

การวัดปริมาณรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์โดยใช้อิมเมจิงเพลต

นายปพน เผือกคะเชนทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

MEASUREMENT OF GAMMA AND X-RAY DOSE USING IMAGING PLATE

Mister Paphon Phaukkachane

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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

ปพน เขื่อนกะเชนทร์ : การวัดปริมาณรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์โดยใช้อิมเมจิงเพลต.
(MEASUREMENT OF GAMMA AND X-RAY DOSE USING IMAGING PLATE)
อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์, 61 หน้า.

ได้ศึกษาคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของอิมเมจิงเพลตชนิด MS และ SR เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำอิมเมจิงเพลตมาใช้ในการวัดปริมาณรังสี จากการศึกษาการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด MS และชนิด SR โดยใช้รังสีเอกซ์พลังงาน 33, 65, 83 และ 118 keV และรังสีแกมมาพลังงาน 662, 1170, 1330 keV พบว่าอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดมีการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีในลักษณะเดียวกันโดยตอบสนองต่อรังสีพลังงานต่ำได้ดีกว่ารังสีพลังงานสูง ในการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตและการจางหายของสัญญาณโดยใช้รังสีแกมมาจาก Cs-137 พบว่าอิมเมจิงเพลตชนิด MS มีความเป็นเชิงเส้นสูงในช่วง 0 ถึง 450 mR โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.998 และ อิมเมจิงเพลตชนิด SR มีความเป็นเชิงเส้นสูง ในช่วง 0 ถึง 2000 mR โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.999 ส่วนการจางหายของสัญญาณพบว่าอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดจะเกิดการจางหายของสัญญาณมากในช่วงแรกและลดลงในช่วงเวลาต่อมา โดยอิมเมจิงเพลตชนิด MS อัตราการจางหายลดจากร้อยละ 17.8 ในชั่วโมงแรกลงเหลือร้อยละ 2.5 ในชั่วโมงที่ 2 และอิมเมจิงเพลตชนิด SR ลดจากร้อยละ 21.7 ในชั่วโมงแรกลงเหลือร้อยละ 3.7 ในชั่วโมงที่ 2 เมื่อศึกษาถึงผลของอัตราปริมาณรังสีพบว่าในช่วงอัตราปริมาณรังสี 224.55 ถึง 3741.8 mR/h เมื่ออัตราปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดจะมีการตอบสนองที่ลดลงในอัตราคงที่ และในการนำไปทดสอบใช้งานจะเห็นได้ว่าอิมเมจิงเพลตชนิด SR สามารถวัดปริมาณรังสีได้แม่นยำกว่าชนิด MS โดยที่ชนิด SR จะมีร้อยละของความแตกต่างจากค่ามาตรฐานไม่เกิน ± 4 ในขณะที่ชนิด MS จะอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ ± 7

ภาควิชา.....วิศวกรรมนิวเคลียร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา.....2554.....

5170370121: MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : IMAGING PLATE / X-RAY / GAMMA RAY / DOSE / CALIBRATION
FACTOR

PAPHON PHAUKKACHANE: MEASUREMENT OF GAMMA AND X-RAY
DOSE USING IMAGING PLATE. ADVISOR: ASST. PROF. ATTAPORN
PATTARASUMUNT, 61 pp.

The energy dependence of MS and SR type imaging plates was studied by using 33, 65, 83, 118 keV x-ray and 662, 1170, 1330 keV gamma ray. Both types of imaging plates were found to have higher sensitivity at low energy than high energy. The gamma radiation from Cs-137 was also used to investigate the linearity and fading characteristics of both imaging plates. For the linearity test, the MS type show high linearity from 0 to 450 mR with R^2 of 0.998 and the SR type show high linearity from 0 to 2000 mR with R^2 of 0.999. The result of fading study indicated the decrease in fading during the storage time between the irradiation and the reading processes. The reduction of the readout signal was high at the initial phase after irradiation and became lower as time passes. The fading rates per hour were 17.8% in the first hour and 2.5% in the following hour of storage for the MS type, and 21.7% in the first hour and 3.7% in the following hour of storage for the SR type. The study of dose rate dependence showed that the sensitivity of both types of imaging plates decreased when the dose rate increased. The result of dose measurement compared to standard dosimeter showed that the accuracy of the SR type was higher than the MS type. The measured dose values of the SR type and the MS type were different from the standard values by less than 4% and 7% respectively.

Department : Nuclear Engineering..... Student's Signature

Field of Study : Nuclear Technology..... Advisor's Signature

Academic Year : 2011.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังคอยช่วยติดตามและคอยกระตุ้นให้ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยจนแล้วเสร็จในที่สุด

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ กรรมการสอบ และ ดร. วิจิต ผึ้งกัน กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ภายนอก ที่ได้กรุณาสละเวลาเพื่อตรวจสอบและให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคุณหญิง สุดประเสริฐ ที่ให้โอกาสไปศึกษาต่อและให้การสนับสนุนในการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการเพื่อดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ช่วยกันกระตุ้น ตักเตือน เคี่ยวเข็ญ และช่วยแบ่งเบาภาระหน้าที่ในการทำงาน จนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จจนได้ ขอขอบคุณพี่อังศุมาลินสำหรับข้อมูลจาก SSDL และขอขอบพระคุณพี่วิจิตอีกครั้งสำหรับข้อมูลในส่วนของรังสีเอกซ์ซึ่งช่วยลดเวลาให้การดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติสำหรับเครื่องมือเกือบทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณครอบครัวสำหรับกำลังใจที่มีมาตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 รังสีแกมมา.....	5
2.2 รังสีเอกซ์.....	8
2.3 สารเรืองแสงจากการกระตุ้น (Photo-Stimulable Phosphor).....	10
2.4 อิมเมจิงเพลต (Imaging Plate).....	10
2.4.1 กลไกการเกิด PSL (Photo-stimulated luminescence).....	11
2.4.2 การอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต.....	12
2.4.3 การล้างค่าสัญญาณในแผ่นอิมเมจิงเพลต.....	12
2.4.4 การเกิดการจางหายของสัญญาณ (Fading).....	12
2.5 ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard Dosimetry Laboratory, SSDL).....	13

บทที่	หน้า
3 วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย.....	16
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	16
3.2 อิมเมจิงเพลต.....	17
3.2.1 อิมเมจิงเพลตชนิด MS	17
3.2.2 อิมเมจิงเพลตชนิด SR	17
3.2.3 เครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต	18
3.2.4 เครื่องล้างแผ่นอิมเมจิงเพลต.....	20
3.3 วิธีการวิจัย.....	21
3.3.1 การตรวจสอบแผ่นอิมเมจิงเพลตก่อนนำไปใช้งาน.....	21
3.3.2 การทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลต.....	21
3.3.3 การทดสอบการจางหายของสัญญาณ.....	21
3.3.4 การทดสอบการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลตต่อพลังงานของรังสี... ..	24
3.3.5 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด.....	24
3.3.6 การทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของแผ่นอิมเมจิงเพลต.. ..	25
3.3.7 การสอบเทียบแผ่นอิมเมจิงเพลตเพื่อหาค่า Calibration Factor.....	26
3.3.8 การทดสอบการนำอิมเมจิงเพลตไปใช้วัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องมือวัด วัดรังสีชนิดอื่น.....	28
4 ผลการวิจัย.....	29
4.1 ผลการทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลต.....	29
4.2 ผลการทดสอบการจางหายของสัญญาณ.....	30
4.3 ผลการทดสอบการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลตต่อพลังงานของรังสี.....	33
4.4 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด.....	37
4.5 ผลการทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของแผ่นอิมเมจิงเพลต.....	39
4.6 ผลการสอบเทียบแผ่นอิมเมจิงเพลตเพื่อหาค่า Calibration Factor.....	42
4.7 ผลการทดสอบการนำอิมเมจิงเพลตไปใช้วัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องมือวัด รังสีชนิดอื่น.....	43
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลต.....	46

บทที่	หน้า
5.2 สรุปผลทดสอบการจางหายของสัญญาณ.....	46
5.3 สรุปผลการทดสอบการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลตต่อพลังงานของรังสี..	46
5.4 สรุปผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด.....	47
5.5 สรุปผลการทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของแผ่นอิมเมจิงเพลต	47
5.6 สรุปผลการสอบเทียบแผ่นอิมเมจิงเพลตเพื่อหาค่า Calibration Factor.....	47
5.7 สรุปผลการทดสอบการนำอิมเมจิงเพลตไปใช้วัดปริมาณรังสีเทียบกับ เครื่องมือวัดรังสีชนิดอื่น.....	48
5.8 ข้อเสนอแนะ.....	48
รายการอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	61

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางแสดงบัญชีต้นกำเนิดรังสีภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ	15
3.1	แสดงค่า correction factor for the radiation quality ของหัววัดขนาด A5 และ A6.....	27
4.1	ผลการทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลต.....	29
4.2	ตารางแสดงร้อยละของสัญญาณที่เหลืออยู่ในแผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด MS เมื่อผ่านไปเป็นเวลาใด ๆ.....	31
4.3	ตารางแสดงร้อยละของสัญญาณที่เหลืออยู่ในแผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด SR เมื่อผ่านไปเป็นเวลาใด ๆ.....	32
4.4	ตารางแสดงค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี ($PSL/mm^2 \cdot mR$) ของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดในแต่ละพลังงาน.....	34
4.5	ตารางแสดงค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี ($PSL/mm^2 \cdot mR$) ของอิมเมจิงเพลตชนิด MS ในแต่ละพลังงานเมื่อถูกหุ้มด้วยแผ่นกรอกกำบังรังสี.....	35
4.6	ตารางแสดงค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี ($PSL/mm^2 \cdot mR$) ของอิมเมจิงเพลตชนิด SR ในแต่ละพลังงานเมื่อถูกหุ้มด้วยแผ่นกรอกกำบังรังสี.....	35
4.7	ตารางแสดงค่าสัญญาณที่อ่านได้ที่ปริมาณรังสีใด ๆ ของอิมเมจิงเพลตชนิด MS	37
4.8	ตารางแสดงค่าสัญญาณที่อ่านได้ที่ปริมาณรังสีใด ๆ ของอิมเมจิงเพลตชนิด SR	38
4.9	ตารางแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด MS..	40
4.10	ตารางแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด SR..	41
4.11	ตารางแสดงค่า C.F. ของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดที่แต่ละพลังงาน.....	42
4.12	ตารางแสดงร้อยละของความแตกต่างของค่าที่แผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด MS วัดได้เทียบกับหัววัดรังสีมาตรฐาน.....	44
4.13	ตารางแสดงร้อยละของความแตกต่างของค่าที่แผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด SR วัดได้เทียบกับหัววัดรังสีมาตรฐาน.....	44

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	สเปกตรัมของรังสีที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	5
2.2	แผนภาพแสดงการเกิดรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์.....	6
2.3	ภาพแสดงขั้นตอนการสลายตัวให้รังสีแกมมาของ Co-60	7
2.4	ภาพแสดงขั้นตอนการสลายตัวให้รังสีแกมมาของ Cs-137.....	7
2.5	ภาพแสดงการเกิดเบรมส์ชตราลุง.....	8
2.6	ภาพแสดงการเกิดรังสีเอกซ์ด้วยการกระตุ้นจากภายนอก.....	9
2.7	โครงสร้างของแผ่นอิมเมจิงเพลต.....	10
2.8	ภาพแสดงการเกิด Photo-stimulated luminescence, PSL.....	11
2.9	ภาพแสดงขั้นตอนการอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต.....	12
2.10	แสดงการเกิดการจางหายเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลาใด ๆ หลังจากการฉายรังสี..	13
2.11	ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard Dosimetry Laboratory, SSDL).....	15
3.1	อิมเมจิงเพลตชนิด MS รุ่น BAS-MS 2040.....	17
3.2	อิมเมจิงเพลตชนิด SR รุ่น BAS-SR 2040.....	18
3.3	เครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต (Imaging plate Reader) รุ่น BAS-2500.....	18
3.4	แสดงระบบเลเซอร์สำหรับอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลตของ BAS-2500.....	19
3.5	แสดงระบบสแกนสำหรับอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลตของ BAS-2500.....	20
3.6	เครื่องลบแผ่นอิมเมจิงเพลต.....	20
3.7	ภาพแสดงการกำหนด Sampling Area ครั้งแรก.....	23
3.8	ภาพแสดงการกำหนด Sampling Area ครั้งหลัง.....	23
4.1	ภาพแสดงเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลตชนิด MS	29
4.2	ภาพแสดงเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลตชนิด SR	30
4.3	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจางหายของสัญญาณกับเวลาของอิมเมจิงเพลตชนิด MS	31

ภาพที่	หน้า
4.4	ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจางหายของสัญญาณกับเวลาของอิมเมจิง เพลตชนิด SR 32
4.5	ภาพเปรียบเทียบการจางหายของสัญญาณต่อเวลาระหว่างอิมเมจิงเพลตสอง ชนิด..... 33
4.6	ภาพแสดงการตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ ของอิมเมจิงเพลตชนิด MS และชนิด SR 34
4.7	ภาพแสดงการตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ เมื่อใส่แผ่นกรองกำบังรังสีของ อิมเมจิงเพลตชนิด MS..... 36
4.8	ภาพแสดงการตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ เมื่อใส่แผ่นกรองกำบังรังสีของ อิมเมจิงเพลตชนิด SR 36
4.9	ภาพแสดงความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตชนิด MS 38
4.10	ภาพแสดงความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตชนิด SR 39
4.11	ภาพแสดงการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด MS 40
4.12	ภาพแสดงการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด SR 41
4.13	ภาพแสดงค่า C.F. เทียบกับพลังงานของรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด MS..... 42
4.14	ภาพแสดงค่า C.F. เทียบกับพลังงานของรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด SR..... 43
4.15	ภาพแสดงร้อยละของความแตกต่างของค่าที่เครื่องวัดรังสีชนิดต่าง ๆ วัดได้ เทียบกับหัววัดรังสีมาตรฐานที่พลังงานรังสีต่าง ๆ..... 45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการนำกัมมันตภาพรังสีมาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในทางเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และในทางการแพทย์ แต่กัมมันตภาพรังสีนั้นไม่ได้มีแต่เพียงประโยชน์เท่านั้น ถ้าปราศจากขั้นตอนการใช้งานที่เหมาะสมและการควบคุมดูแลที่เคร่งครัด รัศมูกัมมันตภาพรังสีก็อาจก่อให้เกิดโทษได้อย่างมากมายมหาศาลเช่นกัน เนื่องจากคุณสมบัติที่ไม่มีทั้งกลิ่น สี และไม่สามารถรับรู้ได้เมื่อสัมผัส การทำงานที่เกี่ยวข้องกับกัมมันตภาพรังสีจึงต้องอาศัยความชำนาญเป็นอย่างมาก จึงเป็นสาเหตุให้มีแนวคิดที่จะออกแบบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดหรือระบุถึงกัมมันตภาพรังสีได้ขึ้นมา แต่เนื่องจากกัมมันตภาพรังสีนั้นมีหลายชนิดและมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในหลาย ๆ ด้าน เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีนั้นจึงมีหลายประเภทตามแต่จุดประสงค์ในการใช้งาน มีความสามารถในการตรวจวัดกัมมันตภาพรังสีแตกต่างกันทั้งวิธีการและการแสดงผลการวัด มีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันออกไป การที่จะทำการวัดกัมมันตภาพรังสีให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุดและถูกต้องแม่นยำนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกใช้ประเภทของเครื่องวัดและวิธีการวัดให้เหมาะสมกับชนิดของกัมมันตภาพรังสีและลักษณะของงาน

อิมเมจิงเพลต (Imaging plate) เป็นวัสดุชนิดหนึ่ง ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้เพื่อใช้แทนฟิล์มในงานถ่ายภาพด้วยกัมมันตภาพรังสี ทำจากวัสดุเรืองแสงที่สามารถเก็บพลังงานของกัมมันตภาพรังสีที่ได้รับเอาไว้ และจะคายพลังงานนั้นออกมาในรูปของการเรืองแสง (Luminescence) เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง มีการนำมาใช้งานครั้งแรกในทางการแพทย์ ด้วยคุณสมบัติที่ดีกว่าฟิล์มในหลาย ๆ ด้าน เช่น ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งช่วยลดปัญหาเรื่องการสิ้นเปลืองทรัพยากร การอ่านข้อมูลด้วยการกระตุ้นด้วยแสง ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีเหมือนในการล้างฟิล์ม จึงไม่มีการสร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และความไวต่อกัมมันตภาพรังสี ซึ่งช่วยลดเวลาในการฉายให้สั้นลง เป็นต้น จากข้อดีดังกล่าว ทำให้เริ่มมีการนำอิมเมจิงเพลต มาประยุกต์ใช้ในงานประเภทอื่น ๆ มากขึ้น รวมถึงการนำมาใช้ในงานด้านการวัดปริมาณรังสี (Radiation Dosimetry) ซึ่งอิมเมจิงเพลตจะมีข้อได้เปรียบเครื่องมือวัดรังสีชนิดอื่น ๆ เพราะสามารถวัดปริมาณรังสีออกมาเป็นแบบ 2 มิติ ทำให้สามารถวิเคราะห์ปริมาณรังสีในลักษณะของพื้นที่ได้ ซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยเครื่องมือวัดรังสีชนิดอื่น ๆ

เนื่องจากอิมเมจิงเพลตนั้นยังค่อนข้างใหม่ในงานด้านการวัดปริมาณรังสี จึงยังมีข้อด้อยในแง่ของกระบวนการการนำไปใช้ และตัวอิมเมจิงเพลตเองนั้นยังมีข้อเสียบางประการที่ยังไม่ได้รับการแก้ไข เช่น ปัญหาการเกิดการจางหาย (Fading) ของค่าสัญญาณที่อ่านได้เมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งจะส่งผลให้ค่าที่ได้จากอิมเมจิงเพลตที่ผ่านการฉายรังสีเท่ากันเมื่อนำมาอ่านที่เวลาต่าง ๆ กันนั้นไม่เท่ากัน โดยอิมเมจิงเพลตแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนการจางหายของค่าที่อ่านได้แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ยังมีปัญหาการตอบสนองต่อกัมมันตภาพรังสีที่มีพลังงานต่าง ๆ กัน โดยที่อิมเมจิงเพลตจะตอบสนองต่อกัมมันตภาพรังสีที่มีพลังงานต่ำได้ดีกว่ากัมมันตภาพรังสีที่มีพลังงานสูงทำให้ที่อิมเมจิงเพลตวัดค่าปริมาณรังสีที่พลังงานต่างกันได้ไม่เท่ากัน เป็นต้น

1.2 วัดคุณสมบัติของการวิจัย

เพื่อศึกษาการตอบสนองของอิมเมจิงเพลตในการวัดปริมาณรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 วิเคราะห์และแก้ไขปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นของอิมเมจิงเพลตของบริษัทฟูจิฟิล์มสองชนิด คือ BAS-MS และ BAS-SR ที่มีผลต่อการนำอิมเมจิงเพลตมาใช้วัดปริมาณรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ ได้แก่ การจางหายของสัญญาณ PSL การตอบสนองต่อรังสีในช่วงพลังงานต่างๆ และความเป็นเชิงเส้นระหว่างปริมาณรังสีกับค่าที่อ่านได้

1.3.2 สอบเทียบผลการวัดปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตกับห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (SSDL)

1.3.3 ทดลองนำอิมเมจิงเพลตไปใช้วัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอื่น

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษา ค้นคว้าข้อมูลของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เตรียมและทดสอบการทำงานของระบบวัดอิมเมจิงเพลต

1.4.3 หาอัตราการจางหายของสัญญาณ PSL ของอิมเมจิงเพลต และทดสอบแก้ไขโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น การอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ หรือฉายแสงที่เวลาต่าง ๆ กัน เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้งาน

1.4.4 วัดการตอบสนองต่อพลังงานของอิมเมจิงเพลต และทดลองปรับแก้โดยใช้แผ่นตะกั่วที่มีความหนาต่าง ๆ

1.4.5 ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด

1.4.6 สอบเทียบอิมเมจิงเพลตกับห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ

1.4.7 นำอิมเมจิงเพลตไปใช้วัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องวัดปริมาณรังสีมาตรฐานชนิดอื่น

1.4.8 สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

ได้แนวทางในการนำอิมเมจิงเพลตมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการวัดปริมาณรังสีแกมมา และรังสีเอกซ์ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการวัดปริมาณรังสีในงานต่าง ๆ

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 H. Ohuchi และ A. Yamadera [1] ได้ทำการพัฒนาวิธีการลดการเกิดเฟดดิ้งของแผ่นอิมเมจิงเพลต โดยการนำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ ก่อนนำไปใช้ในการวัดปริมาณรังสีตามปกติ โดยในการทดลองนี้มีการใช้แผ่นอิมเมจิงเพลต 2 ชนิด คือ BAS-TR กับ BAS-MS และใช้อุณหภูมิที่อบเท่ากับ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่า การนำอิมเมจิงเพลตไปอบที่อุณหภูมิระหว่าง 60 – 80 องศาเซลเซียส จะช่วยลดการเกิดเฟดดิ้งให้น้อยลงกว่าการที่ไม่ได้ผ่านการอบ และที่อุณหภูมิ 80 องศา จะลดการเกิดเฟดดิ้งได้มากที่สุด

1.6.2 M. Thoms [2] ได้ทำการทดลองฉายแผ่นอิมเมจิงเพลตด้วยรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่าง ๆ เพื่อหาความสามารถในการดูดกลืนรังสีเอกซ์ พบว่าแผ่นอิมเมจิงเพลตมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีเอกซ์แตกต่างกันในแต่ละพลังงานโดยจะสามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้ถึง 100 % ในช่วงพลังงานที่ต่ำกว่า 20 keV และจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อพลังงานของรังสีเพิ่มมากขึ้น

1.6.3 H. Ohuchi และ A. Yamadera [3] ได้ศึกษาถึงรูปแบบการเกิดการจางหายของค่า PSL ที่ปัจจัยต่าง ๆ คือ ประเภทของรังสี พลังงานและรุ่นของเครื่องอ่านภาพ โดยใช้แผ่นอิมเมจิงเพลต 3 ชนิดในการทดสอบ ได้แก่ BAS-UR, BAS-TR และ BAS-MS ประเภทของรังสีที่ใช้ทดสอบคือ รังสีแอลฟาจาก Cm-244 รังสีบีตาจาก C-14, P-32 และ CI-36 และรังสีแกมมาจาก Co-60 กับ Cs-137 และใช้เครื่องอ่านภาพอิมเมจิงเพลต 2 รุ่นคือ BAS-1000 กับ BAS-5000 จากการทดลองพบว่าการเกิดการจางหายทุกรูปแบบนั้น เป็นอิสระต่อกันตามปัจจัยต่าง ๆ โดย รังสีแอลฟาจะเกิดการจางหายได้เร็วที่สุด และเครื่องอ่านภาพอิมเมจิงเพลตแต่ละรุ่นสามารถอ่านค่าออกมาได้แตกต่างกัน

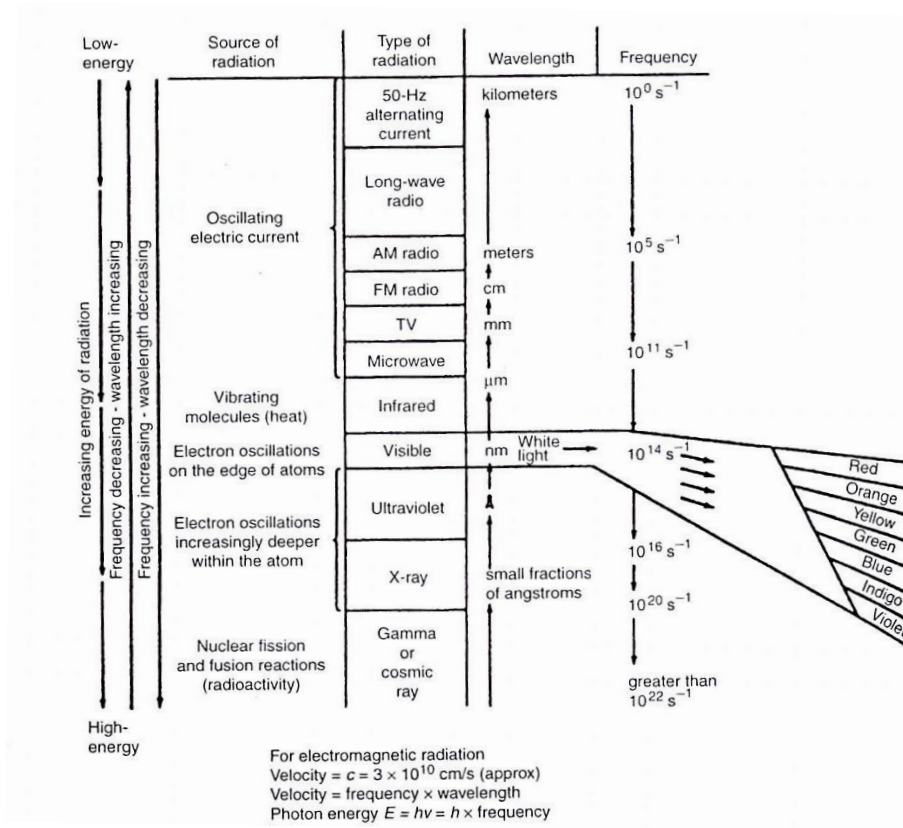
1.6.4 A. Boukhair, C.Heilmann, A. Nourreddine, A. Pepe และ G. Portal [4] ได้ทดลองนำอิมเมจิงเพลตมาใช้ในการวัดนิวตรอนเร็วจากต้นกำเนิดรังสี Pu-Be และ Am-Be และรังสีแกมมาจาก Co-60 โดยพบว่า แผ่นอิมเมจิงเพลตมีการตอบสนองต่อทั้งนิวตรอนเร็ว และรังสีแกมมาเป็นอย่างดี เหมาะที่จะนำมาใช้วัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

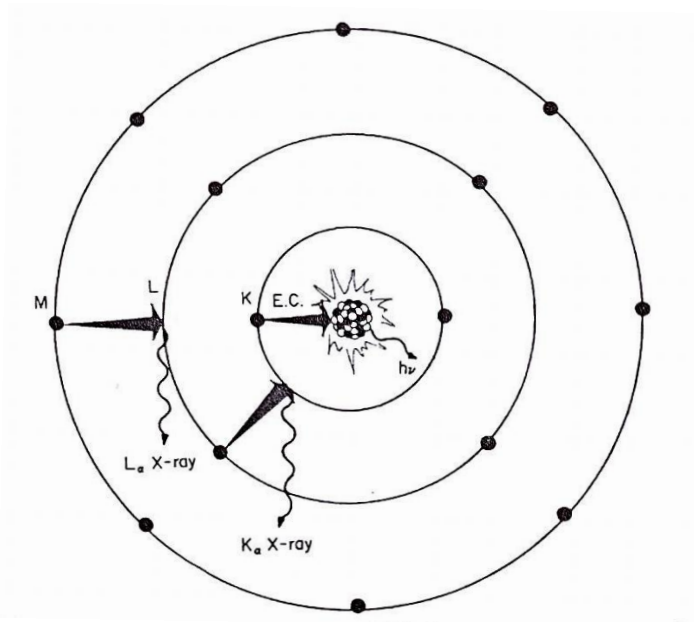
2.1 รังสีแกมมา (Gamma Ray)

รังสีแกมมา มีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ไม่มีมวล ทำให้มีอำนาจทะลุทะลวงสูง และไม่มีประจุจึงไม่สามารถทำให้เบี่ยงเบนได้ในสนามไฟฟ้า มีความเร็วประมาณ 3×10^{10} เซนติเมตรต่อวินาที (cm/s) หรือเท่ากับความเร็วของแสง พลังงานของรังสีแกมมาจะเพิ่มขึ้นหรือแปรผันตรงตามความถี่ (Frequency) แต่จะแปรผกผันกับความยาวคลื่น (Wavelength) ดังภาพที่ 2.1 โดยพลังงานของรังสีแกมมานั้นขึ้นอยู่กับต้นกำเนิดและจะมีค่าเฉพาะตัว



ภาพที่ 2.1 สเปกตรัมของรังสีที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [5]

รังสีแกมมากับรังสีเอกซ์มีความคล้ายกันเป็นอย่างมาก คือ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีมวล อำนาจทะลุทะลวงสูง และไม่มีประจุ วิธีแยกรังสีแกมมาออกจากรังสีเอกซ์โดยทั่วไปจึงจะพิจารณาที่บริเวณกำเนิด เนื่องจากรังสีแกมมานั้นจะกำเนิดจากภายในนิวเคลียสของอะตอม ในขณะที่รังสีเอกซ์นั้นจะกำเนิดบริเวณภายนอกนิวเคลียสหรือบริเวณชั้นของอิเล็กตรอน ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แผนภาพแสดงการเกิดรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ [5]

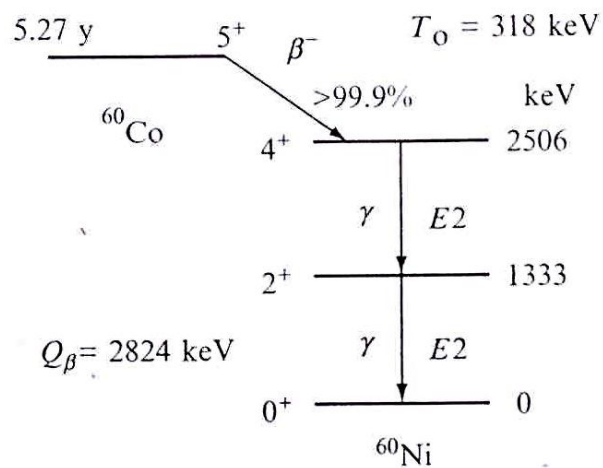
ต้นกำเนิดรังสีแกมมาอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาในธรรมชาติ กับ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่มนุษย์ผลิตขึ้น

1. ต้นกำเนิดรังสีแกมมาในธรรมชาติ คือ ต้นกำเนิดรังสีที่เกิดขึ้นมาพร้อมกับโลกหรืออาจกล่าวได้ว่าเกิดขึ้นมาพร้อม ๆ กับกำเนิดจักรวาลตามทฤษฎีบิ๊กแบง (Big Bang) ผ่านขั้นตอนกระบวนการต่าง ๆ จนกลายเป็นโลก โดยส่วนใหญ่แล้วต้นกำเนิดรังสีจำพวกนี้จะมี ค่าครึ่งชีวิตที่ค่อนข้างยาว บางไอโซโทปมีค่าครึ่งชีวิตยาวเท่ากับอายุของโลกหรืออาจยาวกว่า มีการสลายตัวเป็นขั้นตอนจนกระทั่งได้ไอโซโทปที่เสถียรในที่สุด เรียกว่าการสลายตัวแบบอนุกรม การสลายตัวแบบอนุกรมที่รู้จักกันดีมีอยู่ 3 อนุกรม คือ

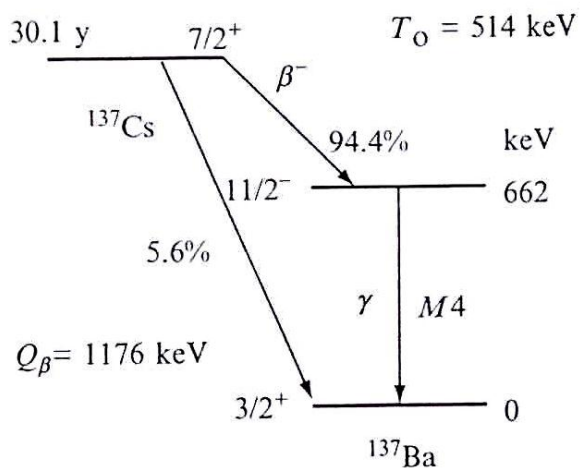
1. อนุกรมทอเรียม เริ่มต้นจาก Th-232 ไปสิ้นสุดที่ Pb-208
2. อนุกรมยูเรเนียม เริ่มต้นจาก U-238 ไปสิ้นสุดที่ Pb-206

3. อนุกรมแอกทิเนียม เริ่มต้นจาก U-235 ไปสิ้นสุดที่ Pb-207

2. ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่มนุษย์ผลิตขึ้น คือต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ไม่มีอยู่ในธรรมชาติ เกิดขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ผ่านปฏิกิริยานิวเคลียร์ อาจเกิดขึ้นได้จากปฏิกิริยาภายในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู หรืออาจเกิดจากการผลิตไอโซโทปด้วยเครื่องเร่งอนุภาค ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากฝีมือมนุษย์ส่วนใหญ่จะมีค่าครึ่งชีวิตสั้น แต่มีความบริสุทธิ์สูงเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน เช่น Co-60 หรือ Cs-137



ภาพที่ 2.3 ภาพแสดงขั้นตอนการสลายตัวให้รังสีแกมมาของ Co-60 [6]

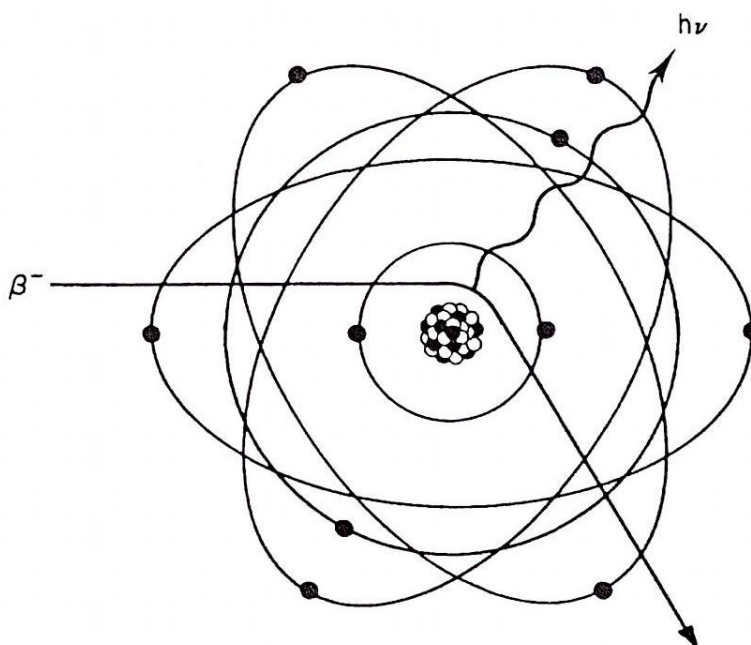


ภาพที่ 2.4 ภาพแสดงขั้นตอนการสลายตัวให้รังสีแกมมาของ Cs-137 [6]

2.2 รังสีเอกซ์ (X-Ray)

รังสีเอกซ์มีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีคุณสมบัติคล้ายกับรังสีแกมมาแต่แตกต่างกันที่ต้นกำเนิด การเกิดรังสีเอกซ์จะเกิดภายนอกของนิวเคลียส แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เบรมส์ชตราลุง (Bremsstrahlung) เกิดจากอนุภาคที่มีประจุเช่น อนุภาคบีตาหรืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านนิวเคลียสของอะตอม จะเกิดแรงสนามไฟฟ้าหรือแรงคูลอมบ์ดึงดูดอนุภาคที่มีประจุนั้นให้เลี้ยวเบนเข้าสู่ นิวเคลียส ทำให้อนุภาคปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งก็คือรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่เกิดจากกระบวนการนี้มีพลังงานไม่แน่นอนโดยมีพลังงานสูงที่สุดเท่ากับพลังงานจลน์ของอนุภาคนั้น ยิ่งอนุภาคเข้าใกล้นิวเคลียสมากเท่าใดพลังงานของรังสีเอกซ์ก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น การที่พลังงานของรังสีเอกซ์ในปฏิกรณ์นี้สามารถมีได้ตั้งแต่ต่ำมากจนเกือบเป็น 0 keV จนสูงตามพลังงานของอนุภาคนั้น จึงกล่าวได้ว่ารังสีเอกซ์ที่เกิดจาก เบรมส์ชตราลุงนั้นเป็นรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง (continuous x-ray)



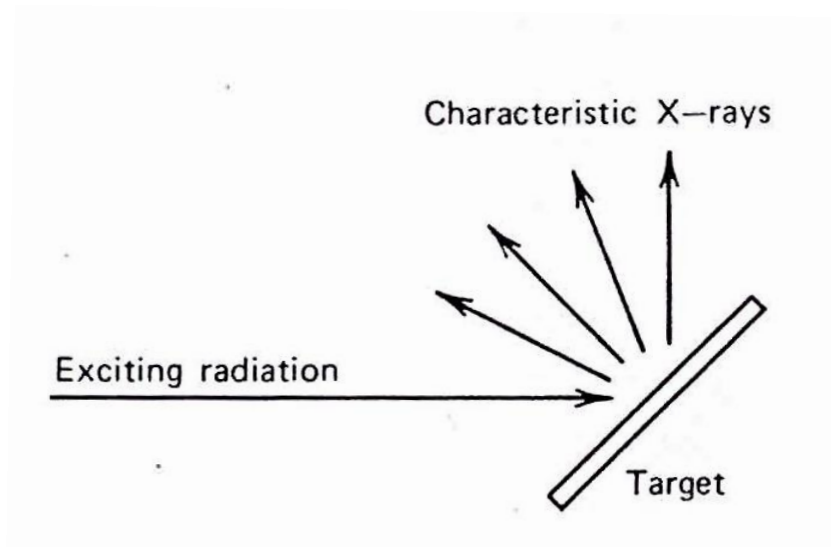
ภาพที่ 2.5 ภาพแสดงการเกิดเบรมส์ชตราลุง [5]

2. รังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ (Characteristic X-rays) เกิดจากการเปลี่ยนชั้นของอิเล็กตรอนในวงโคจร มีพลังงานเท่ากับส่วนต่างของระดับชั้นพลังงาน รังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจึงมี

พลังงานที่แน่นอนในแต่ละไอโซโทปที่เป็นต้นกำเนิด โดยปกติการเกิดรังสีเอกซ์ประเภทนี้มักเกิดจากการกระตุ้น ซึ่งการกระตุ้นนั้นจะแบ่งได้เป็นสองส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. การกระตุ้นจากการสลายตัวของรังสี (Excitation by radioactive decay) เนื่องจากภายหลังจากการเกิดปรากฏการณ์การจับยึดอิเล็กตรอน (Electron capture) ซึ่งส่วนมากจะเกิดกับอิเล็กตรอนในชั้น K (K-electron) จะทำให้เกิดช่องว่าง (vacancy) ขึ้นในชั้นนั้น ๆ จากนั้นอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นนอกจะทำการเปลี่ยนชั้นพลังงานเข้ามาแทนที่ช่องว่างนั้น พร้อมกับปลดปล่อยรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะออกมา

2. การกระตุ้นจากรังสีภายนอก (Excitation by external radiation) ทำได้โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีจากภายนอก เช่น รังสีเอกซ์, อิเล็กตรอน หรืออนุภาคแอลฟา เป็นต้น ไปถึงเป้า (Target) เพื่อทำให้เกิดสถานะกระตุ้นภายในเป้านั้น ๆ รังสีเอกซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากวิธีการนี้จะมีค่าพลังงานที่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้เป็นเป้า โดยเป้าที่มีเลขเชิงอะตอม (Atomic number, Z) น้อย จะให้รังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะที่มีพลังงานต่ำ ถ้าใช้เป้าที่มีเลขเชิงอะตอมสูงขึ้นรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะก็จะมีพลังงานสูงขึ้นด้วย [7]



ภาพที่ 2.6 ภาพแสดงการเกิดรังสีเอกซ์ด้วยการกระตุ้นจากภายนอก [7]

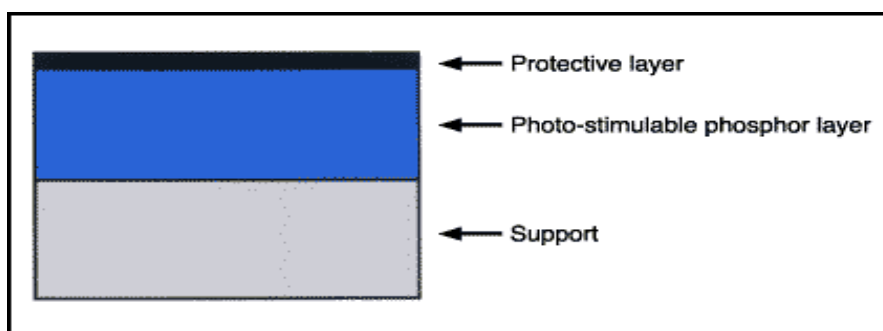
2.3 สารเรืองแสงจากการกระตุ้น (Photo-Stimulable Phosphor)

ปัจจุบันมีสารเรืองแสงชนิดพิเศษที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะที่สามารถปลดปล่อยแสงออกมาเมื่อผ่านการฉายด้วยรังสี ฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต ฉายด้วยลำอิเล็กตรอน ได้รับความร้อน ได้รับแรงกระแทก หรือถูกกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีในบางกรณี โดยวัสดุชนิดนี้เรียกว่า วัสดุเรืองแสง (Fluorescent Substances) ส่วนมากมีลักษณะเป็นผง ความสามารถที่เปล่งแสงออกมาได้เมื่อได้รับการกระตุ้น เช่น จากรังสี และแสงที่เปล่งออกมาจะหยุดลงเมื่อหยุดการกระตุ้น เรียกว่า ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) ในกรณีที่ยังมีการเปล่งแสงออกมาแม้การกระตุ้นจะถูกหยุดลงไปแล้วนั้น เรียกว่า ฟอสฟอเรสเซนซ์ (Phosphorescence) และเราเรียกปรากฏการณ์การเปล่งแสงในทั้งสองลักษณะว่า ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence)

สารเรืองแสงที่ถูกนำมาใช้กับอิมเมจิงเพลตนั้น มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างออกไปจากที่กล่าวมาในขั้นต้น นั่นคือ การเรืองแสงเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง (Photo-stimulated Luminescence, PSL) ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกค้นพบโดย Antoine Henri Becquerel นักวิทยาศาสตร์ชื่อดังชาวฝรั่งเศส ในช่วงศตวรรษที่ 19 แต่ในขณะนั้นไม่ได้รับการสนใจมากนัก จนกระทั่งปลายสงครามโลกครั้งที่สอง และมีการพัฒนาจนเป็นอิมเมจิงเพลตที่สามารถนำมาใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ได้สำเร็จในปี ค.ศ. 1947 [8, 9]

2.4 อิมเมจิงเพลต (Imaging Plate)

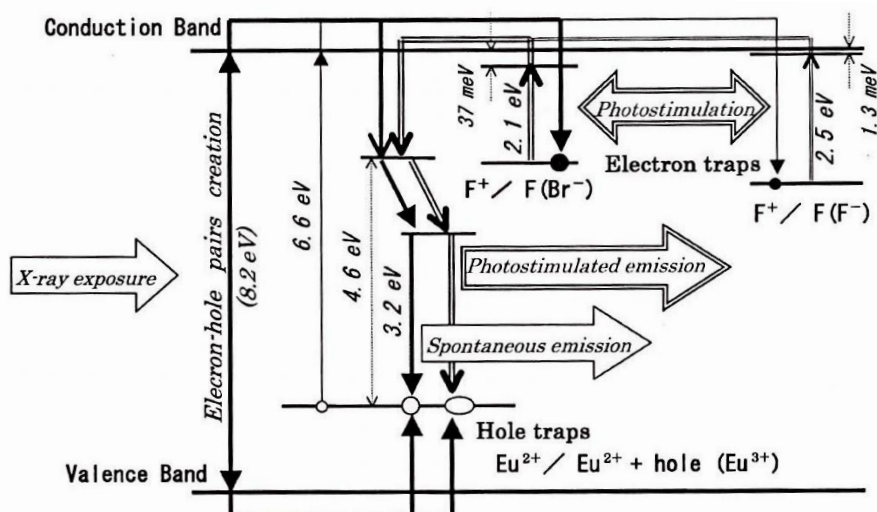
เป็นแผ่นบันทึกภาพที่ประกอบด้วยผลึกของสารเรืองแสงแบบเรียมฟลูออไรด์เฮไลต์ที่เจือด้วย bivalent europium มีขนาดผลึกประมาณ $5\ \mu\text{m}$ ทำหน้าที่เป็น Luminescence center มีสูตรโมเลกุลเป็น $\text{BaF}(\text{Br, Cl, I}): \text{Eu}^{2+}$ เคลือบอยู่บนโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของแผ่นอิมเมจิงเพลต [9]

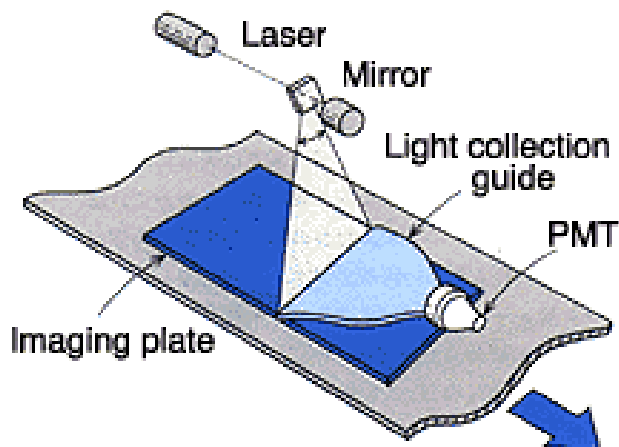
- Protective layer เป็นชั้นที่ป้องกันการกระทบกระเทือนของผลึกเรืองแสงจากกระบวนการบันทึกภาพ และการอ่านภาพโดยเคลือบด้วยโพลีเอทิลีนเทอเรฟทาเลท (Polyethylene terephthalate) ที่มีความหนา 10 μm บ่มด้วยเทคนิคทางรังสีของลำอิเล็กตรอน
- Photo-stimulate phosphor layer ชั้นของผลึกเรืองแสง ซึ่งเป็นกลุ่มของผลึกเรืองแสงขนาดเล็กมีขนาดประมาณ 5 μm คือสารแบเรียมฟลูออไรด์โบรมิเดอโรเปียม (BaF (Br, Cl, I):Eu²⁺) ผสมสารยึดเกาะ ชั้นนี้มีความหนา 150-400 μm ซึ่งวางเรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ
- Support Layer ทำด้วยโพลีเอสเตอร์ (polyester) ที่มีความอ่อนตัวทำหน้าที่เป็นฐานของแผ่นเพื่อประคองหรือค้ำยันผลึกเรืองแสงที่อยู่ด้านบน ชั้นนี้หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

2.4.1 กลไกการเกิด PSL (Photo-stimulated luminescence) โครงสร้างผลึก BaFX: Eu²⁺ (X = Cl, Br or I) มีบริเวณสำหรับถ่ายโอนพลังงานจากรังสีประมาณ 8.2 eV เมื่อได้รับรังสีไอออน Eu²⁺ จะเปลี่ยนไปเป็นไอออน Eu³⁺ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะถูกยกระดับพลังงานไปสู่แถบนำ (Conduction Band) และจะลดระดับพลังงานลงจนถูกจับไว้ที่บริเวณกับดัก (Electron traps) กลายเป็น Color center หรือ F-center ในลักษณะของ metastable state ซึ่งบริเวณนี้คือบริเวณที่บันทึกผลปริมาณรังสี เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยเลเซอร์จาก ฮีเลียม-นีออน (He-Ne) ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 633 นาโนเมตร อิเล็กตรอนที่ถูกจับไว้จะได้รับการกระตุ้นแล้วกลับคืนสู่แถบวาเลนซ์ (Valence Band) พร้อมทั้งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของการเรืองแสง [10]



ภาพที่ 2.8 ภาพแสดงการเกิด Photo-stimulated luminescence, PSL [11]

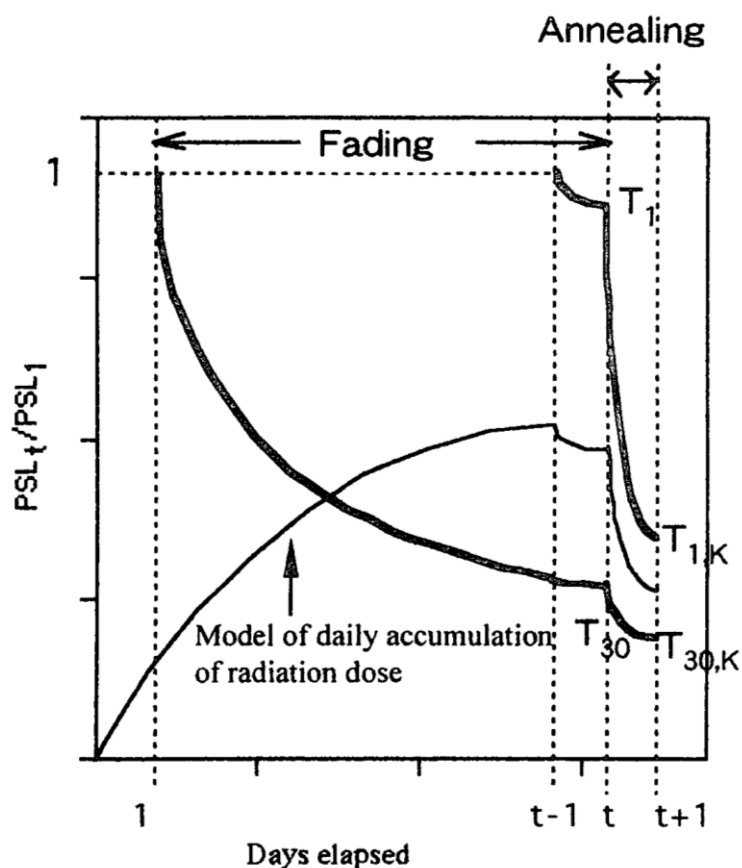
2.4.2 การอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต แสงที่เรืองออกมาหลังจากถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์ จะถูกเก็บด้วย Light collection guide แล้วเคลื่อนที่ไปยังหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube, PMT) และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจะถูกเปลี่ยนจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งสามารถปรับค่าได้ระหว่าง 8 – 16 bit



ภาพที่ 2.9 ภาพแสดงขั้นตอนการอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต [9]

2.4.3 การลบค่าพลังงานในแผ่นอิมเมจิงเพลต โดยปกติจะใช้วิธีฉายแสงที่มีความเข้มสูงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงการมองเห็นของสายตา (Visible light) หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการกรองแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ออก การลบค่าพลังงานอาจใช้เวลาตั้งแต่ 5 – 30 นาที ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่ใช้ และปริมาณของค่าสัญญาณที่ตกค้างอยู่ในแผ่น

2.4.4 การเกิดการจางหายของสัญญาณ (Fading) การจางหาย คือ ปรากฏการณ์การจางหายไปของสัญญาณ PSL ที่ถูกบันทึกไว้ในอิมเมจิงเพลตภายหลังจากการฉายรังสี การจางหายนี้ส่งผลให้มีปัญหาในการใช้งานอิมเมจิงเพลตเป็นอย่างมาก มีการพยายามศึกษาถึงกลไกของปรากฏการณ์นี้ และกลไกที่ได้แม้ยังไม่ชัดเจนนัก แต่นับว่าเป็นที่ยอมรับมากที่สุด คือ การอธิบายกลไกของการจางหายว่า เกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่ F-center ซึ่งลงมาจกแถบการนำนั้นสามารถถูกดักจับไว้ได้ด้วยกับดักตื้นๆ (shallow traps) เนื่องจากความไม่บริสุทธิ์ของผลึก ดังนั้นอิเล็กตรอนที่โดนกักไว้จึงสามารถกลับไปรวมกับโฮล ใน hole traps ได้ง่าย และหากมีการกระตุ้นด้วยความร้อน หรือเก็บรักษาอิมเมจิงเพลตเป็นเวลานาน ก่อนที่จะนำไปอ่าน อิเล็กตรอนจะสามารถสูญหายได้มากขึ้น อิเล็กตรอนที่เหลือใน F-center จะลดลง และทำให้ ค่า PSL ลดลงไปด้วย เรียกได้ว่ามีการจางหายเกิดขึ้น



ภาพที่ 2.10 แสดงการเกิดการจางหายเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลาใด ๆ หลังจากการฉายรังสี [1]

2.5 ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard Dosimetry Laboratory, SSDL)

เป็นห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือวัดรังสีที่มีความแม่นยำสูงหรือมีต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานที่ได้รับการปรับเทียบมาจากห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานปฐมภูมิสำหรับปรับเทียบเครื่องมือวัดรังสีที่ใช้งานทั่วไป ในประเทศไทยมีห้องปฏิบัติการระดับนี้อยู่สองแห่งคือที่กองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ซึ่งก่อตั้งในปี พ.ศ. 2517 เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการแพทย์ โดยเฉพาะการวัดปริมาณรังสีรักษา (Radiotherapy) และที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติซึ่งก่อตั้งในปี พ.ศ. 2521 เพื่อประโยชน์ในด้านการวัดปริมาณรังสีเพื่อการป้องกันอันตรายจากรังสี และการสอบเทียบมาตรฐานตามพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ. 2504

การจัดตั้งห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันตินั้นมีวัตถุประสงค์ คือ

1. เพื่อความปลอดภัยของชีวิต เนื่องจากการวัดรังสีที่ถูกต้องจะทำให้ประเมินค่าความปลอดภัยทางรังสีได้อย่างถูกต้อง
2. เป็นศูนย์มาตรฐานด้านการวัดรังสีของประเทศ โดยทำการควบคุมมาตรฐานด้านการวัดรังสีให้อยู่ในมาตรฐานสากล
3. สนับสนุนการวิจัยและพัฒนาทางด้านนิวเคลียร์เทคโนโลยีโดยอาศัยผลการวัดรังสีที่ถูกต้อง และมีมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้ผลการวิจัยสามารถนำมาอ้างอิงและเปรียบเทียบกันได้
4. ให้บริการเปรียบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัดรังสีทั่วประเทศ
5. ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการวัดรังสีด้วยเทคโนโลยีแบบใหม่
6. ถ่ายทอดความรู้ด้านการวัดรังสี

ในปี พ.ศ. 2547 สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติและสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ทำบันทึกข้อตกลงว่าด้วยความร่วมมือในการพัฒนาหน่วยวัดแห่งชาติในสาขารังสีกัมมาไอออน โดยสำนักงานฯ จะเป็นตัวแทนในการพัฒนาและร่วมมือกับหน่วยงานทั้งในและนอกประเทศในสาขารังสีกัมมาไอออน และสถาบันมาตรวิทยาจะส่งเสริมเพื่อให้สำนักงานฯ ได้รับการยอมรับในระดับนานาชาติในสาขารังสีกัมมาไอออน เพื่อให้ระบบวัดแห่งชาติมีความเข้มแข็ง สามารถถ่ายทอดความถูกต้องของการวัดสู่ผู้ใช้งานภายในประเทศได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และในปี พ.ศ. 2550 สำนักงานฯ ได้เริ่มนำระบบคุณภาพสากล ISO/IEC 17025 มาปฏิบัติอย่างจริงจัง เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการพัฒนาห้องปฏิบัติการ และได้รับการรับรองในวันที่ 16 ธันวาคม 2552

ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิประกอบด้วยระบบเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ที่ผ่านการสอบเทียบรับรองจากห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานปฐมภูมิ คือระบบวัดรังสีแบบไอออไนเซชันแชมเบอร์ (ionization chamber) และมีแหล่งกำเนิดสนามรังสีเพื่อใช้เป็นตัวกลางในการสอบเทียบคือ เครื่องกำเนิดรังสีแกมมา รุ่น OB85 ซึ่งบรรจุต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60 ที่มีค่ากัมมันตภาพรังสี 740 GBq และ 37 GBq เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2530 และวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2530 ตามลำดับ [12]

นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมียังมีเครื่องกำเนิดรังสีแกมมารุ่น OB34 และ OB26 และวัสดุกัมมันตรังสีดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงบัญชีต้นกำเนิดรังสีภายในห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ

ชื่อเครื่องกำเนิดรังสี	รายการต้นกำเนิดรังสี	ความแรงรังสี (MBq)	วันที่เริ่มนำเข้า
OB85	Co-60	37,000	29/04/2530
	Cs-137	740,000	13/05/2530
OB34	Co-60	3.70	24/10/2528
	Co-60	25.90	24/10/2528
	Co-60	370	23/10/2528
	Cs-137	7.40	21/10/2528
	Cs-137	74	21/10/2528
	Cs-137	740	21/10/2528
OB26	Cs-137	7,400	21/10/2528
	Am-241-Be	185,000	20/07/2527
	Am-241	7,400	01/08/2523



ภาพที่ 2.11 ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- 3.1.1 แผ่นอิมเมจิงเพลตของบริษัทฟูจิฟิล์มชนิด MS รุ่น BAS-MS 2040
- 3.1.2 แผ่นอิมเมจิงเพลตของบริษัทฟูจิฟิล์มชนิด SR รุ่น BAS-SR 2040
- 3.1.3 เครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต (Imaging plate Reader) ของบริษัทฟูจิฟิล์ม รุ่น BAS-2500
- 3.1.4 เครื่องลบแผ่นอิมเมจิงเพลต (Imaging plate eraser) ของบริษัทฟูจิฟิล์ม
- 3.1.5 ตลับบรรจุแผ่นอิมเมจิงเพลต รุ่น BAS Standard 2040 IP Cassette
- 3.1.6 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมระบบอิมเมจิงเพลต
- 3.1.7 โปรแกรมสำหรับอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต Image Reader BAS-2500
- 3.1.8 โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ผลการอ่านอิมเมจิงเพลต Multi Gauge V 3.0
- 3.1.9 ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 รุ่น LB 122
- 3.1.10 แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสำหรับยึดต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241
- 3.1.11 แท่งจับสุญญากาศ
- 3.1.12 เครื่องฉายรังสี OB85 บรรจุวัสดุกัมมันตรังสี Cs-137 และ Co-60 พร้อมระบบควบคุมเวลา
- 3.1.13 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray systems) ของบริษัท YXLON ประกอบด้วย
 - High-voltage generator รุ่น MGG42
 - Power supply รุ่น MGP41
 - Control panel รุ่น MGC41
 - X-ray tube รุ่น Y.TU/160-D02
- 3.1.14 แผ่นดีบุกหนา 1 มม.
- 3.1.15 แผ่นตะกั่วหนา 0.8 มม.
- 3.1.16 นาฬิกาจับเวลา

3.2 อิมเมจิงเพลต

3.2.1 อิมเมจิงเพลตชนิด MS (MultiSensitive) เป็นอิมเมจิงเพลตของบริษัทฟูจิฟิล์ม ใช้ $BaFBr_{x-1}I_x:Eu$ เป็นสารเรืองแสง ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้แทนที่อิมเมจิงเพลตชนิด MP (MultiPurpose) มีคุณสมบัติคือ มีการตอบสนองต่อรังสีสูง (High Sensitivity) และมีความสามารถในการกั้นน้ำได้ดีที่สุดในบรรดาอิมเมจิงเพลตทั้งหมด มีสีของผิวหน้าเป็นสีขาว สามารถใช้งานกับรังสีได้ทุกชนิด ผลิตออกมาทั้งหมด 5 รุ่น คือ BAS-MS 2025, BAS-MS 2040, BAS-MS 2325, BAS-MS 2340 และ BAS-MS 3543 โดยในรูปจะเป็น รุ่น BAS-MS 2040 ซึ่งตัวเลข 2040 หมายถึงขนาดของแผ่น นั่นคือ 20 ซม. x 40 ซม.



ภาพที่ 3.1 อิมเมจิงเพลตชนิด MS รุ่น BAS-MS 2040

3.2.2 อิมเมจิงเพลตชนิด SR (Super Resolution) เป็นอิมเมจิงเพลตของบริษัทฟูจิฟิล์ม ใช้ $BaFBr:Eu$ เป็นสารเรืองแสง เป็นอิมเมจิงเพลตชนิดที่มีความละเอียดสูงที่สุดในบรรดาอิมเมจิงเพลตทุกชนิด โดยมีความละเอียดสูงถึง 50 ไมโครเมตร (μm) สามารถในการกั้นน้ำได้ดี มีสีของผิวหน้าเป็นสีฟ้าผลิตออกมาทั้งหมด 4 รุ่น คือ BAS-SR 2025, BAS-SR 2040, BAS-SR 12.7 x 12.7 และ BAS-SR 0813 ในรูปจะเป็นอิมเมจิงเพลตชนิด SR รุ่น BAS-SR 2040



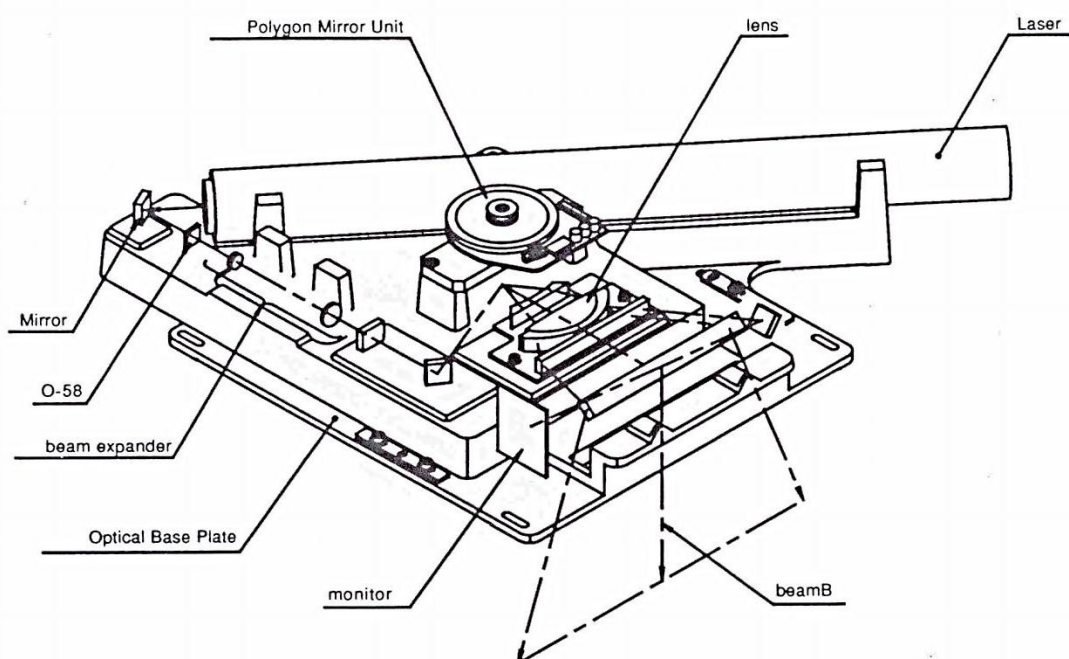
ภาพที่ 3.2 อิมเมจิงเพลตชนิด SR รุ่น BAS-SR 2040

3.2.3 เครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต (Imaging plate reader) รุ่น BAS-2500 ของบริษัทฟูจิฟิล์ม มีขนาด กว้าง x สูง x ลึก เท่ากับ 980 ซม. x 450 ซม. x 620 ซม. หนัก 62 กิโลกรัม ใช้ร่วมกับแผ่นอิมเมจิงเพลตได้เพียงขนาดเดียว เท่านั้น คือ 20 ซม. x 40 ซม. สามารถเลือกขนาด Pixel size ได้ 3 ขนาด คือ 50, 100 และ 200 ไมโครเมตร เวลาที่ใช้ในการอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต กรณีที่ตั้ง Pixel size ที่ 50 ไมโครเมตร คือ 5 นาที ปรับ Gradation ได้ 2 ระดับ คือ 65,536 (16 bits) และ 256 (8 bits)



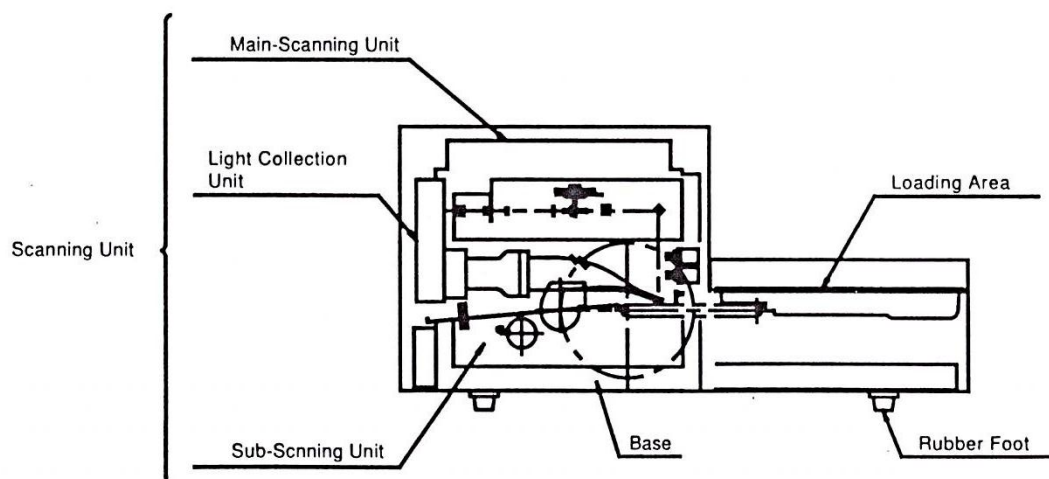
ภาพที่ 3.3 เครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต (Imaging plate reader) รุ่น BAS-2500

ในกระบวนการอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต เครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลตจะผลิตเลเซอร์จากหลอดฮีเลียม – นีออน ความยาวคลื่นประมาณ 633 นาโนเมตร ซึ่งจะมองเห็นเป็นแสงสีแดง โดยลำเลเซอร์จะสะท้อนกระจกแล้วเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ขยายลำเลเซอร์ (Beam expander) ก่อนจะชนกระจกและสะท้อนไปสู่ กระจกโพลีกอน (Polygon Mirror Unit) ที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ สะท้อนเลเซอร์เข้าสู่เลนส์ ซึ่งจะขยายลำเลเซอร์ให้กลายเป็นเส้น แล้วสะท้อนกระจกแผ่นยาวลงสู่ด้านล่าง ซึ่งแผ่นอิมเมจิงเพลตจะเคลื่อนที่ผ่าน



ภาพที่ 3.4 แสดงระบบเลเซอร์สำหรับอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลตของ BAS-2500

เมื่อแผ่นอิมเมจิงเพลตถูกกระตุ้นด้วยเลเซอร์แล้ว จะปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงสีฟ้า ความยาวคลื่นประมาณ 390 นาโนเมตร แสงที่ปล่อยออกมาจะถูกเก็บไว้ด้วย Light collection guide แล้วขยายสัญญาณแสงด้วยหลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier tube, PMT) ก่อนจะแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 3.5 แสดงระบบสแกนสำหรับอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลตของ BAS-2500

3.2.4 เครื่องลบแผ่นอิมเมจิงเพลต (Imaging plate eraser) เป็นแบบฉายแสงที่มีความเข้มสูงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงการมองเห็นของสายตา (Visible light) สามารถลบแผ่นอิมเมจิงเพลตได้ 2 แผ่นพร้อมกัน และตั้งเวลาได้ตั้งแต่ 0 – 30 นาที



ภาพที่ 3.6 เครื่องลบแผ่นอิมเมจิงเพลต

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การตรวจสอบแผ่นอิมเมจิงเพลตก่อนนำไปใช้งาน เนื่องจากแผ่นอิมเมจิงเพลตสามารถรับพลังงานจากรังสีได้ตลอดเวลา แม้จะวางแผ่นทิ้งไว้เฉย ๆ ซึ่งทำให้แผ่นอิมเมจิงเพลตได้รับพลังงานจากรังสีพื้นหลังอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นก่อนเริ่มใช้งานทุกครั้งจึงต้องทำการตรวจสอบแผ่นอิมเมจิงเพลตทุกครั้ง โดยนำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปลบค่าพลังงานในแผ่นด้วยเครื่องลบแผ่นอิมเมจิงเพลต ทำการลบเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นนำเข้าไปอ่านในเครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต เพื่อตรวจสอบว่าไม่มีค่าสัญญาณตกค้างอยู่ในแผ่น ในกรณีที่ยังพบค่าสัญญาณตกค้างอยู่ให้นำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปทำการลบค่าพลังงานซ้ำอีกครั้งแล้วนำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปอ่านอีกครั้งเพื่อตรวจสอบ ถ้าแผ่นอิมเมจิงเพลตไม่มีค่าสัญญาณตกค้างแล้วจึงนำไปใช้ในการวิจัยต่อไป

3.3.2 การทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลต โดยปกติจะนำแผ่นอิมเมจิงเพลตที่ลบค่าพลังงานเรียบร้อยแล้วไปฉายรังสีด้วยต้นกำเนิดรังสีชนิดหนึ่ง ๆ ตามเวลาที่กำหนด จากนั้นจะทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้เกิดการจางหายของสัญญาณ โดยเก็บแผ่นอิมเมจิงเพลตไว้ในตลับบรรจุแผ่นอิมเมจิงเพลต เพื่อลดผลของปัจจัยภายนอกเช่น แสงที่อาจทำให้เกิดการจางหายเพิ่มขึ้นหรือรังสีพื้นหลังที่อาจทำให้ค่าสัญญาณเพิ่มมากขึ้น แล้วจึงนำไปอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต นำค่าสัญญาณที่อ่านได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ผลการอ่านอิมเมจิงเพลต ทำการทดสอบด้วยเงื่อนไขเดิมซ้ำตลอดช่วงที่ทำการทดลอง จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าความคงที่ของอิมเมจิงเพลต สำหรับการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 รุ่น LB 122 ความแรงรังสี 75 Bq ในการฉาย โดยใช้เวลาฉาย 15 นาที และทิ้งไว้ให้เกิดการจางหายอีก 15 นาที ซึ่งเป็น condition ที่ใช้อยู่ตามปกติของห้องปฏิบัติการ NSRL โดยทำการทดสอบกับอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด

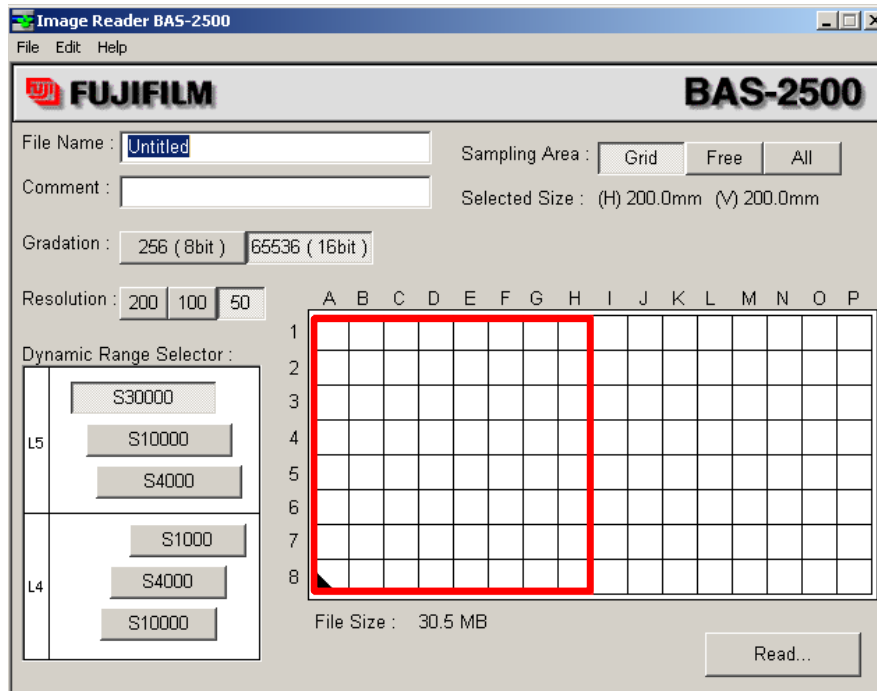
3.3.3 การทดสอบการจางหายของสัญญาณ นำอิมเมจิงเพลตที่ลบค่าพลังงานแล้วทั้งสองชนิดไปทำการฉายด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 โดยกำหนดระยะห่างจากเครื่องฉายในตำแหน่งที่ลำของรังสีแกมมาสามารถฉายได้ครอบคลุมแผ่นอิมเมจิงเพลตได้ทั้งแผ่น กำหนดระยะเวลาการฉายเท่ากันสำหรับแผ่นอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด และปริมาณรังสีที่ฉายนั้นจะต้องไม่ทำให้แผ่นอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดเกิดการอิ่มตัว (saturated) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เลือกระยะที่ 2 เมตรจากเครื่องฉาย และใช้เวลาในการฉาย 2 นาที จากนั้นนำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลต ใช้โปรแกรม Image Reader BAS-2500 กำหนดพื้นที่

ที่จะทำการอ่านค่าสัญญาณ หรือ Sampling Area ไว้ที่ครึ่งแรกของแผ่นอิมเมจิงเพลตก่อน โดยการเลือก Sampling Area แบบ Grid แล้วกำหนดพื้นที่ตั้งแต่ช่องที่ 1 ถึงช่องที่ 8 สำหรับแกนแนวตั้ง และ ช่อง A ถึงช่อง H สำหรับแกนแนวนอนดังแสดงในภาพที่ 3.7 หลังจากอ่านค่าสัญญาณเสร็จก็นำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปเก็บไว้ในตลับบรรจุแผ่นอิมเมจิงเพลต เพื่อป้องกันแผ่นจากแสงซึ่งอาจทำให้อัตราการเกิดการจางหายเพิ่มขึ้น โดยในครั้งแรกจะเก็บแผ่นอิมเมจิงเพลตไว้เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบกำหนด นำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปอ่านค่าสัญญาณในส่วนหนึ่งของครึ่งแผ่นที่เหลือโดยการำโปรแกรม Image Reader BAS-2500 กำหนดพื้นที่ Sampling Area แบบ Grid แล้วกำหนดพื้นที่ตั้งแต่ช่องที่ 1 ถึงช่องที่ 8 สำหรับแกนแนวตั้ง และ ช่อง I ถึงช่อง P สำหรับแกนแนวนอนดังภาพที่ 3.8 จากนั้นจึงนำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปลบด้วยเครื่องอ่านแผ่นอิมเมจิงเพลตเป็นเวลา 20 นาที นำแผ่นอิมเมจิงเพลตที่ลบค่าพลังงานแล้วไปทำการตรวจสอบค่าสัญญาณที่อาจหลงเหลืออยู่ แล้วจึงนำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปทำการทดสอบการจางหายของสัญญาณที่เวลาอื่นต่อไป โดยกำหนดเวลาที่จะทดสอบการจางหายของสัญญาณไว้ที่ 10, 30 นาที 1, 2, 16, 24 ชั่วโมง ตามลำดับ นำค่าสัญญาณที่อ่านได้ไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Multi Gauge V 3.0 เพื่อแปลงค่าสัญญาณที่อ่านได้ในตอนแรกในลักษณะของรูปภาพจากโปรแกรม Image Reader BAS-2500 ให้กลายเป็นค่าการเรืองแสงเมื่อได้รับการกระตุ้น (Photo-stimulated Luminescence, PSL) ต่อพื้นที่ตารางมิลลิเมตร หรือ PSL/mm² คำนวณหาร้อยละของสัญญาณที่เหลืออยู่ ณ เวลาใดๆ จากสมการ 3.1

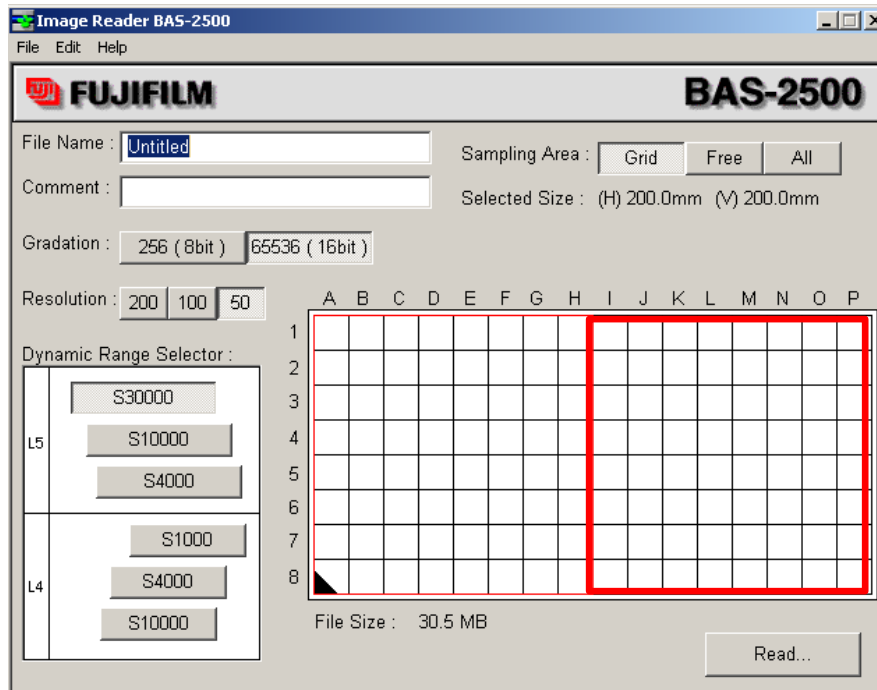
$$\% \text{ of remaining signal} = \frac{(PSL_x - Bkg_x)}{PSL_0} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ $\% \text{ of remaining signal}$ = ร้อยละของสัญญาณที่เหลืออยู่ ณ เวลาใด ๆ
 PSL_0 = PSL/mm² เริ่มต้น
 PSL_x = PSL/mm² หลังจากผ่านการจางหาย ณ เวลาใด ๆ
 Bkg_x = PSL/mm² ของรังสีพื้นหลัง ณ เวลาใด ๆ

แล้วนำผลที่ได้ไปสร้างกราฟเพื่อศึกษาถึงแนวโน้มของการเกิดการจางหายของสัญญาณเมื่อเวลาผ่านไป



ภาพที่ 3.7 ภาพแสดงการกำหนด Sampling Area ครั้งแรก



ภาพที่ 3.8 ภาพแสดงการกำหนด Sampling Area ครั้งหลัง

3.3.4 การทดสอบการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลตต่อพลังงานของรังสี เนื่องจากแผ่นอิมเมจิงเพลตตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่างกันได้ไม่เท่ากัน ในการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีหนึ่ง ๆ แต่พลังงานแตกต่างกัน ค่าสัญญาณที่อ่านได้จากแผ่นอิมเมจิงเพลตอาจไม่เท่ากัน จึงต้องทำการทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของอิมเมจิงเพลตเพื่อหาความแตกต่างดังกล่าว ทดสอบโดยนำอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดไปทำการฉายรังสีที่พลังงานต่าง ๆ โดยฉายที่พลังงาน 33, 65, 83 และ 118 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) ด้วยเครื่องฉายรังสีเอกซ์ ที่พลังงาน 662 keV ด้วยต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และพลังงาน 1170, 1330 keV ด้วยต้นกำเนิดรังสี Co-60 ซึ่งจะนำมาคิดเป็นพลังงานเฉลี่ยที่ 1250 keV ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนในการทำการทดสอบคือ นำอิมเมจิงเพลตที่ลบค่าพลังงานแล้วไปทำการฉายที่พลังงานรังสีที่กำหนด สำหรับพลังงาน 33, 65, 83 และ 118 keV ที่ฉายด้วยเครื่องฉายรังสีเอกซ์นั้น จะกำหนดปริมาณรังสีที่ทำการฉายให้แผ่นอิมเมจิงเพลตไว้เท่ากันคือ 10 mR สำหรับอิมเมจิงเพลตชนิด SR และ 3 mR สำหรับอิมเมจิงเพลตชนิด MS โดยการควบคุมพลังงานของรังสีเอกซ์นั้นอ้างอิงตาม ISO 4037-1 [13] ในส่วนของการฉายด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60 นั้น กำหนดปริมาณรังสีที่ใช้ไว้เท่ากันคือ 1 mR หลังจากการฉายรังสีไม่ว่าที่พลังงานใด ๆ แล้ว ทำการเก็บแผ่นอิมเมจิงเพลตไว้ในตลับบรรจุแผ่นอิมเมจิงเพลตเพื่อรอให้เกิดการจางหายของสัญญาณเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำไปอ่านค่าสัญญาณด้วยโปรแกรม Image Reader BAS-2500 โดยกำหนดพื้นที่ Sampling Area เป็นแบบ All แต่เนื่องจากการฉายด้วยรังสีเอกซ์นั้นใช้ระยะห่างระหว่างเครื่องฉายรังสีเอกซ์กับแผ่นอิมเมจิงเพลตเพียง 1 เมตรเท่านั้น ลักรังสีเอกซ์จึงไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ของแผ่นอิมเมจิงเพลตได้ทั้งหมด ในขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าสัญญาณนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตที่สนใจ (Region Of Interest, ROI) ไว้ที่บริเวณกึ่งกลางของแผ่นอิมเมจิงเพลตซึ่งเป็นส่วนที่ถูกฉายด้วยลักรังสี จากนั้นนำค่าสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $PSL / (mm^2 \cdot mR)$ กับพลังงานของรังสี (keV) ทำการทดลองซ้ำอีกสองครั้งโดยครั้งแรกเพิ่มแผ่นดีบุกหนา 1 มิลลิเมตรประกบที่ด้านหน้าและหลังของแผ่นอิมเมจิงเพลต และครั้งที่สองเปลี่ยนจากแผ่นดีบุกหนา 1 มิลลิเมตร เป็นแผ่นตะกั่วหนา 0.8 มิลลิเมตรแทน นำผลการวิเคราะห์ค่าสัญญาณที่ได้ไปสร้างกราฟเช่นเดียวกับการทดลองแรก

3.3.5 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด ในการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตนั้น จะทำการฉายอิมเมจิงเพลตด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่ปริมาณรังสี (Dose) แตกต่างกันแล้วนำค่า PSL/mm^2 ที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์

ระหว่าง ค่าสัญญาณต่อพื้นที่ (PSL/mm²) กับ ปริมาณรังสี (Dose) แต่เนื่องจากที่อัตราปริมาณรังสี (Dose Rate) แตกต่างกัน อาจมีผลต่อการตอบสนองของอิมเมจิงเพลต ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้จึงใช้อัตราปริมาณรังสีเดียวกันทั้งหมดสำหรับการฉายทุกปริมาณรังสี คือ 62.4 mR/min ใช้วิธีเพิ่มเวลาในการฉายเพื่อเพิ่มปริมาณรังสีที่ฉาย และจะเพิ่มไปจนถึงปริมาณรังสีที่ทำให้แผ่นอิมเมจิงเพลตเกิดการอิ่มตัว จากการที่แผ่นอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดมีความสามารถในการตอบสนองต่อรังสีที่แตกต่างกัน การกำหนดปริมาณรังสีที่จะใช้ฉายของทั้งสองชนิดจึงแตกต่างกันไป ด้วย โดยชนิด MS นั้นทำการฉายที่ปริมาณรังสี 62.4, 187.1, 374.2, 436.5, 498.9 และ 561.2 mR ตามลำดับ และชนิด SR จะทำการฉายที่ปริมาณรังสี 62.4, 374.2, 748.4, 1496.7, 1995.6, 2245.1 และ 2494.5 mR ตามลำดับ ภายหลังจากการฉายรังสีแกมมาที่ทุก ๆ ปริมาณรังสี ทำการเก็บแผ่นอิมเมจิงเพลตไว้ในตลับบรรจุแผ่นอิมเมจิงเพลตเพื่อรอให้เกิดการจางหายของสัญญาณเป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปอ่านค่าสัญญาณ เนื่องจากการฉายที่อัตราปริมาณรังสี 62.4 mR/min คือการฉายที่ตำแหน่ง 1 เมตร จากเครื่องฉายรังสีแกมมา ลำรังสีแกมมาจึงไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ของแผ่นอิมเมจิงเพลตได้ทั้งหมดเช่นเดียวกับการทดสอบการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลตต่อพลังงานของรังสี ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ค่าสัญญาณนั้นจึงจำเป็นต้องกำหนด ROI ไว้เช่นกัน คือบริเวณกึ่งกลางของแผ่นอิมเมจิงเพลตซึ่งเป็นส่วนที่ถูกฉายด้วยลำรังสี แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ต่อไป

3.3.6 การทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของแผ่นอิมเมจิงเพลต ในการทดสอบนี้จะทำการฉายแผ่นอิมเมจิงเพลตด้วยต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่อัตราปริมาณรังสีแตกต่างกัน โดยจะลดผลกระทบจากการเกิดการจางหายของค่าสัญญาณด้วยการ กำหนดระยะเวลาในการฉายเท่ากันคือ 2 นาที และกำหนดระยะเวลาในการปล่อยให้เกิดการจางหาย 10 นาที โดยอัตราปริมาณรังสีที่เลือกใช้ในการทดสอบครั้งนี้คือ 224.55, 528.29, 925.53, 1653.13 และ 3741.8 mR/h แต่เนื่องจากที่อัตราปริมาณรังสี 1653.13 กับ 3741.8 mR/h นั้น มีระยะห่างจากเครื่องฉายรังสีแกมมาเพียง 1.5 และ 1 เมตร ตามลำดับ ลำรังสีแกมมาจึงไม่ครอบคลุมทั่วทั้งแผ่นอิมเมจิงเพลต จำเป็นต้องมีการกำหนด ROI สำหรับการวิเคราะห์ค่าสัญญาณ และนำ ROI ที่กำหนดขึ้นมาไปใช้กับการวิเคราะห์ค่าสัญญาณที่ทุกอัตราปริมาณรังสี จากนั้นนำค่าสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง PSL / (mm² . mR) กับ อัตราปริมาณรังสี (mR/h)

3.3.7 การสอบเทียบแผ่นอิมเมจิงเพลตเพื่อหาค่า Calibration Factor (C.F.) โดยปกติก่อนนำไปใช้เครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดปริมาณรังสีจำเป็นต้องผ่านการสอบเทียบเพื่อให้สามารถอ่านค่าได้อย่างแม่นยำ แผ่นอิมเมจิงเพลตก็เช่น วิธีการสอบเทียบแผ่นอิมเมจิงเพลตทำได้โดย นำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปฉายด้วยรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ ณ ตำแหน่งที่ได้มีการวัดค่าอัตราปริมาณรังสีอ้างอิงแล้ว ค่าดังกล่าวได้จากการวัดค่าอัตราปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของห้องปฏิบัติการ SSDL ด้วยหัววัดรังสีมาตรฐานไอออไนเซชันเซมเบอ์ โดยห้องปฏิบัติการ SSDL ใช้หัววัดทรงกลมรุ่น A6 ซึ่งมีปริมาตร 800 ซีซี. ในการวัดค่าอัตราปริมาณรังสีอ้างอิงของรังสีแกมมาพลังงาน 662 keV จาก Cs-137 และพลังงาน 1250 keV จาก Co-60 ในส่วนค่าอัตราปริมาณรังสีอ้างอิงของรังสีเอกซ์ที่พลังงาน 33, 65, 83 และ 118 keV นั้น ได้จากการวัดค่าปริมาณรังสีด้วยหัววัดทรงกลมรุ่น A5 ซึ่งมีปริมาตร 100 ซีซี.

การวัดค่าอัตราปริมาณรังสีอ้างอิงทำโดย ตั้งหัววัดรังสีมาตรฐาน ณ ตำแหน่งอ้างอิงใด ๆ แล้วทำการฉายด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่พลังงานที่ต้องการวัดค่าอัตราปริมาณรังสีมาตรฐานเป็นเวลา 1 นาที ทำการบันทึกค่าที่อ่านได้จากหัววัดรังสีมาตรฐานพร้อมทั้งค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันอากาศ จากนั้นนำไปคำนวณดังนี้

$$k_p = \frac{273.15 + t}{293.15} \times \frac{101.325}{P} \quad (3.2)$$

เมื่อ	k_p	=	Air density correction
	t	=	อุณหภูมิของอากาศ ณ เวลาทำการวัด ($^{\circ}\text{C}$)
	P	=	ความดันอากาศ ณ เวลาทำการวัด (kPa)

จากนั้นนำค่า k_p ที่ได้จาก (3.2) ไปคำนวณต่อใน (3.3)

$$K_a = N_K \times M \times k_Q \times k_p \quad (3.3)$$

เมื่อ	K_a	=	The value of the air kerma
	N_K	=	calibration factor in terms of air kerma (Gy/C)
	M	=	ค่าที่อ่านได้หัววัดรังสีมาตรฐาน (C/min)
	k_Q	=	correction factor for the radiation quality

ค่า N_k กับ k_Q นั้นเป็นค่าเฉพาะของแต่ละหัววัด สามารถดูได้จากใบรับรองผลการสอบเทียบที่ได้รับมาจากห้องปฏิบัติการ PSDL ซึ่งสำหรับหัววัดรังสีมาตรฐานไอออนไนเซชันแซมเบอร์ทรงกลมขนาด A5 และ A6 นั้น คือ PTB โดยค่า N_k ของหัววัด A5 และ A6 เท่ากับ 3.043×10^5 และ 3.807×10^4 Gy/C ตามลำดับ และค่า k_Q ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า correction factor for the radiation quality ของหัววัดรุ่น A5 และรุ่น A6

พลังงานของรังสี (keV)	correction factor for the radiation quality (k_Q)	
	หัววัดรุ่น A5	หัววัดรุ่น A6
33	1.037	1.032
65	0.966	0.959
83	0.971	0.966
118	0.985	0.986
662	1	1
1250	0.982	0.978

เมื่อรู้ค่าอัตราปริมาณรังสีอ้างอิง ณ ตำแหน่งใด ๆ แล้ว จึงนำแผ่นอิมเมจิงเพลตไปสอบเทียบด้วยวิธีการแทนที่ (substitution method) กล่าวคือ ณ ตำแหน่งอ้างอิงเดียวกัน ฉายรังสีด้วยต้นกำเนิดรังสีตัวเดียวกัน พลังงานเท่ากัน ค่าที่อ่านได้จากหัววัดรังสีย่อมเท่ากัน เมื่อทราบปริมาณรังสีที่ฉาย และค่าสัญญาณที่อ่านได้จากอิมเมจิงเพลตแล้วจึงนำผลการอ่านค่าสัญญาณที่ได้ไปคำนวณหา C.F. จากสมการ 3.4

$$C.F. = \frac{\text{Dose}}{\text{PSL}} \quad (3.4)$$

เมื่อ C.F. = Calibration Factor ($\text{mR} \cdot \text{mm}^2 / \text{PSL}$)
 Dose = ปริมาณรังสีที่ฉาย (mR)
 PSL = PSL/mm^2 ที่อ่านได้เมื่อฉายด้วยปริมาณรังสีนั้น ๆ

การสอบเทียบนี้จะสอบเทียบแยกที่แต่ละพลังงานของรังสี โดยจะสอบเทียบที่ 33, 65, 83 และ 118 keV จากรังสีเอกซ์ และที่ 662 กับ 1250 keV จากรังสีแกมมา

3.3.8 การทดสอบการนำอิมเมจิงเพลตไปใช้วัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน เมื่อทำการสอบเทียบอิมเมจิงเพลตเสร็จแล้วจึงนำมาทดลองใช้งาน โดยการวัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐานไอออไนเซชันแฮมเบอร์ ที่ปริมาณรังสีและพลังงานรังสีเดียวกัน แล้วนำผลจากอิมเมจิงเพลตที่ได้มาแก้ค่าด้วยค่า C.F. เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง แล้วจึงนำไปคำนวณหาร้อยละของความแตกต่างจากค่าปริมาณรังสีที่ได้จากหัววัดรังสีมาตรฐานดังสมการ 3.5

$$\% \text{ Different} = \frac{(\text{Dose}_x - \text{Dose}_0)}{\text{Dose}_0} \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ	% Different	=	ร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่าที่เครื่องวัดรังสีมาตรฐานวัดได้กับค่าที่อิมเมจิงเพลตวัดได้
	Dose ₀	=	ปริมาณรังสีที่อ่านจากเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน (mR)
	Dose _x	=	ปริมาณรังสีที่อ่านจากอิมเมจิงเพลต (mR)

ทดลองวัดที่แต่ละพลังงานของรังสีเช่นเดียวกับการสอบเทียบ คือ 33, 65, 83 และ 118 keV จากรังสีเอกซ์ และที่ 662 กับ 1250 keV จากรังสีแกมมา แล้วเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้อิมเมจิงเพลตกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐานไอออไนเซชันแฮมเบอร์ โดยที่พลังงาน 33, 65, 83 และ 118 keV จากรังสีเอกซ์ จะทำการเปรียบเทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐานไอออไนเซชันแฮมเบอร์รุ่น A5 และที่พลังงาน 662 กับ 1250 keV จากรังสีแกมมา เปรียบเทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐานไอออไนเซชันแฮมเบอร์รุ่น A6

บทที่ 4

ผลการวิจัย

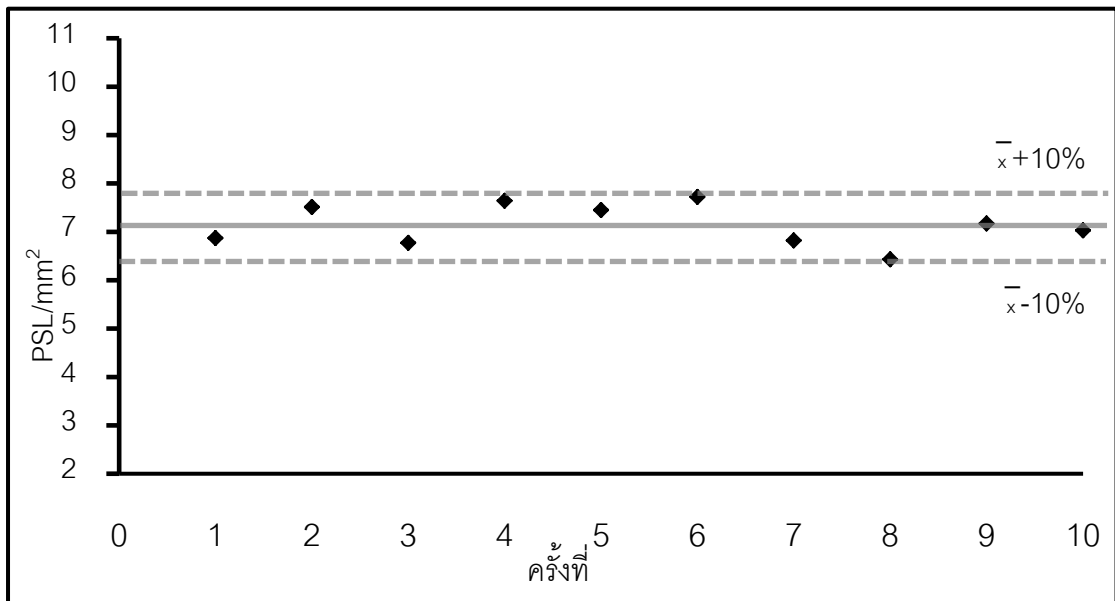
4.1 ผลการทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลต

จากการทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดด้วยต้นกำเนิดรังสี Am-214 ตลอดช่วงที่ทำการทดลอง ได้ผลการทดสอบดังนี้

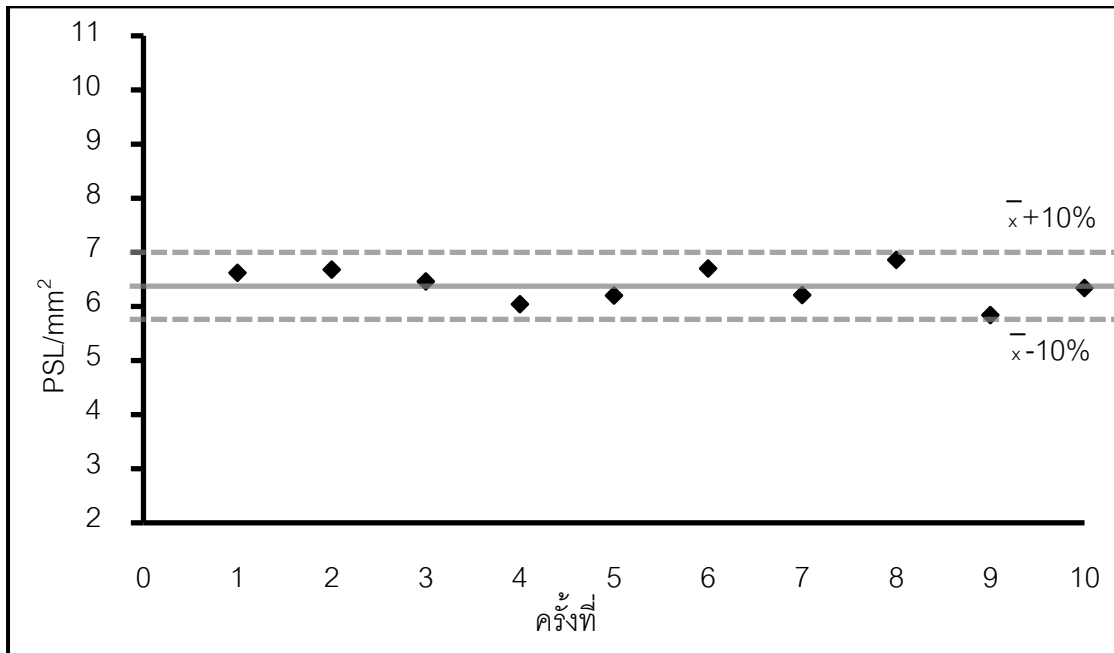
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลต

ชนิดของแผ่นอิมเมจิงเพลต	ค่าเฉลี่ย (PSL/mm ²)	ร้อยละของค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
MS	7.14	5.99
SR	6.40	5.09

นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาสร้างกราฟแสดงเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2



ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลตชนิด MS



ภาพที่ 4.2 ภาพแสดงเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลตชนิด SR

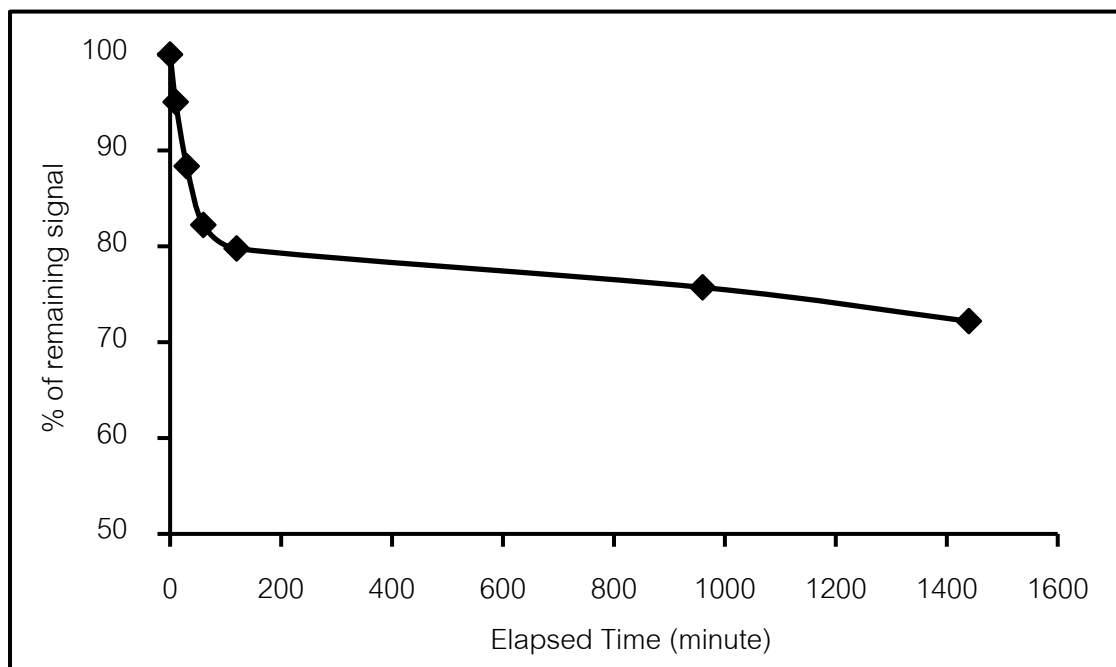
จากภาพที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าอิมเมจิงเพลตทั้ง 2 ชนิดมีเสถียรภาพดี มีค่าความแตกต่างในการวัดอยู่ในช่วง 10 %

4.2 ผลการทดสอบการจางหายของสัญญาณ

จากการทดสอบการจางหายของสัญญาณของแผ่นอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดได้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 จากนั้นนำข้อมูลจากตารางทั้งสองตารางไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจางหายของสัญญาณกับเวลาของอิมเมจิงเพลต

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงร้อยละของสัญญาณที่เหลืออยู่ในแผ่นอิเมจิงเพลตชนิด MS เมื่อผ่านไป ณ เวลาใด ๆ

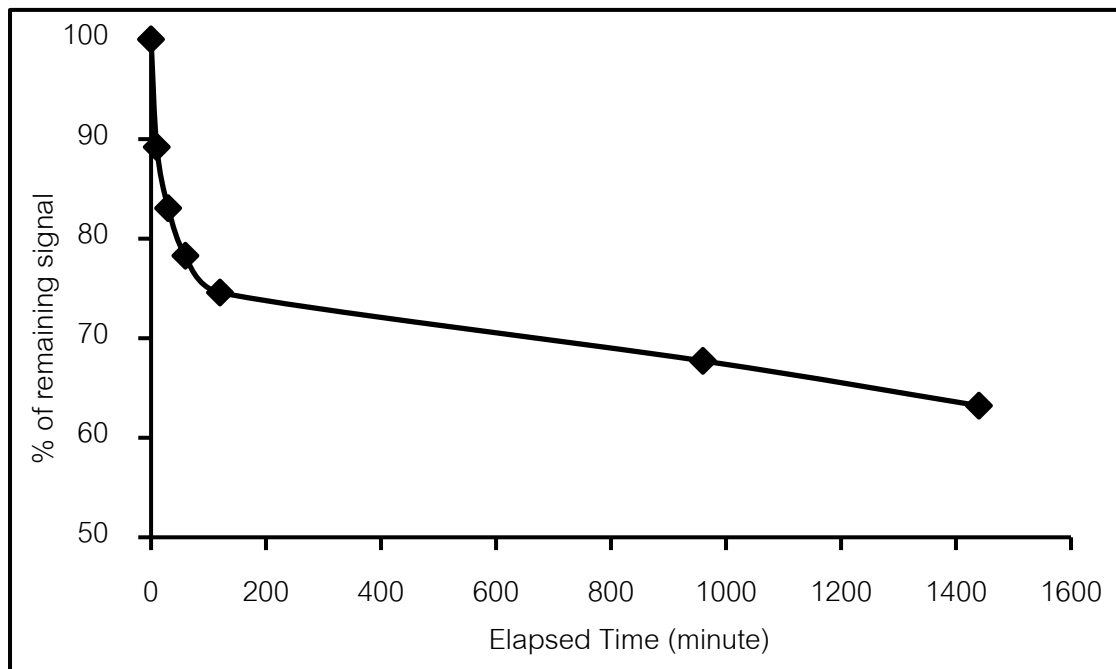
ระยะเวลาที่เกิดการจางหายของสัญญาณ (นาที)	ร้อยละของสัญญาณที่เหลืออยู่ (PSL/mm ²)
0	100
10	95.04
30	88.35
60	82.22
120	79.77
960	75.71
1440	72.18



ภาพที่ 4.3 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจางหายของสัญญาณกับเวลาของอิเมจิงเพลตชนิด MS

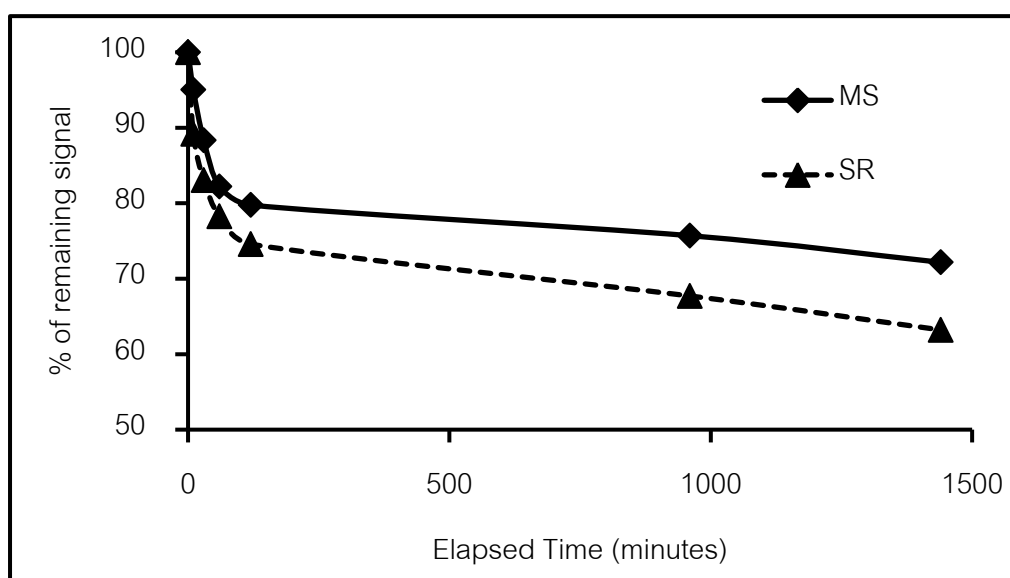
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงร้อยละของสัญญาณที่เหลืออยู่ในแผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด SR เมื่อผ่านไป ณ เวลาใด ๆ

ระยะเวลาที่เกิดการจางหายของสัญญาณ (นาที)	ร้อยละของสัญญาณที่เหลืออยู่ (PSL/mm ²)
0	100
10	89.19
30	83.05
60	78.27
120	74.58
960	67.72
1440	63.22



ภาพที่ 4.4 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจางหายของสัญญาณกับเวลาของอิมเมจิงเพลตชนิด SR

จากภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการจางหายของสัญญาณกับเวลาของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด พบว่าอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดมีลักษณะการเกิดการจางหายของสัญญาณที่เหมือนกันคือ ในช่วงแรกภายหลังจากการฉายรังสีใหม่ๆ อิมเมจิงเพลตจะเกิดการจางหายของสัญญาณในอัตราที่สูงมาก ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟที่ค่อนข้างชัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการเกิดการจางหายของสัญญาณกลับลดลงอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 4.5 ภาพเปรียบเทียบการจางหายของสัญญาณต่อเวลาระหว่างอิมเมจิงเพลตสองชนิด

จากภาพ 4.5 พบว่าอิมเมจิงเพลตชนิด MS จะมีอัตราการเกิดการจางหายน้อยกว่าอิมเมจิงเพลตชนิด SR ตลอดช่วงระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยเมื่อเวลาผ่านไปอัตราการจางหายของสัญญาณของแผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด MS จะลดลงมากกว่าของชนิด SR เล็กน้อย ถึงแม้ในช่วง 10 นาที แรกจะพบอัตราการจางหายที่สูง แต่ก็มีค่าที่ค่อนข้างแน่นอนและมีค่าสัญญาณที่สูง เมื่อเทียบกับการรอให้เกิดการจางหายต่อแล้วทำให้ค่าสัญญาณลดลง การทดลองหลังจากนี้จึงได้เลือกที่จะรอให้เกิดการจางหาย 10 นาที ก่อนนำอิมเมจิงเพลตไปอ่านผล

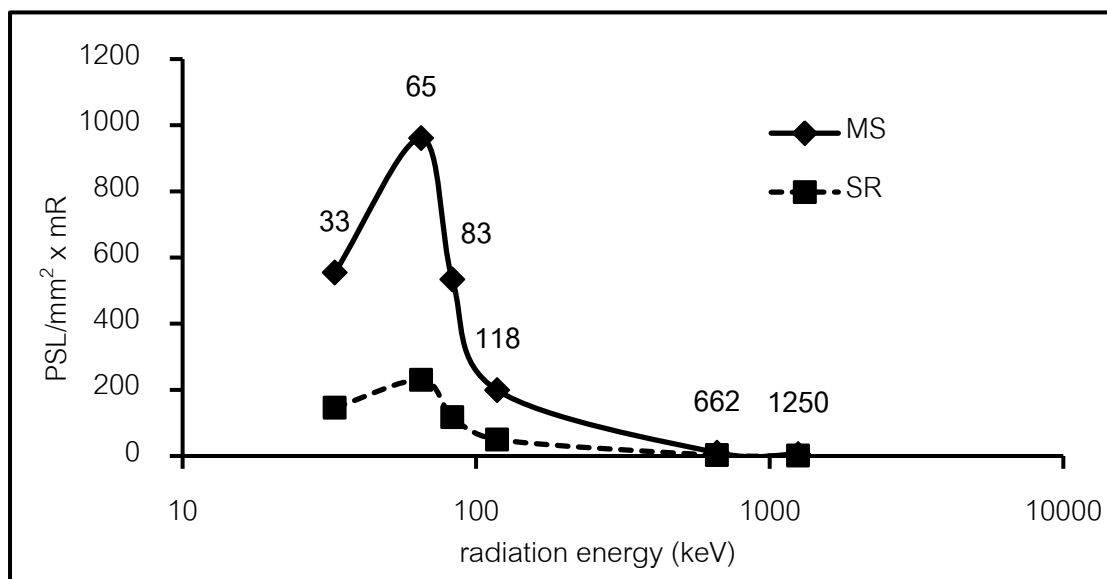
4.3 ผลการทดสอบการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลตต่อพลังงานของรังสี

จากการนำอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดไปฉายรังสีที่พลังงานแตกต่างกันแต่ฉายในปริมาณรังสีที่กำหนด แล้วนำไปคำนวณหาค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี (PSL/mm² • mR) ของอิมเมจิง-เพลตทั้งสองชนิดในแต่ละพลังงาน

ชนิดของแผ่น อิมเมจิงเพลต	ค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี (PSL/mm ² • mR)					
	พลังงานของรังสี (keV)					
	33	65	83	118	662	1250
MS	554.55	960.81	533.58	198.79	9.79	5.27
SR	145.83	229.76	116.89	49.46	2.30	1.11

จากข้อมูลในตาราง 4.4 สามารถนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบการตอบสนองต่อรังสีของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดได้ ดังภาพ 4.6 ซึ่งพบว่าอิมเมจิงเพลตชนิด MS สามารถตอบสนองต่อพลังงานของรังสีได้ดีกว่าอิมเมจิงเพลตชนิด SR มาก โดยสูงกว่าเกือบ 5 เท่าที่พลังงาน 83 และ 1250 keV ถึงแม้จะตอบสนองต่อพลังงานได้แตกต่างกัน แต่อิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดกลับมีลักษณะการตอบสนองต่อพลังงานที่เหมือนกัน เมื่อเทียบจากลักษณะของกราฟ กล่าวคืออิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดจะตอบสนองต่อรังสีที่พลังงาน 65 keV มากที่สุด และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มพลังงานขึ้นจนเริ่มคงที่ที่พลังงาน 662 keV ของ Cs-137



ภาพที่ 4.6 ภาพแสดงการตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ ของอิมเมจิงเพลตชนิด MS และชนิด SR

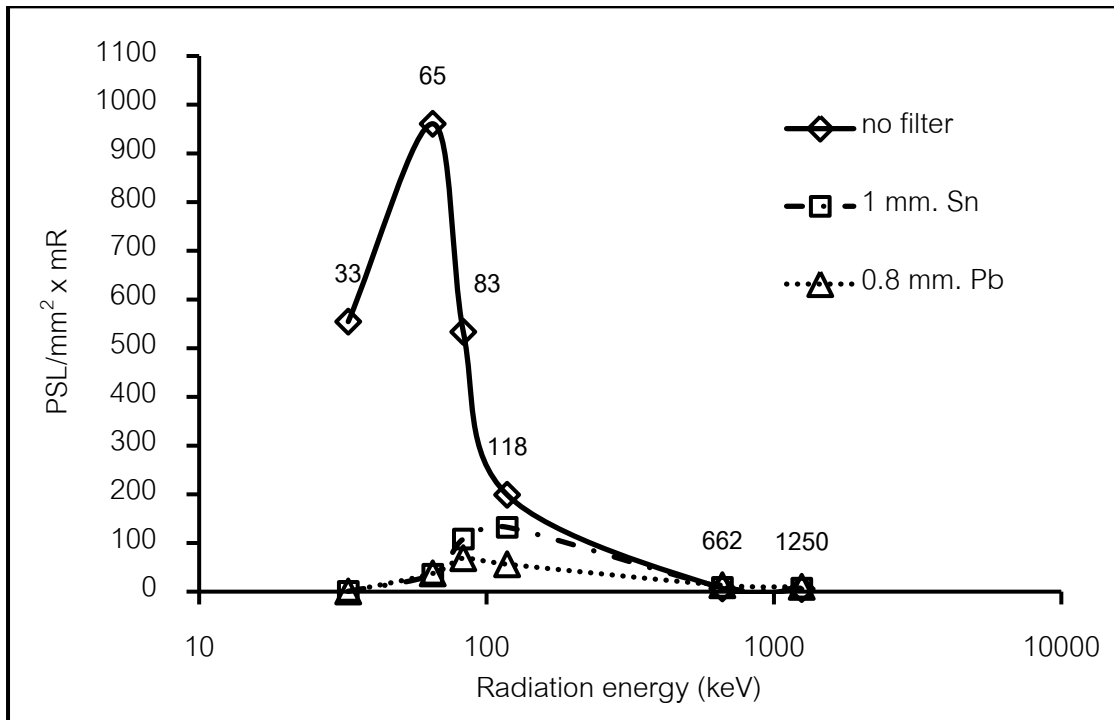
จากการทดสอบการลดการตอบสนองต่อรังสีพลังงานต่ำโดยการเพิ่มแผ่นกรองกำบังรังสีที่ทำมาจากดีบุกความหนา 1 มิลลิเมตร และตะกั่วความหนา 0.8 มิลลิเมตร ทำให้การตอบสนองต่อรังสีพลังงานต่ำลดลงตามที่คาด โดยเมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับกันดังตาราง 4.5 และ 4.6 แล้วนำไปสร้างกราฟเปรียบเทียบ จะเห็นถึงผลของการเปลี่ยนแปลงดังรูป 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี (PSL/mm² • mR) ของอิมเมจิง-เพลตชนิด MS ในแต่ละพลังงานเมื่อถูกหุ้มด้วยแผ่นกรองกำบังรังสี

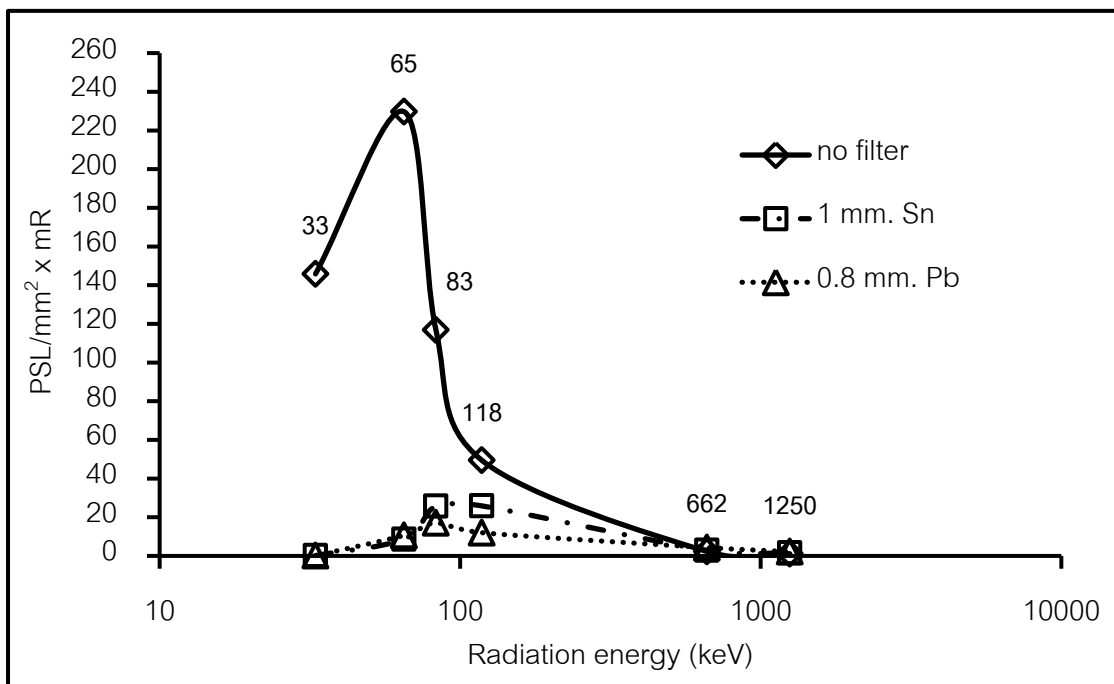
ชนิดของแผ่น กรองกำบังรังสี	ค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี (PSL/mm ² • mR)					
	พลังงานของรังสี (keV)					
	33	65	83	118	662	1250
no filter	554.55	960.81	533.58	198.79	9.79	5.27
Sn 1 mm.	0.83	35.84	108.11	132.34	13.33	7.35
Pb 0.8 mm.	0.56	37.55	68.84	56.40	19.08	10.00

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี (PSL/mm² • mR) ของอิมเมจิง-เพลตชนิด SR ในแต่ละพลังงานเมื่อถูกหุ้มด้วยแผ่นกรองกำบังรังสี

ชนิดของแผ่น กรองกำบังรังสี	ค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี (PSL/mm ² • mR)					
	พลังงานของรังสี (keV)					
	33	65	83	118	662	1250
no filter	145.83	229.76	116.89	49.46	2.30	1.11
Sn 1 mm.	0.16	8.63	25.76	25.86	2.91	1.56
Pb 0.8 mm.	0.11	10.60	17.14	11.99	4.31	2.18



ภาพที่ 4.7 ภาพแสดงการตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ เมื่อใส่แผ่นกรองกำบังรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด MS



ภาพที่ 4.8 ภาพแสดงการตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ เมื่อใส่แผ่นกรองกำบังรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด SR

จากภาพที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าแผ่นกรองกำบังรังสีทั้งสองชนิดสามารถลดปริมาณรังสีพลังงานต่ำที่เข้าไปกับอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดได้เป็นอย่างดี โดยที่พลังงาน 33, 65 และ 83 keV รังสีส่วนใหญ่ไม่สามารถผ่านแผ่นกรองไปได้ทำให้ค่าสัญญาณของอิมเมจิงเพลตลดลงไปกว่าร้อยละ 80 ที่พลังงาน 118 keV รังสีกว่าครึ่งยังสามารถผ่านแผ่นกรองดิบๆได้อยู่ แต่สามารถผ่านแผ่นตะกั่วได้เพียงร้อยละ 30 เท่านั้น แตกต่างกับที่พลังงาน 662 keV ของ Cs-137 และ 1250 keV ของ Co-60 ที่นอกจากค่าสัญญาณไม่ได้ลดลงไปแล้ว กลับยังเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมถึงเกือบสองเท่า

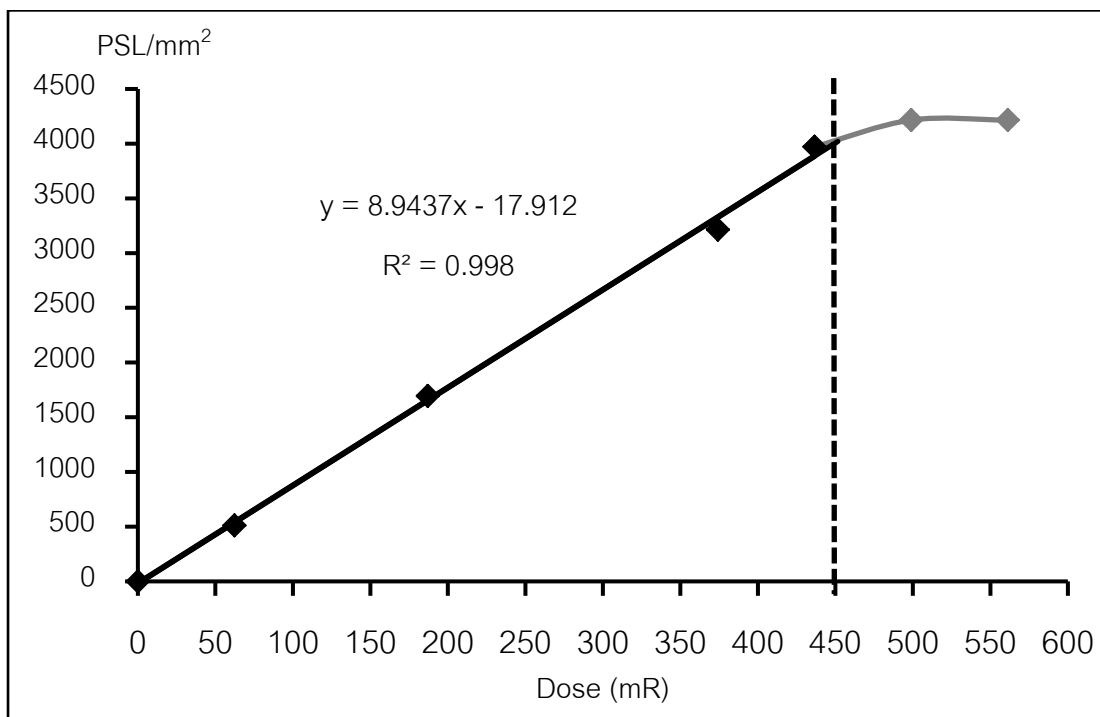
4.4 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด

จากการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตชนิด MS โดยการนำไปฉายด้วยต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ที่อัตราปริมาณรังสีเดียวกันแต่หลายปริมาณรังสี ได้ผลการอ่านค่าสัญญาณตามตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าสัญญาณที่อ่านได้ที่ปริมาณรังสีใด ๆ ของอิมเมจิงเพลตชนิด MS

ปริมาณรังสี (mR)	ค่าสัญญาณที่อ่านได้ (PSL/mm ²)
62.36	512.05
187.06	1694.33
374.18	3214.18
436.54	3971.79
498.91	4215.52
561.27	4215.50

เมื่อนำข้อมูลจากตาราง 4.7 ไปสร้างกราฟความเป็นเชิงเส้นของแผ่นอิมเมจิงเพลต ดังรูป 4.9 พบว่า ในช่วงปริมาณรังสีตั้งแต่ 0 ถึง 450 mR อิมเมจิงเพลตชนิด MS มีความเป็นเชิงเส้นค่อนข้างสูง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.998 ที่ โดยที่เมื่อปริมาณรังสีสูงขึ้นกว่านั้น อิมเมจิงเพลตจะเริ่มอิ่มตัว และไม่สามารถใช้งานวัดปริมาณรังสีต่อได้

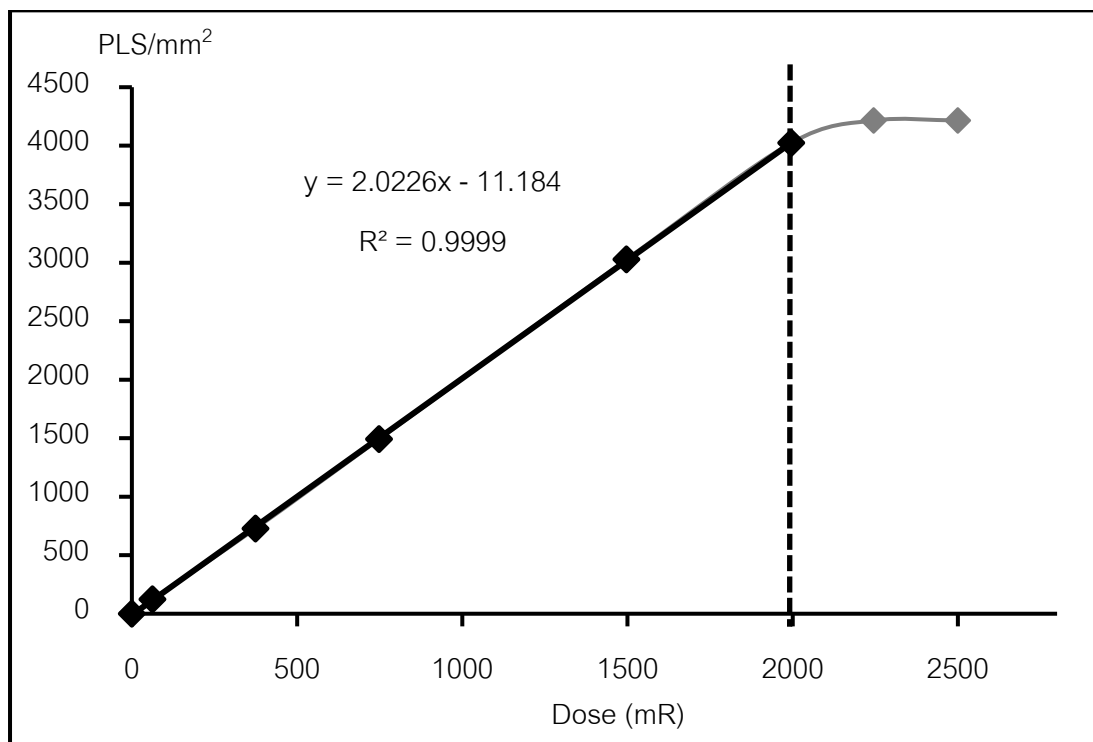


ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตชนิด MS

ในการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตชนิด SR ได้ผลการอ่านค่าสัญญาณตามตาราง 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงค่าสัญญาณที่อ่านได้ที่ปริมาณรังสีใด ๆ ของอิมเมจิงเพลตชนิด SR

ปริมาณรังสี (mR)	ค่าสัญญาณที่อ่านได้ (PSL/mm ²)
62.36	122.37
374.18	727.83
748.36	1491.51
1496.72	3027.81
1995.63	4023.59
2245.08	4215.52
2494.54	4215.50



ภาพที่ 4.10 ภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตชนิด SR

เมื่อนำข้อมูลจากตาราง 4.8 ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นของแผ่นอิมเมจิงเพลต ดังรูป 4.10 พบว่า ในช่วงปริมาณรังสีตั้งแต่ 0 ถึง 2000 mR อิมเมจิงเพลตชนิด SR มีความเป็นเชิงเส้นสูงไม่ต่างกับชนิด MS โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.999 แต่เนื่องจากการตอบสนองต่อรังสีที่ต่ำกว่าชนิด MS ทำให้อิมเมจิงเพลตชนิด SR สามารถใช้งานในช่วงปริมาณรังสีตั้งแต่ 0 ถึง 2000 mR จึงจะเริ่มอิ่มตัว และไม่สามารถใช้งานวัดปริมาณรังสีต่อได้

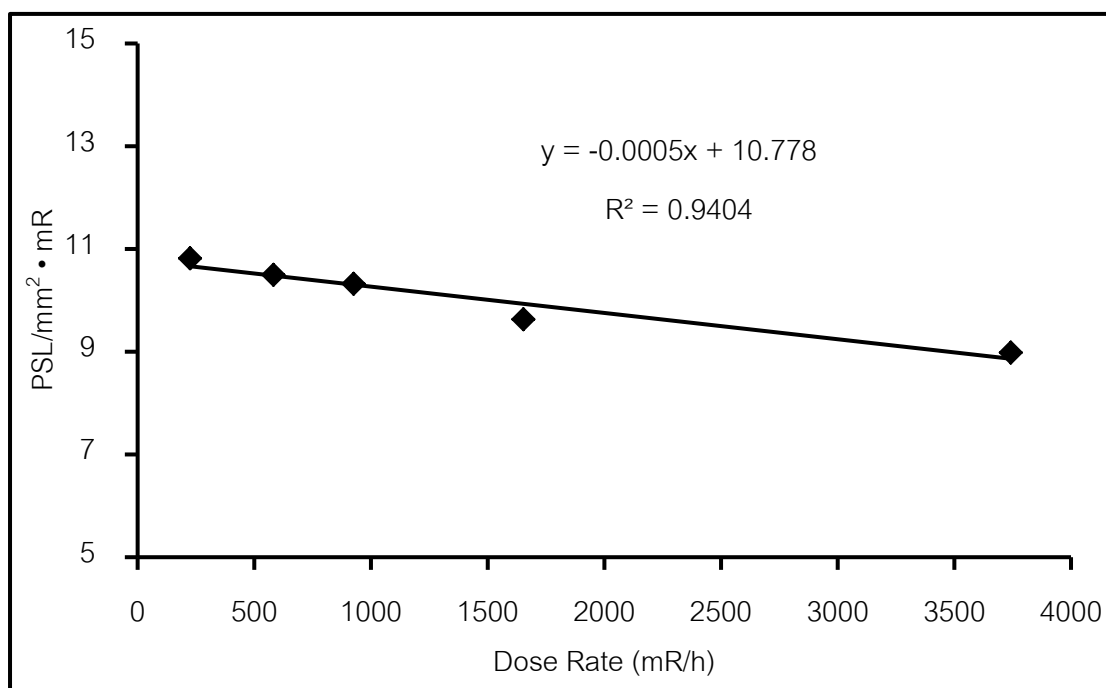
4.5 ผลการทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของแผ่นอิมเมจิงเพลต

จากการทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของแผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด MS โดยการฉายรังสีแกมมาพลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ได้ผลดังข้อมูลที่แสดงในตาราง 4.9

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด MS

อัตราปริมาณรังสี (mR/h)	ปริมาณรังสีที่ฉาย (mR)	ค่าสัญญาณ (PSL/mm ²)	ค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี (PSL/mm ² • mR)
224.55	7.48	80.96	10.82
582.29	19.41	203.73	10.50
925.53	30.85	318.37	10.32
1653.13	55.10	530.62	9.63
3741.80	124.73	1120.29	8.98

นำข้อมูลที่ได้ในตาราง 4.9 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปริมาณรังสีกับค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสีดังในรูป 4.11



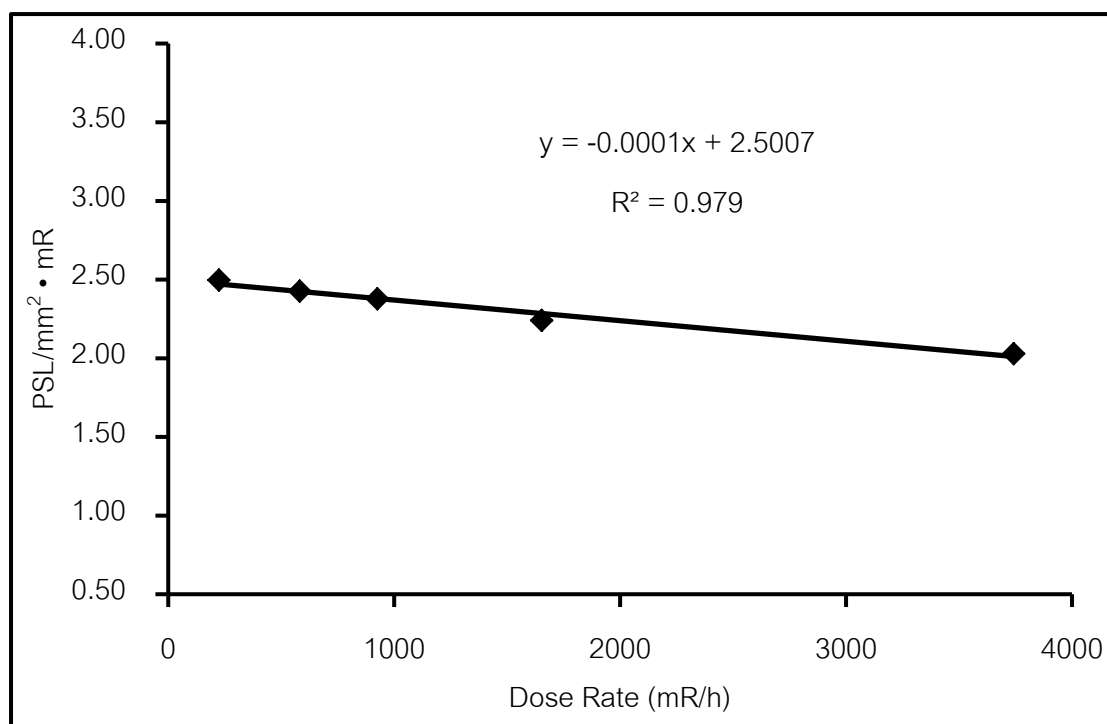
ภาพที่ 4.11 ภาพแสดงการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด MS

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์พบว่าอิมเมจิงเพลตชนิด MS ตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีต่ำ ได้ดีกว่าอัตราปริมาณรังสีสูง

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด SR

อัตราปริมาณรังสี (mR/h)	ปริมาณรังสีที่ฉาย (mR)	ค่าสัญญาณ (PSL/mm ²)	ค่าสัญญาณต่อปริมาณรังสี (PSL/mm ² • mR)
224.55	7.48	18.69	2.50
582.29	19.41	47.10	2.43
925.53	30.85	73.37	2.38
1653.13	55.10	123.47	2.24
3741.80	124.73	253.06	2.03

ในกรณีของอิมเมจิงเพลตชนิด SR เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 4.10 ไปสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังภาพ 4.12 พบว่าอิมเมจิงเพลตชนิด SR ก็ให้ผลไปในทางเดียวกันกับชนิด MS



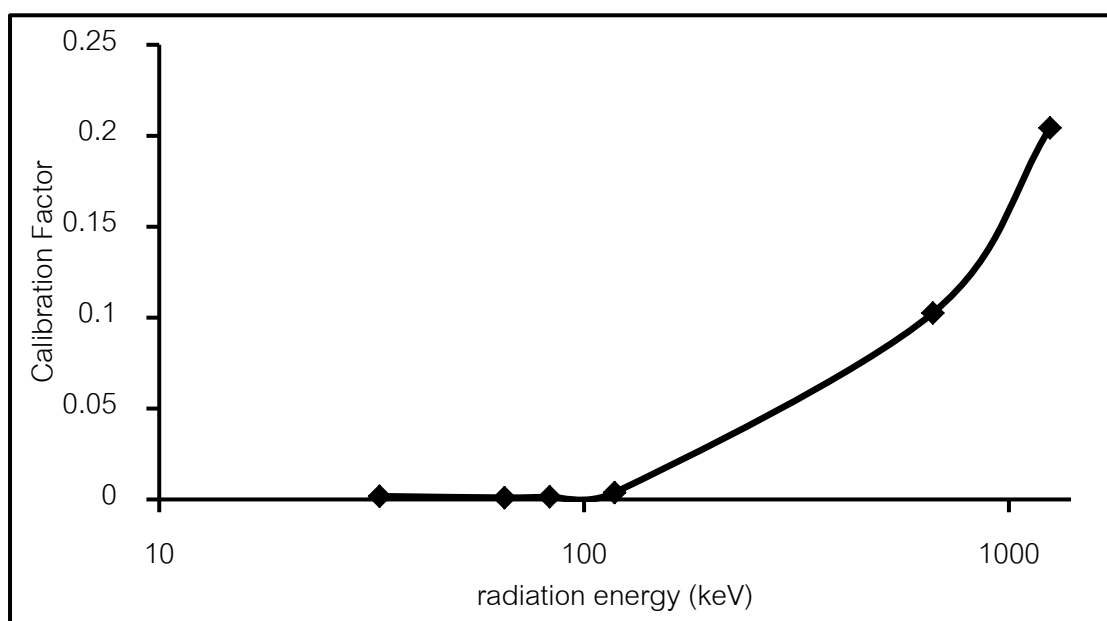
ภาพที่ 4.12 ภาพแสดงการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด SR

4.6 ผลการสอบเทียบแผ่นอิมเมจิงเพลตเพื่อหาค่า Calibration Factor

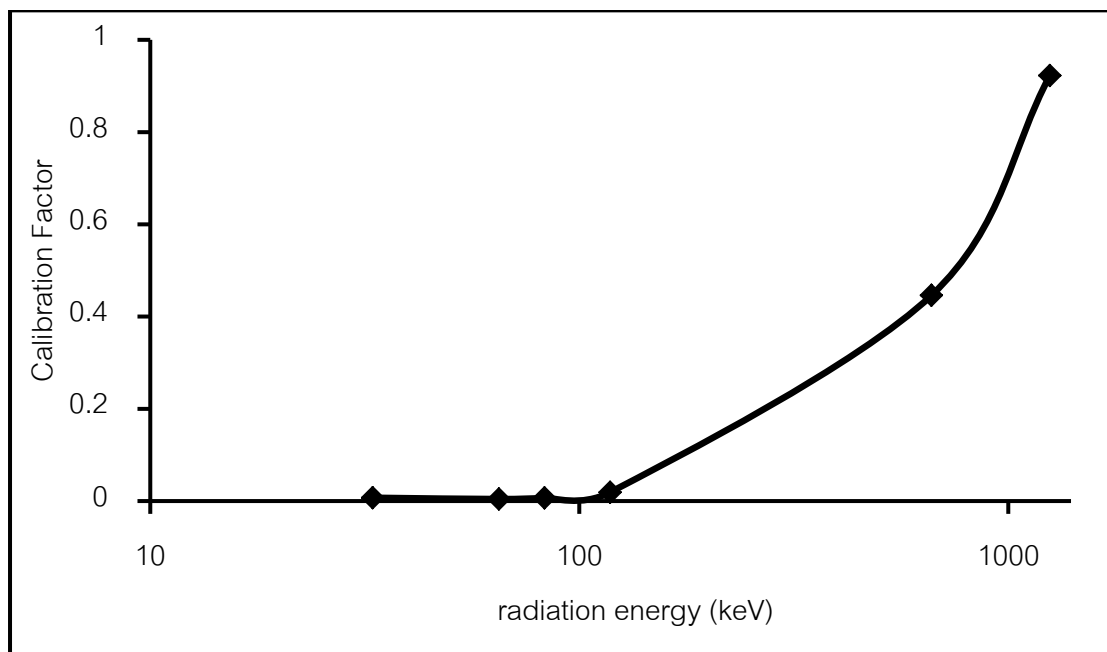
จากการนำอิมเมจิงเพลตไปสอบเทียบด้วยรังสีเอกซ์พลังงาน 33, 65, 83, 118 keV และรังสีแกมมาพลังงาน 662 กับ 1250 keV จากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 และ Co-60 ตามลำดับ ได้ค่า C.F. ของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดตามตาราง 4.11

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงค่า C.F. ของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดที่แต่ละพลังงาน

พลังงานของรังสี (keV)	Calibration Factor (mR • mm ² / PSL)	
	อิมเมจิงเพลตชนิด MS	อิมเมจิงเพลตชนิด SR
33	0.002	0.007
65	0.001	0.004
83	0.002	0.007
118	0.004	0.019
662	0.103	0.446
1250	0.204	0.923



ภาพที่ 4.13 ภาพแสดงค่า C.F. เทียบกับพลังงานของรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด MS



ภาพที่ 4.14 ภาพแสดงค่า C.F. เทียบกับพลังงานของรังสีของอิมเมจิงเพลตชนิด SR

4.7 ผลการทดสอบการนำอิมเมจิงเพลตไปใช้วัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน

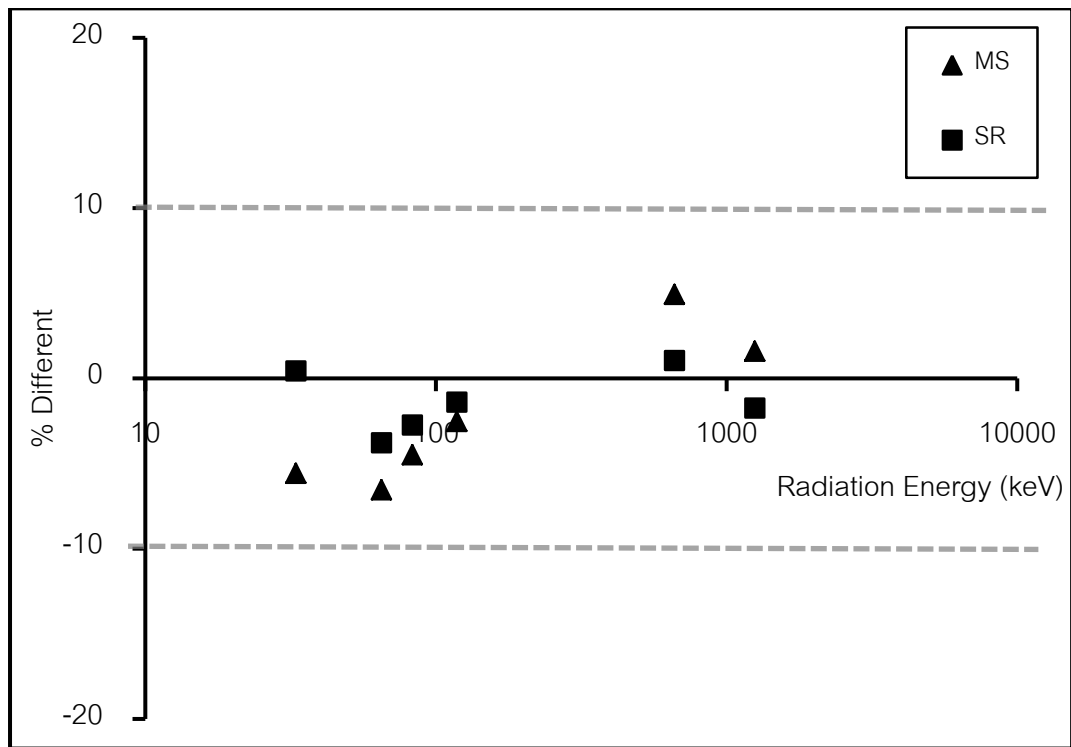
เมื่อได้ค่า C.F. ที่แต่ละพลังงานของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดจากการสอบเทียบก่อนหน้านี้แล้ว นำค่า C.F. ที่ได้ไปทดสอบใช้งาน โดยการนำอิมเมจิงเพลตไปทดลองวัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐานไอออนไนเซชันแคมเบอร์รุ่น A5 ที่พลังงาน 33, 65, 83 และ 118 keV และกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐานไอออนไนเซชันแคมเบอร์รุ่น A6 ที่พลังงาน 662 กับ 1250 keV แล้วนำผลการอ่านค่าที่ได้คำนวณหาร้อยละของความแตกต่างได้ตามตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงร้อยละของความแตกต่างของค่าที่แผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด MS วัดได้เทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน

พลังงานของรังสี (keV)	ปริมาณรังสี (mR)		Difference (mR)	% Difference
	ปริมาณรังสีที่วัดได้โดย เครื่องวัดรังสีมาตรฐาน	ปริมาณรังสีที่วัดได้โดย อิมเมจิงเพลตชนิด MS		
33	2.97	2.80	0.17	-5.57
65	2.99	2.79	0.20	-6.55
83	2.96	2.83	0.13	-4.48
118	2.98	2.90	0.08	-2.53
662	100.07	105.01	4.94	4.93
1250	3.08	3.13	0.05	1.59

ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงร้อยละของความแตกต่างของค่าที่แผ่นอิมเมจิงเพลตชนิด SR วัดได้เทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน

พลังงานของรังสี (keV)	ปริมาณรังสี (mR)		Difference (mR)	% Difference
	ปริมาณรังสีที่วัดได้โดย เครื่องวัดรังสีมาตรฐาน	ปริมาณรังสีที่วัดได้โดย อิมเมจิงเพลตชนิด SR		
33	2.97	2.98	0.01	0.45
65	2.99	2.88	0.11	-3.78
83	2.96	2.88	0.08	-2.74
118	2.98	2.93	0.05	-1.39
662	100.07	101.13	1.06	1.06
1250	3.08	3.02	0.06	-1.74



ภาพที่ 4.15 ภาพแสดงร้อยละของความแตกต่างของค่าที่แผ่นอิมเมจิงเพลตวัดได้เทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐานที่พลังงานรังสีต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบเสถียรภาพของอิมเมจิงเพลต

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดมีเสถียรภาพค่อนข้างสูง โดยมีความแตกต่างในการวัดต่ำกว่า 10 % มีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปใช้ในการวิจัยในขั้นต่อไป

5.2 สรุปผลการทดสอบการจางหายของสัญญาณ

ในการทดสอบการจางหายของสัญญาณจะเห็นว่าอิมเมจิงเพลตชนิด SR เกิดการจางหายของสัญญาณมากกว่าชนิด MS เล็กน้อยประมาณร้อยละ 5 โดยช่วง 10 นาทีแรกมีอัตราการการจางหายสูงถึงร้อยละ 30 ต่อชั่วโมงในชนิด MS และร้อยละ 65 ต่อชั่วโมงสำหรับชนิด SR เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการการจางหายลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยสำหรับชนิด MS อัตราการการจางหายต่อชั่วโมงลดลงจากร้อยละ 30 ใน 10 นาทีแรก เหลือร้อยละ 17.8 ในชั่วโมงแรก และเหลือเพียงร้อยละ 2.5 ในชั่วโมงที่ 2 และเช่นเดียวกันกับชนิด MS อัตราการการจางหายต่อชั่วโมงของชนิด SR ที่สูงถึงร้อยละ 65 ใน 10 นาทีแรก ลดลงเหลือร้อยละ 21.7 ในชั่วโมงแรก และร้อยละ 3.7 ในชั่วโมงที่ 2 และเมื่อทดลองปล่อยให้เกิดการจางหายเป็นเวลา 1 วัน พบว่า อัตราการการจางหายของชนิด MS จะเหลือแค่ร้อยละ 1.16 และร้อยละ 1.53 สำหรับชนิด SR

5.3 สรุปผลการทดสอบการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลตต่อพลังงานของรังสี

จากผลการทดสอบการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลตต่อพลังงานของรังสี จะเห็นว่าอิมเมจิงเพลตทั้ง 2 ชนิดมีการตอบสนองต่อรังสีในลักษณะเดียวกันคือมีการตอบสนองต่อรังสีพลังงานต่ำได้ดีกว่ารังสีพลังงานสูงโดยการตอบสนองจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงที่สุดที่พลังงาน 65 keV และลดลงอย่างรวดเร็วจนเริ่มคงที่ที่พลังงานรังสีเท่ากับ 662 keV

ในกรณีของการวัดรังสีเอกซ์พลังงานต่ำซึ่งอิมเมจิงเพลตมีการตอบสนองค่อนข้างสูงนั้นสามารถใช้แผ่นโลหะเช่น ดีบุก หรือตะกั่ว ที่ไม่หนามากนักในการลดทอนปริมาณรังสีที่ฉายให้อิมเมจิงเพลตได้ ในกรณีที่ต้องนำอิมเมจิงเพลตไปใช้ในบริเวณที่มีรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์

พลังงานต่ำอยู่มากโดยอาจเกิดมาจากการกระเจิงของรังสี เช่นบริเวณผนังห้องเป็นต้น ก็สามารถ
ใช้แผ่นโลหะพวกนี้ในการแก้ปัญหาได้เช่นกัน แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือทำให้ความไวของอิมเมจิงเพลต
ลดลง

5.4 สรุปผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิด

สำหรับการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตจากภาพที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นว่า
อิมเมจิงเพลตชนิด MS มีความเป็นเชิงเส้นสูงในช่วงปริมาณรังสีตั้งแต่ 0 ถึง 450 mR โดยมีค่า R^2
เท่ากับ 0.998 และจะเกิดการอิ่มตัว (saturated) เมื่อปริมาณรังสีสูงขึ้น ส่วนอิมเมจิงเพลตชนิด SR
นั้นพบว่ามีความเป็นเชิงเส้นสูงในช่วงปริมาณรังสีตั้งแต่ 0 ถึง 2000 mR และมีค่า R^2 เท่ากับ
0.999 ในการทดสอบนี้นอกจากจะได้ทราบถึงความเป็นเชิงเส้นของอิมเมจิงเพลตแล้ว ยังทำให้
ทราบถึงขีดจำกัดในการนำอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดไปวัดปริมาณรังสีแกมมาจาก Cs-137 อีก
ด้วย

5.5 สรุปผลการทดสอบการตอบสนองต่ออัตราปริมาณรังสีของแผ่นอิมเมจิงเพลต

จากการทดสอบพบว่าอัตราปริมาณรังสีมีผลต่อการตอบสนองของแผ่นอิมเมจิงเพลต โดย
ทั้งอิมเมจิงเพลตชนิด MS และ SR ต่างก็ให้ผลการทดสอบไปในทางเดียวกัน คือ เมื่ออัตราปริมาณ
รังสีเพิ่มสูงขึ้น อิมเมจิงเพลตจะมีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีที่ลดลง ดังนั้นในการนำไปใช้งาน
จริงจึงควรต้องระวังถึงการนำไปใช้งานในบริเวณที่มีอัตราปริมาณรังสีไม่คงที่

5.6 สรุปผลการสอบเทียบแผ่นอิมเมจิงเพลตเพื่อหาค่า Calibration Factor

เนื่องจากอิมเมจิงเพลตตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่าง ๆ ได้ไม่เท่ากัน ค่า Calibration
Factor ที่แต่ละพลังงานจึงต่างกันค่อนข้างมาก จึงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบอิมเมจิงเพลตที่
หลาย ๆ พลังงาน เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้งานได้จริงได้ครอบคลุมทั่วถึงทุก ๆ พลังงาน

5.7 สรุปการทดสอบการนำอิมเมจิงเพลตไปใช้วัดปริมาณรังสีเทียบกับเครื่องวัดรังสีมาตรฐาน

จากการทดสอบจะเห็นว่าอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดที่ผ่านการสอบเทียบเพื่อหาค่า C.F. นั้น สามารถวัดปริมาณรังสีได้อย่างแม่นยำ อิมเมจิงเพลตชนิด SR วัดปริมาณรังสีได้แตกต่างจากเครื่องวัดรังสีมาตรฐานน้อยกว่าร้อยละ 4 และน้อยกว่าร้อยละ 7 สำหรับชนิด MS จึงสามารถสรุปได้ว่าอิมเมจิงเพลตทั้งสองชนิดที่ผ่านการสอบเทียบจากเครื่องวัดรังสีมาตรฐานแล้วสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.8 ข้อเสนอแนะ

1. ถ้าเป็นไปได้ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงความเป็นไปได้ที่จะนำอิมเมจิงเพลตไปใช้ในการวัดปริมาณรังสีแอลฟา รังสีบีตา และ นิวตรอน
2. อิมเมจิงเพลตยังมีข้อด้อยอยู่ในบางประการเช่นวิธีแก้ไขการเกิดการจางหายซึ่งจากการศึกษาบทความวิจัยอื่น ๆ ที่สามารถลดการเกิดการจางหายได้เช่น การนำอิมเมจิงเพลตไปฉายแสงหรือการนำอิมเมจิงเพลตไปอบด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่ามีผลกระทบต่อค่าสัญญาณที่เก็บไว้ในแผ่นจึงไม่เหมาะสำหรับนำมาใช้ในการทดสอบวัดปริมาณรังสี
3. ถ้าเป็นไปได้ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของอุณหภูมิและแสงต่อการเกิดการจางหาย

รายการอ้างอิง

- [1] Ohuchi, H., Yamadera, A., Application of an Imaging Plate to Radiation Dosimetry, CYRIC annual report pp.165-169. Japan: Tohoku University, 2001.
- [2] Thoms, M., The quantum efficiency of radiographic imaging with image plates, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 378 (1996) : 598-611.
- [3] Ohuchi, H., Yamadera, A., Dependence of fading patterns of photo-stimulated luminescence from imaging plate on radiation, energy, and image reader, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 490 (2002) :573-582.
- [4] Boukhair, A., Hilmann, C., Nourreddine, A., Pape, A. and Porta, G. I. Fast neutron and gamma ray dosimetry with imaging plates. Radiation Measurements 34, 1-6 (June 2001): 513-516.
- [5] L'annunziata, M., F. Handbook of Radioactivity Analysis. 2nd ed. California: Academic Press, 2003
- [6] Lilley, J., Nuclear Physics. West Sussex : John Wiley & Sons, 2009.
- [7] Knoll, G., F., Radiation Detection and Measurement. 2nd ed. Singapore: : John Wiley & Sons, 1989.
- [8] บทความสมมติฐานนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. Imaging Plate [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.nst.or.th/article/article143/article1439.htm> [2553, กุมภาพันธ์ 10]
- [9] Fujifilm Global. Imaging Plate [online]. Available from: http://www.fujifilm.com/products/life_science_systems/science_imaging/imaging_plate/whatis/ [2010, February 10]
- [10] อัมไพ สุขบ่าเพิง. การตรวจสอบที่หุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

- [11] Takahashi, K., Progress in Science and Technology on Photostimulable BaFX:Eu²⁺ c (X = Cl, Br, I) and Imaging Plates. Journal of Luminescence. Vol. 100, (2002): 307-315.
- [12] อังศุมาลิน อิ่นแดง. การวัดและประเมินค่าการกระเจิงของระดับรังสีแกมมาอ้างอิงใน ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิด้วยระบบวัดแบบอิมเมจจิงเพลต. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2553
- [13] ISO (International Organization for Standardization). ISO 4037-1. 1st ed. Switzerland, 1996

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หัววัดรังสีมาตรฐานไอออนไนเซชันแฮมเบอร์ขนาด A6

ปัจจุบันห้องปฏิบัติการ SSDL ได้ค่าอัตราปริมาณรังสีอ้างอิงมาตรฐานของเครื่องกำเนิดรังสี OB85 มาจากหัววัดรังสีมาตรฐานไอออนไนเซชันแฮมเบอร์ ขนาด A6 ซึ่งได้มีการสอบกลับ (Traceability) ไปที่ Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), the Federal Republic of Germany, ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการระดับปฐมภูมิ



ภาพที่ ก.1 หัววัดรังสีมาตรฐานไอออนไนเซชันแฮมเบอร์ขนาด A6



ภาพที่ ก.2 ภาพสติกเกอร์ผ่านการสอบเทียบจาก PTB

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin



Kalibrierschein
Calibration Certificate

Gegenstand: Ionisation chamber with display unit
Object:

Hersteller: Standard Imaging Inc.
Manufacturer: Middelton

Typ: A6 REF 92716 S/N XQ063052
Type: MAX 4000 REF90015 S/N E062682

Kennnummer: see above
Serial No.:

Auftraggeber: Office of Atoms for Peace (OAP)
Applicant: 16 Vibhavadi Rangsit Rd., Chatuchak
Bangkok 10900, Thailand

Anzahl der Seiten: 5
Number of pages:

Geschäftszeichen: 6.25 - 41/09K
Reference No.:

Kalibrierzeichen: ionisation chamber 5921 display unit 5925
Calibration mark:

Datum der Kalibrierung: 2009-09-11 to 2009-09-23
Date of calibration:

Im Auftrag: Braunschweig, 2009-09-28
On behalf of PTB:

Bearbeiter:
Examiner:

391 0081


Dr. L. Büermann

Siegel
Seal




I. Warkehr

Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Siegel haben keine Gültigkeit. Dieser Kalibrierschein darf nur unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge bedürfen der Genehmigung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.
Calibration Certificates without signature and seal are not valid. This Calibration Certificate may not be reproduced other than in full. Extracts may be taken only with the permission of the Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

ภาพที่ ก.3 ภาพใบรับรองการผ่านการสอบเทียบจาก PTB

ภาคผนวก ข

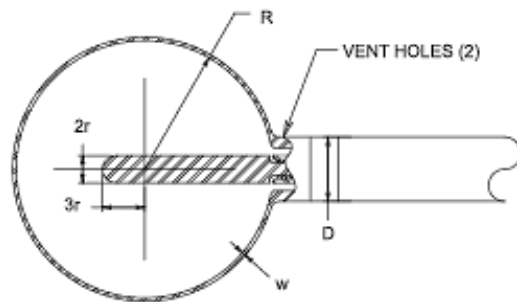
หัววัดรังสีมาตรฐานไอออไนเซชันแฮมเบอร์ขนาด A5

ใช้ในการหาอัตราปริมาณรังสีอ้างอิงของเครื่องกำเนิตรังสีเอกซ์ ซึ่งได้มีการสอบกลับ (Traceability) ไปที่ Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), the Federal Republic of Germany, เช่นเดียวกับหัววัดขนาด A6



ภาพที่ ข.1 หัววัดรังสีมาตรฐานไอออไนเซชันแฮมเบอร์ขนาด A5

ภาคผนวก ค



MODEL	R mm	r mm	w mm	D mm	Stem Diameter mm	Collecting Volume cc	Calibration
							Factor* R/nC (nominal)
A3	9.7	1.0	0.25	7.9	7.9	3.6	0.9
A4	19.1	2.0	0.50	9.5	9.5	30	0.09
A5	28.4	3.0	3.0	15.9	15.9	100	0.03
A6	57.2	5.8	3.0	22.2	15.9	800	0.004

ภาพที่ ค.1 รายละเอียดภายในของหัววัดรังสีมาตรฐานไอออนไนเซชันแฮมเบอร์รุ่น A5

และ A6

ภาคผนวก ง

เครื่องกำเนิดรังสี OB85 บรรจุวัสดุกัมมันตรังสี Cs-137 และ Co-60 พร้อมระบบควบคุมเวลา



ภาพที่ ง.1 เครื่องฉายรังสี OB85 บรรจุวัสดุกัมมันตรังสี Cs-137 และ Co-60



ภาพที่ ง.2 เครื่องควบคุมการฉายรังสี OB85 พร้อมระบบควบคุมเวลา

ภาคผนวก จ

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

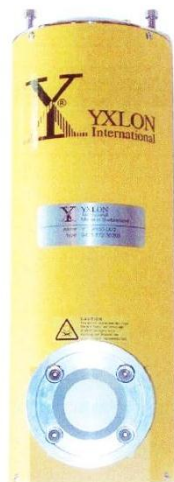
เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เวลาใช้งานจะถูกเลื่อนมาด้านหน้าของเครื่องฉายรังสี OB85 ประกอบด้วย

- High-voltage generator รุ่น MGG42
- Power supply รุ่น MGP41
- Control panel รุ่น MGC41
- X-ray tube รุ่น Y.TU/160-D02



ภาพที่ จ.1 เครื่องฉายรังสีเอกซ์

ภายในจะบรรจุหลอดรังสีเอกซ์รุ่น Y.TU/160-D02 ซึ่งเป็นประเภท metal-ceramic ในการใช้งานสามารถปรับค่า High voltage ได้ตั้งแต่ 7.5 – 160 kV โดยปรับค่าได้ต่ำสุดเท่ากับ 0.1 kV และสามารถปรับค่ากระแสได้ตั้งแต่ 0.5 – 45 mA โดยปรับได้ต่ำสุดที่ 0.05 mA



ภาพที่ ๑.2 หลอดรังสีเอกซ์รุ่น Y.TU/160-D02

เครื่องฉายรังสีเอกซ์จะถูกควบคุมด้วยเครื่อง MGC 41



ภาพที่ ๑.3 MGC41 controller unit

ภาคผนวก ฉ

การกำหนดพลังงานรังสีเอกซ์อ้างอิงจากตารางที่ 4 Characteristics of narrow-spectrum series ใน ISO 4037-1

Table 4 — Characteristics of narrow-spectrum series

Mean energy, \bar{E} keV	Resolution, R_E %	Tube potential ¹⁾ kV	Additional filtration ²⁾ mm				1st HVL ⁴⁾ mm	2nd HVL ⁴⁾ mm
			Pb	Sn	Cu	Al		
8	28	10				0,1 ³⁾	0,047 Al	0,052 Al
12	33	15				0,5 ³⁾	0,14 Al	0,16 Al
16	34	20				1,0 ³⁾	0,32 Al	0,37 Al
20	33	25				2,0 ³⁾	0,66 Al	0,73 Al
24	32	30				4,0 ³⁾	1,15 Al	1,30 Al
33	30	40			0,21		0,084 Cu	0,091 Cu
48	36	60			0,6		0,24 Cu	0,26 Cu
65	32	80			2,0		0,58 Cu	0,62 Cu
83	28	100			5,0		1,11 Cu	1,17 Cu
100	27	120		1,0	5,0		1,71 Cu	1,77 Cu
118	37	150		2,5			2,36 Cu	2,47 Cu
164	30	200	1,0	3,0	2,0		3,99 Cu	4,05 Cu
208	28	250	3,0	2,0			5,19 Cu	5,22 Cu
250 ⁴⁾	27	300	5,0	3,0			6,12 Cu	6,15 Cu

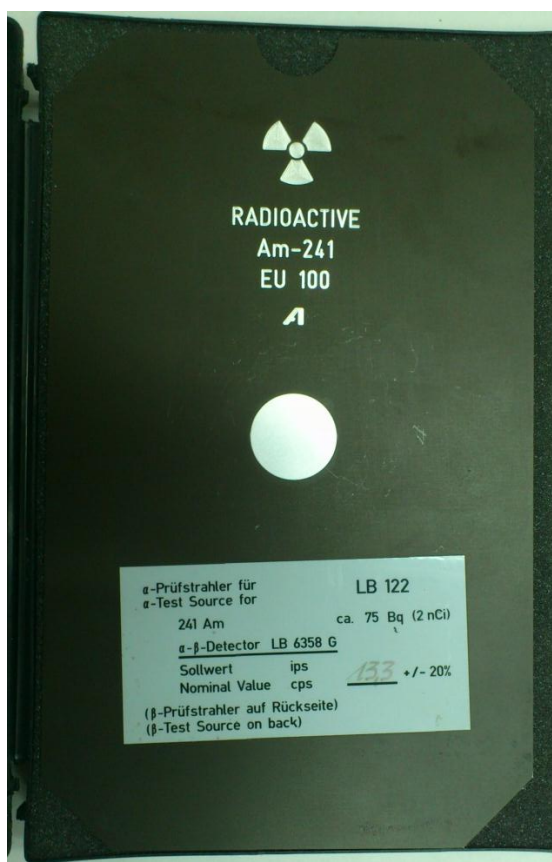
1) The tube potential is measured under load.
2) Except for the five lowest energies, where recommended inherent filtration is 1 mm Be, the total filtration consists of the additional filtration plus the inherent filtration, adjusted to 4 mm of aluminium (see 4.2.3).
3) The recommended inherent filtration is 1 mm Be, but other values may be used provided that the mean energy is within $\pm 5\%$ and the resolution is within $\pm 15\%$ of the values given in the table.
4) The HVLs are measured at 1 m from the focal spot.

ภาพที่ ฉ.1 ภาพตารางการปรับพลังงานของหลอดรังสีเอกซ์และการเลือก Additional

filter

ภาคผนวก ช

ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 รุ่น LB 122 ใช้สำหรับตรวจวัดเสถียรภาพอิมเมจิงเพลต
ภายในห้องปฏิบัติการ NSRL



ภาพที่ ช.1 ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Am-241 รุ่น LB 122

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปพน เผือกคะเชนทร์ เกิดวันที่ 26 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาวិทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป(ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2551 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์นิวเคลียร์ กลุ่มมาตรฐานการวัดรังสีและกัมมันตภาพรังสี สำนักสนับสนุนการกำกับดูแลความปลอดภัยจากพลังงานปรมาณู สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี