

การพัฒนาต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระตุ้นด้วยอะเมริเซียม-241
สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์



นางสาวพันทิพย์ แสงเชื้อพ่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A SECONDARY X-RAY SOURCE EXCITED BY AMERICIUM-241
FOR X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY



Miss Phuntip Saengchuepho

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

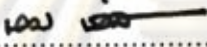
Chulalongkorn University

Academic Year 2009

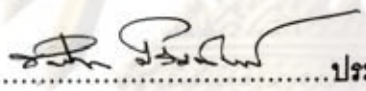
Copyright of Chulalongkorn University

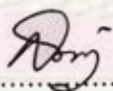
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระตุ้นด้วย อะเมริเซียม - 241 สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์
โดย	นางสาวพันทิพย์ แสงเชื้อพอ
สาขาวิชา	นิเวศลิยร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์

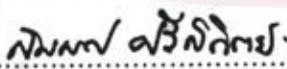
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปวงสม เลิศธีรวงศ์)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริรูปถัมภ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ศิริชัย หวังเจริญตระกูล)

พันทิพย์ แสงเชื้อพ้อ : การพัฒนาต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระตุ้นด้วย
 อะเมริเซียม-241 สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์. (DEVELOPMENT
 OF A SECONDARY X-RAY SOURCE EXCITED BY AMERICIUM-241 FOR
 X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
 ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ.สมยศ ศรีสถิตย์, 82 หน้า.

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้น ใช้รังสีแกมมาพลังงาน 59.54 กิโล
 อิเล็กตรอนโวลต์ จากต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิอะเมริเซียม-241 แบบจุด ความแรงแรงรังสี 3.63
 จิกะเบคเคอเวต กระตุ้นเป้าโลหะ โดยสามารถเลือกเป้าโลหะได้ 3 ชนิด สำหรับกระตุ้น
 ตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ธาตุใน 3 ช่วงพลังงาน จากการทดลองพบว่า ระบบให้ความเข้มรังสี
 เอกซ์ทุติยภูมิสูงสุด เมื่อวางต้นกำเนิดรังสีอะเมริเซียม-241 ใกล้เป้าโลหะแผ่นเว้าทรงกรวย ที่
 ลำรังสีปฐมภูมิทำมุมกระตุ้น 55 องศา ผลการเปิดช่องลำรังสีทุติยภูมิขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
 กลาง 3 เซนติเมตร ที่ระยะห่างจากเป้า 5 เซนติเมตร ทำให้ลำรังสีกระจายบนพื้นที่ครอบคลุม
 บริเวณกระตุ้นตัวอย่าง 7.1 ตารางเซนติเมตร และมีความสม่ำเสมอลำรังสีที่ ± 6.31
 เปอร์เซ็นต์

จากการใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้น วิเคราะห์ตัวอย่างทดสอบ ได้แก่
 สตรอนเชียม, สังกะสี และแมงกานีส โดยกระตุ้นด้วยเป้าโลหะดีบุก, เป้าดีบุกผสมตะกั่ว, และ
 เป้าดีบุกผสมตะกั่วกับทองแดง ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนพีกต่อแบกกราวด์ คือ 6.39, 2.60,
 และ 1.17 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิจากอะเมริเซียม-
 241 โดยตรง พบว่าอัตราส่วนพีกต่อแบกกราวด์ คือ 3.38, 2.14, และ 0.50 ตามลำดับ ผลสรุป
 การใช้ระบบต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้นวิเคราะห์ตัวอย่างทดสอบให้สเปกตรัมรังสี
 เอกซ์เรืองดีกว่า

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่อนิสิต..... Phuntip.....
 สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา ...2552..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5070374621 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : X-RAY SOURCE / X-RAY FLUORESCENCE / AMERICIUM-241 / SECONDARY X-RAY SOURCE

PHUNTIP SAENGCHUEPHO: DEVELOPMENT OF A SECONDARY X-RAY SOURCE EXCITED BY AMERICIUM-241 FOR X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETRY. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, THESIS CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMYOT SRISATIT, 82 pp.

A secondary x-ray exciting source was developed using 59.6 keV gamma-ray as the exciting energy from an ²⁴¹Am point source having the activity of 3.63 GBq. Three secondary targets could be selected for elemental analysis in three energy ranges. It was found that, from the experiment, the maximum intensity of secondary x-rays could be obtained when the ²⁴¹Am source was placed close to the concave conical shaped secondary target at the incident primary beam angle of 55 degrees. The opening of 3 cm diameter set at 5 cm from the target allowed the secondary x-ray beam to reach the specimen with a coverage area of 7.1 cm² and beam uniformity of ± 6.31 %.

The developed secondary source system was then used for analysis of elements in test specimens i.e. Sr, Zn and Mn using Sn metal, Pb/Sn alloy and Pb/Sn/Cu alloy secondary targets respectively. The peak-to-background ratios were found to be 6.39, 2.60 and 1.17 using secondary x-ray source in comparison to 3.38, 2.14 and 0.50 using direct excitation from 59.6 keV ²⁴¹Am gamma-ray respectively. In conclusion, by using the developed secondary x-ray source system, better x-ray spectrum could be obtained.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Nuclear Technology	Student's Signature <i>Phuntip Saengchuepho</i>
Field of Study : Nuclear Technology	Advisor's Signature <i>Savit Punnachaiya</i>
Academic Year : 2009	Co-Advisor's Signature <i>Somyot Srisatit</i>

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษา และ รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาและ คำแนะนำที่ดี รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีที่อบรมและให้ความรู้ ทำให้ วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์จเด็จ เย็นใจ ที่คอยให้ความรู้ แนะนำเทคนิคและคำปรึกษาที่ดี มาก ในการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ รวมถึงอนุเคราะห์เอกสารความรู้ต่างๆ

ขอขอบคุณ บริษัทโกลด์มูน จำกัด และคุณ สิริวรรณ สกุลตันเจริญชัย ที่ช่วยเหลือด้านการ หลอมวัสดุโลหะ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ครูไพโรจน์ อนันตเศรษฐกุล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความกรุณาในการหล่อโลหะ

ขอขอบคุณ คุณศิริพัฒน์ สว่างโกศล สำหรับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ในการจัดเตรียม อุปกรณ์และคำแนะนำในการออกแบบระบบการทดลอง รวมถึงพี่ น้องและเพื่อนๆในภาควิชา วิศวกรรมเทคโนโลยีทุกคน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือที่ดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนให้ทุนอุดหนุน งานวิจัย ในการทำวิจัย มา ณ ที่นี้

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องๆ ที่ช่วยเหลือสนับสนุนด้านการ เรียน คอยเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2. ทฤษฎี.....	5
2.1 การเกิดรังสีเอกซ์.....	5
2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลาง.....	5
2.2.1 การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก.....	6
2.2.2 การกระเจิงรังสี.....	7
2.2.3 การดูดกลืนเชิงมวล.....	9
2.2.4 แอ็บซอร์พชันแอดจรัรังสีเอกซ์.....	10
2.3 การปล่อยรังสีเอกซ์.....	11
2.3.1 ผลได้ฟลูออเรสเซนซ์.....	14
2.4 กระบวนการกระตุ้นให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์.....	15
2.5 ต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ.....	16
2.5.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์.....	16
2.5.2 ไอโซโทปรังสี.....	17
2.6 หัววัดรังสีเอกซ์.....	21

บทที่

หน้า

2.6.1 หัววัดรังสีชนิดบรจูก้าชแบบพรอพอร์ชันแนล.....	21
2.6.2 หัววัดรังสีชนิดเรืองแสงแบบโซเดียมไอโอไดด์.....	22
2.6.3 หัววัดชนิดกึ่งตัวนำ.....	23
2.7 การกระตุ้นตัวอย่างแบบทุติยภูมิโดยใช้ไอโซโทปรังสีร่วมกับเป้า..... โลหะ.....	24
2.8 ข้อดีของการใช้ไอโซโทปรังสีร่วมกับเป้าโลหะ.....	25
2.9 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์.....	25
2.9.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ.....	25
2.9.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ.....	26
2.9.2.1 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างธาตุ	26
2.9.2.2 ผลทางกายภาพของสารตัวอย่าง.....	28
2.9.2.3 การอ่านปริมาณความเข้มรังสีจากพื้นที่ใต้พีค..... ของสเปกตรัม.....	29
2.10 การประเมินคุณภาพรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นด้วย..... แผ่นบันทึกภาพ.....	30
2.10.1 ข้อแตกต่างระหว่างแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์ม.....	32
3. วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	33
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	33
3.2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของมุมกระตุ้นและมุมตรวจวัดรังสี..... เอกซ์.....	34
3.2.2 ศึกษาระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิกับเป้า..... โลหะ.....	35
3.2.3 ศึกษาการกระตุ้นเสริมของธาตุที่นำมาใช้เป็นเป้าโลหะ ชนิดต่างๆ.....	36
3.2.4 ศึกษาความเหมาะสมของธาตุที่นำมาใช้เป็นเป้าโลหะ..... ชนิดต่างๆ.....	38
3.2.5 การประกอบต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ.....	39

บทที่

หน้า

3.2.6 การทดสอบคุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากต้นกำเนิด.. รังสีที่พัฒนาขึ้น.....	41
3.2.7 การทดสอบประสิทธิภาพของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ ที่พัฒนาขึ้น.....	43
4. ผลการวิจัย.....	44
4.1 ผลการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของมุมกระตุ้นและมุมตรวจวัดรังสี. เอกซ์.....	44
4.2 ผลการศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิกับ เป้าโลหะ.....	47
4.3 ผลการศึกษารูปทรงและรูปร่างที่เหมาะสมของเป้าโลหะ.....	48
4.3.1 ผลการศึกษารูปทรงของแผ่นจานเป้า	48
4.3.2 ผลการศึกษารูปทรงที่เหมาะสมของเป้าโลหะ.....	51
4.4 ผลการศึกษารูปทรงกระตุ้นเสริมของธาตุที่นำมาใช้เป็นเป้าโลหะชนิด ต่างๆ.....	51
4.5 ผลการทดสอบคุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากต้นกำเนิดรังสีที่ พัฒนาขึ้น.....	55
4.6 การทดสอบประสิทธิภาพของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้น	61
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก.....	71
ภาคผนวก ข.....	78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	82

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ต้นกำเนิดโฟตอนชนิดไอโซโทปรังสีบางชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป.....	19
2.2	ชนิดของธาตุและรังสีเอกซ์เฉพาะที่นิยมใช้ทำเป้าโลหะ.....	24
2.3	แสดงค่า K_{edge} , K_{α} และ L_{α} ของธาตุทองแดง ตะกั่ว และดีบุก.....	27
4.1	แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกาวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก ($Sn-K_{\alpha}$) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 ที่มีมุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสี เอกซ์ θ_2	44
4.2	แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกาวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก ($Sn-K_{\alpha}$) ที่ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับเป้าดีบุกต่างกัน.....	47
4.3	แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกาวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก ($Sn-K_{\alpha}$) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน.....	49
4.4	แสดงจำนวนนับรังสีรวมจากเป้าดีบุก ($Sn-K_{\alpha}$) ที่มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน...	52
4.5	แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิจากเป้าโลหะเดี่ยวและโลหะผสมชนิดต่างๆ ที่กระตุ้น โดยตรงด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241.....	54
4.6	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิและอัตราส่วนฟีกต่อแบกกาวด์ของการ..... วิเคราะห์ตัวอย่างสังกะสี ($Zn-K_{\alpha}$) ที่ความเข้มข้น 20 %wt.....	55
4.7	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิและอัตราส่วนฟีกต่อแบกกาวด์ของการ..... วิเคราะห์ตัวอย่างแมงกานีส ($Mn-K_{\alpha}+K_{\beta}$) ที่ความเข้มข้น 20 %wt.....	55
4.8	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของความเข้มข้นรังสีบนพื้นที่ ครอบคลุมการใช้งานของเป้าดีบุกที่ระยะ 5 cm.....	58
4.9	เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีและอัตราส่วนฟีกต่อแบกกาวด์ของตัวอย่าง..... วิเคราะห์ที่ความเข้มข้น 5 %wt จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ..... Am-241 กับการกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ.....	61
5.1	แสดงอัตราส่วนฟีกต่อแบกกาวด์จากผลวิเคราะห์ตัวอย่างธาตุบางชนิด..... เปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นโดยตรงด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับต้น..... กำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้น.....	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก.....	7
2.2	การเกิดผลการกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....	8
2.3	การกระเจิงแบบเรย์เลห์.....	9
2.4	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของธาตุตะกั่ว.....	10
2.5	แอมพลิจูดของอิเล็กตรอนในชั้นโคจร K, L, M และของคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน.....	11
2.6	สัญลักษณ์ของรังสีเอกซ์เฉพาะจากการเปลี่ยนชั้นโคจรของอิเล็กตรอน.....	12
2.7	ลักษณะทางเรขาคณิตของการกระตุ้นแบบทุติยภูมิ.....	12
2.8	การเกิดโอเจิล็กตรอนและกราฟแสดงผลได้ฟลูออเรสเซนซ์.....	14
2.9	แสดงการกระตุ้นแบบทุติยภูมิ.....	15
2.10	โครงสร้างของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์.....	17
2.11	รังสีเอกซ์แบบสเปกตรัมต่อเนื่องและแบบเฉพาะตัวจากเป้าโรเดียม.....	17
2.12	ลักษณะต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทปชนิด Point Source.....	18
2.13	ลักษณะต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทปชนิดวงแหวน.....	18
2.14	แสดงการกระตุ้นตัวอย่างโดยต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทปรังสี.....	20
2.15	หัววัดรังสีเอกซ์แบบกึ่งตัวนำชนิด CdTe (Cadmium Telluride).....	23
2.16	เปรียบเทียบความสามารถในการแยกพลังงานของหัววัดชนิดต่างๆ.....	23
2.17	แสดงการเกิด Enhancement effect and third element.....	28
2.18	การพิจารณาหาพื้นที่ใต้พีคของสเปกตรัม.....	29
2.19	แสดงการรองรับการใช้งานแผ่นบันทึกภาพ.....	31
3.1	ระบบวัดในการทดลองหามุมที่เหมาะสม.....	35
3.2	เป้าดีบุกแผ่นเรียบที่ขนาดต่างกัน.....	36
3.3	เป้าดีบุกที่มีรูปร่างแตกต่างกัน.....	37
3.4	โครงสร้างภายในของระบบที่ออกแบบขึ้น.....	40
3.5	ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้นเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	41
3.6	การใช้แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate) ทดสอบคุณภาพของลำรังสีเอกซ์.....	43

4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิจากเป้าดีบุกกับมุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 ต่างๆกัน ที่ระยะตรวจวัด 5 cm.....	46
4.2	แสดงสเปกตรัมความเข้มรังสีจากเป้าดีบุกที่มุมกระตุ้น θ_1 เท่ากับ 55° และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 เท่ากับ 75° และ 95° ที่ระยะตรวจวัด 5 cm.....	47
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี Am-241 ถึงแผ่นเป้าดีบุก ที่ระยะตรวจวัด 5 cm	48
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิจากเป้าดีบุก ($\text{Sn-K}\alpha$) ที่มีขนาดต่างๆ กับมุมตรวจวัดรังสี θ_2 ที่มุมกระตุ้น θ_1 เท่ากับ 55° ระยะตรวจวัด 5 cm	50
4.5	แสดงจำนวนนับรังสีรวมจากเป้าดีบุก ($\text{Sn-K}\alpha$) ที่มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันกับมุมตรวจวัดรังสี θ_2 ต่างๆ ที่มุมกระตุ้น θ_1 เท่ากับ 55° ที่ระยะตรวจวัด 5 cm	53
4.6	ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ทุติยภูมิผ่านช่องบังคับขนาดเล็กที่ความเข้มรังสีต่างกัน.....	56
4.7	เส้นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSL กับจำนวนนับรังสีรวมที่ความเข้มรังสีต่างๆ แสดงภาพถ่ายพื้นที่ลำรังสีจากแผ่นเป้าดีบุกที่ระยะ 5 cm.....	56
4.8	แสดงภาพถ่ายพื้นที่ลำรังสีจากแผ่นเป้าดีบุกที่ระยะ 5 cm.....	57
4.9	แสดงการกระจายลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุกที่ระยะ 5 cm (ก) แนวสแกน และ (ข) โปรไฟล์ลำรังสี.....	57
4.10	แสดงการกระจายตัวของความเข้มรังสีบนพื้นที่ครอบคลุมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ที่ระยะ 5 cm.....	58
4.11	สเปกตรัมความเข้มรังสีของต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ Am-241.....	59
4.12	สเปกตรัมความเข้มรังสีของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ (ก) Sn, (ข) Pb:Sn (70:30), และ (ค) Cu:Pb:Sn (50:35:15).....	60
4.13	เปรียบเทียบอัตราส่วนฟีกต่อแบคกราวด์ของตัวอย่าง (ก) Sr, (ข) Zn, และ (ค) Mn ที่กระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241กับการกระตุ้นด้วยเป้าโลหะ Sn,..... Pb:Sn (70:30), และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) ตามลำดับ.....	62
4.14	เปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่าง (ก) Sr, (ข) Zn, และ (ค) Mn ที่ความเข้มข้น 5%wt จากการกระตุ้นแบบปฐมภูมิกับการกระตุ้นแบบทุติยภูมิ	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ (x-ray fluorescence) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) มีความไวในการวิเคราะห์ธาตุบางชนิดสูง มีความสะดวก ให้ผลวิเคราะห์รวดเร็วและแม่นยำ ดังนั้นเทคนิคนี้จึงได้รับการยอมรับเป็นวิธีมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในวัสดุตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ (qualitative analysis) และเชิงปริมาณ (quantitative analysis) เช่น งานพิสูจน์หลักฐาน งานวิเคราะห์ความเสียหายในวัสดุ งานควบคุมคุณภาพด้านอุตสาหกรรม และสิ่งแวดล้อม งานวิเคราะห์สารปนเปื้อนและงานวิจัยด้านต่างๆ เป็นต้น

การวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ อาศัยหลักการกระตุ้นอะตอมสารตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสี ซึ่งอาจได้มาจากการสลายตัวตามธรรมชาติของไอโซโทปรังสี (radioisotope) หรือผลิตจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (x-ray tube) การกระตุ้นทำให้เกิดการปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุออกมา และวิเคราะห์รังสีเอกซ์เฉพาะธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีเอกซ์ (x-ray spectrometer) อนึ่งการใช้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์เป็นต้นกำเนิดรังสีมีความนิยมมากกว่าการใช้ไอโซโทปรังสี เนื่องจากรังสีที่ออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ สามารถปรับความเข้มและพลังงานของรังสีด้วยการปรับค่ากระแสและศักดาไฟฟ้าสูงได้ตามความเหมาะสม ทำให้มีความสะดวกในการใช้งานและให้ประสิทธิภาพการกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะธาตุต่างๆ ได้ดีกว่าไอโซโทปรังสีซึ่งมีข้อจำกัดที่อายุการใช้งาน รวมทั้งไม่สามารถปรับความเข้มและพลังงานของรังสีได้เหมือนหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

อย่างไรก็ตามสำหรับงานสำรวจภาคสนาม เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีเอกซ์ที่ใช้งานควรมีขนาดกะทัดรัด สะดวกในการติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย การใช้ต้นกำเนิดรังสีชนิดหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ จึงไม่สะดวก เนื่องจากต้องมีแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและระบบควบคุมทำให้การติดตั้งและเคลื่อนย้ายมีความยุ่งยาก การใช้ต้นกำเนิดแบบไอโซโทปรังสีจึงสะดวกกว่า อีกทั้งมีรังสีพื้นหลังหรือแบคกราวด์รบกวนต่ำ

งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบการกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสีที่เลือกพลังงานได้จากการกระตุ้นเป้าโลหะด้วยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิให้ปลดปล่อยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ (secondary x-ray) โดยการใช้ต้นกำเนิดแบบไอโซโทปรังสีอะเมริเซียม-241 เพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิสำหรับกระตุ้นธาตุในตัวอย่างอีกต่อหนึ่ง ทำให้สามารถเลือกช่วงพลังงานด้วยการปรับเปลี่ยนเป้าโลหะที่เหมาะสมกับกลุ่มธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้ ช่วยให้มีรังสีพื้นหลังรบกวนต่ำและมีความไวในการวิเคราะห์สูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระตุ้นด้วยอะเมริเซียม-241 สำหรับการวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาทดลองเลือกเป้าโลหะที่เหมาะสม จากการกระตุ้นด้วยรังสีแกมมาพลังงาน 59.54 keV จากต้นกำเนิดรังสี Am-241 แบบจุด (point source)

1.3.2 ออกแบบเป้าโลหะให้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิเหมาะสมกับการใช้งาน

1.3.3 ประกอบให้เป็นระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนเป้าโลหะได้อย่างน้อย 3 ชนิด

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาทดลองเลือกเป้าโลหะในการผลิตรังสีเอกซ์ที่เหมาะสมกับกลุ่มธาตุต่างๆ ที่ต้องการวิเคราะห์

1.4.3 ศึกษาและทดสอบการกระตุ้นเป้ากำเนิดรังสีเอกซ์ ด้วยรังสีแกมมาพลังงาน 59.54 keV จากต้นกำเนิดรังสี Am-241 แบบจุด (point source)

1.4.4 ออกแบบเป้าโลหะให้มีขนาดและรูปร่างที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งาน

1.4.5 ทดลองหาระยะและมุมที่เหมาะสม ระหว่างต้นกำเนิดรังสี เป้าโลหะและหัววัดรังสี โดยวัดค่าความเข้มรังสีเปรียบเทียบกับสัญญาณพื้นหลังที่เกิดขึ้น

1.4.6 ทดสอบประสิทธิภาพต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิและโปรไฟล์ของสเปกตรัมรังสี

1.4.7 ออกแบบและสร้างขึ้นส่วนอุปกรณ์ควบคุมการเปลี่ยนเป้ากำเนิดรังสี อุปกรณ์ บังคับลำรังสีและกำบังรังสี

1.4.8 ประกอบอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เป็นระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนเป้าโลหะได้ แล้ว นำมาทดสอบประสิทธิภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิอีกครั้ง เพื่อพัฒนาและปรับปรุงระบบให้ดีขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ได้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิสำหรับงานธาตุด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ (x-ray fluorescence) ที่สามารถปรับเปลี่ยนพลังงานสำหรับกระตุ้นตัวอย่างให้เหมาะสมกับธาตุ ที่ต้องการวิเคราะห์

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. I. Han, L. Demir, Y. Şahin^[1] ทำวิจัยเรื่อง “Measurement of K X-ray fluorescence cross-sections, fluorescence yields and intensity ratios for some elements in the atomic range $22 \leq Z \leq 68$ ” ศึกษาค่าภาคตัดขวางของรังสีเอกซ์เรืองจาก K_{α} และ K_{β} , สัดส่วนความเข้มรังสีของ K_{β} / K_{α} และค่าเฉลี่ย fluorescence yields สำหรับธาตุ 24 ชนิด ที่มีเลขอะตอม ในช่วง $22 \leq Z \leq 68$ จากการกระตุ้นโดยตรงด้วยพลังงาน 59.54 keV จากต้นกำเนิดรังสี Am-241 (point source) และตรวจวัดด้วยหัววัดรังสีชนิด Si(Li) รังสีเอกซ์เรืองที่ปลดปล่อยออกมาจาก สารตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าคำนวณจากทฤษฎี พบว่า การวัดค่าภาคตัดขวางของรังสีเอกซ์เรืองจาก K_{α} และ K_{β} มีค่าความไม่แน่นอน 8-9% และการวัดสัดส่วนความเข้มรังสีของ K_{β} / K_{α} มีค่าความไม่แน่นอน 5-7%

2. Arif BŞatug^[2] ทำวิจัยเรื่อง “ L_{γ} , L_{α} , L_{β} and L_{γ} X-ray fluorescence cross-sections of heavy elements for the exciting photons energy 38.18, 43.95, 50.21 and 59.5 keV” ศึกษาค่าภาคตัดขวางของรังสีเอกซ์เรืองจากอนุกรมชั้น L ของธาตุ Er, Ta, W, Au, Hg, Tl, Pb, และ Bi โดยกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิพลังงาน 38.18, 43.95 และ 50.21 keV ที่ปลดปล่อยออกมาจากเป้าโลหะและการกระตุ้นโดยตรงด้วยพลังงาน 59.54 keV จาก Am-241 (annular) นำค่าที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่าคำนวณจากทฤษฎี พบว่า ให้ค่าความไม่แน่นอน ในช่วง 8-10%

3. E. Bayda§, Y. Şahina^[3] ทำวิจัยเรื่อง “Measurement of K_{α} and K_{β} X-ray fluorescence cross-sections and the K_{β} / K_{α} intensity ratios for elements in the range $22 \leq Z \leq 29$ by 10 keV photons” ศึกษาค่าภาคตัดขวางของรังสีเอกซ์เรืองจาก K_{α} และ K_{β} รวมทั้งสัดส่วนความเข้มรังสีของ K_{β} / K_{α} ของธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง $22 < Z < 29$ โดยใช้โฟตอนทุติยภูมิพลังงาน 10 keV ที่ปลดปล่อยออกมาจากเป้าโลหะที่ทำจากแผ่นโลหะ Ge ซึ่งถูกกระตุ้นด้วย Am-241 (point source) พลังงาน 59.54 keV เป็นต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ พบว่ามีค่าความผิดพลาดของภาคตัดขวางของรังสีเอกซ์เรืองจาก K_{α} และ K_{β} มีค่าประมาณ 2.5-3%

4. K.A. Al-Saleh, N.S. Saleh^[4] ทำวิจัยเรื่อง “L X-ray fluorescence cross-sections of heavy elements excited by 16.04, 16.90 and 17.78 keV photons” ศึกษาค่าภาคตัดขวางของรังสีเอกซ์เรืองจาก L_{γ} , L_{α} , L_{β} และ L_{γ} ของธาตุ Au, Pt, W, Lu, Yb, Tm, Ho, Dy และ Tb จากการกระตุ้นด้วยโฟตอนทุติยภูมิพลังงาน 16.04, 16.90 และ 17.78 keV ที่ปลดปล่อยออกมาจากเป้าทุติยภูมิ Zr, Nb และ Mo ตามลำดับ ในการศึกษานี้ใช้หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ที่มีศักดาไฟฟ้า 30 kV และกระแส 20 mA เป็นต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ พบว่าให้ค่าความเข้มรังสีสูง ทำให้สามารถวัดค่าภาคตัดขวางของธาตุที่กระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์เรืองและสัดส่วนความเข้มรังสีที่มีค่าความเข้มต่ำได้ ผลที่ได้จากการทดลองนำไปเปรียบเทียบกับค่าคำนวณตามทฤษฎี พบว่า มีค่าความผิดพลาดรวมประมาณ 8%

5. แสงโรจน์ ภววงษ์ศักดิ์^[5] ทำวิจัยเรื่อง “เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ด้วยต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นแบบสี่ไอโซโทป” พัฒนาเครื่องวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองขึ้นมาให้ใช้กับต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น ที่มีพลังงานกระตุ้นต่างๆกัน สี่ไอโซโทป คือ เหล็ก-55 แคลเซียม-109 อะเมริเซียม-241 และโคบอลต์-57 สามารถเลือกต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นให้สอดคล้องกับธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่าง โดยเปลี่ยนตัวอย่างได้แบบอัตโนมัติอย่างมาก 8 ตัวอย่าง จากการทดสอบวัดเชิงควบคุมระบบนี้สามารถวิเคราะห์ธาตุเบาได้ตั้งแต่โพแทสเซียม (K) ด้วยขีดจำกัดในการวัดเท่ากับ 0.68 ไมโครกรัม และธาตุหนักได้ถึงยูเรเนียม (U) ด้วยขีดจำกัดในการวัดเท่ากับ 32.19 ไมโครกรัม

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การเกิดรังสีเอกซ์^{[6], [7]}

รังสีเอกซ์ เป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ปล่อยออกมาจากบริเวณชั้นโคจรอิเล็กตรอนของอะตอมของธาตุหลังถูกกระตุ้นด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน การกระตุ้นดังกล่าวแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ กลุ่มแรกเป็นการกระตุ้นด้วยอนุภาคที่มีประจุพลังงานสูงเคลื่อนผ่านชั้นโคจรอิเล็กตรอนและสูญเสียพลังงานบริเวณใกล้เคียง จะปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา กลุ่มที่สองเป็นการกระตุ้นด้วยโฟตอนหรืออนุภาคที่มีประจุทำให้อิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรหลุดออกเกิดหลุมว่าง (Hole) อิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรถัดออกไปจะลดระดับพลังงานปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา ก่อนลงมาแทนที่กันและกันตามลำดับ ซึ่งกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์ทั้งสองแบบนี้ จะให้ลักษณะสเปกตรัมพลังงานของรังสีที่แตกต่างกัน กล่าวคือ รังสีเอกซ์กลุ่มแรกที่เกิดจากการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอนเนื่องมาจากการชะลอความเร็วลง มีลักษณะเป็นสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง (Continuous spectrum) เรียกว่า เบรมสตราห์ลุง (Bremsstrahlung) ส่วนรังสีเอกซ์กลุ่มที่สองเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานเฉพาะชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอน เรียกว่า รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic x-ray) ซึ่งมีลักษณะของสเปกตรัมเป็นแบบอนุกรมของพลังงานค่าเดียวและเป็นเอกลักษณ์ของเฉพาะธาตุนั้นๆ

2.2 อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลาง^{[6], [7]}

อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับตัวกลางนั้น จะมีลักษณะเช่นเดียวกับอันตรกิริยาของรังสีแกมมา ซึ่งรังสีทั้งสองนั้นมีคุณสมบัติที่เหมือนกันเพียงแต่แตกต่างกันที่แหล่งกำเนิด โดยรังสีแกมมานั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานภายในนิวเคลียส ส่วนรังสีเอกซ์นั้นจะเกิดบริเวณชั้นโคจรของอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส แต่เนื่องจากทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์เป็นรังสีที่ประพฤติตัวได้ทั้งคลื่นและอนุภาค (Wave-particle duality) เรียกว่า “โฟตอน (Photon)” ดังนั้นโฟตอนจึงสามารถใช้เรียกแทนทั้งรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ อันตรกิริยาของโฟตอนกับตัวกลางนั้นสามารถแยกได้ตามลักษณะของอนุภาคที่เคลื่อนเข้าทำอันตรกิริยาบริเวณอะตอม คือ อิเล็กตรอนหรือนิวเคลียส

เมื่อโฟตอนรังสีเอกซ์ตกกระทบกับตัวกลาง จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับอะตอมในสารตัวอย่างได้ 2 ลักษณะ คือ การดูดกลืนและการกระเจิงของรังสี ซึ่งจะกล่าวตามลักษณะของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric absorption) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) และการกระเจิงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh scattering)

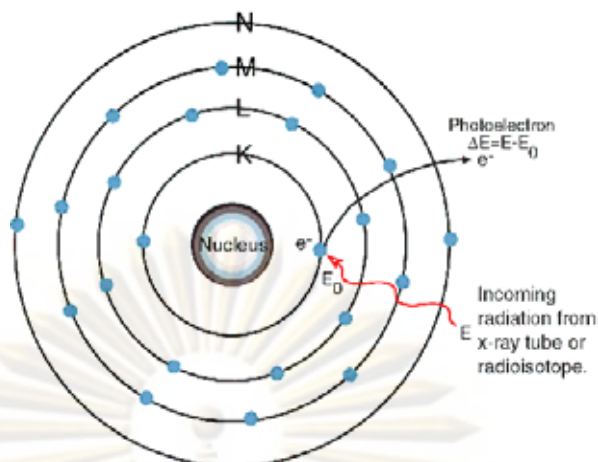
2.2.1 การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริก^[6]

การดูดกลืนพลังงานในลักษณะนี้ เกิดจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric effect) คือ ปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรของอะตอมดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนไว้ทั้งหมดและทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากอะตอม อะตอมจึงสูญเสียอิเล็กตรอนกลายเป็นไอออน (Ionization) ส่วนอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอมเรียกว่า โฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) เนื่องจากอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสมีอยู่ในชั้นพลังงานยึดเหนี่ยวต่าง ๆ กัน หากอิเล็กตรอนชั้นใน ๆ (ชั้น K หรือชั้น L) ดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนและอิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากอะตอม ก็จะทำให้เกิดที่ว่าง (Hole) ขึ้น อิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรถัดออกไป ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าก็จะลดระดับพลังงานเข้าไปแทนที่ว่างนั้น โดยปลดปล่อยพลังงานส่วนหนึ่งออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือรังสีเอกซ์เรืองที่กล่าวมาแล้วนั่นเอง และโฟโตอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นมีพลังงานเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของโฟตอนชนกับพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนในชั้นโคจรนั้น ดังสมการ (2.1)

$$E_{pe} = E - \Phi_K \quad (2.1)$$

เมื่อ	E_{pe}	คือ	พลังงานของโฟโตอิเล็กตรอน
	E	คือ	พลังงานของโฟตอนที่เข้าชน
	Φ_K	คือ	พลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ชั้นโคจรนั้น ๆ

ศูนย์วิทยพัชร์พชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก [8]

โอกาสในการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อตัวกลางเป็นธาตุเบา และพลังงานของโฟตอนที่เข้าชนมีค่าสูงขึ้น

2.2.2 การกระเจิงรังสี^[6]

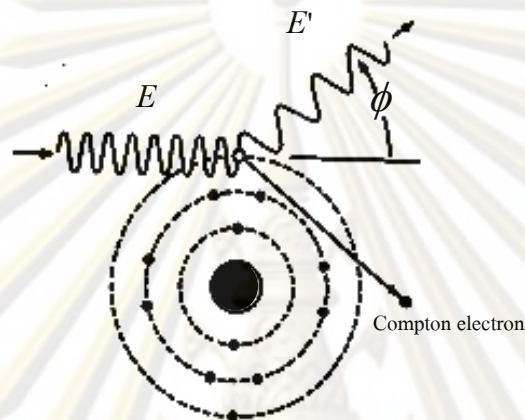
เมื่อโฟตอนเข้าชนกับวัตถุซึ่งประกอบด้วยอะตอมต่างๆรวมอยู่ด้วยกันเป็นจำนวนมาก จะเกิดอันตรกิริยาขึ้นระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรชั้นนอกหรือบริเวณพันธะอะตอม เกิดการถ่ายโอนพลังงานบางส่วนและโฟตอนจะกระเจิงออก แบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

1) การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton scattering) หรือ Incoherent scattering การกระเจิงแบบคอมป์ตันเป็นการชนแบบไม่ยืดหยุ่น อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรชั้นนอก ซึ่งมีค่าพลังงานยึดเหนี่ยวน้อยมาก เมื่อโฟตอนเข้าชนกับอิเล็กตรอนดังกล่าว อิเล็กตรอนนั้นจะหลุดจากอะตอม พร้อมรับพลังงานบางส่วนจากโฟตอนที่เข้าชน ซึ่งอิเล็กตรอนที่หลุดออกไป เรียกว่า คอมป์ตันอิเล็กตรอน (Compton electron) ส่วนโฟตอนที่กระเจิงออกไปนั้นจะมีพลังงานลดลง โดยผลรวมของพลังงานระหว่างคอมป์ตันอิเล็กตรอนกับโฟตอนที่กระเจิงออกไป จะมีค่าเท่ากับ พลังงานของโฟตอนเริ่มต้นเข้าชน ดังสมการ (2.2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$E' = \frac{E}{[1 + 0.001957 E(1 - \cos \phi)]} \quad (2.2)$$

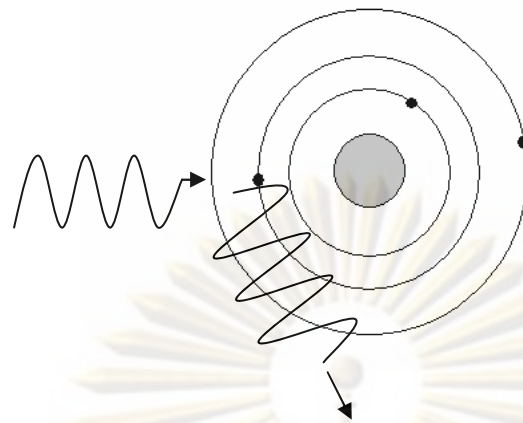
เมื่อ	E'	คือ	พลังงานในหน่วย keV ของโฟตอนที่กระเจิงออกไป
	E	คือ	พลังงานในหน่วย keV ของโฟตอนที่เข้าชน
	ϕ	คือ	มุมที่โฟตอนกระเจิงออกไปจากแนวเดิม



รูปที่ 2.2 การเกิดผลการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

โอกาสในการเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันนั้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อโฟตอนที่เข้าชนมีพลังงานสูงขึ้น ตัวกลางที่ถูกชนมีเลขอะตอมต่ำลง และมุมที่ตกกระทบมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ การเกิดการกระเจิงแบบคอมป์ตันนั้นจะเป็นอันตรกิริยาหลักต่อเมื่อพลังงานของโฟตอนที่เข้าชนมีค่าสูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนมาก

2.) การกระเจิงแบบเรย์เลห์ (Rayleigh Scattering) หรือ Coherent scattering เป็นการชนแบบยืดหยุ่น (Elastic collision) เกิดจากโฟตอนเคลื่อนเข้าชนกับอิเล็กตรอนแล้วโฟตอนตัวดังกล่าวมีการเปลี่ยนทิศทางโดยที่ไม่มีการสูญเสียพลังงาน ซึ่งการชนในลักษณะนี้จะมีโอกาสเกิดมากขึ้นเมื่อพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าพลังงานของโฟตอนมาก และตัวกลางมีเลขอะตอมสูงขึ้น การเกิดการกระเจิงแบบเรย์เลห์จะเป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ เนื่องจากพีคพลังงานที่เกิดขึ้นอาจไปรบกวนพีคพลังงานที่ต้องการวิเคราะห์



รูปที่ 2.3 การกระเจิงแบบเรย์เลห์

2.2.3 การดูดกลืนพลังงานเชิงมวล^[6]

เมื่อลำของรังสีเอกซ์เคลื่อนผ่านตัวกลาง โฟตอนจะทำอันตรกิริยากับอะตอมของตัวกลาง ได้แก่ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบคอมป์ตัน และการกระเจิงแบบเรย์เลย์ โดยโอกาสเกิดการดูดกลืนพลังงานขึ้นกับพลังงานของโฟตอน เหตุการณ์เหล่านี้มีผลให้โฟตอนบางส่วนสูญหายไป ปริมาณความเข้มของโฟตอนที่ผ่านออกมาจะลดลง ซึ่งความเข้มโฟตอนที่ผ่านออกมาเป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

$$I = I_0 \exp - [\mu(E)\rho x] \quad (2.3)$$

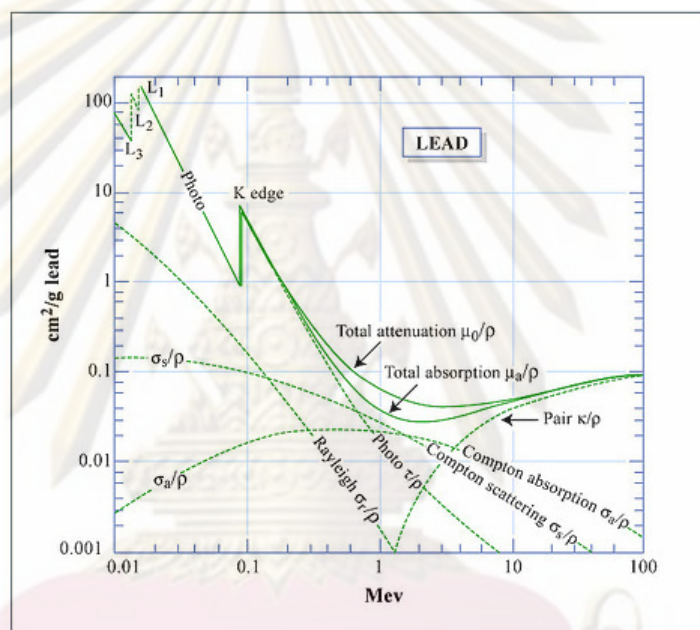
เมื่อ I	คือความเข้มของรังสีที่ผ่านวัตถุออกมา
I_0	คือความเข้มของรังสีก่อนผ่านวัตถุ
$\mu(E)$	คือค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass absorption coefficient) โดย ค่า $\mu(E)$ ของวัตถุใดจะขึ้นกับพลังงานและเป็นค่าเฉพาะของวัตถุนั้น
ρ	คือความหนาแน่นของวัตถุ
x	คือความหนาของวัตถุ

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล $\mu(E)$ เป็นค่าที่บอกถึงโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาต่าง ๆ ของโฟตอนกับตัวกลาง ซึ่งจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้

$$\mu(E) = \tau(E) + \sigma_{coh}(E) + \sigma_{inc}(E) \quad (2.4)$$

เมื่อ	$\tau(E)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริกเชิงมวล
	$\sigma_{coh}(E)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแบบไม่สูญเสียพลังงานเชิงมวล
	$\sigma_{inc}(E)$	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การกระเจิงแบบสูญเสียพลังงานเชิงมวล

ค่าสัมประสิทธิ์แต่ละค่าที่กล่าวมานั้น จะมีค่าเฉพาะขึ้นกับพลังงานของโฟตอน(E) และเลขอะตอม (Z) ของตัวกลางนั้น ๆ ดังตัวอย่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของธาตุตะกั่วในรูปที่ 2.4

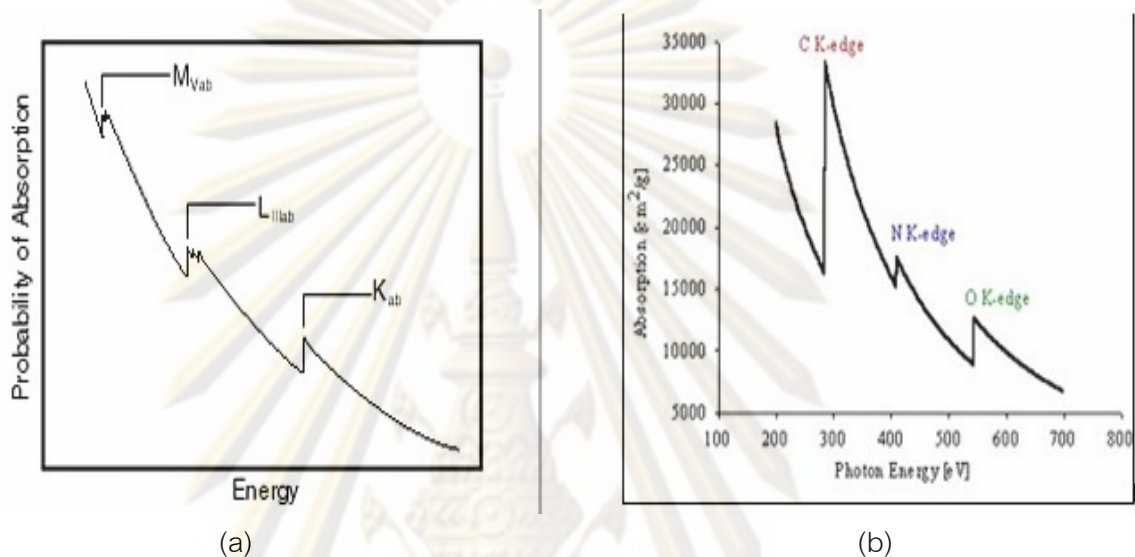


รูปที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของธาตุตะกั่ว^[9]

2.2.4 แอ็บซอร์พชันเอจด์จ์รังสีเอกซ์ (Absorption Edge)

แอ็บซอร์พชันเอจด์จ์ (Absorption edge) คือความสามารถในการดูดกลืนโฟตอนรังสีเอกซ์ของธาตุใดๆ พิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืน (Absorption coefficient) ซึ่งแปรเปลี่ยนตามระดับพลังงานที่ตกกระทบ โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนจะลดลงเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น แต่จะมีระดับพลังงานของโฟตอนขนาดหนึ่ง ที่อะตอมธาตุสามารถดูดกลืนได้ดีเป็นพิเศษ เรียกบริเวณดูดกลืนพลังงานนี้ว่า แอ็บซอร์พชันเอจด์จ์ “Absorption Edge” ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนในอะตอม แต่ละธาตุจะมีแอ็บซอร์พชันเอจด์จ์หลายค่า ตามโครงสร้างชั้นโคจรของอิเล็กตรอนของธาตุนั้นๆ เช่น ชั้น K (K-shell)

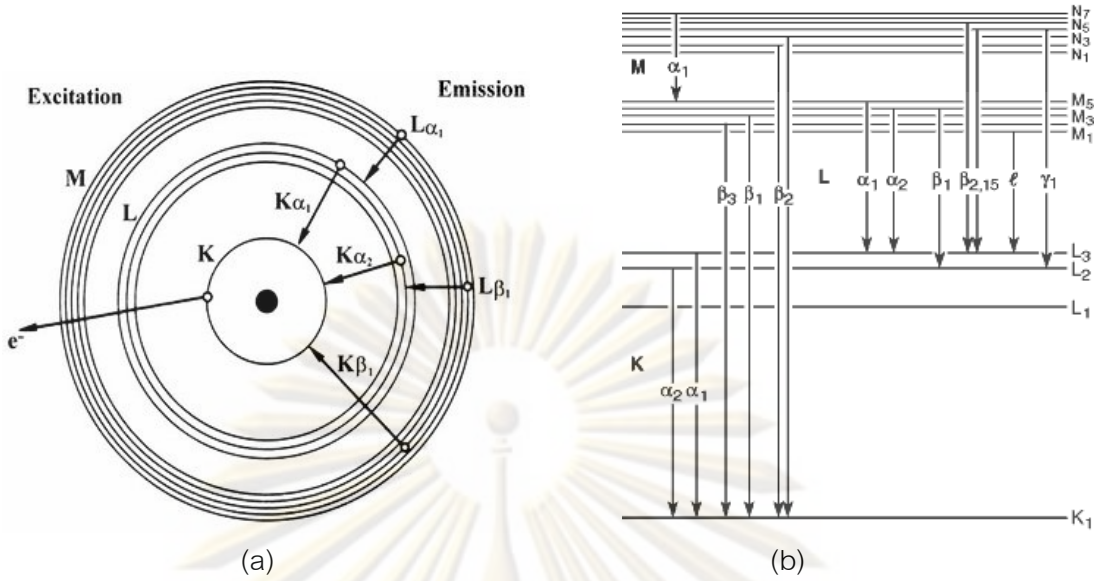
มีหนึ่งแอมบซอร์พชันเอ็ดจ์ (K_{ab}) และชั้นแอล (L-shell) มี 3 แอมบซอร์พชันเอ็ดจ์ (L_{Iab} , L_{IIab} , และ L_{IIIab}) ซึ่งเกิดจากชั้นโคจรย่อย เป็นต้น ในรูปที่ 2.5 แสดงแอมบซอร์บชันเอ็ดจ์ของอิเล็กตรอนในโครงสร้างอะตอม การที่จะกระตุ้นอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากชั้นโคจรใดๆ ของอะตอม จะต้องใช้โฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าแอมบซอร์พชันเอ็ดจ์ และเมื่อโฟตอนมีพลังงานมากกว่าแอมบซอร์พชันเอ็ดจ์ของชั้นโคจรนั้นๆ เพียงเล็กน้อย จะมีโอกาสเกิดผลการเรืองรังสีเอกซ์ (Fluorescence yield) มากกว่าโฟตอนที่มีพลังงานสูงๆ



รูปที่ 2.5 (a) แอมบซอร์บชันเอ็ดจ์ของอิเล็กตรอนในชั้นโคจร K, L, M และ (b) แอมบซอร์บชันเอ็ดจ์ของ คาร์บอน ไนโตรเจนและออกซิเจน^[8]

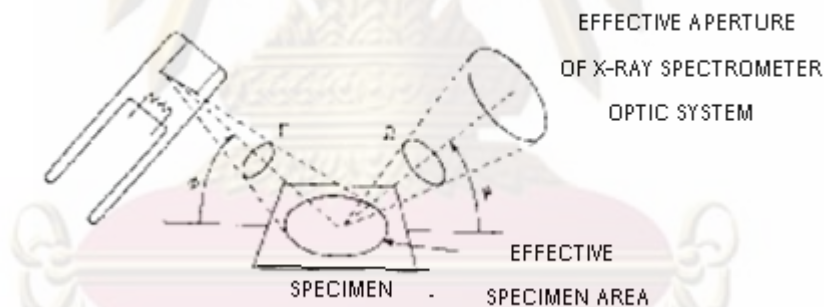
2.3 การปล่อยรังสีเอกซ์

จากอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับตัวกลางแบบโฟโตอิเล็กทริกการดูดกลืนพลังงานมีผลให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากชั้นวงโคจรของอะตอม อิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ในตำแหน่งที่ว่างอยู่ โดยจะคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic x-ray) โดยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ปล่อยออกมานี้ ประกอบไปด้วยอนุกรมของรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวหลายพลังงาน ซึ่งแต่ละพลังงานมีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานระหว่างชั้นโคจรที่อิเล็กตรอนเข้าแทนที่ และมีค่าเฉพาะในแต่ละธาตุ ซึ่งอนุกรมของรังสีเอกซ์ที่ถูกปลดปล่อยมาจะมีชื่อเรียกตามลำดับชั้นโคจรที่เกิดช่องว่างและถูกอิเล็กตรอนเข้าไปแทนที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 (a) สัญลักษณ์ของรังสีเอกซ์เฉพาะจากการเปลี่ยนชั้นโคจรของอิเล็กตรอน^[8]
 (b) สัญลักษณ์ของรังสีเอกซ์เฉพาะจากการเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอน^[8]

ความเข้มรังสีเอกซ์เนื่องจากธาตุที่ได้รับการกระตุ้นด้วยโฟตอน โดยมีสมมติให้รังสีที่มากระตุ้นเป็นรังสีโมโนโครเมติก (monochromatic radiation) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5



รูปที่ 2.7 ลักษณะทางเรขาคณิตของการกระตุ้นแบบทุติยภูมิ^[10]

$$I_L = P_{A0, \lambda_{pri}} C_A \frac{(\mu/\rho)_{A, \lambda_{pri}}}{(\mu/\rho)_{M, \lambda_{pri}} + A (\mu/\rho)_{M, \lambda_L}} \quad (2.5)$$

$$A = \sin\phi / \sin\psi$$

$$P_A = \Omega_A g_L (r_A - 1) / r_A (d\Omega / 4\pi)$$

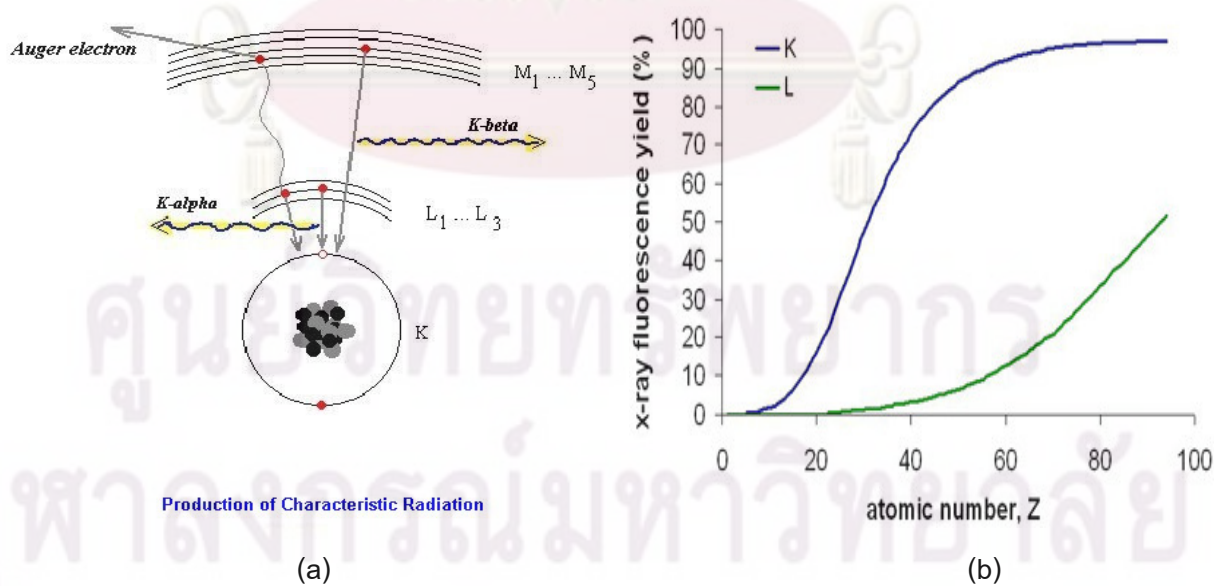
เมื่อ	I_L	คือ ความเข้มรังสีเอกซ์เรืองของธาตุวิเคราะห์
	I_0	คือ ความเข้มรังสีจากต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ
	λ_{pri}	คือ ความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ
	C_A	คือ ความเข้มข้นของธาตุวิเคราะห์
	$(\mu/\rho)_{A, \lambda_{pri}}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass absorption coefficient) ของธาตุวิเคราะห์ที่พลังงานของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ
	$(\mu/\rho)_{M, \lambda_{pri}}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass absorption coefficient) ของเมทริกซ์ที่พลังงานของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ
	$(\mu/\rho)_{M, \lambda_L}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass absorption coefficient) ของเมทริกซ์ที่พลังงานรังสีเอกซ์เรืองของธาตุวิเคราะห์
	ω_A	คือ ผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ของธาตุวิเคราะห์
	r_A	คือ แอบซอร์ปชันจัมป์
	Ω	คือ มุมทรงตัน (Solid angle)
	ϕ	คือ มุมของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (มุมกระตุ่น)
	ψ	คือ มุมของรังสีเอกซ์จากเป้าลำดับที่สอง
	g_L	คือ สัดส่วนทางทฤษฎีของการเกิดฟลักในอนุกรมชั้นใด ๆ (ที่ใช้ในการวิเคราะห์)
	$d\Omega/4\pi$	คือ สัดส่วนของรังสีเอกซ์เรืองไปสู่หัววัด

ถ้าหากพิจารณาค่าคงที่หรือตัวแปรต่างๆในสมการ 2.5 จะเห็นได้ว่า ตัวแปรแต่ละค่าเป็นค่าเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าความเข้มข้นของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ ได้จากการวัดความเข้มฟลักและค่าพารามิเตอร์สำคัญพื้นฐานหรือพารามิเตอร์หลักมูล คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นค่าที่มีอยู่แล้วในหนังสือคู่มือค่าที่ต้องทำการวัดจากการทดลองมีค่าเดียวคือ ความเข้มฟลัก ในทางทฤษฎีการใช้สมการ (2.5) คำนวณหาความเข้มของฟลักนั้น ไม่จำเป็นต้องใช้ฐานมาตรฐานสนับสนุนแต่อย่างใด แต่จะต้องป้อนค่าต่างๆที่ปรากฏในสมการให้ครบถ้วน แต่ถ้าหากใช้สารมาตรฐานประกอบด้วยก็จะทำให้มั่นใจในผลลัพธ์มากขึ้น

2.3.1 ผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence yield)^[7]

รังสีเอกซ์เฉพาะหรือรังสีเอกซ์เรืองเกิดจากการคายพลังงานออกจากอิเล็กตรอนในชั้นโคจรที่พลังงานสูงกว่าระดับลงมาแทนที่ว่างหลังอะตอมถูกกระตุ้นปฐมภูมิ แต่รังสีเอกซ์เรืองที่เกิดขึ้นนี้อาจไม่ผ่านออกมาจนอะตอม หากรังสีเอกซ์เฉพาะที่เกิดขึ้นมีพลังงานสูงกว่าแอมบซอร์บชันแอดจ์ของอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นถัดออกมา จะเกิดการกระตุ้นหรือถ่ายพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในชั้นถัดออกมาหลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาเป็นการปลดปล่อยอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron ejection) เรียกว่า ไอเจอิเล็กตรอน (Auger electron) ดังแสดงรูปที่ 2.8.a ดังนั้นในอะตอมหนึ่งซึ่งถูกกระตุ้นปฐมภูมิจะมีโอกาสเกิดเหตุการณ์อย่างใดอย่างหนึ่งระหว่างการเกิดรังสีเอกซ์เรืองหรือเกิดไอเจอิเล็กตรอน หรืออาจมองว่าเป็นการแข่งขันระหว่างสองเหตุการณ์ในกลุ่มอะตอม เมื่อพิจารณาโอกาสการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะเรียกว่า ผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence yield) คือ อัตราส่วนของจำนวนโฟตอนของรังสีเอกซ์เรืองที่เกิดขึ้นทั้งหมด (n) ในชั้นพลังงานหนึ่งต่อจำนวนที่ว่างที่เกิดขึ้นทั้งหมด (N) ในชั้นพลังงานนั้น ถ้าใช้ ω แทนผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ สำหรับชั้น K ค่า ω_K แสดงได้ดังสมการ

$$\text{ผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ } (\omega_K) = \frac{n_{K\alpha_1} + n_{K\alpha_2} + n_{K\beta_1} + n_{K\beta_2} + \dots}{N_K} \quad (2.6)$$

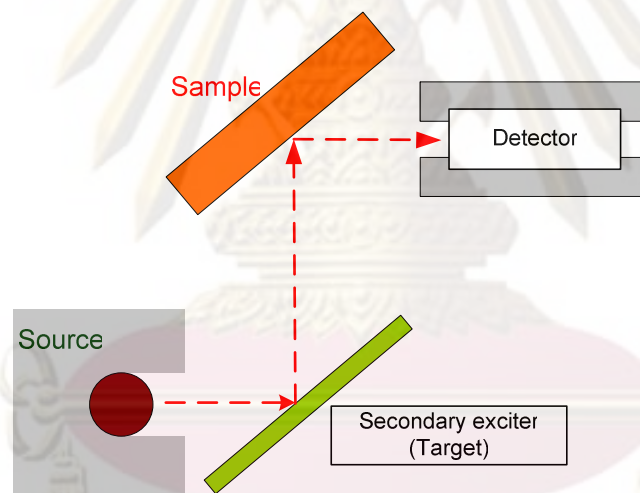


รูปที่ 2.8 (a) การเกิดไอเจอิเล็กตรอน^[9], (b) กราฟแสดงผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ (ω)^[9]

2.4 กระบวนการกระตุ้นให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. การกระตุ้นแบบปฐมภูมิ (Primary Excitation) คือ การกระตุ้นอะตอมธาตุองค์ประกอบในสารให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ด้วยอนุภาคที่มีประจุหรือโฟตอนจากต้นกำเนิดรังสีโดยตรง ความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ชนิด พลังงานและความแรงของต้นกำเนิดรังสีรวมทั้งความเข้มข้นของธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

2. การกระตุ้นแบบทุติยภูมิ (Secondary Excitation) คือ การกระตุ้นอะตอมธาตุองค์ประกอบในสารให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ด้วยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ ซึ่งต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิได้จากการใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ปฐมภูมิกระตุ้นเป้าให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองของเป้าเพื่อนำไปกระตุ้นสารตัวอย่างอีกทีหนึ่ง ทำให้สามารถเลือกพลังงานให้เหมาะสมแอบซอร์บชันแอดจ์ของอิเล็กตรอนในโครงสร้างอะตอมด้วยการเปลี่ยนชนิดเป้า มีหลักการดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการกระตุ้นแบบทุติยภูมิ (Secondary Excitation)

2.5 ต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ

วิธีการกระตุ้นสารตัวอย่างสามารถทำได้ด้วยอนุภาคที่มีประจุหรือโฟตอนจากต้นกำเนิดรังสี แต่การกระตุ้นด้วยโฟตอน เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นวิธีที่นิยมใช้มากกว่า เนื่องจากไม่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง (Continuous x-ray) การกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์สามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 ชนิด คือ หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) ซึ่งเป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยรังสีเอกซ์จากการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนเข้าชนเป้าเกิดอันตรกิริยาปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีลักษณะสเปกตรัมเป็นรังสีเอกซ์ต่อเนื่องออกมา อีกชนิดหนึ่ง คือ ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสี (Radioisotope source) ซึ่งปลดปล่อยรังสีเอกซ์ที่มีลักษณะเป็นสเปกตรัมอนุกรมพลังงานเดียวจากการสลายตัวของอะตอมสารกัมมันตรังสี

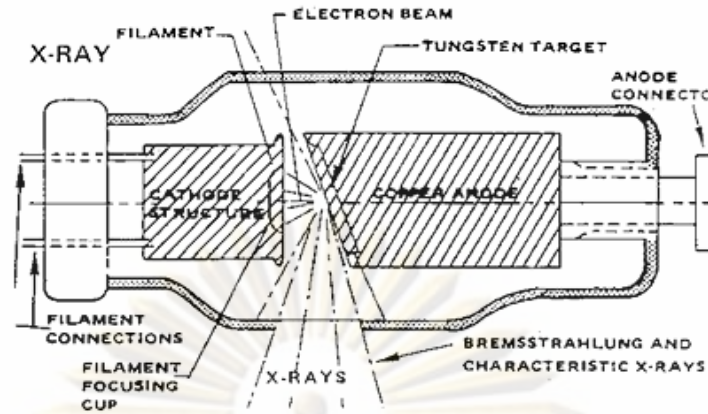
2.5.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์^[6]

หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ มีหลักการกำเนิดรังสีเอกซ์โดยการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงภายในหลอดสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด อิเล็กตรอนที่ถูกเร่งจะเคลื่อนที่จากขั้วแคโทดไปชนเป้า (Target) ซึ่งเป็นส่วนของขั้วแอโนด อิเล็กตรอนพลังงานสูงจะทำอันตรกิริยากับอะตอมเป้าสูญเสียพลังงานบริเวณใกล้นิวเคลียส จะปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาและมีรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของอะตอมเป้าจากการเปลี่ยนระดับพลังงานระหว่างชั้นโคจรของอิเล็กตรอนปนออกมาด้วย

โดยส่วนใหญ่แล้วหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักที่สำคัญได้แก่ หลอดแก้วสุญญากาศ แคโทดและแอโนด โดยโครงสร้างของแคโทดประกอบด้วยส่วนไส้หลอด (Filament) และโฟกัสซิงค์พ (Focusing cup) ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดลำอิเล็กตรอน และโครงสร้างของแอโนดเป็นส่วนเป้า (Target) ซึ่งทำมาจากโลหะที่มีประสิทธิภาพสูงในการปลดปล่อยรังสีเอกซ์จากอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนที่ถูกเร่งภายในหลอดแก้วสุญญากาศ ดังในรูปที่ 2.10

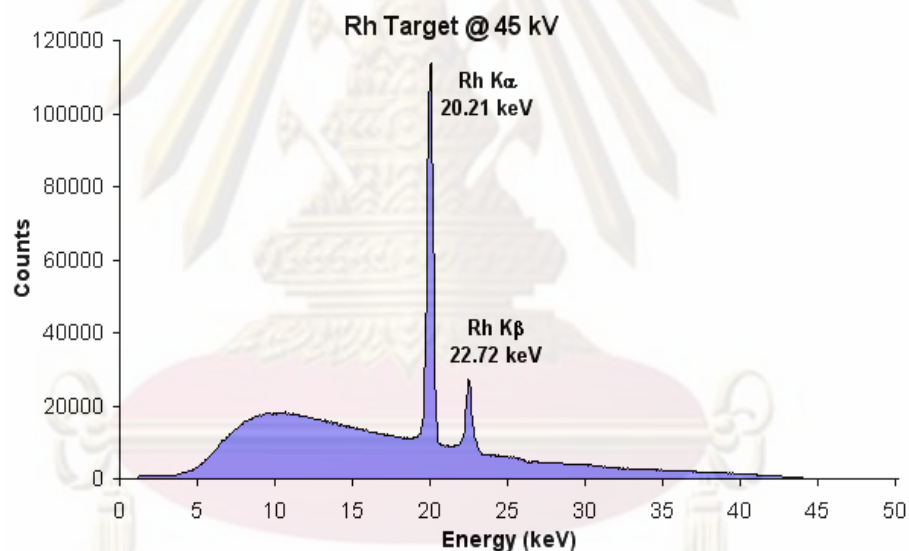
ศูนย์วิทยุทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์^[8]

รังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์นั้น ประกอบไปด้วยรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง และรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของวัสดุที่นำมาทำเป็นเป้า ดังตัวอย่างสเปกตรัมในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ต่อเนื่องและรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากเป้าโรเดียม^[8]

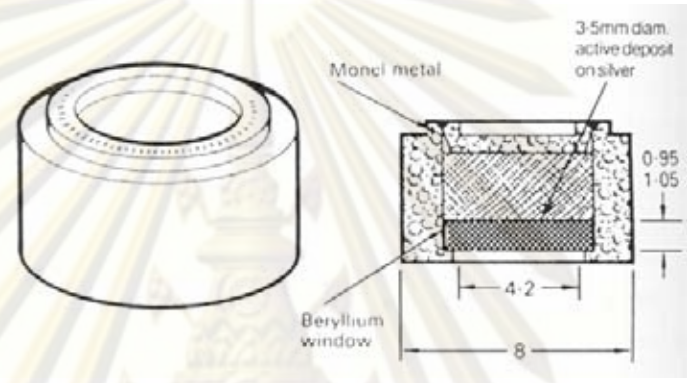
2.5.2 ไอโซโทปรังสี^[7]

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดไอโซโทปรังสี เป็นหนึ่งในต้นกำเนิดรังสีโฟตอนที่ปลดปล่อยโฟตอนจากการสลายตัวของไอโซโทปรังสี ได้แก่ การสลายตัวแบบจับอิเล็กตรอน (Electron capture) การสลายตัวให้รังสีบีตา และการสลายตัวให้รังสีแอลฟา ในการสลายตัวดังกล่าวอาจมีหลายขั้นตอนและมีบางขั้นตอนที่จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา ซึ่งสามารถนำไปใช้กระตุ้นสารตัวอย่างได้ ไอโซโทปรังสีแต่ละชนิดก็จะสลายตัวให้โฟตอนที่มี

พลังงานเดี่ยวเฉพาะค่าหนึ่ง เช่น ในกรณีที่ไอโซโทปรังสีสลายตัวแบบจับอิเล็กตรอนจะเกิดการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนแล้วปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมา ส่วนในกรณีที่ไอโซโทปรังสีที่สลายตัวให้รังสีบีตาหรือแอลฟาจะลดระดับสภาวะกระตุ้นโดยปล่อยรังสีแกมมาออกมา

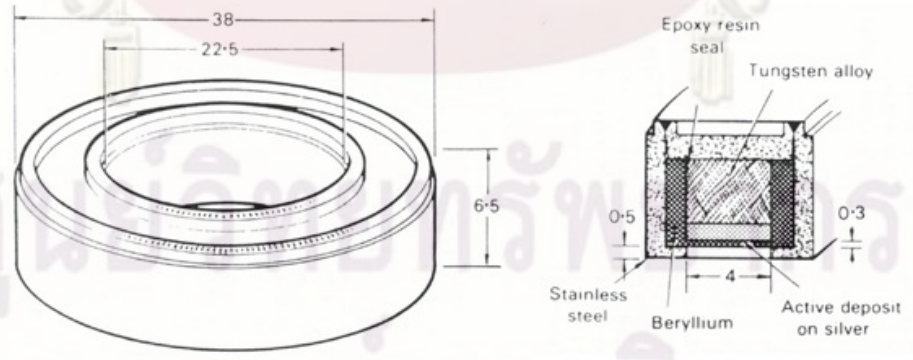
ลักษณะของต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทปรังสีที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีการออกแบบรูปร่าง 2 ลักษณะ คือ

ก. ต้นกำเนิดรังสีแบบจุดหรือจาน (Point or Disc source) มีรูปทรงกระบอกขนาดเล็กหรือแบนคล้ายเหรียญ บรรจุเม็ดรังสีไว้ภายใน จัดให้รังสีผ่านออกได้ด้านเดียว ดังในรูปที่ 2.12



2.12 ลักษณะต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทปชนิด Point Source^[11]

ข. ต้นกำเนิดรังสีแบบแหวน (Annular or Ring source) มีรูปทรงวงแหวน มีแผ่นสารกัมมันตรังสีบรรจุอยู่ภายใน จัดให้รังสีออกด้านหนึ่งอย่างสม่ำเสมอรอบวงแหวน ดังในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทปชนิดวงแหวน (Annular Source)^[11]

ตารางที่ 2.1 ต้นกำเนิดโฟตอนชนิดไอโซโทปรังสีบางชนิดที่ใช้กันโดยทั่วไป

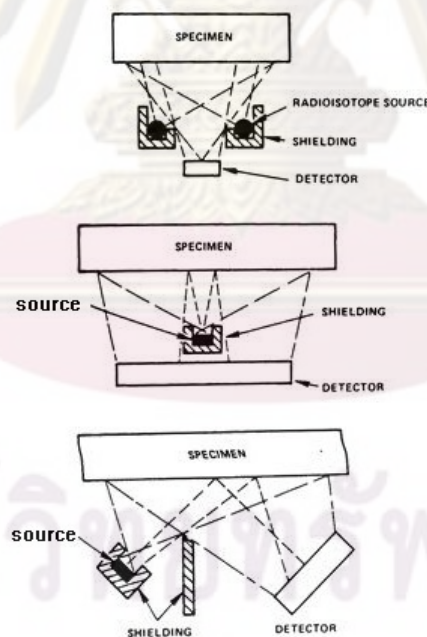
Radioisotope source	Principal radioactive decay process	Half-life	Useful radiation		Typical practical source activity (Ci)	X-rays excited efficiently
			Type	Energy (keV)		
$^{55}_{26}\text{Fe}$	OEC ^a	2.7 y	Mn K x-rays	5.9	0.020	$^{13}\text{Al} - ^{24}\text{Cr}$ K
$^{57}_{27}\text{Co}$	OEC	270 d	Fe K x-rays γ γ γ	6.4 14 122 136	0.5	$\leq ^{98}\text{Cf}$ K
$^{109}_{48}\text{Cd}$	OEC	1.3 y	Ag K x-rays γ	22 88	0.003	$^{20}\text{Ca} - ^{43}\text{Tc}$ K $^{74}\text{W} - ^{92}\text{U}$ L
$^{125}_{53}\text{I}$	OEC	60 d	Te K x-rays γ	27 35	-	$\leq ^{54}\text{Xe}$ K
$^{153}_{64}\text{Gd}$	OEC	236 d	Eu K x-rays γ γ	42 97 103	0.010	$^{42}\text{Mo} - ^{58}\text{Ce}$ K $^{69}\text{Tm} - ^{92}\text{U}$ L
$^{238}_{94}\text{Pu}$	α	89.6 y	U L x-rays	15-17	0.030	$^{20}\text{Ca} - ^{35}\text{Br}$ K $^{74}\text{W} - ^{82}\text{Pb}$ L
$^{241}_{95}\text{Am}$	α	470 y	Np L x-rays γ γ	11-22 26 59.6	0.010	$^{50}\text{Sn} - ^{69}\text{Tm}$ K

^aOEC = orbital-electron capture

จากตารางจะเห็นได้ว่าแต่ละไอโซโทปนั้นให้รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาซึ่งมีค่าพลังงานต่างกัน ในการใช้งานต้องเลือกใช้อิโซโทปรังสีที่ให้ค่าพลังงานที่เหมาะสม ไอโซโทปรังสีที่ใช้กันมากคือ Fe-55, Cd-109 และ Am-241 ปกติมักจะใช้งานร่วมกันทั้ง 3 ชนิด เพื่อให้สามารถตรวจวิเคราะห์ธาตุต่างๆในสารตัวอย่างได้ครอบคลุมตั้งแต่ Na ถึง U

ต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นสามารถเลือกใช้ได้ทั้งหลอดรังสีเอกซ์และสารไอโซโทป สำหรับหลอดรังสีเอกซ์สามารถแปรเปลี่ยนพลังงานและควบคุมความเข้มรังสีได้ ขณะที่สารไอโซโทปรังสีความเข้มรังสีขึ้นกับความแรงรังสีซึ่งมีการสลายตัวต่อเนื่อง การเลือกพลังงานที่เหมาะสม เลือจากชนิดไอโซโทปที่ให้พลังงานแตกต่างกันไป เพื่อนำมาใช้กระตุ้นสารตัวอย่างได้ดังแผนภาพรูป 3.2 อย่างไรก็ตามเครื่องวิเคราะห์ธาตุที่ใช้ไอโซโทปรังสีก็มีทั้งข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบดังนี้

- ข้อได้เปรียบ : เครื่องวิเคราะห์ที่ใช้สารไอโซโทปรังสีเป็นต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น สามารถประกอบขึ้นเองได้ง่ายและราคาไม่แพง
- : เครื่องวิเคราะห์มีขนาดกะทัดรัด ดัดแปลงการติดตั้งได้ง่าย เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องมีการเคลื่อนย้าย เช่น งานสำรวจหรือวิเคราะห์ภาคสนาม
- ข้อเสียเปรียบ : ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ได้จากไอโซโทปรังสีจะต่ำ ทำให้รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นหลังการกระตุ้น มีความเข้มต่ำด้วย
- : ไม่สามารถปรับความเข้มและค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ได้ จึงจำเป็นต้องใช้ไอโซโทปรังสีหลายชนิด



รูปที่ 2.14 แสดงการกระตุ้นตัวอย่างด้วยต้นกำเนิดรังสีแบบไอโซโทปรังสี

2.6 หัววัดรังสีเอกซ์^{[6],[7]}

โดยทั่วไปหัววัดรังสีที่ใช้ในการวัดรังสีเอกซ์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) หัววัดรังสีบรรจุก๊าซชนิดพรอพอร์ชันแนล (2) หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ [NaI(Tl)] (3) หัววัดรังสีกึ่งตัวนำ ได้แก่ หัววัดรังสีกึ่งตัวนำชนิด Si(Li), Ge(Li), CdTe หัววัดรังสีทั้งสามชนิดแตกต่างกันที่คุณสมบัติของตัวกลางที่ทำอันตรกิริยากับรังสีโฟตอน ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (energy resolution)

2.6.1 หัววัดรังสีบรรจุก๊าซชนิดพรอพอร์ชันแนล

หัววัดรังสีบรรจุก๊าซชนิดพรอพอร์ชันแนลใช้ก๊าซเฉื่อย (Ar, Xe, Kr) เป็นตัวกลางในการรองรับอันตรกิริยากับรังสี โดยอาศัยหลักการแตกตัวเป็นประจุ (Ionization) ของก๊าซ เมื่อโฟตอนเข้าชนกับอะตอมของก๊าซ โฟตอนจะถ่ายโอนพลังงานให้กับอิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในชั้นโคจรอะตอมของก๊าซ ทำให้อิเล็กตรอนนั้นหลุดออกจากวงโคจรพร้อมรับพลังงานจลน์จากโฟตอนและเคลื่อนที่ชนกับอะตอมอื่นๆของก๊าซ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นคู่ประจุ ซึ่งคู่ประจุทั้งหมดที่เกิดขึ้นนั้นจะมีปริมาณแปรผันตามพลังงานของรังสี ประจุบวกและลบดังกล่าวจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนดและแคโทดของหัววัดรังสีเกิดเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่งให้ระบบวิเคราะห์พลังงานและความเข้มของรังสีได้

ประสิทธิภาพและความสามารถในการแยกพลังงาน (Resolution) ของหัววัดชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดและความดันของก๊าซภายในหัววัดรังสี การเลือกใช้หัววัดพรอพอร์ชันแนลในการวัดรังสีเอกซ์นั้นจะต้องคำนึงถึงชนิดของก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหัววัด เนื่องจากการเกิดเอสเคปพีค (Escape peak) ซึ่งเป็นผลจากการเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของก๊าซภายในหัววัดรังสี เมื่อดูดกลืนพลังงานจากรังสีเอกซ์จากภายนอก แล้วรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของก๊าซนี้ไม่ได้ถูกดูดกลืนไว้ภายในหัววัด ทำให้พลังงานที่ดูดกลืนจากรังสีเอกซ์จากภายนอกหัววัดนั้นมีค่าพลังงานน้อยกว่าค่าพลังงานเดิม ซึ่งค่าพลังงานที่น้อยลงนี้จะปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งเอสเคปพีค ทำให้ประสิทธิภาพในการวัดรังสีเอกซ์ของหัววัดรังสีมีค่าลดลง โดยทั่วไปความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดพรอพอร์ชันแนลจะมีค่าประมาณ 18 % ที่พลังงาน 8 keV

2.6.2 หัววัดรังสีแบบซินทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ [NaI(Tl)]

การเรืองแสงของสารซินทิลเลเตอร์ ซึ่งเป็นตัวกลางของหัววัดรังสีแบบซินทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่างโฟตอนกับอะตอมของตัวกลาง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก โฟโตอิเล็กตรอนที่รับพลังงานจากโฟตอนทั้งหมดจะกระตุ้นกลุ่มอะตอมของสารเรืองแสง ปริมาณอะตอมที่ถูกกระตุ้นจะเป็นสัดส่วนกับพลังงาน ดังนั้นความเข้มของแสงเรืองที่ปลดปล่อยออกมาจากการลดระดับพลังงานสู่ระดับพื้นจะแปรผันตามพลังงานของรังสีเอกซ์ด้วย แสงจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยหลอดโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube, PMT) ส่งให้ระบบวิเคราะห์พลังงานและความเข้มของรังสีได้ หัววัดรังสีชนิดโซเดียมไอโอไดด์นี้มีประสิทธิภาพสูงในการวัดรังสีเอกซ์ แต่มีข้อจำกัดในการวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำและความสามารถในการแยกแยะพลังงานต่ำกว่าหัววัดชนิดบรอกไซด์แบบพรอพอร์ชันแนล โดยมีความสามารถในการแยกแยะพลังงานประมาณ 78 % ที่พลังงาน 8 keV

2.6.3 หัววัดรังสีกึ่งตัวนำ

2.6.3.1 หัววัดรังสีกึ่งตัวนำชนิด Si(Li)

หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดนี้มีโครงสร้างผลึกของรอยต่อไดโอดพีไอเอ็น (PIN) ของสารกึ่งตัวนำ เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบบริเวณรอยต่อที่มีความไวกับรังสีเอกซ์แล้ว จะเกิดการดูดกลืนแบบโฟโตอิเล็กทริกของธาตุซิลิกอนทำให้ได้โฟโตอิเล็กตรอนที่รับการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีเอกซ์ จากนั้นโฟโตอิเล็กตรอนนี้จะก่อให้เกิดคู่อิเล็กตรอนและโฮล (Electron-hole pairs) ซึ่งปริมาณของคู่อิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะแปรผันตามพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ส่งให้ระบบวิเคราะห์พลังงานและความเข้มของรังสี

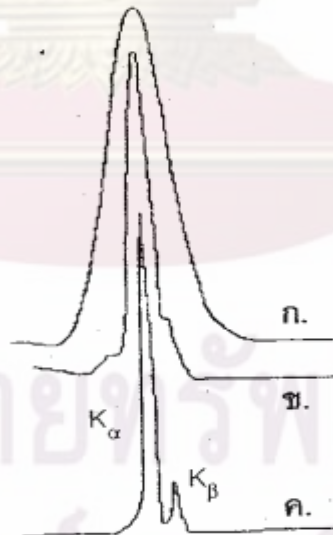
โดยทั่วไปหัววัดชนิดนี้จะต้องหล่อเย็นผลึกด้วยไนโตรเจนเหลวซึ่งมีอุณหภูมิ 77 K ก่อนการไบอัส เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุณหภูมิแวดล้อมและรักษาสภาพรอยต่อสารกึ่งตัวนำเอาไว้ ผลึกหัววัดรังสีจึงต้องอยู่ภายในสภาวะสุญญากาศซึ่งมีสภาพเป็นฉนวนความร้อน หัววัดรังสีชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงเมื่อวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น มีความสามารถในการแยกแยะพลังงานดีกว่าหัววัดรังสีเอกซ์ชนิดอื่นมาก กล่าวคือ มีความสามารถในการแยกแยะพลังงานประมาณ 5 % ที่พลังงาน 8 keV

2.6.3.2 หัววัดรังสีกึ่งตัวนำชนิด CdTe

หัววัดรังสีกึ่งตัวนำชนิด CdTe ซึ่งเป็นผลึกกึ่งตัวนำสารผสมที่มีหลักการทำงานเหมือนกับหัววัดชนิดกึ่งตัวนำชนิดอื่น แต่มีข้อดีกว่าที่ไม่ต้องใช้ระบบหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว แต่เป็นการใช้ระบบหล่อเย็นชนิดเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric cooler) สามารถใช้งานได้ในสภาพอุณหภูมิห้อง มีความไวและการแจกแจงพลังงานดีกว่าหัววัดกึ่งตัวนำชนิด Si (Li) มีความหนาแน่นวัสดุสูงจึงมีประสิทธิภาพดีกว่าวัสดุกึ่งตัวนำอื่น ด้วยโครงสร้างที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ดังนั้นจึงเคลื่อนย้ายสะดวก เหมาะกับการนำไปใช้ได้ ในสถานที่ต่างๆ ได้



รูปที่ 2.15 หัววัดรังสีกึ่งตัวนำชนิด CdTe^[13]



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัด 3 ชนิด^[7]

- (ก) NaI(Tl) เป็นแบบเรืองแสง (ข) แบบพรอพอร์ชันแนลบรรจุก๊าซ (ใช้ก๊าซ Xe)
- (ค) Si(Li) เป็นแบบกึ่งตัวนำ

2.7 การกระตุ้นตัวอย่างแบบทฤษฎีโดยใช้ไอโซโทปรังสีร่วมกับเป้าโลหะ

การเพิ่มความไวในงานวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์โดยใช้รังสีกระตุ้นแบบทฤษฎีนั้น จะต้องมีการเลือกชนิดของเป้าโลหะตามความเหมาะสมของธาตุที่วิเคราะห์ ดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดงชนิดของธาตุที่นิยมนำมาใช้ทำเป้าโลหะและพลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะที่ปล่อยออกมา

ตารางที่ 2.2 ชนิดของธาตุและรังสีเอกซ์เฉพาะที่นิยมใช้ทำเป้าโลหะ^[7]

ธาตุ	พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะ (keV)
Cr	5.41 K α
Cu	8.04 K α
Rh	20.2 K α 2.70 L α
Ag	22.1 K α 2.98 L α
Au	8.49 L α
W	8.40 L α

การที่จะเลือกใช้ธาตุใดเป็นเป้าโลหะขึ้นอยู่กับข้อพิจารณาว่า จะนำมาเพื่อตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างประเภทใด เนื่องจากการกระตุ้นอะตอมธาตุให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวออกมาได้นั้น รังสีเอกซ์ที่นำมากระตุ้นต้องมีพลังงานสูงกว่าแอมชอร์พชันเอจ (Absorption Edge) ของระดับชั้นพลังงานของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ เช่น ถ้าต้องการตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีองค์ประกอบธาตุ Fe และมี V กับ Cr ปนเล็กน้อย ถ้ากระตุ้นสารตัวอย่างนี้โดยตรงด้วยรังสีเอกซ์จากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาจากไอโซโทปรังสี ก็จะสามารถพบพีคของทั้ง 3 ธาตุ คือ V, Cr, Fe อยู่ในสเปกตรัม แต่ในกรณีที่ต้องการพิจารณาเฉพาะพีคของ V และ Cr เท่านั้น โดยไม่ต้องการให้พีคของ Fe ปรากฏอยู่ในสเปกตรัม จะต้องใช้เป้าลำดับที่สองที่เป็นแผ่น Fe รังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีจะไปกระตุ้น Fe ที่เป็นเป้าลำดับที่สองก่อน แล้วจึงปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะของ Fe ออกมา ซึ่งจะถูกนำไปใช้กระตุ้นตัวอย่างอีกต่อหนึ่ง เนื่องจากการกระตุ้นธาตุใดๆ ให้ปล่อยรังสีเอกซ์เฉพาะออกมาได้นั้น รังสีที่กระตุ้นจะต้องมีพลังงานสูงกว่าแอมชอร์พชันเอจของธาตุที่ถูกกระตุ้น ดังนั้นรังสีเอกซ์เฉพาะของ Fe จากเป้าลำดับที่สองจะสามารถกระตุ้น V และ Cr ได้ แต่จะไม่สามารถกระตุ้น Fe ในสารตัวอย่างได้

ข้อดีของการใช้ไอโซโทปรังสีร่วมกับเป้าโลหะ

1. รังสีที่มากกระตุ้นสารตัวอย่างมีลักษณะเป็นรังสีโมโนโครเมติก (monochromatic radiation) เนื่องจากเป็นรังสีเฉพาะของธาตุใดธาตุหนึ่งเพียงธาตุเดียว จึงเป็นรังสีที่มีพลังงานเฉพาะ ไม่มีช่วงพลังงานอื่นมาปะปนด้วย
2. สามารถเลือกช่วงพลังงานต่างๆ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ ด้วยการเลือกเป้าโลหะ และการกระตุ้นด้วยไอโซโทปรังสีปฏิกิริยาเพียงชนิดเดียว เปรียบเทียบได้กับการใช้หลอดรังสีเอกซ์
3. มีขนาดกะทัดรัด สะดวกในการติดตั้งและเคลื่อนย้ายได้ง่าย

2.9 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์^{[6], [7]}

2.9.1 การวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพ

ในการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพเพื่อจำแนกชนิดธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์นั้น สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วและง่าย รูปแบบระบบวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

1. ระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive, EDXRF) เป็นระบบตรวจวัดพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เข้าสู่หัววัดรังสีโดยตรง จึงสามารถวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองได้พร้อมกันหลายระดับพลังงานด้วยเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง (MCA) ทำให้สามารถจัดแบ่งช่องวิเคราะห์สัญญาณให้ครอบคลุมพลังงานช่วงกว้างได้ แต่มีข้อเสียคือ ปัญหาด้านการเกิดการซ้อนกันของพีคในสเปกตรัมที่มีพลังงานใกล้เคียงกัน เนื่องจากขีดจำกัดในด้านความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดรังสี

2. ระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายความยาวคลื่น (Wavelength Dispersive, WDXRF) เป็นระบบที่มีความยุ่งยากกว่า เนื่องจากต้องมีผลึกวิเคราะห์ (Analyzing crystal) สำหรับกระจายความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับกลุ่มธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ และอุปกรณ์ Goniometer ที่ใช้สแกนสเปกตรัมละเอียด แต่มีข้อดี คือ สามารถแจกแจงพลังงานรังสีเอกซ์ได้ดีกว่าระบบ EDXRF เพราะผลึกวิเคราะห์จะช่วยแจกแจงพลังงานได้ดีกว่าโดยเฉพาะในช่วงพลังงานรังสีเอกซ์ที่ต่ำกว่า 20 keV ลงไป

2.9.2 การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน สามารถพิจารณาจากความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ปล่อยจากอะตอมธาตุในตัวอย่าง โดยความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามความเข้มข้นของธาตุที่วิเคราะห์ แต่โดยทั่วไปตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์จะมีองค์ประกอบธาตุอื่นๆหลายชนิด ดังนั้นจึงมีรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากอะตอมธาตุอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบภายในตัวอย่างนั้นด้วย รังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากธาตุดังกล่าวจะมีผลกระทบกันและกันทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่ต้องการวิเคราะห์อาจเพิ่มหรือลดลงได้ เรียกว่า ผลจากเมทริกซ์ (Matrix effect) แบ่งได้ดังนี้

2.9.2.1. การเกิดอันตรกิริยาระหว่างธาตุ (Elemental interaction)

ก. การดูดกลืนจากผลเมทริกซ์ (Matrix absorption) เกิดเมื่อสารตัวอย่างมีองค์ประกอบของธาตุหลายชนิดปนกัน ขณะที่รังสีเอกซ์ปฐมภูมิมีพลังงานสูงกว่าค่าแอมชอร์พชั่นเอดจ์ของอะตอมธาตุในระดับชั้นพลังงานใด ก็จะทำให้เกิดความเข้มรังสีเอกซ์เรืองขึ้น แต่ความเข้มรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่สนใจมีโอกาสสูญเสียไปเนื่องจากธาตุที่ปนอยู่มีค่าการดูดกลืนพลังงานต่ำกว่า สามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ของธาตุที่สนใจให้มีความเข้มลดน้อยลง

ข. ผลการเสริมกัน (Enhancement effect) เกิดจากการที่รังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารตัวอย่าง (Matrix element) มีพลังงานสูงกว่าค่าแอมชอร์พชั่นเอดจ์ของธาตุที่สนใจ พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่เป็นส่วนประกอบสามารถกระตุ้นธาตุที่สนใจให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองได้อีกทางหนึ่ง นอกเหนือจากที่ถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิเพียงอย่างเดียว ทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่สนใจนั้นสูงขึ้น ผลที่เกิดจากเมทริกซ์นี้ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์มากกว่าที่เป็นจริง ดังแผนภาพรูปที่ 2.17 ตัวอย่างที่แสดงผลของเมทริกซ์ในด้านผลการเสริมให้รังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น เช่น ในสารตัวอย่างที่ประกอบด้วยธาตุ Cu, Pb, Sn แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า K_{edge} , K_{α} และ L_{α} ของธาตุทองแดง ตะกั่ว และดีบุก

ธาตุ	K_{edge} (keV)	K_{α} (keV)	L_{α} (keV)
Cu	8.98	8.04	-
Pb	15.86 (L_{edge})	-	10.55, 12.61
Sn	29.18	25.27	-

ถ้าต้องการหาปริมาณของธาตุทั้งสาม พลังงานของรังสีเอกซ์ที่จะกระตุ้นธาตุทั้งสามเกิดให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์ จะต้องมีความพลังงานมากกว่า K_{edge} คือ 29.18 KeV

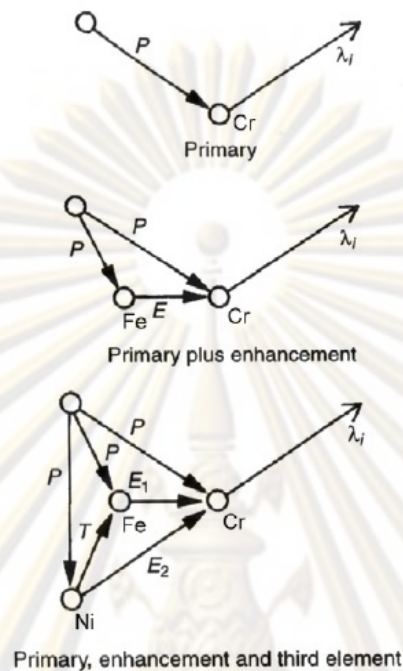
เมื่อ Sn ให้รังสีเอกซ์เรือง K_{α} มีพลังงาน 25.57 keV ถ้าวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ได้เทียบกับความเข้มข้นสารมาตรฐานก็จะหาปริมาณได้ แต่จะเห็นว่าพลังงานของ Sn K_{α} สูงกว่า K_{edge} ของ Pb (15.86 keV) และ Cu (8.98 keV) ดังนั้นรังสีเอกซ์ที่เกิดจากธาตุ Sn นี้ สามารถจะถูกดูดกลืนได้ด้วยอะตอมธาตุ Pb และ Cu เมื่อเป็นเช่นนี้ ผลของแมทริกซ์ทำให้ปริมาณของรังสีเอกซ์ที่วัดได้จากธาตุ Sn จะน้อยกว่าปกติ

สำหรับการหาปริมาณของ Pb นั้น ผลของแมทริกซ์จะเป็นได้ทั้งการดูดกลืนจากธาตุ Cu และเกิดการเสริมจากการกระตุ้นรังสีเอกซ์ของธาตุ Sn ผลการวิเคราะห์จะผิดพลาดมากขึ้นอยู่กับปริมาณของ Cu และ Sn และค่า K_{edge} ของธาตุทั้งสองด้วย ถ้าหากการดูดกลืนมีมากกว่าการเสริมผลการวิเคราะห์จะได้น้อยกว่าที่เป็นจริง แต่ถ้าการเสริมมีมากกว่าการดูดกลืน ผลการวิเคราะห์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง

ส่วนการหาปริมาณของ Cu พลังงานของ K_{α} จากธาตุ Sn และ Pb จะสูงกว่า K_{edge} ของ Cu ดังนั้น K_{α} ของธาตุทั้งสองนี้จะช่วยเสริมให้เกิด Cu K_{α} มากขึ้น ฉะนั้นเกิดได้เฉพาะการเสริมรังสีเอกซ์เท่านั้นที่เป็นผลของแมทริกซ์

ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถทำได้โดยการคำนวณเทียบสัดส่วนความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองที่ได้จากสารตัวอย่างกับความเข้มรังสีเอกซ์เรืองที่ได้จากสารมาตรฐาน โดยความเข้มที่เกิดจากธาตุนั้นจะเกี่ยวข้องกับการดูดกลืนและการปลดปล่อยของรังสีเอกซ์ของธาตุนั้น

รวมทั้งธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของสารต่างๆหรือเรียกว่า “Matrix Element” ดังนั้นในการวิเคราะห์จะต้องแก้ไขหรือลดผลจากผลของเมทริกซ์ด้วย



รูปที่ 2.17 แสดงการเกิด Enhancement effect and third element

2.9.2.2. ผลทางกายภาพของสารตัวอย่าง (Physical effect)

สมบัติทางกายภาพของสารตัวอย่าง ได้แก่ รูปลักษณะของผิวหน้า (surface texture) ขนาดอนุภาค (particle size) ความไม่เป็นเอกพันธ์เนื้อสาร (heterogeneity) และลักษณะฟิล์มบาง เป็นต้น สมบัติเหล่านี้มีผลต่อการวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์ ดังนั้นการเตรียมตัวอย่างจะต้องให้เนื้อสารสม่ำเสมอ เป็นผงละเอียดและมีผิวเรียบมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่เกิดจากอะตอมธาตุต่างๆในสารตัวอย่างจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีกระตุ้นที่สามารถทะลุผ่านเข้าไปในตัวอย่างและรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุที่ปล่อยผ่านออกมาจากสารตัวอย่าง ถ้าสารตัวอย่างมีสภาพไม่ดีพอ เช่น ผิวหน้าไม่เรียบ ขรุขระ เนื้อสารไม่สม่ำเสมอ จะมีผลต่อความเข้มของรังสีเอกซ์โดยเฉพาะรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่ำ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณมีความแม่นยำสูง จึงต้องแก้ไขด้วยการหมุนตัวอย่าง (Spinning) และลดผลจากเมทริกซ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งมีวิธีการหลายอย่าง เช่น Calibration standardization methods, Thin film methods, Matrix-dilution method, Standard addition method, Internal standardization methods, Standardization with scattered X-ray และ Mathematical correction เป็นต้น

วิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ วิธีเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน (Calibration standardization methods) ซึ่งเป็นการสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration) ด้วยการใช้สารมาตรฐานซึ่งมีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน หรืออาจใช้วิธีคำนวณเทียบสัดส่วนกันโดยตรง ซึ่งในสารมาตรฐานเหล่านี้จะมีธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ที่อยู่ในปริมาณที่ทราบแน่นอน ดังสมการ 2.7

$$\frac{I_x}{I_s} = \frac{C_x}{C_s} \quad (2.7)$$

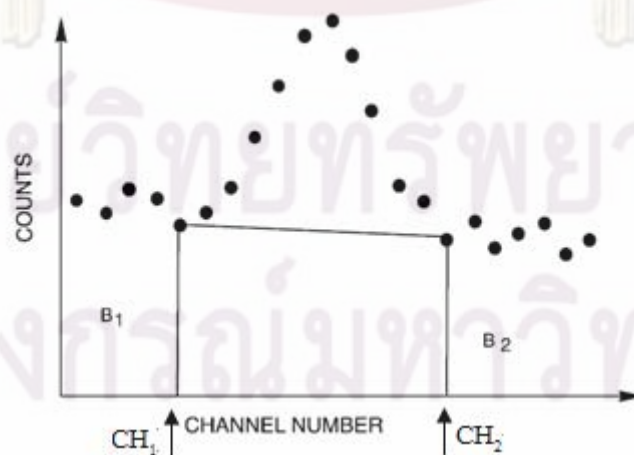
เมื่อ I_x และ I_s เป็นความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน
 C_x และ C_s เป็นความเข้มข้นของสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน

2.9.2.3. การอ่านปริมาณความเข้มรังสีจากพื้นที่ได้พีคของสเปกตรัม

ความเข้มรังสีเอกซ์เรืองที่ปล่อยออกมาจากอะตอมธาตุในสารตัวอย่างเป็นข้อมูลที่สำคัญในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ความเข้มรังสีนี้จะแปรผันตามความเข้มข้นของธาตุในสารตัวอย่าง จำนวนนับรังสีของความเข้มรังสีจะแสดงผลที่เครื่องวิเคราะห์ในรูปแบบสเปกตรัมพลังงานของสารตัวอย่าง ในการอ่านปริมาณความเข้มรังสีของพีคพลังงานเฉพาะธาตุจากสเปกตรัม สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงพื้นที่ได้พีคที่สนใจ (ROI) ดังในรูปที่ 2.18 จะสามารถหาจำนวนนับรังสีสุทธิ (N_n) ได้จากผลต่างระหว่างจำนวนนับรังสีรวม (N_t) และจำนวนนับรังสีพื้นหลัง (N_b) ได้จากสมการ 2.8

$$N_n = N_t - N_b \quad (2.8)$$

$$\text{เมื่อ } N_b = \frac{1}{2} (B_1 + B_2) (CH_2 - CH_1)$$



รูปที่ 2.18 การพิจารณาหาพื้นที่ได้พีคของสเปกตรัม

การพิจารณาความไวในการวิเคราะห์ธาตุใดๆ ของระบบวิเคราะห์ธาตุสามารถเปรียบเทียบกันได้จากคุณลักษณะของสเปกตรัมพลังงานบริเวณช่วงพื้นที่ได้พีคที่สนใจของธาตุนั้นๆ ด้วยอัตราส่วนระหว่างความเข้มรังสีของพีคต่อความเข้มรังสีพื้นหลัง (Peak to Background Ratio) ซึ่งอ่านค่าจากจำนวนนับรังสีสุทธิ (N_p) ต่อจำนวนนับรังสีพื้นหลัง (N_b) ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามาก แสดงถึงมีความไวในการวิเคราะห์ที่ดีกว่า

2.10 การประเมินคุณภาพรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นด้วยแผ่นบันทึกภาพ

ก. คุณภาพรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น

คุณภาพของรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น ได้แก่ พื้นที่ครอบคลุมบริเวณกระตุ้นรังสีเอกซ์เรืองบนผิวตัวอย่าง ความสม่ำเสมอของความเข้มรังสีและความเข้มรังสีบนพื้นที่หวังผล เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการออกแบบระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์ ไม่ว่าจะเป็ระบบที่ใช้เทคนิคการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิหรือทุติยภูมิ ทั้งนี้เพื่อทราบการจัดมุมและระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับตัวอย่าง การกำหนดขนาดพื้นที่ตัวอย่าง ขนาดช่องบังคับลำรังสีรวมถึงหน้ากบังคับพื้นที่ เป็นต้น

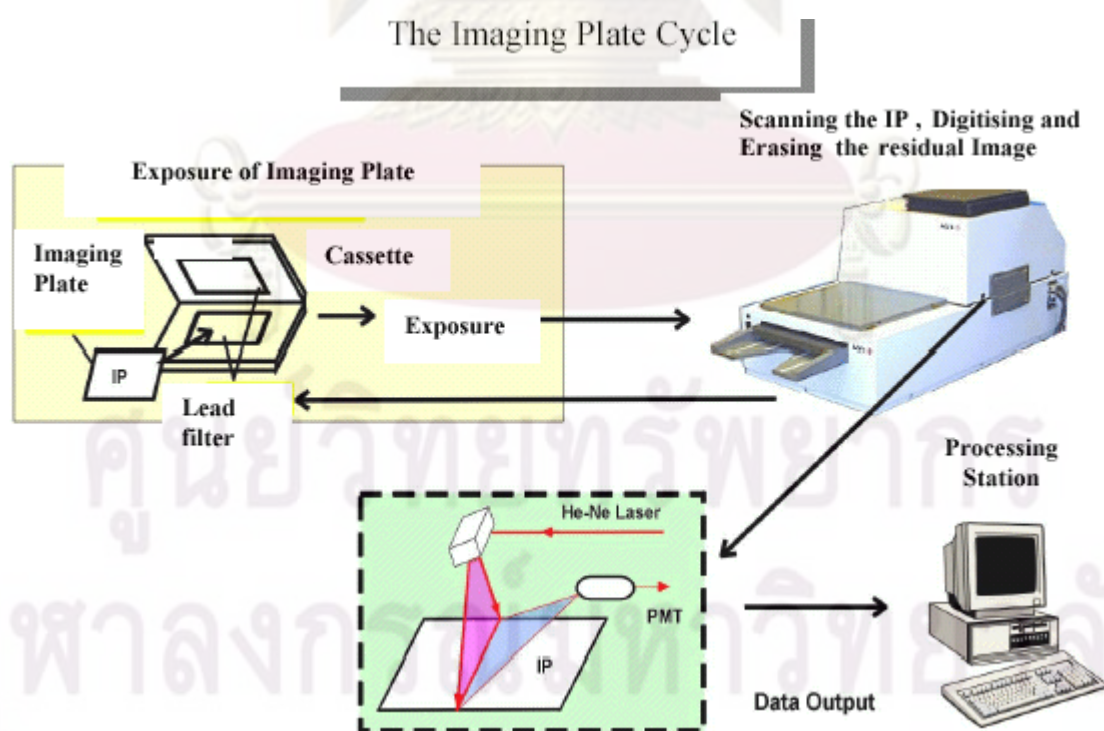
การถ่ายภาพรังสีจากต้นกำเนิดรังสีเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของรังสีเอกซ์ วิธีดั้งเดิมใช้ฟิล์มในการถ่ายภาพ แต่มีข้อจำกัดในด้าน ความไวรังสี ความสะดวก เวลาที่ใช้ และความสิ้นเปลือง ปัจจุบันสามารถนำเทคนิคการถ่ายภาพแบบคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี (Computed-Radiography, CR) หรือการถ่ายภาพด้วยแผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) ซึ่งมีความสะดวกรวดเร็วและมีความไวสูงกว่า

ข. การประเมินคุณภาพรังสีเอกซ์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ^[14]

แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate, IP) เป็นเทคโนโลยีอุปกรณ์ถ่ายภาพรังสีชนิดใหม่ที่ผลิตออกมาใช้แทนฟิล์มถ่ายภาพ สารไวรังสีของแผ่นบันทึกภาพทำจากวัสดุเรืองแสงที่สามารถกักเก็บอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจากพลังงานของรังสีหลังได้รับรังสี ปริมาณอิเล็กตรอนที่กักเก็บจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสี เมื่อนำมาสแกนด้วยพลังงานจากแสงเลเซอร์ที่มีลำปลายเล็กระดับ 50-100 μm จะคายพลังงานให้เรืองแสงออกมาจุดต่อจุด กระบวนการนี้เรียกว่า การกระตุ้นให้เกิดแสงเรืองด้วยแสง (Photo-Stimulable Phosphor)

แผ่นบันทึกภาพมีความยืดหยุ่น ประกอบด้วยผลึกสารเรืองแสงมีลักษณะเป็นผงขนาดเล็กที่สามารถกักเก็บอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจากรังสี และสามารถเปล่งแสงออกมาได้จากการกระตุ้นด้วยแสง เป็นสารประกอบ barium Fluorobromide ที่เจือด้วย bivalent europium เล็กน้อย ทำหน้าที่เป็น luminescence center มีสูตรโมเลกุลเป็น BaFBr: Eu²⁺ เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มโพลีเอสเตอร์ (polyester) การถ่ายภาพรังสีบนแผ่นบันทึกภาพมีวิธีการคล้ายกับการถ่ายภาพโดยใช้ฟิล์ม หลังถ่ายภาพจะเกิดภาพแฝงด้วยการกักเก็บอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นตามปริมาณความเข้มรังสี เมื่อนำแผ่นบันทึกภาพมาอ่านข้อมูลภาพด้วยการสแกนลำแสงเลเซอร์ซึ่งปลายลำแสงมีความละเอียดสูงจะเกิดการเปล่งแสงเรืองขึ้น แสงที่เปล่งออกมาจะถูกส่งไปวัดความเข้มแสงด้วย photomultiplier tube (PMT) สัญญาณความเข้มแสงที่อ่านได้จะมีลักษณะเป็นสัญญาณอนาล็อก จากนั้นข้อมูลที่อ่านได้จะเปลี่ยนเป็นดิจิทัล ซึ่งปรับค่าได้ระหว่าง 8 -16 bit ความเข้มแสงจะบอกเป็นหน่วย PSL (photostimulated luminescence)

ส่วนของ Image analysis และ data processing จะทำงานบนระบบคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงภาพทางจอแสดงผล (CRT) ภาพที่ปรับแต่งแล้ว (process) สามารถพิมพ์เป็นภาพสีเทียมหรือขาวดำ สามารถประยุกต์ใช้ในการวัดปริมาณรังสี แผ่นบันทึกภาพไม่ไวต่อแสงในห้องทำงาน จึงไม่ต้องการห้องมืด และยังสามารถลบภาพเดิมด้วยแสงความเข้มสูง เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้ง ซึ่งวงรอบการใช้งานแผ่นบันทึกภาพแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงการวงรอบการใช้งานแผ่นบันทึกภาพ

2.10.1 ข้อแตกต่างระหว่างแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์ม

1. มีความไวสูง โดยมีความไวมากกว่าฟิล์มหลายสิบเท่า หรืออาจไวกว่าหลายพันเท่า ขึ้นกับชิ้นงานหรือตัวอย่าง
2. มี dynamic range ที่กว้าง โดยมีช่วงกว้างมากกว่า 10^4 ถึง 10^5 ซึ่งสูงกว่าการใช้ฟิล์มที่มี dynamic range อยู่ในช่วงกว้าง 10^2 เท่า
3. มีความเป็นเชิงเส้นดีกว่า มีการเรืองแสงแปรผันโดยตรง ตามปริมาณรังสีที่ใช้งานได้
4. มีการแสดงรายละเอียด (spatial resolution) ได้สูง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบอื่น มีความหนาแน่นของ pixel สูงกว่า
5. ใช้สัญญาณไฟฟ้าแบบดิจิทัลโดยตรงจากเครื่องอ่าน ทำให้มีกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ หรือการประสานงานกับระบบอิเล็กทรอนิกส์แบบอื่นได้สะดวก
6. ค่าของรังสีจากสิ่งแวดล้อมที่บันทึกอยู่ สามารถลบออกได้ก่อนจะใช้งาน
7. แผ่นบันทึกภาพไม่ไวต่อแสงในห้องทำงานจึงไม่ต้องการห้องมืด และไม่มีการใช้สารเคมี
8. สามารถลบภาพเดิมด้วยแสงความเข้มสูง เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายพันครั้ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาต้นกำเนิดรังสีทุติยภูมินี้ ประกอบด้วย:

3.1.1 ต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิแบบไอโซโทปรังสี

Am-241 แบบจุด (point source) มีความแรงแรังสี 3.63×10^9 Bq (98 mCi)

3.1.2 ระบบวัดรังสีรุ่น PX2T พร้อมหัววัดรังสีเอกซ์แบบกึ่งตัวนำ (Semiconductor Detector) ชนิด CdTe (Cadmium Telluride) รุ่น XR-100T ของ AMPTEK

3.1.3 เครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multichannel analyzer, MCA) Inspector 2000 ของ CANBERRA

3.1.4 โปรแกรม Genie-2000 ของ CANBERRA

3.1.5 แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate) ของ FUJI FILM รุ่น BAS-SR ขนาด 20×40 cm²

3.1.6 เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพของ FUJI FILM รุ่น FLA-5100

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระตุ้นด้วย Am-241 แบ่งขั้นตอนการออกแบบเพื่อประกอบและทดสอบดังนี้

1. ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของมุมกระตุ้นและมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์
2. ศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิกับเป้าโลหะ
3. ศึกษาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของเป้าโลหะ
4. ศึกษาการกระตุ้นเสริมของธาตุที่นำมาใช้เป็นเป้าโลหะชนิดต่างๆ
5. การประกอบต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ
6. การทดสอบคุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิของต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น
7. การทดสอบประสิทธิภาพของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้น

การดำเนินงานวิจัยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดในข้อ 3.2.1 ถึง 3.2.7 และผลการ
ศึกษาวิจัย รายงานในบทที่ 4

3.2.1 การศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของมุมกระตุ้นและมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์

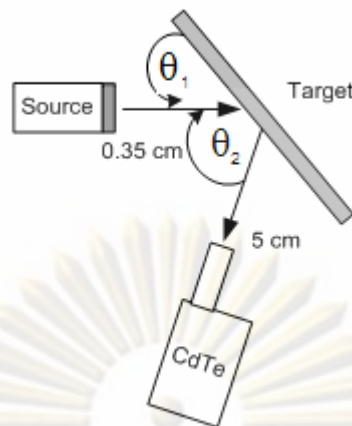
การทดลองนี้ได้เลือกธาตุดีบุกซึ่งมีเลขอะตอม 50 เนื่องจากหาง่าย ราคาไม่แพง ปรับรูปทรงง่ายและให้ผลได้ความเข้มรังสีค่อนข้างสูง เมื่อได้รับการกระตุ้นให้เกิดการเรืองรังสีเอกซ์จะได้พลังงานรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ Sn-K α 25.2 keV เหมาะกับการกระตุ้นธาตุตัวอย่างในกลุ่ม Zn-Pd (อนุกรมชั้น K)

การเตรียมแผ่นเป้าโลหะได้หล่อดีบุกและกึ่งเป็นแผ่นผิวเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ความหนา 1 mm ซึ่งเป็นความหนาที่มากกว่าความหนาวิกฤต (ค่าความหนาวิกฤตสามารถคำนวณได้จากสมการตั้งในภาคผนวก ข.1) นำมาใช้เป็นเป้าโลหะที่กระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ Am – 241 สำหรับการทดลองหามุมที่เหมาะสมในการกระตุ้นและมุมที่ตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ เพื่อให้ได้ความเข้มของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิมากที่สุด ก่อนที่จะนำไปใช้กระตุ้นตัวอย่างได้จัดอุปกรณ์วัดรังสีตั้งในรูปแบบที่ 3.1 โดยกำหนดให้

- θ_1 เป็นมุมกระตุ้นที่กระทำระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิกับเป้าโลหะ
- θ_2 เป็นมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระทำระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิกับหัววัดรังสี

ในการทดลองได้แปรค่ามุม θ_1 ได้แก่ 40° , 45° , 50° , 55° , 60° และ 70° และในแต่ละมุม θ_1 จะทำการแปรค่ามุม θ_2 ได้แก่ 60° , 65° , 70° , 75° , 80° , 85° , 90° และ 95° การเปลี่ยนมุมแต่ละครั้งจะบันทึกจำนวนนับรังสีสุทธิและจำนวนนับรังสีรวมของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้า Sn-K α เพื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิ (Peak Background Area) จากเป้าดีบุก ในแต่ละมุมที่เปลี่ยนไป โดยใช้ระยะตรวจวัดรังสีที่ 5 cm ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิจากเป้าดีบุกกับมุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 ต่างๆกัน ดังในรูปแบบที่ 4.1 ตัวอย่างสเปกตรัมความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุก ที่มุมกระตุ้น θ_1 เท่ากับ 55° โดยให้มุม θ_2 ที่ 75° และ 95° มาเปรียบเทียบแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก เนื่องจากเป็นมุมที่ให้ความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิมากที่สุดและน้อยที่สุด ตามลำดับ แสดงไว้ในรูปแบบที่ 4.2 สำหรับใช้ประกอบการวิเคราะห์เพื่อเลือกมุมที่เหมาะสมในการจัดระบบวัดรังสี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ระบบวัดในการทดลองหามุมที่เหมาะสม

3.2.2 การศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิกับเป้าโลหะ

จากผลการศึกษามุมที่เหมาะสมในการกระตุ้นและมุมตรวจวัดรังสีพบว่าที่มุมกระตุ้น θ_1 เท่ากับ 55° และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 เท่ากับ 75° จะให้รังสีเอกซ์ทุติยภูมิในเบื้องต้นสูงสุด และได้นำเงื่อนไขนี้มาศึกษาระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ Am-241 กับเป้าดีบุกแผ่นผิวเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ความหนา 1 mm โดยจัดอุปกรณ์วัดรังสีเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1 เพื่อทดลองหาโปรไฟล์ความเข้มรังสีที่ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับแผ่นเป้าดีบุก สำหรับใช้พิจารณาออกแบบระบบที่เหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดสิ่งรบกวนจากรูปแบบมุมจัดวาง (Geometry) ในการวัดรังสี

ในการทดลองได้แปรเปลี่ยนระยะห่างของต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับแผ่นเป้าดีบุกครั้งละ 0.2 cm เริ่มจาก 0.35 จนถึง 1.35 cm โดยกำหนดระยะตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุกที่ 5 cm ตลอดการทดลอง ซึ่งแต่ละระยะจะบันทึกจำนวนนับรังสีสุทธิและจำนวนนับรังสีรวมของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ พร้อมกับเปรียบเทียบแบกกราฟด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุกที่ระยะต่างกัน ได้ผลการทดลองหาระยะที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับแผ่นเป้าดีบุก ดังในตารางที่ 4.2 และเส้นกราฟรูปที่ 4.3

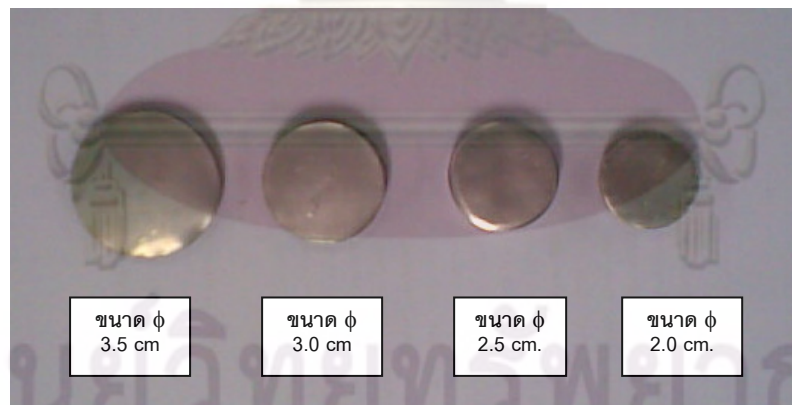
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3 การศึกษาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของเป้าโลหะ

นอกจากการศึกษาเงื่อนไขของมุมและระยะมุมที่เหมาะสมในการกระตุ้นและการตรวจวัดรังสีแล้ว สิ่งที่สำคัญในการออกแบบต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ คือ ขนาดและรูปร่างของเป้าโลหะที่มีความเหมาะสม ซึ่งมีผลต่อการกระจายความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิและให้คุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิสูง ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลในการออกแบบต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นที่มีขนาดเหมาะสม เล็กกะทัดรัด ดัดแปลงติดตั้งง่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาทดลองดังนี้

ก. การศึกษาผลของขนาดเป้าโลหะ

เตรียมแผ่นเป้าดีบุกแผ่นผิวเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 cm ความหนา 1 mm เป็นเป้าโลหะ ใช้มุมกระตุ้น θ_1 เท่ากับ 55° และแปรเปลี่ยนมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ θ_2 ที่ 60° ถึง 95° จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากแผ่นเป้าดีบุกที่ระยะ 5 cm เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นเป้าดีบุกที่มีขนาดต่างกัน กับความเข้มรังสี โดยใช้ระบบวิเคราะห์เดียวกับข้อ 3.2.1 บันทึกจำนวนนับรังสีสุทธิและจำนวนนับรังสีรวมของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากแผ่นเป้าดีบุก พร้อมกับเปรียบเทียบแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก ได้ผลการทดลองดังข้อมูลในตารางที่ 4.3 และเส้นกราฟรูปที่ 4.4



รูปที่ 3.2 เป้าดีบุกแผ่นผิวเรียบที่มีขนาดต่างๆ

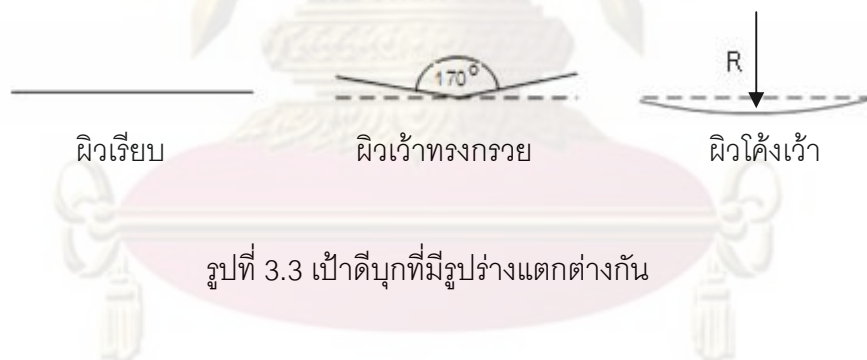
ข. การศึกษาความเหมาะสมของรูปร่างเป่าโลหะ

การทดลองนี้ได้ศึกษาผลได้ (Yield) ของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป่าโลหะที่มีรูปร่างแตกต่างกัน ได้แก่ ผิวเรียบ ผิวโค้งเว้าที่รัศมีความโค้ง (R) ต่างกันและผิวเว้าทรงกรวยที่มีขนาดมุมภายในแตกต่างกัน ดังในรูปที่ 3.3 เพื่อนำมาออกแบบรูปร่างของเป่าโลหะที่เหมาะสม

สำหรับเป่าโลหะรูปร่างต่างๆ ที่เตรียมได้มีดังนี้

1. โลหะดีบุกผิวเรียบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ความหนา 1 mm
2. โลหะดีบุกผิวโค้งเว้า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ความหนา 1 mm ที่มีขนาดรัศมีความโค้ง (R) ต่างๆ ได้แก่ 6 cm และ 10 cm
3. โลหะดีบุกผิวเว้าทรงกรวยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ความหนา 1 mm ที่มีขนาดมุมภายในต่างๆ ได้แก่ 140° , 150° , 160° และ 170°

ในการทดลองได้จัดระบบการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.2.1 เพื่อนำผลมาพิจารณาหาตำแหน่งมุมจัดวางที่ดีที่สุดของเป่าดีบุกในแต่ละรูปร่าง โดยใช้ระยะตรวจวัดรังสี 5 cm ได้ผลการทดลองดังข้อมูลในตารางที่ 4.4 และเส้นกราฟรูปที่ 4.5 จากนั้นนำผลได้ความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ ณ ตำแหน่งมุมจัดวางที่ดีที่สุดของเป่าดีบุกในแต่ละรูปร่างมาเปรียบเทียบกัน เพื่อเลือกรูปร่างเป่าโลหะที่เหมาะสมในการออกแบบระบบต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ



รูปที่ 3.3 เป่าดีบุกที่มีรูปร่างแตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.4 ผลการศึกษาการกระตุ้นเสริมของธาตุที่นำมาใช้เป็นเป้าโลหะชนิดต่าง ๆ

การทดลองนี้ได้เลือกใช้ธาตุหลัก 3 ชนิด ซึ่งนำมาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ ได้แก่

1. ธาตุดีบุก ซึ่งให้ค่าความเข้มรังสีหลักที่พลังงาน Sn-K α 25.27 keV เหมาะสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 30 ถึง 46 (Zn-Pd)
2. ธาตุตะกั่ว ซึ่งให้ค่าความเข้มรังสีหลักที่พลังงาน พลังงาน Pb-L α 10.55 keV และ Pb-L β 12.61 keV เหมาะสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 25 ถึง 30 (Mn-Zn)
3. ธาตุทองแดง ซึ่งให้ค่าความเข้มรังสีหลักที่พลังงาน พลังงาน Cu- K α 8.04 keV เหมาะสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 24 ถึง 27 (Cr-Co)

เหตุผลที่เลือกใช้ธาตุทั้ง 3 ชนิดนี้ เนื่องจากหาง่าย ราคาถูก และสามารถนำไปหลอมรวมเป็นโลหะผสมได้ง่าย แต่การนำธาตุเดี่ยวมาใช้ทำเป็นเป้าโลหะ เพื่อเป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากการกระตุ้นด้วยไอโซโทปรังสี Am-241 นั้น เมื่อนำมาคำนวณผลได้รังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากการกระตุ้นธาตุตะกั่วและทองแดง พบว่ามีค่าแอมพลิจูดของรังสีเอกซ์ที่ต่ำกว่าพลังงานกระตุ้น 59.54 keV ของไอโซโทปรังสี Am-241 ซึ่งให้ผลได้รังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่ค่อนข้างต่ำ (สมการคำนวณผลได้รังสีเอกซ์ทุติยภูมิของธาตุ Sn, Pb, และ Cu แสดงไว้ในภาคผนวก ข.2) ดังนั้นจึงทำการทดลองเพิ่มความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิด้วยหลักการกระตุ้นเสริม โดยอาศัยผลการกระตุ้นเสริมของรังสีเอกซ์เรืองจากธาตุที่ปนในธาตุหลักที่เลือกใช้ทำเป้า ซึ่งธาตุที่ผสมต้องมีพลังงานของรังสีเอกซ์เรืองมากกว่าค่าแอมพลิจูดของธาตุหลักที่ทำเป็นเป้าโลหะ เพื่อให้รังสีเอกซ์เรืองของธาตุที่ผสมไปกระตุ้นเสริมธาตุที่เป็นเป้าโลหะ ซึ่งอาจจะเป็นการกระตุ้นเสริมธาตุเดียวหรือสองธาตุ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการกระตุ้นเสริมจากการใช้เป้าโลหะผสม 2 ชนิด ได้แก่ เป้าตะกั่วผสมดีบุก เพื่อนำมาใช้เทียบกับเป้าโลหะเดี่ยวที่เป็นตะกั่ว และ เป้าทองแดงผสมตะกั่วและดีบุก เพื่อนำมาใช้เทียบกับเป้าโลหะเดี่ยวที่เป็นทองแดง โดยสัดส่วนผสมของเป้าโลหะผสมชนิดต่างๆ เป็น ดังนี้

1. เป้าตะกั่วผสมดีบุก อัตราส่วน Pb:Sn ได้แก่ 50:50 และ 70:30 %wt
2. เป้าทองแดงผสมตะกั่วและดีบุก อัตราส่วน Cu:Pb:Sn ได้แก่ 50:35:15 และ 70:21:9 %wt

เป้าโลหะที่เตรียมขึ้นทั้งโลหะเดี่ยวและโลหะผสม ได้นำมาทดลองกระตุ้นด้วยไอโซโทปรังสี Am-241 โดยใช้ขนาด รูปร่าง และมุมจัดวางที่เหมาะสมตามผลการทดลองที่ 3.2.3 และวัดความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะทั้งหมด ที่ระยะตรวจวัดรังสี 5 cm ได้ผลการทดลองแสดงไว้ดังข้อมูลในตารางที่ 4.5 จากนั้นนำเป้าโลหะที่เลือกนำมาทดสอบประสิทธิภาพในการกระตุ้นตัวอย่าง โดยแยกเป็น 2 กลุ่มพิจารณา ได้แก่

ก. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกระตุ้นตัวอย่างระหว่างเป้าตะกั่วผสมดีบุกที่สัดส่วนต่างๆ เทียบกับเป้าโลหะเดี่ยวที่เป็นตะกั่ว ซึ่งการทดลองนี้เลือกใช้สังกะสี (Zn) ความเข้มข้น 20 %wt เป็นตัวอย่าง ระยะห่างระหว่างตัวอย่างถึงเป้าโลหะ 5 cm รั้งสีเอกซ์กระตุ้นครอบคลุมพื้นที่วิเคราะห์ 7.1 cm^2 ได้ผลการทดลองดังข้อมูลในตารางที่ 4.6

ข. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกระตุ้นตัวอย่างระหว่างเป้าทองแดงผสมตะกั่วและดีบุกที่สัดส่วนต่างๆ เทียบกับเป้าโลหะเดี่ยวที่เป็นทองแดง ซึ่งการทดลองนี้เลือกใช้แมงกานีส (Mn) ความเข้มข้น 20 wt% เป็นตัวอย่าง ระยะห่างระหว่างตัวอย่างถึงเป้าโลหะ 5 cm รั้งสีเอกซ์กระตุ้นครอบคลุมพื้นที่วิเคราะห์ 7.1 cm^2 ได้ผลการทดลองดังข้อมูลในตารางที่ 4.7

3.2.5 การประกอบต้นกำเนิดรั้งสีเอกซ์ทุติยภูมิ

โครงสร้างของต้นกำเนิดรั้งสีเอกซ์ทุติยภูมิประกอบด้วย โครงบรรจุอุปกรณ์ อุปกรณ์ยึดต้นกำเนิดรั้งสีกระตุ้น อุปกรณ์ควบคุมการเปลี่ยนเป้าโลหะและช่องบังค้ำลำรั้งสี ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ในการออกแบบส่วนต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

ก. โครงบรรจุอุปกรณ์ทำด้วยแผ่นอะลูมิเนียมหนา 5 mm แยกชิ้นส่วนประกอบ ขนาด $9.5 \times 11.5 \times 0.5 \text{ cm}^3$ (กว้าง x ยาว x สูง) เพื่อสามารถทำเกลียวและถอดประกอบได้ง่าย

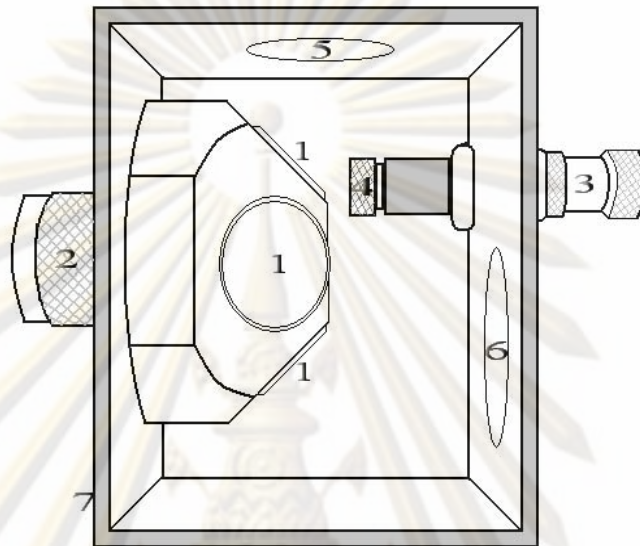
ข. อุปกรณ์ควบคุมการเปลี่ยนเป้าโลหะรวมทั้งสกรูยึดเป้าเลือกใช้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุหลัก เนื่องจากพลังงานรั้งสีเอกซ์เฉพาะตัวของอะลูมิเนียมบางส่วนที่ถูกกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรั้งสีปฐมภูมิจะไม่ไปรบกวนสเปกตรัมของธาตุที่วิเคราะห์ อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบาและทนการกัดกร่อนในบรรยากาศปกติ ในส่วนของแผ่นหมุนออกแบบให้รองรับจานเป้าโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ได้ 4 ชนิด

ค. อุปกรณ์ยึดต้นกำเนิดรั้งสีปฐมภูมิออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนระยะกระตุ้นและรองรับไอโซโทปรั้งสี Am-241 แบบจุด (point source) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 cm มีกำบังรั้งสีป้องกันการรั่วไหลของรั้งสี

ง. ช่องทางออกของรั้งสีเอกซ์ทุติยภูมิออกแบบช่องบังค้ำลำรั้งสีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm และทำมุม 75° กับตัวอย่างวิเคราะห์ เพื่อให้สามารถประกอบเข้ากับระบบวิเคราะห์ตัวอย่างได้สะดวก

จ. ช่องสำหรับติดตั้งหัววัดรั้งสี เพื่อตรวจวัดรั้งสีเอกซ์เรืองจากตัวอย่างวิเคราะห์ ออกแบบโดยเปิดช่องให้สามารถปรับระยะและตำแหน่งมุมตรวจวัดรั้งสีได้ตามสะดวก

จ. มุมกระตุ้นและมุมตรวจวัดรังสีระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ เป้าโลหะและหัววัดรังสี รวมถึงระยะห่างของต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ เป้าโลหะและหัววัดรังสี เป็นไปตามเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง เพื่อให้ได้คุณภาพรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ สำหรับกระตุ้นตัวอย่างที่ออกมาจากเป้าโลหะที่ดีที่สุด

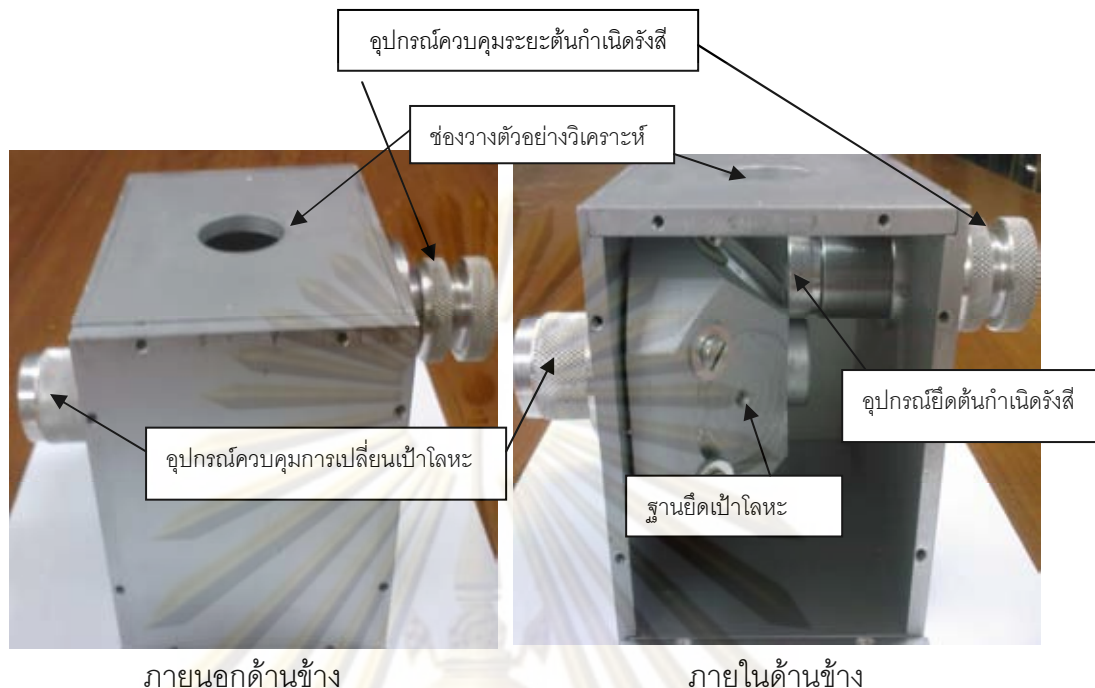


ภายในด้านข้าง

รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในของระบบที่ออกแบบขึ้น

- หมายเหตุ
- หมายเลข 1 คือ สฐานสำหรับยึดเป้าโลหะ
 - หมายเลข 2 คือ อุปกรณ์ควบคุมการเปลี่ยนเป้าโลหะ
 - หมายเลข 3 คือ อุปกรณ์ควบคุมการเปลี่ยนระยะต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ
 - หมายเลข 4 คือ อุปกรณ์ยึดต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ
 - หมายเลข 5 คือ ช่องทางออกของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ
 - หมายเลข 6 คือ ช่องสำหรับติดตั้งหัววัดรังสี
 - หมายเลข 7 คือ โครงบรรจุอุปกรณ์ทำด้วยแผ่นอะลูมิเนียม

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับเปลี่ยนเป้าโลหะเพื่อเลือกพลังงานสำหรับกระตุ้นตัวอย่างให้เหมาะสมกับธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้ เมื่อประกอบจนเสร็จสมบูรณ์จะมีลักษณะดังภาพภายในรูปที่ 3.5 มีน้ำหนัก 1,790 กรัม สามารถนำไปจัดระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธีเรืองรังสีเอกซ์ที่กระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิได้สะดวก



รูปที่ 3.5 ต้นกำเนิตรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้นเมื่อประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.2.6 การทดสอบคุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากต้นกำเนิตรังสีที่พัฒนาขึ้น

ได้ทดสอบคุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากต้นกำเนิตรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพรังสีด้วยแผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) ร่วมกับการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานของธาตุที่ใช้ทำเป้าโลหะ เพื่อประเมินพื้นที่ครอบคลุมบริเวณกระตุ้นรังสีเอกซ์เรืองบนผิวตัวอย่าง การกระจายตัวของความเข้มรังสีและความเข้มรังสีบนพื้นที่หวังผล สำหรับใช้ในการออกแบบและจัดระบบวิเคราะห์ธาตุ ตลอดจนกำหนดขนาดพื้นที่ตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้

ในการทดสอบแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีกับค่า PSL การประเมินคุณภาพรังสีเอกซ์ทุติยภูมิและสเปกตรัมรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ

ก. การเปรียบเทียบจำนวนนับรังสีกับค่า PSL

การเปรียบเทียบเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PSL กับ จำนวนนับรังสีรวมทั้ง PSL สูงสุด ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวดำเนินการโดยใช้แผ่นตะกั่วขนาด $9.5 \times 13.5 \text{ cm}^2$ ความหนา 5 mm จะช่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm วางปิดช่องทางออกของลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุก เพื่อบังคับให้ลำรังสีมีพื้นที่จำกัด จากนั้นวางแผ่นบันทึกภาพ เพื่อถ่ายภาพที่ผ่านช่องบังคับ ที่ความเข้มรังสีต่างกัน โดยใช้วิธีเพิ่มเวลาในการถ่ายภาพ ได้แก่ 5, 10, 15, 20, และ 25 นาที นำผลไปอ่านค่า PSL เปรียบเทียบสัมพันธ์กับค่านับรังสีที่เวลาเดียวกันของระบบวัดรังสีเอกซ์

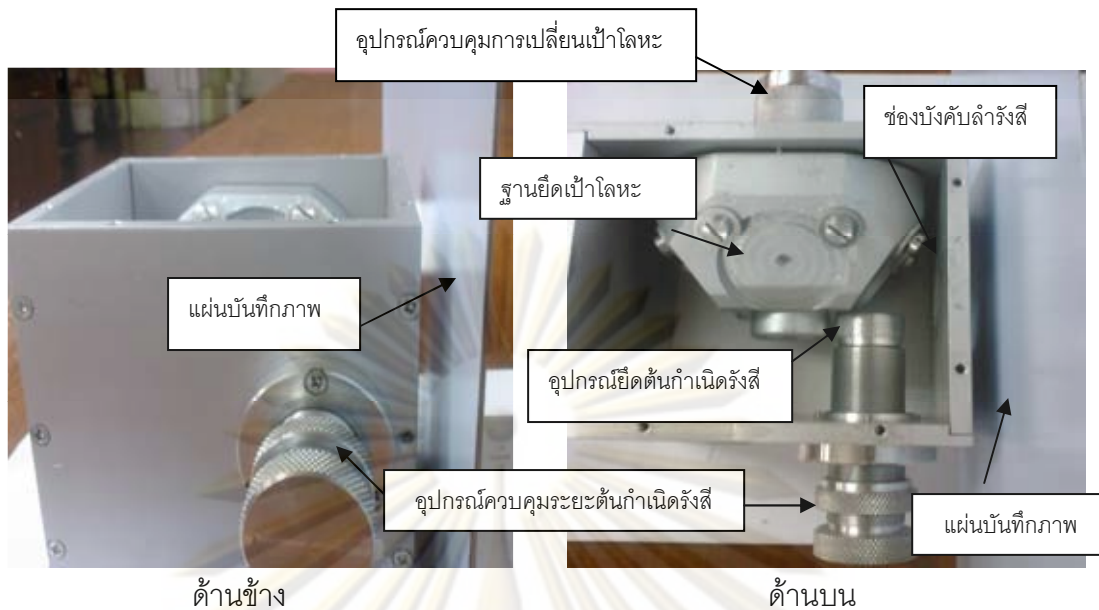
แบบนับรวม(Integral counting) ด้วยการคำนวณปรับเทียบลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุก ดังแสดงในภาคผนวก ก.4 ได้ผลการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 4.6 และเส้นกราฟในรูปที่ 4.7

ข. การประเมินคุณภาพรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ

จัดระบบถ่ายภาพเช่นเดียวกับการปรับเทียบจำนวนนับรังสีรวมจากความเข้มรังสี โดยเปิดช่องทางออกของลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุก ซึ่งเปิดช่องลำรังสีทุติยภูมิขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 เซนติเมตร วางแผ่นบันทึกภาพที่ระยะห่างผลการกระตุ้นที่ 5 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.6 จากนั้นนำไปสแกนภาพถ่ายลำรังสีและอ่านค่า PSL ซึ่งจะแปรผันตรงกับความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าที่ตกกระทบ โดยการอ่านโปรไฟล์ของลำรังสีเอกซ์ จะอ่านค่าตามแนวตัดขวางทแยงหลายแนว แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะโปรไฟล์ของลำรังสีเอกซ์ เพื่อประเมินพื้นที่ครอบคลุมบริเวณกระตุ้นรังสีเอกซ์เรื่องบนผิวตัวอย่าง การกระจายตัวของความเข้มรังสีและความเข้มรังสีบนพื้นที่หวังผลที่จะกำหนดขนาดพื้นที่ตัวอย่างที่ระยะต่างๆ ได้ผลการทดลองซึ่งแสดงภาพถ่ายในรูปที่ 4.8 แนวสแกนและโปรไฟล์ที่สแกนอ่านค่าได้ในรูปที่ 4.9 รวมทั้งการกระจายตัวของความเข้มรังสีบนพื้นที่ครอบคลุมการใช้งานในรูปที่ 4.10 และผลแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของความเข้มรังสีบนพื้นที่ครอบคลุมการใช้งานของเป้าดีบุก ดังในตารางที่ 4.8

ค. การวิเคราะห์สเปกตรัมรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ

ได้วัดสเปกตรัมรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่เกิดจากเป้าโลหะทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Sn, Pb:Sn (70:30), และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 พลังงาน 59.54 keV ดังรูปที่ 4.12 นำมาเปรียบเทียบกับการวัดสเปกตรัมของต้นกำเนิดรังสี Am-241 ดังรูปที่ 4.11 โดยใช้มุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 เป็น 55° และ 75° ตามลำดับ ระยะตรวจวัดรังสี 5 cm เวลาในการวัด 60 วินาที เช่นเดียวกันตลอดการทดลอง เพื่อพิจารณาความเข้มรังสีที่ฟีกต่อแบกกราวด์ ในการประเมินคุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่เกิดจากเป้าโลหะ ทั้ง 3 ชนิด สำหรับนำไปใช้กระตุ้นตัวอย่าง



รูปที่ 3.6 การใช้แผ่นบันทึกภาพทดสอบคุณภาพของลำรังสีเอกซ์ทูดิยภูมิ

3.2.7 การทดสอบประสิทธิภาพของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทูดิยภูมิที่พัฒนาขึ้น

ในการทดสอบประสิทธิภาพของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทูดิยภูมิ ได้จัดระบบวิเคราะห์ธาตุด้วยหัววัดรังสีเอกซ์แบบกึ่งตัวนำ (Semiconductor Detector) ชนิด CdTe (Cadmium Telluride) รุ่น XR-100 พร้อมระบบวัดรังสีรุ่น PX2T ของ AMPTEK โดยมีระยะและมุมระหว่างตัวอย่างกับต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทูดิยภูมิ 5.0 cm, 75° ตามลำดับ

ได้เตรียมตัวอย่างทดสอบ 3 ชนิด ได้แก่ ผง MnO_2 , ZnO และ $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ อัดเป็นแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm โดยใช้ผงกรดบอริก (H_3BO_3) เป็นตัวยึดเหนี่ยว ที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสตรอนเชียม (Sr), สังกะสี (Zn) และ แมงกานีส (Mn) ได้แก่ 5, 10, 15, 20, และ 25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (wt%) การทดลองนี้ใช้ต้นกำเนิดรังสี Am-241 กระตุ้นตัวอย่างแบบปฐมภูมิ เปรียบเทียบกับการกระตุ้นแบบทุติยภูมิ โดยการเลือกใช้เป้าโลหะที่เหมาะสมกับตัวอย่างในการวิเคราะห์ธาตุ คือ Sr ถูกกระตุ้นด้วยเป้าโลหะ Sn, Zn ถูกกระตุ้นด้วยเป้าโลหะ Pb:Sn (70:30), และ Mn ถูกกระตุ้นด้วยเป้าโลหะ Cu:Pb:Sn (50:35:15) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก.5 และ ภาคผนวก ก.6

จากสเปกตรัมของผลการวิเคราะห์ดังกล่าวได้เปรียบเทียบอัตราส่วนพีคต่อแบกกราวด์ของตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการกระตุ้นแบบปฐมภูมิกับการกระตุ้นแบบทุติยภูมิ ได้ผลดังกราฟแท่งในรูปที่ 4.13 และจากผลวิเคราะห์ที่ความเข้มข้น 5 wt% ของสารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ได้นำมาประเมินความไวในการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนพีคต่อแบกกราวด์ได้ผลดังตารางที่ 4.9 เส้นกราฟรูปที่ 4.14

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลองในงานวิจัยเพื่อพัฒนาต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระตุ้นด้วย Am-241 ได้ผลการทดลองและข้อมูลต่างๆ เป็นลำดับดังนี้

4.1 ผลการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของมุมกระตุ้นและมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์

จากการทดลองแปรเปลี่ยนมุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ θ_2 แล้ววัดความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ได้ผลดังในตารางที่ 4.1 เมื่อนำไปพลอตเป็นโปรไฟล์เส้นกราฟจำนวนนับรังสีสุทธิเปรียบเทียบกับมุมต่างๆ กัน ดังในรูปที่ 4.1 พบว่าที่มุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ θ_2 เป็น 55° และ 75° ตามลำดับ มีจำนวนนับรังสีสุทธิ (Net Peak Area) ของความเข้มรังสีเอกซ์สูงสุด

เมื่อพิจารณาสเปกตรัมรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุกที่มุมกระตุ้น θ_1 เท่ากับ 55° และมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ θ_2 เท่ากับ 75° กับ 95° เปรียบเทียบกัน พบว่าค่าแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิ (Peak Background Area) จากผลการกระตุ้นเป้าดีบุกด้วยรังสีปฐมภูมิจาก Am-241 ที่มุมดังกล่าวมีค่าต่ำใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.2 ดังนั้นเงื่อนไขที่เหมาะสมของมุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ θ_2 จึงเลือกที่ 55° และ 75° ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก (Sn-K α) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 ที่มุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ θ_2

θ_1	θ_2	Net Peak Area (cpm)	Peak Background Area (cpm)
40	60	224339	43981
	65	319788	23183
	70	348140	16585
	75	349969	17557
	80	331691	29403
	85	256259	93859
	90	206109	116907
	95	152294	114285

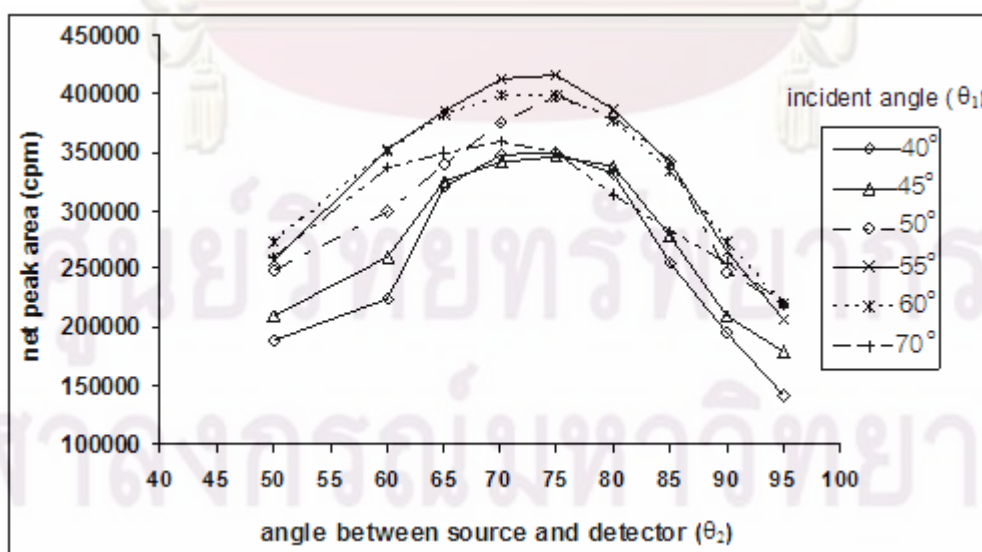
ตารางที่ 4.1(ต่อ) แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก (Sn-K α) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 ที่มุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ θ_2

θ_1	θ_2	Net Peak Area (cpm)	Peak Background Area (cpm)
45	60	261059	19477
	65	325604	13183
	70	340641	16585
	75	345593	16828
	80	337459	19075
	85	278995	54115
	90	200814	115145
	95	198734	100261
50	60	300105	25265
	65	339360	27320
	70	375870	23557
	75	397395	18410
	80	379757	29440
	85	342489	46595
	90	247935	101962
	95	219376	88019
55	60	352849	15066
	65	385244	18529
	70	413479	10898
	75	415882	10837
	80	386906	25814
	85	340891	45506
	90	235824	105340
	95	207057	98283

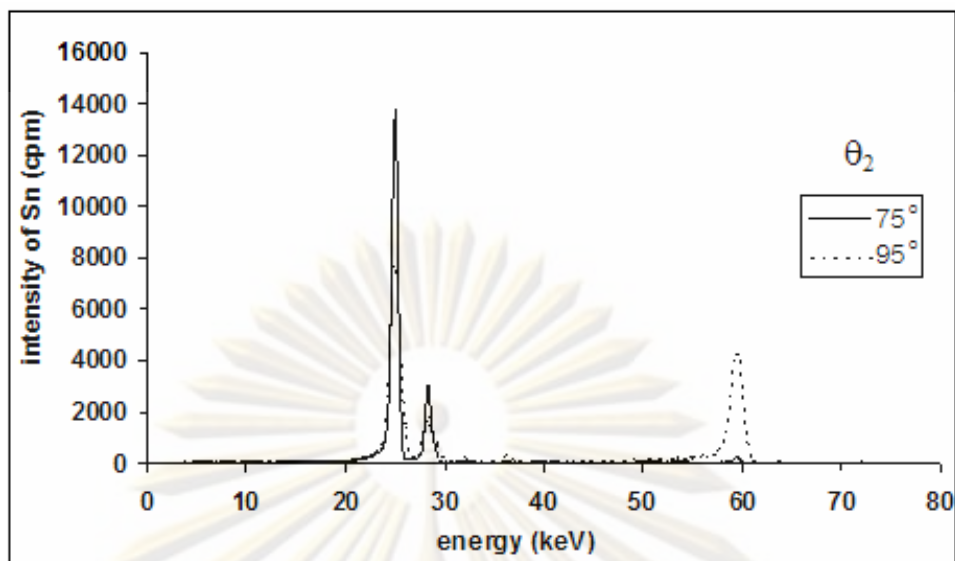
ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1(ต่อ) แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก (Sn-K α) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 ที่มุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ θ_2

θ_1	θ_2	Net peak area (cpm)	Peak Background Area (cpm)
60	60	351830	15491
	65	381312	17071
	70	398167	20108
	75	398047	22356
	80	377724	29991
	85	333779	45235
	90	272596	42582
	95	219558	63244
70	60	336938	15613
	65	349452	18346
	70	358731	18103
	75	350341	17557
	80	313919	17253
	85	272984	32332
	90	265316	31452
	95	251132	57883



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิจากเป้าดีบุกกับมุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 ต่างๆกัน ที่ระยะตรวจวัด 5 cm



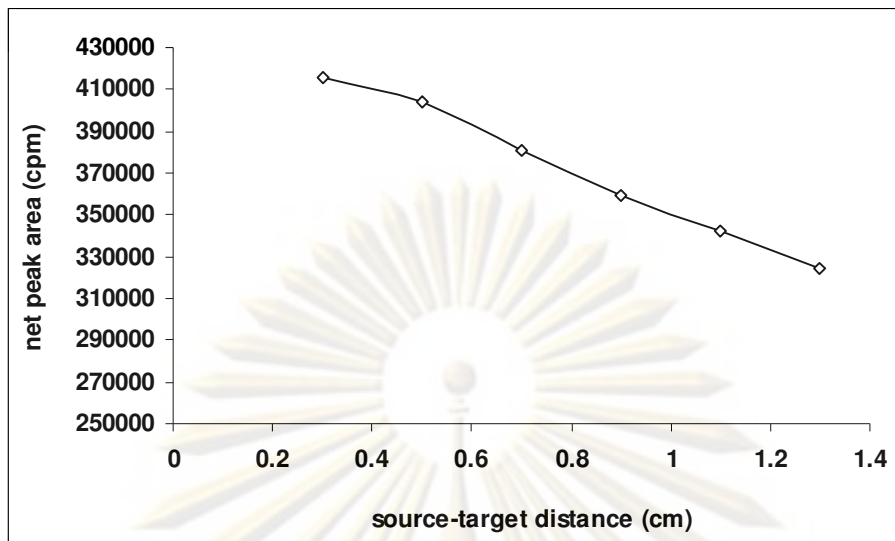
รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมความเข้มรังสีจากเป้าดีบุกที่มุมกระดาน θ_1 เท่ากับ 55° และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 เท่ากับ 75° และ 95° ที่ระยะตรวจวัด 5 cm

4.2 ผลการศึกษาระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดรังสีปฏุมุมกับเป้าโลหะ

จากการทดลองแปรเปลี่ยนระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับเป้าดีบุกแผ่นผิวเรียบ โดยใช้มุม θ_1 เท่ากับ 55° และมุม θ_2 เท่ากับ 75° ที่ระยะห่างในการตรวจวัด 5 cm ได้ผลดังตารางที่ 4.2 และเห็นกราฟรูปที่ 4.3 พบว่าระยะที่เหมาะสม คือ 0.35 cm เป็นระยะที่ให้ค่าความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากแผ่นเป้าดีบุกมากที่สุดและมีค่าแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุกน้อย

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก (Sn-K α) ที่ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับเป้าดีบุกต่างกัน

Distance (cm)	Net Peak Area (cpm)	Peak Background Area (cpm)
0.35	415882	10837
0.55	403823	19868
0.75	380727	20463
0.95	359084	26184
1.15	342265	30184
1.35	334157	35999



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี Am-241 ถึงแผ่นเป้าดีบุก ที่ระยะตรวจวัด 5 cm

4.3 ผลการศึกษาขนาดและรูปร่างที่เหมาะสมของเป้าโลหะ

ในการทดลองเพื่อหาความเหมาะสมของขนาดและรูปร่างรวมถึงลักษณะรูปร่างของเป้าโลหะ ที่สามารถให้ความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิมากที่สุด ได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาขนาดของแผ่นจานเป้า

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดเป้าดีบุกแผ่นผิวเรียบกับความเข้มรังสี โดยใช้มุมกระตุ่น θ_1 เท่ากับ 55° ใช้ระยะในการตรวจวัด 5 cm ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 พร้อมเส้นกราฟในรูปที่ 4.4 จากข้อมูลนี้ พบว่าขนาดเป้าที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ที่มุมตรวจวัดรังสี θ_2 เท่ากับ 75° ให้ค่าความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุกมากที่สุดและมีค่าแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุกน้อย ดังนั้นขนาดเป้าที่เหมาะสมในการเลือกใช้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm

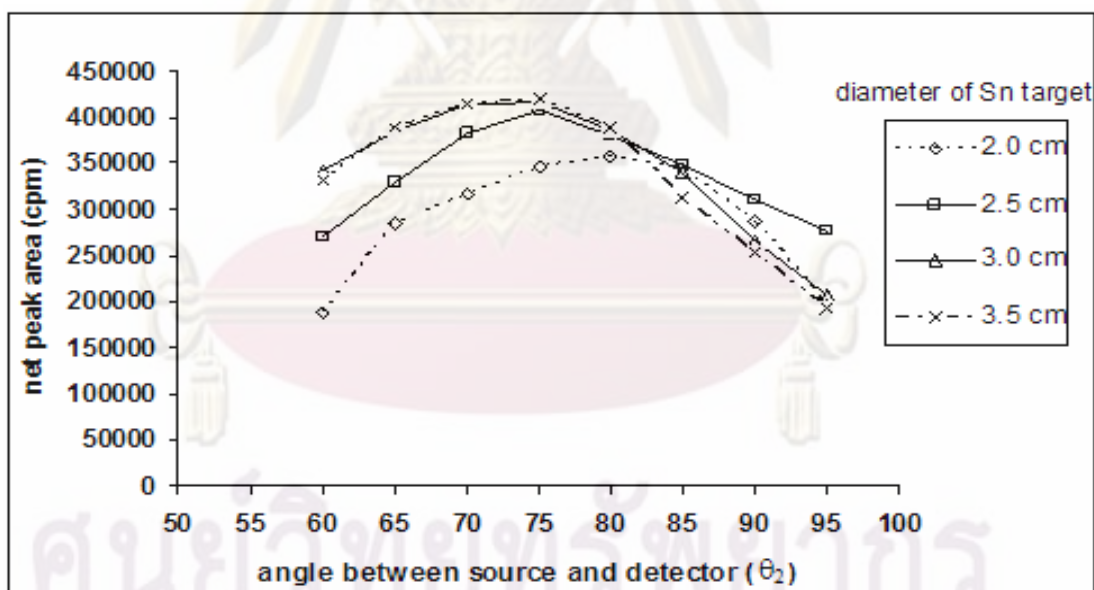
ตารางที่ 4.3 แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก (Sn-K α) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน

Diameter of Sn target (cm)	θ_2	Net Peak Area (cpm)	Peak Background Area (cpm)
2.0	60	189051	67260
	65	286121	26597
	70	316523	36934
	75	346338	38433
	80	357485	21689
	85	343845	31378
	90	286610	62244
	95	195430	99711
2.5	60	271011	27060
	65	328613	57525
	70	382546	18103
	75	408585	14711
	80	380866	29837
	85	349348	31742
	90	311612	37048
	95	206138	102210
3.0	60	342849	25066
	65	385244	18529
	70	413479	10898
	75	415882	10837
	80	386906	23814
	85	340891	45506
	90	265824	75340

ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีทางการแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิและแบกกราวด์ของรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุก (Sn-K α) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน

Diameter of Sn target (cm)	θ_2	Net Peak Area (cpm)	Peak Background Area (cpm)
3.5	60	331341	36767
	65	388947	14897
	70	414083	9505
	75	419730	8650
	80	389583	26912
	85	313377	67213
	90	253466	80710
	95	192769	120697



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีสุทธิจากเป้าดีบุก (Sn-K α) ที่มีขนาดต่างๆ กับมุมตรวจวัดรังสี θ_2 ที่มุมกระต้น θ_1 เท่ากับ 55° ระยะตรวจวัด 5 cm

4.3.2 ผลการศึกษารูปร่างที่เหมาะสมของเป้าโลหะ

จากผลการศึกษารูปร่างที่เหมาะสมของเป้าโลหะ โดยใช้เป้าดีบุกที่มีรูปร่างแตกต่างกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm มุมกระตุ้น θ_1 เท่ากับ 55° ระยะตรวจวัดรังสี 5 cm ได้ความสัมพันธ์ของลักษณะรูปร่างเป้าดีบุกกับความเข้มรังสี เป็นไปตามตารางที่ 4.4 พร้อมเส้นกราฟในรูปที่ 4.5 จากข้อมูลนี้ พบว่ารูปร่างของเป้าดีบุกที่ให้ความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิมากที่สุดคือ เป้าแผ่นผิวเว้าทรงกรวยที่มีมุมภายใน 170° เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุกแผ่นผิวเรียบ จะเห็นว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความเข้มรังสีน้อยกว่า 2 %

4.4 ผลการศึกษาการกระตุ้นเสริมของธาตุที่นำมาใช้เป็นเป้าโลหะชนิดต่างๆ

จากการทดลองเพิ่มความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ โดยการกระตุ้นเสริมเป้าโลหะที่มีผลได้ของความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิก่อนข้างต่ำ ด้วยหลักการกระตุ้นเสริมของธาตุที่ปนในโลหะผสม ซึ่งได้เลือกศึกษาเป้าที่เตรียมขึ้นทั้งโลหะเดี่ยวและโลหะผสม ได้แก่ Sn, Pb, Pb:Sn, Cu, และ Cu:Pb:Sn เพื่อใช้พัฒนาต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241

ผลการทดลองวัดความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะดังกล่าว ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.5 พบว่าความเข้มรังสีเอกซ์เอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะเดี่ยว ได้แก่ Sn, Pb, และ Cu นั้นเป้าโลหะ Sn ให้ความเข้มรังสีเอกซ์เอกซ์ทุติยภูมิจากการเรืองรังสีสูง เนื่องจากค่าแอมพลิจูดของ Sn อยู่ใกล้กับพลังงานที่ใช้กระตุ้นมากกว่า เมื่อเทียบกับค่าแอมพลิจูดของเป้าโลหะเดี่ยว Pb และ Cu ให้ความเข้มรังสีเอกซ์เอกซ์ของ Pb และ Cu ก่อนข้างต่ำ

เมื่อพิจารณาเป้าโลหะผสม Pb:Sn และ Cu:Pb:Sn ซึ่งใช้ธาตุ Sn มาเป็นตัวกระตุ้นเสริมให้กับธาตุ Pb และใช้ Pb กับ Sn มาเป็นตัวกระตุ้นเสริมให้กับธาตุ Cu ตามลำดับ พบว่ามีความเข้มรังสีเอกซ์เอกซ์ของ Pb และ Cu เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเป้าโลหะเดี่ยวของ Pb และ Cu ดังตารางที่ 4.5 และในตารางที่ 4.6 ได้พิจารณาเฉพาะเป้าโลหะผสม Pb:Sn ที่สัดส่วนต่างๆ เทียบกับเป้าโลหะเดี่ยว Pb โดยวิเคราะห์ตัวอย่างสังกะสีที่ความเข้มข้น 20 %wt พบว่าผลวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะผสม Pb:Sn (70:30) มีค่าอัตราส่วนฟีกต่อแบกกราวด์ (Net peak area/Background) ดีที่สุด คือ 4.18 ทำให้มีความไวในการวิเคราะห์ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับเป้าโลหะเดี่ยว Pb คือ มีค่าอัตราส่วนฟีกต่อแบกกราวด์เพียง 3.00 และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างแมงกานีสที่ความเข้มข้น 20 %wt โดยใช้เป้าโลหะผสม Cu:Pb:Sn ที่สัดส่วนต่างๆ เทียบกับเป้าโลหะเดี่ยว Cu ดังตารางที่ 4.7 พบว่าเป้า Cu:Pb:Sn (50:35:15) มีค่าอัตราส่วนฟีกต่อแบกกราวด์ดีที่สุด คือ 2.19 ซึ่งมีความไวในการวิเคราะห์ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับเป้าโลหะเดี่ยว Cu คือมีค่าอัตราส่วนฟีกต่อแบกกราวด์เพียง 1.07

สรุปได้ว่าเป่าโลหะเดี่ยวและเป่าโลหะผสมในสัดส่วนที่เตรียมได้ ให้ค่าอัตราส่วนฟีกต่อ
แบกกาวด์ สูงที่สุด ได้แก่ Sn, Pb:Sn (70:30) และ Cu:Pb:Sn (50:35:15)

ตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนนับรังสีรวมจากเป่าดีบุก (Sn- K_{α}) ที่มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน

θ_1	θ_2	S	R 6	R 10	a	b	c	d
45	60	280536	317796	288351	338367	345979	333951	362396
	65	338787	334495	309090	374663	380781	379094	389350
	70	357226	353422	319069	405586	411625	400870	403060
	75	356534	354247	319552	417303	415523	416158	405523
	80	362421	347854	316615	410772	406047	410128	388439
	85	353110	345691	313253	396745	387419	395950	372376
	90	325959	326995	307941	361561	344293	335159	330245
	95	278995	314773	285295	324353	314671	293998	249101
50	60	325370	318351	325524	356320	337655	375637	361612
	65	366680	335524	340545	389555	383448	404478	382347
	70	399427	347877	348529	428448	418064	421698	393982
	75	415805	346111	344628	429993	426770	422595	396206
	80	409197	339116	338077	416702	413939	403248	374999
	85	389084	337295	331314	396395	390835	378979	347464
	90	349897	318096	333203	348998	345944	326366	288487
	95	307395	296995	317796	330129	309120	272447	270478
55	60	367915	334495	317796	373166	370035	361940	349659
	65	403773	374611	366196	405024	395528	384796	367390
	70	424377	385750	371108	425809	411857	400104	375310
	75	426719	380140	363597	431993	412894	402646	370021
	80	410720	370063	352013	418702	394477	377457	344981
	85	386397	354090	337248	392011	370519	342964	308257
	90	341164	318351	309039	342989	322657	292639	283593
	95	305340	292116	274611	309120	302747	263460	265388
60	60	282802	326995	325524	363047	356689	328722	270439
	65	367321	381107	377038	388914	378737	348044	328006
	70	398383	395040	378153	412918	395983	364386	344590
	75	418275	393240	366165	414434	396685	365698	348827
	80	420403	378785	350331	393966	376029	342103	336671
	85	410715	364773	337344	365720	346938	295763	304656
	90	379014	317796	315691	314526	294437	255729	291170
	95	315178	303422	241055	299787	209625	222199	242232

หมายเหตุ R 6 คือ แผ่นผิวเว้า รัศมีความโค้ง 6 cm

R 10 คือ แผ่นผิวเว้า รัศมีความโค้ง 10 cm

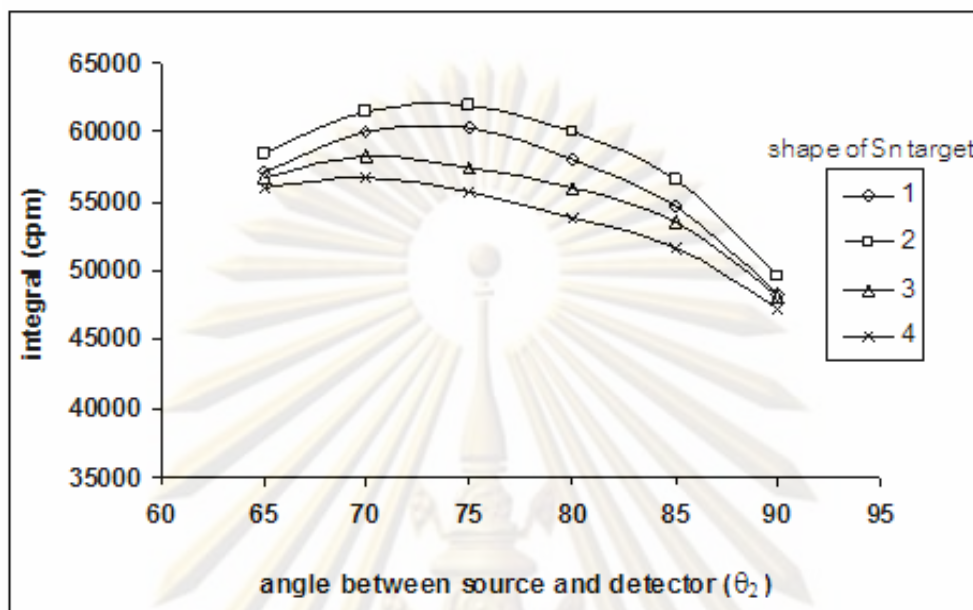
a คือ แผ่นผิวเว้าทรงกรวยมุมภายใน 170°

c คือ แผ่นผิวเว้าทรงกรวยมุมภายใน 150°

b คือ แผ่นผิวเว้าทรงกรวยมุมภายใน 160°

d คือ แผ่นผิวเว้าทรงกรวยมุมภายใน 140°

S คือ แผ่นผิวเรียบ



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีรวมจากเป้าดีบุกที่มีรูปร่างแตกต่างกัน กับมุมตรวจวัดรังสี θ_2 ต่างๆ ที่มุมกระตุ่น θ_1 เท่ากับ 55° ที่ระยะตรวจวัด 5 cm

- หมายเหตุ
- 1 คือ แผ่นผิวเรียบ
 - 2 คือ แผ่นผิวเว้าทรงกรวยมุมภายใน 170°
 - 3 คือ แผ่นผิวเว้า รัศมีความโค้ง 6 cm
 - 4 คือ แผ่นผิวเว้า รัศมีความโค้ง 10 cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 แสดงจำนวนนับรังสีสุทธิจากเป้าโลหะเดี่ยวและโลหะผสมชนิดต่างๆ ที่กระตุ้นโดยตรงด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241

Energy Target	Sn-K α 25.27 keV	Sn-K β 28.48 keV	Pb-L α 10.55 keV	Pb-L β 12.61 keV	Cu- K α + K β 8.04 keV
Sn	78698 \pm 280	17180 \pm 131	-	-	-
Pb	-	-	3126 \pm 55	4687 \pm 68	-
Pb:Sn (70:30)	17650 \pm 133	4386 \pm 66	3857 \pm 62	5093 \pm 69	-
Pb:Sn (50:50)	13373 \pm 116	3466 \pm 59	3554 \pm 60	4882 \pm 62	-
Cu	-	-	-	-	4479 \pm 67
Cu:Pb:Sn (70:21:9)	9856 \pm 99	2521 \pm 50	485 \pm 22	806 \pm 28	4289 \pm 65
Cu:Pb:Sn (50:35:15)	14369 \pm 120	3653 \pm 60	510 \pm 23	873 \pm 30	5155 \pm 72

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิและอัตราส่วนพีคต่อแบกกราวด์ของการวิเคราะห์ตัวอย่างสังกะสี (Zn-K α) ที่ความเข้มข้น 20 %wt

Target	Net peak area (cpm)	Net peak area/Bg
Pb	308.40 \pm 6.32	3.00 \pm 0.021
Sn:Pb (30:70)	567.60 \pm 8.00	4.18 \pm 0.014
Sn:Pb (50:50)	419.63 \pm 7.51	3.45 \pm 0.018

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีสุทธิและอัตราส่วนพีคต่อแบกกราวด์ของการวิเคราะห์ตัวอย่างแมงกานีส (Mn-K α +K β) ที่ความเข้มข้น 20 %wt

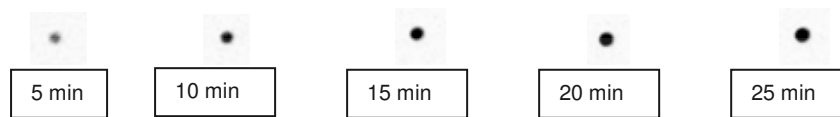
Target	Net peak area (cpm)	Net peak area/Bg
Cu	49.86 \pm 2.11	1.07 \pm 0.034
Sn:Pb:Cu (9:21:70)	65.64 \pm 1.88	1.99 \pm 0.029
Sn:Pb:Cu (15:35:50)	63.68 \pm 1.71	2.19 \pm 0.027

4.5 ผลการทดสอบคุณภาพของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากต้นกำเนิดรังสีที่พัฒนาขึ้น

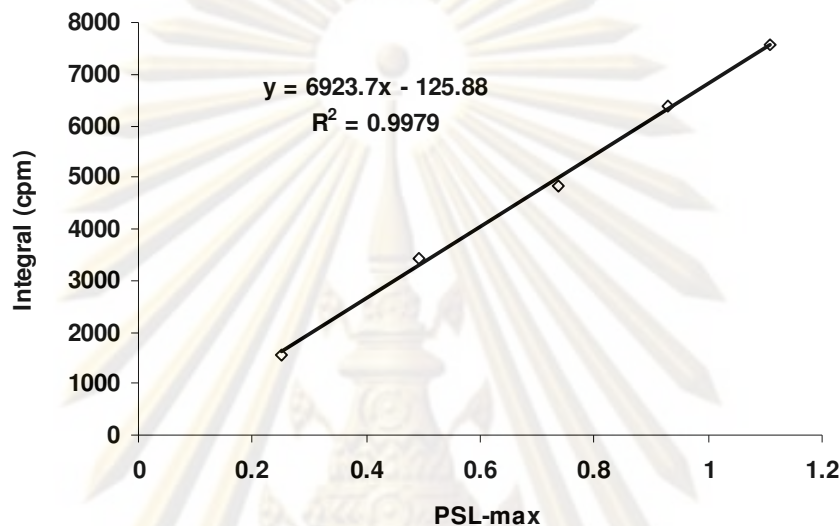
การทดสอบแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การปรับเทียบจำนวนนับรังสีกับค่า PSL การประเมินคุณภาพรังสีเอกซ์ทุติยภูมิและสเปกตรัมรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้า ได้ผลดังนี้

ก. การปรับเทียบจำนวนนับรังสีกับค่า PSL

ผลการทดลองถ่ายภาพรังสี ได้ภาพที่ความเข้มรังสีต่างกัน ดังในรูปที่ 4.6 เมื่อนำไปอ่านค่า PSL จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับรังสีรวมกับค่า PSL ดังเส้นกราฟในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นเส้นกราฟปรับเทียบระหว่างค่า PSL กับจำนวนนับรังสีรวมที่ความเข้มรังสีต่างๆ



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ทุติยภูมิผ่านช่องบังคับขนาดเล็ก ที่ความเข้มรังสีต่างกัน



รูปที่ 4.7 เส้นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า PSL กับจำนวนนับรังสีรวมที่ความเข้มรังสีต่างๆ

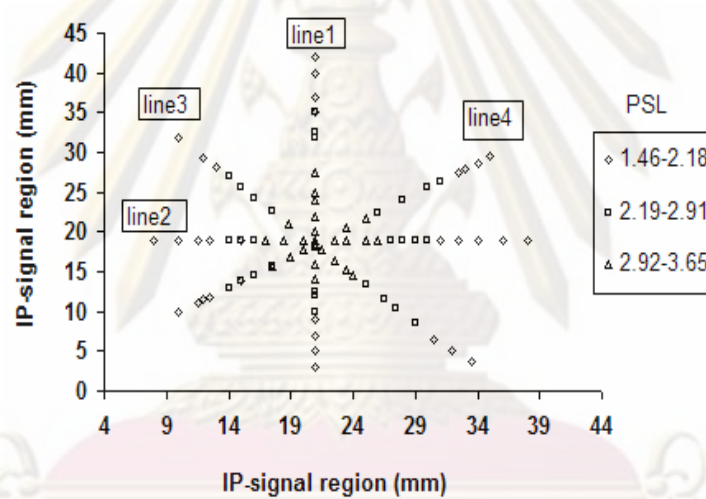
ข. การประเมินคุณภาพรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ

ภาพถ่ายการกระจายลำรังสีทุติยภูมิจากเป้าดีบุกบริเวณหัวงผลกระตุ้นตัวอย่างด้วยแผ่นบังทีภาพที่ระยะ 5 cm แสดงดังรูป 4.8 จะเห็นว่าพื้นที่ค่อนข้างเป็นวงรี เมื่อนำภาพถ่ายไปสแกน จะได้โปรไฟล์ลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าดีบุก บริเวณลำรังสีครอบคลุมพื้นที่ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ในการพิจารณาการกระจายตัวของความเข้มรังสีบนพื้นที่หัวงผลครอบคลุมการกระตุ้นตัวอย่าง หาได้จากการอ่านโปรไฟล์การสแกนในแนวตัดกัน 4 แนว ได้ผลดังรูปที่ 4.9 และภาพขยายโปรไฟล์เฉพาะส่วนพื้นที่หัวงผลครอบคลุมลำรังสีในรูปที่ 4.10

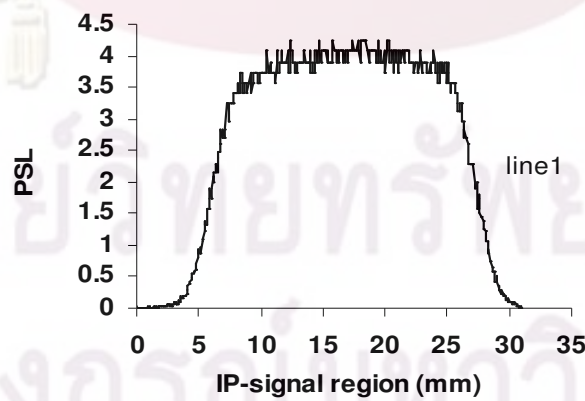
จากโปรไฟล์ส่วนขยายพื้นที่หัวงผลรูปที่ 4.10 พบว่าการกระจายความเข้มรังสีบนพื้นที่มีความเบี่ยงเบนความเข้มรังสีเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่หัวงผลการใช้กระตุ้นตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.8 เมื่อพิจารณาพื้นที่ครอบคลุมเต็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm พบว่าการกระจายความเข้มรังสีมีค่าเบี่ยงเบนน้อยกว่า 6.31 %SD



รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายพื้นที่ลำรังสีจากแผ่นเป่าดีบุกที่ระยะ 5 cm



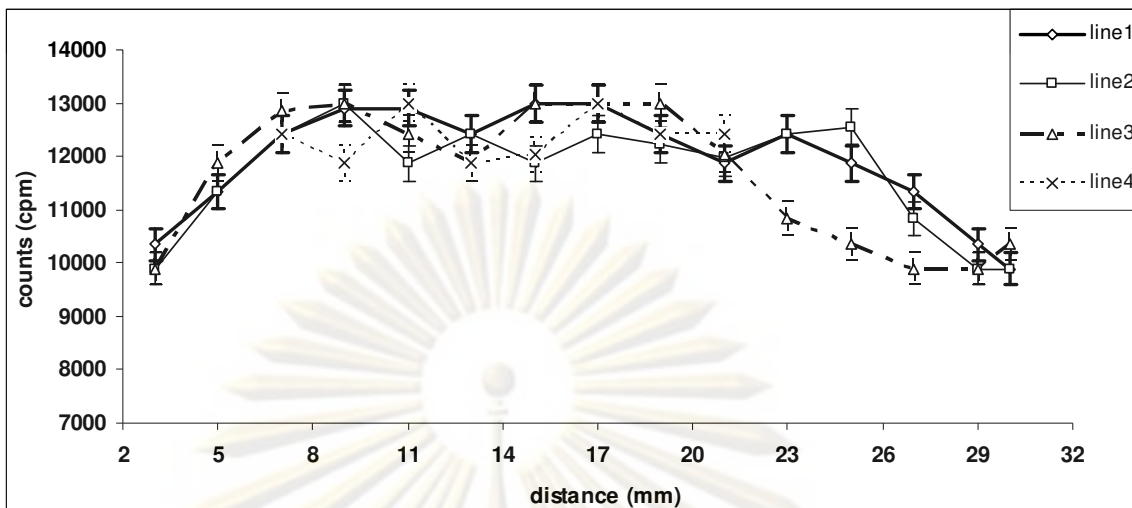
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.9 แสดงการกระจายลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป่าดีบุกที่ระยะ 5 cm

(ก) แนวสแกน และ(ข) โปรไฟล์ลำรังสี



รูปที่ 4.10 แสดงการกระจายตัวของความเข้มรังสีบนพื้นที่ครอบคลุมเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ที่ระยะ 5 cm

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของความเข้มรังสีบนพื้นที่ครอบคลุมการใช้งานของเป้าดีบุกที่ระยะ 5 cm

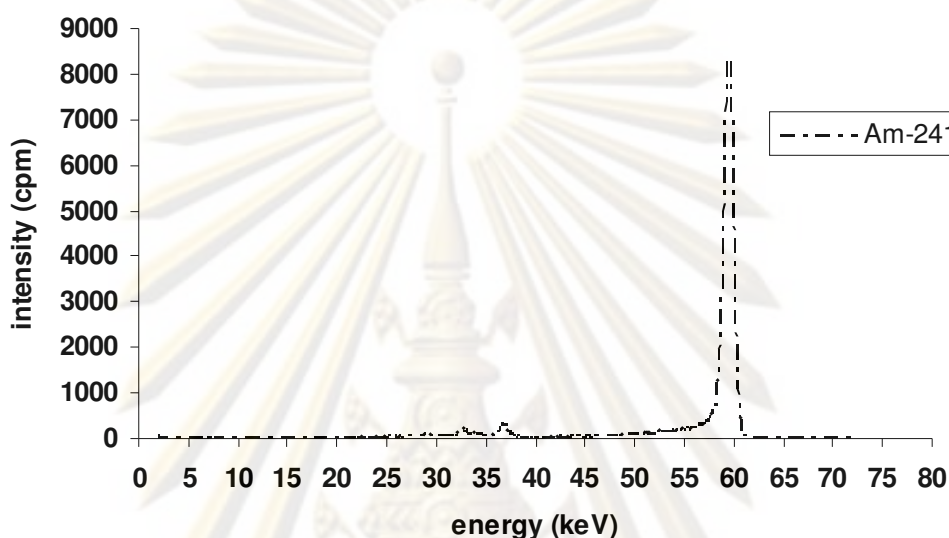
Distance (cm)	ϕ (cm)	Area (cm ²)	%SD
5	0.5	0.19	1.57
	1.0	0.79	2.27
	1.5	1.77	3.11
	2.0	3.14	3.43
	2.5	4.91	5.52
	3.0	7.07	6.31

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. สเปกตรัมต้นกำเนิดรังสีปฏุนิวทริ

ผลการวัดสเปกตรัมรังสีปฏุนิวทริ Am-241 ความแรงแรังสี 3.63 GBq ที่มุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 เป็น 55° และ 75° ตามลำดับ ระยะห่างในการตรวจวัด 5 cm ใช้เวลาในการวัด 60 วินาที ได้ผลสเปกตรัมรังสีเอกซ์ดังรูปที่ 4.11 จะมีพลังงานกระตุ้นตัวอย่างที่ 59.54 keV



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมความเข้มรังสีของต้นกำเนิดรังสีปฏุนิวทริ Am-241

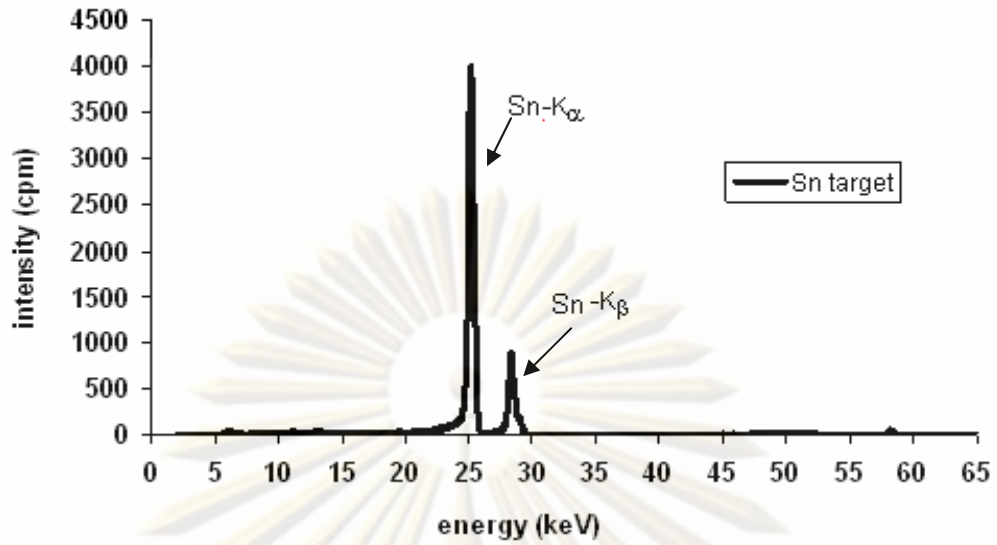
ง. สเปกตรัมรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป่าโลหะ

ในการประเมินคุณภาพของรังสีกระตุ้นทุติยภูมิ จากผลการวัดสเปกตรัมความเข้มรังสีที่เกิดจากกระตุ้นเป่าโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ Sn, Pb:Sn (70:30), และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) ด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 พลังงาน 59.54 keV ที่มุมกระตุ้น θ_1 และมุมตรวจวัดรังสี θ_2 เป็น 55° และ 75° ระยะตรวจวัดรังสี 5 cm ใช้เวลาในการวัด 60 วินาที ได้ผลสเปกตรัมรังสีเอกซ์ทุติยภูมิแสดงไว้ดังรูปที่ 4.12 ความเข้มรังสีที่ฟีกต่อแบกกวาดสูง และให้พลังงานกระตุ้นดังนี้

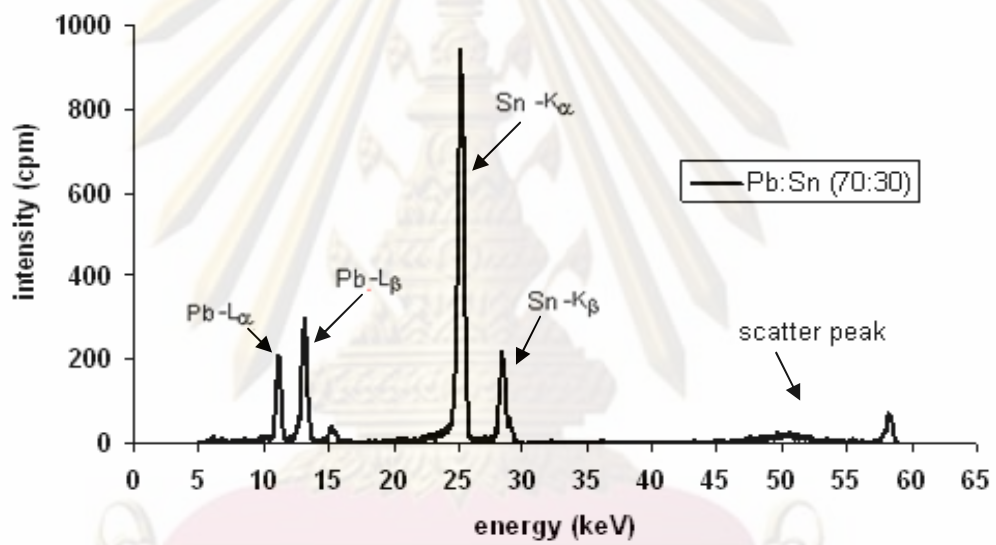
เป่าโลหะ Sn ให้พลังงานกระตุ้นที่ Sn-K α 25.27 keV และ Sn-K β 28.48 keV

เป่าโลหะผสม Pb:Sn (70:30) ให้พลังงานกระตุ้นที่ Pb-L α 10.55, Pb-L β 12.61 keV, และ Sn-K α 25.27, Sn-K β 28.48 keV

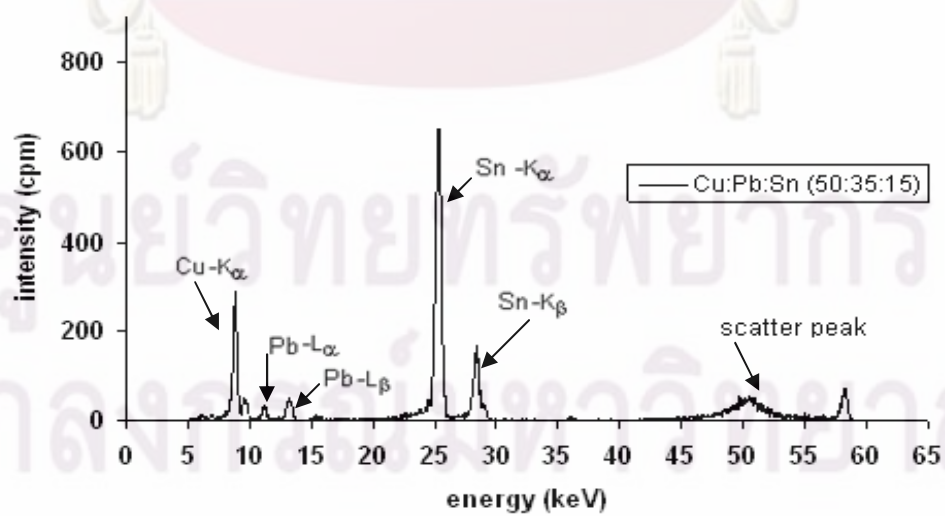
เป่าโลหะผสม Cu:Pb:Sn (50:35:15) ให้พลังงานกระตุ้นที่ Cu-K α 8.04 keV, Pb-L α 10.55, Pb-L β 12.61 keV, และ Sn-K α 25.27, Sn-K β 28.48 keV



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.12 สเปกตรัมความเข้มรังสีของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ (ก) Sn, (ข) Pb:Sn (70:30), และ(ค) Cu:Pb:Sn (50:35:15)

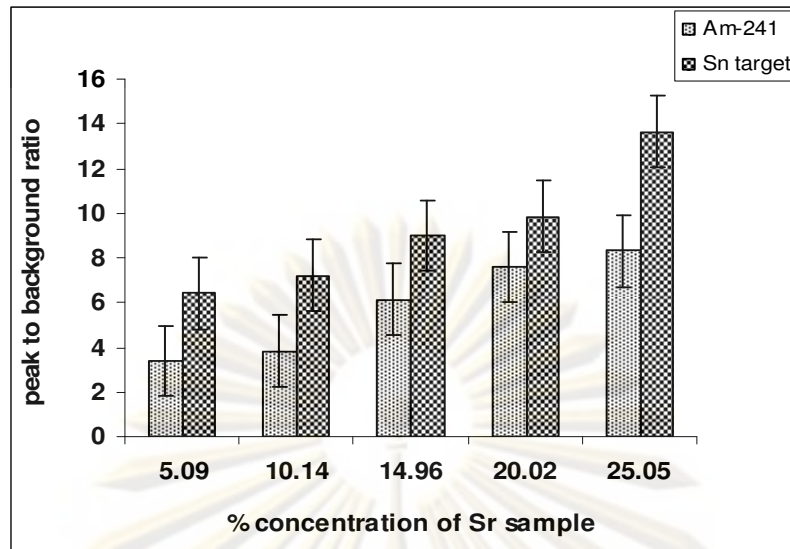
4.6 การทดสอบประสิทธิภาพของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง Sr, Zn, และ Mn ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ได้แก่ 5, 10, 15, 20, และ 25 %wt โดยการกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ Sn, Pb:Sn (70:30) และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) ตามลำดับ ได้ผลดังกราฟแท่งในรูปที่ 4.13 พบว่า ที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นจะให้อัตราส่วนฟีกต่อแบกกาวด์ของตัวอย่าง Sr, Zn, และ Mn ที่ดีขึ้นมากกว่าการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิจาก Am-241 จากผลการวิเคราะห์นี้ จึงได้เลือกพิจารณาผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง Sr, Zn, และ Mn ที่ความเข้มข้น 5 %wt เพื่อนำมาเปรียบเทียบความไวในการวิเคราะห์ ได้ผลดังตารางที่ 4.9 และในรูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่างที่กระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับกระตุ้นโดยตรงด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิจาก Am-241

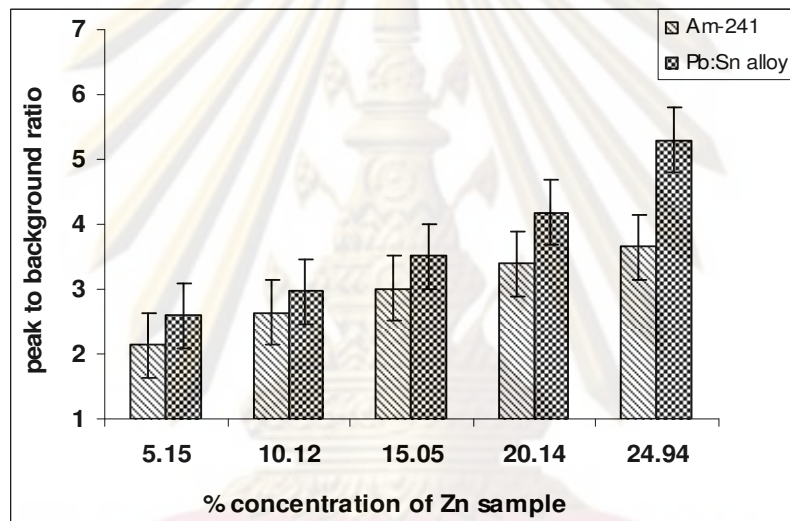
พบว่า ในการกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ Sn, Pb:Sn (70:30) และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) ให้อัตราส่วนฟีกต่อแบกกาวด์ของตัวอย่าง Sr, Zn, และ Mn คือ 6.39, 2.60, และ 1.17 ตามลำดับ ซึ่งให้ความไวในการวิเคราะห์ที่ดีกว่า เมื่อเทียบกับการกระตุ้นตัวอย่างชนิดเดียวกันด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิจาก Am-241 ที่ให้ค่าอัตราส่วนฟีกต่อแบกกาวด์ของตัวอย่าง คือ 3.38, 2.14, และ 0.50 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบจำนวนนับรังสีและอัตราส่วนฟีกต่อแบกกาวด์ของตัวอย่างวิเคราะห์ ที่ความเข้มข้น 5 %wt จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ Am-241 กับกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ

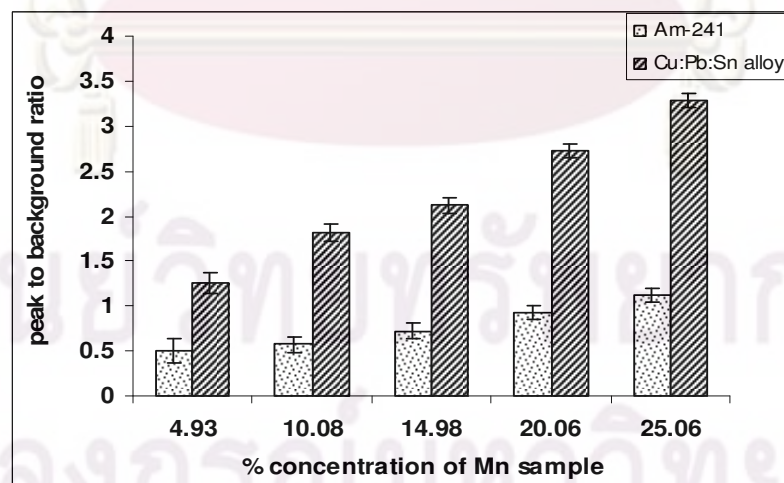
Sample	Exciter	Net peak area (cpm)	Integral (cpm)	Net Peak Area/Bg
Sr	Sn target	1440.30 ± 15.70	1665.60 ± 40.81	6.39 ± 0.01
	Am-241	3696.30 ± 45.83	4661.40 ± 68.27	3.38 ± 0.02
Zn	Pb:Sn (70:30) target	269.03 ± 5.76	372.68 ± 19.30	2.60 ± 0.02
	Am-241	490.20 ± 12.55	719.20 ± 26.82	2.14 ± 0.03
Mn	Cu:Pb:Sn (50:35:15) target	34.40 ± 1.73	63.76 ± 7.98	1.17 ± 0.05
	Am-241	83.55 ± 5.50	251.33 ± 15.85	0.50 ± 0.07



(ก)

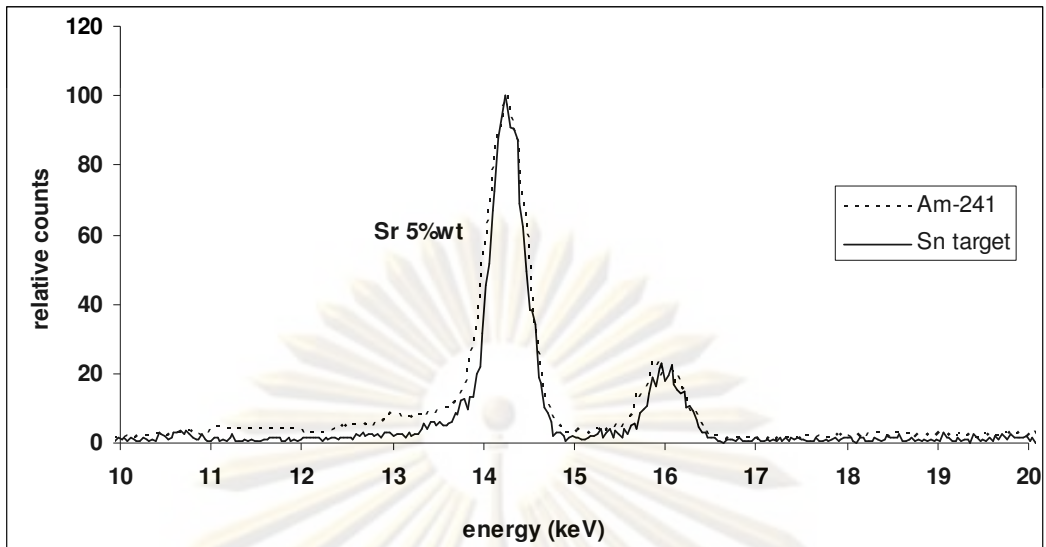


(ข)

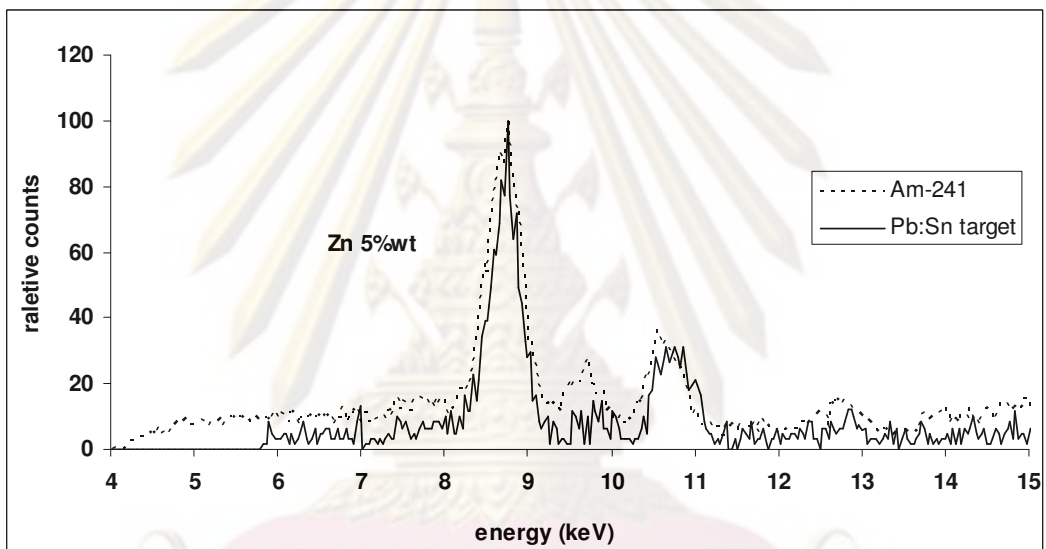


(ค)

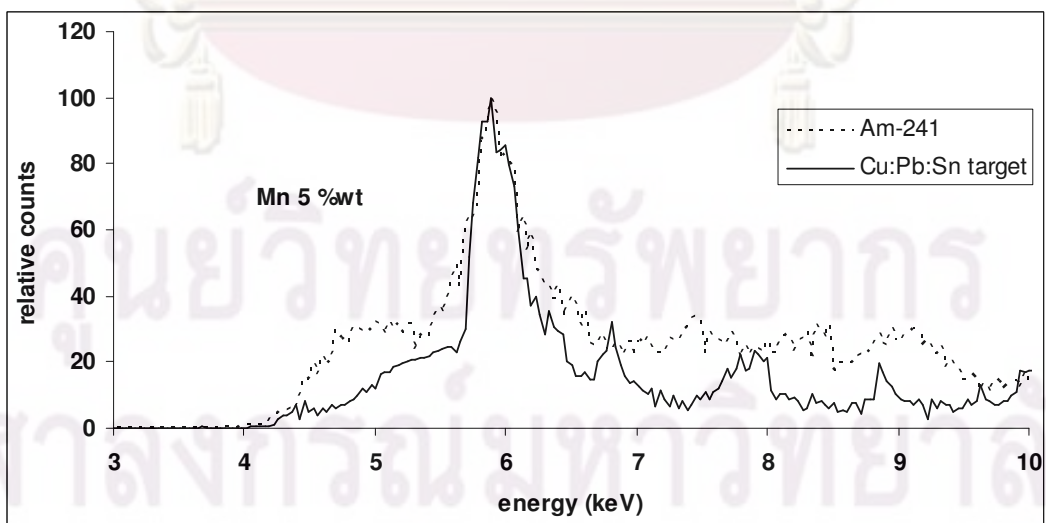
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบอัตราส่วนฟีกต่อแบคกราวด์ของตัวอย่าง (ก) Sr, (ข) Zn, และ (ค) Mn ที่กระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับการกระตุ้นด้วยเป้าโลหะ Sn, Pb:Sn (70:30), และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบสเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของตัวอย่าง (ก) Sr, (ข) Zn, และ (ค) Mn ที่ความเข้มข้น 5%wt จากการกระตุ้นแบบปฐุมภูมิกับการกระตุ้นแบบทุติยภูมิ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการศึกษาข้อมูลเพื่อใช้ออกแบบต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีอะเมริเซียม-241 แบบจุด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเรืองรังสีเอกซ์ร่วมกับระบบวัดรังสีรุ่น PX2T และหัววัดรังสีรุ่น XR-100T ของ AMPTEK พบว่า

ก. ความสัมพันธ์ของมุมกระตุ้นและมุมตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิเทียบกับระนาบเป้าในเงื่อนไขที่เหมาะสมมีค่า 55° และ 75° ตามลำดับ ระยะที่เหมาะสมระหว่างต้นกำเนิดรังสีที่ใกล้กับแผ่นเป้าโลหะมากที่สุด คือ 0.35 cm และระยะตรวจวัดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ 5 cm

ข. ขนาดและรูปร่างของเป้าโลหะที่ทำให้ความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเป้าผิวเรียบและผิวโค้งเว้า พบว่าลักษณะรูปร่างที่เหมาะสมเป็นเป้าโลหะแบบผิวเว้าทรงกรวยมุมภายใน 170° ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 cm

ค. ผลการศึกษาความเหมาะสมของธาตุที่นำมาใช้เป็นเป้าโลหะที่กระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีอะเมริเซียม-241 โดยตรง พบว่า เป้าโลหะเดี่ยวและเป้าโลหะผสม 3 ชนิด ได้แก่ Sn, Pb:Sn (70:30), และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) เนื่องจากหาง่าย ราคาประหยัด ขึ้นรูปหรือเตรียมส่วนผสมได้ง่าย การนำเป้าโลหะผสมมาใช้เพื่อหวังผลการกระตุ้นเสริม ซึ่งจะเป็นผลให้ได้ความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิสูง เมื่อเทียบกับเป้าโลหะเดี่ยว Pb และ Cu เนื่องจากรังสีเอกซ์เรืองของ Sn ที่เป็นองค์ประกอบในเป้าโลหะผสม Pb:Sn มีพลังงานสูงกว่าค่าแอมซอร์บชันเอ็ดจ์ของ Pb ขณะที่รังสีเอกซ์เรืองของ Sn และ Pb ที่เป็นองค์ประกอบในเป้าโลหะผสม Cu:Pb:Sn มีพลังงานสูงกว่าค่าแอมซอร์บชันเอ็ดจ์ของ Cu ดังนั้น Pb และ Cu ที่มีแอมซอร์บชันเอ็ดจ์ที่ห่างไกลจากพลังงานกระตุ้น คือพลังงาน 59.54 keV จากต้นกำเนิดรังสี Am-241 สามารถที่จะถูกกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เรืองได้ด้วยอีกทางหนึ่ง นอกเหนือจากที่ถูกกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 เพียงอย่างเดียว ทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิของ Pb (10.5, 12.6 keV) และ Cu (8.0 keV) จากเป้า Pb:Sn (70:30) และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) มีค่าสูงขึ้น คือ 3,857, 5,093 และ 5,155 cpm ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะเดี่ยว Pb (10.5, 12.6 keV)

และ Cu (8.0 keV) คือ 3,126, 4,687 และ 4,479 cpm ตามลำดับ ผลดังกล่าวเป็นไปตามผลการทดลอง ซึ่งพลังงานของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่ปล่อยจาก Pb (10.5, 12.6 keV) และ Cu (8.0 keV) มีค่าใกล้เคียงและสูงกว่าค่าแอมพลิจูดของตัวอย่างวิเคราะห์ Zn (8.6 keV) และ Mn (5.898 keV) ตามลำดับ

5.1.2 ในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลการศึกษาผลการกระตุ้นเป้าโลหะ เพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ มาพัฒนาระบบต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิสำเร็จรูป ตามเงื่อนไขที่เหมาะสม และข้อจำกัดทางเทคนิคในการติดตั้งอุปกรณ์ ทำให้ได้ระบบที่มีลักษณะทางกายภาพที่มีขนาด $9.5 \times 11.5 \times 0.5 \text{ cm}^3$ (กว้าง x ยาว x สูง) มีน้ำหนัก 1,790 กรัม และมีลักษณะเฉพาะทางเทคนิคดังนี้

ก. อุปกรณ์ยึดต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ สามารถปรับเปลี่ยนระยะกระตุ้นได้ ซึ่งระยะกระตุ้นที่ใกล้ที่สุด คือ 0.35 cm และระยะทางของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิไปกระตุ้นตัวอย่างวิเคราะห์ คือ 5 cm

ข. อุปกรณ์ควบคุมการเปลี่ยนเป้าโลหะ ออกแบบให้รองรับจานเป้าโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm ได้ 4 ชนิด เป้าโลหะที่ติดตั้งไว้มี 3 ชนิด ได้แก่ เป้าโลหะเดี่ยว Sn เหมาะสำหรับวิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 30 ถึง 46, เป้าโลหะผสม Pb:Sn (70:30) เหมาะสำหรับวิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 25 ถึง 30, และ Cu:Pb:Sn (50:35:15) เหมาะสำหรับวิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมในช่วง 24 ถึง 27

ค. ช่องทางออกของลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ ออกแบบช่องบังคับลำรังสีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 cm และแนวรังสีทำมุม 75° กับตัวอย่างวิเคราะห์ โดยช่องสำหรับติดตั้งหัววัดรังสีออกแบบฝาเปิดให้สามารถปรับระยะและตำแหน่งมุมตรวจวัดรังสีได้ตามสะดวก

ง. โครงสร้างของต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิทั้งหมดที่ออกแบบขึ้น สามารถถอดประกอบชิ้นส่วนได้ เพื่อให้สะดวกในการประกอบเข้ากับระบบวิเคราะห์ตัวอย่าง

5.1.3 จากการทดสอบคุณภาพของระบบต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ โดยการใช้แผ่นบันทึกภาพมาวางในตำแหน่งทางออกของลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะ พบว่าผลการสแกนภาพถ่ายลำรังสีเอกซ์ทุติยภูมิของเป้าดีบุกที่ระยะห่างจากเป้า 5 cm ให้พื้นที่ลำรังสีค่อนข้างเป็นวงรีและการกระจายตัวของความเข้มรังสีที่เปิดช่องลำรังสีทุติยภูมิขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 เซนติเมตร ซึ่งพื้นที่ครอบคลุมเต็มที่ในการกระตุ้นตัวอย่างมีขนาด 7.1 cm^2 โดยการกระจายตัวของความเข้มรังสีมีค่าเบี่ยงเบนน้อยกว่า 6.31 %SD

5.1.4 จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของการกระตุ้นตัวอย่างด้วยต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะที่พัฒนาขึ้น เทียบกับต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ Am-241 โดยตรง จะเห็นได้ว่าการใช้รังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากเป้าโลหะเป็นต้นกำเนิดรังสีเพื่อกระตุ้นวิเคราะห์ตัวอย่าง มีผลให้ค่าแบกก้าวต่ำลง เมื่อเทียบกับการกระตุ้นโดยตรงด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 เนื่องจากการใช้เป้าโลหะให้ค่าอัตราส่วนฟีกต่อแบกก้าวของตัวอย่างวิเคราะห์ที่สูงกว่า ทำให้มีความไวในการวิเคราะห์ที่ดีกว่า ดังสรุปในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงอัตราส่วนฟีกต่อแบกก้าวได้จากผลวิเคราะห์ตัวอย่างธาตุบางชนิด เปรียบเทียบระหว่างการกระตุ้นโดยตรงด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-241 กับต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่พัฒนาขึ้น

ชื่อธาตุตัวอย่าง	Net Peak Area to Background Ratio	
	เป้าโลหะ	Am-241 source
สตรอนเชียม (Sr)	6.39 ± 0.01	3.38 ± 0.02
สังกะสี (Zn)	2.60 ± 0.02	2.14 ± 0.03
แมงกานีส (Mn)	1.17 ± 0.05	0.50 ± 0.07

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ระบบกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่กระตุ้นด้วย Am-241 ที่พัฒนาขึ้นยังมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก เนื่องจากต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบเปิดไม่ใช้ช่องบังคับลำรังสี ทำให้ต้องออกแบบเป้าโลหะมีขนาดใหญ่ ถ้าเปลี่ยนต้นกำเนิดปฐมภูมิให้มีความแรงรังสีสูงและใช้ช่องบังคับลำรังสีปฐมภูมิจะช่วยให้จัดระยะระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ได้ใกล้และและมุมวัดรังสีแคบลง สามารถลดขนาดระบบให้เล็กลง ประกอบกับการปรับโครงสร้างระบบใช้แผ่นอะลูมิเนียมบางจะมีน้ำหนักเบาลงได้ เพื่อออกแบบระบบที่ใช้กับงานวิเคราะห์ภาคสนาม

5.2.2 การใช้ต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิให้เป็นแบบจุดขนาดเล็กและมีความเข้มรังสีสูงกระตุ้นเป้าโลหะมีขนาดเล็ก สามารถเพิ่มจำนวนเป้าโลหะได้มากและเลือกธาตุหรือธาตุผสมได้มากขึ้น เพื่อให้สามารถเลือกใช้พลังงานกระตุ้นตัวอย่างวิเคราะห์ที่เหมาะสมและมีความไวในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความหลากหลาย อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ได้

5.2.3 รูปร่างของเป่าโลหะที่ใช้งานสามารถใช้แบบแผ่นผิวเรียบได้ เนื่องจากผลเปรียบเทียบความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิจากการกระตุ้นเป่าระหว่างแผ่นผิวเว้าทรงกรวยกับแผ่นผิวเรียบให้ผลไม่แตกต่างกันมาก สะดวกในการขึ้นรูปและประหยัดกว่า

5.2.4 ควรมีการศึกษาสัดส่วนของธาตุที่ผสมในโลหะผสม ในการนำเป่าโลหะมาใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ ด้วยการเสริมผลได้รังสีเอกซ์ทุติยภูมิ จากหลักการกระตุ้นเสริมธาตุให้เพิ่มความเข้มรังสีเอกซ์เรื่องที่ถูกกระตุ้นด้วยต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับเป็นฐานข้อมูลต่อไปในอนาคตในการเตรียมเป่าผลิตรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ เพื่อเพิ่มความเข้มรังสีเอกซ์ทุติยภูมิต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] I. Han, L. Demir, Y. Şahin. *Measurement of K X-ray fluorescence cross-sections, fluorescence yields and intensity ratios for some elements in the atomic range $22 \leq Z \leq 68$* . Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, Atatürk University, 25240 Erzurum, Turkey, 2007.
- [2] Arif Baştuğ. *L_I, L_α, L_β and L_γ X-ray fluorescence cross-sections of heavy elements for the exciting photons energy 38.18, 43.95, 50.21 and 59.5 keV*. Department of Physics Education, College of Education, Erzincan University, 24030 Erzincan, Turkey, 2007.
- [3] E. Baydaş, Y. Şahina. *Measurement of K_α and K_β X-ray fluorescence cross-sections and the K_β / K_α intensity ratios for elements in the range $22 \leq Z \leq 29$ by 10 keV photons*. Faculty of Arts and Sciences Department of Physics, Atatürk University, 25240 Erzurum, Turkey, 2002.
- [4] K.A. Al-Saleh, N.S. Saleh. *L X-ray fluorescence cross-sections of heavy elements excited by 16.04, 16.90 and 17.78 keV photons*. Department of Physics, University of Jordan, P.O. Box 13099, Amman, Jordan, 1998.
- [5] แสงโรจน์ ภาวงษ์ศักดิ์. เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ด้วยต้นกำเนิดรังสีกระตุ้นแบบสี่ไอโซโทป. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531
- [6] จเด็จ เย็นใจ. การพัฒนาระบบวิเคราะห์ปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต. สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [7] สัมพันธ์ วงศ์นาวา. เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรเมตรีแบบกระจายพลังงาน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [8] ICRP Report. *X-Ray Mass Attenuation Coefficients* [Online]. 1989. Available from: <http://www.nist.gov/physlab/data/xraycoef/index.cfm> [2009, October 11]

- [9] บทความสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. *การวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์* [ออนไลน์]. 2543. แหล่งที่มา:
<http://www.nst.or.th/article/article494/article49418.htm> [2009, October 11]
- [10] Eugene P. Bertin. *Principles and Practice of X-Ray Spectrometric Analysis*.
New York: Plenum Press, 1979.
- [11] HORIBA, Ltd. 1996. *X-Ray Fluorescence – Intensity* [Online]. 1996.
Available from: <http://www.horiba.com/fr/scientific/products/x-ray-fluorescence-analysis/tutorial/> [2010, January 20]
- [12] Amersham International plc. *Industrial Gauging and Analytical Instrumentation Source*. Englands : Buckinghamshire, 1984.
- [13] Amptek Inc. *x-ray and gamma ray detector* [Online]. 1997. Available from:
<http://www.amptek.com/xr100cdt.html> [2009, December 15]
- [14] บทความสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. *อิเมจิงเพลจ* [ออนไลน์]. 2549.
แหล่งที่มา: <http://www.nst.or.th/article/article143/article1439.htm>
[2010, January 20]



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ตาราง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.1 แสดงแอมพลิจูดของขอบการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (absorption jump) และ ปัจจัยการกระโดด (jump factor) ของธาตุชนิดต่างๆ

Element	K edge		LIII edge	
	r	$(r-1)/r$	r	$(r-1)/r$
4-Be	35	0.970	—	—
5-B	28.3	0.965	—	—
6-C	24.2	0.959	—	—
7-N	21.4	0.953	—	—
8-O	19.3	0.948	—	—
9-F	17.5	0.943	—	—
10-Ne	15.94	0.937	—	—
11-Na	14.78	0.932	—	—
12-Mg	13.63	0.927	—	—
13-Al	12.68	0.921	—	—
14-Si	11.89	0.916	—	—
15-P	11.18	0.911	—	—
16-S	10.33	0.903	—	—
17-Cl	9.49	0.895	—	—
18-Ar	9.91	0.899	—	—
19-K	8.84	0.887	—	—
20-Ca	9.11	0.890	—	—
21-Sc	8.58	0.883	—	—
22-Ti	8.53	0.883	—	—
23-V	8.77	0.886	—	—
24-Cr	8.78	0.886	—	—
25-Mn	8.61	0.884	—	—
26-Fe	8.22	0.878	—	—
27-Co	8.38	0.881	—	—
28-Ni	7.85	0.873	2.77	0.639
29-Cu	7.96	0.874	2.87	0.652
30-Zn	7.60	0.868	5.68	0.824
31-Ga	7.40	0.865	5.67	0.824
32-Ge	7.23	0.862	5.70	0.825
33-As	7.19	0.861	4.88	0.795
34-Se	6.88	0.855	4.59	0.782
35-Br	6.97	0.857	4.58	0.782
36-Kr	7.04	0.858	4.17	0.760
37-Rb	6.85	0.854	4.22	0.763
38-Sr	7.06	0.858	3.91	0.744
39-Y	6.85	0.854	4.04	0.752
40-Zr	6.75	0.852	3.98	0.748

ศูนย์วิจัยทรัพยากรธรณีวิทยา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.2 แสดงผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence yield) ของธาตุบางชนิด

Element	K	L	M	Element	K	L
6-C	0.001	—	—	54-Xe	0.876	0.110
7-N	0.002	—	—	55-Cs	0.882	0.118
8-O	0.003	—	—	56-Ba	0.888	0.126
9-F	0.005	—	—	57-La	0.893	0.135
10-Ne	0.008	—	—	58-Ce	0.898	0.143
11-Na	0.013	—	—	59-Pr	0.902	0.152
12-Mg	0.019	—	—	60-Nd	0.907	0.161
13-Al	0.026	—	—	61-Pm	0.911	0.171
14-Si	0.036	—	—	62-Sm	0.915	0.180
15-P	0.047	—	—	63-Eu	0.918	0.190
16-S	0.061	—	—	64-Gd	0.921	0.200
17-Cl	0.078	—	—	65-Tb	0.924	0.210
18-Ar	0.097	—	—	66-Dy	0.927	0.220
19-K	0.118	—	—	67-Ho	0.930	0.231
20-Ca	0.142	0.001	—	68-Er	0.932	0.240
21-Sc	0.168	0.001	—	69-Tm	0.934	0.251
22-Ti	0.197	0.001	—	70-Yb	0.937	0.262
23-V	0.227	0.002	—	71-Lu	0.939	0.272
24-Cr	0.258	0.002	—	72-Hf	0.941	0.283
25-Mn	0.291	0.003	—	73-Ta	0.942	0.293
26-Fe	0.324	0.003	—	74-W	0.944	0.304
27-Co	0.358	0.004	—	75-Re	0.945	0.314
28-Ni	0.392	0.005	—	76-Os	0.947	0.325
29-Cu	0.425	0.006	—	77-Ir	0.948	0.335
30-Zn	0.458	0.007	—	78-Pt	0.949	0.345
31-Ga	0.489	0.009	—	79-Au	0.951	0.356
32-Ge	0.520	0.010	—	80-Hg	0.952	0.366
33-As	0.549	0.012	—	81-Tl	0.953	0.376
34-Se	0.577	0.014	—	82-Pb	0.954	0.386
35-Br	0.604	0.016	—	83-Bi	0.954	0.396
36-Kr	0.629	0.019	—	84-Po	0.955	0.405
37-Rb	0.653	0.021	0.001	85-At	0.956	0.415
38-Sr	0.675	0.024	0.001	86-Rn	0.957	0.425
39-Y	0.695	0.027	0.001	87-Fr	0.957	0.434
40-Zr	0.715	0.031	0.001	88-Ra	0.958	0.443
41-Nb	0.732	0.035	0.001	89-Ac	0.958	0.452
42-Mo	0.749	0.039	0.001	90-Th	0.959	0.461
43-Tc	0.765	0.043	0.001	91-Pa	0.959	0.469
44-Ru	0.779	0.047	0.001	92-U	0.960	0.478
45-Rh	0.792	0.052	0.001	93-Np	0.960	0.486
46-Pd	0.805	0.058	0.001	94-Pu	0.960	0.494
47-Ag	0.816	0.063	0.002	95-Am	0.960	0.502
48-Cd	0.827	0.069	0.002	96-Cm	0.961	0.510
49-In	0.836	0.075	0.002	97-Bk	0.961	0.517
50-Sn	0.845	0.081	0.002	98-Cf	0.961	0.524

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.3 แสดงค่าความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ของธาตุบางชนิด

Line Electron transition $K \leftarrow$	Wavelength, Å				
	α_1	α_2	β_1	β_2	β_3
	LIII	LII	MIII	MII, β_1	NI, NII
Approximate relative intensity	150	100	50	20	5
34-Se	1.106	1.105	1.109	0.992	0.995
35-Br	1.041	1.040	1.044	0.933	0.933
36-Kr	0.981	0.980	0.984	0.879	0.879
37-Rb	0.927	0.926	0.930	0.829	0.830
38-Sr	0.877	0.875	0.880	0.783	0.784
39-Y	0.831	0.829	0.833	0.740	0.741
40-Zr	0.788	0.786	0.791	0.701	0.702
41-Nb	0.748	0.747	0.751	0.665	0.666
42-Mo	0.710	0.709	0.713	0.632	0.633
43-Tc	0.674	0.673	0.676	0.601	0.602
44-Ru	0.644	0.643	0.647	0.572	0.573
45-Rh	0.614	0.613	0.617	0.546	0.546
46-Pd	0.587	0.585	0.590	0.521	0.521
47-Ag	0.561	0.559	0.564	0.497	0.498
48-Cd	0.536	0.535	0.539	0.475	0.476
49-In	0.514	0.512	0.517	0.455	0.455
50-Sn	0.492	0.491	0.495	0.435	0.436
51-Sb	0.472	0.470	0.475	0.417	0.418
52-Te	0.453	0.451	0.456	0.400	0.401
53-I	0.435	0.433	0.438	0.384	0.385
54-Xe	0.418	0.416	0.421	0.369	—
55-Cs	0.402	0.401	0.405	0.355	0.355
56-Ba	0.387	0.385	0.390	0.341	0.342
57-La	0.373	0.371	0.376	0.328	0.329
58-Ce	0.359	0.357	0.362	0.316	0.317
59-Pr	0.346	0.344	0.349	0.305	0.305
60-Nd	0.334	0.332	0.337	0.294	0.294
61-Pm	0.322	0.321	0.325	0.283	0.284
62-Sm	0.311	0.309	0.314	0.274	0.274
63-Eu	0.301	0.299	0.304	0.264	0.265
64-Gd	0.291	0.289	0.294	0.255	0.256
65-Tb	0.281	0.279	0.284	0.246	0.246

ศูนย์วิทยุโทรพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.4 แสดงค่าเปรียบเทียบระหว่าง PSL-max กับ จำนวนนับรังสีรวมที่ค่า PSL สูงสุด

Sn (min)	$K_{\alpha}+K_{\beta}$	PSL-max	PSL-integral	PSL-max / PSL total (Ratio)	Ratio x Counts
5	27303	0.25	4.38	0.06	1561.60
10	54869	0.49	7.90	0.06	3415.59
15	84043	0.74	12.84	0.06	4824.96
20	105054	0.93	15.33	0.06	6379.62
25	124985	1.11	18.36	0.06	7555.29

ตาราง ก.5 แสดงจำนวนนับรังสีและอัตราส่วนฟีกต่อแบกกราวด์ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างกัน จากการกระตุ้นด้วยไอโซโทปรังสี Am-241

Sample	Net Peak Area (cpm)	Integral (cpm)	Net Peak Area / Bg
Sr			
5%	3890.70 ± 48.24	5040.30 ± 70.99	3.38 ± 0.012
10%	6156.90 ± 72.65	7774.20 ± 88.71	3.81 ± 0.012
15%	6898.80 ± 71.75	8022.00 ± 89.56	6.14 ± 0.010
20%	7790.10 ± 62.32	8817.00 ± 93.90	7.59 ± 0.008
25%	8243.70 ± 63.48	9238.20 ± 96.12	8.29 ± 0.007
Zn			
5%	490.20 ± 12.55	719.20 ± 26.82	2.14 ± 0.028
10%	742.80 ± 16.86	1025.20 ± 32.02	2.63 ± 0.023
15%	961.60 ± 17.79	1280.80 ± 35.79	3.01 ± 0.018
20%	1128.80 ± 19.42	1462.00 ± 38.24	3.39 ± 0.017
25%	1260.40 ± 19.54	1605.40 ± 40.07	3.65 ± 0.016

ตาราง ก.5 (ต่อ) แสดงจำนวนนับรังสีและอัตราส่วนพีคต่อแบกกาวด์ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างกัน จากการกระตุ้นด้วยไอโซโทปรังสี Am-241

Sample	Net Peak Area (cpm)	Integral (cpm)	Net Peak Area / Bg
Mn			
5%	83.55 ± 5.50	251.33 ± 15.85	0.50 ± 0.066
10%	133.35 ± 6.68	364.35 ± 19.09	0.58 ± 0.050
15%	176.33 ± 7.05	419.93 ± 20.49	0.72 ± 0.040
20%	228.30 ± 7.72	475.43 ± 21.80	0.92 ± 0.034
25%	292.80 ± 9.49	552.30 ± 23.50	1.13 ± 0.032

ตาราง ก.6 แสดงจำนวนนับรังสีและอัตราส่วนพีคต่อแบกกาวด์ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างกัน จากการกระตุ้นด้วยเป้าโลหะชนิดต่างๆ

Target	Sample	Net Peak Area (cpm)	Integral (cpm)	Net Peak Area /Bg
Cu:Pb:Sn (50:35:15)	Mn			
	5%	34.40 ± 1.73	63.76 ± 7.98	1.17 ± 0.05
	10%	47.20 ± 2.03	83.12 ± 9.12	1.31 ± 0.04
	15%	52.92 ± 1.98	87.96 ± 9.38	1.51 ± 0.04
	20%	63.68 ± 1.71	92.72 ± 9.63	2.19 ± 0.03
	25%	73.16 ± 1.70	99.04 ± 9.95	2.83 ± 0.02
Cu:Pb:Sn (70:21:9)	Mn			
	5%	37.96 ± 2.18	77.00 ± 8.77	0.97 ± 0.06
	10%	45.84 ± 2.14	82.64 ± 9.09	1.24 ± 0.05
	15%	54.84 ± 1.82	95.48 ± 9.77	1.35 ± 0.03
	20%	65.64 ± 1.88	98.68 ± 9.93	1.99 ± 0.03
	25%	75.76 ± 1.73	106.48 ± 10.32	2.47 ± 0.02
Cu	Mn			
	5%	17.85 ± 1.13	41.91 ± 6.47	0.74 ± 0.06
	10%	32.19 ± 1.74	68.28 ± 8.26	0.89 ± 0.05
	15%	36.96 ± 1.82	72.39 ± 8.51	1.04 ± 0.05
	20%	49.86 ± 2.11	96.42 ± 9.82	1.07 ± 0.04
	25%	57.87 ± 2.14	103.77 ± 10.19	1.26 ± 0.04

ตาราง ก.6 (ต่อ) แสดงจำนวนนับรังสีและอัตราส่วนพีคต่อแบกกราวด์ของตัวอย่างวิเคราะห์ที่
ความเข้มข้นต่างกัน จากการกระตุ้นด้วยเป้าโลหะชนิดต่างๆ

Target	Sample	Net Peak Area (cpm)	Integral (cpm)	Net Peak Area /Bg
Sn	Sr			
	5%	1440.30 ± 15.70	1665.60 ± 40.81	6.39 ± 0.01
	10%	2155.50 ± 17.89	2455.50 ± 49.55	7.18 ± 0.01
	15%	2493.30 ± 19.70	2770.80 ± 52.64	8.98 ± 0.01
	20%	2795.70 ± 20.41	3079.50 ± 55.49	9.85 ± 0.01
	25%	3657.30 ± 22.31	3925.50 ± 62.65	13.64 ± 0.01
Pb:Sn (50:50)	Zn			
	5%	158.85 ± 4.59	226.65 ± 15.05	2.34 ± 0.03
	10%	233.93 ± 5.43	321.53 ± 17.93	2.67 ± 0.02
	15%	279.38 ± 5.73	374.33 ± 19.35	2.94 ± 0.02
	20%	419.63 ± 7.51	541.35 ± 23.67	3.45 ± 0.02
	25%	622.35 ± 8.28	791.40 ± 28.13	3.68 ± 0.01
Pb:Sn (70:30)	Zn			
	5%	269.03 ± 6.03	372.68 ± 19.30	2.60 ± 0.02
	10%	393.30 ± 7.12	525.90 ± 22.93	2.97 ± 0.02
	15%	478.78 ± 7.58	615.40 ± 24.81	3.50 ± 0.02
	20%	567.60 ± 8.00	703.43 ± 26.52	4.18 ± 0.01
	25%	621.98 ± 8.58	767.03 ± 27.70	4.29 ± 0.01
Pb	Zn			
	5%	131.33 ± 5.06	226.05 ± 15.03	1.39 ± 0.04
	10%	199.65 ± 5.37	286.05 ± 16.91	2.31 ± 0.03
	15%	236.10 ± 5.69	328.58 ± 18.13	2.55 ± 0.04
	20%	308.40 ± 6.32	411.00 ± 20.27	3.00 ± 0.02
	25%	373.65 ± 6.73	484.58 ± 22.01	3.37 ± 0.02



ภาคผนวก ข

สมการคำนวณต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.1 สมการคำนวณความหนาวิกฤตของตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ การเตรียมทำเป่าโลหะทุกชนิด เพื่อตัดปัญหาเรื่องความหนา-บางเกินไปของเป่าโลหะ จึงใช้เป่าที่ความหนาวิกฤต เพื่อช่วยให้สามารถเตรียมทำเป่าได้ง่าย สมการคำนวณความหนาวิกฤตดังสมการ

$$m_{sat} = 3/(\mu_e + \mu_f)$$

โดย	m	คือ	ความหนา หน่วยเป็น g/cm^2
	μ_e	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของสารตัวอย่าง (เป่าโลหะ) ต่อรังสีปฐมภูมิ
	μ_f	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของสารตัวอย่าง (เป่าโลหะ) ต่อรังสีเอกซ์เรือง

กรณีที่เป็นโลหะผสมหรือของผสมหรืออัลลอยด์

$$\mu_{mix} = W_1\mu_1 + W_2\mu_2 + \dots$$

เมื่อ

μ_{mix} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของอัลลอยด์ หน่วยเป็น (cm^2/g)

$\mu_1 + \mu_2 + \dots$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวลของธาตุที่ 1, 2, ... หน่วยเป็น (cm^2/g)

$W_1 + W_2 + \dots$ คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของธาตุที่ 1, 2, ... ในอัลลอยด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 การคำนวณหาผลได้รังสีเอกซ์ ของธาตุดีบุก (Sn), ตะกั่ว(Pb), และทองแดง(Cu) จาก การกระตุ้นด้วยไอโซโทปปรังสี Am-241 พลังงาน 59.54 keV

จากสมการ 2.5 ในบทที่ 2 สามารถนำมาคำนวณผลได้ (Yield) ของความเข้มรังสีจากธาตุ ชนิดต่างๆ ที่จะเลือกมาทำเป่าโลหะ ซึ่งจากทฤษฎีจะเห็นว่าการที่จะกระตุ้นอะตอมธาตุให้เกิดรังสี เอกซ์เรื่อออกมา นั้น ธาตุนั้นจะต้องมีค่าแอมพลิจูดของระดับชั้นโคจรอิเล็กตรอนต่ำกว่า พลังงานของต้นกำเนิดรังสีกระตุ้น ในการทดลองได้เลือกใช้เป่าโลหะ Sn, Pb, และ Cu จากการกระตุ้นด้วยไอโซโทปปรังสี Am-241 พลังงาน 59.54 keV คำนวณหาผลได้ของความเข้มรังสี ดังสมการ

$$I_L = P_A I_{0, \lambda_{pri}} C_A \frac{(\mu/\rho)_{A, \lambda_{pri}}}{(\mu/\rho)_{M, \lambda_{pri}} + A (\mu/\rho)_{M, \lambda_L}}$$

$$A = \sin\phi / \sin\psi$$

$$P_A = \omega_A g_L (d\Omega / 4\pi) (r_A - 1) / r_A$$

เมื่อ	I_L	คือ ความเข้มรังสีเอกซ์เรื่อของธาตุวิเคราะห์
	I_0	คือ ความเข้มรังสีจากต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ
	λ_{pri}	คือ ความยาวคลื่นของต้นกำเนิดรังสีปฐมภูมิ
	C_A	คือ ความเข้มข้นของธาตุวิเคราะห์
	$(\mu/\rho)_{A, \lambda_{pri}}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass absorption coefficient) ของธาตุวิเคราะห์ที่พลังงานของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ
	$(\mu/\rho)_{M, \lambda_{pri}}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass absorption coefficient) ของเมทริกซ์ที่พลังงานของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ
	$(\mu/\rho)_{M, \lambda_L}$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนเชิงมวล (Mass absorption coefficient) ของเมทริกซ์ที่พลังงานรังสีเอกซ์เรื่อของธาตุวิเคราะห์
	ω_A	คือ ผลได้ฟลูออเรสเซนซ์ของธาตุวิเคราะห์
	r_A	คือ แอมพลิจูดชั้นจัมป์
	Ω	คือ มุมทรงตัน (Solid angle)
	ϕ	คือ มุมของรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ (มุมกระตุ้น)
	ψ	คือ มุมของรังสีเอกซ์จากเป่าลำดับที่สอง
	g_L	คือ สัดส่วนทางทฤษฎีของการเกิดฟลักในอนุกรมชั้นใดๆ (ที่ใช้ในการวิเคราะห์)
	$d\Omega / 4\pi$	คือ สัดส่วนของรังสีเอกซ์เรื่อไปสู่หัววัด

แทนค่าตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

กรณีเป็นธาตุเดี่ยวหรือธาตุบริสุทธิ์

C_A มีค่า เป็น 1

$$(\mu/\rho)_{A, \lambda_{pri}} = (\mu/\rho)_{M, \lambda_{pri}}$$

$$A = \sin 55 / \sin 50 = 1.069$$

$(d\Omega / 4\pi)$ เป็นค่าคงที่ โดยค่า Ω ทำมุมเปิด 20 องศา ต่อพื้นที่ตกกระทบ คือ 7.1 cm^2

ตาราง ข.1 แสดงค่าคำนวณผลได้ (Yield) ของความเข้มรังสีเอกซ์จากเป้าโลหะ Sn, Pb, และ Cu

โดยเทียบเป็นค่าสัดส่วน $I_L / (I_{0, \lambda_{pri}} * P_A)$

Target	$I_L / (I_{0, \lambda_{pri}} * P_A)$	ω_A	$(r_A - 1) / r_A$	$(\mu/\rho)_{A, \lambda_{pri}}$	$(\mu/\rho)_{M, \lambda_{pri}}$
Sn	0.367	0.845	0.845	7.005	11.260
Pb	0.034	0.386	0.591	4.388	117.144
Cu	0.026	0.425	0.874	1.570	55.625

จากตารางจะเห็นได้ว่า ผลได้ (Yield) ของความเข้มรังสีเอกซ์จากเป้าโลหะ Sn, Pb, และ Cu เมื่อถูกกระตุ้นด้วยไอโซโทปรังสี Am-241 พลังงาน 59.54 keV ให้ผลได้รังสีต่ำ ข้อมูลนี้จึงนำไปใช้เป็นตัวช่วยเลือกตัดสินใจในการเลือกธาตุที่ทำเป็นเป้าโลหะหรือเลือกธาตุที่จะนำมาใช้เป็นเป้าโลหะผสมด้วยหลักการกระตุ้นเสริม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพันทิพย์ แสงเชื้อพ้อ เกิดเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2527 ที่จังหวัดนครพนม สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2550 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศา สตรมหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2550 สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย