

การวัดปริมาณรังสีจากโทปอสอบรังสีนิวตรอนโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ



นางสาว วิไลรัตน์ สุจริต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MEASUREMENT OF RADIATION DOSE FROM NEUTRON IRRADIATED TOPAZ
USING IMAGING PLATE



MISS WILAIRAT SUTCHARIT

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

การวัดปริมาณรังสีจากโทปอสอบรังสีนิวตรอนโดยใช้แผ่น
บันทึกภาพ

โดย

นางสาว วิไลรัตน์ สุจริต

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

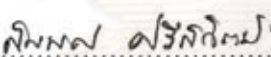
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

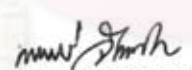
รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

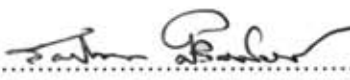

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)

วิไลรัตน์ สุจริต : การวัดปริมาณรังสีจากโทปแอสอบรังสีนิวตรอนโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ (MEASUREMENT OF RADIATION DOSE FROM NEUTRON IRRADIATED TOPAZ USING IMAGING PLATE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, 92 หน้า.

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการใช้แผ่นบันทึกภาพในการวัดปริมาณรังสีจากโทปแอสอบรังสีนิวตรอน โดยขั้นแรกได้ทำการศึกษาความไวของแผ่นบันทึกภาพฟูจิชนิด MS-2040 ต่อรังสีบีตาจากสตรอนเชียม-90 และรังสีแกมมาจากยูโรเพียม-152 ซึ่งพบว่าค่าโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตร แปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับแบบเชิงเส้น และพบว่าแผ่นบันทึกภาพมีความไวต่อรังสีบีตาสูงกว่ารังสีแกมมาเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรลดลงตามระยะเวลาที่เก็บภายหลังการฉายรังสี และค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร จากรังสีบีตาตกลงในอัตราเร็วกว่าจากรังสีแกมมา ต่อมาได้ทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร จากแผ่นบันทึกภาพฟูจิชนิด MS-2040 และ SR-2040 กับรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 และซีเซียม-137 รวมทั้งกับรังสีบีตาจากสตรอนเชียม-90 เพื่อใช้ในการวัดปริมาณรังสี ซึ่งพบว่าค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร จากแผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิดแปรผันตรงตามกับปริมาณรังสีที่ได้รับเช่นเดียวกัน โดยแผ่นบันทึกภาพชนิดแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 มีความไวกว่าชนิด SR-2040 ประมาณ 17.6 เท่าสำหรับรังสีแกมมา และประมาณ 1.1 เท่าสำหรับรังสีบีตา ในขั้นสุดท้ายได้ทำการวัดปริมาณรังสีจากโทปแอสอบรังสีนิวตรอนโดยใช้แผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 วัดปริมาณรังสีบีตาและรังสีแกมมาในโทปแอสรูปร่างต่าง ๆ กัน ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยความถูกต้องขึ้นอยู่กับเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร กับปริมาณรังสี และขึ้นอยู่กับธาตุที่เป็นองค์ประกอบของโทปแอส ซึ่งในการวิจัยนี้ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบองค์ประกอบของโทปแอสจากแหล่งต่าง ๆ ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนิสิต วิไลรัตน์ สุจริต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก นเรศร์ จันทน์ขาว

5270505721 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS:IMAGING PLATE/IRRADIATE GEMS/RADIATION DOSE/PHOTOSTIMULATED LUMINESCENCE

MISS WILAIRAT SUCHARIT : MEASUREMENT OF RADIATION DOSE FROM NEUTRON IRRADIATED TOPAZ USING IMAGING PLATE
ADVISOR : ASSOC.PROF.NARES CHANKOW, 92 pp.

The aim of this research is to measure radiation dose from neutron irradiated topaz using imaging plate (IP). Firstly, the sensitivity of MS-2040 Fuji IP to Sr-90 beta-ray and Eu-152 gamma-ray was experimentally investigated. It was found that the photostimulated luminescence (PSL) readout per square millimeter increased linearly with radiation dose and the sensitivity to beta-ray was slightly higher than to gamma-ray. It was also found that the PSL readout decreased with the storage time after exposure and decreased more rapidly for beta-ray. The IPs were then calibrated with gamma-rays from Co-60 and Cs-137 as well as beta-ray from Sr-90 for determination of radiation dose. The MS-2040 IP was found to be more sensitive to gamma-ray and beta-ray approximately 17.6 and 1.1 times than the SR-2040 IP respectively. Finally, the Fuji MS-2040 IP was used to measure radiation dose from irradiated topaz samples of different shapes. The results were found to be satisfactory but the accuracy depended on the calibration between the PSL/mm² readout and radiation dose as well as elemental composition of the topaz sample. Elemental composition of topaz sample from various sources was also analyzed and compared.

Department : Nuclear Technology

Student's Signature Wilairat Sucharit

Field of Study : Nuclear Technology

Advisor's Signature Nares Chankow

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีแห่งชาติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกลุ่มงานวิจัยและพัฒนาวิศวกรรม ศูนย์วิจัยรังสีอัญมณี สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ทั้งด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ และความรู้ในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คุณวิเชียร รตนธงชัย นักวิจัยนิวเคลียร์อาวุโสที่ปรึกษางานวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคปฏิบัติ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และประสบการณ์ต่างๆแก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้การสนับสนุนทุนการทำวิทยานิพนธ์แก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาในการศึกษาในโครงการผลิตนักวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปีงบประมาณ 2552

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยอบรมสั่งสอน ชี้แนะ ให้กำลังใจต่อทุกสิ่งทุกอย่างโดยดีเสมอมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1.บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
1.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 แผ่นบันทึกภาพ.....	10
2.2 การฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต.....	16
3.วิธีการดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	27
3.2 อุปกรณ์การวิจัย.....	28
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	38
4.ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	46
4.1 ผลศึกษาหาความไวแผ่นบันทึกภาพ.....	46
4.2 วิเคราะห์หาปริมาณสารเจือปน.....	51
4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตสติมูเลสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL)ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากโท	

บทที่	หน้า
แปศอาบรังสีนิวตรอนสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดรังสีแต่ละชนิด โดยการเปรียบเทียบ	58
ความเข้มแสง.....	76
5.สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	76
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	80
5.2 ข้อเสนอแนะ	82
รายการอ้างอิง.....	84
ภาคผนวก.....	85
ภาคผนวก ก.....	86
ภาคผนวก ข.....	88
ภาคผนวก ค.....	89
ภาคผนวก ง.....	91
ภาคผนวก จ.....	92
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1 จำแนกสีของช่วงความยาวคลื่น.....	19	
2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างอัญมณีที่ฉายรังสี.....	20	
2.3 ค่า Quality factor.....	25	
3.1 แสดงรายละเอียดไอโซโทปรังสียูเรเนียม-152	39	
3.2 แสดงรายละเอียดไอโซโทปรังสีสทรอนเชียม -90.....	39	
3.3 ปฏิกริยาระหว่างนิวตรอนกับอะลูมิเนียม ซิลิกอน และโซเดียม.....	40	
3.4 ปฏิกริยาระหว่างนิวตรอนกับธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวที่พบเจอในอัญมณี.....	41	
3.5 แสดงพลังงานของรังสีบีตาในตัวอย่างโทแปส.....	45	
4.1 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรกับปริมาณรังสีที่ได้รับของแผ่นบันทึกภาพจากต้น กำเนิดรังสีบีตา (Sr-90).....	46	
4.2 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรกับปริมาณรังสีที่ได้รับของแผ่นบันทึกภาพจากต้น กำเนิดรังสีแกมมา (Eu- 152).....	46	
4.3 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรกับปริมาณรังสีที่ได้รับของแผ่นบันทึกภาพจากต้น กำเนิดรังสีบีตาและแกมมา.....	48	
4.4 ปริมาณรังสีของตัวอย่างโทแปสอาบรังสีนิวตรอนที่ทำกาารทิ้งไว้ให้สลายตัวตาม.... ระยะเวลาต่างๆ	4.5 ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้นที่พบเจอในตัวอย่างโทแปส.....	50
4.6 ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวที่พบเจอในตัวอย่างโทแปส.....	51	
4.7 ไอโซโทปรังสีที่พบในโทแปสจากแหล่งที่มาต่าง ๆ.....	52	
4.8 เปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของฟลักซ์ตามการจัดเรียงตัวอย่างโทแปส.....	54	
4.9 ไอโซโทปรังสีที่พบในสารมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด.....	57	
4.10 ผลการวัดปริมาณรังสีของโทแปสที่ใช้ในงานวิจัยที่อาบนิวตรอนโดยใช้หัววัดรังสี. แบบกึ่งตัวนำ (HPGe).....	58	
4.11 ผลการวัดปริมาณรังสีของตัวอย่างยางสังเคราะห์.....	59	
4.12 ไอโซโทปรังสีที่พบเจอในตัวอย่างยางสังเคราะห์.....	62	
4.13 ค่าการปรับเทียบเปรียบเทียบโฟโตสตีมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (Photostimulated.....		

ตารางที่		
	luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพทั้ง 2 ชนิดต่อ.....	
	ปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ,Cs-137 และ Sr-90 ที่ทำเปรียบเทียบ.....	
	มาตรฐาน.....	63
4.14	ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของตัวอย่างโทแปสและยางสังเคราะห์เปรียบเทียบค่า..	
	PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจาก.	
	ต้นกำเนิดรังสี Co -60 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน.....	68
4.15	ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของตัวอย่างโทแปสและยางสังเคราะห์เปรียบเทียบค่า..	
	PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจาก.	
	ต้นกำเนิดรังสี Co -60 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน.....	71
4.16	ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของตัวอย่างโทแปสและยางสังเคราะห์เปรียบเทียบค่า..	
	PSL ต่อ....ตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสี...	
	จากต้นกำเนิดรังสี Sr-90 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน.....	72
4.17	ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรตัวอย่างโทแปสที่มีการสลายตัวที่ทำกรหึ่งไว้ให้.....	
	สลายตัว โดยทำการอาบนิวตรอนเมื่อวันที่ 30-11-52.....	74
4.18	ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรตัวอย่างโทแปสที่มีการสลายตัวที่ทำกรหึ่งไว้ให้.....	
	สลายตัว โดยทำการอาบนิวตรอนเมื่อวันที่ 30-11-52.....	74
4.19	ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรตัวอย่างโทแปสที่มีการสลายตัวที่ทำกรหึ่งไว้ให้.....	
	สลายตัว โดยทำการอาบนิวตรอนเมื่อวันที่ 30-11-52.....	75

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 รูปร่างและสีของโทแปลที่ยังไม่ได้อาบรังสีนิวตรอนและโทแปลที่อาบรังสีนิวตรอน.....	4
2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของแผ่นบันทึกภาพ.....	11
2.2 แผนผังโครงสร้างแถบพลังงานของ BaFBr:Eu ²⁺	13
2.3 การอธิบายกลไกการเรืองแสงของสารเรืองแสง.....	15
2.4 เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณลักษณะการตอบสนองของความเข้มรังสีในเชิงความเปรียบ... ต่างภาพระหว่างแผ่นบันทึกภาพและฟิล์มถ่ายภาพ.....	22
2.5 แหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในการอาบรังสีอัญมณี.....	23
2.6 หัววัดรังสีแบบต่างๆ.....	30
3.1 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1.....	30
3.2 แผ่นบันทึกภาพ (BAS-MS 2040) ผลิตโดยบริษัท ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม.x 40 ซม..	31
3.3 แผ่นบันทึกภาพ (BAS-SR 2040) ผลิตโดยบริษัท ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม.x 40 ซม...	31
3.4 เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพ รุ่น Typhoon FLA 7000 ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์.... ไบโอไฮลด์ เอบี.....	32
3.5 เครื่องลบภาพ (Image Eraser) รุ่น 810-UNV ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์..... ไบโอไฮลด์ เอบี.....	32
3.6 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Quant TL7.0) ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์..... ไบโอไฮลด์ เอบี.....	33
3.7 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Quant TL7.0) ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์..... ไบโอไฮลด์ เอบี.....	33
3.8 คาสเซ็ทดีไอส์แผ่นบันทึกภาพ รุ่น 2040 ผลิตโดย ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม.x 40 ซม.....	34
3.9 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา (ยูโรเพียม-152 ,ซีเซียม-137, โคบอลต์-60 และแบเรียม-133)	34
3.10 ต้นกำเนิดรังสีบีตา สทรอนเชียม-90.....	35
3.11 สารมาตรฐาน USGS (AGV-2,BHVO-2).....	35
3.12 ตัวอย่างโทแปล ที่ใช้ในการวิเคราะห์ NAA.....	35
3.13 ตัวอย่างโทแปลที่ใช้ในการทดลองมี 3 แบบ คือ รูปร่างลูกบาศก์ รูปร่าง.....	

ภาพที่	หน้า
สี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปร่างอื่นๆ.....	36
3.14 หัววัดรังสี HPGe และเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA).....	36
3.15 ยางสังเคราะห์ ขนาด 1.2x1.2x1.2 cm.....	36
3.16 บล็อกพลาสติก บล็อกอะลูมิเนียม และ บล็อกทองแดง.....	37
3.17 เครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานแบบละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง).....	37
3.18 ตัวอย่างโทแปสอาบรังสีนิวตรอนที่สลายตัวตามช่วงระยะเวลาต่าง ๆ 3 ช่วง.....	37
3.19 ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60 สำหรับเปรียบเทียบปริมาณรังสี.....	38
3.20 ต้นกำเนิดรังสี Sr-90 สำหรับเปรียบเทียบปริมาณรังสี.....	41
3.21 ลักษณะการจัดเรียงสารตัวอย่างสำหรับการอาบนิวตรอนเพื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค NAA.....	42
3.22 การวัดนิวตรอนฟลักซ์ของแกนเครื่องปฏิกรณ์ปว-1/1.....	43
3.23 การจัดวางแผ่นบันทึกภาพสำหรับเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 และ Cs-137.....	44
3.24 การจัดวางแผ่นบันทึกภาพสำหรับเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Sr-90.....	45
3.25 การจัดวางตัวอย่างบนแผ่นบันทึกภาพ.....	47
4.1 การเปรียบเทียบความไวของแผ่นบันทึกภาพตอบสนองต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมา.....	48
4.2 การเปรียบเทียบการจางลงของโฟโตสตีมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรต่อ... รังสีบีตาและรังสีแกมมา.....	49
4.3 ความเข้มแสงของต้นกำเนิดรังสียูเรเนียม-152 ทำการวางต้นกำเนิดรังสีเป็นเวลา 1,5,10,20(ล่าง) 30,40,60,80 นาที (บน).....	49
4.4 ความเข้มแสงของต้นกำเนิดรังสีสทรอนเทียม-90 ทำการวางต้นกำเนิดรังสีเป็นเวลา 1,5,10,20, 30 (ล่าง),40,60,80 นาที (บน).....	53
4.5 แกมมาสเปกตรัมของพีคพลังงาน 1.779 MeV และ 1.273 MeV ของ Al-28 , Al-29 ซึ่งอาบนิวตรอนเป็นเวลา 10 วินาที,5 นาทีในท่อ TA,CA3 ตามลำดับ ใช้เวลาวัด... ตัวอย่าง 2 นาที.....	53
4.6 แกมมาสเปกตรัมของพีคพลังงาน 1.368 ,2.754 MeV ของ Na-24 ซึ่งอาบนิวตรอนเป็นเวลา 5 วันในท่อ LZ ใช้เวลาวัดตัวอย่าง 10 นาที.....	60
4.7 สเปกตรัมรังสีแกมมาที่พบในตัวอย่างโทแปสที่ใช้ในการทดลองชนิดผงทำการอาบ... นิวตรอนเพื่อวิเคราะห์ธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างในท่อ LZ เป็นเวลา 4 วันทิ้งไว้.....	

ภาพที่	หน้า
ให้กัมมันตภาพรังสีลดลง 1 อาทิศย์ ก่อนนำมาวัดกัมมันตภาพรังสี.....	57
4.8 ตัวอย่างโทแปลก่อนการอาบรังสีนิวตรอนและหลังการอาบรังสีนิวตรอน	60
4.9 สเปกตรัมรังสีแกมมาของโทแปลรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าลำดับที่ 1.....	60
4.10 สเปกตรัมรังสีแกมมาของโทแปลรูปร่างเรียวยาวลำดับที่ 1.....	61
4.11 สเปกตรัมรังสีแกมมาของโทแปลรูปร่างลูกบาศก์ลำดับที่ 1.....	61
4.12 สเปกตรัมรังสีแกมมาของยางสังเคราะห์ลำดับที่ 1.....	63
4.13 ปรึบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด.. MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ปรึบเทียบมาตรฐาน.....	65
4.14 ปรึบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด.. SR-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสีCs-137 ที่ปรึบเทียบมาตรฐาน.....	66
4.15 ปรึบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด.. MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่ปรึบเทียบมาตรฐาน.....	66
4.16 ปรึบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด.. SR-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่ปรึบเทียบมาตรฐาน.....	67
4.17 ปรึบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด.. MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Sr-90 ที่ปรึบเทียบมาตรฐาน.....	67
4.18 ปรึบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด.. SR-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Sr-90 ที่ปรึบเทียบมาตรฐาน.....	69
4.19 ความเข้มแสงของโทแปล (Cb) หมายเลข 1-10 (เรียงลำดับจาก1(มุมซ้ายล่าง)-5(มุมขวาล่าง) และ6(มุมซ้ายบน)-10(มุมขวาบน)).....	69
4.20 ความเข้มแสงของโทแปล (Cb) หมายเลข 11-18 (เรียงลำดับจาก11(มุมซ้ายล่าง)-15(มุมขวาล่าง) และ16(มุมซ้ายบน)-(Ov) 2(มุมขวาบน)).....	70
4.21 ความเข้มแสงของโทแปล (Ov) หมายเลข 3-6 (เรียงลำดับจาก3(มุมซ้ายล่าง)-(Rt)1(มุมขวาล่าง) และ(Rt)2(มุมซ้ายบน)-6(มุมขวาบน)).....	70
4.22 ความเข้มแสงของยางสังเคราะห์ Rb หมายเลข 1-6 (เรียงลำดับจาก1(มุมซ้ายล่าง)-6(มุมขวาล่าง) และ7(มุมซ้ายบน)-6(มุมขวาบน)).....	72
4.23 ความเข้มแสงของโทแปลลักษณะ Cb1-6 ล่าง,Cb7-12 กลาง,และ Cb13-18 บน..	73
4.24 ความเข้มแสงของโทแปลลักษณะ Cs1-6 ล่าง,Rt1-6 กลาง,และ Ov1-6 บน.....	73
4.25 ความเข้มแสงของยางสังเคราะห์ Rb1-5 ล่าง ,Rb 6-10 บน.....	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อัญมณีหรือรัตนชาติ (gemstone) โดยแท้จริงแล้วหมายถึงบรรดาแร่ที่มีคุณค่าหรือลักษณะที่เมื่อนำมาเจียรระไนหรือขัดมันแล้วสวยงาม เป็นเครื่องประดับได้ อาจจะมีค่าสูงมาก นับตั้งแต่เพชร ทับทิม มรกต เป็นต้น จนไปถึงราคาถูก เช่น นิลตะโก เป็นต้น[1]

อัญมณีอาจเป็นสารอินทรีย์ (organic) และสารอนินทรีย์ (inorganic) ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเกิดจากการสังเคราะห์ก็ได้[2]

นอกจากนี้อัญมณียังหมายถึงมวลของแข็งที่ประกอบไปด้วยแร่ชนิดเดียวกัน หรือหลายชนิดรวมตัวกันอยู่ตามธรรมชาติ เนื่องจากองค์ประกอบของเปลือกโลกส่วนใหญ่เป็นสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ ดังนั้นเปลือกโลกส่วนใหญ่จึงเป็นแร่ตระกูลซิลิเกต นอกจากนี้ยังมีแร่ตระกูลคาร์บอเนต ที่ประกอบเป็นแร่ขึ้นมา

แต่สำหรับความหมายของสถาบันอัญมณีศาสตร์แห่งอเมริกา หมายถึงแร่ (Minerals) และหรือ สารประกอบอินทรีย์ (Organic materials) ที่นำมาใช้เป็นเครื่องประดับที่มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความสวยงาม (Beauty), ความทนทาน (Durability) และหาได้ยาก (Rarity) สถาบันดังกล่าวยังได้จัดแยกอัญมณีออกเป็น 2 กลุ่ม ใหญ่ๆ คือ "Diamonds" และ "Colored Stones" คำหลังเป็นคำที่ใช้กันในการธุรกิจอัญมณี หมายถึงแร่ [3]

อัญมณีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของแร่และหิน อัญมณีที่ได้วิเคราะห์แล้วมีหลายชนิด แต่มีเพียง 20 ชนิด ซึ่งจัดเป็นอัญมณีที่ได้รับความนิยม ได้แก่ เพชร (diamond) และพลอยชนิดต่างๆ เช่น ทับทิม (ruby) ไพลิน (blue sapphire) นุซราคัม (yellow sapphire) มรกต (emerald) หยก (jade) ไพฑูรย์ (chrysoberyl) เพทาย (zircon) โกเมน (garnet) ทัวมาลีน (tourmaline) สปิเนล (spinel) โทปาส (topaz) โอปอล (opal) ควอตซ์ (quartz)[2]

คุณสมบัติเบื้องต้นที่ทำให้อัญมณีมีคุณค่าขึ้นอยู่กับ ความสวยงาม ความแข็งแรง ความหายาก ความนิยม และความสามารถในการพกพา [4] และคุณสมบัติของอัญมณีที่ใช้ในการตรวจวิจัยได้แก่

1.1.1 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties)

การที่แร่ชนิดต่างๆ มีสารประกอบทางเคมีและโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน ทำให้แร่แต่ละชนิดมีสมบัติทางกายภาพและทางแสงที่คงที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว จึงสามารถจำแนกแร่เป็นตระกูล (group) , ประเภท (species) และชนิด (varieties) ซึ่งในทางวิทยาแร่จะมีแร่มากกว่า 2000 ชนิด (varieties) ซึ่งจำแนกเป็นตระกูล (group) และประเภท (species) ต่าง ๆ

อัญมณีส่วนใหญ่จะมีส่วนของสารประกอบเคมีของธาตุต่างๆซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ 3 กลุ่ม คือ

กลุ่ม oxides ได้แก่ corundum อันได้แก่ ทับทิมและไพลิน chrysoberyl และ spinel

กลุ่ม silicates ได้แก่ beryl, topaz, quartz, tourmaline, zircon, garnets

กลุ่ม carbonates ได้แก่ malachite, azurite, rhodochrosite และ calcite

1.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

รูปแบบที่อะตอมต่างๆ ของธาตุที่ประกอบเป็นอัญมณี เป็นตัวกำหนดถึงคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกันของอัญมณีนั้นกับอัญมณีชนิดอื่น ๆ สามารถจำแนกชนิดอาจใช้วิธีการที่ไม่ทำให้อัญมณีนั้นเสียหายหรือถูกทำลายไป บางวิธีอาจจะใช้การคาดคะเน หรือโดยการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์หรือเครื่องมือธรรมดาโดยทั่วไปคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ได้แก่

1.1.2.1 ความแข็งแรง (Hardness)

คือความสามารถของอัญมณีในการต้านทานต่อการขีดขีด ขัดสีสึกกร่อนบนผิวหน้าเรียบ เป็นสิ่งที่พิจารณาได้ว่าอัญมณีชนิดใดมีความต้องการต่อการสวมใส่เพียงใด อัญมณีชนิดใดสามารถนำมาจัดเรียงลำดับความสามารถต้านทานต่อการขีดขีด ระดับค่าความแข็งที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกวันนี้ เป็นค่าความแข็งสัมพัทธ์ของโมส์ (Mohs scale) ซึ่งจัดแบ่งเรียงลำดับความแข็งของแร่ที่เพิ่มขึ้นจาก 1-10 ดังนี้

1. ทัลก์ ความแข็ง 1-2.5 สามารถขีดขีดได้โดยเล็บมือ
2. ยิปซัม ความแข็ง 3-4 สามารถขีดขีดได้โดยเหรียญทองแดง
3. แคลไซต์ ความแข็ง 5.5 สามารถขีดขีดได้โดยใบมีดหรือกระจกหน้าต่าง
4. ฟลูออไรต์
5. อะพาไทต์
6. ออร์โทเคลส เฟลด์สปาร์
7. ควอตซ์
8. โทแพส
9. คอรันดัม
10. เพชร

1.1.2.2 ความเหนียว (Toughness)

คือ ความสามารถของอัญมณีในการต้านทานต่อการแตกหักแตกร้าว การเกาะเกี่ยวเกาะกลุ่มอยู่ติดกันแน่นมาก

1.1.2.3 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของวัตถุกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน (ในอุณหภูมิ ๔ องศาเซลเซียส) โดยทั่วไปแล้วค่าความถ่วงจำเพาะของอัญมณีแทบทุกชนิด จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1-7 อัญมณีที่มีค่าต่ำกว่า 2 ถือว่าเป็นชนิดเบา เช่น อำพัน พวกที่มีค่าอยู่ระหว่าง ๒ และ ๔ เป็นชนิดปกติ เช่น ควอตซ์ พวกที่มีค่ามากกว่า 4 เป็นชนิดหนัก เช่น มณีดีบุก

1.1.2.4 คุณสมบัติทางแสง (Optical properties)

เมื่อแสงเดินทางผ่านเข้าสู่มีขั้วที่แตกต่างกันสองชนิด เช่นอากาศ และอัญมณี จะเกิดปรากฏการณ์ขึ้น ๓ ลักษณะ ได้แก่ แสงบางส่วนจะสะท้อนกลับหรือถูกส่งกลับจากผิวของอัญมณีนั้นไปสู่อากาศ แสงบางส่วนผ่านเข้าไปในเนื้อของอัญมณีแล้วเกิดการหักเหของแสงขึ้น และอัญมณีนั้น จะดูดกลืนแสงบางส่วนไว้ จากลักษณะปรากฏการณ์ทั้งสามที่กล่าวมา จะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิด สี ความวาว การกระจายแสง การเรืองแสง การเลี้ยวปริศนาระยะไกล ปรากฏการณ์เหล่านี้

จะเห็นได้ว่าในงานวิจัยนี้ได้เลือกอัญมณีเพื่อทำการศึกษาวิจัย คือ โทแปส ซึ่งลักษณะและคุณสมบัติของโทแปสดังนี้

โทแปสจัดอยู่ในกลุ่มของแร่ซิลิเกต ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญของแร่ในกลุ่มนี้คือ ซิลิกอน (Si) กับ ออกซิเจน (O) มีสูตรทางเคมี SiO_2 และอยู่ในรูปที่เรียกว่า เทตระฮีดรา เกาะซึ่งกันและกัน นอกจากนั้นยังมีธาตุอื่นเกาะเกี่ยวร่วมกำเนิดอยู่ด้วยอีกหลายธาตุ ทำให้เกิดเป็นแร่ซิลิเกตขึ้นมากมายในลักษณะผลึกต่างๆกัน การจับตัวเกาะกันจนมีโครงสร้างผลึกเฉพาะตั้งแต่ง่าย ๆ จนถึงซับซ้อน แต่เราสามารถแบ่งแยกกลุ่มแร่ซิลิเกตออกได้เป็น 6 ชนิดคือ

ก. นีโอซิลิเกต (nesosilicate)	มีอัตราส่วน	Si : O = 1:4
ข. โซโรซิลิเกต (sorosilicate)	“	“ = 2:7
ค. ไชโคลซิลิเกต (cyclosilicate)	“	“ = 1:3
ง. ไอนซิลิเกต (inosilicate)	“	“ = 1:3,4:7
จ. ฟิลโลซิลิเกต (phyllosilicate)	“	“ = 2:5
ฉ. เทกโทซิลิเกต (tectosilicate)	“	“ = 1:2

ซึ่งโทแปสจัดอยู่ในแร่ซิลิเกตชนิดนีโอซิลิเกต ซึ่งชื่อของโทแปสมาจากชื่อ โทแปสเซียน (Topazion) ซึ่งเป็นชื่อหมู่บ้านที่อยู่ในทะเลแดง มีสูตรทางเคมีคือ $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F},\text{OH})_2$ Aluminum

Silicate Fluoride hydroxide ไม่ละลายในกรด มีองค์ประกอบของ อะลูมิเนียม ฟลูออรีน และ หนูไฮดรอกซิล โดยโครงสร้างผลึกเป็นแบบออร์โธโรมบิก มีลักษณะเป็นมวลเม็ดมีเนื้อสमानแน่น ผลึกมีทั้งขนาดเล็กและใหญ่ มีความถ่วงจำเพาะ 3.4-3.6 ความแข็ง 8 (ตามสเกลของโมห์) และมีค่าดัชนีหักเห เป็น 1.62 ลักษณะของผลึกมีความวาวคล้ายแก้ว ไม่มีสี สีเหลือง ชมพู เหลืองแบบ เหล้าไวน์ สีนํ้าเงิน และสีเขียว แสดงคุณสมบัติโปร่งใสถึงโปร่งแสง สีที่นิยมนำมาใช้เป็น เครื่องประดับ และมีค่ามากที่สุดคือ สีเหลืองบราซิล ชนิดใสไม่มีสีใช้เป็นเพชรเทียม โดยไทเปสตี ฟ้าเป็นที่นิยมในกลุ่มชาวยุโรปและชาวอเมริกา[1]



ก.

ข.

การฉายรังสีอัญมณี

เป็นกรรมวิธีอย่างหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าและปรับปรุงคุณภาพทำให้อัญมณีมีสีสันสวยงามมากขึ้นและสีคงทน ทำให้ราคาสูงขึ้น โดยรังสีที่ใช้ในการฉายรังสีอัญมณี โดยทั่วไปใช้ รังสีแกมมา รังสีนิวตรอนและอนุภาคอิเล็กตรอน รังสีที่ใช้ในการฉายรังสีแต่ละชนิดจะทำให้อัญมณีมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน โดยเมื่อทำการฉายรังสีแกมมาจะทำให้การฉายด้วยรังสีแกมมาจะทำให้ อัญมณีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่ารังสีอื่น เมื่อทำการฉายด้วยอนุภาคอิเล็กตรอน จะทำให้อัญมณีเกิดความร้อนเฉพาะที่สูงมาก อาจทำให้เกิดอัญมณีแตกร้าวได้ จึงต้องมีการระบายความร้อนด้วยน้ำและอิเล็กตรอนให้โดสแก่อัญมณีสูงกว่ารังสีแกมมา จึงทำให้ผิวของอัญมณีมีสีสดสวยกว่า และเมื่อทำการฉายด้วยรังสีนิวตรอนจะทำให้อัญมณีมีสีสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อน เนื่องจากนิวตรอนมีความสามารถในการทะลุทะลวงดีกว่าอิเล็กตรอนและรังสีแกมมา แต่การฉายด้วยรังสีนิวตรอนจะก่อให้เกิดสารไอโซโทปรังสี และจะต้องเก็บอัญมณีไว้จนกว่าความแรงรังสีจะลดลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยตามมาตรฐานสากลคือ 2 นาโนคูรีต่อกรัม จึงจะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องประดับต่อไป [5]

1.2 วัดคุณสมบัติของการวิจัย

เพื่อประยุกต์ใช้แผ่นบันทึกภาพในการวัดปริมาณรังสีจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอนหลายเม็ดพร้อมกัน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาความไวของแผ่นบันทึกภาพที่ตอบสนองต่อรังสีบีตา และรังสีแกมมา ที่มาจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอน

1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตสตีมูลิเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอนสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดรังสีแต่ละชนิด

1.3.3 ทดลองใช้แผ่นบันทึกภาพในการหาปริมาณรังสีที่ได้รับจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอน

1.3.4 ศึกษาการจางลงของโฟโตสตีมูลิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บของแผ่นบันทึกภาพ

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

IMAGING PLATE, IRRADIATED GEMS, RADIATION DOSE, PHOTOSTIMULATED LUMINESCENCE

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 วัดปริมาณรังสีของโทแปสอาบรังสีนิวตรอน แล้วควบคุมให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยก่อนนำไปฉายระโนใช้เป็นเครื่องประดับ

1.5.2 ลดระยะเวลาและทุนแรงงานในการวัดปริมาณรังสีของโทแปสอาบรังสีให้รวดเร็วขึ้น

1.5.3 วัดปริมาณรังสีของโทแปสอาบรังสีนิวตรอนได้หลายเม็ดพร้อมกันโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.2 ศึกษาการใช้งานเครื่องมืองานวิจัย (เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพ, แผ่นบันทึกภาพ) จัดหาอุปกรณ์และตัวอย่างอัญมณี (โทแปส) ที่ใช้ในงานวิจัย

1.6.3 ศึกษาปริมาณสารเจือปนที่มีอยู่ในโทแปส เช่น Fe, Sc, Ta, Cs เป็นต้น โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์โดยการอาบนิวตรอน (Neutron Activation Analysis) และวัดกัมมันตภาพรังสีจากเทคนิคการอาบนิวตรอน

1.6.4 ศึกษาความไวของแผ่นบันทึกภาพที่ตอบสนองต่อรังสีบีตา และรังสีแกมมา ที่มาจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอน

1.6.5 ศึกษาการลดลงของโฟโตสติมูเลชันในเซนซอร์ที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บของแผ่นบันทึกภาพ

1.6.6 นำตัวอย่างโทแปสไปอาบรังสีนิวตรอน โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (ปว-1/1)

1.6.7 วัดปริมาณรังสีจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอน โดยใช้แผ่นบันทึกภาพเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ต่อตารางมิลลิเมตรจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบมาตรฐาน สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

1.6.8 ศึกษาค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ต่อตารางมิลลิเมตรของโทแปสอาบรังสีนิวตรอนว่ามีปริมาณรังสีเท่าไร

1.6.9 วิเคราะห์ผลการวิจัย สรุปผลการทดลอง และรายงานผลการงานวิจัย

1.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.7.1 Calibration factor for estimating personal dose equivalent with imaging plates ,D. Mouhssinea,A. Nourreddinea, *,A. Nachaba, F. Fernandezb, C. Domingob,H. Mullerc, K. Amgaroub,A. Papea, D. Raisera (2005)

ได้ทำการศึกษการเปรียบเทียบเพื่อใช้อิเมจจิงเพลทขนาดเล็ก สำหรับเป็นเครื่องวัดรังสีนิวตรอนประจำตัวบุคคล โดยวางแผ่นโพลีเอทิลีน ความหนา 1.2 มล. และในลอนความหนา 100 ไมโครเมตร ใ้หน้าอิเมจจิงเพลท เพื่อทำให้เกิดโปรตอนจากการทำปฏิกิริยา(n,p) ของนิวตรอน ใช้ต้นกำเนิดรังสีเป็นไอโซโทป $^{241}\text{Am-Be}$ และ ^{252}Cf พบว่าค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการเก็บนานขึ้น ซึ่งการปรับเทียบปริมาณรังสีนิวตรอนมีค่า $9.20 \times 10^{-5} \text{ mSV ต่อ PSL/mm}^2$ สำหรับ $^{241}\text{Am-Be}$ และ $13.07 \times 10^{-5} \text{ mSV ต่อ PSL/mm}^2$ สำหรับ ^{252}Cf

1.7.2 Application of an Imaging Plate to Radiation Dosimetry ,Ohuchi H. and Yamadera A. (2001)

ได้ทำการศึกษการจางลงของการคายแสง PSL ของอิเมจจิงเพลทเนื่องจากผลของระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บ โดยศึกษาผลของรังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีแกมมา กับอิเมจจิงเพลท แบบ BAS-US,BAS-TR และ BAS-MS ทดลองเก็บรักษาเป็นเวลา 1-30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง 60,70,และ 80 องศา พบว่า การคายแสงจางลงตามระยะเวลาและอุณหภูมิโดยไม่มี ความสัมพันธ์กับชนิดของรังสีหรือพลังงานของรังสี

1.7.3 Dependence of fading patterns of photo-stimulated luminescence from imaging plate on radiation ,energy and image reader ,Ohuchi H. and Yamadera A. (2002)

ได้ทำการศึกษาลักษณะการจางลงของอิมเมจิงเพลท โดยศึกษาร่วมกับรังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีแกมมา กับอิมเมจิงเพลท แบบ BAS-US,BAS-TR และ BAS-MS จากการทดลองพบว่าอิมเมจิงเพลททั้ง 3 ชนิดการจางลงไม่ขึ้นกับพลังงานและชนิดรังสี ของบีตาและรังสีแกมมา ยกเว้นรังสีแกมมาที่จะเกิดการจางลงในเวลาอันสั้นหลังจากอาบด้วยรังสีแอลฟา ดังนั้นสามารถใช้อิมเมจิงเพลทเนตัวตรวจวัดปริมาณรังสี

ส่วนการจางลงของอิมเมจิงเพลทจะเกิดขึ้นมานำมาสแกนด้วยเครื่องอ่านอิมเมจิงคนละชนิด การเปลี่ยนแปลงการจางลงของอิมเมจิงเพลทเกิดจากการใช้เครื่องอ่านอิมเมจิงเพลทคนละชนิดคือ BAS-1000 และ Bas-5000

1.7.4 Performance comparison of neutron and x-ray sensitive photo-stimulated imaging plate,Hisao Kobayashia*,Masanori Satohb, Masahiro Etohc, Kohichi Ogurad, Hironobu Yanagie (2004)

ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติในการคายแสงหรือ Photo-stimulated luminescent (PSL) ของอิมเมจิงเพลทแบบ NIP XIP TIP โดยใช้เทอร์มินัลนิวตรอน รังสีเอ็กซ์ 20-120 kV และรังสีแกมมา จาก ^{60}Co พบว่าคุณสมบัติการคายแสงไม่ขึ้นกับชนิดของรังสี แต่ขึ้นกับพลังงานของรังสี รังสีที่มีพลังงานสูงจะมีพิสัยในตัวกลางมากกว่ารังสีที่มีพลังงานต่ำ ทำให้เคลื่อนที่ผ่านผลึกของอิมเมจิงเพลทไปได้ไกลกว่า จึงมีกำลังแยก (Resolution) ไม่สู้ดี และมี PSL ต่ำกว่า

1.7.5 การศึกษาธาตุปริมาณน้อยในโทแปสอาบนิวตรอน ,สมชาย พงษ์เกษม และคณะ (2543)

พบว่า โทแปสจากแหล่งศรีลังกา และอินเดีย แล้วนำมาฉายรังสีนิวตรอนมีไอโซโทปรังสีเจือปนในปริมาณน้อยหรือมีปริมาณรังสีไม่สูงมาก ใช้เวลาไม่นานในการสลายตัวของรังสี โทแปสฉายรังสีนิวตรอนจากแหล่งไนจีเรีย จีน และบราซิล มีปริมาณไอโซโทปรังสีเกิดขึ้นหลายชนิดและมีปริมาณรังสีสูงและใช้เวลานานในการสลายตัวของรังสี Nassau (1994) ได้อธิบายว่า สีฟ้าหรือน้ำเงินของโทแปส ทำได้จากการฉายรังสี 4 กระบวนการคือ (1) การใช้รังสีแกมมา ซึ่งได้สีน้ำเงินเข้มหลังการเผา เรียกว่า Cobalt blue (2) การใช้อนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง ได้สีฟ้าหลังการเผา เรียกว่า Sky blue (3) การใช้รังสีนิวตรอน จะได้สีฟ้าหรือน้ำเงินที่เรียกว่า London blue (4) การใช้รังสีนิวตรอนแล้วตามด้วยอนุภาคอิเล็กตรอน จะได้สีฟ้าหรือน้ำเงินที่เรียกว่า American blue, California blue, Super blue และ Swiss Blue สีฟ้าที่เกิดจากธรรมชาติหรือได้จากการฉายรังสีจะไม่คงทนเมื่อเผาที่อุณหภูมิมากกว่า 450 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม โทแปสฉายรังสีสีฟ้าจะต้องทำการตรวจสอบว่ามีปริมาณไอโซโทปที่มีรังสีตกค้างต่ำกว่าระดับที่ยอมรับก่อนที่จะนำสู่ตลาดอัญมณี

มณีเสมอ โดยมาตรฐานที่ยอมรับกันในประเทศกลุ่มยุโรปคือ ความแรงของรังสีจะต้องไม่เกิน 2 นาโนคูรีต่อกรัม แต่บางประเทศเช่น อเมริกา อาจกำหนดรังสีไว้ไม่เกิน 1 นาโนคูรีต่อกรัม ซึ่งเครื่องมือตรวจสอบรังสีตกค้างที่นิยมใช้ ได้แก่ Geiger-Counter, Scintillation crystal detectors, และ Semiconductor crystal detectors เป็นต้น

1.7.6 การเสริมคุณภาพของโทปแอสด้วยการอาบนิวตรอน, วัลลภ บุญคง และคณะ (2543)

พบว่า โทปแอสไร้สีบางเม็ดเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหลังการฉายรังสีแกมมา แต่สีไม่คงทน ส่วนการฉายรังสีนิวตรอน จะทำให้ได้โทปแอสสีฟ้า ฟ้าแกมน้ำตาลและน้ำตาล แต่เมื่อนำมาเผาที่ 200-250 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าสดใส สีคงตัวไม่กลับคืน สีฟ้าของโทปแอสจากการฉายรังสีมีหลายระดับ มีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น Sky blue, Swiss blue, Dutch blue, London blue และ Super blue เป็นต้น การฉายอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูง ได้สี Sky blue มีไอโซโทปรังสีเกิดขึ้นน้อยมาก และนำผลออกมาใช้ได้ในเวลาครึ่งถึงหนึ่งเดือนหลังการฉายรังสี ส่วนการฉายรังสีนิวตรอนได้โทปแอสสีเข้มระดับ London blue แต่มีไอโซโทปรังสีเกิดขึ้นมาก จึงต้องนำมาเก็บไว้ในที่ปลอดภัยเพื่อให้ธาตุไอโซโทปรังสีหมดไปหรืออยู่ในระดับที่ปลอดภัย จึงจะนำอัญมณีมาใช้ได้ ซึ่งอาจใช้เวลาหลายเดือนจนถึงเป็นปีขึ้นกับปริมาณรังสีตกค้างที่มีอยู่ในอัญมณี ซึ่งมักจะขึ้นกับแหล่งของอัญมณีด้วยเช่นกัน

1.7.7 Study of neutron irradiation-induced color in Brazilian topaz, A.S.Leal^a, K.Krambrock^b, L.G.M.Ribeiro^b, M.A.B.C.Menezes^a, P.Vermaercke^c, L.Sneyers^c. (2007)

ได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างสีของโทปแอสจากแหล่งที่มาต่าง ๆ ที่กำเนิดในประเทศบราซิล ทั้งหมด 4 แหล่งคือ State of Rondonia (TR), State of Tocantins (TT), State of Minas Gerais Hematita (TH) และ Marambaia (TM) ทำการอาบรังสีโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ TRIGA MARK I IPR-R1 และ BR1 ของ CDTN/CNEN ของประเทศบราซิล และ SCK.CEN ของประเทศบังกลาเทศตามลำดับ โดยจะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยเทคนิค k_0 -NAA เพื่อหาสารเจือปนที่มีอยู่ในตัวอย่างและหาปริมาณธาตุสีทั้งหมด ส่วนการเปลี่ยนสีและศูนย์กลางการเปลี่ยนสีจะทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง optical absorption และเครื่อง electron paramagnetic (EPR) โดยผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างโทปแอสจากแหล่งที่มาทั้ง 4 แหล่งให้ค่ากัมมันตภาพรังสีต่ำกว่ากัมมันตภาพรังสีของโทปแอสที่มาจาก TH ซึ่งจากการอาบรังสีจะทำการวิเคราะห์สีของตัวอย่างโดย optical absorption และการเหนี่ยวนำรังสีโดยใช้ electron paramagnetic (EPR) และจากการวิเคราะห์พบว่าสีน้ำเงินของตัวอย่างจะถูกเหนี่ยวนำโดยนิวตรอน ส่วนความเข้มชั้นและสีน้ำเงินของโทปแอสจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นกับปริมาณรังสีแต่จะไม่อิ่มตัวเมื่อใช้กับปริมาณรังสีที่สูง

1.7.8 Research on radiation-induced color change of white topaz,Wang Ying ^{a,*},Gu yong-bao^b (2002)

การศึกษากรรณวิธีการผลิตโทปาสกายบลู โดยใช้ลำอิเล็กตรอนพลังงาน 3-5 MeV จากเครื่องเร่งอนุภาค ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของโทปาสใสไม่มีสีภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิห้อง แล้วนำไประบายความร้อน การเหนี่ยวนำไอออนของศูนย์กลางสีจากโทปาสใสไม่มีสีโดยใช้ลำอิเล็กตรอน สุดท้ายการฉายรังสีจะได้โครสที่มากกว่า $5 \times 10^7 - 1 \times 10^8$ Gy นำไปอบความร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 180 -280 องศาเซลเซียส สุดท้ายจะได้โทปาสกายบลูออกมา



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

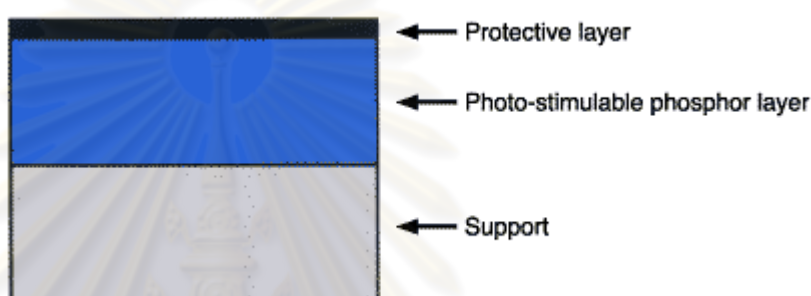
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. แผ่นบันทึกภาพ

แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate, IP) ซึ่งเป็นวัสดุบันทึกภาพชนิดใหม่ ทำหน้าที่คล้ายกับฟิล์มที่ใช้บันทึกภาพที่ถ่ายด้วยรังสี ทำจากวัสดุเรืองแสงที่สามารถเก็บพลังงานของรังสีที่ได้รับเอาไว้ แล้วนำมาสแกนด้วยแสงเลเซอร์ ซึ่งจะคายพลังงานโดยเรืองแสงออกมา โดยผลิตขึ้นด้วยสารเรืองแสงชนิดพิเศษ ประกอบด้วยวัสดุที่เปล่งแสงออกมาเมื่อได้รับรังสี แสง UV ลำอิเล็กตรอน ความร้อน แรงกระแทก หรืออาจกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีในบางกรณี โดยทั่วไปวัสดุชนิดนี้ เรียกว่า วัสดุเรืองแสง (fluorescent substances) มีลักษณะเป็นผง ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้ เมื่อถูกกระตุ้นบางอย่าง เช่น แสง รังสี แสงที่เปล่งออกมา จะหมดลงทันทีที่หยุดการกระตุ้น ปฏิกิริยาการนี้ เรียกว่า "fluorescence" สารเรืองแสงบางชนิด ยังเปล่งแสงออกมาได้ เมื่อหยุดการกระตุ้นแล้ว ซึ่งเรียกว่า "phosphorescence" ส่วนคำว่า "Luminescence" เป็นคำรวมที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ในการเปล่งแสงทั้งสองแบบ ในการพัฒนาสารเรืองแสง หรือ phosphor นั้น มีการพิจารณาคุณสมบัติในการเรืองแสง (luminescence) ทั้งแบบ fluorescence และแบบ phosphorescence เพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภท สารเรืองแสงที่ใช้ในการผลิตแผ่นบันทึกภาพ มีคุณสมบัติในการเรืองแสงจากการกระตุ้นด้วยรังสี (photostimulated luminescence, PSL) ซึ่งแตกต่างจาก fluorescence และ phosphorescence ปรากฏการณ์ของ PSL ค้นพบโดย Becquerel นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ตอนกลางศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ วัสดุถูกกระตุ้นครั้งแรกด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เช่น รังสี และจะเปล่งแสงออกมา เมื่อถูกกระตุ้นครั้งที่สองด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น ปรากฏการณ์ PSL ไม่ได้ได้รับความสนใจ จนกระทั่งปลายสงครามโลกครั้งที่สอง มีการพัฒนาไปใช้ในการตรวจวัดรังสีอินฟราเรด ของนักวิจัยในกองทัพญี่ปุ่น และใช้บันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีในสหรัฐอเมริกา ในปี 1947 Imaging Plate จึงใช้บันทึกภาพจากรังสีเอกซ์ โดยใช้หลักการพื้นฐาน มาจากปรากฏการณ์ของ PSL ในการเก็บข้อมูล ที่มาจากรังสี แล้วคายออกมาในรูปของแสง[6,7]

2.1.1 โครงสร้างของแผ่นบันทึกภาพ

โครงสร้างของแผ่นบันทึกภาพ โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนฐานทำมาจากแผ่นโพลีเอสเตอร์ (polyester) ที่มีความอ่อนตัว หนาประมาณ 0.25 – 1 mm เคลือบด้วยผลึกสารเรืองแสงกลุ่มแบเรียมฟลูออไรด์เจือยูโรเนียม [BaF (Br,Cl,I) :Eu²⁺] ทำหน้าที่เป็น Luminescence ซึ่งมีขนาดเกรน (grain) ของสารตามชนิดของงานการใช้งาน (< 10 μm) ผสมกับสารยึดเกาะที่มีความหนา 15-400 μm และเคลือบทับด้วยโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate) ที่มีความหนา 10 μm บ่มผิวด้วยเทคนิคทางรังสีของลำอิเล็กตรอน (EBC) เพื่อป้องกันผิวหน้าของสารเรืองแสง[8,9] มีโครงสร้างและส่วนประกอบดังรูปที่ 2.1



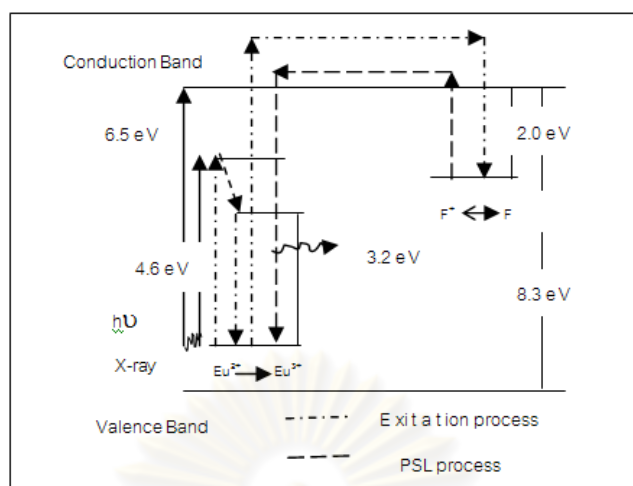
รูปที่ 2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของแผ่นบันทึกภาพ

2.1.2 กลไกการทำงานในการบันทึกปริมาณรังสี

เมื่อสารเรืองแสงได้รับการถ่ายโอนพลังงานจากรังสี บริเวณแถบวาเลนซ์จะเกิดการไอออนไนซ์ของ Eu²⁺ เป็นไอออนบวก Eu³⁺ อิเล็กตรอนจะถูกยกระดับพลังงานขึ้นสู่บริเวณแถบนำ ก่อให้เกิดคู่ของเอ็กซิตอนขึ้น ปริมาณคู่ของเอ็กซิตอนจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ตกกระทบสารเรืองแสง การยกระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ

2.1.2.1 อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า 6.5 eV จะยกระดับพลังงานขึ้นสู่สถานะพักชั่วคราว และจะกลับสู่สถานะพื้น ปล่อยการเรืองแสงทันทีโดยคืนสภาวะไอออน Eu³⁺ เป็น Eu²⁺ ดังเดิม

2.1.2.2 อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงานสูงกว่า 6.5 eV จะถูกยกระดับถึงบริเวณแถบนำและลดระดับพลังงานสู่บริเวณกับดักอิเล็กตรอนถูกกักไว้ก่อให้เกิดบริเวณ F-center เป็นการบันทึกผลของปริมาณรังสี



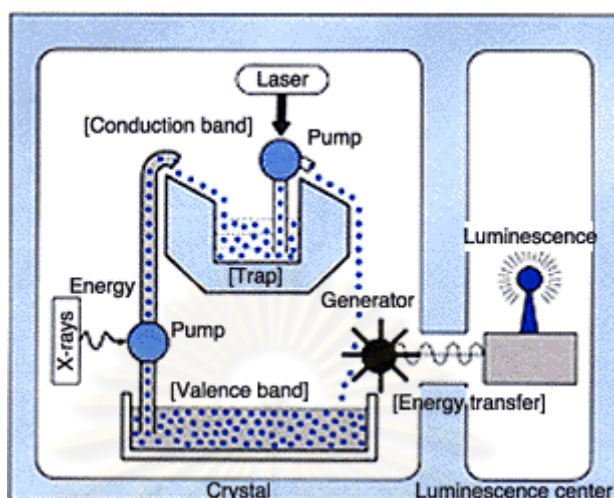
รูปที่ 2.2 แผนผังโครงสร้างแถบพลังงานของ BaFBr:Eu²⁺[10]

โดยปริมาณอิเล็กตรอนที่ถูกกักไว้ในบริเวณนี้จะเป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับปริมาณรังสีที่สารเรืองแสงได้รับ ดังนั้นสารเรืองแสงสามารถถูกกักอิเล็กตรอนไว้ได้นานหลายชั่วโมงแม้เวลาจะผ่านไป 8 ชั่วโมง ปริมาณอิเล็กตรอนยังคงเหลืออยู่ถึง 75 %

2.1.3 กลไกการเรืองแสง

สารเรืองแสง โดยทั่วไปเป็นสารอนินทรีย์ ที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในหลายงาน ซึ่งเมื่อสารเรืองแสงได้รับรังสีหรือถูกกระตุ้น รังสีจะเกิดการดูดกลืนพลังงานและเปล่งแสงออกมาทันที กลไกการเรืองแสงสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 2.3 ดังนี้คือ แผนภาพทางด้านซ้ายแสดงพฤติกรรมของเอ็กซิตอน แผนภาพทางด้านขวาแสดงบริเวณกักตักเอ็กซิตอน โดยเนื่องจากโครงสร้างผลึกที่ไม่สมบูรณ์ของสารดังกล่าวมีลักษณะพิเศษที่เกิดจากความบกพร่องบริเวณ แลททิซผลึก (Crystal lattice) ก่อให้เกิดบริเวณกักตักอิเล็กตรอน (Electron trap) ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าแถบนำและบริเวณกักตักโฮล (Hole trap) ที่มีระดับพลังงานสูงกว่าแถบวาเลนซ์ขึ้นบริเวณช่องว่างพลังงานในแถบห้าม (E_g) ด้านซ้าย ซึ่งบางกรณีกับตักนี้อาจเกิดจากการเจือสารบางชนิดลงไปเพื่อกำหนดระดับพลังงานของกักตักที่ใหม่ เรียกว่า “Activator trap” ด้านขวา กักตักอิเล็กตรอนเป็นบริเวณที่ทำหน้าที่กักอิเล็กตรอนซึ่งได้รับการยกระดับพลังงาน (Excitation) จากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำอิเล็กตรอนที่เกิดจากสารเรืองแสงได้รับการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีบริเวณแลททิซผลึก เกิดการไอออนไนซ์ สร้างคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลที่เหนี่ยวนำซึ่งกันและกันขึ้นมา มีลักษณะคล้ายกับพฤติกรรมเทียมของไฮโดรเจน (Hydrogen-like pseudo atom) ที่เรียกกันว่า เอ็กซิตอน (Exciton) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ในแถบพลังงานด้านซ้าย พฤติกรรมของเอ็กซิตอนมีความแตกต่างจากคู่

อิเล็กตรอนและโฮล (e-hole pair) ที่เกิดจากการไอออไนซ์ในสารกึ่งตัวนำที่มีอิสระจากกันและเคลื่อนที่สวนทางกันในแถบพลังงาน



รูปที่ 2.3 การอธิบายกลไกการเรืองแสงของสารเรืองแสง

หลังจากเกิดการถ่ายโอนพลังงานของรังสี อิเล็กตรอนจะถูกยกกระโดดพลังงานขึ้นสู่แถบนำเหนี่ยวนำกับโฮล หรือหลุมว่างบริเวณแถบวาเลนซ์ เกิดเป็นคู่ของเอ็กซิตอนเคลื่อนที่บริเวณแถบพลังงานในเวลาสั้นมาก เมื่ออิเล็กตรอนในแถบนำลดระดับพลังงานลงเล็กน้อยจะถูกจับในกับดักพร้อมกับโฮลและหยุดการเคลื่อนที่ ปริมาณอิเล็กตรอนที่ถูกกักอยู่ในกับดักจะก่อบริเวณ Color center ซึ่งมีสถานะกึ่งเสถียร Metastable โดยปริมาณอิเล็กตรอนนี้จะถูกกักอยู่นานเพียงใดขึ้นอยู่กับความแตกต่างของระดับพลังงานบริเวณกับดักอิเล็กตรอนและแถบนำ E_s

กลไกการเปล่งแสงนี้เรียกว่า ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence) โดยทั่วไปการเปล่งแสงมีด้วยกันหลายวิธี ทั้งนี้แล้วแต่แหล่งของพลังงานที่ทำให้โมเลกุลไปอยู่ที่สถานะกระตุ้น (Excited State) ดังนี้

- กรณีที่สารเรืองแสงมีความต่างระดับพลังงานบริเวณกับดักและแถบนำ E_s น้อยสามารถเกิดการเรืองแสงด้วยพลังงานกระตุ้นของอนุกรมมิสซิงแวดลัอม ซึ่งจำแนกได้ 2 กระบวนการคือ อิเล็กตรอนถูกยกพลังงานขึ้นสู่แถบนำและเคลื่อนที่ในแถบนำในเวลาสั้นประมาณ 10^{-9} วินาที โดยไม่มีการถูกจับในกับดักแต่ลดระดับพลังงานจากสถานะพักสู่ระดับพื้นพร้อมทั้งปล่อยแสงเรืองทันที ส่วน (Phosphorescence) คืออิเล็กตรอนที่ถูกยกระดับพลังงานสู่แถบนำถูกกักไว้ที่กับดักในสถานะกึ่งเสถียรเป็นเวลามากกว่า 10^{-8} วินาที ก่อนที่จะได้รับพลังงานกระตุ้นจากอนุกรมมิสซิงแวดลัอมให้ยกระดับพลังงานสู่แถบนำอีกครั้ง และลดระดับพลังงานสู่ระดับพื้นพร้อมทั้งปล่อยแสงเรืองออกมา

โดยทั้งสองปรากฏการณ์นี้แตกต่างกันที่กระบวนการกลับสู่สถานะพื้นนั่นเอง

- กรณีที่สารเรืองแสงมีความต่างระดับพลังงานบริเวณกับดักและแถบนำค่อนข้างมาก อิเล็กตรอนจะถูกกักในบริเวณกับดักได้นานหลายชั่วโมง การกระตุ้น (stimulation) ให้อิเล็กตรอนที่อยู่บริเวณกับดักยกกระดับพลังงานสู่แถบนำจำเป็นต้องใช้พลังงานจากคลื่นแสงหรือคลื่นความร้อนที่มีพลังงานสูงกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ก่อนลดระดับพลังงานสู่ระดับพื้นและปล่อยแสงเรือง ในกรณีหากโครงสร้างเป็นผลึกสารเรืองแสงต้องการเพียงพลังงานคลื่นแสงกระตุ้นให้เกิดการเรืองแสงจะเรียกกลไกนี้ว่า โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence) แต่ถ้าโครงสร้างเป็นผลึกสารเรืองแสงที่ต้องการพลังงานจากคลื่นความร้อนอุณหภูมิสูงกระตุ้นให้เกิดการเรืองแสงเรียกว่า เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence)

2.1.4 กระบวนการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพ

กระบวนการอ่านค่าปริมาณรังสีจะทำการอ่านโดยนำมาสแกนโดยใช้เครื่องอ่าน โดยกระตุ้นด้วยลำแสงเลเซอร์ที่มีคลื่นแสงความยาวคลื่น 500-650 nm (ย่านแสงสีแดง) โดยปล่อยออกมาจากหลอดกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิด He-Ne(Helium –Neon) ซึ่งมีปลายลำแสงขนาด 50 μm ลำแสงจะถูกสแกนบนผิวแผ่นบันทึกภาพ เพื่อกระตุ้นให้อิเล็กตรอนที่ถูกกักเก็บไว้บริเวณ F-center ยกกระดับพลังงานขึ้นสู่แถบนำและลดระดับพลังงานกลับสู่สถานะพัก ก่อนจะลดระดับสู่สถานะพื้นพร้อมปลดปล่อยคลื่นแสงความยาวคลื่นในช่วง 390 nm ที่มีค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ต่อตารางมิลลิเมตรเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีตามบริเวณต่างๆ ซึ่งแสงที่ปลดปล่อยออกมาจะวัดค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ต่อตารางมิลลิเมตรด้วยโฟโตมัลติฟลายเออร์ (PMT) ซึ่งเรียกหลักการทำงานที่อาศัยความแตกต่างจากการเรืองแสงปกตินี้ว่า “Photo-Stimulate Luminescence, PSL”

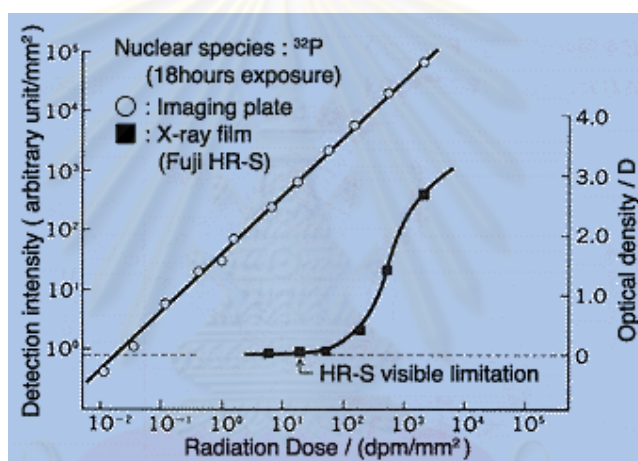
2.1.5 กระบวนการลบแผ่นบันทึกภาพ

กระบวนการลบบันทึกภาพเริ่มจากการนำแผ่นบันทึกภาพที่ผ่านขั้นตอนการลบ (erase) ข้อมูลปริมาณรังสีที่อาจจะตกค้างอยู่ให้หมดไปด้วยการฉายแสงความเข้มสูงซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงตบตบของของสายตา (visible light) จากหลอดโซเดียมความดันสูง (high pressure sodium) หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการกรองแสงในช่วงคลื่นอุลตราไวโอเล็ต (UV) ออกแล้ว การลบข้อมูลปริมาณรังสีจะใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที หรือสั้นกว่านั้นขึ้นอยู่กับค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ต่อตารางมิลลิเมตรที่ใช้ หลังจากนั้นแผ่นบันทึกภาพจะนำไปบันทึกภาพตามระยะเวลาต่างๆที่เหมาะสม แล้วจึงนำมาแผ่นบันทึกภาพมาอ่านข้อมูลปริมาณรังสีของภาพที่บันทึกบนสารเรืองแสงของแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้เครื่องสแกนด้วยลำแสงเลเซอร์ (laser scanner) และสร้างสัญญาณภาพตามแนวแกนของลำเลเซอร์เส้นต่อเส้นจนเต็มกรอบภาพ ข้อมูลสัญญาณ

ดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (Digitizing) ส่งให้กับคอมพิวเตอร์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเพื่อแสดงผลภาพ 2 มิติ ทางจอภาพความละเอียดสูง

2.1.6 เปรียบเทียบลักษณะเด่นของแผ่นบันทึกภาพ

การตรวจวัดปริมาณรังสีนิยมใช้การวัดหลายรูปแบบอาทิเช่น การใช้หัววัดรังสีแบบ Ionization Chamber, Scintillation Counter และ Proportional Counter แต่มีเพียงไม่กี่วิธีที่สามารถตรวจวัดภาพถ่ายของรังสี โดยแสดงเป็นภาพ 2 มิติ ได้แก่ ฟิล์มบันทึกภาพ หัววัดรังสี Position Sensitive Proportional Counter แบบ 2 มิติ การถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ image intensifier และ X-ray TV ในวิธีการเหล่านี้ เทคนิคที่มีการใช้มากที่สุดคือการถ่ายภาพโดยใช้ฟิล์ม ข้อแตกต่างระหว่างแผ่นบันทึกภาพและฟิล์มรังสีเอกซ์แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบเส้นกราฟคุณลักษณะการตอบสนองของความเข้มรังสีในเชิงความเปรียบต่างภาพระหว่างแผ่นบันทึกภาพและฟิล์มถ่ายภาพ[6,11]

จากรูปที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์ม ในการวัดรังสีบีตาจากไอโซโทปรังสี ^{32}P แกนนอนเป็นปริมาณรังสีจากตัวอย่าง ^{32}P ซึ่งให้รังสีบีตาลังงาน 1.7 MeV วัดด้วย liquid scintillation counter แกนตั้งด้านซ้ายเป็นความเข้มของแสงที่เรืองจากแผ่นบันทึกภาพ แกนตั้งด้านขวาเป็นความดำของฟิล์ม สำหรับขีดจำกัดในการมองเห็น ซึ่งเป็นการแสดงส่วนที่สามารถมองเห็นได้ในภาพ มีค่า 1/10 ของค่าปกติของ determination limit โดยแสดงคุณสมบัติที่คล้ายกันในรังสีบีตา อิเล็กตรอน รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา ซึ่งจะเห็นลักษณะเด่นได้ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีชนิดอื่น

1. มีความไวสูง โดยมีความไวมากกว่าฟิล์มหลายสิบเท่า หรืออาจไวกว่าหลายพันเท่า ขึ้นกับชิ้นงานหรือตัวอย่าง

2. มี dynamic range ที่กว้าง โดยมีช่วงกว้างมากกว่า 10^4 ถึง 10^5 ซึ่งสูงกว่าการใช้ฟิล์มที่มีอยู่ในช่วง 10^2
3. มีความเป็นเชิงเส้นดีกว่า มีการเรืองแสงแปรผันโดยตรง ตามปริมาณรังสีตลอดช่วง
4. มีการแสดงรายละเอียด (spatial resolution) ได้สูง เมื่อเปรียบเทียบกับ วิธีการที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบอื่น มีความหนาแน่นของ pixel สูงกว่า
5. ใช้สัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยตรงจากเครื่องอ่าน ทำให้มีกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ หรือการประสานงานกับระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบอื่นได้สะดวก
6. ใช้ระบบการอ่านรังสีแบบ integral-type detector ทำให้การใช้แผ่นบันทึกภาพในการอ่านค่าปริมาณรังสี มี detection counting errors จากรังสีความเข้มสูงน้อยกว่าวิธีการ pulse-type detectors ดังเช่นการใช้หัววัดรังสีแบบ proportional counter และ scintillation counter
7. ค่าของรังสีจากสิ่งแวดล้อมที่บันทึกอยู่ สามารถลบออกได้ก่อนจะใช้งาน

นอกจากนี้แผ่นบันทึกภาพจึงสามารถนำมาใช้แทนการวัดรังสีทั่วไปที่แสดงผลเป็นภาพ นอกจากนี้จะมีความไวสูง และทำให้สังเกตปริมาณรังสีออกมาเป็นภาพได้แล้ว ยังสามารถแสดงปริมาณ หรือความเข้มของรังสีในแต่ละจุดได้ด้วย[7][9]

2.2. การฉายรังสีอัญมณี

เป็นที่ทราบกันว่าธุรกิจอัญมณีส่งออกของประเทศมีการส่งออกปีละหมื่นล้านบาท จากรายงานสถิติการส่งออกระหว่างประเทศไทยกับสหรัฐอเมริกาของกรมส่งเสริมการส่งออก ประจำปี 2552 (ม.ค.-ต.ค.) พบว่าการส่งออกอัญมณีของไทยไปยังสหรัฐเป็นอันดับ 5 มีการส่งออกรวมมูลค่าการส่งออก 667.87 ล้านดอลลาร์สหรัฐ[12] ดังนั้นจะเห็นว่าธุรกิจอัญมณีเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นอย่างมาก ดังนั้นการเพิ่มคุณค่าของอัญมณีจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีส่วนเพิ่มรายได้ให้กับประเทศเป็นทวีคูณ กรรมวิธีหนึ่งของการเพิ่มคุณค่าอัญมณีในอดีตจนถึงปัจจุบันคือการใช้ความร้อนและความเย็น การฟอกสี การแพรวสี การย้อมสี การใช้ไฟฟ้า และการใช้รังสีเอกซ์ เป็นต้น[2] ซึ่งกรรมวิธีที่ได้กล่าวข้างต้น จะทำให้ตัวสี ความสวยงาม ของอัญมณีไม่คงทนเมื่อใช้ไปเป็นเวลานาน สีจะจืดจาง ความสม่ำเสมอของสีไม่ทั่วก่อน ความสวยงามแวววาวน้อยลง จึงได้มีการคิดค้นวิธีที่เป็นเทคนิคใหม่ ในการเพิ่มมูลค่าและปรับปรุงคุณภาพ ทำให้อัญมณีมีสีสันสวยงามมากขึ้นและสีคงทน ทำให้ราคาสูงขึ้น นั่นคือ “การฉายรังสีอัญมณี”

2.2.1 การเกิดสีในอัญมณี

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าอัญมณีจะมีราคาก็เนื่องจากสีอันสวยงามและความทนทานต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งอัญมณีจะมีสีอันสวยงามเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น

- การที่มีสารเจือปนในตัวของอัญมณี คือสิ่งที่ทำให้เกิดสีในก้อนแร่ ซึ่งเป็นแร่ธาตุอื่นที่มีปะปนอยู่ในอัญมณีในปริมาณน้อยธาตุที่มีความสำคัญมากต่อการให้สีแก่อัญมณีมีอยู่ 8 ชนิด คือ

1. โครเมียม (Chromium) เป็นธาตุที่สามารถให้สีอัญมณีได้สวยงามมาก ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ของธาตุโครเมียมที่แทรกเข้าไปในผลึก เช่น ทับทิม (Ruby) และสปิเนล (Spinel) เป็นสีแดง มรกต (Emerald) และ หยกเจไดท์ (Jadeite) เป็นสีเขียว
2. เหล็ก (Iron) เป็นธาตุที่ธรรมดาที่สุดในอัญมณี และมีมากที่สุดในอัญมณีธรรมชาติ โดยจะมีอยู่ในพลอยส่วนมากไม่ว่าจะน้อยหรือมากก็ตาม เช่น คริสโซเบอริล (Chrysoberyl) และ ชิทริน (Citrine) เป็นสีเหลือง แซฟไฟร์ (Sapphire) ทัวมาลีน (Tourmaline) อะความารีน (Aquamarine) สปิเนล (Spinel) และ การ์เน็ต อัมมานไดท์ (Almandite Garnet) สีแดง เป็นต้น
3. แมงกานีส (Manganese) เป็นธาตุที่สามารถพบได้ทั้งอัญมณีประเภท อิดิโอโครเมติก (idiochromatic) และประเภท อัลโลโครเมติก (Allochromatic) เช่น โรโดโครไซต์ (Rhodocrosite) และโรโดไนท์ (Rhodonite) มอร์แกไนท์ (Morganite) และ कुไนท์ (Kunzite) เป็นสีชมพู การ์เน็ต สเปซซาไทท์ (Spessartite Garnet) สีส้ม
4. ทองแดง (Copper) จะพบในอัญมณีประเภท อิดิโอโครเมติก (Ldiochromatic) เท่านั้น เช่น คริสโซโคลลา (Chrysocolla) เทอร์ควอยซ์ (Turquoise) และอะซัวร์ไรท์ (Azurite) เป็นสีฟ้า มาลาไคท์ (Malachite) และไดออปไซด์ (Diopside) เป็นสีเขียว
5. นิกเกิล (Nickel) โดยทั่วไปแล้วจะไม่ค่อยเกิดในอัญมณี มีน้อยชนิดมาก เช่น คริสโซเพรส (Chrysoprase) และ เพรสโอปอล (Prase Opal) เป็นสีเขียวส่วนใหญ่จะใช้ในการให้สีแก่พลอยสังเคราะห์ เช่น แซฟไฟร์สังเคราะห์สีเหลือง เป็นต้น
6. วานาเดียม (Vanadium) เป็นธาตุที่มีส่วนสำคัญน้อยต่อสีอัญมณีธรรมชาติ เช่น เบอริล (Beryl) กรอสซูลาไรท์ (Grossularite) ซาโวไรท์ (Tsavorite) อเล็กซานโดรต์ คล้ายแซฟไฟร์สังเคราะห์ (synthetic Alexandrite-like Sapphire) และ ซอยไซต์ (Zoisite) ทั้งหมดเป็นสีเขียว
7. ไทเทเนียม (Titanium) เป็นธาตุที่จะเกิดร่วมกับธาตุเหล็ก (Iron) ในบางครั้ง เช่น แซฟไฟร์ (Sapphire) และเบนิทอยท์ (Benitoite) เป็นสีน้ำเงิน

8. โคบอลต์ (Cobalt) เป็นธาตุที่พบในธรรมชาติได้น้อยมาก แต่นิยมใช้ให้สีในพลอยสังเคราะห์ และพลอยเลียนแบบ เช่น สปิเนลสังเคราะห์ (Synthetic Spinel) แก้ว (Glass) ควอตซ์น้ำเงินสังเคราะห์ (Synthetic Blue Quartz) ทั้งหมดเป็นสีน้ำเงิน ในพลอยธรรมชาติอาจพบในสปิเนล (Spinel) แถบประเทศศรีลังกา เป็นพลอยสีน้ำเงินซึ่งหายากมาก แต่พลอยชนิดนี้จะมีธาตุเหล็กปนอยู่ [13]

-กระบวนการภายในของอัญมณี เช่น

1. กระบวนการทางฟิสิกส์ในการเกิดสีของแร่ธาตุภายในอัญมณี สามารถเกิดสี หรือเปลี่ยนสีได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและการแลกเปลี่ยนประจุ ทำให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงาน ซึ่งต้องใช้พลังงานที่มีค่าเฉพาะ หรือแสงที่มีความยาวคลื่นจำเพาะในแต่ละธาตุ เมื่ออิเล็กตรอนดูดกลืนพลังงาน อิเล็กตรอนนั้นจะสามารถกระโดดไปอยู่ในชั้นที่พลังงานสูงกว่าได้ พลังงานที่ทำให้อิเล็กตรอนกระโดดไปสู่เมื่ออิเล็กตรอนกลับคืนสู่สภาพเดิมจะเสียพลังงานไปซึ่งจะเท่ากับพลังงานที่ดูดกลืนไว้ครั้งแรก ลักษณะการเปล่งแสงสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะที่เกิดในอัญมณีคือ

Luminescence: คือการที่อิเล็กตรอนกลับสู่ ground state โดยคายพลังงานที่ดูดกลืนไว้ ออกมา ถ้ามีการคายแสงสีดำออกมา จะไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าเปลี่ยนมุม เราอาจจะมองเห็นแสงส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืน เช่น ถ้าดูดกลืนแสงสีแดง หรือสีส้ม จะทำให้แสงสีนี้หายไป ทำให้มองเห็นสีที่เหลือ คือ เหลือง-เขียว-น้ำเงิน-ม่วง (Y+G+B+I+V)

Fluorescence: คือการที่อิเล็กตรอนกลับสู่ ground state โดยการเปล่งแสงที่มีพลังงานต่ำกว่าแสงที่ดูดกลืน (เปล่งแสงที่มีสีต่างจากแสงที่ดูดกลืน)

ส่วนแสงที่ตาเรามองเห็นได้นั้น มีความยาวคลื่นในช่วง 350-750 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงของ Electromagnetic spectrum ซึ่งสามารถจำแนกสีของช่วงความยาวคลื่นได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 จำแนกสีของช่วงความยาวคลื่น

สีของแสงเรือง	ช่วงความยาวคลื่น (nm)
สีแดง	630-750
สีส้ม	590-630
สีเหลือง	550-590
สีเขียว	490-550
สีน้ำเงิน	440-490
สีม่วง	400-440

ซึ่งเมื่อนำสีทั้งหมดมารวมกันก็จะกลายเป็นแสงสีขาวที่เรามองเห็นโดยทั่วไป[13]

2. Colour centers เป็นการเกิดสีเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก (เกิดรอยในผลึกที่ทำให้เกิดการดูดกลืนแสง) ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสี (radiation damage) เช่น ร่องรอยจากการได้รับรังสีแกมมา รังสีที่ได้รับอาจมาจากธรรมชาติ (จากแร่ธาตุ U, Th, K) หรือรังสีที่ถูกทำขึ้นมาในบางครั้งแสง UV สามารถทำให้เกิด color centers ได้ ถ้าเกิดร่องรอยจากการได้รับรังสีอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งปกติ กระโดดขึ้นไปอยู่ที่ตำแหน่งว่างในโครงสร้างผลึก (trap) ผลึกชนิดหนึ่งอาจมี electron trap หลายชนิด อิเล็กตรอนในแต่ละ trap จะดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นจำเพาะ สีที่เรามองเห็น จึงเป็นสีที่ไม่ถูกดูดกลืนจากอิเล็กตรอนใน trap เหล่านี้ ตัวอย่างเช่น

เพชรสีเขียว (green diamond) เกิดจากในผลึกมีบางตำแหน่งที่ขาดอะตอมของคาร์บอน จึงเกิดการดูดกลืนแสงสีแดง

ควอรตซ์สีเทา (smoky quartz) เกิดจากการแลกเปลี่ยนประจุของ Al^{+++} กับ Si^{4+}

แร่เซอร์คอน (zircon) บริสุทธิ์ไม่มีสี ถ้ามียูเรเนียมเจืออยู่จะให้สีน้ำเงิน ถ้าได้รับรังสีจากการสลายตัวของยูเรเนียม จะให้สีน้ำตาลแดง

เนื่องจาก color center เป็นรูปแบบหนึ่งของร่องรอยความไม่สมบูรณ์ของผลึก ซึ่งสามารถเคลื่อนที่เมื่อได้รับพลังงาน โดยอาจเกิดจากการได้รับความร้อนหลายร้อยองศาเซลเซียส ตัวอย่างเช่น เซอร์คอนสีน้ำตาล (brown zircon) ได้รับความร้อน จะกลายเป็นสีน้ำเงิน บางครั้งการได้รับแสงแดด โดยเฉพาะ UV ก็มีพลังงานสูงพอที่จะทำให้ color center เคลื่อนที่ได้

ส่วนการที่เราสามารถมองเห็นสีอันสวยงามของอัญมณีเกิดเนื่องจากแสงขาวซึ่งประกอบแสงสีต่างๆในส่องไปที่อัญมณีแล้วสีเหล่านั้นบางส่วนถูกดูดกลืนไว้ และส่วนที่เหลือก็จะสะท้อนเข้าตา ซึ่งก็คือสีที่เรามองเห็นนั่นเอง ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์สี สามารถให้เครื่องมือสเปกโตรสโคป (Spectroscope) ตรวจสอบอัญมณีจะพบแถบสีดำในบางส่วนของสีในแถบสเปกตรัม ซึ่ง

เป็นสีที่อัญมณีนั้นดูดกลืนเอาไว้ (Selective Absorption) ลักษณะแถบสี ทำให้สามารถวิเคราะห์อัญมณีชนิดใด ซึ่งแต่ละการเกิดสีอัญมณีสามารถอธิบายได้ดังนี้[7]

ตารางที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่างอัญมณีที่ฉายรังสี[7]

ชนิดของอัญมณี	การเปลี่ยนสี	รูปอัญมณีที่เปลี่ยนสี
โทแปส	สีฟ้า สีเหลือง	
ทิวมาลีน	ชมพูเข้ม ชมพูม่วง	
โกเมน	แดงกำ	
คุนไซต์	เขียว ชมพู	
เพชร	เขียวอ่อน	
บุษราคัม	เหลืองแม่โขง	

ควอตซ์	ควีนนุหรี	
--------	-----------	--

2.2.2 รังสีที่ใช้ในการฉายรังสีอัญมณี

โดยทั่วไปแล้วรังสีที่ใช้ในการฉายรังสีอัญมณี ได้แก่ รังสีแกมมา อนุภาคอิเล็กตรอน และ รังสีนิวตรอน ซึ่งรังสีแต่ละชนิดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในอัญมณีแต่ละชนิดแตกต่างกัน ซึ่งในการฉายรังสีอัญมณีแต่ละชนิดจึงต้องใช้รังสีที่มีความเหมาะสมทั้งชนิดและปริมาณของรังสี

คุณสมบัติของรังสีแต่ละชนิด

อนุภาคอิเล็กตรอน เป็นอนุภาคที่มีประจุลบ และมีมวล 9.1085×10^{-28} กรัม ซึ่งเป็นอนุภาคที่ได้จากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูง โดยทั่วไปนิยมใช้อิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูง 10-20 MeV

รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีเอกซ์ ไม่มีประจุ จึงไม่เกิดอันตรกิริยาทางไฟฟ้ากับตัวกลางเหมือนอนุภาคที่มีประจุ มีความสามารถในการทำให้ตัวกลางเกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้โดยตรง[12]

รังสีนิวตรอน หรืออนุภาคนิวตรอน เป็นรังสีที่มีคุณสมบัติที่ทำให้เกิดการแตกตัวของประจุ (Ionizing Radiation) จะทำให้ตัวกลางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่านไปเกิดการแตกตัวเป็นประจุ ซึ่งมีคุณสมบัติไม่มีประจุ มวล 1.008665 amu เป็นองค์ประกอบของนิวเคลียส ยกเว้นอะตอมของไฮโดรเจน เมื่ออยู่ภายในนิวเคลียส จะอยู่ตัว แต่เมื่ออยู่อิสระจะสลายตัวให้บีตาและโปรตอน มีครึ่งชีวิต 12.8 วินาที

จำแนกนิวตรอนได้ตามพลังงานและความเร็ว ดังนี้

1. นิวตรอนช้า (slow neutron) หมายถึง รังสีนิวตรอนที่มีพลังงานต่ำกว่า 1 keV แบ่งได้ดังนี้

1.1 เทอร์มัลนิวตรอน (thermal neutron) มีพลังงานเฉลี่ย 0.025 eV ที่ 20 องศาเซลเซียส

1.2 เรโซแนนซ์นิวตรอน (resonance neutron) มีพลังงานอยู่ในช่วง 1-100 keV

2. นิวตรอนเร็ว (fast neutron) หมายถึง รังสีนิวตรอนที่มีพลังงานสูงกว่า 1 แบ่งได้ดังนี้

2.1 นิวตรอนปานกลาง (intermediate neutron) มีพลังงานในช่วง 1-500 keV

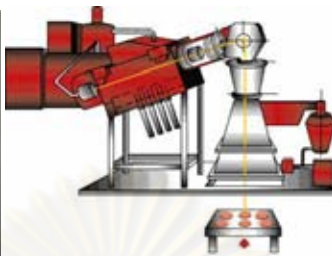
2.2 นิวตรอนพลังงานสูง (high energy neutron) มีพลังงานในช่วง 0.5-20 MeV

2.3 นิวตรอนสัมพัทธภาพ (relativistic neutron) มีพลังงานในช่วง 20 MeV¹³

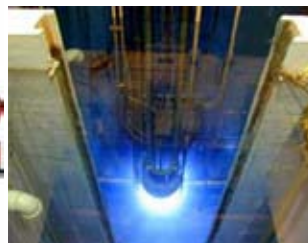
สำหรับการฉายรังสีอัญมณีที่ใช้ในการฉายรังสีมีอยู่ 3 แห่งคือ ก.รังสีแกมมาแบบไอโซโทป(Co-60, Cs-137) ข.เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนแบบเชิงเส้น (เครื่องเร่งอิเล็กตรอนพลังงานสูง, 10 และ 20 MeV, 20kW) ค.เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์วิจัยขนาด 2 MW



ก).



ข).



ค).

รูปที่ 2.5 แหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในการอบรังสีอัญมณี ก).เครื่องกำเนิดรังสีแกมมา
ข).เครื่องเร่งอิเล็กตรอน ค).เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูนิวเคลียร์

ก. รังสีแกมมา ได้มาจากไอโซโทปโคบอลต์-60 ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV แต่การฉายด้วยรังสีแกมมาจะทำให้อัญมณีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่ารังสีอื่น

ข. อนุภาคอิเล็กตรอน พลังงานสูง (10-20 MeV) ได้มาจากเครื่องเร่งอนุภาค เมื่อนำมาฉายอัญมณีจะทำให้เกิดความร้อนเฉพาะที่สูงมาก อาจทำให้เกิดอัญมณีแตกร้าวได้ จึงต้องมีการระบายความร้อนด้วยน้ำ อิเล็กตรอนให้โดสแก่อัญมณีสูงกว่ารังสีแกมมา จึงทำให้ผิวของอัญมณีมีสีสดสวยกว่า

ค. รังสีนิวตรอน ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู เนื่องจากนิวตรอนมีความสามารถในการทะลุทะลวงดีกว่าอิเล็กตรอน อัญมณีจึงมีสีสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อน แต่การอบด้วยรังสีนิวตรอนจะก่อให้เกิดสารไอโซโทปรังสี และจะต้องเก็บอัญมณีไว้นานกว่าความแรงรังสีจะลดลงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยตามมาตรฐานสากลคือ 2 นาโนคูรีต่อกรัม จึงจะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องประดับต่อไป [5]

2.2.3 การวัดปริมาณรังสีของอัญมณีฉายรังสี

ในปัจจุบันการวัดค่าปริมาณรังสีของอัญมณีที่ฉายรังสี โดยทั่วไปจะนิยมใช้หัววัดรังสี 3 ชนิด ดังต่อไปนี้ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

2.2.3.1 หัววัดรังสีแบบก๊าส (Geiger-Muller Counter, GM) เป็นเครื่องมือสำรวจรังสีแบบเคลื่อนที่สำหรับวัดปฏิกิริยาภายในหัววัดรูปทรงกระบอกบรรจุแก๊ส เช่น ฮีเลียม 98% และบิวเทน 1.3% หลักการทำงานคือเมื่อรังสีเกิดอันตรกิริยากับแก๊สที่อยู่ภายในหัววัดจะเกิดคูโอบอนขึ้นและคูโอบอนนี้จะถูกเก็บสะสมและเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยจะมีการจ่ายค่าความต่างศักย์ที่สูงมากจะไปทำให้คูโอบอน โดยเฉพาะอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เร็วมากขึ้น จนถึงจุดที่ว่าเมื่อรังสีตกกระทบจะ

ทำให้เกิดสทกโมเลกุลที่อยู่ในห้วงวัดแตกตัวเป็นคู่อิออนทั้งหมด เนื่องจากการชนกันแบบต่อเนื่องจนทำให้สัญญาณพลัสส์ที่ได้มีค่าคงที่หรือเท่ากัน

2.2.3.2 หัววัดรังสีแบบเรืองรังสี (Scintillation Detector) ชนิดประเภทของแข็ง NaI(Tl) สำหรับวัดรังสีแกมมา ซึ่งผลึกที่นำมาใช้ทำหัววัดรังสีจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- เปลี่ยนพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ในผลึกให้เป็น visible light ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- โฟตอนแสงที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้
- การเรืองแสงที่เกิดขึ้นควรเกิดในระยะเวลาสั้นๆเพื่อที่จะสามารถวัดสัญญาณที่เกิดขึ้นได้

หลักการทํางานจะนำผลึกของ NaI(Tl) ไปประกอบกับหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube, PMT) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนโฟตอนที่ได้จากผลึกให้เป็นสัญญาณ

2.2.3.3 หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ (HPGe Detector) ทำขึ้นโดยนำผลึกของเจอร์มาเนียมชนิด P-type สำหรับวัดรังสีแกมมา

ซึ่งในแต่ละชนิดของหัววัดรังสีจะต้องใช้เวลาในการวัดแต่ละเม็ดนานและยังต้องใช้แรงงานในการวัดเป็นจำนวนมากทำให้เสียเวลาและแรงงานเป็นจำนวนมากในการวัด



ก.



ข.



ค.

รูปที่ 2.6 หัววัดรังสีแบบต่างๆ ก. GM Counter ข. NaI(Tl) ค. HPGe

2.2.4 หน่วยวัดปริมาณรังสี

นอกจากค่ากัมมันตภาพ ซึ่งบอกถึงอัตราการสลายตัวของนิวไคลด์กัมมันตรังสีแล้ว ยังมีหน่วยวัดปริมาณรังสีที่บอกคุณสมบัติอื่นๆ ของกัมมันตรังสีเช่น ความสามารถในการก่อไอออน การดูดกลืนพลังงานจากรังสีของตัวกลาง ผลทางชีววิทยาที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับรังสี โดย International Commission on Radiation Unit and Measurement (ICRU) ได้กำหนดหน่วยวัดปริมาณรังสีไว้ดังนี้[12][13]

2.2.4.1 กัมมันตภาพ (Activity)

กัมมันตภาพหรือความแรงของสารกัมมันตภาพรังสี เป็นหน่วยกัมมันตภาพรังสี (Radioactivity unit) ที่แสดงอัตราการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี โดยมีหน่วยเป็นคูรี (Curie, Ci)

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

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

1 เบ็กเคอเรล หมายถึง ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่สลายตัวให้กัมมันตภาพ 1 ครั้งต่อวินาที

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

2.2.4.2 เอกซ์โพเชอร์ (Exposure)

เอกซ์โพเชอร์ หมายถึง ปริมาณของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออนเมื่อรังสีผ่านไปสู่อากาศ โดยมีหน่วยเป็นเร็นต์เกน (R)

1 เร็นต์เกน หมายถึง ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศ 0.001293 กรัม ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า 1 esu

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

2.2.4.3 แอบсорบโดส (absorbed dose)

แอบсорบโดส หมายถึง ปริมาณพลังงานของรังสีที่ตัวกลางใด ๆ ดูดกลืนไว้ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของตัวกลางนั้น เมื่อรังสีผ่านเข้าไป โดยมีหน่วยเป็น แรต / เกรย์ (rad/Gy)

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/kg}$$

$$\text{หรือ } 1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

2.2.4.4 โดสอิควิวาเลนต์ (equivalent dose)

เนื่องจากรังสีแต่ละประเภทจะถ่ายเทพลังงานให้กับตัวกลางเท่ากันแต่ผลต่อชีวภาพต่างกัน จึงใช้หน่วยของเรมเป็นหน่วยของโดสอิควิวาเลนต์ โดยทั่วไปจะใช้ในด้านป้องกันรังสี หรือความปลอดภัยทางรังสี โดยนำปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed dose) ของรังสีแต่ละชนิดมาคูณด้วย quality factor (Q) จะได้ equivalent dose (H) มีหน่วยทาง SI unit คือ Sievert (Sv) โดยมีความสัมพันธ์

$$H (\text{rem}) = D (\text{rad}) \times Q$$

โดยที่ H = Dose Equivalent

D = Absorbed dose

Q = Quality factor

ในบางครั้ง Quality factor หรือจะเรียกอีกชื่อว่า “radiation weighing factor” จะใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบทางชีวภาพจากรังสีแต่ละชนิด โดยกำหนดได้จากอัตราส่วนของความเสียหายทางชีวภาพที่เกิดขึ้นของปริมาณรังสีนั้น 1 Gy กับปริมาณรังสีเอกซ์หรือแกมมา 1 Gy

ค่า Quality factor ของรังสีแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

โดยที่ $D_{T,R}$ = absorbed dose averaged over the tissue or organ (T), due to radiation (R) โดยแต่ละชนิดรังสี radiation weighing factor ดังนี้

ตารางที่ 2.3 ค่า Quality factor [19]

ชนิดของรังสีและช่วงของพลังงาน	radiation weighing factor
Photons, all energies	1
Electrons and muons, all energies	1
Neutron, energy < 10 keV	5
10 keV to 100 keV	10
> 100 keV to 2 MeV	20
> 2 MeV to 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protons, other than recoil Protons, energy > 2 MeV	5
Alpha particle, fission fragments, heavy nuclei	20

-ICRP ได้กำหนดขีดจำกัดการได้รับปริมาณรังสี (Radiation Exposure limits หรือ Dose limits)

สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานด้านรังสีได้กำหนดการได้รับปริมาณรังสีดังต่อไปนี้

1.ปริมาณรังสียังผล (Effective dose) 20 mSv/y เฉลี่ยในช่วง 5 ปีติดต่อกัน ทั้งนี้ในแต่ละปีต้องได้รับรังสีไม่เกิน 50 mSv และตลอดช่วง 5 ปีติดต่อกันนั้นจะต้องได้รับรังสีไม่เกิน 100 mSv

2.ปริมาณรังสีสมมูล (Equivalent dose) 150 mSv/y สำหรับเลนส์ของดวงตา

3.ปริมาณรังสีสมมูล (Equivalent dose) 500 mSv/y สำหรับส่วนที่เป็นผิวหนัง มือและ

เท้า

สำหรับประชาชนทั่วไปได้กำหนดการได้รับปริมาณรังสีดังต่อไปนี้

1.ปริมาณรังสียังผล (Effective dose) 1 mSv/y

2.ปริมาณรังสีสมมูล (Equivalent dose) 15 mSv/y สำหรับเลนส์ของดวงตา

3.ปริมาณรังสีสมมูล (Equivalent dose) 50 mSv/y สำหรับส่วนที่เป็นผิวหนัง มือและเท้า

สำหรับมาตรฐานในทวีปยุโรป ได้กำหนดมาตรฐานกัมมันตภาพรังสีไม่เกิน 2 นาโนคูรีต่อกรัม เพื่อจะนำมาใช้เป็นเครื่องประดับต่อไป แต่สำหรับมาตรฐานในสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานกัมมันตภาพรังสีไม่เกิน 1 นาโนคูรีต่อกรัม[5]



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

เทคนิคการวัดปริมาณรังสีของอัญมณีที่อาบรังสีโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ เป็นเทคนิคใหม่ที่นำมาใช้แทนการวัดทั่วไปที่ทำการวัดโดยใช้หัววัดรังสีแบบก๊าซ เช่น หัววัดรังสีแบบไกเกอร์-มุลเลอร์ หัววัดรังสีแกมมาแบบเรืองรังสี เช่น NaI(Tl) หรือหัววัดรังสีแบบสารกึ่งตัวนำ ชนิด HPGe ซึ่งการวัดโดยใช้เทคนิคทั้ง 3 วิธีจะต้องใช้เวลาและแรงงานเป็นจำนวนมากในการวัดซึ่งต่างจากการวัดโดยใช้แผ่นบันทึกภาพเนื่องจากไม่ต้องใช้เวลาและแรงงานในการวัดมาก จึงทำให้สะดวกต่อการวัดแต่เนื่องจากเทคนิคนี้ยังไม่มีนำมาใช้ในการวัดอัญมณีอาบรังสี จึงต้องมีการทำการทดลองเพื่อทดสอบความถูกต้องในการใช้งานโดยแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็นกลุ่มดังนี้

3.1.1 เครื่องวิเคราะห์และโปรแกรมอ่านแผ่นบันทึกภาพ

3.1.1.1 เงื่อนไขต่างๆและเลือกใช้งานตามเงื่อนไขต่างๆ

3.1.2 แผ่นบันทึกภาพ

3.1.2.1 ศึกษาความไว (Sensitivity) ของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีปีตาและรังสีแกมมา

3.1.2.2 ศึกษาการจางลงของโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (PSL Fading) ต่อตารางมิลลิเมตร ที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บของแผ่นบันทึกภาพ

3.1.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณสารเจือปนในตัวอย่างโทเปสที่ทิ้งไว้ให้สลายตัวตามระยะเวลาต่างๆ

3.1.3 การวิเคราะห์สารเจือปนในตัวอย่างโทเปส

3.1.3.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

- การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้น
- การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาว

3.1.3.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

3.1.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟลักซ์

3.1.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารมาตรฐาน

3.1.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากโทเปสอาบรังสีนิวตรอนสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดรังสีแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร

3.1.4.1 วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทเปส 3 ลักษณะคือ รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปร่างเรียวย โดยการอาบรังสีในท่อ F12 เป็นเวลา 84 ชั่วโมง วันที่ทำการไหลด 30-08-53

จำนวน 12 ตัวอย่าง และรูปร่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยการอบรังสีในท่อ F12 เป็นเวลา 70 ชั่วโมง วันที่ทำการไหลด 10-01-54 จำนวน 18 ตัวอย่าง โดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGe เปรียบเทียบปริมาณรังสีกับต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Ba-133

3.1.4.2 วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างยางสังเคราะห์ ขนาด 1.2 ซม. x1.2 ซม.x1.2 ซม. ทำการอบรังสีในท่อ LZ เป็นเวลา 1 วัน วันที่ทำการไหลด 29-01-54 จำนวน 64 ตัวอย่าง โดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGe เปรียบเทียบปริมาณรังสีกับต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Ba-133

3.1.4.3 เปรียบเทียบโฟโตสตีมิลูเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Sr-90 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน โดยทราบปริมาณรังสีที่แน่นอน โดยใช้แผ่นบันทึกภาพ 2 ชนิด คือ MS-2040 และ SR-2040

3.1.4.4 วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างไทแอส ยางสังเคราะห์ เปรียบเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60

- วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างไทแอส ยางสังเคราะห์ เปรียบเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 โดยใช้แผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040

ก. วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างไทแอส ทั้ง 3 ลักษณะจำนวน 30 เม็ดและตัวอย่างยางสังเคราะห์ จำนวน 10 เม็ด ที่ทราบกัมมันตภาพรังสีโดยใช้แผ่นบันทึกภาพเปรียบเทียบกับค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร

ข. เปรียบเทียบผลของปริมาณรังสีจากตัวอย่างไทแอสที่มีการสลายตัวที่ทำการทิ้งไว้ให้สลายตัว โดยทำการอบนิวตรอนเมื่อวันที่ 30-11-52

3.2 อุปกรณ์การวิจัย ประกอบด้วย

3.2.1 ต้นกำเนิดรังสีนิวตรอน เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย-1/1

3.2.2 แผ่นบันทึกภาพ (BAS-MS 2040) ผลิตโดยบริษัท ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม.x 40 ซม.

แผ่นบันทึกภาพ (BAS-SR 2040) ผลิตโดยบริษัท ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม.x 40 ซม.

3.2.3 เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพ รุ่น Typhoon FLA 7000 ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์ ไบโอ-ไซส์ เอเชีย

3.2.4 เครื่องลบภาพ(Image Eraser) รุ่น 810-UNV ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์ ไบโอ-ไซส์ เอเชีย

3.2.5 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Quant TL7.0) ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์ ไปโอ-ไฮล์ เอเชีย

3.2.6 คาสเซ็ทดีไอส์แผ่นบันทึกภาพ รุ่น 2040 ผลิตโดย ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม. x 40 ซม.

3.2.7 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

ยูเรเนียม-152 ผลิตเมื่อวันที่ 15 ก.ย. 98 ความแรงรังสี ณ วันที่ทำการทดลอง
5.887 ไมโครคูรี

ซีเซียม-137 ผลิตเมื่อวันที่ 30 ส.ค.01 ความแรงรังสี ณ วันที่ทำการทดลอง
0.3088 ไมโครคูรี

โคบอลต์-60 ผลิตเมื่อวันที่ 30 ส.ค.01 ความแรงรังสี ณ วันที่ทำการทดลอง
0.6924 ไมโครคูรี

แบเรียม-133 ผลิตเมื่อวันที่ 30 ส.ค.01 ความแรงรังสี ณ วันที่ทำการทดลอง
0.5685 ไมโครคูรี

ต้นกำเนิดรังสีบีตา

สตรอนเทียม-90 ผลิตเมื่อวันที่ 12 พ.ค.00 ความแรงรังสี ณ วันที่ทำการทดลอง
0.00552 ไมโครคูรี

3.2.8 สารมาตรฐาน USGS (Andesite (AVG-2), Basalt Hawaiian Volcanic Observatory (BHVO-2)

3.2.9 ตัวอย่างโทแอสที่ใช้ในการวิเคราะห์ NAA

3.2.10 ตัวอย่างโทแอสที่ใช้ในการทดลองมี 2 แบบ คือ รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปร่างลูกบาศก์ และ รูปร่างรี

3.2.11 หัววัดรังสี HPGe และเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA)

3.2.12 ยางสังเคราะห์ขนาด 1.2 ซม. x 1.2 ซม. x 1.2 ซม.

3.2.13 บล็อกอะลูมิเนียม และ บล็อกทองแดง

3.2.14 เครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานแบบละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.2.15 ตัวอย่างโทแอสที่อาบรังสีนิวตรอนสลายตัวที่ช่วงเวลต่างๆ 3 ช่วง

3.2.16 อุปกรณ์เปรียบเทียบ ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137

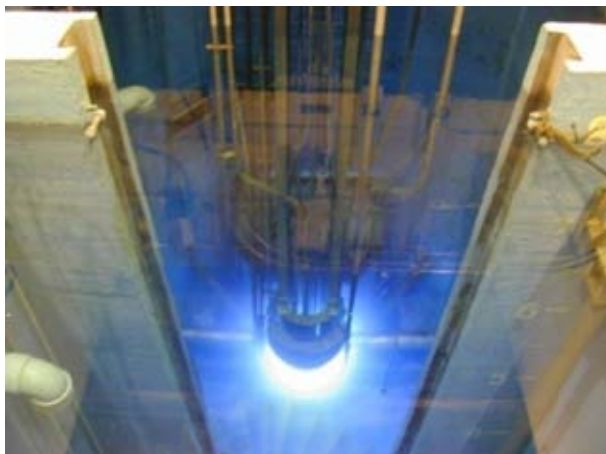
ผลิตเมื่อ พ.ค.87 ความแรงรังสี ณ วันที่ทำการทดลอง 427.76 GBq

อุปกรณ์เปรียบเทียบ ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60

ผลิตเมื่อ พ.ค.87 ความแรงรังสี ณ วันที่ทำการทดลอง 1.59 GBq

3.2.17 อุปกรณ์เปรียบเทียบ ต้นกำเนิดรังสีบีตา Sr-90

Absorbed dose rate ที่ระยะ 30 cm ณ วันที่ทำการทดลอง 33.96 uGy/s



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องปฏิกรณ์ปริมาณวิจัย-1/1

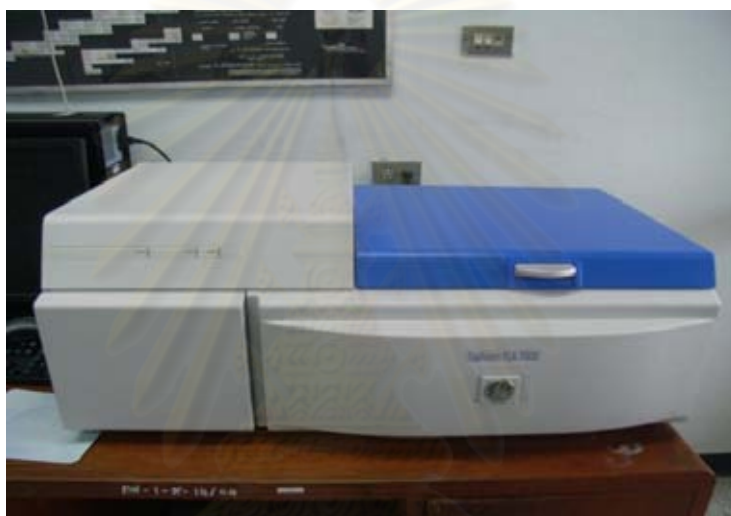


รูปที่ 3.2 แผ่นบันทึกภาพ (BAS-MS 2040) ผลิตโดยบริษัท ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม.x 40 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 แผ่นบันทึกภาพ (BAS-SR 2040) ผลิตโดยบริษัท ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม. x 40 ซม.



รูปที่ 3.4 เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพ รุ่น Typhoon FLA 7000 ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์
ไบโอไซส์ เอบี

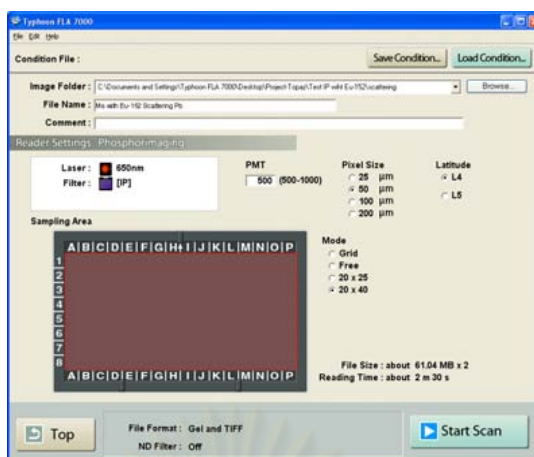
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 เครื่องลบภาพ(Image Eraser) รุ่น 810-UNV ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์
ไบโอไฮลด์ เอเชีย



รูปที่ 3.6 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Quant TL7.0) ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์
ไบโอไฮลด์ เอเชีย



รูปที่ 3.7 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Quant TL7.0) ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์
ไบโอไซส์ เอเชีย



รูปที่ 3.8 คาสเซตฟิล์มแผ่นบันทึกภาพ รุ่น 2040 ผลิตโดย ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม. x 40 ซม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ชนิด ยูโรเพียม -152 ,ซีเซียม -137, โคบอลต์ - 60
และแบเรียม - 133



รูปที่ 3.10 ต้นกำเนิดรังสีบีตา ชนิด สทรอนเชียม - 90
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 สารมาตรฐาน USGS (AGV-2,BHVO-2)



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างโทแปส ที่ใช้ในการวิเคราะห์ NAA



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างโทแปสที่ใช้ในการทดลองมี 3 แบบ คือ รูปร่างลูกบาศก์ รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า และ รูปร่างเรียว



รูปที่ 3.14 หัววัดรังสี HPGe และเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA)



รูปที่ 3.15 ยางสังเคราะห์ ขนาด 1.2 ซม. x 1.2 ซม. x 1.2 ซม.



รูปที่ 3.16 บล็อกพลาสติก บล็อกอะลูมิเนียม และ บล็อกทองแดง



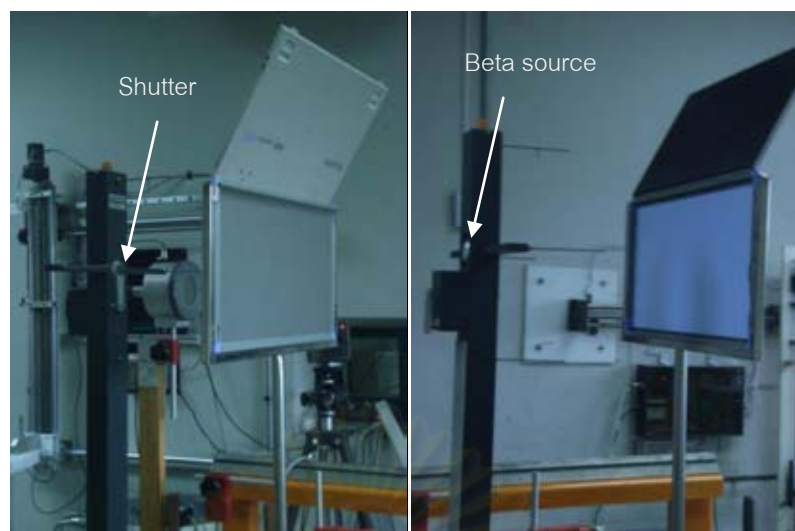
รูปที่ 3.17 เครื่องชั่งน้ำหนักมาตรฐานแบบละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง)



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างโทปแอสอาบรังสีนิวตรอนที่สลายตัวตามช่วงระยะเวลาต่างๆ 3 ช่วง



รูปที่ 3.19 ต้นกำเนิดรังสี Co - 60 และ Cs -137 สำหรับปรับเทียบปริมาณรังสี



รูปที่ 3.20 ต้นกำเนิดรังสี Sr - 90 สำหรับปรับเทียบปริมาณรังสี

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 เครื่องวิเคราะห์และโปรแกรมอ่านแผ่นบันทึกภาพ

ศึกษาการเปิด-ปิดเครื่องและเงื่อนไขที่เหมาะสมในการใช้งานสำหรับงานวิจัยนี้

3.3.1.1 จากรูปที่ 3.6 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Quant TL7.0) ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์ ไบโอไฮลด์ เอบี จะเลือกใช้ Phosphorimaging ซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานในด้านการเรืองแสงของภาพ

3.3.1.2 จากรูปที่ 3.7 โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Quant TL7.0) ผลิตโดยบริษัท จีคิวเฮลแคร์ ไบโอไฮลด์ เอบี จะเลือกใช้ PMT 500 (เป็นช่วงที่ไม่มากเกินไป) Pixel size 50, Latitude L4 (จะมีการไล่สีชัดเจนกว่า L5)

3.3.2 แผ่นบันทึกภาพ

3.3.2.1 ศึกษาความไว (Sensitivity) ของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมา

วางต้นกำเนิดรังสีแกมมา (Eu-152) ต้นกำเนิดรังสีบีตา (Sr-90) บนผิวหน้าของแผ่นบันทึกภาพ (BAS-MS 2040) ผลิตโดยบริษัท ฟุจิฟิล์ม ขนาด 20 ซม. x 40 ซม.) โดยใช้เวลาในการวางต้นกำเนิดรังสีแต่ละชนิดตั้งแต่ 1, 5, 10, 20, 30, 40, 60, และ 80 นาที

3.3.2.2 ศึกษาการจางลงของโฟโตสตีมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (PSL Fading) ต่อตารางมิลลิเมตร ที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บของแผ่นบันทึกภาพ

วางต้นกำเนิดรังสีแต่ละชนิดบนผิวหน้าของแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้เวลาในการวางต้นกำเนิดรังสีแต่ละชนิดตั้งแต่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, และ 80 นาที โดยจะมีการจางของโฟโตสตีมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรลงเป็นเวลา 80 นาที ก่อนนำมาอ่านด้วยเครื่องวิเคราะห์

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดไอโซโทปรังสียูโรเพียม - 152

Target Nuclide	Half-life (yrs)	Energy (keV)	%Abundance
Eu-152	13.33	121.78	28.37
		244.69	7.51
		344.29	26.58
		411.12	2.23
		443.89	3.12
		778.92	12.96
		867.38	4.16
		964.11	14.62
		1085.89	10.16
		1112.08	13.5
1408	20.85		

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดไอโซโทปรังสีสตรอนเชียม - 90

Target Nuclide	Half-life (yrs)	Energy (keV)
Sr-90	28.78	546

3.3.2.3 ทดลองหาปริมาณรังสีที่ได้รับจากโทแปลอาบรังสีนิวตรอนที่ทิ้งไว้ให้สลายตัวตามระยะเวลาต่างๆ

วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทแปลที่ผ่านการอาบรังสีนิวตรอนและทิ้งให้สลายตัวในช่วงเวลาต่างกันจำนวน 3 ชุด คือสลายตัวมาแล้ว 1ปี, 1ปี ครึ่ง และ 2 ปี ชุดละ 6 เม็ด (ตามเวลาทำการทดลอง) โดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGc

3.3.3 วิเคราะห์หาปริมาณสารเจือปน

3.3.3.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

เตรียมตัวอย่างโทแปลเพื่อทำการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของโทแปลโดยวิธีการ Neutron Activation Analysis (NAA) โดยเลือกโทแปลจากแหล่งที่มาทั้งหมด 5 แหล่งคือ (บราซิล อินเดีย พม่า เวียดนามและศรีลังกา) และตัวอย่างโทแปลที่ใช้ในการทดลอง (เป็นผง) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 0.1-0.5 กรัม ใช้แหล่งละ 3 ตัวอย่างยกเว้นตัวอย่างโทแปลที่ใช้ในการทดลอง (เป็นผง) ใช้ทั้งหมด 6 ตัวอย่าง และสารมาตรฐาน AGV-2 และ BHVO-2 จาก USGA (United States Geological Survey Certificate of Analysis) ใช้ 18 ตัวอย่าง และ 9 ตัวอย่าง ตามลำดับ

โดยตัวอย่างแต่ละตัวอย่างบรรจุในขวดโพลีเอทิลีน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. สูง 1 ซม. แล้วปิดผนึกด้วยความร้อน

- การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้น

นำตัวอย่างและสารมาตรฐานที่เตรียมไว้มาเรียงเป็นแถวๆละ 2 ตัวอย่าง นำไปอบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ครั้งละ 1 แถว ดังรูปที่ 3.21 ก. (ใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียม และซิลิกอน) และข. (ใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณโซเดียม) ซึ่ง จะทำการอบในท่อ TA เป็นเวลา 10 วินาทีและท่อ CA3 เป็นเวลา 5 วินาทีและท่อ LZ เป็นเวลา 5 วัน และนำมาวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างและสารมาตรฐาน และคำนวณหาปริมาณของ อะลูมิเนียม ซิลิกอน โซเดียม โดยใช้พีคพลังงาน 1779 ,1273 ,1368 keV ของ Al-28 ที่ได้จาก Al-27(n, γ) Al-28 , Al-29 ที่ได้จาก Si-29 (n,p) Al-29 ,Na-24 ที่ได้จาก Na-23(n, γ)Na-24 ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการวัดตัวอย่างละ 2 นาทีสำหรับ Al กับ Si ส่วน Na ใช้เวลาวัดตัวอย่าง 10 นาที

ตารางที่ 3.3 ปฏิกริยาระหว่างนิวตรอนกับอะลูมิเนียม ซิลิกอน และโซเดียม[15] [16]

Target Nuclide	Isotope Abundance	Reaction Mode	Product Nuclide	Product Half-life	E _{γ} :keV
Al-27	100.00	(n, γ)	Al-28	2.24 m	1779
Si-29	4.67	(n,p)	Al-29	6.5 m	511,1273
Na-23	100	(n, γ)	Na-24	14.95 h	1368,2754

- การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาว

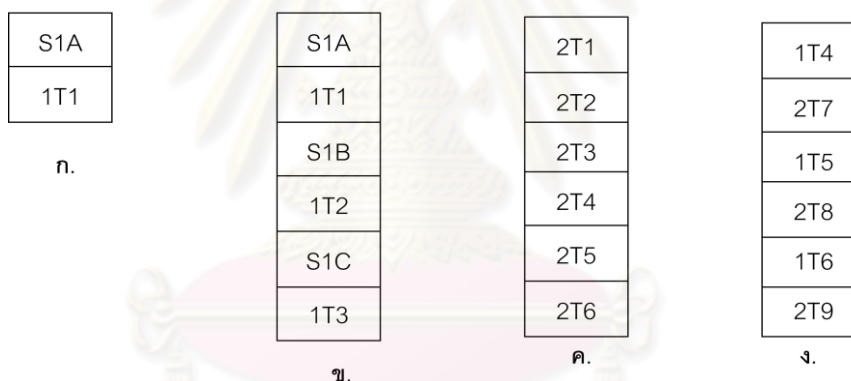
ทำเหมือนการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้น โดยนำตัวอย่างและสารมาตรฐานที่เตรียมไว้มาเรียงเป็นแถวๆดังรูปที่ 3.21 ข. นำไปอบนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 โดยทำการอบนิวตรอนในท่อ LZ เป็นเวลา 5 วัน และนำมาวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างและสารมาตรฐาน โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสารเจือปนเช่น Mn-54, Sc-46, Ta-182, Fe-59 และ Co-60 เป็นต้น

ตารางที่ 3.4 ปฏิกิริยาระหว่างนิวตรอนกับธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวที่พบเจอในชั้นถ้ำ[16]

Target Nuclide	Isotope Abundance	Reaction Mode	Product Nuclide	Product Half-life	E_{γ} :keV
Sc-45	100.00	(n, γ)	Sc-46	83.81 d	889.28
Fe-54	4.67	(n,p)	Mn-54	312.12 d	834.84
Fe-58	100	(n, γ)	Fe-59	44.5 d	1099.25
Co-59	100	(n, γ)	Co-60	5.27 y	1173.24,1332.50
Ta-181	99.988	(n, γ)	Ta-182	114.5 d	1221.41,1231.02

3.3.3.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

วัดสเปกตรัมรังสีแกมมาของตัวอย่างโทแปสจากแหล่งที่มาทั้ง 5 แหล่งและตัวอย่างโทแปสที่ใช้ในการทดลอง (เป็นผง) โดยทำการอบรังสีนิวตรอนในท่อ LZ ซึ่งมีเทอร์มัลนิวตรอนฟลักซ์ 2.60×10^{11} n/cm².cm.s นำมาวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาด้วยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ (HPGe)



รูปที่ 3.21 ลักษณะการจัดเรียงสารตัวอย่างสำหรับการอบนิวตรอน เพื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค NAA

ก. ใช้หาปริมาณ Al,Si,Na โดยนำตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน 1 โดยนำตัวอย่างไหลดลงในท่อ TA,CA3,LZ ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูเพื่อวิจัยตามลำดับ

ข. ใช้หาปริมาณสารเจือปนที่มีอยู่ในตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน 1

ค. ใช้หาปริมาณฟลักซ์โดยใช้สารมาตรฐาน 2(T)

ง. ใช้เปรียบเทียบธาตุในสารมาตรฐาน 2 ชนิด คือ AGV-2(1T) และ BHVO-2 (2T)

3.3.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตสติมูเลสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตร ของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากโทปแอส อาบรังสีนิวตรอนสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดรังสีแต่ละชนิด โดยการเปรียบเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร

3.3.4.1 วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทปแอส 3 ลักษณะคือ รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปร่าง เรียว โดยการอบรังสีในท่อ F12 เป็นเวลา 84 ชั่วโมง วันที่ทำการไหลด 30-08-53 จำนวน 12 ตัวอย่าง และรูปร่างลูกบาศก์ โดยการอบรังสีในท่อ F12 เป็นเวลา 70 ชั่วโมง วันที่ทำการไหลด 10-01-54 จำนวน 18 ตัวอย่าง โดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGe เปรียบเทียบปริมาณรังสีกับ ต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Ba-133

3.3.4.2 วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างยางสังเคราะห์ ขนาด 1.2 ซม. x1.2 ซม.x1.2 ซม. ทำ การอบรังสีในท่อ LZ เป็นเวลา 1 วัน วันที่ทำการไหลด 29-01-54 จำนวน 64 ตัวอย่าง โดยใช้ หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGe เปรียบเทียบปริมาณรังสีกับต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Ba-133

3.3.4.3 เปรียบเทียบโฟโตสติมูเลสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อ ตารางมิลลิเมตร ของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 ดังรูปที่ 3.23 และ Sr-90 ดังรูปที่ 3.24 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน โดยทราบปริมาณรังสีที่แน่นอน โดยใช้แผ่น บันทึกภาพ 2 ชนิดคือ MS-2040 และ SR-2040



รูปที่ 3.23 การจัดวางแผ่นบันทึกภาพสำหรับเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 และ Cs-137



รูปที่ 3.24 การจัดวางแผ่นบันทึกภาพสำหรับเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Sr-90

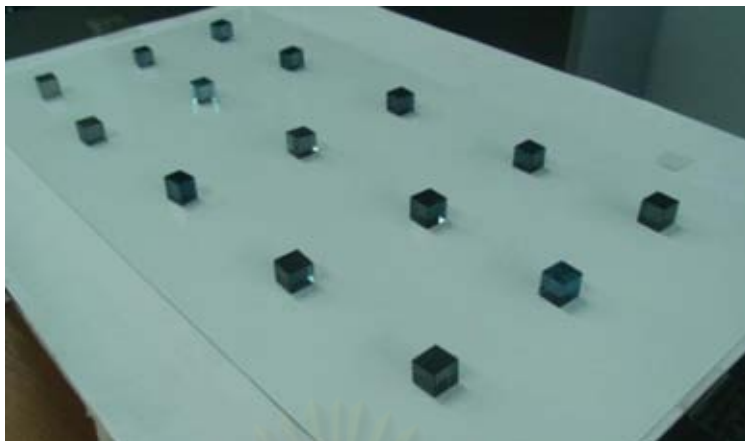
3.3.4.4 วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทแปส ยางสังเคราะห์ เปรียบเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60

- วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทแปส ยางสังเคราะห์ เปรียบเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 โดยใช้แผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040

ก. วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทแปส ทั้ง 3 ลักษณะจำนวน 30 เม็ดและตัวอย่างยางสังเคราะห์ จำนวน 10 เม็ด ที่ทราบกัมมันตภาพรังสีโดยใช้แผ่นบันทึกภาพเปรียบเทียบกับ PSL ต่อตารางมิลลิเมตร

ข. เปรียบเทียบผลของปริมาณรังสีจากตัวอย่างโทแปสที่มีการสลายตัวโดยปล่อยให้สลายตัว โดยทำการอาบนิวตรอนเมื่อวันที่ 30-11-52

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.25 การจัดวางตัวอย่างบนแผ่นบันทึกภาพ

ตารางที่ 3.5 พลังงานของรังสีบีตาในตัวอย่างโทแบส[18]

Target Nuclide	Half-life	Energy; β (MeV)
Sr-90	28.78 yrs	2.28
Sc-46	83.81 d	2.366
Mn-54	312.12 d	0.697
Fe-59	44.5 d	1.565
Co-60	5.27 yrs	2.823
Ta-182	114.5 d	1.814

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 แผ่นบันทึกภาพ

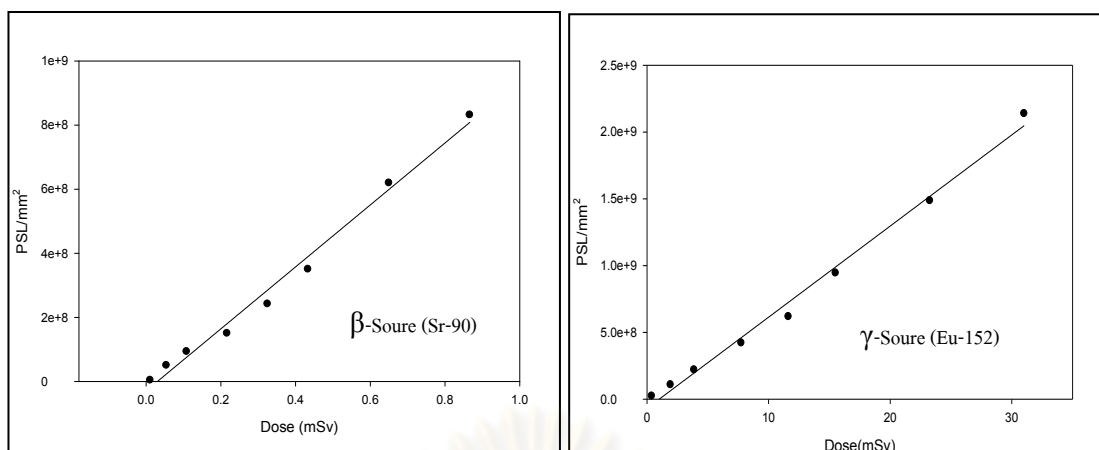
4.1.1 ศึกษาความไว (Sensitivity) ของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมา

ตารางที่ 4.1 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรกับปริมาณรังสีที่ได้รับของแผ่นบันทึกภาพ จากต้นกำเนิดรังสีบีตา Sr-90

dose rate (mSv/hr)	Exposure Time(min)	Dose (mSv)	PSL/mm ²
0.64979	1	0.0108	4.01x10 ⁶
	5	0.0541	5.05 x10 ⁷
	10	0.1083	9.35 x10 ⁷
	20	0.2166	1.50 x10 ⁸
	30	0.3249	2.42 x10 ⁸
	40	0.4332	3.50 x10 ⁸
	60	0.6498	6.19 x10 ⁸
	80	0.8664	8.31 x10 ⁸

ตารางที่ 4.2 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรกับปริมาณรังสีที่ได้รับของแผ่นบันทึกภาพ จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา E u-152

dose rate (mSv/hr)	Exposure Time(min)	Dose (mSv)	PSL/mm ²
23.2638	1	0.38773	2.34x10 ⁷
	5	1.93865	1.08x10 ⁸
	10	3.8773	2.20 x10 ⁸
	20	7.7546	4.21 x10 ⁸
	30	11.6319	6.18 x10 ⁸
	40	15.5092	9.45x10 ⁸
	60	23.2638	1.49 x10 ⁹
	80	31.0184	2.14 x10 ⁹



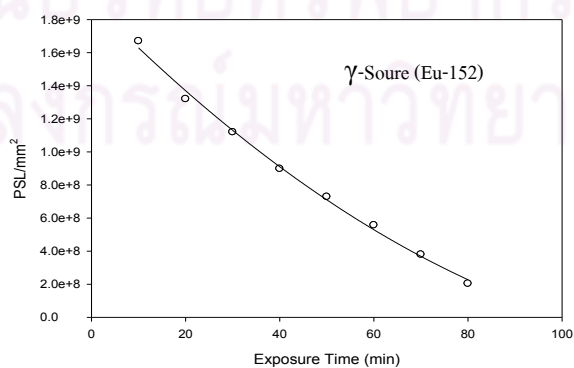
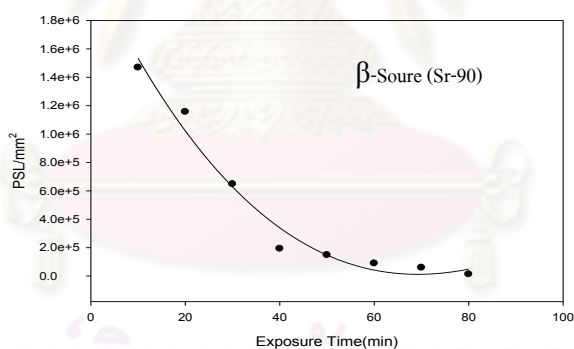
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความไวของแผ่นบันทึกภาพตอบสนองต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมา

จากการศึกษาความไวของแผ่นบันทึกภาพชนิด Ms-2040 ที่ตอบสนองต่อรังสีบีตา (Sr-90) และรังสีแกมมา (Eu-152) จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาในการรับปริมาณรังสีมากขึ้น ปริมาณรังสีที่แผ่นบันทึกภาพได้รับเพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยพิจารณาจากค่าโฟโตสตีมูลิเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร แปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับ ทั้งปริมาณรังสีบีตาและรังสีแกมมา และมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นด้วยสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination, R^2) ระหว่าง 0.988 และ 0.992 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความไวของการได้รับรังสีของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมา โดยพิจารณาการได้รับปริมาณรังสีของแผ่นบันทึกภาพที่ปริมาณรังสีใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.3 mSv พบว่ารังสีบีตามีความไวต่อแผ่นบันทึกภาพมากกว่ารังสีแกมมา

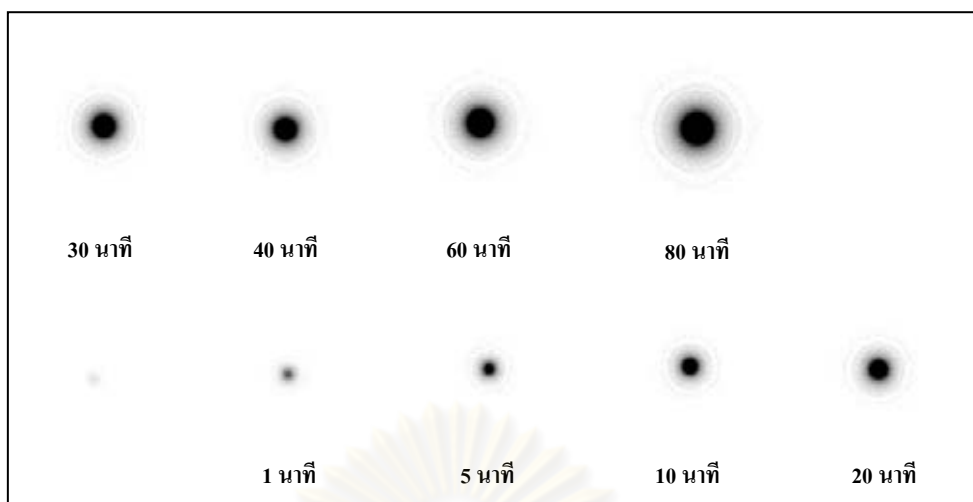
4.1.2 ศึกษาการจางลงของโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (PSL Fading) ต่อตารางมิลลิเมตร ที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีปีตาและรังสีแกมมา

ตารางที่ 4.3 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรกับปริมาณรังสีที่ได้รับของแผ่นบันทึกภาพจากต้นกำเนิดรังสีปีตาและแกมมา

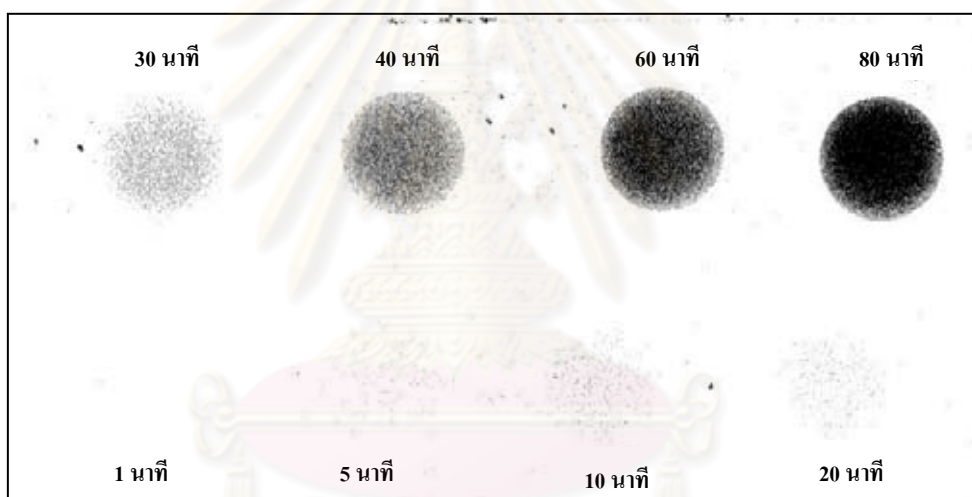
No.	Fading Time (min)	Eu-152 PSL/mm ²	Sr-90 PSL/mm ²
1	80	2.039×10^8	1.25×10^4
2	70	3.80×10^8	5.97×10^4
3	60	5.57×10^8	8.94×10^4
4	50	7.29×10^8	1.48×10^5
5	40	8.98×10^8	1.93×10^5
6	30	1.12×10^9	6.47×10^5
7	20	1.32×10^9	1.15×10^6
8	10	1.67×10^9	1.46×10^6



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบการจางลงของโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของรังสีปีตาและรังสีแกมมา



รูปที่ 4.3 ความเข้มแสงของต้นกำเนิดรังสียูโรเพียม-152 ทำการวางต้นกำเนิดรังสีเป็นเวลา 1, 5, 10, 20 (ล่าง), 30, 40, 60, 80 นาที (บน)



รูปที่ 4.4 ความเข้มแสงของต้นกำเนิดรังสีสตรอนเชียม-90 ทำการวางต้นกำเนิดรังสีเป็นเวลา 1, 5, 10, 20, 30 (ล่าง), 40, 60, 80 นาที (บน)

เมื่อพิจารณาเงื่อนไขการจางลงของค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรกับระยะเวลาเก็บแผ่นบันทึกภาพก่อนนำมาสแกนด้วยเครื่องอ่านระหว่าง 0 ถึง 80 นาที จะเห็นได้เมื่อพิจารณาระยะเวลาการจางลงคือ 70-80 พบว่าค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของรังสีทั้ง 2 ชนิดบนแผ่นบันทึกภาพ จางลงตามเวลาในการเก็บก่อนนำมาอ่านด้วยเครื่องอ่านบันทึกภาพ โดยค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของรังสีบีตามีช่วงการจางลงมากกว่ารังสีแกมมา ในที่ช่วงเวลารับเหมือนกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 และ 4.4 ของต้นกำเนิดรังสีบีตาและรังสีแกมมา พบว่าความเข้มแสงแผ่นบันทึกภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการรับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นแต่ในขณะเดียวกันความเข้มแสงแต่ละจุดมีค่าลดลงเมื่อทิ้งไว้ก่อนนำมาอ่าน นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเข้มแสง ที่รับ

ปริมาณรังสีและเวลาเท่ากันจะเห็นได้ว่ารังสีปีตามีช่วงการลดลงของค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรมากกว่ารังสีแกมมา

4.1.3 ทดลองหาปริมาณรังสีที่ได้รับจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอน

ตารางที่ 4.4 ปริมาณรังสีของตัวอย่างโทแปสอาบรังสีนิวตรอนที่ทำการทิ้งไว้ให้สลายตัวตามระยะเวลาต่างๆ

Irr 30-11-52			Irr 15-06-52			Irr 28-10-51		
ID	Wt(g)	Act(NanoCi/g)	ID	Wt(g)	Act(NanoCi/g)	ID	Wt(g)	Act(NanoCi/g)
1	2.971	4.27	1	4.384	1.68	1	4.828	0.25
2	2.848	5.57	2	4.776	0.85	2	5.116	4.36
3	2.928	76.10	3	3.996	1.28	3	4.285	2.25
4	2.843	13.25	4	2.915	2.55	4	3.725	0.46
5	2.852	7.28	5	6.138	13.47	5	5.955	0.14
6	2.634	15.80	6	5.892	0.42	6	5.454	0.35

จากการวิเคราะห์หาปริมาณรังสีที่ได้รับจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอนโดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGe จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาในการทิ้งให้สลายตัวในระยะเวลาที่สั้นคือประมาณ 6 เดือน - 1 ปี จะพบว่าปริมาณกัมมันตภาพรังสีของโทแปสมีปริมาณเกินมาตรฐานคือ 2 นาโนคูรีต่อกรัม ซึ่งเมื่อพิจารณาจะเห็นว่ายิ่งโทแปสมีขนาด น้ำหนัก และปริมาณสารเจือปนอยู่ในปริมาณมากจะทำให้กัมมันตภาพรังสีเกินขีดจำกัดมาก แต่เมื่อทิ้งให้สลายตัวของไอโซโทปเกิน 1ปี ถึง 2 ปี ปริมาณกัมมันตภาพรังสีจะอยู่ใกล้เคียงกับมาตรฐานความปลอดภัย 2 นาโนคูรีต่อกรัม (สำหรับมาตรฐานความปลอดภัยยุโรป) และ 1นาโนคูรีต่อกรัม (สำหรับมาตรฐานความปลอดภัยอเมริกา) ดังตารางที่ 4.4 และหากโทแปสมีสารเจือปนที่มีครึ่งชีวิตยาวอยู่ในปริมาณที่น้อยจะส่งผลดีต่อการนำมาใช้ได้รวดเร็วขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 วิเคราะห์หาปริมาณสารเจือปน

4.2.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

4.2.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้น

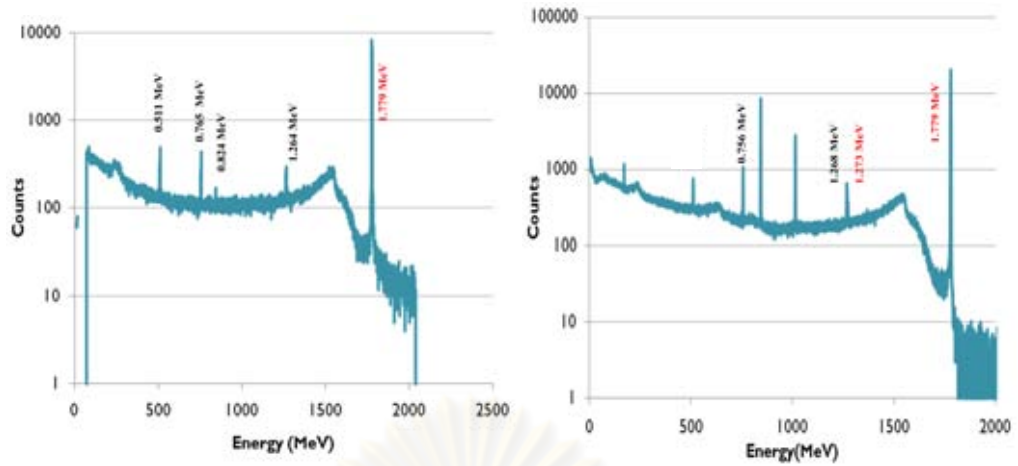
ตารางที่ 4.5 ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้นที่พบในตัวอย่างโทแพส

Sample	ID	% Si	$\pm\sigma$	% Al	$\pm\sigma$	%Na	$\pm\sigma$
White Topaz	WT1	13.7	2.96	26.77	0.16	0.05	0.000
	WT2	13.5	2.90	27.27	0.15	0.05	0.000
	WT3	21.3	2.42	27.18	0.14	0.03	0.001
	WT4	13.3	1.74	37.87	0.35	0.04	0.001
	WT5	20.1	2.29	27.35	0.14	0.05	0.001
	WT6	18.8	1.91	27.78	0.17	0.05	0.001
Brazil	S1A	9.7	1.68	27.65	0.23	0.01	0.001
	S1B	10.5	2.04	27.68	0.22	0.01	0.000
	S1C	14.0	1.76	30.07	0.23	0.01	0.000
India	S2A	22.8	2.99	17.34	0.16	0.01	0.001
	S2B	12.1	2.13	29.40	0.23	0.01	0.000
	S2C	48.1	2.00	13.15	0.13	0.01	0.000
Burman	S3A	16.1	1.84	27.98	0.21	0.02	0.001
	S3B	23.0	2.44	29.38	0.23	0.02	0.001
	S3C	14.9	1.52	26.35	0.2	0.01	0.000
Vietnam	S4A	20.3	2.40	27.23	0.22	0.04	0.001
	S4B	12.0	1.75	28.55	0.21	0.02	0.001
	S4C	12.7	1.71	26.18	0.2	0.02	0.001
Srilanka	S5A	10.9	1.08	25.33	0.18	0.01	0.000
	S5B	9.8	1.17	26.92	0.19	0.01	0.000
	S5C	11.6	1.33	25.82	0.19	0.01	0.000

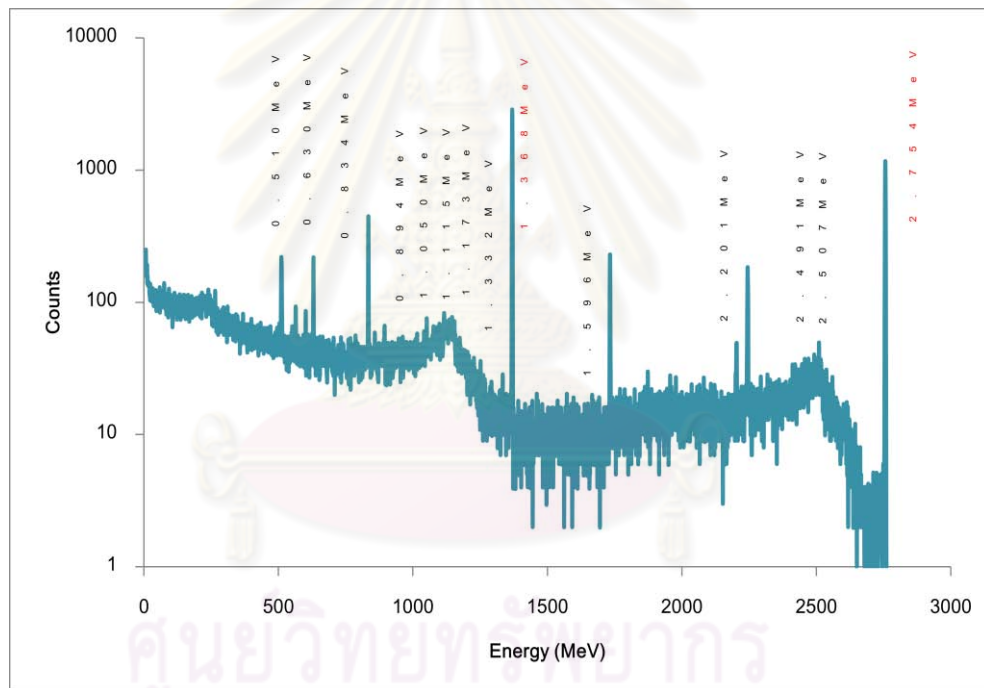
4.2.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาว

ตารางที่ 4.6 ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวที่พบในตัวอย่างไม่ทแยง

Sample	ID	Mn (834 keV)	$\pm\sigma$	Sc (889 keV)	$\pm\sigma$	Fe (1099 keV)	$\pm\sigma$	Co (1173 keV)	$\pm\sigma$	Ta (1221 keV)	$\pm\sigma$
White Topaz	WT1	119.4	2.78	0.67	0.00	5.95	0.15	1.19	0.02	0.36	0.01
	WT2	68.87	4.22	0.63	0.00	127.8	1.28	6.44	0.13	1.16	0.02
	WT3	39.60	2.43	0.57	0.00	36.78	0.44	0.94	0.02	26.22	0.36
	WT4	53.32	3.73	0.49	0.00	2.71	0.08	0.37	0.01	6.72	0.14
	WT5	135.6	3.37	0.62	0.01	39.82	0.49	0.43	0.02	12.94	0.21
	WT6	50.86	3.50	0.94	0.01	730.6	5.39	4.77	0.09	1.18	0.02
Brazil	S1A	ND	ND	0.06	0.00	0.42	0.05	0.03	0.01	0.65	0.02
	S1B	0.15	0.34	0.17	0.00	0.36	0.03	0.03	0.00	0.04	0.01
	S1C	1.37	0.44	0.03	0.00	1.57	0.11	0.03	0.00	0.01	0.00
India	S2A	ND	ND	0.01	0.00	0.45	0.04	0.02	0.01	ND	ND
	S2B	0.49	0.62	0.30	0.00	0.39	0.04	0.05	0.01	ND	ND
	S2C	ND	ND	0.00	0.00	0.55	0.09	0.02	0.00	0.05	0.00
Burman	S3A	ND	ND	0.02	0.00	0.23	0.03	0.03	0.00	0.02	0.00
	S3B	2.93	1.20	0.02	0.00	0.34	0.03	0.03	0.00	0.02	0.00
	S3C	ND	ND	0.02	0.00	0.16	0.02	0.03	0.00	0.55	0.04
Vietman	S4A	1.43	1.09	0.12	0.00	0.84	0.06	0.04	0.01	0.04	0.00
	S4B	ND	ND	0.12	0.00	1.08	0.08	0.03	0.00	0.43	0.01
	S4C	2.26	1.86	0.14	0.00	0.74	0.06	0.02	0.00	1.29	0.08
Sri lanka	S5A	ND	ND	0.00	0.00	ND	ND	0.00	0.00	0.00	0.00
	S5B	ND	ND	0.06	0.02	ND	ND	0.02	0.00	0.00	0.00
	S5C	ND	ND	0.00	0.00	ND	ND	0.01	0.00	0.02	0.00



รูปที่ 4.5 แกมมาสเปกตรัมของพีคพลังงาน 1.779 MeV และ 1.273 MeV ของ Al-28 , Al- 29 ซึ่งอาบนิวตรอนเป็นเวลา 10 วินาที,5 นาทีในท่อ TA,CA3 ตามลำดับ ใช้เวลาวัด ตัวอย่าง 2 นาที



รูปที่ 4.6 แกมมาสเปกตรัมของพีคพลังงาน 1.368, 2.754 MeV ของ Na-24 ซึ่งอาบนิวตรอนเป็นเวลา 5 วันในท่อ LZ ใช้เวลาวัดตัวอย่าง 10 นาที

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้นของโทแปสจากแหล่งที่มาทั้ง 5 และโทแปส (ผง) ที่ใช้ในการวิจัย ดังตารางที่ 4.5 โดยจากผลการวิจัยสามารถตรวจพบธาตุซีลิกอน

อะลูมิเนียมและโซเดียม ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของโทแปลส โดยธาตุเหล่านี้เกิดจากปฏิกิริยาของ Si-29 (n,p) Al-29, Al-27(n, γ) Al-28, Na-23(n, γ)Na-24 ตามลำดับ

นอกจากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวของโทแปลสจากแหล่งที่มาทั้ง 5 และโทแปลส(ผง)ที่ใช้ในการวิจัย สามารถตรวจพบปริมาณไอโซโทปรังสีของธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวดังตารางที่ 4.6 โดยไอโซโทปรังสีหลักที่มีผลต่อการรับรังสีคือ Sc-46, Mn-54, Fe-59, Co-60 และTa-182 เป็นต้น ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสีที่มีครึ่งชีวิตยาว โดยจะมีครึ่งชีวิตตั้งแต่ 44 วัน- 315 วัน จากการตรวจพบในแหล่งที่มาทั้ง 5 แหล่งและโทแปลส (ผง) พบว่าโทแปลสจากศรีลังการไม่สามารถตรวจพบปริมาณ Mn-54 และ Fe-59 ได้ ซึ่งเหมาะสมต่อการนำมาใช้อาบนิวตรอนเพื่อให้เปลี่ยนสีและนำไปใช้เป็นเครื่องประดับ เนื่องจากมีไอโซโทปรังสีครึ่งชีวิตยาวในปริมาณน้อย ส่วนโทแปลสที่มีปริมาณไอโซโทปรังสีอยู่ในปริมาณมากคือโทแปลสจากพม่ามีปริมาณไอโซโทปรังสีของ Mn-54 ยังมีอยู่ในปริมาณที่มากคือ 2.93 ± 1.20 ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการสลายตัวเนื่องจาก Mn-54 มีครึ่งชีวิตยาวถึง 312.5 วัน สำหรับโทแปลส(ผง)ที่ใช้ในการวิจัย จะเห็นได้ว่ามีปริมาณไอโซโทปรังสีธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวของ Co-60, Mn-54, Sc-46, Fe-59 และTa-182 อยู่มีปริมาณสูง จึงไม่เหมาะสมนำมาใช้เป็นเครื่องประดับ

4.2.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

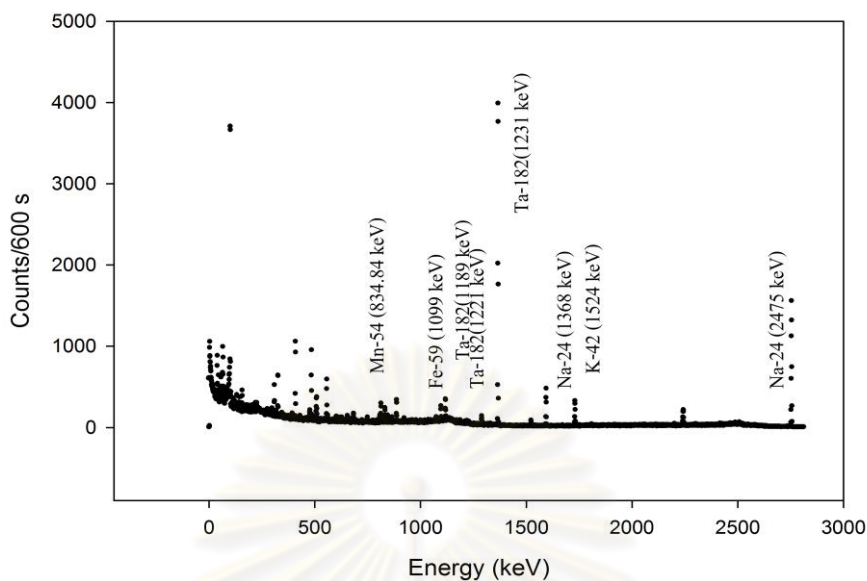
ตารางที่ 4.7 ไอโซโทปรังสีที่พบในโทแปลสจากแหล่งที่มาต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ไอโซโทป รังสีที่พบ	พีคพลังงาน (keV)
สารมาตรฐาน (1T)	Fe-59	192,1099,1291
	La-140	328,432,486,751,815,867,920,925,1596
	K-42	1524
	Na-24	1368,2754
	Sc-46	889,1120
	Mn-54	834
	Co-60	1173,1332
	Ta-182	179,1121,1189,1221
สารมาตรฐาน (2T)	Fe-59	192,1099,1291
	La-140	328,432,487,751,815,867,925,1596
	K-42	1524
	Na-24	1368,2754

	Sc-46	889,1120
	Mn-54	834
	Co-60	1173,1332
	Ta-182	179,1121,1189,1221
White Topaz(WT)	Ta-182	179,1121,1189,1221
	Mn-54	834
	Sc-46	889,1120
	La-140	123,328,423,487,751,815,868,1596
	Fe-59	192,1099,1291
	K-42	1524
	Na-24	1367,2756
	Ag-108	433,618,632
	Co-60	1173,1332
Brazil	Mn-54	834
	SC-46	889,1120
	Na-24	1368,2754
	Co-60	1173,1332
	Ta-182	179,1121,1189,1221
India	Mn-54	834
	SC-46	889,1120
	Co-60	1173,1332
	Na-24	1368,2754
	La-140	487, 795,1596
	Zn-65	1115
Barman	La-140	328,423,487,751,815,868,925,1596
	SC-46	889,1120
	Na-24	1368,2754
	Mn-54	834
	Co-60	1173,1332
	Zn-65	1115

	Na-24	1368,2754
Vietnam	Mn-54	834
	Fe-59	1098
	Sc-46	889,1120
	Co-60	1173,1332
	Na-24	1368,2754
	Ta-182	179,1121,1189,1221
Srilanka	Na-24	1367,2754
	Mn-54	834
	Zn-65	1115
	Co-60	1173,1332
	Ta-182	179,1121,1189,1221

สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของโทแอสจากแหล่งที่มาทั้งหมด พบว่าโดยส่วนมากในโทแอสทั้ง 5 แหล่งจะพบไอโซโทปรังสีที่คล้ายคลึงกัน เช่น Na-24, Sc-46, Mn-54, La-140, Co-60, Zn-65 และ Ta-182 เป็นต้น ส่วนโทแอส (ผง) ที่ใช้ในการวิจัย สามารถตรวจพบ Na-24, K-42, Sc-46, Mn-54, Fe-59, Co-60, Ag-108, La-140 และ Ta-182 ดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สเปกตรัมรังสีแกมมาที่พบในตัวอย่างโทแปสที่ใช้ในการทดลองชนิดผง ทำการอบนิวตรอนเพื่อวิเคราะห์ธาตุที่มีในตัวอย่างไม่พอ LZ เป็นเวลา 4 วัน ซึ่งไว้ให้กัมมันตภาพรังสีลดลง 1 อาทิตย์ก่อนนำมาวัดกัมมันตภาพ

4.2.3 การวิเคราะห์การกระจายตัวของฟลักซ์

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การกระจายตัวของฟลักซ์ตามการจัดเรียงตัวอย่างโทแปส

ID	%การกระจายตัวของฟลักซ์ ตามการจัดเรียง
2T1	88.9
2T2	95.5
2T3	96.9
2T4	99.4
2T5	99.3
2T6	100

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของฟลักซ์ตามการจัดเรียงของตัวอย่างโทแปส ในท่อ LZ พบว่าการกระจายตัวของฟลักซ์ของโทแปสที่มีการจัดเรียงด้านล่างสุดใกล้กับต้นกำเนิด รังสีจะได้รับปริมาณฟลักซ์ 100 % เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของฟลักซ์ก็จะลดลง ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.8

4.2.4 การวิเคราะห์ธาตุในสารมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด

ตารางที่ 4.9 ไอโซโทปรังสีที่พบในสารมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด

สารมาตรฐาน	ไอโซโทปรังสีที่ตรวจพบ
AGV-2 (1T)	Fe-59
	La-140
	K-42
	Na-24
	Sc-46
	Mn-54
	Co-60
	Ta-182
BHVO-2 (2T)	Fe-59
	La-140
	K-42
	Na-24
	Sc-46
	Mn-54
	Co-60
	Ta-182

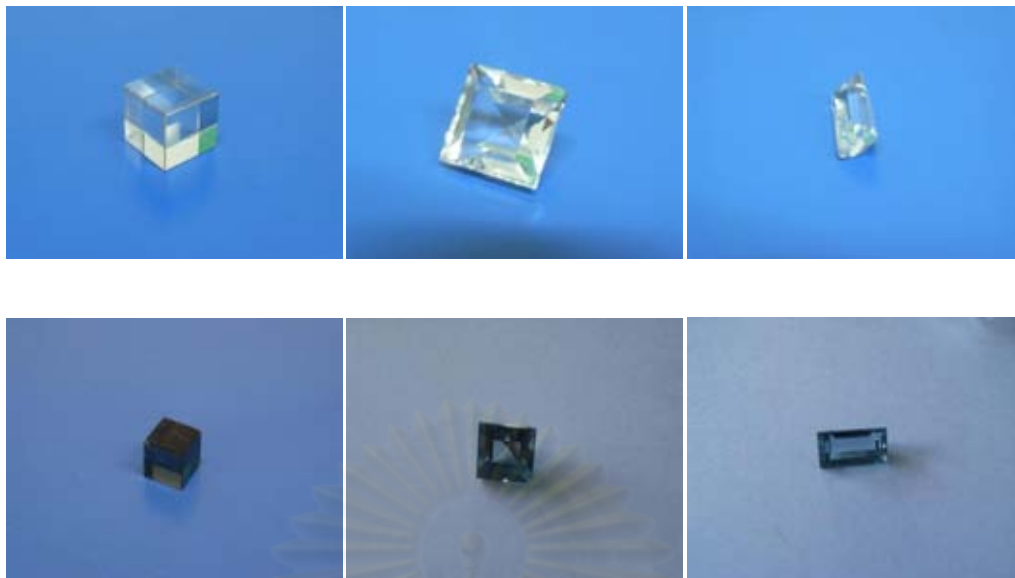
4.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากโทแอส อารังสีนิวตรอนสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดรังสีแต่ละชนิด โดยการเปรียบเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร

4.3.1 วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทแอส 3 ลักษณะคือ รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปร่างรียาว โดยทำการอารังสีในท่อ F12 เป็นเวลา 84 ชั่วโมง วันที่ทำการโหลด 30-08-53 จำนวน 12 ตัวอย่าง และรูปร่างลูกบาศก์ โดยทำการอารังสีในท่อ F12 เป็นเวลา 70 ชั่วโมง วันที่ทำการโหลด 10-01-54 จำนวน 18 ตัวอย่าง โดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGe เปรียบเทียบปริมาณรังสีกับต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Ba-133

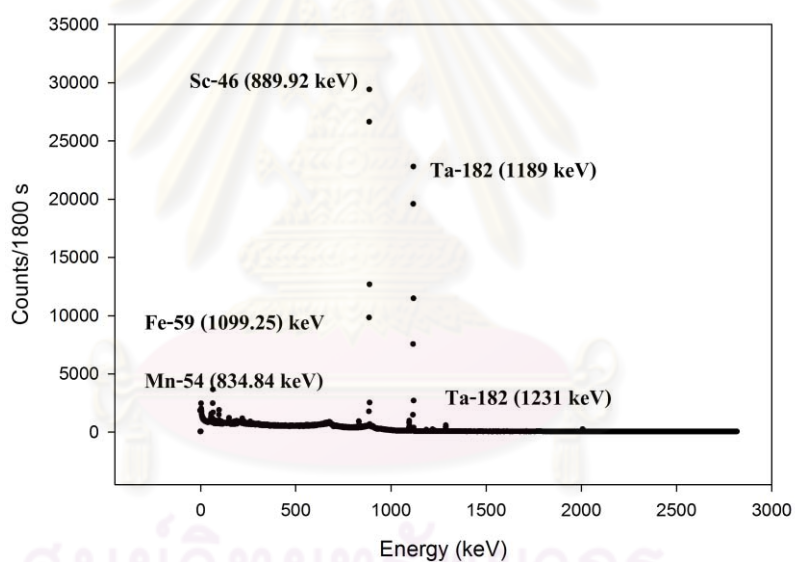
ตารางที่ 4.10 ผลการวัดปริมาณรังสีของโทแอสที่ใช้ในงานวิจัยที่อาบนิวตรอนโดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ (HPGe) โดยตัวอย่างโทแอสทำการ load วันที่ 30/08/10 ในท่อ F12 เป็นเวลา 84 ชั่วโมง จำนวน 12 เม็ด และทำการโหลด จำนวน 18 เม็ด

ลำดับ/ ลักษณะ โทแอส	รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า(Rt)		รูปร่างรี(Ov)		รูปร่างลูกบาศก์(Cb)	
	ปริมาณรังสี					
	ไมโครคูรี	(นาโนคูรี/กรัม)	ไมโครคูรี	(นาโนคูรี/กรัม)	ไมโครคูรี	(นาโนคูรี/กรัม)
1	0.142	109.04	0.0512	98.99	0.631	177.08
2	0.151	102.49	0.0815	155.99	0.344	98.13
3	0.106	92.52	0.0239	45.28	0.301	82.25
4	0.045	30.63	0.0408	83.68	3.282	931.40
5	0.204	170.46	0.0462	90.40	0.341	87.08
6	0.088	72.07	0.0805	170.22	0.055	85.27
7					0.219	61.71
8					0.234	65.33
9					1.291	334.72
10					0.357	101.97
11					0.184	50.68
12					0.402	120.43
13					0.832	262.59
14					0.288	83.54
15					0.356	113.08
16					1.26	372.73
17					2.237	583.99
18					0.753	242.83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

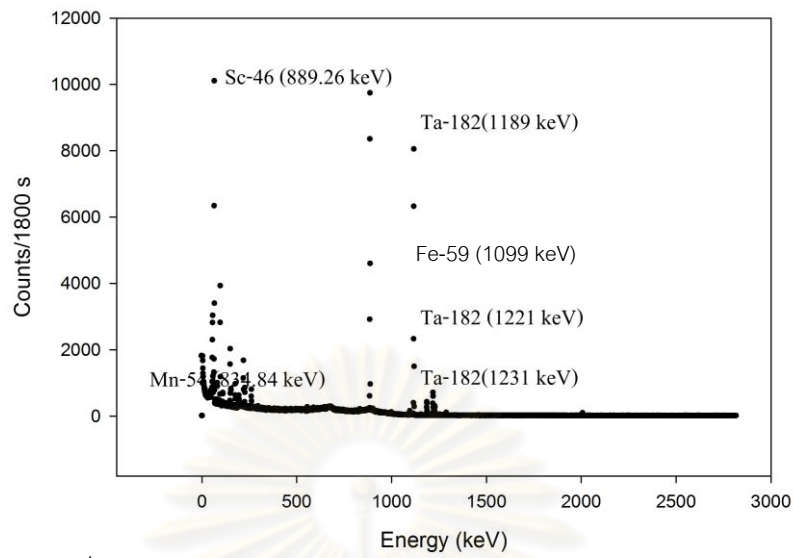


รูปที่ 4.8 ตัวอย่างโทแปสก่อนการอาบรังสีนิวตรอน (บน) และหลังการอาบรังสีนิวตรอน (ล่าง)

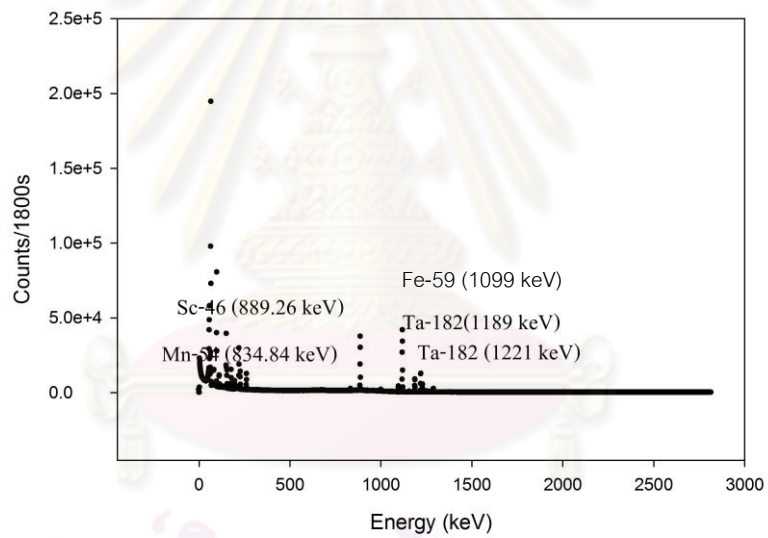


รูปที่ 4.9 สเปกตรัมรังสีแกมมาของโทแปสรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าลำดับตัวอย่างที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมรังสีแกมมาของไทเทเนียมเป้าสรูปร่างเรียวยาวลำดับตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมรังสีแกมมาของไทเทเนียมเป้าสรูปร่างลูกบาศก์ลำดับตัวอย่างที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

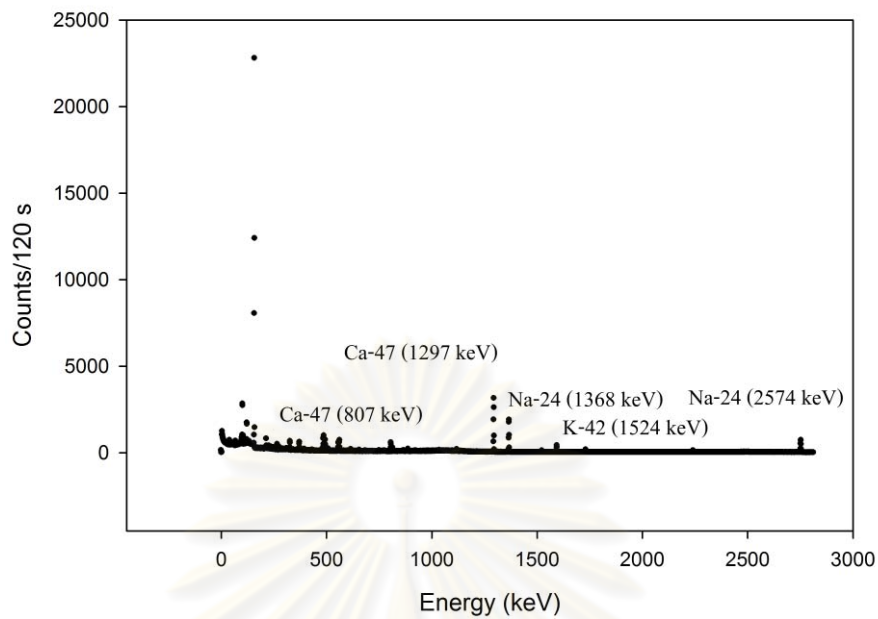
4.3.2 วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างยางสังเคราะห์ ขนาด 1.2 ซม x1.2 ซม x1.2 ซม ทำการอบรังสีในท่อ LZ เป็นเวลา 1 วัน วันที่ทำการโหลด 29-01-54 จำนวน 64 ตัวอย่าง โดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGe ปรับเทียบปริมาณรังสีกับต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Ba-133

ตารางที่ 4.11 ผลการวัดปริมาณรังสีของตัวอย่างยางสังเคราะห์

ID	Activity		ID	Activity		ID	Activity		ID	Activity	
	uCi	(NanoCi /g)		uCi	(NanoCi /g)		uCi	(NanoCi /g)		uCi	(NanoCi /g)
RB-01	3.906	1143.92	RB-17	3.705	1256.00	RB-33	4.143	1148.29	RB-49	1.837	560.32
RB-02	4.154	1209.36	RB-18	3.843	1240.76	RB-34	3.543	1029.53	RB-50	1.769	515.53
RB-03	4.017	1201.17	RB-19	4.521	1310.32	RB-35	4.047	1256.18	RB-51	1.956	571.51
RB-04	3.567	1087.79	RB-20	3.778	1163.94	RB-36	4.310	1236.13	RB-52	1.434	436.65
RB-05	4.055	1139.72	RB-21	4.097	1164.17	RB-37	3.744	1162.58	RB-53	1.668	499.42
RB-06	3.844	1166.20	RB-22	3.709	1148.18	RB-38	3.838	1117.04	RB-54	1.745	515.13
RB-07	3.704	1092.30	RB-23	3.876	1102.00	RB-39	3.913	1158.96	RB-55	1.752	487.04
RB-08	3.594	1064.04	RB-24	3.496	1052.95	RB-40	3.606	1076.63	RB-56	1.641	466.44
RB-09	3.848	1155.67	RB-25	3.908	1125.54	RB-41	3.886	1163.03	RB-57	9.677	3007.22
RB-10	4.276	1255.57	RB-26	3.664	1046.69	RB-42	3.464	1048.20	RB-58	10.316	3020.89
RB-11	4.347	1304.61	RB-27	3.853	1169.71	RB-43	3.784	1186.13	RB-59	8.542	2512.96
RB-12	3.21	1075.10	RB-28	3.539	1006.41	RB-44	3.899	1118.99	RB-60	9.606	2765.06
RB-13	2.840	894.31	RB-29	2.773	817.37	RB-45	3.637	1027.23	RB-61	8.659	2633.38
RB-14	5.260	1525.72	RB-30	3.605	1133.47	RB-46	3.719	1191.35	RB-62	6.857	2012.59
RB-15	3.599	1046.19	RB-31	3.846	1133.46	RB-47	3.145	1004.30	RB-63	7.355	2264.41
RB-16	3.780	1119.37	RB-32	3.718	1081.56	RB-48	3.274	1020.98	RB-64	7.436	2305.13

ตารางที่ 4.12 ไอโซโทปรังสีที่พบในตัวอย่างยางสังเคราะห์

ตัวอย่าง	ไอโซโทปรังสีที่พบในตัวอย่างยางสังเคราะห์
ยางสังเคราะห์	Na-24, K-42, Ca-47, Sc-46, Fe-59, As-76, Ba-131, La-140



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมรังสีแกมมาของยางสังเคราะห์ตัวอย่างที่ 1

4.3.3 เปรียบเทียบโฟโตสตีโมลูเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Sr-90 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน โดยทราบปริมาณรังสีที่แน่นอน

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบโฟโตสตีโมลูเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพทั้ง 2 ชนิดต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Sr-90 ที่ทำเปรียบเทียบมาตรฐาน

Dose rate of Cs-137 (mSv/hr)	Exposure (min)	Dose	MS PSL/mm ²	SR PSL/mm ²
4.29	5	0.3575	1.53E+10	1.76E+08
	10	0.715	2.98E+10	3.33E+08

Dose rate of Co-60 (mSv/hr)	Exposure (min)	Dose(mSv)	MS PSL/mm ²	SR PSL/mm ²
0.26	20	0.086667	1.23E+09	7E+07
	40	0.173333	2.38E+09	1E+08

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพทั้ง 2 ชนิดต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Sr-90 ที่ทำเปรียบเทียบมาตรฐาน (ต่อ)

Absorbed Dose rate of Sr-90 uGy/s	Exposure (s)	Dose(mGy)	MS PSL/mm ²	SR PSL/mm ²
33.8	30	1.018	1.316E+10	1.27E+10
	60	2.037	2.522E+10	2.22E+10

จากผลการวิจัยในตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาความไวของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 และ SR-2040 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 จะเห็นได้ว่า แผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 มีความไวกว่าแผ่นบันทึกภาพชนิด SR-2040 ถึง 86.93 และ 86.78 เท่า ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีแกมมา Co-60 จะเห็นได้ว่า แผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 มีความไวกว่าแผ่นบันทึกภาพชนิด SR-2040 17.57 และ 23.8 เท่า ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีบีตา Sr-90 จะเห็นได้ว่า แผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 มีความไวกว่าแผ่นบันทึกภาพชนิด SR-2040 1.03 และ 1.14 เท่าตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 มีความต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมามากกว่าชนิด SR-2040 และเมื่อทำการเปรียบเทียบความไวของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมาพบว่าที่ปริมาณรังสีใกล้เคียงกันคือ 0.715 mSv ของ Cs-137 และ 1.018 mGy พบว่ารังสีแกมมามีความไวต่อแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ถึง 2.26 เท่า สำหรับแผ่นบันทึกภาพชนิด SR-2040 พบว่ารังสีบีตามีความไวมากกว่ารังสีแกมมาถึง 38.13 เท่า

นอกจากนี้ได้ทำการหาขีดจำกัดเริ่มต้นในการวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากการเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีแกมมา และต้นกำเนิดรังสีบีตา

$$\text{จากสูตร} \quad DT = \bar{x} + 3\sigma$$

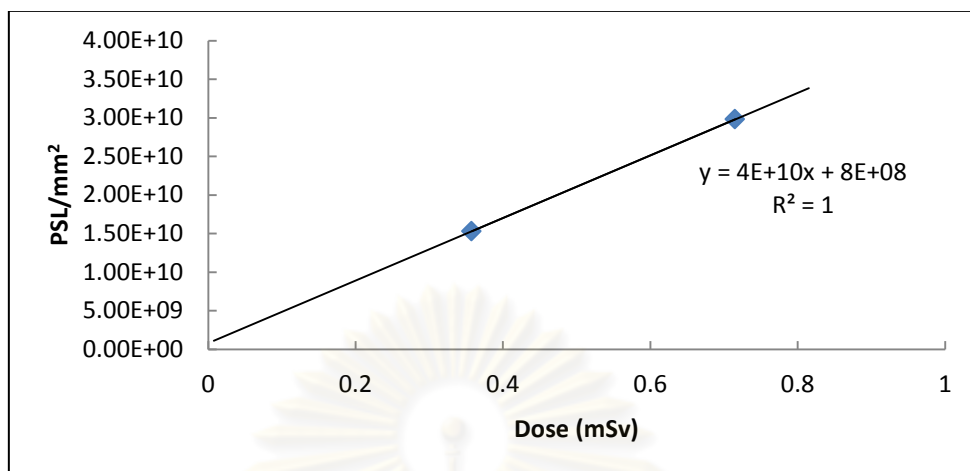
โดยที่ DT =Detection limit

\bar{x} = ค่าเฉลี่ยรังสีพื้นหลัง

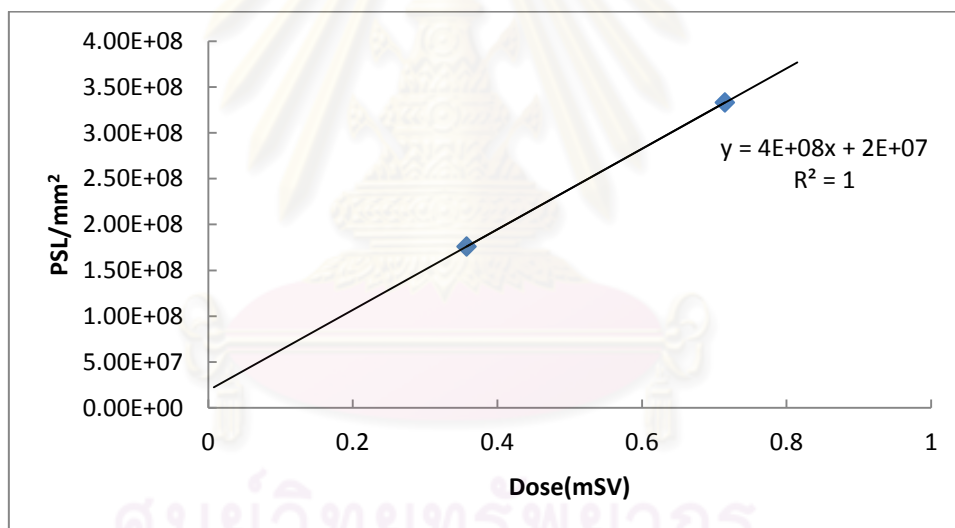
$$3\sigma = SD$$

ขีดจำกัดเริ่มต้นในการวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากการเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีแกมมาคือ 5×10^7 PSL/mm²

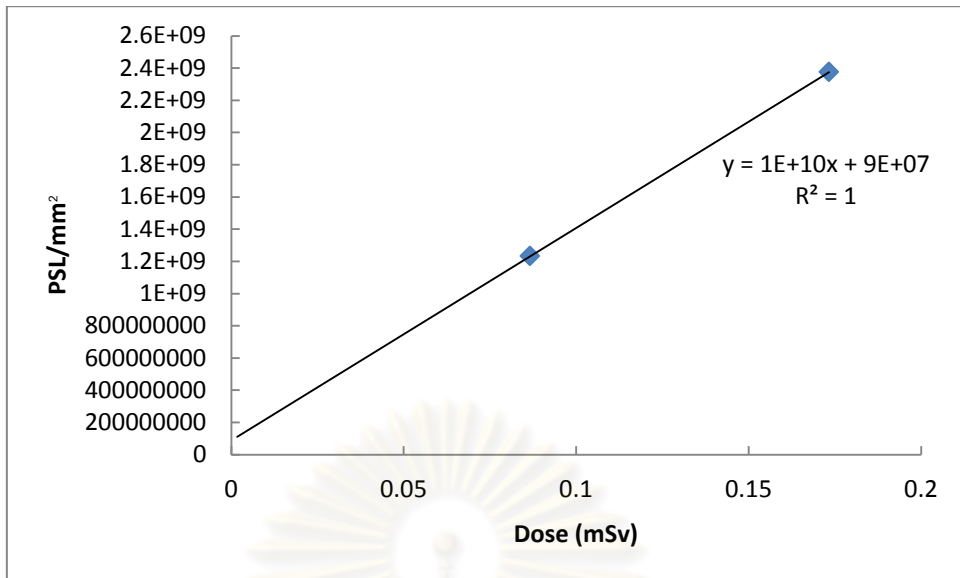
ขีดจำกัดเริ่มต้นในการวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากการเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสี
 ปีศาจคือ 3×10^9 PSL/mm²



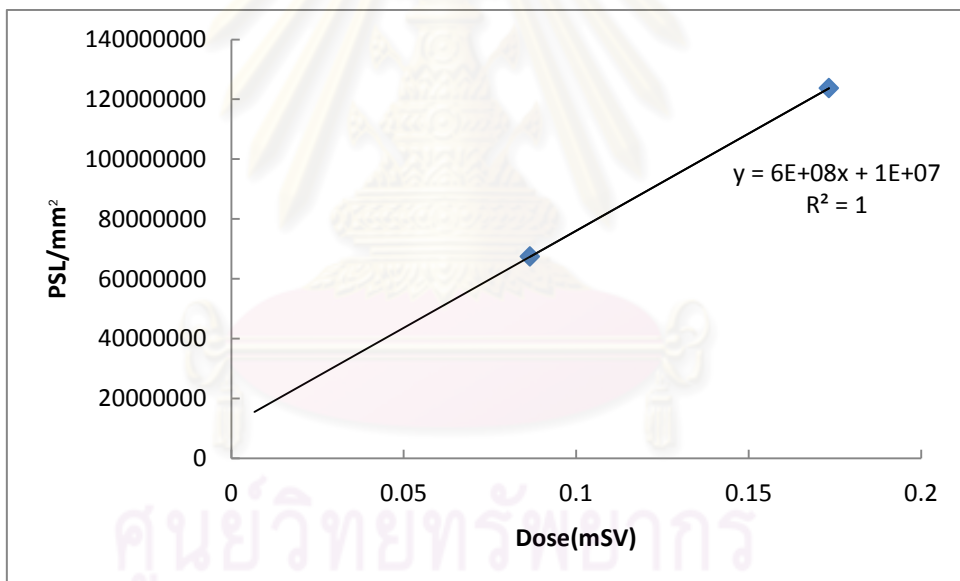
รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพ
 ชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ปรับเทียบมาตรฐาน



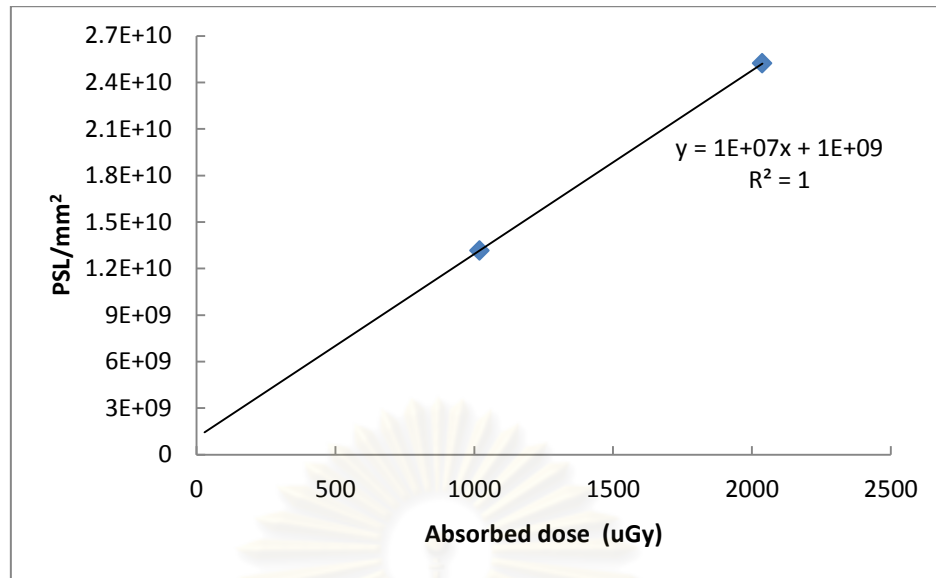
รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่น
 บันทึกภาพชนิด SR-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ปรับเทียบ
 มาตรฐาน



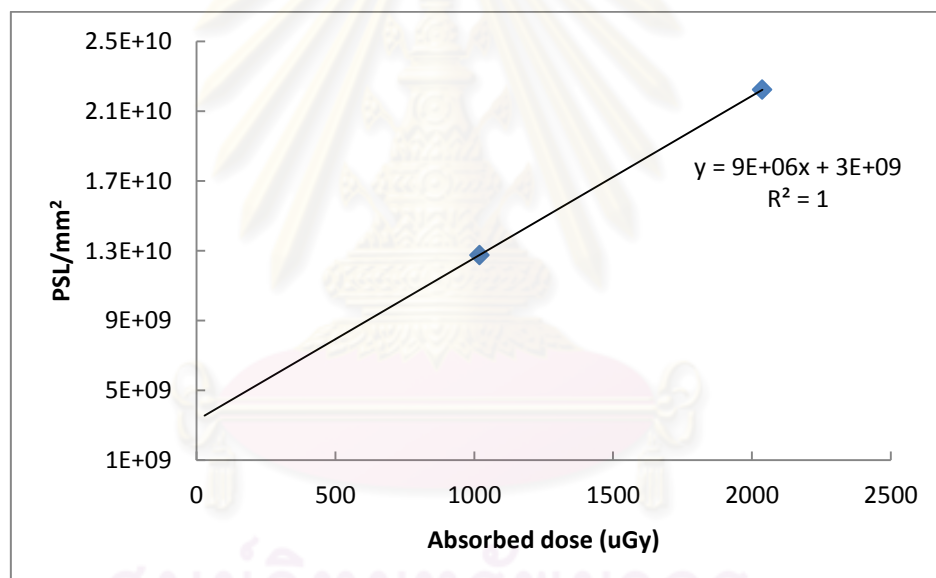
รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบโฟโตสตีมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบโฟโตสตีมูเลสลูมิเนสเซนซ์ของแผ่นบันทึกภาพชนิด SR-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบโฟโตสตีมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Sr-90 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบโฟโตสตีมูเลสลูมิเนสเซนซ์ต่อตารางมิลลิเมตร ของแผ่นบันทึกภาพชนิด SR-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Sr-90 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่อ่านได้จากแผ่นบันทึกภาพ MS-2040 ต่อปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับจากต้นกำเนิด Cs-137 ที่ระยะ 3 เมตร จะได้ว่า 1 PSL เกิดจากจำนวนรังสีแกมมาประมาณ 8,469 ตัว สำหรับปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับจากต้นกำเนิด Co-60 ที่ระยะ 1.5 เมตร จะได้ว่า 1 PSL เกิดจากจำนวนรังสีแกมมาประมาณ 9,111 ตัว

• วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทปเลส ยางสังเคราะห์ ปรับเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 และ Sr-90 โดยใช้แผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040

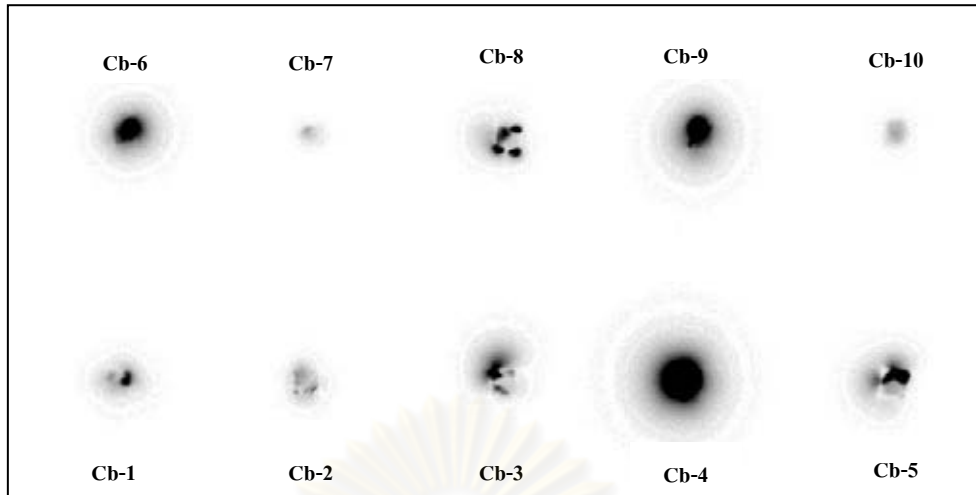
ก. วัดปริมาณรังสีของตัวอย่างโทปเลส ทั้ง 3 ลักษณะจำนวน 30 เม็ดและตัวอย่างยางสังเคราะห์ จำนวน 10 เม็ด ที่ทราบกัมมันตภาพรังสีโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ เปรียบเทียบกับ PSL ต่อตารางมิลลิเมตร

-กรณีวางบนแผ่นบันทึกภาพโดยตรง (พิจารณาปริมาณรังสีรวม)

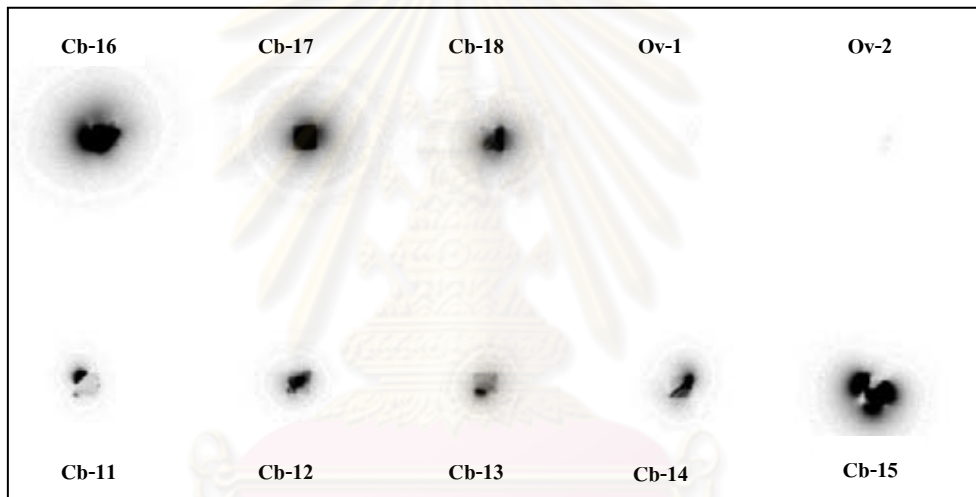
ตารางที่ 4.14 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของตัวอย่างโทปเลสและยางสังเคราะห์ปรับเทียบกับค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่ปรับเทียบมาตรฐาน

ID	PSL mm ⁻²	Dose (mSV)/ 16 hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (mSV)/ 16 hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (mSV)/ 16hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (mSV)/ 16 hr
Cb-1	1.13E+09	1.04E-01	Cb-11	9.44E+08	8.54E-02	Ov-3	1.20E+07	DT	Rb-1	8.51E+08	7.61E-02
Cb-2	9.13E+08	8.23E-02	Cb-12	1.19E+09	1.10E-01	Ov-4	1.90E+07	DT	Rb-2	8.13E+08	7.23E-02
Cb-3	1.59E+09	1.50E-01	Cb-13	1.18E+09	1.09E-01	Ov-5	4.50E+07	DT	Rb-3	8.43E+08	7.53E-02
Cb-4	5.96E+09	5.87E-01	Cb-14	1.09E+09	9.96E-02	Ov-6	1.50E+07	DT	Rb-4	8.05E+08	7.15E-02
Cb-5	2.15E+09	2.06E-01	Cb-15	4.81E+09	4.72E-01	Rt-1	3.10E+07	DT	Rb-5	8.14E+08	7.24E-02
Cb-6	1.48E+09	1.39E-01	Cb-16	7.23E+09	7.14E-01	Rt-2	3.90E+07	DT	Rb-6	8.06E+08	7.16E-02
Cb-7	8.07E+08	7.17E-02	Cb-17	2.88E+09	2.79E-01	Rt-3	4.40E+07	DT	Rb-7	8.06E+08	7.16E-02
Cb-8	2.04E+09	1.95E-01	Cb-18	2.79E+09	2.70E-01	Rt-4	3.20E+07	DT	Rb-8	8.09E+08	7.19E-02
Cb-9	3.92E+09	3.83E-01	Ov-1	31644594	ND	Rt-5	1.00E+08	1.00E-03	Rb-9	8.78E+08	7.88E-02
Cb-10	8.22E+08	7.32E-02	Ov-2	33652275	ND	Rt-6	3.70E+07	DT	Rb-10	8.92E+08	8.02E-02

*DT = Detection limite

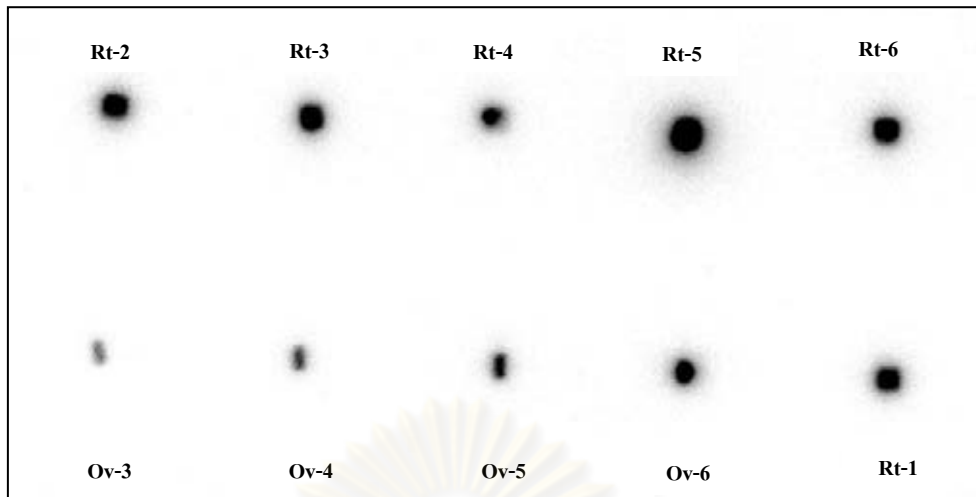


รูปที่ 4.19 ความเข้มแสงของโทแปส (Cb) หมายเลข 1-10 (เรียงลำดับจาก 1(มุมซ้ายล่าง) - 5(มุมขวาล่าง) และ 6(มุมซ้ายบน)-10(มุมขวาบน))

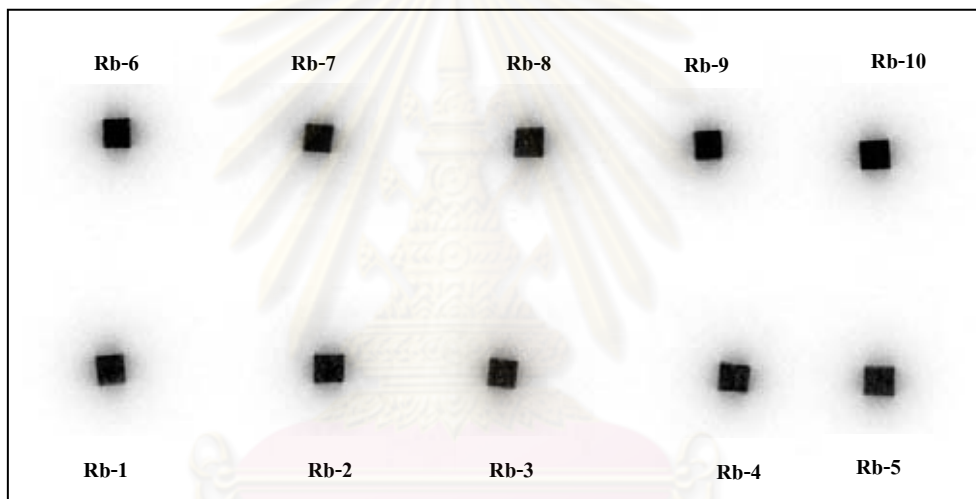


รูปที่ 4.20 ความเข้มแสงของโทแปส (Cb) หมายเลข 11-18 (เรียงลำดับจาก 11 (มุมซ้ายล่าง) - 15(มุมขวาล่าง) และ 16(มุมซ้ายบน)-(Ov) 2(มุมขวาบน))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 ความเข้มแสงของโทแปลต (Ov) หมายเลข 3-6 (เรียงลำดับจาก 3 (มุมซ้ายล่าง) - (Rt) 1 (มุมขวาล่าง) และ (Rt) 2 (มุมซ้ายบน) - 6 (มุมขวาบน))



รูปที่ 4.22 ความเข้มแสงของยางสังเคราะห์ Rb หมายเลข 1-6 (เรียงลำดับจาก 1 (มุมซ้ายล่าง) - 6 (มุมขวาล่าง) และ 7 (มุมซ้ายบน) - 6 (มุมขวาบน))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-กรณีวางบนแผ่นอะลูมิเนียม เพื่อกันปิตา (พิจารณารังสีแกมมา)

ตารางที่ 4.15 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของตัวอย่างโทแปสและยางสังเคราะห์ปรับเทียบกับค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่ปรับเทียบมาตรฐาน

ID	PSL mm ⁻²	Dose (mSV)/ 16 hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (mSV)/ 16 hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (mSV)/ 16 hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (mSV)/ 16 hr
Cb-1	2.41E+08	1.51E-02	Cb-11	1.85E+08	9.50E-03	Ov-3	1.49E+09	1.40E-01	Rb-1	1.00E+07	DT
Cb-2	1.31E+08	4.10E-03	Cb-12	2.42E+08	1.52E-02	Ov-4	1.85E+09	1.76E-01	Rb-2	1.20E+07	DT
Cb-3	1.76E+08	8.60E-03	Cb-13	3.00E+08	2.10E-02	Ov-5	2.82E+09	2.73E-01	Rb-3	1.10E+07	DT
Cb-4	2.21E+09	2.12E-01	Cb-14	2.77E+08	1.87E-02	Ov-6	1.58E+09	1.49E-01	Rb-4	1.00E+07	DT
Cb-5	2.01E+08	1.11E-02	Cb-15	3.55E+08	2.65E-02	Rt-1	2.72E+09	2.63E-01	Rb-5	9353497	DT
Cb-6	8.43E+08	7.53E-02	Cb-16	9.84E+08	8.94E-02	Rt-2	2.97E+09	2.88E-01	Rb-6	1.10E+07	DT
Cb-7	94936739	4.94E-04	Cb-17	1.06E+09	9.70E-02	Rt-3	2.83E+09	2.74E-01	Rb-7	1.20E+07	DT
Cb-8	1.56E+08	6.60E-03	Cb-18	4.91E+08	4.01E-02	Rt-4	2.19E+09	2.10E-01	Rb-8	1.10E+07	DT
Cb-9	1.13E+09	1.04E-01	Ov-1	2.40E+09	2.31E-01	Rt-5	4.97E+09	4.88E-01	Rb-9	1.20E+07	DT
Cb-10	2.38E+08	1.48E-02	Ov-2	2.50E+09	2.41E-01	Rt-6	2.89E+09	2.80E-01	Rb-10	1.30E+07	DT

*DT = Detection limite

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

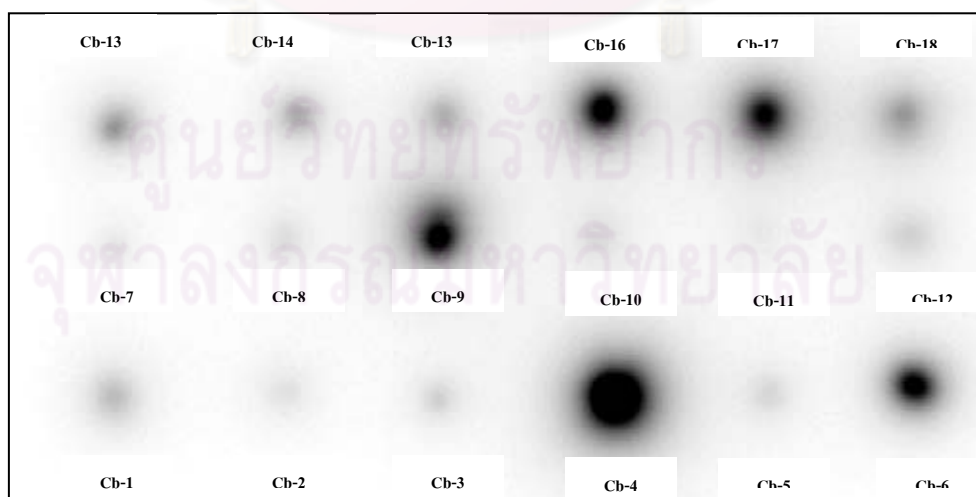
-กรณีหักลบ (พิจารณารังสีปีตา)

ตารางที่ 4.16 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรของตัวอย่างไทเปสและยางสังเคราะห์เปรียบเทียบกับค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 ต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Sr-90 ที่ปรับเทียบมาตรฐาน

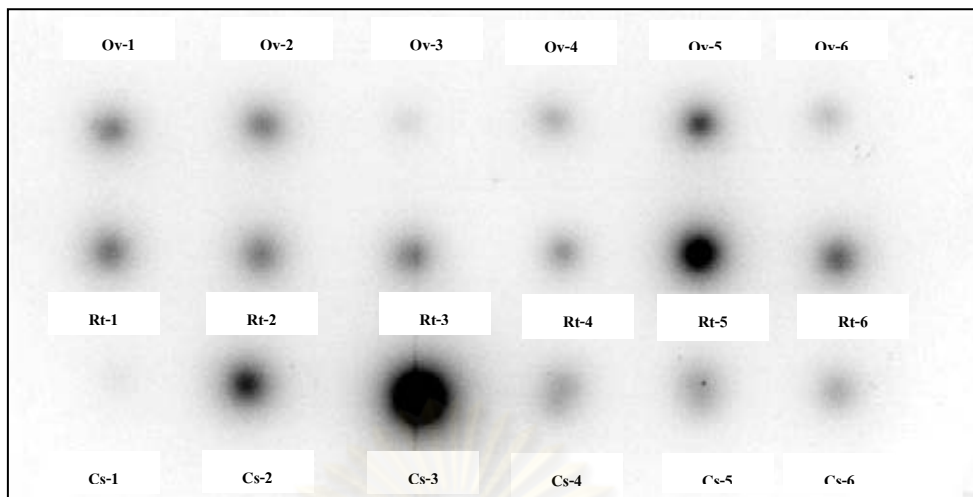
ID	PSL mm ⁻²	Dose (uGy)/16 hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (uGy)/ 16 hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (uGy)/ 16 hr	ID	PSL mm ⁻²	Dose (uGy)/ 16 hr
Cb-1	8.9E+08	DT	Cb-11	7.6E+08	DT	Ov-3	ND	ND	Rb-1	8.41E+08	DT
Cb-2	7.8E+08	DT	Cb-12	9.4E+08	DT	Ov-4	ND	ND	Rb-2	8.01E+08	DT
Cb-3	1.4E+09	4.0E+01	Cb-13	8.8E+08	DT	Ov-5	ND	ND	Rb-3	8.31E+08	DT
Cb-4	3.8E+09	2.8E+02	Cb-14	8.1E+08	DT	Ov-6	ND	ND	Rb-4	7.94E+08	DT
Cb-5	1.9E+09	9.0E+01	Cb-15	4.5E+09	3.50E+02	Rt-1	ND	ND	Rb-5	8.04E+08	DT
Cb-6	6.4E+08	DT	Cb-16	6.2E+09	5.20E+02	Rt-2	ND	ND	Rb-6	7.95E+08	DT
Cb-7	7.1E+08	DT	Cb-17	1.8E+09	8.00E+01	Rt-3	ND	ND	Rb-7	7.94E+08	DT
Cb-8	1.9E+09	9.00E+01	Cb-18	2.3E+09	1.30E+02	Rt-4	ND	ND	Rb-8	7.98E+08	DT
Cb-9	2.8E+09	1.80E+02	Ov-1	ND	ND	Rt-5	ND	ND	Rb-9	8.66E+08	DT
Cb-10	5.8E+08	DT	Ov-2	ND	ND	Rt-6	ND	ND	Rb-10	8.78E+08	DT

*DT = Detection limite

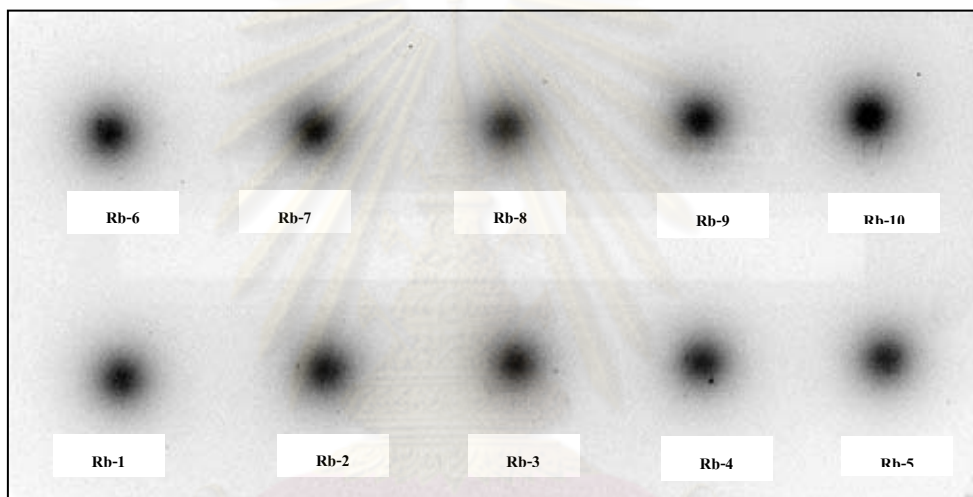
ND = Non Detection



รูปที่ 4.23 ความเข้มแสงของไทเปสลักษณะ Cb1-6 ล่าง, Cb7-12 กลาง, และ Cb13-18 บน



รูปที่ 4.24 ความเข้มแสงของโทแบสลักษณะ Cs1-6 ล่าง, Rt1-6 กลาง, และ Ov1-6 บน



รูปที่ 4.25 ความเข้มแสงของยางสังเคราะห์ Rb1-5 ล่าง, Rb6-10 บน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. เปรียบเทียบผลของปริมาณรังสีจากตัวอย่างโทปแอสที่มีการสลายตัวที่ทำการทิ้งไว้ให้สลายตัว โดยทำการอาบนิวตรอนเมื่อวันที่ 30-11-52 (Cs)

-กรณีวางบนแผ่นบันทึกภาพโดยตรง

ตารางที่ 4.17 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรตัวอย่างโทปแอสที่มีการสลายตัวที่ทำการทิ้งไว้ให้สลายตัว

ID	Activity (NanoCi/g)	PSL/mm ²	Dose(mSv) /16 hr
1	4.27	7953471	ND
2	5.57	8.00E+07	ND
3	76.10	2.30E+08	1.40E-02
4	13.25	3.50E+07	ND
5	7.28	3.50E+07	ND
6	15.80	2.70E+07	ND

*ND = Non Detection

-กรณีวางบนแผ่นอะลูมิเนียม เพื่อกั้นรังสีบีตา (พิจารณารังสีแกมมา)

ตารางที่ 4.18 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ตัวอย่างโทปแอสที่มีการสลายตัวที่ทำการทิ้งไว้ให้สลายตัว

ID	Activity (NanoCi/g)	PSL/mm ²	Dose(mSv) /16 hr
1	4.27	1.23E+09	1.14E-01
2	5.57	3.92E+09	3.83E-01
3	76.10	9.56E+09	9.47E-01
4	13.25	2.60E+09	2.51E-01
5	7.28	2.38E+09	2.29E-01
6	15.80	1.87E+09	1.78E-01

-กรณีหักลบ (พิจารณารังสีปีตา)

ตารางที่ 4.19 ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ตัวอย่างโทแปสที่มีการสลายตัวที่ทำให้การทิ้งไว้ให้สลายตัว

ID	Activity (NanoCi/g)	PSL/mm ²	Dose(uGy) /16 hr
1	4.27	ND	ND
2	5.57	ND	ND
3	76.10	ND	ND
4	13.25	ND	ND
5	7.28	ND	ND
6	15.80	ND	ND

*ND = Non Detection

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ศึกษาความไว (Sensitivity) ของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมา

จากผลการวิจัยแผ่นบันทึกภาพดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า ความสัมพันธ์ความไว (Sensitivity) ของแผ่นบันทึกเปรียบเทียบกับระหว่างโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photostimulate luminescence, PSL)ต่อตารางมิลลิเมตร กับปริมาณรังสีบีตา(Sr-90) และรังสีแกมมาของต้นกำเนิด(Eu-152) ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นด้วยสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination, R^2) ระหว่าง 0.988 และ 0.992 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามทฤษฎี เมื่อปริมาณรังสีที่ได้รับมาก ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรก็จะมีค่ามากตาม นอกจากนี้ยังพบว่ารังสีบีตามีความไวต่อแผ่นบันทึกภาพมากกว่ารังสีแกมมา ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 ที่ปริมาณรังสีที่ได้รับใกล้เคียงกันคือประมาณ 0.3 mSv พบว่ารังสีบีตาให้ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร มากกว่าประมาณ 1.09 เท่า เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีผลึกสารเรืองแสงหนาเพียง 5 mm แต่เนื่องจากรังสีแกมมามีอำนาจทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีบีตา จึงทำให้อำนาจทะลุทะลวงบางส่วนทะลุผ่านชั้นผลึกสารเรืองแสงไป ส่วนรังสีบีตามีอำนาจทะลุทะลวงน้อยกว่าจึงทำให้ทะลุผ่านชั้นผลึกสารเรืองแสงน้อยกว่ารังสีแกมมา จึงทำให้อำนาจทะลุทะลวงน้อยกว่าจึงทำให้ทะลุผ่านชั้นผลึกสารเรืองแสงน้อยกว่ารังสีแกมมา จึงทำให้อำนาจทะลุทะลวงน้อยกว่าจึงทำให้ทะลุผ่านชั้นผลึกสารเรืองแสงน้อยกว่ารังสีแกมมา จึงทำให้อำนาจทะลุทะลวงน้อยกว่าจึงทำให้ทะลุผ่านชั้นผลึกสารเรืองแสงน้อยกว่ารังสีแกมมา จึงทำให้อำนาจทะลุทะลวงน้อยกว่าจึงทำให้ทะลุผ่านชั้นผลึกสารเรืองแสงน้อยกว่ารังสีแกมมา

5.1.2 ศึกษาการจางลงของโฟโตสติมูเลสลูมิเนสเซนซ์ (PSL Fading) ที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมา

จากการศึกษาความสัมพันธ์การจางลงของค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรกับระยะเวลาเก็บแผ่นบันทึกภาพก่อนนำมาสแกนด้วยเครื่องอ่านระหว่าง 0 ถึง 80 นาที เมื่อวางด้วยต้นกำเนิดรังสีบีตา (Sr-90)และต้นกำเนิดรังสีแกมมา (Eu-152) ตามลำดับ พบว่ามีความสัมพันธ์แบบโพโลโนเมียม ลดลงตามเวลาในการเก็บก่อนนำมาอ่านด้วยเครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพดังรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ยังพบว่าการจางลงของ PSL ของรังสีบีตามีช่วงการลดลงของ PSLต่อตารางมิลลิเมตร มากกว่ารังสีแกมมา เมื่อพิจารณาค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของรังสีบีตาและรังสีแกมมาในช่วงเวลาการเก็บที่เวลา 70 นาทีและ 80 นาที พบว่ารังสีบีตามีช่วงการลดลงถึง 4.77 เท่า ส่วนรังสีแกมมามีช่วงการลดลงเพียง 1.86 เท่า จะได้ว่า การลดลงของ PSL ต่อตารางมิลลิเมตร จะลดลงมากเมื่อใช้แผ่นบันทึกภาพกับรังสีบีตาแต่เมื่อใช้กับรังสีแกมมาการลดลงจะน้อยกว่ารังสีบีตาถึง 3 เท่าจึงเหมาะสมกับการนำแผ่นบันทึกภาพมาใช้กับรังสีแกมมากว่ารังสีบีตาเนื่องจากค่า

PSL ต่อตารางมิลลิเมตร มีช่วงการลดลงน้อยกว่าทำให้เมื่อเวลาผ่านไปถึง 80 นาที ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของรังสีแกมมาจะยังคงให้มากกว่ารังสีบีตา

5.1.3 ปริมาณสารเจือปนในโทแปส

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตสั้นของโทแปสจากแหล่งที่มาทั้ง 5 และโทแปส (ผง) ที่ใช้ในการวิจัย ดังตารางที่ 4.5 โดยจากผลการวิจัยสามารถตรวจพบธาตุซีลีเนียม อะลูมิเนียมและโซเดียม ซึ่งเป็นธาตุองค์ประกอบของโทแปส โดยธาตุเหล่านี้เกิดจากปฏิกิริยาของ Si-29 (n,p) Al-29, Al-27(n, γ) Al-28, Na-23(n, γ)Na-24 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวของโทแปสจากแหล่งที่มาทั้ง 5 และโทแปส (ผง) ที่ใช้ในการวิจัย โดยสามารถตรวจพบปริมาณไอโซโทปรังสีของธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวดังตารางที่ 4.6 โดยแต่ละแหล่งที่มาจะพบไอโซโทปรังสีหลักดังนี้ Sc-46, Mn-54, Fe-59, Co-60 และ Ta-182 เป็นต้น ในปริมาณที่แตกต่างกันของแหล่งที่ ยกเว้นโทแปสจากศรีลังกาไม่สามารถตรวจพบปริมาณ Mn-54 และ Fe-59 ได้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวจากทั้ง 5 แหล่ง พบว่าโทแปสจากแหล่งที่มาจากศรีลังกามีความเหมาะสมต่อการนำมาใช้อาบนิวตรอนเพื่อให้เปลี่ยนสี เนื่องจากมีไอโซโทปรังสีครึ่งชีวิตยาวในปริมาณน้อย รองลงมาคือโทแปสจากอินเดีย เนื่องจากมีปริมาณไอโซโทปรังสีครึ่งชีวิตยาวของแต่ละไอโซโทปในปริมาณที่น้อย แต่สำหรับโทแปสที่ไม่เหมาะสมนำมาใช้อาบนิวตรอนคือโทแปสจากพม่าเนื่องจากจะเห็นว่าไอโซโทปรังสีของ Mn-54 ยังมีอยู่ในปริมาณที่มากคือ 2.93 ± 1.20 ซึ่งจะต้องใช้เวลานานในการสลายตัวเนื่องจาก Mn-54 มีครึ่งชีวิตยาวถึง 312.5 วัน เพื่อให้ปริมาณรังสีลดลงจึงต้องใช้เวลานานในการเก็บ ส่วนโทแปส(ผง)ที่ใช้ในการวิจัย ปริมาณไอโซโทปรังสีธาตุที่มีครึ่งชีวิตยาวของ Co-60 มี 2.35 ± 0.05 , Mn-54 มี 70.44 ± 3.33 , Sc-46 มี 0.65 ± 0.01 , Fe-59 มี 157.28 ± 1.30 และ Ta-182 มี 8.09 ± 3.12 ยังมีปริมาณสูง ซึ่งหากนำมาใช้เพื่อการทดลองสามารถนำมาใช้ได้แต่สำหรับมาใช้อาบรังสีนิวตรอนเพื่อให้เปลี่ยนสีและนำไปใช้เป็นเครื่องประดับต่อไป ต้องใช้เวลานานในการให้ปริมาณรังสีสลายตัวอยู่ในระดับที่ปลอดภัยซึ่งอาจจะต้องใช้เวลามากกว่า 2 ปีเพื่อให้ปริมาณรังสีอยู่ในระดับปลอดภัย

จากการวิเคราะห์คุณภาพของโทแปสจากแหล่งที่มาทั้งหมด ดังตารางที่ 4.7 พบว่าโทแปส (ผง) ที่ใช้ในการวิจัย สามารถตรวจพบ Na-24, K-42, Sc-46, Mn-54, Fe-59, Co-60, Ag-108, La-140 และ Ta-182 สำหรับโทแปสจากบราซิลตรวจพบ Na-24, Sc-46, Mn-54, Co-60 และ Ta-182 สำหรับโทแปสจากอินเดีย Na-24, Sc-46, Mn-54, Co-60, La-140 และ Zn-65 สำหรับโทแปสจากพม่าตรวจพบ Na-24, Sc-46, Mn-54, Co-60, La-140 และ Zn-65 สำหรับโทแปสจากเวียดนามตรวจพบ Na-24, Sc-46, Mn-54, Co-60, Fe-59 และ Ta-182 สำหรับโทแปสจากศรีลังกา ตรวจพบ Na-24, Mn-54, Co-60, Zn-65 และ Ta-182

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของฟลักซ์ตามการจัดเรียงของตัวอย่างโทแปส ในท่อ LZ ที่มีปริมาณฟลักซ์ 2.60×10^{11} n/cm².cm.s พบว่าโทแปสที่มีการจัดเรียงด้านล่างสุดใกล้กับต้นกำเนิดรังสีจะได้รับปริมาณฟลักซ์ 100 % เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นการกระจายตัวของฟลักซ์ก็จะลดลงตามลำดับ ดังตารางที่ 4.8

5.1.4 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโฟโตสตีมูลูมิเนสเซนซ์ (Photostimulated luminescence, PSL) ของแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากโทแปสอาบรังสีนิวตรอนสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดรังสี โดยเปรียบเทียบค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ต่อตารางมิลลิเมตร

การวัดปริมาณรังสีโดยใช้หัววัดรังสีแบบกึ่งตัวนำ HPGe เปรียบเทียบปริมาณรังสีกับต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-137 และ Ba-133 ในตัวอย่างโทแปส 3 ลักษณะมีปริมาณรังสีเฉลี่ย ดังนี้ รูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้ามี 0.123 ไมโครคูรี (96.20 นาโนคูรีต่อกรัม), รูปร่างเรียว 0.054 ไมโครคูรี (107.43 นาโนคูรีต่อกรัม) และ รูปร่างลูกบาศก์ 0.742 ไมโครคูรี (214.16 นาโนคูรีต่อกรัม) ส่วนตัวอย่างยางสังเคราะห์ 3.93 ไมโครคูรี (1170.78 นาโนคูรีต่อกรัม)

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบแผ่นบันทึกภาพต่อปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสีรังสีแกมมาโดยใช้ Co-60 และ Cs-137 ที่เปรียบเทียบมาตรฐาน จากห้องเปรียบเทียบมาตรฐานสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยใช้การเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 ที่ปริมาณรังสี 0.086667 mSv และ 0.173333 mSv พบว่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่ได้จากแผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิด (MS-2040 และ SR-2040) แปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับและเวลาในการได้รับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ปริมาณรังสี 0.357 mSv และ 0.715 mSv พบว่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่ได้จากแผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิด (MS-2040 และ SR-2040) แปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับและเวลาในการได้รับเช่นเดียวกับการเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากต้นกำเนิด Co-60 แต่เนื่องจากไอโซโทปรังสีที่พบในโทแปส มีช่วงพลังงานรังสีแกมมาอยู่ในช่วง 0.834 MeV - 1.231 MeV จึงเลือกใช้การเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 เนื่องจากมีพลังงานแกมมาควบคุมในช่วงพลังงานรังสีแกมมาในช่วงของโทแปส นอกจากนี้การเปรียบเทียบปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Sr-90 ที่ปริมาณรังสี 1.018 mGy และ 2.037 mGy พบว่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่ได้จากแผ่นบันทึกภาพทั้ง 2 ชนิดแปรผันตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับและเวลาในการได้รับ เช่นเดียวกับรังสีแกมมา และเมื่อพิจารณา PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่ได้รับจากปริมาณรังสีจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 และ Sr-90 พบว่าแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 มีความไวต่อรังสีแกมมามากกว่า SR-2040 ถึง 17.57, 23.8 เท่า และแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 มีความไวต่อรังสีบีตามากกว่า SR-2040 1.03, 1.14 เท่าตามลำดับ

เมื่อคิดความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำที่อ่านได้จากแผ่นบันทึกภาพ MS-2040 ต่อปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับจากต้นกำเนิด Cs-137 ที่ระยะ 3 เมตร จะได้ว่า 1 PSL เกิดจาก

จำนวนรังสีแกมมาประมาณ 8,469 ตัว ส่วนปริมาณรังสีแกมมาที่ได้รับจากต้นกำเนิด Co-60 ที่ระยะ 1.5 เมตร จะได้ว่า 1 PSL เกิดจากจำนวนรังสีแกมมาประมาณ 9,111 ตัว

เมื่อนำตัวอย่างทั้ง 4 ลักษณะมาวัดปริมาณรังสีที่ได้รับโดยวางบนแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 โดยใช้การเปรียบเทียบปริมาณรังสีที่ได้รับจากต้นกำเนิดรังสี Co-60 พบว่าเมื่อทำการวัดตัวอย่างโดยวางบนแผ่นบันทึกภาพโดยตรงจะได้ปริมาณรังสีรวม (รังสีบีตาและรังสีแกมมา) สามารถวัดปริมาณรังสีเฉลี่ยของโทแอสลักษณะต่างๆได้ดังนี้รูปร่างลูกบาศก์ (Cb) คือ 0.229 mSv ,ลักษณะรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rt) คือ 0.001 mSv และยางสังเคราะห์(Rb) 0.0742 mSv แต่ไม่สามารถวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากโทแอสรูปร่างเรียวยาวได้ เนื่องจากมีค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร มีปริมาณไม่เกินขีดจำกัดในการวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากโทแอส คือ PSL ต่อตารางมิลลิเมตร เริ่มต้นคือ 5×10^7 PSL/mm² จึงทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากตัวอย่างได้ ดังตารางที่ 4.14 และตัวอย่างโทแอสที่มีการสลายตัว (Cs) พบว่า มีปริมาณรังสีที่ได้รับเฉลี่ย 0.014 mSv

และเมื่อพิจารณารังสีแกมมาโดยวางตัวอย่างบนแผ่นอะลูมิเนียมหนา 5 มิลลิเมตร เพื่อกันรังสีบีตา พบว่าสามารถวัดปริมาณรังสีเฉลี่ยของโทแอสลักษณะต่างๆได้ดังนี้ รูปร่างลูกบาศก์ (Cb) คือ 0.0427 mSv ,รูปร่างเรียวยาว (Ov) คือ 0.202 mSv และรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า(Rt) 0.301 mSv แต่ไม่สามารถวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากยางสังเคราะห์ (Rb) ได้ เนื่องจากมีค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร มีปริมาณไม่เกินขีดจำกัดในการวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากโทแอส คือ PSL ต่อตารางมิลลิเมตร เริ่มต้นคือ 5×10^7 PSL/mm² จึงทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากตัวอย่างได้ ดังตารางที่ 4.15 และตัวอย่างโทแอสที่มีการสลายตัว(Cs) พบว่า มีปริมาณรังสีที่ได้รับเฉลี่ย 0.350 mSv

และเมื่อพิจารณารังสีบีตา พบว่าสามารถวัดปริมาณรังสีเฉลี่ยของโทแอสได้เพียงลักษณะเดียวคือลักษณะรูปร่างลูกบาศก์ (Cb) 196.00 uGy ส่วนลักษณะที่เหลือคือ Ov, Rt, Rb และ Cs ไม่สามารถวัดปริมาณรังสีที่ได้รับเนื่องจากมีค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร มีปริมาณไม่เกินขีดจำกัดในการวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากโทแอส คือ PSLต่อตารางมิลลิเมตร เริ่มต้นคือ 3×10^9 PSL/mm² เมื่อพิจารณาที่ไม่สามารถวัดปริมาณรังสีบีตาได้ใน (Ov) เนื่องจากมีขนาดเล็กและมีกัมมันตภาพรังสีในปริมาณที่ต่ำ ทำให้ปริมาณรังสีที่ออกมาเป็นรังสีแกมมาเป็นส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณา (Rt) ก็เช่นกันมีขนาดและกัมมันตภาพรังสีในปริมาณที่ต่ำ เมื่อพิจารณา (Rb) พบไอโซโทปส่วนใหญ่เป็นธาตุที่ให้รังสีแกมมาและบีตา รวมเป็นส่วนใหญ่เมื่อพิจารณาแยกจึงทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณรังสีบีตาได้อย่างเดียว สุดท้ายเมื่อพิจารณา (Cs) พบว่าทิ้งให้สลายตัว 1 ปีพบว่ารังสีบีตาได้หมดไปแล้วจะเหลือแต่ก็รังสีแกมมาอย่างเดียวเนื่องจากผลการวิจัยในตารางที่ 4.14 และ 4.15 สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์เนื่องจากไม่สามารถวัดปริมาณรังสีรวมคือ รังสีบีตา

กับรังสีแกมมาได้ แต่สามารถวัดรังสีแกมมาได้อย่างเดียวเนื่องจากเมื่อทิ้งให้สลายตัวไปนานๆจะเหลือแต่รังสีแกมมาอย่างเดียว

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความไวของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมาในห้องมืดหรือให้โดนแสงน้อยมาก เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีความไวต่อแสงจึงต้องควบคุมการได้รับแสงโดยทำการวางต้นกำเนิดในห้องมืดหรือในตู้ที่ปิดไม่ให้แสงเข้าและการเปลี่ยนตำแหน่งการวางตัวอย่างอาจส่งผลต่อการได้รับแสงจากภายนอก ทำให้ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่อ่านได้จากแผ่นบันทึกภาพมีความคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งการได้รับแสงนี้ผู้ทำวิจัยได้ควบคุมเวลาในการวางตัวอย่างไม่ให้เกิน 30 วินาทีต่อตัวอย่างเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการได้รับแสงจากภายนอก

5.2.2 ศึกษาการลดลงของ PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่สัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บของแผ่นบันทึกภาพต่อรังสีบีตาและรังสีแกมมา จะพบว่าการจางลงของ PSL กับระยะเวลาเก็บแผ่นบันทึกภาพก่อนนำมาสแกนด้วยเครื่องอ่าน การลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกหลังจากการวางตัวอย่างเสร็จสิ้นรอการอ่านคือในช่วง 0-40 นาที แต่หากระยะเวลาในการเก็บเกิน 40 นาที การลดลงของ PSL ต่อตารางมิลลิเมตร จะค่อยๆลดลงอย่างช้าซึ่งการลดลงหลัง 40 นาที ดังนั้นสิ่งที่ควรระมัดระวังในการอ่านคือเวลาอ่านควรทิ้งระยะประมาณ 1 ชั่วโมงก่อนนำมาอ่าน เพื่อให้ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่ได้คงที่

5.2.3 เนื่องจากตัวอย่างของโทปเลสแต่ละแหล่งที่มามีองค์ประกอบหลักต่าง และแร่ธาตุที่ต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์หาสารเจือปนในตัวอย่งก่อนนำมาวิจัยจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ทราบว่าคุณสมบัติ ปริมาณที่เจือปน มีปริมาณมากน้อยเพียงใด ในการทำการวิจัยจะต้องควบคุมเวลาในการอบและการวัดให้แน่นอน เนื่องจากทำการอบรังสีนิวตรอนในเครื่องปฏิกรณ์และห้องทำการวัดอยู่อีกที่หนึ่ง จึงต้องทำในเวลาที่กำหนด เพื่อให้แก่ค่าได้ง่ายและไม่ให้เกิดคลาดเคลื่อนมากเกินไป จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า โทปเลสทั้ง 5 แหล่งที่นำมาวิเคราะห์พบว่าโทปเลสจากแหล่งที่มาจากศรีลังการเหมาะที่นำมาอบนิวตรอนเพื่อให้เปลี่ยนสีและนำไปใช้ เนื่องจากมีปริมาณไอโซโทปรังสีครึ่งชีวิตยาวเจือปนในปริมาณน้อยกว่าแหล่งที่มาทั้งหมด แต่ได้รับปริมาณรังสีนิวตรอนที่สูงไปอาจทำให้ปริมาณธาตุมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งขึ้นกับปริมาณฟลักซ์ที่ใช้ในการอบรังสีว่ามีปริมาณมากไปหรือไม่ สำหรับโทปเลส(ผง)ที่ใช้ในการวิจัยมีปริมาณไอโซโทปรังสีครึ่งชีวิตยาวในปริมาณมาก หากนำมาใช้เป็นเครื่องประดับจะต้องใช้เวลามากกว่า 2 ปีเพื่อให้ปริมาณรังสีลดลงในระดับปลอดภัยคือ 2 นาโนคูรีต่อกรัม ถึงจะนำมาใช้ได้แต่หากใช้เพื่อการศึกษาองค์ประกอบของธาตุในตัวอย่าง ก็สามารถนำมาใช้ได้ไม่มีผลต่อการนำไปใช้เป็น

เครื่องประดับเช่นกัน ซึ่งการวิเคราะห์ในครั้งนี้อาจจะเกิดข้อผิดพลาดได้เนื่องจากสารมาตรฐาน และตัวอย่างโทแปสมีลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากตัวอย่างโทแปสใช้เป็นเม็ดไม่ละเอียดมาก ส่วนสารมาตรฐานใช้เป็นผงละเอียด ทำให้เกิดความผิดพลาดจากการวัดได้เช่นกัน

5.2.4 การวัดปริมาณรังสีโทแปสอับรังสีนิวตรอนโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ พบว่าโทแปสที่มีขนาดใหญ่ และมีกัมมันตภาพรังสีมากจะสามารถทำการวัดทั้งปริมาณรังสีที่ได้รับจากรังสีแกมมาและรังสีบีตาได้ แต่ถ้ามีขนาดเล็ก และกัมมันตภาพรังสีน้อยจะทำให้สามารถวัดปริมาณรังสีได้แต่จะวัดได้เฉพาะรังสีแกมมา ดังนั้นในการแก้ไขจะต้องเพิ่มเวลาในการวางหรือเพิ่มจำนวนของโทแปสให้มีปริมาณใหญ่ขึ้นเพื่อให้มีกัมมันตภาพรังสีมากขึ้น จะทำให้ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ที่ได้เกินขีดจำกัดในการวัด

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานทั้งรังสีแกมมาและรังสีบีตา จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้แผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 รังสีแกมมา จะมีความไวกว่ารังสีบีตาถึง 2.26 เท่า ซึ่งในความเป็นจริงรังสีบีตาควรมีความไวต่อแผ่นบันทึกภาพชนิด MS-2040 มากกว่ารังสีแกมมา แต่อาจเนื่องมาจากการปรับเทียบรังสีบีตาที่ได้จากกระยะทาง อาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้จากการทดลองได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] ทรัพยากรธรณี,กรม.2526.แร่.พิมพ์ครั้งที่ 3 .กองเศรษฐกิจและเผยแพร่.
- [2] พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ ,และ สุปราณี ลิ้มสุวรรณ 2544. พินิจกับอัญมณี. พิมพ์ครั้งที่ 1. องค์การค้าของคุรุสภา : องค์การค้าของคุรุสภา
- [3] นवल ณี รุ่งธนเกียรติ 2545.วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. พิมพ์ครั้งที่ 1.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์:ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [4] สุจิต นิตรากุล. แหล่งแร่และแร่ในอุตสาหกรรม, 151-152. ศูนย์ส่งเสริมตำราและเอกสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ .
- [5] วัลลภ บุญคงชาญชัย,อารีรัตน์ คอนดวงแก้ว,นพวรรณ ศรีรัตนประสิทธิ์ และอัจฉรา แสงอริยวณิช.2548.การเพิ่มคุณค่าของพลอยโดยวิธีการอาบรังสี.สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ :13-35
- [6] สุวิทย์ ปุณณชัยยะ,นฤปวัจก์ เงินวิจิตร,และเดโช ทองอร่าม. 2546. การถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เตดเรตโอกราฟี. วารสารศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (มิถุนายน 2546) : 38-49.
- [7] สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. อิมเมจิงเพลท.บทความสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย.
[Online].Available
from:<http://www.nst.or.th/article/article143/article1439.htm>. [2010,06,19]
- [8] อัมไพ สุขบำเรง. 2548. การตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เตดเรตโอกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต,สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] ศรีนรัตน์ วงษ์ลี.2550.การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้แผ่นบันทึกภาพนิวตรอน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต,สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] Thomas S.C III.,James,E.D.,Robert C.and Murry.Jr.1990.Christensent's physics of Diagnostic Radiology,4thEdition.
- [11] Fuji film Co.Ltd.,N.D Science imaging systems.What is imaging plate?. [Online].Available from:www.home.fujifilm.com. [2010,06,19]
- [12] กลุ่มงานวิเคราะห์สารสนเทศ. ศูนย์สารสนเทศการค้าระหว่างประเทศ .สรุปสภาวะการส่งออกไทยกับสหรัฐอเมริกา.กรมส่งเสริมการค้าส่งออก.ธันวาคม 2552.
- [13] วัชร อัจฉิชัย.2549.การตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีของโทเปสที่ผ่านการฉายรังสีนิวตรอนด้วยหัววัด HPGe แบบกลุ่มเปรียบเทียบกับแบบทีละเม็ด .การฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

โครงการวิจัยฟิสิกส์และวิทยาการก้าวหน้า สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.

- [14] กลุ่มงานด้านวิชาการ.คู่มืออบรมการป้องกันอันตรายทางรังสี,4-23.กลุ่มงานด้านวิชาการ พิมพ์ครั้งที่2 2552, สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
- [15] สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน).The Table of Isotope for reac for NAA
- [16] Health. Gamma-ray Spectrum Catalogue .GeanSiDetector spectra 4thEdition.[Online].Available from:<http://id.inel.gov/gamma/pdf>.[2010,09,15]
- [17] Miyahara,J.The imaging Plate :A new Radiation imaging sensor. Chemistry Today:223 (October 1989):29-36
- [18] Stone ,N. J. Table of Nuclear Magnetic Dipole and Electric Quadrupole Moments, to be published. 2000 Courtesy of T. Burrows at BNL/NNDC.[Online].Available from: <http://atom.kaeri.re.kr/ton/nuc6.html>.[2010,08,25]
- [19] DOSE LIMIT COMPARISON CHART.[Online]:Available from: www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/.../enclosure.pdf.[2011,04,28]



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

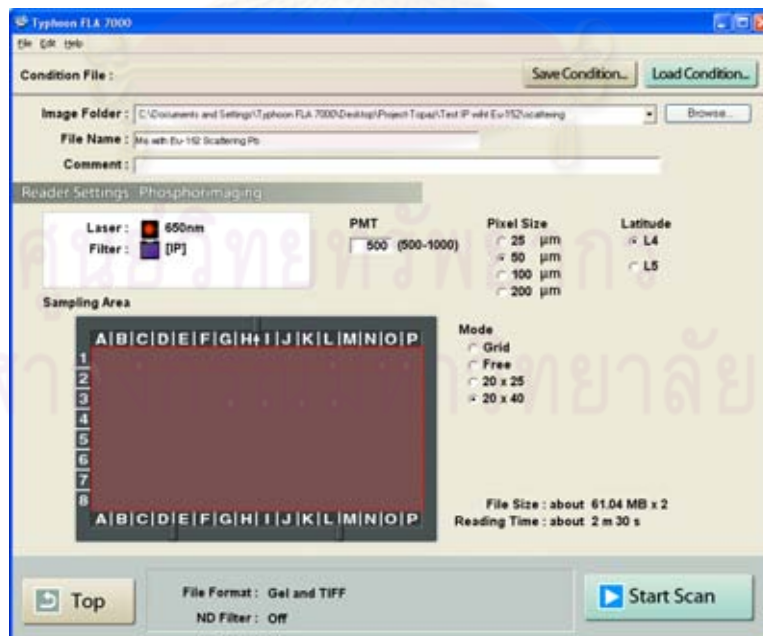
ภาคผนวก ก

โปรแกรมวิเคราะห์ภาพ (Image Quant TL7.0)

ใช้สำหรับการควบคุมและกำหนดเงื่อนไขการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพ



รูปที่ ก - 1 ลักษณะโปรแกรมของ (Image Quant TL7.0)



รูปที่ ก - 2 ลักษณะเงื่อนไขการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพ

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีต่อโฟโตสตีมูเลสคูมินเนสเซนส์ ที่ได้จากแผ่นบันทึกภาพ
ฉายรังสีแกมมา

-การฉายแผ่นบันทึกภาพด้วยรังสีแกมมาจาก Cs-137

จากข้อมูลต่อไปนี้

ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 มีพลังงานของรังสีแกมมาและสัดส่วนความเข้มของรังสีแกมมา
ที่แต่ละพลังงานดังนี้

พลังงานรังสีแกมมา (keV)	%ความเข้มของรังสีแกมมา
661.66	85.21

ต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 ความแรงแรงรังสี ณ วันที่ทำการทดลอง 427.76 GBq

$$\begin{aligned} \text{ความแรงแรงรังสีแกมมา} &= 427.76 \times 10^9 / 3.7 \times 10^{10} = 11.56 \text{ Ci} \\ &= 11.56 \times 3.7 \times 10^{10} \text{ dps} \\ &= 4.28 \times 10^{11} \text{ dps} \# \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มของรังสีแกมมาพลังงาน 661.66 keV} &= 4.28 \times 10^{11} \times (85.21/100) \text{ gammas/s} \\ A &= 3.65 \times 10^{11} \text{ gammas/s} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้นความเข้มรังสีแกมมา} = 3.65 \times 10^{11} \text{ gammas/s} \#$$

ความเข้มรังสีแกมมาที่ระยะฉายภาพ = ความเข้มรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีต่อพื้นที่ทรงกลมที่
ตำแหน่งฉายภาพ (ระยะห่างจากภาพ = 3 เมตร = 300 เซนติเมตร)

$$\text{ความเข้มรังสีแกมมาที่ระยะฉายภาพหรือฟลักซ์ (I)} = A/4\pi R^2$$

$$= 3.65 \times 10^{11} \text{ gammas/s} / 4 \times \pi \times 300^2 \text{ gammas/cm}^2 \text{ s}$$

$$= 3.23 \times 10^5 \text{ gammas/cm}^2 \text{ s\#}$$

เมื่อทำการฉายรังสีภาพ (t) 5 นาที (300 วินาที)

$$\text{ดังนั้น Fluence} = I \times t$$

$$= 3.23 \times 10^5 \times 300 \text{ gammas/cm}^2$$

$$= 9.69 \times 10^7 \text{ gammas/cm}^2$$

หรือ $= 9.69 \times 10^5 \text{ gammas/mm}^2 \text{ \#}$

และค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตรที่อ่านได้จากแผ่นบันทึกภาพ (ชนิด MS-2040) $= 1.53 \times 10^9$
PSL/mm²

จะได้ว่า 1 PSL จะเกิดจำนวนฟลักซ์จากรังสีซีเซียม-137

$$= 1.53 \times 10^9 / 9.69 \times 10^5$$

$$= 1,578 \text{ gammas \#}$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อคิดที่เวลาฉายรังสีภาพที่เวลา 10 นาที (600 วินาที)

จะได้ว่า 1 PSL เกิดจำนวนฟลักซ์จากรังสีซีเซียม-137 $= 2.98 \times 10^{10} / 1.94 \times 10^6 = 15,360 \text{ gammas \#}$

เมื่อคิดค่าเฉลี่ยที่เวลาต่าง ดังนั้น 1 PSL เกิดจำนวนฟลักซ์จากรังสีซีเซียม-137

$$= 8,469 \text{ gammas \#}$$

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

หาค่ามัมตภาพรังสีของตัวอย่างโทแปสที่อาบรังสีนิวตรอนเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสี Co-60, Cs-13, Ba-133 โดยใช้หัววัด HPGe

Calibration Source

Distance 1 "

Today: 1-ธ.ค.-10

	T1/2	A0 (mCi)	Date	Decay(d)	Decay(y)	A (mCi)	A(Bq)
Ba-133	10.52	1.02	30-ธ.ค.-01	2-เม.ย.-09	9.2603	0.55421	20506
Cs-137	30.17	0.849	30-ธ.ค.-01	2-เม.ย.-09	9.2603	0.68633	25394
Co-60	5.27	0.992	30-ธ.ค.-01	2-เม.ย.-09	9.2603	0.29354	10861

Efficiency Curve ของหัววัดHPGe

Source	Energy (keV)	%Abundance	Emission	Peak Area	Count rate	Efficiency
Ba-133	81	36.68	7522	64047.15	320	0.042576037
	276.4	7.16	1468	7032.28	35	0.023948476
	302.85	18.33	3759	16535.68	83	0.021996539
	356.02	62.05	12724	49956.55	250	0.019631135
	383.85	8.94	1833	6970.78	35	0.019012473
Cs-137	661.7	85.21	21638	58358.35	292	0.013484986
Co-60	1173.2	99.9	10850	14296.89	71	0.006588409
	1332.5	99.98	10859	12997.2	65	0.005984683

การ ของ คำนวณหาActivityโทแปส

ID	Source	Energy (keV)	%Abundance	คำนวณ Efficiency	Count/1800s	Cps	Activity (Bq)	MicroCi	NanoCi	Wt (g)	Nano Ci/g
1	Sc-46	889.271	99.9844	0.0104166	156482.4	86.93	8347.06	0.22559	225.596	3.6	177.0
	Mn-54	834	99.9758	0.0111618	3182.21	1.77	158.43	0.00428	4.28176		
	Fe-59	1099	56.5	0.0068696	11259.85	6.26	1611.68	0.04355	43.5589		
	Co-60	1173	99.9	0.0065891	0	0	0	-	-		
		1332	99.98	0.0059865	0	0	0	0	0		
	Ta-182	1189.04	16.42	0.0065283	16049.23	8.92	8317.70	-	-		
		1221.39	27.2	0.0064057	41545.82	23.08	13246.94	0.35802	358.025		
		1231.00	11.57	0.0063693	17990.36	9.99	13562.50	-	-		
							45244.30	0.63146	631.462		

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณ

การประยุกต์ใช้โปรแกรม Visual Basic 6 ในการคำนวณหาปริมาณกัมมันตภาพรังสีของ
ตัวอย่างไทเปสที่อาบรังสีนิวตรอน

Form1

Source Calibration Efficiency Activity

DD:MM:YY Start
30 August 2001

Source: Co-60 ครึ่งชีวิต: 5.27 ปี ความจริงรังสีเริ่มต้น: 0.992 uCi

DD:MM:YY Stop
1 December 2010

การสลายตัว: 9.25 ปี ความจริงรังสีสุดท้าย: 2939345 uCi

10875.58 Bq

Duration Time
3378 day(s)

Calculation

1

Source Calibration Efficiency Activity

Source: Ba-133 Energy(MeV): 383.85 % Abundance: 8.94 Cal Emiss: 1834.453

Peak Area: 6970.78 Time(min): 200 Count Rate: 34.8539 Efficiency: 1.899961E-02

Efficiency of 1173.24 keV: 6.579511E-03 Efficiency of 302.85 keV: 2.198166E-02

Efficiency of 1332.50 keV: 6.976601E-03 Efficiency of 356.02 keV: 1.961786E-02

Efficiency of 81.06 keV: 4.254724E-02 Efficiency of 383.85 keV: 1.899961E-02

Efficiency of 276.4 keV: 2.393226E-02 Efficiency of 661.50 keV: 1.344161E-02

Cal Efficiency Exits

1

Source Calibration Efficiency Activity


Source Ta-182	Energy (MeV) 1221.395	% Abundance 27.2	Interpolate Efficiency 6.39721E-03	Time To Count (min) 1800
Count Rate (cpm) 41545.82	Count Rate (cps) 23.08101	Wieght of Topaz (g) 3.566	Activity (Bq) 13264.63	MicroCi .3585036

↓

NanoCi of Sc-46 226.2285	NanoCi of Mn-54 4.298862	NanoCi of Fe-59 39.51911	NanoCi of Co-60 0	NanoCi of Ta-182 358.5036
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	----------------------	------------------------------

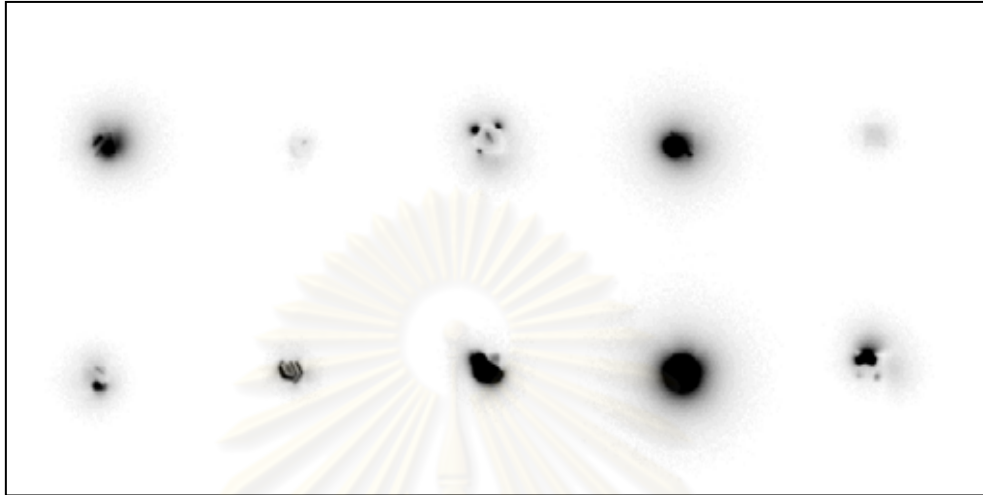
↓

Count Activity	Total Activity NanoCi/g 176.2619	Exits
----------------	-------------------------------------	-------

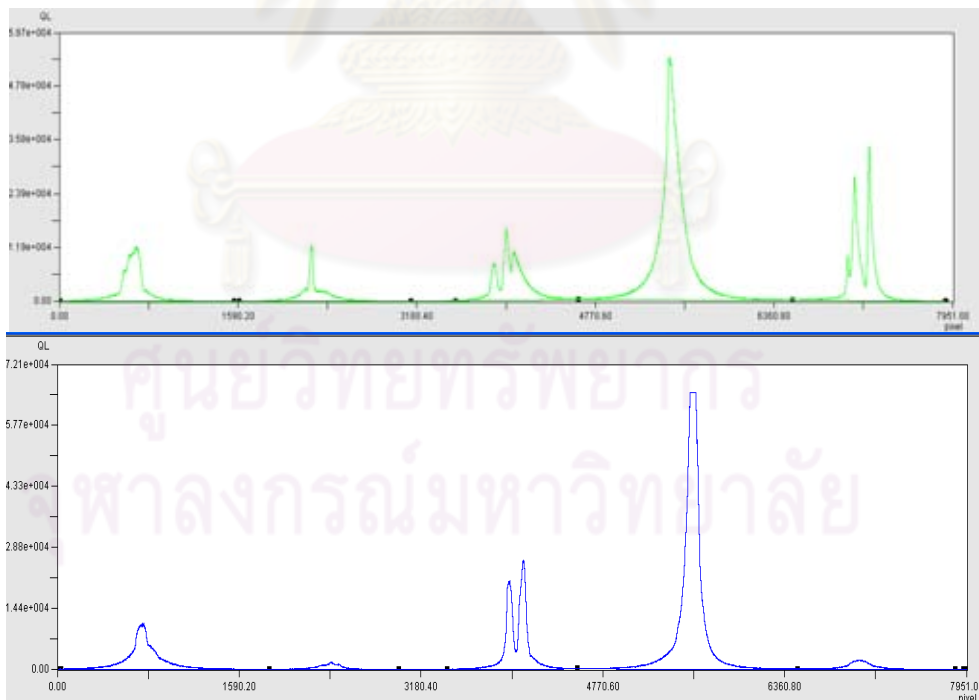


ภาคผนวก จ

โปรแกรมสำหรับใช้วิเคราะห์ค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ต่อตารางมิลลิเมตร (PSL) และ
ลักษณะของภาพที่แสดงบนจอวิเคราะห์ผล



รูปที่ ข -1 ลักษณะของภาพที่แสดงบนจอวิเคราะห์ผล ของค่า PSL ต่อตารางมิลลิเมตร ของโทแปส
(Cb) หมายเลข 1-10 (เรียงลำดับจาก 1 (มุมซ้ายล่าง)-5 (มุมขวาล่าง) และ 6 (มุมซ้าย
บน)-10 (มุมขวาบน))



รูปที่ ข - 2 ลักษณะโปรไฟล์แสดงความเข้มของแสงโทแปส (Cb) หมายเลข 1-5 (โปรไฟล์สีเขียว)
หมายเลข 6-10 (โปรไฟล์สีฟ้า)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิไลรัตน์ สุจริต เกิดเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม พ.ศ.2528 ณ อำเภอเมืองน่าน จังหวัดน่าน สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก พ.ศ. 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นิเวศวิทยาเทคโนโลยี) ภาควิชาชีวเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย