

การหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาสำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ กัน  
โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS



นาย เจตรจันทร์ จันทรนุ้ย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

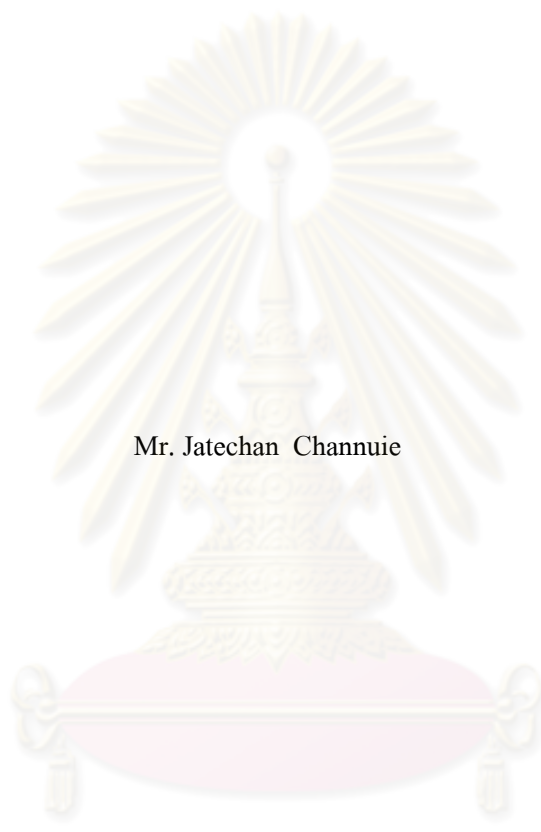
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF GAMMA-RAY DETECTION EFFICIENCY FOR SAMPLES  
WITH VARIOUS PHYSICAL GEOMETRIES USING ISOCS SOFTWARE



Mr. Jatechan Channuie

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาสำหรับตัวอย่าง  
ที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ กัน โดยใช้โปรแกรม  
สำเร็จรูป ISOCS

โดย

นายเจตกรจันทร์ จันทร์นุ้ย


สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

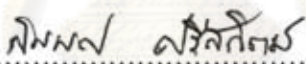
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทร์ขาว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศhirานuwat)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีstitich)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทร์ขาว)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรsumrit)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต สิริอุปถัมภ์)

เจตจันทร์ จันทรน้อย: การหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาสำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ กัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS. (DETERMINATION OF GAMMA-RAY DETECTION EFFICIENCY FOR SAMPLES WITH VARIOUS PHYSICAL GEOMETRIES USING ISOCS SOFTWARE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. นรศรี จันทน์ขาว, 52 หน้า

งานวิจัยนี้ได้จัดหาโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS (In-Situ Object Counting System) มาใช้เพื่อหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาแบบเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง สำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ กัน โดยได้เริ่มทำการทดลองวัดรังสีแกมมาพลังงาน 661.7 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จากต้นกำเนิดรังสีแกมมามาตรฐานซีเซียม-137 แบบจุดที่มีความแรงรังสี 37 กิโลแบคเคอเรล (1 ไมโครคูรี) ซึ่งผ่านการรับรองแล้ว ที่ระยะต่าง ๆ กัน เปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ต่อมาได้ทำการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 1460.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ของโพแทสเซียม-40 จากตัวอย่างผงโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ทราบความแรงรังสีแน่นอนแล้ว โดยบรรจุในภาชนะที่มีลักษณะเรขาคณิตต่าง ๆ กัน ผลการวิจัยพบว่า เมื่อนำประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด แบบแผ่นกลม แบบทรงกระบอก และแบบภาชนะ Marinelli beaker มาคำนวณหาความแรงรังสีจะมีความคลาดเคลื่อนจากความแรงรังสีจริงในช่วงระหว่างร้อยละ 2-6, 1-3, 3-7 และ 26-28 ตามลำดับ ในขั้นสุดท้ายนำโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มาใช้คำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะของตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมรูปทรงกลมและทรงแผ่นกลม (สารมาตรฐานแร่ยูเรเนียม) มีความแตกต่างจากความแรงรังสีจริงอยู่ร้อยละ -10.28 และ +4.95 ตามลำดับ และรูปทรง Rectangular plane (ผนังตึก-1) มีความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 เท่ากับ  $29.99 \pm 6.46$  Bq/kg,  $13.85 \pm 0.37$  Bq/kg,  $18.53 \pm 0.48$  Bq/kg และ  $196.20 \pm 2.56$  Bq/kg ตามลำดับ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าโปรแกรม ISOCS สามารถใช้ในการหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาได้โดยไม่ต้องมีต้นกำเนิดรังสีหรือสารมาตรฐานที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม สำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตอื่น ๆ ควรที่จะได้ทำการทดสอบก่อนเพื่อความถูกต้องของผลการวัด

ภาควิชา.....นิเวศวิทยาเทคโนโลยี.....

สาขาวิชา.....นิเวศวิทยาเทคโนโลยี.....

ปีการศึกษา.....2553.....

ลายมือชื่อนิสิต.....เจตจันทร์ จันทรน้อย.....

ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....นรศรี จันทน์ขาว.....

# #5270248421: MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : IN-SITU OBJECT COUNTING SYSTEM SOFTWARE / PHOTOPEAK  
EFFICIENCY / ACTIVITY / GAMMA-RAY/ GERMANIUM DETECTOR

JATECHAN CHANNUIE: DETERMINATION OF GAMMA-RAY  
DETECTION EFFICIENCY FOR SAMPLES WITH VARIOUS  
PHYSICAL GEOMETRIES USING ISOCS SOFTWARE. ADVISOR:  
ASSOC.PROF.NARES CHANKOW, 52 pp.

In this research, the In-Situ Object Counting System (ISOCS) software has been procured to be used for determining the full energy peak efficiencies of a high purity germanium (HPGe) detector in measurement of gamma-rays from samples having different physical geometries. Firstly, measurement of 661.7 keV gamma-rays was carried out using a certified standard  $^{137}\text{Cs}$  point source, having activity of 37 kBq (1  $\mu\text{Ci}$ ) placed at different distances, to determine the peak efficiencies in comparison with the values obtained from the ISOCS software. It was then used to determine the peak efficiencies in measurements of 1460.8 keV gamma-rays of  $^{40}\text{K}$  from KCl powder samples with accurately known activity contained in containers of various shapes and thicknesses. The results indicated that the activities using the efficiencies obtained from the ISOCS software for point, circular plane, cylindrical and Marinelli beaker sources were in agreement with the actual activities within 2-6%, 1-3%, 3-7% and 3-7% respectively. Finally, it was applied to determine the specific activities of environment samples for spherical and circular plane (standard uranium) with the actual activities about -10.28% and +4.95% respectively. The specific activities of rectangular plane (concrete wall-1) were determined and found for  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  content to be  $29.99 \pm 6.46$ ,  $13.85 \pm 0.37$ ,  $18.53 \pm 0.48$  and  $196.20 \pm 2.56$  Bq/kg respectively. The results indicated that the ISOCS software could be practically used in determining the peak efficiency in measurement of gamma-rays without using suitable standard sources or materials. However, further investigations may be needed for other physical geometries to obtain accurate measurements.

Department : Nuclear Technology

Field of Study : Nuclear Technology

Academic Year : 2010

Student's Signature Jatechan Channuie

Advisor's Signature Nares Chankow

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย สำหรับความรู้ และคำแนะนำที่มอบให้

ขอขอบคุณบริษัท Canberra ที่เป็นผู้ผลิตโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ขอขอบคุณ นักวิจัยประจำ ห้องปฏิบัติการวัดรังสี ของภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการวัด รังสี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา พี่ชาย และนิสิตปริญญาโท นิสิตปริญญาเอกของภาควิชา วิศวกรรมเทคโนโลยีทุกท่านที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน จนทำให้งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2. ทฤษฎี.....	5
2.1 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ.....	4
2.2 ชาติที่เป็นองค์ประกอบในสิ่งแวดล้อม.....	8
2.3 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี.....	10
2.4 การสลายตัวให้รังสีแกมมา.....	11
2.5 การลดทอนรังสีแกมมาเมื่อผ่านสสาร.....	12
2.6 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร.....	12
2.7 ระบบวิเคราะห์การวัดรังสีแกมมาสเปกโตรเมตรี.....	15
2.8 การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS.....	21
3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	28
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30

บทที่	หน้า
4. ผลการวิจัย.....	34
4.1 ผลการศึกษาการใช้งานและขีดจำกัดของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS.....	34
4.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด.....	34
4.1.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลม.....	34
4.1.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก.....	35
4.1.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบภาชนะ Marinelli beaker.....	36
4.2 ผลการทดลองการหาค่าความแรงรังสีของตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมโดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS .....	37
4.2.1 ตัวอย่างรูปทรงกลม.....	37
4.2.2 ตัวอย่างรูปทรงแผ่นกลม.....	37
4.2.3 ตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane.....	38
5. สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
รายการอ้างอิง.....	41
ภาคผนวก.....	42
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS.....	43
ภาคผนวก ข. สเปกตรัมรังสีแกมมา.....	48
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ.....	51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	52



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น ค่าครึ่งชีวิต และปริมาณที่พบในธรรมชาติ.....	5
2.2	การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมทอเรียม.....	6
2.3	การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม.....	7
2.4	การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมแอกทิเนียม.....	7
2.5	นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น ที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมการสลายตัว.....	8
4.1	ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงที่พลังงาน 661.7 keV ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด.....	34
4.2	ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงที่พลังงาน 1460.8 keV ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลมความหนาต่าง ๆ .....	35
4.3	ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงที่พลังงาน 1460.8 keV ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก.....	35
4.4	ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงที่พลังงาน 1460.8 keV ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบภาชนะ Marinelli beaker.....	36
4.5	ผลการเปรียบเทียบค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎี ของตัวอย่างรูปทรงกลม.....	37
4.6	ผลการเปรียบเทียบค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎี ของสารอ้างอิงมาตรฐาน.....	37
4.7	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และ โพแทสเซียม-40 ที่ได้จาก โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง ของสนามหญ้า.....	38
4.8	ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และ โพแทสเซียม-40 ที่ได้จาก โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง ของตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane .....	38

## สารบัญญภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS.....	2
2.1	แผนผังการสลายตัวของโพแทสเซียม-40.....	9
2.2	แผนผังการสลายตัวของซีเซียม-137.....	10
2.3	ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....	13
2.4	การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....	14
2.5	การเกิดเพอร์โพรดักชัน.....	15
2.6	แผนผังการจัดระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมา.....	15
2.7	นิยามของความสามารถในการแจกแจงพลังงาน.....	16
2.8	สเปกตรัมการวัดรังสี.....	18
2.9	Area element ในการคำนวณค่ามูมตัน.....	18
2.10	รังสีที่วัดจากต้นกำเนิดรังสีแบบจุด.....	19
2.11	รังสีที่วัดจากต้นกำเนิดรังสีแบบแผ่นกลมบาง.....	19
2.12	รังสีที่วัดจากต้นกำเนิดรังสีทรงกระบอก.....	20
2.13	โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS.....	21
2.14	เลือกรูปแบบของตัวอย่าง.....	22
2.15	ขั้นตอนการใส่ข้อมูล.....	22
2.16	หน้าจอยืนยันผลการใส่ข้อมูล.....	23
2.17	หน้าจอแสดงผล Edit environment conditions.....	23
2.18	หน้าจอแสดงผล Edit efficiency parameters for this geometry.....	24
2.19	หน้าจอแสดงผล Generate efficiency data point.....	24
2.20	การเปิดไฟล์ *.ECC.....	25
2.21	การเลือกไฟล์ *.ECC.....	25
2.22	การเลือกชนิดของ Efficiency.....	26
2.23	ผลการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS.....	26
2.24	ค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ ในรูปแบบของกราฟ.....	27
2.25	ค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ ในรูปแบบของตาราง....	27
3.1	ระบบการวัดรังสีแกมมาของบริษัท Canberra .....	29
3.2	หัววัดรังสี HPGe ของบริษัท Canberra .....	29

รูปที่	หน้า
3.3	ภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกใส..... 29
3.4	ภาชนะ Marinelli beaker ขนาด 0.5 ลิตร..... 29
3.5	ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 แบบจุด..... 30
3.6	ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลม..... 31
3.7	ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก..... 31
3.8	ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบภาชนะ Marinelli beaker..... 32
3.9	ระบบวัดรังสีแกมมาบริเวณสนามหญ้าหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย..... 33
3.10	ผนังตึก-1..... 33
3.11	ผนังตึก-2..... 33
4.1	การวัดรังสีแกมมาของภาชนะ Marinelli beaker ที่ความหนาต่าง ๆ..... 36


  
 ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

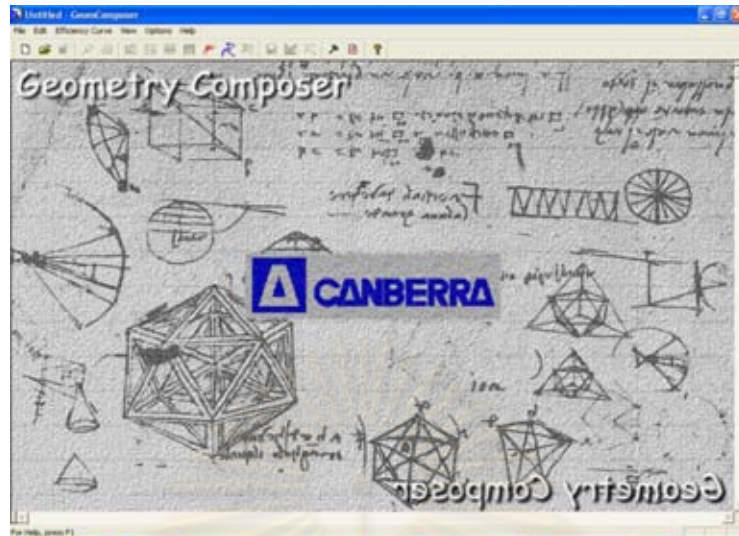
## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้ มีการใช้สารรังสีกันอย่างแพร่หลายเพื่อนำมาเป็นต้นกำเนิดรังสีในหลากหลายสาขา อาทิเช่น ด้านการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม ด้านอุตสาหกรรม ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านความมั่นคงปลอดภัย ด้านพลังงาน เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญให้มีการผลิตสารรังสีออกมาในหลากหลายรูปแบบตามความเหมาะสมกับการใช้งานในด้านนั้น ๆ เช่น ในงานวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนจากตัวอย่างในสิ่งแวดล้อม สินค้าส่งออก-นำเข้า อาหาร และผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นข้าว อาหารทะเลสด อาหารกระป๋อง หรือแม้แต่ลูกอม การวัดรังสีจากตัวอย่างเหล่านี้ต้องมีต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน (Standard source) หรือ สารอ้างอิงมาตรฐาน (Standard reference material, SRM) ที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่นำมาวัดรังสี ทั้งในแง่ของพลังงานของรังสีแกมมาและลักษณะทางเรขาคณิต ซึ่งสารมาตรฐานเหล่านี้มีราคาสูงและหลายไอโซโทปมีครึ่งชีวิตสั้น จึงต้องจัดซื้อมาทดแทนอยู่เป็นระยะ ๆ ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงมีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วยในการคำนวณประสิทธิภาพในการวัดรังสี ซึ่งสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องมีต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานหรือสารอ้างอิงมาตรฐาน ด้วยเหตุนี้ ห้องปฏิบัติการวัดรังสี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีได้จัดซื้อโปรแกรม ISOCS (In-Situ Object Counting System) [1-4] ที่สามารถใช้กับหัววัดรังสีแบบเจอร์มาเนียมความบริสุทธิ์สูง (High purity germanium, HPGe) ที่มีอยู่แล้ว จากบริษัท Canberra Industries Inc. โปรแกรมนี้ออกแบบมาเพื่อใช้หาประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมา ซึ่งสามารถใช้ได้กับรังสีแกมมาพลังงาน 45 keV-7 MeV โดยจำลองระบบการวัดรังสีทั้งระบบ อันได้แก่ จำลองรูปแบบของต้นกำเนิดรังสี วัสดุคูคตินรังสี หัววัดรังสี เป็นต้น โดยทั้งระบบจะอยู่บนพื้นฐานของ MCNP (Monte Carlo N-Particles)

อย่างไรก็ตาม การนำโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มาใช้โดยไม่คำนึงถึงค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากโปรแกรมนั้น อาจทำให้ทราบค่าความแรงรังสีของตัวอย่างที่ต้องการวัดคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบความถูกต้อง ก่อนที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งหากได้ผลเป็นที่น่าพอใจจะทำให้สามารถประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อสารอ้างอิงมาตรฐานได้ในอนาคต

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมา สำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ กัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS แล้วนำโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ไปใช้ในการหาค่าความแรงรังสีจากตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ โดยไม่ต้องอาศัยการเปรียบเทียบจากสารรังสีมาตรฐานที่มีลักษณะทางเรขาคณิตเหมือนกัน เพื่อให้ได้ค่าความแรงรังสีของตัวอย่างที่ถูกต้อง



รูปที่ 1.1 โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาสำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ กัน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้หัววัดรังสี HPGe เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS สำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ กัน

1.3.2 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ในการหาความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีและ/หรือตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมที่บรรจุของเหลว ซึ่งมีลักษณะทางเรขาคณิตต่าง ๆ กันดังนี้ แบบจุด แบบแผ่นกลม แบบทรงกระบอก และแบบภาชนะมารินลลิบีคเกอร์ (Marinelli beaker)

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการใช้งานและขีดจำกัดของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

1.4.2 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กำหนดประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างทางเรขาคณิตได้แก่ แบบจุด แบบแผ่นกลม แบบทรงกระบอก และแบบภาชนะ Marinelli beaker เปรียบเทียบกับค่าที่ถูกต้อง ผลการวัดและ/หรือจากการคำนวณโดยวิธีอื่น

1.4.3 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ในการหาความแรงรังสีของตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม

1.4.4 สรุปผลงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ในการคำนวณหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมา จากตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตต่างๆ โดยไม่ต้องอาศัยการปรับเทียบจากสารมาตรฐานที่มี ลักษณะทางเรขาคณิตเหมือนกันจึงทำให้ประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายและเวลา

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี 1999 R. Venkataraman, F. Bronson, V. Atrashkevich, M. Field และ B. M. Young [5] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Validation of insitu object counting system (ISOCS) mathematical efficiency calibration software การนำโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มาใช้เพื่อปรับเทียบค่าประสิทธิภาพพร้อมกับการ สร้างแบบจำลองหัววัดรังสีโดยใช้ MCNP ในแนวรัศมี 500 เมตร ที่ช่วงพลังงาน 50 keV–7 MeV โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ประกอบด้วย ชุดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถจำลองรูปร่างของ ตัวอย่างที่แตกต่างกัน แล้วนำตัวอย่างเหล่านั้นมาคำนวณหาประสิทธิภาพ โดยปรับเทียบกับค่า ประสิทธิภาพอ้างอิงกับค่าที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ของตัวอย่างรูปแบบเดียวกัน การ ทดสอบแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ การทดสอบภาคสนาม การทดสอบในห้องปฏิบัติการ การทดสอบ ตัวอย่างโดยมีคอลลิเมเตอร์ ข้อมูลของตัวอย่างแต่ละรูปแบบแบ่งออกเป็น 2 ช่วงพลังงาน คือ พลังงานต่ำ (<150 keV) และพลังงานสูง (>150 keV) ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนเฉลี่ยของค่า ประสิทธิภาพที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลองเป็นดังนี้ การ ทดสอบภาคสนาม มีค่า  $1.01 \pm 0.007$  การทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีค่า  $0.97 \pm 0.007$  และการทดสอบ ตัวอย่างโดยมีคอลลิเมเตอร์ มีค่า  $1.09 \pm 0.014$  ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการทดสอบภาคสนาม ในห้องปฏิบัติการ และตัวอย่างที่มีคอลลิเม-เตอร์ คือ 6.5%, 5.4 % และ 10.5% ตามลำดับ

1.6.2 ปี 2004 R. Venkataraman, F. Bronson, V. Atrashkevich, M. Field และ B. M. Young [6] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Improved detector response characterization method in ISOCS and LabSOCS โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS และ LabSOCS ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Canberra และมีการนำไปใช้กัน อย่างแพร่หลายทางด้าน Gamma-spectrometry โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS เข้ามาเพื่อหา ประสิทธิภาพการตรวจวัดจากโฟโตพีคของหัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง HPGe ในช่วงพลังงาน 45 keV-7 MeV โดยมีระยะทางระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสีมากที่สุดถึง 500 เมตร

1.6.3 ปี 2009 Alojz Slaninka, Ondrej Slavik และ Vladimir Necas [7] ได้ทำการศึกษาเรื่อง Uncertainty analysis of in-situ gamma spectrometry measurements of air cleaning filter cartridge sand 200L drums by a HPGe detector ความคลาดเคลื่อนของความแรงรังสีจำเพาะของไอโซโทปรังสีในถังเก็บกากกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ความจุ 200 ลิตร และเครื่องกรองอากาศจากระบบอากาศภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ซึ่งพิจารณาประสิทธิภาพการตรวจวัดจากโฟโตพีค การหาค่าประสิทธิภาพการวัดรังสีของหัววัดรังสีแกมมาแบบสารกึ่งตัวนำเจอร์มาเนียมบริสุทธิ์สูง HPGe โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS และ LabSOCS และปัจจัยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีคือรูปแบบของการวัดรังสี ความเบี่ยงเบนจากรูปแบบมาตรฐาน ลักษณะทางสิ่งแวดล้อม คุณสมบัติของตัวอย่าง เช่น ความหนาแน่น ส่วนประกอบของวัสดุ และการใช้คอลลิเมเตอร์ จากการทดลองพบว่าความคลาดเคลื่อนของความแรงรังสีจำเพาะของซีเซียม-137 ในถังเก็บกากกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ความจุ 200 ลิตร และเครื่องกรองอากาศจากระบบอากาศภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ มีค่าเท่ากับ 15%



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติ (Natural radiation source)

เป็นแหล่งกำเนิดรังสีที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัวเรา ซึ่งมนุษย์หลีกเลี่ยงหรือควบคุมไม่ได้ แหล่งกำเนิดรังสีในธรรมชาติมาจากธาตุกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นมาพร้อมกับการกำเนิดโลก โดยที่นิวไคลด์กัมมันตรังสีมีมากกว่า 60 ชนิดที่พบในธรรมชาติ โดยปรากฏในทุก ๆ แห่ง เช่นในอากาศ น้ำ ดิน หรือแม้แต่ในร่างกายของคนเรา ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงจากกัมมันตภาพรังสีในธรรมชาติได้เลย นิวไคลด์กัมมันตรังสีในธรรมชาติจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1.1 นิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมกับโลก (Primordial radionuclide) เป็นองค์ประกอบของหิน ดิน แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งประกอบกันเป็นเปลือกโลก ส่วนใหญ่เป็นนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่มีค่าครึ่งชีวิต (Half-life) ยาวมาก บางนิวไคลด์อาจมีค่าครึ่งชีวิตยาวถึงหลายพันล้านปี จึงยังคงมีอยู่จนถึงทุกวันนี้ได้ ตัวอย่างนิวไคลด์ประเภทนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น ค่าครึ่งชีวิต และปริมาณที่พบในธรรมชาติ [5]

นิวไคลด์	ค่าครึ่งชีวิต	ปริมาณในธรรมชาติ
$^{235}\text{U}$	$7.04 \times 10^8$ ปี	0.72% ของธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ
$^{238}\text{U}$	$4.47 \times 10^9$ ปี	99.2745% ของธาตุยูเรเนียมทั้งหมดในธรรมชาติ ในหินทั่วไปมียูเรเนียมเฉลี่ย 0.5-4.7 ppm
$^{232}\text{Th}$	$1.41 \times 10^{10}$ ปี	1.6 - 20 ppm ในหินทั่วไปและเฉลี่ย 10.7 ppm ในเปลือกโลก
$^{226}\text{Ra}$	$1.60 \times 10^3$ ปี	0.42 pCi/g ในหินปูนและ 1.3 pCi/g ในหินอัคนี
$^{222}\text{Rn}$	3.82 วัน	ก๊าซเฉื่อย 0.016 pCi/L - 0.75 pCi/L เฉลี่ยทั้งปี จากอากาศในสหรัฐอเมริกา
$^{40}\text{K}$	$1.277 \times 10^9$ ปี	1-30 pCi/g (0.037-1.1 Bq/g) ในดิน

นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้นที่เกิดขึ้นมาพร้อมกับการกำเนิดโลกนี้ มักมีการสลายตัวต่อเนื่องเป็นอนุกรม ซึ่งอนุกรมของนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมโลก มีดังนี้

2.1.1.1 อนุกรมทอเรียม (Thorium series, 4n series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้ คือ ทอเรียม-232 มีค่าครึ่งชีวิต  $1.41 \times 10^{10}$  ปี สลายตัวต่อเนื่องจนได้นิวไคลด์ที่เสถียรคือ ตะกั่ว-208 ธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขมวลที่หารด้วย 4 ลงตัว บางครั้งจึงเรียกอนุกรมชุดนี้ว่า 4n



ตารางที่ 2.2 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมทอเรียม [6]

นิวไคลด์	ค่าครึ่งชีวิต	ชนิดของรังสี	พลังงานรังสีแกมมา (โอกาสในการเกิด %)
<sup>232</sup> Th	$1.405 \times 10^{10}$ ปี	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา
<sup>228</sup> Ra	5.75 ปี	เบตาลบ	ไม่มีรังสีแกมมา
<sup>228</sup> Ac	6.15 ชั่วโมง	เบตาลบ	93.4(5.6); 338.4(12.4); 463.1(4.6); 794.8(4.6); 911.2(29) ; 964.6(5.8); 969.0(17.4)
<sup>228</sup> Th	1.913 ปี	แอลฟา	84.4(1.3)
<sup>224</sup> Ra	3.66 วัน	แอลฟา	240.8(3.9)
<sup>220</sup> Rn	55.6 วินาที	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา
<sup>216</sup> Po	0.145 วินาที	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา
<sup>212</sup> Pb	10.64 ชั่วโมง	เบตาลบ	238.6(43.6)
<sup>212</sup> Bi	60.55 นาที	เบตาลบ (64.0 %), แอลฟา (35.9 %)	39.8(1.1); 727.2(6.7) ; 785.5(1.1); 1620.7(1.5)
<sup>212</sup> Po	$2.99 \times 10^{-7}$ วินาที	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา
<sup>208</sup> Tl	3.05 นาที	เบตาลบ	277.3(6.8); 510.6(21.6); 583.0(86); 860.3(12.0); 2614.4(99.8)

2.1.1.2 อนุกรมยูเรเนียม (Uranium series,  $4n+2$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ ยูเรเนียม-238 มีค่าครึ่งชีวิต  $4.47 \times 10^9$  ปี สลายตัวต่อเนื่องจนได้ธาตุที่เสถียรคือ ตะกั่ว-206 ธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้ มีเลขมวลที่หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 2

ตารางที่ 2.3 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม [6]

นิวไคลด์	ค่าครึ่งชีวิต	ชนิดของรังสี	พลังงานรังสีแกมมา (โอกาสในการเกิด %)
<sup>238</sup> U	$4.468 \times 10^9$ ปี	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา (<1)
<sup>234</sup> Th	24.10 วัน	เบตาลบ	63.3(3.8); 92.4(2.7); 92.8(2.7)
<sup>234m</sup> Pa	1.17 นาที	เบตาลบ(99.8%)	ไม่มีรังสีแกมมา (<1)
<sup>234</sup> Pa	6.7 ชั่วโมง	เบตาลบ	131.3(20); 569.5(10.7); 883.2(12.0); 925.7(11)
<sup>234</sup> U	$2.455 \times 10^5$ ปี	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา (<1)
<sup>230</sup> Th	$7.538 \times 10^4$ ปี	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา (<1)
<sup>226</sup> Ra	1,600 ปี	แอลฟา	186.1(3.3)

ตารางที่ 2.3 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมยูเรเนียม (ต่อ)

นิวไคลด์	ค่าครึ่งชีวิต	ชนิดของรังสี	พลังงานรังสีแกมมา (โอกาสในการเกิด %)
$^{222}\text{Rn}$	3.82 วัน	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา
$^{218}\text{Po}$	3.10 นาที	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา
$^{214}\text{Pb}$	26.8 นาที	เบตาลบ	241.9(7.5); 295.1(19.2); 351.9(37.1)
$^{214}\text{Bi}$	19.9 นาที	เบตาลบ	609.3(46.1); 1120.3(15.0); 1238.1(5.9); 1764.5(15.9)
$^{214}\text{Po}$	$164.3 \times 10^{-6}$ วินาที	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา (<1)
$^{210}\text{Pb}$	22.3 ปี	เบตาลบ	46.5(4.1)
$^{210}\text{Bi}$	5.013 วัน	เบตาลบ	ไม่มีรังสีแกมมา
$^{210}\text{Po}$	138.38 วัน	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา

2.1.1.3 อนุกรมแอกทิเนียม (Actinium series,  $4n+3$  series) ธาตุกัมมันตรังสีเริ่มต้นในอนุกรมนี้คือ ยูเรเนียม-235 มีค่าครึ่งชีวิต  $7.04 \times 10^8$  ปี สลายตัวต่อเนื่องจนได้ธาตุที่เสถียรคือ ตะกั่ว-207 ธาตุกัมมันตรังสีในอนุกรมชุดนี้มีเลขมวลที่หารด้วย 4 แล้วเหลือเศษ 3 การสลายตัวของนิวไคลด์ในอนุกรมนี้ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมแอกทิเนียม [6]

นิวไคลด์	ค่าครึ่งชีวิต	ชนิดของรังสี	พลังงานรังสีแกมมา (โอกาสในการเกิด %)
$^{235}\text{U}$	$7.038 \times 10^8$ ปี	แอลฟา	143.8(10.5); 163.4(4.7); 185.7(53); 205.3(4.7)
$^{231}\text{Th}$	25.52 ชั่วโมง	เบตาลบ	84.2(6.6)
$^{231}\text{Pa}$	$3.276 \times 10^4$ ปี	แอลฟา	283.7(1.6); 300.1(2.4); 330.1(1.3)
$^{227}\text{Ac}$	21.773 ปี	แอลฟา (1.38%), เบตาลบ (98.62%)	ไม่มีรังสีแกมมา (<1) ไม่มีรังสีแกมมา (<1)
$^{227}\text{Th}$	18.72 วัน	แอลฟา	50.1(8.5); 236.0(11.2); 256.2(6.7)
$^{223}\text{Fr}$	21.8 นาที	เบตาลบ	50.1(33); 79.7(8.9); 85.4(2.4); 88.5(4.0); 99.9 (1.4); 205.0(11.1); 234.8(3.7)

ตารางที่ 2.4 การสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีในอนุกรมเอกทีเนียม (ต่อ)

นิวไคลด์	ค่าครึ่งชีวิต	ชนิดของรังสี	พลังงานรังสีแกมมา (โอกาสในการเกิด %)
<sup>223</sup> Ra	11.435 วัน	แอลฟา	122.3(1.2); 144.2(3.3); 154.2(5.6); 269.4(13.6); 323.9(3.9); 338.3(2.8); 444.9(1.3)
<sup>219</sup> Rn	$1.781 \times 10^{-3}$ วินาที	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา (< 0.1)
<sup>215</sup> Po	3.10 นาที	แอลฟา	ไม่มีรังสีแกมมา
<sup>211</sup> Pb	36.1 นาที	เบตาลบ	404.9(3.8); 427.0(1.7); 831.9(3.8)
<sup>211</sup> Bi	2.14 นาที	แอลฟา	350.1(12.8)

นอกจากนี้ยังมีนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมโลก (Primordial radionuclide) ที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมใดที่กล่าวมาและไม่ได้มีการสลายตัวต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ ซึ่งธาตุเหล่านี้มีจำนวนไม่มากนัก ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 นิวไคลด์กัมมันตรังสีเริ่มต้น ที่ไม่ได้อยู่ในอนุกรมการสลายตัว

นิวไคลด์	ค่าครึ่งชีวิต	ชนิดของรังสี	พลังงานรังสีแกมมา(โอกาสในการเกิด %)
<sup>40</sup> K	$1.277 \times 10^9$ ปี	เบตาบวก	1460.8(10.7)

2.1.2 นิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีคอสมิก (Cosmogenic radionuclide) นิวไคลด์กัมมันตรังสีจากรังสีประเภทนี้เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีคอสมิกที่ส่งผ่านมาจากนอกโลก (Extra-terrestrial origin) เข้ามาทำปฏิกิริยากับนิวไคลด์ต่าง ๆ ในบรรยากาศของโลก โดยทั่วไปนิวไคลด์ประเภทนี้มีค่าครึ่งชีวิตยาวแต่ มักจะสั้นกว่าพวกนิวไคลด์กัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นพร้อมโลก

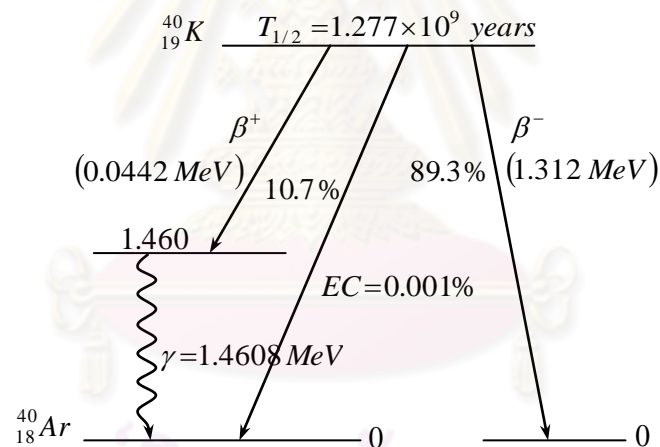
## 2.2 ธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ธาตุกัมมันตรังสีในสิ่งแวดล้อมโดยวิธีแกมมาสเปกโตรเมตรี ธาตุที่ได้รับความสนใจจะเป็นธาตุโพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติอยู่แล้ว และธาตุซีเซียมที่เกิดจากฝุ่นกัมมันตรังสี (Fall out) ที่เป็นผลมาจากระเบิดนิวเคลียร์หรืออุบัติเหตุทางรังสี ซึ่งธาตุทั้งสองดังกล่าวข้างต้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิจัยต่าง ๆ ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม ทางด้านการเกษตร ทางด้านการแพทย์ ตัวอย่างเช่น ธาตุโพแทสเซียมซึ่งเป็นแหล่งสารกัมมันตรังสีที่มีปริมาณมากที่สุดในร่างกายและมีการปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงานสูง และธาตุซีเซียมเป็นสารกัมมันตรังสีที่มนุษย์สร้างขึ้น หากได้รับเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าจะผ่านระบบทางเดินอาหารหรือระบบทางเดินหายใจ สารกัมมันตรังสี

จะค่อย ๆ กระจายตัวไปในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้เช่นกัน โดยธาตุโพแทสเซียม และซีเซียม มีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

### 2.2.1 โพแทสเซียม (K)

ธาตุโพแทสเซียมมีเลขอะตอมเท่ากับ 19 น้ำหนักอะตอม 39.098 amu มีความหนาแน่น 0.89 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง มีไอโซโทปทั้งหมด 17 ไอโซโทป โดยมี 3 ไอโซโทปที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ คือ โพแทสเซียม-39 (93.3%), โพแทสเซียม-40 (0.012%) และโพแทสเซียม-41 (6.7%) ธาตุกัมมันตรังสีโพแทสเซียม-40 มีค่าครึ่งชีวิต  $1.277 \times 10^9$  ปี และสลายตัวให้ธาตุอาร์กอน-40 (11.2%) โดยวิธีการจับอิเล็กตรอน (Electron capture) และการปลดปล่อยอนุภาคโพสิตรอน นอกจากนี้ธาตุอาร์กอน-40 แล้วธาตุกัมมันตรังสีโพแทสเซียม-40 ยังสลายตัวได้ธาตุที่เสถียรอีกธาตุหนึ่งคือแคลเซียม-40 (88.8%) โดยการสลายให้รังสีเบตา การสลายตัวตามธรรมชาติของโพแทสเซียม-40 เป็นอาร์กอน-40 มีประโยชน์ที่สำคัญในการคำนวณหาอายุของหินและเปลือกโลก โดยวิธีการคำนวณนั้นอาศัยหลักการสลายของโพแทสเซียม-40 เป็น อาร์กอน-40 (K-Ar dating method)

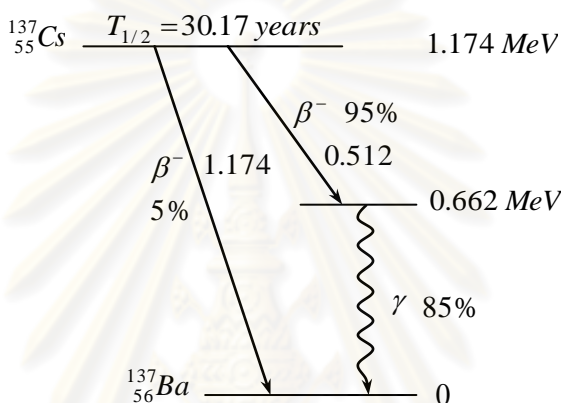


รูปที่ 2.1 แผนผังการสลายตัวของโพแทสเซียม-40 [6]

### 2.2.2 ซีเซียม (Cs)

ธาตุซีเซียมมีเลขอะตอมเท่ากับ 55 น้ำหนักอะตอม 132.905 amu มีความหนาแน่น 1.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง มีไอโซโทปทั้งหมด 39 ไอโซโทป โดยมวลอะตอมของไอโซโทปเหล่านี้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 112-151 amu ถึงแม้ว่าธาตุซีเซียมจะมีจำนวนไอโซโทปมาก แต่มีเพียงไอโซโทปเดียวที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ คือซีเซียม-133 ซึ่งเป็นธาตุที่เสถียร ส่วนไอโซโทปอื่น ๆ นั้นจะมีค่าครึ่งชีวิตการสลายตัวแตกต่างกันออกไปตั้งแต่เป็นปีจนถึงวินาที ซีเซียม-137 เป็นไอโซโทปปรังสีที่รู้จักกันดี เนื่องจากสามารถศึกษาวิจัยและใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง

ซีเซียม-137 เป็นไอโซโทปรังสีที่ได้จากปฏิกิริยาฟิชชัน โดยเกิดขึ้นถึงร้อยละ 6 จากปฏิกิริยาฟิชชันของยูเรเนียม-238 มีค่าครึ่งชีวิต 30.17 ปี สลายตัวให้รังสีเบตาพลังงานสูงสุด 0.518 MeV และให้รังสีแกมมาพลังงาน 661.7 MeV ซีเซียม-137 ถูกผลิตขึ้นเพื่อใช้ในอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ ใช้ในการศึกษาและวิจัยทางด้านอวกาศวิทยา ใช้ในการเปรียบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดรังสีต่าง ๆ นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์ในการบำบัดรักษาโรคมะเร็ง ในด้านอุตสาหกรรมซีเซียม-137 ถูกใช้เป็นอุปกรณ์วัดการไหลของของเหลวผ่านท่อ และใช้ในการวัดความหนาของวัสดุ เช่น กระดาษไม้ แผ่นเหล็กบาง ๆ เป็นต้น ในด้านสิ่งแวดล้อมซีเซียม-137 สามารถเป็นตัวชี้บอกเวลาได้ โดยดูจากปริมาณธาตุกัมมันตรังสีซีเซียม-137 ที่ถูกสะสมในชั้นดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ



รูปที่ 2.2 แผนผังการสลายตัวของซีเซียม-137 [6]

### 2.3 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารกัมมันตรังสีชนิดนั้น แต่ละนิวเคลียสในสารกัมมันตรังสีมีโอกาสที่สลายตัวต่อหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากัน

อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีต่อเวลาเรียกว่า “กัมมันตภาพหรือความแรงของสารกัมมันตรังสี (Activity)” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$A(t) = \frac{dN(t)}{dt} \tag{2.1}$$

เมื่อ  $A(t)$  คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสีเมื่อเวลา  $t$  ใด ๆ

$N(t)$  คือ จำนวนอะตอมเมื่อเวลา  $t$  ใด ๆ

$t$  คือ เวลาที่สารกัมมันตรังสีสลายตัว

#### 2.3.1 สมการการสลายตัว (Decay equation)

สำหรับความแรงของสารกัมมันตรังสีที่ปรากฏ เมื่อเวลาผ่านไป  $t$  เขียนเป็นสมการได้

ดังนี้

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

เมื่อ  $A_0$  คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสีเมื่อเริ่มพิจารณา  $t = 0$

$A(t)$  คือ ความแรงของสารกัมมันตรังสีเมื่อเวลา  $t$

$\lambda$  คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว (Decay constant)

เมื่อสารกัมมันตรังสีเดิมสลายตัวไปโดยการปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมานั้น ความแรงของสารกัมมันตรังสีจะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอะตอมที่สลายตัวได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ดังสมการ

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

และสมการ (2.2) สามารถเขียนได้ว่า

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

### 2.3.2 ค่าครึ่งชีวิต (Half-life : $T_{1/2}$ )

ครึ่งชีวิตหมายถึง เวลาที่อะตอมของสารกัมมันตรังสีใช้ในการสลายตัว เพื่อให้ปริมาณเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม

ดังนั้นจำนวนอะตอมเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ 1 ครึ่งชีวิต มีค่าเท่ากับ

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

จากสมการ (2.4) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} N_0 &= N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \\ \ln 2 &= \lambda T_{1/2} \\ T_{1/2} &= \frac{0.693}{\lambda} \end{aligned} \quad (2.5)$$

## 2.4 การสลายตัวให้รังสีแกมมา (Gamma-ray decay)

การสลายตัวให้รังสีแกมมา เกิดขึ้นหลังจากการสลายตัวให้รังสีหรืออนุภาคอื่น ๆ แล้ว หากนิวไคลด์ตกค้างอยู่ในสถานะกระตุ้น นิวไคลด์นั้นจะต้องปรับตัวเข้าสู่สถานะพื้น โดยการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า นั่นก็คือ รังสีแกมมาหรือโฟตอน โดยพลังงานและความถี่ของรังสีแกมมามีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$hf = |E_f - E_i| \quad (2.6)$$

- เมื่อ  $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์  
 $f$  คือ ความถี่ของรังสีแกมมา  
 $E_i$  คือ พลังงานเริ่มต้น  
 $E_f$  คือ พลังงานสุดท้าย

การสลายตัวให้รังสีแกมมาไม่มีผลต่อเลขมวล และเลขอะตอมของนิวไคลด์ก่อนและหลังการสลายตัวแต่มีผลให้ค่าพลังงานลดลง นิวไคลด์แม่และนิวไคลด์ลูกจึงเป็นไอโซเมอร์กัน อาจเรียกการสลายตัวให้รังสีแกมมาได้ว่า “การเปลี่ยนแปลงไอโซเมอร์ริก (Isomeric transition)”

## 2.5 การลดทอนรังสีแกมมาเมื่อผ่านสสาร

การดูดกลืนรังสีแกมมาเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสสารทำให้ความเข้มของรังสีลดลง กำหนดให้ลำรังสีแกมมาความเข้ม  $I$  ตกกระทบบนแผ่นที่มีความหนา  $x$

ความเข้มของรังสีแกมมาเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกับความหนา ความเข้มของรังสีแกมมา และคุณสมบัติของสสารที่จะดูดกลืนรังสีที่พลังงานนั้น เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\mu$  คือ สัมประสิทธิ์ของการลดทอนเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient)

## 2.6 อันตรกิริยาของรังสีแกมมากับสสาร (Interaction of gamma ray with matter)

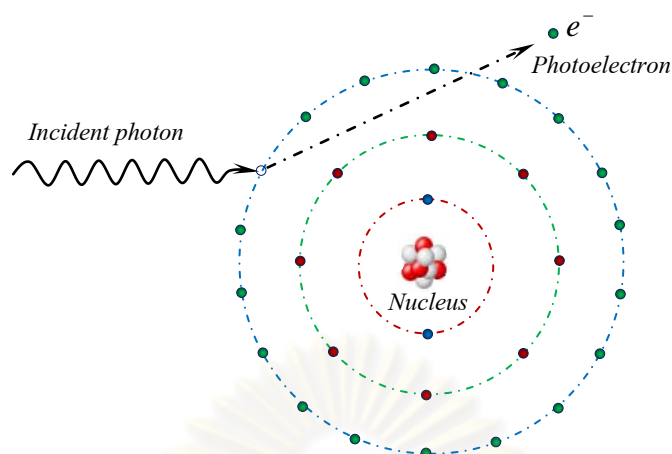
รังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเคลื่อนที่เข้ามาในหัววัด จะเกิดอันตรกิริยากับอะตอม โดยรูปแบบของการเกิดอันตรกิริยามีหลายแบบขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีแกมมา ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 3 แบบ ที่มีผลและมีส่วนนำไปใช้ประโยชน์ทางการวัดรังสี ดังนี้

### 2.6.1 ปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect)

กระบวนการที่โฟตอนเกิดอันตรกิริยากับอะตอมและมีการถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้กับอิเล็กตรอนที่วิ่งรอบนิวเคลียสของอะตอม ทำให้อิเล็กตรอนตัวนั้นหลุดออกไปภายนอกอะตอม เรียกว่า “โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron)” โดยที่พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอน ( $E_e$ ) มีค่าเท่ากับผลต่างของพลังงานของรังสีแกมมา ( $hf$ ) กับพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนขณะอยู่ที่วงรอบนิวเคลียส ( $E_b$ ) ดังสมการ

$$E_e = hf - E_b \quad (2.8)$$

- เมื่อ  $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant)  
 $f$  คือ ความถี่ของรังสีแกมมา



รูปที่ 2.3 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก

โอกาสในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริก ( $\tau$ ) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\tau \cong \text{constant} \times \frac{Z^n}{E_\gamma^{3.5}} \quad (2.9)$$

#### 2.6.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering)

เป็นกระบวนการที่โฟตอนเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอน โดยโฟตอนวิ่งชนอิเล็กตรอนที่โคจรอยู่รอบ ๆ นิวเคลียสของอะตอมแบบยืดหยุ่น แล้วถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนตัวนั้น ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจรไปในทิศทางทำมุม  $\phi$  กับทิศทางการเคลื่อนที่เดิมของโฟตอน โดยอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปนั้นเรียกว่า (Compton electron หรือ Recoil electron) ส่วนโฟตอนจะมีพลังงานลดลงและเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ไปโดยทำมุม  $\theta$  กับทิศทางเดิม เขียนสมการได้ดังนี้

$$hf' = \frac{hf}{1 + \left(\frac{hf}{m_0c^2}\right)(1 - \cos \theta)} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $hf$  คือ พลังงานตกกระทบของรังสีแกมมา

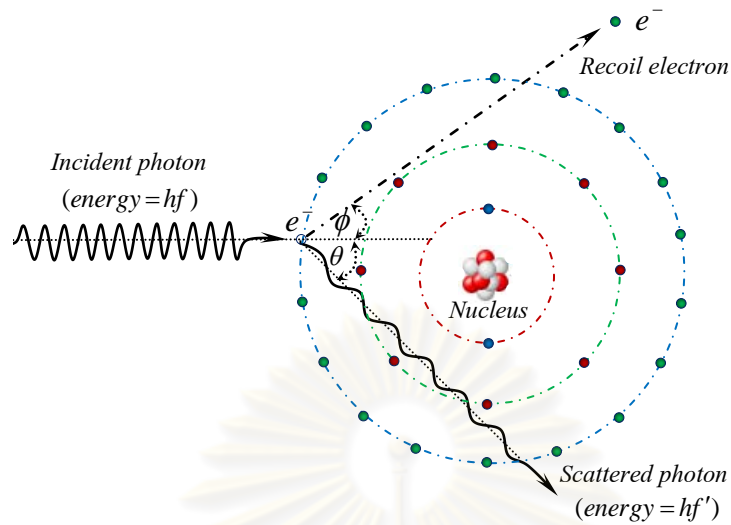
$hf'$  คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิงออกมา

$m_0$  คือ มวลนิ่งของอิเล็กตรอน

$\theta$  คือ มุมที่รังสีแกมมาเบนไปจากแนวเดิม

$c$  คือ ความเร็วแสงในสุญญากาศ





รูปที่ 2.4 การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

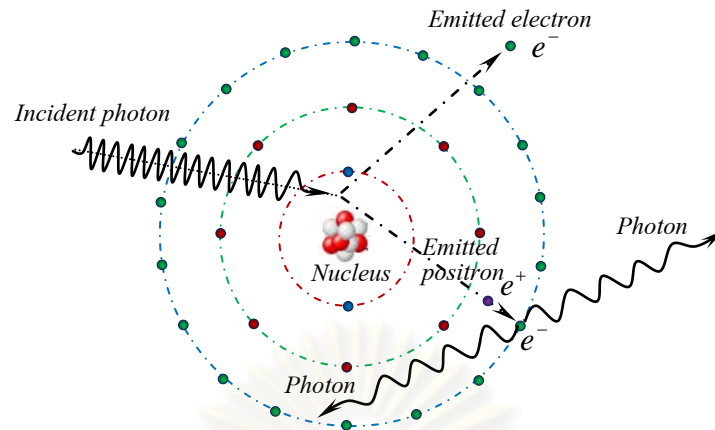
โอกาสในการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตัน ( $\tau$ ) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\tau \cong \text{constant} \times \left( \frac{Z}{E} \right) \quad (2.11)$$

### 2.6.3 การเกิดแพร์โพรดักชัน (Pair production)

เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนที่ตกกระทบมีพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับ 1.022 MeV วิ่งเข้าใกล้นิวเคลียส ในกระบวนการนี้ พลังงานของโฟตอนจะถูกดูดกลืนอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดเป็นคู่อิเล็กตรอน คือ โพสิตรอนและอิเล็กตรอนขึ้นแทน พลังงานที่ใช้ในการเกิดโพสิตรอนและอิเล็กตรอนแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ 0.511 MeV ส่วนพลังงานที่เหลือจะกลายเป็นพลังงานจลน์ของโพสิตรอนและอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเสถียร แต่โพสิตรอนที่เกิดขึ้นจะมีอายุสั้น เมื่อสูญเสียพลังงานจลน์หมดจะรวมกับอิเล็กตรอน (ซึ่งมีอยู่ทั่วไป) กลายเป็นรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 0.511 MeV จำนวนสองโฟตอนวิ่งในทิศทางตรงกันข้ามกันกระบวนการนี้เรียกว่า “แอนนิฮิเลชัน (Annihilation)” โอกาสในการเกิดอออนคู่สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\tau \cong \text{constant} \times Z^2 (E - 1.02) \quad (2.12)$$

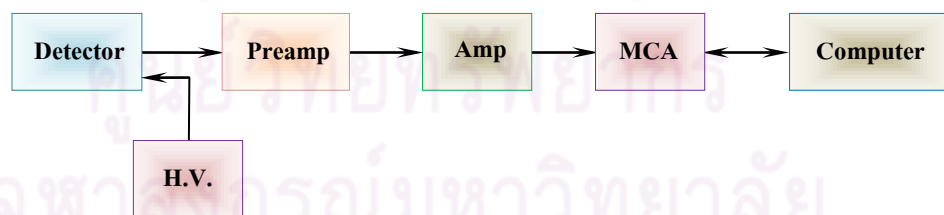


รูปที่ 2.5 การเกิดเพอร์โพร์คชัน

## 2.7 ระบบวิเคราะห์การวัดรังสีแกมมาสเปกโตรเมตรี

### 2.7.1 ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา

สำหรับระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมาในการทดลองนี้ จะใช้หัววัดรังสี HPGe ซึ่งเป็นหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) ระบบวิเคราะห์รังสีแกมมา โดยทั่วไปจะประกอบด้วย หัววัดรังสี (Detector) และเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (MCA) โดยหัววัดจะต่ออยู่กับแอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณและมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High-Voltage) เพื่อจ่ายกระแสให้กับหัววัดรังสี และเมื่อมีรังสีแกมมาผ่านเข้ามาทำอันตรกิริยากับหัววัด ได้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นทำการขยายสัญญาณและเข้าเครื่องตรวจนับ (Counter) ซึ่งขนาดของสัญญาณขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนในหัววัด



รูปที่ 2.6 แผนผังการจัดระบบการวิเคราะห์รังสีแกมมา

### 2.7.2 ความสามารถในการแยกแยะพลังงาน (Energy resolution)

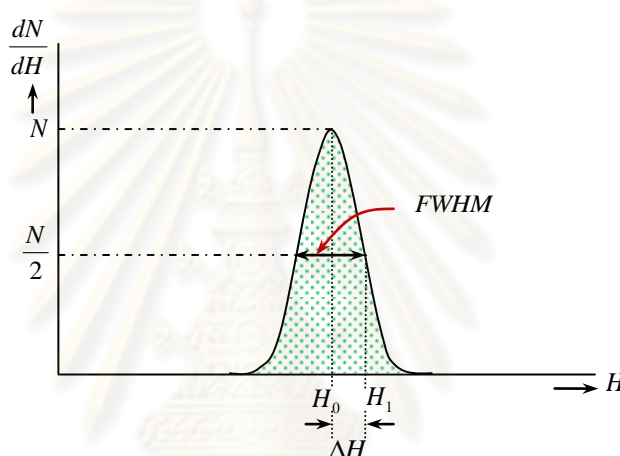
คุณสมบัติที่สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพของหัววัดรังสีในการวิเคราะห์พลังงาน คือ ความสามารถในการแยกพลังงานของตำแหน่งพีคพลังงาน 2 พีคที่อยู่ใกล้กัน ความสามารถในการแยกพลังงานของหัววัดรังสีแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน แต่ความแตกต่างกันมากน้อยเท่าไรนั้น จำเป็นต้องมีการบ่งบอกที่มาตรฐานเดียวกัน จึงได้มีการให้นิยามของการวัดความสามารถในการแยก

พลังงานจากฟิสิกของสเปกตรัมไว้ด้วยค่า FWHM (Full Width at Half Maximum) ซึ่งหมายถึงความกว้างของพีค ณ ตำแหน่งที่จำนวนนับมีค่าครึ่งหนึ่ง ดังรูปที่ 2.7 คือบริเวณจุดตัดของค่านับที่  $N/2$  กับเส้นกราฟ  $dN/dH$  และสมการของความสามารถในการแยกแยะพลังงานเขียนได้เป็น

$$\text{Resolution } (R) = \frac{FWHM}{H_0} = \frac{\Delta E}{E} \quad (2.13)$$

เมื่อ  $FWHM$  คือ ความกว้างของการกระจายค่าความสูงของพัลส์บริเวณค่าครึ่งหนึ่งของจำนวนนับรังสี  $= 2\Delta H$

$H_0$  คือ ตำแหน่งของพีคความสูงของพัลส์ (Peak centroid)



รูปที่ 2.7 นิยามของความสามารถในการแยกแยะพลังงาน [9]

ในกรณีที่เปรียบเทียบสเกลพลังงานแล้วจะได้

$2\Delta H = \Delta E$  คือ ความกว้างของการกระจายค่าความพลังงานบริเวณครึ่งหนึ่งของจำนวนนับรังสี

$H_0 = E$  คือ ตำแหน่งของพีคพลังงาน

### 2.7.3 ประสิทธิภาพของการวัด (Detection efficiency)

การปลดปล่อยรังสีจากต้นกำเนิดรังสีนั้นจะออกมาในทุกทิศทางรอบตัว ดังนั้นการที่จะวัดรังสีได้ทั้งหมดจะต้องออกแบบหัววัดรังสีให้สามารถรับปริมาณรังสีที่ออกมาได้หมดซึ่งเป็นไปได้ยาก ในทางปฏิบัติการวัดรังสีของหัววัดรังสีจะได้เฉพาะรังสีส่วนที่ตกกระทบบริเวณตัวกลางไวต่อรังสีเท่านั้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบต่อการวัดรังสีในด้านต่างๆ อันได้แก่ ผลจากการจัดรูปทรงของการวัดรังสี (Geometry effect) ผลจากการลดทอนความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีเอง (Source effect) และผลจากความสามารถของหัววัดรังสี (Detector effect) เป็นต้น ทำให้มีการนิยามประสิทธิภาพของ

การวัดรังสีจากการเปรียบเทียบปริมาณรังสีส่วนที่ต้องการวัดกับปริมาณรังสีที่บันทึกได้จากเครื่องวัดรังสีแบบนับรวม (Integral) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ประสิทธิภาพสัมบูรณ์ (Absolute efficiency,  $\mathcal{E}_{abs}$ ) และประสิทธิภาพในตัววัดรังสี (Intrinsic efficiency,  $\mathcal{E}_{int}$ ) โดยนิยามว่า

$$\mathcal{E}_{abs} = \frac{\text{ปริมาณนับรังสีที่บันทึกได้}}{\text{ปริมาณรังสีที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสี}}$$

$$\mathcal{E}_{int} = \frac{\text{ปริมาณนับรังสีที่บันทึกได้}}{\text{ปริมาณรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสี}}$$

ประสิทธิภาพการวัดรังสีทั้งสองมีความสัมพันธ์กันดังนี้

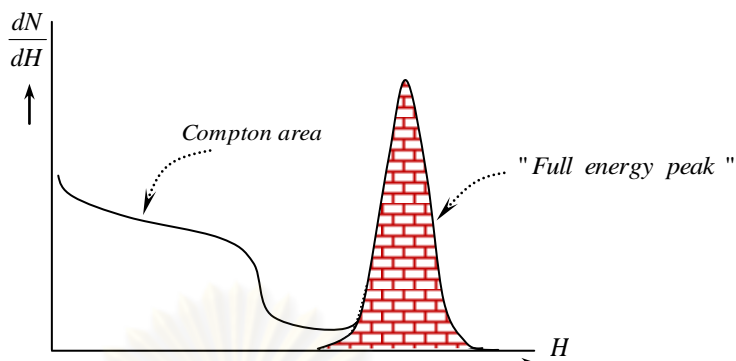
$$\mathcal{E}_{int} = \left( \frac{4\pi}{\Omega} \right) \mathcal{E}_{abs} \quad (2.14)$$

เมื่อ  $\Omega$  คือ มุมตัน (Solid angle) ที่หน้าตางหัววัดรังสีซึ่งมีจุดเริ่มต้นจากต้นกำเนิดรังสี ดังรูปที่ 9 ประสิทธิภาพของการวัดรังสีดังกล่าวขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของระบบวัดอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับประสิทธิภาพของหัววัดรังสีซึ่งโดยพื้นฐานแล้วขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางวัดรังสี พลังงานและชนิดของรังสีและความหนาของตัวกลางเป็นต้น ดังนั้นเมื่อทราบประสิทธิภาพของการวัดรังสีจะสามารถคำนวณหาค่าความแรงรังสีที่ปลดปล่อยจากต้นกำเนิดรังสี (Source strength,  $S$ ) จากผลการนับรังสี ( $N$ ) เพื่อนำไปสู่การหาความแรงรังสี (Activity) ได้ดังนี้

$$S = \frac{N}{\mathcal{E}_{abs}} = \left( \frac{4\pi}{\Omega} \right) \frac{N}{\mathcal{E}_{int}} \quad (2.15)$$

สำหรับการวัดรังสีในรูปของสเปกตรัมพลังงานนั้น จำนวนนับรังสีภายใต้พื้นที่ของสเปกตรัมจะเป็นผลรวมจำนวนนับของทั้งพลังงานที่วิเคราะห์ (Full energy) และพลังงานที่เหลือจากอันตรกิริยาคอมป์ตันที่เกิดในหัววัดรังสีรวมทั้งสิ่งรบกวน ดังสเปกตรัมในรูปที่ 2.8 การพิจารณาประสิทธิภาพการวัดรังสีพิจารณาได้ใน 2 ลักษณะ คือ ประสิทธิภาพจากจำนวนนับรังสีได้เส้นกราฟทั้งหมด เรียกว่า “Total efficiency” และประสิทธิภาพเฉพาะจำนวนนับได้พีคพลังงานที่วิเคราะห์ เรียกว่า “Peak efficiency” ประสิทธิภาพของการวัดทั้ง 2 ลักษณะนี้สัมพันธ์กันด้วยอัตราส่วนของ Peak-to-total ratio ( $P/T$  ratio)

$$\frac{P}{T} \text{ ratio} = \frac{\mathcal{E}_{peak}}{\mathcal{E}_{Total}} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.8 สเปกตรัมการวัดรังสี [9]

สำหรับประสิทธิภาพของหัววัดรังสีแกมมามักจะพิจารณาที่ค่าประสิทธิภาพการวัดฟิสิกในหัววัดรังสี (Intrinsic peak efficiency,  $\epsilon_{ip}$ ) การทราบค่าของประสิทธิภาพการวัดฟิสิกในหัววัดรังสี และจำนวนนับรังสีได้ฟิสิกพลังงาน ( $N$ ) จะสามารถคำนวณความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสีได้ดังนี้

$$S = N \frac{4\pi}{\epsilon_{ip} \Omega} \quad (2.17)$$

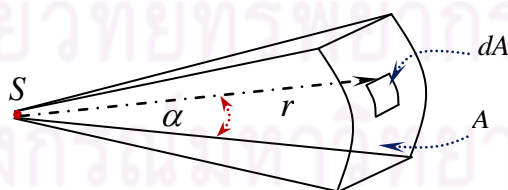
โดยที่  $\Omega$  มุมตันในหน่วยสเตอเรเดียน (Steradian) คำนวณได้จาก

$$\Omega = \int_A \frac{\cos \alpha}{r^2} dA \quad (2.18)$$

เมื่อ  $r$  คือ ระยะทางระหว่างต้นกำเนิดรังสี  $S$  กับพื้นที่ผิวเล็ก ๆ  $dA$

$\alpha$  คือ มุมระหว่างเส้นปกติกับทิศทางของต้นกำเนิดรังสี

$A$  คือ พื้นที่ผิวปิดมุม  $\Omega$

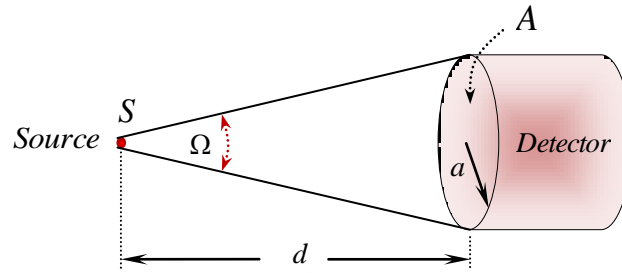


รูปที่ 2.9 Area element ในการคำนวณค่ามุมตัน [9]

และในกรณีของหัววัดรังสีทรงกระบอกที่อยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีระยะทาง  $d$  และหัววัดรังสีมีรัศมี  $a$  ค่ามุมตัน  $\Omega$  คำนวณได้จาก

$$\Omega = 2\pi \left( 1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right) \quad (2.19)$$

กรณีที่ตั้งกำเนิดรังสีแบบจุด (Point isotropic source) ดังรูปที่ 2.10 สามารถคำนวณมุมตันได้ว่า



รูปที่ 2.10 รังสีที่วัดจากต้นกำเนิดรังสีแบบจุด [9]

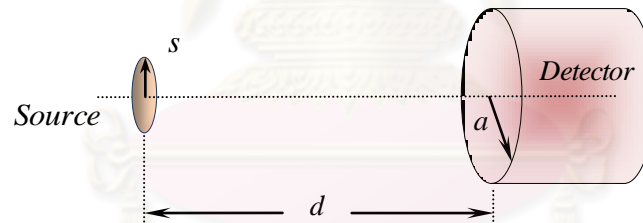
ในกรณีที่  $d \gg a$  จากสมการที่ (2.17) จะได้ว่า

$$\Omega \cong \frac{A}{d^2} = \frac{\pi a^2}{d^2} \quad (2.20)$$

กรณีที่ต้นกำเนิดรังสีมีลักษณะเป็นแผ่นกลมบาง ดังรูปที่ 2.11 มุมตันสามารถคำนวณได้จาก

$$\Omega \cong \frac{4\pi a}{s} \int_0^\infty \frac{\exp[-dk] J_1(sk) J_1(ak)}{k} dk \quad (2.21)$$

เมื่อ  $J_1(x)$  คือ Bessel function ลำดับที่ 1 ของ  $x$



รูปที่ 2.11 รังสีที่วัดจากต้นกำเนิดรังสีแบบแผ่นกลมบาง [9]

จากสมการที่ 20 สามารถหาผลเฉลยโดยระเบียบวิธีการเชิงตัวเลข และเพื่อความสะดวกในการคำนวณประมาณได้ว่า

$$\Omega \cong 2\pi \left[ 1 - \frac{1}{(1+\beta)^{1/2}} - \frac{3}{8} \frac{1}{(1+\beta)^{5/2}} + \alpha^2 [F1] - \alpha^3 [F2] \right] \quad (2.22)$$

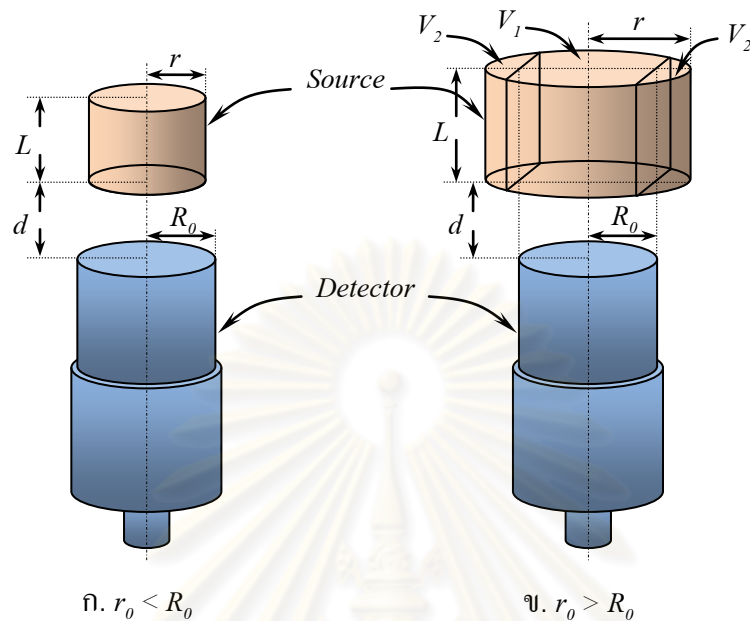
$$\text{เมื่อ } F1 = \frac{5}{16} \frac{\beta}{(1+\beta)^{7/2}} - \frac{35}{64} \frac{\beta^2}{(1+\beta)^{9/2}}$$

$$F2 = \frac{35}{128} \frac{\beta}{(1+\beta)^{9/2}} - \frac{315}{256} \frac{\beta^2}{(1+\beta)^{11/2}} + \frac{1155}{1024} \frac{\beta^3}{(1+\beta)^{13/2}}$$

$$\alpha = \left( \frac{s}{d} \right)^2$$

$$\beta = \left( \frac{a}{d} \right)^2$$

กรณีที่ตั้งกำเนิดรังสีมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ดังรูปที่ 2.12 สามารถคำนวณมุมตันได้จาก



รูปที่ 2.12 รังสีที่วัดจากต้นกำเนิดรังสีทรงกระบอก

สำหรับต้นกำเนิดรังสีทรงกระบอกที่มีรัศมีน้อยกว่ารัศมีของหัววัดรังสี สามารถหามุมตันได้จาก

$$\Omega = \frac{4}{r_0^2 L} \int_0^L (d+l) dl \int_0^{r_0} r dr \int_0^\pi d\phi \int_0^{R_0} \left( \frac{F_{att} \cdot F_{abs} \cdot R}{[R^2 - 2Rr \cos\phi + r^2 + (d+l)^2]^{3/2}} \right) dR \quad (2.23)$$

โดยที่  $F_{att}$  และ  $F_{abs}$  เป็นค่า Geometrical factor

$F_{att}$  คือ การลดทอนในชั้นที่แตกต่างกัน เช่น อากาศ หน้าต่างของหัววัด Dead layer เป็นต้น โดยหาได้จาก

$$F_{att} = \exp\left(-\sum_{i=1}^m \mu_i \cdot \delta_i\right)$$

$F_{abs}$  คือ Absorption in detector active volume คำนวณได้จาก

$$F_{abs} = f_1 + f_2 \cdot f'$$

และ  $f_1 = 1 - \exp(-\mu_D \cdot \delta_{1D})$ ,  $f_2 = 1 - \exp(-\mu_D \cdot \delta_{2D})$ ,

$f' = \exp(-\mu_D \cdot (\Delta + \delta_{1D}))$

สำหรับต้นกำเนิดรังสีทรงบอก ที่มีรัศมีมากกว่ารัศมีของหัววัดรังสี สามารถหามุมต้นได้จาก

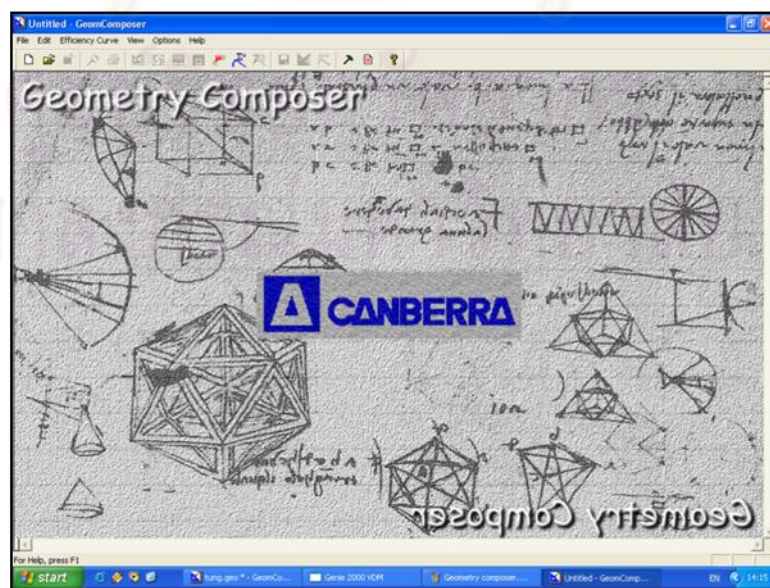
$$\begin{aligned}\bar{\Omega} &= \int_{V_1, S_1} d\bar{\Omega} + \int_{V_2, (S_1+S_2)} d\bar{\Omega} \\ &= \frac{4}{r_0^2} \int_0^L (d+l) dl \int_0^{r_0} r dr \int_0^\pi d\phi \int_0^{R_0} \left( \frac{F_{att} \cdot F_{abs} \cdot R}{[R^2 - 2Rr \cos\phi + r^2 + (d+l)^2]^{3/2}} \right) dR \\ &\quad + \frac{4}{(r_0^2 - R_0^2)} \int_0^L dl \int_{R_0}^{r_0} r dr \int_0^{\phi_0} d\phi \int_{-H}^0 \left( \frac{F_{att} \cdot F_{abs} \cdot (r \cos\phi - R_0)}{[R_0^2 - 2R_0 r \cos\phi + r^2 + (d+l-h)^2]^{3/2}} \right) dh\end{aligned}\quad (2.24)$$

โดยที่  $\phi_0 = \phi_0(r) = \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{r^2 - R_0^2}}{R_0} \right)$

## 2.8 การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ถูกสร้างขึ้นโดยบริษัท Canberra เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานทางด้านรังสี โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS สามารถติดตั้งได้กับคอมพิวเตอร์ที่มี CPU รุ่น Pentium processor (หรือดีกว่า) และมีหน่วยความจำอย่างน้อย 64 MB นอกจากนี้ยังต้องมี Windows 95 (หรือดีกว่า) S500 Genie-2000 Basic Spectroscopy, S501 Genie-2000 Gamma Analysis และ S573 ISOCS Calibration Software การใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีขั้นตอนดังนี้

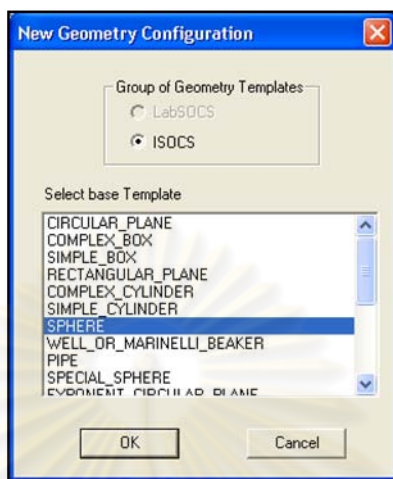
1. การเข้าสู่โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS โดยเริ่มเข้าไปยังโปรแกรม Genie-2000 ก่อน และเลือก Geometry composer จะได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

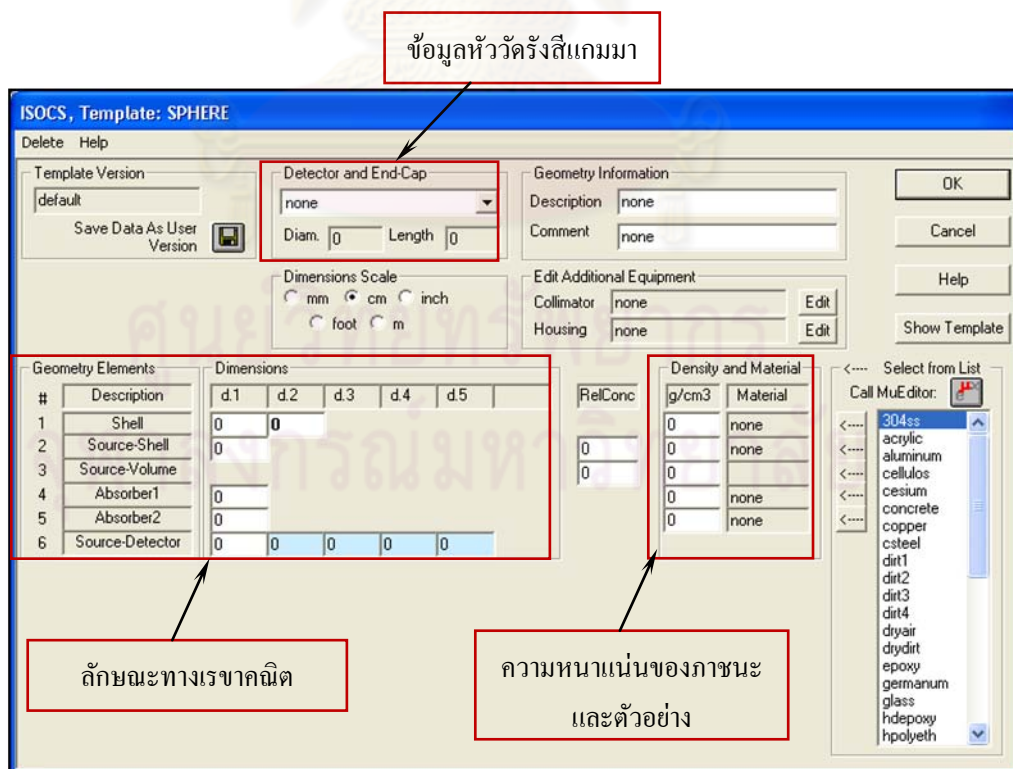


2. หลังจากเข้าสู่โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS แล้ว ทำการเปิดไฟล์ใหม่ โดยเลือก file และ new จะได้ดังรูปที่ 2.14



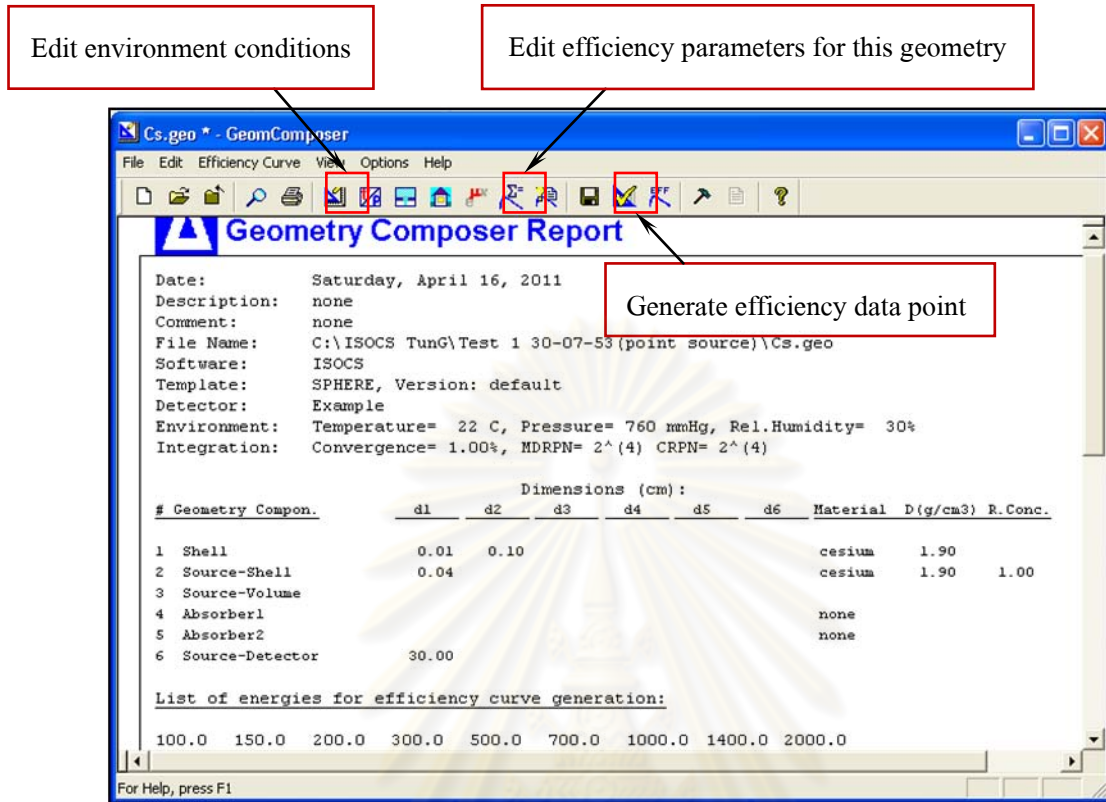
รูปที่ 2.14 เลือกรูปแบบของตัวอย่าง

3. หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนการใส่ข้อมูล อันได้แก่ เลือกขนาดหัววัดรังสีแกมมา HPGe ลักษณะทางเรขาคณิตของภาชนะที่ใส่ตัวอย่าง ระยะทางระหว่างหัววัดรังสีแกมมา HPGe กับภาชนะ ความหนาแน่นของภาชนะและของตัวอย่าง เป็นต้น ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการใส่ข้อมูล

4. เมื่อใส่ข้อมูลต่าง ๆ ครบถ้วนแล้ว เลือกปุ่ม OK จะได้ดังรูปที่ 2.16



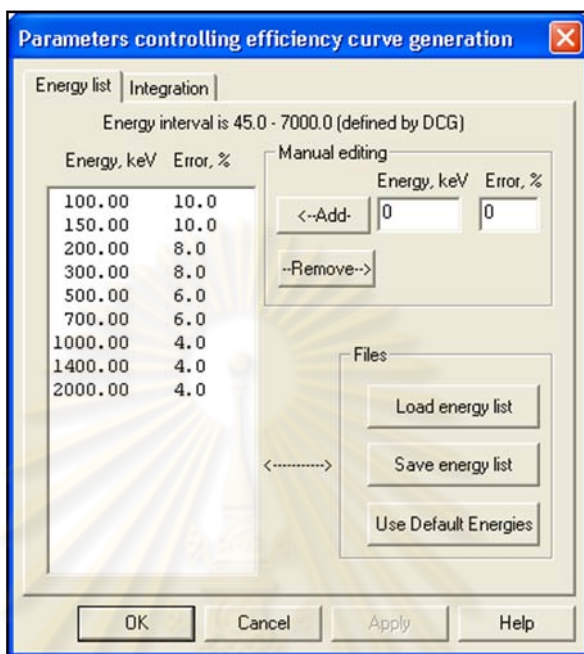
รูปที่ 2.16 หน้าจอขึ้นชั้นผลการใส่ข้อมูล

5. ณ ขั้นตอนนี้ สามารถเลือกปุ่ม Edit environment conditions เพื่อเปลี่ยนแปลงข้อมูลในสิ่งแวดล้อมของหัววัดรังสี ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน ความชื้นสัมพัทธ์ จะได้ดังรูปที่ 2.17



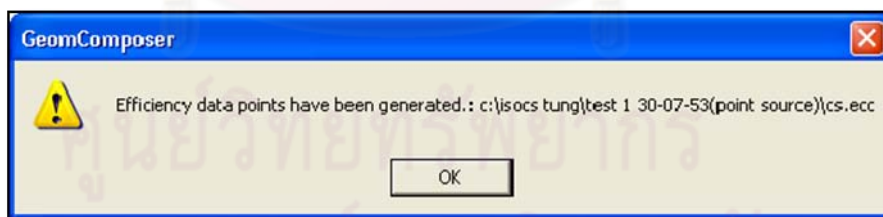
รูปที่ 2.17 หน้าจอแสดงผล Edit environment conditions

6. นอกจากนี้ ถ้าค่าพลังงานของรังสีแกมมาที่ต้องการไม่มีในโปรแกรม สามารถเลือกปุ่ม Edit efficiency parameters for this geometry เพื่อใส่ค่าพลังงานที่ต้องการได้ ดังรูปที่ 2.18



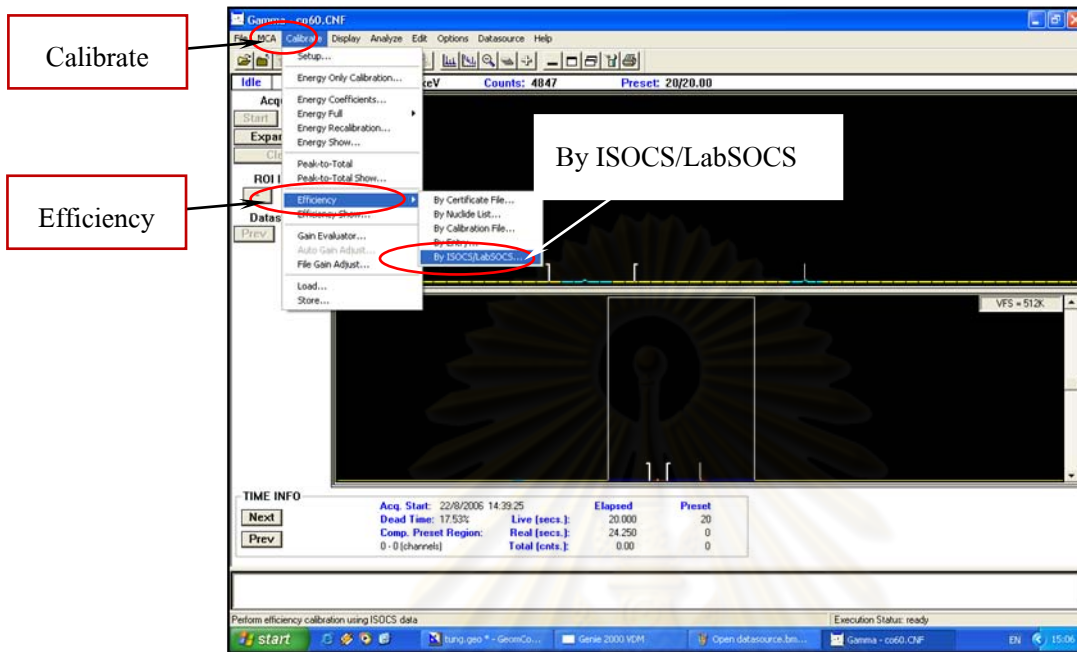
รูปที่ 2.18 หน้าจอแสดงผล Edit efficiency parameters for this geometry

7. เมื่อแน่ใจว่าข้อมูลทุกอย่างถูกต้องครบถ้วนแล้ว ให้ทำการบันทึกข้อมูล หลังจากนั้นคลิกปุ่ม Generate efficiency data point เพื่อทำการคำนวณหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมา และ เมื่อโปรแกรมคำนวณเสร็จจะปรากฏข้อความดังรูปที่ 2.19



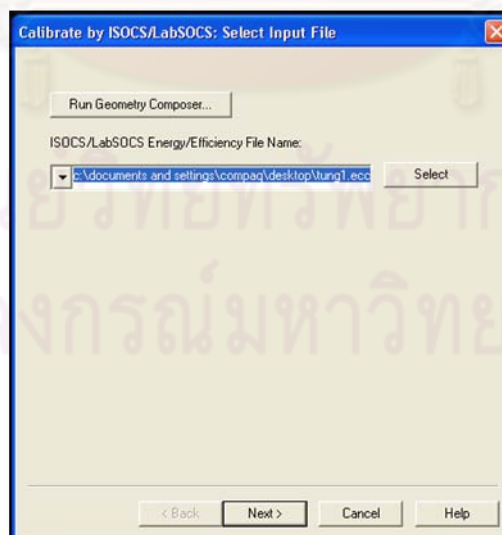
รูปที่ 2.19 หน้าจอแสดงผล Generate efficiency data point

8. จากขั้นตอนที่ 7 จะทำให้ได้ไฟล์ \*.ECC ซึ่งเป็นคำตอบของโปรแกรม หลังจากนั้นเปิดโปรแกรม Gamma Acquisition & Analysis เพื่อทำการเปิดไฟล์ \*.ECC ดังรูปที่ 2.20



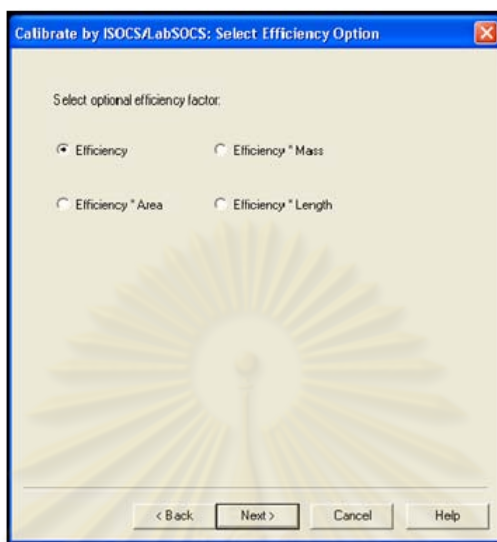
รูปที่ 2.20 การเปิดไฟล์ \*.ECC

9. การเปิดไฟล์ \*.ECC ทำได้โดยเลือก Calibrate และเลือก Efficiency ต่อจากนั้นให้เลือก By ISOCS/LabSOCS จะได้ดังรูปที่ 2.21



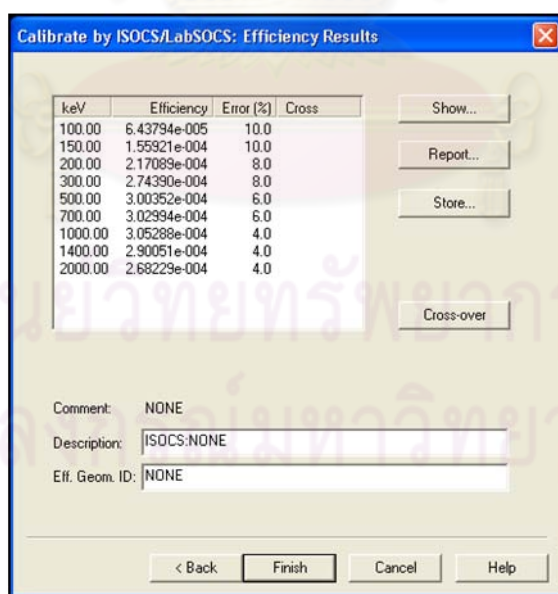
รูปที่ 2.21 การเลือกไฟล์ \*.ECC

10. เมื่อทำการเลือกไฟล์ \*.ECC เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลิก Next จะได้ ดังรูปที่ 2.22 ในขั้นนี้ ให้เลือกชนิดของ Efficiency



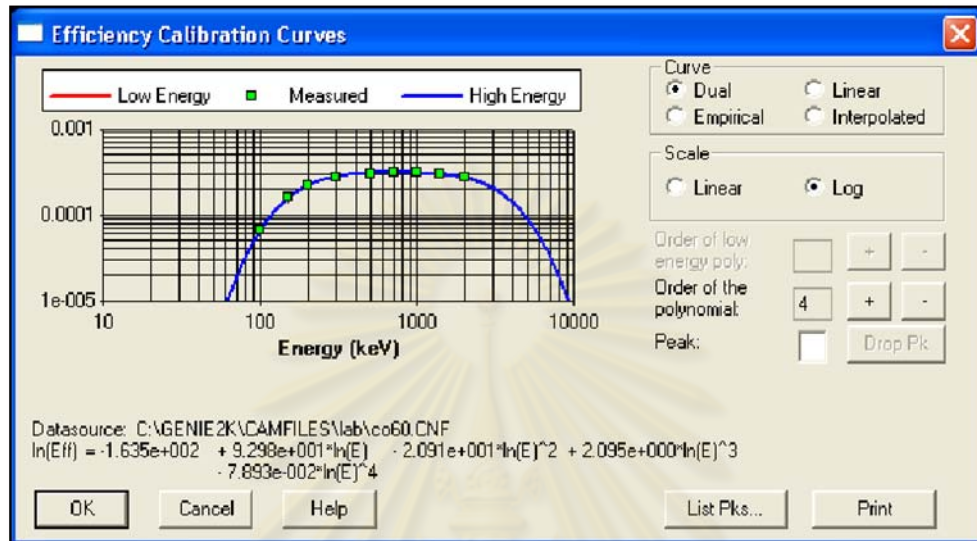
รูปที่ 2.22 การเลือกชนิดของ Efficiency

11. เมื่อเลือกชนิดของ Efficiency แล้ว ให้คลิก Next อีกครั้ง จะได้ค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ผลการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

นอกจากนี้ในขั้นตอนที่ 11 ยังสามารถแสดงค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ ในรูปแบบของกราฟและตารางได้อีกด้วย โดยการคลิก Show และ Report ตามลำดับ จะได้ดังรูปที่ 2.24 และ รูปที่ 2.25



รูปที่ 2.24 ค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ ในรูปแบบของกราฟ

Calibrate by ISOCS/LabSOCS: Efficiency Results

ISOCS/LABSOCS RESULTS

ISOCS/LabSOCS File: C:\ISOCS TunG\simple box test1 22\_4\_10.ecc  
 ISOCS/LabSOCS Time: 04/22/10 14:52:01  
 Template: SIMPLE\_BOX  
 Geom Description: NONE  
 Comment: ISOCS:NONE  
 Detector: DIA=70MM\_COAXIAL  
 Collimator: 25MM-90D\_NEW  
 Convergence: 1.00 %  
 Area [Sq Meters]: 5.0000e-003 (C)  
 Mass [Grams]: 2.0750e+003 (C)  
 Length [Meters]: not used  
 (C) = Value calculated by ISOCS  
 (U) = Value modified by user

Energy	Efficiency	%Uncertainty	%Convergence	Final # of Voxels
100.00	6.43794e-005	10.0	-0.499986	1524
150.00	1.55921e-004	10.0	-0.253614	1524
200.00	2.17089e-004	8.0	-0.167720	1524
300.00	2.74390e-004	8.0	-0.107184	1524
.....	.....	.....	.....	.....

OK Print

รูปที่ 2.25 ค่าประสิทธิภาพของการวัดรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ ในรูปแบบของตาราง

## บทที่ 3

### วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

3.1.2 ระบบการวัดรังสีแกมมาของบริษัท Canberra ดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย

3.1.2.1 หัววัดรังสี HPGe ดังรูปที่ 3.2

3.1.2.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมเชิงตัวเลข (Digital Spectrum Analyzer, DSA) รุ่น Inspector 2000 พร้อมโปรแกรมควบคุมการทำงาน Genie-2000 ของบริษัท Canberra

3.1.3 ภาชนะบรรจุตัวอย่าง มีดังต่อไปนี้

3.1.3.1 ภาชนะพลาสติกทรงกระบอกใสแบบมีฝาปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.3

3.1.3.2 ภาชนะทรงกลม คือลูกเทเบิลเทนนิส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร

3.1.3.3 ภาชนะ Marinelli beaker ปริมาตร 0.5 ลิตร ดังรูปที่ 3.4

3.1.4 สารตัวอย่างและต้นกำเนิดรังสี

3.1.4.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 แบบจุด

3.1.4.2 ผงโพแทสเซียมคลอไรด์ (Merck, Germany) ความบริสุทธิ์ 99.5%

3.1.4.3 สารมาตรฐานแร่ยูเรเนียมของ International Atomic Energy Agency (IAEA) RGU-1 ที่มียูเรเนียมปริมาณ  $400 \pm 2$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม

3.1.4.4 สารมาตรฐานแร่ทอเรียมของ IAEA RGTb-1 ที่มีทอเรียมปริมาณ  $800 \pm 16$  มิลลิกรัม/กิโลกรัม

3.1.4.5 ผนังตึก-1 คือผนังของห้อง 305 ชั้น 3 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กว้าง 352.4 เซนติเมตร สูง 115.2 เซนติเมตร และหนา 11.8 เซนติเมตร

3.1.4.6 ผนังตึก-2 คือผนังของห้อง 212 ชั้น 2 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กว้าง 448 เซนติเมตร สูง 117.8 เซนติเมตร และหนา 12.5 เซนติเมตร

3.1.4.7 สนามหญ้าหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ระบบการวัดรังสีแกมมาของบริษัท Canberra



รูปที่ 3.2 หัววัดรังสี HPGe ของบริษัท Canberra



รูปที่ 3.3 ภาชนะพลาสติกรูปทรงกระบอกใส



รูปที่ 3.4 ภาชนะ Marinelli beaker ขนาด 0.5 ลิตร



### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.2.1 ศึกษาการใช้งานและขีดจำกัดของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

นำโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มาใช้คำนวณค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างทางเรขาคณิตต่าง ๆ กัน ดังนี้ แบบจุด แบบแผ่น และแบบทรงกระบอก และแบบภาชนะ Marinelli beaker เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริง

ในการคำนวณหาประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมานั้น ในกรณีของต้นกำเนิดรังสีแบบจุดซีเซียม-137 ได้วิเคราะห์จากยอดพลังงานรังสีแกมมา 661.7 keV และสำหรับโพแทสเซียม-40 ได้คำนวณจากยอดพลังงานรังสีแกมมา 1460.8 keV โดยค่าประสิทธิภาพ ( $\epsilon$ ) ในการวัดรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ คำนวณได้จาก

$$\epsilon = \frac{\text{Net count}(cps)}{\text{Activity}(dps) \times \text{decay fraction}}$$

##### 3.2.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด

ในขั้นตอนนี้ นำซีเซียม-137 มาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด ดังรูปที่ 3.5 แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมา โดยปรับเปลี่ยนระยะทางระหว่างผิวของต้นกำเนิดรังสีกับผิวของหัววัดรังสี ดังนี้ 10, 20, 30, 40 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำให้ทราบได้ว่าค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีค่าแตกต่างกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดจริงมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.5 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 แบบจุด

##### 3.2.1.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลม

สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลม ใช้ผงโพแทสเซียมคลอไรด์บรรจุภายในภาชนะพลาสติก ดังรูปที่ 3.6 แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ความหนาต่าง ๆ กัน ดังนี้ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำให้ทราบได้ว่าค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีค่าแตกต่างกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดจริงมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.6 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลม

### 3.2.1.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก

สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก ใช้ผงโพแทสเซียมคลอไรด์บรรจุภายในภาชนะพลาสติก ดังรูปที่ 3.7 แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ความหนาต่าง ๆ กัน ดังนี้ 1, 2, 3, 4 และ 5 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำให้ทราบได้ว่าค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีค่าแตกต่างกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดจริงมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.7 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก

### 3.2.1.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบภาชนะ Marinelli beaker

สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบ Marinelli beaker ใช้ผงโพแทสเซียมคลอไรด์บรรจุภายในภาชนะ Marinelli beaker ดังรูปที่ 3.8 แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ความหนาต่าง ๆ กัน ดังนี้ 1, 2 และ 3.35 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำให้ทราบได้ว่าค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีค่าแตกต่างกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดจริงมากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.8 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบภาชนะ Marinelli beaker

### 3.2.2 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ในการหาความแรงรังสีของตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม

#### 3.2.2.1 ตัวอย่างรูปทรงกลม

สำหรับตัวอย่างรูปทรงกลม ใช้ผงโพแทสเซียมคลอไรด์บรรจุภายในลูกเทเบิลเทนนิสจนเต็ม แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง เพื่อหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของโพแทสเซียมคลอไรด์ในภาชนะรูปทรงกลมหลังจากนั้นนำค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี

#### 3.2.2.2 ตัวอย่างรูปทรงแผ่นกลม

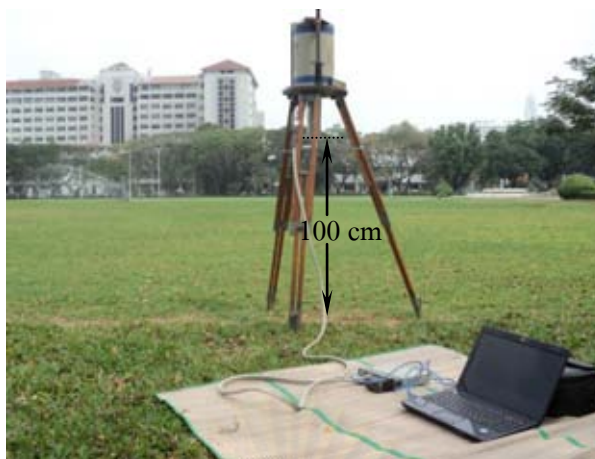
สำหรับตัวอย่างรูปทรงแผ่นกลมที่ใช้ ในการทดลอง มีดังนี้

3.2.2.2.1 สารอ้างอิงมาตรฐาน ได้แก่ สารมาตรฐานยูเรเนียม พิจารณาที่บิสมัท-214 พลังงาน 609.3 keV และสารมาตรฐานทอเรียม พิจารณาที่แอกทิเนียม-228 พลังงาน 911.2 keV บรรจุภายในภาชนะพลาสติกจนเต็ม แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง เพื่อหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐานยูเรเนียมและสารมาตรฐานทอเรียม ในภาชนะรูปทรงแผ่น หลังจากนั้นนำค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี

#### 3.2.2.2.2 สนามหญา ทำการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ดังนี้

- ธาตุยูเรเนียม พิจารณาที่บิสมัท-214 พลังงาน 609.3 keV
- ธาตุทอเรียม พิจารณาที่แอกทิเนียม-228 พลังงาน 911.2 keV
- ธาตุโพแทสเซียม พิจารณาที่โพแทสเซียม-40 พลังงาน 1460.8 keV

หาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง เพื่อหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของยูเรเนียม ทอเรียม และ โพแทสเซียม ในตัวอย่างรูปทรงแผ่น ดังรูปที่



รูปที่ 3.9 ระบบวัดรังสีแกมมาบริเวณสนามหญ้าหน้าพระบรมรูปสองรัชกาล  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.2.2.3 ตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane

สำหรับตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane ใช้ผนังตึกเพื่อวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ดังนี้

- ธาตุยูเรเนียม      พิจารณาที่บิสมัท-214 พลังงาน 609.3 keV
- ธาตุทอเรียม      พิจารณาที่แอกทีเนียม-228 พลังงาน 911.2 keV
- ธาตุเรเดียม      พิจารณาที่เรเดียม-226 พลังงาน 186.1 keV
- ธาตุโพแทสเซียม พิจารณาที่โพแทสเซียม-40 พลังงาน 1460.8 keV

หาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง เพื่อหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของยูเรเนียม ทอเรียม เรเดียม และโพแทสเซียม ในตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 ผนังตึก-1



รูปที่ 3.11 ผนังตึก-2

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

จากการศึกษาการใช้งานของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS เพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมา แล้วนำค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มาเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัด ปรากฏผลดังนี้

### 4.1 ผลการศึกษาการใช้งานและขีดจำกัดของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

#### 4.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด

นำซีเซียม-137 มาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมา โดยปรับเปลี่ยนระยะทางระหว่างผิวของต้นกำเนิดรังสีกับผิวของหัววัดรังสี จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดจริง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของ โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงที่พลังงาน 661.7 keV ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบจุด

ระยะทาง (เซนติเมตร)	ค่าประสิทธิภาพการวัดรังสีแกมมา		อัตราส่วน (ISOCS/วัดจริง)
	โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS	การวัดจริง	
10	$3.38 \times 10^{-3}$	$3.32 \times 10^{-3} \pm 0.13\%$	1.02
20	$1.06 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-3} \pm 0.26\%$	1.04
30	$5.02 \times 10^{-4}$	$4.82 \times 10^{-4} \pm 0.32\%$	1.04
40	$2.95 \times 10^{-4}$	$2.79 \times 10^{-4} \pm 0.48\%$	1.06
50	$1.94 \times 10^{-4}$	$1.84 \times 10^{-4} \pm 0.47\%$	1.06

#### 4.1.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลม

นำผงโพแทสเซียมคลอไรด์บรรจุภายในภาชนะพลาสติกมาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลม แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ความหนาต่าง ๆ จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดจริง ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงที่พลังงาน 1460.8 keV ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบแผ่นกลม ความหนาต่าง ๆ

ความหนา (เซนติเมตร)	ค่าประสิทธิภาพการวัดรังสีแกมมา		อัตราส่วน (ISOCS/วัดจริง)
	โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS	การวัดจริง	
1	$1.19 \times 10^{-2}$	$1.21 \times 10^{-2} \pm 0.99\%$	0.98
2	$9.95 \times 10^{-3}$	$9.92 \times 10^{-3} \pm 0.75\%$	1.00
3	$8.50 \times 10^{-3}$	$8.25 \times 10^{-3} \pm 0.67\%$	1.03
4	$7.36 \times 10^{-3}$	$7.25 \times 10^{-3} \pm 0.54\%$	1.02
5	$6.51 \times 10^{-3}$	$6.36 \times 10^{-3} \pm 0.60\%$	1.02

#### 4.1.3 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก

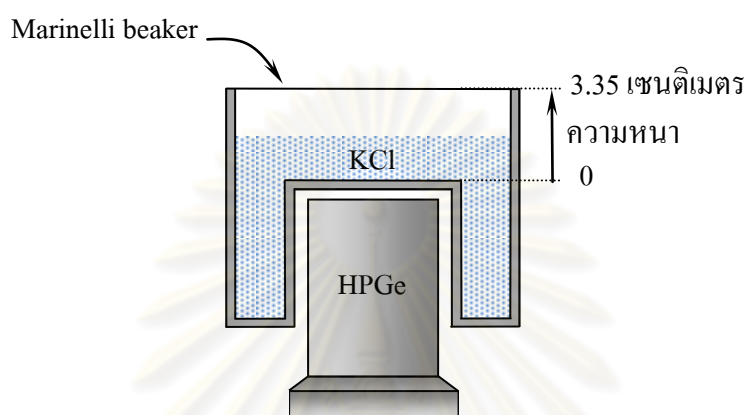
นำผงโพแทสเซียมคลอไรด์บรรจุภายในภาชนะพลาสติกมาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ความหนาต่าง ๆ จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดจริง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงที่พลังงาน 1460.8 keV ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบทรงกระบอก

ความหนา (เซนติเมตร)	ค่าประสิทธิภาพการวัดรังสีแกมมา		อัตราส่วน (ISOCS/วัดจริง)
	โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS	การวัดจริง	
1	$4.80 \times 10^{-3}$	$4.50 \times 10^{-3} \pm 3.82\%$	1.07
2	$4.81 \times 10^{-3}$	$4.62 \times 10^{-3} \pm 1.61\%$	1.04
3	$4.82 \times 10^{-3}$	$4.61 \times 10^{-3} \pm 1.43\%$	1.05
4	$4.80 \times 10^{-3}$	$4.44 \times 10^{-3} \pm 1.17\%$	1.08
5	$4.72 \times 10^{-3}$	$4.46 \times 10^{-3} \pm 0.81\%$	1.06

#### 4.1.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบภาชนะ Marinelli beaker

นำผงโพแทสเซียมคลอไรด์บรรจุภายในภาชนะ Marinelli beaker มาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบภาชนะ Marinelli beaker แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ที่ความหนาต่าง ๆ โดยเริ่มวัดระยะตั้งแต่ผิวด้านในของภาชนะ มีค่าแตกต่างกับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาที่ได้จากการวัดจริง ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.1 การวัดรังสีแกมมาของภาชนะ Marinelli beaker ที่ความหนาต่าง ๆ

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของ โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงที่พลังงาน 1460.8 keV ของต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบภาชนะ Marinelli beaker

ความหนา (เซนติเมตร)	ค่าประสิทธิภาพการวัดรังสีแกมมา		อัตราส่วน (ISOCS/วัดจริง)
	โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS	การวัดจริง	
1	$1.14 \times 10^{-2}$	$8.23 \times 10^{-3} \pm 0.84\%$	1.39
2	$1.07 \times 10^{-2}$	$7.75 \times 10^{-3} \pm 0.76\%$	1.39
3.35	$9.63 \times 10^{-3}$	$7.09 \times 10^{-3} \pm 0.05\%$	1.36

#### 4.2 ผลการทดลองการหาค่าความแรงรังสีของตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

หลังจากที่ศึกษาการใช้งานและขีดจำกัดของ โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับการวัดจริงแล้ว ต่อจากนั้นนำ โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มาใช้เพื่อหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมากับตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมรูปทรงต่าง ๆ แล้วนำประสิทธิภาพที่ได้ดังกล่าวนี้ไปคำนวณหาค่าความแรงรังสีจำเพาะของตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม

#### 4.2.1 ตัวอย่างรูปทรงกลม

นำผงโพแทสเซียมคลอไรด์บรรจุภายในลูกเทเบิลเทนนิสจนเต็ม มาใช้เป็นตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมรูปทรงกลมที่ให้รังสีแกมมา แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง จะได้ค่าความแรงรังสีจำเพาะของโพแทสเซียมคลอไรด์ในภาชนะรูปทรงกลม ใกล้เคียงกับค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎี ของตัวอย่างรูปทรงกลม

มวล (กรัม)	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (เบคเคอเรล/กรัม)		ความแตกต่าง (%)
	ISOCS ร่วมกับการทดลอง	การคำนวณทางทฤษฎี	
34.07	$1.57 \pm 0.24$	1.75	-10.28

#### 4.2.2 ตัวอย่างรูปทรงแผ่นกลม

สำหรับตัวอย่างรูปทรงแผ่นกลมที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

##### 4.2.2.1 สารอ้างอิงมาตรฐาน ได้แก่ สารมาตรฐานยูเรเนียม พิจารณาที่บีตัมส์-214

พลังงาน 609.3 keV และสารมาตรฐานทอเรียม พิจารณาที่เอกทีเนียม-228 พลังงาน 911.2 keV บรรจุภายในภาชนะพลาสติกจนเต็ม แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง จะได้ค่าความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐานยูเรเนียมและสารมาตรฐานทอเรียม ในภาชนะรูปทรงแผ่นกลม ใกล้เคียงกับค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบค่าความแรงรังสีจำเพาะที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎี ของสารอ้างอิงมาตรฐาน

สารอ้างอิง มาตรฐาน	ค่าความแรงรังสีจำเพาะ (เบคเคอเรล/กรัม)		ความแตกต่าง (%)
	ISOCS ร่วมกับการทดลอง	การคำนวณทางทฤษฎี	
RGU-1	$5.183 \pm 0.47$	4.939	+4.95
RGTh-1	$2.959 \pm 0.08$	3.241	-8.71



**4.2.2 สนามหญ้า** กรณีนี้ถือว่าตัวอย่างมีลักษณะเรขาคณิตเป็นแผ่นกลมขนาดใหญ่ และมีความลึกมาก ได้ทำการวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ดังนี้ ยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง จะได้ค่าความแรงรังสีจำเพาะของธาตุต่าง ๆ ดังกล่าว ในตัวอย่างรูปทรงแผ่นกลม ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง ของสนามหญ้า

ธาตุ	ไอโซโทปที่วิเคราะห์ (พลังงาน)	ความแรงรังสีจำเพาะ (เบคเคอเรล/กิโลกรัม)
ยูเรเนียม-238	บิสมัท-214 (609.3 keV)	$4.21 \pm 0.17$
ทอเรียม-232	แอกทิเนียม-228 (911.2 keV)	$5.04 \pm 0.24$
โพแทสเซียม-40	โพแทสเซียม-40 (1460.8 keV)	$101.52 \pm 1.16$

#### 4.2.3 ตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane

นำผนังตึก-1 และผนังตึก-2 มาใช้เป็นตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมรูปทรง Rectangular plane ที่ให้รังสีแกมมา เพื่อวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ดังนี้ เรเดียม-226 ยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 แล้วหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง จะได้ค่าความแรงรังสีจำเพาะของธาตุต่าง ๆ ดังกล่าว ในตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง ของตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane

ธาตุ	ไอโซโทปที่วิเคราะห์ (พลังงาน)	ความแรงรังสีจำเพาะ (เบคเคอเรล/กิโลกรัม)	
		ผนังตึก-1	ผนังตึก-2
เรเดียม-226	เรเดียม-226 (186.1 keV)	$29.99 \pm 6.46$	$70.67 \pm 6.07$
ยูเรเนียม-238	บิสมัท-214 (609.3 keV)	$13.85 \pm 0.37$	$18.04 \pm 0.34$
ทอเรียม-232	แอกทิเนียม-228 (911.2 keV)	$18.53 \pm 0.48$	$20.18 \pm 0.44$
โพแทสเซียม-40	โพแทสเซียม-40 (1460.8 keV)	$196.20 \pm 2.56$	$203.93 \pm 2.43$

## บทที่ 5

### สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

##### 5.1.1 ผลการศึกษาการใช้งานและขีดจำกัดของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

จากการทดลองหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS พบว่า ในกรณีของต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 แบบจุด ได้ค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS แล้วนำไปคำนวณหาความแรงรังสี ผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนจากความแรงรังสีจริงอยู่ระหว่าง 2-6% ในกรณีของต้นกำเนิดรังสีโพแทสเซียมคลอไรด์แบบแผ่นกลม ได้ค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS แล้วนำไปคำนวณหาความแรงรังสี ผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนจากความแรงรังสีจริงอยู่ระหว่าง 1-3% ในกรณีของต้นกำเนิดรังสีโพแทสเซียมคลอไรด์แบบทรงกระบอก ได้ค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS แล้วนำไปคำนวณหาความแรงรังสี ผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนจากความแรงรังสีจริงอยู่ระหว่าง 3-7% และสุดท้ายกรณีของต้นกำเนิดรังสีโพแทสเซียมคลอไรด์แบบภาชนะ Marinelli beaker ได้ค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS แล้วนำไปคำนวณหาความแรงรังสี ผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนจากความแรงรังสีจริงอยู่ระหว่าง 26-28% ถึงแม้ว่า ต้นกำเนิดรังสีโพแทสเซียมคลอไรด์แบบภาชนะ Marinelli beaker จะทำให้มีความสะดวกในการนับวัดรังสี กล่าวคือ ใช้เวลาน้อยในการนับวัดรังสีเนื่องจากจำนวนนับรังสีมาก แต่ไม่ได้ทำให้ผลที่ได้ถูกต้องมากนักสำหรับการวิจัยนี้ อันเนื่องมาจากผลึกของเจอร์มาเนียมมีขนาดเล็กกว่าภาชนะ Marinelli beaker มาก จึงทำให้โอกาสที่จะมีรังสีแกมมาถ่ายเทพลังงานให้กับหัววัดรังสีน้อยลง เป็นผลให้จำนวนรังสีที่นับได้มีค่าน้อย ดังนั้นค่าความแรงรังสีที่คำนวณได้ในกรณีต้นกำเนิดรังสีแบบภาชนะ Marinelli beaker จึงมีความคลาดเคลื่อนจากความแรงรังสีจริงอยู่มาก

##### 5.1.2 ผลการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS เพื่อหาความแรงรังสีของตัวอย่างจากสิ่งแวดล้อม

เมื่อศึกษาการใช้งานและขีดจำกัดของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS โดยเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS กับค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาจากการวัดจริง ทำให้ทราบความคลาดเคลื่อนของค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS หลังจากนั้นนำโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มาใช้เพื่อหาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาของตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมรูปทรงต่าง ๆ แล้วนำค่าประสิทธิภาพที่ได้ดังกล่าวนี้ไปคำนวณหาความแรงรังสีจำเพาะของตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมรูปทรงต่าง ๆ พบว่า

##### 5.1.2.1 ตัวอย่างรูปทรงกลม คำนวณความแรงรังสีจำเพาะของโพแทสเซียมคลอไรด์โดย

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีอยู่ 10.28%

5.1.2.2 ตัวอย่างรูปทรงแผ่นกลม คำนวณความแรงรังสีจำเพาะของสารอ้างอิงมาตรฐาน พบว่า ความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐานยูเรเนียม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลองมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีอยู่ 4.95% และความแรงรังสีจำเพาะของสารมาตรฐานทอเรียม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีอยู่ 8.71% และกรณีที่เป็นสนามหญ้า พบว่า ความแรงรังสีจำเพาะของยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลองมีค่าเท่ากับ  $4.21 \pm 0.17$  Bq/kg,  $5.04 \pm 0.24$  Bq/kg และ  $101.52 \pm 1.16$  Bq/kg ตามลำดับ

5.1.2.3 ตัวอย่างรูปทรง Rectangular plane นำผนังตึก-1 และผนังตึก-2 มาใช้เป็นตัวอย่าง ในสิ่งแวดล้อมรูปทรง Rectangular plane ที่ให้รังสีแกมมา คำนวณความแรงรังสีจำเพาะของเรเดียม-226 ยูเรเนียม-238 ทอเรียม-232 และโพแทสเซียม-40 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ร่วมกับการทดลอง พบว่าในผนังตึก-1 มีค่าเท่ากับ  $29.99 \pm 6.46$  Bq/kg,  $13.85 \pm 0.37$  Bq/kg,  $18.53 \pm 0.48$  Bq/kg และ  $196.20 \pm 2.56$  Bq/kg ตามลำดับ และผนังตึก-2 มีค่าเท่ากับ  $70.67 \pm 6.07$  Bq/kg,  $18.04 \pm 0.34$  Bq/kg,  $20.18 \pm 0.44$  Bq/kg และ  $203.93 \pm 2.43$  Bq/kg ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการทดลองพบว่าอัตราการนับรังสีพื้นหลัง (Background radiation) มีค่ามาก เนื่องจากไม่มีการกำบังรังสี ดังนั้นถ้าหากว่ามีการใช้คอลลิเมเตอร์ (Collimator) อาจทำให้ผลที่ได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การคำนวณหาความแรงรังสี มีตัวแปรหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมากคือ ค่าร้อยละของการปลดปล่อยรังสีแกมมา (Decay fraction) ในแต่ละพลังงาน เนื่องจากตัวแปรนี้เป็นตัวแปรที่อยู่ในสูตรการคำนวณหาความแรงรังสี ดังนั้นถ้าค่า Decay fraction มีความคลาดเคลื่อน จะส่งผลให้คำนวณความแรงรังสีไม่ถูกต้อง

5.2.2 การนำโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS มาใช้งาน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ลักษณะทางเรขาคณิต (Physical geometry) ของภาชนะที่ใส่ตัวอย่าง เช่น ขนาดและรูปร่าง เพราะเป็นค่าที่ต้องป้อนลงในโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ถ้าหากว่าลักษณะทางเรขาคณิตของภาชนะมีค่าผิดพลาดแล้ว จะทำให้ค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมามีความแตกต่างจากค่าที่ถูกต้องอยู่มาก และส่งผลให้คำนวณความแรงรังสีไม่ถูกต้องด้วย

5.2.3 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS สามารถใช้หาค่าประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีต้นกำเนิดรังสีหรือสารมาตรฐานที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามสำหรับตัวอย่างที่มีลักษณะทางเรขาคณิตอื่น ๆ ควรที่จะทำการทดสอบก่อนเพื่อความถูกต้องของผลการวัด

## รายการอ้างอิง

- [1] ISOCS/LabSOCS Detector Characterization Report, ACK# 0385013 DETECTOR S/N 7965, May 24, 2005.
- [2] User's Manual, Model ISOXSRCE Check Source Fixture.
- [3] User's Manual, Model S573 ISOCS Calibration Software, V4.0.
- [4] Validation&Verification Manual Model S573/S574 ISOCS/ LabSOCS.
- [5] R. Venkataraman, F. Bronson, V. Atrashkevich, M. Field and B. M. Young. Validation of insitu object counting system (ISOCS) mathematical efficiency calibration software. Journal of Nuclear Instruments & Methods In Physics Research A 422 (1999): 450-454.
- [6] R. Venkataraman, F. Bronson, V. Atrashkevich, M. Field and B. M. Young. Improved detector response characterization method in ISOCS and LabSOCS. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 264 (2005): 213-219.
- [7] Alojz Slaninka, Ondrej Slavik and Vladimir Necas. Uncertainty analysis of in-situ gamma spectrometry measurements of air cleaning fillter cartridge sand 200L drums by a HPGe detector. Journal of Applied Radiation and Isotope (2009).
- [8] The Health Physics Society.2003. Radioactivity in nature. Introduction to radiation. [Online]. Available from: <http://www.umich.edu/radinfo/introduction/natural.html>. [2011, March 1]
- [9] Glenn, F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley& Sons, Inc. 1999.

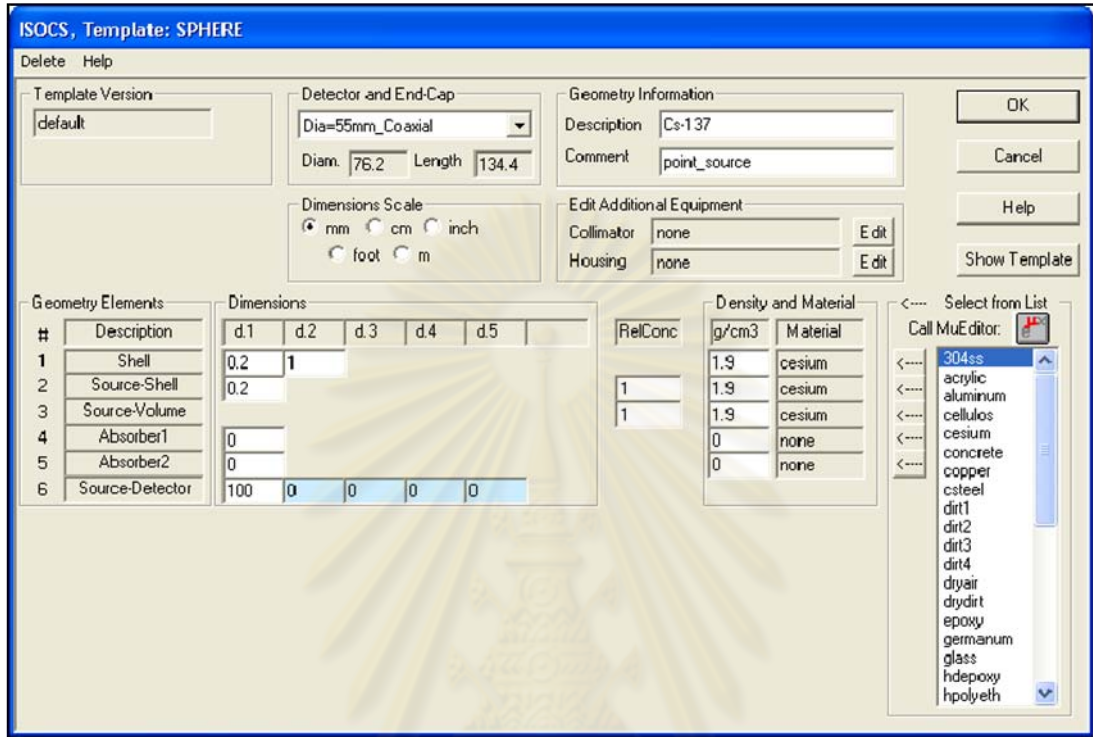


ภาคผนวก

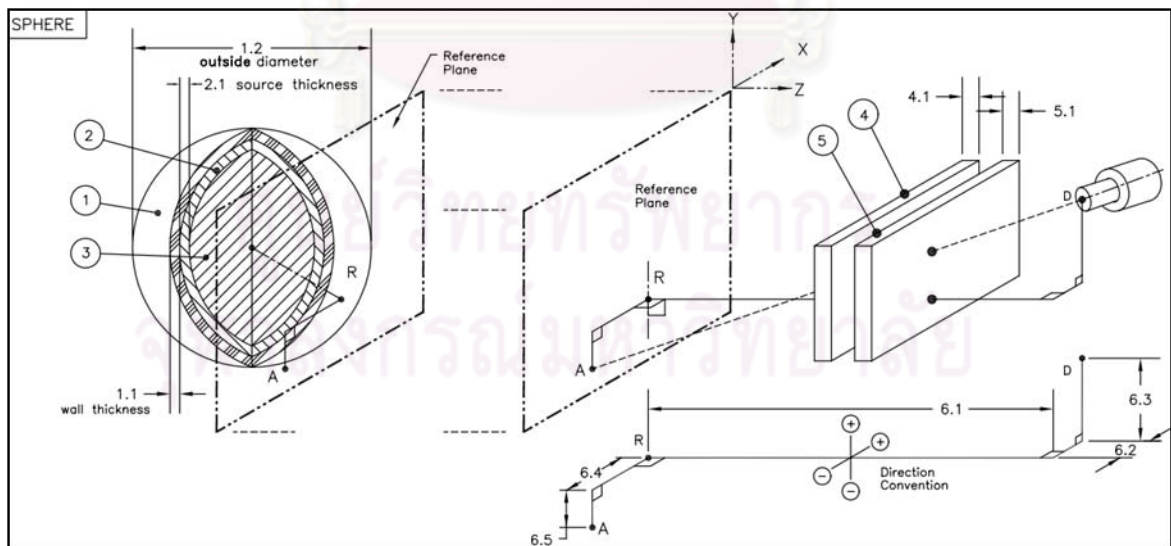
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### ตัวอย่างการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS

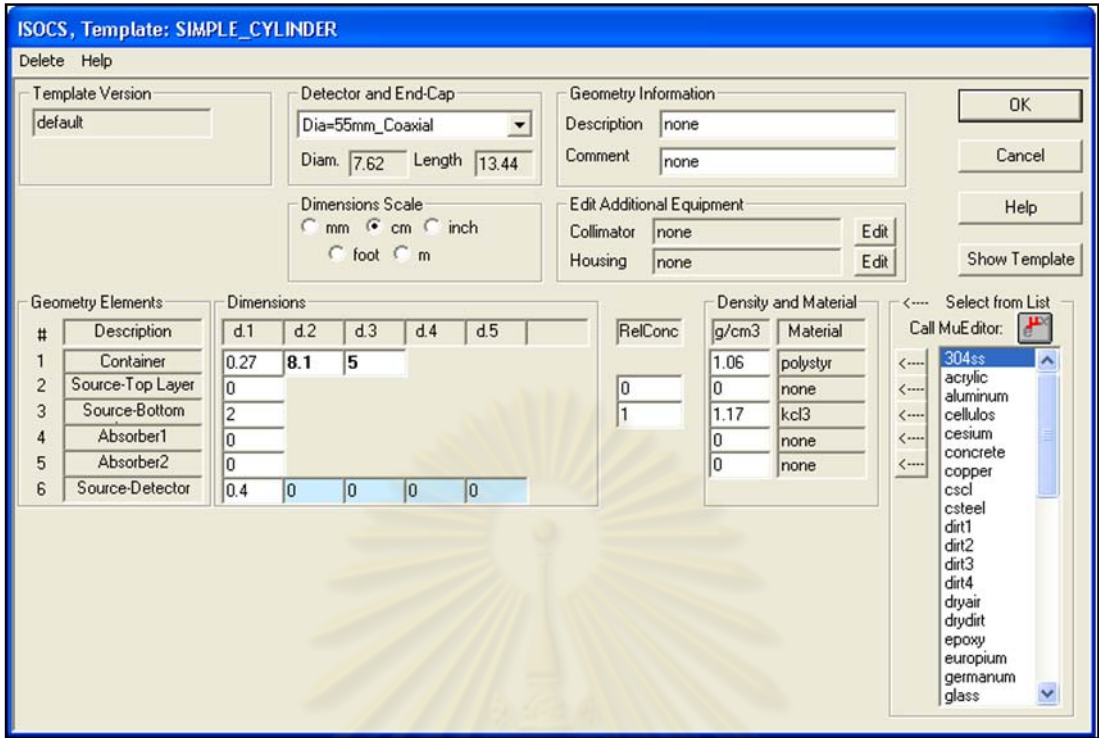


รูปที่ ก-1 การกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ของต้นกำเนิดรังสีแบบจุด

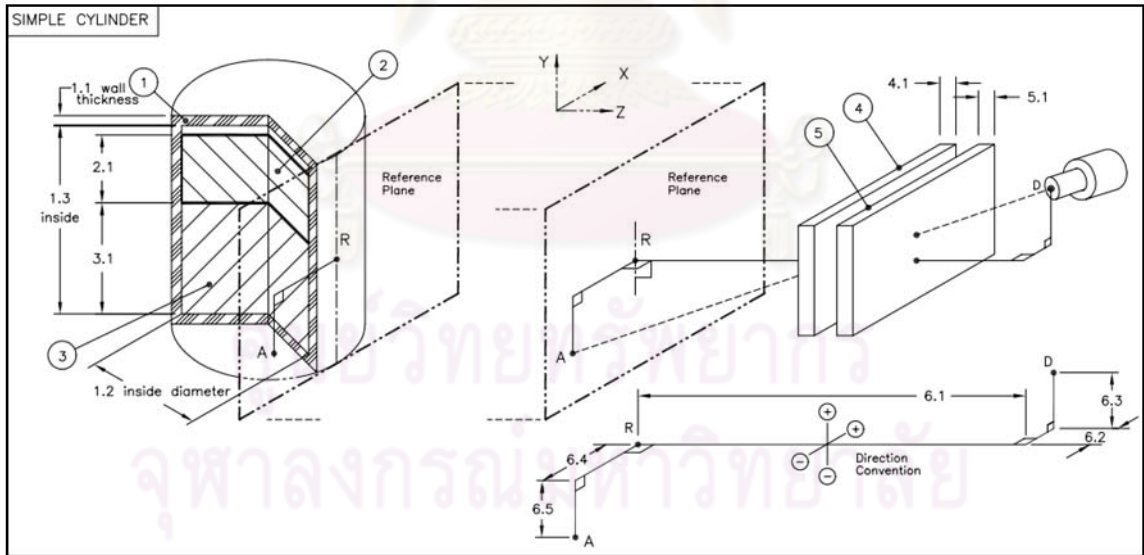


รูปที่ ก-2 Sphere template



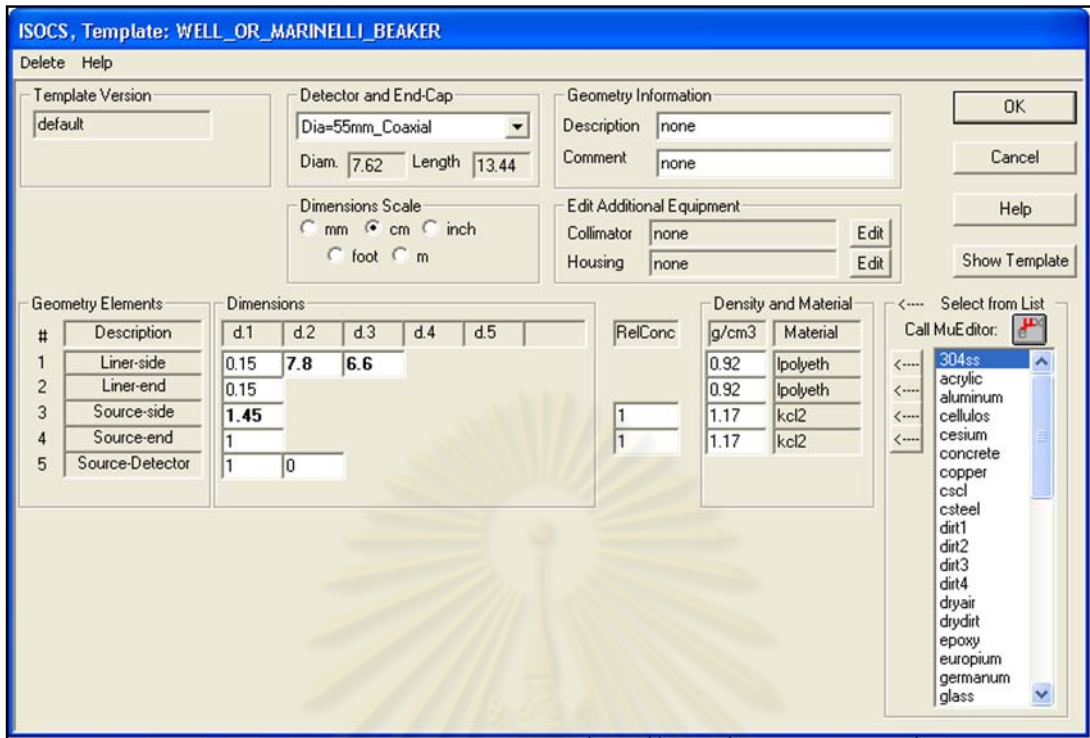


รูปที่ ก-5 การกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ของต้นกำเนิดรังสีแบบทรงกระบอก

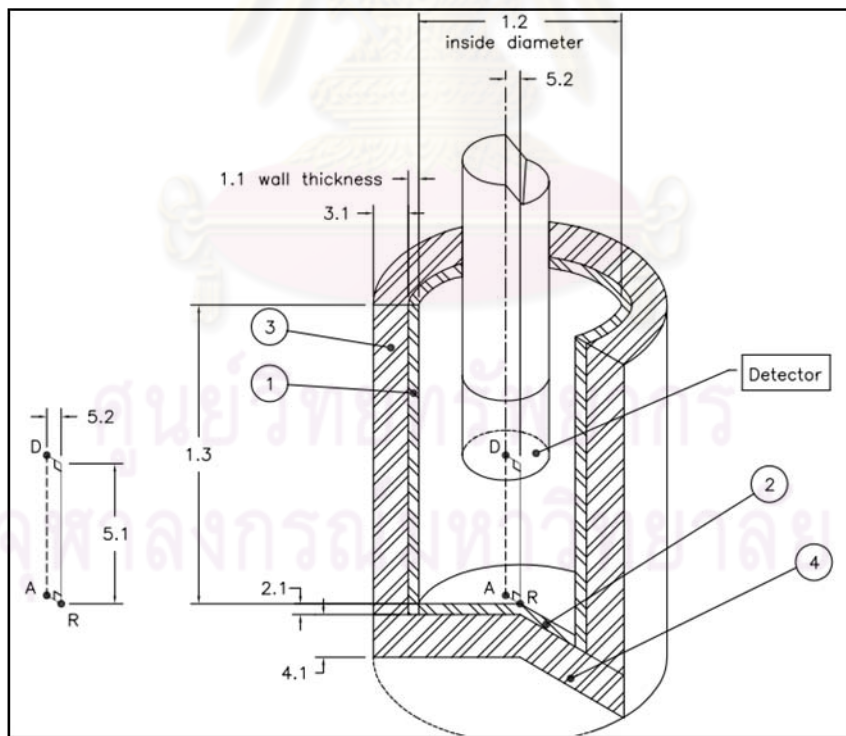


รูปที่ ก-6 Simple cylinder template





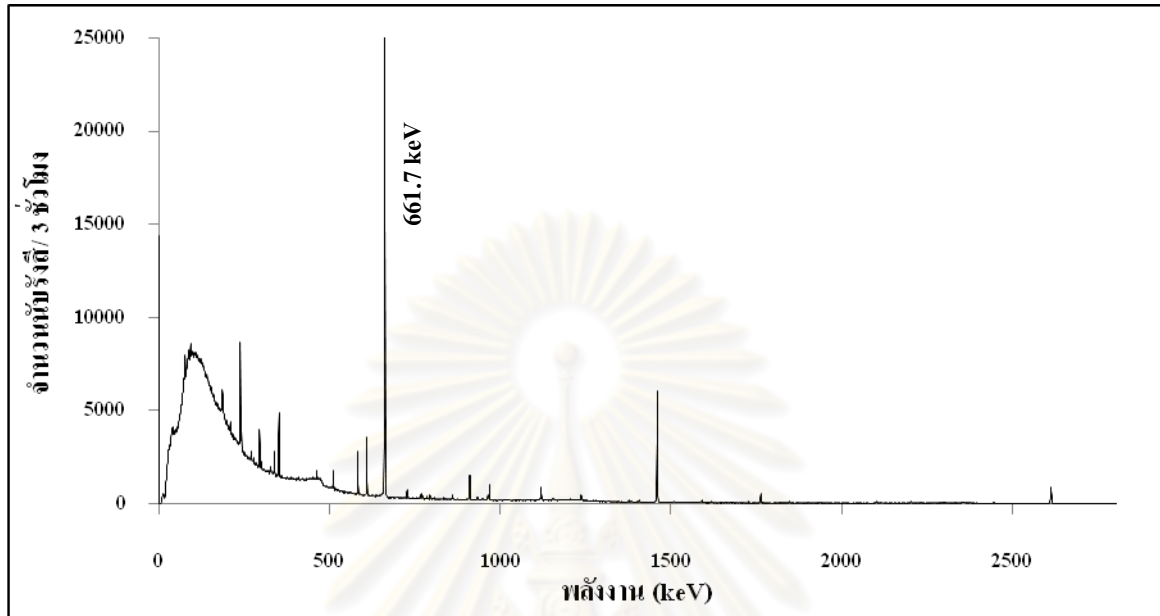
รูปที่ ก-7 การกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมสำเร็จรูป ISOCS ของต้นกำเนิดรังสีแบบ Marinelli beaker



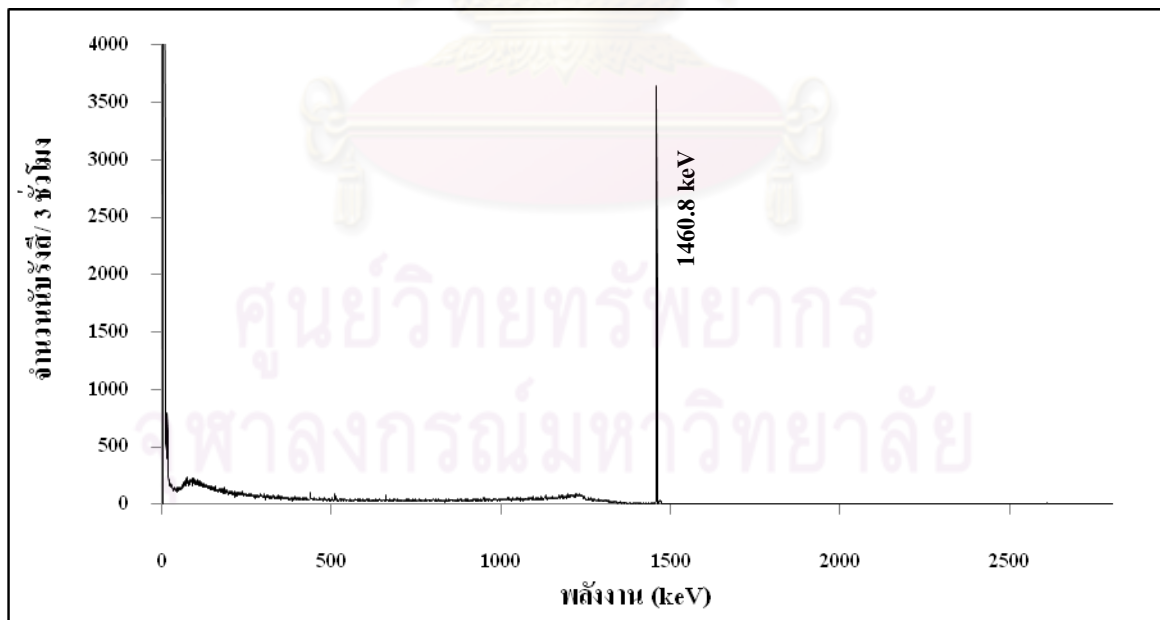
รูปที่ ก-8 Well or Marinelli beaker template



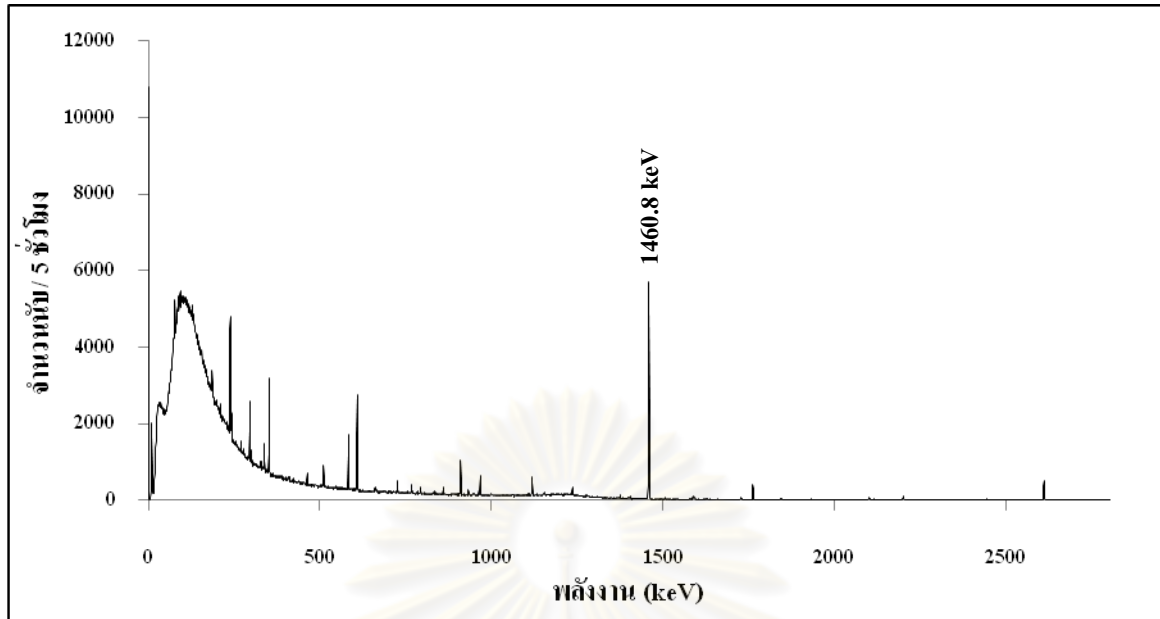
ภาคผนวก ข  
สเปกตรัมรังสีแกมมา



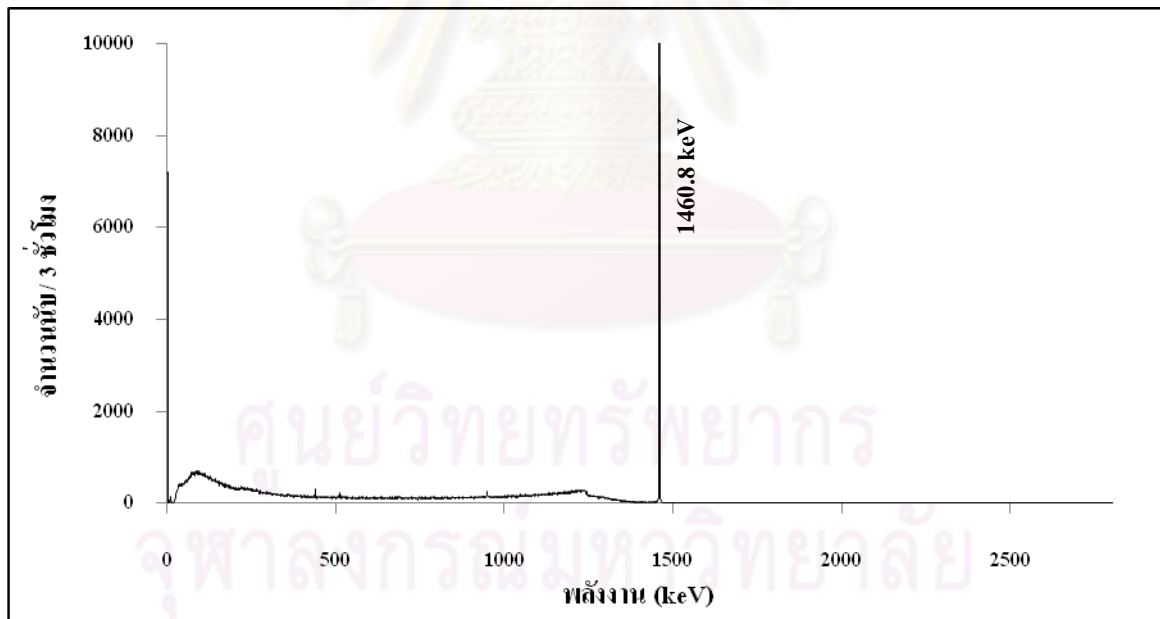
รูปที่ ข-1 สเปกตรัมรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 แบบจุด โดยวางห่างจากหัววัด เป็นระยะ 30 เซนติเมตร



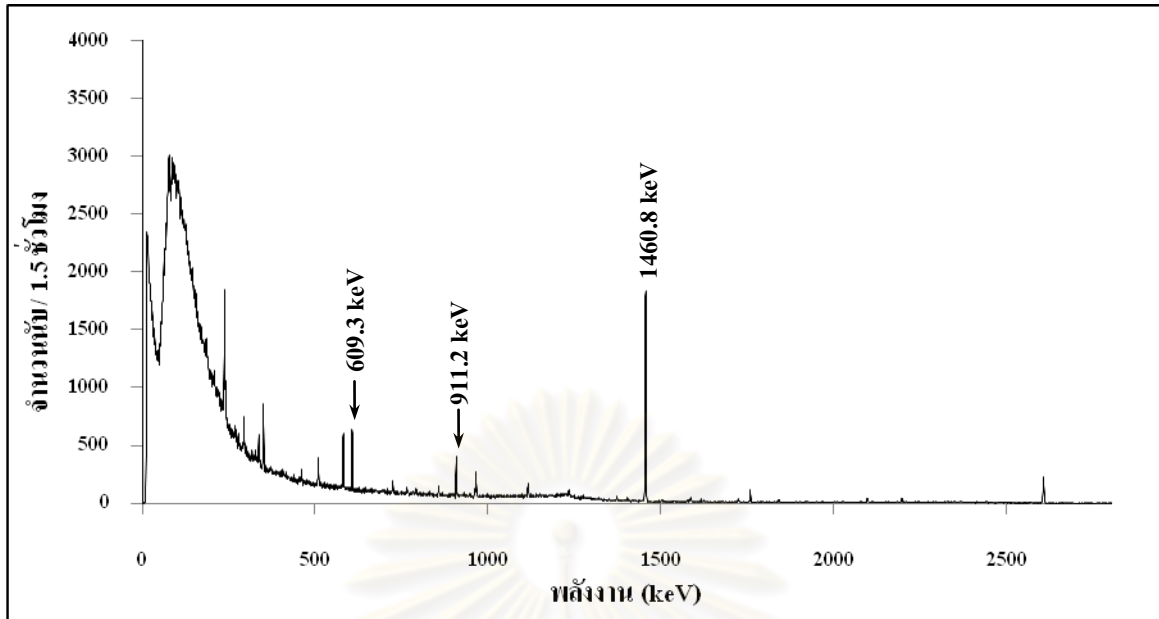
รูปที่ ข-2 สเปกตรัมรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสี KCl แบบแผ่น ห่างจากหัววัดเป็นระยะ 0.4 เซนติเมตร



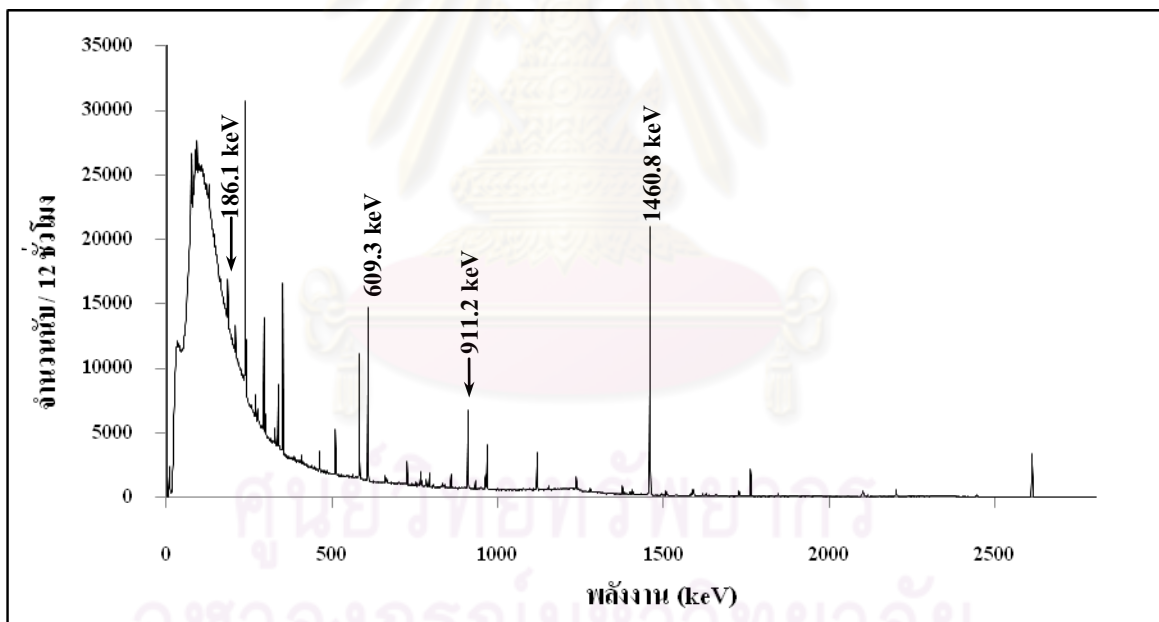
รูปที่ ข-3 สเปกตรัมรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสี KCl แบบทรงกระบอก ห่างจากหัววัดเป็นระยะ 0.5 เซนติเมตร



รูปที่ ข-4 สเปกตรัมรังสีแกมมาของต้นกำเนิดรังสี KCl แบบ Marinelli Beaker ห่างจากหัววัดเป็นระยะ 30 เซนติเมตร



รูปที่ ข-5 สเปกตรัมรังสีแกมมาของสนามหญ้า ห่างจากหัววัดเป็นระยะ 100 เซนติเมตร



รูปที่ ข-6 สเปกตรัมรังสีแกมมาของผนังตึก-1 ห่างจากหัววัดเป็นระยะ 0.5 เซนติเมตร

### ภาคผนวก ค

#### ตัวอย่างการคำนวณ

ความแรงรังสีจำเพาะของ RTh-1 มวล 313.06 g มีปริมาณทอเรียม อยู่ 800 ppm  
จากข้อมูลข้างต้นทำให้ได้ว่ามีปริมาณทอเรียมอยู่ 0.25 g ในแร่ 313.06 g  
จากสมการ

$$\begin{aligned} N &= \frac{N_A \times m}{M} \\ &= \frac{(6.022 \times 10^{23} \text{ atom/mol})(0.25 \text{ g})}{(232.038 \text{ g/mol})} \\ &= 6.488 \times 10^{20} \text{ atom} \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} A_{Th} &= (\lambda N)_{Th} \\ &= \left[ \frac{\ln 2}{1.405 \times 10^{10} \text{ year} \times \left( \frac{31536000 \text{ s}}{1 \text{ year}} \right)} \right] (6.488 \times 10^{20} \text{ atom}) \\ &= 1014.97 \text{ Bq} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความแรงรังสีจำเพาะของ RTh-1 หาได้จาก

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{A_{Th}}{m} \\ &= \frac{1014.97 \text{ Bq}}{313.06 \text{ g}} \\ &= 3.24 \text{ Bq/g} \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเจตรจันทร์ จันทร์นุ้ย เกิดเมื่อวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ. 2528 จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อเนื่องในหลักสูตรประกาศนียบัตร วิชาชีพครู ณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี การศึกษา 2552



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย