

การพัฒนาเทคนิคการวัดรังสีแกมมาในเศษโลหะที่ปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสี



นางสาววารุณี เตยโพธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A GAMMA-RAY MEASUREMENT TECHNIQUE FOR RADIOACTIVE
CONTAMINATION IN SCRAP METALS



MS. VARUNEE TOEYPHO

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาเทคนิคการวัดรังสีแกมมาในเศษโลหะที่ปนเปื้อนด้วย
วัสดุแกมมันตรังสี

โดย

นางสาววารุณี เตยโพธิ์

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

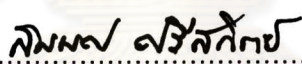
ดร. อุดร ยังช่วย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

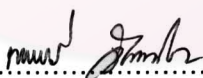


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

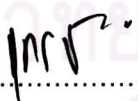
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



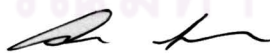
.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)



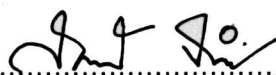
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร. อุดร ยังช่วย)



.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสมันต์)



.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร จงคำ)

วารุณี เตยโพธิ์ : การพัฒนาเทคนิคการวัดรังสีแกมมาในเศษโลหะที่ปนเปื้อนด้วยวัสดุ
กัมมันตรังสี. (DEVELOPMENT OF A GAMMA-RAY MEASUREMENT TECHNIQUE
FOR RADIOACTIVE CONTAMINATION IN SCRAP METALS) อ.ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร. อุดร ยิ่งช่วย,
103 หน้า.

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดรังสีแกมมาเพื่อใช้ในการเฝ้า
ระวังการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีในเศษโลหะ โดยใช้หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว × 5 นิ้ว
เชื่อมต่อกับเครื่องนับรังสี LUDLUM 2200 ซึ่งมีอุปกรณ์นับรังสี/อัตรารังสี และอุปกรณ์วิเคราะห์
แบบช่องเดี่ยวรวมอยู่ด้วยกัน เชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลจำนวนนับรังสีไปยัง
โทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านทางบริการส่งข้อความสั้น

ในขั้นแรกได้ทำการหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมา
สำหรับรังสีแกมมาพลังงาน 60 keV จากต้นกำเนิดรังสี Am-241 และ 662 keV จากต้นกำเนิด
รังสี Cs-137 รวมทั้งรังสีแกมมาพลังงาน 1172 และ 1332 keV จากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ต่อมา
ได้ทำการวัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีทั้งสามชนิดแบบวัดเฉพาะที่คพลพลังงานรังสีแกมมา และ
แบบวัดรังสีแกมมาทั้งสเปกตรัม ซึ่งพบว่าระยะไกลที่สุดที่สามารถตรวจวัดรังสีแกมมาจากต้น
กำเนิด Am-241 ที่มีความแรงรังสี 9.37 μCi , Cs-137 ที่มีความแรงรังสี 0.83 μCi และ Co-60 ที่มี
ความแรงรังสี 0.60 μCi , คือ 60, 65 และ 65 ซม. ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบ
ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีกับอัตรานับรังสีดังกล่าวด้วย ในขั้นสุดท้ายได้ทดสอบ
ระบบที่พัฒนาขึ้นในการตรวจสอบการปนเปื้อนของรังสีแกมมาในตัวอย่างเศษโลหะที่ปนเปื้อน
Co-60 4 ตัวอย่าง พบว่าสามารถวัดรังสีแกมมาจากตัวอย่างได้สูงกว่าแบบกรวดตัวอย่างชัดเจนแม้
จะอยู่ในระยะห่าง เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาทดสอบที่มีความแรงรังสีสูง

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อ นิสิต..... ท.ป. เตยโพธิ์
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... นนท. อภิรักษ์
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

##4970564021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: SCRAP METALS/ GAMMA-RAY/ CONTAMINATION

VARUNEE TOEYPHO: DEVELOPMENT OF A GAMMA-RAY MEASUREMENT
TECHNIQUE FOR RADIOACTIVE CONTAMINATION IN SCRAP METALS.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.NARES CHANKOW, THESIS CO-ADVISOR :
UDORN YOUNGCHUAY, D.Sc., 103 pp.

The thesis was aimed to develop of a gamma-ray measurement technique for monitoring of radioactive contamination in a scrap metal system using a 5" x 5" NaI(Tl) detector coupled with a LUDLUM 2200 Scaler/Ratemeter & SCA. The LUDLUM 2200 allowed data communication via a serial port. A GSM module was connected to the serial port to allow counting data transmission to mobile phone via available short message service (SMS)

The optimum operating voltages and the detection efficiencies for different gamma-ray energies, i.e. 60 keV from Am-241, 662 keV from Cs-137 as well as 1172 and 1332 keV from Co-60, were first determined. The measurements were later performed in two case i.e. photopeak counting and full spectrum counting. The maximum detectable distances for 9.37 μCi , Am-241, 0.83 μCi , Cs-137 and 0.60 μCi Co-60 were found to be 60, 65 and 65 cm respectively. The relationship between the dose rate and the counting rate was also determined for the three gamma-ray sources. The system was finally used to measure gamma-ray from 4 scrap metal samples contaminated with Co-60. The measurement indicated high counting rate above the background level even at far distance due to high Co-60 activity in all samples.

Department : Nuclear Technology
Field of Study : Nuclear Technology
Academic Year : 2009

Student's Signature.....*Varunee T.*.....
Advisor's Signature.....*Nares Chankow*.....
Co-Advisor's Signature.....*U. Youngchuy*.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ดร. อุดร ยังช่วย อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาและองค์ความรู้ต่าง ๆ ให้คำปรึกษาชี้แนะ ในการทำ วิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชานิวเคลียร์ เทคโนโลยี ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ในทุกๆ ด้าน

ขอขอบคุณท่าน มานิตย์ ช้อนสุข รองผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนในการคัดเลือกให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาที่จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย และให้ความช่วยเหลือในการเรียนทุกๆด้าน

ขอขอบคุณคุณ โกมล เตียสกุล เจ้าหน้าที่สำนักงานปริมาณเพื่อสันติ สำหรับข้อมูล อ่างอิงการวัดโลหะปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีและให้ความอนุเคราะห์ สารรังสีมาตรฐาน Am-241 สำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ คุณ เฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี และคุณ ภูริต ควินรัมย์ ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัย นี้

ขอขอบคุณภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่	
2 ระบบวัดรังสีแกมมา.....	6
2.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา.....	6
2.2 การตรวจวัดรังสีแกมมา.....	10
2.3 หัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี (Scintillation Detectors).....	10
2.4 การคาดคะเนฟังก์ชันการตอบสนอง (Predicted Response Function) ของหัววัด.....	15
2.5 ระบบนิวเคลอนิกส์ที่ใช้ในการวัดรังสีแกมมา.....	17
2.6 รังสีภูมิหลังหรือรังสีแบกกราวด์ (Background Radiation)	23
2.7 อัตรานับรังสีสุทธิ (Net Counting Rate)	25
2.8 การหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (Efficiency of Detector)	27
2.9 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี.....	27
2.10 การหาอัตราปริมาณรังสีในอากาศ (Exposure Rate)	28
2.11 สัดส่วนของรังสีที่สลายตัว.....	30

บทที่	หน้า
2.12 ความแตกต่างต่ำสุดที่ถือได้ว่าเป็นค่าวัดรังสีจากตัวอย่าง (Lower Limit of Detection - LLD)	30
บทที่	
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	33
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	36
3.3 ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างเศษโลหะจำลองที่ปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี.....	46
บทที่	
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	47
4.1 การหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl)	47
4.2 การหาตำแหน่งของพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน.....	48
4.3 การวัดพีคของแบคกราวนด์ (Background)	52
4.4 การทดสอบระบบการวัดรังสี.....	55
4.5 หาค่าความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (count rate) กับปริมาณรังสี (dose rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน.....	64
4.6 ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างเศษโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี.....	75
บทที่	
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	81
รายการอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก	84
ภาคผนวก ก.	85
ภาคผนวก ข.....	88
ภาคผนวก ค.....	90
ภาคผนวก ง.....	93

บทที่	หน้า
ภาคผนวก จ.....	95
ภาคผนวก ฉ.....	99
ภาคผนวก ช.....	101
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	103



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	คุณสมบัติของซินทิลเลเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดรังสีชนิดต่างๆ.....	14
2.2	แสดงกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ.....	24
2.3	ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ.....	26
2.4	ค่า Specific Gamma Emission หรือ “ Γ ” ของไอโซโทปรังสีบางชนิด.....	29
4.1	อัตราการนับรังสีแกมมาที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่างๆ สำหรับรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Am-241, Cs-137 และ Co-60.....	47
4.2	ผลการวัดเฉพาะพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 0.83 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์.....	49
4.3	ผลการวัดเฉพาะพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 0.60 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์.....	50
4.4	ผลการวัดเฉพาะพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์.....	51
4.5	ผลการวัดพีคของแบบคกราวด์ โดยใช้ค่า ศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ $\Delta E = 0.1$ Volt ใช้เวลาในการนับวัด 12 วินาที.....	53
4.6	ผลการวัดพีคของแบบคกราวด์ โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ โดยใช้ $\Delta E = 0.5$ โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 12 วินาที.....	54
4.7	ผลสำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 0.83 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 1.1 โวลต์ และ $\Delta E = 0.7$ โวลต์ ใช้เวลานับวัด 120 วินาที.....	56
4.8	ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 0.60 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 2.3 Volt และ $\Delta E = 1.2$ Volt	57
4.9	ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 1.1 Volt และ $\Delta E = 0.7$ Volt.....	58
4.10	ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 1.1 Volt และ $\Delta E = 0.7$ Volt	59

4.11	ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงแรังสี 0.83 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์และใช้ LLD = 0.5 Volt และ ΔE ปิดไม่ใช้.....	60
4.12	ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงแรังสี 0.60 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 Volt และ ΔE ปิดไม่ใช้.....	61
4.13	ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงแรังสี 9.72 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 Volt และ ΔE ปิดไม่ใช้.....	62
4.14	ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงแรังสี 9.37 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 Volt และ ΔE ปิดไม่ใช้.....	63
4.15	ความแรงแรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน.....	64
4.16	ระดับต่ำสุดที่หัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ที่สามารถวัดรังสีจากต้นกำเนิดรังสี (Lower Limit of Detection - LLD).....	64
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับประสิทธิภาพของหัววัดสำหรับการวัด Cs-137.....	65
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับประสิทธิภาพของหัววัดสำหรับการวัด Co-60.....	66
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับประสิทธิภาพของหัววัดสำหรับการวัด Am-241.....	67
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับประสิทธิภาพของหัววัดสำหรับการวัด Am-241.....	69
4.21	ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137.....	70
4.22	ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60.....	71
4.23	ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241.....	72
4.24	ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241.....	73
4.25	เปรียบเทียบระหว่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานกับตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุกำมันตรังสี ตัวอย่างที่ 1.....	75

4.26	เปรียบเทียบระหว่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานกับตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุ กัมมันตรังสี ตัวอย่างที่ 2.....	76
4.27	เปรียบเทียบระหว่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานกับตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุ กัมมันตรังสี ตัวอย่างที่ 3.....	77
4.28	เปรียบเทียบระหว่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานกับตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุ กัมมันตรังสี ตัวอย่างที่ 4.....	78
5.1	ความไวของระบบวัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี.....	80



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคต์.....	7
2.2	การเกิดปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....	8
2.3	การเกิดแพร์โพรดักชัน.....	9
2.4	ระบบวัดรังสีแกมมาแบบหัววัดรังสีซินทิลเลเตอร์.....	10
2.5	แสดงโครงสร้างของหัววัด Scintillation.....	11
2.6	แผนภาพส่วนประกอบของหัววัดเรืองรังสี.....	11
2.7	กลไกการทำงานของหัววัดแบบสารเรืองแสง (Scintillation Detector).....	12
2.8	หัววัดรังสีที่ประกอบด้วยผลึก NaI(Tl) และหลอด PM.....	12
2.9	อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พิคที่ได้จากหัววัดขนาดเล็ก.....	15
2.10	อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พิคที่ได้จากหัววัดขนาดใหญ่.....	16
2.11	อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พิคที่ได้จากหัววัดขนาดกลาง.....	16
2.12	แสดงการทำงานของวงจรวินิจฉัยรังสีสัญญาณแบบช่องเดี่ยว.....	18
2.13	พัลส์ที่เอาต์พุตของตัวตัด.....	19
2.14	แสดงการทำงานของเครื่องวินิจฉัยสัญญาณแบบช่องเดี่ยว.....	19
2.15	ส่วนวินิจฉัยสัญญาณหลายช่อง.....	20
2.16	ระบบวัดรังสีแบบนับรวมทุกพลังงาน.....	21
2.17	แสดงสเปกตรัมการวัดรังสี Cs-137 จากเครื่องวินิจฉัยสัญญาณแบบแบบช่องเดี่ยว.....	21
2.18	ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน.....	22
2.19	แสดงสเปกตรัมการวัดรังสี Cs-137 จากเครื่องวินิจฉัยสัญญาณหลายช่อง.....	22
2.20	ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง (Lower Limit of Detection-LLD).....	30
2.21	ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง โดยมีความเชื่อมั่น 99%.	31
2.22	ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง โดยมีความเชื่อมั่น 99%.	31
2.23	ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่างโดยมีความเชื่อมั่นสูงและความเสี่ยงต่ำ.....	31

3.1	เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว (Sing Channel Analyzer, SCA) LUDLUM Model 2200 SCALER RATEMETER Sr. 211137.....	33
3.2	หัววัดรังสีแกมมา โซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว.....	34
3.3	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ความแรงแรังสี 0.83 มิลลิวูรี.....	34
3.4	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ความแรงแรังสี 0.60 มิลลิวูรี.....	34
3.5	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Am-241 ความแรงแรังสี 9.72 มิลลิวูรี.....	34
3.6	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Am-241 ความแรงแรังสี 9.37 มิลลิวูรี.....	35
3.7	ตัวอย่างที่ 1 โลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี.....	35
3.8	ตัวอย่างที่ 2 โลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี.....	35
3.9	ตัวอย่างที่ 3 โลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี.....	35
3.10	ตัวอย่างที่ 4 โลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี.....	36
3.11	ลักษณะการจัดระบบที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.12	แสดงช่วงพลาโตของหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl).....	39
3.13	การหาค่าLLD สำหรับวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137.....	40
3.14	การวัดพีคของรังสีแบคกราวด์.....	41
3.15	การวัดเฉพาะพีคของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137.....	42
3.16	การวัดเฉพาะพีคของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60.....	43
3.17	การวัดเฉพาะพีคของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241.....	43
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับรังสีแกมมาที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่างๆ สำหรับรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Am-241, Cs-137 และ Co-60.....	48
4.2	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับและระดับ LLD ของการวัด Cs-137.....	49
4.3	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับและระดับ LLD ของการวัด Co-60.....	51
4.4	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับและระดับ LLD ของการวัด Am-241.....	52
4.5	การวัดพีคของแบคกราวด์ ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์	54
4.6	การวัดพีคของแบคกราวด์ โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์	55
4.7	ประสิทธิภาพของหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงแรังสี 30710 เบคเคเรล (Bq) ที่ระยะต่างๆ.....	66
4.8	ประสิทธิภาพประสิทธิภาพของหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงแรังสี 22200 เบคเคเรล (Bq) ที่ระยะต่างๆ.....	67

4.9	ประสิทธิภาพของหัววัด NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสีAm-241 ความแ รังสี 359640 เบคเคเรล (Bq) ที่ระยะต่างๆ.....	68
4.10	ประสิทธิภาพของหัววัด NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความ แรงแรังสี 346690 เบคเคเรล (Bq) ที่ระยะต่างๆ.....	69
4.11	ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137.....	70
4.12	ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60.....	71
4.13	ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241.....	73
4.14	ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241.....	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้มีการใช้สารกัมมันตรังสีกันอย่างแพร่หลายทั้งทางด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม สิ่งแวดล้อม รวมทั้งทางด้านความปลอดภัย (Safety) และด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security) ทั้งนี้เพราะการใช้เทคนิคนิวเคลียร์มีข้อได้เปรียบในแง่ของการที่เป็นเทคนิคแบบไม่ทำลาย (Nondestructive Technique) สามารถใช้ในการตรวจ วิเคราะห์ วัดค่าต่าง ๆ ได้โดยไม่มี การทำลายตัวอย่าง แต่การใช้สารกัมมันตรังสีจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุมของสำนักงานปรมาณู เพื่อสันติ (ปส.) การนำเข้ามา การส่งออก การครอบครอง การใช้งาน การเคลื่อน ย้าย ตลอดจน การเลิกใช้งาน จะต้องแจ้งให้ ปส. ทราบ อย่างไรก็ตามอาจมีสารกัมมันตรังสีเล็ดลอดออกจาก ระบบควบคุม หรือติดมากับวัสดุอุปกรณ์บางชนิด แล้วถูกกำจัดหรือทิ้งตามวิธีปกติ ทำให้สามารถ ไปปนเปื้อนกับวัสดุ และผลิตภัณฑ์บางประเภทได้ การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีในเศษวัสดุจึงเป็น วิธีหนึ่งที่จะป้องกันมิให้สารกัมมันตรังสีถูกนำไปหลอมรวมกับโลหะวัสดุอื่น ๆ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคมของชาติและในระดับสากล ในปัจจุบันเรื่องนี้จึงเป็นวาระสำคัญ ขององค์การสหประชาชาติ (United Nations) ด้วย ซึ่งสามารถเห็นได้จากเอกสารและการจัดการ ประชุมของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA) [1] และคณะกรรมการเศรษฐกิจแห่งสหประชาชาติเพื่อกิจการยุโรป (United Nations Economic Commission for Europe, UNECE) [2, 3]

นอกจากนี้ประเทศต่าง ๆ ที่นำนิวเคลียร์เทคโนโลยีมาใช้ประโยชน์ เมื่อมีการรื้อถอนและ ทำความสะอาดพื้นที่โครงสร้างต่าง ๆ ที่หมดอายุการใช้งาน เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ โรงงานผลิต อวูธรนิวเคลียร์ เป็นต้น ก็อาจมีวัสดุที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีในเศษโลหะ และเศษวัสดุที่รื้อถอน ปนเปื้อนโลหะวัสดุอีกทางหนึ่ง ททบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ได้ตีพิมพ์ เอกสาร IAEA/CODEOC/2004 [4] เพื่อเป็นแนวทางสำหรับความปลอดภัยและป้องกันการนำเข้า และส่งออกวัสดุกัมมันตรังสีที่มีความเสี่ยงรังสีในระดับสูง แต่ยังไม่มีการใด ๆ ควบคุมการ ส่งออกและนำเข้าเศษโลหะเปื้อนรังสี National Council on Radiation and Measurement (NCRP) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รายงานใน Report No.141 [5] เกี่ยวกับการเพิ่มปัญหาของ เศษโลหะเปื้อนรังสีเหล่านี้และให้คำแนะนำการจัดการ (Management) การพัฒนาข้อกำหนด (Clearance Standards) [6] และการป้องกันอันตรายจากรังสี (Radiation Protection) ต่อ

พนักงานในโรงงาน โดยรายงานนี้ได้ครอบคลุมถึงปัญหาในระดับนานาชาติ ที่ควรจะมีข้อกำหนดที่เป็นแบบเดียวกันโดยรวมไปถึงการควบคุมต้นกำเนิดรังสีนอกเหนือการควบคุม ในปี ค.ศ. 2002 คาดว่ามีเศษโลหะจากการรีดถอนโรงงานเหล่านี้ทั่วโลกประมาณ 10 ล้านตัน เศษโลหะบางส่วนได้นำมาใช้ใหม่อีกครั้งโดยการส่งไปหลอมในประเทศต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ ออกสู่ตลาดโลก ซึ่งบางครั้งเศษโลหะเหล่านี้ยังมีระดับรังสีอยู่ในระดับสูงและอาจเป็นอันตรายต่อประชาชนได้ อนึ่งถ้าเตาหลอมได้หลอมเศษโลหะที่มีระดับรังสีสูงก็จะทำให้เตาหลอมนั้นปนเปื้อนรังสีไปด้วย ซึ่งจะกระจายรังสีไปสู่การหลอมครั้งต่อไป ประเด็นที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือการนำเข้าเศษโลหะปนเปื้อนรังสีจากประเทศยุโรปตะวันออก ซึ่งยังขาดการควบคุมและข้อกำหนดที่แน่นอน โดยทั่วไปเศษโลหะที่ปนเปื้อนรังสีจากการรีดถอนอาจประกอบด้วยนิเกิล เหล็กกล้าผสมคาร์บอน เหล็กกล้าไร้สนิม อะลูมิเนียม และทองแดง เป็นต้น สำหรับเศษโลหะที่ได้จากการหลอม 90 % สามารถทำเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนอีก 10% จะเป็นกากและก๊าซ ส่วนการหลอมอลูมิเนียมจะได้สัดส่วนโดยประมาณ 70% และ 30% ตามลำดับ สัดส่วนของกัมมันตรังสีจะกระจายขึ้นอยู่กับจุดเดือด ในประเทศสหรัฐอเมริกาโรงงานหลอมโลหะส่วนใหญ่ ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีสำหรับวัดรังสีในรถ หรือแม้แต่ขบวนรถไฟที่บรรทุกเศษโลหะก่อนเข้าโรงงาน ซึ่งสัญญาณของรังสีแกมมา มักจะตั้งไว้สูงกว่าระดับรังสีในธรรมชาติเล็กน้อย การป้องกันวิธีนี้นับว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า เมื่อเทียบกับการที่เตาหลอมปนเปื้อนรังสี และการขจัดกากในภายหลัง ทั้งนี้ยังป้องกันความเสียหายทางเศรษฐกิจของบริษัท และคุ้มครองพนักงาน รวมทั้งประชาชน อันเนื่องจากการรับรังสีจากการนำเศษโลหะปนเปื้อนรังสีในระดับที่อาจก่ออันตรายมาหลอม

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษา และพัฒนา เทคนิคการตรวจวัดรังสีแกมมาในเศษโลหะที่ปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสี โดยใช้อุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นมาเองจาก หัววัดรังสีแกมมา อุปกรณ์นับรังสี รวมกับส่วนส่งข้อมูลผ่านบริการส่งข้อความสั้น (Short Message Service) ของโทรศัพท์มือถือ เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาเครื่องหรือระบบตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีขึ้นมาเอง โดยไม่ต้องจัดซื้อเครื่องวัดหรือระบบทั้งหมด ซึ่งมีราคาสูงมากจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิคการวัดรังสีแกมมาในเศษโลหะที่ปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้หัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) สำหรับการวัดรังสีแกมมาจากเศษโลหะ
- 1.3.2 ศึกษาและทดสอบความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) ของรังสีแกมมาพลังงานต่าง ๆ
- 1.3.3 ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นกับตัวอย่างเศษโลหะจำลองและเศษโลหะในโรงงาน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทดลองหาความไวของหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ต่อรังสีแกมมาพลังงานต่าง ๆ
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างระบบวัดรังสีแกมมาที่ใช้หัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) สำหรับการวัดรังสีแกมมาจากเศษโลหะ
- 1.4.3 ศึกษาและค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.4 หาความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน
- 1.4.5 ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างเศษโลหะจำลองที่ปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสี
- 1.4.6 สรุป วิเคราะห์ผลที่ได้จากงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เทคนิคและระบบต้นแบบสำหรับการวัดรังสีแกมมาในเศษโลหะที่ปนเปื้อนด้วยวัสดุกัมมันตรังสี ซึ่งน่าจะมีประโยชน์ ในการกำกับดูแล และการป้องกันอันตรายจากรังสี รวมถึงสามารถนำข้อมูลที่ได้เพื่อตรวจสอบแหล่งที่มาของรังสี

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี พ.ศ. 2543 สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโช ทองอร่าม และ ศิริพงษ์ ไชยมงคล [7] ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับ ระบบวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยระบบวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นเป็นการประยุกต์ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบวัดรังสีในส่วนของวงจรมับรังสี วงจรตั้งเวลา การทำงานแบบอัตโนมัติและการแสดงผลในรูปแบบเส้นกราฟด้วยโปรแกรมที่ทำงานบน DOS ใช้การสื่อสารทางสัญญาณกับระบบวัดรังสีส่วนหน้าผ่านทางพอร์ตขนาน หัววัดไกเกอร์-มูลเลอร์ใช้ของ LND รุ่น 712 ย่านการทำงานของไบอัสในช่วง 350-750 โวลต์ การแปรเปลี่ยนแรงดันไบอัสอัตโนมัติจากค่าแรงดันต่ำสุดถึงสูงสุดสามารถเลือกได้จากโปรแกรมการทำงาน อัตราการนับพัลส์สัญญาณไม่น้อยกว่า 10 kHz ตั้งเวลานับรังสีได้จาก 1-9999 วินาที โดยสามารถแสดงเวลาคงเหลือได้ ความคุมการนับรังสีได้ทั้งแบบทีละครั้งหรือนับต่อเนื่อง รวมทั้งสามารถเลือกโปรแกรมใช้งานจากเมนูที่แสดงฟังก์ชันคีย์บนคอมพิวเตอร์ได้สะดวก

1.6.2 ปี พ.ศ.2549 อรรถพร ภัทรสุมันต์ และ กิตติศักดิ์ ชัยสรรค์ [8] ได้พัฒนาระบบไฟาระวังรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยการนำระบบตรวจวัดรังสีแกมมา ไมโครคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์เคลื่อนที่ มาพัฒนาเป็นระบบไฟาระวังทางรังสีที่ประกอบด้วยสถานีลูกข่ายและสถานีแม่ข่าย ไฟาระวังรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อม โดยสถานีลูกข่าย ฯ ทำหน้าที่ตรวจวัด วิเคราะห์ข้อมูลตรวจวัด รายงานผลการตรวจวัดและแจ้งเตือนเมื่อมีจำนวนนับรังสีแกมมาเกินเกณฑ์กำหนด ส่วนสถานีแม่ข่าย ฯ ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางรับรายงานผลการตรวจวัดและการแจ้งเตือนเมื่อมีจำนวน นับรังสีแกมมาเกินเกณฑ์กำหนดจากสถานีลูกข่าย ฯ โดยมีการรับส่งข้อมูลในรูปแบบข้อความสั้นผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถรายงานผลการการตรวจวัด แจ้งเตือนเมื่อมีจำนวนนับรังสีแกมมาเกินเกณฑ์กำหนดและจัดเก็บข้อมูลลงใน ไมโครคอมพิวเตอร์ได้อย่างสะดวกและถูกต้อง เป็นการประยุกต์ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีราคาถูกลงและมีค่าใช้จ่ายต่ำในการ รับส่งข้อมูล

1.6.3 ปี พ.ศ. 2549 สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เตโช ทองอร่าม และ ธีระยุทธ เพลิดพริ้ง [9] งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบวัดรังสีแบบโมดูลขนาดเล็ก โดยอาศัยสัดส่วนโครงโมดูลตามมาตรฐานยูโรการ์ดเฟรม (Eurocard Frame) เป็นแนวทางและได้ออกแบบโมดูลบรรจุวงจรมีขนาดความกว้าง 4.5 และ 9.0 ซม. สำหรับประกอบชุดวงจรรีเลย์เล็กทรอนิกส์ที่จำเป็น ในการจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวมและแบบนับแยกเฉพาะพลังงาน ประกอบด้วยโมดูลวงจรถ่ายไฟฟ้าคัดต่ำ วงจรถ่ายไปป์สัดสูง วงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (SCA) วงจรนับรังสี วงจรตั้งเวลา วงจรตัดสัญญาณ/เรตมิเตอร์ และวงจรเชื่อมโยงสัญญาณกับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อถ่ายโอนข้อมูล ระบบวัดรังสีแบบโมดูลที่พัฒนาขึ้นออกแบบและสร้างโดยเลือกวัสดุพร้อมอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศเป็นหลักเพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษา

ผลการทดลองจัดระบบวัดรังสีแบบนับรวมพบว่าสามารถนับรังสีที่อัตรานับสูงสุด 4.5×10^6 cps แสดงค่านับวัดสูงสุดที่ $10^6 - 1$ ครั้ง ตั้งเวลานับรังสีได้ตั้งแต่ 1 วินาที - 99 นาที และสามารถแสดงค่าเฉลี่ยของการนับรังสีด้วยเรตมิเตอร์ได้ในย่าน $100 - 10^5$ cps ในขณะที่ระบบแยกนับเฉพาะพลังงานนั้นผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD และ ΔE ของอุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวพบว่าให้ค่า $R^2 = 0.999$ และ 0.999 ตามลำดับ และจากการทดลองวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานด้วยหัววัดรังสี NaI(Tl) พบว่าให้ผลเป็นที่พอใจสำหรับการใช้งานด้านการเรียนการสอนและงานวิจัยพื้นฐาน

1.6.4 ปี พ.ศ. 2549 วีระพงศ์ จิวประดิษฐ์กุล และ พุทธิพล ลิมกิจเจริญภรณ์ [10] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการตอบสนองอิเล็กทรอนิกส์ของพลาสติกซินเลเตอร์ (NE102) โดยใช้เทคนิคคอมป์ตันโคอินซิเดนซ์ (CCT) เทคนิค CCT จะทำให้เกิดอิเล็กทรอนิกส์พลังงานเดี่ยวขึ้นภายในซินทิลเลเตอร์ (NE102) เนื่องจากกระเจิงของรังสีแกมมาพลังงาน 662 keV ที่ตกกระทบหัววัดพลาสติกซินทิลเลเตอร์ (NE102) รังสีแกมมาที่กระเจิงถูกวัดด้วยหัววัด NaI (TI) โดยสัญญาณจาก หัววัดทั้งสองจะเกิดพร้อมกัน การตอบสนองอิเล็กทรอนิกส์ของ NE102 ถูกวัดโดยเทคนิคนี้ในช่วงพลังงาน 28 keV ถึง 436 keV โดยการเปลี่ยนมุมกระเจิง ในช่วงพลังงาน 90 keV ถึง 436 keV โดยมี ค่าแตกต่างอยู่ในช่วง 3% ที่พลังงานต่ำกว่า 90 keV อัตราส่วนของแสงที่ได้ต่อพลังงานอิเล็กทรอนิกส์จะ ลดลงจนถึงประมาณ 20% เมื่อพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ลดลงถึง 28 keV ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้วัดความสามารถในการแยกพีคพลังงานของ NE102 ด้วยเทคนิคโคอินซิเดนซ์ในช่วงพลังงาน 68 keV ถึง 436 keV ซึ่งพบว่ามีค่าการแปรค่าจาก 25.2% ที่ 68 keV ถึง 436 keV

บทที่ 2

ระบบวัดรังสีแกมมา

2.1 คุณสมบัติของรังสีแกมมา [13,14]

รังสีแกมมาเป็นรังสีชนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Radiation) ไม่มีประจุ ไม่มีมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้า มีความเร็วเท่ากับแสง พลังงานของรังสีแกมมาจะมีความสัมพันธ์กับความถี่ ดังต่อไปนี้

$$E = h\nu \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E = \frac{1.240 \times 10^{-6}}{\lambda} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

เมื่อ E คือ พลังงานของรังสีแกมมา (eV)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant = 4.135×10^{-15} eV.s)

ν คือ ความถี่ของคลื่น (s^{-1})

λ คือ ความยาวคลื่น (m)

เมื่อนิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลง หลังจากการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ นิวเคลียสจะอยู่ในสถานะกระตุ้น (Excited State) การลดระดับพลังงานลงมาอยู่ในสถานะพื้น (Ground State) จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในรูปรังสีแกมมา ถ้าให้สถานะเริ่มต้น นิวเคลียสมีระดับพลังงาน E_i (สถานะกระตุ้น) และ E_f เป็นสถานะสุดท้าย ถ้าสถานะสุดท้ายเป็นสถานะพื้น การลดระดับพลังงานจะสิ้นสุด แต่ถ้าสถานะสุดท้ายยังเป็นสถานะกระตุ้นอยู่ การลดระดับพลังงานก็จะเกิดขึ้นอีกจนกระทั่งเป็นสถานะพื้น พลังงานของรังสีแกมมาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของสถานะเริ่มต้นกับพลังงานของสถานะสุดท้าย ดังนี้

$$h\nu = \Delta E = E_i - E_f \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

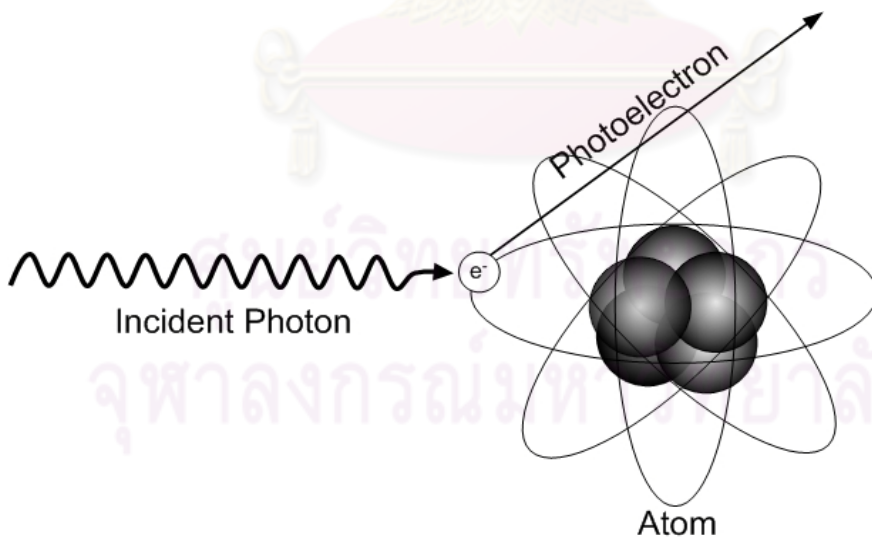
เนื่องจากรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแผ่ออกมาในรูปของโฟตอนหรือควอนตัมของพลังงานที่ไม่มีประจุมวลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง ดังนั้นการวัดพลังงานของรังสีแกมมาจึงต้องอาศัยอันตรกิริยาของรังสีแกมมากับวัสดุ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดต่อไป

2.1.1 ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ (Photoelectric Effect) [13,14]

ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ เกิดจากรังสีแกมมาพลังงานต่ำแต่มากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจรเมื่อรังสีแกมมาเคลื่อนเข้าชนอะตอมจะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้อิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากรังสีแกมมาหายไปและอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวจำนวนหนึ่ง ดังนั้น พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอน ที่หลุดออกมาจึงมีค่าเท่ากับพลังงานของรังสีแกมมาลบด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน ดังสมการ (2.4)

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

- เมื่อ E_e คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอม
 E_γ คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่เคลื่อนเข้าชนอะตอม
 E_b คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.1 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์

2.1.2 ปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (The Compton Effect) [13,14]

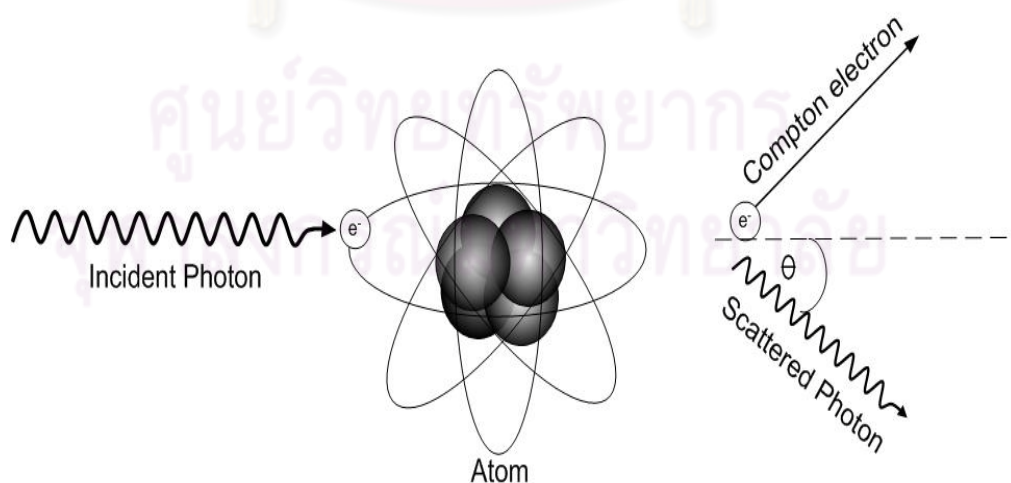
เกิดจากการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่ล้อมรอบนิวเคลียสของอะตอมตัวกลางแต่การชนทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานบางส่วนจากโฟตอนและกระเจิงออกจากวงโคจรส่วนโฟตอนที่มีพลังงานเหลืออยู่จะกระเจิงในทิศทางทำมุม θ โดยอิเล็กตรอนที่กระเจิงออกมาจากวงโคจรเรียกว่า “รีคอยล์อิเล็กตรอน (Recoil electron)” ได้รับพลังงาน ดังสมการที่ 2.5 และ สมการ ที่ 2.6

โดยที่

$$E_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{โดยที่ } E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (1 - \cos\theta) \frac{E}{mc^2}} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

เมื่อ	เมื่อ	E_γ	=	พลังงานของโฟตอน
		E'_γ	=	พลังงานของโฟตอนที่กระเจิงออกมา
		θ	=	มุมที่โฟตอนกระเจิงออกจากแนวเคลื่อนที่



รูปที่ 2.2 การเกิดปรากฏการณ์การกระเจิงแบบคอมป์ตัน

2.1.3 การเกิดแฟร์ไพร์ดักชัน (Pair Production) [13,14]

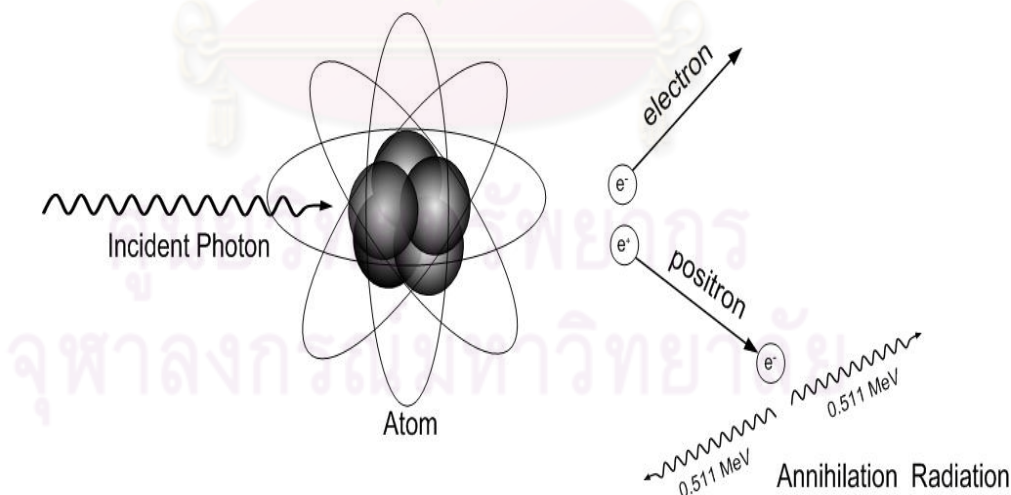
เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับนิวเคลียสในกรณีที่โฟตอนมีพลังงานมากกว่า 1.022 MeV จะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณชั้นโคจรอิเล็กตรอนและถ่ายโอนพลังงานบริเวณใกล้เคียง พลังงานของโฟตอนจะทำให้เกิดแถบพลังงานบริเวณสนามประจุคู่อิเล็กตรอนที่เกิดในแถบ พลังงานที่มีการรับพลังงานเพิ่มจะหลุดจากแถบพลังงานเกิดเป็นอิเล็กตรอนประจุลบและ อิเล็กตรอนประจุบวกคู่หนึ่งจากนั้นอิเล็กตรอนประจุบวกจะจับอิเล็กตรอนอิสระในบริเวณใกล้เคียง แล้วสลายมวลทันทีทันใด (Annihilation) กลายเป็นรังสีแกมมา 2 ตัว ปลดปล่อยออกมาในทิศทาง ทำมุม 180 องศา โดยรังสีแกมมาแต่ละตัวมีพลังงานจากการสลายมวล 0.511 MeV อันตรกิริยา นี้โฟตอนสูญเสียพลังงานไปดังสมการที่ 2.7 และ สมการที่ 2.8

$$E_{e^-} + E_{e^+} = E_{\gamma} - (mc^2)_{e^-} - (mc^2)_{e^+} \dots\dots\dots(2.7)$$

โดยที่ $E_{e^-} + E_{e^+} = E_{\gamma} - 1.022\text{MeV} \dots\dots\dots(2.8)$

เมื่อ

- m = มวลของอิเล็กตรอน หรือโพสิตรอน
- c = ความเร็วแสง



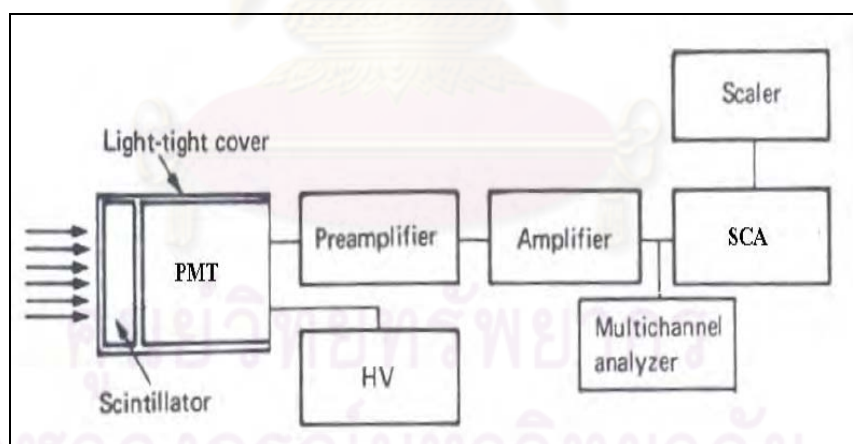
รูปที่ 2.3 การเกิดแฟร์ไพร์ดักชัน

2.2 การตรวจวัดรังสีแกมมา [11,12]

ในการตรวจวัดรังสีชนิดต่างๆ วิธีการที่ใช้จะอาศัยคุณสมบัติการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างรังสีกับวัตถุผลที่เกิดขึ้นก็คืออะตอมเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) หรือกระตุ้นให้มีพลังงานสูงขึ้น (Excitation) หัววัดที่ใช้หลักการ การแตกตัวเป็นไอออน ได้แก่ หัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ (Gas-filled Detectors) และ หัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Detectors) ส่วนหัววัดที่ใช้หลักการกระตุ้น ได้แก่ หัววัดรังสีแบบสารเรืองแสง (Scintillation Detectors) สัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสีจะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์วัดทางนิวเคลียร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

2.3 หัววัดรังสีชนิดเรืองรังสี (Scintillation Detectors) [11,12,13,14,16]

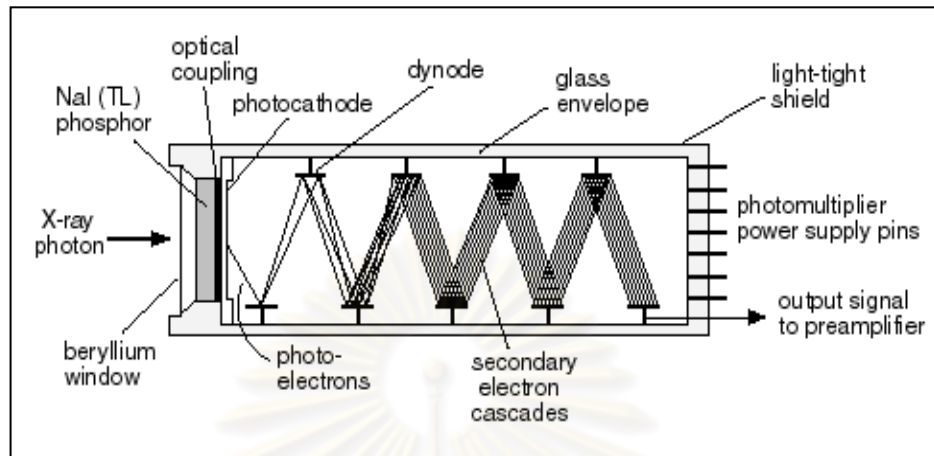
การทำงานของหัววัดประเภทนี้ อาศัยหลักการเกิดการตื่นตัว (Excitation) ของโมเลกุล หรือทำให้อิเล็กตรอนของอะตอมของผลึกของสารที่ใช้สร้างหัววัดเปลี่ยนขึ้นไปอยู่ในวงโคจรที่สูงขึ้น เมื่อมีพลังงานตกกระทบจากรังสี



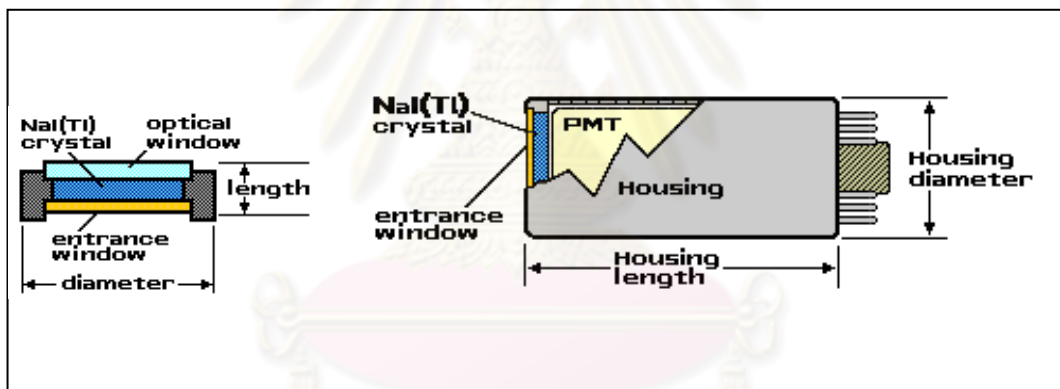
รูปที่ 2.4 ระบบวัดรังสีแกมมาแบบหัววัดรังสีซินทิลเลเตอร์ [14]

หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลเตอร์ เป็นหัววัดรังสีที่มีกระบวนการวัดรังสีทางอ้อม มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนที่รับอันตรกิริยาและเกิดประกายแสง (Scintillation) ต่อเชื่อมกับส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนประกายแสงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และทวีปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งห่อหุ้มไว้ด้วยภาชนะปิดป้องกันแสงสว่างจากภายนอก บริเวณหลอดทวิคูณอิเล็กทรอนิกส์ (PMT)

จะห่อหุ้มด้วยแผ่นกั้นสนามแม่เหล็ก (mu-metal) เพื่อป้องกันการรบกวนสนามแม่เหล็กซึ่งจะทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนเบี่ยงเบนจากบริเวณไดโนด (Dynode) มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5

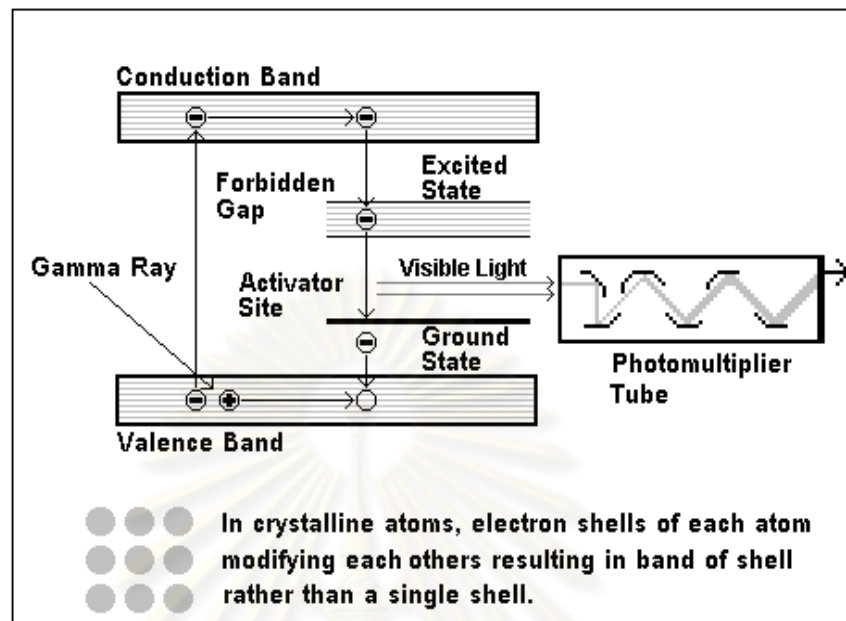


รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของหัววัด Scintillation



รูปที่ 2.6 แผนภาพส่วนประกอบของหัววัดเรืองรังสี

หลอดขยายแสงรับแสงที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนให้เป็นอิเล็กตรอนที่ Photocathode อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเรียกว่าโฟโตอิเล็กตรอนถูกเร่งความเร็วไปสู่ขั้วไฟฟ้า Dynode อันต่อไปที่มีความต่างศักย์มากขึ้น ในการวิ่งไปชนกับ Dynode แต่ละครั้งมีอิเล็กตรอนถูกปลดปล่อยเพิ่มจำนวนขึ้นเนื่องจากพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่วิ่งไปชน จำนวนอิเล็กตรอนสุดท้ายทั้งหมดถูกจับไว้ที่ขั้ว Anode จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของแสงที่เกิดที่ตัวสารเรืองแสง และดังนั้นจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดพลังงานรังสีที่ตกกระทบ



รูปที่ 2.7 กลไกการทำงานของหัววัดแบบสารเรืองแสง (Scintillation Detector)

2.3.1 หัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) [11,12,13,14,16]

โซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) นั้นใช้เป็นตัวแปลงแสงรังสีแกมมาส่วนใหญ่สำหรับรังสีแกมมา โดยผลิตอยู่ในรูปของผลึก เดียวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุดถึง 75 ซม. และมีความหนา 25 ซม. มีความหนาแน่นประมาณ 3.67×10^3 กก./เมตร³ และมีเลขอะตอมสูงประกอบกับปริมาตรขนาดใหญ่ ทำให้มีประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาสูงเมื่อทำเป็นหัววัด ถึงแม้ว่าหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำจะมีการจำแนกพลังงานดีกว่า แต่ในการทดลองที่ต้องการปริมาตรขนาดใหญ่ยังไม่มีหัววัดชนิดใด ะไรมาแทน NaI(Tl) ได้ สเปกตรัมที่ปล่อยออกมาจาก NaI(Tl) นั้นจะมียอดฟีกที่ 410 นาโนเมตร (nm) และประสิทธิภาพการเปลี่ยนแสงมีค่าสูงสุดในกลุ่มของตัวแปลงแสงรังสีทั้งหมด อย่างไรก็ตาม NaI(Tl) ก็ยังมีข้อเสียอยู่คือ แตกหักง่าย ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความชื้น และเป็นตัวที่ดูดความชื้นได้ดีมาก และ NaI(Tl) มีโพแทสเซียมผสมอยู่จึงทำให้เป็นตัวกำเนิดรังสีกัมมันตรังสีของ โปแตสเซียม (^{40}K)



รูปที่ 2.8 หัววัดรังสีที่ประกอบด้วยผลึก NaI(Tl) และหลอด PM

2.3.2 หัววัดเรืองรังสีชนิดพลาสติกซินทิลเลเตอร์ (Plastic Scintillator) [12,13,14,20]

ตัวเปล่งแสงวับพลาสติกอาจจะพูดได้อีกนัยหนึ่งได้ว่าเป็นตัวเปล่งแสงวับอินทรีย์ชนิดของเหลวซึ่งโดยมีคุณสมบัติคล้ายกับตัวทำละลายอินทรีย์ของเหลว แต่มีความได้เปรียบกว่าคือไม่ต้องใช้ภาชนะบรรจุนอกจากนี้ยังสามารถจะกลึงให้มีรูปและขนาดตั้งแต่เส้นใยบางจนถึงแผ่นบาง และคุณสมบัติที่ดีอีกอย่างหนึ่งคือ เชื้อต่ออากาศ น้ำ และสารเคมีอีกหลายตัว ด้วยเหตุนี้จึงสามารถให้สัมผัสตรงกับตัวอย่างไอโซโทปรังสี ตัวเปล่งแสงวับพลาสติกนั้นเป็นของผสมของตัวทำละลาย และตัวถูกละลายหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งชนิด ตัวทำละลายส่วนใหญ่จะใช้โพลีสไตรีน (Polystyrene, PST) และพอลิวินิลทูลีน (Polyvinyltoluene, PVT) ส่วนสารละลายนั้นจะใช้ พารา-เทอร์ฟีนิล (p-Terphenyl) และ POPOP

ตัวเปล่งแสงวับพลาสติกจะมีความหนาแน่นประมาณ 103 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร แสงที่ส่งออกมาจะน้อยกว่า แอนทราซีน เวลาการสลายตัวจะสั้นและความยาวคลื่นสมนัยกับความเข้มสูงสุดของ สเปกตรัมปลดปล่อยซึ่งอยู่ในช่วง 350 - 450 นาโนเมตร ชื่อทางการค้าที่ใช้ของตัวเปล่งแสงวับพลาสติก PILOTB PILOTY NE102 และ NE110 ตัวเปล่งแสงวับที่ผสมด้วยดีบุกและตะกั่ว นั้น จะใช้วัดรังสีเอกซ์ในช่วงพลังงาน 5 - 100 keV ส่วนฟิล์มตัวเปล่งแสงวับพลาสติกบาง (คือบางขนาด 20×10^{-5} กิโลกรัมต่อตารางเมตร = $20 \mu\text{cm}^2$) ได้พิสูจน์แล้วว่า มีประโยชน์ต่อ หัววัดในการวัดไทม์ออฟไฟลด์ (Time-of-Flight)

หัววัดรังสีชนิดนี้ที่นิยมนำมาใช้วัดรังสีแกมมาได้แก่ โพลีสไตรีน (Polystyrene, PST) และพอลิวินิลทูลีน (Polyvinyltoluene, PVT) เนื่องจากมีความไวค่อนข้างสูงและราคาต่ำเมื่อเทียบกับสารเรืองรังสีชนิดอื่น ด้วยคุณสมบัติที่มีความสามารถแจกแจงพลังงานต่ำทำให้เหมาะกับ

การตรวจวัดเพื่อการคัดแยกวัสดุกัมมันตรังสีกลุ่ม Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) จากกลุ่มวัสดุกัมมันตรังสีเป้าหมายและลดการรบกวนต่อระบบการแจ้งเตือน

2.3.3 หัววัดซินทิลเลเตอร์ชนิดอื่นๆ [12,13,14,20]

- หัววัดรังสีแบบซิงค์ซัลไฟด์ ZnS(Ag) โดย ZnS จะเป็นสารเรืองแสงและใช้เงิน (Ag) เป็นแอกติเวเตอร์ ซึ่ง ZnS(Ag) จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ หัววัดนี้ใช้วัดเฉพาะรังสีแอลฟา และอนุภาคหนัก

- CsI(Tl) สำหรับใช้วัดพลังงานรังสีแกมมา ประสิทธิภาพน้อยกว่า NaI(Tl)
- CsI(Na) สำหรับใช้วัดพลังงานรังสีแกมมา
- LiI(Eu) สำหรับใช้วัดนิวตรอน
- CaF₂(Eu) สำหรับใช้วัดอนุภาคบีตา รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมาพลังงานต่ำ
- Bi₄Ge₃O₁₂ ใช้วัดรังสีแกมมาพลังงานสูง

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของซินทิลเลเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดรังสีชนิดต่างๆ

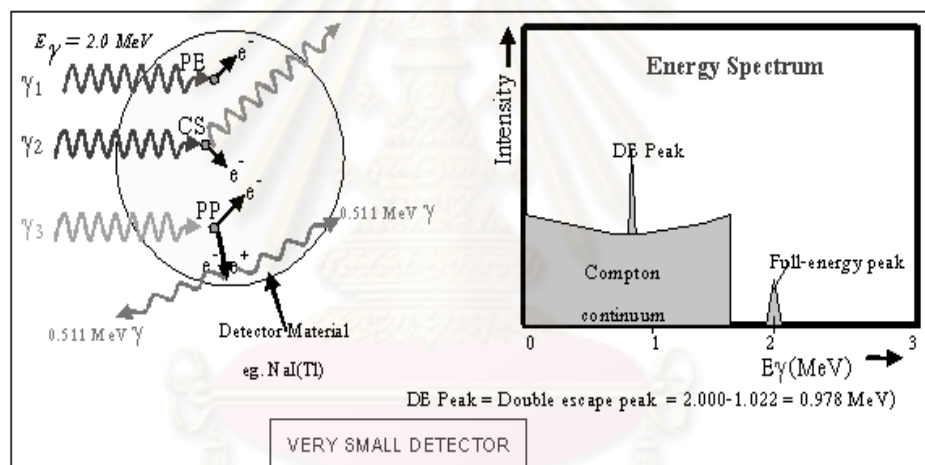
Radiation Detected	Preferred Scintillator	State	Form	Range of Available Dimensions	Special Applications
Alpha	ZnS(Ag)	powder	thin layer	up to 20 μ m thick any area	
Beta	Anthracence	solid	crystal block	3-6 mm thick up to 5 cm long	
	Plastic	solid	thin disk	up to 15 cm diam	
	Toluene + p terphenyl, Diphenyl	liquid	solution		internal β counting (low energy)
X-ray	NaI(Tl)	solid	thin cylinder	3 mm x 5 cm	X-ray fluorescence Dosimetry
	Plastic	solid	sheet	3 mm x 5 cm	
Gamma	NaI(Tl)	solid	cylinder	2 cm - 15 cm diam	Portable detectors Spectrometry
			well	2 cm - 15 cm diam	Small sample, 4 π geometry
	Plastic	solid	cylinder	1 cm - 40 cm diam	Mosaic detector high energy
	Toluene + p terphenyl	liquid	large volume, annular		whole-body counting
Neutrons	LiI(Eu)	solid	cylinder	2-5 cm diam	neutron spectrometry
	ZnS(Ag) in Lucite	solid	disk	~5-10 cm diam	fast neutrons (Hornyak detector)
Neutrinos	Loaded liquid	liquid	tank		

2.4 การคาดคะเนฟังก์ชันการตอบสนอง (Predicted Response Function) ของหัววัด [13,14,15]

ฟังก์ชันการตอบสนองของหัววัดจะขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาในหัววัดและขนาดของหัววัด สำหรับหัววัดที่มีขนาดต่างๆ จะทำให้ฟังก์ชันการตอบสนองที่ได้แตกต่างกัน

2.4.1 หัววัดขนาดเล็ก (Small Detector) [13,14,15]

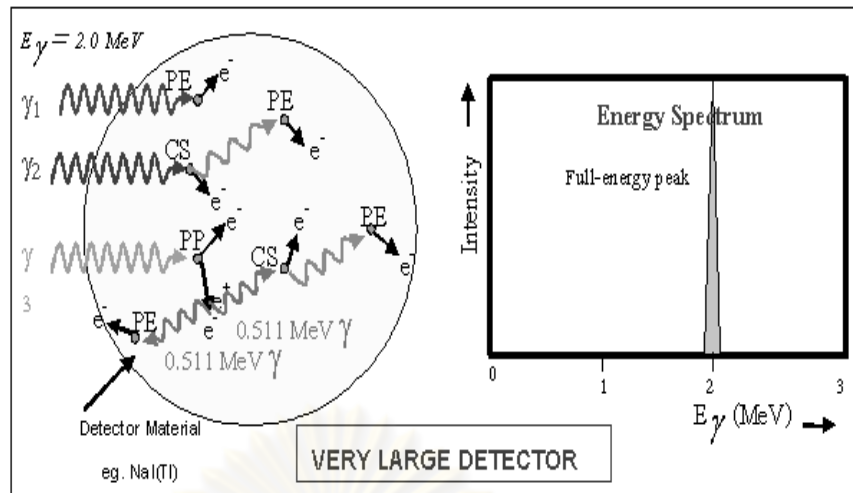
หัววัดขนาดเล็กเมื่อจะเกิดอันตรกิริยาเพียงครั้งเดียว และอัตราสัดส่วนของพื้นที่ได้โฟโตพีค ต่อพื้นที่ได้คอมป์ตันคอนติเนียม (Compton Continuum) จะเท่ากับอัตราส่วนของพื้นที่ภาคตัดขวางของการเกิดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Cross Section) ต่อพื้นที่ภาคตัดขวางของการเกิดการกระเจิงคอมป์ตัน (Compton Cross Section) ของวัสดุที่ใช้เป็นหัววัด



รูปที่ 2.9 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัด พีคที่ได้จากหัววัดขนาดเล็ก

2.4.2 หัววัดขนาดใหญ่ (Large Detector) [13,14,15]

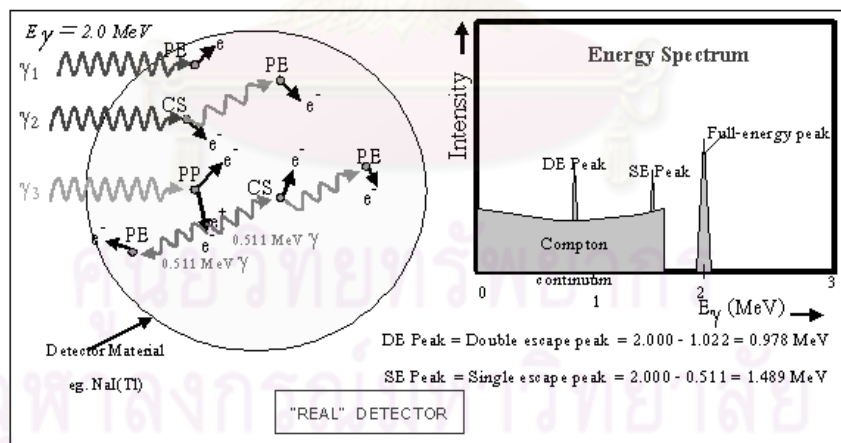
พลังงานทั้งหมดจะถูกถ่ายเทให้กับหัววัดหากรังสีแกมมามีพลังงานมากพอที่จะเกิดการผลิตคู่อิเล็กตรอนและเกิดแอนนิฮิเลชันตามมา ในกรณีนี้รังสีอันดับที่สองที่เกิดขึ้นรวมทั้งรังสีแกมมาที่สะท้อนออกไปเนื่องจากอันตรกิริยาการกระเจิงคอมป์ตัน และโฟตอนจากแอนนิฮิเลชันหัววัดจะรับไว้ได้ทั้งหมดไม่หลุดหายไปเช่น เมื่อเกิดการกระเจิงคอมป์ตันแล้วรังสีแกมมาที่กระเจิงยังคงอยู่ในหัววัดซึ่งอาจจะเกิดอันตรกิริยาการกระเจิงคอมป์ตันได้อีกครั้งหรือสองครั้งและอาจเกิดการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริกตามมาอีก อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด



รูปที่ 2.10 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัดฟิคที่ได้จากหัววัดขนาดใหญ่

2.4.3 หัววัดขนาดกลาง (Intermediate Size Detector) [13,14,15]

ฟังก์ชันการตอบสนองของหัววัดขนาดกลางคือคุณสมบัติของหัววัดทั้งสองที่กล่าวไปแล้วรวมกัน นั่นคือ ถ้ารังสีแกมมาที่ตกกระทบมีพลังงานต่ำโอกาสของการเกิดการกระเจิงคอมป์ตันก็จะน้อยลง และถ้าพลังงานมีค่าน้อยกว่า 100 keV ก็จะไม่เกิดการกระเจิงคอมป์ตันเลย แต่ถ้ารังสีแกมมาที่ตกกระทบมีพลังงานปานกลางโอกาสของการเกิดการกระเจิงคอมป์ตันก็มีมากขึ้น



รูปที่ 2.11 อันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่ตกกระทบหัววัดฟิคที่ได้จากหัววัดขนาดกลาง

2.5 ระบบนิวเคลียอนิกส์ที่ใช้ในการวัดรังสีแกมมา [11]

ระบบนิวเคลียอนิกส์ (Nucleonic Measuring System) มาจากคำว่า “นิวเคลียร์” และ “อิเล็กทรอนิกส์” หมายถึงระบบวัดที่ประกอบด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่ใช้ในงานด้านนิวเคลียร์ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.5.1 หัววัดรังสี (Detector)

2.5.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (High Voltage Power Supply) ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถปรับค่าได้ และมีเสถียรภาพในการรักษาระดับของศักดาไฟฟ้าทางเอาท์พุทให้คงที่ ณ จุดที่ตั้งไว้ โดยไม่เปลี่ยนแปลง ตามอุณหภูมิแวดล้อม หรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในสาย 220 โวลต์ การเลือกใช้แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูงมีข้อควรสังเกตดังนี้ สำหรับหัววัดรังสีแบบซิลิลเลชันแหล่งจ่ายไฟฟ้าสามารถปรับค่าได้จาก 0-3000 โวลต์ และให้กระแสได้จาก 0-10 แอมแปร์

2.5.3 ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) แบบที่นิยมใช้กันมากเป็นแบบที่เรียกว่า Charge Sensitive Preamplifier ซึ่งจะทำหน้าที่ รวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากหัววัดรังสี แล้วเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) ซึ่งมีขนาดที่เป็น สัดส่วนโดยตรงกับจำนวนประจุ

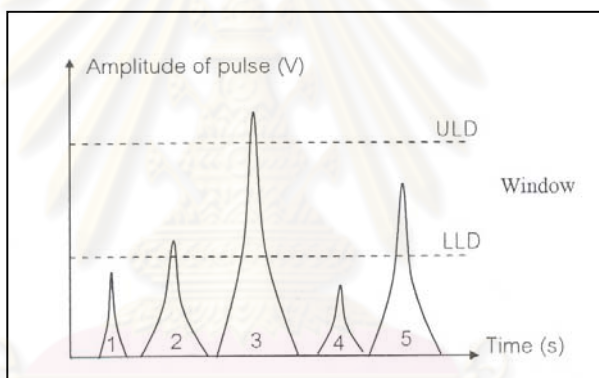
2.5.4 ภาคขยายหลัก (Amplifier) เป็นส่วนที่รับสัญญาณพัลส์จากภาคขยายส่วนหน้า แล้วนำมา ปรับแต่งรูปของสัญญาณ พร้อมกับขยายขนาดของสัญญาณ ให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์ความสูงขนาดของการขยายสัญญาณ (Voltage Gain) สามารถปรับได้ในช่วงกว้างด้วยการปรับหยาบๆ เป็นขั้น มีการปรับละเอียด เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลง รูปร่างและความสูงของสัญญาณ ให้เป็น Unipolar และ Bipolar รูปร่างของสัญญาณทั้งสองนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการปรับค่า Shaping time constant

2.5.5 อุปกรณ์คัดเลือกสัญญาณดิสคริเมเนเตอร์ (Discriminator) อุปกรณ์นี้อาจมีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า Integral Discriminator เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดสัญญาณรบกวนสิ่งรบกวนที่ไม่ต้องการจากระบบการนับ เช่นสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า (Noise) หรือรบกวนจากแบคกราวด์ที่มีพลังงานต่ำ หลักการทำงานของดิสคริเมเนเตอร์ใช้วิธีการเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณที่เข้ามา กับค่าศักดาไฟฟ้ามาตรฐานหรือ ระดับดิสคริเมเนเตอร์ (Discriminator Level) ถ้าสัญญาณไฟฟ้าสูงกว่าระดับที่ตั้งเอาไว้ก็จะเกิดเอาท์พุทแบบลอจิก แต่ถ้าต่ำกว่าก็จะมีเอาท์พุทเกิดขึ้น

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

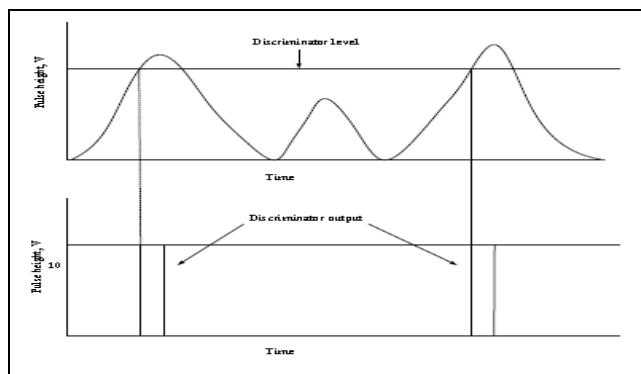
ก. วงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว (Single Channel Analyzer, SCA) [11,12,14,15]

ประกอบด้วย 2 ชนิด คือ Upper Level Discriminator (ULD) และ Lower Level Discriminator (LLD) การแยกระดับความสูงของพัลส์จะอาศัยเปรียบเทียบความสูงของสัญญาณกับค่าศักดาไฟฟ้ามาตรฐานที่ถูกจัดเอาไว้ด้วย LLD และ ULD ผลต่างระหว่าง LLD และ ULD เรียกว่าหน้าต่าง (Window) ถ้าสัญญาณที่ผ่านเข้ามาทางอินพุตมีความสูงอยู่ในช่วงหน้าต่าง เครื่อง SCA จะให้เอาต์พุตออกเป็นสัญญาณลอจิก ดังรูปที่ 2.12 สัญญาณอินพุตที่อยู่ในช่วงหน้าต่างคือสัญญาณที่ 2 และ 5 จากนั้นก็นำข้อมูลความสูงของพัลส์มาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลส์กับความกว้างของหน้าต่าง



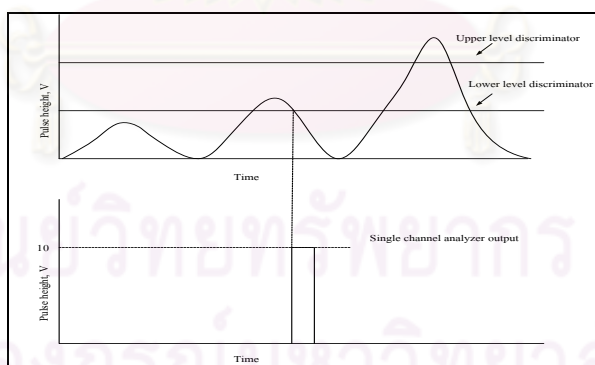
รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของวงจรวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว

ที่หน้าจอของ SCA จะพบที่ปรับ 2 ตัวคือ LLD หรือ E กำกับก็ได้ สำหรับหน้าต่างระดับล่างอีกหน้าปัดจะเขียน ΔE หรือ ULD/ ΔE กำกับ สำหรับหน้าปัดด้านบน ΔE และจะมีสวิตช์ 2 ตำแหน่งคือ INT (Integral) และ DIFF (Differential) ในตำแหน่ง INT นั้นเฉพาะหน้าปัด E ทำงานเท่านั้น และหน่วยทำงานในหน้าที่ของตัวคิด ส่วนในตำแหน่ง DIFF ทั้ง E และ ΔE ทำงาน และหน่วยทำงานจะทำหน้าที่ของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณช่องเดียว



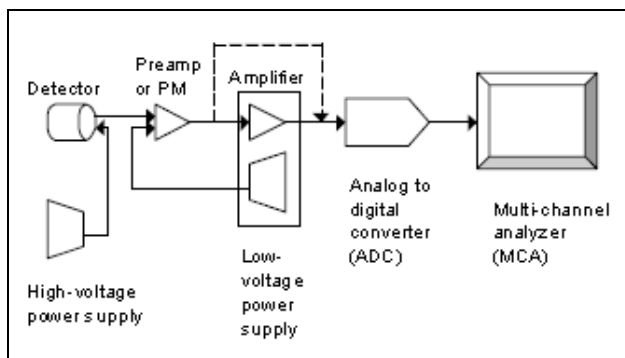
รูปที่ 2.13 พัลส์ที่เอาต์พุตของตัวตัด

ตัวตัด (The Discriminator) [13] ให้ปรับสวิตช์ไปทาง INT ปุ่ม E (สำหรับพลังงาน) อาจจะไม่เปลี่ยนอย่างต่อเนื่อง 0 ถึง 100 ถึงแม้ว่าตัวตัดทำงานกับพัลส์ความต่างศักย์ แต่มีความสมนัยหนึ่งต่อหนึ่งระหว่างความสูงพัลส์และพลังงานของอนุภาค สมมุติให้ตัวตัดถูกตั้งที่ $E = 200$ Volt (2 Volt อาจจะไม่สมนัยกับพลังงาน 2 MeV) จะมีเพียงพัลส์ที่สูงกว่า 2 Volt เท่านั้นที่จะผ่านตัวตัดที่พัลส์ที่ต่ำกว่า 2 Volt จะถูกปฏิเสธ สำหรับทุกพัลส์ที่มีขนาดสูงกว่า 2 Volt ตัวตัดจะให้พัลส์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความสูงเท่ากับ 10 Volt ทางเอาต์พุต ยกเว้นความสูงปกติของสัญญาณที่ป้อน พัลส์ส่งออกของตัวคัตนั้นจะเป็นตัวพัลส์ที่จุดชนวน (Triggers) หน่วยนับซึ่งจะนับแต่ละพัลส์ที่เข้ามาและบอกจำนวนพัลส์ที่มีความสูงกว่า 2 Volt ด้วยเหตุนี้ตัวคัตจะกำจัดพัลส์ทั้งหมดที่มีค่าต่ำกว่า E และจะยอมให้พัลส์ที่มีขนาดสูงกว่า E เท่านั้นที่จะถูกนับ



รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดียว

ข. ส่วนวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer , MCA) เป็นส่วนที่ใช้ในการเก็บบันทึก และเก็บพัลส์ที่ขึ้นอยู่กับขนาดความสูง โดยมีหน่วยเก็บแต่ละหน่วยเรียกว่า ช่อง ซึ่งจะสามารถทราบความสัมพันธ์ในรูปปฏิภาคของพลังงานกับอนุภาคที่เข้าสู่หัววัดได้จากความสูงพัลส์ซึ่งแต่ละพัลส์จะถูกเก็บในช่องเฉพาะที่ระดับพลังงานนั้นๆ



รูปที่ 2.15 ส่วนวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง [19]

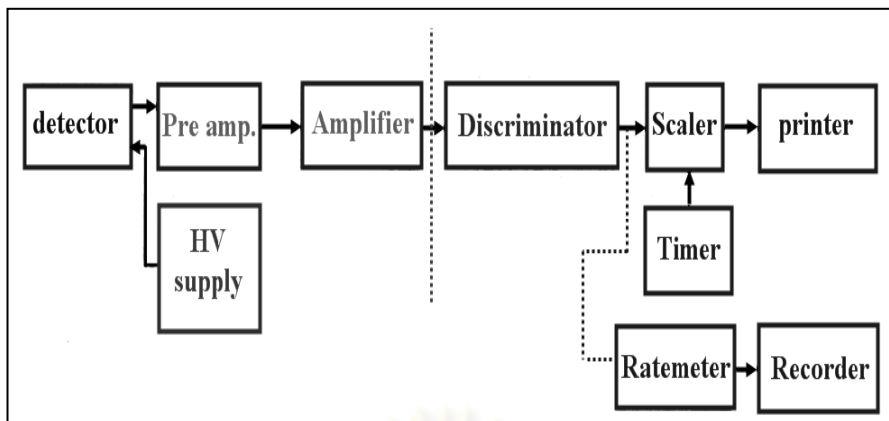
2.5.7 อุปกรณ์นับรังสี (Scaler หรือ Counter) ทำหน้าที่นับพัลส์ลอจิกหลังการคัดเลือกความสูงของพัลส์ บันทึกผลการนับรังสี

2.5.8 อุปกรณ์ตั้งเวลา (Timer) ทำหน้าที่ควบคุมเวลาของการบันทึกสัญญาณซึ่งจะทำให้เปรียบเทียบข้อมูลของการนับรังสีแต่ละครั้งไว้ เพื่อสามารถแสดงผลการนับรังสีต่อหน่วยเวลา

2.5.9 . อุปกรณ์เรตมิเตอร์ (Rate Meter) ทำหน้าที่วัดอัตรานับรังสีและแสดงค่านับรังสีเฉลี่ย ในหน่วยนับรังสี

ระบบวัดรังสี (Radiation Measuring System) [11]

ก. ระบบวัดรังสีแบบนับรวม (Integral Counting System) เป็นระบบการนับที่ต้องการทราบว่ามีรังสีอยู่หรือไม่ มีปริมาณมากน้อยเท่าไรไม่คำนึงถึงชนิดและพลังงานที่วัดอยู่ สำหรับชนิดของรังสีและช่วงพลังงานที่วัดได้ขึ้นอยู่กับแบบของหัววัดที่นำมาใช้งาน ตัวอย่างของระบบนี้ที่เห็นกันอยู่โดยทั่วไปคือ Survey Meter ที่นำมาใช้ตรวจวัดรังสีในห้องปฏิบัติการ ลักษณะของระบบการวัดแบบนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 ระบบนี้สามารถวัดความแรงรังสีได้

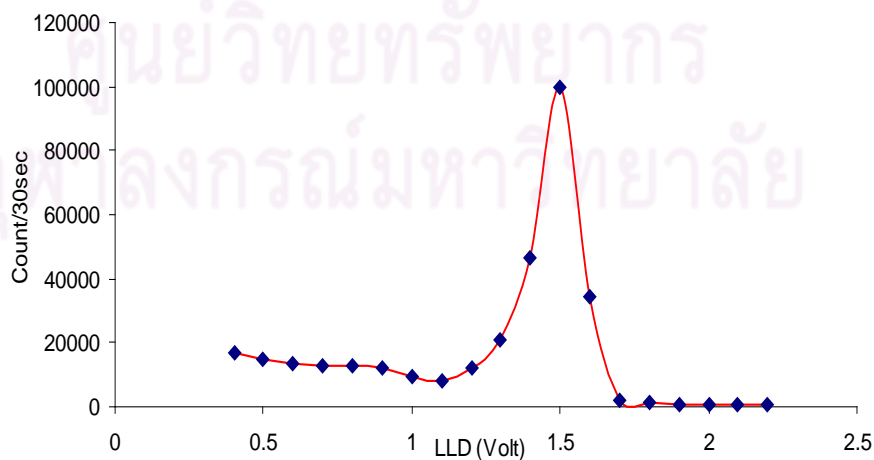


รูปที่ 2.16 ระบบวัดรังสีแบบนับรวมทุกพลังงาน [11]

ข. ระบบวัดรังสีแบบนับแยก (Differential Counting System) [11]

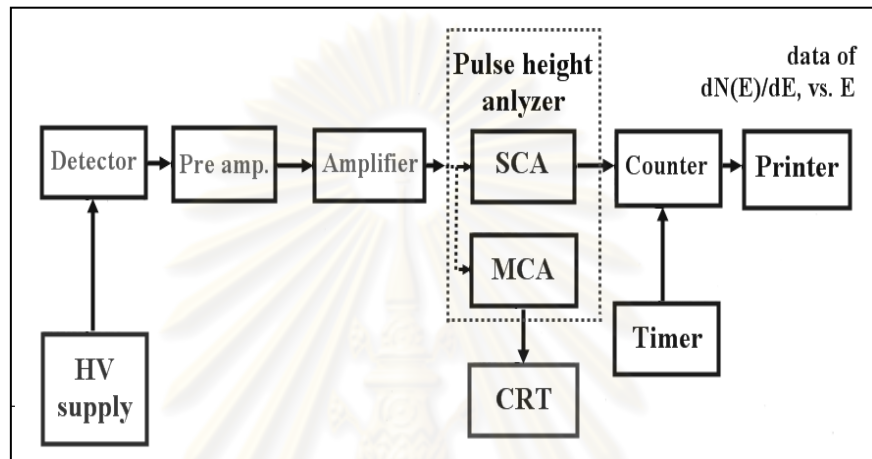
ระบบวัดรังสีแบบนับแยกมี 2 แบบ คือ

1. ระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer, SCA) เมื่อรังสีวิ่งเข้ามาชนหัววัดรังสีปริมาณอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชนระหว่างรังสีกับหัววัดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสี อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกรวบรวมด้วย Pre - Amp แล้วเปลี่ยนให้เป็นพัลส์ซึ่งจะถูกปรับเปลี่ยนรูปร่าง และขยายให้มีแอมพลิจูดที่เหมาะสมโดยแอมพลิฟายเออร์ขนาดของแอมพลิจูดจะถูกวิเคราะห์โดยการปรับ LLD ของเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว ถ้านำอัตรานับที่ค่า LLD มาหาความสัมพันธ์กับความต่างศักย์จะได้สเปกตรัมของรังสีดังแสดงในรูปที่ 2.17 ค่า LLD ที่ตรงกับจุดยอดสูงสุดของพีคจะเป็นตัวแทนของพลังงานของรังสีที่วิ่งเข้ามาชนหัววัด

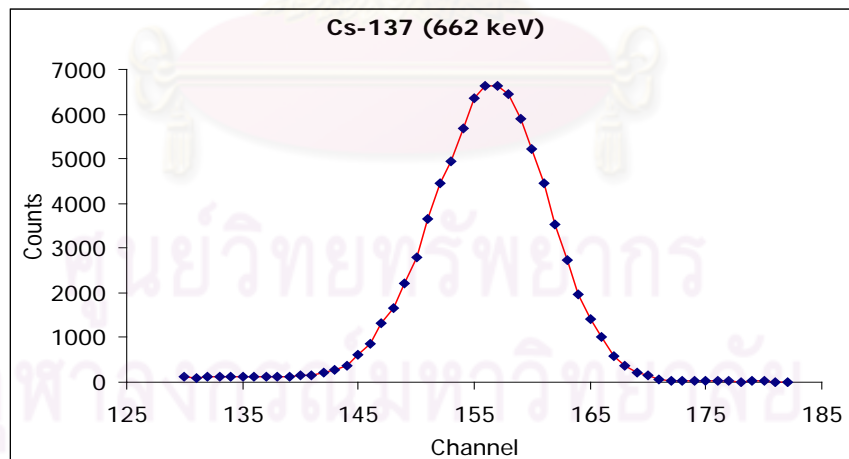


รูปที่ 2.17 แสดงสเปกตรัมการวัดรังสี Cs-137 จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบแบบช่องเดี่ยว

2. ระบบการนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer , MCA) ระบบการนับแบบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ หลักการทำงานคล้ายคลึงกับระบบนับโดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว (SCA) แต่จะสะดวกกว่าเพราะการวัดสเปกตรัมจะทำแบบอัตโนมัติ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีความละเอียดมากกว่า ในการแสดงผลค่าทาง X หรือแกนนอนจะมีชื่อใหม่ว่าหมายเลขช่อง หรือ Channel Number ดังแสดงใน (รูปที่ 2.19)



รูปที่ 2.18 ระบบวัดรังสีแบบนับแยกพลังงาน



รูปที่ 2.19 แสดงสเปกตรัมการวัดรังสี Cs-137 จากเครื่องวิเคราะห์สัญญาณหลายช่อง

2.6 รังสีภูมิหลังหรือรังสีแบคกราวด์ (Background Radiation) [12,15]

รังสีภูมิหลังหรือรังสีแบคกราวด์ เป็นอัตรานับที่ได้จากรังสีในสิ่งแวดล้อมโดยทำการวัดรังสีในขณะที่ไม่ได้ใส่สารรังสีตัวอย่าง แต่ยังสามารถวัดรังสีได้แม้จะเป็นปริมาณต่ำก็ตามทำให้ทราบว่าเป็นรังสีแบคกราวด์และค่ากัมมันตภาพรังสีที่วัดได้เป็นเครื่องนับรังสีจะเป็นจำนวนนับของรังสีแบคกราวด์

รังสีภูมิหลังหรือรังสีแบคกราวด์เกิดจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติหรือแหล่งกำเนิดกัมมันตรังสีที่ผลิตขึ้นจากมนุษย์ ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้

ก. รังสีคอสมิก (Cosmic Radiation)

1. รังสีคอสมิกปฐมภูมิ (Primary Cosmic Radiation) คือรังสีคอสมิกที่อยู่เหนือชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก โดยส่วนหนึ่งมีแหล่งกำเนิดจากนอกระบบสุริยะจักรวาล และอีกส่วนหนึ่งเกิดบนผิวของดวงอาทิตย์ รังสีคอสมิกประกอบด้วย โปรตอน 87% อนุภาคแอลฟา 11% นิวเคลียสหนัก 1% อิเล็กตรอน 1% เมื่อรังสีคอสมิกปฐมภูมิวิ่งเข้ามาถึงชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกส่วนใหญ่จะเกิดอันตรกิริยากับชั้นบรรยากาศในระยะ 200 - 300 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรกเกิดเป็นรังสีคอสมิกทุติยภูมิ

2. รังสีคอสมิกทุติยภูมิ (Secondary Cosmic Radiation) คือรังสีคอสมิกที่เกิดจากรังสีคอสมิกปฐมภูมิเกิดอันตรกิริยากับชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก ซึ่งประกอบด้วยอนุภาค นิวตรอน โปรตอน และอิเล็กตรอน ปริมาณจากรังสีคอสมิกจะแปรผันตามระดับความสูง (Altitude)

ข. ธาตุกัมมันตรังสีตามธรรมชาติของสิ่งแวดล้อม เช่น ^{14}C , ^{40}K จากพื้นดิน ร่างกายมนุษย์ วัสดุสิ่งต่างๆ ซึ่งจะให้ค่าแบคกราวด์ต่าง ๆ กัน

ธาตุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติบนพื้นผิวโลก มีอยู่ประมาณ 340 ธาตุ ในจำนวนนั้น 70 ธาตุ เป็นธาตุกัมมันตรังสี แบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะการเกิด คือ

1. นิวไคลด์กัมมันตรังสีดั้งเดิม (Primordial Radionuclides) คือกัมมันตรังสีที่มีมาพร้อมการเกิดโลก ได้แก่ Uranium-238, Uranium-235, Thorium-232 และ Potassium-40

2. นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดจากรังสีคอสมิก (Cosmic Radionuclides) ซึ่งเกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับบรรยากาศ ได้แก่ Tritium-3, Beryllium-7, Carbon-14 และ Argon-37

ตารางที่ 2.2 แสดงกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ

นิวไคลด์	สัญลักษณ์	ครึ่งชีวิต	กัมมันตภาพหรือปริมาณ
ยูเรเนียม-235	^{235}U	7.04×10^8 ปี	0.72% ของยูเรเนียมธรรมชาติ
ยูเรเนียม-238	^{238}U	4.47×10^9 ปี	99.2745% ของยูเรเนียมธรรมชาติ ยูเรเนียมมีอยู่ในหินทั่วไปประมาณ 0.5-4.7 ppm
ทอเรียม-232	^{232}Th	1.41×10^{10} ปี	มีทอเรียมในหินทั่วไป 1.6-20 ppm และมีบนเปลือกโลกประมาณ 10.7 ppm
เรเดียม-226	^{226}Ra	1.60×10^3 ปี	0.42 pCi/g (16 Bq/kg) ในหินปูน และ 1.3 pCi/g (48 Bq/kg) ในหินแกรนิต
เรดอน-222	^{222}Rn	3.28 วัน	เป็นแก๊สเฉื่อย; มีกัมมันตภาพรังสีเฉลี่ยต่อปี ใน USA 0.016 pCi/L (0.6 Bq/m^3) ถึง 0.75 pCi/L (28 Bq/m^3)
โปแตสเซียม-40	^{40}K	1.28×10^9 ปี	กัมมันตภาพรังสีจากดิน 1-30 pCi/g ($0.037\text{-}1.1 \text{ Bq/g}$)

ค. ธาตุกัมมันตรังสีที่เก็บหรืออยู่ใกล้หัววัดรังสี
 ง. ธาตุกัมมันตรังสีจากอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ เช่น นาฬิกาทรายน้ำ อุปกรณ์ตรวจวัดควีน กระเบื้องปูพื้น ฯลฯ

จ. ฝุ่นละอองธาตุกัมมันตรังสี (Fallout) ในอากาศ

ฉ. แหล่งกำเนิดรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Sources of Radiation) [18]

1. แหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในทางการแพทย์ ได้นำเอา สารกัมมันตรังสีมาใช้เป็นจำนวนมาก ทั้งด้านการตรวจวินิจฉัย (Diagnosis) และการรักษา (Therapy) เมื่อมีการประมวลแล้วพบว่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่คนได้รับเป็นอันดับสองรอง จากปริมาณรังสีตามธรรมชาติ ก็คือปริมาณรังสีจากการแพทย์นั่นเอง

2. แหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม การนำนิวเคลียร์เทคโนโลยีมาใช้ในอุตสาหกรรมกำลังเป็นเทคโนโลยีที่น่าหวั่น ทั้งนี้เพราะผลการดำเนินงานหลายอย่างได้พิสูจน์แล้วว่าคุ้มค่า สามารถทำให้ประหยัดได้ และสำหรับงานบางอย่างไม่สามารถดำเนินการได้โดยไม่ใช้นิวเคลียร์เทคโนโลยี เช่น การตรวจสอบอณูเล็กรอกนิกซ์ทิฟ โดยใช้กัมมาคริสทอน-85 เป็นต้น

3. ระเบิดนิวเคลียร์ จากการใช้ระเบิดนิวเคลียร์ในสงครามโลกครั้งที่สอง หลังจากนั้นยังมีการทดลองระเบิดในบรรยากาศอีกหลายครั้งจนกระทั่งมีการลงนาม ยุติการทดลองระเบิดในบรรยากาศ แต่สารกัมมันตรังสีที่ตกค้างอยู่และมีครึ่งชีวิตยาวจะคงมีผลอยู่ แม้ว่า จะลดลงไปมากแล้ว

4. การผลิตพลังงานโดยนิวเคลียร์ ในการนำพลังงานนิวเคลียร์มาใช้ผลิตความร้อนและกระแสไฟฟ้า โดยเริ่มตั้งแต่ การสำรวจแหล่งแร่ การทำเหมือง การถลุงให้บริสุทธิ์ การนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง และการจัดการกากที่เหลือ กระบวนการเหล่านี้จะต้องมีการจัดการที่เหมาะสม เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานและประชาชนทั่วไปได้รับรังสี (As Low As Reasonably Achievable, ALARA) น้อยที่สุด เท่าที่จะเป็นไปได้และต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (Dose Limit)

5. เครื่องใช้และอุปกรณ์ต่างๆ

5.1 Gaseous Tritium Light Sources ปัจจุบันมีการใช้กว้างขวางมาก เช่น ในหน้าปัดนาฬิกาแบบดิจิตอลดังนั้นการใช้และการทิ้งจึงควรมีการดูแล

5.2 Ionization Chamber Smoke Detectors หรือสายล่อฟ้า ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสีอาทิ อะเมริเซียม-241 นิเกิล-63 หรือในสมัยก่อนใช้ เรเดียม-226 ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายได้หากมีการเผาไหม้หรือรั่วกระจาย

รังสีแกมมาหรือรังสีแบคกอราร์ดจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่ากัมมันตรังสี เว้นเสียจะได้ทำการวัดรังสีแบคกอราร์ดแล้วนำไปลบออกจากค่ากัมมันตรังสีทั้งหมด ซึ่งผลต่างระหว่างค่ากัมมันตรังสีทั้งหมดและรังสีแบคกอราร์ด คือ ค่ารังสีสุทธิของตัวอย่าง

2.7 อัตรานับรังสีสุทธิ (Net Counting Rate) [13,14,15]

อัตรานับรังสีสุทธิ หมายถึง อัตรานับรังสีที่ลบอัตรานับรังสีจากค่ารังสีแบคกอราร์ด ค่ารังสีแบคกอราร์ดอาจเกิดขึ้นจากแหล่งกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ สารรังสีที่วางอยู่ในใกล้เครื่องวัด หรือสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองในตัวเครื่อง ดังนั้น การวัดรังสีครั้งหนึ่ง ๆ จะเป็นค่าจำนวนนับรวม (Total Counts) ซึ่งหมายถึงค่านับที่เกิดขึ้นจากสารรังสีตัวอย่างที่ต้องการวัดรวมกับค่ารังสีแบคกอราร์ด ค่าจำนวนนับสุทธิ (Net Count) หาได้จากการนำค่ารังสีแบคกอราร์ดไปลบออกจากค่าจำนวนนับรวม ดังสมการที่ 2.9

$$\text{ค่านับสุทธิ} = \text{ค่าจำนวนนับรวม} - \text{ค่าแบคกอราร์ด} \dots\dots\dots(2.9)$$

ตารางที่ 2.3 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ

Name of error	τ	Probability
Probable	0.6745	50 %
Standard deviation	1.0000	68.28 %
Nine-tenths	1.6449	90 %
Ninety-five hundredths	1.9600	95 %
Two sigma	2.0000	95.45 %
Ninety-nine hundredths	2.5758	99 %
Three sigma	3.0000	99.7 %

เนื่องจากค่าจำนวนนับรวมและค่าเบคกราวด์ เป็นการวัดโดยตรงที่ทำการวัดแยกจากกัน ดังนั้นถ้าต้องรายงานผลในเทอม $\bar{x} \pm \sigma$ ซึ่ง σ เป็นค่ารวมของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากค่าจำนวน (σ_t^2) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจากค่าเบคกราวด์ (σ_b^2) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.10

$$\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_b^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

ตัวอย่างเช่น เมื่อทำการวัดได้ค่าจำนวน 1071 counts และค่าเบคกราวด์ 521 counts ค่าจำนวนนับสุทธิคือ $1071 - 521 = 550$ counts และจากสมการที่ 2.8 คำนวณ $\sigma = \sqrt{1071 + 521} = 39.9$ ดังนั้น ในการรายงานผล จะกล่าวว่า ได้ค่าจำนวนสุทธิ = 550 ± 39.9 counts

ในบางครั้งที่มีการรายงานผลการวัดรังสีเป็นอัตรานับรังสี (Counting - Rate) ซึ่งแสดงถึงค่านับต่อหน่วยเวลา เช่น วัดรังสีได้ 1120 counts ในเวลา 5 วินาที จะแสดงได้ว่า

$$\text{อัตรารังสี} = \frac{1120}{5} = 224 \text{ count /sec, cps}$$

ในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้น จะพิจารณาว่า เวลาของการจำนวนนับรังสีเป็นค่าคงที่ซึ่งจากตัวอย่างนี้ คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{\frac{1120}{5}} = 6.7 \text{ sec}^{-1}$$

ดังนั้นผลการรายงานจึงแสดงได้ดังนี้อัตรารังสี = 224 ± 6.7 cps

2.8 การหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี (Efficiency of Detector)

แหล่งกำเนิดรังสี จะมีการปลดปล่อยอนุภาคออกมาในทุกทิศทาง ซึ่งบางอนุภาคอาจจะไม่ได้วิ่งเข้าสู่หัววัด จึงต้องทำการหาประสิทธิภาพของหัววัดเพื่อใช้ในการหาอัตราการสลายตัวที่แท้จริงของแหล่งกำเนิดรังสี ประสิทธิภาพของหัววัดหาได้จากความสัมพันธ์

$$\%Efficiency = \frac{C}{S \times f} \times 100 \dots\dots\dots(2.11)$$

- โดยที่
- C = corrected count rate, cpm
 - S = activity of source, Bq
 - d = source to detector distance
 - f = fraction of disintegration

2.9 การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี [14,15]

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารกัมมันตรังสีชนิดนั้นๆ แต่ละนิวเคลียสในสารกัมมันตรังสีมีโอกาสที่สลายตัวต่อหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากัน

อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีต่อวินาที เรียกว่า กัมมันตภาพหรือความแรงของสารกัมมันตรังสี(Activity) จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

สมการการสลายตัว

$$A_{(t)} = A_0 e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(2.12)$$

- เมื่อ A_0 = คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสีเมื่อเวลา $t=0$
- $A(t)$ = คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสีเมื่อเวลา t
- λ = คงที่ของการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (Decay Constant) มี

หน่วยเป็นส่วนกลับของเวลา (t^{-1}) และ $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$

$$T_{1/2} = \text{คือ ค่าครึ่งชีวิต} = \frac{0.693}{\lambda}$$

t = คือเวลาใดๆ

2.10 การหาอัตราปริมาณรังสีในอากาศ (Exposure Rate) [13,14,17]

อัตราปริมาณรังสีในอากาศ หรือระดับรังสี บริเวณปฏิบัติงานรอบๆ ต้นกำเนิดรังสีนั้นมีค่าเท่าใดโดยการใช้เครื่องมือสำรวจรังสี แต่ถ้าเราวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาในอากาศ (R/h หรือ mSv/h) ที่ระยะห่าง 1 เมตร จากต้นกำเนิดรังสีต่าง ๆ เช่น Co-60, Cs-137 เป็นต้น ซึ่งมีความแรงแรงรังสี 1 Ci หรือ 1 GBq เราจะได้ค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ค่า “Gamma Factor” หรือ “Gamma Constant” หรือ “Specific Gamma Emission” ซึ่งนิยมใช้สัญลักษณ์เป็น “Γ” ดังตารางที่ 2.4 คำนี้นำให้ความสะดวกกับผู้ปฏิบัติงานในการคำนวณอัตราปริมาณรังสีในอากาศที่ระยะห่างต่างๆ ได้

Specific Gamma Emission หรือ “Γ “ หมายถึง Exposure Rate ของรังสีแกมมา จากต้นกำเนิดที่เป็น Point Source ที่มีความแรงแรง 1 หน่วย ที่ระยะ 1 หน่วยความยาว มีหน่วยดังนี้

$\frac{R - m^2}{h - Ci}$	หน่วยเก่า
$\frac{mSV - m^2}{h - GBq}$	หน่วยใหม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ค่า Specific Gamma Emission หรือ “ Γ ” ของไอโซโทปรังสีบางชนิด

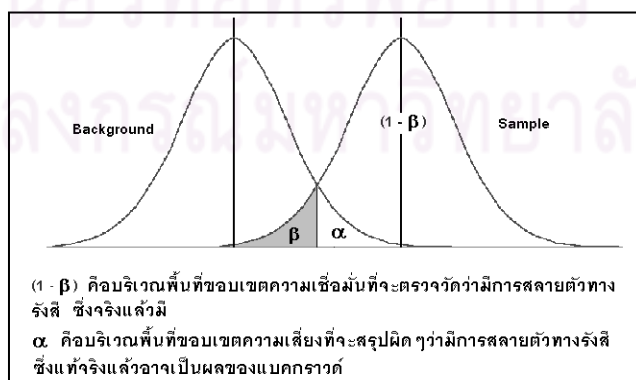
Nuclide	Γ		Nuclide	Γ		Nuclide	Γ	
	$\frac{R - m^2}{h - Ci}$	$\frac{mSv - m^2}{h - GBq}$		$\frac{R - m^2}{h - Ci}$	$\frac{mSv - m^2}{h - GBq}$		$\frac{R - m^2}{h - Ci}$	$\frac{mSv - m^2}{h - GBq}$
Actinium-227	0.22	0.06	Gold-198	0.23	0.06	Potassium-43	0.56	0.15
Antimony-122	0.24	0.06	Gold-199	0.09	0.02	Radium-226	0.83	0.22
Antimony-124	0.98	0.26	Hafnium-175	0.21	0.06	Radium-228	0.51	0.14
Antimony-125	0.27	0.07	Hafnium-181	0.31	0.08	Rhenium-186	0.02	0.01
Arsenic-72	1.01	0.27	Indium-114m	0.02	0.01	Rubidium-86	0.05	0.01
Arsenic-74	0.44	0.12	Iodine-124	0.72	0.19	Ruthenium-106	0.17	0.05
Arsenic-76	0.24	0.06	Iodine-125	0.07	0.02	Scandium-46	1.09	0.29
Barium-131	0.30	0.08	Iodine-126	0.25	0.07	Scandium-47	0.06	0.02
Barium-133	0.24	0.06	Iodine-130	1.22	0.33	Selenium-75	0.20	0.05
Barium-140	1.24	0.34	Iodine-131	0.22	0.06	Silver-110m	1.43	0.39
Beryllium-7	0.03	0.01	Iodine-132	1.18	0.32	Silver-111	0.02	0.01
Bromine-82	1.46	0.39	Iridium-192	0.48	0.13	Sodium-22	1.20	0.32
Cadmium-115m	0.02	0.01	Iridium-194	0.15	0.04	Sodium-24	1.84	0.50
Calcium-47	0.57	0.15	Iron-59	0.64	0.17	Strontium-85	0.30	0.08
Carbon-11	0.59	0.16	Krypton-85	0.00	0.00	Tantalum-182	0.68	0.18
Cerium-141	0.04	0.01	Lanthanum-140	1.13	0.31	Tellurium-121	0.33	0.09
Cerium-144	0.04	0.01	Lutecium-177	0.01	0.00	Tellurium-132	0.22	0.06
Cesium-134	0.87	0.24	Magnesium-28	1.57	0.42	Thulium-170	0.00	0.00
Cesium-137	0.33	0.09	Manganese-52	1.86	0.50	Tin-113	0.17	0.05
Chlorine-38	0.88	0.24	Manganese-54	0.47	0.13	Tungsten-185	0.05	0.01
Chromium-51	0.02	0.00	Manganese-56	0.83	0.22	Tungsten-187	0.30	0.08
Cobalt-56	1.76	0.48	Mercury-197	0.04	0.01	Uranium-234	0.01	0.00
Cobalt-57	0.09	0.02	Mercury-203	0.13	0.04	Vanadium-48	1.56	0.42
Cobalt-58	0.55	0.15	Molybdenum-99	0.18	0.05	Xenon-133	0.01	0.00
Cobalt-60	1.32	0.36	Neodymium-147	0.08	0.02	Ytterbium-175	0.04	0.01
Copper-64	0.12	0.03	Nickel-65	0.31	0.08	Yttrium-88	1.41	0.38
Europium-152	0.58	0.16	Niobium-95	0.42	0.11	Yttrium-91	0.00	0.00
Europium-154	0.62	0.17	Osmium-191	0.06	0.02	Zinc-65	0.27	0.07
Europium-155	0.03	0.01	Palladium-109	0.00	0.00	Zirconium-95	0.41	0.11
Gallium-67	0.11	0.03	Platinum-197	0.05	0.01			

2.11 สัดส่วนของรังสีที่สลายตัว [3,14,15]

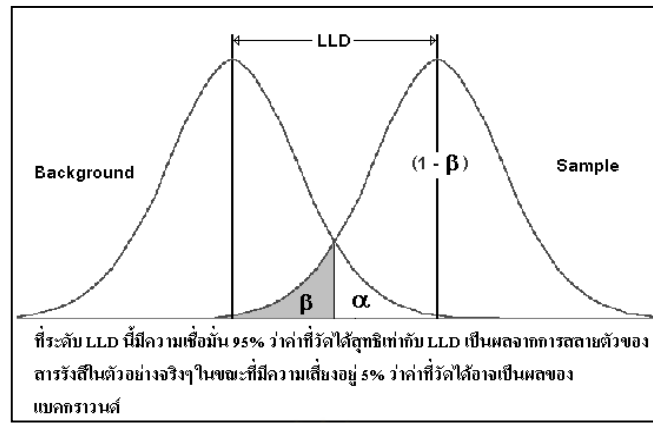
สัดส่วนของรังสีที่สลายตัวหมายถึงสัดส่วนของจำนวนรังสีที่ทำการสลายตัวจากกัมมันตรังสี เช่น Cs-137 สลายตัวแบบไอโซเมอริค ที่ให้รังสีพลังงาน 662 keV ซึ่งการสลายตัวนี้จะเป็นการสลายตัวให้รังสีแกมมา 90 เปอร์เซ็นต์ สลายตัวโดยการเปลี่ยนแปลงภายใน 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสัดส่วนของการสลายตัวให้รังสีแกมมาจาก Cs-137 เท่ากับ $(0.935)(0.9)$ เท่ากับ 0.84

2.12 ความแตกต่างต่ำสุดที่ถือได้ว่าเป็นค่าวัดรังสีจากตัวอย่าง (Lower Limit of Detection - LLD) [13,14,15,16]

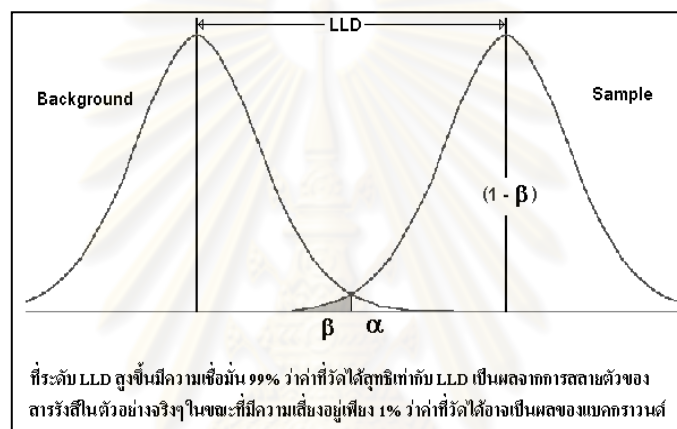
การตรวจวัดรังสีจากแบคกราวด์ก่อนการวัดตัวอย่าง ถ้าวัดค่าแบคกราวด์ได้ 400 counts ในเวลา 100 นาที ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดมีค่า $(400)^{1/2} / 100$ หรือเท่ากับ ± 0.2 Counts Per Minute (CPM) ดังนั้นผลการวัดแบคกราวด์จึงเป็น 4 ± 0.2 CPM เราสามารถระบุบอกคุณสมบัติของระบบเครื่องวัดว่ามีระดับความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่าแบคกราวด์และค่าวัดตัวอย่างได้อย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไร เราเรียกระดับนี้ว่า ความแตกต่างต่ำสุดที่ถือได้ว่าเป็นค่าวัดรังสีจากตัวอย่าง (Lower Limit of Detection - LLD) ทั้งนี้เป็นเพราะการวัดค่าแบคกราวด์และค่าวัดตัวอย่างมีการกระจายทางสถิติอยู่ด้วย แสดงการคำนวณค่า LLD ที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 นั่นคือค่า LLD มีค่าเท่ากับ 4.65 คูณกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ดังตัวอย่างผลการวัดแบคกราวด์ จะได้ค่า LLD มีค่าเท่ากับ $4.65 \times 0.2 = 0.93$ CPM นั่นคือจะต้องได้ผลการวัดจากตัวอย่างตั้งแต่ 4.93 CPM ขึ้นไปจึงถือได้ว่าเป็นผลจากการสลายตัวของรังสีในตัวอย่าง



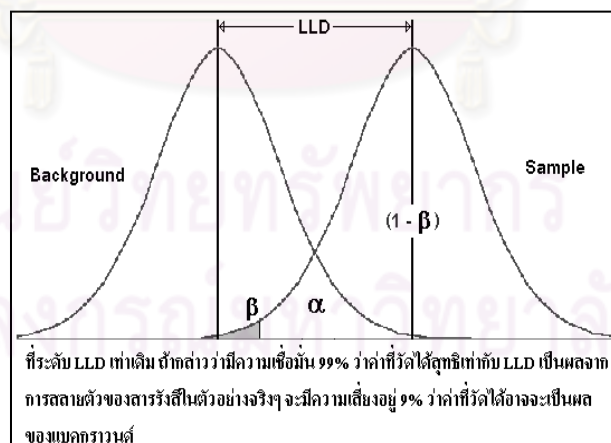
รูปที่ 2.20 ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง (Lower Limit of Detection—LLD)



รูปที่ 2.21 ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง โดยมีความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 2.22 ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่าง โดยมีความเชื่อมั่น 99%



รูปที่ 2.23 ระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดว่าเป็นรังสีจากตัวอย่างโดยมีความเชื่อมั่นสูงและความเสี่ยงต่ำ

ค่า LLD เป็นค่าที่ใช้บอกคุณสมบัติของระบบเครื่องวัดว่ามีระดับความสามารถที่จะตรวจวัดความแตกต่างของค่าแบคกราวด์และค่าวัดตัวอย่างได้อย่างน่าเชื่อถือที่ระดับเท่าไรเท่านั้น แต่ไม่ได้ใช้เพื่อการคำนวณผลการวัดตัวอย่างจริงๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 หัววัดรังสีแกมมาโซเดียมไอโอไดด์ (ทาลเลียม) NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว × 5 นิ้ว

3.1.2 เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว (Sing Channel Analyzer, SCA) LUDLUM

Model 2200 SCALER RATEMETER Sr. 211137

3.1.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ความแรงรังสี 0.83 มิลลิวูรี

3.1.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ความแรงรังสี 0.60 มิลลิวูรี

3.1.5 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Am-241 ความแรงรังสี 9.72 มิลลิวูรี

3.1.6 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Am-241 ความแรงรังสี 9.37 มิลลิวูรี

3.1.7 ตัวอย่างโลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี



รูปที่ 3.1 เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว (Sing Channel Analyzer, SCA) LUDLUM Model 2200

SCALER RATEMETER Sr. 211137



รูปที่ 3.2 หัววัดรังสีแกมมาโซเดียมไอโอไดต์ (NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว



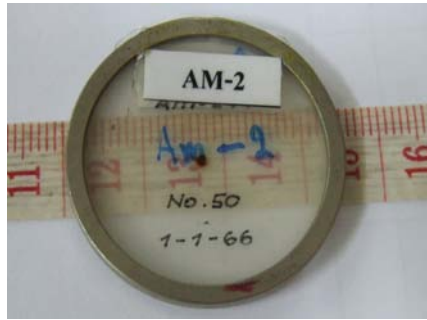
รูปที่ 3.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ความแรงรังสี 0.83 มิลลิวูรี



รูปที่ 3.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 ความแรงรังสี 0.60 มิลลิวูรี



รูปที่ 3.5 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Am-241 ความแรงรังสี 9.72 มิลลิวูรี



รูปที่ 3.6 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Am-241 ความแรงรังสี 9.37 มิลลิวูรี



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างที่ 1 โลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี



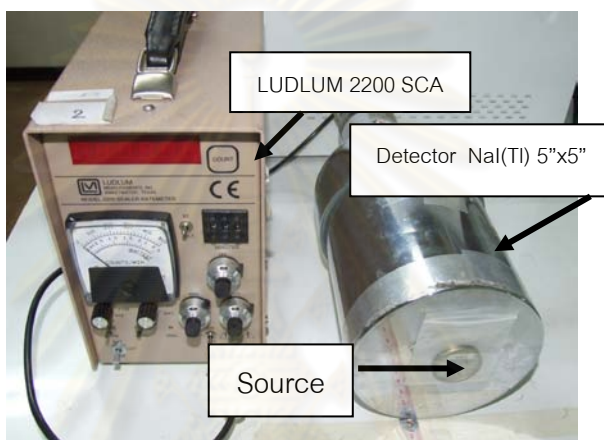
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างที่ 2 โลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างที่ 3 โลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างที่ 4 โลหะปนเปื้อนวัสดุกำมันตรังสี



รูปที่ 3.11 การออกแบบระบบที่ใช้ในการทดลอง

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการตรวจหารังสีแกมมาในเศษโลหะที่ปนเปื้อนด้วยวัสดุกำมันตรังสี ทั้งนี้เพื่อการป้องกันการแพร่กระจายและการปนเปื้อนของวัสดุกำมันตรังสีดังกล่าวเข้าสู่ขบวนการผลิต เช่น การแพร่กระจายวัสดุกำมันตรังสีบริเวณกองเศษโลหะ การเปราะเปื้อนวัสดุกำมันตรังสีภายในเตาหลอมโลหะ และการเปราะเปื้อนวัสดุกำมันตรังสีในผลิตภัณฑ์หรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งหากมีการแพร่กระจายและการปนเปื้อนของวัสดุกำมันตรังสี เข้าสู่ระบบการผลิตจะก่อให้เกิดผลกระทบอย่างมากทั้งต่อพนักงานและผู้เกี่ยวข้อง ผู้ประกอบการ สิ่งแวดล้อม ประชาชนทั่วไป รวมทั้งเศรษฐกิจและชื่อเสียงของประเทศ

3.2.1 การออกแบบระบบวัดรังสี

อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้วัดรังสีแกมมาจะประกอบด้วย หัววัด NaI(Tl) และ Single Channel Analyzer (SCA) โดยที่หัววัด NaI(Tl) จะต่อกับ Photomultiplier Tube เพื่อเปลี่ยนจากพลังงานของรังสีแกมมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งระดับความสูงของสัญญาณที่วัดได้จะแปรผันตามระดับของพลังงานของรังสีแกมมา และภายใน SCA จะมี Lower Level Discriminator (LLD) และ Upper Level Discriminator (ULD) ซึ่ง SCA จะให้สัญญาณออกมาเมื่อสัญญาณที่เข้าไปนั้นอยู่ระหว่าง LLD และ ULD (เรียกระดับความต่างกันของ Discriminator Level ว่า Window : ΔE)

3.2.1.1 การศึกษาเงื่อนไขและความไวของหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ต่อรังสีแกมมาพลังงานต่างๆ

ในการใช้หัววัดรังสีแกมมา โซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ในการวัดรังสีนั้น ก่อนนำไปใช้งานจะต้องทำการหาคุณลักษณะการทำงานของหัววัดก่อน ซึ่งทำได้โดยการวัดอัตราการนับโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่มีค่าพลังงานแตกต่างกันของรังสีแกมมา ซึ่งพลังงานของรังสีนั้นมีตั้งแต่พลังงานที่ต่ำถึงพลังงานที่สูง ซึ่งการที่จะใช้หัววัดรังสีแกมมา โซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) จะต้องศึกษาค่าศักดาไฟฟ้าที่ใช้วัดรังสีที่พลังงานต่างๆกับหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) แล้วบันทึกค่าอัตราการนับที่ค่าศักดาไฟฟ้านั้นๆ และนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้ากับอัตราการนับ

3.2.1.2 การหาค่าศักดาไฟฟ้า (High Voltage) ที่เหมาะสมสำหรับหัววัดรังสีแกมมาชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว สำหรับวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

- ก) สำหรับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV
- เปิด Master Switch ทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อวอร์มเครื่อง
 - วางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 วางติดหัววัดชนิดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว
 - ตั้ง Discriminator Bias ไว้ที่ 0.5 โวลต์ (ตัดสัญญาณรบกวน)
 - เปิดสวิตช์ High Volts และเริ่มทำการนับค่า Count โดยเพิ่มค่า High Volts ขึ้นไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเริ่มเจอสัญญาณ (ค่า High Voltage ที่เริ่มเจอสัญญาณคือ Threshold Voltage ของหัววัด) แล้วจึงหยุดทำการนับค่า

- ทำการบันทึกค่าโดยเพิ่มค่า High Voltage ครั้งละ 25 โวลต์ และใช้เวลาในการวัดในแต่ละครั้งเป็น 60 วินาที ให้เพิ่มค่าไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่า Count ที่ได้จะมีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็ว (เกินช่วง Upper Knee Voltage) ให้หยุดทำการวัด

- นำค่าที่บันทึกได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง High Volts และ Count Rate เพื่อใช้ในการหาค่า Operating Voltage สำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl)

ข) ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV

- วางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 วางติดหัววัดชนิดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว×5 นิ้ว

- ตั้ง Discriminator Bias ไว้ที่ 0.5 โวลต์ (ตัดสัญญาณรบกวน)

- เปิดสวิตช์ High Volts และเริ่มทำการนับค่า Count โดยเพิ่มค่า High Volts ขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเริ่มเจอสัญญาณ (ค่า High Voltage ที่เริ่มเจอสัญญาณคือ Threshold Voltage ของหัววัด) แล้วจึงหยุดทำการนับค่า

- ทำการบันทึกค่าโดยเพิ่มค่า High Voltage ครั้งละ 25 โวลต์ และใช้เวลาในการวัดในแต่ละครั้งเป็น 60 วินาที ให้เพิ่มค่าไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่า Count ที่ได้จะมีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็ว (เกินช่วง Upper Knee Voltage) ให้หยุดทำการวัด

- นำค่าที่บันทึกได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง High Volts และ Count Rate เพื่อใช้ในการหาค่า Operating Voltage สำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl)

ค) ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 ที่พลังงาน 60 keV

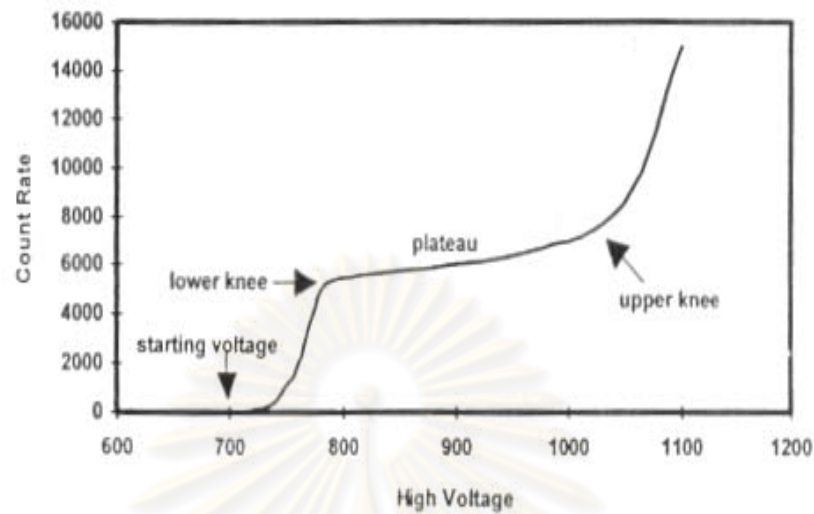
- วางต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 วางติดหัววัดชนิดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว×5 นิ้ว

- ตั้ง Discriminator Bias ไว้ที่ 0.5 โวลต์ (ตัดสัญญาณรบกวน)

- เปิดสวิตช์ High Volts และเริ่มทำการนับค่า Count โดยเพิ่มค่า High Volts ขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเริ่มเจอสัญญาณ (ค่า High Voltage ที่เริ่มเจอสัญญาณคือ Threshold Voltage ของหัววัด) แล้วจึงหยุดทำการนับค่า

- ทำการบันทึกค่าโดยเพิ่มค่า High Voltage ครั้งละ 25 โวลต์ และใช้เวลาในการวัดในแต่ละครั้งเป็น 60 วินาที ให้เพิ่มค่าไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่า Count ที่ได้จะมีค่ามากขึ้นอย่างรวดเร็ว (เกินช่วง Upper Knee Voltage) ให้หยุดทำการวัด

- นำค่าที่บันทึกได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง High Volts และ Count Rate เพื่อใช้ในการหาค่า Operating Voltage สำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl)



รูปที่ 3.12 แสดงช่วงพลาโตของหัววัดชนิดโซเดียมไอโอไดต์ NaI (TI)

3.2.1.3 หาตำแหน่งของพีคและลักษณะสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

อุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้วัดรังสีแกมมาจะประกอบด้วย หัววัดชนิดโซเดียมไอโอไดต์ NaI (TI) และ Single Channel Analyzer, (SCA) โดยที่หัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(TI) จะต่อกับ Photomultiplier Tube เพื่อเปลี่ยนจากพลังงานของรังสีแกมมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งระดับความสูงของสัญญาณที่วัดได้จะแปรผันตามระดับของพลังงานของรังสีแกมมา และภายใน SCA จะมี Lower Level Discriminator (LLD) และ Upper Level Discriminator (ULD) ซึ่ง SCA จะให้สัญญาณออกมาเมื่อสัญญาณที่เข้าไประหว่าง LLD และ ULD (เรียกระดับความต่างกันของ Discriminator Level ว่า Window : ΔE) ซึ่งจากลักษณะการทำงานนี้จะทำให้เราสามารถเลือกบันทึกค่าของสัญญาณในช่วงที่เราต้องการได้ โดยช่วงพลังงานที่ต้องการวิเคราะห์ถูกกำหนดด้วยค่าศักดาไฟฟ้าอ้างอิงระดับล่าง (Low Level Discriminator) และค่าศักดาไฟฟ้าระดับบน (Upper Level Discriminator) ซึ่งค่าศักดาไฟฟ้าทั้งสองนี้สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ ผลต่างของค่าศักดาไฟฟ้าในการวิเคราะห์พลังงาน เรียกว่า “ช่องวิเคราะห์พลังงานหรือหน้าต่างพลังงาน

$$\Delta E (=ULD-LLD)$$

ก) ทำการหาตำแหน่งของพีคสำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้าไฟฟ้า 800 โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 30 วินาที

- ตั้ง High Voltage = 800 โวลต์
- ตั้ง Window (ΔE) ของ SCA ไว้ที่ 0.1 โวลต์
- วางแหล่งกำเนิดรังสี Cs-137 ไว้ที่หน้าหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ทำการนับค่าสัญญาณ โดยเพิ่มค่า LLD ขึ้นเรื่อยๆ ทีละ 0.1 โวลต์ ใช้เวลาในการนับแต่ละค่าของ LLD เป็น 30 วินาที ให้นับวัดจนกว่าจะได้พีค ของ Cs-137 ที่สมบูรณ์

- พล็อตกราฟระหว่าง Count Rate และ LLD levels จากนั้นให้ตั้ง LLD level และ Windows ไว้ในช่วงของ Photopack ซึ่งจะทำการนับสัญญาณได้เฉพาะพีคของ 662 keV เท่านั้น



รูปที่ 3.13 การหาค่า LLD สำหรับวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137

ข) ทำการหาตำแหน่งของพีคสำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้าไฟฟ้า 800 โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 30 วินาที

- ตั้ง High Voltage = 800 โวลต์
- ตั้ง Window (ΔE) ของ SCA ไว้ที่ 0.1 โวลต์
- วางแหล่งกำเนิดรังสี Co-60 ไว้ที่หน้าหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ทำการนับค่าสัญญาณ โดยเพิ่มค่า LLD ขึ้นเรื่อยๆ ทีละ 0.1 โวลต์ ใช้เวลาในการนับแต่ละค่าของ LLD เป็น 30 วินาที ให้นับวัดจนกว่าจะได้พีค ของ Co-60 ที่สมบูรณ์

- พล็อตกราฟระหว่าง Count Rate และ LLD levels จากนั้นให้ตั้ง LLD level และ Windows ไว้ในช่วงของ Photopack ซึ่งจะทำการนับสัญญาณได้เฉพาะพีคของ 1172 และ 1332 keV เท่านั้น

ค) ทำการหาตำแหน่งของพีคสำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 ที่พลังงาน 60 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้าไฟฟ้า 1125 โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 30 วินาที

- ตั้ง High Voltage = 1125 โวลต์
- ตั้ง Window (ΔE) ของ SCA ไว้ที่ 0.1 โวลต์
- วางแหล่งกำเนิดรังสี Am-241 ไว้ที่หน้าหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) ทำการนับค่าสัญญาณ โดยเพิ่มค่า LLD ขึ้นเรื่อย ๆ ทีละ 0.1 โวลต์ ใช้เวลาในการนับแต่ละค่าของ LLD เป็น 30 วินาที ให้นับค่าจนกว่าจะได้พีค Am-241 ที่สมบูรณ์

- พล็อตกราฟระหว่าง Count Rate และ LLD levels จากนั้นให้ตั้ง LLD level และ windows ไว้ในช่วงของ Photopack ซึ่งจะให้เราับสัญญาณได้เฉพาะเฉพาะพีคของ 60 keV เท่านั้น

3.2.1.4 การวัดพีคของรังสีแบคกราวด์

การวัดพีคของรังสีแบคกราวด์ ที่ตรวจวัดได้ถึงแม้ว่าจะไม่ได้วัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน แบคกราวด์อาจเกิดขึ้นจากแหล่งกัมมันตภาพรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติ หรือสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเองในตัวเอง ดังนั้น การวัดรังสีครั้งหนึ่งๆ จะเป็นค่านับวัดรวม (Total Counts) หมายถึงค่านับที่เกิดขึ้นจากสารรังสีตัวอย่างที่ต้องการวัดรวมกับค่าแบคกราวด์ ถ้าต้องการทราบค่านับสุทธิ (Net Count) ก็ทำการวัดค่าแบคกราวด์แล้วนำไปลบออกจากค่านับรวม



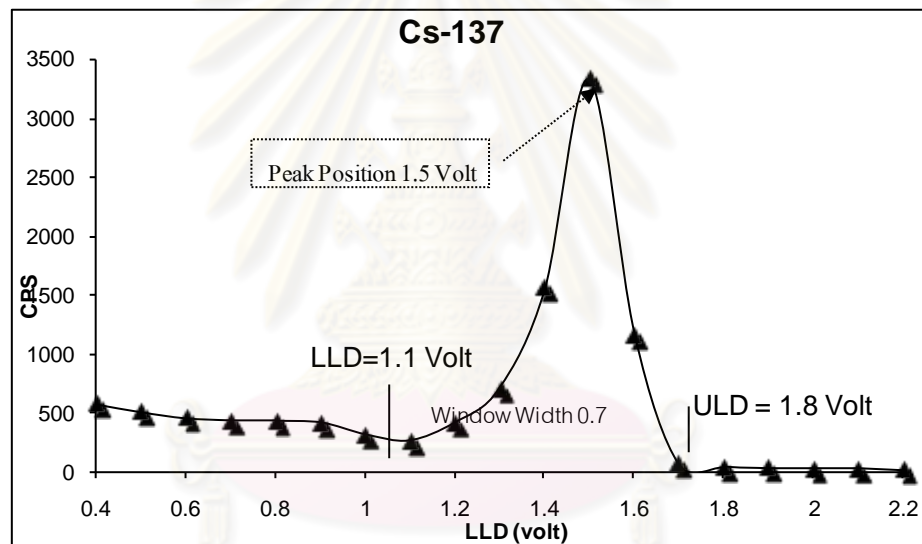
รูปที่ 3.14 การวัดพีคของรังสีแบคกราวด์

3.2.1.5 ทำการวัดเฉพาะช่วงพลังงานและตั้งสเปกตรัม

ที่ได้จากการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่างแล้วก็นำมาวัดเฉพาะช่วงพลังงานของพีคจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแต่ละตัวอย่าง

ก.) โดยทำการนับวัด Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 1.1 โวลต์ และ $\Delta E = 0.7$ โวลต์

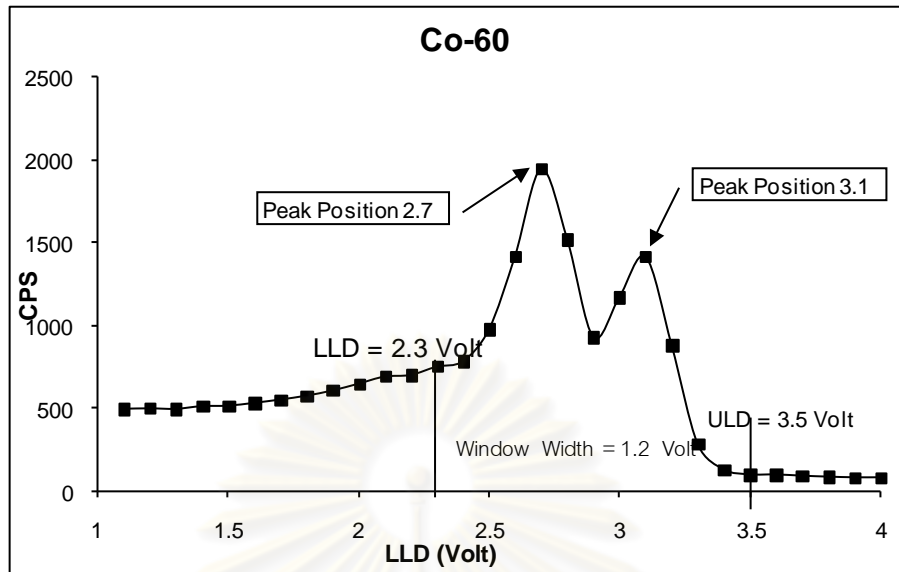
- วัดแบบกราวด์
- ทำการวัดค่าความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ที่ระยะต่างๆ จนกว่าจะเกินค่าต่ำสุดของแบบกราวด์ที่วัดได้



รูปที่ 3.15 การวัดเฉพาะพีคของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137

ข.) โดยทำการวัด Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 MeV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 2.3 โวลต์ และ $\Delta E = 1.2$ โวลต์

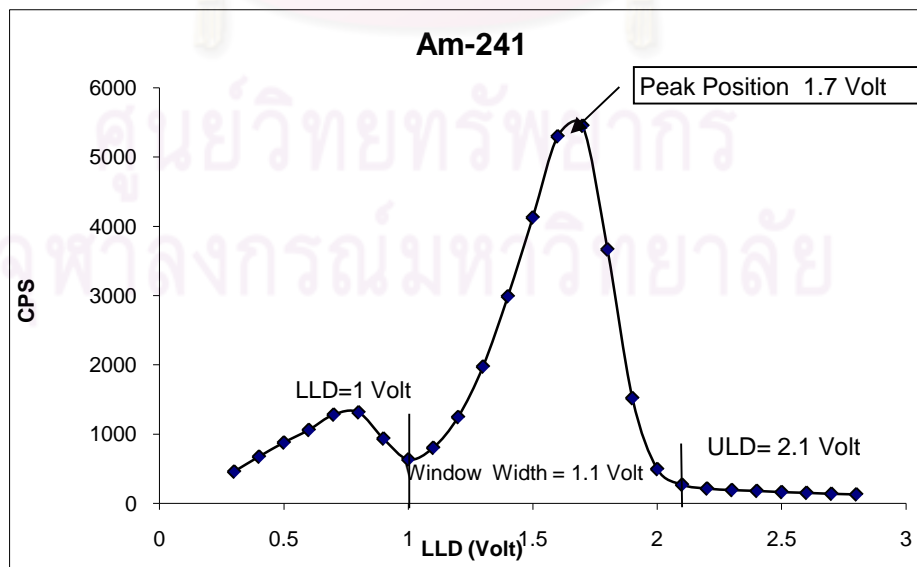
- วัดแบบกราวด์
- ทำการวัดค่าความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 ที่ระยะต่างๆ จนกว่าจะเกินค่าต่ำสุดของแบบกราวด์ที่วัดได้



รูปที่ 3.16 การวัดเฉพาะพีคของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60

ค.) โดยทำการวัด Am-241 ที่พลังงาน 60 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 1 โวลต์ และ $\Delta E = 1.1$ โวลต์

- วัดแบบคกราวด์
- ทำการวัดค่าความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 ที่ระยะต่างๆ จนกว่าจะเกินค่าต่ำสุดของแบบคกราวด์ที่วัดได้



รูปที่ 3.17 การวัดเฉพาะพีคของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241

3.2.1.6 ทำการวัดรวมพลังงาน

ที่ได้จากการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้ง 3 ตัวอย่างแล้วก็นำมาวัดรวมพลังงานของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานแต่ละตัวอย่าง

- ก) โดยทำการวัด Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 โวลต์ และ ΔE ปิด ไม่ใช่
- วัดแบบคร่าวๆ
 - ทำการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ที่ระยะต่างๆจนกว่าจะเกินค่าต่ำสุดของแบบคร่าวๆที่วัดได้
- ข) โดยทำการวัด Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 โวลต์ และ ΔE ปิด ไม่ใช่
- วัดแบบคร่าวๆ
 - ทำการวัดค่าความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 ที่ระยะต่างๆจนกว่าจะเกินค่าต่ำสุดของแบบคร่าวๆที่วัดได้
- ค) โดยทำการวัด Am-241 ที่พลังงาน 60 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 โวลต์ และ ΔE ปิด ไม่ใช่
- วัดแบบคร่าวๆ
 - ทำการวัดค่าความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 ที่ระยะต่างๆจนกว่าจะเกินค่าต่ำสุดของแบบคร่าวๆที่วัดได้

3.2.1.7 การหาประสิทธิภาพในการวัด (Detection Efficiency) ของหัววัดไซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ระยะต่างๆ

- ก) การหาความแรงรังสีต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน
- ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 ความแรงรังสี 10.4 μCi เมื่อ 1 – 2511
 - ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 ความแรงรังสี 10.4 μCi เมื่อ 1 – 2509
 - ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ความแรงรังสี 0.892 μCi เมื่อ 20 Nov 2006
 - ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 ความแรงรังสี 0.903 μCi เมื่อ 20 Nov 2006

ข) ทำการหาประสิทธิภาพในการวัดของหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) สำหรับวัดต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ระยะต่างๆ

$$\%Efficiency = \frac{C}{S \times f} \times 100 \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ C, S และ f คือ อัตรานับ, ความแรงรังสี และ สัดส่วนการปลดปล่อยรังสีแกมมา

3.2.1.8 การหาเงื่อนไขและขีดต่ำสุดในการตรวจวัดรังสีของระบบ

ทำการตรวจวัดรังสีจากแบบคกราวด์ก่อนการวัดตัวอย่าง ชี้ดจำกัดในการวัดคิดจากค่าแบบคกราวด์ บวกด้วย 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแบบคกราวด์ ($BG + 3\sqrt{BG}$)

3.2.1.9 การหาอัตราปริมาณรังสีในอากาศ (Exposure rate)

ในการหาอัตราปริมาณรังสีในอากาศ (Dose Rate) หรือระดับรังสี มีหน่วยเป็น (mR/h หรือ mSv/h) บริเวณที่ปฏิบัติงานรอบๆ ต้นกำเนิดรังสีนั้นมีค่าเท่าใดโดยการใช้เครื่องมือสำรวจรังสี แต่ถ้าเราวัดอัตราปริมาณรังสีแกมมาในอากาศ (R/h หรือ mSv/h) ที่ระยะห่าง 1 เมตร จากต้นกำเนิดรังสีต่างๆ เช่น Co-60, Cs-137 เป็นต้น ซึ่งมีความแรงรังสี 1 Ci หรือ 1 GBq เราจะได้ค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเรียกกง่าย ๆ ว่า Specific Gamma Emission, Γ เพื่อที่จะมาคำนวณหาความสัมพันธ์ของอัตรานับรังสี (Count Rate) ที่วัดจากเครื่องวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว (SCA) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) มีหน่วยเป็น mR/h หรือ mSv/h ตัวอย่างการคำนวณ ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 จากสูตร

$$\Gamma = 1.32 \frac{R-m^2}{Ci-hr} \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

3.3 ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างเศษโลหะจำลองที่ปนเปื้อน วัสดุแก๊มมันตรังสี

การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ได้นำตัวอย่างโลหะปนเปื้อนวัสดุแก๊มมันตรังสี โดยการทดสอบประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้โดยการนำตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุแก๊มมันตรังสีมานับวัดที่ระยะต่าง เพื่อที่จะได้ค่าอัตราการนับวัดรังสี (Count Rate) โดยใช้เวลาในการนับวัด 120 วินาที สำหรับระบบที่พัฒนาครั้งนี้จะสามารถวัดค่าอัตราการนับวัดรังสีที่วัดได้ที่ระยะทางเท่าไร



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

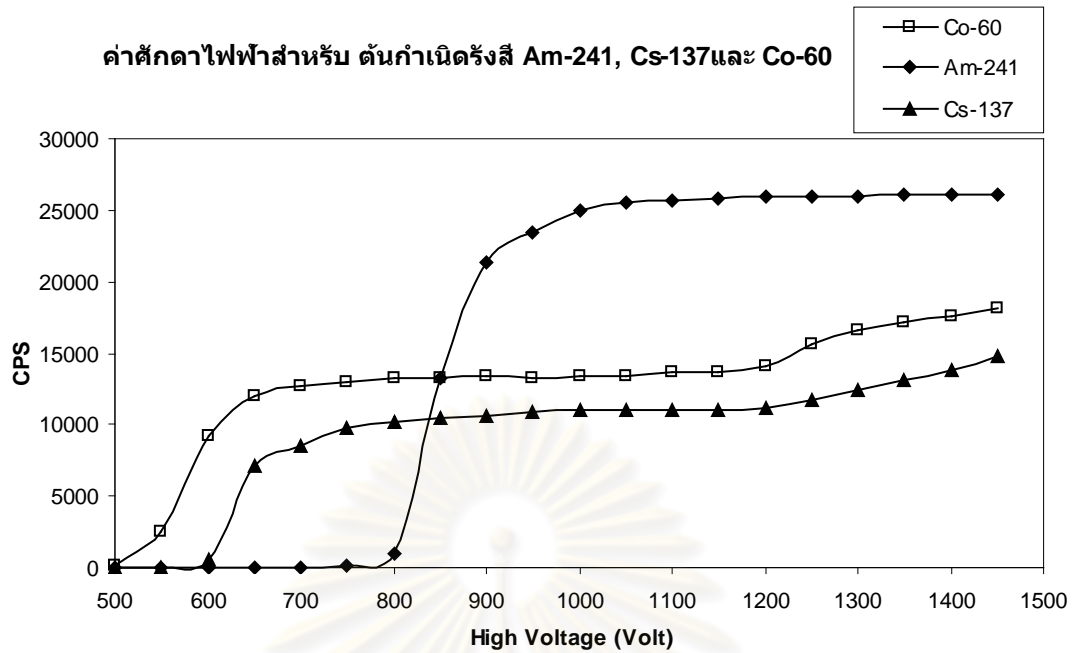
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl)

ผลการหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) เมื่อวัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 ที่พลังงาน 60 keV และ ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV และ ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราการนับรังสีแกมมาที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่างๆ สำหรับรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Am-241, Cs-137 และ Co-60

HIGH VOLTAGE	Am-241 (60 keV) CPS	Cs-137 (662 keV) CPS	Co-60 (1172,1332 keV) CPS
500	4	4	100
550	9	17	2443
600	20	601	9191
650	47	7178	11942
700	70	8566	12710
750	123	9780	13007
800	954	10231	13201
850	13272	10453	13288
900	21327	10673	13337
950	23490	10898	13311
1000	24991	10978	13426
1050	25550	11017	13460
1100	25723	11072	13655
1150	25868	11074	13655
200	25940	11138	14122
1250	25950	11677	15689
1300	25948	12400	16546
1350	26048	13072	17099
1400	26128	13778	17531
1450	26132	14765	18096



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการนับรังสีแกมมาที่ค่าศักดาไฟฟ้าต่างๆ สำหรับรังสีแกมมา จากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241, Cs-137 และ Co-60

4.2 การหาตำแหน่งของพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐาน

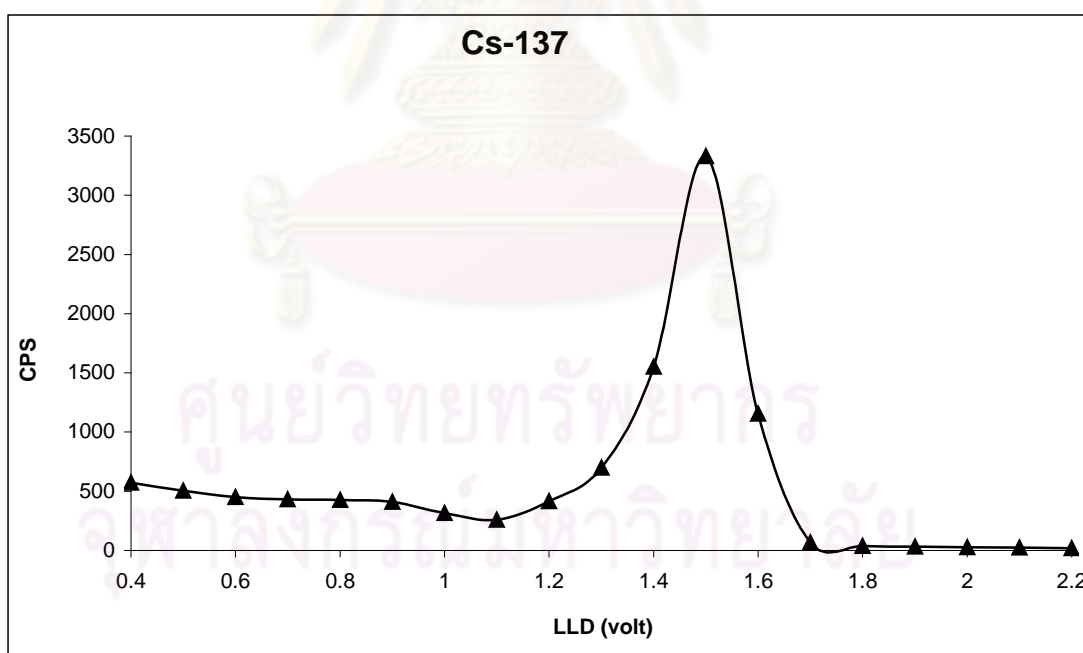
ในการตำแหน่งของพีค สำหรับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241, ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 30 วินาที และต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137 และ Co-60 ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 30 วินาที

4.2.1 ผลการวัดพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงแรังสี 0.83 μCi

ในการวัดเฉพาะพีคของรังสีแกมมาที่พลังงานสูงโดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 30 วินาที ที่ระดับ $\Delta E = 0.5$ โวลต์

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดเฉพาะพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 0.83 μCi ใช้ค่า
ศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์

LLD (โวลต์)	CPS	LLD (โวลต์)	CPS
0.4	573	1.4	1553
0.5	505	1.5	3331
0.6	452	1.6	1155
0.7	432	1.7	67
0.8	426	1.8	38
0.9	411	1.9	32
1.0	315	2.0	27
1.1	259	2.1	23
1.2	415	2.2	19
1.3	700		



รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับและระดับ LLD ของการวัด Cs-137

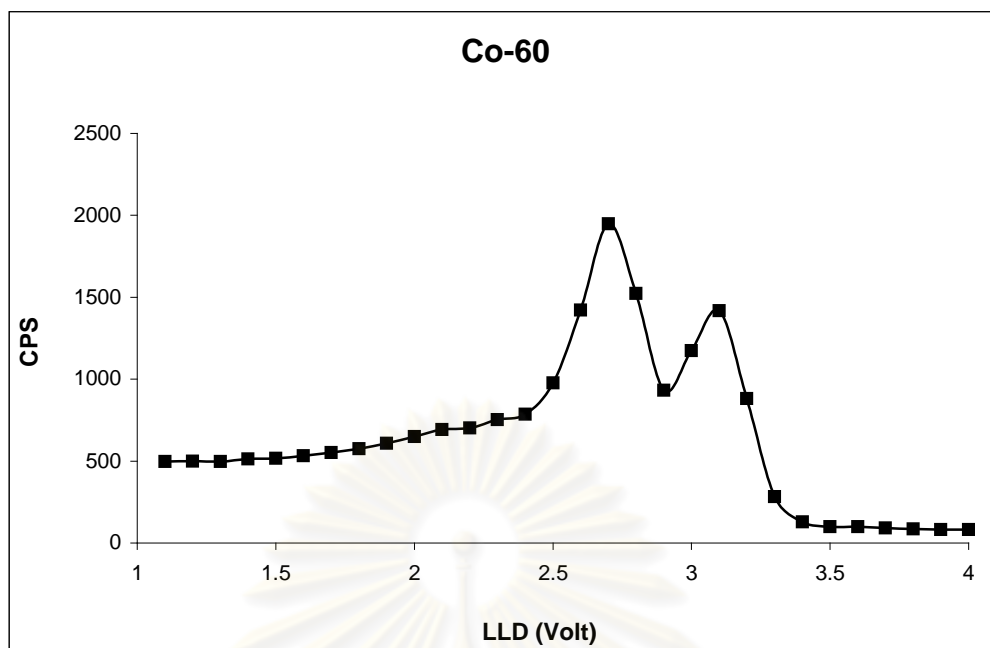
4.2.2 ผลการวัดฟีดสำหรับต้นกำเนิดรังสีต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 0.60

 μCi

ในการวัดฟีดสำหรับรังสีแกมมาที่พลังงานสูงโดยใช้ ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 30 วินาที ที่ระดับ $\Delta E = 0.5$ โวลต์

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดฟีดสำหรับต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 0.60 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์

LLD (โวลต์)	CPS	LLD (โวลต์)	CPS
1.1	497	2.6	1421
1.2	500	2.7	1948
1.3	497	2.8	1523
1.4	513	2.9	931
1.5	516	3	1174
1.6	533	3.1	1417
1.7	553	3.2	882
1.8	576	3.3	283
1.9	608	3.4	129
2.0	649	3.5	100
2.1	692	3.6	99
2.2	702	3.7	92
2.3	752	3.8	86
2.4	785	3.9	82
2.5	978	4.0	82



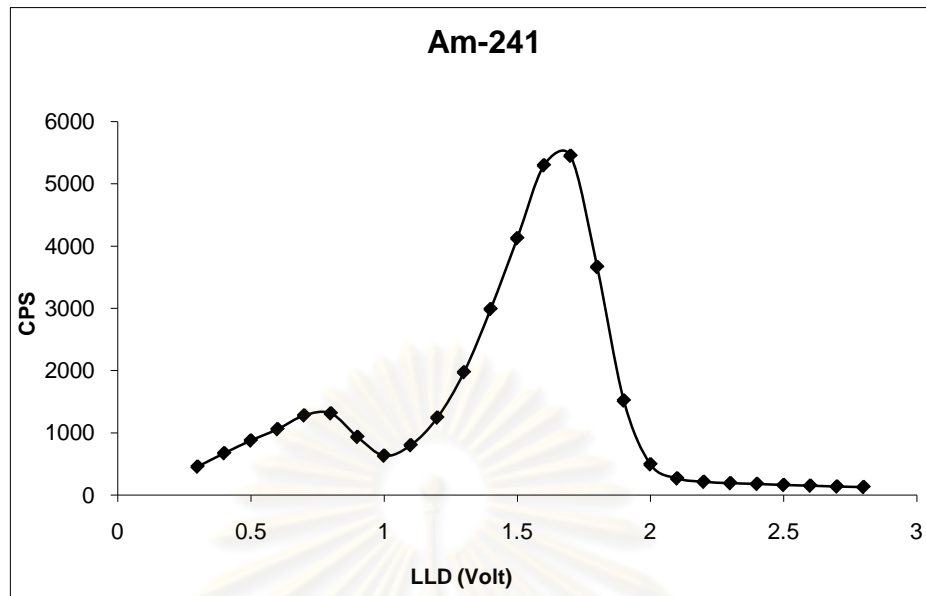
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับและระดับ LLD ของการวัด Co-60

4.2.3 ผลการวัดพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi

ในการวัดพีคของรังสีแกมมาที่พลังงานต่ำโดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 30 วินาที ที่ระดับ $\Delta E = 0.5$ โวลต์

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดพีคสำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์

LLD (โวลต์)	CPS	LLD (โวลต์)	CPS
0.3	456	1.6	5298
0.4	672	1.7	5451
0.5	876	1.8	3666
0.6	1058	1.9	1519
0.7	1279	2	493
0.8	1313	2.1	267
0.9	934	2.2	212
1	633	2.3	191
1.1	801	2.4	178
1.2	1244	2.5	161
1.3	1973	2.6	150
1.4	2988	2.7	137
1.5	4126	2.8	128



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราและระดับ LLD ของการวัด Am-241

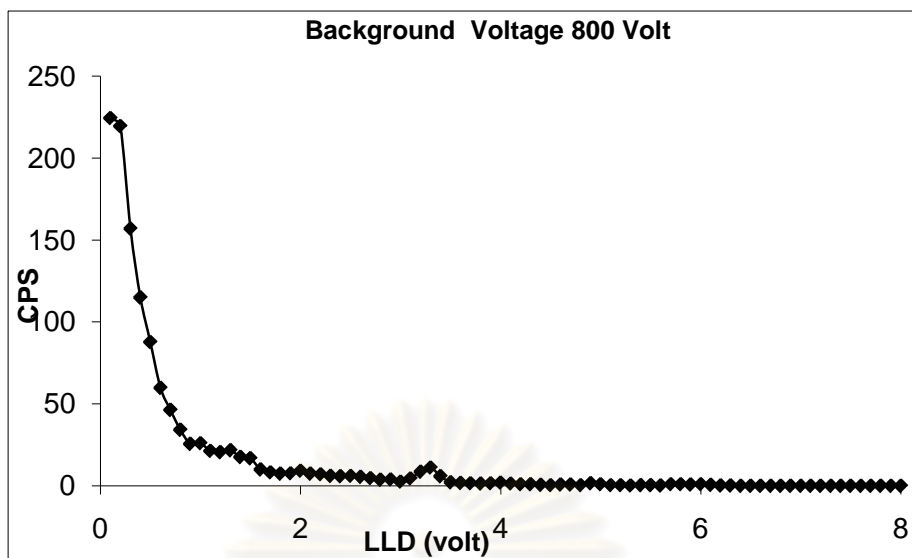
4.3 การวัดฟีดของแบคกราวด์ (Background)

ในการวัดฟีดของแบคกราวด์ (Background) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ ในการวัดรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูง การวัดรังสี โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ ในการวัดรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำ โดยใช้ $\Delta E = 0.1$ โวลต์ และใช้เวลาในการนับวัด 12 วินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดพีคของแมคกราวด์ โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ $\Delta E = 0.5$ โวลต์ ใช้
เวลาในการนับวัด 12 วินาที

LLD	CPS	LLD	CPS	LLD	CPS	LLD	CPS
0.1	224	2.1	8	4.1	2	6.1	1
0.2	220	2.2	7	4.2	1	6.2	0
0.3	157	2.3	6	4.3	1	6.3	0
0.4	115	2.4	6	4.4	1	6.4	0
0.5	88	2.5	6	4.5	1	6.5	0
0.6	60	2.6	6	4.6	1	6.6	0
0.7	46	2.7	5	4.7	1	6.7	0
0.8	34	2.8	4	4.8	1	6.8	0
0.9	26	2.9	4	4.9	2	6.9	0
1	26	3	3	5	1	7	0
1.1	21	3.1	5	5.1	1	7.1	0
1.2	21	3.2	9	5.2	1	7.2	0
1.3	22	3.3	11	5.3	0	7.3	0
1.4	18	3.4	6	5.4	0	7.4	0
1.5	17	3.5	2	5.5	0	7.5	0
1.6	10	3.6	2	5.6	0	7.6	0
1.7	8	3.7	2	5.7	1	7.7	0
1.8	7	3.8	1	5.8	1	7.8	0
1.9	8	3.9	2	5.9	1	7.9	0
2	9	4	2	6	1	8	0

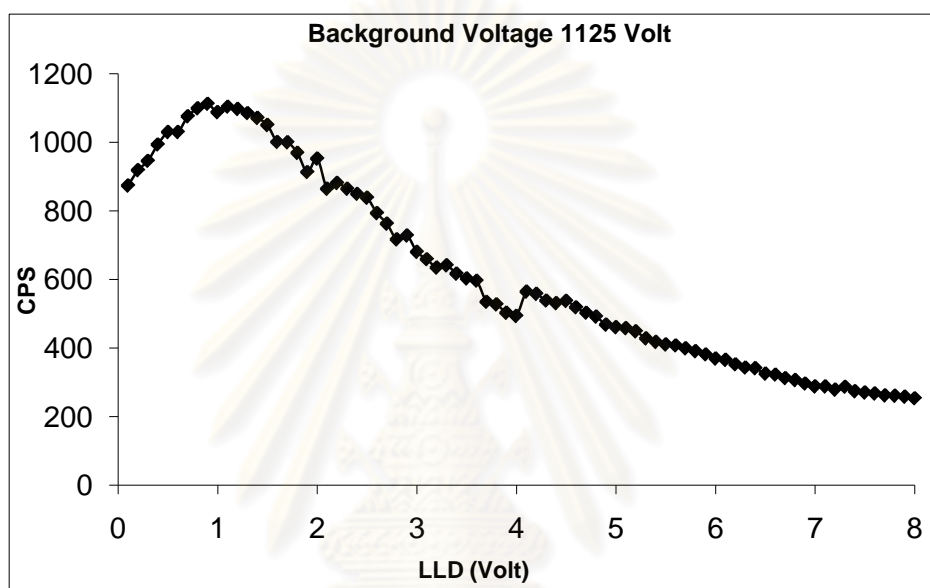


รูปที่ 4.5 การวัดพีคของแบคกราวด์ ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดพีคของแบคกราวด์ โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ โดยใช้ $\Delta E = 0.5$ โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 12 วินาที

LLD	CPS	LLD	CPS	LLD	CPS	LLD	CPS
0.1	874	2.1	865	4.1	564	6.1	366
0.2	919	2.2	882	4.2	558	6.2	353
0.3	946	2.3	864	4.3	539	6.3	344
0.4	994	2.4	850	4.4	531	6.4	342
0.5	1030	2.5	838	4.5	537	6.5	326
0.6	1030	2.6	794	4.6	519	6.6	323
0.7	1076	2.7	763	4.7	503	6.7	313
0.8	1099	2.8	717	4.8	492	6.8	307
0.9	1113	2.9	728	4.9	468	6.9	297
1	1088	3	680	5	461	7	288
1.1	1104	3.1	660	5.1	458	7.1	288
1.2	1097	3.2	635	5.2	449	7.2	279
1.3	1085	3.3	641	5.3	428	7.3	288
1.4	1071	3.4	617	5.4	418	7.4	274
1.5	1050	3.5	603	5.5	410	7.5	270

1.6	1001	3.6	597	5.6	408	7.6	268
1.7	1000	3.7	535	5.7	399	7.7	262
1.8	969	3.8	527	5.8	391	7.8	261
1.9	913	3.9	503	5.9	382	7.9	258
2	953	4	493	6	369	8	254



รูปที่ 4.6 การวัดพีคของแบคกราวด์ โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์

4.4 การทดสอบระบบการวัดรังสี

4.4.1 ทำการวัดเฉพาะพีคของรังสี ที่ได้จากการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้งสาม

ในการทดสอบระบบที่ทำกรวัดรังสีแกมมานี้ใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137, Co-60 และ Am-241

4.4.1.1 การนับวัดเฉพาะพีคของต้นกำเนิดรังสีโดยทำการวัด Cs-137 ที่พลังงาน 662 keV

โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 1.1 โวลต์ และ $\Delta E = 0.5$ โวลต์
ทำการวัดแบคกราวด์ โดยใช้เวลานับวัด 120 วินาที ได้ค่านับวัด 22391 Count/120 sec

ตารางที่ 4.7 ผลสำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 0.83 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 1.1 โวลต์ และ $\Delta E = 0.7$ โวลต์ ใช้เวลานับวัด 120 วินาที

ตำแหน่งการวัด (cm)	Gross Count	Net Count	cps
ที่ระยะสัมผัส	781613	759222	6327
5 cm	272029	249638	2080
10 cm	133098	110707	923
15 cm	83249	60858	507
20 cm	60510	38119	318
25 cm	48977	26586	222
30 cm	41272	18881	157
35 cm	37145	14754	123
40 cm	33752	11361	95
45 cm	31915	9524	79
50 cm	27496	5105	43
55 cm	27021	4630	39

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.1.2 การนับวัดรังสีโดยการวัด Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV

นับวัดต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 0.60 ไมโครคูรี ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 2.3 โวลต์ และ $\Delta E = 1.2$ โวลต์ ใช้เวลาในการนับวัด 120 วินาที และทำการวัดแบบควอด โดยใช้เวลา นับวัด 120 วินาที ได้ค่า นับวัด 33305 Count

ตารางที่ 4.8 ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 0.60 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 2.3 โวลต์ และ $\Delta E = 1.2$ โวลต์

ตำแหน่งการวัด (cm)	Gross Count	Net Count	cps
ที่ระยะสัมผัส	682289	648984	5408
5 cm	303477	270172	2251
10 cm	163347	130042	1084
15 cm	107885	74580	622
20 cm	81347	48042	400
25 cm	66807	33502	279
30 cm	57583	24278	202
35 cm	52086	18781	157
40 cm	47649	14344	120
45 cm	45275	11970	100
50 cm	43428	10123	84
55 cm	41668	8363	70
60 cm	40570	7265	61
65 cm	39618	6313	53

4.4.1.3 การนับวัดรังสีโดยการวัด Am-241 ที่พลังงาน 60 keV

นับวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi ที่พลังงาน 60 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 1 โวลต์ $\Delta E = 1.1$ โวลต์ และทำการวัดแบบคร่าวๆ โดยใช้เวลานับวัด 120 วินาที ได้ค่านับวัด 24967 Count

ตารางที่ 4.9 ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 1.1 โวลต์ และ $\Delta E = 0.7$ โวลต์

ตำแหน่งการวัด (cm)	Gross Count	Net Count	CPS
ที่ระยะสัมผัส	2379918	2354954	19625
5 cm	1184148	1159184	9660
10 cm	575939	550975	4591
15 cm	329032	304068	2534
20 cm	211788	186824	1557
25 cm	153581	128617	1072
30 cm	118179	93215	777
35 cm	95842	70878	591
40 cm	80989	56025	467
45 cm	69907	44943	375
50 cm	61808	36844	307
55 cm	55726	30762	256
60 cm	51118	26154	218
65 cm	46958	21994	183

4.4.1.4 การนับวัดรังสีโดยทำการวัด Am-241 ที่พลังงาน 60 keV

นับวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.37 μCi ที่พลังงาน 60 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 1 โวลต์ $\Delta E = 1.1$ โวลต์ และทำการวัดแบบคร่าวๆ โดยใช้เวลานับวัด 120 วินาที ได้ค่านับวัด 24967 Count

ตารางที่ 4.10 ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.37 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 1.1 โวลต์ และ $\Delta E = 0.7$ โวลต์

ตำแหน่งการวัด (cm)	Gross Count	Net Count	CPS
ที่ระยะสัมผัส	374182	349225	2910
5 cm	190589	165632	1380
10 cm	97057	72100	601
15 cm	63524	38567	321
20 cm	48656	23699	197
25 cm	41398	16441	137
30 cm	36802	11845	99
35 cm	34056	9099	76
40 cm	32402	7445	62
45 cm	30547	5590	47
50 cm	29688	4731	39
55 cm	28793	3836	32
60 cm	28425	3468	29

4.4.2 ทำการวัดรวมพลังงาน หลังจากการที่ได้ค่า LLD ที่ได้จากการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้งสาม

ในการทดสอบระบบที่ทำกรวัดรังสีแกมมาโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137, Co-60 และ Am-241

4.4.2.1 ทำการวัดรังสีCs-137 ที่พลังงาน 662 keV

ทำการวัดรังสีโดยทำการวัด Cs-137 ความแรงรังสี 0.83 μCi ที่พลังงาน 662 keV โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 โวลต์ และ ΔE ปิดไม่ใช้ และทำการวัดแบบกราวด์ โดยใช้เวลานับวัด 120 วินาที ได้ค่านับวัด 115910 Count

ตารางที่ 4.11 ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 0.83 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 โวลต์ และ ΔE ปิดไม่ใช้

ตำแหน่งการวัด (cm)	Gross Count	Net Count	CPS
ที่ระยะสัมผัส	1117484	1001574	8346
5 cm	438882	322972	2691
10 cm	255427	139517	1163
15 cm	188247	72337	603
20 cm	158114	42204	352
25 cm	141877	25967	216
30 cm	132736	16826	140
35 cm	125986	10076	84
40 cm	122062	6152	51
45 cm	119052	3142	26

4.4.2.2 ทำการวัดรังสี Co-60 ที่พลังงาน 1172 และ 1332 keV

ทำการวัดรังสีโดยทำการวัด Co-60 ความแรงรังสี 0.60 μCi โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 โวลต์ และ ΔE ปิดไม่ใช้ และทำการวัดแบบควอดโดยใช้เวลานับวัด 120 วินาที ได้ค่านับวัด 115910 Count

ตารางที่ 4.12 ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 0.60 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 และ ΔE ปิดไม่ใช้

ตำแหน่งการวัด (cm)	Gross Count	Net Count	CPS
ที่ระยะสัมผัส	1475604	1359694	11331
5 cm	558710	442800	3690
10 cm	338029	222119	1851
15 cm	242055	126145	1051
20 cm	202247	86337	719
25 cm	176078	60168	501
30 cm	160015	44105	368
35 cm	150431	34521	288
40 cm	143309	27399	228
45 cm	136644	20734	173
50 cm	124728	8818	73
55 cm	121005	5095	42

4.4.2.3 ทำการวัด Am-241 ที่พลังงาน 60 keV

ทำการวัดรังสีโดยทำการวัด Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 โวลต์ และ ΔE ปิดไม่ใช้ และทำการวัดแบบกราวด์ โดยใช้เวลานับวัด 120 วินาที ได้ค่านับวัด 239338 Count

ตารางที่ 4.13 ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.72 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 และ ΔE ปิดไม่ใช้

ตำแหน่งการวัด (cm)	Gross Count	Net Count	CPS
ที่ระยะสัมผัส	11115759	10876377	90636
5 cm	1681775	1442393	12020
10 cm	905453	666071	5551
15 cm	603692	364310	3036
20 cm	464734	225352	1878
25 cm	395141	155759	1298
30 cm	351073	111691	931
35 cm	326246	86864	724
40 cm	306642	67260	561
45 cm	293235	53853	449
50 cm	283983	44601	372
55 cm	275938	36556	305
60 cm	270003	30621	255
65 cm	265507	26125	218

4.4.2.4 ทำการวัด Am-241 ที่พลังงาน 60 keV

ทำการวัดรังสีโดยทำการวัด Am-241 ความแรงรังสี 9.37 μCi โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 โวลต์ และ ΔE ปิดไม่ใช้ และทำการวัดแบบคร่าวๆ โดยใช้เวลานับวัด 120 วินาที ได้ค่านับวัด 239338 Count

ตารางที่ 4.14 ผลการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 9.37 μCi ใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ และใช้ LLD = 0.5 และ ΔE ปิดไม่ใช้

ตำแหน่งการวัด (cm)	Gross Count	Net Count	CPS
ที่ระยะสัมผัส	444478	205140	1710
5 cm	326442	87104	726
10 cm	284589	45251	377
15 cm	268396	29058	242
20 cm	259413	20075	167
25 cm	254395	15057	125
30 cm	253577	14239	119
35 cm	250175	10837	90
40 cm	246252	6914	58
45 cm	244994	5656	47
50 cm	243301	3963	33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 หาความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

4.5.1 การหาความแรงของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

ตารางที่ 4.15 ความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

ต้นกำเนิดรังสี	ความแรงรังสี (μCi)	วันที่ผลิต (ว-ด-ป)	ความแรงรังสี ณ ปัจจุบัน (μCi)	ความแรงรังสี ณ ปัจจุบัน (Bq)
Am-241	10.4	1-1-2510	9.72	359640
Am-241	10.4	1-1-2509	9.37	346690
Cs-137	0.892	20-11-2549	0.83	30710
Co-60	0.903	20-11-2549	0.60	22200

4.5.2 การหาความแตกต่างต่ำสุดที่ถือได้ว่าเป็นค่าวัดรังสีจากต้นกำเนิดรังสี (Lower Limit of Detection – LLD)

ตารางที่ 4.16 ระดับต่ำสุดที่หวั้วัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอดัด NaI(Tl) ที่สามารถวัดรังสีจากต้นกำเนิดรังสี (Lower Limit of Detection - LLD)

ต้นกำเนิด รังสี	ความแรงรังสี ณ ปัจจุบัน (Bq)	ค่าเบคกราวด์ (CPS)	ขีดจำกัดในการวัด ($BG + 3\sqrt{BG}$) (CPS)	ระยะไกลสุดที่ สามารถวัดรังสีได้ (ซม.)
Am-241	359640	239338	240800	65
Am-241	346690	239338	240800	50
Cs-137	30710	115910	116930	45
Co-60	22200	115910	116930	55

4.5.3 การหาประสิทธิภาพของหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ระยะต่างๆ

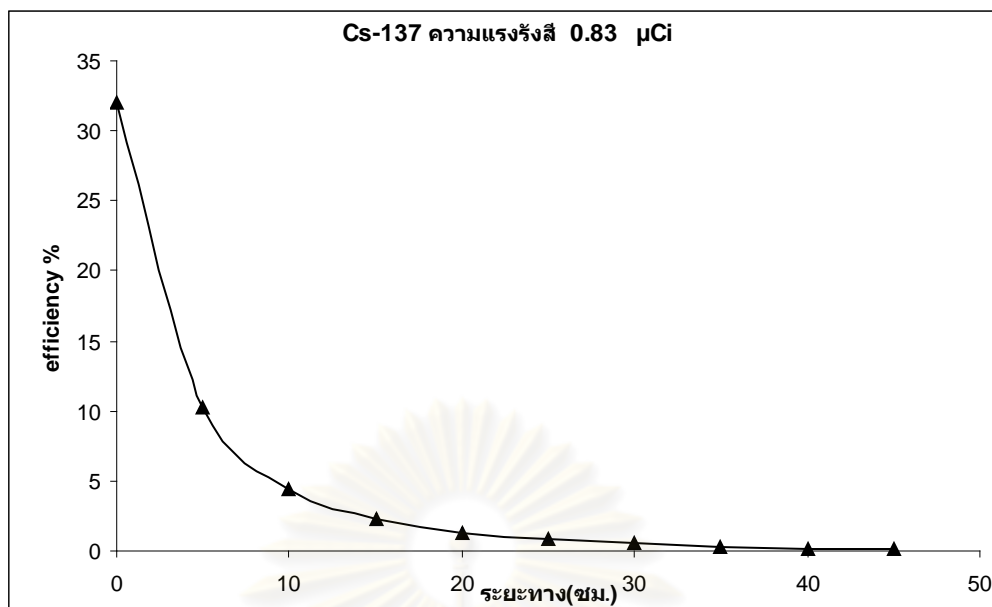
ประสิทธิภาพของการนับวัด (Counting Efficiency) ของหัววัดโซเดียมไอโอไดด์ NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ระยะต่างๆ

4.5.3.1 สำหรับต้นกำเนิดรังสี Cs-137

สำหรับต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 30710 เบคเคเรล (Bq) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ ค่า LLD = 0.5 โวลต์ ΔE ปิดไม่ใช้ โดยที่สัดส่วนการสลายตัวของแกมมาเท่ากับ 0.85

ตารางที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

ระยะทาง	efficiency %
ติดหัววัด	32.0
5	10.3
10	4.5
15	2.3
20	1.3
25	0.8
30	0.5
35	0.3
40	0.2
45	0.1

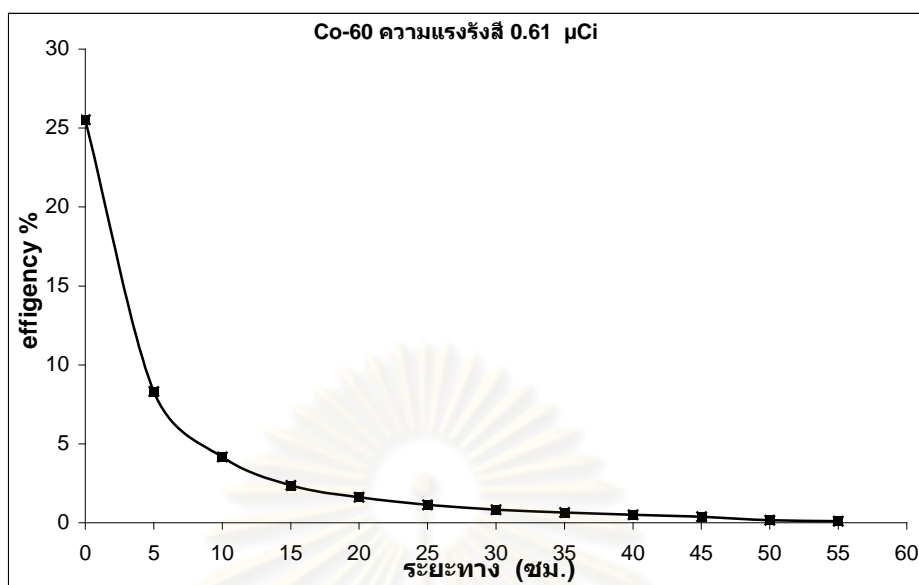


รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงรังสี 30710 เบคเคอเรล (Bq) ที่ระยะต่างๆ

4.5.3.2 สำหรับต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 22200 เบคเคอเรล (Bq) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ ค่า LLD = 0.5 โวลต์ ΔE ปิดไม่ใช้ โดยที่สัดส่วนการสลายตัวของแกมมาเท่ากับ 1

ตารางที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

ระยะทาง	efficiency %
ติดหัววัด	25.5
5	8.3
10	4.2
15	2.4
20	1.6
25	1.1
30	0.8
35	0.6
40	0.5
45	0.4
50	0.2
55	0.1



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพประสิทธิภาพของหัววัดโซเดียมไอโอไดต์ NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 22200 เบคเคเรล (Bq) ที่ระยะต่างๆ

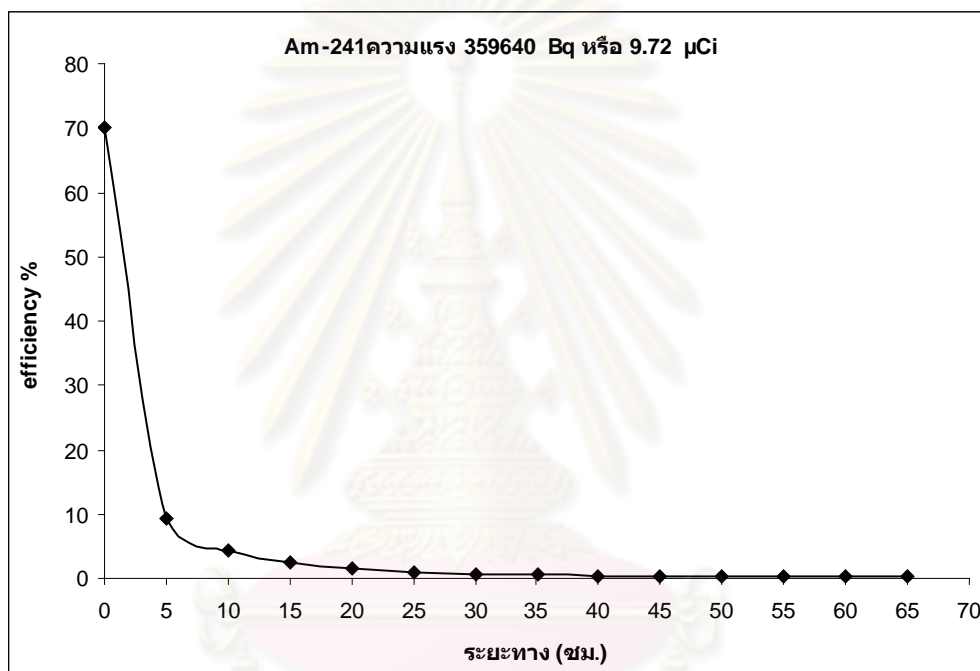
4.5.3.3 สำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241

สำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 359640 เบคเคเรล (Bq) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ ค่า LLD = 0.5 โวลต์ ΔE ปิดไม่ใช้ โดยที่สัดส่วนการสลายตัวของพลังงานแกมมา 0.3

ตารางที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

ระยะทาง	efficiency %
ติดหัววัด	70
5	9.3
10	4.3
15	2.3
20	1.5
25	1.0
30	0.7
35	0.6

ระยะทาง	efficiency %
40	0.4
50	0.3
55	0.2
60	0.2
65	0.2



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพของหัววัด NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 359640 เบคเคอเรล (Bq) ที่ระยะต่างๆ

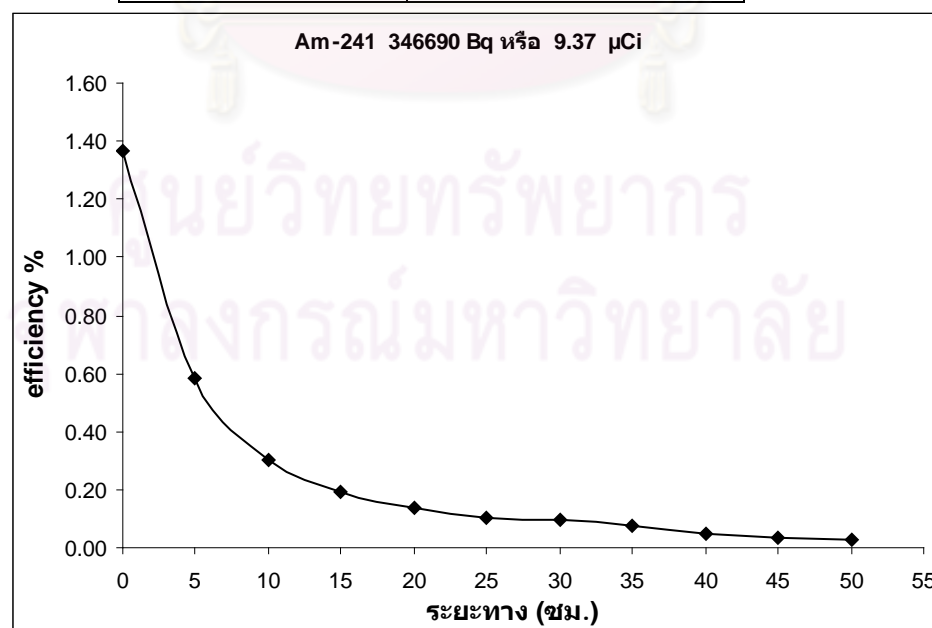
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3.4 สำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241

ความเข้มรังสี 346690 เบคเคเรล (Bq) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ ค่า LLD = 0.5 โวลต์ ΔE ปิดไม่ใช้ โดยที่สัดส่วนการสลายตัวของแกมมาเท่ากับ 0.36

ตารางที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับประสิทธิภาพของหัววัดรังสี

ระยะทาง	efficiency %
ติดหัววัด	1.37
5	0.58
10	0.30
15	0.19
20	0.13
25	0.10
30	0.10
35	0.07
40	0.05
45	0.04
50	0.03



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพของหัววัด NaI(Tl) สำหรับการวัดต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความเข้มรังสี 346690 เบคเคเรล (Bq) ที่ระยะต่างๆ

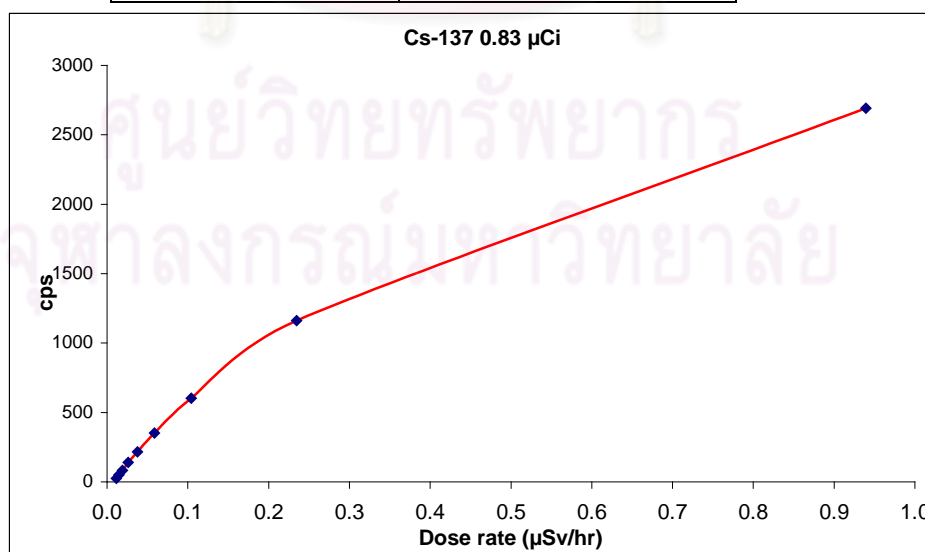
4.5.4 หาความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้งสาม

4.5.4.1 สำหรับต้นกำเนิดรังสี Cs-137

สำหรับต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรงแรังสี 30710 เบคเคอเรล (Bq) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ ค่า LLD = $0.5 \Delta E$ ปิดไม่ใช้ โดยที่สัดส่วนการสลายตัวของแกมมาเท่ากับ 0.85

ตารางที่ 4.21 ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137

Dose Rate ($\mu\text{Sv/hr}$)	Count Rate (cps)
0.939	2691
0.235	1163
0.104	603
0.059	352
0.038	216
0.026	140
0.019	84
0.015	51
0.012	26

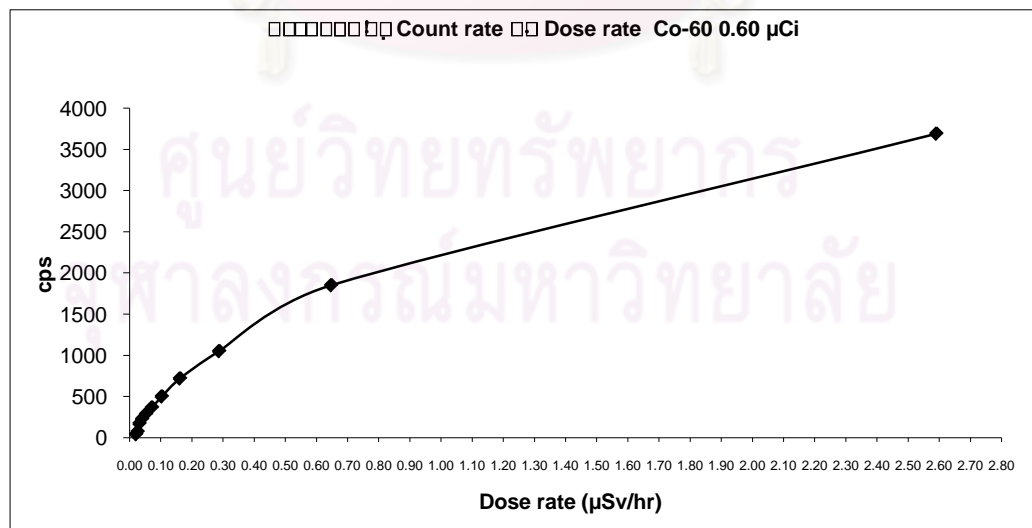


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137

4.5.4.2 สำหรับต้นกำเนิดรังสี Co-60 ความแรงรังสี 22200 เบคเคเรล (Bq) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 800 โวลต์ ค่า LLD = $0.5 \Delta E$ ปิด ไมค์ โดยที่สัดส่วนการสลายตัวของพลังงานที่วัด $\gamma = 1$

ตารางที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60

Dose Rate ($\mu\text{Sv/hr}$)	Count Rate (cps)
2.59	3690
0.65	1851
0.29	1051
0.16	719
0.10	501
0.07	368
0.05	288
0.04	228
0.03	173
0.03	73
0.02	42



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Co-60

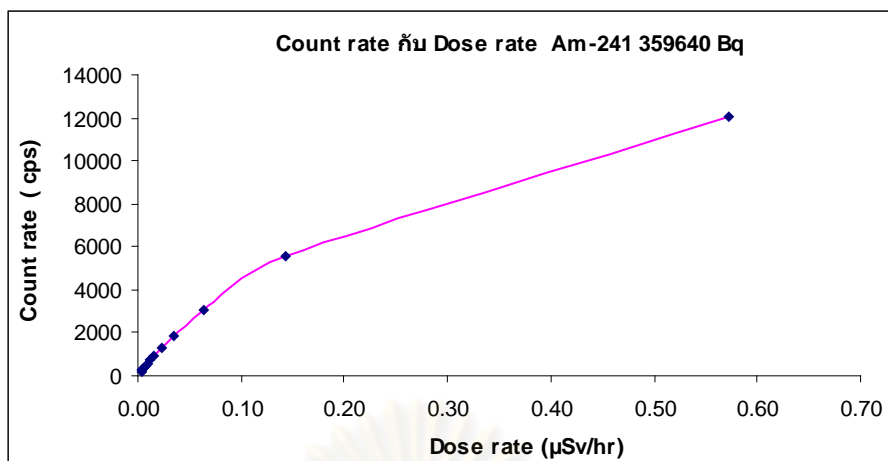
4.5.4.3 สำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241

สำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 359640 เบคเคอเรล (Bq) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ ค่า LLD = $0.5 \Delta E$ ปิด ไม่ใช่โดยที่สัดส่วนการสลายตัวของแกมมาเท่ากับ 0.36

ตารางที่ 4.23 ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137

Dose Rate ($\mu\text{Sv/hr}$)	Count Rate (cps)
0.572	12020
0.143	5551
0.063	3036
0.036	1878
0.023	1298
0.016	931
0.012	724
0.009	561
0.007	449
0.006	372
0.005	305
0.004	255
0.003	218

ศูนย์วิทยุทางการแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



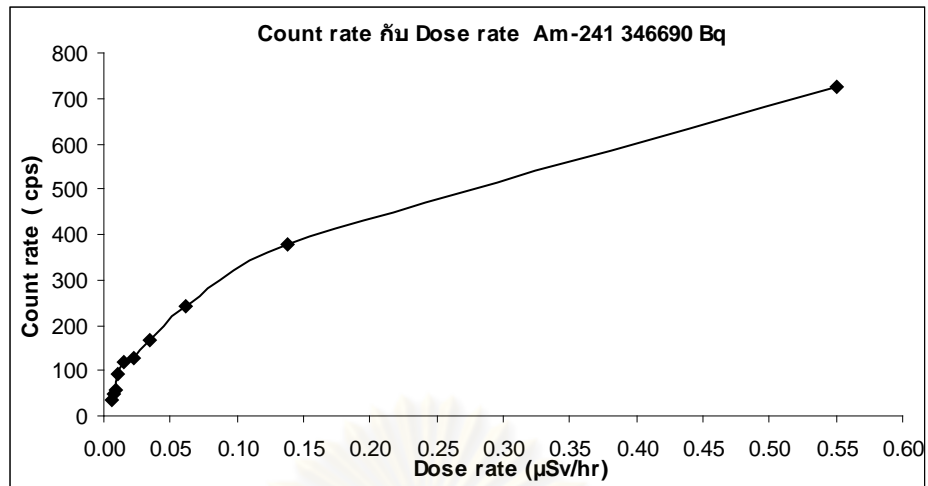
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (count rate) กับอัตราปริมาณรังสี (dose rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241

4.5.4.4 สำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241

สำหรับต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงรังสี 346690 เบคเคเรล (Bq) โดยใช้ค่าศักดาไฟฟ้า 1125 โวลต์ ค่า LLD = $0.5 \Delta E$ ปิด ไม่ใช่โดยที่สัดส่วนการสลายตัวของแกมมาเท่ากับ 0.36

ตารางที่ 4.24 ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (Count Rate) กับอัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241

Dose Rate (μSv/hr)	Count Rate (cps)
0.572	12020
0.143	5551
0.063	3036
0.036	1878
0.023	1298
0.016	931
0.012	724
0.009	561
0.007	449
0.006	372
0.005	305
0.004	255
0.003	218



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของอัตราการนับรังสี (count rate) กับอัตราปริมาณรังสี (dose rate) กับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการกับตัวอย่างเศษโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุ กัมมันตรังสี

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบระหว่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานกับตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุ
กัมมันตรังสี ตัวอย่างที่ 1

ระยะทาง (ซม.)	ตัวอย่างโลหะปนเปื้อน (cps)
ที่ระยะสัมผัส	75028.84
5 cm	72038.16
10 cm	58336.58
15 cm	52993.28
20 cm	44363.47
25 cm	36539.09
30 cm	29820.26
45 cm	18665.62
50 cm	15613.57
60 cm	12302.51
65 cm	10966.62

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบระหว่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานกับตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุ
กัมมันตรังสี ตัวอย่างที่ 2

ระยะทาง (ซม.)	ตัวอย่างโลหะปนเปื้อน (cps)
ที่ระยะสัมผัส	29895.60
5 cm	18720.40
10 cm	12477.46
15 cm	8974.01
20 cm	6769.00
25 cm	5140.65
30 cm	4001.40
35 cm	3246.17
40 cm	2671.81
45 cm	2215.32
50 cm	1894.500
60 cm	1402.92
65 cm	1261.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบระหว่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานกับตัวอย่างโลหะปนเปื้อนวัสดุ
กัมมันตรังสี ตัวอย่างที่ 3

ระยะทาง (ซม.)	ตัวอย่างโลหะปนเปื้อน (cps)
ที่ระยะสัมผัส	59228.13
5 cm	52002.20
10 cm	36334.21
15 cm	25466.14
20 cm	18753.96
25 cm	14378.54
30 cm	11132.17
35 cm	8853.59
40 cm	7117.19
45 cm	5828.28
50 cm	5026.16
55 cm	4319.68
60 cm	3717.89
65 cm	2725.51

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบระหว่างต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานกับตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุ
กัมมันตรังสี ตัวอย่างที่ 4

ระยะทาง (ซม.)	ตัวอย่างโลหะปนเปื้อน (cps)
ที่ระยะสัมผัส	135681
5 cm	131894
10 cm	130775
15 cm	129752
20 cm	129554
25 cm	128154
30 cm	127793
35 cm	
40 cm	
45 cm	
50 cm	
55 cm	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

หัววัดรังสีที่เลือกใช้ในการวิจัยนี้คือ หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชันชนิด NaI(Tl) ขนาด 5 นิ้ว x 5 นิ้ว ซึ่งจัดว่าเป็นหัววัดรังสีขนาดใหญ่ มีความไวสูงในการตรวจวัดรังสีแกมมา จึงเหมาะที่จะใช้ในการตรวจวัดสารกัมมันตรังสีที่ปนเปื้อนในเศษวัสดุ โดยได้เลือกใช้อุปกรณ์นับรังสี LUDLUM Single Channel Analyzer รุ่น 2200 ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง ภาคขยายสัญญาณ เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (single channel analyzer, SCA) อุปกรณ์นับและตั้งเวลา โดยสามารถต่อหัววัดรังสีเข้ากับอุปกรณ์นับรังสี LUDLUM SCA รุ่น 2200 ได้โดยตรง นอกจากนี้อุปกรณ์นับรังสีนี้ยังมีพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ที่สามารถเชื่อมโยงกับอุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น ไมโครคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งเมื่อประกอบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และ GSM Module ที่พัฒนา มาก่อนหน้านี้ ทำให้สามารถส่งข้อมูลจำนวนนับรังสี และเวลา ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์ เคลื่อนที่ ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกที่ที่มีบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ จึงสะดวกในการนำไปใช้งาน แต่ราคาไม่สูง

5.1.1 การหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับหัววัด NaI(Tl) เป็นสิ่งจำเป็น สำหรับการวัดรังสีในแต่ละช่วงพลังงาน เนื่องจากรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่างกันให้จำนวนโฟตอน ของแสงที่เกิดขึ้นในผลึก NaI(Tl) ต่างกันไปตามสัดส่วน จากการหาค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสม สำหรับวัดรังสีแกมมาพลังงานต่ำคือ 60 keV จาก Am-241 ได้ค่าศักดาไฟฟ้าประมาณ 1125 โวลต์ และรังสีแกมมาพลังงานสูงคือ 662 keV จาก Cs-137 และ 1172 กับ 1332 keV จาก Co-60 ได้ค่าศักดาไฟฟ้า ประมาณ 800 โวลต์ ซึ่งหากผู้ใช้มิได้คำนึงถึงค่าศักดาไฟฟ้าที่เหมาะสม ก็ อาจทำให้ไม่สามารถตรวจวัดรังสีแกมมาในช่วงพลังงานที่ต้องการได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ เครื่องวัดรังสีที่ผู้ใช้ไม่สามารถมองเห็นสเปกตรัมรังสีในขณะที่ทำการวัดรังสี เช่น เมื่อต้องการวัด รังสีแกมมาพลังงาน 60 keV จาก Am-241 หากใช้ค่าศักดาไฟฟ้าต่ำเกินไปพีคพลังงาน 60 keV อาจอยู่ต่ำกว่าระดับ LLD ที่ตั้งไว้ จึงไม่สามารถวัดได้ ในทางกลับกันถ้าตั้งค่าศักดาไฟฟ้าสูง สัญญาณของรังสีแกมมาพลังงานสูงอาจมีความสูงของพัลส์ (Pulse Height) เกินระดับ ULD 10 โวลต์ ทำให้เกินช่วงที่สามารถวัดได้ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่าศักดาไฟฟ้าและกำลังขยายของ ภาคขยายสัญญาณให้สอดคล้องกัน

5.1.2 จากการวัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ระยะต่าง ๆ เพื่อหาความไวในการตรวจวัด พบว่า เมื่อใช้เวลานับรังสี 2 นาที สามารถตรวจวัดรังสีแกมมาเหนือค่าแบบควรวัดได้ ตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความไวของระบบวัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี

ต้นกำเนิดรังสี และความแรงรังสี	พลังงานของรังสี แกมมา (keV)	ระยะห่างที่สามารถ ตรวจวัดรังสีได้*
²⁴¹ Am, 9.37 μ Ci	60	≤ 60 ซม.
¹³⁷ Cs, 0.83 μ Ci	662	≤ 65 ซม.
⁶⁰ Co, 0.60 μ Ci	1172, 1332	≤ 65 ซม.

หมายเหตุ *สำหรับเวลานับรังสี 2 นาที และ ชัดจำกัดในการวัดคิดจากค่าแบบควรวัดบวกด้วย 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแบบควรวัด ($BG + 3\sqrt{BG}$)

5.1.3 การหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสี สำหรับการวัดรังสีจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน 3 ชนิด ที่ระยะต่าง ๆ ตั้งแต่ระยะ 0 ซม. คือ วางต้นกำเนิดรังสีติดกับผิวหน้าหัววัดรังสี พบว่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น แต่มิได้เป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน เนื่องจากหัววัดรังสีมีขนาดใหญ่และมีความหนามาก จึงต้องทำการหาประสิทธิภาพทุกระยะห่าง อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปใช้งานจริงในการวัดรังสีแกมมาที่ปนเปื้อนในเศษโลหะ ไม่สามารถใช้ประสิทธิภาพของหัววัดรังสีในการคำนวณหาความแรงรังสี เพราะต้นกำเนิดรังสีมิได้เป็นแบบจุด (Point Source) และอาจมีวัสดุปิดกั้นหรือกำบังรังสีแกมมาด้วย ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัตรานับรังสีกับอัตราปริมาณรังสี จะมีประโยชน์ในการประมาณค่าอัตราปริมาณรังสีที่วัดได้ในลักษณะเดียวกันกับการใช้เครื่องสำรวจรังสี (Survey Meter) แต่สามารถทำได้ถูกต้องกว่าโดยการปรับ SCA ให้เลือกวัดเฉพาะช่วงพลังงานที่ต้องการได้

5.1.4 การทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้นในห้องปฏิบัติการ กับตัวอย่างเศษโลหะที่ปนเปื้อนโคบอลต์-60 (Co-60) 4 ตัวอย่าง พบว่าสามารถวัดรังสีแกมมาจากตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสีได้อย่างชัดเจน เนื่องจากมีค่าอัตราการนับรังสี (Count Rate) สูงกว่าค่าแบบควรวัดหลายเท่า แม้ทำการตรวจวัดในระยะห่าง เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีความแรงรังสีสูง

จากข้อมูลของเครื่องตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีเชิงพาณิชย์ ที่ออกแบบไว้สำหรับการใช้ในงานลักษณะเดียวกันนี้ และใช้สำหรับตรวจวัดรังสีแกมมาจากยานพาหนะ/ตู้คอนเทน

เนอร์สอินคำในงานศุลกากรและงานด้านความมั่นคงปลอดภัย พบว่าส่วนใหญ่ใช้หัววัดรังสีชนิดพลาสติกซินทิลเลเตอร์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีความหนาประมาณ 1-2 ซม. มีความไวในการตรวจวัดรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60 ซึ่งมีความแรงรังสี 1 μCi ได้จากระยะห่างประมาณ 1 เมตร หรือดีกว่านี้ ซึ่งก็อยู่ในใกล้เคียงกับระบบที่ประกอบขึ้นมาใช้ในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตามระบบที่พัฒนาขึ้นมาเองมีจุดเด่นที่สามารถส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้หรือบุคคลที่ต้องการทราบข้อมูล รวมทั้งการบันทึกข้อมูลเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มจำนวนหัววัดรังสี เพิ่มขนาดของหัววัดรังสี หรือเปลี่ยนไปใช้หัววัดรังสีแบบพลาสติกซินทิลเลเตอร์ เพื่อให้มีความไวสูงขึ้นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการหาประสิทธิภาพของหัววัดรังสีควรที่หาขนาดรูปร่างที่เหมือนกับชิ้นงานที่จะวัด จะทำให้การวัดมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2.2 ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่เป็นแบบจุด (Point Source) และตัวอย่างโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสีเป็นแบบแท่ง ซึ่งรังสีสามารถแผ่ออกทุกทิศทาง จึงทำให้การนับวัดรังสีได้มากกว่าแบบต้นกำเนิดรังสีแบบจุด

5.2.3 ในการพัฒนารุ่นนี้จะมีปัญหาเกี่ยวพลังงานของต้นกำเนิดรังสีจะมีผลต่อหัววัด NaI(Tl) จากการที่ได้หาค่าศักดาไฟฟ้าสำหรับหัววัด NaI(Tl) ซึ่งพลังงานต่ำจะใช้ค่าศักดาไฟฟ้าที่สูงซึ่งอาจจะไม่เหมาะที่จะวัดในกรณีที่โลหะปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีมีพลังงานสูง ซึ่งในกรณีนี้อาจจะใช้หัววัดรังสีเพิ่มอีก 1 หัววัดโดยอาจทำเป็นประตูผ่านสำหรับการนำโลหะเข้ามาตรวจสอบ โดยที่หัววัดแต่ละข้างใช้ค่าศักดาไฟฟ้าต่ำและค่าศักดาไฟฟ้าสูง ซึ่งจากข้อมูลของ IAEA และ UNECE พบว่าการปนเปื้อนสารรังสีของโลหะจะเป็นต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60 เป็นส่วนมากซึ่งต้นกำเนิดรังสีทั้งสองชนิดจะให้พลังงานที่สูง และในระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้ก็สมารถที่จะตรวจวัดโลหะที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี Cs-137 และ Co-60 ได้ และในระบบนี้การตรวจวัดโลหะที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีจะตรวจวัดเชิงปริมาณคือให้รู้ว่าโลหะที่ตรวจวัดมีการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีหรือไม่

5.2.4 ในการพัฒนาระบบนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดโลหะที่อาจปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีได้ และทางผู้ประกอบการก็สามารถที่จะจัดหาเพื่อที่จะนำไปใช้ตรวจสอบโลหะ เมื่อเทียบเครื่องตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีเชิงพาณิชย์ ซึ่งทางระบบที่พัฒนาขึ้นจะมีราคาที่ถูกกว่าอย่างมากซึ่งผู้ประกอบการก็จะสามารถจัดหาระบบนี้ไปใช้ในสถานประกอบการที่ผลิตโลหะได้

รายการอ้างอิง

- [1] International Atomic Energy Agency. Guidance on the Import and Export of Radioactive sources. IAEA, 2004.
- [2] UNECE. Monitoring, Interception and Managing Radioactively Contaminated Scrap Metal. Proceedings of the UNECE Group of Experts on the Monitoring of Radioactively Contaminated Scrap Metal. Geneva, 5-7 April, 2004.
- [3] UNECE. Monitoring, Interception and Managing Radioactively Contaminated Scrap Metal. Proceedings of the UNECE Group of Experts on the Monitoring of Radioactively Contaminated Scrap Metal. New York and Geneva, 2002.
- [4] International Atomic Energy Agency. Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources. IAEA/CODEOC/2004, IAEA, 2004.
- [5] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Managing Potentially Radioactive Scrap Metal. NCRP Report No.141, 2002.
- [6] International Atomic Energy Agency. Clearance Levels for Radionuclides in Solid Materials, interim report for comment. IAEA-TECDOC-855,1996.
- [7] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโช ทองอร่าม และ ศิริพงษ์ ไชยมงคล. ระบบวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์-มุลเลอร์บนไมโครคอมพิวเตอร์. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 8(2543) : 38-50.
- [8] กิตติศักดิ์ ชัยสรรพ์. พัฒนาระบบไฟ่วัดรังสีแกมมาในสิ่งแวดล้อมผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [9] ชีระยุทธ เพลิดพริ้ง. การพัฒนาระบบวัดรังสีแบบไมโครขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [10] พศัฒพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์. การออกแบบการทดลองคอมพิวเตอร์ต้นสเปกโตรมิเตอร์เพื่อการศึกษาตอบสนองของอิเล็กทรอนิกส์ของซินทิลเลเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2549.
- [11] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. Nuclear radiation detection and instrumentation, เอกสารการสอนวิชา 2111606 นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [12] ธวัช ชิตตระการ. การตรวจและวัดรังสี. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

- [13] Gilmore Gordon and John D. Hemingway. Practical Gamma-Ray Spectrometry. Chichester: John Wiley & sons, 1995.
- [14] Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. 3rded. New York: John Wiley & sons, 1999.
- [15] นवलฉวี รุ่งธนเกียรติ. เทคนิคการตรวจวัดรังสี. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536.
- [16] ไพฑูรย์ วรรณพงษ์. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2546.
- [17] สุวัฒน์ บุญนาค. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2546.
- [18] ธวัชชัย อธิพิพนนกร. การป้องกันอันตรายจากรังสี ระดับ 2. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2546.
- [19] Gary W. Phillips, David J. Nagel, and Timothy Coffry. A Primer on the Detection of Nuclear and Radiological Weapons. Center for Technology and National Security Policy National Defense University, 2005.
- [20] Greta Joy Dicus. USA Perspectives - Safety & Security of Radioactive Sources. IAEA Bulletin 41(1999): 22.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ใบ Certificate ของต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ใบ Certificate ของต้นกำเนิดรังสี Cs-137

A
CANBERRA

Certificate of Calibration

GAMMA RAY STANDARD

Radionuclide: Cs-137 Half-Life: 30.2 y
 Serial Number: D-117-13 Type: 2" x 1/8" Disk
(50.8mm x 3.2mm)

This source has been calibrated with a HPGe detector for which the efficiency has been established with IAEA or NIST traceable standards. The gamma lines listed were measured to determine the stated activity as a weighted average with an uncertainty estimated at 5%.

Calibration Date: 20-Nov-06 Julian Day: (245) 4060

Activity: 33 000 Bq 0.892 μ Ci

Photon Energy (keV)	Intensity (%)	Emission Rate (sec ⁻¹)
<u>661.6</u>	<u>85.0</u>	<u>28 100</u>
<u>32.0 Kα</u>	<u>5.8</u>	<u>1 910 *</u>
<u>36.4 Kβ</u>	<u>1.3</u>	<u>429 *</u>

* calculated

Certified by: Carmen Jones Date: 20-Nov-06

CANBERRA INDUSTRIES, INC.

107 Union Valley Road - Oak Ridge, Tennessee 37830-8045, USA - Tel. 865-220-6300 - Fax 865-483-0406



ภาคผนวก ข

เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดียว (Sing channel analyzer, SCA) LUDLUM Model

2200 SCALER RATEMETER Sr. 211137

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ludlum Model 2200

Radiation Scaler/Ratemeter SCA

Features

- 6 Decade LED Display
- Single Channel Analyzer
- Ratemeter with Total Counting Range from 0 - 500,000 cpm
- Adjustable Scaler Count Time from 6 seconds - 990 minutes

Specifications

PART NUMBER: 48-1651

INDICATED USE: Gross radiation sample counting; Single channel analyzing

COMPATIBLE RADIATION DETECTORS: G-M, proportional, scintillation

CONNECTOR: Series "C" (*others available*)

SCALER: 6 digit LED display providing a range of 0 - 999999 counts

SCALER LINEARITY: Reading within plus or minus 2% of true value

TIMER: Thumbwheel adjustment from 0 - 999 minutes with selectable divisions of X0.1 and X1

RATEMETER: 0 - 500,000 cpm total range

METER DIAL: 0 - 500 cpm; 0 - 2.5 kV; BAT TEST

MULTIPLIERS: X1, X10, X100, X1000

LINEARITY: Reading within plus or minus 10% of true value with detector connected

RESPONSE: Toggle switch for FAST (4 seconds) or SLOW (22 seconds) from 10% to 90% of final reading

ZERO: Push button to zero meter

HIGH THRESHOLD: Adjustable from 200 - 2500 โวลต์ (will support 60 megohm scintillation loads)

THRESHOLD: Threshold sensitive; adjustable from 1.0 - 10.0

WINDOW: Adjustable from 0 - 10.0 above threshold setting (*can be turned on or off*)

DISC (Discriminator): Adjustable from 2 - 100 mV at a threshold setting of 1.0

RS-232: 9 pin connector allowing for printer, or software interface

POWER: 95 - 250 VAC 50 - 60 Hz single phase (*less than 100 mA*) or 4 each "D" cell batteries (*housed in externally accessible compartments*)

BATTERY LIFE: Typically 120 hours with alkaline batteries (*battery condition can be checked on meter*)

METER: 2.5"(6.4cm) arc, 1 mA analog type

CONSTRUCTION: Aluminum housing with beige powder coat paint

TEMPERATURE RANGE: -4° F(-20° C) to 122° F(50° C)

SIZE: 8.5"(21.6cm)H X 5"(12.7cm)W X 9.3"(23.5cm)L

WEIGHT: 6.9 lbs (3.1kg) without batteries

Optional Printer Specifications - Model 264 Printer

Can be setup to provide date/time stamp on each line.

POWER: comes with 120 Vac wall transformer, outputs 9 Vac

SPEED: 33 lines per minute

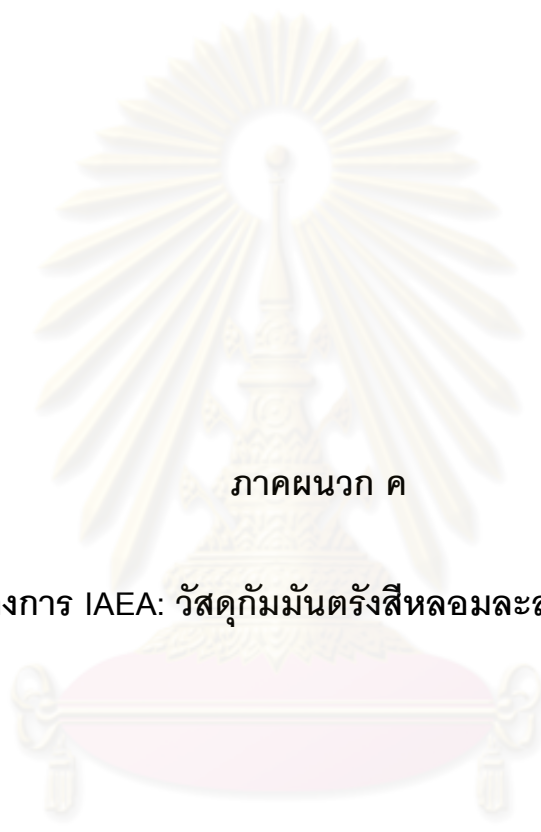
PAPER ROLL: standard 2.25" wide calculator paper

RIBBON LIFE: 200,000 characters

REPLACEMENT RIBBON: Epson HX-20 cartridge

SIZE: 4.05" W x 4.5" D x 2.0" H (10.3 x 11.4 x 5.1 cm)





ภาคผนวก ค

ข้อมูลทางการ IAEA: วัสดุแก๊สมันตรังสีหลอมละลายในเศษโลหะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลทางการ IAEA: สารกัมมันตรังสีที่หลอมละลายในเศษโลหะ

Accidental Meltings of Radioactive Materials in the USA				
Year	Metal	Location	Isotope	Activity (Bq)
multiple	gold	multiple	Pb-210, Bi-210 Po-210	unknown
1983	steel	Auburn Steel, NY	Co-60	930
1983	gold	unknown, NY	Am-241	unknown
1984	steel	U.S. Pipe & Foundry, AL	Cs-137	0.37-1.9
1985	steel	Tamco, CA	Cs-137	56
1987	steel	Florida Steel, FL	Cs-137	0.93
1987	aluminum	United Technology, IN	Ra-226	0.74
1988	lead	ALCO Pacific, CA	Cs-137	0.74-0.93
1988	copper	Warrington, MO	accelerator	unknown
1989	steel	Bayou Steel, LA	Cs-137	19
1989	steel	Cytemp, PA	Th	unknown
1990	steel	NUCOR Steel, UT	Cs-137	unknown
1991	aluminum	Alcan Recycling, TN	Th	unknown
1992	steel	Newport Steel, KY	Cs-137	12
1992	aluminum	Reynolds, VA	Ra-226	unknown
1992	steel	Border Steel, TX	Cs-137	4.6-7.4
1992	steel	Keystone Wire, IL	Cs-137	unknown
1993	steel	Auburn Steel, NY	Cs-137	37
1993	steel	Newport Steel, KY	Cs-137	7.4
1993	steel	Chaparral Steel, TX	Cs-137	unknown
1993	zinc	Southern Zinc, GA	depleted U	unknown
1993	steel	Florida Steel, FL	Cs-137	unknown
1994	steel	Austeel Lemont, IL	Cs-137	0.074
1994	steel	US Pipe & Foundry, CA	Cs-137	unknown
1996	aluminum	Bluegrass Recycling, KY	Th-232	unknown
1997	aluminum	White Savage Co., TN	Am-241	unknown
1997	steel	WCI, OH	Co-60	0.9(?)
1997	steel	Kentucky Electric, KY	Cs-137	1.3
1997	steel	Birmingham Steel, AL	Cs-137/Am-241	7 Bq/g
1997	steel	Bethlehem Steel, IN	Co-60	0.2
1998	aluminum	Southern Aluminum, AL	Th	unknown

Note: Table is compiled from database maintained by James Yuskis, CHP, Pennsylvania Dept. of Environmental Protection, 400 Waterfront Drive, Pittsburgh, PA, 15222-4745, USA.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Unshielded Radioactive Sources
Found in the US Public Domain**

Year	Location	Isotope	Quantity (GBq)
1992	Waste disposal site, Ohio	Ir-192	150
1994	Scrap yard, Kentucky	Cs-137	7.4
1994	Scrap yard, Illinois	Cs-137	14
1996	Scrap yard, California	Cs-137	0.37
1996	Scrap yard, Texas	Ir-192	1,500
1996	Incinerator, New York	Cs-137	2.8
1996	Foundry, Alabama	Unidentified	
1996	Scrap yard, West Virginia	Unidentified	
1997	Steel mill, Ohio	Cs-137	19
1997	Construction site, Pennsylvania	Cs-137	0.22
1997	Scrap yard, Pennsylvania	Am-241	3.7
1998	Scrap yard, Florida	Am-241/Cs-137	1.5/0.3
1999	Highway, Tennessee	Cs-137	0.3


**Radioactively Contaminated Products
Imported into the USA**

Product	Contaminant	Year Found	Origin
Steel & iron	Co-60	1984	Mexico
Steel	Co-60	1984	Taiwan, China
Steel	Co-60	1985	Brazil
Steel	Co-60	1988	Italy
Steel	Co-60	1991	India
Ferrophosphorus	Co-60	1993	Kazakhstan
Steel	Co-60	1994	Bulgaria
Furnace dust	Cs-137	1995	Canada
Lead	Pb-210	1996	Brazil
	Bi-210, Po-210		
Steel	Co-60	1998	Brazil

**Isotopes and Quantities
Selected for Increased
Regulatory Oversight**

(in US generally licensed devices)

Isotopes	Quantity (MBq)
Cs-137	370
Co-60	37
Sr-90	3.7
Transuramics	37



ภาคผนวก ง

ข้อมูลรายงานเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากวัสดุกำมั้นตรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table 5. Medical, Industrial and Research Radiation Sources

<i>Application</i>	<i>Radioisotope</i>	<i>Activity Level (Ci)</i>
Radioisotope Thermal Generators	^{90}Sr	30,000 -- 300,000
Radiotherapy	^{60}Co	1,350 -- 27,000
	^{137}Cs	13,500
Blood irradiation	^{137}Cs	50 -- 2700
Industrial irradiation	^{192}Ir	3 -- 250
Sterilization and Food Irradiation	^{60}Co	2,700 -- 11×10^6
	^{137}Cs	2,700 -- 11×10^6
Research Irradiators	^{60}Co	27 -- 27,000
	^{137}Cs	27 -- 27,000

Reference: [Ferguson, 2003]

Table 6. Medical, Industrial and Research Source Characteristics

<i>isotope</i>	<i>half-life</i>	<i>type of radiation</i>	<i>energy (keV)</i>
^{90}Sr	28.8 years	beta	546*
$\rightarrow ^{90}\text{Y}$	2.67 days	beta	2228*
^{137}Cs	30.1 years	bremss trahlung	continuous
		beta	1175*
^{192}Ir	74 days	gamma	662
		beta	669*
^{60}Co	5.3 years	gamma	296, 308, 316, 468
		beta	669*
		gamma	1173, 1332

* endpoint energy

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

ข้อมูลรายงานเกี่ยวกับโลหะที่ปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี ของ UNECE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Monitoring Interception and Managing Radioactive Contaminated Scrap Metal by the
 UNECE in Geneva (5-7 April 2004)

TABLE 3: Detection Probability of Cobalt-60 Sealed Point Sources in the Grapple		TABLE 4: Detectable Activities for Cobalt-60 Sealed Sources Buried under Different Depths of Scrap Metal (assumed scrap density = 60 lb/ft ³ [0.96 g/cm ³] of iron)	
Source Activity Ci (Bq)	Detection Probability (%)	Point Source Depth within Scrap, ft	Minimum Cobalt-60 Detectable Activity for the detection limit of 1 µR/h Ci (Bq)
>2.7 × 10 ⁻² (1 × 10 ⁹)	100	1	7.8 × 10 ⁻⁶ (2.9 × 10 ⁵)
>1.4 × 10 ⁻² (5 × 10 ⁸)	92	2	3.2 × 10 ⁻⁵ (1.2 × 10 ⁶)
>2.7 × 10 ⁻³ (1 × 10 ⁸)	80	3	1.6 × 10 ⁻⁴ (5.8 × 10 ⁶)
>1.4 × 10 ⁻³ (5 × 10 ⁷)	68	4	7.6 × 10 ⁻⁴ (2.8 × 10 ⁷)
>2.7 × 10 ⁻⁴ (1 × 10 ⁷)	52	5	3.8 × 10 ⁻³ (1.4 × 10 ⁸)
>1.4 × 10 ⁻⁴ (5 × 10 ⁶)	44	6	1.9 × 10 ⁻² (7.0 × 10 ⁸)
>2.7 × 10 ⁻⁵ (1 × 10 ⁶)	28	7	9.5 × 10 ⁻² (3.5 × 10 ⁹)
>1.4 × 10 ⁻⁵ (5 × 10 ⁵)	16	8	0.5 (1.8 × 10 ¹⁰)
>2.7 × 10 ⁻⁶ (1 × 10 ⁵)	12	9	2.5 (9.1 × 10 ¹⁰)
>1.4 × 10 ⁻⁶ (5 × 10 ⁴)	8	10	1.2 × 10 ¹ (4.4 × 10 ¹¹)
		11 (approximation)	5.9 × 10 ¹ (2.2 × 10 ¹²)
		12 (approximation)	3.0 × 10 ² (1.1 × 10 ¹³)

Report on the Improvement of the Management of Radiation Protection Aspects in the Recycling of Metal Scrap by the UNECE in Geneva 2002

Table 3.1. Exemption levels of some commonly encountered radionuclides

Radionuclide	Specific activity Bq/g	Total activity kBq
Cobalt 60	10	100
Iridium 192	10	10
Caesium 137	10	10
Radium 226	10	10
Uranium – natural	1	1
Americium 241	1	10

Table 3.2. Clearance levels of some commonly encountered radionuclides, recommended by a Group of Experts of the European Commission

Radionuclide	Recommended Clearance level Specific activity - Bq/g
Cobalt 60	0.1
Iridium 192	0.1
Caesium 137	1
Radium 226	0.01
Americium 241	0.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Monitoring Interception and Managing Radioactive Contaminated Scrap Metal by the UNECE in Geneva (5-7 April 2004)

TABLE 2: Lower Limits of Detectable Radioactive Material Quantities

Radionuclide	Point Source at varying distances from the detectors (grapple spherical geometry) Ci (Bq)	Uniformly Distributed Source (grapple spherical geometry) Ci/lb (Bq/g)	Point Source at varying distances from the detectors (hold rectangular geometry) Ci (Bq)	Uniformly Distributed Source (hold rectangular geometry) Ci/lb (Bq/g)
Cesium-137	9.1×10^{-6} to 6.5 (3.4×10^5 to 2.4×10^{11})	1.2×10^{-9} (0.1)	1 ft: 4.3×10^{-5} (1.6×10^6) 10 ft: 8.9×10^3 (3.3×10^{14})	1.0×10^{-9} (0.085)
Cobalt-60	1.2×10^{-5} to 2.7×10^{-2} (4.5×10^4 to 1×10^9)	2.3×10^{-10} (0.019)	1 ft: 7.8×10^{-6} (2.9×10^5) 10 ft: 1.2×10^1 (4.4×10^{11})	2.0×10^{-10} (0.016)
Iridium-192	2.1×10^{-5} to 5.4×10^1 (7.6×10^5 to 2×10^{12})	(NC)	1 ft: 4.9×10^{-6} (1.8×10^5) 10 ft: 6.8×10^4 (2.5×10^{15})	NC
Radium-226 + progeny	2.2×10^{-6} to 2.7×10^{-2} (8.3×10^4 to 1×10^9)	3.9×10^{-10} (0.032)	1 ft: 4.3×10^{-5} (1.6×10^6) 10 ft: 4.1 (1.5×10^{11})	3.3×10^{-10} (0.027)
Thorium-232 + progeny	1.6×10^{-6} to 1.0×10^{-2} (5.9×10^4 to 3.7×10^8)	2.9×10^{-10} (0.024)	1 ft: 1.0×10^{-5} (3.8×10^5) 10 ft: 7.8×10^{-1} (2.9×10^{10})	2.4×10^{-10} (0.020)
Uranium	(NC)	3.4×10^{-8} (2.76)	(NC)	2.9×10^{-8} (2.4)
Americium-241	(NC)	(NC)	3.0×10^{11} (1 ft: 1.1×10^{22})	(NC)

NC = Not Calculated. In the point source analysis uranium is not a realistic case and americium is not detectable. In the analysis for distributed sources, iridium and americium are not calculated because they are not associated with realistic cases.



ภาคผนวก ฉ

ระบบเฝ้าระวังตรวจวัดโลหะปนเปื้อนวัสดุกำมั้นต้งสีเชิงพาณิชย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



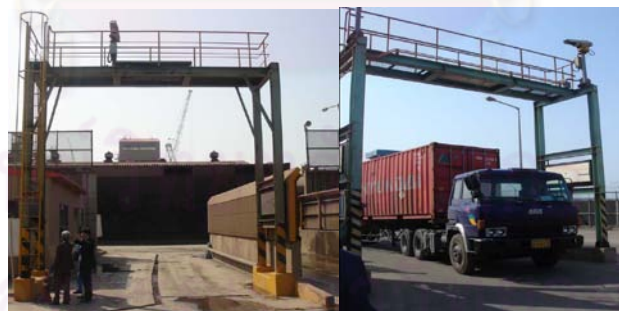
RadSentry™ Security Portals for SNM and Other Radionuclides



BICRON ASM -6000E Truck Monitoring Systems as Normally used for Scrap Monitoring



AT-900 Truck Monitoring Systems as Normally used for Scrap Monitoring.



Photographs of Korean Portal Monitoring System



By Managing Potentially Radioactive Scrap Metal (NCRP, 2002).



ภาคผนวก ช

ตัวอย่างโลหะปนเปื้อนวัสดุกัมมันตรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Contaminated Metal, 2547 ที่ ระยอง



Contaminate Metal, 2550 ที่ ชลบุรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววารุณี เตยโพธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2514 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยีเซรามิกส์) จากคณะอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏพระนคร ในปี พ.ศ. 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นิเวศวิทยเทคโนโลยี) ที่ภาควิชานิเวศวิทยเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2549 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์นิเวศวิทย สังกัดหน่วยความปลอดภัย สถาบันเทคโนโลยีนิเวศวิทยแห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย