

การตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากรังสี PI-200

นางวราภรณ์ จันทร์เทศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
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.

RESPONSE OF PI-200 FLUORESCENT SCREEN TO X-RAYS

Mrs. Waraporn Chanthade

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 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากเรืองรังสี PI-200

โดย

นางวราภรณ์ จันท์เทศ

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศสิทธิ์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี)

วราภรณ์ จันทร์เทศ : การตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากเรืองรังสี PI-200. (RESPONSE OF PI-200 FLUORESCENT SCREEN TO X-RAYS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ. อรรถพร ภัทรสุมันต์, 72 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากเรืองรังสี แกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ Kyokko PI-200 สำหรับใช้เป็นฉากเพิ่มความดำของฟิล์มถ่ายภาพ ด้วยรังสีเอกซ์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ได้ทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์ ประคบกับฉากเรืองรังสี PI-200 ที่ค่าศักดาไฟฟ้าสูงตั้งแต่ 80 ถึง 250 กิโลโวลต์ และเอกซ์โพเชอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-นาที่ เปรียบเทียบกับเมื่อประคบกับฉากตะกั่ว และฉากแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ DRZ-Std ผลการวิจัยพบว่าความดำของฟิล์มมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์สูงขึ้น ซึ่ง ตรงกันข้ามกับฟิล์มที่ไม่มีฉากประคบที่ความดำของฟิล์มกลับลดลงเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์ สูงขึ้น และยังพบว่าที่ค่าศักดาไฟฟ้า 250 กิโลโวลต์ ความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200, DRZ-Std และฉากตะกั่ว มีค่าสูงกว่าฟิล์มที่ไม่มีฉากเพิ่มความดำของภาพประมาณ 12, 11 และ 4 เท่า ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าฉากเรืองรังสี PI-200 สามารถช่วยเพิ่มความเร็วของฟิล์มได้ อย่างมีนัยสำคัญสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานสูง แต่คุณภาพของภาพลดลงเล็กน้อย ดังนั้นจึงบ่งบอกว่าฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 เหมาะสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานสูง เมื่อความละเอียดของภาพไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญนัก เช่น ในการตรวจวัดบริเวณที่เกิดการกัดกร่อน การสะสมของวัสดุ และการอยู่ผิดตำแหน่ง เป็นต้น

ภาควิชา..... วิศวกรรมนิวเคลียร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา..... นิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา..... 2555..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5270484121 : MAJOR NUCLEAR ENGINEERING

KEYWORDS : PI-200 FLUORESCENT SCREEN / RADIOGRAPHY / X-RAY / GADOLINIUM OXYSULPHIDE (TERBIUM)

WARAPORN CHANTHADE : RESPONSE OF PI-200 FLUORESCENT SCREEN TO X-RAYS. ADVISOR : ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, CO-ADVISOR : ASST. PROF. ATTAPORN PATTARASUMUNT, 72 pp.

In this research, response of Kyokko PI-200 gadolinium oxysulfide (GOS) fluorescent screen to x-rays was experimentally investigated to be used as the intensifying screen for Kodak industrial x-ray film. The fluorescent sreen coupled with x-ray film was exposed to x-rays from an x-ray tube at the tube kilovoltage from ranging from 80 to 250 kV and the GOS fluorescent of 3 milliampere-minutes in comparison to lead foil screen and Kyokko DRZ-Std GOS fluorescent screen. The results showed that the film density increased with increasing of the tube kVp. In contrast, the film density of bare film, without a screen, decreased as the tube kVp increased. It was also observed that response of the x-ray film coupled with the PI-200 fluorescent screen, the DRZ-Std fluorescent screen and the lead foil screen to x-rays at 250 kVp was approximately 12, 11 and 4 times higher than that of the bare film respectively. It could be concluded that the PI-200 fluorescent screen could significantly increase film speed particularly for high energy x-ray radiography but the image quality was slightly decreased. It was, therefore, indicated that the PI-200 fluorescent screen was suitable for high energy x-ray radiography when image resolution was not an important factor such as in detection of area corrosion, material deposition and misalignment.

Department : Nuclear Engineering Student's Signature.....
 Field of Study : Nuclear Engineering Advisor's Signature.....
 Academic Year : 2012 Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่ง จาก รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผศ. อรรถพร ภัทรสุมันต์ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้อง มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ที่ขาดไม่ได้ คือ ประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันได้แก่ รศ.สมยศ ศรีสถิตย์ ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์ และดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ทุกท่าน อันได้แก่ คุณสมยศ ปรงเมือง คุณสมาน อิงไธสง นายช่างอาวุโส ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือต่างๆ และที่ให้ความช่วยเหลือด้านการจัดหาวัสดุ อุปกรณ์ ข้อมูลต่าง ๆ และให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือในการวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่จากสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ อันได้แก่ คุณวิวิธ ธรรมวีระพงษ์ นักฟิสิกส์รังสีชำนาญการพิเศษ คุณนพรัตน์ แก้วใหม่ นักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ ที่ให้การสนับสนุน และให้คำแนะนำในการทำวิจัยครั้งนี้ และที่ลืมไม่ได้ คือ คุณมยุรี จันทรสายทอง ที่คอยให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน จนสามารถฝ่าฟันอุปสรรคมาได้ และขอขอบคุณบุคลากรและพี่ๆ น้องๆ ที่ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกด้าน

ขอขอบพระคุณ คุณประจักษ์ใจ สีพั้ว บริษัท คงศักดิ์เอ็กซ์เรย์ การแพทย์อุตสาหกรรม จำกัด ที่ได้จัดหาวัสดุอุปกรณ์ ข้อมูลต่าง ๆ และให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือในการวิจัยนี้

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา-มารดา ป้า สามี และบุตรชาย ที่เป็นกำลังใจและอยู่เคียงข้างเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์จากการค้นคว้าอันพึงมีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบบูชาคุณแต่ บิดา มารดา รวมถึงครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่มีส่วนในการอบรมสั่งสอนให้ความรู้ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดหลอดรังสีเอกซ์.....	6
2.2 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	9
2.3 การเกิดภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์.....	11
2.4 ฉากเพิ่มความเข้มรังสี (intensifying screen).....	17
2.5 ฉากเรืองรังสี.....	18
2.6 สารฟอสฟอรัสที่นิยมใช้ในฉากเรืองรังสี.....	20
2.7 คุณสมบัติของฉากเรืองรังสีแกดโดลิเนียมออกไซด์ฟอสไฟด์(เทอร์เบียม) [Gd ₂ O ₂ S(Tb)].....	21
2.8 คุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสี.....	23

บทที่ 3	วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1	วัสดุอุปกรณ์ในการทดสอบคุณสมบัติของฉากรีจิสเตอร์ PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ.....	27
3.2	วัสดุอุปกรณ์ และเคมีภัณฑ์ในการสร้างภาพ.....	29
3.3	วัสดุอุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพของฉากรีจิสเตอร์แกดโดลิเนียมออกไซด์ไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิด PI-200.....	32
3.4	วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.4.1	การหาผลตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ ของฉากรีจิสเตอร์ PI-200.....	35
3.4.2	การสร้างกราฟเอกซ์โพเซอ์.....	36
3.4.3	การตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่าย.....	37
3.4.4	การประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้โดยเปรียบเทียบกับฉากชนิดอื่นๆ.....	39
บทที่ 4	ผลการวิจัย	
4.1	ผลการทดสอบคุณสมบัติของฉากรีจิสเตอร์ PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ.....	40
4.2	ผลการสร้างกราฟเอกซ์โพเซอ์.....	41
4.3	ผลการตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่าย.....	50
4.4	ผลการประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้โดยเปรียบเทียบกับฉากชนิดอื่นๆ.....	57
บทที่ 5	สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย	
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	61
5.2	อภิปรายผลการวิจัย.....	64
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	65
	รายการอ้างอิง.....	66
	ภาคผนวก.....	68
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความเร็วสัมพัทธ์ของฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมของฟิล์ม Fuji Industrial.....	16
2.2	แสดงคุณสมบัติบางประการของสารฟอสฟอรัสชนิดต่าง ๆ	22
2.3	หมายเลขและขนาดของ IQI แบบเส้นลวดของ DIN54 109	24
2.4	ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย.....	26
4.1	ตารางแสดงค่าความดำของฟิล์มเมื่อใช้เครื่องรังสี PI-200, ฉากรังสี DRZ-Std, ฉากตะกั่ว และฟิล์มที่ไม่ใช้ฉาก ที่เอกซโพเจอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-วินาที ในแต่ละพลังงาน	40
4.2	ตารางแสดงค่าความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากรังสี PI-200	42
4.3	ตารางแสดงค่าความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากรังสี DRZ-Std	43
4.4	ตารางแสดงค่าความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่ว.....	44
4.5	ตารางแสดงค่าความหนาของเหล็กที่ได้จากสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากรังสี PI-200, ฉากรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่ว เมื่อเลือกที่ค่าความดำเท่ากับ 2.....	48
4.5	ผลการหาเรโซลูชัน.....	51
4.6	แสดงค่าความไวของฉากรังสีชนิดต่างๆ	52
4.7	ความเปรียบต่างของฉากรังสีแต่ละชนิดที่พลังงานต่าง ๆ.....	53
4.8	ความเปรียบต่างของฉากรังสี PI-200 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ	54
4.9	เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความเข้มของฉากรังสีชนิดต่าง ๆ	56
4.10	การถ่ายภาพชิ้นงานชิ้นที่ 1 แผ่นเหล็กที่มีความบกพร่อง ด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากรังสีชนิดต่าง ๆ.....	57
4.11	การถ่ายภาพชิ้นงานชิ้นที่ 2 พระพุทธรูป ด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากรังสีชนิดต่าง ๆ.....	58
4.12	การถ่ายภาพชิ้นงานชิ้นที่ 3 คนโง่ ด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากรังสีชนิดต่าง ๆ.....	59

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงภาพหลอดรังสีเอกซ์และส่วนประกอบของหลอด.....	7
2.2	แสดงหลักการเกิดรังสีเอกซ์แบบเบรมส์สตราห์ลุงและรังสีเอกซ์เฉพาะตัว.....	8
2.3	ลักษณะสเปกตรัมพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์.....	9
2.4	แสดงการลดทอนรังสีเอกซ์เมื่อผ่านตัวกลาง.....	10
2.5	หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	11
2.6	แสดงความเข้มรังสีทะลุผ่านตรงตำแหน่งที่มีและไม่มีรอยบกพร่อง.....	11
2.7	ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มหรือ H & D Curve.....	12
2.8	ความเปรียบต่างที่ได้จากค่าเอกซ์โพเชอร์ที่ต่างกัน.....	13
2.9	ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมของฟิล์ม Fuji Industrial X-ray Film (IX).....	15
2.10	การจัดระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	16
2.11	การเกิดการเรืองรังสีในผลึกที่มีสารเจือปน.....	18
2.12	โครงสร้างทั่วไปของฉากรเรืองรังสี.....	19
2.13	สเปกตรัมของแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแคลเซียมทั้งสแตนและแกดโดลิเนียม-ออกซีซัลไฟด์(เทอร์เปียม) โดยเปรียบเทียบกับ การตอบสนองต่อแสงของฟิล์ม.....	21
2.14	สเปกตรัมความยาวคลื่นของแสงที่ปลดปล่อยจากของฉากรเรืองรังสีบางชนิดเปรียบเทียบกับช่วงความไวของฟิล์มชนิดที่ใช้ผลึก AgBr.....	22
2.15	สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอกซ์ใน CaWO_4 , $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ และ BaSrSO_4	23
2.16	ความเปรียบต่างของภาพถ่ายด้วยรังสี.....	25
3.1	หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และชุดควบคุม.....	27
3.2	ฉากรเรืองรังสี PI-200 ขนาด 12 นิ้ว × 12 นิ้ว.....	28
3.3	ฉากรเรืองรังสี DRZ-Std ขนาด 12 นิ้ว × 12 นิ้ว.....	28
3.4	ฉากรตะกั่ว ขนาด 3.5 นิ้ว × 17 นิ้ว.....	29
3.5	เหล็กชั้นบันได ขนาด 15 นิ้ว × 12 นิ้ว.....	29

รูปที่	หน้า
3.6	ฟิล์มโกดัก AA400 ขนาด 3.5 นิ้ว × 17 นิ้ว..... 30
3.7	ช่องใส่ฟิล์ม ขนาด 3.5 นิ้ว × 17 นิ้ว..... 30
3.8	ตู้ฝังฟิล์ม..... 31
3.9	เดนซิโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Pehamed..... 31
3.10	แผ่นเหล็กที่ความบกพร่อง หน้า 15 มิลลิเมตร 32
3.11	พระพุทธรูป หน้าตัดกว้าง 15 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร 32
3.12	คนโธ ฐานกว้าง 4 เซนติเมตร สูง 16.5 เซนติเมตร 33
3.13	IQI DIN54 109 (1962) ชุดที่ 2 DIN 10/16..... 33
3.14	ตู้ไฟดูฟิล์ม..... 34
3.15	โปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ)..... 34
3.16	การจัดอุปกรณ์ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เพื่อประเมินหาผลการตอบสนองต่อพลังงาน ของรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ชนิดต่าง ๆ และฟิล์มที่ไม่ใช่จากเรื่องรังสี..... 36
3.17	ภาพถ่ายทางรังสีของเหล็กชั้นบันได..... 37
4.1	แสดงการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากเรื่องรังสี PI-200 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า ต่าง ๆ ที่เอกซ์โพเซเจอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-นาที่ 41
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรื่องรังสี PI-200 กับความหนา ของเหล็กชั้นบันไดที่ค่าเอกซ์โพเซเจอร์และความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ 45
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std กับความหนา ของเหล็กชั้นบันไดที่ค่าเอกซ์โพเซเจอร์และความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ 46
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่วกับความหนาของเหล็กชั้น บันไดที่ค่าเอกซ์โพเซเจอร์และความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ 47
4.5	กราฟเอกซ์โพเซเจอร์ของฉากเรื่องรังสี PI-200 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ..... 49
4.6	กราฟเอกซ์โพเซเจอร์ของฉากเรื่องรังสี DRZ-Std ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ 49
4.7	กราฟเอกซ์โพเซเจอร์ของฉากตะกั่วที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ 50
4.8	แสดงความเปรียบเทียบที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ของฉากเรื่องรังสีชนิดต่าง ๆ 54

รูปที่	หน้า
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกซีโพเซอร์กับความแปรปรวนที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า ต่าง ๆ ของฉากรีจิสตรี้ PI-200	55
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำกับค่าเอกซีโพเซอร์ต่าง ๆ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลท์	56

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้เทคนิคฟิล์มเป็นหนึ่งในวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (nondestructive testing, NDT) ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรมและในทางการแพทย์ ในการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้เทคนิคฟิล์มนี้มีข้อจำกัด คือ ฟิล์มส่วนใหญ่เกิดอันตรกิริยากับรังสีได้น้อย ซึ่งปริมาณรังสีเพียงร้อยละ 1-2 เท่านั้นที่ทำอันตรกิริยากับฟิล์มและทำให้เกิดภาพได้ ส่วนอีกที่เหลือถึงร้อยละ 98-99 ที่จะทะลุผ่านฟิล์มออกไป ทำให้ต้องใช้เวลานานมากในการถ่ายภาพ จึงมีการนำฉากเรืองรังสี (fluorescent screen) ชนิดต่าง ๆ มาใช้ร่วมกับฟิล์มในการถ่ายภาพด้วยรังสี เช่น ฉากเรืองรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) [$Gd_2O_2S(Tb)$] ที่อาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของรังสีให้เป็นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ เมื่อนำมาประกบกับฟิล์มแล้วนำไปถ่ายภาพด้วยรังสีจะทำให้ฟิล์มดำเร็วขึ้น จึงทำให้ลดเวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีลงได้ ซึ่งในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้รังสีเอกซ์พลังงานสูงกว่า 100 กิโลโวลต์ (kilovolt; kV) ซึ่งตรงกันข้ามกับทางการแพทย์ที่ใช้รังสีเอกซ์ในช่วงพลังงานไม่เกิน 100 กิโลโวลต์ ในทางการแพทย์สำหรับช่วงพลังงานต่ำกว่าประมาณ 120 กิโลโวลต์ ลงไป สามารถใช้วิธีการดูภาพโดยตรงทันทีโดยใช้ฉากเรืองรังสีรับภาพที่เรียกว่าวิธี “ฟลูออโรสโคปี (fluoroscopy)” และสาเหตุที่ไม่สามารถใช้ในช่วงพลังงานสูงได้ก็คือ ฉากเรืองรังสีมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของรังสีไปเป็นแสงต่ำเกินไป ส่วนปัญหาของการถ่ายภาพด้วยรังสีในทางอุตสาหกรรมคือเมื่อถ่ายภาพวัตถุที่มีความหนามากขึ้น หรือมีความหนาแน่นสูงขึ้นจะต้องใช้รังสีเอกซ์ที่มีพลังงานมากขึ้นตามไปด้วย เพื่อให้รังสีเอกซ์สามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุทำให้เกิดภาพขึ้นได้ แต่ที่ระดับพลังงานสูงนั้น ฉากเรืองรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมักมีข้อจำกัด คือจะมีการการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานสูงได้ไม่ดี ทำให้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์มีคุณภาพลดลงเมื่อรังสีเอกซ์มีพลังงานสูงขึ้น ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาฉากเรืองรังสีที่มีการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานสูงได้ดีขึ้น เช่น ฉากเรืองรังสี $Gd_2O_2S(Tb)$ ชนิด PI-200 โดยเมื่อประมาณ 5-6 ปีที่ผ่านมา บริษัท Mitsubishi Chemical Corporation ได้ผลิตฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 ออกมาจำหน่าย โดยอ้างว่าสามารถใช้ได้กับรังสีเอกซ์และแกมมาที่มีพลังงานในช่วงเมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (megaelectronvolt, MeV) จึงเป็นเหตุผลหนึ่งของการทำวิทยานิพนธ์ ที่จะนำฉากเรืองรังสีชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ในการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานตรวจสอบโดยไม่ทำลาย ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการตอบสนองของฉาก

เรื่องรังสีชนิด PI-200 ในการถ่ายภาพด้วยรังสี เพื่อลดข้อจำกัดในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานสูงดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและทดสอบคุณสมบัติของฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิด PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ
- 1.2.2 เพื่อทดลองใช้ฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์(เทอร์เบียม) ชนิด PI-200 ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาและทดสอบคุณสมบัติของฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิด PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานในช่วง 80-250 kV เปรียบเทียบกับฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิดอื่น
- 1.3.2 ทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิด PI-200 พร้อมทั้งประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ เทียบกับฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิดอื่น

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ทดลองใช้ฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิด PI-200 ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์
- 1.4.3 ทดสอบคุณสมบัติของฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิด PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ
- 1.4.4 ทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์กับชิ้นงานบางชนิด
- 1.4.5 ประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้เปรียบเทียบกับฉากเรื่องรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิดอื่น ๆ

1.4.6 สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของฉากเรืองรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิด PI-200 ซึ่งสามารถนำมาใช้ร่วมกับฟิล์มในการการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานสูงในงานอุตสาหกรรมในกรณีที่มีความจำเป็นต้องถ่ายภาพวัตถุที่มีความหนาแน่นมาก ๆ หรือมีความหนาแน่นสูงได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในงานต่างๆ เช่น การตรวจสอบวัตถุโดยไม่ทำลาย โดยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และการตรวจวัดรังสีเอกซ์ เป็นต้น

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 ปี พ.ศ. 2547 เอกรัฐ ฤทธิเนียม ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ โดยใช้ FOS ชนิดเทอร์เบียมร่วมกับ CCD โดยการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่ใช้ฟิล์มได้ถูกใช้งานมาอย่างต่อเนื่องเพื่อสำหรับตรวจสอบตัวอย่างอุตสาหกรรมโดยไม่ทำลาย ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนากล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ซึ่งประกอบไปด้วยท่อเอกซ์เรย์ที่ถูกเคลือบด้วยสารเรืองรังสีเอกซ์ชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ หรือที่เรียกว่า "Fiber Optic Scintillator (FOS)" พร้อมซีซีดีหลอดเย็นเพื่อสามารถแสดงภาพถ่ายรังสีเอกซ์ในรูปแบบเรียลไทม์และในรูปแบบใกล้เคียงกับเรียลไทม์บนจอคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นยอมให้ผู้ใช้สามารถใช้งานในรูปแบบเรียลไทม์ในกรณีที่มีความเข้มแสงเพียงพอ และเมื่อความเข้มแสงมีน้อยซอฟต์แวร์ก็สามารถทำงานในโหมดอินทิเกรชันได้ ซึ่งการแสดงผลภาพจะใช้เวลาเพียงเล็กน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มแสง นอกจากนั้นยังอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีเอกซ์ เช่น การปรับความเข้มและความคมชัด การตรวจหาขอบของภาพ การกรองความถี่ต่ำผ่าน การกรองความถี่สูงผ่าน และการใส่สีเพิ่มเติม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อซีซีดีถูกทำให้อุณหภูมิลดลงถึง 16 องศาเซลเซียส ปริมาณ SNR ของภาพที่ขึ้นประมาณ 25% เมื่อเทียบกับการทำงานที่ 40 องศาเซลเซียส ในที่สุดกล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปใช้งานร่วมกับรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัส เพื่อการถ่ายภาพตัวอย่างที่มีขนาดเล็กซึ่งปรากฏผลเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง

1.6.2 ปี พ.ศ. 2548 ชลธิชา กฤษณ์เพ็ชร ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาฉากเรืองรังสี แกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) $[Gd_2O_2S(Tb)]$ สำหรับถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และ นิวตรอน โดยได้เลือกใช้สารเรืองรังสี $Gd_2O_2S(Tb)$ ซึ่งสามารถทำอันตรกิริยากับรังสีเอกซ์หรือ นิวตรอนให้แสงในช่วงความยาวคลื่นแสง 545 นาโนเมตร เมื่อผสมกับสารยึดเกาะชนิดต่าง ๆ พบว่า ยูรีเทน (Urethane) ให้ผลการทดลองที่ดีและเหมาะสมในอัตราส่วนผสม 1:1 สามารถทำ เป็นสเปรย์พ่นเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมบางได้ดีและยึดเกาะแน่น โดยความหนาที่เหมาะสมของ ชั้นเรืองรังสีคือ 83.50 mg/cm^2 เมื่อทดสอบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เปรียบเทียบกับฉากตะกั่วและ ฉากฟลูออโรเมทัลลิก พบว่าให้ความดำบนฟิล์มอยู่ในระดับกลาง มีผลตอบสนองต่อค่าเอกซ์โพส เซอร์ต่าง ๆ ได้ดี โดยมีค่ารีโซลูชันและค่าแฟกเตอร์ความเข้มเท่ากับ 0.5 mg และ 5.12 mg ตามลำดับ

1.6.3 ปี 2546 คมกฤษ มะวิญธร ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว เพื่อพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสี เอกซ์แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสสำหรับใช้เป็นระบบตรวจสอบหีบห่อพัสดุ ชนิดเคลื่อนย้ายได้ในการตรวจสอบพัสดุไปรษณีย์และบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดไม่เกิน 210 มิลลิเมตร x 297 มิลลิเมตร การพัฒนาแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าค้ำคดาสูงแบบสวิตติง สำหรับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรม ขนาด 65 กิโลโวลต์ 7.5 มิลลิแอมแปร์ เทคนิคการ เคลือบสารเรืองรังสีบนแผ่นกระจกเพื่อใช้เป็นแถบเรืองรังสีประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซี ไอเอสแบบแถวในการแปลงสัญญาณภาพถ่ายรังสีระบบสแกนหีบห่อพัสดุ ตลอดจน โปรแกรมควบคุมการสแกนและปรับปรุงคุณภาพของภาพบนไมโครคอมพิวเตอร์ ผลการวิจัยพบว่า แหล่งจ่ายไฟฟ้าค้ำคดาสูงสามารถจ่ายค้ำคดาไฟฟ้าได้คงที่และสามารถเคลือบสารเรืองรังสีบน กระจกได้ง่ายและคงทน แต่จากการเปรียบเทียบความสว่างของแสงเรืองกับฉากเสริมความเข้ม รังสี (Intensifying screen) ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ยังให้ประสิทธิภาพดีน้อยกว่า 82% และ 81% สำหรับแผ่นเรืองรังสีชนิด ZnS และ $Gd_2O_2S:Tb$ ตามลำดับนอกจากนี้ระบบสแกนภาพถ่ายรังสี เอกซ์ที่พัฒนาขึ้นมีน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายได้สะดวก และให้ผลของภาพถ่ายรังสีที่ความคมชัดสูง อย่างไรก็ตามยังคงมีสัญญาณรบกวนบนพื้นภาพอันเป็นผลจากการทำอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์ กับอุปกรณ์ซีไอเอส

1.6.4 ปี ค.ศ. 1998 D.CAVOURAS ทำวิจัยเรื่อง AN EXPERIMENTAL METHOD TO DETERMINE THE EFFICIENCY OF SCINTILLATOR PHOTODETECTOR COMBINATION USED IN X-RAY MEDICAL IMAGE SYSTEM ในงานวิจัยนี้ได้หาประสิทธิภาพในการแปลงแสงของสารเรืองรังสี 4 ชนิด ที่ใช้ในการถ่ายภาพในทางการแพทย์ ได้แก่ $Gd_2O_2S:Tb$, $Y_2O_2S:Tb$, $ZnSCdS:Ag$ และ $CsI:Na$ โดยใช้อุปกรณ์ในการรับแสงต่าง ๆ เช่น ฟิล์ม, โตะคาโทด และโตไดโอด โดยใช้พลังงานของรังสีเอกซ์ในช่วง 50-140 กิโลโวลต์ โดยวัดปริมาณแสงที่ปล่อยออกมาต่อปริมาณรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบลงบนฉากเรืองรังสีแต่ละชนิด พบว่าในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ 120-140 กิโลโวลต์ ฉากชนิด $Gd_2O_2S:Tb$ จะมีประสิทธิภาพในการเรืองรังสีดีที่สุด ที่พลังงาน 80-100 กิโลโวลต์ ฉากชนิด $CsI:Na$ จะมีประสิทธิภาพในการเรืองรังสีดีที่สุด และที่พลังงาน 60-70 กิโลโวลต์ ฉากชนิด $ZnSCdS:Ag$ จะมีประสิทธิภาพในการเรืองรังสีดี

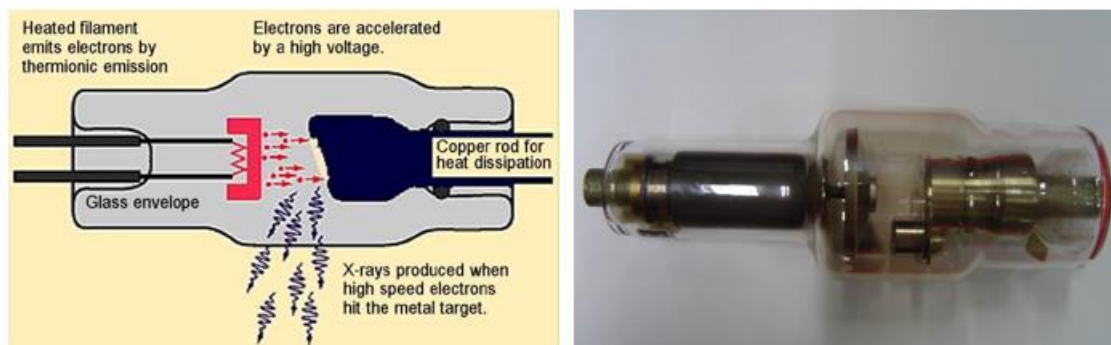
1.6.5 ปี ค.ศ. 2005 I.KANDARAKIS งานวิจัยเรื่อง EVALUATION OF $ZnS:Cu$ PHOSPHOR AS X-RAY TO LIGHT CONVERTER UNDER MAMMOGRAPHIC CONDITION เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับค่าต่าง ๆ ที่เหมาะสมของสารฟอสฟอรัสสังกะสีซัลไฟด์ (ทองแดง) ที่นำมาใช้ในการถ่ายภาพแมมโมกราฟี โดยศึกษาคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานของโฟตอนให้เป็นแสงคุณภาพของภาพที่ดีได้ใช้เทคนิคโทรทัศน์ โดยการใส่สังกะสีซัลไฟด์เป็นพื้นฐานแล้วเปลี่ยนตัวกระตุ้นได้แก่ เงิน ทองแดง ทองคำ และทองแดงผสมทองคำ โดยสิ่งที่ต้องการเปรียบเทียบกันคือ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนจากพลังงานของโฟตอนไปเป็นแสง, ความเปรียบต่าง, การเกิดสัญญาณรบกวนและสเปกตรัมของแสงที่ปล่อยออกมา พบว่าสังกะสีซัลไฟด์ที่ผสมตัวกระตุ้นที่เป็นทองแดง มีความเหมาะสมในการถ่ายภาพแมมโมกราฟีมากกว่าตัวกระตุ้นชนิดอื่น ๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดหลอดรังสีเอกซ์

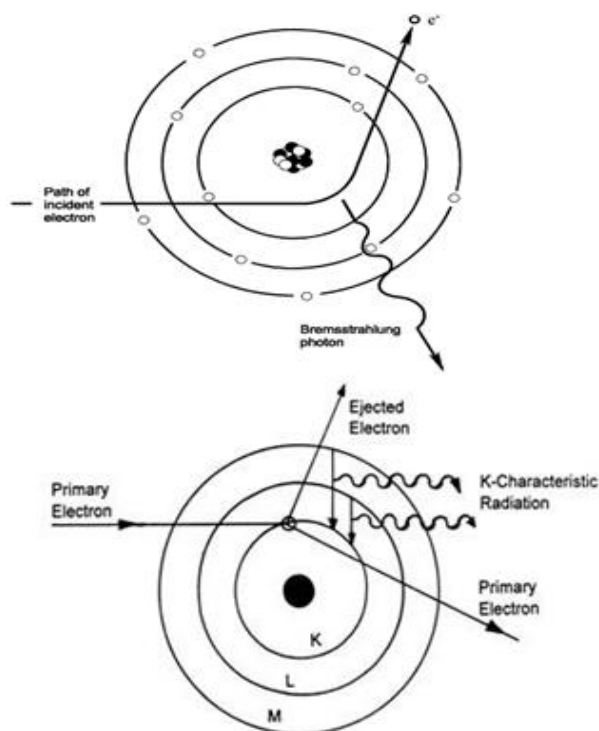
การทำงานของหลอดรังสีเอกซ์เริ่มจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำเข้าไปยังไส้หลอด ทำให้ไส้หลอดร้อนขึ้นส่งผลให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวของไส้หลอด ซึ่งไส้หลอดนี้โดยส่วนใหญ่จะใช้เป็นทังสเตน เนื่องด้วยทังสเตนมีค่าเว็รคฟังก์ชันอยู่ในกลุ่มที่ต่ำ จึงสามารถปล่อยอิเล็กตรอนได้ง่าย อีกทั้งยังมีจุดหลอมเหลวสูง (3370°C) ทำให้สามารถทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเกิดอันตรกิริยาได้ดี และเมื่อเร่งอิเล็กตรอนด้วยศักย์ดาไฟฟ้าสูง (high voltage; kV) ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากไส้หลอดซึ่งเป็นขั้วลบ (cathode) จะวิ่งไปยังขั้วบวก (anode) โดยอิเล็กตรอนจะทำอันตรกิริยากับเป้า (target) หรือขั้วบวก แล้วปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา กระแสอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นภายในหลอด เรียกว่า “กระแสหลอด” มีหน่วยเป็น มิลลิแอมแปร์ (mA) โดยกระแสหลอดนี้จะเพิ่มหรือลด ได้ด้วยการปรับแหล่งจ่ายกระแสศักย์ดาไฟฟ้าต่ำที่จ่ายให้กับไส้หลอด และการปรับค่าศักย์ดาไฟฟ้าสูงของหลอด ในการปรับค่าศักย์ดาไฟฟ้าต่ำและศักย์ดาไฟฟ้าสูงของหลอดรังสีเอกซ์ ต้องปรับให้สัมพันธ์กัน เพื่อไม่ให้อิเล็กตรอนตกค้างที่ไส้หลอด ทั้งนี้โดยภาพรวม เมื่อกระแสหลอดเพิ่มขึ้น ก็ทำให้ปริมาณของรังสีเอกซ์ต่อวินาทีเพิ่มขึ้นตาม จะทำให้ความเข้มของรังสีมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มศักย์ดาไฟฟ้าสูง ของหลอดมากขึ้น ก็ส่งผลให้อิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์สูงขึ้น พลังงานของรังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยออกมาก็จะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีความสามารถทะลุทะลวงของรังสีมากขึ้น สำหรับภาพของหลอดรังสีเอกซ์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 เมื่อรังสีได้ถูกปลดปล่อยจากหลอดรังสีเอกซ์ โดยผ่านออกมาทางหน้าต่างของหลอด จะถูกทำการจัดรูปแบบของรังสีได้โดยใช้ชุดบังคับลำรังสี ซึ่งชุดบังคับลำรังสีนี้จะเป็นรูปลักษณะเป็นแนวเส้นเปิด ซึ่งเมื่อลำรังสีผ่านออกมาจะถูกจัดรูปแบบเป็นรูปใบพัด



รูปที่ 2.1 แสดงภาพหลอดรังสีเอกซ์และส่วนประกอบของหลอด [1], [2]

รังสีเอกซ์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

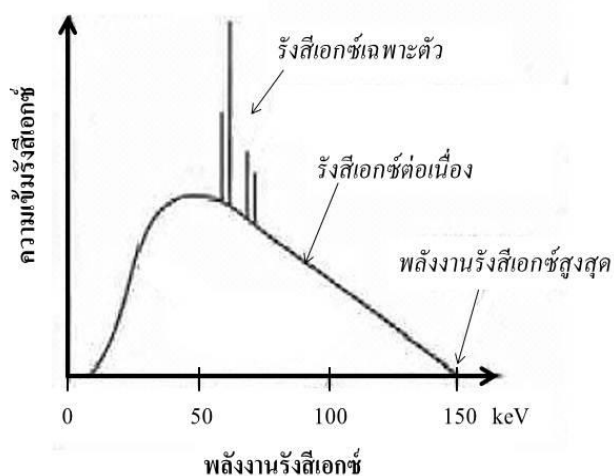
- ก. รังสีเอกซ์แบบเบรมส์สตราห์ลุง (bremsstrahlung) ซึ่งเกิดจากการเบี่ยงเบนเส้นทางการเดินของอิเล็กตรอนอย่างกะทันหัน เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งผ่านเข้าไปในบริเวณสนามไฟฟ้ารอบ ๆ นิวเคลียสของอะตอม และเป็นผลทำให้มีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาโดยเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนจากพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนไปเป็นโฟตอน อิเล็กตรอนที่วิ่งต่อไปจะมีพลังงานลดลง เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ชนกับเป้า มีจำนวนมาก และอิเล็กตรอนแต่ละตัวจะสูญเสียพลังงานแตกต่างกัน เพราะฉะนั้นรังสีเอกซ์ที่แผ่ออกมาจึงมีลักษณะแบบต่อเนื่อง
- ข. รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) ซึ่งเกิดจากการที่อิเล็กตรอนวิ่งเข้าไปชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นต่าง ๆ ของอะตอมแล้วทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไป และอิเล็กตรอนในชั้นที่สูงกว่าเข้ามาแทนที่ จากนั้นปลดปล่อยรังสีเอกซ์พลังงานที่มีพลังงานคงที่ออกมา



รูปที่ 2.2 แสดงหลักการเกิดรังสีเอกซ์แบบเบรมส์ตราห์ลุงและรังสีเอกซ์เฉพาะตัว[8]

คุณสมบัติของรังสีเอกซ์

- ก. เป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- ข. ไม่มีประจุ ไม่มีมวล เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง คือ 3×10^{10} เซนติเมตรต่อวินาที
- ค. มีอำนาจทะลุทะลวงสูง โดยที่อำนาจทะลุทะลวงขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสีและชนิดของวัสดุ
- ง. ถูกดูดกลืนได้ในตัวกลาง ปริมาณการดูดกลืนจะแปรผกผันกับพลังงานของรังสี แต่จะแปรผันตรงกับความหนาแน่น
- จ. เกิดการสะท้อนในตัวกลางได้
- ฉ. สามารถทำให้เกิดการเรืองแสงได้ในวัตถุบางชนิด
- ช. สามารถทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุได้ เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง



รูปที่ 2.3 ลักษณะสเปกตรัมพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์[15]

2.2 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

การถ่ายภาพด้วยรังสี (radiography) หมายถึงวิธีการที่ทำให้เกิดภาพบนอุปกรณ์รับภาพ โดยใช้รังสี ซึ่งได้แก่รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น การถ่ายภาพด้วยรังสีเป็นการถ่ายภาพเนื้อในของชิ้นงาน อาศัยคุณสมบัติทะลุทะลวงของรังสี ประกอบกับผลของการดูดกลืนพลังงานในชิ้นงาน ที่มีความหนาแน่นและส่วนประกอบต่าง ๆ กัน รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ซึ่งมีอำนาจทะลุทะลวงสูง เมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูง รังสีจะถูกลดทอนความเข้มในตัวกลาง อัตราการลดลงของรังสีในตัวกลางเป็นไปตามสมการ (2.1)

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

เมื่อ	I	คือ	ความเข้มของรังสีหลังจากทะลุผ่านตัวกลาง
	I_0	คือ	ความเข้มของรังสีก่อนจากทะลุผ่านตัวกลาง
	μ	คือ	สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานใดๆ ต่อตัวกลาง
	X	คือ	ความหนาของตัวกลาง

เมื่อค่า μ คือ “สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (mass attenuation coefficient) มีหน่วยเป็น cm^2/g ซึ่งนิยมเขียนเป็น μ/ρ โดย ρ คือความหนาแน่นของวัสดุ ดังนั้นความหนา X ซึ่งมีหน่วยกลับกันจะมีหน่วยเป็น g/cm^2 ค่า μ หรือ μ/ρ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบและพลังงานของรังสีค่า μ/ρ ของธาตุบริสุทธิ์ และสารประกอบหรือของผสมบางชนิด เช่น น้ำ คอนกรีต สำหรับสารประกอบและของผสมอื่นสามารถคำนวณค่า μ/ρ ได้จากสมการที่ (2.2) หากทราบสัดส่วนของแต่ละธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{mix}} = \sum w_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i \quad (2.2)$$

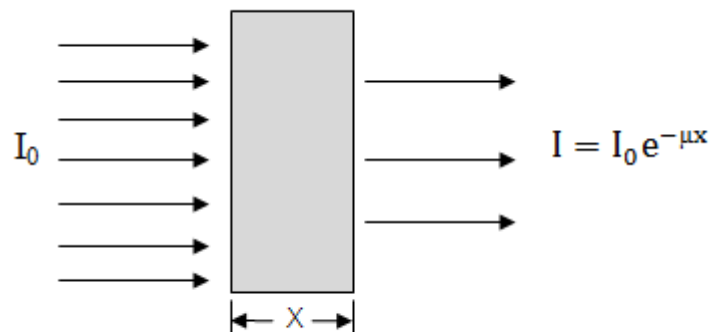
ดังนั้น

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{mix}} = w_1 \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 + w_2 \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2 + w_3 \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_3 + \dots$$

เมื่อ $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\text{mix}}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของของผสม

$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1, \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2, \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_3$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุหรือ กลุ่มธาตุที่ 1, 2, 3, ...ตามลำดับ

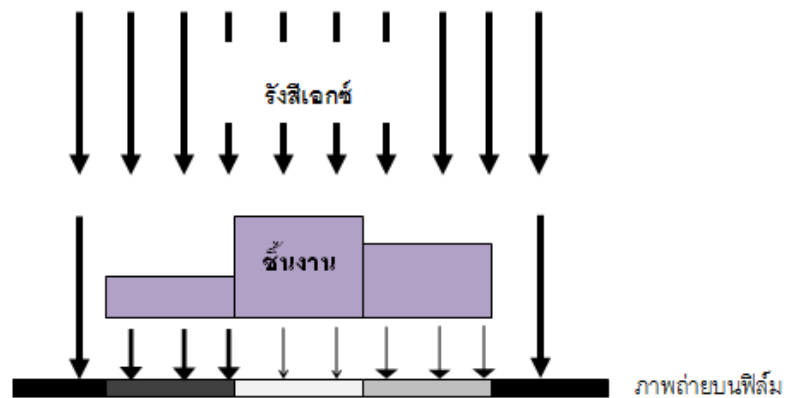
$w_1, w_2, w_3 \dots$ คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของธาตุหรือกลุ่มธาตุที่ 1, 2, 3, ...ตามลำดับ



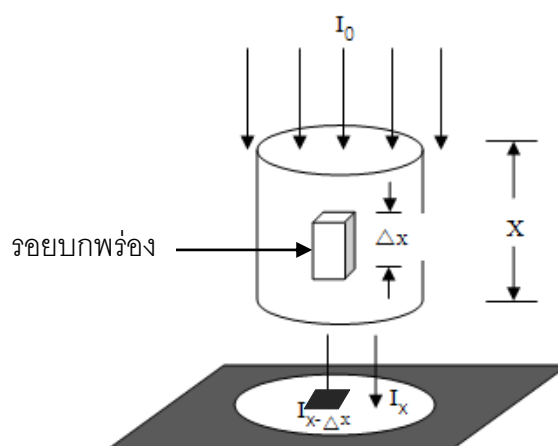
รูปที่ 2.4 แสดงการลดทอนรังสีเอกซ์เมื่อผ่านตัวกลาง[4]

2.3 การเกิดภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

การถ่ายภาพชิ้นงานด้วยรังสีเอกซ์เป็นภาพฉาย (projection) ของชิ้นงานที่แสดงให้เห็นส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานตามความหนาและชนิดของวัสดุ ถ้าเป็นวัสดุชนิดเดียวกันส่วนที่มีความหนาน้อยกว่าจะมีความเข้มรังสีทะลุออกไปได้มากกว่าเป็นผลให้ฟิล์มดำมากกว่า ในทางกลับกัน บริเวณที่มีความหนามากจะมีรังสีทะลุผ่านออกไปได้น้อยกว่า ฟิล์มจึงมีความดำน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.6 แสดงความเข้มรังสีทะลุผ่านตรงตำแหน่งที่มีและไม่มีรอยบัพพร้อม

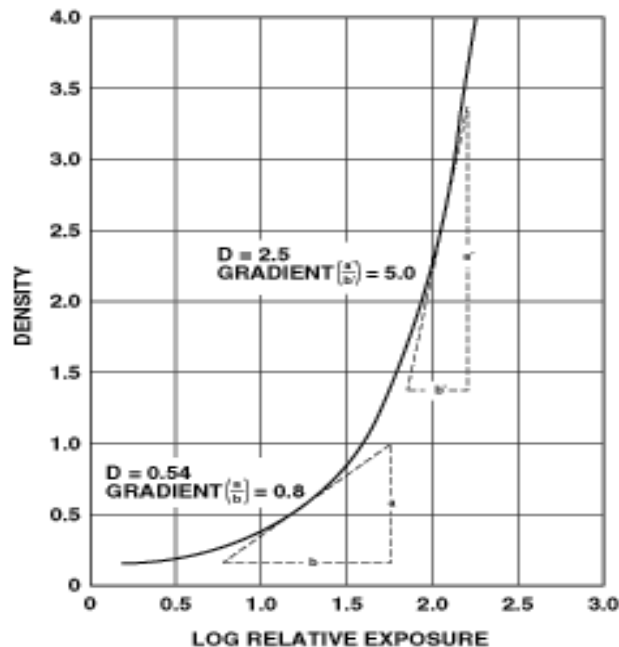
จากรูปที่ 2.6 ความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านชั้นงานตรงตำแหน่งที่มีช่องว่างที่มีความสูง ΔX คือ $I_{x-\Delta x}$ จะสูงกว่าความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านชั้นงานบริเวณอื่น คือ I_x โดยจะสามารถเห็นรอยบกพร่องนี้ได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับความสูงของรอยบกพร่อง (ΔX), สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของชั้นงาน (μ/ρ) และความไวของฟิล์มหรือแผ่นบันทึกภาพที่ใช้

ถ้าถ่ายภาพชั้นงานในรูป 2.6 เป็นเวลา t วินาที ค่าความเข้มรังสีรวมที่ตกกระทบฟิล์มของทั้งสองตำแหน่งจะเป็น $I_{x-\Delta x} \cdot t$ และ $I_x \cdot t$ ต่อตารางเซนติเมตร(cm^2) เรียกว่าค่า “ฟลูเอนซ์ (fluence)” ซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่า “เอกซ์โพเซเจอร์ (exposure)” ดังนั้นค่า “เอกซ์โพเซเจอร์สัมพัทธ์ (relative exposure)” ของรังสีที่ตกกระทบฟิล์มสองตำแหน่งจะเป็นดังนี้

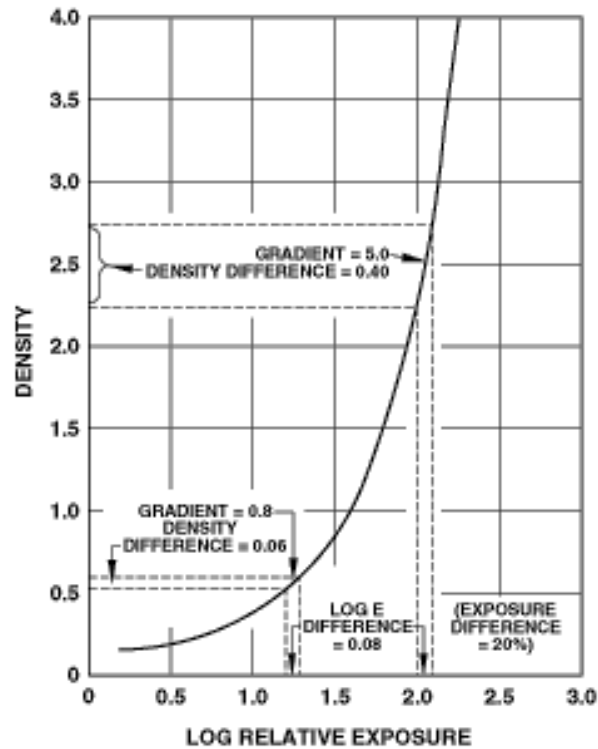
$$\frac{E_{x-\Delta x}}{E_x} = \frac{I_{x-\Delta x} \cdot t}{I_x \cdot t} = \frac{I_0 e^{-\mu(x-\Delta x)} \cdot t}{I_0 e^{-\mu x} \cdot t} = e^{-\mu \Delta x}$$

$$\ln \left[\frac{E_{x-\Delta x}}{E_x} \right] = -\mu \cdot \Delta x$$

$$2.303 \log \left[\frac{E_{x-\Delta x}}{E_x} \right] = -\mu \cdot \Delta x$$



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มหรือ H & D Curve[4]



รูปที่ 2.8 ความเปรียบต่างที่ได้จากค่าเอกซโพเชอร์ที่ต่างกัน[4]

$$\log \text{relative exposure} = \log \left[\frac{E_{x-\Delta x}}{E_x} \right] = -0.434 \mu \cdot \Delta x$$

$$\log E_{x-\Delta x} - \log E_x = -0.434 \mu \cdot \Delta x$$

ค่า log relative exposure เมื่อนำไปคูณกับค่าความชันของกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์ม (film characteristic curve) ซึ่งนิยมเรียกว่า “ฟิล์มเกรเดียนท์ (film gradient) : G_D ” หมายถึงความเปรียบต่าง (contrast) ที่จะเห็นบนฟิล์ม นั่นคือ

$$G_D \cdot [\log E_{x-\Delta x} - \log E_x] = -0.434 G_D \cdot \mu \cdot \Delta x$$

$$D_{x-\Delta x} - D_x = -0.434 G_D \cdot \mu \cdot \Delta x$$

$$\Delta D = -0.434 G_D \cdot \mu \cdot \Delta x$$

โดย $D_{x-\Delta x}$ คือ ความหนาแน่นฟิล์มตรงตำแหน่งที่มีรอยบกพร่อง
 D_x คือ ความหนาแน่นฟิล์มบริเวณที่ไม่มีรอยบกพร่อง
 และ ΔD คือ ความแตกต่างของความดำระหว่างตำแหน่งที่ไม่มีและมียรอยบกพร่อง
 จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าความเปรียบต่างขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของ
 ชี้นงาน (μ) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของธาตุที่เป็นองค์ประกอบความหนาของกราฟ
 ลักษณะเฉพาะของฟิล์ม (G_D) ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงค่าเอกซ์โพเซเจอร์หรือช่วงความดำ กล่าวคือในช่วง
 ค่าเอกซ์โพเซเจอร์สูงหรือความดำมากจะได้ความเปรียบต่างของภาพดีกว่าในช่วงเอกซ์โพเซเจอร์ต่ำ
 หรือความดำน้อย ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นกรณีตัวอย่างที่ค่าเอกซ์โพเซเจอร์ต่างกัน
 20% หรือ log relative exposure เท่ากับ 0.08 เช่น เมื่อ $E_{x-\Delta x}/E_x = 1.2$ ในช่วงความดำ
 ประมาณ 0.5 มีความเปรียบต่างเท่ากับ 0.06 แต่ในช่วงความดำประมาณ 2.5 มีความเปรียบต่าง
 สูงถึง 0.4

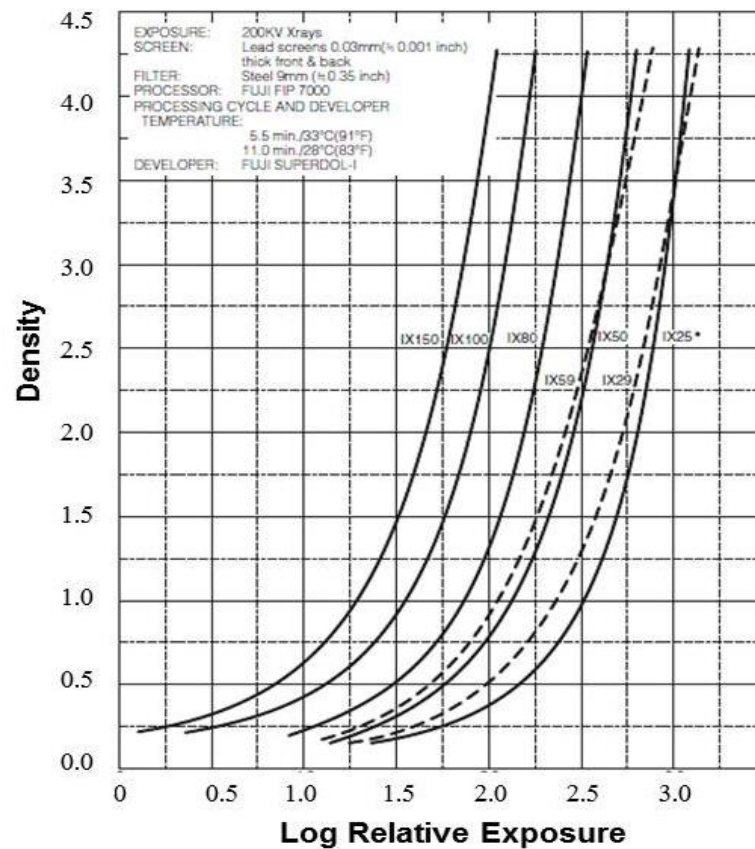
องค์ประกอบหลักของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยเทคนิคฟิล์ม ประกอบด้วยส่วนสำคัญดังนี้

- ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์
- ชี้นงาน
- ตัวรับภาพ
- กระบวนการล้างฟิล์ม

เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นหรือความหนาไม่เท่ากัน ส่งผลให้ความเข้ม
 ของรังสีที่ผ่านออกมาไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.5 จึงนำคุณสมบัติของรังสีนี้มาใช้ในการถ่ายภาพด้วย
 รังสี แต่เนื่องจากมนุษย์ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า จึงมีการพัฒนาฟิล์มขึ้นมาเพื่อให้
 สามารถสังเกตผลที่เกิดจากรังสีได้ โดยเมื่อรังสีตกกระทบลงบนฟิล์ม จะทำให้ผลึกเงินโบรไมด์ใน
 ชั้นอิมัลชันเกิดการแตกตัวเป็นเงิน (ไอออนบวก) และโบรไมด์ (ไอออนลบ) ปริมาณของเงินที่เกิดขึ้น
 จะแปรผันตามปริมาณรังสีที่ตกลงบนผลึกเงินโบรไมด์ ภาพที่เกิดบนฟิล์มนี้จะเป็นภาพแฝง (latent
 image) คือยังไม่สามารถมองเห็นภาพได้ ต้องผ่านกระบวนการล้างฟิล์มในห้องมืดก่อน ซึ่งต้อง
 ผ่านกระบวนการดีเวลอปิง (developing) เพื่อรีดิวซ์เงินไอออนบวกให้เป็นโลหะเงิน หลังจากนั้น
 ผ่านกระบวนการสตอปบัท (stop bath) เพื่อทำให้สารละลายดีเวลอปเปอร์ที่ค้างอยู่ให้เป็นกลาง
 และผ่านกระบวนการฟิกซิง (fixing) เพื่อชะล้างผลึกเงินโบรไมด์ที่ไม่ถูกรังสีออกจากแผ่นฟิล์ม แล้ว

นำไปล้างน้ำเพื่อชะล้างสารเคมีที่ตกค้างอยู่ แล้วนำไปแช่ในสารละลายลดความตึงผิวเพื่อไม่ให้หยดน้ำเกาะบนฟิล์ม แล้วนำฟิล์มไปผึ่งให้แห้ง เราจึงได้ภาพที่เกิดบนฟิล์ม

ฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามความไวของฟิล์ม (film speed) คือ ความเร็วสูง (high speed) ความเร็วปานกลาง (medium speed) และความเร็วต่ำ (slow speed) ฟิล์มที่มีความเร็วสูงมีขนาดของผลึกเงินโบรไมด์โต ใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อย แต่ให้ภาพที่มีความละเอียดต่ำ ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มและค่าความเร็วสัมพัทธ์ (relative speed) แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 และตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมของ

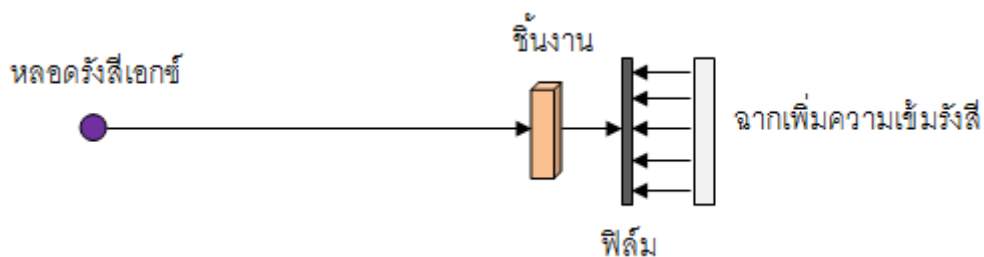
ฟิล์ม FujiIndustrial X-Ray Film (IX)[4]

(จาก FUJIFILM data sheet: Industrial Radiographic Systems, FUJIFILM Corporation)

ตารางที่ 2.1 ความเร็วสัมพัทธ์ของฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมของฟิล์ม Fuji Industrial

ชนิดของฟิล์ม	ความเร็วสัมพัทธ์ (Relative Speed)			
	รังสีเอกซ์ พลังงาน 100 keV**	รังสีเอกซ์ พลังงาน 200 keV***	รังสีแกมมา จาก Ir-192***	รังสีแกมมา จาก Co-60***
IX25	20	17	15	10
IX29	22	22	22	22
IX50	35	30	30	30
IX59	45	45	45	45
IX80	55	55	55	55
IX100	100	100	100	100
IX150	170	170	170	170

ไม่ใช้ฉากตะกั่ว *ใช้ฉากตะกั่ว



รูปที่ 2.10 การจัดระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

จากรูปที่ 2.10 เป็นการจัดระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ โดยมีต้นกำเนิดรังสีกับฟิล์มอยู่คนละด้านกัน และมีชิ้นงานอยู่ระหว่างต้นกำเนิดรังสีและฟิล์ม ในการถ่ายภาพด้วยรังสีทั่วไปแล้ว จะจัดให้ชิ้นงานอยู่ใกล้กับฟิล์มมากที่สุด เพื่อลดเงาที่อาจจะเกิดขึ้น แต่เนื่องจากฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีทำมาจากธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำ เช่น เงิน (silver; Ag) จึงทำให้รังสีทำอันตรกิริยากับฟิล์มได้น้อย มีเพียงร้อยละ 1-2 เท่านั้นที่ทำอันตรกิริยากับฟิล์ม ส่วนอีกร้อยละ 98-99 ก็ทะลุผ่านโดยไม่เกิดประโยชน์ จึงมีการนำฉากเพิ่มความเข้มรังสี (intensifying screen) มาใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีร่วมกับฟิล์ม เพื่อให้ส่วนที่ไม่ทำอันตรกิริยากับฟิล์ม ทำอันตรกิริยากับฉากเพิ่มความเข้มรังสี แล้วมีผลต่อการเพิ่มความเข้มของฟิล์ม

2.4 ฉากเพิ่มความเข้มรังสี (intensifying screen)

ฉากเพิ่มความเข้มรังสี คือฉากที่ประกบกับฟิล์มเพื่อใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีทำหน้าที่เปลี่ยนโฟตอนให้เป็นแสงหรืออิเล็กตรอน ซึ่งมีผลทำให้เพิ่มความดำของฟิล์มเมื่อถ่ายภาพด้วยปริมาณรังสีที่เท่ากัน โดยฉากที่ใช้สำหรับถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์ที่นิยมใช้มี 3 ชนิด ได้แก่

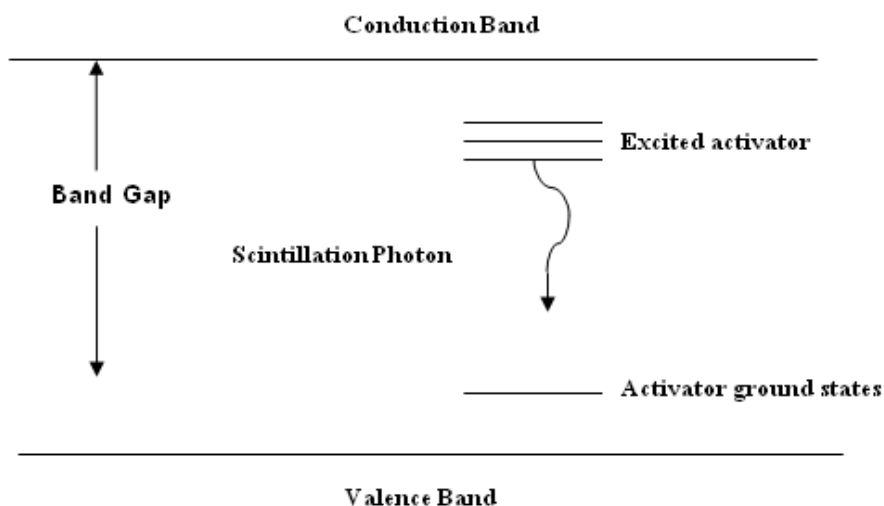
2.4.1 ฉากตะกั่ว (lead foil screen) เมื่อรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาตกกระทบลงบนฉากชนิดนี้ ฉากจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนนี้มีผลทำให้ฟิล์มดำ ซึ่งจะตอบสนองต่อรังสีแกมมาหรือรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานมากกว่า 120 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ขึ้นไป โดยฉากชนิดนี้ทำมาจากโลหะผสมประกอบด้วย ตะกั่ว (lead; Pb) ร้อยละ 94 และพลวง (antimony. Sb) ร้อยละ 6 ฉากตะกั่วสามารถลดเวลาในการถ่ายภาพได้ประมาณ 3 เท่า และยังสามารถช่วยลดการกระเจิงของรังสีอีกด้วย

2.4.2 ฉากเรืองรังสี (fluorescent screen) เมื่อรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาตกกระทบลงบนฉากชนิดนี้ ฉากจะปลดปล่อยแสงออกมา จะตอบสนองต่อรังสีที่มีพลังงานมากกว่า 200 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ขึ้นไป ฉากเรืองรังสีทำมาจากผลึกของสารประกอบบางชนิด เช่น สังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) [zinc sulphide, ZnS(Ag)] แคลเซียมทังสเตน [calcium tungstate; CaWO₄] หรือ แกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์(เทอร์เบียม) [gadolinium oxysulphide(terbium); Gd₂O₂S(Tb)] เป็นต้น ฉากชนิดนี้สามารถทำให้ลดเวลาในการถ่ายภาพลงได้ประมาณร้อยละ 20-98 ของเวลาในการถ่ายภาพเมื่อไม่ใช้ฉาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของฉาก พลังงานของรังสี ชนิดของฟิล์ม และชั้นงาน

2.4.3 ฉากฟลูออโรเมทัลลิก (fluorometallic screen) เป็นฉากที่ผสมระหว่างฉากตะกั่วและฉากเรืองรังสี โดยมีสองชั้น ชั้นหนึ่งเป็นฉากเรืองรังสีชนิดละเอียด (เพื่อไม่ให้เสียรายละเอียดของภาพมากนัก) ชั้นที่สองเป็นฉากตะกั่วฉาบอยู่บนกระดาษแข็งหรือพลาสติกฉากชนิดนี้สามารถลดเวลาถ่ายภาพได้ 7-9 เท่า สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยทั่วไป และสามารถลดเวลาในการถ่ายภาพได้ 2-9 เท่า เมื่อใช้รังสีเอกซ์พลังงานสูง และรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีโคบอลต์-60

2.5 ฉากเรืองรังสี

2.5.1 การเกิดการเรืองรังสี



รูปที่ 2.11 การเกิดการเรืองรังสีในผลึกที่มีสารเจือปน[4]

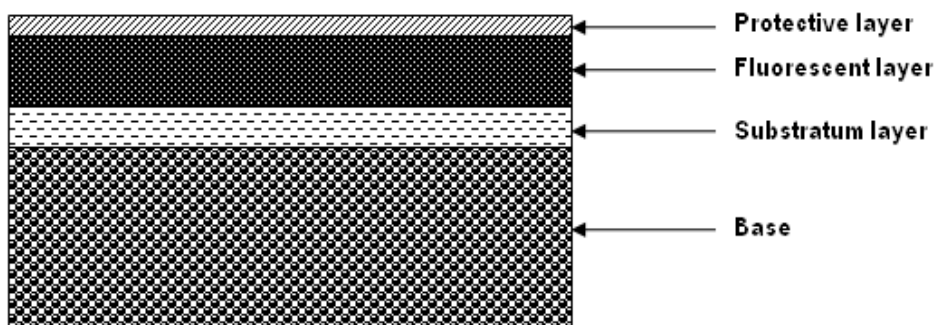
จากรูปที่ 2.11 เมื่อผลึกของสารเรืองรังสีได้รับรังสี จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ (valence band) ได้รับการกระตุ้นให้ไปอยู่ที่แถบคอนดักชัน (conduction band) ทำให้แถบวาเลนซ์ คู่อิเล็กตรอนกับโฮลที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า “เอกซ์ไซตอน (exciton)” ซึ่งการเกิดเอกซ์ไซตอนนี้ จะทำให้บริเวณแถบคอนดักชันเกิดเป็นชั้นบาง ๆ เกิดขึ้น เรียกว่า “แถบเอกซ์ไซตอน (exciton band)” อิเล็กตรอนจะถูกกักบริเวณนี้ อิเล็กตรอนจะพยายามกลับไปอยู่แถบวาเลนซ์ โดยปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ

ผลึกที่บริสุทธิ์จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในช่วงที่ตามองไม่เห็น ดังนั้น การที่เติมสารเจือปน (activator) ลงไปเพียงเล็กน้อย จะทำให้บริเวณช่องว่างพลังงานเกิดมีระดับพลังงานขึ้น เนื่องจากสารที่เติมไปทำให้อิเล็กตรอนและโฮลเคลื่อนที่มายังระดับพลังงานเพิ่มเข้าไปนี้ โดยที่โฮลจะอยู่ที่สถานะพื้นของระดับพลังงานของสารเจือปน ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่มายังสถานะกระตุ้นของสารเจือปน แล้วอิเล็กตรอนก็จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในช่วงความยาวคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตา โดยจะลดพลังงานลงเพื่อกลับสู่สถานะพื้น จึงทำให้เกิดแสงขึ้น การเกิดแสงนี้เรียกว่า “ลูมิเนสเซนส์ (luminescence)” ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่

ก. ฟลูออเรสเซนส์ (fluorescence) คือ การที่สารหรือวัตถุใด ๆ เปล่งแสงออกมาภายในเวลา 10^{-8} วินาที เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง อนุภาค หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หากไม่ได้รับการกระตุ้น สารหรือวัตถุนั้นจะไม่เปล่งแสง

ข. ฟอสฟอเรสเซนส์ (phosphorescence) คือ การที่สารหรือวัตถุใด ๆ เปล่งแสงออกมาเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง อนุภาค หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใด ๆ และเมื่อไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยแสง อนุภาค หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สารหรือวัตถุนั้นก็ยังคงเปล่งแสงต่อเนื่อง .ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

2.5.2 โครงสร้างของฉากรังสี



รูปที่ 2.12 โครงสร้างทั่วไปของฉากรังสี[4]

ก. ชั้นโปรเทคทีฟ (protective layer) มีความหนาประมาณ 5-10 ไมโครเมตร เป็นชั้นบนสุดของฉากรังสี เพื่อป้องกันรอยขีดข่วน และความชื้นที่จะเกิดแก่ชั้นเรืองรังสี ซึ่งต้องโปร่งแสงและมีความหนาน้อย ๆ เพื่อลดความไม่คมชัดของภาพ

ข. ชั้นเรืองรังสี (fluorescence layer) มีความหนาประมาณ 100-200 ไมโครเมตร ประกอบด้วยสารฟอสฟอรัสและสารยึดเหนี่ยว (binder) เป็นชั้นที่ทำให้เกิดแสงเรืองเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยรังสี ซึ่งสารฟอสฟอรัสที่ใช้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนรังสีที่ดี
- มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรังสีไปเป็นแสงที่ดี
- ให้แสงออกมาในช่วงที่อุปกรณ์รับแสงสามารถรับได้ดี
- ให้แสงออกมาอย่างรวดเร็ว (น้อยกว่า 10^{-8} วินาที)

- ไม่มีแสงค้างอยู่หลังจากที่ทำการหยุดฉายรังสี
- กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในชั้นเรืองรังสี

ค. ชั้นซับสตราตัม (substratum layer) มีความหนาประมาณ 10-20 ไมโครเมตร เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ยึดชั้นเรืองรังสีกับฐานของฉาก แต่ในบางกรณีก็ไม่มีชั้นนี้ เนื่องจากได้รวมเข้าไว้กับชั้นเรืองรังสีแล้ว

ง. ชั้นฐาน (base) มีความหนาประมาณ 200-400 ไมโครเมตร ทำหน้าที่เป็นส่วนที่รองรับชั้นต่าง ๆ ของฉากเรืองรังสีส่วนมากทำมาจากโพลีเอสเตอร์และพลาสติก บางครั้งชั้นซับสตราตัมก็ถูกรวมกับชั้นฐานด้วย

2.6 สารฟอสฟอรัสที่นิยมใช้ในฉากเรืองรังสี

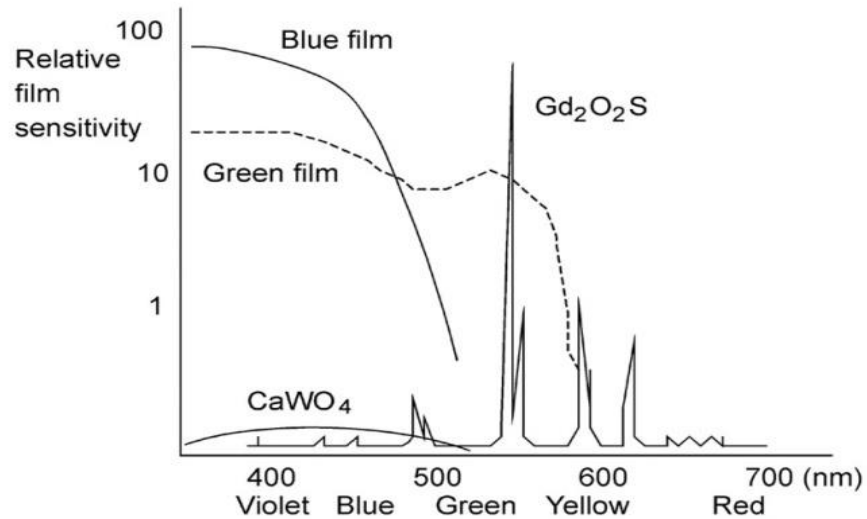
สารฟอสฟอรัส คือ ผลึกของเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) ซึ่งจะปลดปล่อยแสงเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยรังสี สารฟอสฟอรัสที่นิยมใช้ในฉากเรืองรังสีแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

2.6.1 แคลเซียมทังสเตต (calcium tungstate; CaWO_4) เริ่มผลิตเพื่อการพาณิชย์ครั้งแรกที่ประเทศอังกฤษและเยอรมัน ในปี ค.ศ. 1896 และเริ่มผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1912 ผลึกแคลเซียมทังสเตตที่นำมาทำฉากเพิ่มความเข้มต้องเป็นผลึกที่ปราศจากสารเจือปน จึงมีคุณสมบัติในการเรืองรังสีที่ดี แคลเซียมทังสเตตเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์จะให้ช่วงความยาวคลื่นที่กว้าง โดยสเปกตรัมนี้มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงแสงสีน้ำเงิน คือ มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 350-580 นาโนเมตร โดยให้ความยาวคลื่นที่ 430 นาโนเมตรมากที่สุด ซึ่งฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จะต้องไวต่อความยาวคลื่นในช่วงนี้

2.6.2 Rare earth screen เป็นสารฟอสฟอรัสที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยมีส่วนประกอบของธาตุที่หายาก ได้แก่ ธาตุในกลุ่มแลนทาไนด์ (เลขอะตอมตั้งแต่ 57-71) รวมไปถึง สแกนเดียม (Sc เลขอะตอม 21), อิทเทรียม (Y เลขอะตอม 39) เมื่อผลึกบริสุทธิ์ของออกไซด์ของธาตุที่หายากได้รับการกระตุ้นด้วยรังสี จะให้สเปกตรัมออกมาในช่วงความยาวคลื่นที่มองไม่เห็น ดังนั้นจึงต้องใส่สารเจือปนเล็กน้อยเพื่อให้ผลึกสามารถปลดปล่อยสเปกตรัมออกมาในช่วงความยาวคลื่นที่สามารถมองเห็นได้ เช่น ผลึกของแกดโดลิเนียมออกไซด์ซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) [$\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}(\text{Tb})$] และแลนทานัมออกไซด์โบรไมด์ (ทูลีเยียม) [$\text{LaOBr}(\text{Tm})$]

2.7 คุณสมบัติของฉากเรืองรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) $[Gd_2O_2S(Tb)]$

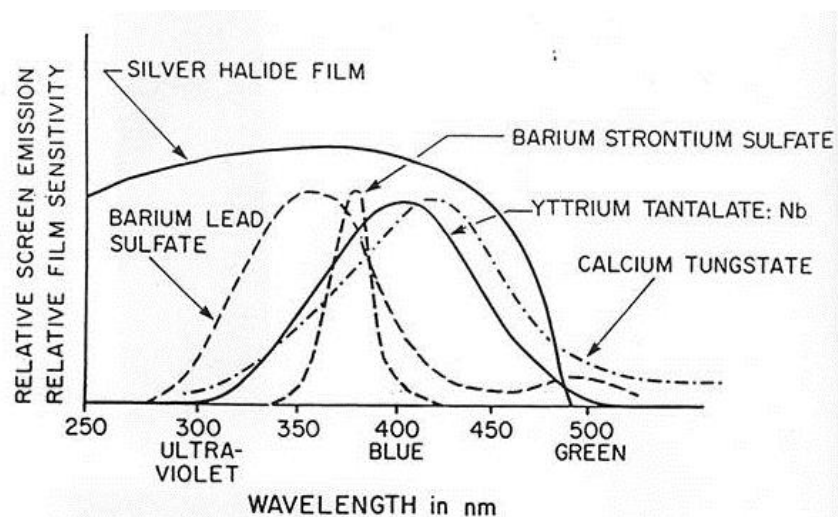
2.7.1 ให้แสงออกมาในช่วงแสงสีเขียว โดยมีความยาวคลื่นเท่ากับ 545 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ตรงกับการตอบสนองของฟิล์มที่ใช้ถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.13 สเปกตรัมของแสงที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแคลเซียมทังสเตนและแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) โดยเปรียบเทียบกับ การตอบสนองต่อแสงของฟิล์ม[1]

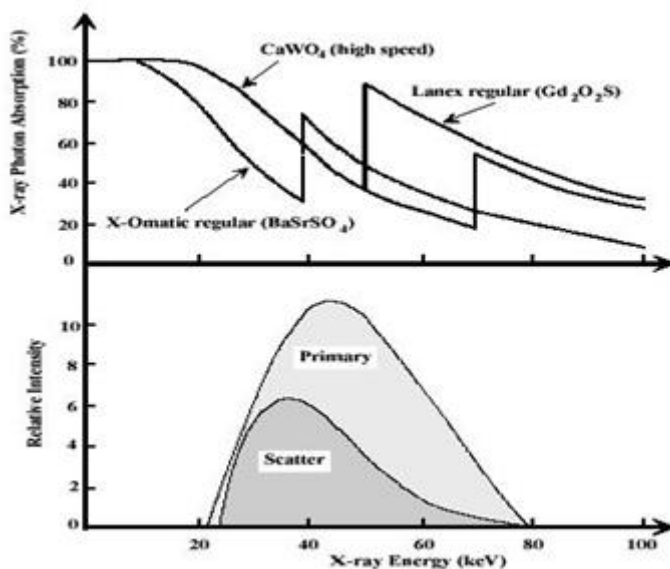
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติบางประการของสารฟอสฟอรัสชนิดต่าง ๆ [1]

Phosphor	Emission Efficiency (%)	Emission Color	Emission Peak (nm)	Effective Atomic No.	K Absorption Edge (keV)	Specific Gravity
CaWO ₄	5.0	Blue	425	61.8	69.48	6.1
ZnS (Ag)	19.0	Blue	450	26.7	9.66	4.5
BaSO ₄ (Eu)	6.0	Violet	380	45.5	37.38	4.7
BaFCl (Eu)	13.0	Violet	390	49.3	37.38	9
Y ₂ O ₂ S (Tb)	18.0	Blue/White	420	34.9	17.04	4
LaOBr (Tb)	17.0	Blue/White	420	49.3	38.92	6.3
LaOBr (Tm)	11.0	Blue	360, 460	49.3	38.92	6.3
YTaO ₄ (Tm)	8.0	Blue	360, 460	59.8	67.42	7.5
YTaO ₄ (Nb)	8.5	Blue	410	59.8	67.42	7.5
Gd ₂ O ₂ S (Tb)	16.0	Green	545	59.5	50.22	7.3
La ₂ O ₂ S (Tb)	12.5	Green	545	52.6	38.92	6.5
ZnCdS (Ag)	19.0	Green	530	38.4	9.66/26.70	4.8
CsI (Na)	13.0	Blue	420	54.0	35.95/33.16	4.5



รูปที่ 2.14 สเปกตรัมความยาวคลื่นของแสงที่ปลดปล่อยจากของฉากเรืองรังสีบางชนิด
เปรียบเทียบกับช่วงความไวของฟิล์มชนิดที่ใช้ผลึก AgBr[1]

2.7.2 มีค่า K-absorption เท่ากับ 50.22 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนของวัตถุใด ๆ จะมีค่าลดลงเมื่อพลังงานของโฟตอนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพลังงานของโฟตอนมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงชั้น K จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนโฟตอนของวัตถุนั้น ๆ เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.15 สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอกซ์ใน CaWO_4 , $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}$ และ BaSrSO_4 [12]

2.8 คุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสี

2.8.1 ความไว (sensitivity) คือความสามารถของภาพถ่ายด้วยรังสี ที่สามารถตรวจหารอยบกพร่องขนาดเล็กได้ โดยความไวจะมีค่าเป็นร้อยละของความหนาของชิ้นงาน

การตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสีนั้น วิธีที่นิยมใช้คือ นำตัวชี้บ่งคุณภาพของภาพถ่าย (image quality indicator, IQI) วางบนชิ้นงานขณะถ่ายภาพด้วยรังสี เมื่อได้ภาพออกมา ก็จะมีภาพ IQI ปรากฏอยู่ด้วย ทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าการถ่ายภาพด้วยรังสีแต่ละครั้งนั้น มีความไวในการตรวจหารอยบกพร่องขนาดเล็กที่สุดได้ขนาดเท่าใด ซึ่ง IQI มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลักการเหมือนกัน โดย IQI ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ IQI มาตรฐาน DIN54 109 (1962) เป็นมาตรฐานของเยอรมนี และ ISO ด้วย มีลักษณะเป็นเส้นลวด ทำด้วยโลหะ 3 ชนิด คือ เหล็ก ทองแดง และอลูมิเนียม ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ กัน รวม 16 ขนาด ดังตารางที่ 2.3

เส้นลวด 16 เส้น แบ่งออกเป็น 3 ชุด ชุดละ 7 เส้นดังนี้

ชุดที่ 1	DIN 1/7	มีลวดหมายเลข 1-7
ชุดที่ 2	DIN 6/12	มีลวดหมายเลข 6-12
ชุดที่ 3	DIN 10/16	มีลวดหมายเลข 10-16

ความไวในการตรวจหารอยบกพร่องของภาพถ่ายด้วยรังสี สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความไว} = \frac{\text{ขนาดเส้นลวดที่เล็กที่สุดที่มองเห็น}}{\text{ความหนาของชิ้นงาน}} \times 100 \quad (2.3)$$

โดยคุณภาพของภาพถ่าย เป็น 2 ประเภท คือ

- ก. ความไวสูง (high sensitivity) หรือ class I มีค่าประมาณ 1-1.5 %
- ข. ความไวปกติ (nomal sensitivity) หรือ class II มีค่าประมาณ 1.5-2 %

ตารางที่ 2.3 หมายเลขและขนาดของ IQI แบบเส้นลวดของ DIN54 109

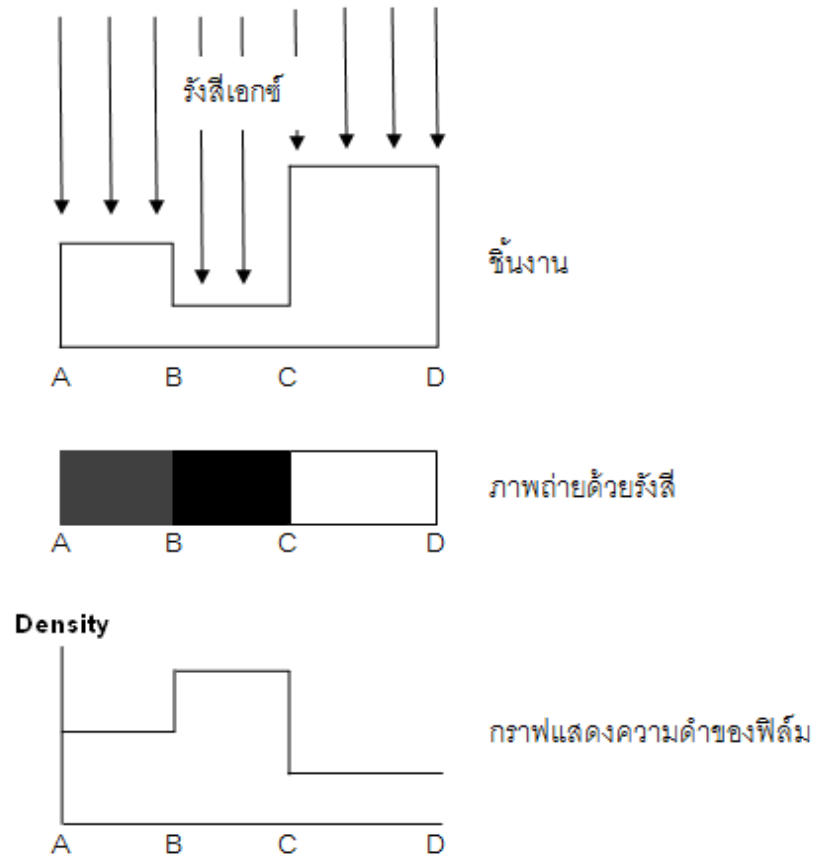
หมายเลข	1	2	3	4	5	6	7	8
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	3.20	2.50	2.00	1.60	1.25	1.00	0.80	0.63
หมายเลข	9	10	11	12	13	14	15	16
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	0.50	0.40	0.32	0.25	0.20	0.26	0.125	0.100

2.8.2 ความเปรียบต่าง (contrast) คือ ความแตกต่างของความดำของภาพถ่ายด้วยรังสีบนพื้นที่ต่าง ๆ บนฟิล์มเดียวกัน ซึ่งความเปรียบต่างขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ เช่น พลังงานของรังสี ความหนาแน่นและส่วนประกอบของชิ้นงาน ชนิดของฟิล์ม กระบวนการล้างฟิล์ม ชนิดของฉากเพิ่มความเข้มรังสี เป็นต้น โดยที่ความเปรียบต่างสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Contrast} = \frac{I_1 - I_2}{(I_1 + I_2)/2} \quad (2.4)$$

เมื่อ I_1 คือ ค่าความดำบนฟิล์มที่มีค่ามากกว่า

I_2 คือ ค่าความดำบนฟิล์มที่มีค่าน้อยกว่า



รูปที่ 2.16 ความเปรียบเทียบของภาพถ่ายด้วยรังสี

2.8.3 **รีโซลูชัน (resolution)** คือ ความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของภาพถ่ายด้วยรังสี ประเมินจากขอบภาพของตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

2.8.4 **แฟคเตอร์ความเข้ม (intensifying factor; IF)** คืออัตราส่วนที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างเอกซโพเชอร์ในการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยไม่ใช้ฉากเรืองรังสีต่อเอกซโพเชอร์ที่ใช้ฉากที่ทำให้ฟิล์มมีค่าความดำเท่ากัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ ที่ 2.5 โดยค่าที่ได้ นั้นสามารถบอกถึงความเร็วในการถ่ายภาพด้วยรังสีของการถ่ายภาพด้วยฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสีเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้ฉากเรืองรังสี

$$\text{Intensifying; IF} = \frac{\text{Exposure without screen}}{\text{Exposure with screen}} \quad (2.5)$$

ตารางที่ 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย[4]

ปัจจัย	ผลต่อภาพ/การถ่ายภาพ
1. การจัดตั้งกำเนิดรังสี ชีงงาน และฟิล์ม	
- ระยะตั้งกำเนิดรังสีถึงชีงงาน	ความคมชัดและเวลาในการถ่ายภาพ
- ระยะชีงงานถึงฟิล์ม	ความคมชัดและเวลาในการถ่ายภาพ
- แนวกึ่งกลางลำรังสีตั้งฉากกับชีงงานและฟิล์ม	ความบิดเบือน
2. ต้นกำเนิดรังสี	
- พลังงานของรังสี	ความเปรียบต่างและความคมชัด
- ค่ากระแสของหลอดเอกซเรย์	เวลาในการถ่ายภาพ
- ขนาดของต้นกำเนิดรังสี	ความคมชัด
3. ชีงงาน	
- ความหนา	ความคมชัดและเวลาในการถ่ายภาพ
- ความกว้าง	ความสม่ำเสมอของความดำ
- ความแตกต่างของความหนาและความหนาแน่น	ความเปรียบต่าง
- ส่วนประกอบ	ความคมชัด, เวลาในการถ่ายภาพ และความเปรียบต่าง
- ความซับซ้อนของโครงสร้าง	ความคมชัด, ความเปรียบต่าง และความยากง่ายในการแปลผล
4. ฟิล์ม	
- ความเร็ว	ความคมชัดและเวลาในการถ่ายภาพ
- ความเปรียบต่างของฟิล์ม	ความเปรียบต่าง
- กระบวนการล้างฟิล์ม	ความเปรียบต่าง
5. การกระเจิงของรังสี	
- การกระเจิงภายใน	ความคมชัดและความเปรียบต่าง
- การกระเจิงด้านข้าง	ความคมชัดและความเปรียบต่าง
- การกระเจิงกลับ	ความคมชัดและความเปรียบต่าง
6. ฉากเพิ่มความเข้มรังสี	
- ชนิดของฉาก	ความคมชัด, เวลาในการถ่ายภาพ และความเปรียบต่าง
- ความหนาของฉาก	ความคมชัด
- ความสะอาดของผิว	ความสม่ำเสมอของความดำ
- ความแนบสนิทระหว่างฉากกับฟิล์ม	ความคมชัด, ความสม่ำเสมอของความดำ และความบิดเบือน

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์ในการทดสอบคุณสมบัติของฉากรังสี PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ

3.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ยี่ห้อ G.E. รุ่น Eresco 65 MF3 หมายเลขเครื่อง 0821188-99 ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 300 กิโลโวลต์ ปรับกระแสสูงสุด 3 มิลลิแอมแปร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และชุดควบคุม

3.1.2 ฉากรังสี $Gd_2O_2S(Tb)$ ชนิด PI-200 ขนาด 12 นิ้ว \times 12 นิ้ว จัดจำหน่ายโดยบริษัท Mitsubishi Chemical Corporation ประเทศญี่ปุ่น

3.1.3 ฉากรังสี $Gd_2O_2S(Tb)$ ชนิด DRZ-Std ขนาด 12 นิ้ว \times 12 นิ้ว จัดจำหน่ายโดย บริษัท Mitsubishi Chemical Corporation ประเทศญี่ปุ่น

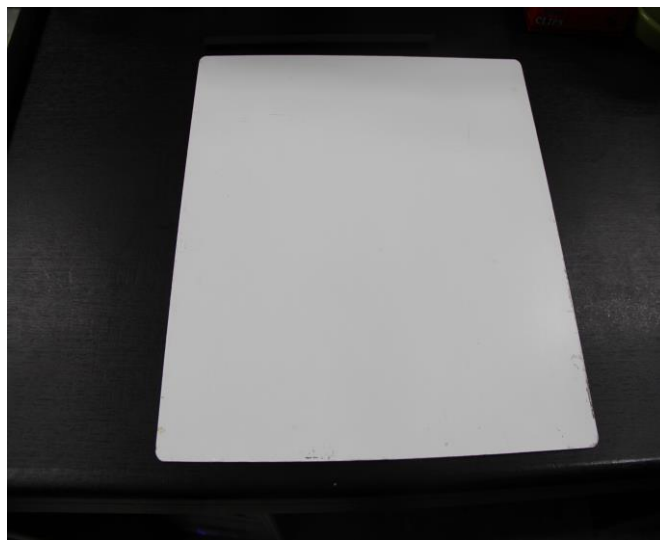
3.1.4 ฉากรังสีตะกั่ว ขนาด 3.5 นิ้ว \times 17 นิ้ว จัดจำหน่ายโดยบริษัท โกดัก ประเทศญี่ปุ่น

3.1.5 เหล็กชั้นบันได มี 10 ชั้น โดยมีความหนา 2.0, 4.2, 6.1, 8.2, 10.1, 12.1, 14.2, 16.1, 18.1 และ 20.1 มิลลิเมตร เพื่อนำมาใช้ในการสร้างกราฟเอกซ์โพไซตร

3.1.6 แผ่นยางผสมตะกั่วสำหรับกำบังรังสีเอกซ์ ขนาด 9 นิ้ว \times 18 นิ้ว หนา 0.5 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น



รูปที่ 3.2 ฉากเรืองรังสี PI-200 ขนาด 12 นิ้ว × 12 นิ้ว



รูปที่ 3.3 ฉากเรืองรังสี DRZ-Std ขนาด 12 นิ้ว × 12 นิ้ว



รูปที่ 3.4 ฉากตะกั่ว ขนาด 3.5 นิ้ว × 17 นิ้ว



รูปที่ 3.5 เหล็กชั้นบันได ขนาด 1.5 นิ้ว × 12 นิ้ว

3.2 วัสดุอุปกรณ์ และเคมีภัณฑ์ในการสร้างภาพ

3.2.1 फिल्मที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือฟิล์ม โกดัก AA400 ขนาด 10 นิ้ว × 12 นิ้ว และ ขนาด 3.5 นิ้ว × 17 นิ้ว เพื่อให้สามารถถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พอดีกับขนาดของฉากเรืองรังสี จัดจำหน่าย โดยบริษัท โกดัก ประเทศไทย



รูปที่ 3.6 फिल्मโกดัก AA400 ขนาด 3.5 นิ้ว × 17 นิ้ว

3.2.2 ซองใส่ฟิล์ม (film holder) เป็นอุปกรณ์สำหรับบรรจุฟิล์ม เพื่อป้องกันไม่ให้ฟิล์มโดนแสง ทำจากพลาสติกสีดำ ขนาด 14 นิ้ว × 17 นิ้ว และ ขนาด 3.5 นิ้ว × 17 นิ้ว



รูปที่ 3.7 ซองใส่ฟิล์ม ขนาด 3.5 นิ้ว × 17 นิ้ว

3.2.3 ดีเวลอปเปอร์ (developer solution) ในงานวิจัยนี้ใช้ดีเวลอปเปอร์ของ บริษัทโกดัก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการสร้างภาพ 5 นาที

3.2.4 น้ำยาคงสภาพ (fixer solution) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ของบริษัท โกดัก ที่อุณหภูมิ 18 ถึง 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการคงสภาพประมาณ 6 นาที

3.2.5 ตู้ล้างฟิล์มสามารถปรับอุณหภูมิสูงสุด 200 องศาเซลเซียส ของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)



รูปที่ 3.8 ตู้ล้างฟิล์ม

3.2.6 เดนซิโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Pehamed รุ่น NORMSCAN หมายเลขเครื่อง 0804 ขนาดพื้นที่ในการวัด 1.2 นิ้ว × 1.2 นิ้ว ช่วงความเข้ม 0.0 ถึง 4.5 ความแม่นยำในการวัด $\pm 0.05D$



รูปที่ 3.9 เดนซิโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Pehamed

3.3 วัสดุอุปกรณ์ตรวจคุณภาพของฉากเรืองรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) ชนิด PI-200

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้ฉากเรืองรังสี $Gd_2O_2S(Tb)$ ชนิด PI-200 นั้น จำเป็นต้องมีการวัดคุณภาพของฉากเรืองรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์(เทอร์เบียม) ชนิด PI-200 โดยทำการหาค่าความไว, ความเบี่ยงต่าง ริโซลูชัน พร้อมทั้งประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ เทียบกับฉากเรืองรังสี $Gd_2O_2S(Tb)$ ชนิดอื่น โดยมีอุปกรณ์ดังนี้

3.3.1 ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกชิ้นงาน ดังนี้

- ก. แท่งเหล็ก หนา 15 มิลลิเมตร 1 ชิ้น และแผ่นเหล็กที่มีความบกพร่อง หนา 15 มิลลิเมตร
- ข. พระพุทธรูป ทำมาจากทองเหลือง หน้าตักกว้าง 15 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร
- ค. คนโท ทำมาจากทองเหลือง ฐานกว้าง 4 เซนติเมตร สูง 16.5 เซนติเมตร โดยนำลวดเสียบกระดาษ นี้อต และถ่านอัลคาไลน์ ขนาด AA ใส่ลงไปข้างใน คนโท



รูปที่ 3.10 แผ่นเหล็กที่ความบกพร่อง
หนา 15 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.11 พระพุทธรูปหน้าตักกว้าง 15 เซน-
ติเมตร สูง 25 เซนติเมตร



รูปที่ 3.12 คนโท สูง 16.5 เซนติเมตร กว้าง 4 เซนติเมตร

3.3.2 IQI มาตรฐาน DIN54 109 (1962) เป็นมาตรฐานของเยอรมนี มีลักษณะเป็นเส้น
ลวดทำด้วยเหล็ก จำนวน 2 ชุด คือ

- ก. ชุดที่ 1 DIN 6/12 มีลวดหมายเลข 6 ถึง 12 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ
1.00, 0.80, 0.63, 0.50, 0.40, 0.32 และ 0.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ
- ข. ชุดที่ 2 DIN 10/16 มีลวดหมายเลข 10 ถึง 16 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ
0.40, 0.32, 0.25, 0.20, 0.16, 0.125 และ 0.100 มิลลิเมตร ตามลำดับ



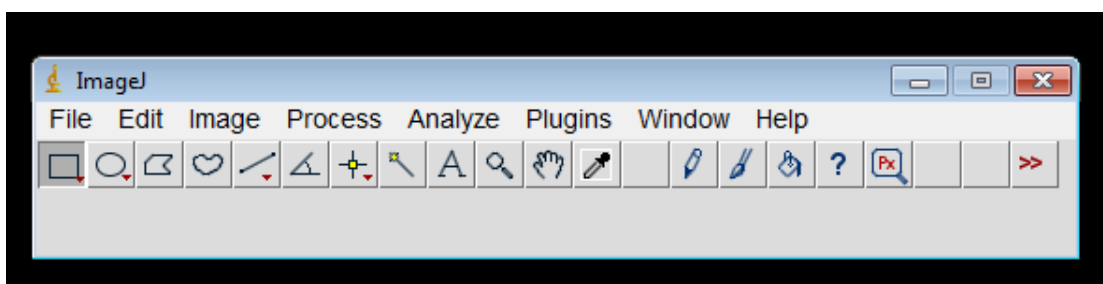
รูปที่ 3.13 IQI DIN54 109 (1962) ชุดที่ 2 DIN 10/16

3.3.3 ตู้ไฟดูฟิล์ม (viewing box) เป็นตู้ไฟแสงสว่างสำหรับส่องดูฟิล์ม เพื่อตรวจสอบภาพถ่ายด้วยรังสี โดยที่ความเข้มของการส่องสว่างสำหรับการดูภาพถ่ายรังสีทั่วไปอยู่ระหว่าง 1,500-3,000 แคนเดลาต่อตารางเมตร



รูปที่ 3.14 ตู้ไฟดูฟิล์ม

3.3.4 โปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ) เป็นโปรแกรมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดย Wayne Rasband และสถาบันสุขภาพแห่งชาติ (The National Institute of Health; NIH) ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งโปรแกรมนี้ถูกเขียนมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลจากรูปภาพตัวอย่างเช่น การนับจำนวนเซลล์ที่ได้จากภาพถ่าย การหาพื้นที่ของวัตถุ เป็นต้น โดยทำการวัดขนาดของอนุภาคที่ปรากฏในรูปภาพ นอกจากนี้ได้มีการพัฒนามาวิเคราะห์ขนาดของเกรนและการกระจายตัวของภาคตัดขวางของวัสดุ เป็นการประยุกต์ใช้เพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุอีกวิธีหนึ่ง เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่ให้มีการดาวน์โหลดได้ฟรีและยังมีการเปิด source code ให้มีการพัฒนาอีกด้วย ปัจจุบันได้มีการนำมาใช้มากขึ้นในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์



รูปที่ 3.15 โปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ)

3.4 วิธีดำเนินการวิจัย

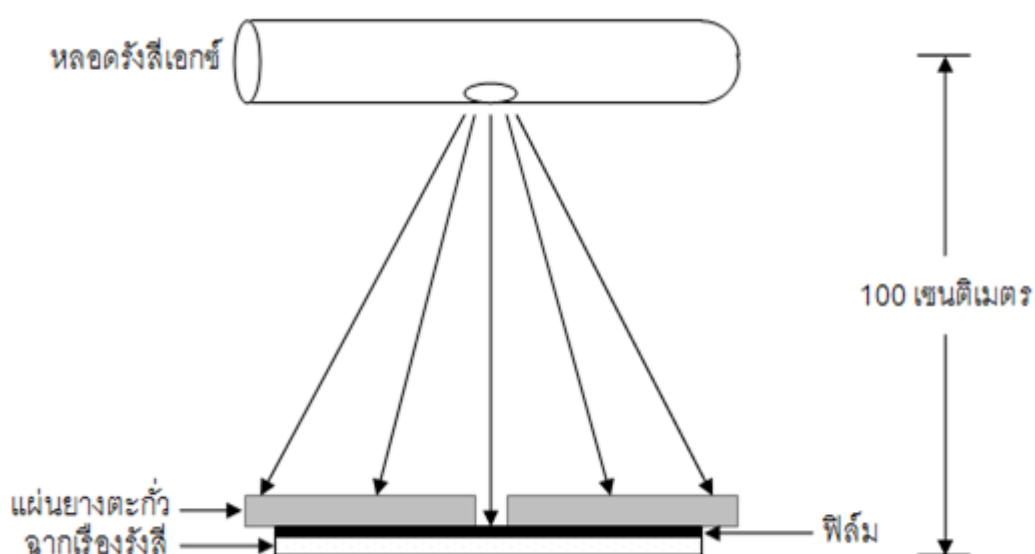
3.4.1 การหาผลตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่างๆ ของฉากเรืองรังสี PI-200

การหาผลการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีเอกซ์ของฉากเรืองรังสี PI-200 โดยทำการเปรียบเทียบผลจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ฉากชนิดอื่นๆ ได้แก่ ฉากเรืองรังสี PI-200, ฉากเรืองรังสีชนิด DRZ-Std, ฉากตะกั่ว และฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรือง ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ค่าเอกซ์โพซเจอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-นาที่ โดยปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 80 กิโลโวลต์ ถึง 250 กิโลโวลต์ เพิ่มขึ้นครั้งละ 40 กิโลโวลต์ ที่ระยะห่างจากโฟกัสของหลอดเอกซเรย์เท่ากับ 100 เซนติเมตร ในการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเครื่องเอกซเรย์นั้นจะส่งผลให้พลังงานของรังสีเอกซ์เปลี่ยนแปลงไป เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้านี้ก็จะส่งผลให้พลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน หมายความว่าพลังงานของรังสีเอกซ์แปรผันตรงกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านั่นเอง

โดยการทดลองมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ก. ทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 โดยวางฉากเรืองรังสี PI-200 ด้านหลังของฟิล์มซึ่งต้องให้ฟิล์มและฉากเรืองรังสีแนบชิดกันให้มากที่สุด ในการทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ออกแบบการถ่ายภาพเพื่อประหยัดฟิล์ม โดยแบ่งพื้นที่ของของบรรจุฟิล์มที่ใช้ในการถ่ายภาพออกเป็น 5 ส่วน โดยใช้แผ่นยางผสมตะกั่วมากำบังของบรรจุฟิล์มเพื่อให้ฟิล์มได้รับรังสีเฉพาะบริเวณที่ต้องการถ่ายภาพ เมื่อถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 80 กิโลโวลต์ เสร็จแล้ว นำแผ่นยางผสมตะกั่วอีกแผ่นมากำบังของบรรจุฟิล์มในส่วนที่ถ่ายภาพแล้ว ดังรูปที่ 3.15 ทำเช่นนี้จนครบค่าความต่างศักย์ที่ต้องการ
- ข. ทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี DRZ-Std โดยวิธีดำเนินการเหมือนกับข้อ ก.
- ค. ทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่ว โดยวิธีดำเนินการเหมือนกับข้อ ก. แต่ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ตะกั่วนี้โดยทั่วไปแล้วจะวางฉากตะกั่วประกบกับฟิล์ม
- ง. ทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรืองรังสี โดยทำเหมือนข้อ ก.

๑. นำฟิล์มที่ผ่านการถ่ายภาพด้วยรังสีทั้งหมดไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ฝั่งฟิล์มให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาอ่านค่าความดำด้วยเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากเรื่องรังสี PI-200 โดยเปรียบเทียบผลของฟิล์มเมื่อใช้เรื่องรังสี PI-200, ฉากเรื่องรังสีชนิด DRZ-Std, ฉากตะกั่ว และฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรื่องรังสีเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3.16 การจัดอุปกรณ์ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เพื่อประเมินหาผลการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ฉากชนิดต่างๆ และฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรื่องรังสี

3.4.2 การสร้างกราฟเอกซ์โพเซอร์ โดยนำเหล็กชั้นบันไดมาถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ซึ่งถ่ายที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 80, 120, 160, 200 และ 250 กิโลโวลต์ โดยแต่ละค่าความต่างศักย์ถ่ายที่เอกซ์โพเซอร์ 1, 3 และ 5 มิลลิแอมแปร์-นาทีก ของฟิล์มเมื่อใช้เรื่องรังสีต่างกัน โดยฉากเรื่องรังสีที่ใช้ได้แก่ เรื่องรังสี PI-200, ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่ว นำฟิล์มที่ผ่านการถ่ายภาพด้วยรังสีทั้งหมดไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ฝั่งฟิล์มให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาอ่านค่าความดำด้วยเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ที่ทุกค่าความหนาของเหล็กชั้นบันได ดังรูปที่ 3.17 นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟเอกซ์โพเซอร์ระหว่างความดำกับความหนาของเหล็กชั้นบันได แล้วลากเส้นจากความดำมาตรฐาน โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าความดำเท่ากับ 2 ไปตัดกับเส้นกราฟและอ่านค่าความหนาของเหล็กในแกนแนวนอน หลังจากนั้นสร้างกราฟระหว่างค่าเอกซ์โพเซอร์กับ

ความหนาของเหล็กที่อ่านได้ โดยให้แกนแนวตั้งเป็นสเกลลอการิทึม แกนแนวนอนเป็นสเกลมาตรฐาน แล้วนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 3.17 ภาพถ่ายทางรังสีของเหล็กชั้นบันได

3.4.3 การตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่าย

การหารีโซลูชัน โดยนำแท่งเหล็กและ IQI มาตรฐาน DIN54 109 (1962) ชุดที่ 1 DIN 6/12 กับ ชุดที่ 2 DIN 10/16 มาถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้เครื่องรังสี PI-200 และจากชนิดอื่น ๆ ด้วยค่าที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จากกราฟเอกซ์โพเซอร์ โดยทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ดังนี้

- ก. ถ่ายภาพแท่งเหล็กของฟิล์มเมื่อใช้จากเครื่องรังสี PI-200 โดยนำแผ่น IQI มาตรฐาน DIN54 109 (1962) ทั้งสองชุดมาวางบนแท่งเหล็ก ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ 3 มิลลิแอมแปร์-นาที่
- ข. ถ่ายภาพแท่งเหล็กระหว่างฟิล์มเมื่อใช้จากเครื่องรังสี DRZ-Std โดยนำแผ่น IQI มาตรฐาน DIN54 109 (1962) ทั้งสองชุดมาวางบนแท่งเหล็ก ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ 3.8 มิลลิแอมแปร์-นาที่
- ค. ถ่ายภาพแท่งเหล็กของฟิล์มเมื่อใช้จากตะกั่ว โดยนำแผ่น IQI มาตรฐาน DIN54 109 (1962) ทั้งสองชุดมาวางบนแท่งเหล็ก ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ 3.6 มิลลิแอมแปร์-นาที่
- ง. นำฟิล์มที่ผ่านการถ่ายภาพด้วยรังสีทั้งหมดไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ฝั่งฟิล์มให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำฟิล์มที่ได้มาถ่ายรูปโดยถ่ายรูปของฟิล์ม

ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่อ่านผ่านตู้ไฟดูฟิล์ม นำมาประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ)

การหาความไว นำฟิล์มที่ได้มาอ่านผ่านตู้ไฟดูฟิล์ม นำมาประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ) เพื่อหาความไวในการตรวจหารอยบัพร่องขนาดเล็กที่สุด โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

การหาความเปรียบต่าง นำฟิล์มที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของเหล็กชั้นบันไดที่เอกซ์โพเซอร์เท่ากับ 5 มิลลิแอมแปร์-นาที่ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 120, 160 และ 200 กิโลโวลต์ โดยใช้ฉากเรื่องรังสีชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบความดำของฟิล์มจากตำแหน่งอยู่ติดกัน 1 คู่ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ มาอ่านค่าความดำด้วยเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ ในที่นี้เลือกค่าความหนาของเหล็กชั้นบันได ระหว่าง 10.1 และ 12.1 มิลลิเมตร และพิจารณาความเปรียบต่างของฉากเรื่องรังสี PI-200 จากค่าเอกซ์โพเซอร์ต่าง ๆ 1, 3 และ 5 มิลลิแอมแปร์-นาที่ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 120, 160 และ 200 กิโลโวลต์ นำมาคำนวณหาความเปรียบต่างจากสมการที่ 2.4 แล้วนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

การหาแฟคเตอร์ความเข้ม ทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรื่องรังสี PI-200, ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std, ฉากตะกั่ว และฟิล์มที่ไม่ใช้เรื่องรังสี โดยถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ โดยปรับค่าเอกซ์โพเซอร์ 1, 3, 5, 6 และ 9 มิลลิแอมแปร์-นาที่ นำฟิล์มที่ผ่านการถ่ายภาพด้วยรังสีทั้งหมดไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ฝั่งฟิล์มให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาอ่านค่าความดำด้วยเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำกับค่าเอกซ์โพเซอร์ โดยเลือกที่ความดำมาตรฐาน คือ 2 อ่านค่าเอกซ์โพเซอร์ นำมาคำนวณแฟคเตอร์ความเข้มจากสมการที่ 2.5 แล้วนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

3.4.4 การประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้โดยเปรียบเทียบกับฉากชนิดอื่นๆ

หลังจากที่ทราบค่าที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จากกราฟเอกซ์โพเซอร์ของฉากเรื่องรังสี PI-200 และฉากชนิดอื่นๆ แล้วนั้น ก็ดำเนินการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์กับชิ้นงานที่เลือกไว้ คือ แท่งเหล็ก พระพุทธรูป และคนโธ โดยทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ดังนี้

- ก. ถ่ายภาพชิ้นงานทั้งสามของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรื่องรังสี PI-200 ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ 3 มิลลิแอมแปร์-นาที่
- ข. ถ่ายภาพชิ้นงานทั้งสามของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ 3.8 มิลลิแอมแปร์-นาที่
- ค. ถ่ายภาพชิ้นงานทั้งสามของฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่ว ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ 3.6 มิลลิแอมแปร์-นาที่
- ง. นำฟิล์มที่ผ่านการถ่ายภาพด้วยรังสีทั้งหมดไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม ฝั่งฟิล์มให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วนำมาประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้เรื่องรังสี PI-200 และ ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std ไม่สามารถถ่ายภาพที่ค่าความต่างศักย์ 200 กิโลโวลต์ เนื่องจากมีความเร็วสูงมาก ภาพที่ได้จึงมีความดำเกินไป ส่วนเมื่อใช้ฉากตะกั่ว หากถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 160 กิโลโวลต์ ภาพมีความดำน้อยเกินไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

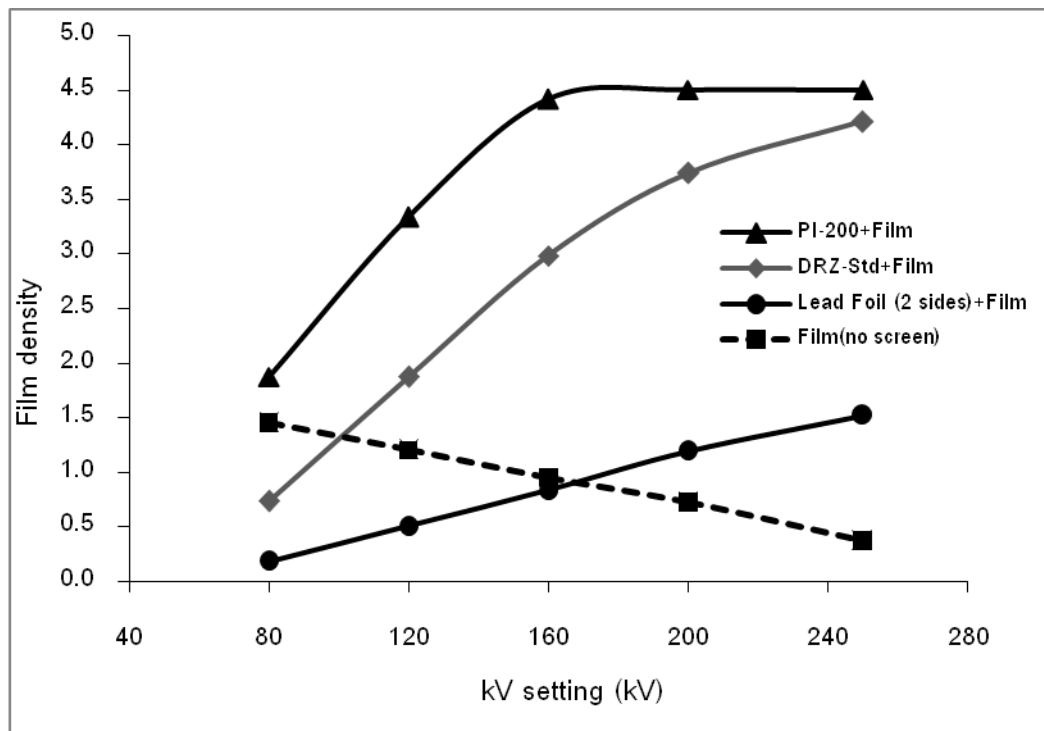
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของฉากเรืองรังสี PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ

จากการนำฟิล์มประกบกับฉากเรืองรังสี PI-200, ฉากเรืองรังสีชนิด DRZ-Std, ฉากตะกั่ว และฟิล์มที่ไม่มีฉากเรืองรังสีไปถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ค่าเอกซ์โพไซเตอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-วินาที แล้วนำไปอ่านค่าความดำบนฟิล์ม จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200, ฉากเรืองรังสี DRZ-Std, ฉากตะกั่ว และฟิล์มที่ไม่ใช้ฉาก ที่เอกซ์โพไซเตอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-วินาที ในแต่ละพลังงาน

	ค่าความดำ				
	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)				
	80	120	160	200	250
ฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200	1.87	3.33	4.41	4.50	4.50
ฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี DRZ-Std	0.73	1.92	2.98	3.74	4.21
ฟิล์มเมื่อใช้ตะกั่ว	0.18	0.50	0.83	1.19	1.52
ฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรืองรังสี	1.45	1.20	0.95	0.72	0.37
อัตราส่วนความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 เปรียบเทียบกับฟิล์มที่ไม่ใช้ฉาก	1.3	2.8	4.6	6.3	12.2
อัตราส่วนความดำของฟิล์มที่ฉากเรืองรังสี DRZ-Std กับฟิล์มที่ไม่ใช้ฉาก	0.5	1.6	3.2	5.3	11.4
อัตราส่วนความดำของฟิล์มร่วมกับฉากตะกั่ว กับฟิล์มที่ไม่ใช้ฉาก	0.1	0.4	0.9	1.7	4.1

นำข้อมูลในตารางที่ 4.1 มาสร้างกราฟการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากเรืองรังสี PI-200 ที่พลังงานต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากเรืองรังสี PI-200 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เอกซ์โพเซเจอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-นาทึ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบไม่ใช้ฉากเรืองรังสี การตอบสนองต่อรังสีเอกซ์แปรผกผันกับความต่างศักย์ไฟฟ้า คือเมื่อพลังงานสูงขึ้น ค่าความดำลดลง แต่เมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 ร่วมกับวิธีถ่ายภาพปกติ จะทำให้การตอบสนองต่อรังสีเอกซ์แปรผันตรงกับความต่างศักย์ไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าค่าความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากชนิดต่าง ๆ มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์สูงขึ้น ในขณะที่ค่าความดำของฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรืองรังสีมีค่าลดลงเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น โดยความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 250 กิโลโวลต์ ฉากเรืองรังสี PI-200, ฉากเรืองรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่ว มีอัตราการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์สูงกว่า 12, 11 และ 4 เท่า ตามลำดับ เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรืองรังสี

4.2 ผลการสร้างกราฟเอกซ์โพเซเจอร์

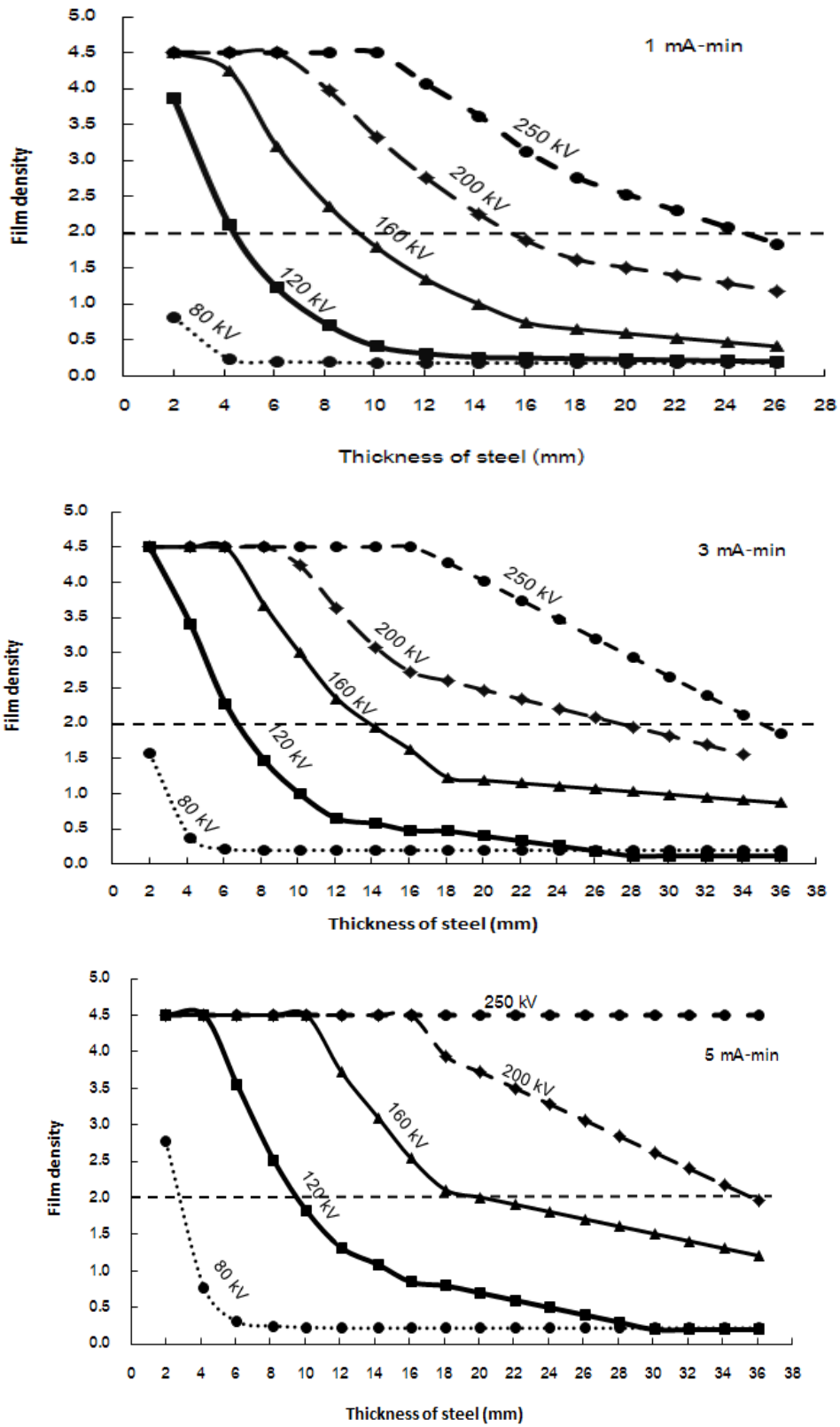
จากการนำฟิล์มประกบกับฉากเรืองรังสี PI-200, ฉากเรืองรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่วไปถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ค่าเอกซ์โพเซเจอร์ 1, 3 และ 5 มิลลิแอมแปร์-นาทึ แล้วนำไปอ่านค่าความดำบนฟิล์ม ดังแสดงในตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าความต้านทานของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี DRZ-Std

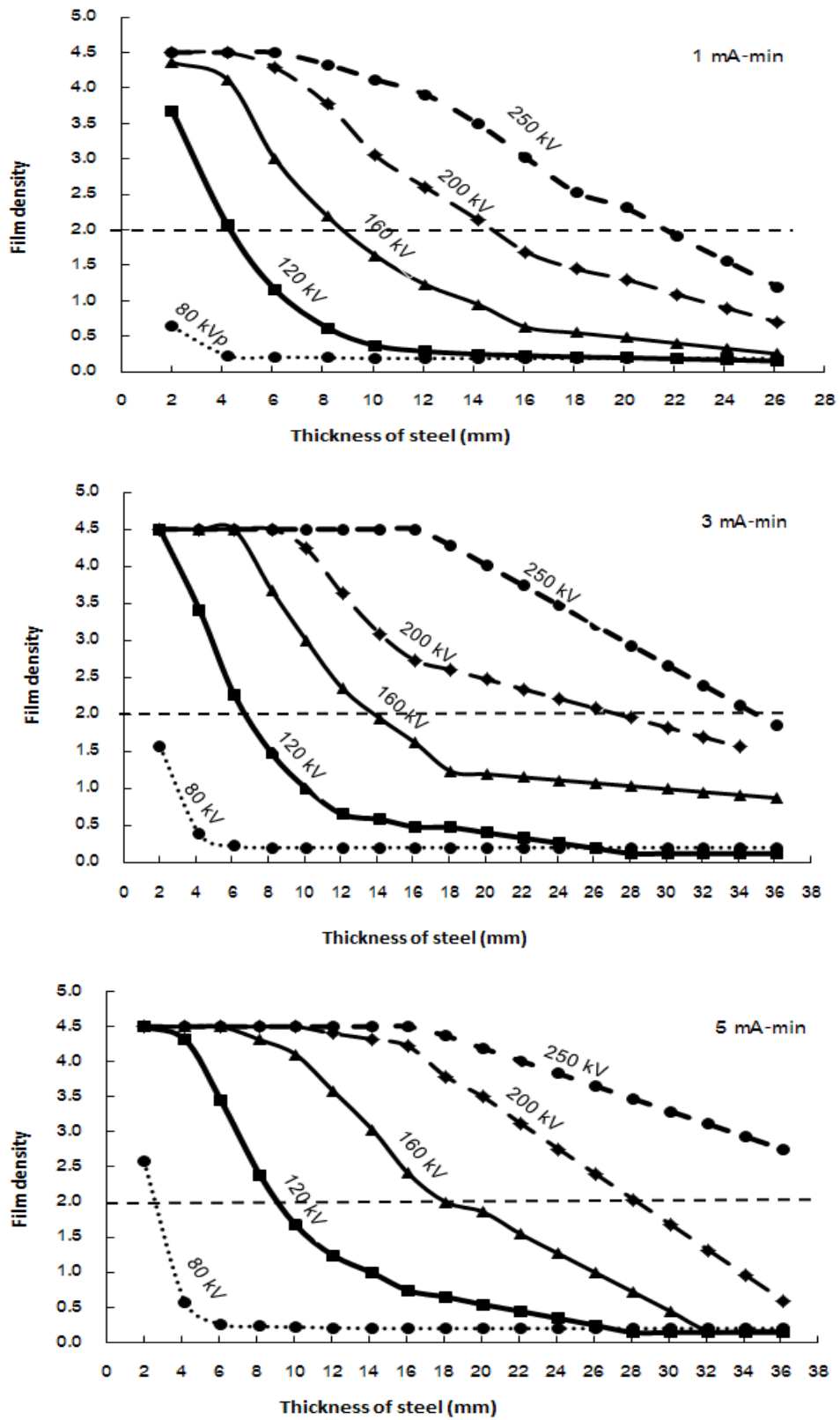
ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	เอกซ์โพเซเจอร์ (มิลลิแอมแปร์-นาที่)	ค่าความต้านทานของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี DRZ-Std									
		ความหนาเหล็กชั้นบันได (มิลลิเมตร)									
		2.0	4.2	6.1	8.2	10.1	12.1	14.2	16.1	18.1	20.1
80	1	0.64	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	3	1.32	0.30	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	5	2.58	0.57	0.26	0.23	0.22	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20
120	1	3.68	2.07	1.16	0.62	0.37	0.29	0.25	0.23	0.21	0.20
	3	4.39	3.25	2.14	1.33	0.91	0.59	0.48	0.39	0.34	0.29
	5	4.50	4.31	3.45	2.38	1.67	1.24	0.99	0.74	0.65	0.54
160	1	4.36	4.12	3.00	2.19	1.64	1.23	0.95	0.63	0.55	0.48
	3	4.50	4.50	4.30	3.49	2.89	2.21	1.79	1.48	1.17	1.07
	5	4.50	4.50	4.50	4.31	4.10	3.58	3.03	2.41	2.00	1.86
200	1	4.50	4.50	4.29	3.77	3.05	2.60	2.14	1.69	1.45	1.30
	3	4.50	4.50	4.50	4.33	4.25	4.01	3.64	2.98	2.54	2.44
	5	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.40	4.32	4.22	3.79	3.50
250	1	4.50	4.50	4.50	4.33	4.12	3.91	3.49	3.02	2.53	2.31
	3	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.39	4.21	4.01	3.89
	5	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.37	4.19

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าความต้านทานของฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่ว

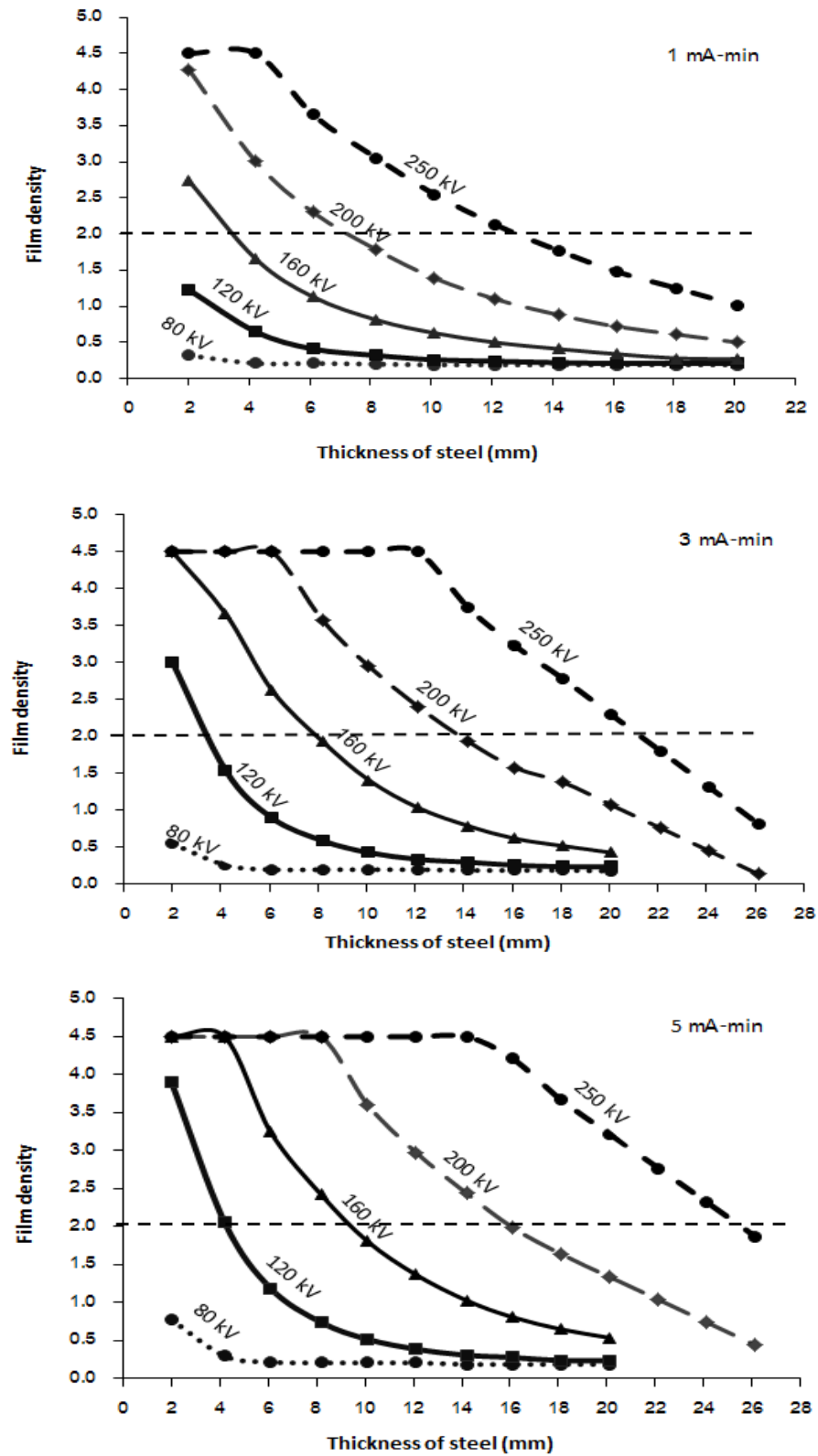
ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	เอกซ์โพเซเจอร์ (มิลลิแอมแปร์-นาที่)	ค่าความต้านทานของฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่ว									
		ความหนาเหล็กชั้นบันได (มิลลิเมตร)									
		2.0	4.2	6.1	8.2	10.1	12.1	14.2	16.1	18.1	20.1
80	1	0.30	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	3	0.60	0.26	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.18
	5	0.80	0.30	0.22	0.21	0.21	0.21	0.19	0.19	0.19	0.19
120	1	1.20	0.65	0.41	0.32	0.26	0.24	0.22	0.21	0.21	0.21
	3	3.00	1.54	0.90	0.59	0.43	0.34	0.30	0.26	0.24	0.24
	5	3.9	2.06	1.19	0.74	0.52	0.39	0.31	0.28	0.24	0.24
160	1	2.7	1.66	1.13	0.81	0.63	0.50	0.41	0.34	0.28	0.27
	3	4.5	3.66	2.63	1.93	1.41	1.04	0.79	0.62	0.52	0.43
	5	4.5	4.5	3.25	2.42	1.81	1.37	1.03	0.81	0.65	0.54
200	1	4.3	3.01	2.3	1.78	1.39	1.10	0.88	0.72	0.61	0.50
	3	4.5	4.5	4.5	3.57	2.95	2.41	1.93	1.58	1.38	1.07
	5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.61	2.98	2.44	1.99	1.64	1.34
250	1	4.5	4.5	3.65	3.05	2.55	2.13	1.77	1.48	1.25	1.01
	3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	3.74	3.23	2.78	2.29
	5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.21	3.67	3.22



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 กับความหนาของเหล็กชั้นบันไดที่ค่าเอกซโพเชอร์และความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ



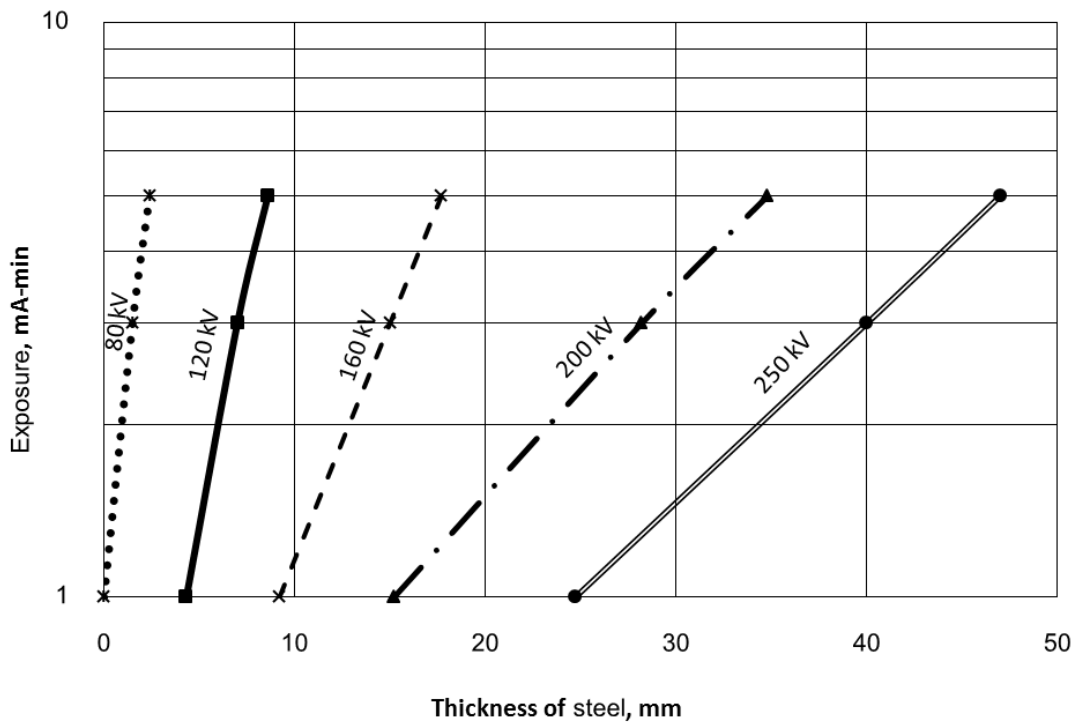
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี DRZ-Std กับความหนาของเหล็กชั้นบันไดที่ค่าเอกซโพเชอร์และความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ



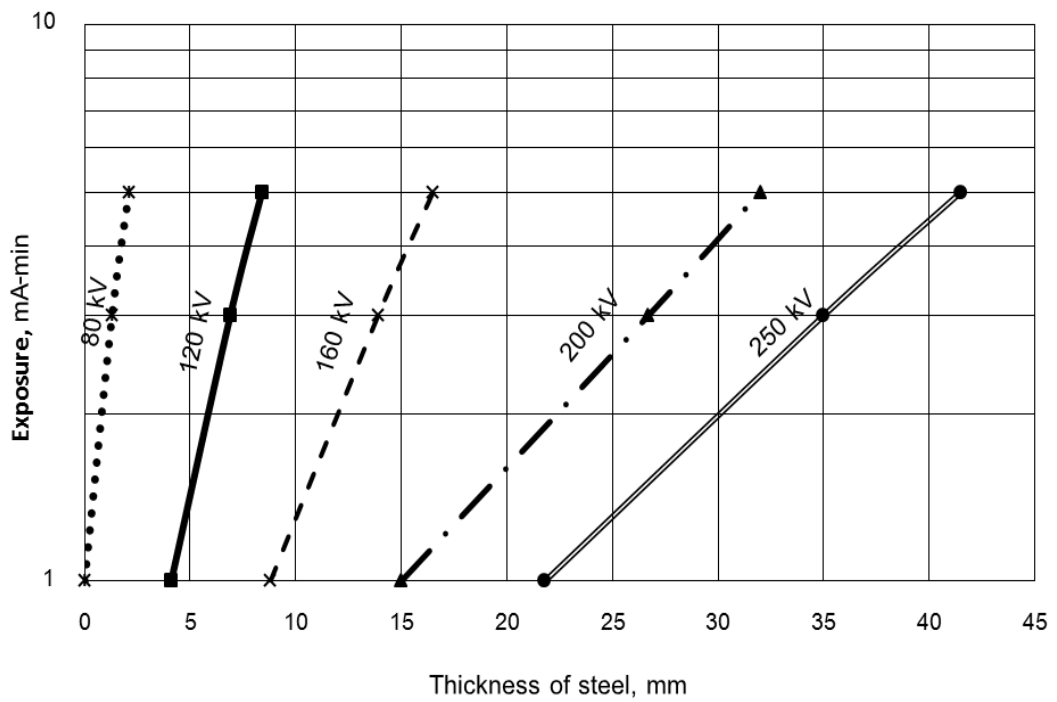
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่วกับความหนาของเหล็ก
ชั้นบันไดที่ค่าเอกซโพเชอร์และความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าความหนาของเหล็กที่ได้จากสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200, ฉากเรืองรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่ว เมื่อเลือกที่ค่าความดำเท่ากับ 2

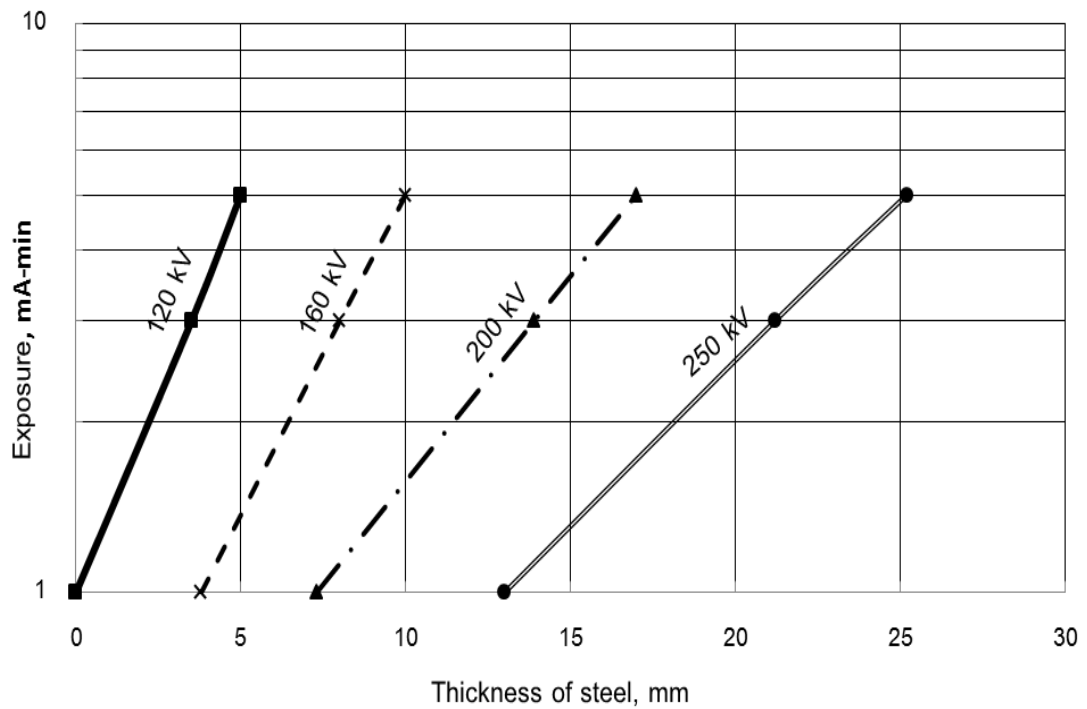
ชนิดของฉาก	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ความหนาของเหล็ก (มิลลิเมตร)		
		เอกซโพเชอร์ (มิลลิแอมแปร์-นาที)		
		1	3	5
ฉากเรืองรังสี PI-200	80	0.0	1.5	2.4
	120	4.3	7.0	8.6
	160	9.2	15	17.7
	200	15.2	28.2	34.8
	250	24.7	40.0	47.0
ฉากเรืองรังสี DRZ-Std	80	0.0	1.3	2.1
	120	4.1	6.9	8.4
	160	8.8	13.9	16.5
	200	15.0	26.7	32.0
	250	21.8	35	41.5
ฉากตะกั่ว	80	0.0	0.0	0.0
	120	0.0	3.5	5.0
	160	3.8	8.0	10.0
	200	7.3	13.9	17.0
	250	13.0	21.2	25.2



รูปที่ 4.5 กราฟเอกซโพเชอร์ของฉากรังสี PI-200 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ



รูปที่ 4.6 กราฟเอกซโพเชอร์ของฉากรังสี DRZ-Std ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ



รูปที่ 4.7 กราฟเอกซโพเชอร์ของฉากตะกั่วที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ


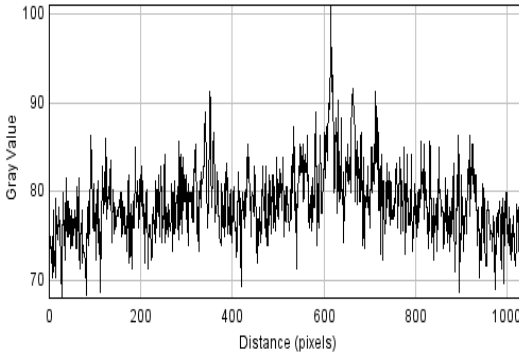
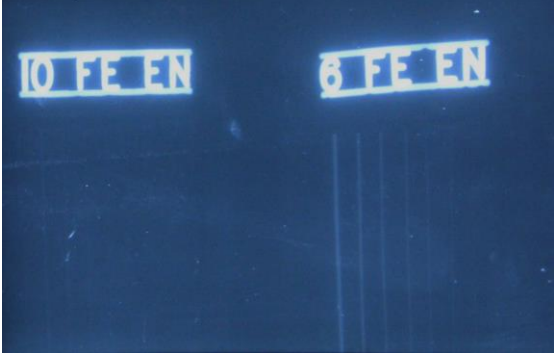
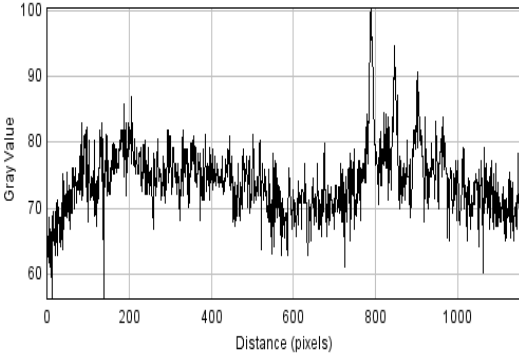
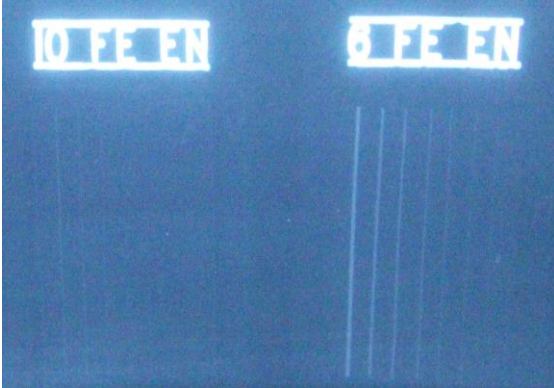
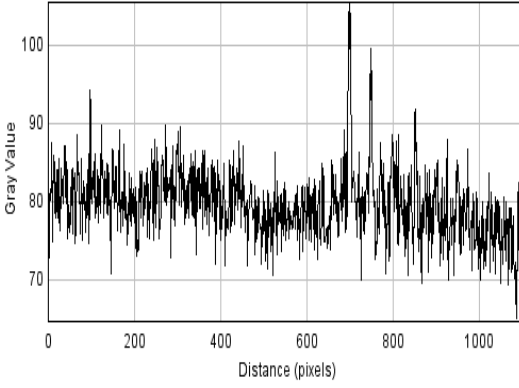
จากรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 สามารถทราบค่าเอกซโพเชอร์ที่ได้จากกราฟเหล่านี้ มาถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ร่วมกับฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับชนิดของวัสดุและความหนาของชิ้นงานได้

4.3 ผลการตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่าย

4.3.1 ผลการหารัโซลูชัน

จากการหารัโซลูชัน โดยการนำแท่งเหล็กและ IQI มาตรฐาน DIN54 109 (1962) ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ โดยความต่างศักย์ไฟฟ้าและเอกซโพเชอร์ที่เหมาะสมจากกราฟเอกซโพเชอร์ แล้วนำมาประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ) ได้ผลการหารัโซลูชัน ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการหาเรโซลูชัน

ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของชิ้นงานมาตรฐาน	ภาพโปรไฟล์ที่ประมวลผลโดยโปรแกรมอิมเมจเจ
<p style="text-align: center;">ฉากเรื่องรังสี PI-200</p> <p style="text-align: center;">ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ค่าเอกซโพเชอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-นาทึ</p>	
	
<p style="text-align: center;">ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std</p> <p style="text-align: center;">ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ค่าเอกซโพเชอร์ 3.8 มิลลิแอมแปร์-นาทึ</p>	
	
<p style="text-align: center;">ฉากตะกั่ว</p> <p style="text-align: center;">ความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 กิโลโวลต์ ค่าเอกซโพเชอร์ 3.6 มิลลิแอมแปร์-นาทึ</p>	
	

จากตารางที่ 4.5 ความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของภาพถ่ายด้วยรังสีของตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน จากการลากโปรไฟล์ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจอร์บริเวณตรงกลางของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์นี้ จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ เอกซ์โพเชอร์ 3.0 มิลลิแอมแปร์-นาที่ สำหรับฉากเรื่องรังสี PI-200 และ 160 กิโลโวลต์ เอกซ์โพเชอร์ 3.6 มิลลิแอมแปร์-นาที่ ตามลำดับ ส่วนที่ค่าความต่างศักย์ 200 กิโลโวลต์ เอกซ์โพเชอร์ 3.8 มิลลิแอมแปร์-นาที่ สำหรับฉากตะกั่ว พบว่าเรโซลูชันของฉากเรื่องรังสีทั้งสามชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ฉากตะกั่ว มีเรโซลูชันดีที่สุด รองลงมาคือ ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std และฉากเรื่องรังสี PI-200 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

4.3.2 ผลการหาความไว

จากตารางที่ 4.5 สามารถหาความไวในการตรวจหารอยบกพร่องขนาดเล็กที่สุดจากสมการที่ 2.3 โดยถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ เอกซ์โพเชอร์ 3.0 มิลลิแอมแปร์-นาที่ สำหรับฉากเรื่องรังสี PI-200 และ 160 กิโลโวลต์ เอกซ์โพเชอร์ 3.6 มิลลิแอมแปร์-นาที่ ส่วน 200 กิโลโวลต์ เอกซ์โพเชอร์ 3.8 มิลลิแอมแปร์-นาที่ สำหรับฉากตะกั่ว ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความไวของฉากเรื่องรังสีชนิดต่างๆ

ฉากเรื่องรังสี	ขนาดของเส้นลวดที่เล็กที่สุดที่มองเห็น (มิลลิเมตร)	ความไว (%)
ฉากเรื่องรังสี PI-200	0.40	2.67
ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std	0.32	2.13
ฉากตะกั่ว	0.25	1.67

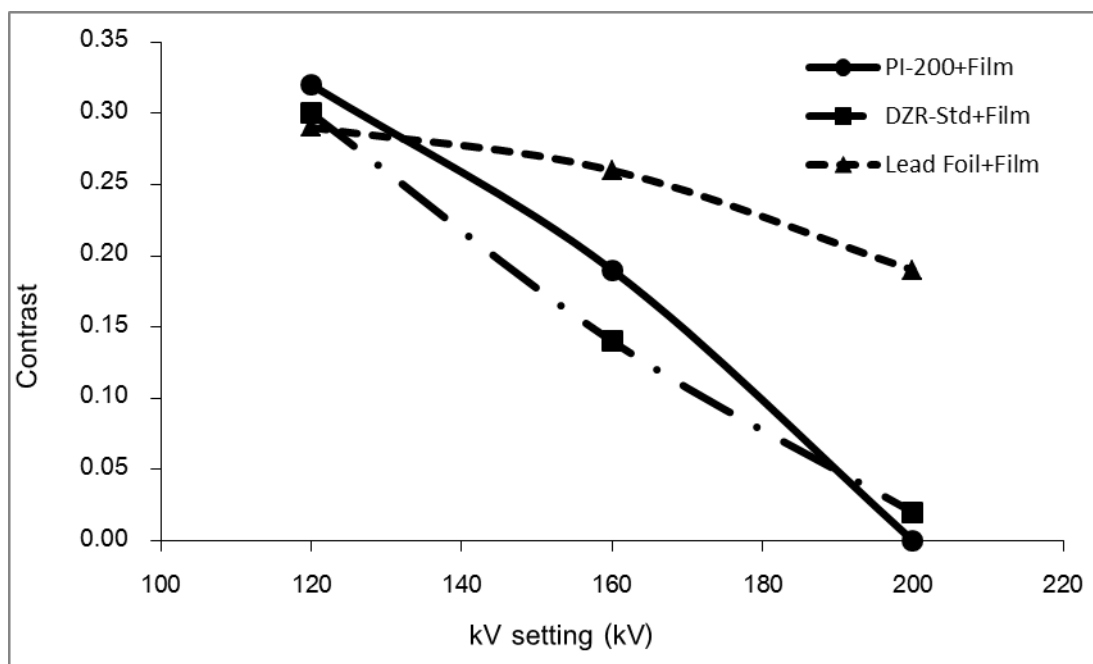
จากตารางที่ 4.7 พบว่า ความสามารถหาความไวในการตรวจหารอยบกพร่องขนาดเล็กที่สุด ของฉากตะกั่ว มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std และฉากเรื่องรังสี PI-200 มีค่าความไวน้อยที่สุด

4.3.3 ผลการหาความเปรียบต่าง

จากการอ่านค่าความดำนฟิล์มของเหล็กชั้นบันได ที่อยู่ติดกัน 1 คู่ ที่พลังงานต่าง ๆ ของฉากเรืองรังสีแต่ละชนิด พบว่าความแตกต่างของความดำของภาพถ่ายด้วยรังสีบนพื้นที่ต่างๆ จากฟิล์มเดียวกัน จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของเหล็กชั้นบันไดที่เอกซ์โพเซอร์เท่ากับ 5 มิลลิแอมแปร์-นาที่ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 120, 160 และ 200 กิโลโวลต์ มาคำนวณค่าความเปรียบต่างจากสมการที่ 2.4 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.8 และเขียนกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความเปรียบต่างของฉากเรืองรังสีแต่ละชนิดที่พลังงานต่าง ๆ

ฉากเรืองรังสี	ความดำนฟิล์ม						ความเปรียบต่างของฉากเรืองรังสี		
	I_1			I_2			พลังงานของรังสีเอกซ์ (กิโลโวลต์)		
	พลังงานของรังสีเอกซ์ (กิโลโวลต์)								
	120	160	200	120	160	200	120	160	200
ฉากเรืองรังสี PI-200	1.82	4.5	4.5	1.32	3.72	4.50	0.29	0.28	0.19
ฉากเรืองรังสี DRZ-Std	1.67	4.1	4.5	1.24	3.58	4.40	0.30	0.14	0.02
ฉากตะกั่ว	0.52	1.81	3.61	0.39	1.37	2.98	0.32	0.19	0.00



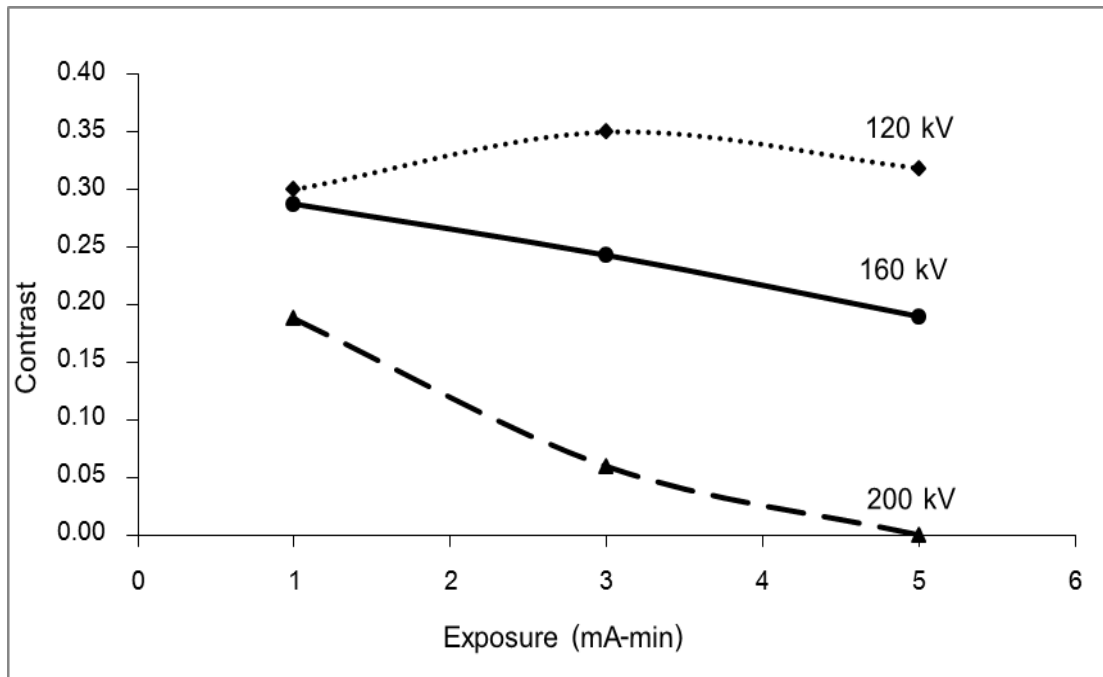
รูปที่ 4.8 แสดงความเปรียบเทียบที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ของฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น ความเปรียบเทียบของภาพถ่ายฉากแต่ละชนิดลดลง โดยที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 120 กิโลโวลต์ ฉากเรืองรังสี PI-200 ให้ค่าความเปรียบเทียบสูงที่สุด รองลงมา คือ ฉากเรืองรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่ว ตามลำดับ แต่เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 160 และ 200 กิโลโวลต์ ฉากตะกั่ว จะให้ค่าความเปรียบเทียบมากที่สุด รองลงมาคือฉากเรืองรังสี PI-200 และคือ ฉากเรืองรังสี DRZ-Std ตามลำดับ

พิจารณาฉากเรืองรังสี PI-200 จากค่าเอกซโพเชอร์ต่าง ๆ แล้วมาคำนวณค่าความเปรียบเทียบต่างจากสมการที่ 2.4 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 และเขียนกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความเปรียบเทียบของฉากเรืองรังสี PI-200 ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

เอกซโพเชอร์ (มิลลิแอมแปร์-นาที่)	ความต่างศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)		
	120	160	200
1	0.29	0.29	0.19
3	0.35	0.24	0.06
5	0.32	0.19	0.00

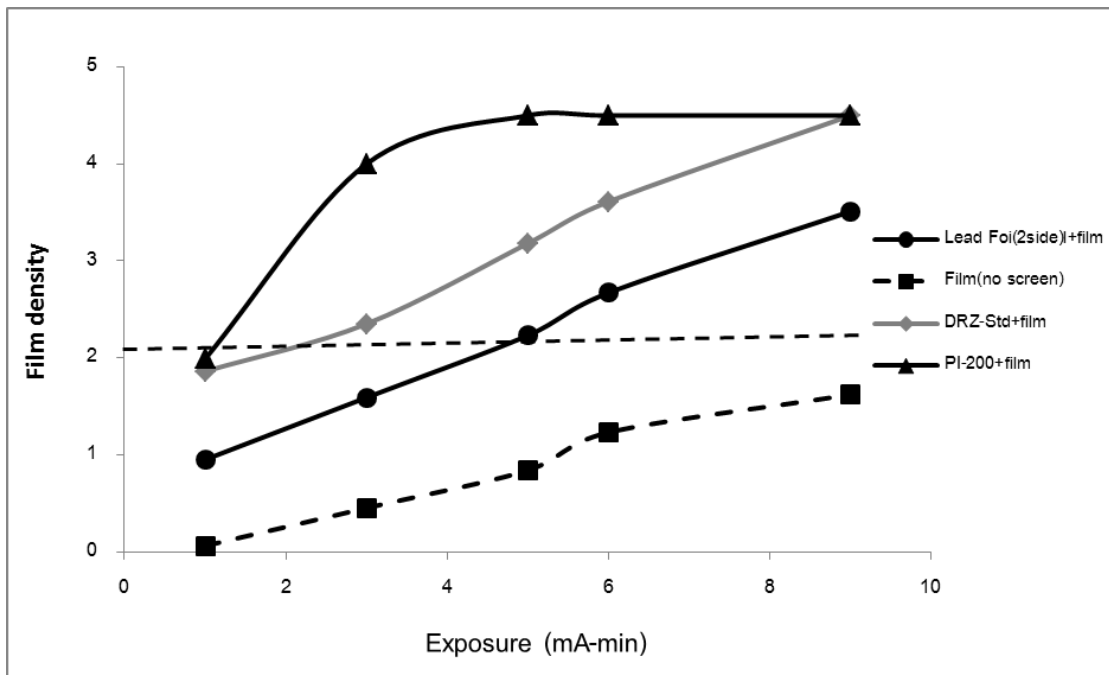


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกซโพเชอร์กับความเปรียบต่างที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ของฉากเรืองรังสี PI-200

จากรูปที่ 4.9 พบว่าสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 ที่ค่าความต่างศักย์ 120 กิโลโวลต์ เมื่อเพิ่มเอกซโพเชอร์ พบว่าความเปรียบต่างไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อทำการถ่ายภาพด้วยค่าความต่างศักย์ที่สูงขึ้น 160, 200 กิโลโวลต์ พบว่าเมื่อเพิ่มเอกซโพเชอร์ ทำให้ความเปรียบต่างลดลง

4.3.4 ผลการหาแฟคเตอร์ความเข้ม

จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ ด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ โดยปรับค่าเอกซโพเชอร์ 1, 3, 5, 6 และ 9 มิลลิแอมแปร์-นาที่ เพื่อหาอัตราส่วนที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างเอกซโพเชอร์ในการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยไม่ใช้ฉากเรืองรังสีต่อเอกซโพเชอร์ที่ใช้ฉากที่ทำให้ฟิล์มมีค่าความดำเท่ากัน นั้นได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.10 และเขียนกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดำกับค่าเอกซโพเชอร์ต่างๆ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์

จากรูปที่ 4.10 โดยเลือกที่ความดำมาตรฐาน คือ 2 อ่านค่าเอกซโพเชอร์ นำมาคำนวณแฟกเตอร์ความเข้มจากสมการที่ 2.5 จะได้ค่าแฟกเตอร์ความเข้มดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าแฟกเตอร์ความเข้มของฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ


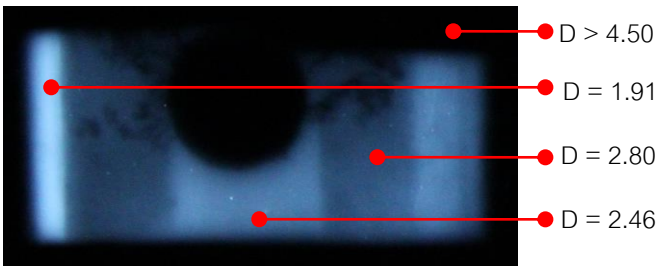
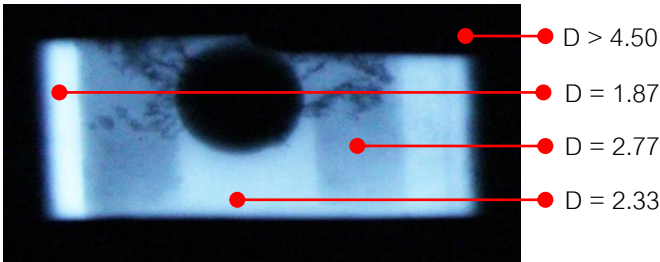
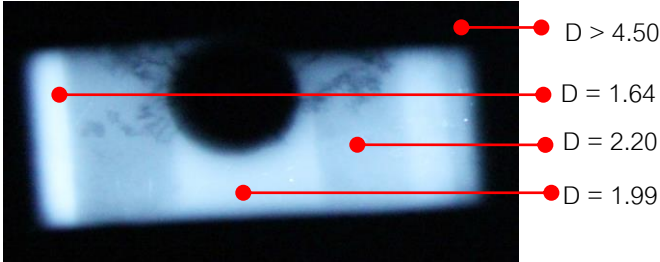
ชนิดของฉาก	แฟกเตอร์ความเข้ม
ฉากเรืองรังสี PI-200	10.2
ฉากเรืองรังสี DRZ-Std	5.7
ฉากตะกั่ว	2.2

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ฉากเรืองรังสี PI-200 มีค่าแฟกเตอร์ความเข้มสูงสุด และฉากเรืองรังสี DRZ-Std มีค่าแฟกเตอร์ความเข้มรองลงมา และฉากตะกั่วมีค่าแฟกเตอร์ความเข้มน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยไม่ใช้ฉากเรืองรังสี จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองหาแฟกเตอร์ความเข้มนี้ยังช่วยยืนยันว่า ฉากเรืองรังสี PI-200 สามารถช่วยลดระยะเวลาในการถ่ายภาพลงได้ คือเมื่อนำมาประกบกับฟิล์มแล้วนำไปถ่ายภาพด้วยรังสีจะทำให้ฟิล์มดำเร็วขึ้น จึงทำให้ลดเวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีลงได้นั่นเอง


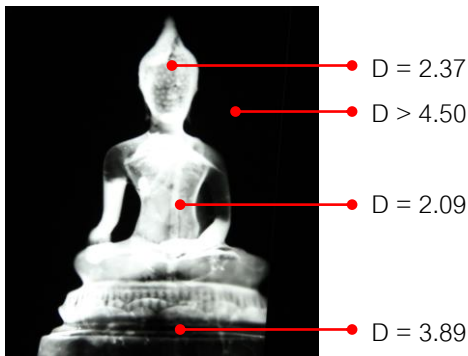
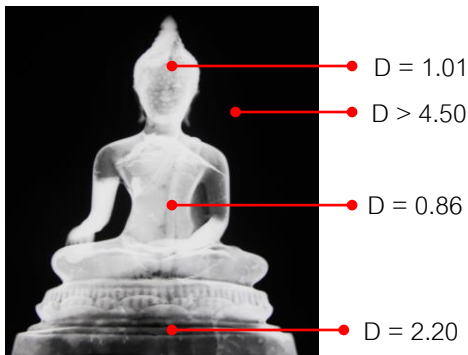
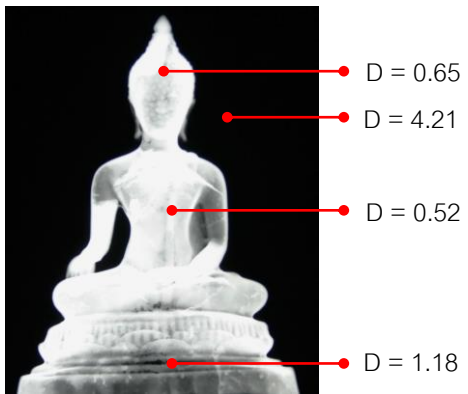
4.4 ผลการประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้โดยเปรียบเทียบกับฉากชนิดอื่น ๆ

จากการนำวัสดุชนิดต่าง ๆ มาถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ระหว่างฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ ด้วยพลังงานและเอกซ์โพเซอ์ที่เหมาะสมจากกราฟเอกซ์โพเซอ์ ได้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.11 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.11 การถ่ายภาพชิ้นงานชิ้นที่ 1 แผ่นเหล็กที่มีความบกพร่อง ด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ

ภาพแผ่นเหล็กที่มีความบกพร่อง		
		แผ่นเหล็กที่มีความบกพร่อง หนา 15 มิลลิเมตร
ชนิดของฉาก	เทคนิค	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของแผ่นเหล็กที่มีความบกพร่องเมื่อใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ
ฉากเรืองรังสี PI-200	160 kV 3.0 mA-min	
ฉากเรืองรังสี DRZ-Std	160 kV 3.8 mA-min	
ฉากตะกั่ว	200 kV 3.6 mA-min	

ตารางที่ 4.12 การถ่ายภาพชิ้นงานชิ้นที่ 2 พระพุทธรูป ด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ

ภาพพระพุทธรูป		
 <p>วัสดุทองเหลือง หน้าตักกว้าง 15 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร</p>		
ชนิดของฉาก	เทคนิค	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของพระพุทธรูปเมื่อใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ
ฉากเรืองรังสี PI-200	160 kV 3.0 mA-min	 <p>D = 2.37 D > 4.50 D = 2.09 D = 3.89</p>
ฉากเรืองรังสี DRZ-Std	160 kV 3.8 mA-min	 <p>D = 1.01 D > 4.50 D = 0.86 D = 2.20</p>
ฉากตะกั่ว	200 kV 3.6 mA-min	 <p>D = 0.65 D = 4.21 D = 0.52 D = 1.18</p>

ตารางที่ 4.13 การถ่ายภาพชิ้นงานชิ้นที่ 3 คนโธ ด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่างๆ

ภาพคนโธ		
 <p>วัสดุของเหลือง หน้าตักกว้าง 15 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร</p>		
ชนิดของฉาก	เทคนิค	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของคนโธเมื่อใช้ฉากเรืองรังสีชนิดต่างๆ
ฉากเรืองรังสี PI-200	160 kV 3.0 mA-min	
ฉากเรืองรังสี DRZ-Std	160 kV 3.8 mA-min	
ฉากตะกั่ว	200 kV 3.6 mA-min	

จากตารางที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 พบว่าภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากเรืองรังสีทั้งสามชนิดนี้ สามารถมองเห็นรายละเอียดภายในแท่งเหล็กได้ชัดเจน มีความบิดเบือนน้อยมาก (minimum distortion) คือภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ได้ออกมามีรูปร่างลักษณะเหมือนชิ้นงานจริง หรือใกล้เคียงมากที่สุด ไม่บิดเบือนไปจากรูปร่างจริง โดยภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ได้ มีขนาดของภาพที่ได้ใกล้เคียงกับชิ้นงาน และมีความดำที่พอเหมาะ (adequate density) โดยอ่านค่าความดำของฟิล์มต้นฉบับด้วยเครื่องเดนซิโตมิเตอร์

เมื่อพิจารณาความเปรียบเทียบพบว่า ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากตะกั่วมีความเปรียบเทียบสูงที่สุด รองลงมาคือเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี DRZ-Std และเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความคมชัดพบว่า ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากตะกั่วมีความคมชัดมากที่สุด รองลงมาคือเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี DRZ-Std และเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การทดสอบคุณสมบัติของฉากเรืองรังสี PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ

การศึกษากการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของฉากเรืองรังสี PI-200 ในการถ่ายภาพด้วยรังสี ได้ทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยของฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200, ฟิล์มเมื่อใช้ฉากเรืองรังสี DRZ-Std, ฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่ว ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 80 ถึง 250 กิโลโวลต์ ด้วยค่าเอกซ์โพเซอร์ 3 มิลลิแอมแปร์-นาที่ มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความดำของฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรืองรังสีมีค่าลดลงเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น โดยที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 250 กิโลโวลต์มีอัตราการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์สูงกว่า 12, 11 และ 4 เท่าตามลำดับ เมื่อเทียบกับฟิล์มที่ไม่มีฉากเรืองรังสี และพบว่าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 160 กิโลโวลต์ นั้นเป็นตำแหน่งที่กราฟของค่าความดำของฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรืองรังสีติดกับกราฟของค่าความดำของฟิล์มเมื่อใช้ฉากตะกั่ว จึงจะเห็นได้ว่า เมื่อต้องการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่พลังงานน้อยกว่า 160 กิโลโวลต์ นั้นไม่จำเป็นต้องใช้ฉากเรืองรังสี เพราะฉากเรืองรังสีจะตอบสนองต่อพลังงานรังสีเอกซ์ที่ 160 กิโลโวลต์ขึ้นไป ในขณะที่ฟิล์มที่ไม่ใช้ฉากเรืองรังสีจะมีขีดจำกัดในการตอบสนองต่อพลังงานรังสีเอกซ์ที่ 160 กิโลโวลต์ขึ้นไป เพราะฉะนั้นที่พลังงาน 160 กิโลโวลต์ ขึ้นไปในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ควรที่จะต้องใช้ฉากเรืองรังสีร่วมกัน

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าฉากเรืองรังสี PI-200 ช่วยเพิ่มการตอบสนองของฟิล์มต่อรังสีเอกซ์ในการถ่ายภาพที่พลังงานสูงให้ดีขึ้น จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานสูงในงานอุตสาหกรรม ซึ่งการใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 สามารถช่วยลดระยะเวลาในการถ่ายภาพลงได้ และช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ออกไปให้นานมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสี ชนิดของฟิล์ม และชิ้นงาน เป็นต้น แต่งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่พลังงานสูงมาก ๆ พบว่าค่าความดำมากเกินไปจนไม่สามารถอ่านค่าได้ เป็นเหตุมาจากมีข้อจำกัดที่ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีเอกซ์กับชิ้นงาน

5.1.2 การสร้างกราฟเอกซ์โพเซอร์

จากการสร้างกราฟเอกซ์โพเซอร์ของฉากเรื่องรังสี PI-200, ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่ว สามารถทราบค่าเอกซ์โพเซอร์ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากเรื่องรังสีชนิดต่างๆ ที่พลังงานและเอกซ์โพเซอร์ที่เหมาะสมสำหรับชนิดของวัสดุและความหนาของชิ้นงานได้ โดยที่กราฟเอกซ์โพเซอร์ของฉากเรื่องรังสี PI-200 และฉากเรื่องรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่ว ที่เหมาะสมในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ สำหรับเหล็กที่มีความหนา 15 มิลลิเมตร คือ

1. ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ 3.0 มิลลิแอมแปร์-นาที่ สำหรับฉากเรื่องรังสี PI-200
2. ความต่างศักย์ไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ 3.8 มิลลิแอมแปร์-นาที่ สำหรับฉากเรื่องรังสี DRZ-Std
3. ความต่างศักย์ไฟฟ้า 200 กิโลโวลต์ ค่าเอกซ์โพเซอร์ 3.6 มิลลิแอมแปร์-นาที่ สำหรับฉากตะกั่ว

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้เรื่องรังสี PI-200 และ ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std ไม่สามารถถ่ายภาพที่ค่าความต่างศักย์ 200 กิโลโวลต์ เนื่องจากมีความเร็วสูงมาก ภาพที่ได้จึงมีความดำเกินไป ส่วนเมื่อใช้ฉากตะกั่ว หากถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่ค่าความต่างศักย์ 160 กิโลโวลต์ ภาพมีความดำน้อยเกินไป

5.1.3 การตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่าย

จากการตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ ด้วยเงื่อนไข 4 ประการแล้วนั้น สามารถสรุปผลการตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของฉากชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

5.1.3.1 เรโซลูชัน (resolution)

ฉากตะกั่ว > ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std > ฉากเรื่องรังสี PI-200

5.1.3.2 ความไว (sensitivity)

ฉากตะกั่ว > ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std > ฉากเรื่องรังสี PI-200

5.1.3.3 ความเปรียบต่าง (contrast)

ฉากตะกั่ว > ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std > ฉากเรื่องรังสี PI-200

5.1.3.4 แฟกเตอร์ความเข้ม (intensifying factor)

ฉากเรื่องรังสี PI-200 > ฉากเรื่องรังสี DRZ-Std > ฉากตะกั่ว

5.1.4 การประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้โดยเปรียบเทียบกับฉากชนิดอื่น ๆ

จากผลการทดลอง พบว่าภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้การฉากเรื่องรังสีทั้งสามชนิดนี้ สามารถมองเห็นรายละเอียดภายในชิ้นงานได้ชัดเจน มีความบิดเบือนน้อยมาก (minimum distortion) คือภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ได้ออกมามีรูปร่างลักษณะเหมือนชิ้นงานจริงหรือใกล้เคียงมากที่สุด ไม่บิดเบือนไปจากรูปร่างจริง และมีความดำที่พอเหมาะ (adequate density)

ซึ่งจากผลการศึกษาคูณสมบัติของฉากเรื่องรังสี PI-200 แล้วนั้นพบว่าฉากเรื่องรังสีชนิดนี้มีทั้งข้อดีและข้อจำกัดบางประการ ดังนี้

ข้อดี	ข้อจำกัด
1. สามารถตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานสูงได้ดี เหมาะที่จะนำมาใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานสูงในงานอุตสาหกรรม	1. มีค่าเรโซลูชัน หรือความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของภาพถ่ายด้วยรังสีน้อย
2. สามารถช่วยลดระยะเวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีลงได้	2. มีค่าความเปรียบต่างน้อย
3. ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ออกไปได้นานขึ้น	3. มีความคมชัดน้อย
4. มีค่าแฟกเตอร์ความเข้มสูง	4. ความไวในการตรวจหารอยบกพร่องขนาดเล็กได้ไม่ดี

จากการเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของฉากเรื่องรังสี PI-200 แล้วนั้นจะเห็นว่าฉากเรื่องรังสีชนิดนี้มีข้อดีมากกว่าข้อจำกัด โดยส่วนมากข้อจำกัดของฉากชนิดนี้จะเป็นในส่วนของคุณภาพของภาพถ่าย ซึ่งในการถ่ายภาพด้วยรังสีในทางอุตสาหกรรมส่วนมากจะทำการถ่ายภาพด้วยรังสีของวัตถุที่มีความหนามาก หรือมีความหนาแน่นสูง เพื่อหาข้อบกพร่องในชิ้นงาน

นั้น จึงไม่มีความจำเป็นมากนักที่จะต้องให้ภาพที่ออกมามีความละเอียด หรือความคมชัดที่สูงมาก เหมือนกับทางการแพทย์ที่ใช้ในการวินิจฉัย และรักษาโรค

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของฉากเรื่องรังสี PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ

จากการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติของฉาก PI-200 ในการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ พบว่าฉากเรื่องรังสี PI-200 มีการตอบสนองของฟิล์มต่อรังสีเอกซ์ในการถ่ายภาพที่พลังงานสูงให้ดีขึ้น จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เมื่อใช้ฟิล์มในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานสูงในงานอุตสาหกรรม ซึ่งการใช้ฉากเรื่องรังสี PI-200 สามารถช่วยลดระยะเวลาในการถ่ายภาพลงได้ และช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ออกไปให้นานมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพลังงานของรังสี ชนิดของฟิล์ม และชิ้นงาน เป็นต้น แต่งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่พลังงานสูงมาก ๆ พบว่าค่าความดำมากเกินไปจนไม่สามารถอ่านค่าได้ เป็นเหตุมาจากมีข้อจำกัดที่ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีเอกซ์กับชิ้นงาน

5.2.2 การสร้างกราฟเอกซ์โพเซอ์

เนื่องจากการตอบสนองของฟิล์มต่อรังสีเอกซ์ในการถ่ายภาพที่พลังงานสูงได้ดีนั้น ทำให้เมื่อพลังงานรังสีเอกซ์สูงขึ้น ค่าความดำของฟิล์มที่ได้มีความดำมาก จนไม่สามารถอ่านค่าได้ที่ระยะ 100 เซนติเมตรห่างจากจุดโฟกัสของหลอดเอกซเรย์ ผลการวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการประมาณค่านอกช่วง (extrapolation) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

5.2.3 การประเมินคุณภาพของภาพถ่ายที่ได้โดยเปรียบเทียบกับฉากชนิดอื่น ๆ

จากการประเมินคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของฉากเรื่องรังสี PI-200 เปรียบเทียบกับฉากเรื่องรังสี DRZ-Std และฉากตะกั่ว นั้น จะเห็นได้ว่าฉากเรื่องรังสี PI-200 มีคุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับฉากอีก 2 ชนิด ไม่ว่าจะมีความคมชัดน้อย และมีค่าความเปรียบต่างน้อย เนื่องมาจากฉากเรื่องรังสี PI-200 มีความหนา มากกว่าฉากทั้งสอง จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ภาพถ่ายทางรังสีที่ได้มีความคมชัดน้อยที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มระยะห่างจากไฟก๊สของหลอดเอกซเรย์กับชิ้นงาน ให้มากกว่า 100 เซนติเมตร เพื่อลดความเข้มรังสีเอกซ์ ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เมื่อใช้ฉากเรืองรังสี PI-200 ซึ่งจะทำให้ความดำของฟิล์มลดลง และสามารถเห็นถึงการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีเอกซ์ได้กว้างขึ้น

2. เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพถ่ายทางรังสีที่ดี ควรที่จะใช้เคมีภัณฑ์ในการสร้างภาพในอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่แนะนำจากผู้ผลิต ต้องควบคุมเวลาให้อยู่ในช่วงเวลาที่ต้องการ และควรตรวจสอบคุณภาพของน้ำยาอยู่เสมอ

รายการอ้างอิง

- [1] ชลธิชา กฤษณ์เพชร. การพัฒนาจากเรืองรังสีแกดโดลิเนียมออกซีซัลไฟด์ (เทอร์เบียม) สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548
- [2] เอกรัฐ ฤทธิเนียม. การพัฒนาล้องถ่ายภาพรังสีเอกซ์โดยใช้ FOS ชนิดเทเปอร์ร่วมกับ CCD. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
- [3] คมกฤษ มะวิญชร. การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- [4] นเรศร์ จันทน์ขาว. การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาในงานอุตสาหกรรม. เอกสารการสนทนา 2111660 การถ่ายภาพรังสีในงานอุตสาหกรรม ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548
- [5] D Cavouras. An experimental method to determine the effective luminescence efficiency of scintillator-photodetector combination used in X-ray medical imaging system. The British Journal of Radiology 17 (1998) : 766-772.
- [6] I. Kandarakis. Evaluation of ZnS:Cu phosphor as X-ray to light converter under mammographic condition. Radiation Measurements. 39 (2005) : 263-275.
- [7] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from : <http://www.xradia.com/technology/basic-technology/sources.php> [2011, September 28]
- [8] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from : <http://www4.nau.edu/microanalysis/Microprobe-SEM/Signals.html> [2011, November 17]

- [9] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from : <http://train-srv.manipalu.com/wpress/?p=64897> [2011, November 17]
- [10] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from : <http://www.lbl.gov/MicroWorlds/ALSTool/EMSpec/EMSpec2.html> [2011, November 18]
- [11] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from: <http://www.osha.gov/SLTC/radiationionizing/introtoionizing/ionizinghandout.html> [2011, December 9]
- [12] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from : <http://eddyrumhadi.blogdetik.com/about/> [2011, December 15]
- [13] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from : http://www.mcc-phosphor.com/english/products/x-ray/fluorescent/drz_pi.html [2012, January 15]
- [14] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from : <http://tue79.tripod.com/xrayweb/main5.htm> [2013, February 10]
- [15] Google. Performance Comparison of Flexible Detector Designs [Online]. Available from : http://www.kmitl.ac.th/sisc/XRD/GettingStratOf_XRD1.htm [2013, March 2]

ภาคผนวก

ข้อมูลเฉพาะของฉากเรืองรังสี PI-200 จากบริษัท Mitsubishi Chemical Corporation

LED Materials Dept.
Home Page

Dept. Profile

Product Information

- Phosphor Products
- X-Ray field Products
- Fluorescent Screens

Topics

Contact us

Sitemap

Notice

Product Information

X-Ray field Products Fluorescent Screens

Fluorescent Screens

DRZ fluorescent screen

Flat panel systems have recently received much attention in the field of radiography due to their unique performance characteristics. This technology is classified into two distinct types; direct conversion and indirect conversion.

Direct conversion utilizes a selenium photo-conductor. Indirect conversion utilizes a CsI:Tl or Gd₂O₂S:Tb scintillator in conjunction with a silicon TFT.

Each system has certain advantages that should be considered. Indirect systems using Gd₂O₂S:Tb have the advantage of heightened stability, improved safety, lower cost and minimized environmental impact. Mitsubishi Chemical Corporation is pleased to introduce our optimized series of Gd₂O₂S:Tb fluorescent screens for indirect digital radiography.

- DRZ-Std : Highest resolution composed of a double layer structure
- DRZ-Plus : A valance of high brightness and resolution with a double layer structure
- DRZ-High : Superior Brightness

Comparative performance data of these DRZ screens is shown in figure 1.

● Phosphor Panel for Digital Radiography

Name	Composition		X-ray ¹⁾ Attenuation	Brightness ²⁾ [cdum ² /Rusec ⁻¹]	Relative Brightness	MTF ³⁾	
						at 1 Lp/mm	at 2 Lp/mm
DRZ-STD (Gd ₂ O ₂ S:Tb)	Protective Layer	PET 6um	42%	7.1	145%	0.82 (106)	0.49 (114)
	Phosphor Layer	140um, 68mg/cm ²					
	Supporting Layer	Plastic Base 250um					
	Total	406um					
DRZ-PLUS (Gd ₂ O ₂ S:Tb)	Protective Layer	PET 6um	53%	8.5	173%	0.72 (93)	0.36 (83)
	Phosphor Layer	208um, 100mg/cm ²					
	Supporting Layer	Plastic Base 250um					
	Total	464um					

DRZ-HIGH (Gd ₂ O ₂ S:Tb)	Protective Layer	PET 9um	86%	11.2	229%	0.44 (57)	0.18 (37)
	Phosphor Layer	310um, 145mg/cm ²					
	Supporting Layer	Plastic Base 188um					
	Total	507um					
Competitor's product Regular Type (single screen)	Total	380um	40%	4.9	100%	0.77 (100)	0.43 (100)
Competitor's product Fast Type (single back screen)	Total	550um	62%	7.7	158%	0.61 (79)	0.26 (81)

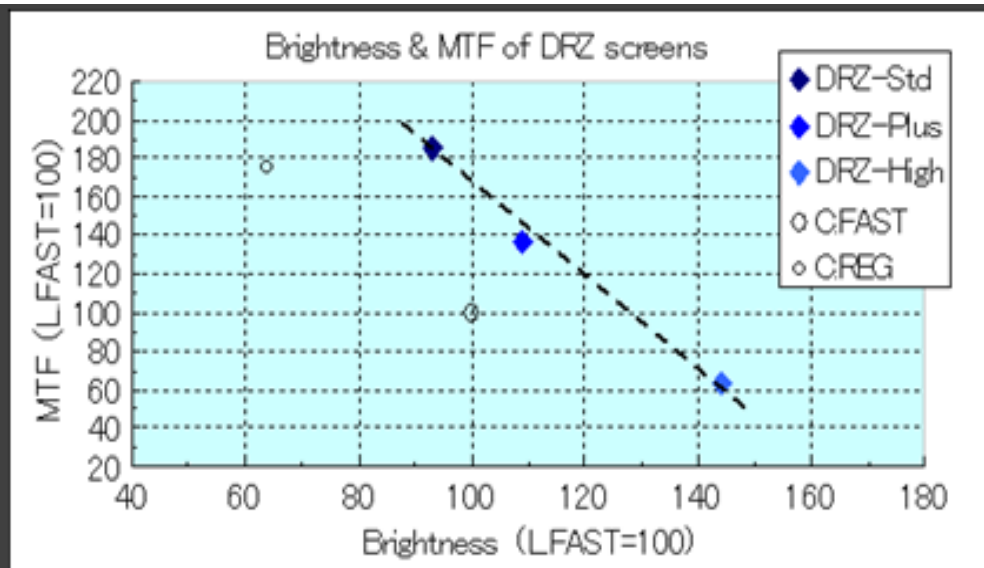
Conditions

- *1 X-ray: 80kV, Water 100mm (Tube side),
Dose measurement: Victoreen Model 500
- *2 X-ray: 80kV, no Phantom
Brightness measurement: TOPCON Luminance Colorimeter BM-5A
Dose measurement: RTI Electronics Solidose 300
- *3 X-ray: 80kV, Phantom : Water 100mm (Tube side),
Lead Test Pattern: KYOKKO Type 7 (Pb 0.10mm)
X-ray film: Fuji UM-MA HC (single emulsion type)

Digital radiography systems utilizing Gd₂O₂S:Tb fluorescent screens have a wide variety of uses. In addition to Flat Panel Detector systems, these screens can be used in the following applications.

- 1) High Image Quality demand applications : for example FPD area sensors matched with screens.
- 2) Foods and baggage inspection : line sensors coupled with "slit" type screens.
- 3) Real-time viewing applications : screens coupled with CCD cameras.

We believe our DRZ digital imaging screens can provide the solution to your unique imaging needs. Please contact us with any special medical or industrial imaging requirements you may have. We would be happy to discuss them with you at your convenience.



▲ back to top

PI-200 fluorescent screen

For portal imaging in radio-therapy, we are pleased to introduce our new PI-200 fluorescent screen. Our high thickness phosphor layer results in extremely high X-ray absorption and brightness for MeV radiography.

● Phosphor Panel for Portal Radiography

Name	Composition		Relative Brightness ^{*1}	MTF ^{*2}	
				at 1 Lp/mm	at 2 Lp/mm
PI-200 (Gd ₂ O ₂ S:Tb)	Protective Layer	PET 6um	122%	0.35 (80)	0.11 (70)
	Phosphor Layer	436um, 200mg/cm ²			
	Supporting Layer	Plastic Base 188um			
	Total	630um			
ref. DRZ-HIGH (Gd ₂ O ₂ S:Tb)	Protective Layer	PET 9um	100%	0.44 (100)	0.16 (100)
	Phosphor Layer	310um, 145mg/cm ²			
	Supporting Layer	Plastic Base 188um			
	Total	507um			

Conditions

- *1 X-ray: 300kV, Steel 40mm (Tube side),
X-ray film: Fuji UM-MA HC (single emulsion type)
- *2 X-ray: 80kV, Water 100mm (Tube side),
Lead Test Pattern: KYOKKO Type 7 (Pb 0.10mm)
X-ray film: Fuji UM-MA HC (single emulsion type)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางวราภรณ์ จันทร์เทศ เกิดเมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนชุมชนบ้านมั่ว เมื่อปีการศึกษา 2535, สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเสริมงามวิทยาคม เมื่อปีการศึกษา 2541 และสำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อปีการศึกษา 2546 จากนั้นได้รับทุนการศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2555

ประวัติการทำงาน

1. พ.ศ. 2547- ปี พ.ศ. 2551 ในตำแหน่งนักฟิสิกส์รังสี กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข
2. พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน รับราชการในตำแหน่งนักฟิสิกส์รังสีปฏิบัติการ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี