิตขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.07 8.09 และ 8.13 วัน มี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.10 ± 0.02 วัน ส่วนกราฟภาพที่ 18 ได้สมการที่ 14 สามารถคำนวณค่าครึ่งชีวิตของ ไอโอดีน-131 ตามทฤษฎีได้ เท่ากับ 8.021 วัน

$$Y_1 = -0.0858x + 3420.2 \tag{11}$$

$$Y_2 = -0.0856x + 3411.9$$
(12)

$$Y_3 = -0.0852x + 3396.0 \tag{13}$$

$$Y_4 = -0.0864x + 1E - 15$$
(14)

เมื่อนำก่ากรึ่งชีวิตของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ผลิตขึ้นเทียบกับก่ากรึ่งชีวิต ตามทฤษฎี พบว่าก่ากรึ่งชีวิตมีก่ามากกว่า 8.021 วันเพียงเล็กน้อย ซึ่งทางสถิติสามารถยอมรับก่าได้ (ดูผลการกำนวณทางสถิติได้จากภาพผนวกที่ 8) แสดงว่าต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไม่เกิดการรั่วไหล



ภาพที่ 18 ค่าครึ่งชีวิตของไอโอดีน-131 จากการคำนวณตามทฤษฎี

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

37

3. การผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน

จากการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 เมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม 2552 โดยวิเคราะห์ ปริมาณแบบแบ่งชั่ง (Gravimetric methods) และควบคุมคุณภาพวิธี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 ใน 2 วิธี คือ Wipe test และ แรงกระทบ และวิธี Radiation Protection – Sealed Radioactive Source ของ ISO 2919 ใน 2 วิธี คือ การรั่วไหล และ การชะ รวมทั้งมีการตรวจสอบค่าพลังงานของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ที่ผลิตขึ้น โดยใช้ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ในการวิเคราะห์

3.1 ผลการเตรียมต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานแบเรียม-133

ลำดับ	น้ำหนักแบเรียม-133	ค่ากัมมันตภาพรังสี	ค่า กัมมันตภาพรังสี
ตัวอย่าง	(ນີດດີກรັນ)	((ไมโคคูรี)
R-1	1.559	1554	0.042
R-2	4.362	4329	0.118
R-3	0.045	37	0.001
R-4	7.964	7955	0.215
R-5	6.745	6734	0.182
R-6	4.329	4329	0.117
R-7	4.867	4847	0.131
R-8	8.868	8843	0.239
R-9	6.290	6253	0.170
R-10	5.520	5513	0.149
R-11	8.704	8695	0.235
R-12	7.253	4252	0.196
R-13	9.587	9583	0.259
R-14	21.479	21423	0.580
R-15	10.836	10841	0.293
R-16	9.067	9065	0.245

ตารางที่ 2 การคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133

ลำดับ น้ำหนักแบเรียม-133	ค่ากัมมันตภาพรังสึ	ค่า กัมมันตภาพรังสี
ตัวอย่าง (มิถลิกรัม)	((ไมโคคูรี)
R-17 8.951	8954	0.242
R-18 8.223	8214	0.222
R-19 7.101	7104	0.192
R-20 5.786	5772	0.156

3.2 การควบคุมคุณภาพต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133

ผลการควบคุมคุณภาพใน 6 วิธีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 แสดงผล การทดลองดังนี้ ผลการทดสอบ wipe test R-1 ถึง R-10 ด้วยกระดาษกรองชุบแอลกอฮอล์ ไม่พบ การปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 บนกระดาษกรอง หลังตรวจสอบด้วยเครื่องวัดไกเกอร์แบบ สำรวจกวามเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger) ผลการทดสอบแรงกระทบ R-14 R-18 R-19 และ R-20 หลังปล่อยให้ตกที่กวามสูง 1 เมตร ลงบนพื้นแข็ง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ รูปทรง ผลการทดสอบการรั่วไหล R-11 R-12 และ R-13 ไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นและเมื่อนำน้ำ ที่ด้มไปวัดด้วยหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา พบว่าไม่มีการปนเปื้อนของ สารรังสีแบเรียม-133 ผลการทดสอบการชะ R-15 R-16 และ R-17 หลังจากนำน้ำที่ด้มไปวัดด้วย ด้วตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา พบว่าไม่มีการชะของสารรังสี แบเรียม-133 ผลการทดสอบการชะ R-15 R-16 และ R-17 หลังจากนำน้ำที่ด้มไปวัดด้วย ด้วตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา พบว่าไม่มีการชะของสารรังสี แบเรียม-133 ผลการทดสอบด้วยวิธี ชุดมาตรฐานปรับเทียบความหนา (Step weight) พบว่าความ หนา 1 ชั้นเหมาะกับการปิดผนึกของต้นกำเนิดรังสี ผลการตรวจสอบก่าพลังงาน R-1 R-2 R-11 R-14 และ R-20 พบว่าเมื่อเทียบกับ Monographie BIPM-5 มีก่าพลังงานตรงกันกือ 30.92 81.00 276.40 302.85 356.01 และ 383.85 กิโลอิเล็กตรอนไวลด์

3.2.1 การทดสอบด้วยวิธี wipe test

ผลทคสอบ เมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม 2552 R-1 ถึง R-10 ไม่พบการปนเปื้อนของ สารรังสีแบเรียม-133 ภายหลังตรวจสอบด้วยเครื่องวัดไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter Geiger) ซึ่งแสคงผลดังตารางที่ 3 พบว่าค่านับวัดที่ได้จากกระคาษกรองอยู่ในช่วง เดียวกับค่านับวัครังสีภูมิหลัง แสคงว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารรังสีบนกระคาษกรอง

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์



ภาพที่ 19 การทดสอบด้วยวิธี wipe test

ตารางที่ 3 การตรวจสอบความเปรอะเปื้อนทางรังสีด้วยเครื่องวัดไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะ เปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger) ชนิดวงแหวน

ตัวอย่างกระดาษกรอง	ค่านับวัด	ค่านับวั ครังสี ภูมิหลัง
	(CPM)	(CPM)
R-1	2.660	
R-2	5.040	
R-3	5.635	
R-4	5.355	
R-5	5.635	7.420
R-6	5.950	
R-7	6.230	
R-8	5.950	52
R-9	6.230	9
R-10	6.230	
ค่าเฉลี่ย	5.492	

3.2.2 การทดสอบด้วยวิธีแรงกระทบ

ผลทคสอบ R-14 R-18 R-19 และ R-20 พบว่ารูปทรงของค้นกำเนิดหลังปล่อย ที่ระยะ 1 เมตรรูปทรงไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าภาชนะที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานมีความ กงทน



ภาพที่ 20 การทดสอบด้วยวิธีแรงกระทบ

3.2.3 การทดสอบด้วยวิธีการรั่วไหล

ผลทคสอบ R-11 R-12 และ R-13 ไม่พบฟองเกิดขึ้นขณะด้ม และตัวอย่างน้ำ ที่นำมาตรวจสอบด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง(HPGe)ชนิดเพลนนา ไม่พบการปนเปื้อน ของสารรังสีแบเรียม-133





ภาพที่ 21 การทดสอบรั่วไหล



ภาพที่ 22 สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำที่ตรวจสอบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133

3.2.4 การทดสอบด้วยวิธีการชะ

ผลทคสอบ R-15 R-16 และ R-17 พบว่าตัวอย่างน้ำที่นำมาตรวจสอบด้วยตัว ตรวจวัคเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง(HPGe) ชนิคเพลนนา ไม่มีการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133



ภาพที่ 23 การทดสอบด้วยวิธีการชะ



ลิขสิทชิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์



ภาพที่ 24 สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำที่ตรวจสอบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133

3.2.5 การสร้างการทดสอบด้วยวิธีชุดมาตรฐานปรับเทียบความหนา (Step weight)

ผลการสร้าง step weight นำมาใช้สำหรับเลือกความหนาที่เหมาะสมสำหรับใช้ ปิดผนึกต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 จากตารางที่ 4 แสดงค่า PSL ที่ได้จากการวัดด้วย เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (Digital radiography reader) เมื่อนำพลาสติกที่มีความ หนา 0.034 g/cm² โดยกั้นทีละชั้นจนครบ 10 ชั้น พบว่ากั้นพลาสติก 1 ชั้น มีความเหมาะสม ในการใช้ปิดผนึกต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานเพราะค่า PSL มีค่ามากที่สุด แสดงดังกราฟภาพที่ 25



ตารางที่ 4 ค่าความหนา (g/cm²) และค่า PSL

ภาพที่ 25 ค่า PSL กับ ความหนา (g/cm²)

3.2.6 การตรวจสอบค่าพลังงานของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ผลการตรวจสอบ R-1 R-2 R-11 R-14 และ R-20 พบว่าค่าพลังงานของต้นกำเนิดรังสี มาตรฐานมีค่าตรงตาม Monographie BIPM-5 ดังนี้ 30.92 81.00 276.40 302.85 356.01 และ 383.85 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และสามารถนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ผลิตเทียบกับต้นกำเนิดรังสี มาตรฐานแบเรียม-133 จากต่างประเทศได้ดังกราฟภาพที่ 27



ภาพที่ 26 สเปกตรัมพลังงานของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน



ภาพที่ 27 กราฟแสดงประสิทธิภาพวัดของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน

45

เนื่องจากการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน แผ่นพลาสติกจากเทปใสมีอายุของการใช้งานประมาณ 1 ปี จึงไม่เหมาะที่จะนำไปงานใช้ในระยะ เวลานานได้ จึงทำการพัฒนาเทคนิครูปทรงใหม่ที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น จึงได้ผลิตรูปทรงชนิด หลุมอะคริลิกขึ้นมาใช้งานแทนชนิดวงแหวน

4. ผลการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิก

จากการผลิตต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานแบเรียม-133 เมื่อวันที่ 15 กันยายน 2552 จะใช้วิธีการ ผลิตและการควบคุมคุณภาพเช่นเดียวกับการผลิตต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิควง แหวน แต่จะพัฒนารูปทรงของหีบห่อที่บรรจุด้นกำเนิครั้งสีให้เหมาะสมกับการมีระยะเวลาใช้งาน ยาวนานขึ้น

4.1 ผลการเตรียมต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133

ถำดับตัวอย่าง	น้ำหนักแบเรียม-133	ค่ากัมมันตภาพรังสี	ค่ากัมมันตภาพรังสี
	(ມີຄຄືກຮັນ)	(เบคเคอเรล)	(ไมโคกูรี)
H-1	3.156	3.125.844	0.085
Н-2	4.017	4012.983	0.108
H-3	3.974	3970.026	0.107
H-4	5.304	5298.696	0.143
H-5	3.214	3210.786	0.087
H-6	7.014	7006.986	0.189
H-7	2.946	2943.054	0.080
H-8	1.277	1275.723	0.034
H-9	2.189	2186.811	0.059
H-10	3.620	3616.380	0.098
H-11	3.033	3029.967	0.081
H-12	2.168	2165.832	0.059
H-13	1.085	1083.915	0.030
H-14	5.049	5043.951	0.136
H-15	1.928	1926.072	0.052

ตารางที่ 5 การคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิครังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิคหลุม อะคริลิก

4.2 การควบคุมคุณภาพการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133

ผลการควบคุมคุณภาพใน 5 วิธีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุม อะคริลิก แสดงผลการทดลองดังนี้ ผลการทดสอบ wipe test ของ H-1 ถึง H-15 ด้วยกระดาษกรอง ชุบแอลกอฮอล์ไม่พบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 บนกระดาษกรอง ภายหลังตรวจสอบ ด้วยเครื่องวัด ไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger) ผลการทดสอบ แรงกระทบของ H-9 H-10 H-11 H-13 H-14 และ H-15 หลังปล่อยให้ตกที่ความสูง 1 เมตร ลงบน พื้นแข็ง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของรูปทรง ผลการทดสอบการรั่วไหลของ H-2 H-3 H-4 และ H-7 ไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นและเมื่อนำตัวอย่างน้ำที่ด้มไปวัดด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ไม่พบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 ผลการทดสอบการชะของ H-1 H-5 H-6 H-8 และ H-12 นำตัวอย่างน้ำที่ด้มไปวัดด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ไม่พบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 ผลการทดสอบการชะของ H-1 H-5 H-6 H-8 และ H-12 นำตัวอย่างน้ำที่ด้มไปวัดด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ไม่พบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 ผลการทดสอบการชะของ H-1 H-5 H-6 H-8 และ H-12 นำตัวอย่างน้ำที่ด้มไปวัดด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ไม่พบการชะของสารรังสีแบเรียม-133 ผลการตรวจสอบก่าพลังงานของ H-1 H-3 H-7 H-9 H-10 และ H-12 พบว่าเมื่อเทียบกับ Monographie BIPM-5 มีก่าพลังงานตรงกัน ก็อ 30.92 81.00 276.40 302.85 356.01 และ 383.85 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

4.2.1 ผลการทคสอบด้วยวิธี wipe test

ผลทคสอบของ H-1 ถึง H-15 เมื่อวันที่ 15 กันยายน 2552 ไม่พบการปนเปื้อน ของสารรังสีแบเรียม-133 บนกระคาษกรอง หลังตรวจสอบค้วยเครื่องวัคไกเกอร์แบบสำรวจ ความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger) ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 5 พบว่าค่านับวัคที่ได้ จากกระคาษกรองอยู่ในช่วงเดียวกับค่านับวัครังสีภูมิหลัง แสดงว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารรังสี บนกระคาษกรอง



ภาพที่ 28 การทคสอบด้วยวิธี wipe test

ตารางที่ 6 การตรวจสอบความเปรอะเปื้อนด้วยเครื่องวัดไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทาง รังสี (Survey meter geiger) ชนิดหลุมอะคริลิก

ตัวอย่างกระดาษกรอง	ค่านับวัด	ค่านับวัครังสีภูมิหลัง
	(CPM)	(СРМ)
12 X	0.420	
2	0.385	
3	0.280	
4	0.385	
5	0.420	0.455
6	0.385	
7	0.280	()
8	0.420	
9	0.350	
10	0.350	_
11	0.350	_
12	0.420	_
13	0.385	- -
14	0.385	_
15	0.385	

สิขสิทบิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์

4.2.2 ผลการทคสอบด้วยวิธีแรงกระทบ

ผลทคสอบของ H-9 H-10 H-11 H-13 H-14 และ H-15 พบว่าผลการตรวจสอบ รูปทรงของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานหลังปล่อยที่ระยะ 1 เมตรรูปทรงไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่า ภาชนะที่บรรจุต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานมีความกงทน



ภาพที่ 29 รูปทรงก่อนทคสอบแรงกระแทก



ภาพที่ 30 รูปทรงหลังทคสอบแรงกระแทก



4.2.3 ผลการทดสอบด้วยวิธีการรั่วไหล

ผลทดสอบของ H-2 H-3 H-4 และ H-7 ไม่พบฟองอากาศเกิดขึ้น และตัวอย่าง น้ำที่นำมาตรวจสอบด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ไม่พบการ ปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133



ภาพที่ 31 การทคสอบด้วยวิธีการรั่วไหล



ภาพที่ 32 สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำที่ตรวจสอบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

4.2.4 ผลการทดสอบด้วยวิธีการชะ

ผลทคสอบของ H-1 H-5 H-6 H-8 และ H-12 หลังจากตรวจสอบด้วยตัว ตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงชนิดเพลนนา (HPGe) ไม่พบการชะของสารรังสีแบเรียม-133 ใน น้ำตัวอย่าง



ภาพที่ 33 การทดสอบด้วยวิธีการชะ



ภาพที่ 34 สเปกตรัมของตัวอย่างน้ำที่ตรวจสอบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133

4.2.5 ผลการตรวจสอบค่าพลังงานของต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานแบเรียม-133

ผลการตรวจสอบของ H-1 H-3 H-7 H-9 H-10 และ H-12 พบว่าก่าพลังงาน ของตัวอย่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานมีก่าตรงตาม Monographie BIPM-5 ดังนี้ 30.92 81.00 276.40 302.85 356.01 และ 383.85 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และสามารถนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ผลิต เทียบกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 จากต่างประเทศได้ดังกราฟภาพที่ 36



ภาพที่ 35 สเปกตรัมพลังงานของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิก



ภาพที่ 36 กราฟประสิทธิภาพวัดของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิก

52

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

5. การนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ที่ผลิตไปทดสอบการประยุกต์ใช้งานจริง

5.1 ผลการหาก่าพลาโตของเครื่องวัดไกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ

ผลการทคลองแสดงดังกราฟที่ 37 ซึ่งช่วงก่ากวามต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับ ตัวตรวจวัคไกเกอร์มูลเลอร์ คือ 820 โวลต์



ภาพที่ 37 กราฟการหาค่าพลาโตของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133

5.2 ผลการหาค่าประสิทธิภาพการวัดของเครื่องวัดใกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ

จากการทคลองค่าประสิทธิภาพหัววัคลคลงตามระคับชั้นของตัวตรวจวัค พบว่า ที่ระคับชั้นที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพการวัคสูงที่สุด และจากการคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีที่ได้จาก การวัคพบว่ามีค่า 10563 เบคเคอเรล ซึ่งต่างกันเล็กน้อยกับค่ากัมมันตภาพรังสีที่ได้จากการผลิตคือ 10545 เบคเคอเรล

ระยะห่างจาก	อัตราการนับสุทธิ (CPM)	ประสิทธิภาพการวัด (%)
ตัวตรวจวัด (เซนติเมตร)		
0.5	1800	0.284
1.0	1016	0.161
1.5	631	0.099
2.0	421	0.067
2.5	315	0.050
3.0	233	0.037
3.5	192	0.030
4.0	134	0.021
4.5	127	0.020
5.5	104	0.017

ตารางที่ 7 การหาค่าประสิทธิภาพวัดของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133

5.3 ผลการหาค่าสลิติการนับรังสีของเครื่องวัดไกเกอร์มูลเลอร์แบบปฏิบัติการ

จากการนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม 133 ที่ผลิตมาทดลองหาก่าอัตราการนับ พบว่าผลอัตราการนับซ้ำ 100 ครั้ง เมื่อมาแจกแจงความถี่จะ ได้การแจกแจงแบบ Poisson distribution ตามหลักทฤษฎีการสลายตัว



Poisson distribution

ภาพที่ 38 การกระจายแบบ Poisson distribution ของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133

5.4 ผลการดูดกลิ่นรังสี

จากการวางแผ่นตัวดูดกลืนที่มีขนาดตั้งแต่ 0.0 – 1602.2 mg/cm² พบว่าในช่วงแรก ของกราฟชุดดูดกลืนไม่สามารถกั้นรังสีแกมมาและบิตาได้ และในช่วงที่สองกราฟเริ่มจะคงที่ เนื่องจากชุดดูดกลืนสามารถกั้นรังสีบิตาได้หมด แต่รังสีแกมมายังสามารถทะลุผ่านแผ่นตัวดูด กลืนได้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของตัวดูดกลิ้น (mg/cm2) และอัตราการนับ (CPM)



ภาพที่ 39 ความหนาของตัวดูดกลื่นชนิดต่างๆ (mg/cm²) และอัตราการนับ (CPM)





วิจารณ์

ในการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 จะต้องทำการผลิตและการควบคุม คุณภาพภายใน 1 วันเหมือนกับงานวิจัยของ IAEA (2006) ที่ทำการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน ไอโอดีน-125 ซึ่งในแต่ละวิธีการผลิตจำเป็นต้องใช้เวลาอย่างน้อย 1 วันเช่นกัน เนื่องจากสารรังสีมีค่า กรึ่งชีวิตสั้นและมีลักษณะเป็นก๊าซ ซึ่งจะมีผลต่อร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน แต่สำหรับการตรวจสอบ การรั่วไหลจำเป็นต้องทำติดต่อทุกวัน เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานเคยทำการทดลองวัดแค่สัปดาห์ละ 2 กรั้ง พบว่าผลการทดลองผลการทดลองที่ได้จะไม่สามารถนำมากำนวณค่าครึ่งชีวิตได้ ดังนั้นในการ ตรวจสอบจำเป็นต้องตรวจวัดติดต่อกันอย่างน้อย 1 เดือนจึงจะสามารถนำสมการมากำนวณได้ และ นอกจากนี้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 ที่ผลิตขึ้นสามารถนำไปใช้สอบเทียบเครื่องมือทาง การแพทย์ได้

พิจารณาในส่วนการผลิตต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐานจะใช้วิธีคล้ายกับงานวิจัยของMasayasu (2008) ที่ทำการผลิต โครเมียม-51 โคบอลต์-60 ซีเซียม-137 โดยวิธีการชั่งแบ่งมวลเช่นกัน

พิจารณาการผลิตแบเรียม-133 ซึ่งมีก่ากรึ่งชีวิต 10.54 ปี ในหลายๆ งานวิจัย พบว่ามีการนำ ด้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ในการปรับเทียบอย่างกว้างขวาง ดังเช่นงานวิจัยของ Vimalnath et al. (2005) ได้นำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 เป็นตัวสอบเทียบก่า กัมมันตภาพรังสีของ Eu-154 และมีการตรวจสอบก่าพลังงานกับหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา ซึ่งผลของก่าพลังงานตรงกับก่าพลังงานในงานวิจัยซึ่งเลือกใช้พีกพลังงานเต็ม ทั้งหมด 6 พีก แต่บางพีกไม่พบในงานวิจัยของ Vimalnath เนื่องจากข้อมูลอาจเป็นข้อมูลเก่า และ เกรื่องวัดรังสีไม่สามารถวัดพลังงานต่ำได้ ดังแสดงในตารางที่ 8 และนอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Pibida (2006) ได้มีการออกแบบต้นกำเนิดรังสีสำหรับใช้ในการปรับเทียบเครื่องมือวัดรังสี (Check sources) เช่น แบเรียม-133 ซีเซียม-137 โกบอลต์-60 เป็นต้น ในงานวิจัยของ Sarmishtha et al. (1996) ใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Ba-133 ในการหาก่าประสิทธิภาพการวัดเพื่อปรับเทียบกับต้นกำเนิดรังสี Yb-169

จากการทดลอง	งานวิจัยของ Vimalnath
(KeV)	(KeV)
30.02	
81.00	81.00
276.40	
302.85	302.85
356.01	356.01
383.85	383.85

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบการวัดสเปกตรัมด้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133ที่ได้จากการผลิตกับ งานวิจัยอื่น

จากการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน เนื่องจากภาชนะใช้ในการบรรจุด้นกำเนิดรังสีชนิดวง แหวนเป็นเพียงแผ่นพลาสติกที่ใช้ได้ดี แต่มีข้อเสียคืออายุการใช้งานอาจเกิดการรั่วไหลได้ ดังนั้น จึงได้ทำการพัฒนารูปทรงใหม่ที่มีความแข็งแรง และมีอายุการใช้งานเหมาะ เหมือนกับงานวิจัยของ Mostafa et al. (2008) ที่ออกแบบรูปทรงที่ป้องกันการรั่วไหล โดยใช้ภาชนะที่ทำจากสเตนเลส มีกาวอีพ๊อกซี่จับสารรังสีไว้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้ออกแบบเป็นหลุมอะคริลิก ซึ่งใช้กาวอีพ๊อกซี่ จับสารรังสีไว้เช่นกัน

พิจารณาในส่วนการทำให้แห้งของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานในงานวิจัยควรใช้วิธี Hot nitrogen jets เหมือนงานวิจัยของ Branger *et al.* (2008) ได้ทำการผลิต โครเมียม-51 ที่มีน้ำหนัก แตกต่างกันแล้วใช้วิธีการทำให้แห้งสองวิธีด้วยกัน คือ วิธี Freee-drying และ Hot nitrogen jets พบว่าวิธี Hot nitrogen jets เมื่อนำมาวัดกับ HPGe ค่าอัตราการนับมีความถูกต้องเที่ยงตรงมากกว่า วิธี Freee-drying

พิจารณาในส่วนของน้ำหนักสารกัมมันตรังสีที่หยุดลงไปพบว่าค่าน้ำหนักที่มีค่าน้อยกว่า 10 มิลลิกรัม เมื่อนำไปตรวจเช็คความเป็นเนื้อเดียวกับเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (Digital radiography reader) มีความเป็นเนื้อเดียวกันเหมือนกับงานวิจัยของ Branger *et al*. (2008) และงานวิจัยของ Sanoit *et al*. (2004)



จากการนำต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานมาประยุกต์ใช้งานจริงกับเครื่องวัดไกเกอร์มูลเลอร์ แบบปฏิบัติการในเรื่องการทดสอบการดูดกลืนรังสี ได้ผลการทดลอง คือ ในช่วงแรกชุดดูดกลืน ไม่สามารถกั้นรังสีแกมมาและบีตาได้ ในช่วงที่สองสามารถกั้นรังสีบีตา แต่ไม่กั้นรังสีแกมมา ซึ่งตรงตามทฤษฎีการดูดกลืนในวัสดุตัวกลางของรังสีแกมมา

การทคลองในงานวิจัยนี้ได้ทำการสอบเทียบค่ากัมมันตภาพรังสีแบเรียม-133 ที่ผลิตชนิควง แหวนและหลุมอะคริลิก กับเครื่องมือวิเคราะห์ CANBERRA Gamma Spectrometer HPGe Detector Model GC20108 Serial Number 11069198 ของหน่วยความปลอคภัย สถาบันเทคโนโลยี นิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133ที่ได้จากการ ผลิตและที่ตรวจวัดได้

ลำคับตัวอย่าง	ค่ากัมมันตภาพรังสีมาตรฐาน	ค่ากัมมันตภาพรังสีมาตรฐาน
	ที่ทำการผลิต (ไมโครคูรี)	ที่ทำการตรวจสอบ (ใมโครคูรี)
	± 0.28	
R-8	0.239	0.216
R-17	0.242	0.224
H-1	0.085	0.076
H-3	0.107	0.097
H-9	0.059	0.051
H-10	0.098	0.087

ในส่วนการกำจัดกากกัมมันตภาพรังสีจะใช้หลักการเดียวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2 ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ และงานวิจัยของ IAEA (2003) ทั้งส่วนที่เป็นต้นกำเนิดรังสี ก่ากรึ่งชีวิตสั้นและก่ากรึ่งชีวิตยาว



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานจาการทดลองทั้ง 3 การทดลองดังนี้ การตรวจสอบ ความถูกต้องการทำงานของเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (Digital radiography reader) การผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอคีน-131 และแบเรียม-133 ชนิดวงแหวนและหลุมอะคริลิก รวมทั้งการควบคุมคุณภาพการผลิต สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการตรวจสอบความถูกต้องการทำงานของเครื่องพร้อมแผ่นอิมเมจจิงเพลต พบว่า ระบบเครื่องและแผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลตมีความถูกต้อง สามารถดำเนินการทคลองขั้นอื่นต่อไป ได้

หลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 ได้ 3 ตัวอย่าง พบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีมีค่า กัมมันตภาพรังสี ในหน่วยเบคเคอเรล (Bq) ตามลำดับดังนี้ 5587 6475 และ 11174 ตามด้วยหน่วย ไมโคกูรี (µCi) ตามลำดับดังนี้ 0.151 0.175 และ 0.302 ผลการควบคุมคุณภาพการผลิตต้นกำเนิด รังสีตามวิชี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 ใน 4 วิชี คือ wipe test แรงกระทบ การรั่วไหลและความเป็นเนื้อเดียว พบว่าผ่าน การทดสอบคุณภาพ ผลการวัดยังพิสูจน์ให้เห็นถึงก่าครึ่งชีวิตของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานไอโอดีน-131 มีค่า 8.10 ± 0.02 วัน เป็นไปตามทฤษฎีการสลายตัว สรุปได้ว่า การเตรียมต้นกำเนิดรังสี มาตรฐานไอโอดีน-131 ด้วยวิชีนี้เหมาะสมที่จะใช้ผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานชนิดอื่นได้

จากการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน ณ. วันที่ 21 กรกฎาคม 2552 ใด้ 20 ตัวอย่าง สามารถคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของแต่ละตัวอย่างในหน่วยเบคเคอเรล (Bq) อยู่ในช่วง 37-21423 ตามด้วยหน่วย ไมโคคูรี (*µCi*) อยู่ในช่วง 0.001-0.580 ผลการควบคุม คุณภาพตามวิธี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 และ วิธี Radiation Protection – Sealed Radioactive Source ของ ISO 2919 ใน 6 วิธี ผลการทดสอบ wipe test R-1 ถึง R-10 ไม่พบการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 บนกระดาษกรอง หลังตรวจสอบด้วยเครื่องวัด ไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger) ผลการทดสอบแรงกระทบ R-14 R-18 R-19 และ R-20 หลังปล่อยให้ตกที่ความสูง 1 เมตร ลงบน

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์
พื้นแข็ง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของรูปทรง ผลการทคสอบการรั่วไหล R-11 R-12 และ R-13 ไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นและเมื่อนำน้ำที่ค้มไปวัดด้วยหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง(HPGe) ชนิด เพลนนา พบว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 ผลการทคสอบการชะ R-15 R-16 และ R-17 หลังจากนำน้ำที่ค้มไปวัดด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา พบว่าไม่มีการชะของสารรังสีแบเรียม-133 ผลการทคสอบด้วยวิธี ชุดมาตรฐานปรับเทียบความหนา (Step weight) พบว่าความหนา 1 ชั้นเหมาะกับการปิดผนึกของต้นกำเนิดรังสี ผลการตรวจสอบค่า พลังงาน R-1 R-2 R-11 R-14 และ R-20 พบว่าเมื่อเทียบกับ Monographie BIPM-5 มีก่าพลังงาน ตรงกันกือ 30.92 81.00 276.40 302.85 356.01 และ 383.85 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

แต่เนื่องจากการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน แผ่นพลาสติกใส ้มีอายุของการใช้งานสั้นเพราะเมื่อผ่านการควบคุมคุณภาพด้วยวิธีการชะและการรั่วไหลในน้ำ อุณหภูมิสูงจะเกิดการงอตัว ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานในระยะเวลานานได้ จึงพัฒนาเทกนิก รูปทรงใหม่ที่มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น รูปทรงแบบหลุมอะคริลิกถูกผลิตขึ้นมาใช้งานแทนแบบ วงแหวน ณ วันที่ 15 กันยายน 2552 ได้ 15 ตัวอย่าง สามารถคำนวณก่ากัมมันตภาพรังสีของแต่ละ ตัวอย่างในหน่วยเบคเคอเรล (Bq) อยู่ในช่วง 1083.915-7006.986 ตามด้วยหน่วย ไมโกกูรี (μCi) อยู่ในช่วง 0.030-0.189 ผลการควบคุมคณภาพตามวิธี Production techniques and quality control of sealed radioactive source ของ IAEA-TECDOC 1512 และ วิธี Radiation Protection - Sealed Radioactive Source ของ ISO 2919 ผลการควบคุมคุณภาพใน 5 วิธีของต้นกำเนิครั้งสีมาตรฐาน แบเรียม-133 ชนิคหลุมอะคริลิก แสดงผลการทคลองดังนี้ ผลการทคสอบ wipe test ของ H-1 ถึง H-15 พบว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 บนกระคาษกรอง ภายหลังตรวจสอบด้วย เครื่องวัคไกเกอร์แบบสำรวจความเปรอะเปื้อนทางรังสี (Survey meter geiger) ผลการทคสอบแรง กระทบของ H-9 H-10 H-11 H-13 H-14 และ H-15 หลังปล่อยให้ตกที่ความสูง 1 เมตร ลงบนพื้น แข็ง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของรูปทรง ผลการทดสอบการรั่วไหลของ H-2 H-3 H-4 และ H-7 ไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นและเมื่อนำน้ำที่ต้มไปวัดด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) ชนิดเพลนนา พบว่าไม่มีการปนเปื้อนของสารรังสีแบเรียม-133 ผลการทคสอบการชะของ H-1 H-5 H-6 H-8 และ H-12 หลังจากนั้นนำน้ำที่ต้มไปวัดด้วยตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) หนิดเพลนนา ไม่พบการชะของสารรังสีแบเรียม-133 ผลการตรวจสอบค่าพลังงานของ H-1 H-3 H-7 H-9 H-10 และ H-12 พบว่าเมื่อเทียบกับ Monographie BIPM-5 มีค่าพลังงานตรงกัน คือ 30.92 81.00 276,40 302.85 356.01 และ 383.85 กิโลอิเล็กตรอบโวลต์

ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยในด้านการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานควรมีการพัฒนานำไปใช้ในการ ผลิตสารกัมมันตภาพรังสีชนิดอื่น เช่น Co-60 Cs-137 เพราะมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่าง แต่สำหรับภาชนะที่บรรจุสารรังสีที่มีก่าครึ่งชีวิตยาว ควรมีการพัฒนาให้รูปทรงมีลักษณะที่ทน ทานมากกว่านี้ เช่น ทำจากสเตนเลส เพื่อสามารถนำไปใช้ในระยะเวลาที่ยาวนานมากยิ่งขึ้น

ก่อนผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานผู้ปฏิบัติงานกวรฝึกซ้อมมือกับน้ำกลั่นในเรื่องการหยด ก่อน เนื่องจากในการทดลองจะเป็นการใช้สารรังสีที่อันตราย ถ้าไม่มีกวามแม่นยำในเรื่องนี้อาจ ก่อให้เกิดอันตรายได้

การผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวนควรใช้เครื่องเคลือบบัตรไล่ อากาศออกจากเทปกาวใส เนื่องจากเป็นการเพิ่มความทนทานให้กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานและ ช่วยให้ต้นกำเนิดมาตรฐานไม่โค้งงอขณะทำการควบคุมคุณภาพด้วยวิธีการชะเเละการรั่วไหล

การควบคุมคุณภาพโดยใช้วิธีการแรงกระทบควรมีการผูกเชือกแล้วปล่อยลงมาที่ระยะ 1 เมตร เพราะจะได้ควบคุมระยะห่างในการปล่อยให้มีความสม่ำเสมอ

นอกจากนี้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ผลิตขึ้นยังสามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้ในการสอบ เทียบกับเครื่องมือต่างๆ ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เช่น หัววัครังสีแบบสารเรืองแสง ชนิด ผลึก NaI ซึ่งใช้วัครังสีแกมมา ผลการผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำวิธีการนี้ ไปผลิตต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานเพื่อใช้ภายในประเทศ การเรียนการสอน รวมทั้งใช้ตรวจสอบ การทำงานของเครื่องวัครังสีแบบสำรวจกวามเปรอะเปื้อนที่ใช้กับงานค้านความปลอดภัยทางรังสี ในการปฏิบัติงานกับรังสี ได้เช่นกัน แต่เนื่องจากผู้ทำการทดลองมีเวลาไม่เพียงพอในการนำไปสอบ เทียบจึงไม่สามารถคำเนินการต่อไปได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2546. **การป้องกันอันตรายจาก** รังสี ระดับ 2. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.

Anonymous. 1997. Quality Control and Detection Limits. Environmental Measurements Laboratory U.S. Department of Energy.

Bazzarri, S., G. Cicoli, P. De Felice, G.Rossi and F. Sedda . 2006. Leakage tests for ²⁴¹Am solid source used for liquid xenon detector monitoring. 105 :640-642.

Branger, T., C. Bobin, M.-G.Iroulrt, M.-C. Lepy, I. Le Garreres, S. Morelli, D. Lacour and J. Plagnard. 2008. Comparative study of two drying techniques used in radioactive source preparation: Freeze-drying and evaporation using hot dry nitrogen jets. Applied Radiation and Isotope. 66: 685-690.

Carchon, R., M. Moeslinger, L. Bourva, C. Bass and M. Zendel. 2007. Gamma radiation detectors for safeguards applications. 380–383.

Danilenkoi, V.N., N.P. Gromovaz, A.A. Konstantinov, N.V. Kurenkov, S.V. Matveev,
 E. Sazonova, E.K. Stepanovai, S.V.Sepman and I.N. Toronovaz. 1989. Methods of producing radionuclides for spectrometric gamma ray sources and standardization-Europium¹⁵². Applied Radiation and Isotope. 40: 711-713.

Debertin, K. and R.G. Helmer. 1998. Gramma And X-Ray Spectrometry With Semiconductor Detectors. North-Holland, New York.

สิบสิทบิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์

- DeFelice. P., A. Fazio., T. Vidmar and M. Korun. 2006. Close-geometry efficiency calibration of p-type HPGe detector with a Cs-134 point source. Applied Radiation and Isotope Italy. 64 : 1303-1306.
- EG&G ORTEC. 2001. Modular Pulse-Processing Electronics and Semiconductor Radiation Detector Annual Catalog 95. Instruments & Systems for Nuclear Spectroscopy, USA.
- Glenn, F.K. 1989. Radiation Detection And Measurement. Applied Radiation and Isotope. 730: 287-326.
- Grigorescu, E.L., A.C. Razdolescu., M. Sahagia., A. Luca., and C. Ivan. 2002. Standardization of ¹⁵²Eu. Applied Radiation and Isotope. 56: 435–439.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2006. Production Techniques and Quality Control of Sealed Radioactive Sources of Palladium-103, Jodine-125, Iridium-192, and Ytterbium-169. IAEA-TECDOC 1512 Vienna.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 2003. Radiation Protection and the Management of Radioactive waste in the oil and gas industry. Vienna.
- Jun, S. 2008. CREPT-MCNP code for efficiency calibration of HPGe detectors with the representative point method. Applied Radiation and Isotope Japan. 391-1195.

Knoll, F.G. 2000. Radiation Detection and Measurement. John Willey & Sins, New York.

Vimalnath, K.V., M.K. Das, M. Ananthakrishnan and N. Ramamoorthy. 2005. Facile access to ¹⁵⁴Eu, a new reference source for calibration in gamma ray spectrometry. Applied Radiation and Isotope, Italy.

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

Martinez, D.A., C.L. Abeyta, L.E. Leonard, J.A. Tompkins and S.J. Leonard. 2002.

Development and Certification of a Special form Capsule for Sealed Sources to Facilitate Transportation and Storage as Special form Material. Los Aalamos National laboratory-OSRP documents, LA-UR-02-433.

Masayasu Noguchi. 2008. Experiments on **Y**-Ray Spectrometry. Japan Chemical Analysis Center :6-8.

Mostafa, M. and M.A. El-Amir. 2008. Preparation of ¹³⁷Cs and ⁶⁰Co sealed sources based on inorganic sorbents for radiometric calibration purposes. **Physicochem.Eng.Aspects.** 317: 687-693.

Perez-Andujar, A. and L. Pibida Performance of CdTe. 2004. HPGe and NaI (T1) detectors for radioactivity measurements. Applied Radiation and Isotope. 41: 4.

Ratel, G., M, Park., S.T, Dryak., P. Sochorova and J. Maringer. 2007. Activity measurement of the radionuclide ¹³¹I, BIPM.RI(II)-K1-I-131, Draft B [3] update for I-131.

Ramamoorthy, N., P. Saraswathy, M.K. Mehra and M.Ananthakrishnan. 2002. Production logistics and radionuclidic purity aspects of Sm -153 for radionuclide therapy.
 Nucl. Med Commum. 23 :83-89

Sarmishtha, B., B. Dipa, K. S. Sankar and K.B. Swapan. 1996. Use of ¹⁶⁹Yb as a calibration standard. Nuclear Instrument and Methods in Physics Research. 378: 515-517.

Sibben, G., T. Altzitzoglou., L. Benedik., S. Pomme and R. Van Ammel. 2008. α - Particle and γ -ray spectrometry of a plutonium solution for impurity determination. **Applied Radiation and Isotope.** 66 :813-818.

สิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษยรศาสยร์

Tompkins, J.A. 2007. Control and Disposition of Sealed Sources. Relative to a Campus Setting, Los Aalamos National laboratory-OSR.









การวัดรังสีแกมมา

1. การสลายตัวให้รังสีแกมมา

รังสีแกมมาเกิดจากจากการสลายตัวของนิวเคลียส หลังจากการสลายตัวให้แอลฟาและ บีตาแล้วหากนิวไกลด์ลูกยังอยู่ในสถานะกระตุ้นก็จะปรับตัวเข้าสู่สถานะพื้น โดยการปล่อยคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่ารังสีแกมมาออกมาและอาจเกิดกระบวนอื่นตามมาอีก เช่นการเปลี่ยนแปลง ผันภายใน (Internal Conversion) และการผลิตคู่ภายใน (Internal Pair Creation) โดยการสลายให้ รังสีแกมมาของนิวเคลียสจากการย้ายสถานะจากสถานะพลังงานสูงมาสู่สถานะพลังงานต่ำกว่า ถ้าเริ่มต้นนิวเคลียสตัวลูกมีสถานะพลังงาน E, ซึ่งเป็นสถานะกระตุ้นนิวเคลียสจะย้ายจะย้ายสถานะ พลังงานสู่ระดับที่ต่ำกว่าคือ E, และหาก E, ยังคงเป็นสถานะกระตุ้นอยู่ก็จะย้ายต่อๆ ไปอีกจนถึง สถานะสุดท้ายซึ่งเรียกว่าสถานะพื้น ซึ่งในการย้ายแต่ละครั้งนิวเคลียสจะปลดปล่อยพลังงานออกมา ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นั่นคือรังสีแกมมา (Knoll, 2000) พลังงานของรังสีแกมมาที่ปล่อยออกมา นั้นจะมีก่าดังสมการ 15

$$hv = E = E_i - E_f$$

(15)

เมื่อ v เป็นความถี่ของรังสีแกมมา h เป็นค่าคงที่ของแพลงค์

2. การวัดรังสีแกมมา

เนื่องจากรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแผ่ออกมาในรูปโฟตอนหรือควอนตัมของ พลังงานที่ไม่มีประจุไม่มีมวลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง ดังนั้นการวัดพลังงานของรังสีแกมมา จึงต้องอาศัยผลของอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับวัสดุ ซึ่งกล่าวโดยละเอียดต่อไป

2.1 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา (Gamma Interaction) เมื่อรังสีแกมมาวิ่งเข้าชนกับวัสดุ การชนนั้นอาจเกิดขึ้นกับนิวเคลียส อิเล็กตรอนหรือสนามรอบนิวเคลียส กระบวนการสูญเสีย พลังงานเนื่องจากอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับวัสดุมีหลายกระบวนการ แต่เนื่องจากพลังงาน ของรังสีแกมมาที่เกิดจากการสลายตัวของนิวเคลียสอยู่ในช่วง 0.01 MeV ถึง 100 MeV ดังนั้น กระบวนการสูญเสียพลังงานซึ่งมีผลต่อการวัดสเปกตรัมที่สำคัญจึงมีเพียง 3 กระบวนการ คือ การดูดกลืนโฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric Absorption) การกระเจิงคอมป์ตัน (Compton Scattering) และการผลิตคู่ (Pair Production)

2.1.1 การดูดกลืนโฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric Absorption)

การดูดกลืนโฟโตอิเล็กตริกเป็นกระบวนการที่โฟตอนทำอันตรกิริยากับ อิเล็กตรอนในอะตอม แล้วโฟตอนก็ถูกดูดกลืนพลังงานทั้งหมด ซึ่งพลังงานของอิเล็กตรอนที่หลุดมี ก่าตามสมการที่ 16

$$E_{o} = E_{r} - E_{b}$$
 (16)
Гов $E_{b} = w$ аังงานยึดเหนี่ยว
 $E_{r} = w$ аังงานงองอิเล็กตรอน
 $F_{c} = w$ аังงานงองอิเล็กตรอน
Photo-electron: E
Photoelectric effect
Fy = Eb+ Ee

ภาพผนวกที่ 1 แสดงปรากฏการณ์การดูดกลืนโฟโตอิเล็กตริก

ที่มา: Debertin and Helmer (1988)

2.1.2 การกระเจิงคอมป์ตัน (Compton scattering)

ในกระบวนการกระเจิงคอมป์ตันโฟตอนจะถ่ายเทพลังงานเพียงบางส่วนให้กับ อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรในทิศทำมุม (Θ) กับโฟตอนที่ตกกระทบ ส่วนพลังงานที่เหลือจะกระเจิงทำมุม (¢) กับทิศทางเดิม ตามภาพผนวกที่ 2



ภาพผนวกที่ 2 แสดงปรากฏการณ์การกระเจิงคอมป์ตัน

ที่มา: Debertin and Helmer (1988)

2.1.3 การผลิตคู่ (Pair production)

ในกระบวนการผลิตกู่พลังงานของโฟตอนจะถูกดูดกลืนพลังงานทั้งหมด เปลี่ยนเป็นอนุภาคโพซิตรอนและอิเล็กตรอน การเกิดอันตรกิริยานี้โฟตอนจะต้องมีพลังงานไม่ค่ำ กว่า 1022 KeV พลังงานที่เกินจากนี้จะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคโพซิตรอนและอิเล็กตรอน ซึ่งมีก่าเท่ากับ Er – 2m_oc² เนื่องจากโพซิตรอนที่เกิดขึ้นไม่อยู่ตัวซึ่งจะรวมตัวกับอิเล็กตรอน ในตัวกลางแล้วให้โฟตอนออกมา 2 ตัว ในทิศทางตรงข้ามซึ่งแต่ละตัวมีพลังงาน 511.0 KeV ซึ่งเรียกว่า การเกิดแอนนิฮิเลชัน (Annihilation)



ภาพผนวกที่ 3 แสดงปรากฏการณ์การผลิตกู่

ที่มา: Debertin and Helmer (1988)

2.2 ระบบวัดรังสีแกมมา

เนื่องจากรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือเป็นอนุภาคที่เรียกว่าโฟตอน การวัดโฟตอนจะขึ้นกับอันตรกิริยาในวัสดุ คืออิเล็กตรอนถูกผลิตขึ้นเมื่อเกิดอันตรกิริยาระหว่างโฟ ตอนกับวัสดุที่ใช้ทำหัววัดแล้วจ่ายพลังงานให้กับหัววัด หน้าที่ของหัววัดคือผลิตพัลส์ออกมาทุกครั้ง ที่มีโฟตอนเข้าชนแล้วส่งสัญญาณนี้ไปสู่ระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ดังภาพผนวกที่4 ซึ่งเป็นระบบ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้



ภาพผนวกที่ 4 แสดงระบบวัดรังสีและอุปกรณ์ที่สำคัญในงานวิจัยนี้

ที่มา: EG&G ORTEC (2001)



2.2.1 แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Power Supply; HV) ทำหน้าที่จ่าย ค่าความต่างศักย์บวกหรือลบให้กับหัววัด และเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็น กระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ และมีเสถียรภาพในการรักษาศักดาไฟฟ้าเอาท์พุท (Output)

2.2.2 ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นจาก ส่วนของหัววัคให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และปรับอิมพีแดนซ์ (Impedance) ขนาดและรูปร่างของสัญญาณ พัลส์จะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของหัววัด ในงานวิจัยนี้ภาคขยายส่วนหน้าเป็นแบบ Charge-Sensitive Preamplifier รุ่น Model 239POF จะให้สัญญาณออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ของกระแส ช่วงเวลา 10⁻⁹ ถึง 10⁻⁵ วินาที ขึ้นอยู่กับชนิดของหัววัด

2.2.3 ภาคขยายหลัก (Amplifier) เป็นส่วนที่รับสัญญาณพัลส์มาจากภาคขยายส่วน หน้าแล้วนำมาปรับแต่งรูปสัญญาณพร้อมทั้งขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะสมกับการนำไป วิเคราะห์ความสูง ภาคขยายหลักจะมีกำลังขยายค่อนข้างสูงแตกต่างกันไปแต่ละเครื่องระหว่าง 500-1000 เท่า หรือมากกว่า และสามารถปรับค่าได้

2.2.4 วงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณพัลส์ (Pulse Height Analyzer; PHA) ในการทดลองนี้ต้องการดูสเปกตรัมของการปนเปื้อนรังสีในน้ำ อุปกรณ์ดังกล่าวแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

ก. วงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer; SCA)
 ประกอบด้วย 2 ดีสคริมินิเตอร์ คือ Upper Level Discriminator (ULD) และ Lower Level
 Discriminator (LLD) การแยกระดับความสูงของพัลส์จะอาศัยการเปรียบเทียบความสูงของ
 สัญญาณกับค่าศักดาไฟฟ้ามาตรฐานที่ถูกจัดเอาไว้ด้วย LLD และ ULD ผลต่างระหว่าง LLD
 และ ULD เรียกว่าหน้าต่าง (Window)



ภาพผนวกที่ 5 แสดงการทำงานของวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยว (SCA)

ทีมา: NCRP Report No.58 (1994)

ง. วงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer; MCA)
 เกิดจากการนำวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยวมาต่อกันหลายๆ ช่อง จึงมีความสามารถสูงกว่า
 SCA ทั้งในด้านความเร็ว การเก็บข้อมูล ความละเอียดของการแสดงระดับพลังงาน และ ไม่จำเป็นต้อง
 นำข้อมูลไปเขียนกราฟ สามารถบันทึกข้อมูลจำนวนนับอนุภาคแต่ละระดับพลังงานที่เข้ามาตก
 กระทบหัววัดได้อย่างอัตโนมัติ และแสดงสเปกตรัมที่จอแสดงผลซึ่งเป็นวงจรวิเคราะห์สัญญาณ
 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีส่วนประกอบดังนี้

ภาคเปลี่ยนสัญญานอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter ;
 ADC) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญานพัลส์จากหัววัดรังสีให้เป็นสัญญานดิจิตอล

 ภาคเลือกตำแหน่งแชนแนล (Channel Address Registor) ทำหน้าที่ใน การรับรหัสดิจิตอลจาก ADC แล้วเลือกตำแหน่งแชนแนลในหน่วยความจำที่ตรงกับรหัสของพัลส์ เพื่อให้ภาคบันทึกข้อมูล (data resistor) บวกจำนวนพัลส์ที่มีรหัสตรงกับตำแหน่งแชนแนลใดๆ ครั้ง ละหนึ่งหน่วยนับหรือเป็นกำสั่งลบเพื่อหักลบจำนวนพัลส์ที่มีอยู่เดิมออกครั้งละหนึ่งหน่วยนับจาก ข้อมูลเดิมที่บันทึกไว้ 3) ภาคบันทึกข้อมูล (Channel Resistor) ทำหน้าที่เพิ่มหรือลดข้อมูล ในหน่วยความจำของแชนแนลครั้งละหนึ่งหน่วยนับเมื่อมีพัลส์ที่มีรหัสตรงกับตำแหน่งแชนแนล นั้นๆ เข้ามาแต่ละครั้ง ในช่วงเวลาที่เครื่องทำงานตั้งแต่รับสัญญาณแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล จนกระทั่งเก็บข้อมูล ถ้ามีสัญญาณใหม่เข้ามาเครื่องจะไม่ยอมรับสัญญาณนั้น เครื่องจะยอมรับ สัญญาณใหม่ที่เข้ามาก็ต่อเมื่อบันทึกข้อมูลของสัญญาณนั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว

 4) ภาคหน่วยความจำ (Memory) ส่วนนี้จะทำการบันทึกจำนวนอนุภาคของ แต่ละตำแหน่งช่องในรูปรหัสไบนารี (Binary) จำนวนช่องแตกต่างกันไปในแต่ละเครื่องอาจเป็น 1024(1k), 2048(2k), 8192(8k) หรือ 16384 (16k) ในงานวิจัยนี้ใช้ 16384 ช่อง จำนวนของแชนแนล นี้จะสัมพันธ์กับขีดความสามารถของ ADC ซึ่งหมายถึงความละเอียดของการแบ่งระดับพลังงาน ของรังสี

5) ภาคแสดงผล (Data Display) ข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำจะถูก แสดงผลบนจอภาพด้วยการส่งรหัสดิจิตอลจากตำแหน่งแชนแนลต่างๆ ผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณ จากดิจิตอลเป็นอนาลอก (Digital to analog convertor, DAC) แล้วแสดงผลในรูปสเปกตรัม

6) ภาคเชื่อม โยงอุปกรณ์ภายนอก (Input/Output Interface) ทำหน้าที่ เชื่อม โยงอุปกรณ์ภายนอก เช่น เครื่องเขียนภาพ เครื่องพิมพ์ เครื่องบันทึกภาพ

 เทคนิคการวิเคราะห์รังสีด้วย 2 ระบบ คือ ระบบตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe) และเครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบดิจิตอล (Digital radiography reader)

3.1 ระบบตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)

type of detector	Geometry	Window	Us eful Ene rgy	Material	Standard Size	Standard
5.8		thic kness (mm)	Range			Energy Resolution
HPGe Coax	Closed-end	600	40 keV-10 MeV	P-Type	10%-100%	1.75-2.30 keV
(GEM Series)	Coaxial			HPGe	Efficiency	at 1.33 MeV
Gamma-X	Thin window	0.3	3 keV-10 MeV	N-Type	10%-100%	1.80-2.40 keV
GMX Series	Coaxial	Ion implanted		HPGe	Efficiency	at 1.33 MeV
	Remarks of all		0110			665-1200keV
				19		at 5.9 ke V
HPGe Well	Well	0.3	10 keV-10 MeV	P-Type	70-120 cc	2.10-2.30 keV
(GWL Series)		Ion implanted		HPGe	active volume	at 1.33 MeV
			K XK X	1		1.20-1.40 keV
			Y			at 122 MeV
HPGe LEPS	Planar	0.3	3 keV-600 keV	P-Type	6-36 mm	1.75-2.30 keV
(GLP Series)		Ion implanted		HPGe	diameter	at 1.33 MeV
LO-AX	Short	0.3	3 keV-1 MeV	N-Type	36-60 mm	300-495 e V
	Thin-window	Ion implanted		HP Ge	diameter	at 5.9 ke V
	Coaxial					585-720 eV
	RT3					at 122 keV
Si(Li) LEPS	Planar	0.1	1 keV-30 keV	lithium drifted	4-16 mm	160-250 eV
SLP Series)				silicon	diameter	at 5.9 keV

ตารางผนวกที่ 1 แสดงลักษณะตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมแบบต่างๆ

3.1.1 ลักษณะเฉพาะของสารกึ่งตัวนำ ตัวตรวจวัดที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นตัวตรวจวัดที่ ใช้สารกึ่งตัวนำ ดังนั้นจะต้องทำกวามเข้าใจลักษณะของสารตัวนำเพื่อให้เข้าใจการทำงานของตัว ตรวจวัด ดังนี้

3.1.1.1 สภาพการนำ หมายถึง การเลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยของแข็งแบ่ง ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ตัวนำ ฉนวน และสารกึ่งตัวนำ ถ้าเอาชิ้นวัสดุของแข็งไปวางในสนามไฟฟ้า กระแสจะไหลหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ในตัวนำอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่าง อิสระ ณ ความต่างศักย์ใดๆที่มากกว่าศูนย์ฉนวน อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ภายใต้ความต่าง ศักย์ใดๆ นั่นคือ กระแสเป็นศูนย์ในทุกๆอุณหภูมิ และในสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนไม่สามารถ เคลื่อนที่ภายใต้อุณหภูมิต่ำ (ใกล้อุณหภูมิศูนย์องศาสมบูรณ์) ภายใต้ความต่างศักย์ใดๆ เมื่ออุณหภูมิ สารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนสามารเกลื่อนที่ และกระแสไฟฟ้าจะไหล ณ ความต่างศักย์ ปานกลาง

3.1.1.2 สารกึ่งตัวนำ ในสารกึ่งตัวนำแถบวาเลนซ์จะมีอิเล็กตรอนอยู่เต็มและ แถบการนำจะไม่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่ แต่ช่องว่างพลังงานระหว่างสองแถบนี้แคบมากเมื่อเทียบกับ

ลิขสิทธิ์ มตาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ฉนวน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอิเล็กครอนจะเคลื่อนที่ไปอยู่ในแถบการนำและสภาพการนำเพิ่มขึ้น โดยอิเล็กตรอนบางคัวได้รับพลังงานเพียงพอที่จะข้ามไปสู่แถบการนำได้ซึ่งจะเคลื่อนที่ภายใด้ สนามไฟฟ้า เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังแถบการนำสถานะว่าเปล่าจะเกิดขึ้นในแถบวาแลนซ์ ที่เรียกว่า โฮล (Hole) เป็นช่องว่างของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปทิศทางใดก็ตามโฮล จะเคลื่อนที่ไปทิศทางตรงข้าม ดังนั้นโฮลเปรียบเหมือนอนุภาคที่มีประจุเป็นบวก ในสารกึ่งคัวนำ ที่มีวามบริสุทธิ์และเป็นกลางทางไฟฟ้าจำนวนอิเล็กตรอนจะเท่ากับโฮลเสมอ การเพิ่มขึ้นของ อุณหภูมิไม่ใช่วิธีเดียวที่ถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน การดูดกลืนของรังสีหรือการชนกับอนุภาค ที่มีประจุอาจทำให้เกิดผลแบบเดียวกันได้ พลังงานของอนุภาคที่มีประจุเมื่อตกกระทบกับ อิเล็กตรอนของสารกึ่งตัวนำจะช่วยยกระดับของอิเล็กตรอนจากแถบวาแลนซ์ไปยังแถบการนำ นอกจากนี้ยังทำให้อิเล็กตรอนจากแถบที่วางตัวอยู่ลึกๆ เคลื่อนที่ไปยังแถบการนำได้ (Knoll, 2000) อิเล็กตรอนปรากฏขึ้นในแถบที่เดิมเคยว่างเปล่าและโฮลปรากฏขึ้นในแถบที่เดิมถูกบรรจุดตีม การจัด วางนี้จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 10-2 วินาที อันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลทำให้ อิเล็กตรอนกระจุถแน่นอยู่ในแถบการนำต่ำสุด ในอีกทางหนึ่งโฮลจะกระจุถแน่นใกด้กับส่วนบน ของแถบวาเลนซ์ในอีกทางหนึ่งโฮลจะกระจุถแน่นใกล้กับส่วนบนของแถบวาเลนซ์ ในระหว่าง กระบวนการลดสถานะกระดุ้นจะมีอิเล็กตรอนและโฮลเกิดขึ้นอีกเป็นจำนวนมาก

3.1.1.3 การเปลี่ยนแปลงช่องว่างพลังงาน (Energy Gap; Eg) กับอุณหภูมิ ค่าของช่องว่างพลังงาน Eg เป็นค่าที่ไม่คงที่แต่จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ สำหรับสารกึ่งตัวนำ เจอร์มาเนียมค่าของ Eg จะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นเมื่ออุณหภูมิลคลง แต่ที่อุณหภูมิต่ำมากค่าของ Eg จะมีค่าคงที่ ดังนั้นในตัวตรวจวัดสารกึ่งตัวนำบางชนิดจึงมีการหล่อเย็นเพื่อทำให้อุณหภูมิของหัววัด มีค่าต่ำ

3.1.1.4 หน้าที่ของสิ่งเจือปนในสารกึ่งตัวนำ สมบัติของสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ จะเปลี่ยนแปลงถ้าเติมสิ่งเจือเข้าไปสถานะใหม่จะเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำ ถ้านำสารเจือปนในกลุ่ม ธาตุ V ของตารางพีเรียดดิกมาเติมในสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ทำให้ได้อิเล็กตรอนเป็นตัวนำไฟฟ้า ส่วนใหญ่ เรียกสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ว่า ชนิดเอ็น (N-type) แต่ถ้าเติมด้วยสารเจือปนในกลุ่มธาตุ III ของตารางพีเรียดดิก เช่น โบรอน ทำให้โฮลเป็นตัวนำไฟฟ้า เรียกสารกึ่งตัวนำนี้ว่า ชนิดพี (P-type)

3.1.1.5 รอยต่อ พี-เอ็น (p-n Junction) เมื่อนำผลึกสารกึ่งตัวนำแบบพีทีมีโฮล ส่วนเกินมาต่อกับผลึกแบบเอ็นจะกลายเป็นผลึกชนิดพี-เอ็น ที่บริเวณรอยต่อนั้นอิเล็กตรอนของ ผลึกแบบเอ็นจะรวมตัวกับโฮลของผลึกแบบพี เกิดเป็นบริเวณที่เป็นกลางที่เรียกว่า ช่วงดีพีทชัน (Depletion Zone) ถ้าให้ศักดาไฟฟ้าหรือไบอัส (Bias) กับผลึกที่มีการเชื่อมต่อนี้ โดยให้ขั้วบวกกับ ผลึกแบบพีและให้ขั้วลบกับผลึกแบบเอ็นเรียกว่า การให้ไบอัสทางตรง (Forward Bias) โฮลจาก ผลึกแบบพีจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ และอิเล็กตรอนจากผลึกแบบเอ็น จะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ทำให้ มีกระแสไฟฟ้าไหลช่วงดีพีทชันจะแคบลง ถ้าต่อขั้วลบกับผลึกแบบพีและต่อขั้วบวกให้กับผลึกแบบ เอ็น จะเรียกว่าการให้ไบอัสกลับทาง (Reverse Bias) โฮลจากผลึกแบบพีจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนจากผลึกแบบเอ็นจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วบวก ทำให้ช่วงดีพีทชันกว้างขึ้น เมื่อรังสีเข้า มาในช่วงดีพีทชันทำให้เกิดกู่อิเล็กตรอนกับโฮลขึ้น จึงทำให้เกิดการไหลของกระแส

3.1.2 โครงสร้างของหัววัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง (HPGe)

ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงเป็นหัววัดที่ต้องการในโตรเจนในการให้ กวามเย็นกับระบบการทำงาน รวมทั้งสามารถแยกแยะพลังงานได้ดีในช่วง 550-700 อิเล็กตรอน โวลต์ (R.Carchon.et.al, 2007) ซึ่งจะใช้เทคนิคการทำให้ผลึกมีความบริสุทธิ์มากขึ้นคือมีสิ่งเจือปน น้อยกว่า 10¹⁰ อะตอมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยทั่วไปตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูงมีหลาย แบบ ดังนี้ แบบเพลนนา (planar) โคแอกเซียล (Coaxial) และเวลไทป์ (Well-type)

3.1.2.1 โครงสร้างแบบเพลนนา (Planar) เป็นโครงสร้างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โครงสร้างของหัววัดแบบนี้จะต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้าที่ผิวสัมผัสทั้งสองด้าน บริวณหน้าสัมผัส n เกิด จากการระเหยและแพร่ลิเทียมที่บริเวณด้านบนเป็นผิวบางๆหรืออาจสอดแทรกอะตอมผู้ให้เข้าไป ตรงๆ โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาก สวนบริเวณหน้าสัมผัส n และ pซึ่งอยู่ตรงกันข้ามทเมื่อป้อนความ ต่างศักย์กลับขั้วโดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวสัมผัส n เป็นบวกสัมพันธ์กับผิวสัมผัส p ซึ่งเมื่อความต่างศักย์ มากขึ้นจนกระทั่งหัววัดมีการทำลายลึกอย่างเต็มที่ การเพิ่มขึ้นของความต่างศักย์นี้ส่งผลให้ สนามไฟฟ้าทั่วไปทั้งหัววัดมีก่าเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามไปด้วย ถ้าความต่างศักย์นี้ส่งผลให้ สนามไฟฟ้าทั่วไปทั้งหัววัดมีก่าเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามไปด้วย ถ้าความต่างศักย์สูงขึ้นจนเพียง พอที่จะทำให้สนามไฟฟ้ามีก่าสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งเป็นก่าสนามไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่จะทำให้ประจุ เกลื่อนที่ด้วยความเร็วลอยเลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนขึ้น ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียม บริสุทธิ์สูงจะทำงานได้ดีที่ 77 แกลวิล และเหมาะกับการวัดรังสีเอกซ์ และรังสีแกมมาพลังงานด่ำ ตั้งแต่ 0.3 KeV - 1 MeV



ภาพผนวกที่ 6 โครงสร้างของตัวตรวจวัคเจอร์มาเนียมแบบเพลนนา

ที่มา: Knoll (2000)

3.1.2.2 โครงสร้างแบบโคแอคเซียล (Coaxial) หัววัดเจอร์มาเนียมที่มีโครงสร้าง แบบนี้ จะมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกและมีช่องโหว่ตรงกลาง โดยมีขั้วไฟฟ้าหนึ่งอยู่ที่ค้านนอก ผิวสัมผัสของผลึกเจอร์มาเนียม และขั้วที่สองอยู่บริเวณของผิวในช่องโหว่ตรงกลางทรงกระบอก ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมโครงสร้างแบบ Coaxial เหมาะสำหรับการวัดรังสีในบริเวณที่มี แหล่งกำเนิดจากสภาวะแวคล้อมในปริมาณมาก และรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานตั้งแต่ 3 KeV-10 MeV

3.1.2.3 โครงสร้างแบบเวลไทป์ (Well type) ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมแบบนี้จะ มีขนาคใหญ่ มีรูปร่างเป็นหลุมสำหรับใส่ตัวอย่างในการวัด ทำให้ค่ายีออเมตรีเท่ากับ4π และให้ค่า ประสิทธิภาพการวัดสูงที่สุด

3.1.3 ส่วนประกอบและและหลักการใช้งานของตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียม เนื่องจาก ตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมมีช่องว่างพลังงาน (Energy Gap) แกบประมาณ 0.7 eV นั้นคือการทำงาน ของตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมทุกชนิดไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง เพราะอุณหภูมิห้องมีก่าสูง พอที่จะเหนี่ยวนำให้ช่องว่างพลังงานเกิดกระแสรั่วไหล ดังนั้นการทำงานด้านการวัดรังสีด้วยตัว ตรวจวัดเจอร์มาเนียมต้องทำให้อุณหภูมิของหัววัดต่ำลงเพื่อลดกระแสรั่วไหลดังกล่าว โดยปกติแล้ว อุณหภูมิของตัวตรวจวัดเจอร์มาเนียมต้องทำให้อุณหภูมิลดลงถึงประมาณ 77 แกลวิล โดยใช้ Dewar เป็นฉนวน ภายในจะเป็นถังเก็บในโตรเจนเหลวทำหน้าที่ในการหล่อเย็นติดตั้งกับอุปกรณ์ที่เรียกว่า Cryostat ซึ่งสัมผัสกับหัววัด 3.2 เครื่องอ่านภาพถ่ายทางรังสีแบบคิจิตอล (Digital radiography reader)

3.2.1 แผ่นถ่ายภาพอิมเมจจิงเพลต มีโครงสร้างของแผ่น 3 ชั้น ดังนี้

3.2.1.1 Support layer ชั้นแผ่นฐานที่ทำจากแผ่นโพลีเอสเตอร์(Polyester) มีความหนา 2 มิลลิเมตร

3.2.1.2 Photo-stimulate phosphor layer เป็นชั้นของผลึกเรื่องแสงเคลือบด้วย สารเรื่องแสงชนิด BaFBr:Eu²⁺

3.2.1.3 Protective layer เป็นชั้นที่ป้องกันการกระทบกระเทือนของผลึกเรือง แสงจากกระบวนการบันทึกและอ่านภาพถ่าย โดยเคลือบทับด้วยสาร โพลีเอทีลีน เทเรพทาเลต (polyethlylene terephthalate) แล้วบ่มผิวด้วยเทคนิคท่งรังสีของลำแสงอิเล็กตรอน ชั้นนี้มีความ หนา 10 เมตร



ภาพผนวกที่ 7 โครงสร้างและส่วนประกอบแผ่นอิมเมจจิงเพลต

ที่มา: Branger (2008)





3.2.2 หลักการบันทึกภาพถ่ายทางรังสี

เนื่องจากโครงสร้างผนึกของสาร BaFX จะมีความบกพร่องของแลตทิชด้วยผล ของการเจือ Eu²⁺ และมีความสมบูรณ์ของโครงสร้างก่อให้เกิดบริเวณที่พร้อมรับการถ่ายโอน พลังงานจากรังสีที่มีช่องว่างพลังงาน (Eg) ประมาณ 8.3 eV และมีระดับพลังงานระหว่างสถานะพัก และสถานะพื้นประมาณ 3.2 eV บริเวณแถบวาเลนซ์จะเกิดการไอออไนเซชั่นของ Eu²⁺ เป็นไอออน บวกของ Eu³⁺ อิเลีกตรอนจะถูกยกพลังงานขึ้นสู่แถบนำ ก่อให้เกิดคู่ของเอ็กซิตรอนขึ้น ปริมาณคู่ ของเอ็กซิตรอนขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ตกกระทบสารเรืองแสง โดยการยกระดับพลังง่านของ อิเล็กตรอนเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า 6.5 eV จะยกขึ้นสู่สถานะ พักชั่วขณะ และจะกลับสู่สถานะพื้น แล้วปล่อยแสงเรืองทันที โดยจะคืนสภาวะของไอออน Eu³⁺ เป็น Eu²⁺ ตามเดิม แต่ถ้าอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงกว่า 6.5 eV จะถูกยกระดับบริเวณแถบนำและ ลดระดับพลังงานสู่บริเวณกับดัก อิเล็กตรอนจะถูกเก็บไว้บริเวณ F-center เป็นการบันทึกผลการวัด ปริมาณรังสี

3.2.3 หลักการอ่านภาพถ่ายทางรังสี

แผ่นภาพถ่ายทางรังสีที่ผ่านการบันทึกพลังงานแล้วมาอ่านปริมาณพลังงาน ด้วยเครื่องอ่านภาพภาพอิมเมจจิงเพลต โดยกระตุ้นด้วยลำแสงเลเซอร์ (photostimulated luminescence: PSL) ที่มีความยาวคลื่น 630 nm ซึ่งมีปลายลำแสงขนาด 50-100 μm โดยลำแสง จะสแกนบนแผ่นบันทึกภาพถ่ายทางรังสี เพื่อกระตุ้นปริมาณอิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บไว้ที่บริเวณ F-center ให้ลงสู่ระดับพื้นและปลดปล่อยปริมาณแสงที่มีความเข้มข้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ พลังงาน

3.2.4 หลักการลบแผ่นภาพถ่ายทางรังสี

การลบพลังงานที่ถูกบันทึกในแผ่นบันทึกภาพถ่ายทางรังสี ด้วยเครื่องลบ สัญญาณภาพถ่ายทางรังสี ซึ่งจะทำการลบพลังงานที่ตกค้างบนแผ่นบันทึกภาพถ่ายทางรังสีให้หมด ไปด้วยการฉายแสงที่มีความเข้มแสง

ลิขสิทชิ้ มหาวิทยาลัยเทษกรศาสกร์

ตารางผนวกที่ 2	แสดงการกำนวณก่ากัมมันตภาพรังสีของตัวอย่างต้นกำเนิครังสีมาตรฐานไอโอคีน-131	

น้ำหนัก pycnometer	น้ำหนัก	น้ำหนักของ	น้ำหนักของ	ค่า Activity	ค่า Activity	ค่า specific	ค่า specific
เปล่า	pycnometer	I-131 ที่เหลือ	I-131	(Bq)	(<i>µCi</i>)	Activity	Activity
(mg)	เปล่า + I-131 (mg)	(mg)	(mg)			Bq/mg	μCi /mg
1499 599	2225 850	4861 780	1 790	5587	0 151	3607 50	0.0975
1199.399	2223.030	1001.700	1.750	5507	0.151	-	0.0775
			1.552	6475	0.175		
			3.098	11174	0.302		



น้ำหนัก	น้ำหนัก pycnometer	น้ำหนักของ Ba-	น้ำหนักของ Ba-	ค่า Activity	ค่า Activity	ค่า specific	ค่า specific
pycnometer เปล่า	เปล่า + Ba-133	133 ที่เหลือ	133	(Bq)	(<i>µCi</i>)	Activity	Activity
(mg)	(mg)	(mg)	(mg)			Bq/mg	μCi /mg
1579.749	4307.739	2568.652	1.559	1554	0.042	999	0.027
			4.362	4329	0.118	_	
			0.045	37	0.001	_	
			7.964	7955	0.215		
			6.745	6734	0.182	_	
			4.329	4329	0.117		
			4.867	4847	0.131		

ตารางผนวกที่ 3 การคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแบเรียม-133 ชนิดวงแหวน



ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)							
น้ำหนัก	น้ำหนัก pycnometer	น้ำหนักของ	น้ำหนักของ	ค่า Activity	ค่า Activity	ค่า specific	ค่า specific
pycnometer เปล่า	เปล่า + Ba-133	Ba-133 ที่เหลือ	Ba-133	(Bq)	(<i>µCi</i>)	Activity	Activity
(mg)	(mg)	(mg)	(mg)			Bq/mg	$\mu Ci/mg$
1579.749	4307.739	2568.652	8.868	8843	0.239	999	0.027
			6.290	6253	0.170	-	
		VE V R	5.520	5513	0.149	-	
		YZ CI	8.704	8695	0.235	-	
			7.253	4252	0.196		
			9.587	9583	0.259		
			21.479	21423	0.580	_	



ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)							
น้ำหนัก	น้ำหนัก pycnometer	น้ำหนักของ	น้ำหนักของ	ค่า Activity	ค่า Activity	ค่า specific	ค่า specific
pycnometer เปล่า	เปล่า + Ba-133	Ba-133 ที่เหลือ	Ba-133	(Bq)	(<i>µCi</i>)	Activity	Activity
(mg)	(mg)	(mg)	(mg)			Bq/mg	μCi /mg
1579.749	4307.739	2568.652	10.836	10841	0.293	999	0.027
			9.067	9065	0.245	-	
			8.951	8954	0.242	-	
			8.223	8214	0.222		
		YE S	7.101	7104	0.192		
			5.786	5772	0.156	-	

น้ำหนัก	น้ำหนัก pycnometer	น้ำหนักของ	น้ำหนักของ	ค่า Activity	ค่า Activity	ค่า specific	ค่า specific
pycnometer เปล่า	เปล่า + Ba-133	Ba-133 ที่เหลือ	Ba-133	(Bq)	(<i>µCi</i>)	Activity	Activity
(mg)	(mg)	(mg)	(mg)			Bq/mg	μCi /mg
1526.166	4072.795	2434.05	3.156	3152.844	0.085	999	0.027
		E U (4.017	4012.983	0.108		
			3.974	3970.026	0.107		
			5.304	5298.696	0.143		
		WE.	3.214	3210.786	0.087		
			7.014	7006.986	0.189		

ตารางผนวกที่ 4 การคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีของแบเรียม-133 ชนิดหลุมอะคริลิก



ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)							
น้ำหนัก pycnometer	น้ำหนัก pycnometer	น้ำหนักของ	น้ำหนักของ	ค่า Activity	ค่า Activity	ค่า specific	ค่า specific
เปล่า	เปล่า + Ba-133	Ba-133 ที่เหลือ	Ba-133	(Bq)	(<i>µCi</i>)	Activity	Activity
(mg)	(mg)	(mg)	(mg)			Bq/mg	μCi /mg
1526.166	4072.795	2434.05	2.946	2943.054	0.080	999	0.027
			1.277	1275.723	0.034	-	
			2.189	2186.811	0.059	-	
		E C	3.620	3616.380	0.098	-	
		VI.	3.033	3029.967	0.081		
			2.168	2165.832	0.059	_	

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

น้ำหนัก	น้ำหนัก pycnometer	น้ำหนักของ	น้ำหนักของ	ค่า Activity	ค่า Activity	ค่า specific	ล่า specific
pycnometer เปล่า	เปล่า + Ba-133	Ba-133 ที่เหลือ	Ba-133	(Bq)	(<i>µCi</i>)	Activity	Activity
(mg)	(mg)	(mg)	(mg)			Bq/mg	μCi /mg
1526,166	4072.795	2434.05	1.085	1083.915	0.030	999	0.027
10-00100			5.049	5043 951	0.136	-	01027
		NY C	5.045	5045.751	0.150	-	
			1.928	1926.072	0.052		

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

วันและเวลา		Total PSL		(ເວລາ)	Decay	Calcul	ate PSL* Decay ca	alculate
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	วัน	calculate	ตัวที่ 1	ตัวที่ 2	ตัวที่ 3
2/2/2009 16:34	69045.22	58003.26	100912.70	0	0	0	0	0
3/2/2009 12:07	69897.41	59528.93	101011.90	0.82	0.93	64352.01	54060.60	94053.36
4/2/2009 9:49	62130.53	51876.66	99765.57	1.72	0.86	59512.91	49995.39	87066.30
5/2/2009 11:30	58947.44	49937.14	84976.20	2.79	0.79	54258.27	45581.10	78399.45
5/2/2009 12:05	52441.00	43783.40	81178.60	3.81	0.72	49659.44	41717.72	61117.49
7/2/2009 10:30	50193.36	40628.34	77353.99	4.75	0.66	45809.11	38483.16	53859.19
8/2/2009 10:07	45600.67	36771.47	68927.45	5.73	0.61	42074.71	35345.97	47137.90
9/2/2009 11:04	43420.45	35649.43	65691.09	6.77	0.56	38459.65	32309.04	38394.05
0/2/2009 10:18	38375.34	32615.13	59960.50	7.74	0.51	35374.23	29717.05	33655.79
1/2/2009 10:27	35140.13	28658.32	53598.41	8.75	0.47	32427.18	27241.31	28160.53
2/2/2009 13:31	33075.46	27303.16	51240.62	9.87	0.43	29415.98	24711.67	22835.03
3/2/2009 13:44	29207.10	23822.88	43450.20	10.88	0.39	26959.39	22647.94	200007.40
4/2/2009 11:40	28051.13	22711.41	42812.29	11.80	0.36	24912.42	20928.33	15677.40
5/2/2009 10:03	25884.40	21152.43	39726.64	12.73	0.33	22983.37	19307.79	14251.11
6/2/2009 13:55	23470.97	19652.56	37226.20	13.89	0.30	20789.58	17464.83	11961.73
7/2/2009 10:18	21057.61	17588.83	32785.11	14.74	0.28	19318.59	16229.09	10415.75
8/2/2009 16:03	19058.13	15847.75	30336.13	15.98	0.25	17355.98	14580.35	8241.23

ตารางผนวกที่ 5 ค่า PSL จากการวัดไอโอคีน -131 สำหรับการตรวจการรั่วไหล

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

				COAL OF ALL				
ວັນແລະເວລາ		Total PSL		(ເວລາ)	Decay	Calcul	ate PSL* Decay ca	lculate
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	วัน	calculate	ตัวที่ 1	ตัวที่ 2	ตัวที่ 3
19/2/2009 10:52	16157.91	13642.56	25443.02	16.76	0.23	16219.17	13625.35	7126.16
21/2/2009 13:56	14780.93	12244.48	22585.14	18.89	0.20	13494.90	11336.75	4972.84
22/2/2009 15:37	13978.74	11601.08	21650.08	19.96	0.18	12302.50	10335.04	4024.23
23/2/2009 10:56	12583.49	10562.51	19892.34	20.75	0.17	11496.50	9657.93	3604.89
24/2/2009 11:51	10865.10	9250.17	16880.82	21.80	0.15	10491.52	8813.68	3022.67
25/2/2009 15:20	10627.54	8737.69	16596.77	22.95	0.14	9502.70	7982.99	2323.31
26/2/2009 11:30	10054.99	8336.59	15482.55	23.79	0.13	8837.03	7423.78	2124.20
27/2/2009 11:43	9122.35	7532.28	14237.65	24.80	0.12	8099.55	6804.24	1816.23
28/2/2009 16:04	7712.47	6315.67	11504.42	25	0.11	7313.31	6143.74	1508.06

* ในการทคลองครั้งนี้เทียบเวลามาตรฐานทุกครั้งที่ตรวจสอบ

	ค่าม	Normallize กิดแบบเชิง	เส้น	ค่า พ	Iormallize คิดแบบกึ่ง-	ลือก
วัน	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
2/4/2552 9:49	1	1	1	0	0	0
2/5/2552 11:30	0.9488	0.9626	0.8518	-0.00526	-0.0381	-0.1605
2/6/2552 12:05	0.8444	0.844	0.8137	-0.17	-0.1696	-0.2062
2/7/2552 10:30	0.8079	0.7832	0.7754	-0.2134	-0.2444	-0.2544
2/8/2552 10:07	0.7339	0.7088	0.6909	-0.3093	-0.3441	-0.3698
2/9/2552 11:04	0.6989	0.6872	0.6585	-0.3583	-0.3751	-0.4179
2/10/2552 10:18	0.6177	0.6287	0.601	-0.4818	-0.4641	-0.5091
2/11/2552 10:27	0.5656	0.5524	0.5372	-0.5699	-0.5934	-0.6213
2/12/2552 13:44	0.5324	0.5263	0.5136	-0.6305	-0.6419	-0.6663
13/2/2552 13:44	0.4701	0.4592	0.4355	-0.7548	-0.7782	-0.8312
14/2/2552 11:40	0.4515	0.4378	0.4291	-0.7952	-0.826	-0.846
15/2/2552 10:03	0.4166	0.4077	0.3982	-0.8756	-0.8971	-0.9208
16/2/2552 13:55	0.3778	0.3788	0.3731	-0.9735	-0.9707	-0.9858
17/2/2552 10:18	0.3389	0.3391	0.3286	-1.082	-1.0816	-1.1128
18/2/2552 16:03	0.3067	0.3055	0.3041	-1.1817	-1.1858	-1.1905
19/2/2552 10:52	0.26	0.263	0.255	-1.3468	-1.3357	-1.3664

ตารางผนวกที่ 6 การคิด Normallize ผลการทดลองแบบเชิงเส้นและแบบกึ่งล็อก สำหรับการคำนวณค่าครึ่งชีวิต

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

	ค่าม	Normallize กิดแบบเชิง	แส้น	ค่า พ	ค่า Normallize คิคแบบกึ่ง-ล๊อก		
วัน	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	
21/2/2552 13:56	0.2379	0.236	0.2264	-1.4359	-1.4438	-1.4855	
22/2/2552 15:37	0.225	0.2236	0.217	-1.4917	-1.4978	-1.5278	
23/2/2552 15:37	0.2025	0.2036	0.1993	-1.5969	-1.5916	-1.6125	
24/2/2552 11:51	0.1749	0.1783	0.1692	-1.7437	-1.7242	-1.7766	
25/2/2552 15:20	0.1711	0.1684	0.1664	-1.7658	-1.7812	-1.7936	
26/2/2552 11:30	0.1618	0.1607	0.1552	-1.8212	-1.8282	-1.8631	
27/2/2552 11:43	0.1468	0.1452	0.1427	-1.919	-1.9297	-1.947	
28/2/2552 16:04	0.1241	0.1217	0.1153	-2.0864	-2.1058	-2.1601	



92

พลังงาน	ชนิด	ถำดับ	Gross	Base	Net	CPS	% abundance	น้ำหนัก	ประสิทธิ	กัมมันต	กัมมันต
(KeV)	นิวไคลด์	ตัวอย่าง	counts	photopeak	counts	(อัตรานับ		(mg)	ภาพการวัด	ภาพ	ภาพ
			(จำนวนนับ)	(ຈຳນວນນັບ)	(ຈຳนวนนับ)	/ວີนาที)				รังสี	รังสี
										(Bq)	(Bq)
				A low						21/07/52	21/08/52
30.02	Ba-133	1	150308	17696	132612	48.983	0.628	1.559	0.0196	1554	1542
		2	384704	41823	342881	18.945	0.628	4.362	0.0197	4329	4305
		11	821649	75522	746127	106.590	0.628	8.704	0.0214	8695	8647
		14	1863522	1702171	1702171	243.167	0.628	21.479	0.0198	21423	21304
		20	501938	456130	456130	65.161	0.628	5.789	0.0197	5772	5740
81.00	Ba-133	1	45524	11949	33575	4.796	0.329	1.559	0.0095	1554	1542
		2	141989	11656	130333	18.619	0.329	4.362	0.0143	4329	4305
		11	270924	17584	253340	36.191	0.329	8.704	0.0138	8695	8647
		14	665973	37456	628517	89.788	0.329	21.479	0.0139	21423	21304
		20	183047	23628	159419	22.774	0.329	5.789	0.0131	5772	5740
276.40	Ba-133	1	2128	474	1654	0.236	0.0716	1.559	0.0021	1554	1542
		2	5854	1040	4814	0.688	0.0716	4.362	0.0024	4329	4305
		11	10824	1184	9640	1.377	0.0716	8.704	0.0024	8695	8647

ตารางผนวกที่ 7 แสดงค่าพถังงานและค่าประสิทธิภาพการวัดของสารรังสีมาตรฐานแบเรียม -133 ชนิดวงแหวน

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษยรศาสยร์

ตารางผนา	อกที่ 7 (ต่อ))									
พลังงาน	ชนิด	ถำดับ	Gross	Base	Net	CPS	% abundance	น้ำหนัก	ประสิทธิ	กัมมันต	กัมมันต
(KeV)	นิวไดลด์	ตัวอย่าง	counts	photopeak	counts	(อัตรานับ		(mg)	ภาพการวัด	ภาพ	ภาพ
			(จำนวนนับ)	(ຈຳນວນນັບ)	(จำนวนนับ)	/วินาที)				รังสี	รังสี
										(Bq)	(Bq)
				A Bas						21/07/52	21/08/52
		14	26280	1920	24360	3.480	0.0716	21.479	0.0025	21423	21304
		20	7402	904	6498	0.9282	0.0716	5.786	0.0025	5772	5740
302.85	Ba-133	1	4231	473	3758	0.5369	0.1834	1.559	0.0019	1554	1542
		2	11610	821	10789	1.5413	0.1834	4.362	0.0021	4329	4305
		11	22182	1120	21062	3.0089	0.1834	8.704	0.0021	8695	8647
		14	55048	1909	53139	7.5913	0.1834	21.479	0.0021	21423	21304
		20	15058	1163	13895	1.9850	0.1834	5.789	0.0021	5772	5740
356.01	Ba-133	1	9775	410	9365	1.3379	0.6205	1.559	0.0014	1554	1542
		2	26964	4192	22772	3.2531	0.6205	4.362	0.0013	4329	4305
		11	53810	878	52932	7.5617	0.6205	8.704	0.0015	8695	8647
		14	132662	13528	119134	17.0191	0.6205	21.479	0.0014	21423	21304
		20	35668	3472	32196	4.5994	0.6205	5.789	0.0013	5772	5740

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)											
พลังงาน	ชนิด	ลำคับ	Gross	Base	Net	CPS	% abundance	น้ำหนัก	ประสิทธิ	กัมมันต	กัมมันต
(KeV)	นิวไคลด์	ตัวอย่าง	counts	photopeak	counts	(อัตรานับ		(mg)	ภาพการวัด	ภาพ	ภาพ
			(จำนวนนับ)	(ຈຳນວນນັ້ນ)	(จำนวนนับ)	/วินาที)				รังสี	รังสี
										(Bq)	(Bq)
				1 A Base				-		21/07/52	21/08/52
383.85	Ba-133	1	1485	278	1207	0.1724	0.0894	1.559	0.0013	1554	1542
		2	3743	840	2903	0.4147	0.0894	4.362	0.0012	4329	4305
		11	7166	407	6759	0.9656	0.0894	8.704	0.0014	8695	8647
		14	17285	3576	13709	1.9584	0.0894	21.479	0.0011	21423	21304
		20	4783	1296	3487	0.4981	0.0894	5.786	0.0011	5772	5740



พลังงาน	ชนิด	ถำดับ	Gross	Base	Net	CPS	% abundance	น้ำหนัก	ประสิทธิ	กัมมันต	กัมมันต
(KeV)	นิวไดลด์	ตัวอย่าง	counts	Photopeak	counts	(อัตรานับ/วินาที)		(mg)	ภาพ	ภาพ	ภาพ
			(จำนวนนับ)	(จำนวนนับ)	(จำนวนนับ)				การวัด	รังสี	รังสี
										(Bq)	(Bq)
										21/07/52	21/08/52
30.92	Ba-133	1	358411	59136	299275	42.7536	0.628	3.156	0.00854	3152.844	3143.208
		3	455640	75768	379872	54.2674	0.628	3.974	0.00861	3970.026	3957.893
		7	313088	55176	257912	36.8446	0.628	2.946	0.00789	2943.054	2934.059
		9	242371	43736	198635	28.3764	0.628	2.189	0.00817	2186.811	2180.128
		10	403913	69872	334041	47.7201	0.628	3.620	0.00831	3616.380	3605.328
81.00	Ba-133	1	106266	10608	95658	13.6654	0.329	3.156	0.00143	3152.844	3143.208
		3	134830	10968	123862	17.6946	0.329	3.974	0.00147	3970.026	3957.893
		7	92615	9520	83095	11.8707	0.329	2.946	0.00133	2943.054	2934.059
		9	73803	9104	64699	9.2427	0.329	2.189	0.00139	2186.811	2180.128
		10	120777	11072	109705	15.6721	0.329	3.620	0.00143	3616.380	3605.328
276.40	Ba-133	1	4446	944	3502	0.5003	0.0716	3.156	0.00001	3152.844	3143.208
		3	5573	992	4581	0.6544	0.0716	3.974	0.00001	3970.026	3957.893
		7	3822	880	2942	0.4203	0.0716	2.946	0.00001	2943.054	2934.059

ตารางผนวกที่ 8 แสดงก่าพถังงานและก่าประสิทธิภาพการวัดของสารรังสีมาตรฐานแบเรียม -133 ชนิดหลุมอะกริลิก

ลิบสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเทษกรราสกร์

ตารางผนา	วกที่ 8 (ต่อ)									
พลังงาน	ชนิด	ถำคับ	Gross	Base	Net	CPS	% abundance	น้ำหนัก	ประสิทธิ	ก้มมันต	กัมมันต
(KeV)	นิวไคลด์	ตัวอย่าง	counts	Photopeak	counts	(อัตรานับ/วินาที)		(mg)	ภาพ	ภาพ	ภาพ
			(จำนวนนับ)	(จำนวนนับ)	(ຈຳນວນນັບ)				การวัด	รังสี	รังสี
										(Bq)	(Bq)
				and the second		1 9 10				21/07/52	21/08/52
		9	3270	928	2342	0.3346	0.0716	2.189	0.00001	2186.811	2180.128
		10	5116	912	4204	0.6006	0.0716	3.620	0.00001	3616.380	3605.328
302.85	Ba-133	1	8695	917	7778	1.1111	0.1834	3.156	0.00006	3152.844	3143.208
		3	11099	832	10267	1.4667	0.1834	3.974	0.00007	3970.026	3957.893
		7	7710	800	6910	0.9871	0.1834	2.946	0.00006	2943.054	2934.059
		9	6229	1067	5162	0.7374	0.1834	2.189	0.00006	2186.811	2180.128
		10	10048	853	9195	1.3136	0.1834	3.620	0.00007	3616.380	3605.328
356.01	Ba-133	1	20662	757	19905	2.8436	0.6205	3.156	0.00056	3152.844	3143.208
		3	26110	675	25435	3.6336	0.6205	3.974	0.00056	3970.026	3957.893
		7	18017	521	17496	2.4994	0.6205	2.946	0.00052	2943.054	2934.059
		9	14320	592	13728	1.9611	0.6205	2.189	0.00055	2186.811	2180.128
		10	238220	604	23216	3.3166	0.6205	3.620	0.00057	3616.380	3605.328
ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

พลังงาน	ชนิด	ถำคับ	Gross	Base	Net	CPS	% abundance	น้ำหนัก	ประสิทธิ	กัมมันต	กัมมันต
(KeV)	นิวไคลด์	ตัวอย่าง	counts	Photopeak	counts	(อัตรานับ/วินาที)		(mg)	ภาพ	ภาพ	ภาพ
			(จำนวนนับ)	(จำนวนนับ)	(จำนวนนับ)				การวัด	รังสี	รังสี
										(Bq)	(Bq)
				A Base		1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1				21/07/52	21/08/52
383.85	Ba-133	1	3222	849	2373	0.3390	0.0894	3.156	0.000009	3152.844	3143.208
		3	3848	1050	2798	0.3980	0.0894	3.974	0.000009	3970.026	3957.893
		7	2695	771	1924	0.2749	0.0894	2.946	0.000008	2943.054	2934.059
		9	2210	681	1529	0.2184	0.0894	2.189	0.000009	2186.811	2180.128
		10	3468	1016	2452	0.3503	0.0894	3.620	0.000009	3616.380	3605.328





ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นางสาววิชชุตา ประดิษฐ์ เกิดวันที่ 19 สิงหาคม 2527 สถานที่เกิด อำเภอเทพา จังหวัดสงขลา ประวัติการศึกษา วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยทักษิณ ตำแหน่งปัจจุบัน นักศึกษาปริญญาโท สถานที่ทำงานปัจจุบัน ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ งานวิจัยการควบคุมคุณภาพการผลิตต้นกำเนิดรังสี มาตรฐาน ทุนการศึกษาที่ได้รับ ได้รับทุนสนับสนุนการผลิตบัณฑิตวิจัยและพัฒนาด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

100

