

การออกแบบและสร้างกำบังรังสีสำหรับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาโดยใช้น้ำ



นายวุฒิเดช ธรฤทธิ

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A RADIATION SHIELD FOR GAMMA-RAY
SPECTROMETRY SYSTEM BY USING WATER



MR. WUTHIDAJ THORARITH

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2010

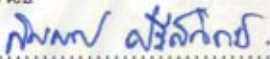
Copyright of Chulalongkorn University

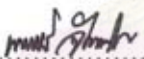
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างกำบังรังสีสำหรับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาโดยใช้น้ำ
โดย	นาย วุฒิเดช ธรรมฤทธิ์
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. อุดร ยิ่งช่วย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....  คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนिरองศ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. อุดร ยิ่งช่วย)

.....  กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรวรรพ ภัทรสุมันต์)

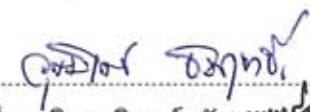
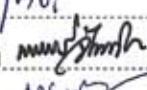
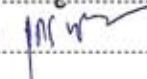
.....  กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

วุฒิเดช ธรฤทธิ์: การออกแบบและสร้างกำบังรังสีสำหรับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาโดยใช้น้ำ (DESIGN AND CONSTRUCTION OF A RADIATION SHIELD FOR GAMMA-RAY SPECTROMETRY SYSTEM BY USING WATER) อ. ที่ปรึกษา
 วิทยานิพนธ์หลัก: รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. อุดร ยิ่งช่วย,
 127 หน้า.

การวิจัยนี้ได้ศึกษากัมมันตภาพรังสีเจือปนในน้ำจากแหล่งต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เป็นกำบังรังสี ได้แก่ น้ำคลอง น้ำกรอง น้ำประปา น้ำดื่ม น้ำกลั่น และน้ำจากสระในแหล่งบริเวณใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการ โดยบรรจุตัวอย่างน้ำลงในบีกเกอร์แบบมารินอลลี ขนาด 1 ลิตร เพื่อทำการตรวจวิเคราะห์รังสีแกมมาโดยใช้หัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ ที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 20% โดยพบว่าค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วงระหว่าง $0 - 5.56 \pm 0.89$, $0 - 0.40 \pm 0.07$, $0 - 0.07 \pm 0.08$, $0 - 0.37 \pm 0.10$ และ $0 - 7.94 \pm 0.91$ Bq/kg สำหรับ ^{226}Ra , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{214}Bi และ ^{40}K ตามลำดับ ซึ่งนับว่ามีปริมาณที่ต่ำทั้งหมด จึงได้เลือกใช้น้ำประปา เป็นกำบังรังสี เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายและราคาถูก

ต่อมาได้นำน้ำประปามาทดลองใช้เป็นกำบังรังสีโดยบรรจุใส่ภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 1.08 ม. x 1.23 ม. x 0.15 ม. วางล้อมรอบหัววัดรังสีที่มีกำบังรังสีตะกั่วที่มีอยู่เดิม โดยใช้เวลาในการวัดรังสี 80,000 วินาที เพื่อเปรียบเทียบค่าแบคกราวด์เมื่อมีกับไม่มีถังน้ำ ผลการวิจัยพบว่าค่าอัตรานับรังสีสุทธิที่แต่ละพีคพลังงานลดลงเมื่อมีถังน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าอัตรานับรังสีบริเวณที่ไม่มีพีคพลังงานลดลงด้วย ซึ่งทำให้ค่าสถิติในการคำนวณอัตรานับรังสีสุทธิของพีคพลังงานต่าง ๆ ดีขึ้น จากนั้นได้นำภาชนะพลาสติกใส่น้ำประปาไปวางบริเวณพื้นด้านล่างของหัววัดรังสี ซึ่งพบว่าสามารถลดแบคกราวด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพีครังสีแกมมาพลังงาน 1.46 MeV จาก ^{40}K ซึ่งมีอยู่ในพื้นดินและพื้นคอนกรีต ในขั้นสุดท้ายได้ออกแบบและสร้างภาชนะบรรจุน้ำประปาเพื่อให้เสริมกำบังรังสีตะกั่วที่มีอยู่เดิม ซึ่งสามารถลดค่าแบคกราวด์ในช่วงพลังงานต่างๆได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเทคโนโลยี.....	ลายมือชื่อนิสิต 
สาขาวิชา วิศวกรรมเทคโนโลยี.....	ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก 
ปีการศึกษา 2553.....	ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม 

5070620021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : HPGe Detector / Gamma-ray / Specific Activity / Shield

WUTHIDAJ THORARITH: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A RADIATION SHIELD FOR GAMMA-RAY SPECTROMETRY SYSTEM BY USING WATER.

ADVISOR: ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, CO-ADVISOR: UDORN YOUNGCHUAY, D.Sc, 127 pp.

The study was to investigate the suitable water types on secondary radiation shielding. Six different water types have been analyzed for the activity concentration of the natural radionuclides, Using HPGe detector with a relative efficiency of 20%, the activity in water samples was measured. The specific activity concentration for ²²⁶Ra, ²¹²Pb, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi and ⁴⁰K varies from 0 to 5.56 ± 0.89, 0 to 0.40 ± 0.07, 0 to 0.07 ± 0.08, 0 to 0.37 ± 0.10 and 0 to 7.94 ± 0.91 Bq.Kg⁻¹, respectively in various water types studied in the present work. In all the samples, respectively were found at trace level. However, tap water was selected as its availability and low cost.

In the experiments, four rectangular stainless steel containers with dimension of 1.08 m x 1.23 m x 0.15 m filled and non-filled with tap water were mounted around the lead shield HPGe detector. The backgrounds with filled and non-filled tap water were counted for a period of 80,000 seconds. The results indicated that stainless steel containers filled with tap water reduced background counts statistically. A reduction of net peak area and net area uncertainty were obtained. A multilayered shield of tap water filled polyethylene containers placed in the detector housing was created in order to limit the background count from building construction materials. The counts showed dramatically decreased. It was found that the polyethylene containers plus the stainless steel containers were significantly lower background count particularly from ⁴⁰K (Energy 1.46 MeV). Tap water yields a satisfactory result for the construction of efficient multilayer secondary shields.

Department : Nuclear Technology.....
Field of Study : Nuclear Technology.....
Academic Year : 2010.....

Student's Signature *Wuthidaj Thorarith*
Advisor's Signature *Nares Chankow*
Co-advisor's Signature *U. Youngchuy*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้ความรู้ ให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งได้รับการแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนการแก้ปัญหาทำให้งานวิจัยสำเร็จได้โดยดีจาก รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร. อุดร ยังช่วย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการ คณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรอง ศาสตราจารย์ชยากริต ศิริอุปลักษณ์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ขอขอบคุณ คุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ ลี ที่ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ เครื่องมือสำหรับการทดลอง ผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณอัศวรภูมิ สว่างคำ ที่ช่วยออกแบบวัสดุสำหรับบรรจุน้ำเป็นกำบังรังสี และ ขอขอบคุณ คุณวิทยา แสนสิทธิเวช ที่ได้กรุณาช่วยเขียนแบบวัสดุสำหรับบรรจุน้ำเป็นกำบังรังสี ใน การทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณกนกพร ธรรมฤทธิ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องการแนะนำ จนวนงานวิจัย สำเร็จได้

ขอขอบคุณ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้กรุณาเงินทุนอุดหนุนในการทำ วิทยานิพนธ์ จนวนงานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ ถ้าปราศจากกำลังใจที่ สำคัญจากพี่ น้อง ญาติ และเพื่อน ที่ให้การช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2. ทฤษฎี.....	6
2.1 แหล่งกำเนิดของแบคทีเรีย.....	6
2.2 ไอโซโทปแกมมา.....	13
2.3 รังสีแกมมา.....	16
2.4 การป้องกันแบคทีเรียโดยใช้กำบังรังสี.....	19
2.5 ระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา.....	25
2.6 การวัดรังสีแกมมาสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ.....	28
3. วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	29
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	30
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40
4. ผลการวิจัย.....	45

บทที่	หน้า
4.1 การเปรียบเทียบพลังงาน.....	45
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ.....	47
4.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของน้ำชนิดต่างๆ.....	52
4.4 การทดสอบความสามารถในการกำจัดรังสี.....	57
4.5 ศึกษาและการออกแบบใช้น้ำกำจัดรังสีแทนตะกั่ว.....	75
5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	99
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	99
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	100
5.3 การใช้ตะกั่วกำจัดรังสีกับการใช้น้ำกำจัดรังสีสำหรับระบบวิเคราะห์ สเปกตรัมของรังสีแกมมาแบบคร่าวๆ.....	102
รายการอ้างอิง.....	103
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก น้ำ.....	106
ภาคผนวก ข พลาสติก.....	109
ภาคผนวก ค อะลูมิเนียม.....	111
ภาคผนวก ง ตะกั่ว.....	113
ภาคผนวก จ Certificate Multinuclides Standard.....	115
ภาคผนวก ฉ ค่าขีดจำกัดของการวัด (Lower Limits of Detection)	117
ภาคผนวก ช ค่าขีดจำกัดของการวัด (Minimum Detectable Concentration)	119
ภาคผนวก ซ แสดงตัวอย่างการคำนวณความแรงรังสีจำเพาะของ K-40 ในตัวอย่าง.....	121
ภาคผนวก ฌ แสดงตัวอย่างการคำนวณความหนาของน้ำที่ใช้กำจัดรังสี	124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	127

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การสลายตัวและพลังงานรังสีแกมมาของไอโซโทปในอนุกรมยูเรเนียม.....	8
2.2	การสลายตัวและพลังงานรังสีแกมมาของไอโซโทปในอนุกรมทอเรียม.....	10
2.3	Dose Buildup Factors สำหรับรังสีแกมมา.....	24
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของนิวไคลด์กับค่าของพลังงาน (keV).....	45
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกับช่องสัญญาณ.....	46
4.3	ค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสี และค่ากัมมันตภาพรังสีของสารมาตรฐาน ณ เวลาปัจจุบัน (วันที่มีการทำ Efficiency Calibration).....	48
4.4	ค่า Efficiency ของแต่ละพลังงานที่จะใช้หาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี.....	49
4.5	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่พบในตัวอย่งน้ำชนิดต่างๆ.....	53
4.6	ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่หัววัดสามารถวัดได้สำหรับตัวอย่างน้ำ.....	54
4.7	เปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของการวัดนิวไคลด์กัมมันตรังสี ก่อนและหลังมีกำบังรังสีเสริม ที่พลังงานต่างๆ ในตัวอย่างน้ำ.....	56
4.8	จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty ค่า continuum counts ของแบคกราวด์เมื่อมีกำบังรังสีตะกั่ว.....	57
4.9	จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty ค่า continuum counts ของแบคกราวด์กำบังรังสีตะกั่ว มีถึงน้ำเสริมด้านนอก.....	58
4.10	จำนวนนับรังสีสุทธิ ของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วเมื่อมีถึงน้ำเสริม.....	59
4.11	จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty ค่า continuum counts ของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว มีถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรอบบริเวณหัววัด..	60
4.12	ผลการเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิ ของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงน้ำมีถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรอบบริเวณหัววัด..	61
4.13	จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty ค่า continuum counts ของแบคกราวด์กำบังรังสีตะกั่ว มีถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรอบบริเวณหัววัดไม่มีทองแดง.....	62

ตารางที่	หน้า
4.14	จำนวนนับรังสีสุทธิ ของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ มีแผ่นตะกั่วรองบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง..... 62
4.15	จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty ค่า continuum counts ของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว มีถึงน้ำพลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก..... 63
4.16	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสี ตะกั่วมีถึงน้ำพลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก..... 64
4.17	จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty ค่า continuum counts ของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว มีถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก มีน้ำบนกำบังรังสีตะกั่ว..... 65
4.18	จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่วกับแบคกราวด์กำบังรังสี ตะกั่วเสริมด้วยน้ำประปา..... 66
4.19	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับ หลังมีกำบังรังสีด้วยถึงน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)..... 67
4.20	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับ หลังมีกำบังรังสีด้วยถึงน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)..... 68
4.21	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับ หลังมีกำบังรังสีด้วยถึงน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)..... 69
4.22	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับ หลังมีกำบังรังสีด้วยถึงน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)..... 70
4.23	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับ หลังมีกำบังรังสีด้วยถึงน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)..... 71
4.24	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับ หลังมีกำบังรังสีด้วยถึงน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)..... 72
4.25	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับ หลังมีกำบังรังสีด้วยถึงน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)..... 73
4.26	จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ถึงพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที..... 76

ตารางที่	หน้า
4.27 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	77
4.28 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	79
4.29 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	80
4.30 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	81
4.31 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	82
4.32 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	83
4.33 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	84
4.34 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	85
4.35 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียที่ตายแล้วในน้ำที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับ วัด 4,000 วินาที.....	86

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนผังการสลายตัวของโพแทสเซียม-40.....	7
2.2	อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม.....	7
2.3	อนุกรมการสลายตัวของทอเรียม.....	9
2.4	เส้นทางการได้รับรังสีของมนุษย์จากนิวไคลด์กัมมันตรังสีจากฝุ่นละอองที่อยู่ใน บรรยากาศ.....	11
2.5	การเกิดปฏิกิริยาฟิโตอิเล็กทริก.....	17
2.6	การเกิดปฏิกิริยาการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน.....	18
2.7	การเกิดปฏิกิริยาแพร์โปรดักชัน.....	19
2.8	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของตะกั่ว	22
2.9	ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของน้ำ	23
2.10	แผนผังระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา.....	25
2.11	แสดงการทำงานของวงจรวเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว (SCA).....	27
3.1	เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข (Digital Spectrum Analyzer: DSA).....	31
3.2	แผนผังของระบบการวัด การแปลความหมาย และการแสดงผล.....	31
3.3	ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์.....	32
3.4	หัววัดรังสีแบบ Coaxial HPGe.....	33
3.5	หัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์พร้อมกำบังรังสีทำจากตะกั่ว.....	33
3.6	โปรแกรม Genie-2000 สำหรับตรวจวัดวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมา.....	34
3.7	หัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ กำบังรังสีทำจากตะกั่ว	34
3.8	กำบังรังสีทำจากตะกั่ว และหัววัด HPGe แบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ.....	35
3.9	หัววัดรังสี HPGe ชนิด แบบใช้งานได้ในภาคสนาม.....	35
3.10	เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข CANBERRA (Digital Spectrum Analyzer: DSA 2000).....	35
3.11	ถังพลาสติก 2 ใบ ถังชั้นนอก กับถังชั้นใน.....	36
3.12	แบบถังพลาสติก 2 ใบ ถังชั้นนอก กับถังชั้นใน.....	36
3.13	ปีกเกอร์แบบมาริเนลลี.....	37

ภาพที่	หน้า
3.14	สารกัมมันตภาพรังสีมาตรฐาน..... 37
3.15	ถังบรรจุไนโตรเจนเหลว..... 37
3.16	เครื่องชั่งตวงวัด 3 ตำแหน่ง..... 38
3.17	แผ่นตะกั่วสำหรับรองรับบริเวณ Dewar ของหัววัด..... 38
3.18	ภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำ..... 38
3.19	ตัวอย่างน้ำบรรจุในปิกเกอร์มารินลิต..... 39
3.20	แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม..... 39
3.21	เปรียบเทียบระหว่างทองแดง กับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม..... 39
3.22	โครงร่างสำหรับวาง และภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิม..... 40
3.23	ระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาทำจากตะกั่ว..... 41
3.24	กำบังรังสีตะกั่ว และภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิมบรรจุน้ำเต็ม..... 42
3.25	กำบังรังสีตะกั่ว ภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิม และพลาสติกสำหรับใส่น้ำประปา..... 42
3.26	แบบถังพลาสติก 2 ใบ ถึงชั้นนอก กับถึงชั้นใน..... 43
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรังสีแกมมาทำกับตำแหน่งยอดพีคของ channel.... 46
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดกับพลังงานต่างๆ..... 50
4.3	เปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของการวัดของนิวเคลอิดกัมมันตรังสี ก่อนและหลังมี กำบังรังสีเสริมที่พลังงานต่างๆในตัวอย่างน้ำ..... 56
4.4	จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบบ กราวด์กำบังรังสีทำจากตะกั่ว..... 57
4.5	จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบบ กราวด์กำบังรังสีทำจากตะกั่ว มีถึงน้ำเสริมด้านนอก..... 58
4.6	ผลการเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิของแบบกราวด์ เมื่อมีกำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงน้ำเสริมด้านนอก..... 59
4.7	ผลการเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิของแบบกราวด์ กำบังรังสีตะกั่วมีถึง พลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด..... 60
4.8	การเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิของแบบกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบัง รังสีตะกั่วมีถึงพลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด..... 61
4.9	การเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิของแบบกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบัง รังสีตะกั่วมีถึงพลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับด้านล่าง ไม่มีทองแดง..... 63

ภาพที่	หน้า	
4.10	การเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงพลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองด้านล่าง ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก.....	64
4.11	จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ ของกำบังรังสีตะกั่ว กับแบคกราวด์ของกำบังรังสีตะกั่วเสริมด้วยน้ำประปา.....	66
4.12	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงพลังงาน (keV)	68
4.13	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) ต่อ.....	69
4.14	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) ต่อ.....	70
4.15	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) ต่อ.....	71
4.16	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) ต่อ.....	72
4.17	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) ต่อ.....	73
4.18	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)	74
4.19	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)	74
4.20	สเปกตรัมของแบคกราวด์ของถังพลาสติก 2 ใบ ที่ไม่มีน้ำ.....	75
4.21	สเปกตรัมของแบคกราวด์ของถังพลาสติก 2 ใบ ที่มีน้ำ.....	76
4.22	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ถังพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับมีน้ำใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที.....	77
4.23	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ถังพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับมีน้ำใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที.....	78
4.24	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ถังพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับมีน้ำใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที.....	79

ภาพที่	หน้า
4.25	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ถึงพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับมีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที..... 80
4.26	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ถึงพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับมีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที..... 81
4.27	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ถึงพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับมีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที..... 82
4.28	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ในแต่ละช่วงของ พลังงาน (keV) ต่อ..... 83
4.29	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ในแต่ละช่วงของ พลังงาน (keV) ต่อ..... 84
4.30	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ในแต่ละช่วงของ พลังงาน (keV) ต่อ..... 85
4.31	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ในแต่ละช่วงของ พลังงาน (keV) ต่อ..... 86
4.32	เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ในแต่ละช่วงของ พลังงาน (keV) ต่อ..... 87
4.33	Cover Dimension (Top View) 88
4.34	Cover Dimension (Side View) 88
4.35	Cover Sector Open (Top Plate) 89
4.36	Cover Sector..... 89
4.37	Chamber Dimension (Top View) 90
4.38	Chamber Dimension (Side View) 90
4.39	Chamber Sector (Open Top Plate) 91
4.40	Chamber Sector..... 91
4.41	Cover Assembly..... 92
4.42	Cover Each Layer..... 92

ภาพที่	หน้า
4.43	Cover Assembly Section..... 93
4.44	Cover Assembly Section..... 93
4.45	Chamber Lower Layer..... 94
4.46	Chamber Top Layer..... 94
4.47	Chamber top layer with open sector for sample insert..... 95
4.48	Chamber top layer with open sector at close status..... 95
4.49	Chamber assembly with open sector at open status..... 96
4.50	Chamber assembly with open sector at close status..... 96
4.51	Chamber Assembly Section..... 97
4.52	Chamber Assembly Section..... 97
4.53	Water shield assembly open sector for sample insert..... 98
4.54	Water shield assembly ready to use..... 98
5.1	ฐาน Water shield มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 49.5 ซม. สำหรับรองรับ Dewar Detector ขนาด 30 ลิตร..... 101
5.2	แบบอุปกรณ์สำหรับบรรจุน้ำเพื่อนำมาเป็นกำบังรังสีแทนตะกั่ว..... 101
5.3	ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมามีตะกั่วกำบังรังสี..... 102
5.4	ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมามีน้ำกำบังรังสีแทนตะกั่ว..... 102

บทที่ 1

บทนำ

ในธรรมชาติรอบๆ ตัวเรามีกัมมันตภาพรังสีชนิดต่างๆ ที่ปะปนอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยที่กัมมันตภาพรังสีเหล่านี้ มนุษย์มีโอกาสได้รับอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม ส่วนใหญ่จะเกิดมาจากการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ ที่สำคัญก็คือ โพแทสเซียม-40, ยูเรเนียม-238, ยูเรเนียม-235 และทอเรียม-232 รวมทั้งไอโซโทปต่างๆ ที่มีอยู่ในอนุกรมของยูเรเนียมและทอเรียม นอกจากนี้ยังมีรังสีคอสมิก (Cosmic-rays) ที่มาจากนอกโลก กัมมันตภาพรังสีเหล่านี้มีชื่อรวมเรียกว่า แแบคกราวด์ (Background) ซึ่งมีอิทธิพลต่อการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีที่มีความเข้มต่ำ (Low Level Counting) ตัวอย่าง เช่น การตรวจสอบปริมาณของยูเรเนียมและทอเรียมในหินแกรนิต ซึ่งมีปริมาณเพียงไม่กี่ส่วนในล้านส่วน (ppm) จากตัวอย่างข้างต้น จะเห็นว่าการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีมีโอกาสได้ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง (สำราญ เผือกคง, 2524)

การเปลี่ยนแปลงของแบคกราวด์จากการวัดโดยทั่วไป ค่าแบคกราวด์ควรมีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่นานพอสมควร สำหรับการตรวจวัดรังสีที่มีอัตราการนับ (Count Rate) สูง การเปลี่ยนแปลงของแบคกราวด์ถือว่ามีผลน้อยมากสำหรับการเปลี่ยนแปลงทางสถิติในการวัด จึงวัดแบคกราวด์เพียงครั้งเดียวก็เพียงพอสำหรับการทดลอง แต่ถ้าเป็นการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีความเข้มต่ำ การเปลี่ยนแปลงของแบคกราวด์มีความสำคัญมาก แม้ว่าแบคกราวด์จากห้วงอวกาศและวัสดุข้างเคียงมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่ก็มีค่าความแปรปรวนทางสถิติและความแปรปรวนเนื่องจากความเข้มของรังสีคอสมิก หรือจากฝุ่นละอองกัมมันตภาพรังสี หรือกัมมันตภาพรังสีในอากาศ ซึ่งเป็นผลจากการสลายตัวของ ^{222}Rn (Parthasarathy, 1976) ดังนั้นในการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีความเข้มต่ำ จึงละเลยการเปลี่ยนแปลงของแบคกราวด์ไม่ได้เลย แม้ว่าจะมีค่าเพียงเล็กน้อยก็ตาม การศึกษาหาเทคนิค หรือกรรมวิธีป้องกันการรบกวนของแบคกราวด์ จึงเป็นเรื่องที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก (Stenberg, 1971; Oeschger, 1975) ในปัจจุบันมีระบบการป้องกันการรบกวนของรังสีจากแบคกราวด์หลายระบบด้วยกัน (Knoll, 1979) เช่น

- ระบบการป้องกันโดยกำบังรังสี (Massive Shielding System)
- ระบบการป้องกันโดยวิธีแอนติโคอิตเดนซ์ (Anticoincidence Shielding System) และ
- ระบบการป้องกันโดยวิธีโคอิตเดนซ์ (Coincidence Shielding System) เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาข้อมูลเบื้องต้น เกี่ยวกับระบบการป้องกันการรบกวนของรังสี จากแบคกราวด์ที่มีต่อเครื่องวัดรังสีแกมมา โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้น้ำเป็นกำบังรังสี เนื่องจากน้ำมีราคาถูก หาได้ง่าย แต่น้ำที่นำมาใช้ทำกำบังรังสีต้องได้รับการทดสอบว่าไม่มีสารกัมมันตรังสีเจือปน จนทำให้แบคกราวด์มีค่าสูง อย่างไรก็ตามการใช้น้ำเป็นกำบังรังสีต้องใช้ปริมาณมาก เพราะมีเลขอะตอมเฉลี่ยและค่าความหนาแน่นต่ำ ข้อดีอย่างหนึ่งของการใช้น้ำเป็นกำบังรังสี ก็คือสามารถถ่ายน้ำออกจากภาชนะได้ จึงเคลื่อนย้ายสะดวกหากมีความจำเป็น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยระบบแกมมาสเปกโตรเมตรีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาแบคกราวด์ต่ำในตัวอย่าง ว่ามีนิวไคลด์ชนิดใดปะปนอยู่บ้าง และมีค่ากัมมันตภาพรังสีอยู่ในปริมาณมากน้อยเพียงใดจึงมีความจำเป็นต้องใช้กำบังรังสีเพื่อจะได้ไม่ถูกรบกวนจากรังสีที่มาจากสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันเรานิยมใช้วัสดุที่ทำมาจากตะกั่วเป็นกำบังรังสี แต่เนื่องจากตะกั่วเป็นวัสดุที่มีเลขอะตอมสูง มีน้ำหนักมาก จึงทำให้ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย และมีราคาแพง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกั่วที่ให้ค่าแบคกราวด์ต่ำ (Low Background Lead) ตะกั่วที่นำมาจากบริเวณแหล่งต่างๆ ของทั่วโลก จะมีความบริสุทธิ์ไม่เหมือนกัน ค่าแบคกราวด์ที่วัดได้ จะมีปริมาณของธาตุแต่ละตัวไม่เท่ากัน เป็นแบคกราวด์รวมกันอยู่ในบริเวณหัววัดภายในกำบังรังสี เพราะฉะนั้นถ้าสามารถลดปริมาณของธาตุแต่ละตัวที่เป็นแบคกราวด์ ให้เหลือในปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ ก็จะเป็นผลดีต่อการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาแบคกราวด์ต่ำ ในตัวอย่างด้วยระบบแกมมาสเปกโตรเมตรี

นอกจากการใช้ตะกั่วเป็นกำบังรังสีแล้ว ยังมีการใช้น้ำมาเป็นกำบังรังสีในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้น้ำหล่อเย็นในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ หรือ ใช้น้ำเพื่อเก็บต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงสูงๆ ดังนั้นจึงได้มีการดัดแปลงนำน้ำมาใช้เป็นกำบังรังสีแกมมา ในระบบแกมมาสเปกโตรเมตรี เนื่องจากน้ำเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายจึงไม่มีปัญหาในเรื่องของการขนย้าย และยังสามารถใช้วัสดุในการบรรจุน้ำที่ทำมาจากพลาสติกเป็นชั้นเล็กๆ ที่สามารถนำมาประกอบ เป็นกำบังรังสีแกมมา ที่สามารถถ่ายเทน้ำเข้าออกได้ แต่ก็มีข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก คือไอโซโทปกัมมันตรังสีต่างๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำต้องมีการกำจัดไอโซโทปกัมมันตรังสีต่างๆ เหล่านี้ออกจากน้ำก่อนที่จะนำไปใช้เป็นกำบังรังสี เพื่อป้องกันปัญหาการรบกวนที่มาจากการแผ่รังสีจากไอโซโทปต่างๆ เหล่านี้ ไอโซโทปที่สำคัญได้แก่ ^{226}Ra ซึ่งสลายตัวให้รังสีแกมมา และมีนิวไคลด์ลูกหลายตัวที่สลายตัวให้รังสีแกมมาหลายพลังงาน เช่น ^{214}Bi

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างกำบังรังสีสำหรับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาโดยใช้น้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 คำนวณ ออกแบบ และสร้างกำบังรังสีแกมมาโดยใช้น้ำ

1.3.2 คัดเลือกชนิดของน้ำที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นวัสดุกำบังรังสี หากจำเป็นต้องมีการกำจัดเรเดียมออกจากน้ำ

1.3.3 เปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ที่ได้จากการใช้น้ำ และตะกั่วเป็นกำบังรังสี ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้ ได้แก่ สเปกตรัมของแบคกราวด์ และขีดจำกัดของการวัด

1.4 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

1.4.1 ศึกษา ค้นคว้ารวบรวมข้อมูล และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 นำตัวอย่างน้ำแต่ละชนิดที่จะใช้เป็นกำบังรังสีแกมมา มาวิเคราะห์ด้วยหัววัดรังสี HPGe เพื่อดูไอโซโทปรังสีที่เจือปนในน้ำ ที่จะนำมาใช้เป็นกำบังรังสีแกมมา

1.4.3 ศึกษา และแยกธาตุที่เป็นตัวรบกวนระบบการวัดรังสีแกมมา ออกจากน้ำที่จะใช้เป็นกำบังรังสีแกมมา

1.4.4 นำตัวอย่างน้ำชนิดต่างๆที่แยกธาตุที่เป็นตัวรบกวนระบบการวัดรังสีแกมมาออกแล้ว นำมาใช้เป็นกำบังรังสี มาวิเคราะห์ด้วยหัววัดรังสี HPGe

1.4.4 ออกแบบรูปร่างลักษณะความหนาของวัสดุ ที่จะนำมาใส่ตัวอย่างน้ำที่จะใช้เป็นกำบังรังสีแกมมา

1.4.5 เปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ที่ได้จากการใช้น้ำและตะกั่วเป็นกำบังรังสี

1.4.6 สรุป วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 สามารถลดราคาต้นทุน ที่ใช้ในการทำกำบังรังสีแกมมา และมีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายหัววัดรังสี

1.5.2 ป้องกันการเกิดอันตรายที่ จะเกิดกับกำบังรังสีแกมมา คือ X-Rays ดีกว่าเมื่อใช้ตะกั่วเป็นกำบังรังสี

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. J.-G. Decaillon, M. Bickel, C.Hill, T. Altitzoglou ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาวิธีการใหม่ๆ สำหรับการหาค่าเรเดียมในน้ำและในดิน ปี ค.ศ. 2004 บทความนี้ได้อธิบายถึงข้อดีและข้อเสียของวิธีการวิเคราะห์ต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมต้นกำเนิดรังสีแอลฟา จากผลของการศึกษาในครั้งนี้ ได้มีการเสนอวิธีใหม่ที่ผสมผสานระหว่างการสกัดเชิงพาณิชย์และ Ion Chromatography ก่อนที่จะถึงขั้นตอนการตกตะกอนในครั้งสุดท้าย วิธีนี้ถูกนำไปประยุกต์ใช้กับต้นกำเนิดต่างๆ (ดิน, น้ำ) ที่อยู่ในโครงสร้างของการทำ Intercomparison ระดับนานาชาติ ได้มีการอธิบายถึงวิธีนี้ที่ถูกนำไปรวมกับวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ Actinoids และเรเดียมจากสารละลายเดี่ยว (หรือดินที่ถูกจำแนก) ด้วย

2. Y. Fajardo^a, E. Gomez^a, F. Garcias^b, V. Cerda^a, M. Casas^b ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาขั้นตอนที่เรียกว่า MSFIA-MPFS ซึ่งเป็นกระบวนการขั้นต้นสำหรับการหาเรเดียมในตัวอย่างน้ำ ปี ค.ศ. 2007 ได้มีการพัฒนาวิธีอัตโนมัติใหม่ๆ ในการทำให้เรเดียมที่อยู่ในตัวอย่างน้ำเข้มข้นขึ้นและแยกออก วิธีนี้ได้ผสมผสานเทคนิค MSFIA และ MPFS ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณตัวอย่างที่มากขึ้นด้วยปริมาณที่สูงกว่าวิธีอื่นๆ ที่ผ่านมา เรเดียมที่ดูดซับอยู่บน MnO_2 จะสะสมอยู่บนเส้นใยฝ้าย ซึ่งจะถูกระบายด้วย Hydroxylamine และตกตะกอนด้วย $BaSO_4$ และหาค่ากัมมันตภาพรังสีของเรเดียม-226 โดยใช้ Low Background Proportional Counter จะได้ค่า Yield อยู่ที่ $90 \pm 3\%$ และวัดได้ต่ำกว่า 0.05 Bq/l ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้วิธีนี้ได้ตามชนิดของน้ำที่แตกต่างกัน (น้ำประปา, น้ำแร่ และน้ำทะเล)

3. S. Nour^{a,1}, A. El-sharkawy^b, W.C. Burnett^{a,*}, E.P. Horwitz^c ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาเรเดียม- 228 ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติโดยผ่านความเข้มข้นที่อยู่บน Manganese Dioxide และแยกโดยใช้ Diphonix Ion Exchange Resin ปี ค.ศ. 2004 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือเพื่อ

เป็นการหาวิธีใหม่ในการหาเรเดียม - 228 ในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทำให้เข้มข้นด้วย MnO_2 และ แยกลูกของมันเป็นคือ Ac - 228 โดยการใช้ Diphonix Ion Exchange Resin ลูกตัวแรกของเรเดียม - 228 คือ Ac - 228 จะถูกแยกผ่านทาง Diphonix Column อันที่สอง ใช้เวลามากกว่า 30 ชั่วโมงที่จะทำให้แน่ใจว่า Ac - 228 ที่อยู่ในคอลัมน์นั้นเข้าสู่ภาวะสมดุล ใช้ Ba - 113 เป็น Yield Tracer หาร Ac - 228 จาก Diphonix Resin อันที่สองด้วย HEDPA จากนั้นเติม Scintillation Cocktail แล้วนำไปวัดด้วย LSC อาจเตรียมเรเดียม - 226 และ Ba - 113 จากการ Load สารละลายที่ชะ จาก Diphonix Column ที่สองสำหรับแอลฟา สเปกโตรเมตรี (เพื่อหาเรเดียม - 223, เรเดียม - 224 และเรเดียม - 226) โดยการตกตะกอนของ $BaSO_4$ การทดสอบการชะล้างการปนเปื้อนบ่งชี้ว่า U, Th และ Ra ไม่ได้รบกวนการวัดเหล่านี้ แม้ว่า Sr - 90 จะต้องการมีการเติมสารเพื่อการวัด Ra - 228 แม่นยำขึ้น การเติม Sr ที่เสถียรเป็น Hold Back Carrier ระหว่างขั้นตอนในการทำให้เข้มข้นด้วย MnO_2 แสดงให้เห็นถึงการแยกสิ่งรบกวนของ Sr - 90 ได้มากที่สุด

4. Guogang Jia*, G. Torri, P. Innocenzi, R. Ocone, A. Di Lullo ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาไอโซโทปเรเดียมในน้ำแร่ 12 ตัวอย่างโดยแอลฟาสเปกโตรเมตรี ปี ค.ศ. 2005 วิธีการหา ไอโซโทปเรเดียมปริมาณต่ำ ในตัวอย่างน้ำแร่โดยวิธีแอลฟาสเปกโตรเมตรี โดยใช้ Ra - 225 เป็น Tracer ซึ่งสมดุลกับตัวแม่ซึ่งก็คือ Th - 229 ทำให้เรเดียมในตัวอย่างน้ำเข้มข้นโดยการตกตะกอน ด้วย $BaSO_4$ และ $Fe(OH)_3$ แยกออกจากยูเรเนียม, ทอเรียมและเหล็ก โดยใช้ Micro Tri-octyl-Phosphine Oxide (TOPO) Chromatography Column แยกจากแบเรียมใน Cation-exchange Resin Column จากนั้นใช้กระบวนการ Electrodeposited บนจานสแตนเลสที่มี Oxalate เป็น ตัวกลาง และนับวัดโดยแอลฟาสเปกโตรเมตรี ซึ่งค่า Lower of Detection ของวิธีการนี้มีค่า เท่ากับ 0.12 mBq/L สำหรับ Ra - 226 และ Ra - 224

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี

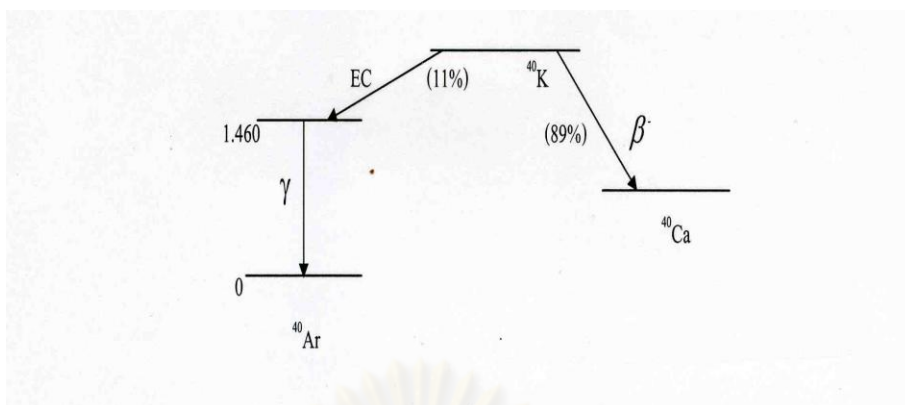
2.1 แหล่งกำเนิดของแบคกราวด์ (Source of Background)

ในการตรวจวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาจากไอโซโทปตัวอย่างที่มีปริมาณรังสีน้อยๆ สเปกตรัมที่ได้จะมีสเปกตรัมของรังสีแกมมาเนื่องจากสิ่งแวดล้อมสอดแทรกอยู่เสมอ จากการศึกษาของ Fink และคณะ (1976) พบว่าสเปกตรัมของรังสีแกมมาเหล่านี้ ซึ่งถือว่าเป็นแบคกราวด์ของการวัดมีแหล่งแตกต่างกัน พอจะแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

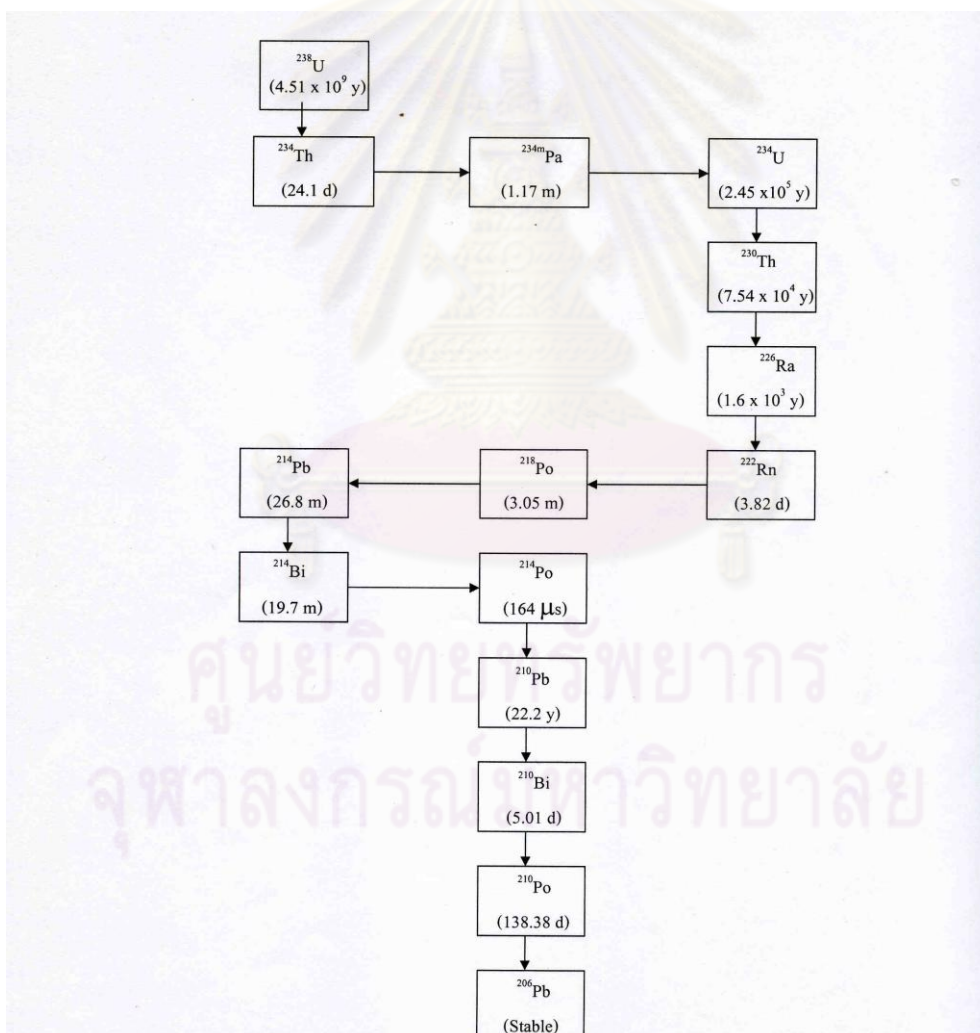
2.1.1 กัมมันตภาพรังสีจากวัสดุโดย ทั่วๆ ไป

แหล่งกำเนิดแบคกราวด์ที่สำคัญได้แก่พวกวัสดุก่อสร้าง วัสดุที่นำมาใช้เป็นกำบังรังสี และธาตุกัมมันตรังสีบนพื้นโลก

กัมมันตภาพรังสีจากวัสดุก่อสร้างเกิดจากการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีในธรรมชาติเช่น โพแทสเซียม, ยูเรเนียม, ทอเรียม และเรเดียม เป็นต้น โพแทสเซียมในธรรมชาติมี ^{40}K ซึ่งเป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีอยู่ 0.012 % และมีครึ่งชีวิต 1.26×10^9 ปี โดยสลายตัวให้รังสีบีตา พลังงาน 1.31 MeV 89% และรังสีแกมมา พลังงาน 1.46 MeV 11% ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า พลังงานของรังสีแกมมา 1.46 MeV จาก ^{40}K จะเป็นแบคกราวด์ที่สำคัญ เพราะโพแทสเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญของคอนกรีต และวัสดุก่อสร้างอื่นๆ สำหรับยูเรเนียมและทอเรียม มีอายุการสลายตัวที่ยาวนานมาก และธาตุที่เกิดจากการสลายตัวก็กลายเป็นไอโซโทปกัมมันตภาพรังสีตัวใหม่ จากการตรวจวัดบนพื้นโลกพบว่า มีแบคกราวด์เนื่องจากรังสีแกมมา กล่าวคือ ในอนุกรมยูเรเนียม ดังรูปที่ 2.2 และตารางที่ 2.1 มี ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi ในอนุกรมของธอเรียม ดังรูปที่ 2.3 และตารางที่ 2.2 มี ^{228}Ac , ^{228}Ra , ^{212}Bi , ^{212}Pb และ ^{208}Tl สำหรับ ^{40}K และ ^{235}U จะพบได้เสมอในสเปกตรัมของรังสีแกมมา สำหรับวัสดุที่เป็นกำบังรังสี ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันรังสีจากแบคกราวด์ ตัวมันเองก็เป็นแหล่งกำเนิดของแบคกราวด์ได้เหมือนกัน เพราะว่าวัสดุโดยทั่วไปนั้น จะมีธาตุโพแทสเซียม ยูเรเนียม และทอเรียม ปะปนอยู่ไม่มากก็น้อย



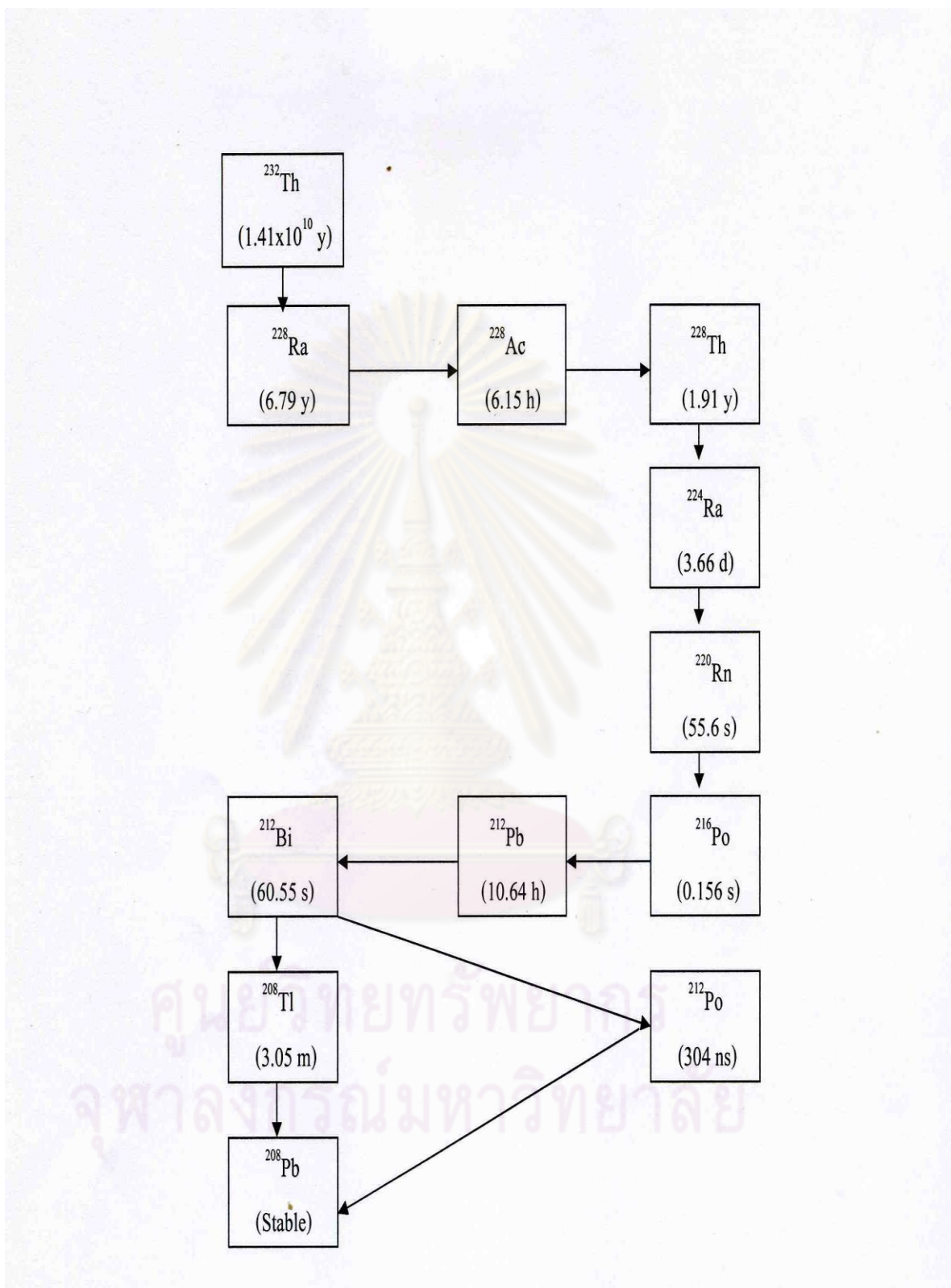
รูปที่ 2.1 แผนผังการสลายตัวของโพแทสเซียม-40 (Knoll, 1999)



รูปที่ 2.2 อนุกรมการสลายตัวของยูเรเนียม (Friedlander, 1981)

ตารางที่ 2.1 การสลายตัวและพลังงานรังสีแกมมาของไอโซโทปในอนุกรมยูเรเนียม
(Friedlander, 1981)

นิวไคลด์	ชนิดของการสลายตัว	ครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมา (Energy (MeV) and Abundance)
^{238}U	α	4.51×10^9 y	
^{234}Th	β	24.1 d	0.063 (4.49%), 0.093 (5.16%)
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	β	1.17 m	0.766 (0.21%), 1.001 (0.59%)
^{234}U	α	2.45×10^5 y	0.053 (0.12%)
^{230}Th	α	7.54×10^4 y	0.068 (0.38%), 0.144 (0.05%)
^{226}Ra	α	1.6×10^3 y	0.186 (0.07%)
^{222}Rn	α	3.82 d	
^{218}Po	α	3.05 m	
^{214}Pb	β	26.8 m	0.242 (7.5%), 0.295 (18.5%), 0.352 (38.5%)
^{214}Bi	β	19.7 m	0.609 (44.81%), 0.768 (4.88%), 0.934 (3.03%), 1.120 (14.8%), 1.239 (5.86%), 1.378 (3.92%), 1.408 (2.48%), 1.730 (2.88%), 1.765 (15.9%), 2.205 (4.86%)
^{214}Po	α	164 μs	
^{210}Pb	β	22.2 y	0.046 (3.6%)
^{210}Bi	β	5.01 d	
^{210}Po	α	138.38 d	0.803 (0.001%)
^{206}Pb	Stable		



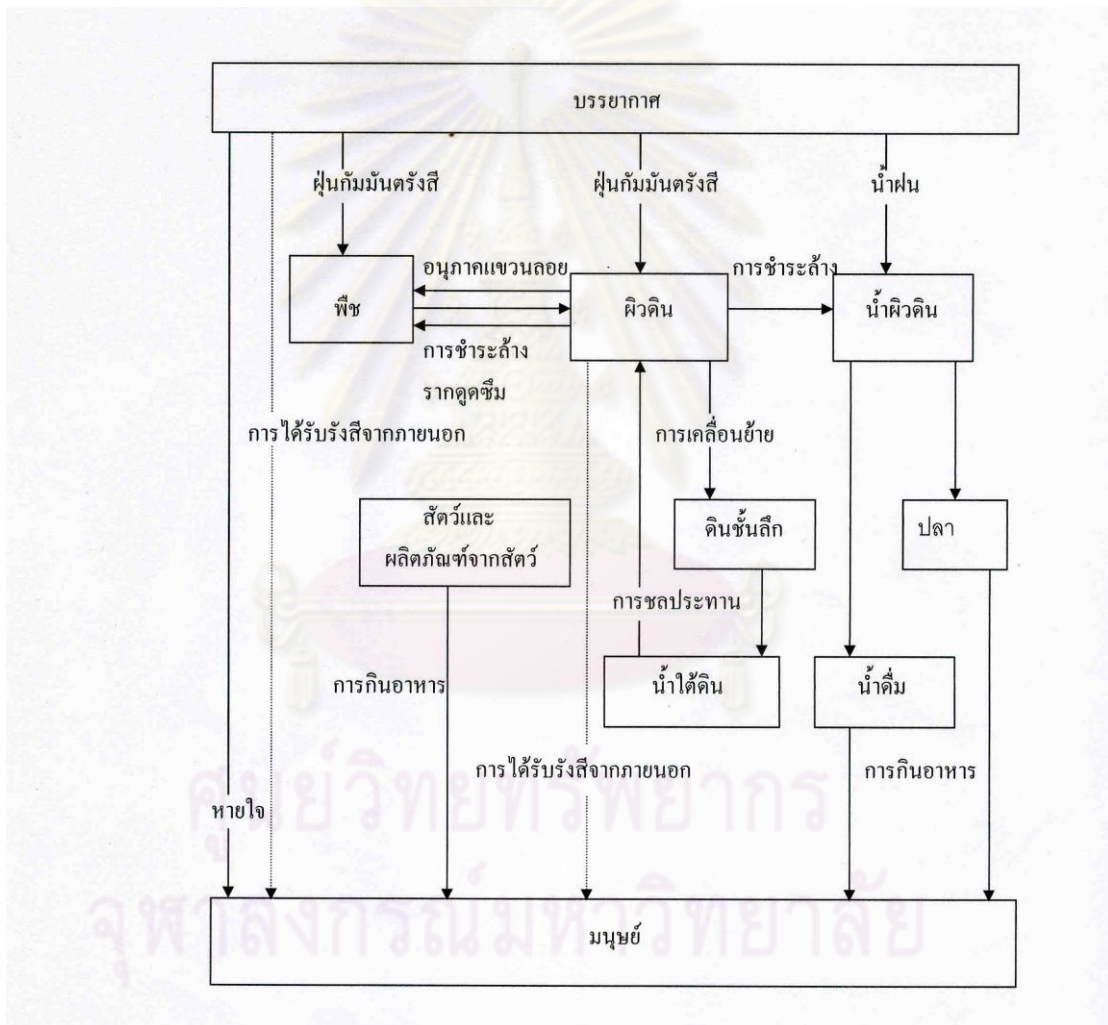
รูปที่ 2.3 อนุกรมการสลายตัวของทอเรียม (Friedlander, 1981)

ตารางที่ 2.2 การสลายตัวและพลังงานรังสีแกมมาของไอโซโทปในอนุกรมทอเรียม
(Friedlander, 1981)

นิวไคลด์	ชนิดของการสลายตัว	ครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมา (Energy (MeV) and Abundance)
^{232}Th	α	1.41×10^{10} y	
^{228}Ra	β	6.79 y	
^{228}Ac	β	6.15 h	0.130 (2.45%), 0.209 (3.88%), 0.270 (3.43%), 0.328 (2.95%), 0.338 (11.3%), 0.463 (4.44%), 0.772 (1.5%), 0.795 (4.34%), 0.836 (1.68%), 0.911 (26.6%), 0.965 (5.11%), 0.969 (16.2%), 1.588 (3.27%), 1.631 (1.6%)
^{228}Th	α	1.91 y	0.084 (1.27%), 0.216 (0.26%)
^{224}Ra	α	3.66 y	0.241 (3.97%)
^{220}Rn	β	55.6 s	0.550 (0.1%)
^{216}Po	α	0.156 s	
^{212}Pb	β	10.64 h	0.239 (43.6%), 0.300 (3.34%)
^{212}Bi	α, β	60.55 s	0.288 (0.31%), 0.453 (0.31%), 0.727 (6.65%), 0.785 (1.11%), 0.893 (0.37%), 1.513 (0.54%), 1.621 (1.51%)
^{212}Po	α	304 ns	
^{208}Tl	β	3.05 m	0.277 (6.31%), 0.511 (22.6%), 0.583 (84.5%), 0.763 (1.81%), 0.861 (12.42%), 2.615 (99.2%)
^{208}Pb	Stable		

2.1.2 กัมมันตภาพรังสีในอากาศ (Air Bones Radioactivity) (IAEA, 1989)

แบคทราวด์ก็อาจเกิดขึ้นเนื่องจากฝุ่นละอองในอากาศ เพราะมีก๊าซที่เป็นกัมมันตรังสีเช่น ^{222}Rn และ ^{220}Rn ซึ่งเป็นผลจากการสลายตัวของยูเรเนียมและทอเรียม พวกนี้จะอยู่ในอากาศ, ดิน, วัสดุก่อสร้างในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้ยังมีฝุ่นละอองกัมมันตภาพรังสีจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์ และอุบัติเหตุจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ที่พบได้เสมอในสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากแบคทราวด์ เช่น ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{106}Ru และ ^{144}Ce เป็นต้น



รูปที่ 2.4 เส้นทางการได้รับรังสีของมนุษย์จากไอโซโทปกัมมันตรังสีจากฝุ่นละอองที่อยู่ในบรรยากาศ

ไอโซโทปกัมมันตรังสี สามารถเคลื่อนย้ายมาอยู่ในน้ำได้หลายวิธี เช่น ตกลงมาจากชั้นบรรยากาศ หรือเกิดจากการที่หิน หรือดินเกิดการผุกร่อน ดังรูปที่ 2.4 ทำให้ไอโซโทปกัมมันตรังสีที่อยู่ในหิน หรือดินนั้นไหลซึมออกมา และละลายปนอยู่ในน้ำ หรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทำเหมืองแร่ เป็นต้น บางส่วนของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่มีในน้ำใต้ดิน หรือน้ำผิวดิน จะเกิดการเคลื่อนย้ายโดยการพาของกระแสน้ำ และอาจตกตะกอนบนดิน หรือหินบริเวณนั้นๆ และที่สำคัญ คือไอโซโทปกัมมันตรังสีที่สามารถละลายน้ำได้ จะละลายเป็นไอโซโทปละลายอยู่ในน้ำ เมื่อกระแสน้ำเกิดการเคลื่อนที่ ไอโซโทปกัมมันตรังสีเหล่านี้ก็จะเกาะติดกับดินหรือหิน ที่กระแสน้ำนั้นไหลผ่าน (บลูตัน เตาวะโต, 2546)

2.1.3 รังสีคอสมิก (Cosmic Radiation)

รังสีคอสมิกเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของแบคกราวด์ เพราะว่ารังสีชนิดนี้มีพลังงานสูงมาก จึงมีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง สามารถทะลุทะลวงผ่านแผ่นวัสดุชนิดต่างๆ ที่มีความหนาไม่กี่ฟุตได้ นอกจากนี้แล้วในขณะที่รังสีคอสมิก เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ก็จะทำอันตรกิริยากับโมเลกุลของอากาศ เกิดเป็นอนุภาคที่มีมวลมาก (Heavy Ion) หรืออนุภาคที่มีประจุ (Charged Particles) ที่มีพลังงานสูงมาก เช่น โพซอน, มิวออน, อิเล็กตรอน, โปรตอน, นิวตรอน และแกมมา ซึ่งอนุภาคเหล่านี้มีชื่อรวมเรียกกันว่า Secondary Radiation ของรังสีคอสมิกมีพลังงานอยู่ในช่วง MeV และเป็นแบคกราวด์ที่สำคัญของการตรวจวัดค่ากัมมันตภาพรังสีโดยทั่วไป ตัวอย่างเช่น รังสีแกมมาซึ่งเป็นผลจากอันตรกิริยาของรังสีคอสมิก จะทำอันตรกิริยากับธาตุไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศชั้นบน เกิดเป็น ^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{22}N รวมทั้งไอโซโทปกัมมันตรังสีอื่นอีกมากมาย

เนื่องจากอนุภาคที่เกิดจากอันตรกิริยาของรังสีคอสมิก มีพลังงานสูงมากก็จะมีผลน้อยต่อหัววัดรังสีที่บางๆ แต่ถ้าเป็นหัววัดรังสีหนา เช่น NaI(Tl), Ge(Li) จะทำให้เกิดพัลส์ (Pulse) ขนาดโตกว่าสัญญาณธรรมชาติได้ การป้องกันแบคกราวด์ที่มีผลมาจากรังสีคอสมิกก็คือ ใช้กำบังรังสีให้อยู่เหนือหัววัด (อนุภาคที่เกิดจากอันตรกิริยาของรังสีคอสมิก มีทิศทางดิ่งลงสู่ผิวโลก) สำหรับนิวตรอนพลังงานสูง (Fast Neutron) ที่เกิดจากอันตรกิริยาของรังสีคอสมิก ก็สามารถทำให้เกิดรังสีแกมมาที่กำบังรังสีได้เหมือนกัน เมื่อนิวตรอนถูกจับไว้โดยกำบังรังสี ที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ

ค่าของแบคกราวด์ที่กล่าวถึงจากแหล่งต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นมีส่วนเกี่ยวข้องในการวัดรังสีแกมมาคือ เมื่อไม่มีกำบังรังสี แบคกราวด์จากรังสีคอสมิกจะมีส่วนสำคัญ กรณีเมื่อมี

กำบังรังสี รังสีของแบคทีเรียจากไอโซโทปกัมมันตรังสีที่เจือปนอยู่ในวัสดุก่อสร้างจะมีส่วนสำคัญ นอกจากนี้ค่าแบคทีเรียของการวัดรังสีแกมมา ยังเพิ่มขึ้นตามขนาดของหัววัดด้วย และถ้าใช้หัววัดขนาดเล็กประสิทธิภาพในการวัดก็จะลดลงอีกเหมือนกัน

นอกจากแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวแล้ว ไอโซโทปตัวอย่างที่ใช้ตรวจวัดรังสี ก็เป็นแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียได้เช่นกัน ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้เกิดจากรังสีแกมมาของไอโซโทปตัวอย่าง ทำอันตรกิริยากับกำบังรังสีรอบหัววัด หรือผนังภาชนะที่บรรจุไอโซโทปตัวอย่าง ซึ่งจะมีผลต่อการวัดในกรณีที่ไอโซโทปตัวอย่างมีความเข้มข้นสูง แต่ในการวิจัยนี้สนใจเฉพาะการวัดกัมมันตภาพรังสีความเข้มต่ำ ผลของแบคทีเรียในลักษณะนี้จึงไม่มีความสำคัญ

2.2 ไอโซโทปกัมมันตรังสี (Debertin, 1988)

2.2.1 กฎการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี

อัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของไอโซโทปกัมมันตรังสีชนิดนั้น แต่จะนิเวศเสียในไอโซโทปกัมมันตรังสีมีโอกาสที่สลายตัวต่อหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากัน

อัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสีต่อวินาที เรียกว่า “กัมมันตภาพ หรือความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสี (Activity)” จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad \dots(2.1)$$

เมื่อ A = คือ ความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสี

N = คือ จำนวนอะตอม

t = คือ เวลาที่ไอโซโทปกัมมันตรังสีสลายตัว

2.2.2 สมการการสลายตัว

สำหรับความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ปรากฏ เมื่อเวลาผ่านไป t เป็นไปตามสมการ

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ A_0 = คือ ความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสี เมื่อเริ่มพิจารณา $t = 0$
 $A(t)$ = คือ ความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสี เมื่อเวลา t
 λ = คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี (Decay

Constant) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละไอโซโทปกัมมันตรังสี

เมื่อไอโซโทปกัมมันตรังสีเดิมสลายไป โดยการส่งอนุภาคแอลฟา บีตา หรือแกมมาออกมา เป็นผลให้มีไอโซโทปกัมมันตรังสีใหม่เกิดขึ้น ความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสีจึงเป็นสัดส่วนกับ จำนวนอะตอมที่สลายตัวได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$A = \lambda N \quad \dots(2.3)$$

และสมการ (2.6) อาจเขียนได้ดังนี้

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots(2.4)$$

จากสมการ (2.1) (2.3) และ (2.4) จะได้

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N \quad \dots(2.5)$$

เครื่องหมายลบ แสดงว่า จำนวนอะตอมจะลดลงเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป

2.2.3 ครึ่งชีวิต (Half life)

ครึ่งชีวิต หมายถึง เวลาที่อะตอมของไอโซโทปกัมมันตรังสีใช้ในการสลายตัว เพื่อให้ ปริมาณเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม

อัตราส่วนของจำนวนอะตอมเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 1 ครึ่งชีวิตต่อจำนวนอะตอมเดิม คือ

$$\frac{N(t)}{N_0} = \frac{1}{2}$$

จากสมการ (2.7) จะได้

$$\begin{aligned}\frac{N_0}{2} &= N_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \\ \ln 2 &= \lambda t_{1/2} \\ t_{1/2} &= \frac{0.693}{\lambda} \quad \dots(2.6)\end{aligned}$$

เมื่อ $t_{1/2}$ คือ ค่าครึ่งชีวิต

2.2.4 หน่วยวัดความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสี

ความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสีหรือกัมมันตภาพ (Activity) เป็นหน่วยกัมมันตรังสีที่แสดงอัตราการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี โดยมี คูรี (Curie) และเบ็กเคอเรล (Becquerel; Bq) เป็นหน่วยแสดงค่ากัมมันตภาพ โดยกำหนดว่า

1 คูรี คือ อัตราการสลายตัวของ ^{226}Ra หนัก 1 กรัม ($6.02 \times 10^{23}/226$)

^{226}Ra มีค่าครึ่งชีวิต 1,600 ปี ($\lambda = 1.38 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}$)

$$\begin{aligned}\text{จาก Activity, } A &= \lambda N \\ &= (1.38 \times 10^{-11} \text{ s}^{-1}) (6.02 \times 10^{23}/226) \\ &= 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}\end{aligned}$$

1 คูรี หมายถึง ปริมาณไอโซโทปกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ dps}$$

สำหรับหน่วยสากล (International System Units: SI units) กำหนด เบ็กเคอเรล (Becquerel: Bq) เป็นหน่วยแสดงค่ากัมมันตภาพ

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

dps คือ Disintegrations per second อัตราการสลายตัวของไอโซโทปรังสี

2.2.5 ความแรงรังสีจำเพาะ (Specific Activity)

เป็นค่าที่บอกถึงความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสี ซึ่งหมายถึง ความแรงของไอโซโทปกัมมันตรังสีต่อหน่วยน้ำหนักของสารกัมมันตรังสี ตัวอย่างหน่วยของความแรงรังสีจำเพาะ เช่น คูรีต่อกรัม (Ci/g), เบ็กเคอเรลต่อกรัม (Bq/g) หรือ เบ็กเคอเรลต่อกิโลกรัม (Bq/kg)

2.2.6 ค่าต่ำสุดที่นับวัดได้ว่าเป็นค่าวัดรังสีจากตัวอย่าง (Lower Limit of Detection)

ในทางปฏิบัติ จะทำการตรวจวัดรังสีจากตัวอย่างควบคู่ไปกับการวัดค่าแบคกราวด์ เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าค่าที่วัดได้ (IAEA, 1989) เป็นผลจากการวัดรังสีจากตัวอย่าง ค่าที่ตรวจวัดได้จะต้องมีค่ามากกว่าค่า Lower Limit of Detection ขึ้นไปเท่านั้น จึงจะถือได้ว่าเป็นค่าที่เกิดจากการสลายตัวของรังสีของตัวอย่าง หากผลของการตรวจวัดได้มีค่าเท่ากับ Lower Limit of Detection หรือน้อยกว่านี้ ก็ถือว่าตัวอย่างนั้นไม่สามารถวัดค่าของการสลายตัวทางรังสีได้ (Not Detectable)

วิธีการที่จะลดค่าต่ำสุดที่นับวัดได้ว่าเป็นค่าวัดรังสีจากตัวอย่าง คือจะต้องพยายามลดค่าแบคกราวด์ของระบบของการวัดลงให้มากที่สุด เท่าที่จะสามารถกระทำได้ หรืออาจโดยการเพิ่มเวลาในการนับวัดให้มากขึ้น

2.3 รังสีแกมมา (Debertin, 1988)

2.3.1 การสลายตัวให้รังสีแกมมา

การสลายตัวให้รังสีแกมมา เกิดขึ้นหลังจากการสลายตัวให้รังสีหรืออนุภาคใดๆแล้ว หากไอโซโทปปลุกยังอยู่ในสถานะกระตุ้น ไอโซโทปนั้นจะต้องปรับตัวเข้าสู่สถานะพื้น โดยการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า รังสีแกมมาหรือโฟตอน (Knoll, 2000) พลังงานและความถี่ของรังสีแกมมา มีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$h\nu = |E_f - E_i| \quad \dots(2.7)$$

เมื่อ	h	คือ ค่าคงที่ของพลังค์
	ν	คือ ความถี่ของพลังงานรังสีแกมมา
	E_f	คือพลังงานเริ่มต้น
	E_i	คือพลังงานสุดท้าย

การสลายตัวให้รังสีแกมมาไม่มีผลต่อเลขมวล และเลขอะตอมของไอโซโทปก่อนและหลังการสลายตัว แต่มีผลให้ค่าพลังงานลดลง ไอโซโทปแม่และไอโซโทปลูกจึงเป็นไอโซเมอร์ อาจเรียกการสลายตัวให้รังสีแกมมาได้ว่า “การเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ (Isomeric Transition)”

2.3.2 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร

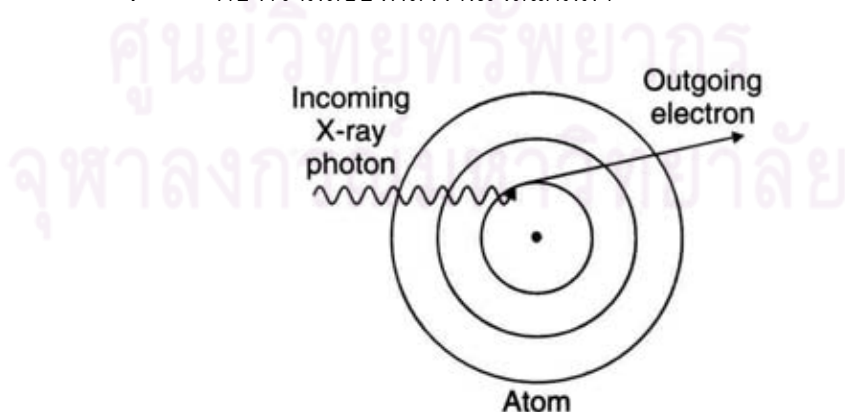
เมื่อรังสีแกมมาผ่านเข้ามาในหัววัด จะเกิดอันตรกิริยากับไอโซโทป และมีการถ่ายเทพลังงานให้แก่อะตอมหรือโมเลกุลอย่างต่อเนื่อง รูปแบบของอันตรกิริยามีหลายแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึง 3 แบบ ที่มีผลและมีส่วนนำไปใช้ประโยชน์ทางการวัดรังสี ดังนี้

- การเกิดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect)

กระบวนการที่โฟตอนเกิดอันตรกิริยากับอะตอม และมีการถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนตัวนั้นหลุดออกไปภายนอกอะตอม เรียกว่า “โฟโตอิเล็กตรอน” (Knoll 2000) โดยที่พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน (E_c) มีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานของรังสีแกมมา ($h\nu$) กับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนขณะอยู่ที่วงรอบนิวเคลียส (E_b) ดังสมการ

$$E_c = h\nu - E_b \quad \dots(2.8)$$

เมื่อ h คือ ค่าคงที่พลังค์ เท่ากับ 6.63×10^{-34}
 ν คือ ความถี่ของพลังงานรังสีแกมมา



รูปที่ 2.5 การเกิดปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริก

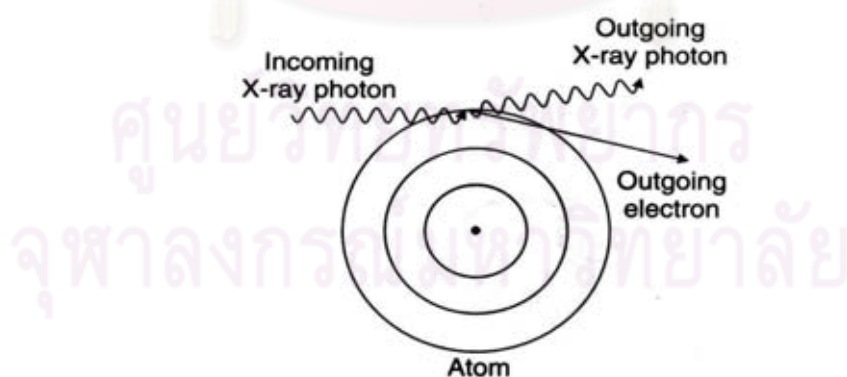
โอกาสในการเกิดโฟโตอิเล็กทริก จะแปรตามค่าเลขอะตอมยกกำลังสี่ และแปรผกผันกับพลังงานรังสียกกำลังสาม

- การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton Scattering)

เป็นกระบวนการที่โฟตอนเกิดอันตรกิริยากับอะตอมโดยรังสีเอกซ์ที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอม แล้วถ่ายเทพลังงานให้อิเล็กตรอนตัวนั้นไม่หมด นั่นคือพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกถ่ายเทให้อิเล็กตรอนตัวที่ถูกชนแล้วกระเด็นออกไป และพลังงานส่วนที่เหลือจะเป็นโฟตอนที่มีความยาวคลื่นมากกว่าเดิมและทิศทางก็เปลี่ยนไปจากเดิมด้วย เขียนสมการได้ดังนี้

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \left[\left(\frac{h\nu}{m_0 c^2} \right) (1 - \cos\theta) \right]} \quad \dots(2.9)$$

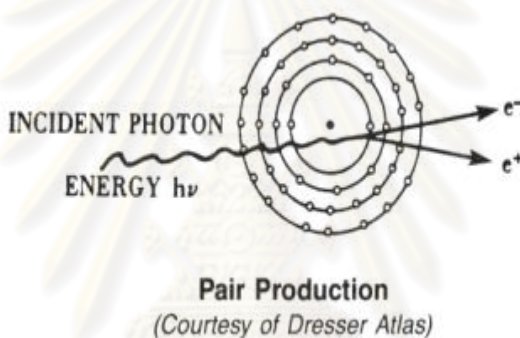
เมื่อ	$h\nu$	คือ พลังงานเดิมของรังสีแกมมา
	$h\nu'$	คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมา
	θ	คือ มุมที่รังสีแกมมาเบนไปจากแนวเดิมที่เข้ามา
	M_0	คือ มวลของอิเล็กตรอนในสภาพหยุดนิ่ง
	C	คือ ความเร็วแสง เท่ากับ 2.9979×10^{10} cm/s



รูปที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยาการกระเจิงแบบคอมพ์ตัน

- แพร่โปรดัคชัน (Pair production)

เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนที่ตกกระทบมีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV ในกระบวนการนี้พลังงานของโฟตอนจะถูกดูดกลืนอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน คือ โฟลิตรอนและอิเล็กตรอน ขึ้นแทนพลังงานที่ใช้ในการเกิดโฟลิตรอนและอิเล็กตรอนแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 0.511 MeV ส่วนพลังงานที่เหลือจะกลายเป็นพลังงานจลน์ของโฟลิตรอนและอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเสถียร แต่โฟลิตรอนที่เกิดขึ้นจะมีอายุสั้น เมื่อสูญเสียพลังงานจลน์หมดจะวิ่งไปรวมกับอิเล็กตรอน (ซึ่งมีอยู่ทั่วไป) กลายเป็นรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.511 MeV จำนวน 2 ตัว วิ่งในทิศตรงข้ามกัน กระบวนการนี้เรียกว่า “แอนนิฮิเลชัน (Annihilation)” โอกาสในการเกิดอออนคู่ จะแปรตามเลขอะตอมยกกำลังสอง



รูปที่ 2.7 การเกิดปฏิกิริยาแพร่โปรดัคชัน

2.4 การป้องกันแบคกราวด์โดยใช้กำบังรังสี (Massive Shielding) (สำราญ เฟือกคง, 2524)

โดยทั่วไปชนิดของรังสีจากแบคกราวด์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ รังสีที่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ, รังสีแกมมา, รังสีนิวตรอน และรังสีคอสมิก ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปกล่าวคือ

รังสีพวกที่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้ามีสมบัติที่จะทำให้เกิด กระบวนการเอกไซเตชัน (Excitation) และกระบวนการแตกตัวเป็นอออน (Ionization) ของอะตอมของไอโซโทปได้ดี จึงมีอัตราการสูญเสียพลังงานสูง ดังนั้นจึงสามารถสกัดกั้นได้ง่าย ด้วยกำบังรังสีทั่วไป เช่น คอนกรีต, เหล็กหรือตะกั่ว

พีคจากการกระเจิงกลับและพีครังสีเอกซ์ของตะกั่ว พีคเหล่านี้เกิดจากสิ่งแวดล้อมหรือสิ่งที่อยู่รอบข้างของหัววัด เพื่อให้หัววัดปลอดภัยจากแบคกราวด์ โดยทั่วไปใช้ตะกั่วเป็นวัสดุกัน ทุกด้านจะ

หนาเท่ากันหมดยกเว้นด้านหน้าของผลึก 1 ด้าน ถ้ารังสีแกมมาชนกับตะกั่วที่เป็นตัวกำบัง จะเกิดรังสีแกมมากระเจิงไปซึ่งก่อให้เกิด K-x-ray ประมาณ 80 keV บรรดารังสีทุติยภูมิอาจเข้าสู่หัววัดได้ รังสีแกมมาที่กระเจิงจากวัสดุที่กั้นเฉพาะพวกที่อยู่ในทิศทางกระเจิงกลับเท่านั้นที่สามารถชนกับผลึกนั้นได้ รังสีแกมมาที่เกิดจากการกระเจิงกลับนั้นมีไซมีเพียงพลังงานเดียว แต่กระจายค่าในพลังงานช่วงกว้าง ตามกฎถือว่าผลบวกของพลังงานที่กระเจิงกลับ และพลังงานของคอมพ์ตันแอดจ์ซึ่งมีพลังงานค่าเดียวจะเท่ากับพลังงานโฟโตพีค

รังสีแกมมามีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีที่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้ามาก เนื่องจากรังสีแกมมามีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องออกแบบกำบังรังสีเพื่อป้องกันรังสีแกมมาเป็นพิเศษ ซึ่งจะป้องกันได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสี ความเข้มของรังสีและความหนาแน่นตลอดจนความหนาของวัสดุที่ใช้ทำกำบังรังสี การดูดกลืนรังสีแกมมาโดยทั่วไปเกิดจากกระบวนการโฟโตอิเล็กตริก (Photoelectric Effect), การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน (Compton Scattering) และแพริโปรดักชัน (Pair Production) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า (นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ, 2524)

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots(2.10)$$

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ
 I คือ ความเข้มเมื่อผ่านกำบังรังสี เป็นระยะทาง x
 μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน ซึ่งค่า μ นี้เป็นสัมประสิทธิ์ที่ได้

จากกระบวนการโฟโตอิเล็กตริก, การกระเจิงแบบคอมพ์ตัน, และแพริโปรดักชัน

Kaye และคณะ (1972) ได้ทำการทดลองพบว่าตะกั่ว เป็นวัสดุที่ใช้เป็นกำบังรังสีแกมมาได้ดีที่สุด ทั้งในแง่ความสามารถในการลดทอนกำบังรังสีแกมมา และในแง่ของราคา กล่าวคือโดยเฉลี่ยแล้วตะกั่วหนา 15 เซนติเมตร จะสามารถลดความเข้มของรังสีแกมมาจากแบคกราวด์ได้ถึง 1,000 เท่า และถึงแม้ว่าจะเพิ่มความหนาเข้าไปอีก ก็ไม่มีผลทำให้แบคกราวด์ลดลงมากกว่านี้ได้ อีกแล้ว เพราะแบคกราวด์ที่เกิดจากรังสีแกมมา ที่เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีในไอโซโทปที่ใช้เป็นกำบังรังสี และแบคกราวด์ที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างรังสีคอสมิกกับกำบังรังสีจะเด่นชัดกว่า

รังสีนิวตรอน มีอำนาจทะลุทะลวงสูง ทำนองเดียวกับรังสีแกมมาและการดูดกลืนรังสีนิวตรอน ปกติเกิดจากกระบวนการทางนิวเคลียร์ ดังนั้นการป้องกันรังสีนิวตรอน ก็คล้ายคลึงกับวิธีการป้องกันรังสีแกมมา แต่ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปมักนิยมใช้น้ำและคอนกรีต เนื่องจากมีราคาถูกกว่า และสามารถกำบังนิวตรอนได้ดีด้วย

รังสีคอสมิกก็เป็นรังสีที่มีพลังงานสูงมาก จึงมีอำนาจในการทะลุทะลวงเป็นพิเศษ จากการทดลองของ Oesher (1975) พบว่าใช้คอนกรีตหนาถึง 5 เมตร ไว้เหนือห้องปฏิบัติการ ก็จะสามารถลดความเข้มของรังสีคอสมิกได้เพียง 1.40 เท่า เท่านั้น

- Radiation Attenuation & Absorption

เมื่อรังสีแกมมาเคลื่อนที่ผ่านแผ่นกั้นหรือกำบังรังสี อาจเกิดอันตรกิริยา ได้ 2 ลักษณะคือ

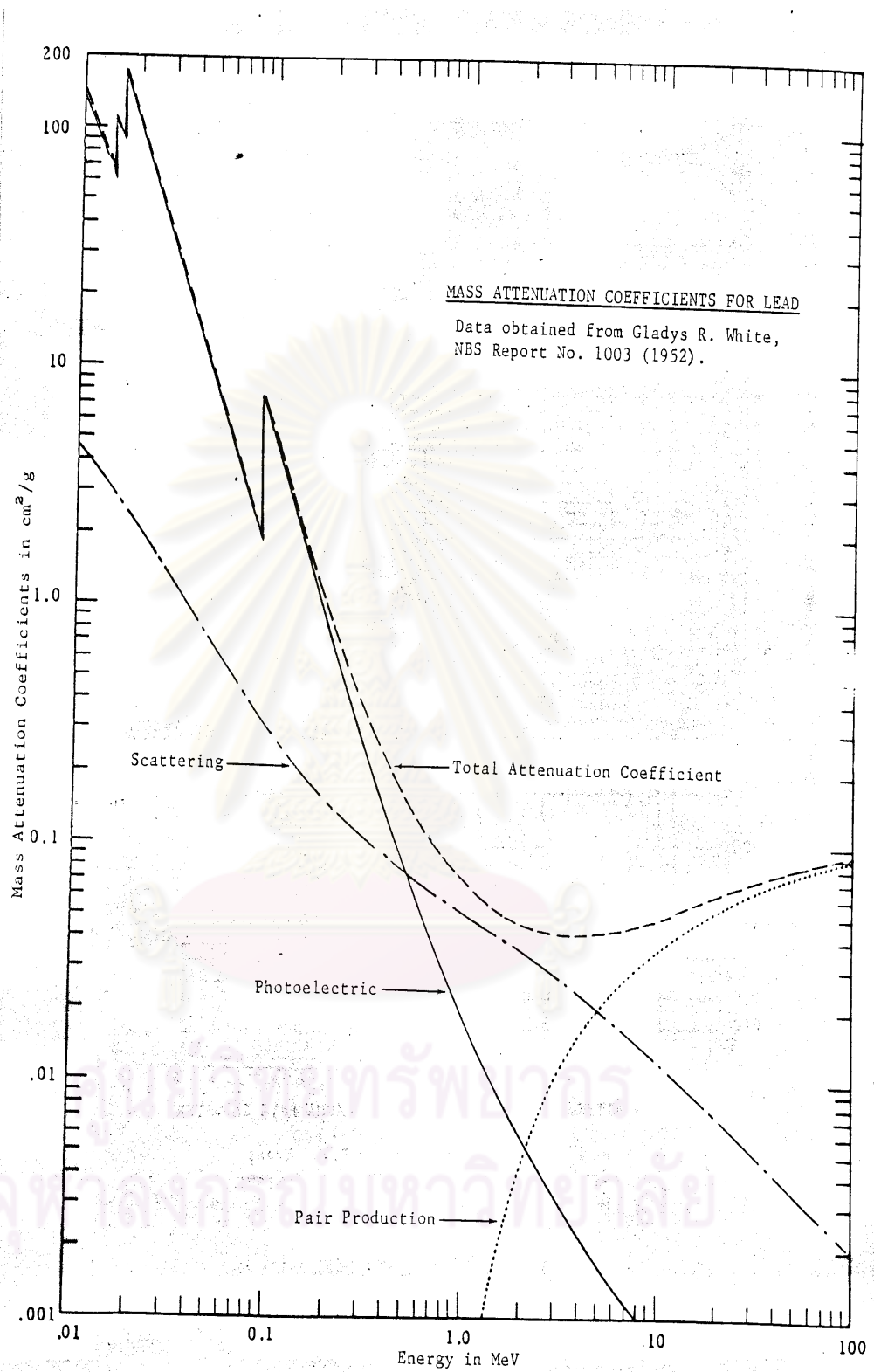
1. พลังงานของรังสีบางส่วนสูญเสียไปในการทำให้อะตอมของแผ่นกั้นแตกตัวหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ถูกดูดกลืนพลังงานจริงๆ
2. เนื่องจากกระแสรังสีออกนอกทิศทางเดิมของรังสี รังสีที่วิ่งตกกระทบอะตอมของแผ่นกั้นแล้วกระแสรังสีออกนอกทิศทางนี้ บางส่วนอาจกระแสรังสีไปกระแสรังสีมาแล้วในที่สุดก็วิ่งเข้าเครื่องวัดได้

จากค่า I_0 และ I ที่กล่าวมาแล้วนี้ เราจะทราบว่า ค่า Apparent Absorption เท่ากับ $I_0 - I$ ซึ่งค่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการจัดตั้งกำเนิดรังสี หัววัดรังสี และแผ่นตะกั่วว่าเป็นแบบไหน

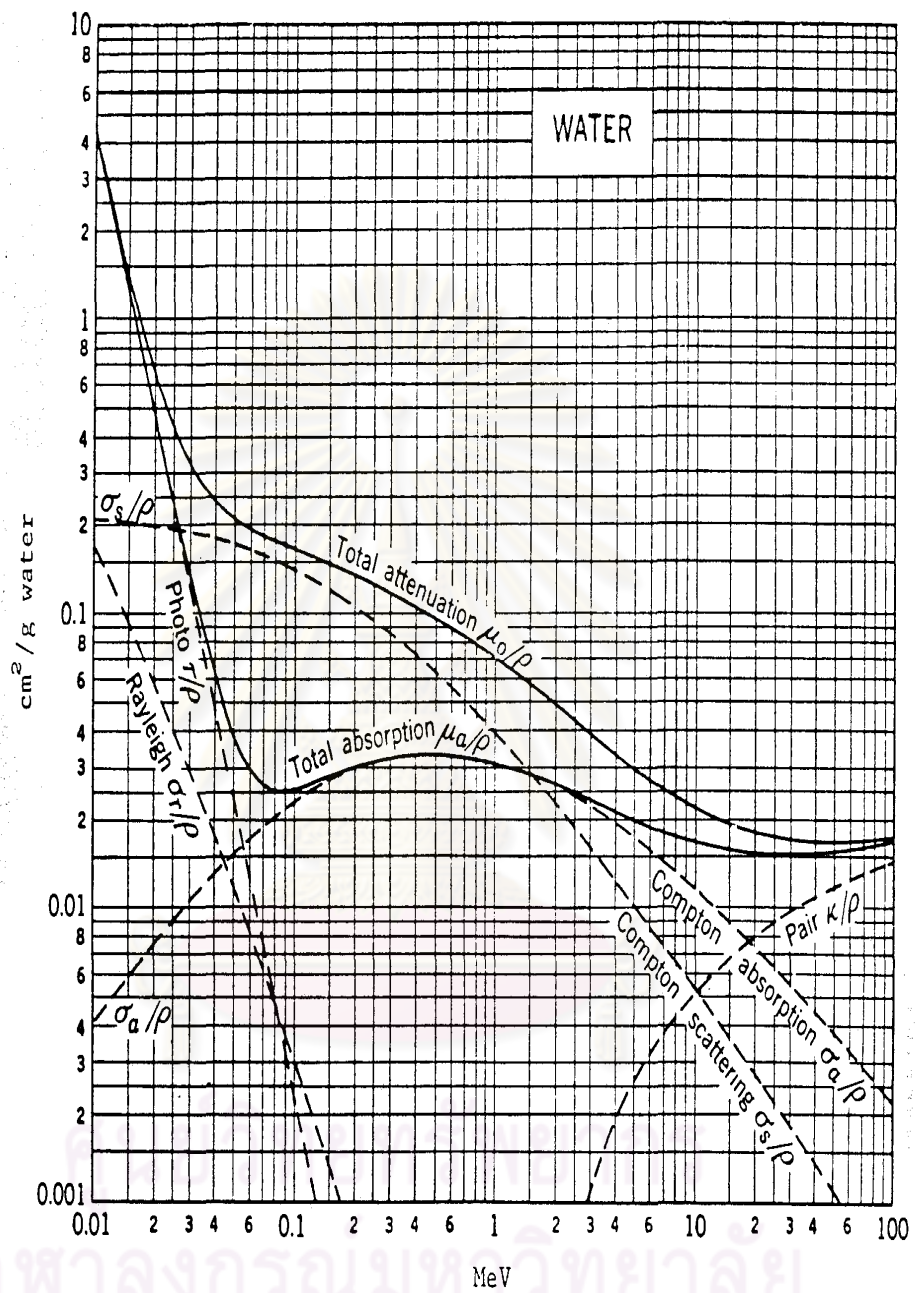
คำว่า Apparent Absorption ที่ใช้นี้ เป็นการใ้แบบกว้างๆ คือ ไม่ได้เจาะจงเป็นปริมาณรังสีที่หายไป เนื่องจากกระบวนการ Absorption อย่างเดียว หรือเป็นปริมาณรังสีที่หายไปเนื่องจากกระบวนการ Absorption และการ Scattering ด้วยเหตุนี้ เพื่อให้มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จึงได้มีการกำหนดเทอมใหม่ขึ้นมา นั่นคือ

Attenuation คือ ปริมาณรังสีที่หายไป เนื่องจากกระบวนการ Absorption และ Scattering

Absorption คือ ปริมาณรังสีที่หายไป เนื่องจากกระบวนการ Absorption อย่างเดียวเท่านั้น



รูปที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของตะกั่ว (Gilmore, 2004)



MASS ATTENUATION COEFFICIENTS FOR GAMMA RAYS IN WATER

From The Atomic Nucleus, by R. D. Evans,
 Copyright 1955, by permission of McGraw-
 Hill Book Co., Inc.

รูปที่ 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของน้ำ

ตารางที่ 2.3 Dose Buildup Factors สำหรับรังสีแกมมา (Evans, 1955)

DOSE BUILDUP FACTORS--Continued

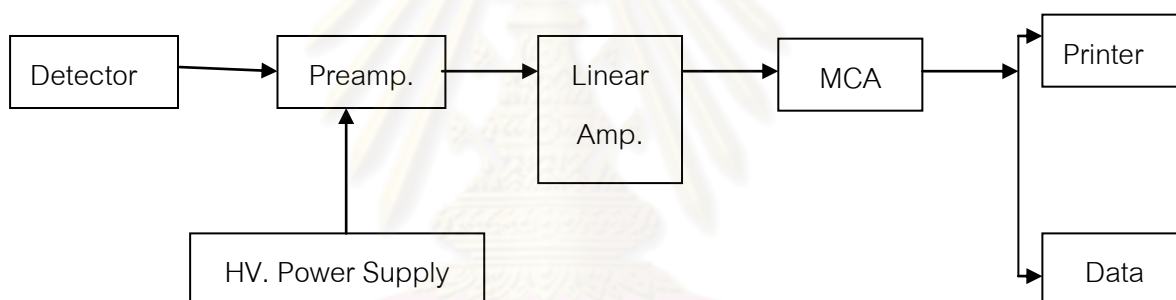
Dose Buildup Factor (B) for a Plane Monodirectional Source

Material	MeV	μx^*					
		1	2	4	7	10	15
Water	0.5	2.63	4.29	9.05	20.0	35.9	74.9
	1.0	2.26	3.39	6.27	11.5	18.0	30.8
	2.0	1.84	2.63	4.28	6.96	9.87	14.4
	3.0	1.69	2.31	3.57	5.51	7.48	10.8
	4.0	1.58	2.10	3.12	4.63	6.19	8.54
	6.0	1.45	1.86	2.63	3.76	4.86	6.78
	8.0	1.36	1.69	2.30	3.16	4.00	5.47
Iron	0.5	2.07	2.94	4.87	8.31	12.4	20.6
	1.0	1.92	2.74	4.57	7.81	11.6	18.9
	2.0	1.69	2.35	3.76	6.11	8.78	13.7
	3.0	1.58	2.13	3.32	5.26	7.41	11.4
	4.0	1.48	1.90	2.95	4.61	6.46	9.92
	6.0	1.35	1.71	2.48	3.81	5.35	8.39
	8.0	1.27	1.55	2.17	3.27	4.58	7.33
Tin	1.0	1.65	2.24	3.40	5.18	7.19	10.5
	2.0	1.58	2.13	3.27	5.12	7.13	11.0
	4.0	1.39	1.80	2.69	4.31	6.30	---
	6.0	1.27	1.57	2.27	3.72	5.77	11.0
	10.0	1.16	1.33	1.77	2.81	4.53	9.68
Lead	0.5	1.24	1.39	1.63	1.87	2.08	---
	1.0	1.38	1.68	2.18	2.80	3.40	4.20
	2.0	1.40	1.76	2.41	3.36	4.35	5.94
	3.0	1.36	1.71	2.42	3.55	4.82	7.18
	4.0	1.28	1.56	2.18	3.29	4.69	7.70
	6.0	1.19	1.40	1.87	2.97	4.69	9.53
	8.0	1.14	1.30	1.69	2.61	4.18	9.08
	10.0	1.11	1.24	1.54	2.27	3.54	7.70
Uranium	0.5	1.17	1.28	1.45	1.60	1.73	---
	1.0	1.30	1.53	1.90	2.32	2.70	3.60
	2.0	1.33	1.62	2.15	2.87	3.56	4.89
	3.0	1.29	1.57	2.13	3.02	3.99	5.94
	4.0	1.25	1.49	2.02	2.94	4.06	6.47
	6.0	1.18	1.37	1.82	2.74	4.12	7.79
	8.0	1.13	1.27	1.61	2.39	3.65	7.36
	10.0	1.10	1.21	1.48	2.12	3.21	6.58

* μx = mass absorption coefficient (μ/ρ) \times shield thickness (cm) \times shield density (g/cm^3).

2.5 ระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา (Adams, 1970)

วิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี หรือวิธีวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา สามารถใช้ในการตรวจวัด หาราตุกัมมันตรังสี ที่สลายตัวแผ่รังสีแกมมาในช่วงพลังงาน 60 keV ถึง 10,000 keV หรือสูงกว่า ในตัวอย่างประเภทต่างๆ ทั้ง ของแข็ง และของเหลว การวัดสเปกตรัม ของรังสีแกมมาในตัวอย่าง นั้น ไม่จำเป็นต้องแยกธาตุกัมมันตรังสีออกจากตัวอย่าง รังสีแกมมาพลังงานต่างๆ ที่แผ่ออกมา จากตัวอย่างจะถูกวัดด้วยหัววัดรังสีที่ทำจากไอโซโทปกึ่งตัวนำที่มีความบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium) และมีประสิทธิภาพสูงบรรจุอยู่ในตะกั่วกำบังรังสี และต่ออยู่กับเครื่องวิเคราะห์ พลังงานแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer, MCA) ข้อมูลผลการวัดจากหัววัดจะแสดงค่า พลังงานต่างๆ โดย MCA และส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรม คอมพิวเตอร์เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณของธาตุกัมมันตรังสีที่ตรวจวัดได้



รูปที่ 2.10 แผนผังระบบการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา
ที่มา: EG&G ORTEC (2001)

1. แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Power Supply; HV) ทำหน้าที่จ่ายความต่างศักย์บวกหรือลบให้กับหัววัด และเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงซึ่งปรับค่าได้ และมีเสถียรภาพในการรักษาศักดาไฟฟ้าเอาท์พุท (Knoll, 2000) สำหรับหัววัดไอโซโทปกึ่งตัวนำ HPGe ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

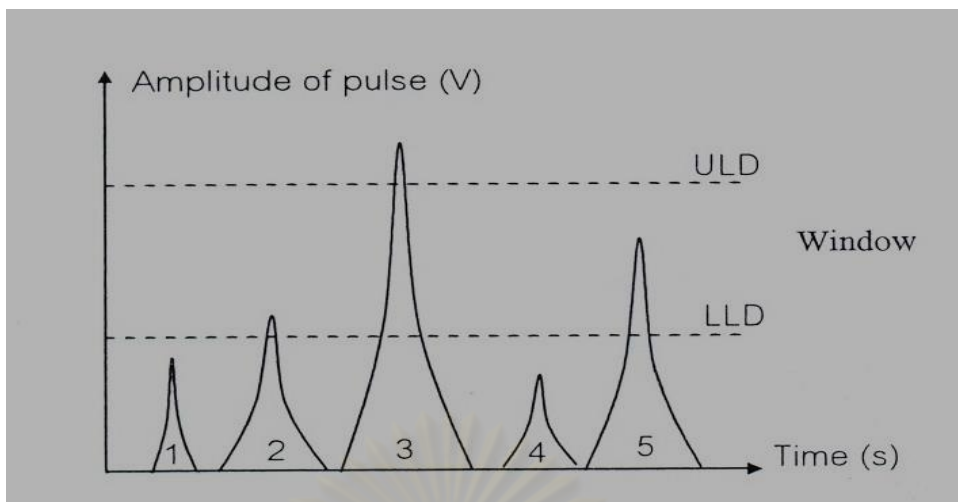
2. ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) สัญญาณที่ออกมาจากหัววัดนี้อยู่ในช่วงมิลลิโวลต์ ซึ่งต้องปรับแต่งและขยายสัญญาณก่อนที่สัญญาณจะต้องส่งผ่านสายสัญญาณไปยังภาคขยายหลัก (amplifier) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากหัววัดให้มีขนาดใหญ่ขึ้นภาคขยายส่วนหน้าจะปรับอิมพีแดนซ์ (Impedance) ขนาดและรูปร่างของสัญญาณพัลส์จะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของหัววัด โดยทั่วไปแล้วภาคขยายส่วนหน้าจะติดตั้งไว้ใกล้กับหัววัดมากที่สุด เพื่อลดการเพี้ยนของสัญญาณและลดการรบกวนของสัญญาณนอยส์ (Noise) เป็นชนิดที่ใช้กับหัววัดรังสีแบบ

ไอโซโทปกึ่งตัวนำ จะให้สัญญาณออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ของกระแสช่วงเวลาประมาณ 10^{-9} ถึง 10^{-5} วินาทีขึ้นอยู่กับชนิดของหัววัดและขนาดของผลึกหัววัด มีกำลังขยาย 20,000 เท่า มีสัญญาณขาออกในช่วง -5 ถึง +5 V Rise Time อยู่ในชวงนาโนวินาที มีพลังงานพื้นฐานในการกำเนิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ประมาณ 2.96 eV ที่อุณหภูมิ 77 K (EG&G ORTEC, 2001)

3. ภาคขยายหลัก (Amplifier) เป็นส่วนที่รับสัญญาณพัลส์มาจากภาคขยายส่วนหน้าแล้วนำมาปรับแต่งรูปสัญญาณพร้อมทั้งขยายขนาดของสัญญาณให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์ความสูง ภาคขยายหลักจะมีกำลังขยายค่อนข้างสูงแตกต่างกันไปแต่ละเครื่องระหว่าง 500 - 1000 เท่า หรือมากกว่า และสามารถปรับค่าได้ โดยทั่วไปสัญญาณที่ได้มาจากภาคขยายส่วนหน้าจะเป็นสัญญาณที่กว้าง แต่สำหรับการทดลองที่ต้องการอัตราการนับความเร็วสูงสัญญาณที่มีความแคบเป็นสิ่งจำเป็น เช่นเดียวกับในงานวิจัยนี้โดยภาคขยายหลักจะแปลงรูปสัญญาณให้แคบลงมีลักษณะสัญญาณเป็นพัลส์สี่เหลี่ยมซึ่งอ้างอิงตำแหน่งพัลส์ที่ตำแหน่งสัญญาณขาเข้าสูงสุด

4. วงจรวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณพัลส์ (Pulse Height Analyzer; PHA) ในกรณีที่ต้องการทราบสเปกตรัมของรังสี จะต้องใช้วงจรวิเคราะห์ความสูงพัลส์ อุปกรณ์ดังกล่าวแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

ก. วงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว (Single Channel Analyzer; SCA) ประกอบด้วย 2 ดิสคริมิเนเตอร์ คือ Upper Level Discriminator (ULD) และ Lower Level Discriminator (LLD) การแยกระดับความสูงของพัลส์จะอาศัยการเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณกับค่าศักดาไฟฟ้ามาตรฐานที่ถูกจัดเอาไว้ด้วย LLD และ ULD ผลต่างระหว่าง LLD และ ULD เรียกว่าหน้าต่าง (Window) ถ้าสัญญาณที่ผ่านเข้ามาทางอินพุตมีความสูงอยู่ในช่วงหน้าต่างเครื่อง SCA จะให้เอาต์พุตออกเป็นสัญญาณลอจิก ดังรูปที่ 2.11 สัญญาณอินพุตที่อยู่ในช่วงหน้าต่างคือสัญญาณที่ 2 และ 5 จากนั้นก็นำข้อมูลความสูงของพัลส์มาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลส์กับความกว้างของหน้าต่าง (NCRP Report No.58, 1994)



รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานของวงจรวินิจฉัยรังสีสัญญาณแบบช่องเดียว (SCA)
ที่มา: NCRP Report No.58 (1994)

ข. วงจรวินิจฉัยรังสีสัญญาณแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer; MCA) เกิดจากการนำวงจรวินิจฉัยรังสีสัญญาณแบบช่องเดียวมาต่อกันหลาย ๆ ช่อง จึงมีความสามารถสูงกว่า SCA ทั้งในด้านความเร็ว การเก็บข้อมูล ความละเอียดของการแสดงระดับพลังงาน และไม่จำเป็นต้องนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟ สามารถบันทึกข้อมูลจำนวนนับอนุภาคแต่ละระดับพลังงาน ที่เข้ามาตกกระทบหัววัดได้อย่างอัตโนมัติ และแสดงสเปกตรัมที่จอแสดงผลซึ่งเป็นวงจรวินิจฉัยรังสีสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีส่วนประกอบดังนี้

1) ภาคเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter; ADC) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสีให้เป็นกลุ่มของสัญญาณดิจิตอลที่มีขนาดมาตรฐานจำนวนต่าง ๆ กัน

2) ภาคเลือกตำแหน่งแชนแนล (Channel Address Register) ทำหน้าที่ในการรับรหัสดิจิตอลจาก ADC แล้วเลือกตำแหน่งแชนแนลในหน่วยความจำที่ตรงกับรหัสของพัลส์เพื่อให้ภาคบันทึกข้อมูล (Data Register) บวกจำนวนพัลส์ที่มีรหัสตรงกับตำแหน่งแชนแนลใด ๆ ครั้งละหนึ่งหน่วยนับหรือเป็นคำสั่งลบเพื่อหักลบจำนวนพัลส์ที่มีอยู่เดิมออกครั้งละหนึ่งหน่วยนับจากข้อมูลเดิมที่บันทึกไว้

3) ภาคบันทึกข้อมูล (Channel Register) ทำหน้าที่เพิ่มหรือลดข้อมูลในหน่วยความจำของแชนแนลครั้งละหนึ่งหน่วยนับเมื่อมีพัลส์ที่มีรหัสตรงกับตำแหน่งแชนแนลนั้น ๆ เข้ามาแต่ละครั้ง ในช่วงเวลาที่เครื่องทำงานตั้งแต่รับสัญญาณแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล จนกระทั่งเก็บ

ข้อมูลถ้ามีสัญญาณใหม่เข้ามาเครื่องจะไม่ยอมรับสัญญาณนั้น เครื่องจะยอมรับสัญญาณใหม่ที่เข้ามาเมื่อการบันทึกข้อมูลของสัญญาณนั้นเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว

4) ภาคหน่วยความจำ (Memory) ส่วนนี้จะบันทึกจำนวนอนุภาคของแต่ละตำแหน่งช่องในรูปของรหัสไบนารี (Binary) จำนวนช่องแตกต่างกันไป ในแต่ละเครื่องอาจเป็น 1024(1k), 2048(2k), 8192(8k) หรือ 16384(16k) ในงานวิจัยนี้ใช้ 16384 ช่อง จำนวนของแชนแนลนี้จะสัมพันธ์กับขีดความสามารถของ ADC ซึ่งหมายถึงความละเอียดของการแบ่งระดับพลังงานของรังสีที่วัด

5) ภาคแสดงผล (Data Display) ข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำจะถูกแสดงผลบนหน้าจอภาพ ด้วยการส่งรหัสดิจิทัลจากตำแหน่งแชนแนลต่าง ๆ ผ่านวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog Converter; DAC) แล้วแสดงผลในรูปแบบสเปกตรัม

6) ภาคเชื่อมโยงกับอุปกรณ์ภายนอก (Input/Output Interface) เช่นเชื่อมโยงกับเครื่องเขียนกราฟ เครื่องพิมพ์ เครื่องบันทึกภาพ เป็นต้น ความสูงของพัลส์จะแปรผันตรงกับพลังงานของอนุภาคที่เข้าสู่หัววัด แต่ละพัลส์จะถูกเก็บในช่องเฉพาะที่สมนัยกับพลังงานนั้น ๆ เมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาวัดสเปกตรัมที่ถูกบันทึกจะแสดงผลที่จอภาพของ MCA แกนระนาบหมายถึงเลขช่องหรือพลังงานของอนุภาค ส่วนแกนตั้งจะเป็นจำนวนอนุภาคที่บันทึกต่อช่อง (Knoll, 2000)

2.6 การวัดรังสีแกมมาสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ (Adams, 1970)

การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งได้เป็น การวัดรังสีแกมมาในห้องปฏิบัติการ (Laboratory Gamma - Ray Measurement) และการวัดรังสีแกมมาในพื้นที่จริง (In-Situ Gamma - Ray Measurement) โดยหลักการแล้วการวัดปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อมนั้น มาจากการวัดจากกลุ่มตัวอย่าง นั่นคือเมื่อทำการวัดเมื่อใด กลุ่มตัวอย่างที่ถูกวัดนั้นก็จะเป็นตัวแทนของสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ณ ขณะนั้น

การวัดปริมาณรังสีแกมมาในตัวอย่างของสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการ ในช่วงเวลาที่กำหนด เป็นวิธีที่ง่าย เพราะเป็นงานสั้นๆ พื้นที่เล็กๆ และการวัดอยู่ภายใต้การควบคุมของสภาวะในห้องปฏิบัติการ (IAEA 1989) การเปรียบเทียบตัวอย่างของสิ่งแวดล้อมกับไอโซโทปมาตรฐานทำได้ง่ายเพราะมีระบบการวัดที่เหมือนกันจึงสามารถเปรียบเทียบกันได้โดยตรง ส่วนเรื่องของการเตรียมตัวอย่าง นั้นโดยปกติตัวอย่างที่จะนำมาวัด จะต้องมีการเตรียมเพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการวัด ถ้าตัวอย่างอยู่ในรูปของแข็ง จะต้องเตรียมตัวอย่างให้มีรูปลักษณะเดียวกัน

เช่น มีขนาดเดียวกัน มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ มีผิวหน้าเรียบ มีความหนาใกล้เคียงกันโดย
 ต้อง ไม่นานกว่าความหนาวิกฤต และในขณะเดียวกันตัวอย่างสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก สำหรับ
 ตัวอย่างที่เป็นของแข็งและต้องการวัดรังสีแกมมา ปกติจะวัดโดยตรงซึ่งอาจมีการเตรียมตัวอย่าง
 เพียงเล็กน้อย เตรียมตัวอย่างให้มีขนาดพอเหมาะกับหัววัด ส่วนภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างนั้น
 จะต้องทำด้วยไอโซโทปที่มีเลขอะตอมต่ำๆ เพื่อป้องกันการกระเจิงกลับเข้าไปในหัววัดอีก เพราะ
 รังสีที่กระเจิงกลับอาจจะไปรบกวนพีคที่พลังงานต่ำกว่า ดังจะกล่าวได้ว่า ในการวัดตัวอย่างเพื่อให้
 บรรลุวัตถุประสงค์มากที่สุด นั้นมีหลักการทั่วไปที่ต้องคำนึงถึงคือ

- (1) ชนิดของหัววัด
- (2) กัมมันตภาพรังสีของตัวอย่าง
- (3) จำนวนตัวอย่างที่จะวัด
- (4) เวลาที่ใช้วัด
- (5) ความยากง่ายในการเตรียมตัวอย่าง ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางเคมีหรือทาง
 กายภาพของตัวอย่าง (ภารดี สราภัสสร, 2539)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข (Digital Spectrum Analyzer: DSA 1000)

3.1.2 หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium Detector; HPGe) แบบใช้งานในห้องปฏิบัติการ CANBERRA Model GC2018 ที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 20% พร้อม Dewar ขนาด 30 ลิตร Peak/Compton: 50: 1

3.1.3 ชุดไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม Genie-2000 สำหรับตรวจวัดวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมา

3.1.4 อุปกรณ์กำบังรังสีทำด้วยตะกั่วทรงกระบอกหนา 10 เซนติเมตร ภายในมีชั้นของทองแดงหนา 2 มิลลิเมตร

3.1.5 หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมมีความบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium Detector; HPGe) แบบใช้งานได้ในภาคสนาม CANBERRA Model GC3021 ที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์ 30% พร้อม Dewar ขนาด 7 ลิตร Peak/ Compton 52:1

3.1.6 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข (Digital Spectrum Analyzer: DSA 2000)

3.1.7 ถังพลาสติกสำหรับเป็นอุปกรณ์ใส่น้ำ จำนวน 2 ใบ ขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลาง 110 เซนติเมตร กับขนาดเล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร

3.1.8 ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำทำมาจากพลาสติก (Marinelli Beaker) ขนาด 1 ลิตร

3.1.9 สารกัมมันตรังสีมาตรฐาน (Standard Source)

3.1.10 ไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen)

3.1.11 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง

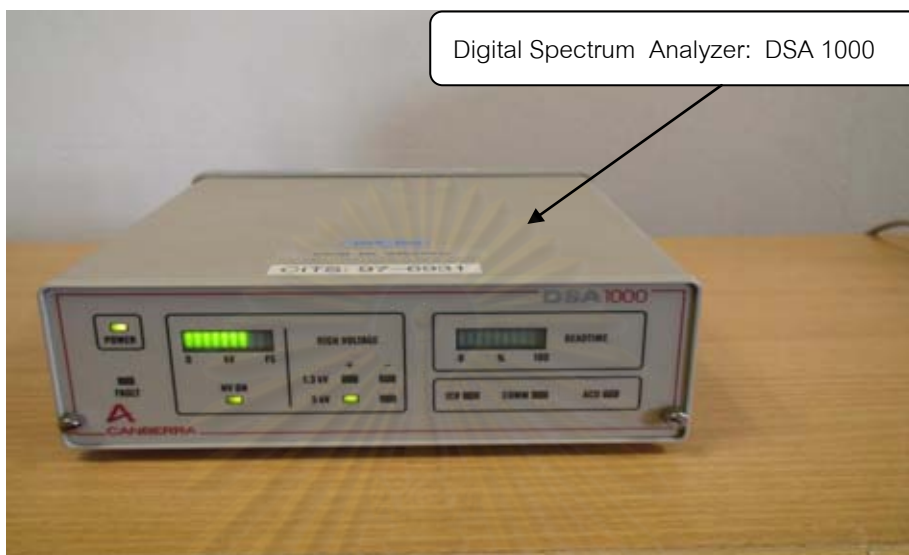
3.1.12 แผ่นตะกั่วสำหรับรองรับบริเวณ Dewar ที่บรรจุหัววัด HPGe หนา 4 มิลลิเมตร

3.1.13 ภาชนะสำหรับบรรจุน้ำ ขนาด 20 ลิตร จำนวน 45 ใบ

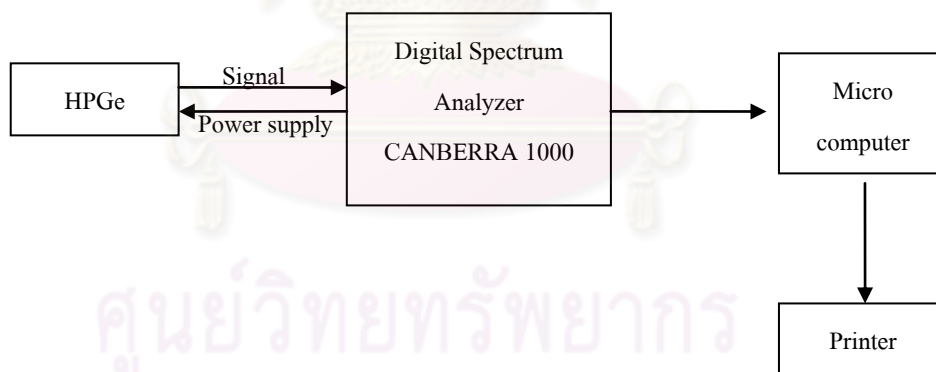
3.1.14 ตัวอย่างน้ำ ชนิดต่างๆ สำหรับนำมาวิเคราะห์

3.1.15 แผ่นเหล็กหนา 2.4 มิลลิเมตร

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข (Digital Spectrum Analyzer: DSA 1000) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บข้อมูลจำนวนนับของอนุภาคที่ระดับพลังงานต่างๆ ซึ่งตกกระทบหัววัดรังสีได้อย่างอัตโนมัติ ผลิตโดยบริษัท Canberra Industries.



รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข (Digital Spectrum Analyzer: DSA 1000)



รูปที่ 3.2 แผนผังของระบบการวัด การแปลความหมาย และการแสดงผล (IAEA, 1989)

3.1.2 หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมมีความบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium Detector; HPGe) หัววัดรังสีแกมมา สำหรับการวัดรังสีแกมมา หัววัดรังสีมักจะใช้ เป็นประเภทสารกึ่งตัวนำ โดยเฉพาะประเภทเจอร์มาเนียม ซึ่งอาจจะเป็น Intrinsic Germanium ซึ่งนิยมเรียกว่า High Purity Germanium (HPGe) จะดีกว่าประเภทซิลิกอน เพราะมีเลขอะตอมสูงกว่าและค่า photoelectric cross section ของแบบเจอร์มาเนียม มากกว่าซิลิกอนประมาณ 60 เท่าอย่างไร้

ตามหัววัดแบบเจอร์มาเนียม จำเป็นต้องใช้งานภายใต้อุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว (-196°C) เพื่อประสิทธิภาพที่สูงขึ้นของหัววัดรังสี เพราะว่าธาตุเจอร์มาเนียม (Ge) มีค่าแถบพลังงานค่อนข้างแคบ ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้หัววัดรังสีแกมมาชนิด HPGe แบบใช้งานในห้องปฏิบัติการ ตามรายละเอียดดังนี้

Cryostat Model: 7500SL

Preamplifier Model: 2002CSL

Resolution: 1.80 keV (FWHM) at 1.33 MeV

Geometry: Closed-end coaxial

Crystal characteristics: Diameter 61 mm; Length 30.5 mm

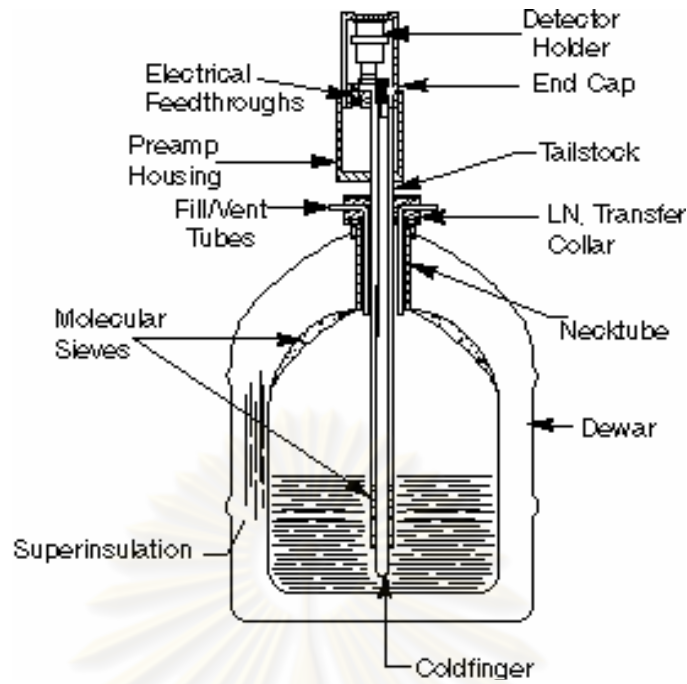
Distance from window 5 mm

Recommended operating bias: Positive 3,500 Volts

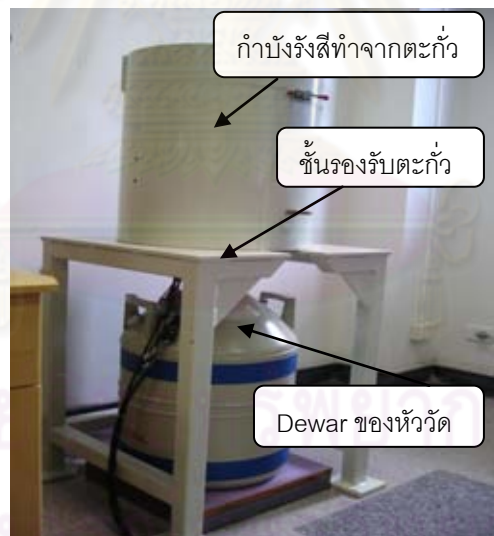
ควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้ไนโตรเจนเหลว ขนาดบรรจุ 30 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ระบบวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์



รูปที่ 3.4 หัววัดรังสีแบบ Coaxial HPGe (Gilmore, 2004)



รูปที่ 3.5 หัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์พร้อมกำบังรังสีทำจากตะกั่ว

ส่วนประกอบที่จำเป็นต้องใช้ เพื่อให้หัววัดรังสีทำงานได้ คือ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าศักย์สูง จะทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ และในการปฏิบัติงานครั้งนี้ ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง ส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่อยู่ติดกับหัววัดรังสีแกมมา คือ ภาคขยายสัญญาณส่วนหน้า ซึ่งจะทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสี แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีขนาดที่เป็นสัดส่วนโดยตรง

กับจำนวนประจุ แล้วส่งต่อไปยังภาคขยายหลักต่อไป ภาคขยายสัญญาณส่วนหน้า ต้องติดกับหัววัดให้มากที่สุด เพื่อลดความเพี้ยนของสัญญาณ

3.1.3 ชุดไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรม Genie 2000 สำหรับตรวจวัดวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมา



รูปที่ 3.6 โปรแกรม Genie-2000 สำหรับวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมา

3.1.4 อุปกรณ์กำบังรังสีทำจากตะกั่ว

อุปกรณ์กำบังรังสีตะกั่วทำจากตะกั่ว รูปทรงกระบอกหนา 10 เซนติเมตร เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกำบังรังสีแกมมาจากสิ่งแวดล้อม มิให้เข้าสู่บริเวณหัววัดรังสี ซึ่งอุปกรณ์กำบังรังสีแสดงดังรูปที่ 3.7 ด้านในผนังตะกั่วบุเป็นชั้นๆ ด้วยทองแดง หนา 2 มิลลิเมตร

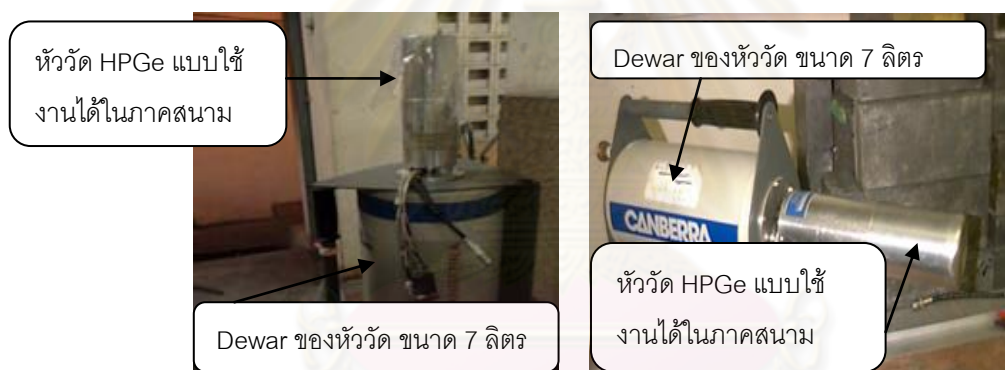


รูปที่ 3.7 หัววัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์ กำบังรังสีทำจากตะกั่ว



รูปที่ 3.8 กำบังรังสีทำจากตะกั่ว และหัววัด HPGe แบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.1.5 หัววัดรังสีเจอร์มาเนียมมีความบริสุทธิ์สูง (High Purity Germanium Detector; HPGe) ชนิดใช้งานได้ในภาคสนาม



รูปที่ 3.9 หัววัดรังสี HPGe แบบใช้งานได้ภาคสนาม

3.1.6 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข (Digital Spectrum Analyzer: DSA 2000) CANBERRA Model IN2K Serial Number 01047301 Made in U.S.A.



รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข CANBERRA (Digital Spectrum Analyzer: DSA 2000)

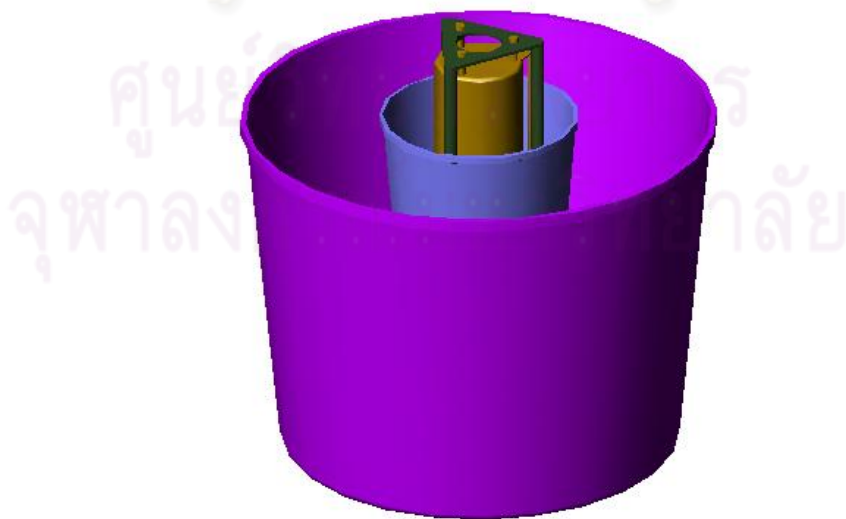
3.1.7 ถังพลาสติกสำหรับเป็นอุปกรณ์ใส่น้ำ จำนวน 2 ใบ

ถังชั้นนอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 110 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร

ถังชั้นใน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร สูง 58 เซนติเมตร



รูปที่ 3.11 ถังพลาสติก 2 ใบ ถังชั้นนอก กับถังชั้นใน



รูปที่ 3.12 แบบถังพลาสติก 2 ใบ ถังชั้นนอก กับถังชั้นใน

3.1.8 ภาชนะบรรจุตัวอย่างน้ำทำมาจากพลาสติก ปีกเกอร์แบบมารินเนลลี ขนาด 1 ลิตร



รูปที่ 3.13 ปีกเกอร์แบบมารินเนลลี

3.1.9 สารกัมมันตภาพรังสีมาตรฐาน



รูปที่ 3.14 สารกัมมันตภาพรังสีมาตรฐาน

3.1.10 ถังเติมไนโตรเจนเหลว



รูปที่ 3.15 ถังบรรจุไนโตรเจนเหลว

3.1.11 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.16 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.1.12 แผ่นตะกั่วสำหรับรองรับบริเวณ Dewar ที่บรรจุหัววัด HPGe หนา 4 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.17 แผ่นตะกั่วสำหรับรองรับบริเวณ Dewar ของหัววัด

3.1.13 ภาชนะพลาสติกสำหรับใส่น้ำ ขนาด 20 ลิตร จำนวน 50 ใบ



รูปที่ 3.18 ภาชนะพลาสติกสำหรับบรรจุน้ำ

3.1.14 ตัวอย่างน้ำ ชนิดต่างๆ สำหรับนำมาวิเคราะห์



รูปที่ 3.19 ตัวอย่างน้ำบรรจุในบีกเกอร์มารินอลิ

3.1.15 แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม หนา 2.4 มิลลิเมตร

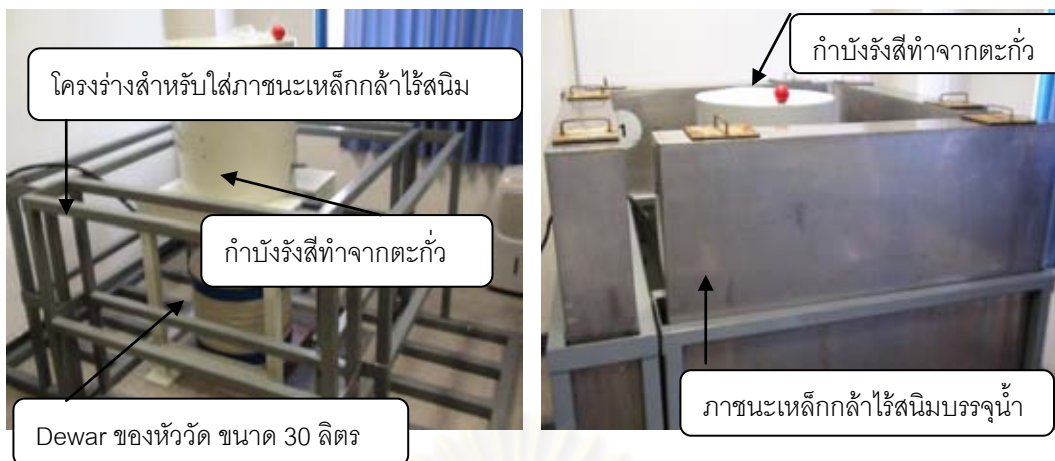


รูปที่ 3.20 แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม



รูปที่ 3.21 เปรียบเทียบระหว่างทองแดง กับแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม

ภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 1.08 เมตร x 1.23 เมตร x 0.15 เมตร สำหรับเป็นอุปกรณ์
บรรจุน้ำ 4 ถัง



รูปที่ 3.22 โครงร่างสำหรับวาง และภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิม

3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาคุณสมบัติและวิเคราะห์น้ำแต่ละชนิด ที่จะนำมาเป็นกำบังรังสี

3.2.2 ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำชนิดต่างๆ ที่สามารถหาได้อย่างสะดวก ในแหล่งบริเวณใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการ เช่น น้ำประปา, น้ำสระ, น้ำกรอง, น้ำกลั่น, น้ำบริสุทธิ์ และน้ำดื่ม ตัวอย่างละ จำนวน 5 ลิตร

3.2.3 ชั่งน้ำหนักของภาชนะเปล่าสำหรับบรรจุตัวอย่างน้ำ ปีกเกอร์แบบมารินเนลลี แล้วทำการบันทึกน้ำหนัก

3.2.4 นำน้ำแต่ละชนิดที่เก็บไว้แล้ว มาบรรจุลงใน ปีกเกอร์แบบมารินเนลลี ให้มีรูปร่างลักษณะ (Geometry) เช่นเดียวกับสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน ทำการปิดภาชนะที่บรรจุตัวอย่างน้ำให้สนิทด้วยกระดาษเทปกาว เพื่อป้องกันการปนเปื้อนกับหัววัด HPGe

3.2.5 นำภาชนะที่บรรจุตัวอย่างน้ำแต่ละชนิดแล้ว มาชั่งน้ำหนัก พร้อมบันทึกน้ำหนัก

3.2.6 คำนวณหาน้ำหนักสุทธิ ของตัวอย่างน้ำแต่ละชนิด แล้วทำการบันทึก

3.2.7 Energy Calibration คือการทำการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง หมายเลขช่อง (Channel number) กับพลังงานของรังสีแกมมา (keV) โดยใช้สารกำเนิดกัมมันตรังสีแกมมา Cs-137 ที่พลังงาน 661.70 keV และ Co-60 ที่พลังงาน 1173.20 และ 1332.50 keV

3.2.8 Efficiency Calibration คือการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

วัดปริมาณรังสีแกมมาจากสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน Multinuclide ที่บรรจุอยู่ใน Marinelli Beaker ขนาด 1 ลิตร ของบริษัท Eckert & Ziegler Isotope Products

คำนวณหาพื้นที่ใต้พีค (net peak area) ของแต่ละพลังงาน คือ 391.70, 661.70, 898.00, 1173.30 และ 1332.50 keV นำค่าที่ได้มาหารด้วยเวลาในการวัด จะได้เป็นค่า cps (count per second)

คำนวณหาค่ากัมมันตภาพรังสี (Activity) ของต้นกำเนิดสารกัมมันตรังสีมาตรฐาน Multinuclide ณ วันที่วัด ของแต่ละพลังงาน คือ 391.70, 661.70, 898.00, 1173.20 และ 1332.50 keV

คำนวณหาค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) ของแต่ละพลังงานโดยใช้สูตร

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{net peak area (cps)}}{\text{Activity (Bq)} \times \text{Branching ratio}}$$

สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน (keV) และประสิทธิภาพของหัววัด แต่ละพลังงาน โดยสร้างให้อยู่ในรูป log scale นำสมการที่ได้จากกราฟมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ที่พลังงานนั้นๆ (Ra-226, Pb-212, Pb-214, Bi-214 และ K-40)

3.2.9 จากนั้นนำตัวอย่างน้ำชนิดต่างๆมาทำการตรวจวัดวิเคราะห์ ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา (HPGe) แบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

3.2.10 นำผลการตรวจวัดที่ได้ ไปทำการวิเคราะห์หาค่าความแรงรังสีจำเพาะ ของแต่ละนิวไคลด์ ที่พบเห็นอยู่ในแบคกราวด์ ส่วนใหญ่ก็จะมีค่าความแรงรังสีจำเพาะของ Ra-226, Pb-212, Pb-214, Bi-214 และ K-40 เพื่อที่จะนำไปแสดงหาความสัมพันธ์ ของน้ำแต่ละชนิด ว่าน้ำชนิดใดเหมาะสมสำหรับนำมาเป็นกัมมันตรังสี ซึ่งชนิดของน้ำที่จะเลือกมาเป็นกัมมันตรังสีจะต้องมีไอโซโทปกัมมันตรังสีแต่ละนิวไคลด์ปะปนอยู่น้อย สามารถหาได้โดยสะดวก และราคาถูก

3.2.11 ทำการวัด Blank ของระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา ที่มีตะกั่วหนา 10 เซนติเมตร และมีทองแดงหนา 2 มิลลิเมตร อยู่รอบบริเวณหัววัด HPGe ติดกับตะกั่ว โดยใช้ระยะเวลาในการนับวัด 80,000 วินาที ทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.23 ระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมากับกัมมันตรังสีทำจากตะกั่ว

3.2.12 ทำการออกแบบภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิมที่จะนำน้ำชนิดที่เหมาะสมมาบรรจุ เพื่อนำมาเสริมวัสดุกำบังรังสีที่มีอยู่เดิมแล้วนั้น จำนวน 4 ถัง ขนาด กว้าง x ยาว x หนา (1.08 เมตร x 1.23 เมตร x 0.15 เมตร)



รูปที่ 3.24 กำบังรังสีตะกั่ว และภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิมบรรจุน้ำเต็ม

3.2.13 นำตัวอย่างน้ำชนิดที่เหมาะสมมาบรรจุลงในภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิม แล้วนำมาวางล้อมรอบบริเวณกำบังรังสีที่มีอยู่เดิม ทำการวัด Blank ของระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา โดยใช้ระยะเวลาในการนับวัด 80,000 วินาที ทำการเก็บข้อมูล

3.2.14 นำภาชนะสำหรับบรรจุน้ำ ขนาด 20 ลิตร มาทำการบรรจุน้ำชนิดที่เหมาะสม เพื่อที่จะนำมาเก็บแบคกราวด์ จากบริเวณพื้นดิน และบริเวณรอบๆ หัววัด ทำการวัด Blank ของระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา โดยใช้ระยะเวลาในการนับวัด 80,000 วินาที ทำการเก็บข้อมูล



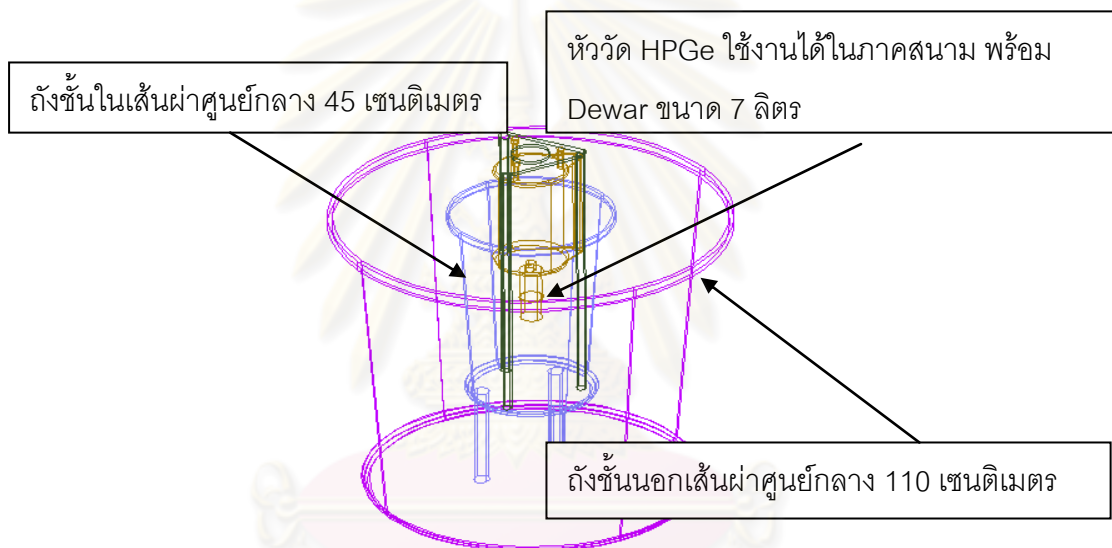
รูปที่ 3.25 กำบังรังสีตะกั่ว ภาชนะเหล็กกล้าไร้สนิม และพลาสติกสำหรับใส่น้ำประปา

3.2.15 นำแผ่นทองแดง หนา 2 มิลลิเมตรออก ทำการวัด Blank ของระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา โดยใช้ระยะเวลาในการนับวัด 80,000 วินาที ทำการเก็บข้อมูล

3.2.16 นำแผ่นทองแดง หน้า 2 มิลลิเมตรออก นำแผ่นเหล็กหนา 2.40 มิลลิเมตร มาใส่แทน ทำการวัด Blank ของระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา โดยใช้ระยะเวลาในการนับวัด 80,000 วินาที ทำการเก็บข้อมูล

3.2.17 นำแผ่นทองแดง หน้า 2 มิลลิเมตร ออก นำแผ่นเหล็กหนา 2.40 มิลลิเมตร มาใส่แทน และเพิ่มแกนลอนพลาสติกที่บรรจุน้ำที่เหมาะสมไว้ด้านบนหัววัด ทำการวัด Blank ของระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา โดยใช้ระยะเวลาในการนับวัด 80,000 วินาที ทำการเก็บข้อมูล

3.2.18 นำหัววัด HPGe แบบใช้งานได้ในภาคสนาม เครื่องวิเคราะห์สัญญาณรังสีแบบหลายช่อง มาทดสอบวัดแบบคร่าวๆ ถึงพลาสติกสำหรับเป็นอุปกรณ์ใส่น้ำ จำนวน 2 ใบ ถึงชั้นนอกกับชั้นในมาวางซ้อนกัน ซึ่งมีความหนาห่างถึงชั้นนอกกับชั้นในหนา 30 เซนติเมตร ด้านล่างระหว่างถึงเล็กกับถึงใหญ่ห่างกัน 30 เซนติเมตร



รูปที่ 3.26 แบบถังพลาสติก 2 ใบ ถึงชั้นนอก กับถึงชั้นใน

- ทำการวัด Blank ของระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา ของถังพลาสติกเปล่าๆไม่มีตัวอย่างน้ำ โดยใช้ระยะเวลาในการนับวัด 4,000 วินาที แล้วทำการบันทึกผลการวัด เพื่อเปรียบเทียบค่าของแบบคร่าวๆที่ตรวจวัดได้

- ทำการวัด Blank ของระบบวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมา ของถังพลาสติกที่ใส่ตัวอย่างน้ำ โดยใช้ระยะเวลาในการนับวัด 4,000 วินาที แล้วทำการบันทึกผลการวัด เพื่อเปรียบเทียบค่าของแบบคร่าวๆที่ตรวจวัดได้

- นำผลการวัดค่าแบบคร่าวๆของถังน้ำพลาสติกที่ไม่มีน้ำ เปรียบเทียบกับถังน้ำพลาสติกที่มีการใส่น้ำ ผลจากการเปรียบเทียบค่านับวัดรังสีสุทธิ ที่พลังงานของนิวไคลด์ Ra-226, Pb-212, Pb-214, Bi-214, K-40 และ TI-208

- นำผลการวัดค่าแบคทีเรียของถังน้ำพลาสติกที่ไม่มีน้ำ เปรียบเทียบกับถังน้ำพลาสติกที่มีการใส่น้ำ ผลจากการเปรียบเทียบค่านับวัดรังสีทั้งหมด ที่แต่ละช่วงของพลังงานของนิวไคลด์ ทั้งสเปกตรัมของรังสีแกมมา

3.2.19 ออกแบบรูปทรงขนาดกำบังรังสีที่ทำมาจากพลาสติก เป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำมา ประกอบเป็นกำบังรังสี สำหรับใช้ตรวจวัดวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสิ่งแวดล้อม กับระบบการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาแบบแบคกราวด์ต่ำ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การปรับเทียบพลังงาน (Energy Calibration)

เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเกือบทุกชนิด ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำ และความเชื่อถือได้ของผลการทดสอบ หรือผลการวิเคราะห์ จึงจำเป็นที่จะต้องดำเนินการ ให้แน่ใจว่าเครื่องมือวัดดังกล่าวสามารถให้ผลการวัดที่แม่นยำตามความต้องการ

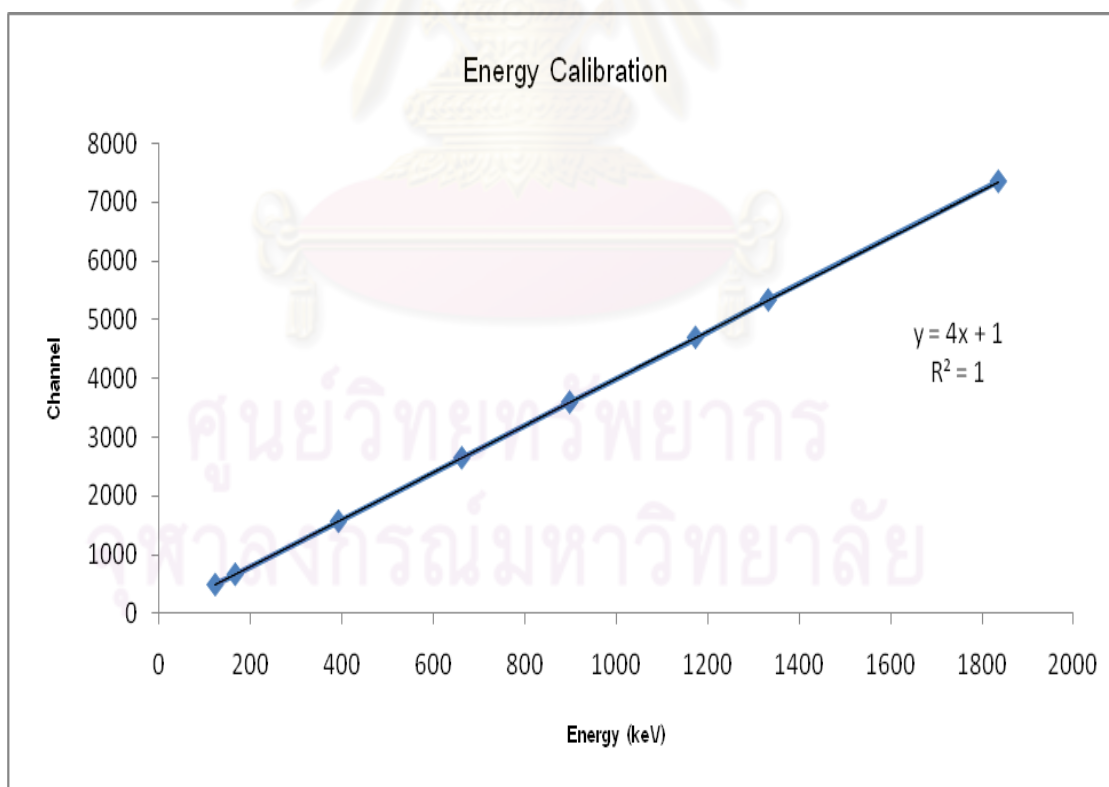
ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน เพื่อใช้ในการปรับเทียบพลังงานคือ สารกำเนิดรังสีมาตรฐาน Multinuclides ของบริษัท Eckert & Ziegler ซึ่งแต่ละชนิดของนิวไคลด์ จะให้รังสีที่มีค่าพลังงาน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของนิวไคลด์กับค่าของพลังงาน (keV)

ชนิดของนิวไคลด์รังสีแกมมา	Energy (keV)
Co - 57	122.1
Ce - 139	165.9
Sn - 113	391.7
Cs - 137	661.7
Y - 88	898.0
Co - 60	1173.2
Co - 60	1332.5
Y - 88	1836.0

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานกับช่องสัญญาณ

Energy (keV)	Channel
122.1	488.72
165.9	663.77
391.7	1566.10
661.7	2645.63
898.0	3591.38
1173.2	4692.94
1332.5	5330.73
1836.0	7347.71



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานรังสีแกมมา กับตำแหน่งยอดพีคของ channel

4.2 การปรับเทียบประสิทธิภาพ (Efficiency Calibration)

ในการวิจัยครั้งนี้ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแบบสัมนูรณ์ โดยใช้สารกำเนิดรังสีมาตรฐาน Multinuclides ของบริษัท Eckert & Ziegler ซึ่งผลิตเมื่อวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2009 12:00 PST ดังรายละเอียดตามเอกสารใบ Certificate ภาคผนวก จ

เนื่องจากสารกัมมันตรังสีมีการสลายตัวอยู่ตลอดเวลา ทำให้ปริมาณกัมมันตภาพรังสีลดลงตลอดเวลา ดังนั้นปริมาณกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ที่ระบุอยู่ในใบ Certificate จำเป็นต้องมีการแก้ไขค่าดังกล่าว โดยการคำนวณหาค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสี ของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ในสารมาตรฐาน ณ เวลาปัจจุบัน (วันที่มีการทำ Efficiency Calibration) โดยใช้สมการ (4.1) (IAEA, 1989)

$$A_{(t)} = A_{(0)} e^{-\lambda t} \quad \dots(4.1)$$

เมื่อ $A_{(t)}$	คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ชนิดใดๆ ขณะทำการ ทดลองหาประสิทธิภาพ (Bq)
$A_{(0)}$	คือ ปริมาณกัมมันตภาพรังสีของนิวไคลด์ชนิดใดๆ ขณะรับรอง ความเข้มข้นกัมมันตภาพ (Bq)
λ	คือ ค่าคงที่ของการสลายตัวของนิวไคลด์ชนิดใดๆ มีค่าเท่ากับ 0.693 / ครึ่งชีวิต (day^{-1})
t	คือ เวลาที่สารมาตรฐานสลายตัวตั้งแต่รับรองผลความเข้มข้น กัมมันตภาพจนถึงปัจจุบัน (day)

ผลการคำนวณค่าปริมาณกัมมันตภาพ และค่ากัมมันตภาพของสารมาตรฐานรังสี ณ เวลาปัจจุบัน (วันที่มีการทำ Efficiency Calibration) ดังตารางที่ 4.3 และใช้สมการที่ (4.1)

ตารางที่ 4.3 ค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสี และค่ากัมมันตภาพรังสีของสารมาตรฐาน ณ เวลา ปัจจุบัน (วันที่มีการทำ Efficiency Calibration)

นิวไคลด์	$A_{i(0)}$ Bq 1-Jan-09	λ (day ⁻¹)	Time (days)	$A_{i(t)}$ Bq 25-Sep-10
Am-241	1089.65	4.39024E-06	632	1086.630812
Cd-109	1522550	0.001498054	632	590737.2965
Co-57	563.51	0.002549763	632	112.4754598
Ce-139	711.88	0.005034874	632	29.54366248
Hg-203	2291.41	0.01487284	632	0.189623922
Sn-113	2564.84	0.006021375	632	57.06224247
Sr-85	3476.15	0.010686364	632	4.054789504
Cs-137	2463.09	6.2888E-05	632	2367.113904
Y-88	5642.5	0.006499109	632	92.81846323
Co-60	3006.62	0.000359888	632	2394.961561

1364-6 Standard Source reference Date: 1-jan-2009 12:00 PST

การคำนวณหาประสิทธิภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พลังงานต่างๆในตัวอย่างที่วิเคราะห์ และใช้สมการที่ (4.2) (IAEA, 1989) คำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ที่ค่าพลังงานใดๆ

$$\text{ใช้สมการ } \epsilon_E = \frac{N}{A_{i(t)} \times P_\gamma} \quad \dots(4.2)$$

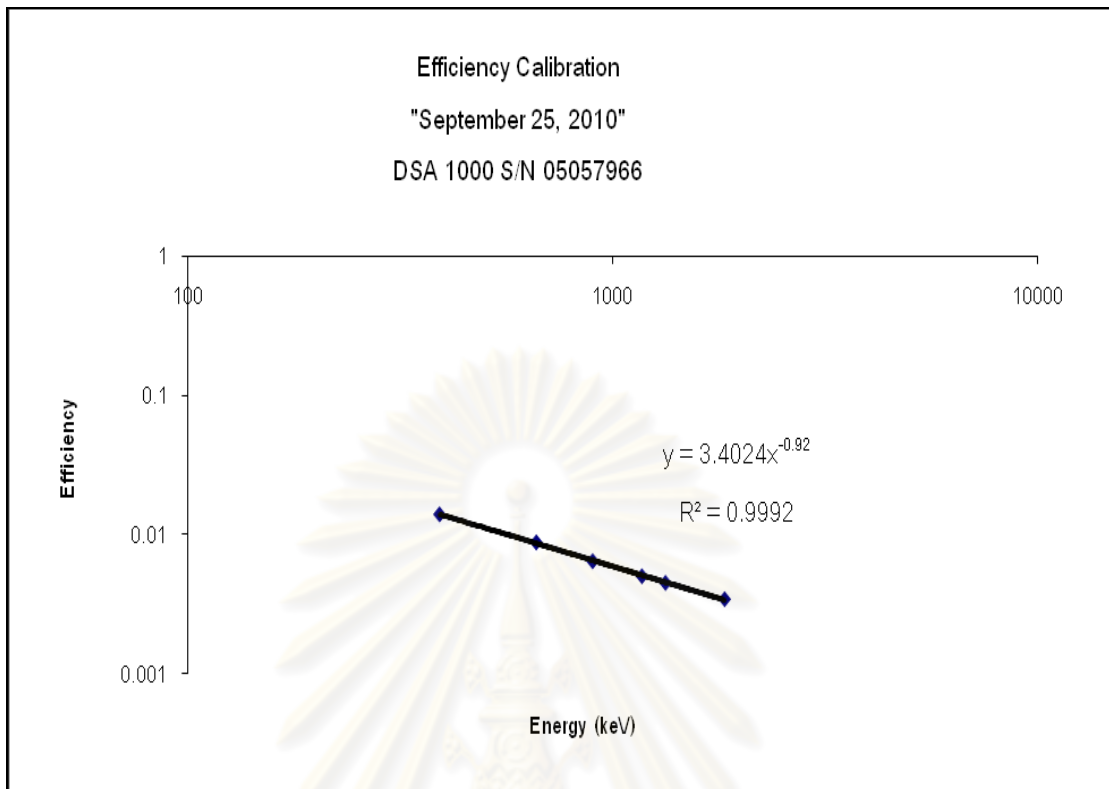
- เมื่อ
- N คือ ปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ n (count/sec)
 - $A_{i(t)}$ คือ ปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ชนิดใดๆ ขณะทำการ ทดลองหาประสิทธิภาพ (Bq)
 - ϵ_E คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ที่ค่าพลังงานใดๆ
 - P_γ คือ จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง

ตารางที่ 4.4 ค่า Efficiency ของแต่ละพลังงานที่จะใช้หาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

นิวไคลด์	Net counts	Time	R_E	$A_{(t)}$	P_E	Energy (keV)	Efficiency
Am-241	330000	80000	4.125	1086.630812	0.36	59.5	0.010544826
Cd-109	416000	80000	5.2	590737.2965	0.0363	88	0.000242495
Co-57	243000	80000	3.0375	112.4754598	0.856	122.1	0.031548938
Ce-139	55000	80000	0.6875	29.54366248	0.799	165.9	0.029124709
Sn-113	41500	80000	0.51875	57.06224247	0.649	391.7	0.014007627
Cs-137	1420000	80000	17.75	2367.113904	0.851	661.7	0.008811496
Y-88	45000	80000	0.5625	92.81846323	0.94	898	0.006447039
Co-60	963000	80000	12.0375	2394.961561	0.9986	1173.2	0.005033223
Co-60	864000	80000	10.8	2394.961561	0.9998	1332.5	0.004510369
Y-88	25400	80000	0.3175	92.81846323	0.994	1836	0.003441303

นำข้อมูลค่าประสิทธิภาพของหัววัด ในแต่ละพลังงานของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ไปสร้างกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ ไปคำนวณหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานอื่นๆ ประสิทธิภาพที่ได้จะนำไปใช้ ในการคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพรังสี ของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ในตัวอย่างน้ำชนิดต่างๆ ที่พลังงานต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหัววัดกับพลังงานต่างๆ

จากกราฟรูปที่ 4.2 จะได้สมการของประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ณ ที่พลังงานต่างๆ คือ

$$y = 3.4024 x^{-0.92} \quad \dots(4.3)$$

เมื่อ y คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

x คือ พลังงานของรังสี (keV)

นำสมการ (4.3) ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พลังงานต่างๆ ในตัวอย่างน้ำที่วิเคราะห์ และใช้สมการที่ (4.4) (IAEA, 1989) คำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์

$$A_n = \frac{R_n}{\epsilon_n \times P_\gamma \times m} \quad \dots(4.4)$$

เมื่อ A_n คือ ปริมาณกัมมันตภาพของนิวไคลด์ n (Bq/kg.)

- m คือ มวลของสารตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (kg.)
- R_n คือ อัตราการนับสุทธิของนิวไคลด์ n (counts/sec)
- ϵ_E คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ที่ค่าพลังงานใดๆ
- P_γ คือ จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง

4. ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัดที่หัววัดสามารถวัดได้ LLD (Lower Limit of Detection) มีหน่วยเป็น Bq (IAEA, 1989)

$$LLD = \frac{4.66 \times S_n}{\epsilon_E \times P_\gamma} \quad \dots(4.5)$$

การคำนวณหาค่า Standard deviation (S_n)

$$S_n^2 \text{ คือ } S_t^2 + S_b^2$$

เมื่อ S_n คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราการนับวัด (cps)

S_t คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ gross count rate (cps), $S_t^2 = R_t/t$

S_b คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ background count rate (cps), $S_b^2 = R_b/t$

R_t คือ the gross count rate (cps)

R_b คือ the background count rate (cps)

เมื่อคำนวณค่ากัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างน้ำแล้วจำเป็นต้องคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัด ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกถึงสมรรถภาพในการวัดของระบบวัดรังสี ซึ่งค่าขีดจำกัดที่หัววัดสามารถวัดได้ อธิบายได้ด้วยค่า MDC (Minimum Detectable Concentration)

5. ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัดที่หัววัดสามารถวัดได้ MDC (Minimum Detectable Concentration) มีหน่วยเป็น Bq/kg (IAEA, 1989)

$$MDC = \frac{4.66 \times S_n}{\epsilon_E \times P_\gamma m} \quad \dots(4.6)$$

การคำนวณหาค่า Standard deviation (S_n)

$$S_n^2 \text{ คือ } S_t^2 + S_b^2$$

เมื่อ S_n คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราการนับวัด (cps)

S_t คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ gross count rate (cps), $S_t^2 = R_t/t$

S_b คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ background count rate (cps), $S_b^2 = R_b/t$

m คือ ค่าน้ำหนักของตัวอย่าง มีหน่วยเป็น (kg.)

R_g คือ the gross count rate (cps)

R_b คือ the background count rate (cps)

4.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมของน้ำชนิดต่างๆ

จากผลการทดลองตรวจวัดวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำชนิดต่างๆ ด้วยระบบการวัดรังสีแกมมาสเปกโตรเมตรี ซึ่งใช้เวลาในการตรวจวัดตัวอย่าง ตัวอย่างละ 30,000 วินาที พบว่าในน้ำมีกัมมันตภาพรังสีของ Ra-226, Pb-212, Pb-214, Bi-214 และ K-40 ในปริมาณน้อยมากซึ่งสามารถแสดงผลดังตารางที่ 4.5 และ 4.6



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่พบในตัวอย่างน้ำชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำ	ปริมาณกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างน้ำ (Bq/kg)				
	Ra-226	Pb-212	Pb-214	Bi-214	K-40
น้ำกรอง # 1	-	0 - 0.30 ± 0.06	-	-	0 - 4.86 ± 0.78
น้ำกรอง # 2	-	0 - 0.30 ± 0.06	-	-	0 - 3.79 ± 0.74
น้ำสระ # 1	-	-	-	-	0 - 6.10 ± 0.72
น้ำสระ # 2	-	-	-	-	0 - 5.89 ± 0.70
น้ำประปา # 1	-	-	-	-	0 - 4.26 ± 0.72
น้ำประปา # 2	-	-	-	-	0 - 5.90 ± 0.69
น้ำประปา # 3	-	-	-	-	0 - 6.44 ± 0.84
น้ำประปา # 4	-	-	-	-	0 - 6.12 ± 0.85
น้ำประปา # 5	-	-	-	-	0 - 7.39 ± 0.95
น้ำดื่ม # 1	-	-	-	-	0 - 5.32 ± 0.77
น้ำดื่ม # 2	-	-	-	-	0 - 6.32 ± 0.75
น้ำกลั่น # 1	-	-	-	-	0 - 7.94 ± 0.91
น้ำกลั่น # 2	-	-	-	-	0 - 4.23 ± 0.86
น้ำกลั่น # 3	-	0 - 0.32 ± 0.05	-	-	0 - 4.82 ± 0.76
น้ำกลั่น # 4	-	0 - 0.30 ± 0.06	-	-	0 - 4.15 ± 0.69
น้ำคลอง # 1	0 - 3.94 ± 0.76	-	-	-	0 - 4.12 ± 0.71
น้ำคลอง # 2	0 - 3.97 ± 0.83	0 - 0.30 ± 0.06	-	-	0 - 3.95 ± 0.72

หมายเหตุ !

- หมายถึง Not Detectable หรือมีค่าน้อยกว่าค่า Lower Limit of Detection

ตารางที่ 4.6 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ห้วงวัดสามารถวัดได้สำหรับตัวอย่างน้ำ

ชนิดของนิวไคลด์	พลังงาน (keV)	ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่ห้วงวัดสามารถวัดได้ (Bq/kg)
Ra-226	186.20	3.81
Pb-212	238.60	0.29
Pb-214	351.90	0.38
Bi-214	609.30	0.39
K-40	1460.80	3.49

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

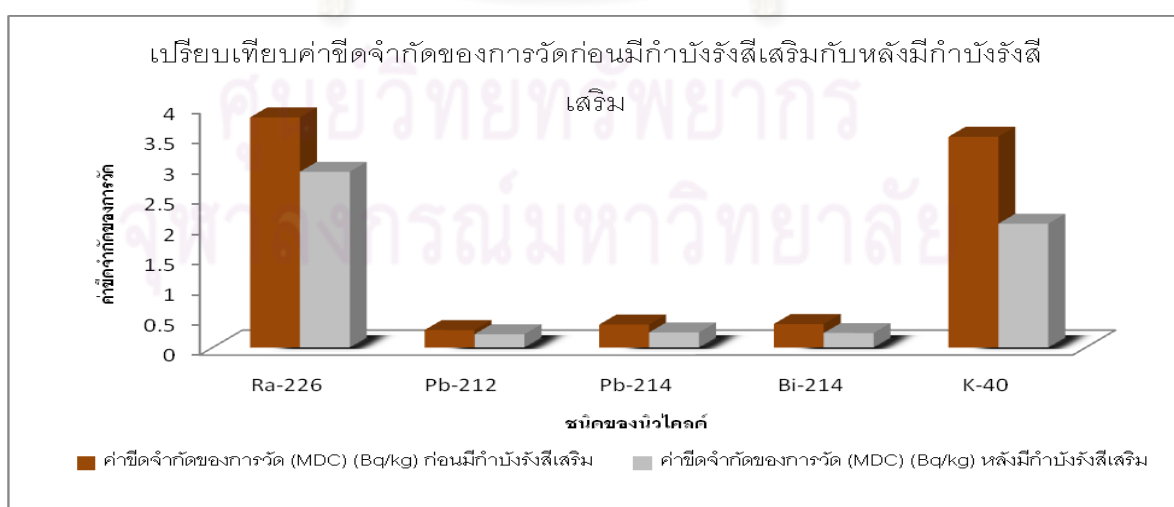
หากในตัวอย่งน้ำที่จะนำมาเป็นกำบังรังสีพบว่าไอโซโทปของ Ra-226 ก็มีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการกำจัดไอโซโทปของ Ra-226 ก่อนที่จะนำตัวอย่งน้ำมาเป็นกำบังรังสี โดยใช้แมงกานีสไดออกไซด์ที่เคลือบบนเส้นใยอะคริลิกเป็นตัวดูดซับ โดยทำการศึกษาหาถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบเส้นใยอะคริลิก ประกอบด้วย สีของเส้นใยอะคริลิก, อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และเวลาที่ใช้ในการเคลือบ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อการดูดซับเรเดียมของเส้นใยอะคริลิกที่เคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์การวิเคราะห์หาปริมาณเรเดียม-226 ทำโดยการวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีแกมมาของบิสมัท-214 ที่พลังงาน 609.3 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ การศึกษาการเคลือบโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตบนเส้นใยอะคริลิก พบว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เท่ากับ 0.5 โมล ต่อ ลิตรอุณหภูมิของสารละลายให้มีค่าอยู่ในช่วง 70 -80 องศาเซลเซียส เวลาในการเคลือบเส้นใยประมาณ 20-30 นาทีและสีของเส้นใยอะคริลิกควรมีสีดำสำหรับปริมาณของเส้นใยอะคริลิกที่เคลือบด้วยแมงกานีสไดออกไซด์ 60 กรัม (น้ำหนักเปียก) สามารถดูดซับเรเดียม-226 ในน้ำธรรมชาติที่มีปริมาตร 20-100 ลิตร ได้ดีและสำหรับการศึกษาอัตราการไหลและค่าความเป็นกรดต่างของตัวอย่งน้ำพบว่า อัตราการไหลที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 1-2 ลิตรต่อนาที และค่าความเป็นกรดต่างของตัวอย่งน้ำควรมีค่าประมาณ 6-7 ผลของการศึกษาขนาดของเส้นใยอะคริลิก พบว่า เส้นใยอะคริลิกขนาดต่าง ๆ มีประสิทธิภาพในการดูดซับเรเดียมบนแมงกานีสไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน ค่าต่ำสุดในการวัดสำหรับเทคนิคนี้มีค่าเท่ากับ 0.001 เบคเคอเรล ต่อ ลิตร

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าตัวอย่างน้ำแต่ละชนิดมีค่ากัมมันตภาพรังสีต่ำทุกตัว จึงได้เลือกน้ำประปามาใช้เป็นก้างรังสี

จากนั้นได้ทำการคำนวณค่าขีดจำกัดของการวัดนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่พลังงานต่างๆ ระหว่างก่อนที่จะมีก้างรังสีเสริม กับหลังมีก้างรังสีเสริม ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของการวัดของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ก่อนและหลังมีก้างรังสีเสริม ที่พลังงานต่างๆ ในตัวอย่างน้ำ

นิวไคลด์	พลังงาน (keV)	ค่าขีดต่ำสุดที่ห้ววัดสามารถวัดได้ (Bq/kg) ก่อนมีก้างรังสีเสริม	ค่าขีดต่ำสุดที่ห้ววัดสามารถวัดได้ (Bq/kg) หลังมีก้างรังสีเสริม
Ra - 226	186.20	3.81	2.91
Pb - 212	238.60	0.29	0.22
Pb - 214	351.90	0.38	0.25
Bi - 214	609.30	0.39	0.24
K - 40	1460.80	3.49	2.05



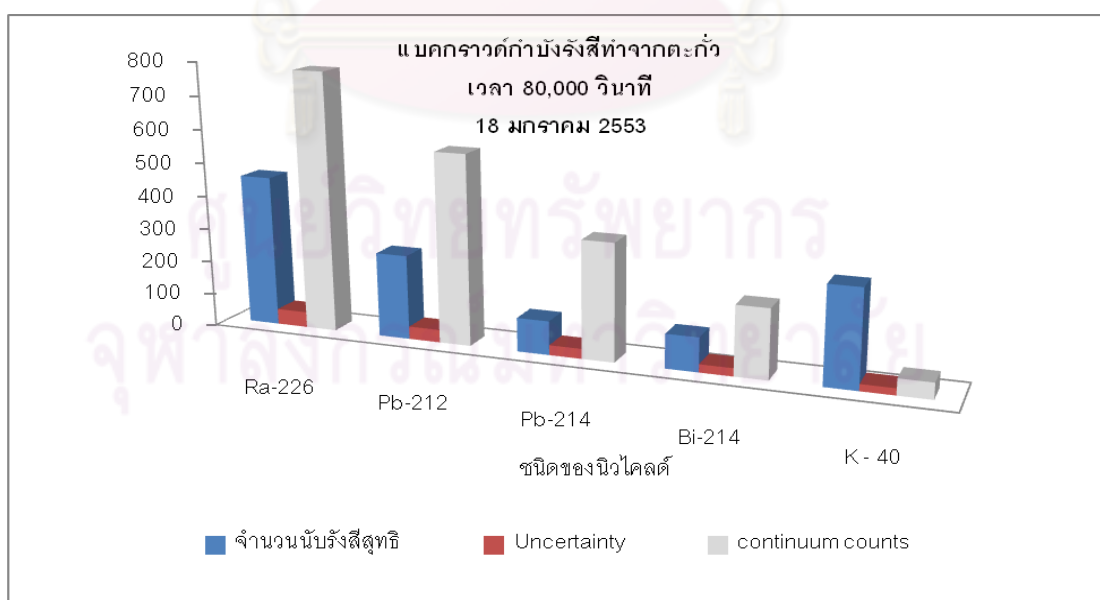
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของการวัดของนิวไคลด์กัมมันตรังสี ก่อนและหลังมีก้างรังสีเสริมที่พลังงานต่างๆ ในตัวอย่างน้ำ

4.4 การทดสอบความสามารถในการกำบังรังสี

หลังจากทดสอบคุณสมบัติของน้ำแต่ละชนิดเพื่อหาความเหมาะสมในการใช้เป็นกำบังรังสีแล้ว จึงได้ทำการวัดค่าแบบกราวด์โดยมีตะกั่ว (Pb) ที่มีความหนา 10 เซนติเมตร มีทองแดงหนา 2 มิลลิเมตร กำบังรังสีจะได้จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ผลของการทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบบกราวด์เมื่อมีกำบังรังสีตะกั่ว

กำบังรังสีทำจาก ตะกั่ว	เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	จำนวนนับ รังสีสุทธิ	uncertainty	continuum counts
	80,000		Ra-226	453	46.42
		Pb-212	253	38	568
		Pb-214	101	29.84	349
		Bi-214	102	24.27	206
		K - 40	289	20.5	48.3

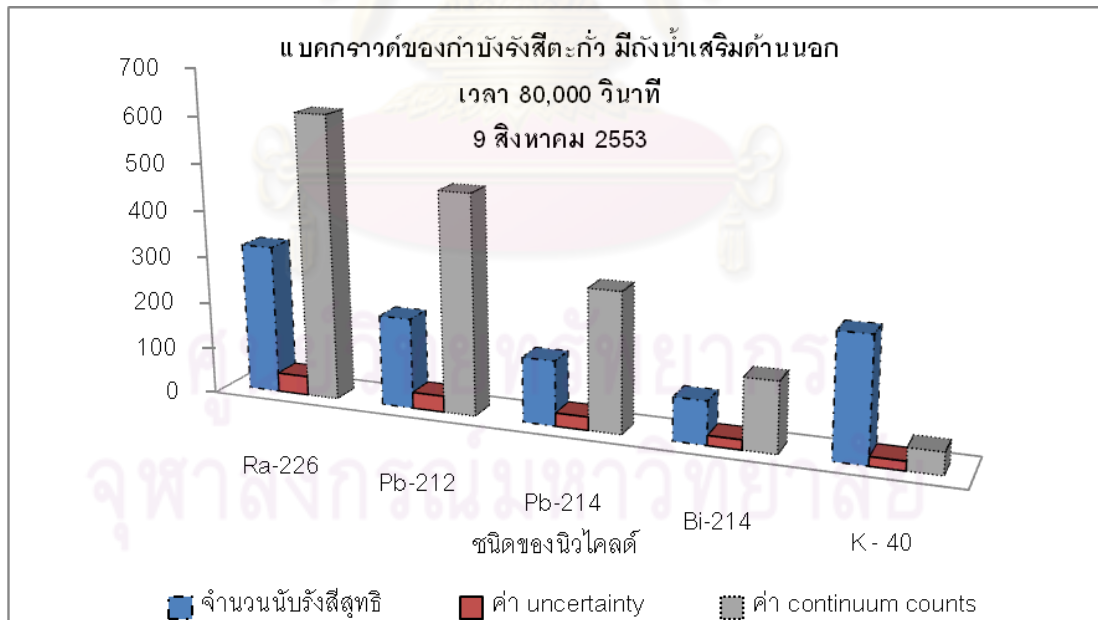


รูปที่ 4.4 จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบบกราวด์ เมื่อมีกำบังรังสีทำจากตะกั่ว

จากนั้นจึงได้ทำการวัดแบบคร่าวๆ โดยมีกำบังรังสีตะกั่ว (Pb) ที่มีความหนา 10 เซนติเมตร มีทองแดงหนา 2 มิลลิเมตร และมีถังน้ำเสริมด้านนอก ได้จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และ ค่า continuum counts ผลของการทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบบคร่าวๆ กำบังรังสีตะกั่ว มีถังน้ำเสริมด้านนอก

	เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	จำนวนนับ รังสีสุทธิ	uncertainty	continuum counts
กำบังรังสีทำจาก ตะกั่ว เสริมด้วยถัง น้ำด้านนอก	80,000	Ra-226	319	40.66	611
		Pb-212	194	34.61	471
		Pb-214	139	28.53	298
		Bi-214	92.8	21.22	150
		K - 40	263	19.7	47.3

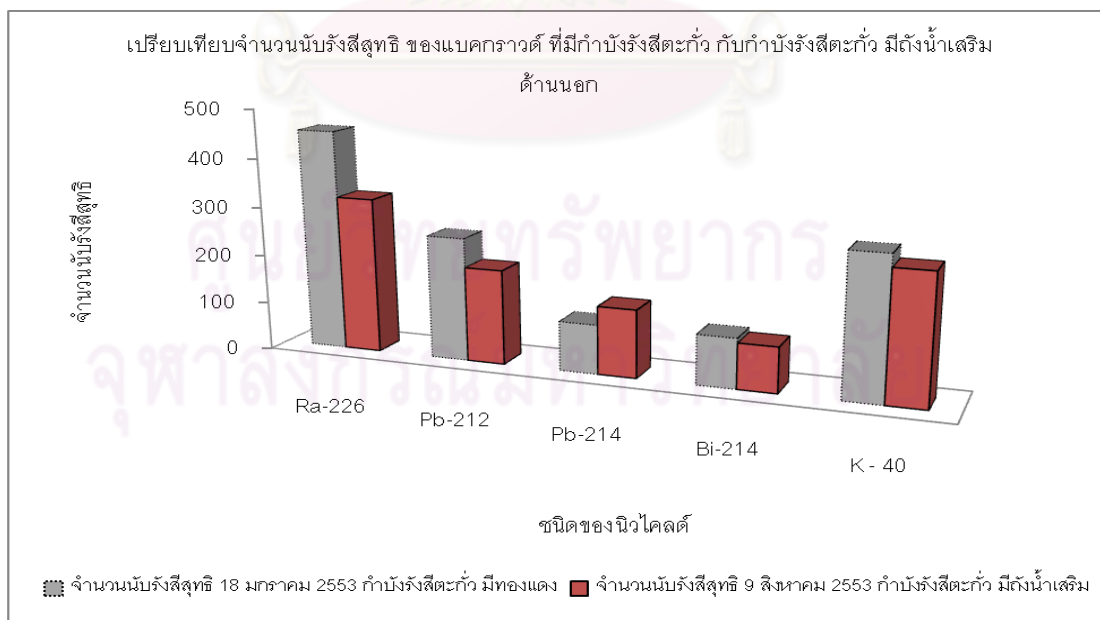


รูปที่ 4.5 จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบบคร่าวๆ เมื่อมีกำบังรังสีทำจากตะกั่ว มีถังน้ำเสริมด้านนอก

ผลจากการทดลองการทดสอบความสามารถในการกำบังรังสี ระหว่างกำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถ้ำน้ำเสริมด้านนอก จะมีจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกรวด์ลดลงดังตารางที่ 4.10 และ รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.10 จำนวนนับรังสีสุทธิ ของแบคกรวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วเมื่อมีถ้ำน้ำเสริมด้านนอก

เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	พลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีสุทธิ 18 มกราคม 2553 กำบังรังสีตะกั่ว	จำนวนนับรังสีสุทธิ 9 สิงหาคม 2553 กำบังรังสีตะกั่ว ถ้ำน้ำเสริม
80,000	Ra-226	186.20	453	319
	Pb-212	238.60	253	194
	Pb-214	351.90	101	139
	Bi-214	609.30	102	92.8
	K - 40	1460.80	289	263

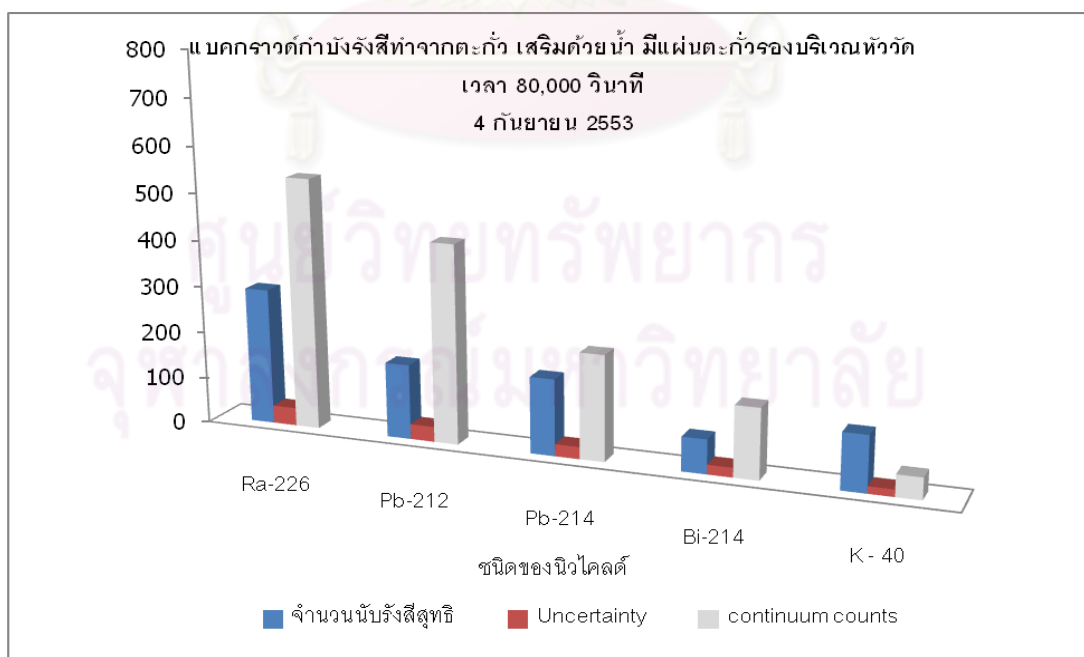


รูปที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกรวด์ เมื่อมีกำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถ้ำน้ำเสริมด้านนอก

ทดสอบความสามารถกำบังรังสีตะกั่ว (Pb) ที่มีความหนา 10 เซนติเมตร มีทองแดงหนา 2 มิลลิเมตร มีถังน้ำเสริม มีพลาสติกใสน้ำ และมีแผ่นตะกั่ว หนา 4 มิลลิเมตร รองรับบริเวณถังของหัววัด HPGe ซึ่งได้ทำการวัดค่าแบคกราวด์ จะได้จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ผลของการทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 รูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.11 จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบคกราวด์กำบังรังสีตะกั่ว มีถังน้ำ พลาสติกใสน้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด

กำบังรังสีตะกั่ว ถังน้ำ พลาสติกเสริม แผ่นตะกั่วรองรับ หัววัด	เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	จำนวนนับ รังสีสุทธิ	uncertainty	continuum counts
	80,000	Ra-226	293	38.3	539
		Pb-212	161	32.51	427
		Pb-214	164	26.05	226
		Bi-214	73.4	20.71	151
		K - 40	120	15.57	46.6

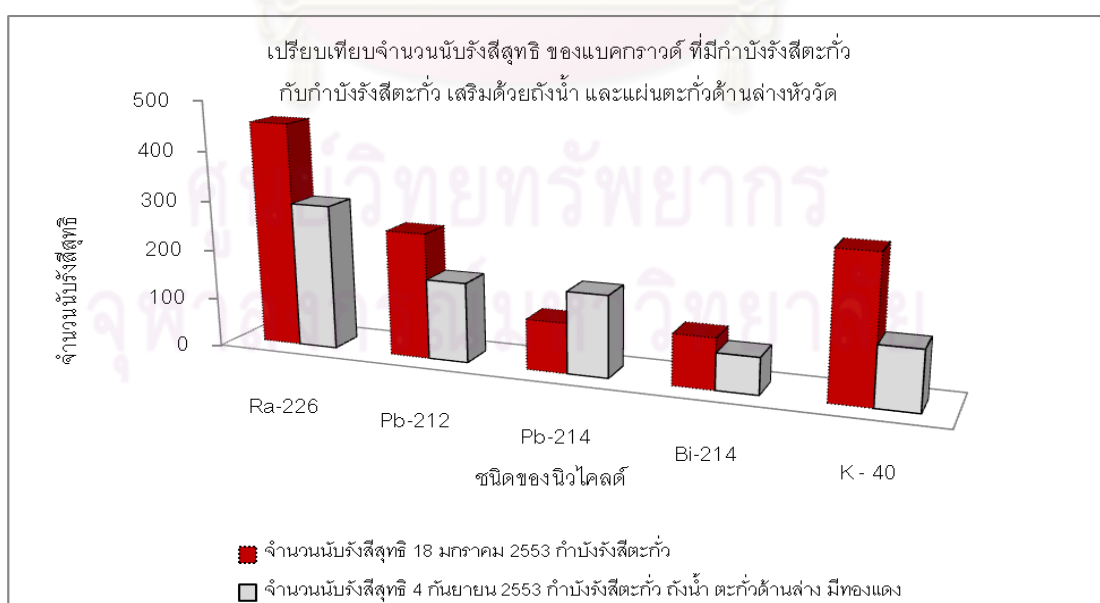


รูปที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว มีถังน้ำ พลาสติกใสน้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด

ผลจากการทดสอบความสามารถในการกำบังรังสี ระหว่างกำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถ้ำน้ำ พลาสติกใสน้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด จะมีจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ลดลงดังตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.12 ผลการเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถ้ำน้ำ พลาสติกใสน้ำ มีแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด

เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	พลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีสุทธิ	จำนวนนับรังสีสุทธิ
			18 มกราคม 2553 กำบังรังสีตะกั่ว	4 กันยายน 2553 กำบังรังสีตะกั่ว ถ้ำน้ำ พลาสติกใสน้ำ แผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด
80000	Ra-226	186.20	453	293
	Pb-212	238.60	253	161
	Pb-214	351.90	101	164
	Bi-214	609.30	102	73.4
	K - 40	1460.80	289	120



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบ จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถ้ำน้ำ พลาสติกใสน้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด

ทดสอบความสามารถกำบังรังสีตะกั่ว (Pb) ที่มีความหนา 10 เซนติเมตร ไม่มีทองแดง มีถึงน้ำเสริม มีพลาสติกใสน้ำ และมีแผ่นตะกั่ว หนา 4 มิลลิเมตร รองรับบริเวณถังของหัววัด HPGe ซึ่งได้ทำการวัดค่าแบคกราวด์ จะได้จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ผลของการทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.13

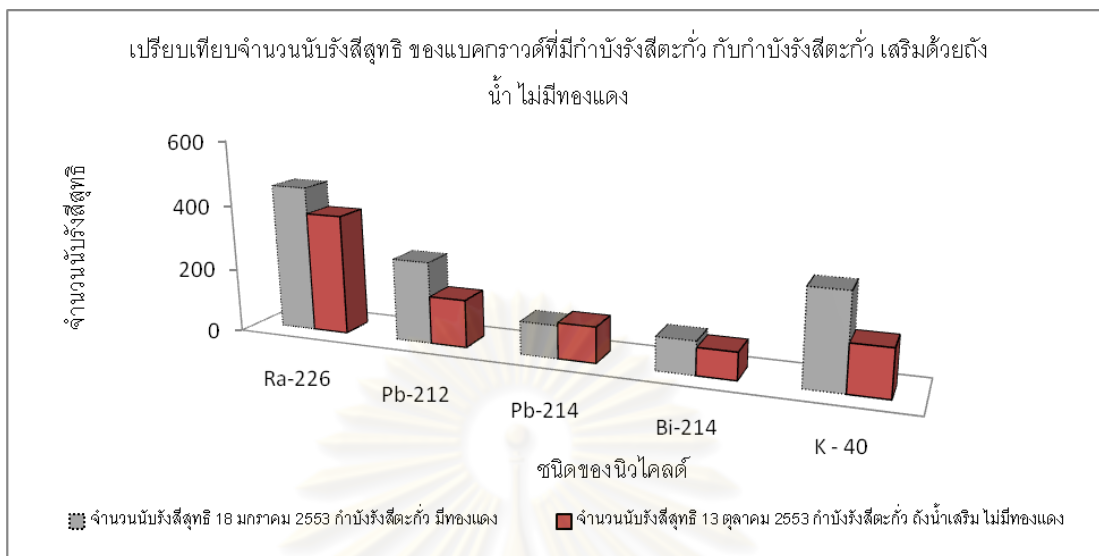
ตารางที่ 4.13 จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบคกราวด์กำบังรังสีตะกั่ว มีถึงน้ำ พลาสติกใสน้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง

กำบังรังสีตะกั่ว มีถึงน้ำ พลาสติกใสน้ำ น้ำ มีแผ่นตะกั่ว ไม่มี ทองแดง	เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	จำนวนนับ รังสีสุทธิ	uncertainty	continuum counts
	80,000	Ra-226	372	36.76	451
		Pb-212	147	31.43	401
		Pb-214	110	25.72	244
		Bi-214	83.5	20.52	142
		K - 40	145	16.85	53.2

ผลจากการทดลองการทดสอบความสามารถในการกำบังรังสี ระหว่างกำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงน้ำ พลาสติกใสน้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดงจะมีจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ลดลงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 จำนวนนับรังสีสุทธิ ของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงน้ำ พลาสติกใสน้ำ มีแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง

เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	พลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีสุทธิ 18 มกราคม 2553 กำบังรังสีตะกั่ว ไม่มี ทองแดง	จำนวนนับรังสีสุทธิ 13 ตุลาคม 2553 กำบังรังสีตะกั่ว ถึงน้ำ พลาสติกใสน้ำ แผ่นตะกั่วด้านล่าง ไม่มีทองแดง
80,000	Ra-226	186.20	453	372
	Pb-212	238.60	253	147
	Pb-214	351.90	101	110
	Bi-214	609.30	102	83.5
	K - 40	1460.80	289	145



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกรวด กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถังพลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองด้านล่าง ไม่มีทองแดง

ทดสอบความสามารถกำบังรังสีตะกั่ว (Pb) ที่มีความหนา 10 เซนติเมตร ไม่มีทองแดงมีแผ่นเหล็ก หนา 2.40 มิลลิเมตร มีถังน้ำเสริม มีพลาสติกใส่น้ำ และมีแผ่นตะกั่ว หนา 4 มิลลิเมตร รองรับบริเวณถังของหัววัด HPGe ซึ่งได้ทำการวัดค่าแบคกรวด จะได้จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ผลของการทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.15

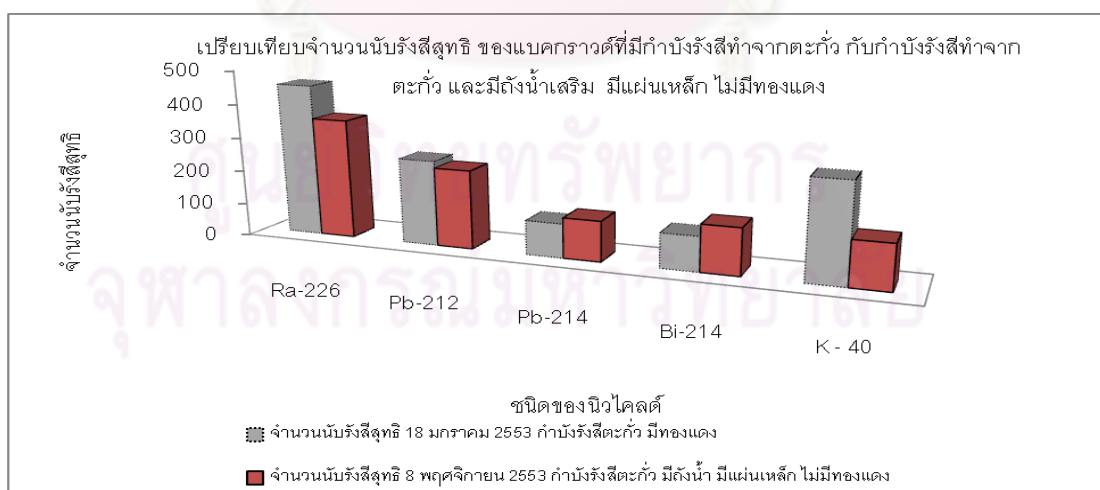
ตารางที่ 4.15 จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบคกรวด กำบังรังสีตะกั่ว มีถังน้ำ พลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก

	เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	จำนวนนับรังสีสุทธิ	uncertainty	continuum counts
กำบังรังสีตะกั่ว มีถังน้ำ พลาสติกใส่น้ำ มีแผ่นตะกั่ว ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก	80,000	Ra-226	355	34.11	420
		Pb-212	233	30.17	353
		Pb-214	119	26.29	253
		Bi-214	137	17.75	88.5
		K - 40	132	14.49	36.6

ผลจากการทดลองการทดสอบความสามารถในการกำบังรังสี ระหว่างกำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดงจะมีจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ลดลงดังตารางที่ 4.16 และ รูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ มีแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก

เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	พลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีสุทธิ 18 มกราคม 2553 กำบังรังสีตะกั่ว	จำนวนนับรังสีสุทธิ 8 พฤศจิกายน 2553 กำบังรังสีตะกั่ว ถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ แผ่นตะกั่วด้านล่าง ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก
80,000	Ra-226	186.20	453	355
	Pb-212	238.60	253	233
	Pb-214	351.90	101	119
	Bi-214	609.30	102	137
	K - 40	1460.80	289	132



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วมีถึงน้ำ พลาสติกใส่น้ำ มีแผ่นตะกั่วรองด้านล่าง ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก

ทดสอบความสามารถกัมมันตรังสีตะกั่ว (Pb) ที่มีความหนา 10 เซนติเมตร ไม่มีทองแดงมีแผ่นเหล็ก หนา 2.40 มิลลิเมตร มีถังน้ำเสริม มีพลาสติกใสน้ำ และมีแผ่นตะกั่ว หนา 4 มิลลิเมตร รองรับบริเวณถังของหัววัด HPGe มีน้ำบนกัมมันตรังสีตะกั่ว ซึ่งได้ทำการวัดค่าแบบคร่าวๆ จะได้จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า net area count. และค่า continuum counts ผลของการทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 จำนวนนับรังสีสุทธิ ค่า uncertainty และค่า continuum counts ของแบบคร่าวๆ กัมมันตรังสีตะกั่ว มีถังน้ำ พลาสติกใสน้ำ และแผ่นตะกั่วรองรับบริเวณหัววัด ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็กมีน้ำบนกัมมันตรังสีตะกั่ว

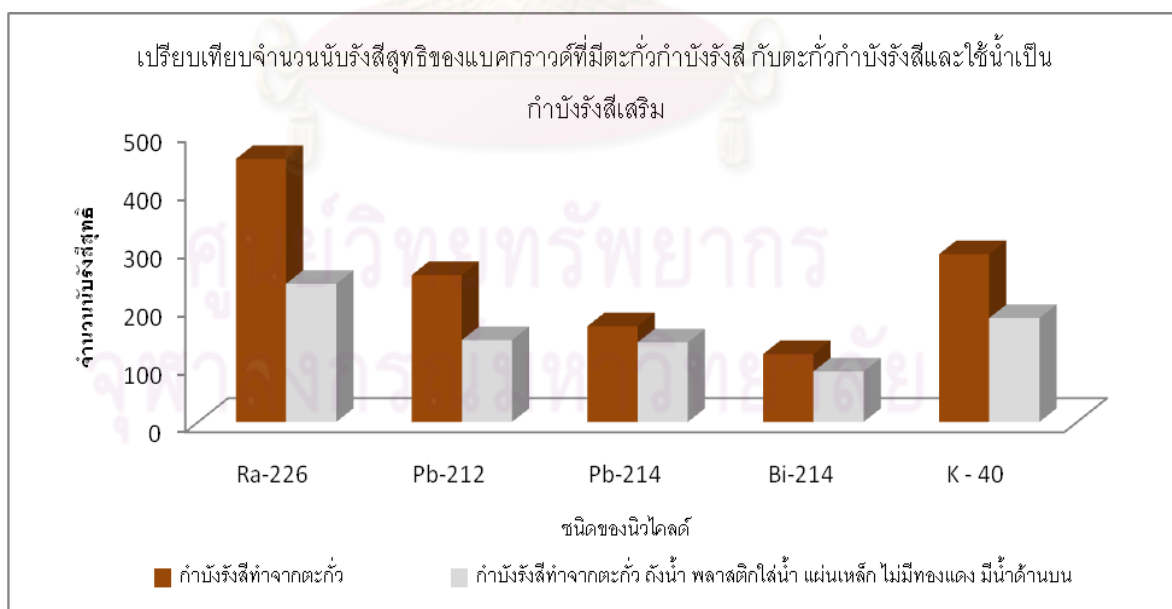
กัมมันตรังสีทำจากตะกั่ว มีถังน้ำ พลาสติกใสน้ำ มี แผ่นตะกั่ว ไม่มีทองแดง มีแผ่นเหล็ก มีน้ำบน กัมมันตรังสีตะกั่ว	เวลาวัด (วินาที)	นิวไคลด์	จำนวนนับ รังสีสุทธิ	uncertainty	continuum counts
	80,000	Ra-226	290	34.83	480
		Pb-212	203	30.04	364
		Pb-214	137	27.13	264
		Bi-214	86.9	18.17	120
		K - 40	162	16.59	53.6

จากผลการทดลองนำสเปกตรัมของแบบคร่าวๆ ที่มีกัมมันตรังสีตะกั่วที่มีอยู่เดิม แล้วนำผลการตรวจวัดวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับหลังที่มีการกัมมันตรังสีเสริมด้วยน้ำประปา เพื่อเปรียบเทียบอัตราการนับวัดรังสีสุทธิของแบบคร่าวๆ เพื่อดูค่าของ Compton continuum แต่ละชนิดของนิวไคลด์ดังตารางที่ 4.18 และ รูปที่ 4.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ กำบังรังสีตะกั่วกับแบคกราวด์กำบังรังสี
ตะกั่วเสริมด้วยน้ำประปา

เวลาวัด (วินาที)	Nuclides	Energy (keV)	จำนวนนับรังสี วัน/เดือน/ปี 18 มกราคม 2553 กำบังรังสีตะกั่ว	จำนวนนับรังสี วัน/เดือน/ปี 20 พฤศจิกายน 2553 กำบังรังสีตะกั่ว ถังน้ำ พลาสติกใสน้ำ แผ่นเหล็ก ไม่มีทองแดง มีน้ำด้านบน
80,000	Ra-226	186.20	453	238
	Pb-212	238.60	253	141
	Pb-214	351.90	165	137
	Bi-214	609.30	117	86.9
	K - 40	1460.80	289	179



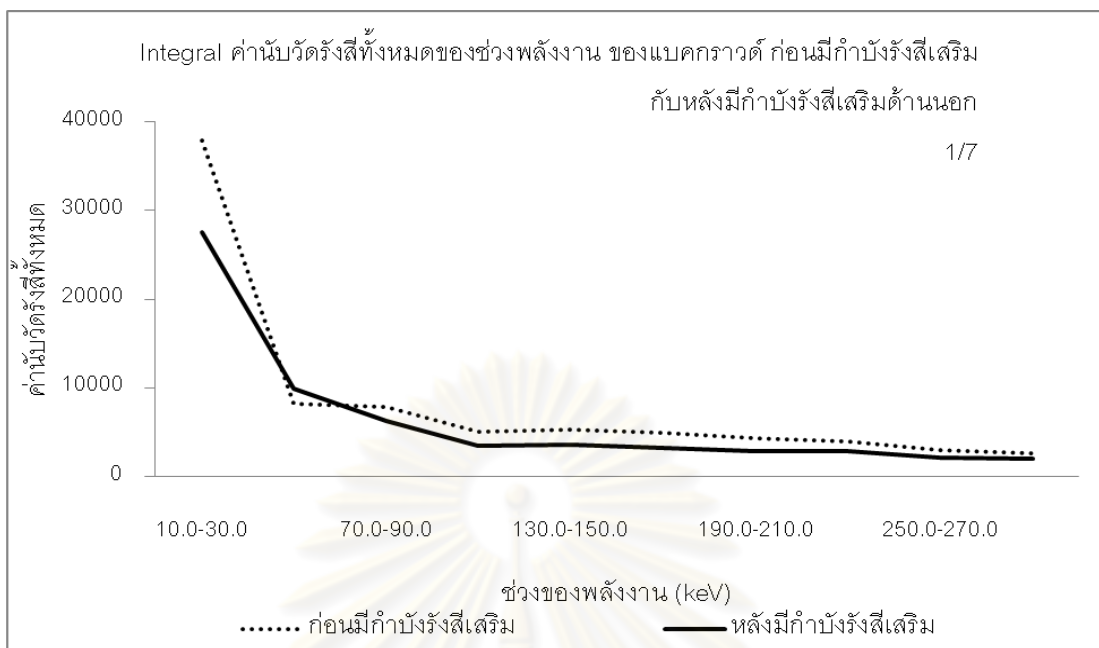
รูปที่ 4.11 จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกราวด์ ของกำบังรังสีตะกั่ว กับแบคกราวด์ของ
กำบังรังสีตะกั่วเสริมด้วยน้ำประปา

จากผลการวิเคราะห์จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคกิ้งกราวด์ ของกำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่วเสริมด้วยตัวอย่างน้ำจากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งสามารถลดแบคกิ้งกราวด์ในช่วงของพลังงาน 184.80 - 187.30, 237.50 - 240.00, 350.50 - 352.20, 608.30 - 611.50 และ 1459.80 - 1464.50 keV

จากการนำสเปกตรัมรังสีแกมมาของแบคกิ้งกราวด์ซึ่งมีกำบังรังสีตะกั่วกับแบคกิ้งกราวด์ซึ่งมีกำบังรังสีตะกั่วเสริมด้วยน้ำประปา มาทำการ Integral ของแต่ละช่วงพลังงาน (keV) เพื่อเปรียบเทียบค่าแตกต่างของจำนวนนับรังสีทั้งหมดได้ ดังตารางที่ 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25 และรูปที่ 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกิ้งกราวด์ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับหลังมีการกำบังรังสีด้วยถังน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)

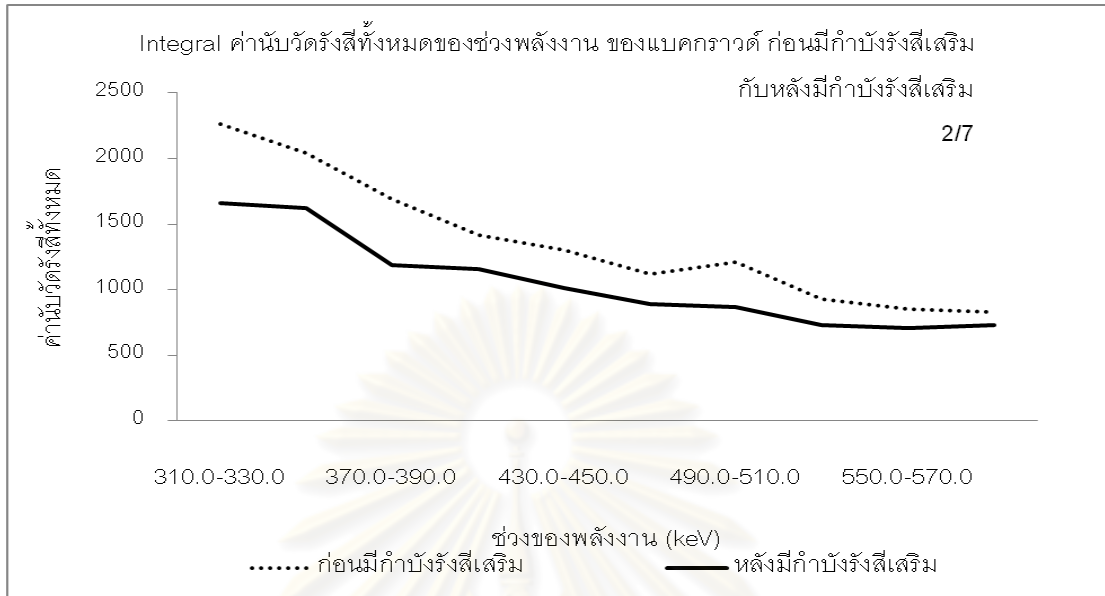
ช่วงพลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีทั้งหมดก่อนมีกำบัง รังสีเสริม Integral background	จำนวนนับรังสีทั้งหมดหลังมีกำบัง รังสีเสริม Integral background
10.0-30.0	37883	27607
40.0-60.0	8221	9979
70.0-90.0	7808	6281
100.0-120.0	5018	3469
130.0-150.0	5294	3559
160.0-180.0	4887	3207
190.0-210.0	4298	2891
220.0-240.0	3915	2826
250.0-270.0	3048	2166
280.0-300.0	2615	2055



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับ หลังมีการกำบังรังสีด้วยถังน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

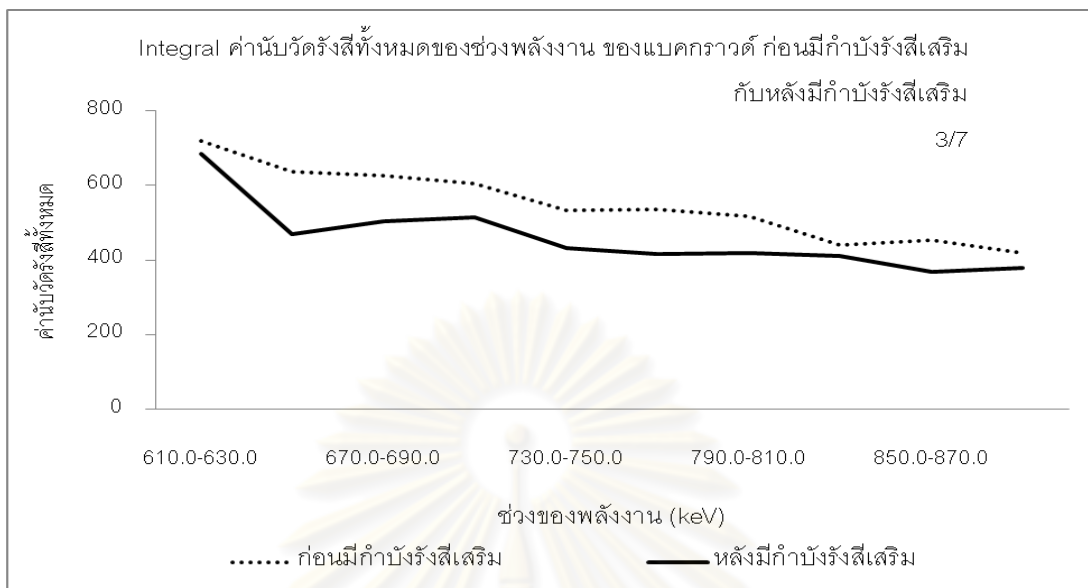
ช่วงพลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีทั้งหมดก่อนมีกำบังรังสีเสริม Integral background	จำนวนนับรังสีทั้งหมดหลังมีกำบังรังสีเสริม Integral background
310.0-330.0	2262	1660
340.0-360.0	2045	1626
370.0-390.0	1693	1186
400.0-420.0	1416	1155
430.0-450.0	1301	1012
460.0-480.0	1120	889
490.0-510.0	1211	868
520.0-540.0	932	732
550.0-570.0	852	709
580.0-600.0	827	727



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

ตารางที่ 4.21 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับหลังมีการกำบังรังสีด้วยถังน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)

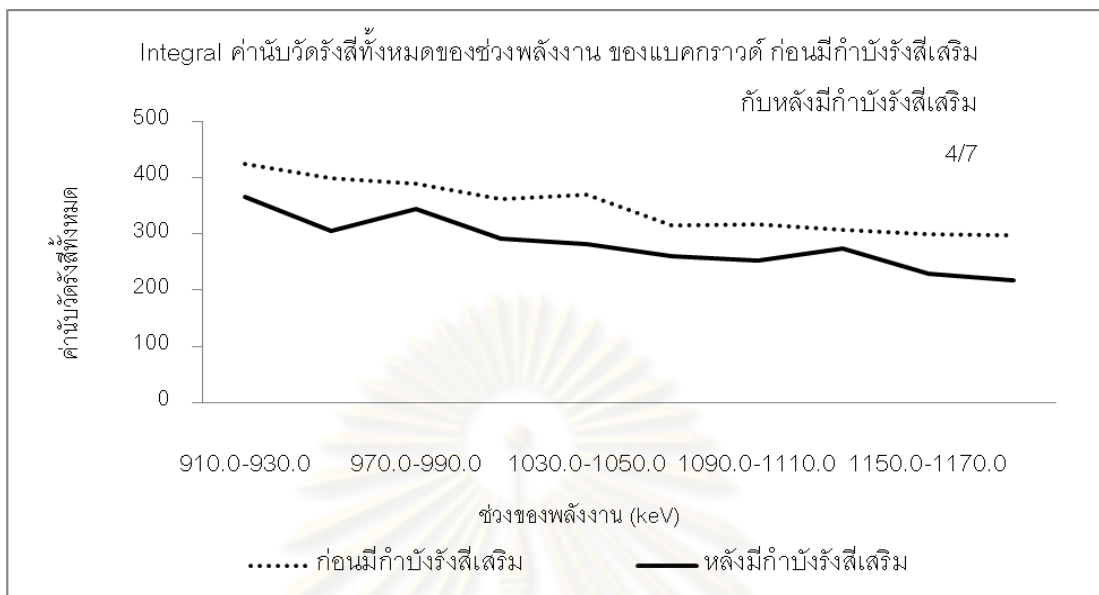
ช่วงพลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีทั้งหมดก่อนมีกำบังรังสีเสริม Integral background	จำนวนนับรังสีทั้งหมดหลังมีกำบังรังสีเสริม Integral background
610.0-630.0	720	685
640.0-660.0	637	469
670.0-690.0	626	505
700.0-720.0	606	516
730.0-750.0	533	432
760.0-780.0	537	417
790.0-810.0	518	419
820.0-840.0	441	412
850.0-870.0	454	369
880.0-900.0	420	378



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

ตารางที่ 4.22 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับหลังมีการกำบังรังสีด้วยถ้ำน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

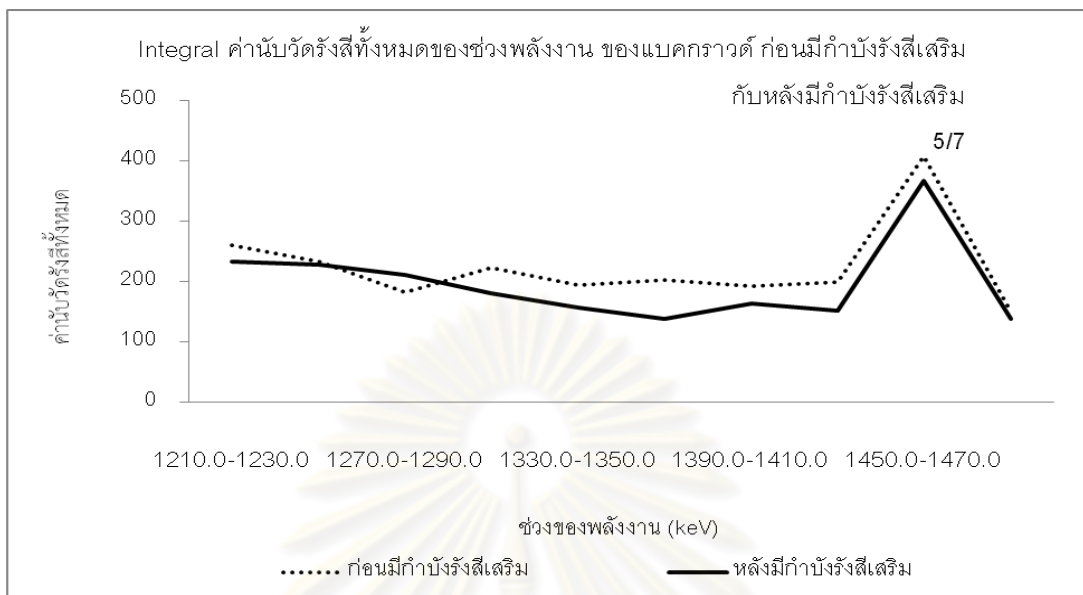
ช่วงพลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีทั้งหมดก่อนมีกำบัง รังสีเสริม Integral background	จำนวนนับรังสีทั้งหมดหลังมีกำบัง รังสีเสริม Integral background
910.0-930.0	424	366
940.0-960.0	399	306
970.0-990.0	389	345
1000.0-1020.0	361	292
1030.0-1050.0	369	282
1060.0-1080.0	315	261
1090.0-1110.0	317	253
1120.0-1140.0	308	273
1150.0-1170.0	299	228
1180.0-1200.0	297	218



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับหลังมีการกำบังรังสีด้วยถังน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

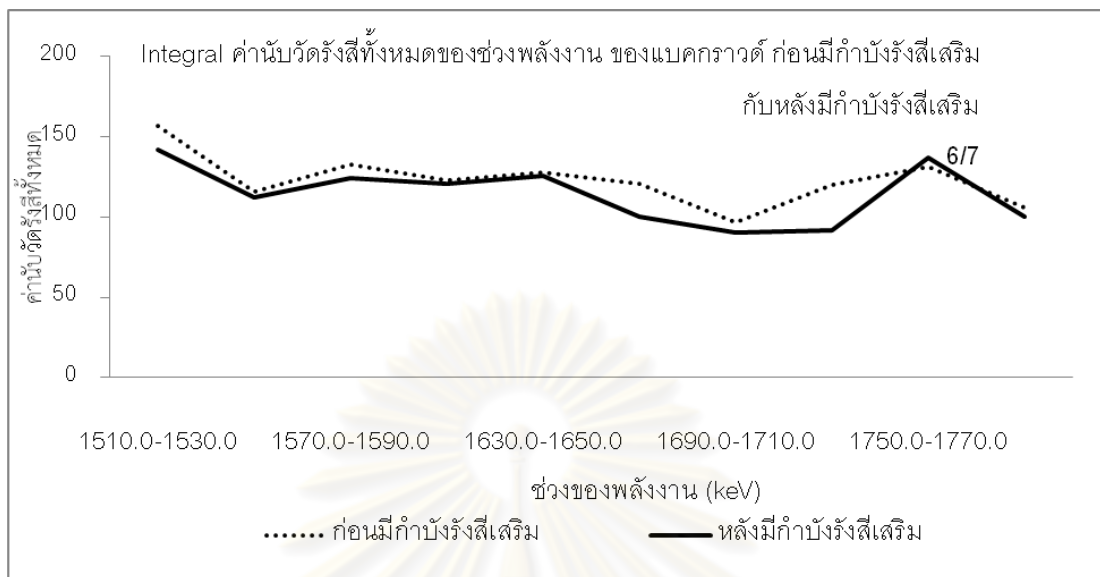
ช่วงพลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีทั้งหมดก่อนมีกำบังรังสีเสริม Integral background	จำนวนนับรังสีทั้งหมดหลังมีกำบังรังสีเสริม Integral background
1210.0-1230.0	261	233
1240.0-1260.0	234	229
1270.0-1290.0	183	211
1300.0-1320.0	224	181
1330.0-1350.0	195	158
1360.0-1380.0	203	138
1390.0-1410.0	192	164
1420.0-1440.0	199	152
1450.0-1470.0	408	367
1480.0-1500.0	151	138



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

ตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับหลังมีการกำบังรังสีด้วยถังน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

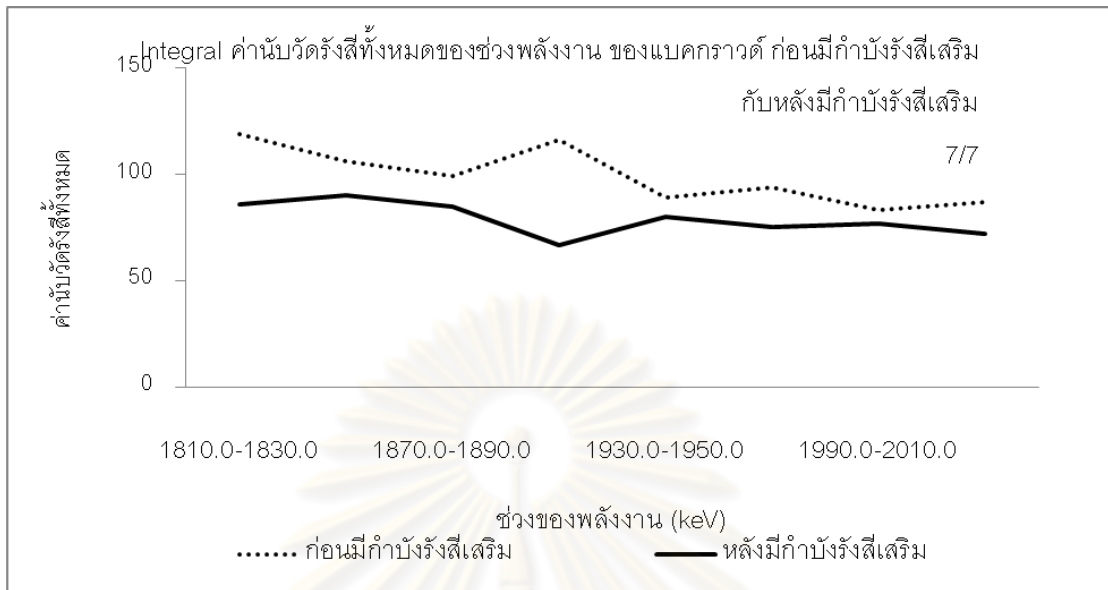
ช่วงพลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีทั้งหมดก่อนมีกำบังรังสีเสริม Integral background	จำนวนนับรังสีทั้งหมดหลังมีกำบังรังสีเสริม Integral background
1510.0-1530.0	157	142
1540.0-1560.0	116	112
1570.0-1590.0	133	124
1600.0-1620.0	123	121
1630.0-1650.0	128	126
1660.0-1680.0	121	100
1690.0-1710.0	97	90
1720.0-1740.0	120	92
1750.0-1770.0	131	137
1780.0-1800.0	106	100



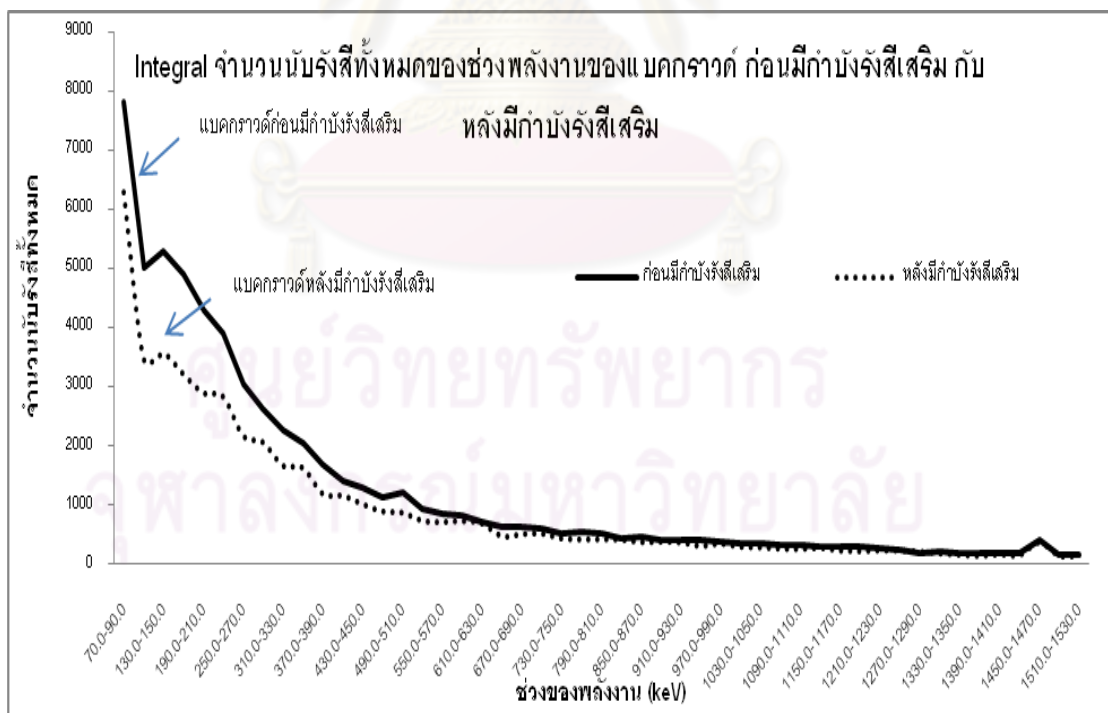
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) (ต่อ)

ตารางที่ 4.25 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ก่อนมีกำบังรังสีเสริม กับหลังมีการกำบังรังสีด้วยถังน้ำเสริม ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)

ช่วงพลังงาน (keV)	จำนวนนับรังสีทั้งหมดก่อนมีกำบังรังสีเสริม Integral background	จำนวนนับรังสีทั้งหมดหลังมีกำบังรังสีเสริม Integral background
1810.0-1830.0	119	86
1840.0-1860.0	106	90
1870.0-1890.0	99	85
1900.0-1920.0	116	67
1930.0-1950.0	89	80
1960.0-1980.0	94	75
1990.0-2010.0	83	77
2020.0-2040.0	87	72



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)



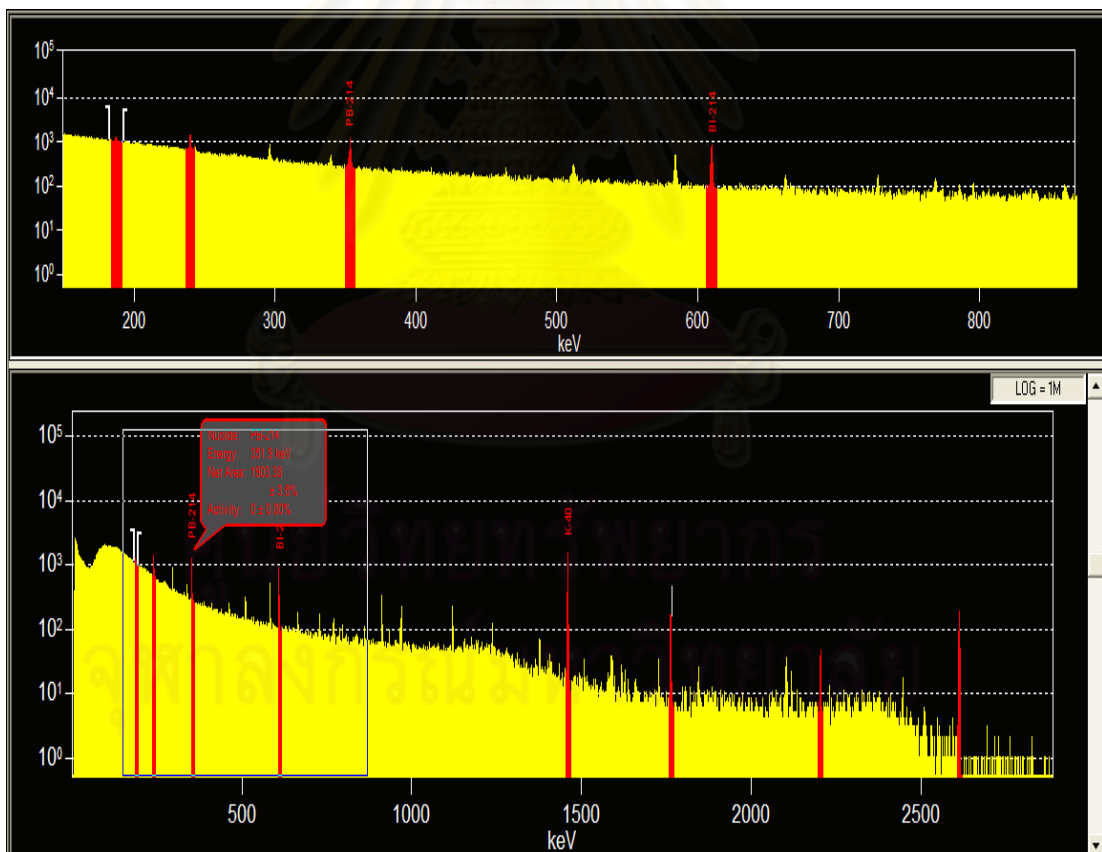
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับของรังสีทั้งหมดแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV)

จากผลการวิเคราะห์ค่าการนับวัดรังสีทั้งหมดของค่าแบคกราวด์ แต่ละช่วงพลังงาน ของ กัมมันตรังสีตะกั่ว กับกัมมันตรังสีตะกั่วเสริมด้วยตัวอย่างน้ำจากกราฟรูปที่ 4.19 ซึ่งสามารถลดค่าแบคกราวด์ในช่วงของพลังงาน 130.00 - 150.00, 490.00 - 510.00, 760.00 - 780.00, 1030.00 - 1050.00, 1360.00 - 1380.00, 1660.00 - 1680.00 และ 1900.00 - 1920.00 keV

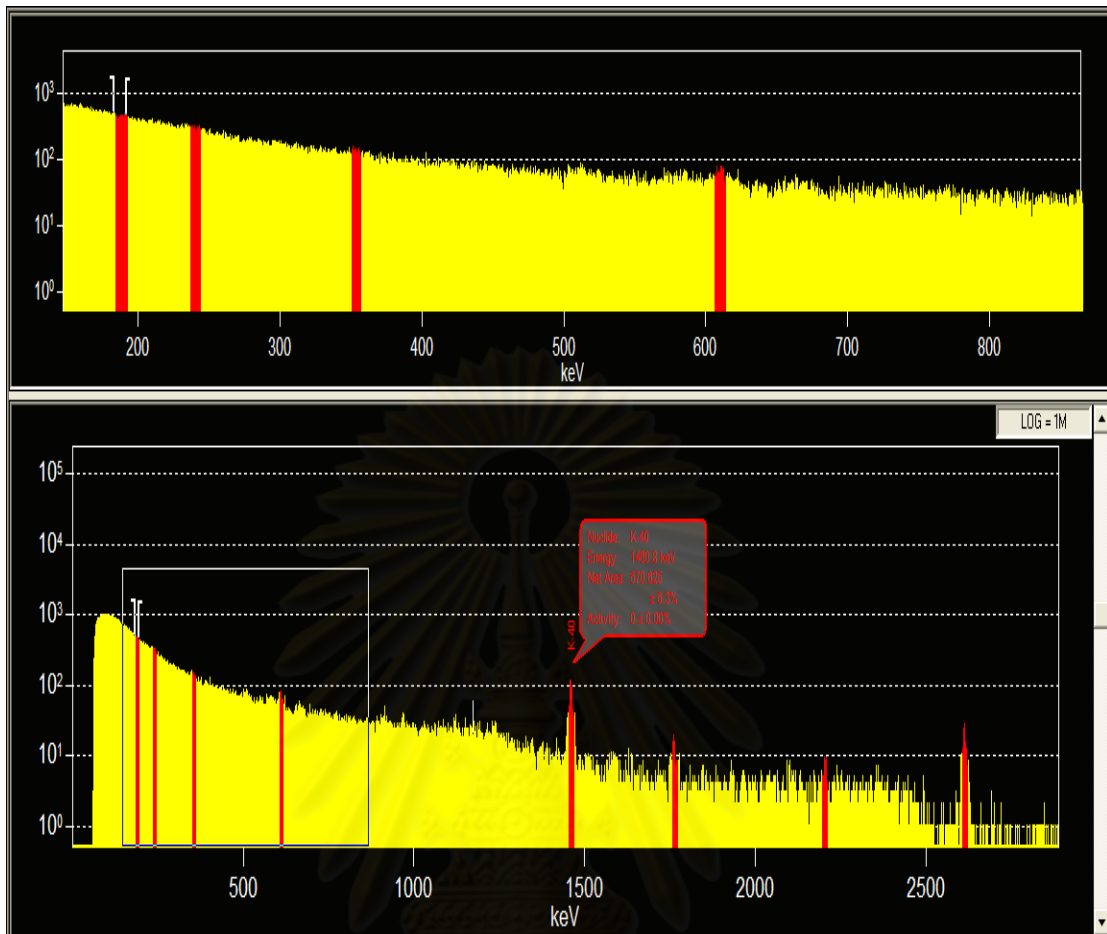
4.5 ศึกษาและการออกแบบใช้น้ำกัมมันตรังสีแทนตะกั่ว

การศึกษาและเปรียบเทียบการใช้ตะกั่วกัมมันตรังสี กับการใช้กัมมันตรังสีน้ำจากการคำนวณที่ พลังงาน 661.7 keV เมื่อมีการใช้ตะกั่วกัมมันตรังสีหนา 10 เซนติเมตร จะต้องมีการใช้กัมมันตรังสีน้ำที่มีความหนาถึง 138.00 เซนติเมตร จึงจะสามารถกัมมันตรังสีได้ใกล้เคียงกัน

ในการทดลองวัดแบคกราวด์ของถังพลาสติก 2 ใบที่ไม่มีน้ำ ด้วยหัววัด HPGe จะได้สเปกตรัมดังรูปที่ 4.20 และวัดแบคกราวด์ของถังพลาสติก 2 ใบที่ใส่น้ำ ดังรูปที่ 4.21 ใช้เวลาในการนับวัด 4,000 วินาที

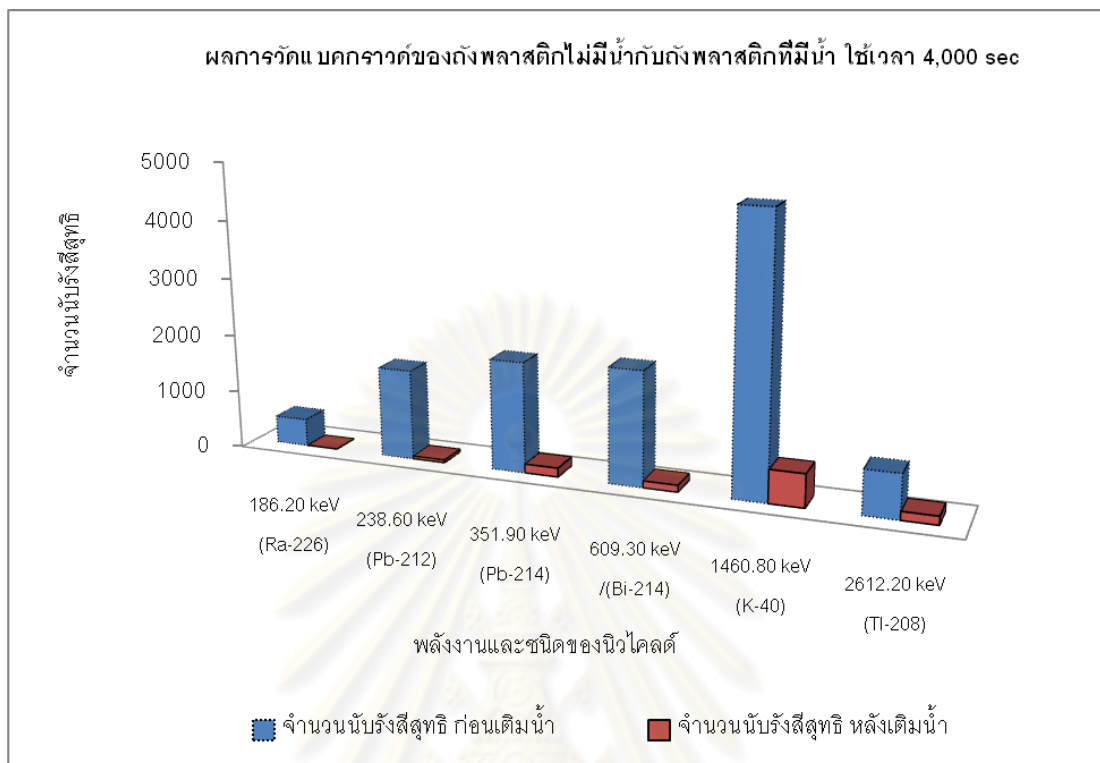


รูปที่ 4.20 สเปกตรัมของแบคกราวด์ของถังพลาสติก 2 ใบ ที่ไม่มีน้ำ



รูปที่ 4.21 สเปกตรัมของแบคก라운드ของถังพลาสติก 2 ใบ ที่มีน้ำ
วัด Background มี พลาสติก 2 ใบ วางซ้อนกัน ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที
ตารางที่ 4.26 จำนวนนับรังสีสุทธิของแบคก라운드ถังพลาสติกไม่มีน้ำ
กับที่มีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที

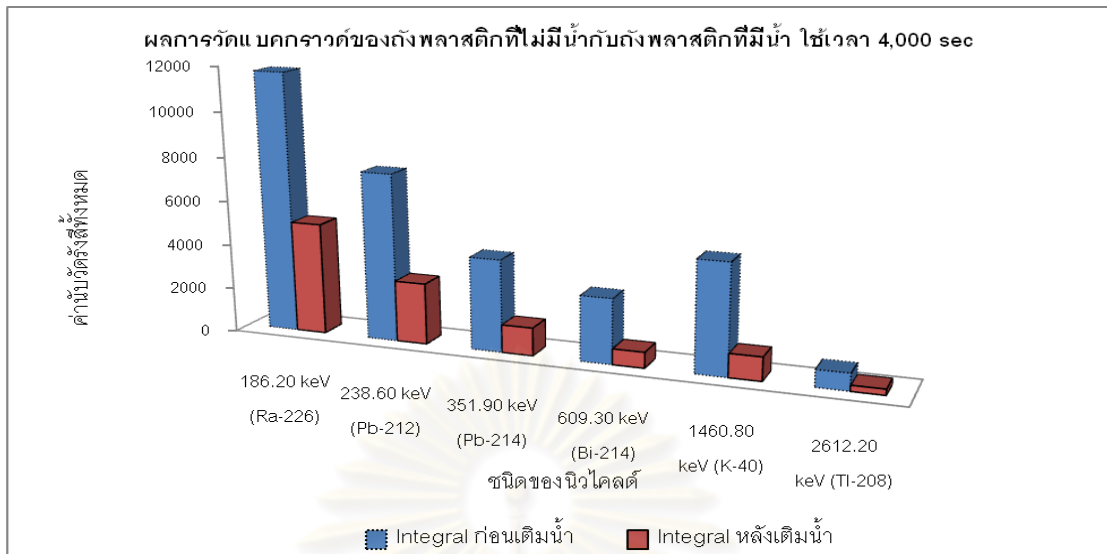
พลังงาน และชนิดของนิวไคลด์	จำนวนนับรังสีสุทธิ ก่อนเติมน้ำ	จำนวนนับรังสีสุทธิ หลังเติมน้ำ	ลดลงร้อยละ
186.20 keV (Ra-226)	474	0	100.00
238.60 keV (Pb-212)	1556	48	96.92
351.90 keV (Pb-214)	1903	154	91.91
609.30 keV (Bi-214)	1972	118	94.02
1460.80 keV (K-40)	4726	571	87.92
2612.20 keV (Tl-208)	759	147	80.63



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิของแบบคร่าวๆดั่งพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับมีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที

ตารางที่ 4.27 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบบคร่าวๆดั่งพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที

พลังงานและชนิดของนิวไคลด์	Integral ก่อนเติมน้ำ	Integral หลังเติมน้ำ	ลดลงร้อยละ
186.20 keV (Ra-226)	11719	5019	57.17
238.60 keV (Pb-212)	7548	2748	63.59
351.90 keV (Pb-214)	4150	1252	69.83
609.30 keV (Bi-214)	2922	708	75.77
1460.80 keV (K-40)	4949	1060	78.58
2612.20 keV (Tl-208)	771	264	65.76

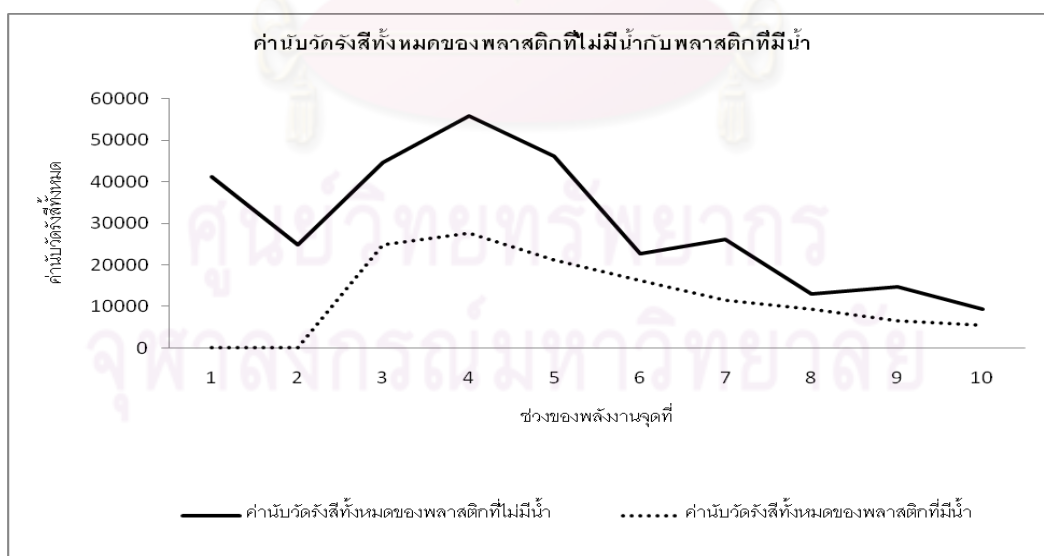


รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบบคร่าวๆถึงพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับมีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที

จากการนำสเปกตรัมรังสีแกมมาของแบบคร่าวๆซึ่งมีถึงพลาสติกที่ไม่ใส่น้ำ กับแบบคร่าวๆที่มีถึงพลาสติกที่ใส่น้ำประปา มาทำการ Integral ของแต่ละช่วงพลังงาน (keV) เพื่อเปรียบเทียบดูค่าความแตกต่างของจำนวนนับรังสีทั้งหมด ใช้เวลาในการนับวัด 4,000 วินาที

ตารางที่ 4.28 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลา
นับวัด 4,000 วินาที

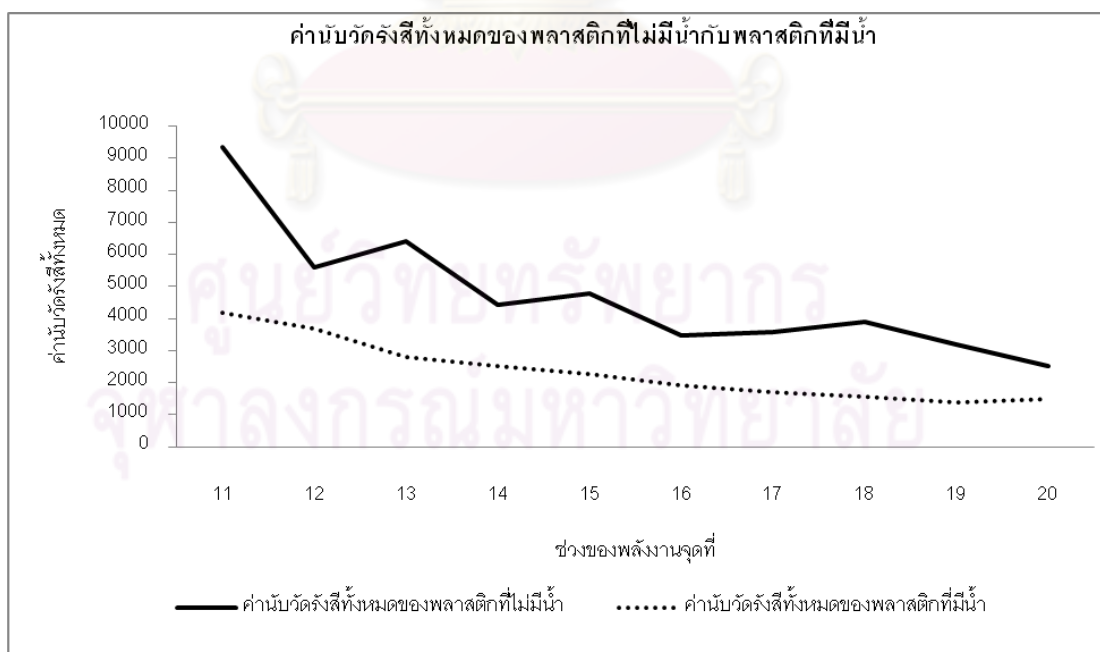
ช่วงพลังงานจุดที่	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่ไม่มีน้ำ	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่มีน้ำ
1	41098	0
2	24945	3
3	44711	24943
4	55773	27592
5	46090	21159
6	22594	16337
7	26060	11466
8	12952	9453
9	14677	6606
10	9301	5414



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ
ใช้เวลา 4,000 วินาที

ตารางที่ 4.29 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียก่อมลพิษพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลา
นับวัด 4,000 วินาที

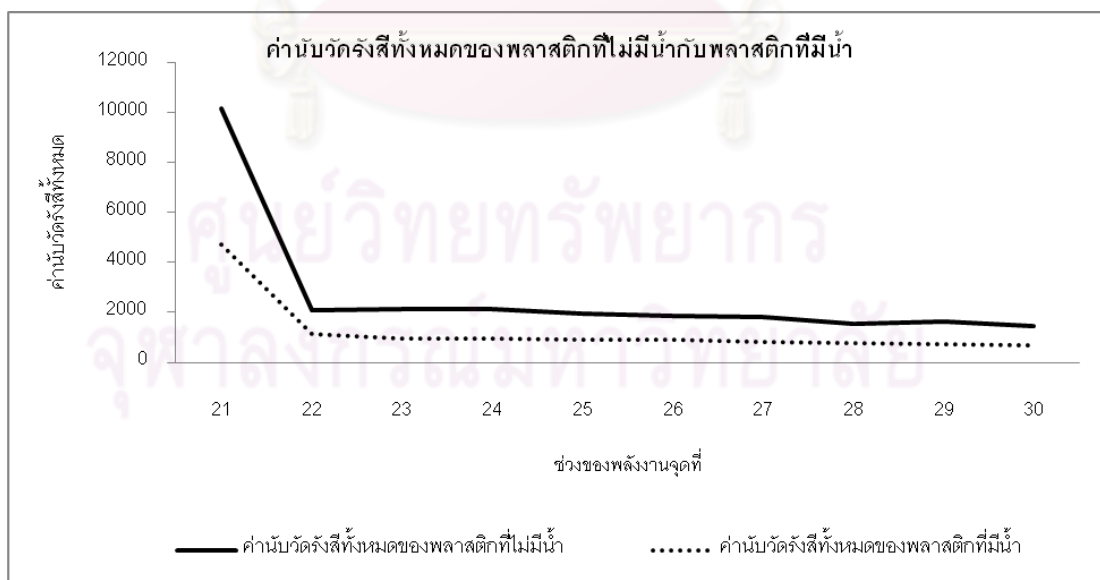
ช่วงพลังงานจุดที่	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่ไม่มีน้ำ	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่มีน้ำ
11	9337	4190
12	5608	3699
13	6413	2799
14	4418	2506
15	4788	2271
16	3472	1912
17	3591	1705
18	3901	1559
19	3174	1397
20	2507	1490



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียก่อมลพิษพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ
ใช้เวลา 4,000 วินาที

ตารางที่ 4.30 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลา
นับวัด 4,000 วินาที

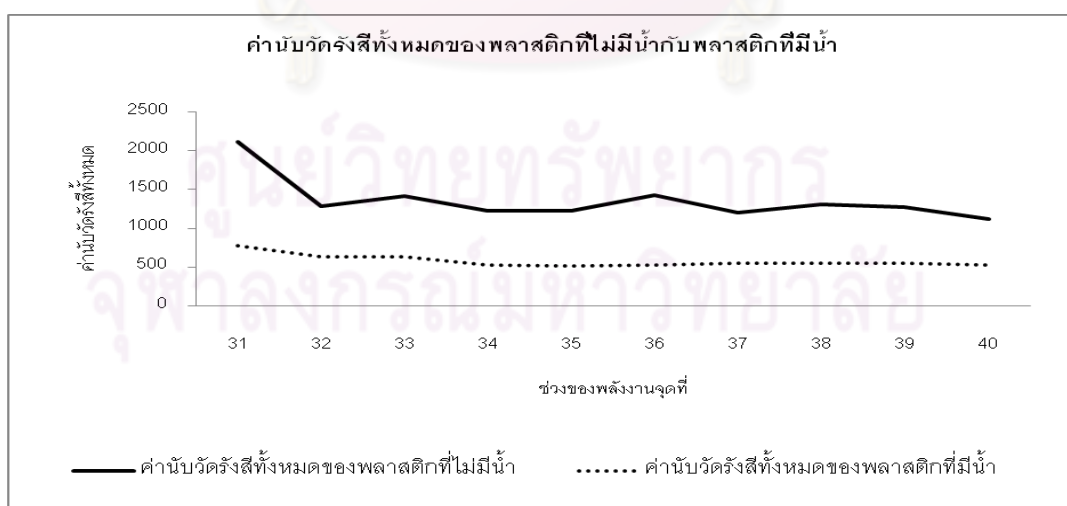
ช่วงพลังงานจุดที่	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่ไม่มีน้ำ	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่มีน้ำ
21	10146	4704
22	2100	1124
23	2116	954
24	2151	956
25	1941	913
26	1844	919
27	1802	801
28	1561	750
29	1656	737
30	1460	667



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ
ใช้เวลา นับวัด 4,000 วินาที

ตารางที่ 4.31 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที

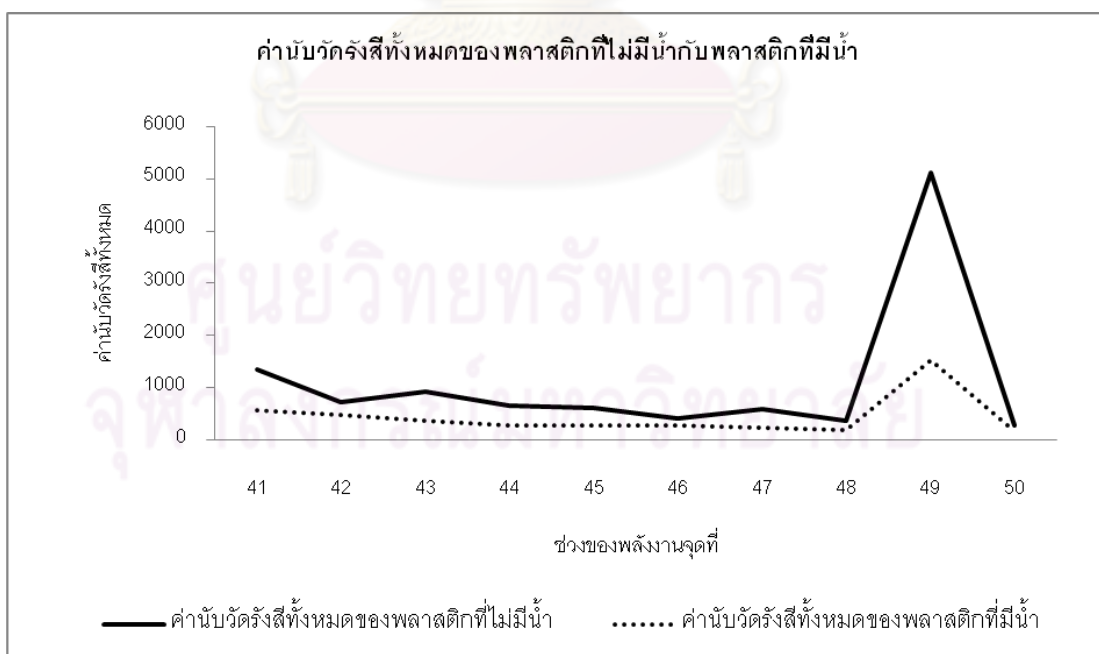
ช่วงพลังงานจุดที่	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติกที่ไม่มีน้ำ	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติกที่มีน้ำ
31	2117	771
32	1286	638
33	1410	627
34	1223	527
35	1230	512
36	1427	524
37	1202	544
38	1312	550
39	1277	552
40	1123	527



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคทีเรียพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที

ตารางที่ 4.32 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ถึงพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลานับวัด 4,000 วินาที

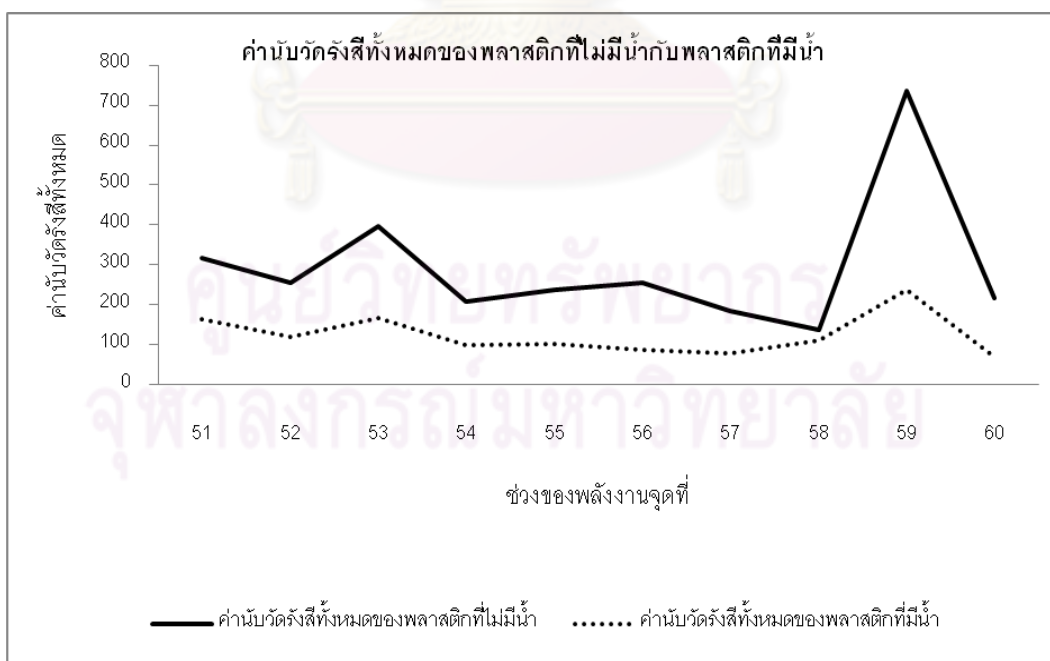
ช่วงพลังงานจุดที่	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติกที่ไม่มีน้ำ	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติกที่มีน้ำ
41	1345	561
42	712	474
43	928	359
44	666	278
45	602	281
46	406	273
47	588	221
48	357	189
49	5127	1524
50	271	165



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) ต่อ

ตารางที่ 4.33 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ถึงพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลา
นับวัด 4,000 วินาที

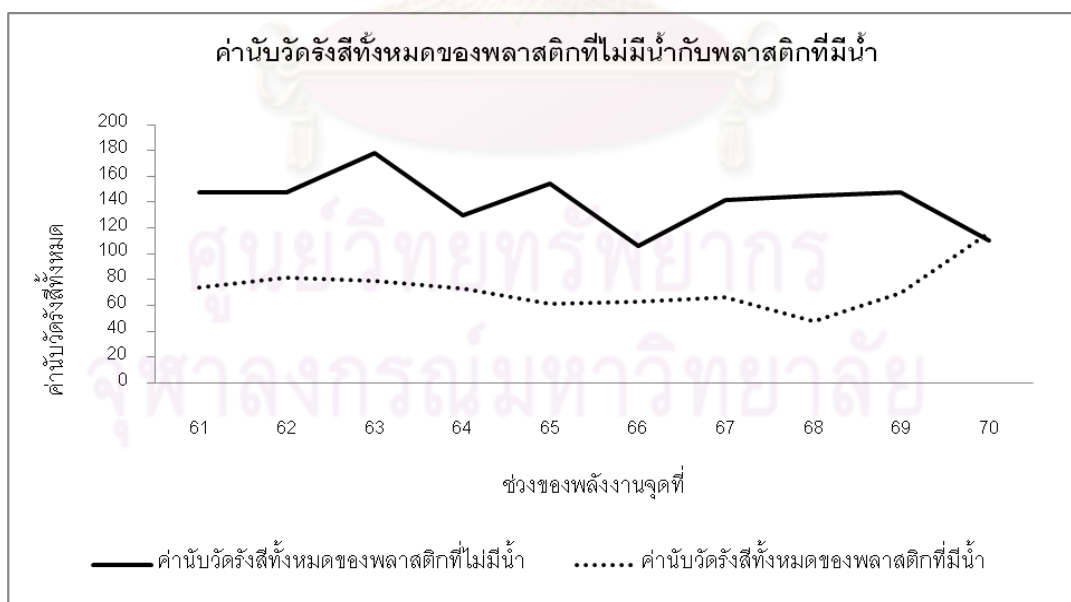
ช่วงพลังงานจุดที่	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่ไม่มีน้ำ	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่มีน้ำ
51	318	164
52	256	120
53	396	166
54	209	99
55	237	103
56	254	88
57	183	79
58	136	110
59	737	236
60	217	68



รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ในแต่ละช่วงของ
พลังงาน (keV) ต่อ

ตารางที่ 4.34 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ถึงพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลา
นับวัด 4,000 วินาที

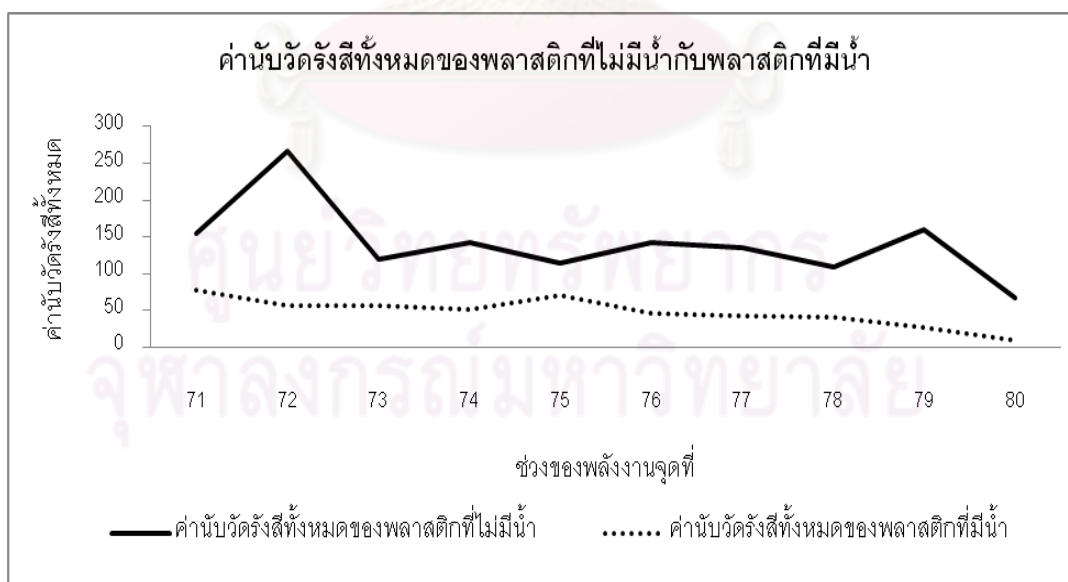
ช่วงพลังงานจุดที่	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่ไม่มีน้ำ	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่มีน้ำ
61	148	74
62	148	82
63	178	79
64	130	73
65	154	61
66	106	63
67	142	66
68	145	48
69	148	70
70	110	116



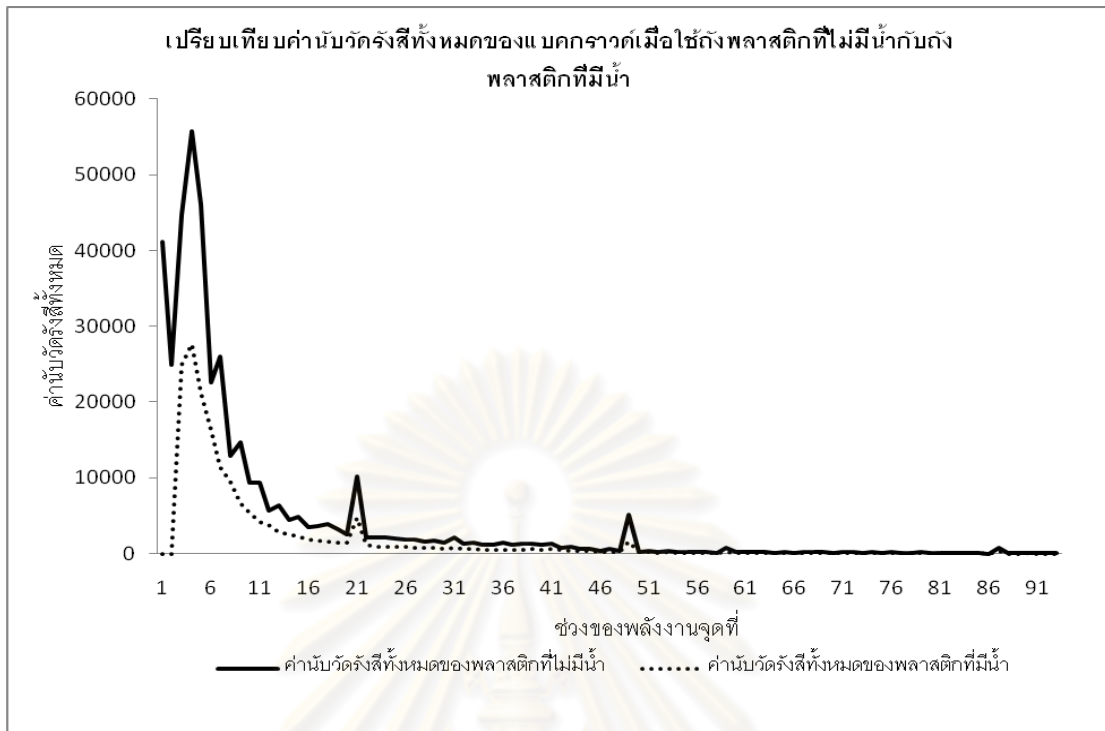
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกรวด์ในแต่ละช่วงของ
พลังงาน (keV) ต่อ

ตารางที่ 4.35 จำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบบกรวดถึงพลาสติกไม่มีน้ำกับที่มีน้ำ ใช้เวลา
นับวัด 4,000 วินาที

ช่วงพลังงานจุดที่	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่ไม่มีน้ำ	ค่านับวัดรังสีทั้งหมดของพลาสติก ที่มีน้ำ
71	154	77
72	267	57
73	120	56
74	142	52
75	115	71
76	143	46
77	135	42
78	109	40
79	160	26
80	67	10



รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบบกรวดในแต่ละช่วงของ
พลังงาน (keV) ต่อ

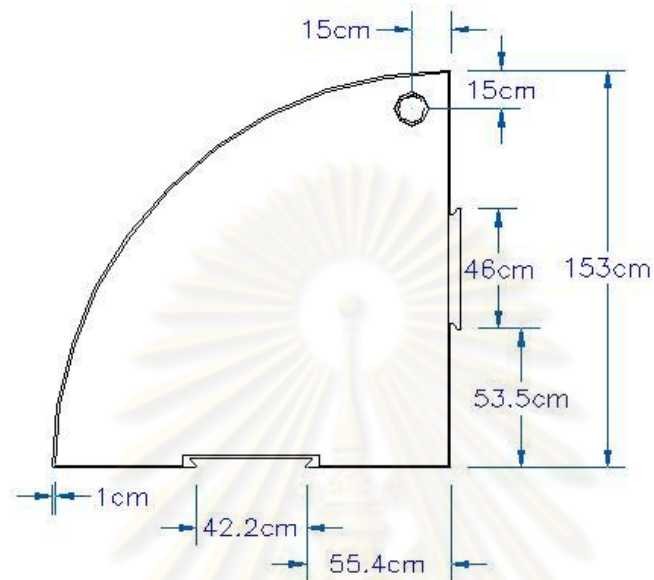


รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน (keV) ต่อ

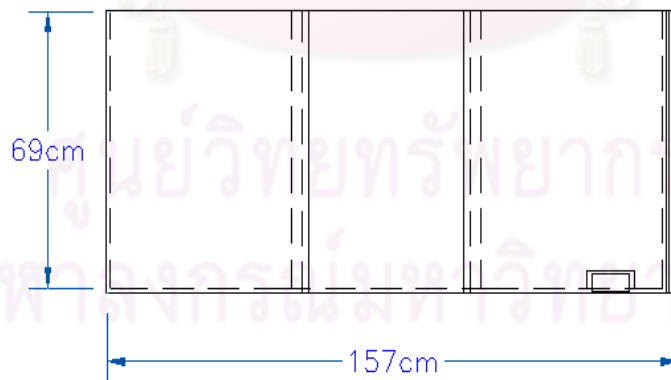
จากรูปที่ 4.32 เป็นการเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีทั้งหมดภายในช่วงพลังงานหนึ่งซึ่งได้แบ่งออกเป็นช่วงๆ ของพลังงาน ผลจากการทดลองวัดแบคกราวด์ปรากฏว่า จำนวนนับรังสีทั้งหมดในช่วงพลังงานหนึ่ง ระหว่างถังพลาสติกที่ไม่มีน้ำกับถังพลาสติกที่มีน้ำปะปา จะมีค่าลดลงทุกๆ ช่วงพลังงาน ช่วงพลังงานที่ต่ำๆ จะมีค่าลดลงมาก และพลังงานสูงขึ้นค่าที่ลดลงก็จะมีค่าน้อยลงตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากำบังรังสีน้ำปะปาสามารถป้องกันแบคกราวด์จากสิ่งแวดล้อม ที่พลังงานต่ำๆ ได้ดี เปรียบเทียบการรวมจำนวนนับรังสีทั้งหมดของแบคกราวด์ในแต่ละช่วงของพลังงาน จากผลการทดลองช่วงพลังงานต่ำๆ จะมีค่าจำนวนนับรังสีทั้งหมด ของแบคกราวด์พลาสติกที่ไม่มีน้ำ กับพลาสติกที่มีน้ำจะมีค่าลดลงมากที่สุด แล้วค่าจำนวนนับทั้งหมดค่อยๆ ลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มขึ้น แสดงว่ากำบังรังสีน้ำสามารถลดค่าแบคกราวด์ในช่วงพลังงานต่ำๆ ได้ดี ทั้งสเปกตรัมของแบคกราวด์ ทุกๆ ช่วงของพลังงานจะมีค่าลดลงทั้งหมด

4.5. การออกแบบใช้น้ำกำบังรังสีแทนตะกั่ว

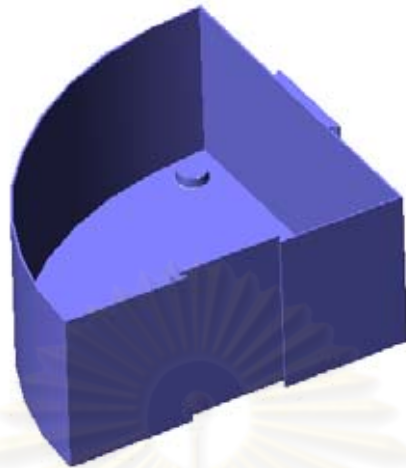
Water Shield



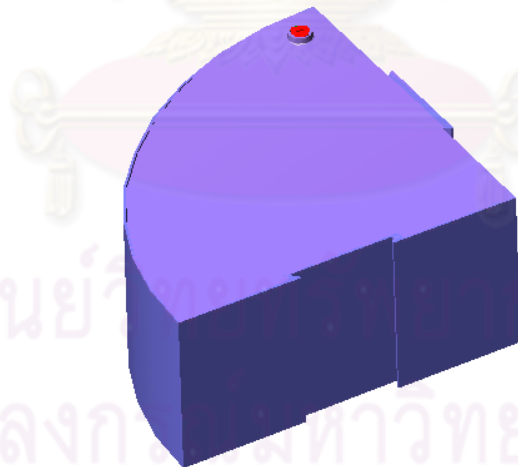
รูปที่ 4.33 Cover Dimension (Top View)



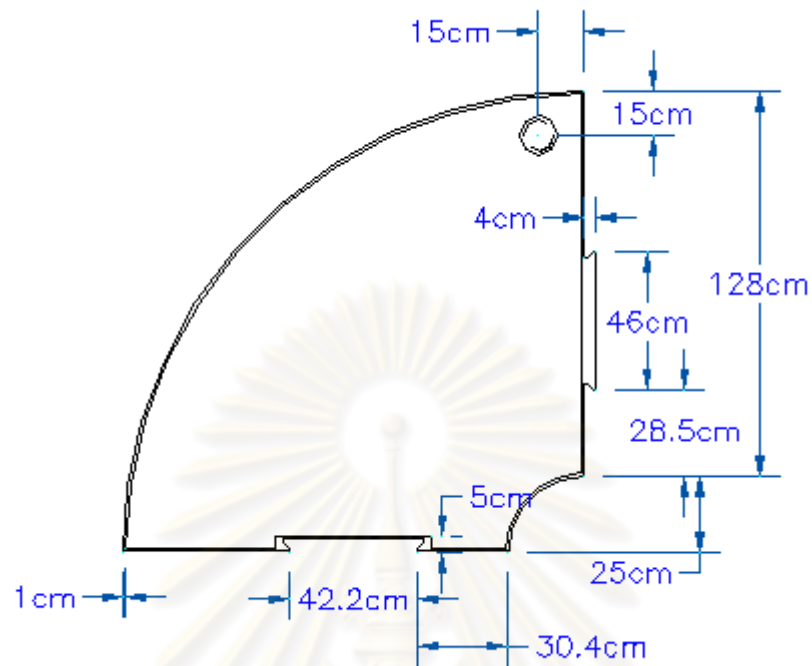
รูปที่ 4.34 Cover Dimension (Side View)



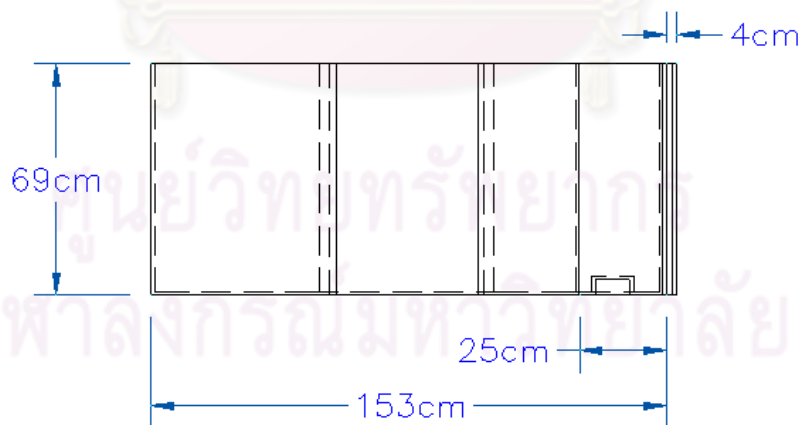
รูปที่ 4.35 Cover Sector Open (Top Plate)



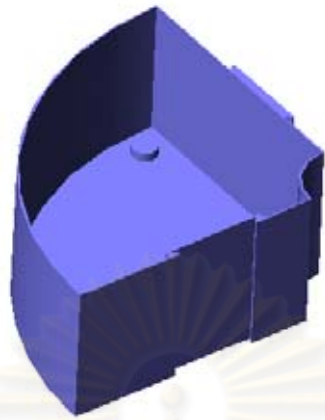
รูปที่ 4.36 Cover Sector



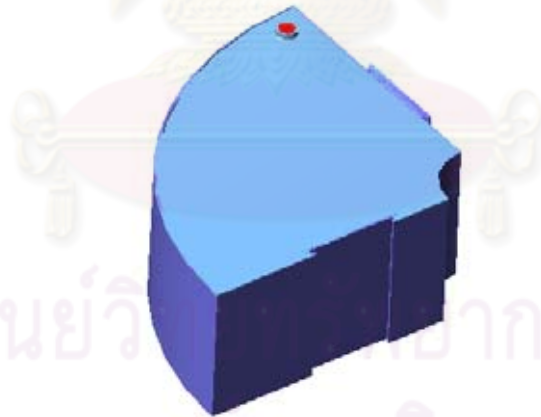
รูปที่ 4.37 Chamber Dimension (Top View)



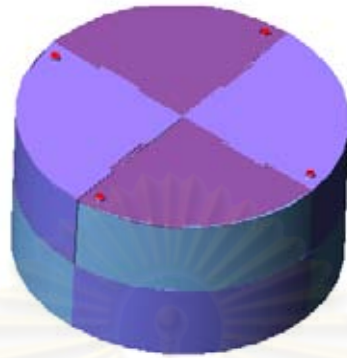
รูปที่ 4.38 Chamber Dimension (Side View)



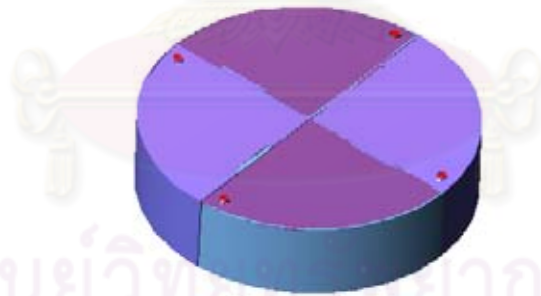
รูปที่ 4.39 Chamber Sector (Open Top Plate)



รูปที่ 4.40 Chamber Sector

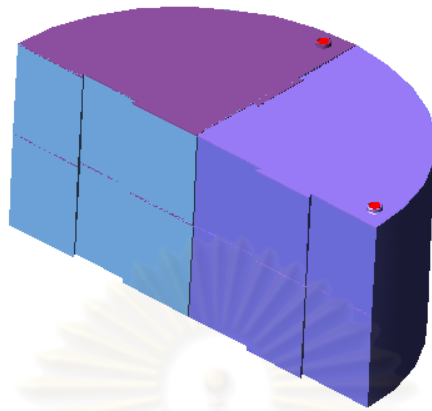


รูปที่ 4.41 Cover Assembly

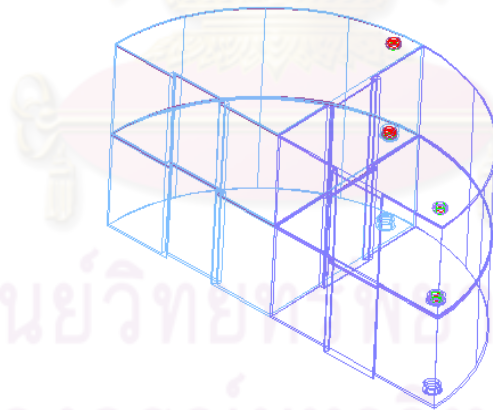


ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.42 Cover Each Layer

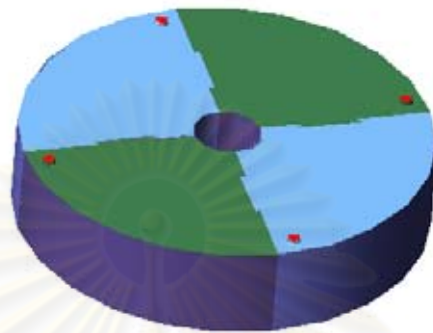


รูปที่ 4.43 Cover Assembly Section

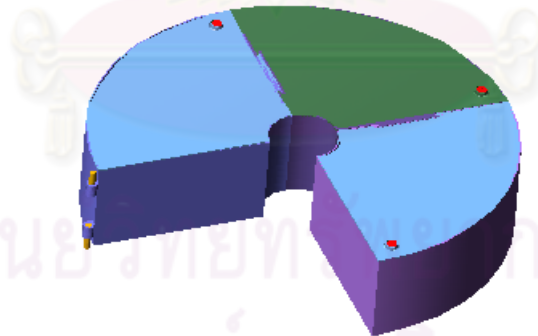


ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.44 Cover Assembly Section

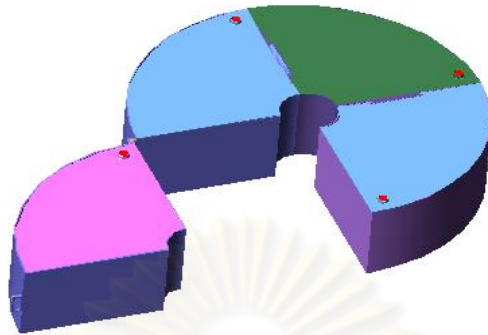


รูปที่ 4.45 Chamber Lower Layer

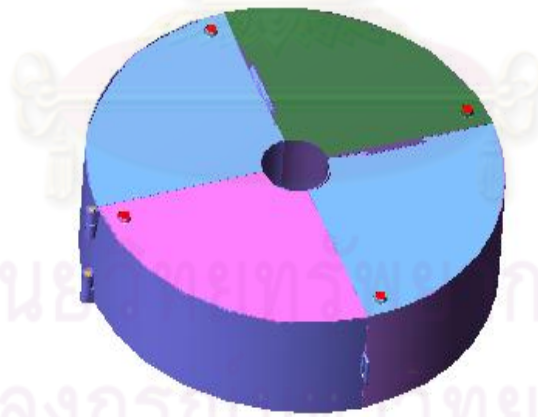


ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

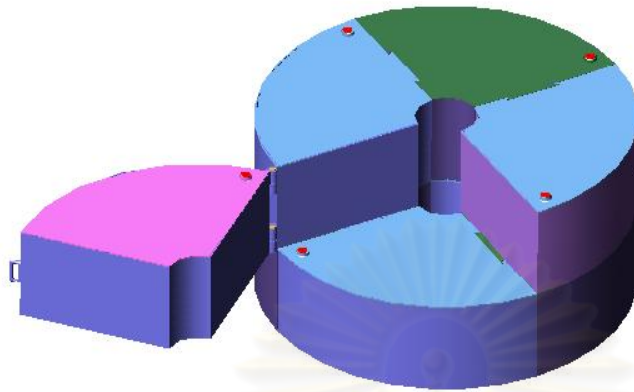
รูปที่ 4.46 Chamber Top Layer



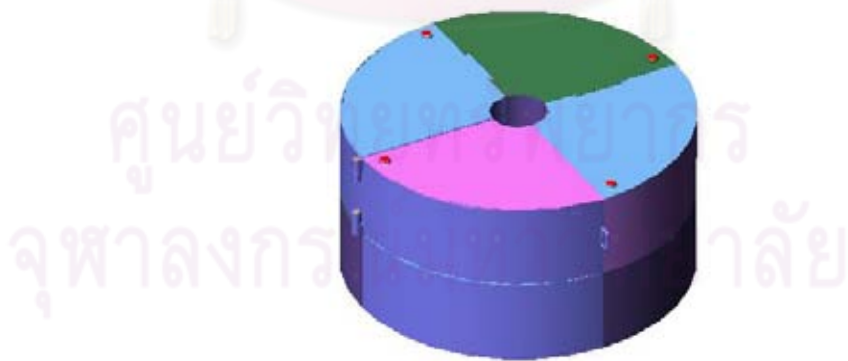
รูปที่ 4.47 Chamber top layer with open sector for sample insert



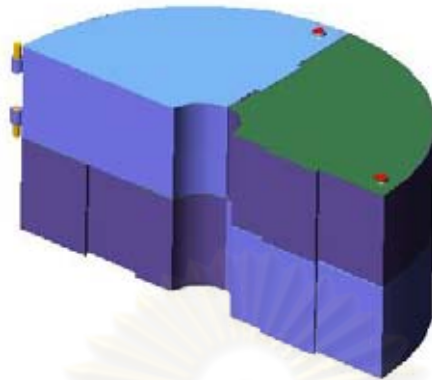
รูปที่ 4.48 Chamber top layer with open sector at close status



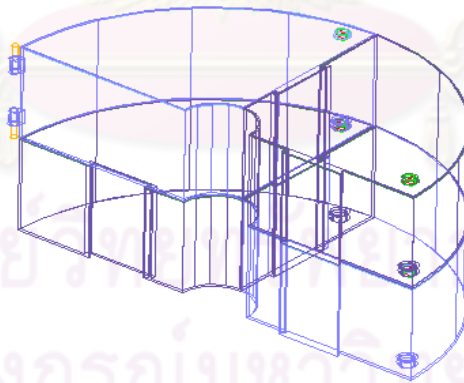
รูปที่ 4.49 Chamber assembly with open sector at open status



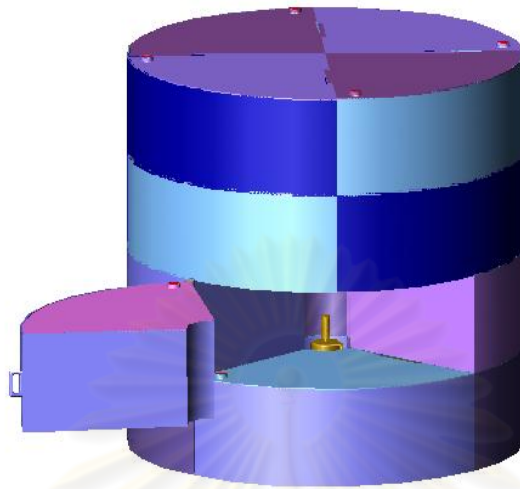
รูปที่ 4.50 Chamber assembly with open sector at close status



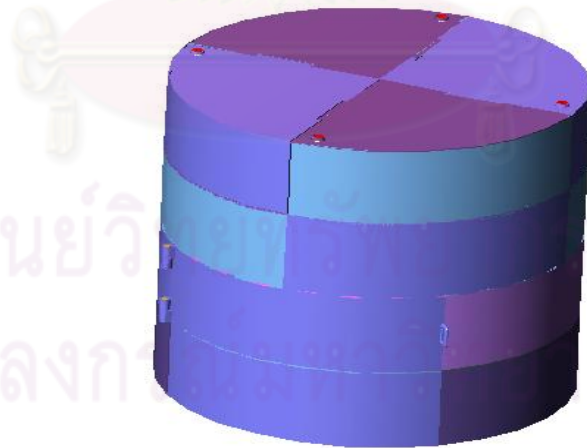
รูปที่ 4.51 Chamber Assembly Section



รูปที่ 4.52 Chamber Assembly Section



รูปที่ 4.53 Water shield assembly open sector for sample insert



รูปที่ 4.54 Water shield assembly ready to use

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากข้อมูลที่ได้ทดลองวิจัยในรายละเอียดข้างต้น แสดงให้เห็นว่า ปัจจุบันในห้องปฏิบัติการทางด้านการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีในสิ่งแวดล้อม นิยมใช้ตะกั่วเป็นกำบังรังสี ถึงแม้จะมีตะกั่วเป็นกำบังรังสี แต่ก็สามารถป้องกันแบคกราวด์จากภายนอกกำบังได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถป้องกันแบคกราวด์ได้ทั้งหมด จึงมีความจำเป็นที่นักวิทยาศาสตร์จะพยายามลดค่าแบคกราวด์ภายในกำบังรังสีให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และลด Compton continuum ทั้งสเปกตรัมของรังสีแกมมา เพื่อห้วงวัดรังสีจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในการตรวจวัดวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำในแหล่งบริเวณใกล้เคียงกับห้องปฏิบัติการ ผลปรากฏว่าค่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในปริมาณที่น้อยทั้งหมด ซึ่งนิวไคลด์กัมมันตรังสีบางชนิด ผลจากการตรวจวัดมีค่าต่ำกว่าค่าขีดจำกัดของการวัด จึงไม่ได้รายงานผล ส่วนนิวไคลด์กัมมันตรังสีในน้ำชนิดต่างๆ ที่สามารถตรวจวัดได้ แสดงผลได้ดังนี้ ^{226}Ra มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วง $0 - 5.56 \pm 0.89$ Bq/kg, ^{212}Pb มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วง $0 - 0.40 \pm 0.07$ Bq/kg, ^{214}Pb มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วง $0 - 0.07 \pm 0.08$ Bq/kg, ^{214}Bi มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วง $0 - 0.37 \pm 0.10$ Bq/kg และ ^{40}K มีค่ากัมมันตภาพรังสีจำเพาะอยู่ในช่วง $0 - 7.94 \pm 0.91$ Bq/kg

สำหรับค่าขีดจำกัดของการวัดในตัวอย่างน้ำ ของแต่ละพลังงานมีค่าดังนี้ ^{226}Ra มีค่าขีดจำกัดของการวัด 3.81 Bq/kg, ^{212}Pb มีค่าขีดจำกัดของการวัด 0.29 Bq/kg, ^{214}Pb มีค่าขีดจำกัดของการวัด 0.38 Bq/kg, ^{214}Bi มีค่าขีดจำกัดของการวัด 0.39 Bq/kg และ ^{40}K มีค่าขีดจำกัดของการวัด 3.49 Bq/kg สรุปได้ว่าในตัวอย่างน้ำ จะมีปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ต่ำทั้งหมด จึงเลือกน้ำประปาเป็นกำบังรังสี เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย และราคาถูก หลังจากมีการใช้ถังน้ำเป็นกำบังรังสีเสริม ปรากฏว่าค่าขีดจำกัดของการวัดในตัวอย่างน้ำ ของแต่ละพลังงานจะมีค่าลดลงทั้งหมด โดยมีค่าดังนี้ ^{226}Ra มีค่าขีดจำกัดของการวัด 2.91 Bq/kg, ^{212}Pb มีค่าขีดจำกัดของการวัด 0.22 Bq/kg, ^{214}Pb มีค่าขีดจำกัดของการวัด 0.25 Bq/kg, ^{214}Bi มีค่าขีดจำกัดของการวัด 0.24 Bq/kg และ ^{40}K มีค่าขีดจำกัดของการวัด 2.05 Bq/kg ตามลำดับ

ผลจากการเปรียบเทียบค่าแบคกราวด์ของกำบังรังสีตะกั่ว กับกำบังรังสีตะกั่ว มีถังน้ำ มีพลาสติก มีแผ่นตะกั่วเป็นกำบังรังสีเสริม ซึ่งจากการพิจารณาจากจำนวนนับรังสีสุทธิของนิวไคลด์

สามารถลดแบคกาวด์ลงได้ร้อยละ 47.46, 44.27, 16.97, 25.73 และ 38.06 ของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{214}Bi และ ^{40}K ตามลำดับ ส่วนจำนวนนับรังสีทั้งหมด ของสเปกตรัมของรังสีแกมมา ซึ่งสามารถแบ่งพลังงานออกเป็นช่วงๆ ก็สามารถลดจำนวนนับรังสีทั้งหมดได้เช่นกัน ในช่วงของพลังงาน 130.00 - 150.00, 490.00 - 510.00, 760.00 - 780.00, 1030.00 - 1050.00, 1360.00 - 1380.00, 1660.00 - 1680.00 และ 1900.00 - 1920.00 keV ลงได้ร้อยละ 32.77, 28.32, 22.35, 23.58, 32.02, 17.36 และ 42.24 ตามลำดับ สุดท้ายจะได้ค่าทางสถิติในการนับรังสีดีขึ้นด้วย จะได้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดต่ำลงทั้งหมด

จากผลการทดลองได้ออกแบบนำตัวอย่างน้ำกัมมันตรังสีแทนตะกั่ว และทำการวัดแบคกาวด์ของพลาสติกที่ไม่ใส่น้ำ กับพลาสติกที่ใส่น้ำ โดยใช้เวลาในการนับวัด 4,000 วินาที ซึ่งน้ำมีความหนา 30 เซนติเมตร กันเฉพาะด้านล่าง และด้านข้างของหัววัด พิจารณาจากจำนวนนับรังสีสุทธิของนิวไคลด์ สามารถลดแบคกาวด์ลงได้ร้อยละ 100.00, 96.92, 91.91, 94.02, 87.92 และ 80.63 ของนิวไคลด์ ^{226}Ra , ^{212}Pb , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K และ ^{208}Tl ตามลำดับ ส่วนจำนวนนับรังสีทั้งหมดของสเปกตรัมของรังสีแกมมา ซึ่งสามารถแบ่งพลังงานออกเป็นช่วงๆ ก็สามารถลดค่านับวัดรังสีทั้งหมดได้เช่นกัน ในช่วงของพลังงานต่างๆ

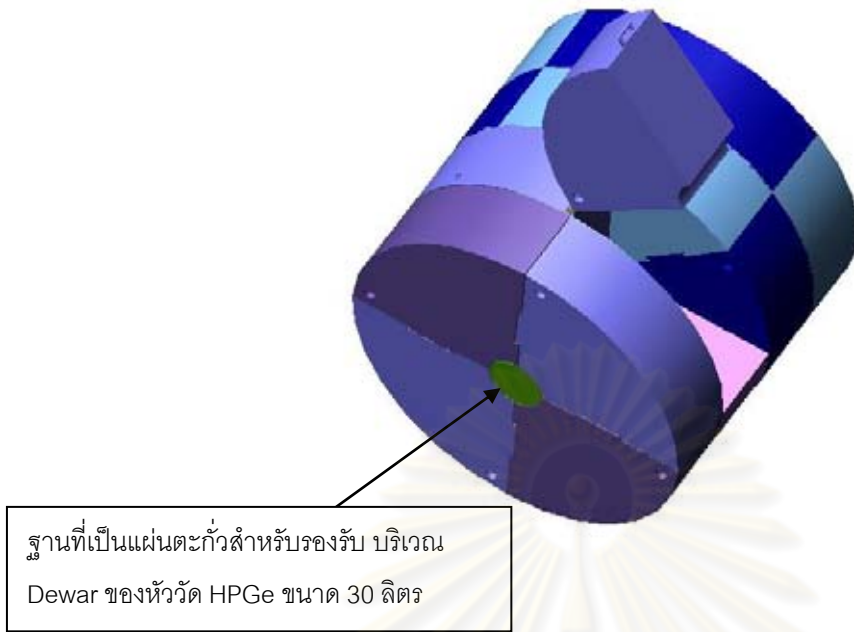
5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในการวัดตัวอย่างน้ำ และวัดแบคกาวด์เฉพาะกัมมันตรังสีพบว่าค่าแบคกาวด์ที่พลังงาน 186.20 keV มีค่าค่อนข้างสูง จึงได้ทดลองนำเหล็กกล้าไร้สนิมมาครอบหัววัด ผลปรากฏว่าค่าแบคกาวด์ยังไม่ลดลง แสดงว่าแบคกาวด์ไม่ได้เกิดมาจากภายนอกกัมมันตรังสี แต่มาจากโลหะที่ใช้ประกอบหัววัดรังสี เพื่อผลการทดลองที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น อาจแก้ไขโดยการใช้หัววัดชนิดใหม่ที่ใช้วัสดุที่ผลิตจากโพลีเมอร์ครอบหัววัดรังสีเพื่อป้องกันรังสีจากตัวหัววัดรังสีเอง

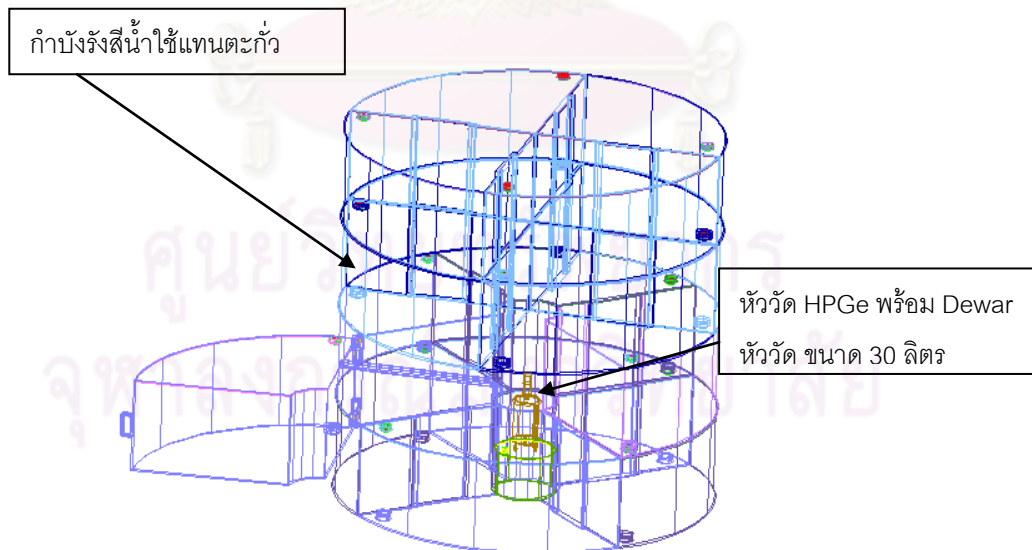
2. ควรมีการควบคุมตัวแปร ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และรูปร่างของภาชนะที่จะนำมาตรวจวิเคราะห์ ควรมีลักษณะเหมือนกับสารมาตรฐานกัมมันตรังสี

3. ถ้าใช้เวลานานขึ้น จะได้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการวัดต่ำลง และจะได้ค่าทางสถิติในการนับรังสีดีขึ้นด้วย ใช้หัววัดที่มีประสิทธิภาพสัมพัทธ์สูงขึ้น คือสูงกว่า 50% ซึ่งจะเหมาะกับการวัดรังสีระดับต่ำ

4. การใช้น้ำเป็นกัมมันตรังสีแทนตะกั่ว ซึ่งตะกั่วหนา 10 เซนติเมตร จะต้องใช้ความหนาของน้ำถึง 1.38 เมตร ปกติในห้องปฏิบัติการไม่สามารถใช้อุปกรณ์บรรจุน้ำที่มีรัศมีถึง 1.38 เมตร ได้ทุกด้านรอบๆ บริเวณหัววัด เฉพาะด้านล่างบริเวณหัววัด จึงควรจะใช้แผ่นตะกั่วรอง เพื่อป้องกันแบคกาวด์จากพื้นดิน และจากวัสดุก่อสร้างอาคาร

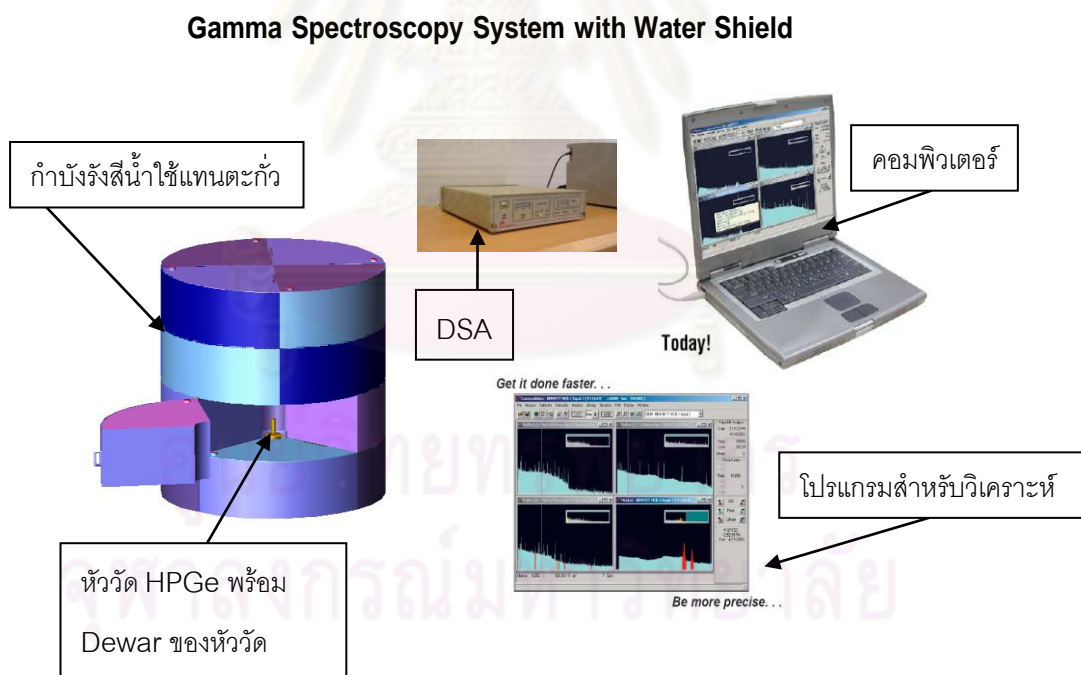
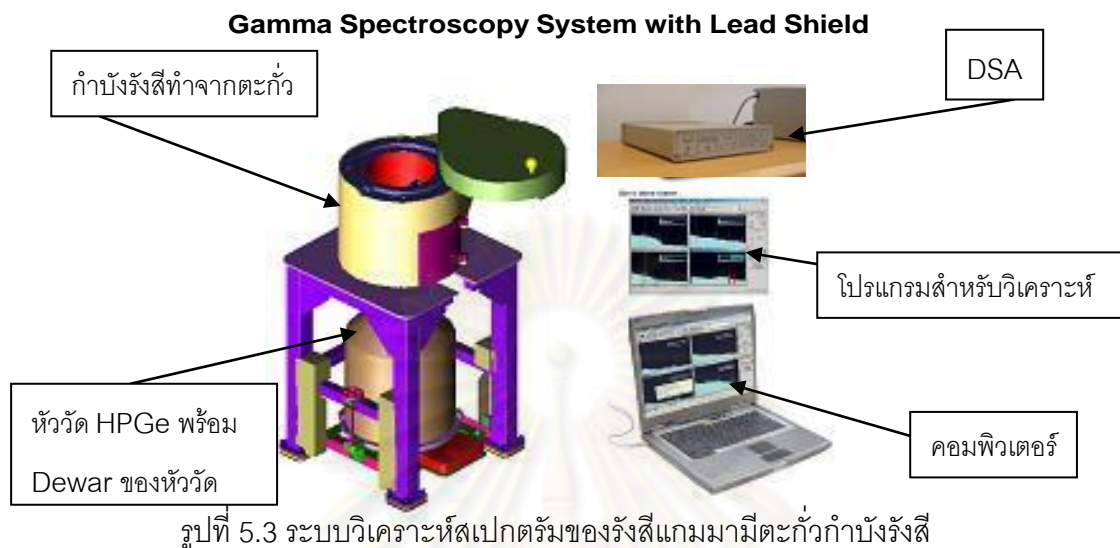


รูปที่ 5.1 ฐาน Water shield มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 49.5 ซม. สำหรับรองรับ Dewar Detector ขนาด 30 ลิตร



รูปที่ 5.2 แบบอุปกรณ์สำหรับบรรจุน้ำเพื่อนำมาเป็นกำบังรังสีแทนตะกั่ว

5.3 การใช้ตะกั่วกำบังรังสีกับการใช้น้ำกำบังรังสีสำหรับระบบวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาแบบคร่าวๆ



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

คนั่มพร อินทร์เนตร. การวัดความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ในดิน ณ พื้นที่. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

นวลฉวี รุ่งธนเกียรติ. การศึกษาเกี่ยวกับการกัมมันตรังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.

บุลัน เตาวะโต. การตรวจหานิวไคลด์กัมมันตรังสีในอาหารสดด้วยหัววัดรังสีแกมมาชนิดเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูงเพื่อการประเมินปริมาณรังสีที่ประชากรไทยได้รับจากการบริโภคประจำวัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

ภารตี สราภัสสร. การวัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม โดยใช้หัววัดรังสีเจอร์เมเนียมความบริสุทธิ์สูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

สำราญ เผือกคง. เทคนิคการวัดกัมมันตภาพรังสีที่มีความเข้มต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. การสอนฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2524.

ภาษาอังกฤษ

Cooper, JR. Randle and Sokhi, R.S. Radioactivity Releases in the Environment: Impact and Assesment. John Wiley & Sons, 2003

Debertin, K. and Helmer, G.R. Gamma-and X-Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors. Physical Science & Engineering Division, 1988

Evans, R.D. The Atomic Nucleus. Permission Of McGraw-Hill Book, 1955

Fajardo, Y. Gomez, E.Garcias, F. Cerda, V. and Casas, M. Development of an MSFIA-MPFS pre -treatment method for radium determination in water samples. Talanta. 71, (2007): 1172-1179

Fink, R.R., Liden, K. and Person, R.B.R., Nucl. Instr. And Mdth., 1976

Friedlander, G., Kenedy, J.W., Kenedy, E.S. and Miller, J.M. Nuclear and Radiochemistry. 3rd ed. John Wiley & Sons, 1981

Gilmore, G. and Hemingway, D.J. Practical Gamma-Ray Spectrometry. John Wiley &

- Sons, 2004
- Glenn, F. K. Radiation Detection and Measurements. 3rded. New York: John Wiley & Sons, 1999
- Guogang Jia, Torri, G. Innocenzi, P. Ocone, R. and Di Lullo, A. Determination of radium isotopes in mineral water samples by α -spectrometry. International Congress Series. 1276, (2005) 412-414
- IAEA 1989 Measurement of Radionuclides in Food and the Environment Technical Report 295 Vienna, 1989
- IAEA 1994 Handbook of parameter Values for the Prediction of radionuclide transfer in temperate Environments Technical Report Series No. 364 Vienna, Austria.
- J-G. Decaillon, M., Bickel, C., and Hill, T. Altzitzoglou Validation of methods for the determination of radium in waters and soil. Applied Radiation and Isotopes. 2004: 409-413
- Oeschger, H., and Wahlen, M. Low Level Counting Techniques. Physikalisches Institut, 1975
- Parthasarathy, K.S., Nucl. Instr. and Meth., 1976
- S.Nour, A.El-sharkawy, W.C. Burnett, E.P. Horwitz. Radium-228 determination of natural waters via concentration on manganese dioxide and separation using Diphonix ion exchange resin. Applied Radiation and Isotopes. 2004: 1173-1178
- Stenberg, A., Nucl. Instr. And Meth., 1971



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

น้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คุณสมบัติของน้ำ

- | | |
|-----------------|------------------------------|
| 1. ชื่อเคมี | น้ำ (water) |
| 2. สูตรโมเลกุล | H ₂ O |
| 3. มวลโมเลกุล | 18.02 g/mol |
| 4. ลักษณะทั่วไป | โปร่งใส , ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น |
| 5. ความหนาแน่น | 1 g/cm ³ |
| 6. จุดหลอมเหลว | 0 องศาเซลเซียส |
| 7. จุดเดือด | 100 องศาเซลเซียส |



ศูนย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปน้ำ



ภาคผนวก ข

พลาสติก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลาสติก

เป็นวัสดุจำพวกโพลิเมอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยโมเลกุลยาวๆ เชื่อมต่อกันด้วยโมเลกุลสั้นๆ ที่เรียกว่า โมโนเมอร์ (monomer) จนกลายเป็นโครงสร้างของวัสดุนั้น เช่น Polyethylene จะประกอบด้วยโมโนเมอร์ของ ethylene หลายๆ โมโนเมอร์เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน

1. คุณสมบัติของพลาสติก

- แข็งแรง
- ทนการสึกกร่อน
- ทึบแสง และเบา
- อ่อนนุ่ม
- ทนสารเคมี
- ลอยน้ำได้
- ยืดตัว
- เป็นฉนวนไฟฟ้า
- หล่อลื่นในตัว
- เหนียวทนทาน
- กันน้ำ
- ทำเป็นสีต่างๆ ได้
- โปรงใส
- ไม่ไฟติดง่าย
- ทนความร้อน

2. ข้อเปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสติกกับเหล็ก

ข้อดี
1. น้ำหนักเบา สามารถขนย้ายได้ง่าย
2. ทนต่อการดัด – ด่างได้ดี ทำให้ไม่เกิดสนิม
3. กรรมวิธีผลิตชิ้นงานทำได้ง่ายและครั้งละหลาย ๆ ชิ้น
4. เป็นฉนวน กับกระแสไฟฟ้าได้ดี
5. สามารถ เชื่อม กิ่ง ใส เจาะ ประกอบได้ง่าย
6. ราคามีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ เพราะกรรมวิธีการผลิตทันสมัย และปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น
7. ผสมสีเข้ากันได้ดี ชิ้นงานจึงสามารถจะย้อมสีอะไรก็ทำได้ง่ายและคงทน

ข้อเสีย
1. ความมั่นคงแข็งแรงน้อยกว่าเหล็ก
2. ทนความร้อนได้น้อย ทำให้อ่อนตัวได้ง่าย
3. ระยะเวลาการใช้งานสั้นกว่า
4. เมื่อชำรุดแล้วซ่อมแซมได้ยาก
5. เปอร์เซ็นต์การหดตัวมากกว่าเหล็กมาก



ภาคผนวก ค

อัญมณีนิยาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียม (ภาษาอังกฤษสะกดได้ว่า aluminium หรือ aluminum ในอเมริกาเหนือ) คือธาตุเคมีในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ AI และมีเลขอะตอม 13 เป็นโลหะทรานซิชันที่มันวาวและอ่อนดัดง่าย ในธรรมชาติอะลูมิเนียมพบในรูปแร่บอกไซต์เป็นหลัก และมีคุณสมบัติเด่น คือ ต่อด้านการออกซิเดชันเป็นเฉื่อย (เนื่องจากปรากฏการณ์ passivation) แข็งแรง และน้ำหนักเบา มีการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย และอะลูมิเนียมสำคัญต่อเศรษฐกิจโลกอย่างมาก ชิ้นส่วนโครงสร้างที่ผลิตจากอะลูมิเนียมสำคัญต่ออุตสาหกรรมอากาศยาน และสำคัญในด้านอื่น ๆ ของการขนส่งและการสร้างอาคาร ซึ่งต้องการน้ำหนักเบา ความทนทาน และความแข็งแรง

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่อ่อนและเบาที่มีลักษณะไม่เป็นเงา เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันชั้นบาง ๆ ที่เกิดขึ้นเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ โลหะอะลูมิเนียมไม่เป็นสารพิษ ไม่เป็นแม่เหล็ก และไม่เกิดประกายไฟ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงประมาณ 49 ล้านปาสกาล (MPa) และ 400 MPa ถ้าทำเป็นโลหะผสม อะลูมิเนียมมีความหนาแน่นเป็น 1/3 ของเหล็กกล้าและทองแดง อ่อน สามารถดัดได้ง่าย สามารถกลึงและหล่อแบบได้ง่าย และมีความสามารถต่อต้านการกร่อนและความทนเนื่องจากชั้นออกไซด์ที่ป้องกัน พื้นผิวกระจกเงาที่เป็นอะลูมิเนียมมีการสะท้อนแสงมากกว่าโลหะอื่น ๆ ในช่วงความยาวคลื่น 200-400 nm (UV) และ 3000-10000 nm (IR ไกล) ส่วนในช่วงที่มองเห็นได้ คือ 400-700 nm โลหะเงินสะท้อนแสงได้ดีกว่าเล็กน้อย และในช่วง 700-3000 (IR ใกล้) โลหะเงิน ทองคำ และทองแดง สะท้อนแสงได้ดีกว่า อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่ดัดได้ง่ายเป็นอันดับ 2 (รองจากทองคำ) และอ่อนเป็นอันดับที่ 6 อะลูมิเนียมสามารถนำความร้อนได้ดี จึงเหมาะสมที่จะทำหม้อหุงต้มอาหาร

อะลูมิเนียมสามารถสะท้อนแสงที่มองเห็นได้ดีเยี่ยม (~99%) และสามารถสะท้อนแสงอินฟราเรดได้ดี (~95%) อะลูมิเนียมชั้นบาง ๆ สามารถสร้างบนพื้นผิวเรียบด้วยวิธีการควบแน่นของไอสารเคมี (chemical vapor deposition) หรือวิธีการทางเคมี เพื่อสร้างผิวเคลือบออปติคัล (optical coating) และกระจกเงา ผิวเคลือบเหล่านี้จะเกิดขึ้นอะลูมิเนียมออกไซด์ที่บางยิ่งกว่า ที่ไม่สึกกร่อนเหมือนผิวเคลือบเงิน กระจกเงาเกือบทั้งหมดสร้างโดยใช้อะลูมิเนียมชั้นบางบนผิวหลังของแผ่นกระจกลอย (float glass). กระจกเงาในกล้องโทรทรรศน์สร้างด้วยอะลูมิเนียมเช่นกัน แต่เคลือบข้างหน้าเพื่อป้องกันการสะท้อนภายใน การหักเห และการสูญเสียจากความใส กระจกเหล่านี้เรียกว่า first surface mirrors และเกิดความเสียหายได้ง่ายกว่ากระจกเงาตามบ้านทั่วไปที่เคลือบข้างหลัง



ภาคผนวก ง

ตะกั่ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตะกั่ว

ตะกั่ว (อังกฤษ: Lead) เป็นธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 82 และสัญลักษณ์คือ Pb (ละติน: Plumbum) ตะกั่วเป็นธาตุโลหะ เนื้ออ่อนนุ่มสามารถยืดได้ เมื่อตัดใหม่ๆ จะมีสีขาวอมน้ำเงิน แต่เมื่อถูกกับอากาศสีจะเปลี่ยนเป็นสีเทา ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีพิษ ใช้ทำวัสดุก่อสร้าง แบตเตอรี่ กระจกเลนส์โลหะผสม

เป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับตะกั่วในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โลหะบัดกรีใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หม้อน้ำรถยนต์ ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์และแผงวงจรไฟฟ้า นอกจากนี้ยังใช้โลหะตะกั่วในโรงชุบเคลือบเหล็กด้วยสังกะสี ลูกแห่ลูกอนที่ใช้ในอุตสาหกรรมประมง ใช้ในการทำกระดาษ ตะกั่ว ท่อน้ำ แผ่นตะกั่ว ตัวพิมพ์ กระจกเลนส์ สะพานไฟฟ้า ทำผนังกันรังสีในเครื่องหรือห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับปฏิกิริยาปรมาณู ใช้ตะกั่วในการทำสี และทำผงตะกั่วแดงตะกั่วเหลือง สำหรับเคลือบภาชนะต่าง ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

Certificate Multinuclides Standard

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


Eckert & Ziegler
Isotope Products

 24937 Avenue Tibbitts
 Valencia, California 91355

 Tel 661•309•1010
 Fax 661•257•8303

CERTIFICATE OF CALIBRATION MULTINUCLIDE STANDARD SOURCE

Customer:	AMALE INTERNATIONAL	Source No.:	1364-6
P.O. No.:	2853-THI	Reference Date:	1-Jan-09 12:00 PST
Catalog No.:	EG-ML	Contained Radioactivity:	1.001 μ Ci 37.04 kBq

Physical Description:

A. Capsule type:	1L Marinelli beaker (130G)
B. Nature of active deposit:	Multinuclide distributed in 1.0 g/cc epoxy matrix
C. Active diameter/volume:	Approximately 1000mL (1000 grams)
D. Backing:	Plastic
E. Cover:	Plastic

Gamma-Ray Energy (keV)	Nuclide	Half-life	Branching Ratio (%)	Activity (μ Ci)	Gammas per second	Total Uncert.
60	Am-241	432.17 \pm 0.66 years	36.0	0.02945	392.3	3.1 %
88	Cd-109	462.6 \pm 0.7 days	3.63	0.4115	552.7	3.0 %
122	Co-57	271.79 \pm 0.09 days	85.6	0.01523	482.4	3.1 %
166	Ce-139	137.640 \pm 0.023 days	79.9	0.01924	568.8	3.0 %
279	Hg-203	46.595 \pm 0.013 days	81.5	0.06193	1867	3.2 %
392	Sn-113	115.09 \pm 0.04 days	64.9	0.06932	1665	3.0 %
514	Sr-85	64.849 \pm 0.004 days	98.4	0.09395	3421	3.0 %
662	Cs-137	30.17 \pm 0.16 years	85.1	0.06657	2096	3.0 %
898	Y-88	106.630 \pm 0.025 days	94.0	0.1525	5304	3.0 %
1173	Co-60	5.272 \pm 0.001 years	99.86	0.08126	3002	3.0 %
1333	Co-60	5.272 \pm 0.001 years	99.98	0.08126	3006	3.0 %
1836	Y-88	106.630 \pm 0.025 days	99.4	0.1525	5609	3.0 %

Method of Calibration:

This source was prepared from weighed aliquots of solutions whose concentrations in μ Ci/g were determined by gamma spectrometry.

Notes:

- See reverse side for leak test(s) performed on this source.
- EZIP participates in a NIST measurement assurance program to establish and maintain implicit traceability for a number of nuclides, based on the blind assay (and later NIST certification) of Standard Reference Materials (as in NRC Regulatory Guide 4.15).
- Nuclear data was taken from IAEA-TECDOC-619, 1991.
- Overall uncertainty is calculated at the 99% confidence level.
- This source has a working life of 1 year.

Daniel James Van Dalsen
Quality Control

6-Jan-09
Date

EZIP Ref. No.: 1364-6


ISO 9001 CERTIFIED

Medical Imaging Laboratory

24937 Avenue Tibbitts Valencia, California 91355

Industrial Gauging Laboratory

1800 North Keystone Street Burbank, California 91504



ภาคผนวก ฉ

ค่าขีดจำกัดของการวัด (Lower Limits of Detection)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าขีดจำกัดของการวัด (Lower Limits of Detection)

ในการวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นระดับที่มีกัมมันตภาพรังสีต่ำ ระดับกัมมันตภาพรังสีนี้ได้นำมาเปรียบเทียบกับแบบคกราวด์ โดยที่ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ต่ำที่สุดที่เครื่องวัดสามารถวัดได้ คือ LLD (Lower Limits of Detection) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$LLD = \frac{4.66 \times S_n}{P_\gamma \times \varepsilon}$$

เมื่อ LLD คือ ค่าต่ำสุดของปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่สามารถวิเคราะห์ได้


(Bq)

4.66 คือ ค่าคงที่ซึ่งมาจากการกำหนดให้ค่าที่วัดได้มีความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ค่าที่ได้เป็นค่าที่มาจากรังสีจริง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\sqrt{2k}$ โดยที่ค่า k ได้จากการแจกแจงแบบปกติ

S_n คือ ค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการวัดสุทธิได้พีค

P_γ คือ จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง

ε คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานนั้นๆ



ภาคผนวก ซ

ค่าขีดจำกัดของการวัด (Minimum Detectable Concentration)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าขีดจำกัดของการวัด (Minimum Detectable Concentration)

ในการวัดรังสีในสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นระดับที่มีกัมมันตภาพรังสีต่ำ ระดับกัมมันตภาพรังสีนี้ได้นำมาเปรียบเทียบกับแบบคกราวด์ โดยที่ปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ต่ำที่สุดที่เครื่องวัดสามารถวัดได้ คือ MDC (Minimum Detectable Concentration) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{MDC} = \frac{4.66 \times S_n}{P_\gamma \times \epsilon \times w}$$

เมื่อ MDC คือ ค่าต่ำสุดของปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Bq/kg)


w คือ ค่าน้ำหนักของตัวอย่างมีหน่วยเป็น กิโลกรัม

4.66 คือ ค่าคงที่ซึ่งมาจากการกำหนดให้ค่าที่วัดได้มีความเชื่อมั่น 95 % โดยที่ค่าที่ได้เป็นค่าที่มาจากรังสีจริง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2\sqrt{2}k$ โดยที่ค่า k ได้จากการแจกแจงแบบปกติ

S_n คือ ค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการวัดสุทธิที่ได้พีค

P_γ คือ จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง

ϵ คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานนั้นๆ



ภาคผนวก ซ

แสดงตัวอย่างการคำนวณความแรงรังสีจำเพาะของ K-40 ในตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการคำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของ K-40 ในตัวอย่าง น้ำประปา ที่ สทน. องค์กรักษ์

จ.นครนายก และค่าขีดจำกัดของการวัด

1. ค่านับรังสีแกมมาสุทธิของ K – 40 (counts/s) = (ค่านับรังสีของ K – 40) - (ค่านับรังสีของแบคกราวด์ K – 40)

2. สมการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีที่พลังงานต่างๆ

$$y = 10^{(-0.8523(x) + 0.3394)}$$

เมื่อ y คือ ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

x คือ พลังงานของรังสีแกมมา

3. ค่าความแรงรังสีของ K – 40 $A_n = \frac{R_n}{\epsilon_n \times P_\gamma \times m}$

เมื่อ A_n คือ ความเข้มข้นกัมมันตภาพของนิวไคลด์ n (Bq/kg.)

m คือ มวลของสารตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ (kg.)

R_n คือ อัตราการนับสุทธิของนิวไคลด์ n (counts/sec)

ϵ_E คือ ประสิทธิภาพของหัววัดรังสี ที่ค่าพลังงานใดๆ

P_γ คือ จำนวนรังสีแกมมาในการสลายตัวหนึ่งครั้ง

4. ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวัดที่หัววัดสามารถวัดได้ LLD (Lower Limit of Detection)

$$LLD = \frac{4.66 \times S_n}{\epsilon_E \times P_\gamma}$$

การคำนวณหาค่า Standard deviation (S_n)

$$S_n^2 \text{ คือ } S_t^2 + S_b^2$$

เมื่อ S_n คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราการนับวัด (cps)

S_t คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ gross count rate (cps), $S_t^2 = R_t/t$

S_b คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ background count rate (cps), $S_b^2 = R_b/t$


R_t คือ the gross count rate (cps)

R_b คือ the background count rate (cps)

การคำนวณค่าความแรงรังสีของ K-40 ในตัวอย่างน้ำประปา ที่ สทท. องค์กรักษ์ จ.นครนายก
และค่าขีดจำกัดของการวัด

(เก็บเมื่อ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2552 วัดเมื่อ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2552)

ค่านับรังสีของ K-40 ในตัวอย่างน้ำประปา	=	348.3 counts
ค่านับรังสีของ K-40 ของแบคกราวด์	=	57.3 counts
เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์	=	80,000 second
ค่านับรังสีสุทธิของ K-40	=	$\frac{(348.3 - 57.3)}{80000}$
	=	0.0040875 cps
ค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีของ K-40	=	0.004387522
น้ำหนักที่ใช้วิเคราะห์	=	1.174662 kg.
จำนวนรังสีแกมมาที่สลายตัวในหนึ่งครั้ง	=	0.107
ค่ากัมมันตภาพรังสีของ K-40	=	$\frac{0.0040875}{(0.004387522 * 1.174662 * 0.107)}$
	=	7.412108384 Bq/kg
ค่า Standard deviation (S_n)	=	0.0002517439175
ค่าขีดจำกัดของการวัด	=	$\frac{(4.66 * 0.0002517439175)}{(0.004387522 * 0.107)}$
	=	2.498859383 Bq



ภาคผนวก ฅ

แสดงตัวอย่างการคำนวณความหนาของน้ำที่ใช้กำบังรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แสดงตัวอย่างการคำนวณความหนาของน้ำที่ใช้กำบังรังสี

$$\text{จาก } I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

สมมติ 1 Ci ของ Cs-137 ที่ระยะ 1 เมตร และตะกั่วหนา 10 เซนติเมตร

$$\text{Without shielding มีค่า } X = 2890 \text{ } \mu\text{Sv/hr}$$

จากตาราง Mass Attenuation Coefficient ที่ E ของ Cs -137 = 0.662 MeV

$$\text{ค่า } \left[\frac{\mu}{\rho} \right] \text{ ของ ตะกั่ว} = 0.10457 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\text{ค่า } \rho \text{ ของ ตะกั่ว} = 11.34 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ค่า } \mu \text{ ของตะกั่ว} = 1.185 \text{ cm}^{-1}$$

จากสมการที่ (1) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} I &= 2890 e^{-(1.185 \times 10)} \\ &= 0.021 \text{ } \mu\text{Sv/hr} \end{aligned}$$

จากค่าที่ได้ข้างต้น เป็นแบบ Good geometry และเมื่อใช้น้ำเป็นกำบังรังสี เมื่อต้นกำเนิดรังสีวางที่ระยะเดียวกันและมีความแรงแรงรังสีเท่ากัน

จากตาราง Mass Attenuation Coefficient ของน้ำที่ E ของ Cs-137 = 0.662 MeV

$$\text{ค่า } \left[\frac{\mu}{\rho} \right] \text{ ของ น้ำ} = 0.08619 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\text{ค่า } \rho \text{ ของ น้ำ} = 1.00 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ค่า } \mu \text{ ของ น้ำ} = 0.08619 \text{ cm}^{-1}$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ว่า } 0.021 = 2890 e^{-(0.08619x)}$$

$$\frac{0.021}{2890} = e^{-0.08619x}$$

$$\ln \frac{0.021}{2890} = -0.08619$$

$$= 137.281 \text{ เซนติเมตร}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ค่าความหนาของน้ำที่จะใช้เป็นกำบังรังสีสำหรับกั้นรังสีแกมมาที่พลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.662 MeV มีค่าเท่ากับ 137.281 เซนติเมตร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวุฒิเดช ธรรมฤทธิ์ เกิด วันที่ 14 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2513 ที่ ตำบลนากะชะ อำเภอ
ฉวาง จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาประถมศึกษา ป. 6 ที่โรงเรียนวัดมะเฟือง สำเร็จ
การศึกษามัธยมศึกษา ม.6 ที่โรงเรียนฉวางรัชดาภิเษก อ. ฉวาง จ. นครศรีธรรมราช สำเร็จ
การศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาชีววิทยา (วทบ.) มหาวิทยาลัยรามคำแหง กทม. เมื่อปี
การศึกษา 2537 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีวเคมี
เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2550 ได้รับทุนสนับสนุน
ในโครงการความร่วมมือในการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เมื่อปี 2541 ทำงานตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ ที่
กองการวัดกัมมันตภาพรังสี สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ กลุ่มงานบริการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีในตัวอย่างสินค้าส่งออก ฝ่าย
ตรวจวัดวิเคราะห์โดยเทคนิคเชิงนิวเคลียร์ ศูนย์บริการเทคโนโลยีนิวเคลียร์ สถาบันเทคโนโลยี
นิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย