

การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 โดยใช้ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200
ร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

นายกิตติวิทย์ เอี่ยมสำอางค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
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.

DEVELOPMENT OF AN IRIIDIUM-192 GAMMA RADIOGRAPHY SYSTEM
USING PI-200 FLUORESCENT SCREEN COUPLED WITH DIGITAL CAMERA

Mr. Kittiwit Iemsumang

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

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 โดย

ใช้ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 ร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

โดย

นายกิตติวินท์ เอี่ยมสำอางค์

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี)

กิตติวินท์ เอี่ยมสำอางค์ : การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 โดยใช้ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 ร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล:(DEVELOPMENT OF AN IRIDIUM-192 GAMMA RADIOGRAPHY SYSTEM USING PI-200 FLUORESCENT SCREEN COUPLED WITH DIGITAL CAMERA) อ. ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก :รศ. นเรศร์ จันทน์ขาว, 57หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีที่นิยมใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม 2 ชนิด คือ ซีลีเนียม-75 และอิริเดียม-192 โดยใช้ระบบรับภาพที่พัฒนาขึ้นซึ่งประกอบด้วยฉากเรืองรังสีชนิดใหม่ Kyokko PI200 ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านชิ้นงานไปเป็นแสงและใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลคุณภาพบนฉากเรืองรังสี กล้องดิจิทัลนี้เชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตยูเอสบีเพื่อให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและตั้งค่าต่าง ๆ ของกล้องได้ รวมทั้งสามารถถ่ายภาพและบันทึกภาพถ่ายด้วย จากการทดสอบกับต้นกำเนิดรังสีซีลีเนียม-75 ที่มีความแรงแรังสี 69 คูรีและอิริเดียม-192 ที่มีความแรงแรังสีประมาณ 8 และ 50 คูรี พบว่าสามารถใช้ในการถ่ายภาพชิ้นงานชนิดต่าง ๆ ได้โดยใช้เวลาในช่วง 5 – 100 วินาที แต่คุณภาพของภาพไม่ดีพอที่จะใช้ในการตรวจสอบรอยบกพร่องขนาดเล็กในชิ้นงาน อย่างไรก็ตามพบว่าสามารถใช้ในการตรวจหาวัตถุแปลกปลอมและซ่อนเร้นภายในท่อ กล้องพัสดุ และแท่งคอนกรีตได้อย่างน่าพอใจ ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าระบบดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบเพื่อความมั่นคงและความปลอดภัยได้โดยไม่ต้องพึ่งกระแสไฟฟ้าเหมือนกับการใช้หลอดรังสีเอกซ์

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยีลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2555ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

5370206121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : / GAMMA RADIOGRAPHY / FLUORESCENT SCREEN /

KITTIWIN IAMSUMANG : DEVELOPMENT OF AN IRIDIUM-192 GAMMA RADIOGRAPHY SYSTEM USING PI-200 FLUORESCENT SCREEN COUPLED WITH DIGITAL CAMERA. ADVISOR : ASSOCPROF.NARES CHANKOW , 57 pp.

In this research, gamma radiography was experimentally investigated using gamma-ray sources including Se-75 and Ir-192 commonly used in industrial radiography. An image viewing system was developed composing of a newly available Kyokko PI200 fluorescent screen to transform transmitted gamma-ray intensity to light and a digital camera to view the image on the fluorescent screen. The digital camera was connected to a microcomputer via a USB port allowing the user to control and select the camera settings as well as to view and save the image. The system was tested with a 69 Ci Se-75, a 8 Ci Ir-192 and a 50 Ci Ir-192 sources with the exposure times in the range of 5 -100 seconds but the image quality was not good enough to reveal small defects within the test specimens such as cracks and porosity. However, it could be satisfactorily used to inspect steel pipe, parcel and concrete column for foreign materials and hidden objects. The results indicated that such a system could be employed for safety and security purpose with no need for electrical supply as needed for x-ray tube.

Department : <u>NUCLEAR ENGINEERING</u>	Student's Signature
Field of Study : <u>NUCLEAR TECHNOLOGY</u>	Advisor's Signature
Academic Year :..... <u>2012</u>	Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความเมตตากรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จาก รองศาสตราจารย์ณรงค์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำปรึกษาคำแนะนำ และคำสอนทั้งทางตรงและทางอ้อมแก่ข้าพเจ้า รวมถึงท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมนิเวศศาสตร์ทุกท่าน ซึ่งช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณอัครา สกุลมั่น และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวก การทำธุรกรรมต่าง ๆ ในระหว่างที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ที่ภาควิชานี้

ขอขอบคุณ คุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี ที่ให้ความรู้ ความช่วยเหลือ และ ความอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชมเดือน ศตวุฒิ และ คุณธรรมรัตน์ สร้อยสมบุญ บริษัทไทย เอ็นดีที จำกัด(มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าไปทำงานวิจัยภาคสนาม และ ข้อมูลต่างๆในการวิจัย รวมถึงอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท สีวะเทสดีอิงส์เพ็คชั่นแอนคอนซัลตติ้ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เข้าไปทำงานวิจัยภาคสนาม และ ข้อมูลต่างๆในการวิจัย รวมถึงอำนวยความสะดวกต่างๆ ในระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ เรืออากาศตรี สมควร เอี่ยมสำอางค์ และนางทุเรียน เอี่ยมสำอางค์ ซึ่งเป็น บิดาและมารดาของข้าพเจ้า และ ผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถเรียนหนังสือและทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและทำให้สามารถสำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรนี้ได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎีและแนวคิดของการวิจัย.....	5
2.1 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา	5
2.2 การเกิดภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา.....	8
2.3 องค์ประกอบของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา.....	11
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสี.....	21
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	28
3.1 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	28
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	42
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการทะลุผ่านของรังสีแกมมาและการเกิดแสงของฉาก เรื่องรังสี ของ PI-200 ขนาด 3 ซม. x 3 ซม.....	42

4.2 ผลการทดสอบวัดค่าสัญญาณลบกวน เมื่อเปลี่ยนค่า ISO ตั้งแต่ 100-6400 จากต้นกำเนิดรังสี Ir-192 ที่ระยะห่างระหว่างกล่องทึบแสง กับ ต้นกำเนิดรังสี 20 เซนติเมตร.....	43
4.3 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 ขนาด 30 ซม.x 30 ซม. จากต้นกำเนิดIr-192 ที่ระยะ 15 เซนติเมตรโดยเปลี่ยน ISO.....	44
4.4 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 ขนาด 30 ซม.x 30 ซม. จากต้นกำเนิดIr-192 ที่ระยะ 15 เซนติเมตรโดยเปลี่ยนระยะห่างในการถ่ายภาพ.....	45
4.5 ทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 ขนาด 30 ซม.x 30 ซม. จากต้นกำเนิดSe-75 ที่ระยะ 40 เซนติเมตรโดยเปลี่ยน เวลา.....	46
4.6 ผลการทดสอบการถ่ายภาพตรวจสอบข้อบกพร่องของชิ้นงาน.....	48
4.7 ผลการทดสอบการถ่ายภาพตรวจสอบวัสดุแปลกปลอม/ซ่อนเร้น.....	50
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56
รายการอ้างอิง.....	57
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	58

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในวัสดุต่าง ๆ ของรังสีแกมมาในหน่วย cm^2/g [6]	7
2.2 ดัชนีกำเนิดรังสีแกมมาบางชนิดที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม[7].....	13
2.3 ความเร็วสัมพัทธ์ของฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมของฟิล์ม Fuji Industrial X-Ray (IX)*.....	17
2.4 ชนิดและคุณสมบัติของฉากเรืองรังสีบางชนิด	19
3.1 คุณสมบัติของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200.....	33
4.1 ผลการทดสอบวัดวัดค่าสัญญาณลบกวน เมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO ในระดับ 100 - 6400.....	44
4.2 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 เมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO ในระดับ 100 - 6400.....	45
4.3 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 เมื่อเปลี่ยนระยะทางตั้งแต่ 5-40เซนติเมตร	46
4.4 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 โดยใช้ดัชนีกำเนิด Se-75 และเปลี่ยน เวลาในการถ่ายภาพ.....	47
4.5 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยความสว่าง การเปรียบเทียบการเปลี่ยนระยะเวลา และ ISO ต่างๆ	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	แผนภาพแสดงการลดทอนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเมื่อผ่านตัวกลาง.....	6
2.2	แผนภาพแสดงการเกิดภาพบนฟิล์มตามความหนาของชิ้นงานแต่ละส่วน.....	8
2.3	แผนภาพแสดงความเข้มรังสีทะลุผ่านตรงตำแหน่งที่มีและไม่มีรอยบกพร่อง.....	8
2.4	ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มหรือ H & D Curve	9
2.5	ความเปรียบต่างที่ได้จากค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ต่างกัน.....	10
2.6	ลักษณะสเปกตรัมพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์.....	12
2.7	ลักษณะของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์.....	12
2.8	ต้นกำเนิดรังสีแกมมา สายนำ และ โปรเจ็กเตอร์สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมา ที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม.....	13
2.9	แผนภาพแสดงกรณีที่การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาไม่สามารถเห็น ชิ้นส่วนหรือรอยบกพร่องที่มีความหนาน้อยในแนวตั้งฉากกับลำรังสี.....	15
2.10	ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมของฟิล์ม Fuji Industrial X-Ray Film (IX)	16
2.11	เปรียบเทียบความสว่างของภาพบนแผ่นบันทึกภาพกับกราฟลักษณะเฉพาะของ ฟิล์ม.....	18
2.12	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉากเรืองรังสีบางชนิดที่พลังงานรังสีเอกซ์ต่างๆ [8].....	18
2.13	สเปกตรัมความยาวคลื่นของแสงที่ปลดปล่อยจากของฉากเรืองรังสีบางชนิด เปรียบเทียบกับช่วงความไวของฟิล์มชนิดที่ใช้ผลึก AgBr [8].....	19
2.14	สเปกตรัมความยาวคลื่นของแสงที่ปลดปล่อยจากของฉากเรืองรังสีชนิด แกโดลิเนียมออกไซด์ซัลไฟด์และแลนทานัมออกไซด์โบรไมด์ [9].....	20
2.15	ตัวอย่างหัววัดรังสีเอกซ์แบบเรียงแถว.....	20
2.16	ตัวอย่างแผ่นหัววัดรังสีเอกซ์แบบดิจิทัล.....	21
2.17	ลักษณะการจัดวางต้นกำเนิดรังสี ชิ้นงาน และ อุปกรณ์รับภาพในการถ่ายภาพ ด้วยรังสี.....	21
2.18	เปรียบเทียบภาพถ่ายที่ได้จากฟิล์มความเร็วต่ำและสูง.....	24
2.19	แผนภาพแสดงให้เห็นว่ารังสีกระเจิงทำให้ภาพไม่คมชัด.....	24

ภาพที่	หน้า	
2.20	แสดงภาพชิ้นงานที่ความแตกต่างของความหนาและน้อย.....	26
2.21	เปรียบเทียบความต่างของภาพถ่ายด้วยรังสีพลังงานสูงและพลังงานต่ำ.....	26
3.1	กล้องถ่ายภาพ Canon EOS DIGITAL.....	28
3.2	Angle Mirror Lens.....	28
3.3	USB cable.....	29
3.4	USB HUB.....	29
3.5	Gamma Radiography Projecto.....	29
3.6	ชุดควบคุมระยะไกลแบบไขลาน.....	29
3.7	Survey Meter.....	30
3.8	Notebook.....	30
3.9	โปรแกรม Canon EOS Utilities.....	31
3.10	โปรแกรมตกแต่งภาพและวิเคราะห์ภาพ Image J.....	32
3.11	ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200.....	32
3.12	รอยเชื่อม.....	33
3.13	เหล็กเจาะรูหนา 2 เซนติเมตร.....	33
3.14	กล่องพัสดุไปรษณีย์.....	34
3.15	ท่อเหล็กทรงกลม.....	35
3.16	คอนกรีต.....	35
3.17	การจัดระบบถ่ายภาพเบื้องต้นเพื่อทดสอบฉากเรืองรังสีชนิด PI-200ขนาด 3 ซม. x 3 ซม.....	36
3.18	กล่องทึบแสง.....	37
3.19	การออกแบบระบบถ่ายภาพทางรังสีด้วยต้นกำเนิดรังสี Ir-192 โดยใช้ฉากเรืองรังสี ชนิด PI-200.....	38
3.20	ภาพการจัดวางระบบการถ่ายภาพด้วยรังสี.....	39
3.21	ภาพการจัดวางระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีตรวจสอบข้อบกพร่องของชิ้นงาน.....	40

ภาพที่	หน้า
3.22 ภาพการจัดวางระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีตรวจสอบวัสดุแปลกปลอม/ชั้น เร็น.....	41
4.1 วัดค่าสัญญาณลบกวนที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO 100 กับ 6400.....	43
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณลบกวนกับ ISO.....	44
4.3 ความสว่างของฉากเรื่องรังสีชนิด PI-200 เมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO ในระดับ 100- 6400.....	44
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างเมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO.....	45
4.5 ความสว่างของฉากเรื่องรังสีชนิด PI-200 เมื่อเปลี่ยนระยะทางตั้งแต่ 5-40 เซนติเมตร.....	45
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างเมื่อเปลี่ยนระยะ.....	46
4.7 ความสว่างของฉากเรื่องรังสีชนิด PI-200 เมื่อเปลี่ยนเวลา.....	46
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างเมื่อเปลี่ยนเวลา.....	47
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปรียบเทียบการเปลี่ยนระยะเวลาและISO..	48
4.10 ภาพถ่ายชิ้นงานเหล็กหนา 2 ซม. ที่มีรู 2 รู และมีรอยบกพร่อง เมื่อถ่ายด้วยฉาก เรื่องรังสีPI200, DRZ Standard และแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75.....	49
4.11 ภาพถ่ายแผ่นเหล็กที่มีรอยเชื่อม เมื่อถ่ายด้วยฉากเรื่องรังสี PI200 และแผ่น บันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192, Se-75 และรังสีเอกซ์.....	50
4.12 ภาพถ่ายกล่องพัสดุไปรษณีย์ที่บรรจุสิ่งของไว้อยู่ภายใน เมื่อถ่ายด้วยฉากเรื่องรังสี PI200,DRZ Standard และแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75.....	51
4.13 ภาพถ่ายท่อเหล็กที่มีก้อนดินและหินอยู่ภายใน เมื่อถ่ายด้วยฉากเรื่องรังสี PI200,DRZ Standard และแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75.....	52
4.14 ภาพถ่ายแท่งคอนกรีตที่มีเหล็กอยู่ตรงกลาง เมื่อถ่ายด้วยฉากเรื่องรังสี PI200, โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75.....	53
4.15 ภาพถ่ายแท่งคอนกรีตที่มีเหล็กอยู่ตรงกลาง เมื่อถ่ายด้วยฉากเรื่องรังสี DRZStanadarและแผ่นบันทึกภาพโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192.....	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเป็นวิธีการทดสอบโดยไม่ทำลาย (nondestructive testing, NDT) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายวิธีหนึ่งในงานอุตสาหกรรม ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาทำให้เราสามารถเห็นลักษณะภายในของชิ้นงานได้ จึงสามารถใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของชิ้นงาน เช่น การตรวจหารอยบกพร่อง (defect) สิ่งแปลกปลอม (foreign material) การกัดกร่อน (corrosion) การอยู่ผิดตำแหน่ง (misalignment) เป็นต้น

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมามีหลักการเช่นเดียวกับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ทางการแพทย์ที่ใช้ในการตรวจและวินิจฉัยโรค แต่ในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้รังสีเอกซ์และรังสีแกมมาพลังงานสูงกว่า 100 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ (kiloelectronvolt, keV) ซึ่งตรงกันข้ามกับทางการแพทย์ที่ใช้รังสีเอกซ์ในช่วงพลังงานไม่เกิน 100 keV ในช่วงพลังงานต่ำกว่าประมาณ 120 keV ลงไปสามารถใช้วิธีการถ่ายภาพโดยตรงทันทีโดยใช้ฉากเรืองรังสี (fluorescent screen) รับภาพ ที่เรียกว่าวิธี “ฟลูออโรสโคปี (fluoroscopy)” ซึ่งมีการใช้งานมานานทางการแพทย์ สาเหตุที่ไม่สามารถใช้ในช่วงพลังงานสูงได้ก็คือ ฉากเรืองรังสีมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีไปเป็นแสงต่ำเกินไป เมื่อประมาณ 3 - 4 ปีที่ผ่านมา บริษัท Mitsubishi จำกัด ได้ผลิตแผ่นเรืองรังสีชนิด PI-200 ออกมาจำหน่าย โดยอ้างว่าสามารถใช้ได้กับรังสีเอกซ์และแกมมาที่มีพลังงานในช่วง MeV แต่ก็มีเพียงผลการทดสอบกับรังสีเอกซ์พลังงาน 300 keV เท่านั้น ซึ่งยังไม่สามารถยืนยันได้ว่ามีความไวกับรังสีแกมมาพลังงานสูง เนื่องจากรังสีเอกซ์มีสเปกตรัมพลังงานแบบต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามจากการทดสอบเบื้องต้นของห้องปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์ใช้รังสีในงานอุตสาหกรรมของภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ พบว่า PI-200 สามารถเกิดแสงได้กับรังสีแกมมาพลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี Cs-137 แต่การถ่ายภาพจากแผ่นเรืองรังสียังไม่สามารถทำได้ เนื่องจากประสิทธิภาพของแผ่นเรืองรังสีในการเปลี่ยนรังสีแกมมาไปเป็นแสงยังไม่ดีพอ

วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นที่จะพัฒนาเทคนิคและระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดอริเดียม-192 ซึ่งเป็นต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้งานกันแพร่หลายที่สุดในการทดสอบวัสดุโดยไม่ทำลายในงานอุตสาหกรรม เพื่อให้เป็นทางเลือกในการบันทึกภาพถ่ายโดยใช้ฉาก PI-200 ร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ซึ่งสามารถใช้แสดงภาพได้อย่างรวดเร็วทางจอคอมพิวเตอร์ และ

เป็นวิธีที่ประหยัด รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับข้อดีและข้อจำกัดที่ได้จากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานและการปรับปรุงให้ดีขึ้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 โดยใช้ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 ร่วมกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 หาประสิทธิภาพและความไวในการเกิดแสงของฉากเรืองรังสี ชนิด PI-200 สำหรับรังสีแกมมาพลังงานต่าง ๆ ได้แก่ 60 keV จาก Am-241, 300-600 keV จาก Ir-192, 662 keV จาก Cs-137 และ 1.17 กับ 1.33 MeV จาก Co-60
- 1.3.2 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการถ่ายภาพที่เกิดขึ้นบนฉาก PI-200 เมื่อใช้ต้นกำเนิดอิริเดียม-192 ได้แก่ ระยะเวลาในการถ่ายภาพ ความแรงรังสี และการตั้งค่าต่าง ๆ ของกล้องถ่ายภาพ
- 1.3.3 ทดสอบคุณภาพของภาพ ได้แก่ ความคมชัด (sharpness) ความเปรียบต่าง (contrast) และความไว (sensitivity) ของภาพที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับภาพถ่ายที่ได้จากเทคนิคทั่วไปที่ใช้ฟิล์ม แผ่นบันทึกภาพ (imaging plate) หรือฉากเรืองรังสีชนิดอื่นๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นระบบต้นแบบในการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 โดยใช้ฉากเรืองรังสีที่สามารถแสดงภาพได้อย่างรวดเร็วทางจอคอมพิวเตอร์

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 หาประสิทธิภาพและความไวในการเกิดแสงของฉากเรืองรังสี ชนิด PI-200 สำหรับรังสีแกมมาพลังงานต่างๆ ได้แก่ 60 keV จาก Am-241, 300-600 keV จาก Ir-192, 662 keV จาก Cs-137 และ 1.17 กับ 1.33 MeV จาก Co-60
- 1.5.3 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการถ่ายภาพที่เกิดขึ้นบนฉาก PI-200 เมื่อใช้ต้นกำเนิดอิริเดียม-192 ได้แก่ ระยะเวลาในการถ่ายภาพ ความแรงรังสี และการตั้งค่าต่าง ๆ ของกล้องถ่ายภาพ

1.5.4 ทดสอบถ่ายภาพชิ้นงานต่าง ๆ เปรียบเทียบกับเทคนิคทั่วไป

1.5.5 สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1991 Wilfried Meyer, Thomas Bartels และ Norbert Lange [1] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Construction of the avian skull, as demonstrated by direct magnifying microfocalradiography (Aves)” ได้ทำการทดลองโดยการนำเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัสมาใช้ในการถ่ายภาพกระดูกโครงกระดูกของนกขนาดเล็ก เพื่อศึกษาโครงสร้างภายใน ซึ่งพบว่าสามารถมองเห็น โครงสร้างภายในของกระดูกโครงกระดูกได้ดีเมื่อเทียบกับการใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์แบบทั่วไป

ในปี ค.ศ.2006 Hiroyuki Uchida, Kazuto Hasuike, Kenichi Torii และ HirochiTsunemi [2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง “Contrast Enhance Imaging with Microfocus X-ray Generator and CCD Camera” ได้ทำการทดลองโดยการนำเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัสมาใช้ในการถ่ายภาพโดยการรับภาพด้วย CCD (charge couple device) ซึ่งพบว่า เมื่อทำการถ่ายภาพที่กำลังขยาย 4 เท่าจะเห็นความไม่คมชัดที่เกิดขึ้นที่ขอบภาพ (image unsharpness) มีขนาด 60 ไมครอน

ในปี พ.ศ. 2546 คมกฤต มะวิญชร [3] ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว” ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิด ซีไอเอสแบบแถวที่อยู่ในเครื่องสแกนเนอร์มาดัดแปลงเพื่อใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ซึ่งผลของภาพถ่ายด้วยรังสีมีความคมชัดสูง อย่างไรก็ตามยังคงมีสัญญาณรบกวนบนพื้นภาพอันเป็นผลจากการทำอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับอุปกรณ์ตรวจจับภาพซีไอเอส

ในปี พ.ศ. 2552 ธรรมวัตร ยันตะพลา [4] ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ชนิดไมโครโฟกัส โดยใช้แผ่นบันทึกภาพ” ได้ทำการทดลองถ่ายภาพชิ้นงานไมโครชิปที่กำลังขยายต่าง ๆ จากได้จากการวางชิ้นงานที่ระยะห่างจากจุดโฟกัสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และระยะระหว่างชิ้นงานกับแผ่นบันทึกภาพต่าง ๆ กัน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการถ่ายภาพขยายโดยใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์แบบไมโครโฟกัส สามารถใช้ตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็กได้ดีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายโดยใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ทั่วไป เนื่องจากภาพที่ได้เป็นภาพขยายแต่ยังมีความคมชัดดี จึงเห็นรายละเอียดในชิ้นงานที่มีขนาดเล็กได้ในช่วงประมาณ 10 ไมครอนได้

ในปี พ.ศ. 2541 นพดล นาคเงิน [5] ได้ทำวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน” ได้ทำการทดลองโดยการถ่ายภาพวัตถุด้วยรังสีแกมมา โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนโดยใช้ถ่ายภาพของตัวอย่างชิ้นส่วนบางชนิด เช่น รีเลย์

รถยนต์ และแบตเตอรี่แห่งขนาด 9 โวลต์ ในขณะที่ทำการทดสอบถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างจะบันทึก
ภาพถ่ายวัตถุตัวอย่างไว้ทั้งหมด 16 เฟรม ที่เวลาต่างกันและนำภาพถ่ายที่ได้ทั้ง 16 เฟรม ทำการเฉลี่ย
ภาพด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปของไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายให้ดูดีขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและแนวคิดของการวิจัย

2.1 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

การถ่ายภาพด้วยรังสีอาศัยความสามารถของรังสีในการทะลุผ่านชิ้นงานแล้วไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มหรืออุปกรณ์รับภาพชนิดอื่น เพื่อทำให้เกิดภาพที่สามารถมองเห็นลักษณะภายในของชิ้นงานได้ รังสีที่ใช้ส่วนใหญ่คือรังสีเอกซ์ รังสีแกมมา และนิวตรอน เนื่องจากรังสีชนิดดังกล่าวมีอำนาจการทะลุทะลวงสูง แต่การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนยังไม่มีการใช้งานแพร่หลายเหมือนกับรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา เพราะยังมีข้อจำกัดทางด้านต้นกำเนิดรังสีนิวตรอนความเข้มสูงที่สามารถนำไปใช้งานนอกพื้นที่ การถ่ายภาพด้วยรังสีทางการแพทย์ (medical radiography) ใช้รังสีเอกซ์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงสุดประมาณ 100 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ (kiloelectron-volt, keV) ส่วนการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม (industrial radiography) ซึ่งชิ้นงานไม่ใช่ส่วนของร่างกาย แต่เป็นวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่มีความหนาต่าง ๆ กัน จึงต้องใช้ทั้งรังสีเอกซ์เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ และรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบไอโซโทปรังสีที่มีพลังงานหลายร้อย keV จนถึงช่วงพลังงานเป็นเมกะอิเล็กตรอนโวลต์ (megaelectronvolt, MeV)

การทะลุผ่านของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและความหนาของชิ้นงาน โดยเป็นไปตามกฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) ดังนี้

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

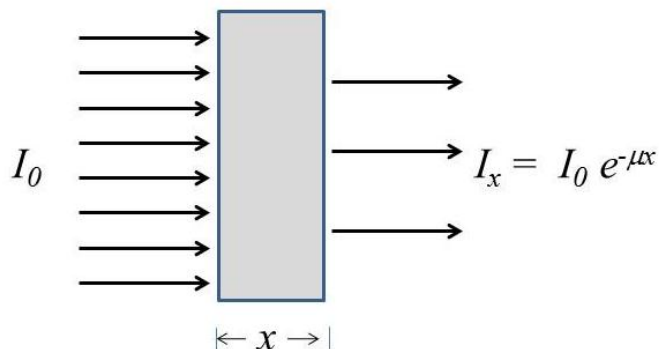
เมื่อ I_0 คือ ความเข้มรังสีเมื่อไม่มีชิ้นงาน มีหน่วยเป็น $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

I_x คือ ความเข้มรังสีเมื่อมีชิ้นงาน มีหน่วยเป็น $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

x คือ ความหนาของชิ้นงาน มีหน่วยเป็น cm

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (linear attenuation coefficient) มีหน่วยเป็น cm^{-1}

เมื่อค่า μ มีหน่วยเป็น cm^2/g เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (mass attenuation coefficient) ซึ่งนิยามเขียนเป็น μ/ρ โดย ρ คือความหนาแน่นของวัสดุ ดังนั้นความหนา X ซึ่งมีหน่วยกลับกันจะมีหน่วยเป็น g/cm^2 ค่า μ หรือ μ/ρ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เป็นองค์ประกอบ



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการลดทอนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเมื่อผ่านตัวกลาง

และพลังงานของรังสี ค่า μ/ρ ของธาตุบริสุทธิ์ และสารประกอบหรือของผสมบางชนิด เช่น น้ำ คอนกรีต สามารถหาได้จากเอกสารและคู่มือ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 สำหรับสารประกอบและของผสมอื่นสามารถคำนวณค่า μ/ρ ได้จากสมการที่ (2.2) หากทราบสัดส่วนของแต่ละธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

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

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

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

$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1, \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2, \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_3$ คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุหรือกลุ่มธาตุที่ 1, 2, 3, ตามลำดับ

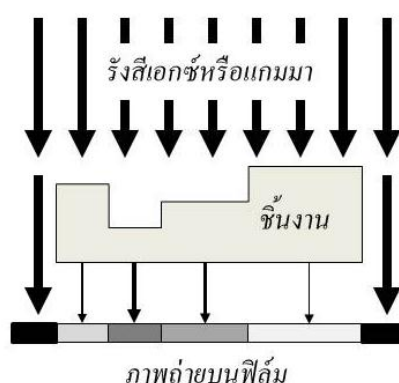
$w_1, w_2, w_3 \dots$ คือสัดส่วนโดยน้ำหนักของธาตุหรือกลุ่มธาตุที่ 1, 2, 3, ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในวัสดุต่างๆ ของรังสีแกมมาในหน่วย cm^2/g [6]

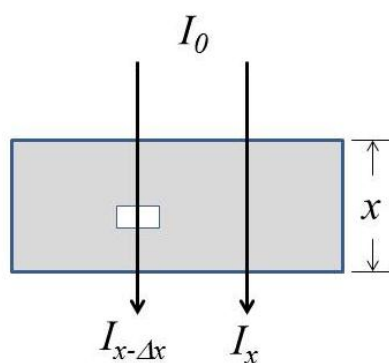
Material	Gamma-Ray Energy, MeV												
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2.0	3.0
H	.295	.265	.243	.212	.189	.173	.160	.140	.126	.113	.103	.0691	.0691
Be	.132	.119	.109	.0945	.0847	.0773	.0715	.0628	.0565	.0504	.0459	.0313	.0313
C	.149	.134	.122	.106	.0953	.087	.0805	.0707	.0636	.0568	.0518	.0356	.0356
N	.15	.134	.123	.106	.0955	.0869	.0805	.0707	.0636	.0568	.0517	.0357	.0357
O	.151	.134	.123	.107	.0953	.087	.0806	.0708	.0636	.0568	.0518	.0359	.0359
Na	.151	.13	.118	.102	.0912	.0833	.0770	.0676	.0608	.0546	.0496	.0348	.0348
Mg	.16	.135	.122	.106	.0944	.0860	.0795	.0699	.0627	.0560	.0512	.0360	.0360
Al	.161	.134	.12	.103	.0922	.0840	.0777	.0683	.0614	.0548	.0500	.0353	.0353
Si	.172	.139	.125	.107	.0954	.0869	.0802	.0706	.0635	.0567	.0517	.0367	.0367
P	.174	.137	.122	.104	.0928	.0846	.0780	.0685	.0617	.0551	.0502	.0358	.0358
S	.188	.144	.127	.108	.0958	.0874	.0806	.0707	.0635	.0568	.0519	.0371	.0371
Ar	.188	.135	.117	.0977	.0867	.0790	.7030	.0638	.0573	.0512	.0468	.0338	.0338
K	.215	.149	.127	.106	.0938	.0852	.0786	.0689	.0618	.0552	.0505	.0365	.0365
Ca	.238	.158	.132	.109	.0965	.0876	.0809	.0708	.0634	.0566	.0518	.0376	.0376
Fe	.344	.183	.138	.106	.0919	.0828	.0762	.0664	.0595	.0531	.0485	.0361	.0361
Cu	.427	.206	.147	.108	.0916	.082	.0751	.0651	.0585	.0521	.0476	.0357	.0357
Mo	1.03	.389	.225	.13	.0998	.0851	.0761	.0648	.0575	.0510	.0467	.0365	.0365
Sn	1.58	.563	.303	.153	.109	.0886	.0776	.0647	.0568	.0510	.0459	.0367	.0367
I	1.83	.648	.339	.165	.114	.0913	.0792	.0653	.0571	.0502	.0460	.0370	.0370
W	4.21	1.44	.708	.293	.174	.125	.101	.0763	.0640	.0544	.0492	.0405	.0405
Pt	4.75	1.64	.795	.324	.191	.135	.107	.0800	.0659	.0554	.0501	.0414	.0414
Tl	5.16	1.8	.866	.346	.204	.143	.112	.0824	.0675	.0563	.0508	.0420	.0420
Pb	5.29	1.84	.896	.356	.208	.145	.114	.0836	.0684	.0569	.0512	.0421	.0421
U	10.6	2.42	1.17	.452	.259	.176	.136	.0952	.0757	.0615	.0548	.0445	.0445
Air	.151	.134	.123	.106	.0953	.0868	.0804	.0706	.0636	.0567	.0517	.0357	.0357
Nal	1.57	.568	.305	.155	.111	.0901	.0789	.0657	.0577	.0508	.0465	.0367	.0367
H ₂ O	.167	.149	.136	.118	.106	.0966	.0896	.0786	.0706	.0630	.0575	.0396	.0396
Concrete	.169	.139	.124	.107	.0954	.087	.0804	.0706	.0635	.0567	.0517	.0363	.0363
Tissue	.163	.144	.132	.115	.100	.0936	.0867	.0761	.0683	.0600	.0556	.0384	.0384

2.2 การเกิดภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

การถ่ายภาพชิ้นงานด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาเป็นภาพฉาย (projection) ของชิ้นงานที่แสดงให้เห็นส่วนต่าง ๆ ของชิ้นงานตามความหนาและชนิดของวัสดุ ถ้าเป็นวัสดุชนิดเดียวกันส่วนที่มีความหนาน้อยกว่าจะมีความเข้มรังสีทะลุออกไปได้มากกว่าเป็นผลให้ฟิล์มดำมากกว่า ในทางกลับกันบริเวณที่มีความหนามากจะมีรังสีทะลุผ่านออกไปได้น้อยกว่า ฟิล์มจึงมีความดำน้อยกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการเกิดภาพบนฟิล์มตามความหนาของชิ้นงานแต่ละส่วน



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงความเข้มรังสีทะลุผ่านตรงตำแหน่งที่มีและไม่มีรอยบกพร่อง

จากแผนภาพในรูปที่ 2.3 ความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานตรงตำแหน่งที่มีช่องว่างที่มีความสูง Δx คือ $I_{x-\Delta x}$ จะสูงกว่าความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานบริเวณอื่น คือ I_x โดยจะสามารถเห็นรอยบกพร่องนี้ได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับความสูงของรอยบกพร่อง (Δx), สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีของชิ้นงาน (μ/ρ) และความไวของฟิล์มหรือแผ่นบันทึกภาพที่ใช้

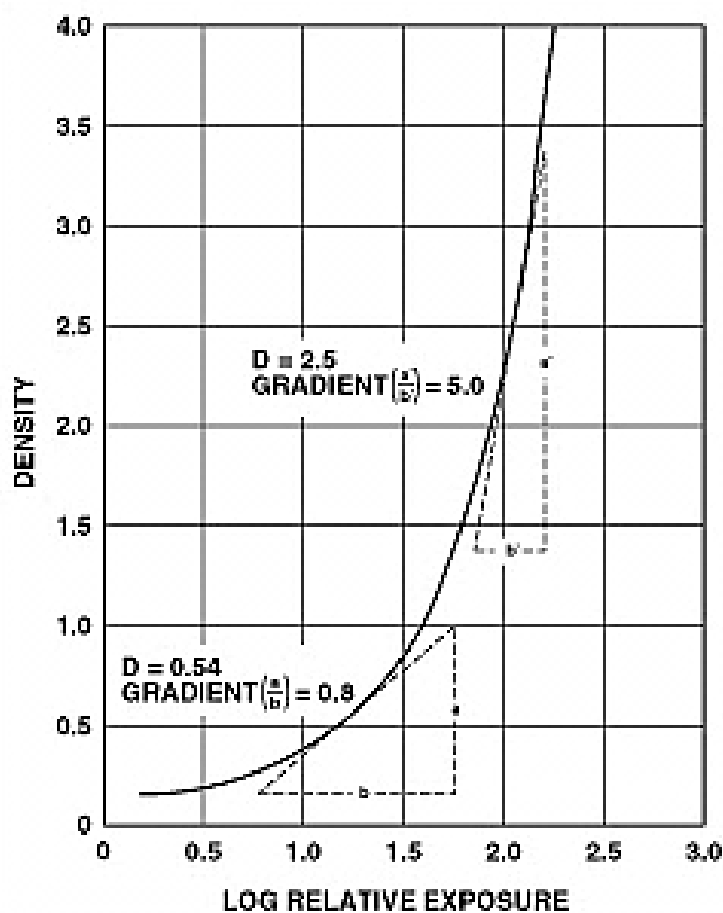
ถ้าถ่ายภาพชิ้นงานในรูป 2.3 เป็นเวลา t วินาที ค่าความเข้มรังสีรวมที่ตกกระทบฟิล์มของทั้งสองตำแหน่งจะเป็น $I_{x-\Delta x} \cdot t$ และ $I_x \cdot t$ ต่อตารางเซนติเมตร (cm^{-2}) เรียกว่าค่า “ฟลูเอนซ์

(fluence)” ซึ่งเป็นสัดส่วนกับค่า “เอกซ์โพเซเจอร์ (exposure)” ดังนั้นค่า “เอกซ์โพเซเจอร์สัมพัทธ์ (relative exposure)” ของรังสีที่ตกกระทบฟิล์มสองตำแหน่งจะเป็นดังนี้

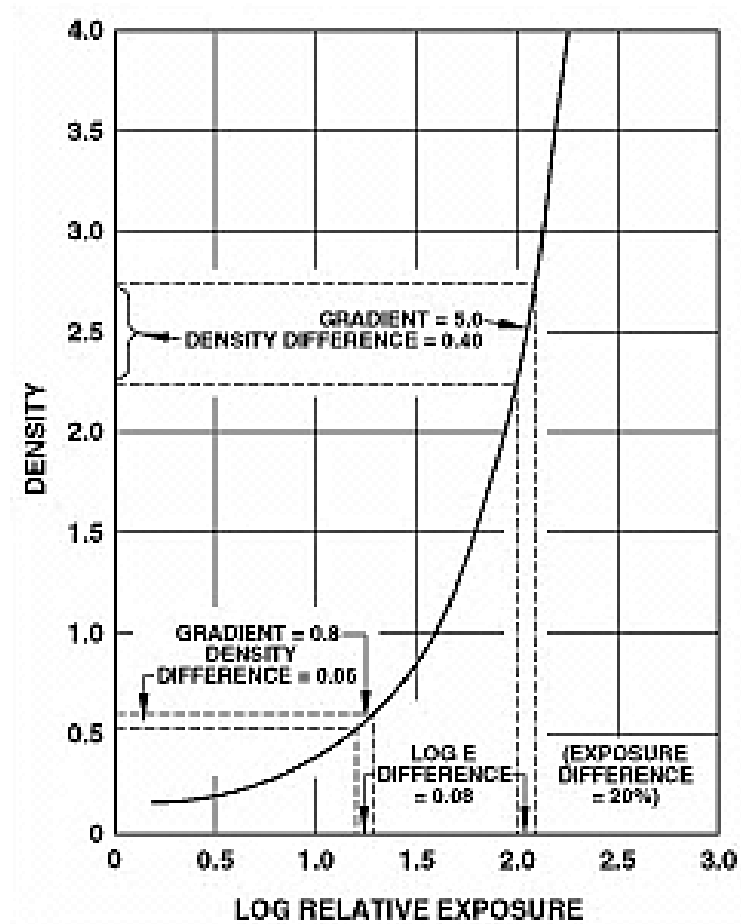
$$\frac{E_{x-\Delta x}}{E_x} = \frac{I_{x-\Delta x} \cdot t}{I_x \cdot t} = \frac{I_0 e^{-\mu(x-\Delta x)} \cdot t}{I_0 e^{-\mu x} \cdot t} = e^{-\mu \cdot \Delta x}$$

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

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



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มหรือ H & D Curve



รูปที่ 2.5 ความเปรียบต่างที่ได้จากค่าเอกซ์โพเชอร์ที่ต่างกัน

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

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

ค่า $\log \text{ relative exposure}$ เมื่อนำไปคูณกับค่าความชันของกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์ม (film characteristics 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 $D_{x-\Delta x}$ คือความหนาแน่นฟิล์มตรงตำแหน่งที่มีรอยบกพร่อง
 D_x คือความหนาแน่นฟิล์มบริเวณที่ไม่มีรอยบกพร่อง
 และ ΔD คือความแปรปรวนของความดำระหว่างตำแหน่งที่ไม่มีและมียรอยบกพร่อง

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าความแปรปรวนต่างขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของ
 ซึ้นงาน (μ) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ความชันของกราฟ
 ลักษณะเฉพาะของฟิล์ม (G_D) ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงค่าเอกซ์โพเซเจอร์หรือช่วงความดำ กล่าวคือในช่วงค่า
 เอกซ์โพเซเจอร์สูงหรือความดำมากจะให้ความแปรปรวนต่างของภาพดีกว่าในช่วงเอกซ์โพเซเจอร์ต่ำหรือ
 ความดำน้อย ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 2.5 ซึ่งเป็นกรณีตัวอย่างที่ค่าเอกซ์โพเซเจอร์ต่างกัน 20%
 หรือ log relative exposure เท่ากับ 0.08 เช่น เมื่อ $E_{x-\Delta x}/E_x = 1.2$ ในช่วงความดำประมาณ 0.5
 มีความแปรปรวนเท่ากับ 0.06 แต่ในช่วงความดำประมาณ 2.5 มีความแปรปรวนสูงถึง 0.4

2.3 องค์ประกอบของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา

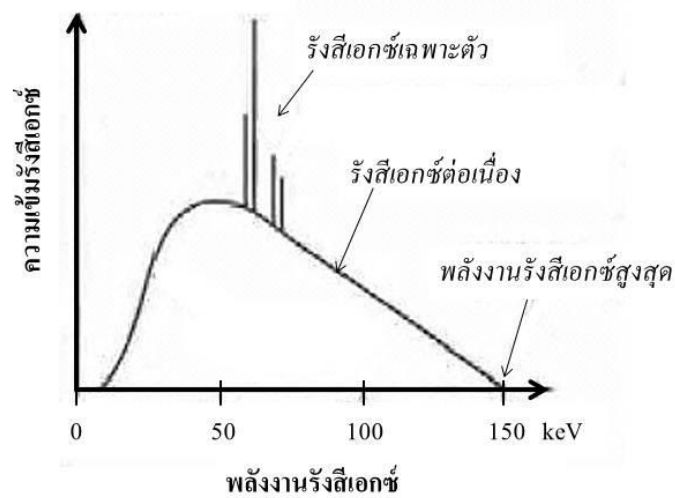
ระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมามีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ ต้นกำเนิดรังสี
 ซึ้นงาน และอุปกรณ์รับภาพ

2.3.1 ต้นกำเนิดรังสี

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยทั่วไปใช้ต้นกำเนิดรังสีอยู่ 2 ประเภท คือ ต้นกำเนิดรังสีแกมมา
 แบบไอโซโทป (radioisotopic gamma-ray source) และเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (x-ray machine)
 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลายผลิตตำรังสีเอกซ์จากหลอดรังสีเอกซ์
 (x-ray tube) โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านส่วนที่ไส้หลอดซึ่งเป็นขั้วลบเพื่อทำให้เกิดความร้อน
 ขึ้นทำให้มีอิเล็กตรอนหลุดออกมา ความต่างศักย์จะทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาวิ่งไปยังขั้วบวก
 อิเล็กตรอนที่ชนขั้วบวกจะสูญเสียพลังงาน โดยส่วนหนึ่งจะออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มี
 สเปกตรัมพลังงานรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง (continuous x-ray) โดยมีพลังงานสูงสุดเท่ากับพลังงาน
 จลน์ของอนุภาคอิเล็กตรอน พลังงานสูงสุดของรังสีเอกซ์จึงขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างขั้วบวก
 และลบของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ ส่วนความเข้มรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง ($I_{cont.}$) ขึ้นอยู่กับทั้งความต่าง
 ศักย์ระหว่างขั้วบวกและลบ (kV) กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ไส้หลอดที่เป็นขั้วลบ (mA) และเลข
 อะตอมของธาตุ (Z) ที่เป็นขั้วบวก โดยที่

$$I_{cont.} \propto (kV)^2 (mA) (Z) \quad (2.3)$$

หากพลังงานของอนุภาคอิเล็กตรอนสูงกว่าค่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนของธาตุที่เป็น
 ขั้วบวก จะทำให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (characteristic x-ray) ของธาตุนั้น ๆ ปรากฏอยู่ใน
 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ด้วย ทำให้รังสีเอกซ์ในช่วงที่มีรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเกิดขึ้นมีความเข้มสูงขึ้น



รูปที่ 2.6 ลักษณะสเปกตรัมพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.7 ลักษณะของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

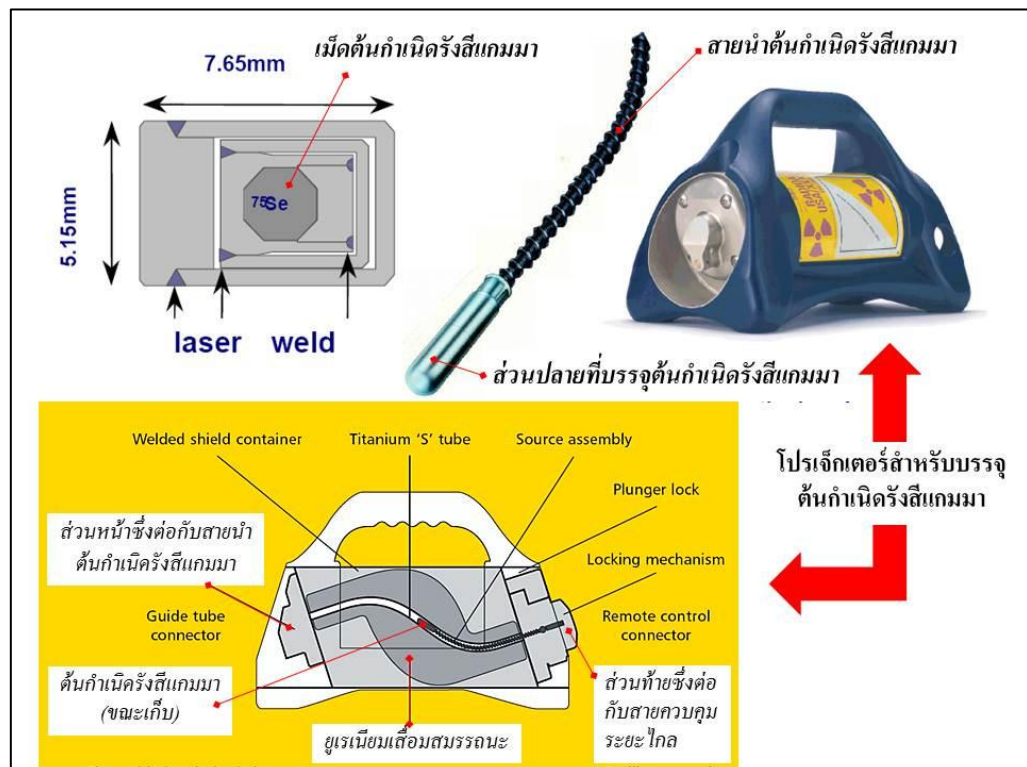
ต้นกำเนิดรังสีแกมมาแบบไอโซโทปรังสี เป็นไอโซโทปของธาตุบางชนิดที่สลายตัวแล้วปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา พลังงานของลำรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยออกมาเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของไอโซโทปรังสี สำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ทำให้มีลักษณะเป็นเม็ดขนาดเล็กเพียงประมาณ 1 - 3 มิลลิเมตร บรรจุอยู่ในภาชนะที่สามารถนำไปใช้งานได้ใสภาพสนาม ภายในมียูเรเนียมเสื่อมสมรรถนะ (depleted uranium) เป็นวัสดุกำบังรังสี โดยมีสายนำต้นกำเนิดรังสีออกไปใช้งานในตำแหน่งที่ต้องการ และมีสายควบคุมระยะไกล (remote control cable) สำหรับควบคุมการนำต้นกำเนิดรังสีเข้า-ออกจากภาชนะบรรจุดังกล่าวซึ่งเรียกว่า “โปรเจกเตอร์สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมา (gamma-ray source projector)” คุณสมบัติของไอโซโทปรังสีที่

นิยมใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรมแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 ลักษณะของโปรเจ็กเตอร์สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาแสดงไว้ในรูปที่ 2.8

ตารางที่ 2.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาบางชนิดที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม [7]

ต้นกำเนิดรังสีแกมมา	ครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมา (keV) และร้อยละของการสลายตัว (%)*
โคบอลต์-60 (Co-60)	5.27 ปี	<u>1173.2 (99.90%), 1332.5 (99.98%)</u>
ซีลีเนียม-75 (Se-75)	119.77 วัน	96.7 (3.48%), 121.1 (17.3%), <u>136.0 (59.0%), 198.6 (1.47%), 264.7 (59.2%), 279.5 (25.2%), 400.7 (11.6%)</u>
อิริเดียม-192 (Ir-192)	73.83 วัน	205.8 (3.18%), 296.0 (28.3%), 308.5 (29.3%), 316.5 (83.0%), <u>468.1 (47.7%), 484.65 (3.13%), 588.6 (4.47%), 604.4 (8.23%), 612.5 (5.34%)</u>

หมายเหตุ * เฉพาะที่มีการสลายตัวตั้งแต่ร้อยละ 1 ขึ้นไป, พลังงานที่ขีดเส้นใต้คือพลังงานที่มีความเข้มรังสีสูง



รูปที่ 2.8 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา สายนำ และโปรเจ็กเตอร์สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรม

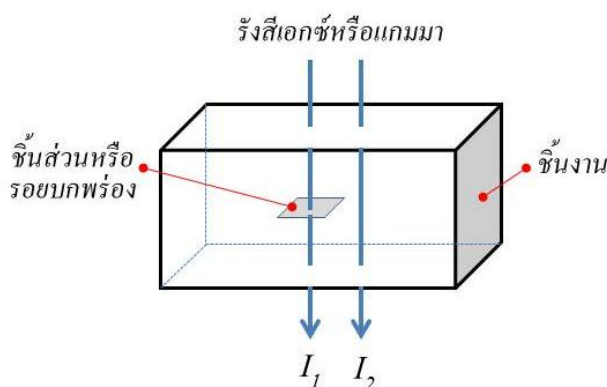
ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์มีข้อได้เปรียบตรงที่สามารถปรับความเข้มรังสีและพลังงานได้ การที่สเปกตรัมรังสีเอกซ์มีพลังงานแบบต่อเนื่องทำให้ภาพถ่ายมีความเปรียบต่างดี นอกจากนี้ยังมีจุดโฟกัสขนาดเล็กกว่าต้นกำเนิดรังสีแกมมา กล่าวคือโดยทั่วไปมีขนาด 0.1 – 0.4 มิลลิเมตร หรือ 100 – 400 ไมครอน ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดสูง แต่มีข้อเสียสองประการคือ ต้องใช้ไฟฟ้าในการผลิตรังสีเอกซ์มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักค่อนข้างมากจึงไม่สะดวกในการนำไปใช้งานในภาคสนาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ห่างไกลและในที่สูง อย่างไรก็ตามเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์รุ่นใหม่บางรุ่นมีขนาดเล็กและสามารถชาร์จไฟฟ้าแล้วนำไปใช้งานภาคสนามได้ สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมา ถ้าใช้โปรเจกเตอร์สำหรับบรรจุต้นกำเนิดรังสีก็สามารถนำไปใช้งานนอกสถานที่ได้สะดวก โดยไม่ต้องการกระแสไฟฟ้า สามารถนำต้นกำเนิดรังสีออกจากโปรเจกเตอร์ผ่านสายนำต้นกำเนิดรังสี ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างสะดวกและปลอดภัย แต่มีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถปรับพลังงานได้ ความเปรียบต่างของภาพถ่ายจึงอาจไม่ดีเท่าภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ ประกอบกับขนาดของต้นกำเนิดรังสีแกมมายังมีขนาดใหญ่กว่าจุดโฟกัสของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ คือมีขนาดประมาณ 1 – 5 มิลลิเมตร หรือ 1000 – 5000 ไมครอน ทำให้ความคมชัดไม่ดีเท่าภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ระยะห่างเท่ากัน

การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาในงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปใช้รังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาในช่วงพลังงานสูงกว่า 100 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ขึ้นไป ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดคือ อิริเดียม-192 มีครึ่งชีวิตประมาณ 74 วัน สลายตัวให้รังสีแกมมาหลายพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 1 คิดเป็นพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 370 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ สามารถใช้ในการถ่ายภาพชิ้นงานที่เป็นเหล็กหนาประมาณ 0.5 – 2.75 นิ้ว ซีลีเนียม-75 เพิ่งผลิตออกมาใช้เมื่อ 4 - 5 ปีที่ผ่านมา มีครึ่งชีวิตประมาณ 120 วัน สลายตัวให้รังสีแกมมาหลายพลังงาน โดยมีพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 215 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ สามารถใช้ถ่ายภาพเหล็กที่มีความหนาในช่วง 0.25 – 1.5 นิ้ว คาดว่าในอนาคตอันใกล้จะมีการใช้ซีลีเนียม-75 มากขึ้น ส่วนโคบอลต์-60 มีครึ่งชีวิตยาว แต่สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงานสูงจึงใช้เฉพาะในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนามากนั้น เช่นในกรณีที่ชิ้นงานเหล็กที่มีความหนาตั้งแต่ 3 นิ้วขึ้นไปถึงราว 6 นิ้ว การวิจัยนี้จึงมุ่งทดสอบกับต้นกำเนิดรังสีซีลีเนียม-75 และอิริเดียม-192 เท่านั้น

2.3.2 ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ

ชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบจะเป็นวัสดุใด ๆ ก็ได้ โดยต้องเลือกพลังงานของรังสีให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุและความหนาของชิ้นงาน เพื่อให้ภาพถ่ายมีความเปรียบสูงเพียงพอ ชิ้นงานที่มีความหนาน้อย และมีองค์ประกอบเป็นธาตุเบาต้องใช้รังสีพลังงานต่ำ ข้อจำกัดที่เกี่ยวกับชิ้นงานของการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาก็คือประการที่หนึ่งชิ้นงานที่มีโครงสร้าง

สลัซซ์ชั่นอาจทำให้การแปลผลยุ่งยากหรือผิดพลาดได้ ประการที่สองต้องสามารถเข้าถึงสองด้านของชิ้นงาน กล่าวคือ ด้านหนึ่งสำหรับวางต้นกำเนิดรังสี ส่วนอีกด้านหนึ่งสำหรับวางอุปกรณ์รับภาพ โดยที่อุปกรณ์รับภาพควรวางติดกับชิ้นงานมากที่สุดเพื่อให้ภาพถ่ายมีความคมชัดสูงที่สุด ประการที่สามส่วนประกอบของชิ้นงานหรือรอยบกพร่องใดๆ ที่มีทิศทางการวางตัวอยู่ในแนวตั้งฉากกับลำรังสีและมีความหนาแน่นน้อยมากอาจไม่ปรากฏให้เห็นในภาพถ่าย เนื่องจากความแตกต่างของรังสีที่ทะลุผ่านตรงตำแหน่งที่มีรอยบกพร่อง (I_1) กับบริเวณข้างเคียง (I_2) มีค่าใกล้เคียงกันมากดังแสดงในรูปที่ 2.9



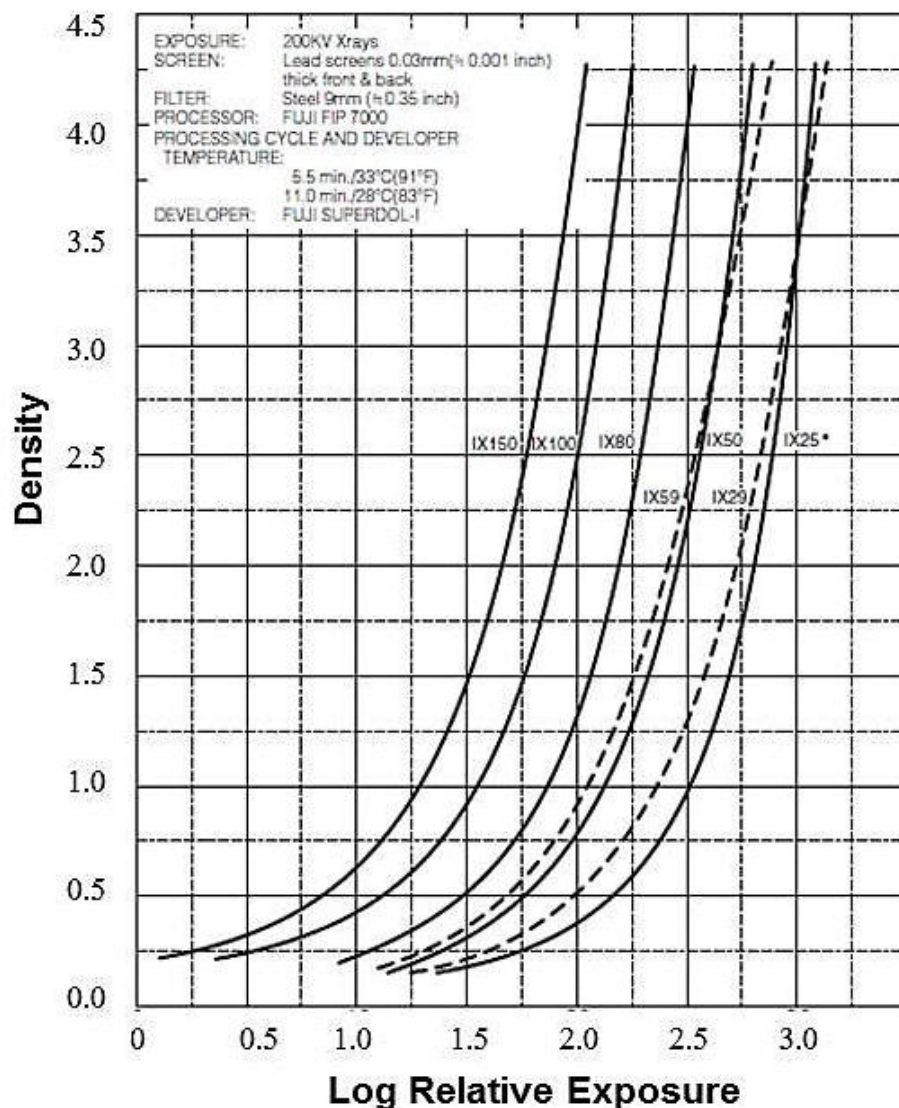
รูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงกรณีที่การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาไม่สามารถเห็นชิ้นส่วนหรือรอยบกพร่องที่มีความหนาแน่นอยู่ในแนวตั้งฉากกับลำรังสี

2.3.3 อุปกรณ์รับภาพ

โดยทั่วไปใช้ฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรม (industrial x-ray film) เป็นตัวรับภาพ บริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า จะมีความเข้มของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาทะลุผ่านชิ้นงานออกมาได้มากกว่า จึงมีปฏิกิริยากับฟิล์มมากกว่าเป็นผลให้ผลึกเงินโบรไมด์ (silver bromide, AgBr) แยกตัวมากกว่า เมื่อผ่านกระบวนการล้างฟิล์มน้ำยาดีเวลอปเปอร์ (developing agent) จะทำให้อิออนของเงิน (Ag^+) ถูกรีดิวส์ (reduce) ไปเป็นโลหะเงิน (Ag^0) ซึ่งปรากฏเป็นบริเวณสีดำบนฟิล์ม ส่วนเงินโบรไมด์ที่ไม่เกิดการแตกตัวจะถูกน้ำยาฟิกเซอร์ (fixing Agent) ถูกล้างออกไป บริเวณที่ได้รับรังสีจึงมีสีดำ ส่วนบริเวณที่ไม่ได้รับรังสีจึงใส ทำให้มองเห็นภาพถ่ายของชิ้นงานได้ ฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมได้รับการพัฒนาให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงถึงช่วงหลาย MeV แต่ประสิทธิภาพโดยรวมของฟิล์มยังถือว่าต่ำมากคือน้อยกว่า 1 % ถึงแม้ว่าจะเป็นฟิล์มแบบที่มีเงินโบรไมด์เคลือบทั้งสองด้าน (double coated film) ก็ตาม การถ่ายภาพด้วยรังสีในงานอุตสาหกรรมจึงต้องใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่มีความแรงแรงรังสีสูงในช่วง 10 - 100 คูรี

(curie, Ci) และต้องใช้เวลาในการถ่ายภาพนานเป็นวินาทีหรือนาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสี พลังงานของรังสี ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม รวมทั้งชนิดของวัสดุและความหนาของชิ้นงาน

ฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมอาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามความไวของฟิล์ม (film speed) คือ ความเร็วสูง (high speed) ความเร็วปานกลาง (medium speed) และความเร็วดำ (slow speed) ฟิล์มที่มีความเร็วสูงมีขนาดของผลึกเงินโบรไมด์โต ใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อย แต่ให้ภาพที่มีความละเอียดต่ำ ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มและค่าความเร็วสัมพัทธ์ (relative speed) แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 และตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรมของฟิล์ม Fuji Industrial X-Ray Film (IX)

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

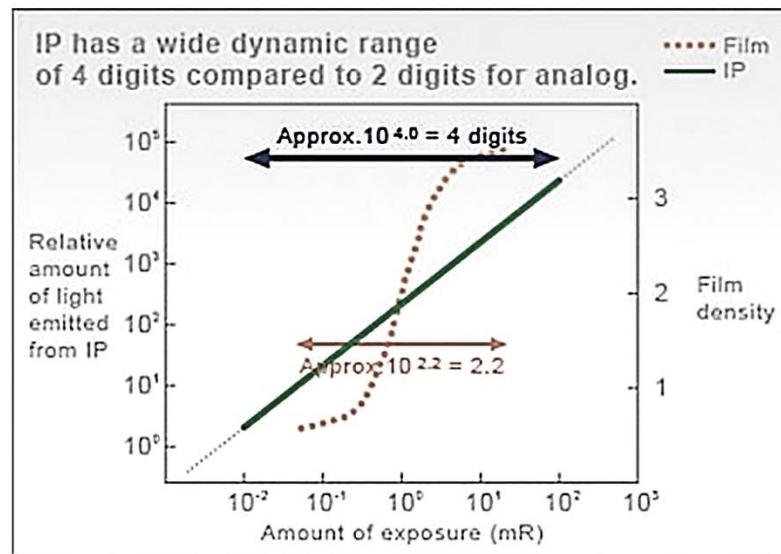
ตารางที่ 2.3 ความเร็วสัมพัทธ์ของฟิล์มรังสีเอกซ์ในงานอุตสาหกรรม
ของฟิล์ม Fuji Industrial X-Ray (IX)*

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

* จาก... FUJIFILM data sheet : Industrial Radiographic Systems, FUJIFILM Corporation

ไม่ใช้ lead screen *ใช้ lead screen

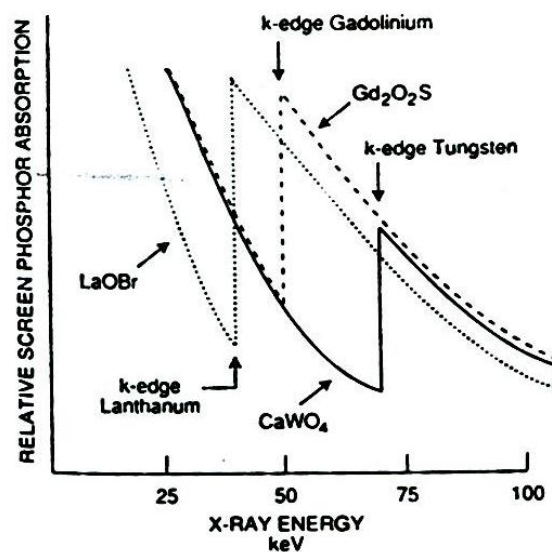
ในปัจจุบันมีอุปกรณ์รับภาพหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้แทนฟิล์ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแผ่นบันทึกภาพ (imaging plate, IP) ซึ่งมีความเร็วสูงกว่าฟิล์มมากแต่สามารถให้ภาพถ่ายที่มีรายละเอียดสูง และมีความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของภาพกับค่าเอกซ์โพเซอร์เป็นเส้นตรงในช่วงกว้าง ทำให้มีความเปรียบเทียบของภาพดีถึงแม้ชิ้นงานมีความหนาของส่วนต่าง ๆ แตกต่างกันมากก็ตาม ภายหลังจากการถ่ายภาพจะต้องใช้เครื่องอ่านข้อมูลภาพและลบภาพซึ่งต้องใช้เวลาหลายนาที การที่ภาพถ่ายที่อ่านได้จากเครื่องอ่านภาพอยู่ในไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถใช้ซอฟต์แวร์ปรับแต่งภาพถ่ายได้ ถึงแม้บริษัทผู้ผลิตอ้างว่าแผ่นบันทึกภาพสามารถใช้ซ้ำได้ถึง 1,000 ครั้ง แต่อาจมีปัญหาด้านประสิทธิภาพเมื่อใช้งานไปนาน ๆ และเครื่องอ่านข้อมูลภาพยังมีราคาสูง



รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบความสว่างของภาพบนแผ่นบันทึกภาพกับกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์ม

(จาก...http://www.fujifilm.com/products/medical/technologies/exposure_dynamic_range_of_ip/)

การใช้ฉากเรืองรังสี (fluorescent screen) รับภาพ แทนฟิล์ม เป็นวิธีที่สามารถดูภาพได้ทันที บนฉากเรืองรังสีได้โดยตรง หรือผ่านอุปกรณ์ดูภาพ เช่น กล้องถ่ายภาพ หรือกล้องวิดีโอ วิธี การถ่ายภาพด้วยรังสีแบบนี้เรียกว่า “ฟลูออโรสโคปี (fluoroscopy)” ซึ่งถูกใช้งานทางการแพทย์มาเป็น เวลานาน เพราะเหมาะสำหรับรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาในช่วงพลังงานต่ำกว่า 120 keV ลงมา เนื่องจากประสิทธิภาพของฉากเรืองรังสีในการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีไปเป็นแสงต่ำมากเมื่อรังสีมี พลังงานสูงขึ้น ชนิดและคุณสมบัติของฉากเรืองรังสีบางชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

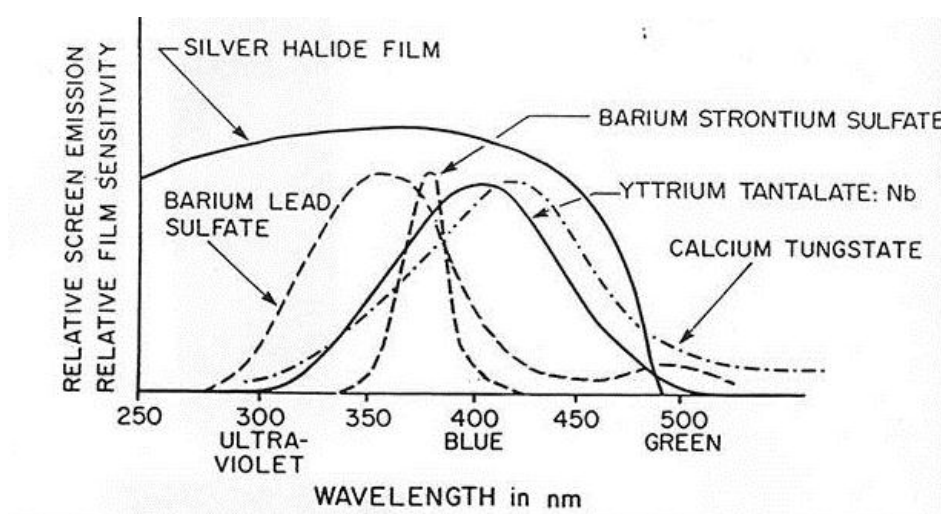


รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉากเรืองรังสีบางชนิดที่พลังงานรังสีเอกซ์ต่าง ๆ [8]

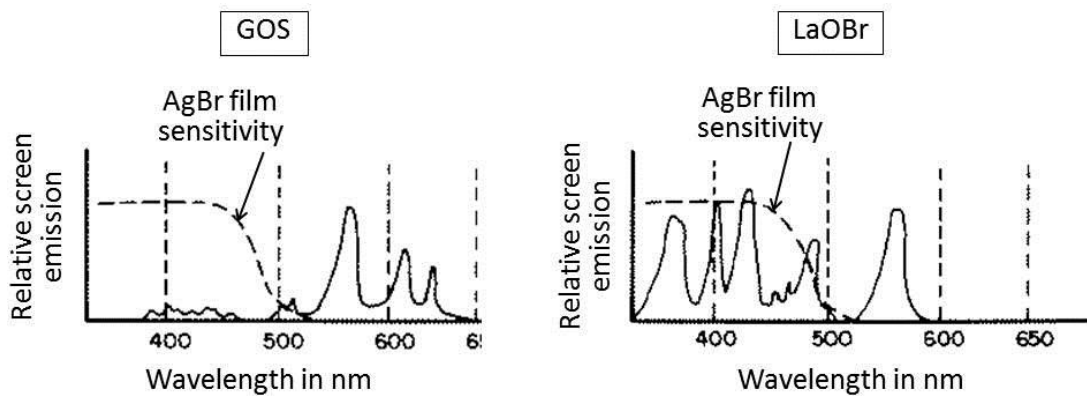
ตารางที่ 2.4 ชนิดและคุณสมบัติของฉากเรืองรังสีบางชนิด [8]

MANUFACTURER	NAME	PHOSPHOR	SPECTRAL EMISSION	FILM	SPEED CLASS
Du Pont	Cronex Par Speed	CaWO ₄	Blue	Cronex 4	100
	Cronex Hi Plus	CaWO ₄	Blue	Cronex 4	250
	Cronex Quanta V	LaOBr:Tm	Blue	Cronex 4	800
		LaOBr:Tm	Blue	Cronex 4	320
	Quanta Detail	Gd ₂ O ₂ S:Tb	Green	Cronex 8	400
		YTaO ₄ :Tm	Ultraviolet/ Blue	Cronex 4	100
Quanta Fast Detail	YTaO ₄ :Nb	Ultraviolet/ Blue	Cronex 4	400	
Kodak	X-Omatic Fine	BaPbSO ₄ , yellow, dye	Blue	XRP	32
	X-Omatic Regular	BaSrSO ₄ :Eu, neutral, dye	Blue	XRP	200
	Lanex Fine	Gd ₂ O ₂ S:Tb, neutral, dye	Green	Ortho G	100
	Lanex Medium	Gd ₂ O ₂ S:Tb, yellow, dye	Green	Ortho G	250
	Lanex Regular	Gd ₂ O ₂ S:Tb	Green	Ortho G	400

Note: Dupont Cronex 4 is now largely replaced by Cronex 7 and Cronex 10, and Kodak Ortho G film by T-Mat G. The older films still accurately reflect relative intensifying screen speeds, which is the purpose of this table.



รูปที่ 2.13 สเปกตรัมความยาวคลื่นของแสงที่ปลดปล่อยจากฉากเรืองรังสีบางชนิดเปรียบเทียบกับช่วงความไวของฟิล์มชนิดที่ใช้ผลึก AgBr [8]



รูปที่ 2.14 สเปกตรัมความยาวคลื่นของแสงที่ปลดปล่อยจากของฉากเรืองรังสีชนิด แกโดลิเนียมออกซีสัลไฟด์และแลนทานัมออกซิโบรไมด์ [9]

ฉากแกโดลิเนียมออกซีสัลไฟด์ (gadolinium oxysulfide : Gd_2O_2S) ที่มักเรียกว่า “GOS” เป็นฉากเรืองรังสีชนิดหนึ่งที่นิยมใช้งานกันมาก เมื่อประมาณ 5 ปีที่ผ่านมาบริษัท มิตซูบิชิ จำกัด ได้ผลิตฉากเรืองรังสีแกโดลิเนียมออกซีสัลไฟด์ชนิดใหม่ ที่สามารถใช้งานได้ในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเป็น MeV ซึ่งหากใช้งานได้กับต้นกำเนิดรังสีแกมมาพลังงานสูงที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาในงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งซีลีเนียม-75 และ อิริเดียม-192 จะเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีเพื่อการตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย

นอกจากฟิล์มรังสีเอกซ์ แผ่นบันทึกภาพ และฉากเรืองรังสีแล้ว ในปัจจุบันมีอุปกรณ์รับภาพชนิดอื่นที่มีคุณภาพสูงและแสดงผลได้ทันทีหรือในระยะเวลาสั้นบนจอภาพ แต่ยังมีราคาสูง เช่น หัววัดรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาแบบเรียงแถว (linear x-ray detector) ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพที่ละแถวมาเรียงกันเป็นภาพเช่นเดียวกับที่ใช้ในการตรวจกระเป๋าเดินทางตามสนามบิน และแผ่นหัววัดรังสีเอกซ์แบบดิจิทัล (flat panel digital x-ray detector) ที่สามารถแสดงผลทางจอภาพได้ทันที



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างหัววัดรังสีเอกซ์แบบเรียงแถว

(จาก... <http://www.sens-tech.com/Products/LINX/>)



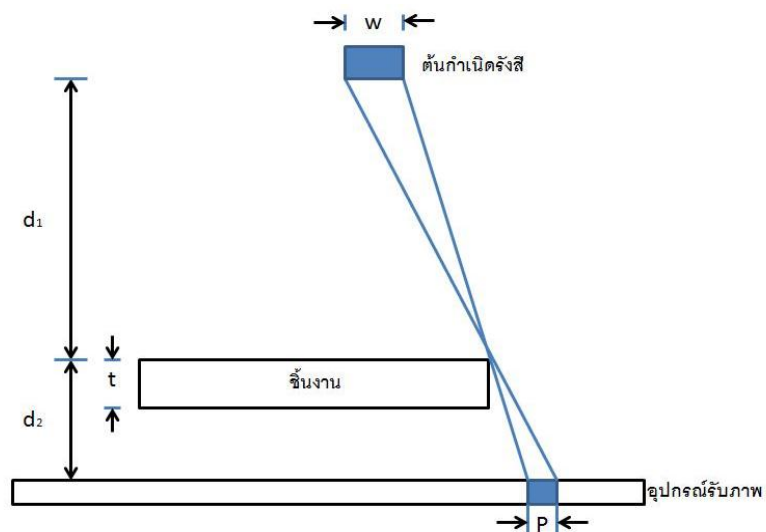
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างแผ่นหัววัดรังสีเอกซ์แบบดิจิทัล

(จาก...http://www.usa.canon.com/cusa/healthcare/products/digital_radiography/digital_detectors/cxdi_55g)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่ายด้วยรังสี

ภาพถ่ายที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติ 4 ประการคือ มีความคมชัด มีความเปรียบต่างสูง มีความดำพอเหมาะ และมีความบิดเบือนน้อยที่สุด

2.4.1 มีความคมชัด (sharpness หรือ definition) สูง หมายความว่า ภาพถ่ายที่ได้ต้องไม่มี มัว (blur) มีเงา (penumbra) น้อยที่สุด ความคมชัดของภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยของการจัดวางของ ต้นกำเนิดรังสี ชี้นงาน และ อุปกรณ์รับภาพ ซึ่งเรียกว่าเป็นปัจจัยทางเรขาคณิต (geometry factor)



รูปที่ 2.17 ลักษณะการจัดวางต้นกำเนิดรังสี ชี้นงาน และ อุปกรณ์รับภาพในการถ่ายภาพด้วยรังสี

- เมื่อ w คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของต้นกำเนิดรังสี
 t คือ ความหนาของชิ้นงาน
 P คือ ขนาดของเงาที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์รับภาพ
 d_1 คือ ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงาน
 d_2 คือ ระยะจากผิวหน้าชิ้นงานถึงอุปกรณ์รับภาพ

จากเรขาคณิตจะได้

$$P = w \left[\frac{d_2 + t}{d_1} \right]$$

แสดงให้เห็นว่าขนาดของ P ขึ้นอยู่กับขนาดของต้นกำเนิดรังสี ระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงาน และ ระยะระหว่างชิ้นงานถึงอุปกรณ์รับภาพ ตามปกติแล้วมนุษย์เราไม่สามารถมองเห็นขอบภาพที่มัว (P) ขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตรได้ ดังนั้นถ้า P มีขนาดเล็กกว่า 0.25 มิลลิเมตรเราจะเห็นว่าภาพคมชัดดี ถ้ามองด้วยตาเปล่า การที่จะทำให้ขนาดของเงามีค่าน้อย คือ การทำให้ภาพมีความชัดนั้นจะกระทำได้อย่างไร

- ใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีขนาดเล็ก
- ให้ระยะจากชิ้นงานถึงอุปกรณ์รับภาพมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งทำได้โดยวางชิ้นงานให้ติดกับอุปกรณ์รับภาพ จะทำให้ d_2 เท่ากับความหนาของชิ้นงาน
- ให้ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงาน (d_1) มีค่ามาก

ในทางปฏิบัติ ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานนั้น เราสามารถประมาณได้โดยใช้ระยะห่างอย่างน้อยเท่ากับ 8 เท่าของความหนาของชิ้นงาน และวางชิ้นงานติดกับอุปกรณ์รับภาพนั้นคือ

$$d_1 \geq 8t$$

หรือจะใช้การคำนวณระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงานน้อยที่สุดได้จากสมการดังต่อไปนี้

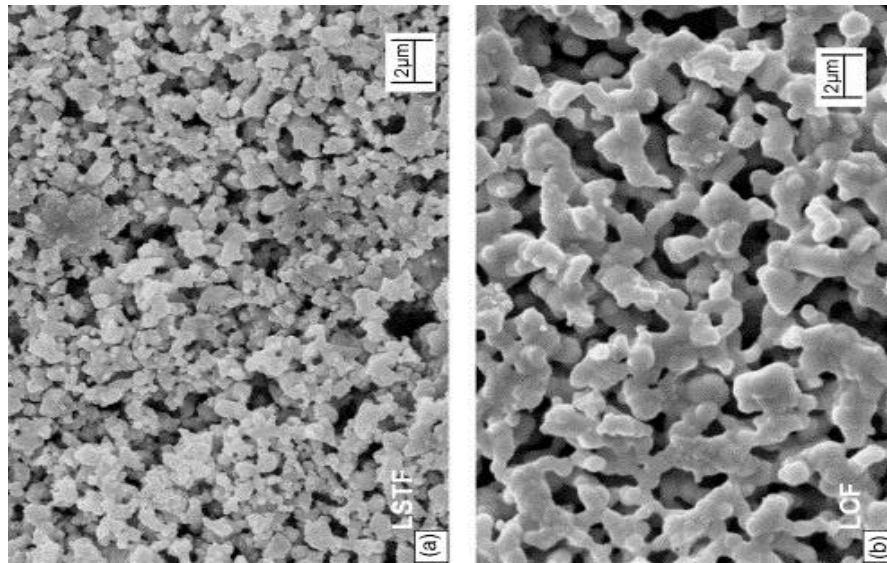
$$d_{1(min)} = \left[\frac{w}{P} \right] t$$

เมื่อ $d_{1(min)}$ คือ ระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงชิ้นงาน
 t คือ ความหนาของชิ้นงาน
 P คือ ขนาดของเงา

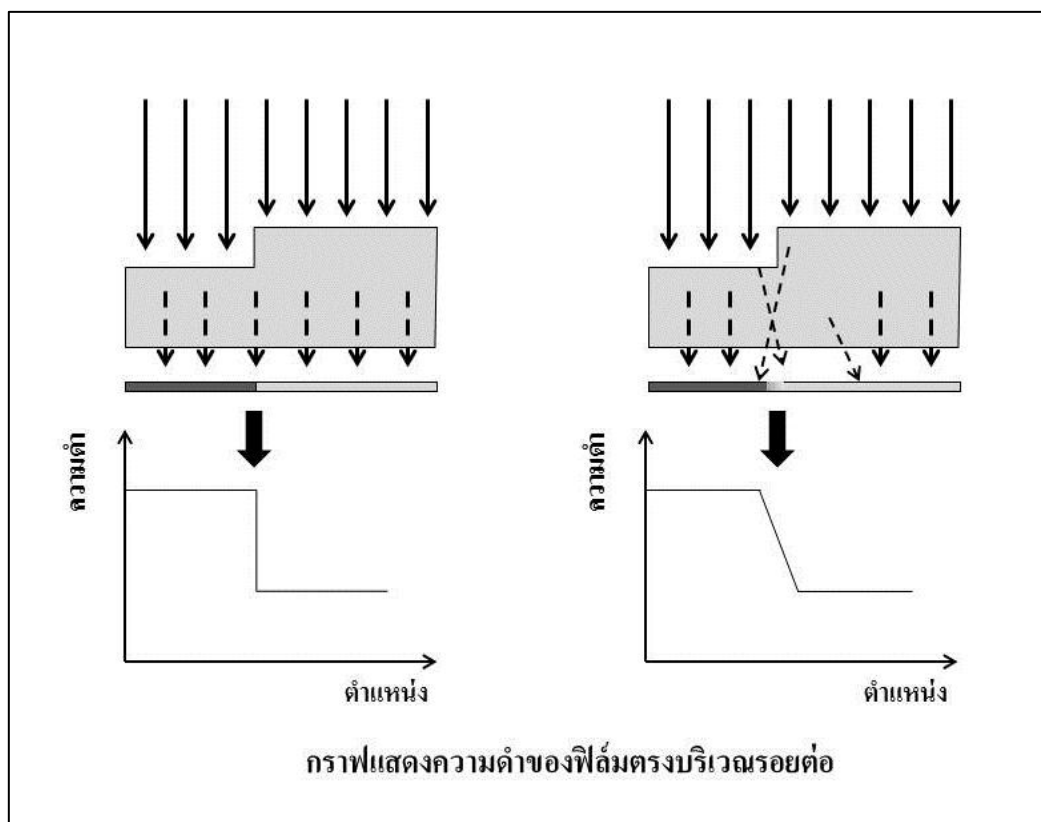
นอกจากปัจจัยทางเรขาคณิตแล้ว ความคมชัดยังขึ้นอยู่กับชนิดของฟิล์มชนิดของฉากเพิ่มความเข้มของภาพ (image intensifying screen) และรังสีกระเจิงที่เกิดขึ้นจากการที่รังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมากระเจิงจากตัวชิ้นงานเองและบริเวณข้างเคียง

- ฟิล์มที่มีความเร็วสูง มีเม็ดของผลึกเงินโบรไมด์โตกว่า จึงให้ภาพที่ละเอียดน้อยกว่าฟิล์มที่มีความเร็วต่ำ
- ในการถ่ายภาพด้วยรังสี อาจใช้ฉากเพิ่มความเข้มของภาพประกบฟิล์มทั้งสองด้านเพื่อลดเวลาในการถ่ายภาพจากการที่รังสีทำปฏิกิริยากับฉากแล้วเกิดแสงหรือเกิดอนุภาคอิเล็กตรอน ไปช่วยทำให้ฟิล์มดำเร็วขึ้น ดังนั้นความละเอียดของเนื้อสารที่ใช้เป็นสารเรืองรังสีในฉากเพิ่มความเข้มของภาพ มีผลต่อความคมชัดของภาพทำนองเดียวกันกับขนาดของผลึกเงินโบรไมด์ในเนื้อฟิล์ม
- การกระเจิงของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา เกิดได้จากการกระเจิงในตัวชิ้นงานเอง และการกระเจิงจากวัตถุที่อยู่บริเวณข้างเคียงที่อยู่ด้านข้างหรืออยู่ด้านหลัง วัสดุที่มีเลขอะตอมต่ำ ๆ เช่น พลาสติก น้ำ อะลูมิเนียม จะเกิดการกระเจิงรังสีสูงกว่าวัสดุที่มีเลขอะตอมสูงกว่า เช่น เหล็ก ทองแดง ตะกั่ว ในการถ่ายภาพหากมีเฉพาะรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานตรง ๆ ไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มภาพที่ได้จะมีความคมชัดสูง การกระเจิงของรังสีทำให้มีรังสีจากหลายทิศทางไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มยอมทำให้ความคมชัดลดลง ดังแสดงในแผนภาพในรูปที่

2.19



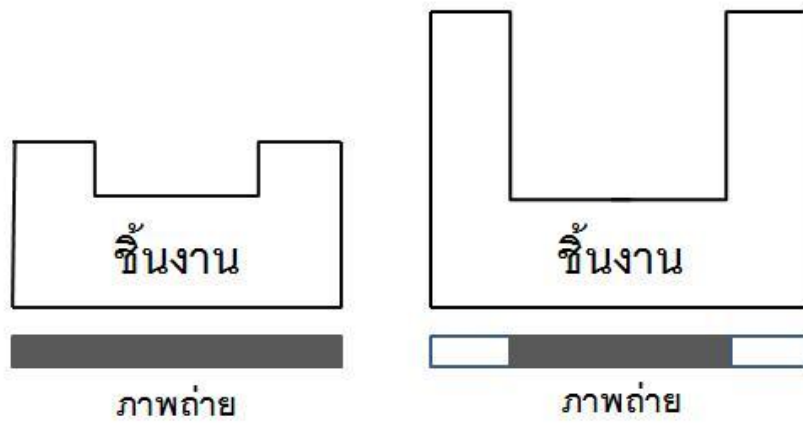
รูปที่ 2.18 เปรียบเทียบความละเอียดของเนื้อฟิล์มความเร็วต่ำและสูง



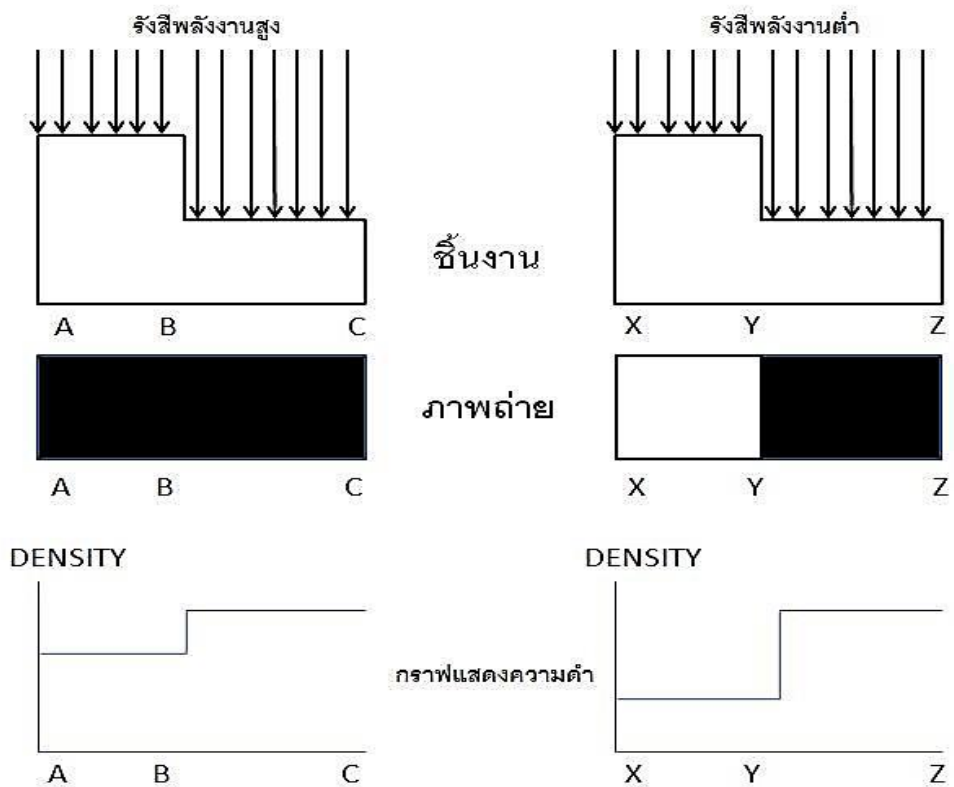
รูปที่ 2.19 แผนภาพแสดงให้เห็นว่ารังสีกระเจิงทำให้ภาพไม่คมชัด

2.4.2 มีความเปรียบต่างของภาพสูง (high contrast) ความหมาย คือ มีความแตกต่างความดำระหว่างพื้นที่ต่างๆ บนภาพสูง ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเปรียบต่างของภาพ ได้แก่ ตัวชิ้นงานเอง พลังงานของรังสี ชนิดของฟิล์มและกระบวนการล้างฟิล์ม

- **ตัวชิ้นงาน** ความเปรียบต่างของภาพถ่ายขึ้นอยู่กับ ความแตกต่างของความหนา ความแตกต่างของความหนาแน่น ในแต่ละส่วนของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2.20
- **พลังงานของรังสี** มีผลต่อความเปรียบต่างของภาพ โดยรังสีที่มีพลังงานต่ำจะให้ภาพที่มีความเปรียบต่างสูงกว่ารังสีที่มีพลังงานสูงดังแสดงในรูปที่ 2.21
- **ชนิดของฟิล์ม** ฟิล์มรังสีเอกซ์มีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีที่ตกกระทบ (ที่เรียกว่า “ค่าเอกซ์โพเซอร์”) ตามลักษณะของกราฟลักษณะเฉพาะของฟิล์มดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นในหัวข้อ 2.2 และกราฟในรูปที่ 2.10 หากค่าเอกซ์โพเซอร์ที่ใช้ทำให้ฟิล์มมีความดำอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.0 ขึ้นไป จะเห็นได้ว่าค่าความชันของกราฟหรือฟิล์มเกรเดียนท์ (G_D) มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าจะได้ความเปรียบต่าง เท่า ๆ กัน อย่างไรก็ตามในช่วงค่าเอกซ์โพเซอร์ต่ำ ๆ ที่ทำให้ความดำของฟิล์มน้อยกว่า 1.0 ความเปรียบต่างจะไม่ดี กรณีเช่นนี้จะไม่เกิดขึ้นกับแผ่นบันทึกภาพเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกซ์โพเซอร์กับความสว่างของภาพมีความเป็นเชิงเส้นแม้ในช่วงเอกซ์โพเซอร์ต่ำดังในกราฟรูปที่ 2.11 การใช้อุปกรณ์รับภาพอื่น ๆ เช่น ฉากรังสีก็ควรศึกษาถึงการตอบสนองของอุปกรณ์ต่ออัตราปริมาณรังสีหรือปริมาณรังสีรวมต่อพื้นที่ด้วย เพื่อให้ได้ภาพที่มีความเปรียบต่างตามต้องการ
- **กระบวนการล้างฟิล์ม** มีผลต่อความเปรียบต่างของภาพถ่ายด้วยฟิล์มดังได้กล่าวมาแล้วใน 2.1.3.3 ดังนั้นการล้างฟิล์มจึงต้องปฏิบัติอย่างถูกต้องเพื่อให้ภาพที่ได้มีความเปรียบต่างตามที่ต้องการ สำหรับอุปกรณ์รับภาพชนิดอื่นก็ต้องทำการอ่านข้อมูลภาพจากอุปกรณ์รับภาพให้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูง เช่น การเลือกใช้เงื่อนไขในการอ่านข้อมูลภาพจากแผ่นบันทึกภาพด้วยเครื่องอ่านภาพ การเลือกใช้อุปกรณ์ดูภาพที่เหมาะสมกับความเข้มและความยาวคลื่นของแสงที่ปลดปล่อยออกมาจากแผ่นเรืองรังสี เป็นต้น



รูปที่ 2.20 แสดงภาพชิ้นงานที่ความแตกต่างของความหนามากและน้อย



รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบความต่างของภาพถ่ายด้วยรังสีพลังงานสูงและพลังงานต่ำ

- 2.4.3 มีความดำพอเหมาะสม (adequate density)** หมายความว่า ภาพต้องไม่ดำ หรือ จางจนเกินไป ความดำของภาพถ่ายที่ดีอยู่ในช่วงประมาณ 1.0 ถึง 4.0 และอิทธิพลที่มีผลต่อความดำของภาพถ่าย คือ ความแรงของรังสี ระยะห่างจากชิ้นงานถึงต้นกำเนิดรังสีถ้ามีระยะมากจะทำให้ความแรงของรังสีลดลงภาพถ่ายที่ได้จะจางลง และ ถ้าวางใกล้มากจะทำให้ภาพมีความดำมาก ดังนั้น การวางต้นกำเนิดรังสี ให้มีระยะห่างระหว่างชิ้นงานถึงต้นกำเนิดรังสีจะต้องคำนึงถึงความแรงของต้นกำเนิดรังสี
- 2.4.4 มีความบิดเบือนของภาพน้อย (minimum distortion)** ความบิดเบือนของภาพเกิดขึ้นจากได้จากการที่อุปกรณ์รับภาพที่ใช้ไม่อยู่ในแนวขนานกับชิ้นงานที่จะถ่าย ภาพและแนวกึ่งกลางลำรังสีไม่ตั้งฉากกับระนาบของชิ้นงานและอุปกรณ์รับภาพ ความบิดเบือนของภาพไม่ได้มีความสำคัญมากเท่ากับปัจจัย 3 ประการข้างต้น เนื่องจากการถ่ายภาพในหลายกรณี ภาพที่ได้เกิดความบิดเบือนไปจากรูปร่างที่แท้จริง แต่ผู้อ่านภาพถ่ายต้องทราบและมีความเข้าใจในลักษณะการจัดอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ จึงจะสามารถแปลผลได้ถูกต้อง

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล Canon EOS DIGITAL รุ่น 500D เลนส์ 18-55is สำหรับใช้ในการบันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีที่ปรากฏบนฉากเรืองรังสี โดยมี Angle Mirror Lens เป็นตัวสะท้อนภาพไปยังกล้อง เพื่อมิให้ตัวกล้องอยู่ในแนวลำรังสีเนื่องจากตัวชิปซีมอส (CMOS chip) ที่ทำหน้าที่รับภาพหากได้รับรังสีจะเกิดสัญญาณรบกวนภาพ



รูปที่ 3.1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล Canon 500D



รูปที่ 3.2 Angle Mirror Lens

3.1.2 แผ่นตะกั่วหนา 3 มิลลิเมตร สำหรับปิดภายในกล่องพื้นที่รวม 1.17 ตารางเมตรเพื่อลดรังสีกระเจิง และแผ่นตะกั่วกำบังรังสีขนาด 30 ซม. x 14 ซม. x 0.6 ซม. สำหรับกั้นระหว่างตัวกล้องกับลำรังสีเพื่อป้องกันมิให้กล้องได้รับรังสีโดยตรง

3.1.4 สายต่อ USB cable ยาว 10 เมตร เพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับผู้ปฏิบัติงาน พร้อม USB HUB

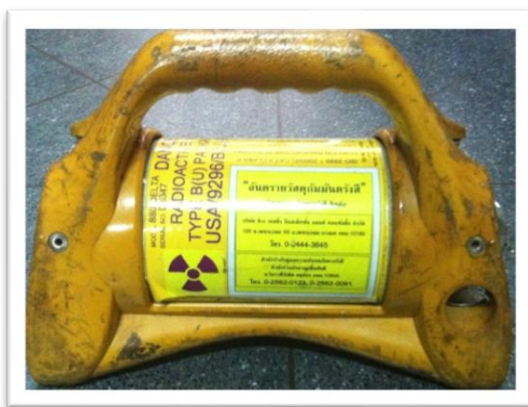


รูปที่ 3.4 USB HUB



รูปที่ 3.3 USB cable

3.1.5 Gamma Radiography Projector รุ่น 880 ลักษณะภายในของเครื่องโปรเจ็คเตอร์ สำหรับต้นกำเนิดรังสีแกมมาซึ่งภายในบรรจุวัสดุกัมมันตรังสีอิริเดียม-192 (Ir-192) สะดวกและปลอดภัยต่อการใช้งานเนื่องจากมีน้ำหนักเบาประมาณ 23.6 กก. มีขนาด 19.1 ซม. x 22.9 ซม. ปริมาณความแรงสูงสุดของอิริเดียม-192 ที่จะรับได้ 150 Ci (5.55 TBq) พร้อมเชื่อมต่อกับชุดสายควบคุมระยะไกลด้วยระบบโซลิตอน รวมถึงสายนำต้นกำเนิดรังสีให้เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่ต้องการ ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้คือ Se-75 และ Ir-192



รูปที่ 3.5 Gamma Radiography Projector



รูปที่ 3.6 ชุดควบคุมระยะไกลแบบโซลิตอน

3.1.6 Survey Meter สำหรับใช้ในการตรวจสอบระดับรังสี เครื่องมือวัดรังสี (Survey Meter) เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี สำหรับผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสี โดยใช้ในการตรวจวัดระดับปริมาณรังสีภายนอกร่างกาย (External Exposure) ตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับในขณะทำงาน ตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีรั่วไหล ตรวจวัดรังสีปนเปื้อนหรือตกค้าง คั่นหาวัสดุกัมมันตรังสีที่หล่นหาย ตรวจวัดความสามารถป้องกันรังสีของแผ่นกำบัง

รังสี (Shield) และตรวจวัดอัตราปริมาณรังสีในสิ่งแวดล้อม ณ สถานที่ต่างๆซึ่งเครื่องมือเหล่านี้ถือเป็นการประกันความปลอดภัยแก่นุคลากรทางด้านรังสีและบุคคลที่ปฏิบัติงานอยู่บริเวณรังสีได้



รูปที่ 3.7 Survey Meter

3.1.7 Notebook เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่พกพาได้สะดวก มีน้ำหนักประมาณ 1-3 กก. สามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ และจากปลั๊กไฟโดยตรงก็ได้

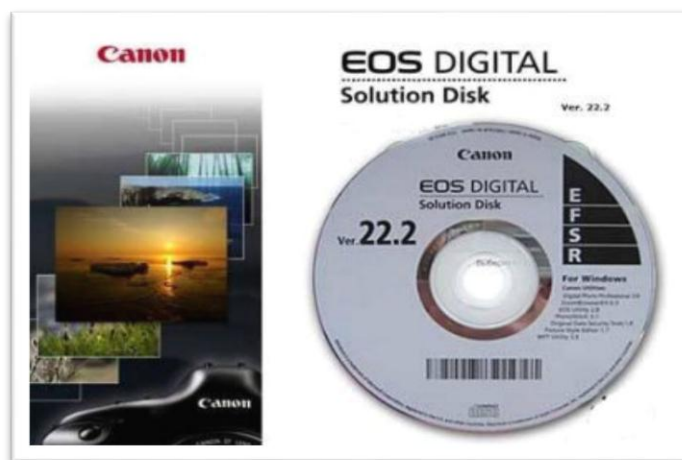


รูปที่ 3.8 Notebook

3.1.8 ซอฟต์แวร์

- Canon EOS Utilities เป็นซอฟต์แวร์จัดการภาพถ่ายดิจิทัลที่มีความเร็วสูง สามารถปรับแต่งภาพได้หลากหลายเพื่อสร้างสรรค์ผลงานภาพถ่ายให้สวยงามตามที่ต้องการ เริ่มจากซอฟต์แวร์ EOS Utility ที่ใช้เชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์อื่น ๆ ทั้งหมด สามารถดาวน์โหลดไฟล์ภาพจากกล้องไปยังคอมพิวเตอร์ ได้อย่างสะดวกและง่ายดาย จะเลือกโหลดภาพทั้งหมดหรือเลือกเฉพาะภาพที่ต้องการก็ได้ และยังเชื่อมต่อการถ่ายภาพแบบ Remote Live View shooting สั่งถ่ายภาพจากหน้าจอบนคอมพิวเตอร์ได้ โดยควบคุมกล้องได้เกือบทุกอย่าง และดูภาพ Live View ได้จากจอคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ที่สำคัญคือซอฟต์แวร์ Digital Photo Professional (DPP) สามารถจัดการไฟล์ RAW ได้

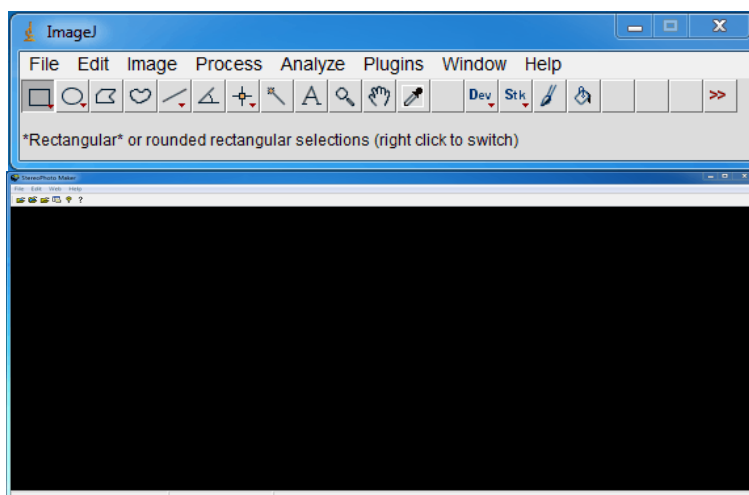
อย่างละเอียด และบันทึกภาพกลับเป็นฟอร์แมท JPEG หรือ TIFF ใช้งานง่าย ๆ รวมไปถึงการปรับแต่งภาพอื่นๆ เช่น เพิ่มลดความสว่าง เปลี่ยนไวท์บาลานซ์(white balance) ปรับแต่งพิกเจอร์สไตล์(picture style) และการลด Noise หรือปรับแต่ง Auto Lighting Optimizer นอกจากนี้ยังปรับแก้ไขภาพอื่น ๆ ได้ อาทิ แก้ไขเรื่องความบิดเบือนของภาพ และลดความคลาดสี เป็นต้น ซอฟต์แวร์อื่น ๆ ที่ให้มาพร้อมกับตัวกล้อง อาทิ ZoomBrowser EX/Image Browser สำหรับการเปิดชมภาพและตกแต่งภาพฟอร์แมท JPEG และซอฟต์แวร์ Picture Style Editor สำหรับการสร้างและปรับแต่ง Picture Style ตามที่ต้องการแล้วบันทึกกลับเข้าไปในกล้อง EOS 500D เพื่อเรียกมาใช้งานในการบันทึกภาพครั้งต่อไป



รูปที่ 3.9 โปรแกรม Canon EOS Utilities

- โปรแกรม Image J สำหรับตกแต่งภาพและวิเคราะห์ภาพ ใช้ในการวิเคราะห์ภาพถ่าย เป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี หลังจากนั้นก็ทำการติดตั้งโปรแกรมได้ทันที สามารถใช้ได้กับเครื่อง PC (Personal Computer) ธรรมดาที่มีโปรแกรม Java ตั้งแต่เวอร์ชัน 1.4 ขึ้นไป ในส่วนของการดาวน์โหลดนั้นท่านสามารถเลือกระบบปฏิบัติการได้ เช่น Windows, Linux, Mac OS X และระบบปฏิบัติการอื่น ตัวโปรแกรมสามารถทำงานได้โดยมีคำสั่ง Analyze, Process และคำสั่งอื่น และสามารถบันทึก/แปลงไฟล์ในรูปแบบ 8-bit, 16-bit, 32-bit และไฟล์ที่ตัวโปรแกรมอ่านได้ต้องบันทึกด้วยนามสกุลเหล่านี้คือ TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS และ raw และตัวโปรแกรมสามารถเปิดภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พร้อม ๆ กันหลายภาพได้ในเวลาเดียวกัน imageJ สามารถคำนวณ Fraction Area หรือสัดส่วนพื้นที่ และสามารถหาพื้นที่ในการวัดได้ สามารถหาค่าได้ทั้งในหน่วยพื้นที่ เช่น ตารางมิลลิเมตร หรือ ค่าในหน่วย pixel ของรูปนั้น สามารถจัดทำค่าต่างๆ ในรูปสถิติได้ วัดระยะความยาวของเซลล์ วัดความหนาแน่นของรูปภาพแล้วแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่งหรือ Histograms และยังสามารถสนับสนุน Function สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ImageJ

ในการนับสัญญาณรบกวนของรังสีที่ทำปฏิกิริยากับชิปซีมอส การปรับแต่งภาพ การดูค่าความสว่างในตำแหน่ง/พื้นที่ที่ต้องการ และการดูโปรไฟล์ความสว่างสำหรับเปรียบเทียบความคมชัดและความเปรียบต่างของภาพ



รูปที่ 3.10 โปรแกรมตกแต่งภาพและวิเคราะห์ภาพ Image J

3.1.7 ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200



รูปที่ 3.11 ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200

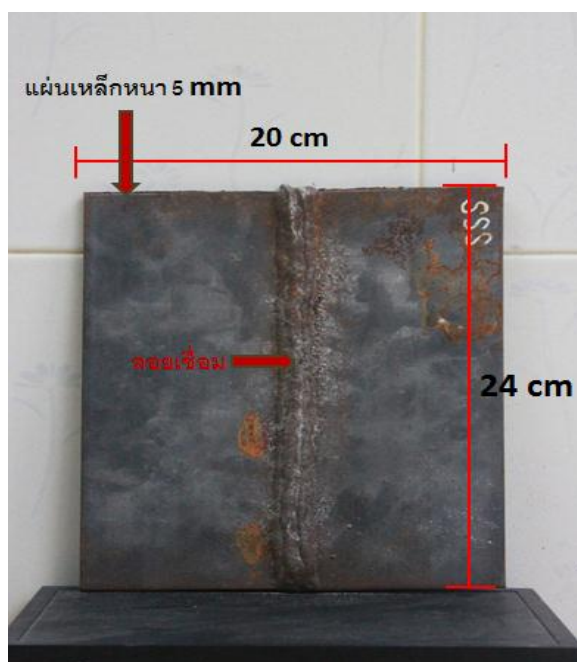
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200

Name	Composition	
PI-200 (Gd ₂ O ₂ S:Tb)	Protective Layer	PET 6um
	Phosphor Layer	436um, 200mg/cm ²
	Supporting Layer	Plastic Base 188um
	Total	630um

(จาก... http://www.mcc-phosphor.com/english/products/x-ray/fluorescent/drz_pi.html)

3.1.8 ชิ้นงานที่นำมาทดสอบ

- ชิ้นงานโลหะที่มีรอยบกพร่อง



รูปที่ 3.12 รอยเชื่อม

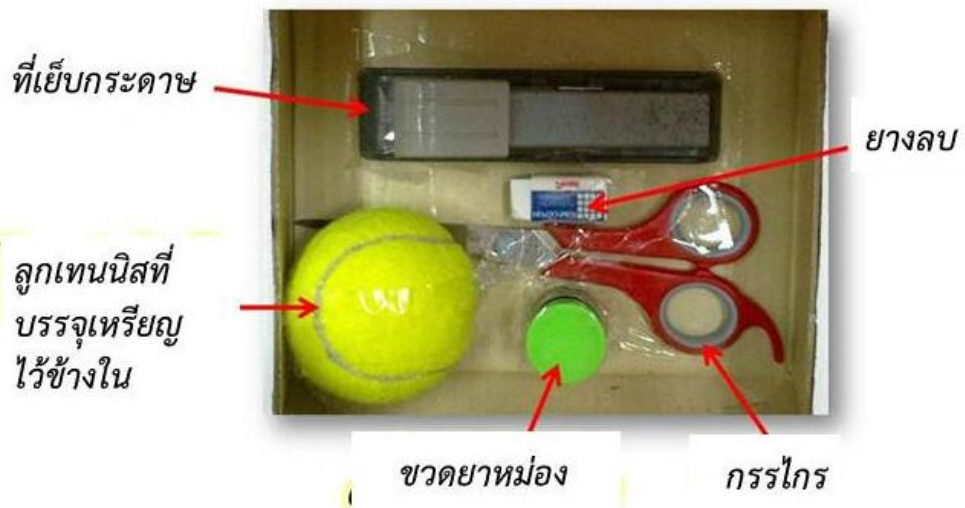


รูปที่ 3.13 เหล็กหนา 2 ซม. มีรู 2 รู

- กล่องพัสดุไปรษณีย์ที่บรรจุวัตถุต่าง ๆ ไว้ภายใน



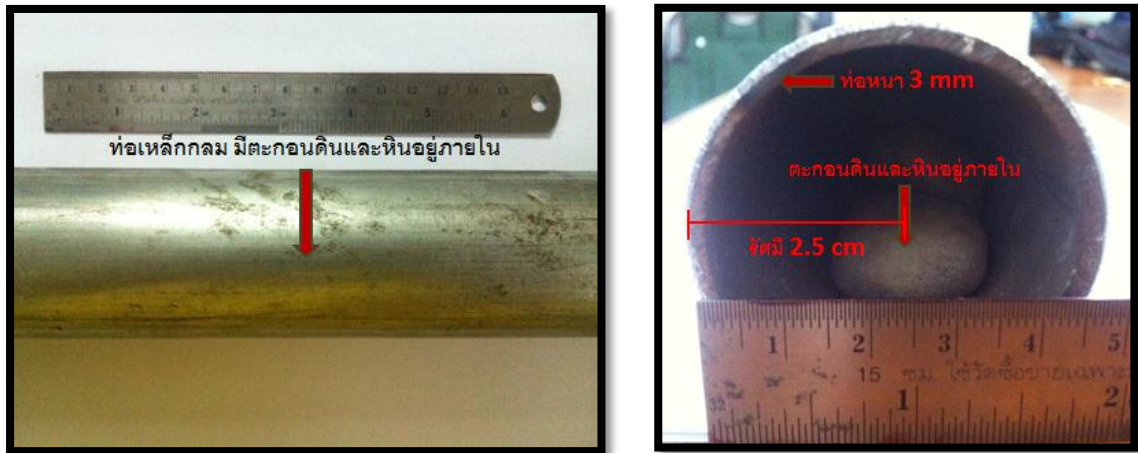
(ก) ภาพภายนอก



(ข) ภาพภายในกล่อง

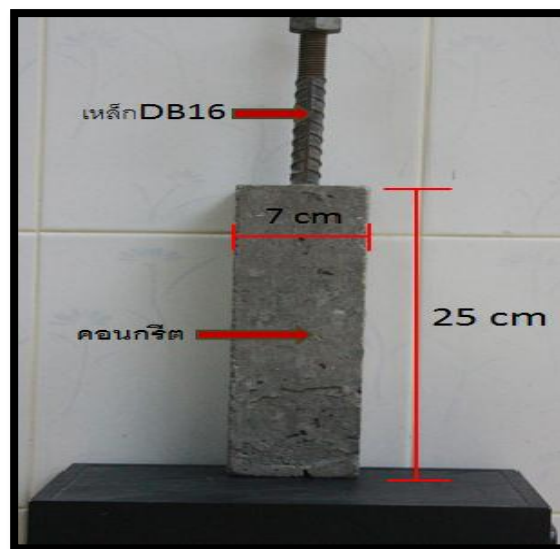
รูปที่ 3.14 กล่องพัสดุไปรษณีย์

- ท่อเหล็กที่มีก้อนดินและหินอยู่ภายใน



รูปที่ 3.15 ท่อเหล็กที่มีก้อนดินและหินอยู่ภายใน

- ท่อเหล็กที่มีก้อนดินและหินอยู่ภายใน



รูปที่ 3.16 แท่งคอนกรีตที่มีเหล็กอยู่ตรงแกนกลาง

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 การทดสอบประสิทธิภาพของ PI-200

ขั้นตอนในการวิจัย



รูปที่ 3.17 การจัดระบบถ่ายภาพเบื้องต้นเพื่อทดสอบฉากเรืองรังสีชนิด PI-200
ขนาด 3 ซม. x 3 ซม.

- 1) จัดระบบถ่ายภาพในห้องมืดเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และควบคุมการทำงานของกล้องด้วยโปรแกรม Canon EOS utilities
- 2) ทดสอบประสิทธิภาพในการทะลุผ่านของรังสีแกมมาและการเกิดแสงของฉากเรืองรังสี PI-200 ขนาด 3 ซม. x 3 ซม. โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลจากต้นกำเนิดรังสี โดยได้ทำการทดลองกับต้นกำเนิดรังสีต่าง ๆ คือ
 - Am-241 ความแรง 100 มิลลิวูรี พลังงาน 60 keV ระยะ 5 เซนติเมตร 30 วินาที
 - Cs-137 ความแรง 100 มิลลิวูรี พลังงาน 662 keV ระยะ 5 เซนติเมตร 30 วินาที
 - Co-60 ความแรง 2 มิลลิวูรี พลังงาน 1.17 และ 1.33 MeV ระยะ 5 เซนติเมตร 30 วินาที
- 3) บันทึกภาพถ่ายและนำภาพถ่ายที่ได้ไปวัดความสว่างของแสงด้วยโปรแกรม Image J ทดลองวัดรังสีเพื่อดูจำนวนนับรังสีที่ทะลุผ่านฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 เปรียบเทียบความสว่างกับจำนวนรังสีที่ทะลุผ่าน จำนวนการทะลุผ่านของรังสีและค่าเฉลี่ยของแสงที่เกิดขึ้น

3.2.2 การออกแบบและสร้างระบบถ่ายภาพ

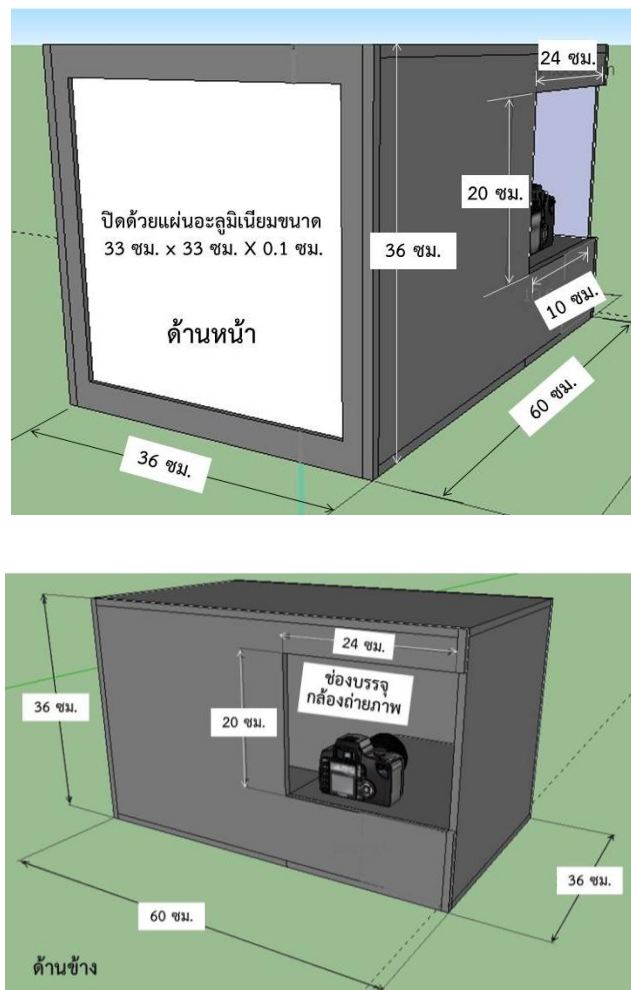
เนื่องจากการถ่ายภาพโดยใช้ฉากเรืองรังสีรับภาพต้องดูภาพในที่มืดเพื่อมิให้มีแสงจากภายนอกรบกวน จึงต้องออกแบบกล่องทึบแสงให้สามารถติดตั้งฉากเรืองรังสี PI200 ขนาด 30 ซม. x 30 ซม. ไว้ที่ด้านหนึ่ง ส่วนความยาวขึ้นอยู่กับระยะโฟกัสของเลนส์ที่ใช้ ดังนั้นจึงได้ออกแบบกล่องทึบแสงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 36 ซม. x 36 ซม. x 60 ซม. โดยที่ติดตั้งฉากเรืองรังสีไว้ที่ด้านหน้าซึ่งมีขนาด 36 ซม. x 36 ซม. โดยมีขอบเพียงพอที่จะยึดฉากเรืองรังสีไว้ได้ กล้องดิจิทัล

จะวางอยู่ในกล่องในลักษณะหันด้านข้างไปทางฉากเรืองรังสี มีเลนส์กระจกทำมุม 45 องศา (angle mirror lens) สะท้อนภาพบนฉากเรืองรังสีเข้าไปยังกล้องถ่ายภาพ ระหว่างตัวกล้องกับฉากเรืองรังสี มีก๊อนตะกั่วขนาด 14 ซม. x 30 ซม. x 0.6 ซม. กันเพื่อลดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่จะไปทำปฏิกิริยาชิปซีมอส (CMOS chip) ในตัวกล้อง ส่วนด้านในทุกด้านของกล่อง (ยกเว้นด้านหน้าซึ่งติดตั้งฉากเรืองรังสี) บุแผ่นตะกั่วหนา 1 มิลลิเมตรเพื่อลดการกระเจิงของรังสีแกมมา โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมหนา 1 มม. ปิดด้านนอกของฉากเรืองรังสีเพื่อมิให้แสงเข้าไปได้

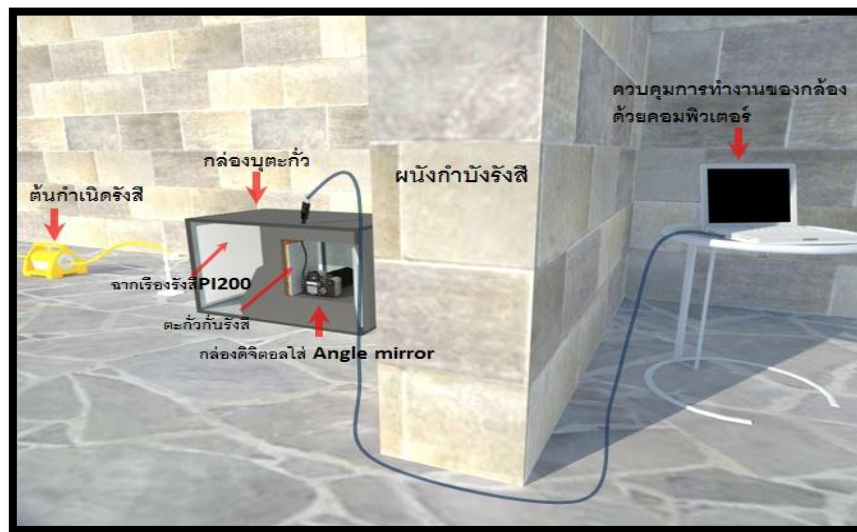
3.2.3 การทดสอบระบบรับภาพต้นแบบ

1) การทดสอบสัญญาณรบกวน

ได้ทดลองรับภาพถ่ายด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Ir-192 ที่ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาในงานอุตสาหกรรม ความแรง 8.9 คูรี พลังงาน 300-600 keV ที่ระยะ 20 เซนติเมตร



รูปที่ 3.18 กล่องทึบแสง



รูปที่ 3.19 ลักษณะการใช้ระบบถ่ายภาพที่ใช้จากเครื่องรังสีชนิด PI-200 ในการถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสี Ir-192

ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

- 1) ตั้งระยะเวลาในการถ่ายภาพ 30 วินาที ปรับ ISO ตั้งแต่ 100 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 ตามลำดับ
- 2) บันทึกภาพ แล้วนำภาพที่ได้ มาวัดค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม Image J
- 3) สร้างกราฟและสรุปผลการวิจัย

3.2.4 ทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 โดยใช้รังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Ir-192 ความแรง 8.9 คูรี ที่ระยะ 15 เซนติเมตร โดยเปลี่ยนค่า ISO

ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

- 1) ตั้งระยะเวลาในการถ่ายภาพ 30 วินาที ปรับ ISO ตั้งแต่ 100 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400 ตามลำดับ
- 2) บันทึกภาพ แล้วนำภาพที่ได้ มาวัดค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม Image J
- 3) สร้างกราฟและสรุปผลการวิจัย

3.2.5 ทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 โดยใช้รังสีแกมมา จากต้นกำเนิด Ir-192 ความแรง 8.9 คูรี ที่ระยะต่าง ๆ กัน

ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

- 1) ตั้งระยะเวลาในการถ่ายภาพ 30 วินาที ปรับ ISO 200
- 2) ทำการถ่ายภาพที่ระยะ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 เซนติเมตร ตามลำดับ
- 3) บันทึกภาพ แล้วนำภาพที่ได้ มาวัดค่าความสว่างที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม Image J
- 4) สร้างกราฟและสรุปผลการวิจัย

3.2.6 ทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 โดยใช้รังสีแกมมาจากต้นกำเนิด Ir-192 ความแรง 8.9 คูรี ที่ระยะ 15 เซนติเมตร โดยเปลี่ยนระยะเวลาในการถ่ายภาพ

ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

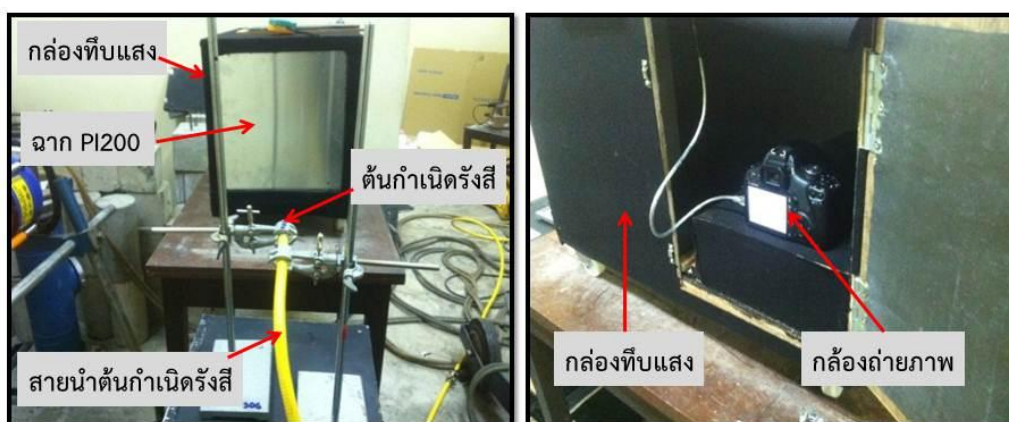
- 1) ตั้งระยะเวลาในการถ่ายภาพ 30 วินาที ปรับ ISO 200
- 2) ทำการถ่ายภาพที่เวลาต่าง ๆ กันตั้งแต่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 วินาที ตามลำดับ
- 3) บันทึกภาพ แล้วนำภาพที่ได้ มาวัดค่าความสว่างที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม Image J
- 4) สร้างกราฟและสรุปผลการวิจัย

3.2.7 ทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 โดยใช้รังสีแกมมา จากต้นกำเนิด Se-75 ความแรง 69.9 คูรี ที่ระยะ 40 เซนติเมตร โดยเปลี่ยน เวลาในการถ่ายภาพ

ขั้นตอนในการทำวิจัย

ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

- 1) ตั้งระยะเวลาในการถ่ายภาพ 30 วินาที ปรับ ISO 200
- 2) ทำการถ่ายภาพที่เวลาต่าง ๆ กันตั้งแต่ 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 วินาที ตามลำดับ
- 3) บันทึกภาพ แล้วนำภาพที่ได้ มาวัดค่าความสว่างที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม Image J
- 4) สร้างกราฟและสรุปผลการวิจัย



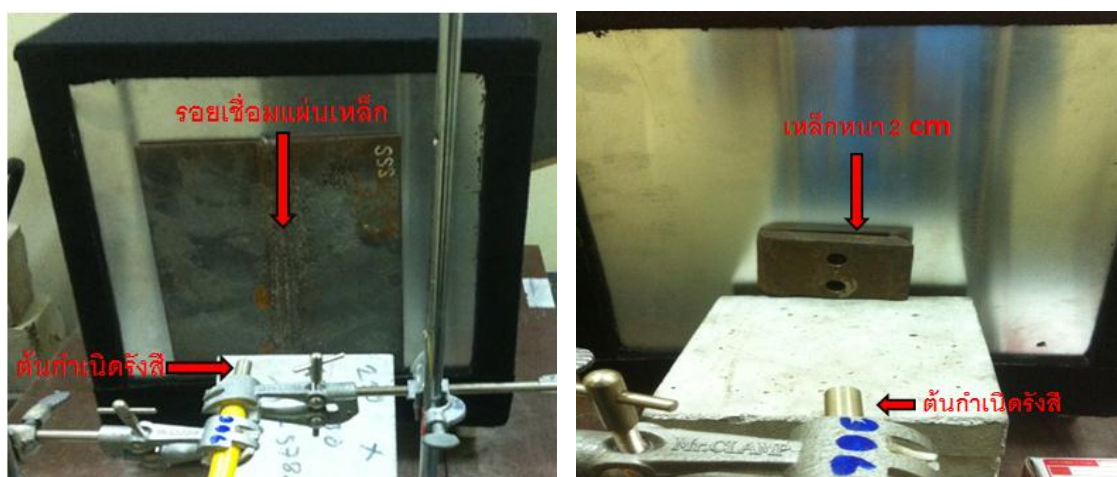
รูปที่ 3.20 ภาพการจัดวางระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจาก Se-75 และ Ir-192

3.2.8 ทดสอบการถ่ายภาพตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยบกพร่อง

ชิ้นงานที่นำมาทดสอบมี 2 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และ 2.13 คือ แผ่นเหล็กหนา 0.5 ซม. มีรอยเชื่อมติดกันตรงกลาง และเหล็กหนา 2 ซม. มีรู 2 รู ภายในมีรอยบกพร่องทั้งที่เป็นรอยแตกและฟองอากาศ

ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

- 1) วางต้นกำเนิดรังสี Ir-192 ความแรง 50 คูรี ห่างจากด้านหน้าของกล่องที่มีฉากเรืองรังสี 20 ซม.
- 2) วางตัวอย่างติดกับด้านหน้าของกล่องที่บดแสง ตั้งระยะเวลาในการถ่ายภาพ 60 วินาที ปรับ ISO 200
- 3) บันทึกภาพ แล้วนำภาพที่ได้มาดูและปรับแต่งด้วยโปรแกรม Image J



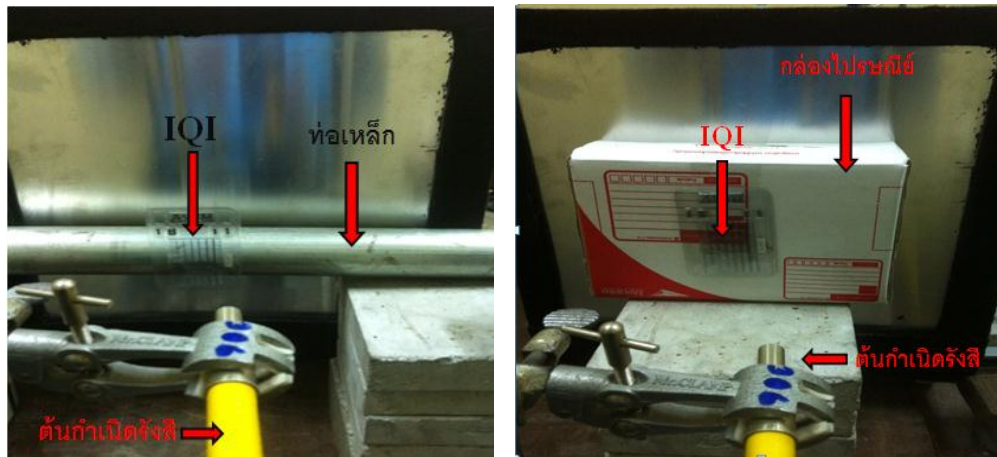
รูปที่ 3.21 ภาพการจัดวางระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยบกพร่อง

3.2.9 ทดสอบการถ่ายภาพ ตรวจสอบวัสดุแปลกปลอม/ซ่อนเร้น

ชิ้นงานที่นำมาทดสอบมี 3 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.14, 2.15 และ 2.16 คือ กล่องพัสดุไปรษณีย์ที่บรรจุสิ่งของไว้ภายใน ท่อเหล็กที่มีก้อนดินและหินอยู่ภายใน และแท่งคอนกรีตที่มีแท่งเหล็กอยู่ตรงกลาง

ขั้นตอนในการทดสอบมีดังนี้

- 1) วางต้นกำเนิดรังสี Ir-192 ความแรง 50 คูรี ห่างจากด้านหน้าของกล่องที่มีฉากเรืองรังสี 20 ซม.
- 2) วางตัวอย่างติดกับด้านหน้าของกล่องที่บดแสง ตั้งระยะเวลาในการถ่ายภาพ 60 วินาที ปรับ ISO 200
- 3) บันทึกภาพ แล้วนำภาพที่ได้มาดูและปรับแต่งด้วยโปรแกรม Image J



รูปที่ 3.22 ภาพการจัดวางระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเพื่อถ่ายภาพตรวจสอบท้อเหล็ก (ซ้าย) และกล่องพัสดุไปรษณีย์ (ขวา)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากการวิจัยที่ผ่านมาได้ผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอน ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการทะลุผ่านของรังสีแกมมาและการเกิดแสงของฉากเรืองรังสีของ PI-200 ขนาด 3 ซม. x 3 ซม.

4.1.1 Am-241 ความแรง 100 มิลลิวินาที พลังงาน 60 keV ที่ระยะ 5 เซนติเมตร 30 วินาที

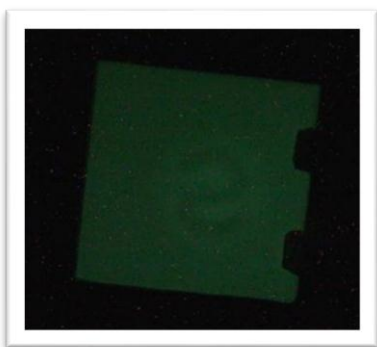


ได้สัดส่วนการทะลุผ่านของรังสีแกมมา

$$\frac{I_x}{I_0} = \frac{10637}{115178} = 0.092$$

ค่าเฉลี่ยความสว่าง = 57.483 , $\Phi = 3,531,000 \frac{\gamma}{\text{cm}^2\text{-s}}$
คิดเป็นค่าเฉลี่ยความสว่างที่ได้เท่ากับ 1.6×10^{-5} ต่อ $\gamma/\text{cm}^2\text{-s}$

4.1.2 Cs-137 ความแรง 100 มิลลิวินาที พลังงาน 662 keV ที่ระยะ 5 เซนติเมตร 30 วินาที



ได้สัดส่วนการทะลุผ่านของรังสีแกมมา

$$\frac{I_x}{I_0} = \frac{53763}{57726} = 0.931$$

ค่าเฉลี่ยความสว่าง = 22.474 , $\Phi = 10,004,500$
คิดเป็นค่าเฉลี่ยความสว่างที่ได้เท่ากับ 2.3×10^{-6} ต่อ $\gamma/\text{cm}^2\text{-s}$

4.1.3 Co-60 ความแรง 2 มิลลิวินาที พลังงาน 1173 และ 1332 keV ที่ระยะ 5 เซนติเมตร 30 วินาที

ผลการทดสอบพบว่าไม่สามารถเห็นแสงที่เกิดขึ้นที่ฉากเรืองรังสี PI200 เนื่องจากประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีไปเป็นแสงลดลงเพราะรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 มีพลังงานสูงมาก ประกอบกับต้นกำเนิดรังสีที่ใช้มีความแรงไม่มากด้วย จากการวัดรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านฉากเรืองรังสีก็พบว่าสามารถทะลุผ่านได้ประมาณ 100 %

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการเกิดแสงที่ฉากเรืองรังสี และในการทะลุผ่านฉากเรืองรังสีของรังสีแกมมาเป็นไปตามที่คาดตามทฤษฎี คือเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาสูงขึ้นจะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยากับฉากน้อยลง หรือทะลุผ่านออกไปโดยไม่เกิดปฏิกิริยามากขึ้น แต่การที่เห็นแสงได้เมื่อใช้รังสีแกมมาพลังงาน 662 keV จาก Cs-137 นั้น แสดงว่าน่าจะนำไปใช้งานได้กับรังสีแกมมาพลังงานสูงถึง 662 keV เป็นอย่างน้อย ดังนั้นหากนำไปใช้งานกับรังสีแกมมาจาก Ir-192 และ Se-75 ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า ย่อมมีประสิทธิภาพในการเกิดแสงได้ดีกว่าจาก Cs-137 ซึ่งก็เพียงพอที่จะนำเทคนิคนี้ไปใช้งาน และมีประโยชน์ต่องานตรวจสอบวัสดุ เพราะโดยทั่วไปใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 เกือบ 100 % ตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย ส่วน Se-75 เพิ่งเริ่มมีการใช้งานแต่จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเนื่องจากมีพลังงานต่ำกว่า Ir-192 เล็กน้อย

4.2 ผลการทดสอบวัดค่าสัญญาณรบกวน เมื่อปรับค่า ISO ตั้งแต่ 100-6400

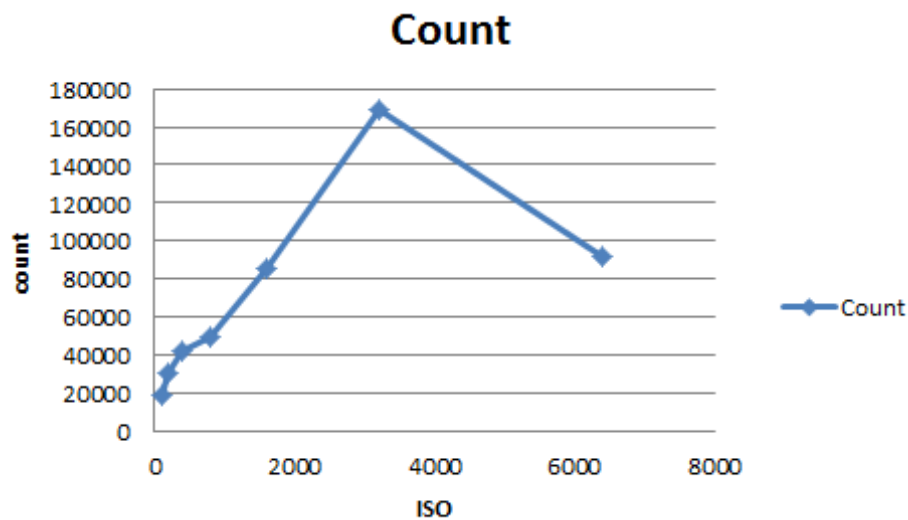
จากการบันทึกภาพบนฉากเรืองรังสี PI200 เมื่อไม่มีชิ้นงาน โดยปรับค่า ISO ต่างกัน แล้วใช้โปรแกรม ImageJ นับจำนวนสัญญาณรบกวน (noisy signal) ซึ่งมีลักษณะเป็นจุด พบว่าเมื่อค่า ISO สูงขึ้นสัญญาณรบกวนจะเพิ่มขึ้น แต่ที่ ISO 6400 จำนวนนับกลับน้อยลงเนื่องจากภาพสว่างมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถเห็นสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดสว่างบางส่วน



รูปที่ 4.1 วัดค่าสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO 100 (ซ้าย) กับ ISO 6400 (ขวา)

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบวัดวัดค่าสัญญาณรบกวน เมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO ในระดับ 100 -6400

ISO	Count
100	18347
200	30951
400	42045
800	49226
1600	85402
3200	168765
6400	91477

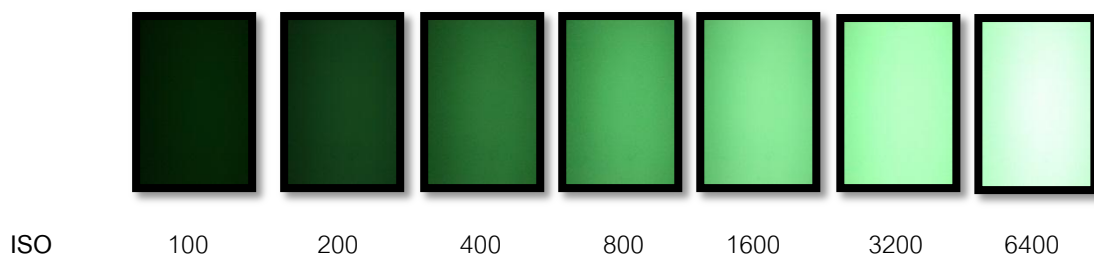


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณรบกวนกับค่า ISO

4.3 ผลการวัดความสว่างของแผ่น PI-200 จากต้นกำเนิดIr-192 เมื่อเปลี่ยนค่า ISO

เมื่อใช้ค่า ISO สูงภาพที่ได้มีความสว่างมากขึ้น ในทางปฏิบัติหากตั้งค่า ISO สูง จะใช้เวลาในการถ่ายภาพสั้นลง แต่จะต้องคำนึงถึงคุณภาพของภาพที่ได้ด้วย

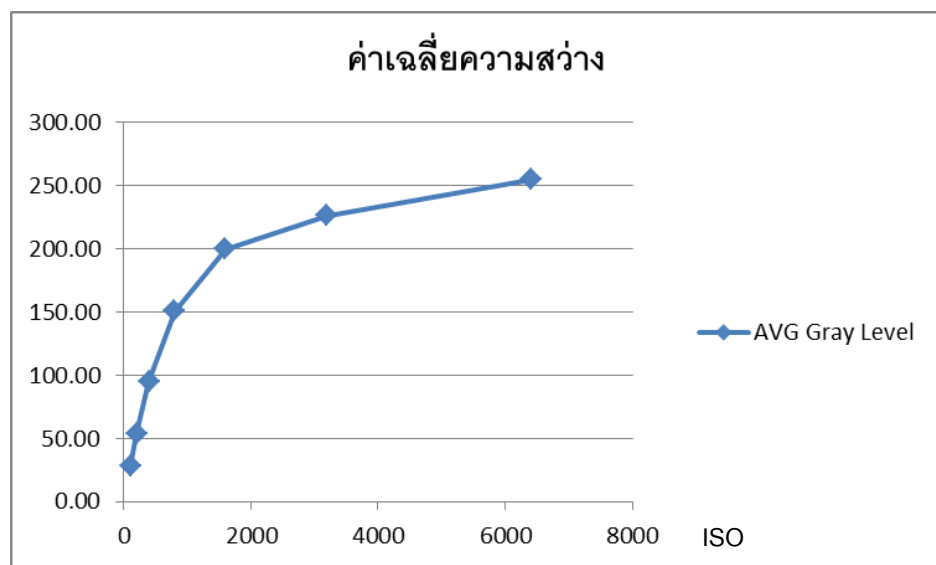
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 เมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO ต่างกัน



รูปที่ 4.3 ความสว่างของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 เมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO 100 - 6400

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบวัดวัดความสว่างเมื่อเปลี่ยนการตั้งค่า ISO 100 - 6400

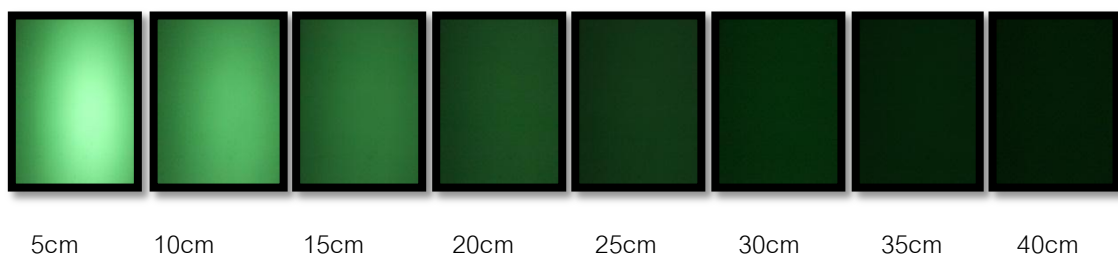
ISO	AVG Gray Level
100	28.29
200	54.04
400	95.37
800	150.91
1600	200.07
3200	226.45
6400	254.70



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างกับค่า ISO

4.4 ผลทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 เมื่อเปลี่ยนระยะห่างจากต้นกำเนิด Ir-192

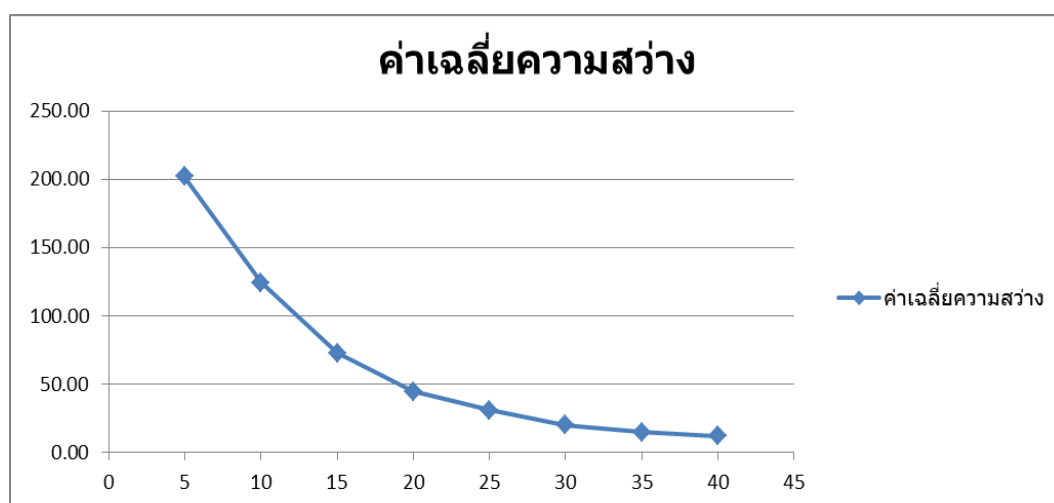
จากการวัดค่าความสว่างของฉากเรืองรังสีเมื่อบันทึกภาพที่ระยะต่าง ๆ กัน พบว่าความสว่างของภาพลดลงเมื่อระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสีเพิ่มขึ้น ซึ่งตามทฤษฎีความเข้มรังสีลดลงตามกฎกำลังสองผกผัน (inverse square law) ดังเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสว่างของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 เมื่อเปลี่ยนระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 เมื่อเปลี่ยนระยะทางตั้งแต่ 5 - 40 เซนติเมตร

ระยะcm	ค่าเฉลี่ยความสว่าง
5	201.91
10	124.46
15	72.71
20	44.81
25	31.09
30	20.02
35	15.13
40	12.11



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างเมื่อบันทึกภาพที่ระยะต่าง ๆ จากต้นกำเนิดรังสี

4.5 ผลการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 เมื่อใช้ต้นกำเนิด Se-75 ความแรง 69.9 คูรี ที่ระยะ 40 เซนติเมตร โดยใช้ระยะเวลาถ่ายภาพต่าง ๆ กัน

ผลการทดสอบกับรังสีแกมมาจาก Se-75 ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า Ir-192 พบว่าให้ความสว่างของภาพได้ดีแม้ใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อย เนื่องจาก Se-75 มีความแรงรังสีสูง

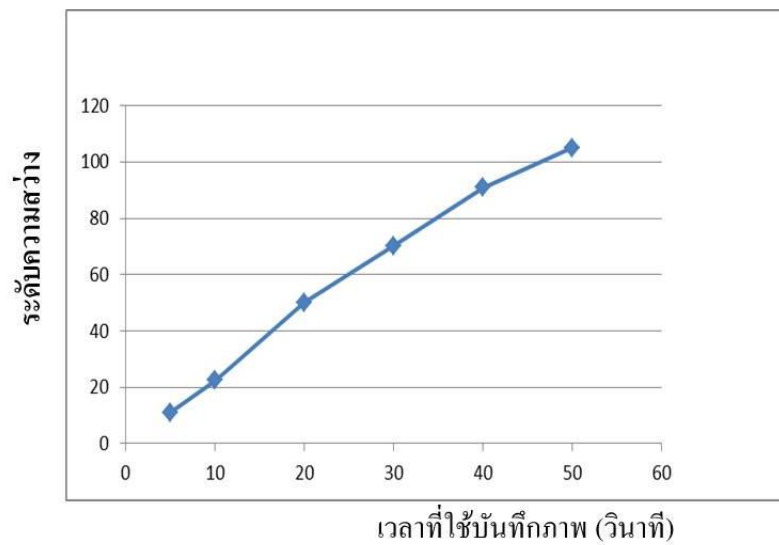


เวลาที่ใช้นับที่ภาพ 5 sec 10 sec 20 sec 30 sec 40 sec 50 sec

รูปที่ 4.7 ความสว่างของฉากเรืองรังสี PI-200 เมื่อถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจาก Se-75 ที่เวลาต่าง ๆ

ตารางที่ 4.4 ความสว่างของฉากเรืองรังสี เมื่อถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาจาก Se-75 ที่เวลาต่าง ๆ

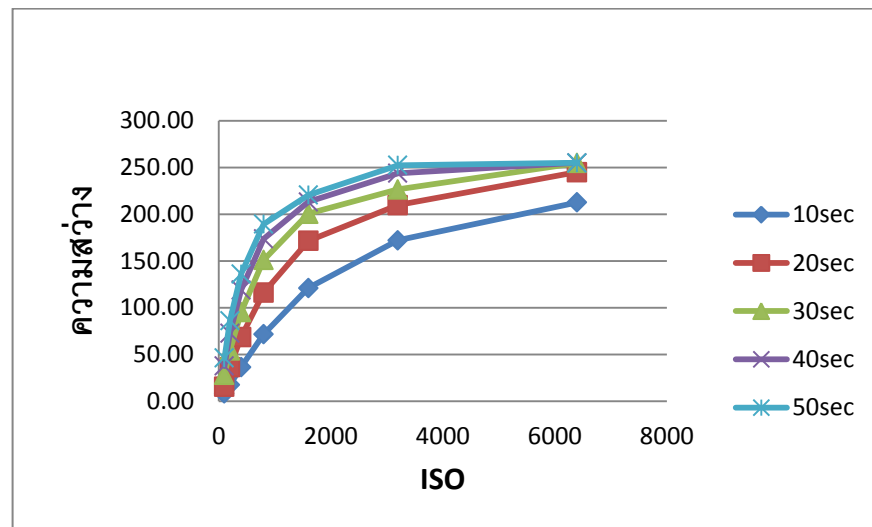
sec	AVG
5	11
10	22
20	50
30	70
40	91
50	105



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสว่างเมื่อเปลี่ยนเวลา

ตารางที่ 4.5 เฉลี่ยความสว่างของภาพที่ระยะเวลาในการบันทึกภาพ และค่า ISO ต่าง ๆ กัน
เมื่อถ่ายภาพจากต้นกำเนิดรังสี Ir-192 ความแรง 8.9 คูรี ที่ระยะ 20 เซนติเมตร

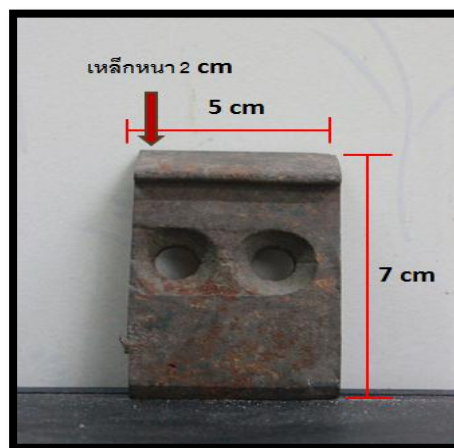
ISO	10sec	20sec	30sec	40sec	50sec
100	8.27	15.39	28.29	37.6	46.25
200	17.49	36.24	54.04	72.71	86.1
400	36.52	68.6	95.37	119.02	136.09
800	71.47	116.01	150.91	173.58	189.29
1600	121.04	171.54	200.45	213.08	220.48
3200	171.98	209.69	226.45	243.79	252.42
6400	212.72	244.92	254.7	254.97	254.99



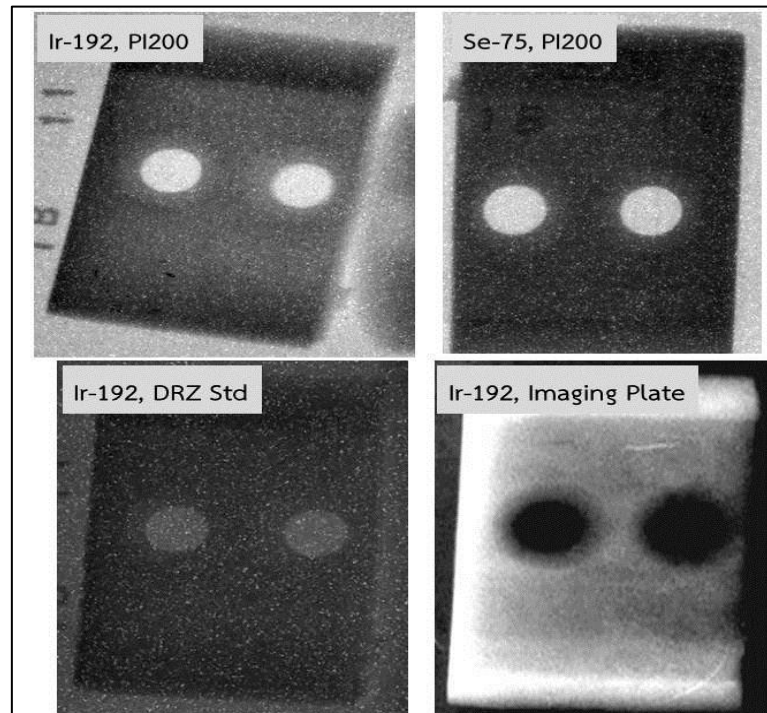
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเฉลี่ยความสว่างของภาพกับระยะเวลาในการบันทึกภาพ ที่ค่า ISO ต่าง ๆ กัน เมื่อถ่ายภาพจากต้นกำเนิดรังสี Ir-192 ความแรง 8.9 คูรี ที่ระยะ 20 เซนติเมตร

4.6 ผลการทดสอบถ่ายภาพตรวจสอบชิ้นงานที่มีรอยบกพร่อง

1). ผลการทดสอบถ่ายภาพเหล็กหนา 2 ซม. ที่มีรู 2 รู โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75, จากเครื่องรังสีชนิด PI-200 และ DRZ Standard เปรียบเทียบกับแผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) พบว่า ภาพที่ได้มีความคมชัดและข้อบกพร่องของชิ้นงานใกล้เคียงกัน

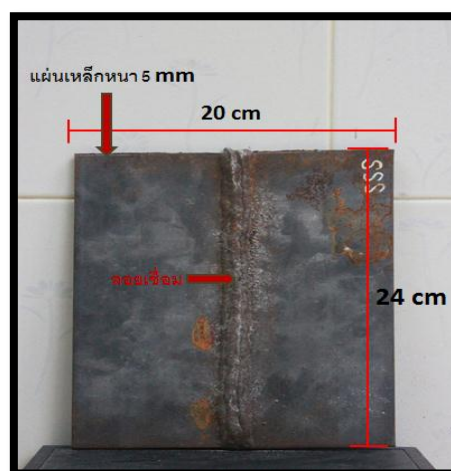


ชิ้นงาน

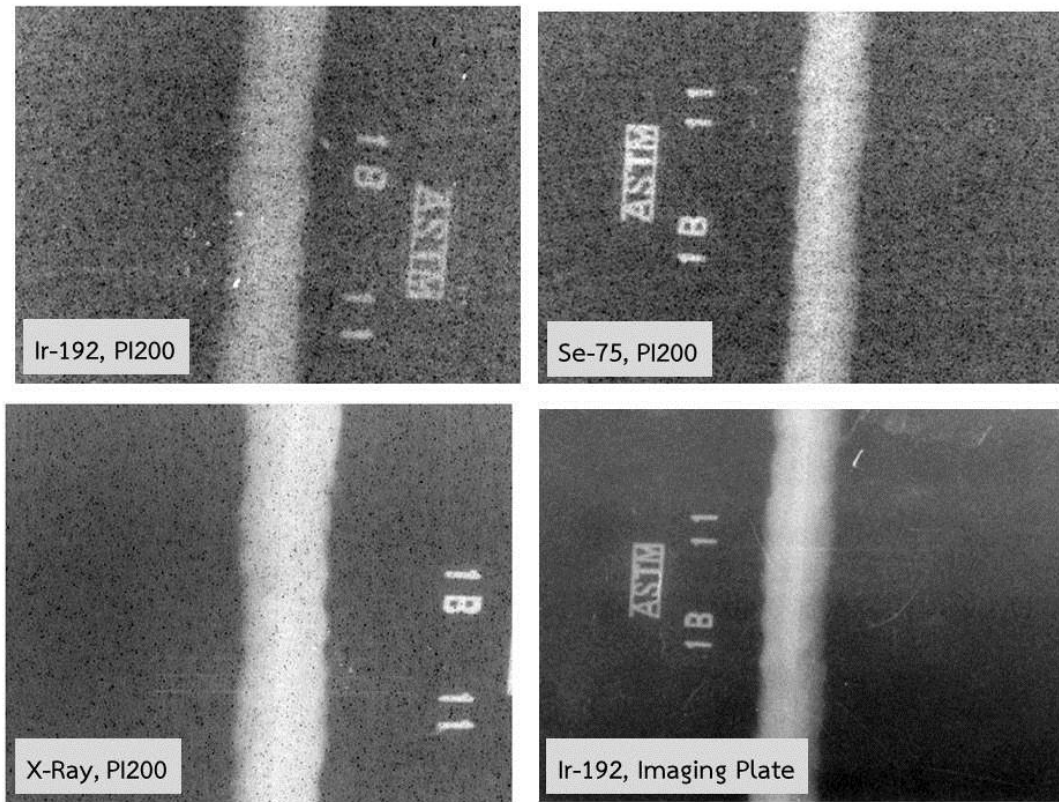


รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายชิ้นงานเหล็กหนา 2 ซม. ที่มีรู 2 รู และมีรอยบกพร่อง เมื่อถ่ายด้วยฉากเรืองรังสี PI200, DRZ Standard และแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75

2). ผลการทดสอบถ่ายภาพรอยเชื่อม โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75, ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 และ DRZ Standard เปรียบเทียบกับแผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) พบว่าภาพที่ได้จากต้นกำเนิดรังสี Se-75/x-ray มีความคมชัดและข้อบกพร่องของชิ้นงาน ดีกว่า Ir-192



ชิ้นงาน



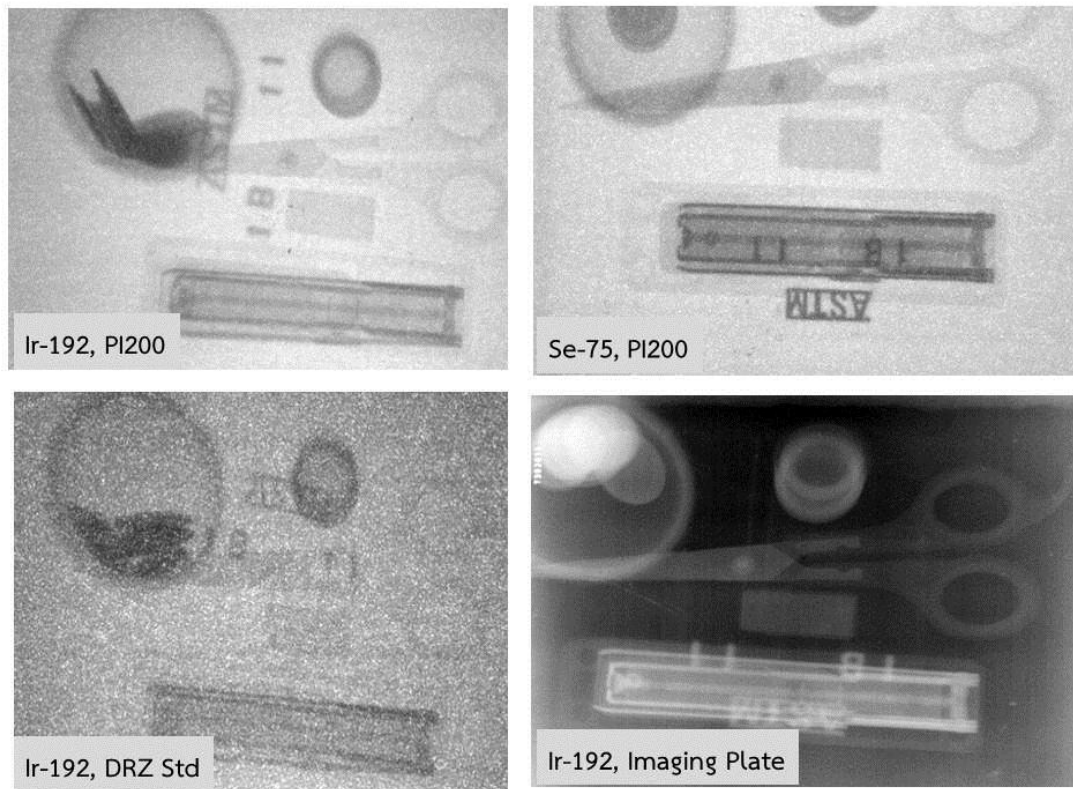
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายแผ่นเหล็กที่มีรอยเชื่อม เมื่อถ่ายด้วยฉากเรืองรังสี PI200 และแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192, Se-75 และรังสีเอกซ์

4.7 ผลการทดสอบการถ่ายภาพตรวจสอบวัสดุแปลกปลอม/ซ่อนเร้น

1). ผลการทดสอบถ่ายภาพกล่องพัสดุไปรษณีย์ที่มีสิ่งของบรรจุอยู่ภายใน โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75, ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 และ DRZ Standard เปรียบเทียบกับแผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) พบว่าภาพที่ได้จากต้นกำเนิดรังสี Se-75 มีความคมชัดกว่าต้นกำเนิดรังสี Ir-192 โดยใช้ฉากเรืองรังสี PI-200/DRZ Standard



กล่องพัสดุไปรษณีย์ที่บรรจุสิ่งของไว้ภายใน

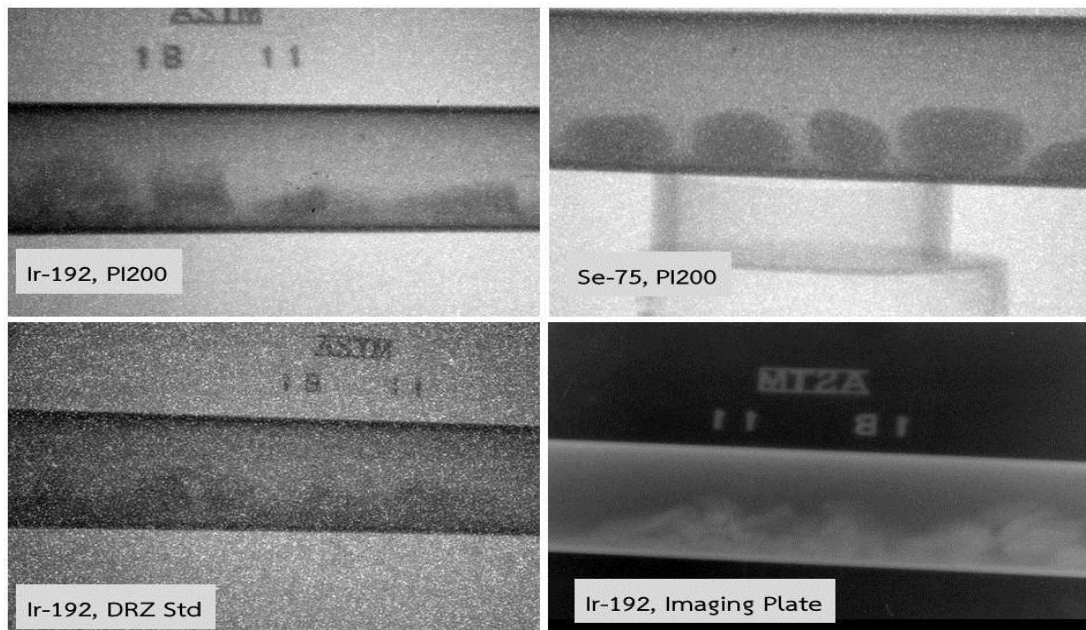


รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายล่องพัสดุไปรษณีย์ที่บรรจุสิ่งของไว้ภายใน เมื่อถ่ายด้วยฉากเรืองรังสี PI200, DRZ Standard และแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75

2). ผลการทดสอบถ่ายภาพท่อเหล็กที่มีก้อนดินและหินภายใน โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75, ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 และ DRZ Standard เปรียบเทียบกับแผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) พบว่าภาพที่ได้จากต้นกำเนิดรังสี Se-75 มีความคมชัดกว่าต้นกำเนิดรังสี Ir-192 โดยใช้ฉากเรืองรังสี PI-200/DRZ Standard

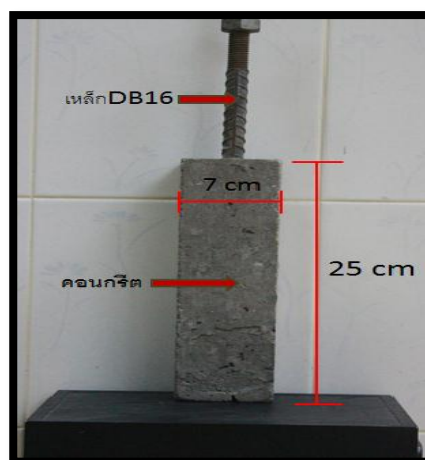


ท่อเหล็กกลม รัศมี 2.5 เซนติเมตร มีก้อนดินและหินอยู่ภายใน

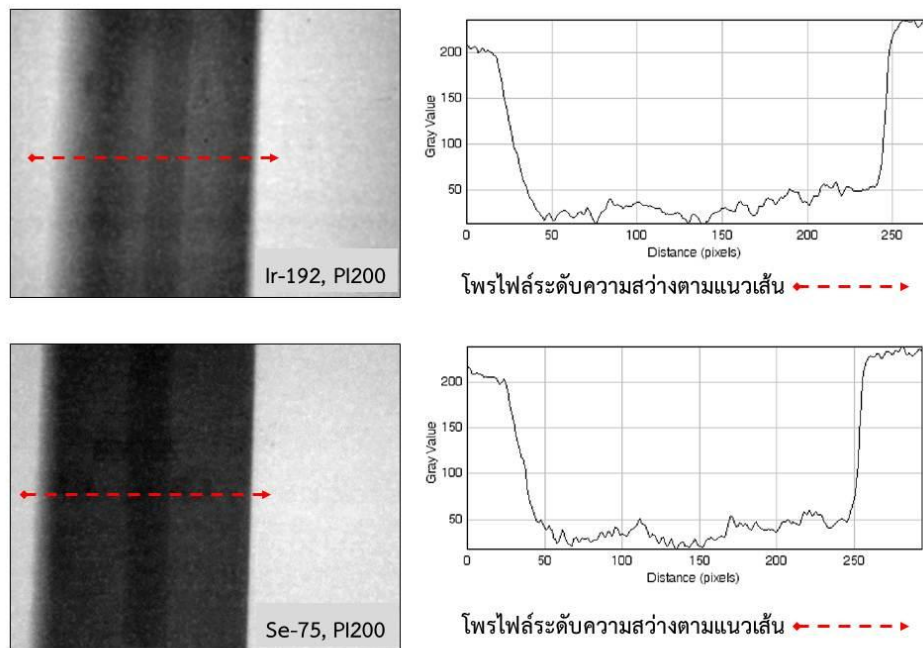


รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายท่อเหล็กที่มีก้อนดินและหินอยู่ภายใน เมื่อถ่ายด้วยฉากเรืองรังสี PI200, DRZ Standard และแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75

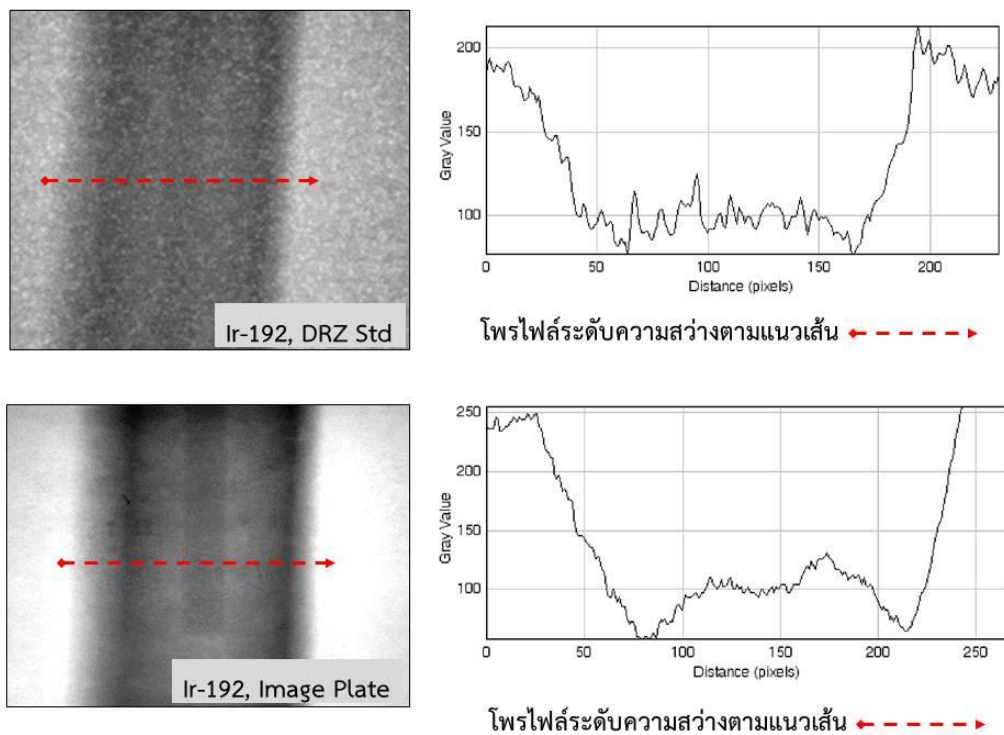
3). ผลการทดสอบถ่ายภาพแท่งคอนกรีตที่มีเหล็กอยู่ตรงกลาง โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75, ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 และ DRZ Standard เปรียบเทียบกับแผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) พบว่าภาพที่ได้จากต้นกำเนิดรังสี Se-75/Ir-192 เมื่อดูจากโพรไฟล์สามารถมองเห็นเหล็กเส้นได้และมีความคมชัดใกล้เคียงกันโดยใช้ฉากเรืองรังสี PI-200



แท่งคอนกรีตที่มีเหล็กอยู่ตรงกลาง



รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายแท่งคอนกรีตที่มีเหล็กอยู่ตรงกลาง เมื่อถ่ายด้วยฉากเรืองรังสี PI200, โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และ Se-75



รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายแท่งคอนกรีตที่มีเหล็กอยู่ตรงกลาง เมื่อถ่ายด้วยฉากเรืองรังสี DRZ Standard และแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการทดลองหาประสิทธิภาพและความไวในการเกิดแสง ของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 สำหรับรังสีแกมมาพลังงานต่าง ๆ ได้แก่ 60 keV จาก Am-241 , 96-400 keV จาก Se-75, 300-600 keV จาก Ir-192 , 662 keV จาก Cs-137 และ 1.17 กับ 1.33 MeV จาก Co-60 ซึ่งเห็นได้ว่าความสว่างหรือความไวในการเกิดแสงของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 ขึ้นอยู่กับพลังงานและระยะเวลาของการถ่ายภาพโดยฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 จะมีความไวสูงหรือสว่างมาก เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีพลังงานต่ำ แต่ในทางกลับกันเมื่อต้นกำเนิดที่รังสีที่มีพลังงานสูงฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 เกิดความสว่างน้อยมาก จากการคำนวณระดับความสว่างที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสี Am-241 และ Cs-137 คำนวณระดับความสว่างที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสี Am-241 และ Cs-137 คำนวณระดับความสว่างประมาณ 1.6×10^{-5} และ 2.3×10^{-6} photons/cm²-s ตามลำดับและเมื่อทดสอบสัดส่วนของการทะลุผ่านของรังสีจะพบว่าเมื่อใช้ต้นกำเนิดที่มีพลังงานต่ำการทะลุผ่านของรังสีน้อยกว่าต้นกำเนิดรังสีที่มีพลังงานสูงแสดงว่าเกิดปฏิกิริยากับฉากมากกว่า ซึ่งก็สอดคล้องกัน

5.1.2. ระบบรับภาพที่ใช้ฉากเรืองรังสี PI200 มีขนาด 36 ซม. x 36 ซม. x 60 ซม. น้ำหนักประมาณ 35 กิโลกรัม สามารถนำไปใช้นอกสถานที่ได้ ความกว้างและความยาวสามารถลดลงได้อีกเล็กน้อยเพื่อให้ใส่ฉากเรืองรังสีขนาด 30 ซม. x 30 ซม. ได้ ส่วนความสูง 60 ซม. ขึ้นอยู่กับความยาวโฟกัสของเลนส์ที่ใช้ หากต้องการลดความสูงลงอีกก็สามารถทำได้ด้วยการเปลี่ยนเป็นเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้น เพื่อให้สามารถวางกล้องได้ใกล้ฉากเรืองรังสีมากขึ้น โดยที่ยังเห็นภาพบนฉากเรืองรังสีได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามในงานที่ชิ้นงานมีขนาดเล็กสามารถใช้ฉากขนาดเล็กซึ่งจะทำให้ขนาดของกล้องที่บแสงมีขนาดและน้ำหนักลดลงได้มาก

5.1.3 จากการทดสอบความสว่างของฉากเรืองรังสี PI-200 ขนาด 30 ซม. x 30 ซม. จากต้นกำเนิด Ir-192 ที่ระยะ 15 เซนติเมตร โดยเปลี่ยน ISO จะเห็นได้ว่าเมื่อปรับ ISO ตั้งแต่ 100 - 6400 ความสว่างของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 จะมีค่าเฉลี่ยของความสว่างตั้งแต่ 28 - 254 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความสว่างจะมีค่ามากหรือน้อยจะแปรผันตรงกับค่า ISO เมื่อพลังงานของต้นกำเนิดรังสี ระยะเวลา ระยะห่างของต้นกำเนิดรังสีกับฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 เท่ากัน

5.1.3 จากการทดสอบความสว่างของฉากเรืองรังสี PI-200 ขนาด 30 ซม. x 30 ซม. จากต้นกำเนิด Ir-192 ที่ระยะ 15 เซนติเมตร โดยเปลี่ยนระยะห่างในการถ่ายภาพ จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนระยะห่าง ตั้งแต่ 5-40 เซนติเมตร ความสว่างของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 จะมีค่าเฉลี่ยของความสว่างตั้งแต่ 201-12 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความสว่างจะมีค่ามากหรือน้อยจะแปรผกผันกับ

ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 เมื่อพลังงานของต้นกำเนิดรังสี/ระยะเวลา/ISO เท่ากัน

5.1.4 จากการทดสอบความสว่างของแผ่น PI-200 ขนาด 30 ซม. x 30 ซม. จากต้นกำเนิด Se-75 ที่ระยะ 40 เซนติเมตรโดยเปลี่ยนเวลาในการถ่ายภาพ จะเห็นได้ว่าเมื่อเปลี่ยนระยะเวลาในการถ่ายภาพ ตั้งแต่ 5-50 วินาที ความสว่างของฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 จะมีค่าเฉลี่ยของความสว่าง ตั้งแต่ 11-105 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความสว่างจะมีค่ามากหรือน้อยจะแปรผันตรงกับระยะเวลาในการถ่ายภาพเมื่อพลังงานของต้นกำเนิดรังสี/ISO/ระยะห่างของต้นกำเนิดรังสีกับฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 เท่ากัน เนื่องจาก Se-75 มีพลังงานต่ำกว่า Ir-192 เมื่อตัวแปรเดียวกันค่าความสว่างของ Se-75 จะมีค่ามากกว่า Ir-192

5.1.5 จากข้อมูลค่าเฉลี่ยความสว่างของการเปรียบเทียบการเปลี่ยน ระยะเวลา และ ISO พบว่าระยะเวลาและ ISO มีการแปรผันตรงกับความสว่าง

5.1.6 จากผลการทดสอบถ่ายภาพเปรียบเทียบเหล็กหนาเจาะรูจากการใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192 /Se-75 และ ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200/DRZ และแผ่นบันทึกภาพ(Imaging plate)เพื่อหาข้อบกพร่องของชิ้นงาน พบว่าภาพที่ได้มีความคมชัดและข้อบกพร่องของชิ้นงานใกล้เคียงกัน

5.1.7 ผลการทดสอบถ่ายภาพเปรียบเทียบรอยเชื่อมจากการใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192/Se-75 /x-ray และ ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200/DRZ และ แผ่นบันทึกภาพ(Imaging plate) เพื่อหาข้อบกพร่องของชิ้นงาน พบว่าภาพที่ได้มีความคมชัดใกล้เคียงกันส่วนข้อบกพร่องของชิ้นงานต้นกำเนิดรังสี se75/x-ray จะเห็นข้อบกพร่องของชิ้นงานมากกว่าที่ใช้ต้นกำเนิด Ir-192 ไม่มาก

5.1.8 จากผลการทดสอบถ่ายภาพเปรียบเทียบกล่องไปรษณีย์/ท่อเหล็ก/คอนกรีตเสริมเหล็กจากการใช้ต้นกำเนิดรังสี Ir-192/Se-75 และ ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200/DRZ และ แผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) เพื่อตรวจสอบวัสดุแปลกปลอม/ซ่อนเร้น พบว่าภาพที่ได้จากต้นกำเนิดรังสี Se-75 โดยใช้ฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 จะมีความคมชัดกว่าต้นกำเนิดรังสี Ir-192 และภาพที่ได้จากฉากเรืองรังสีชนิด PI-200 จะมีความสว่างและความคมชัดมากกว่าฉากเรืองรังสีชนิด DNZ ส่วนการตรวจสอบวัสดุแปลกปลอม/ซ่อนเร้น การใช้ระบบการถ่ายภาพโดยใช้ฉากเรืองรังสีจะใช้เวลาเร็วกว่าการใช้แผ่นบันทึกภาพ(Imaging plate)มาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากการออกแบบกล่องที่บัสแสงที่มีประตูเปิด-ปิดประตูเดียวจึงทำให้ยากต่อการติดตั้งจากเครื่องรังสีภายในกล่องควรมีประตูอีก 1 บาน เพื่อใช้ติดตั้งจากเครื่องรังสีโดยตรง

5.2.2 ควรพัฒนาระบบการถ่ายภาพแบบไม่ใช้สายต่อ USB cable ยาว 10 เมตร และ USB HUB เนื่องจากการส่งผ่านข้อมูลจะใช้เวลานานและไม่สะดวกต่อการจัดอุปกรณ์โดยเปลี่ยนใช้กล่องรุ่นอื่นที่สามารถควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านทาง Wi-Fi และ Bluetooth ได้

รายการอ้างอิง

1. Wilfried Meyer, Thomas Bartels and Norbert Lange. Construction of the avian skull, as demonstrated by direct magnifying microfocallradiography (Aves), federal republic of Germany, 1991.
2. Hiroyuki Uchida, Kazuto Hasuike, Kenichi Torii and HirochiTsunemi. Contrast Enhance Imaging with Microfocus X-ray Generator and CCD Camera, Osaka University, 2006.
3. คมกฤต มะวิญชร. การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
4. ธรรมวัตร ยันตะพลา. การพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ชนิดไมโครโฟกัสโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
5. นพดล นาคเงิน. การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอน โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน, ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
6. J.R. Lamarsh. Introduction to Nuclear Engineering. 2nd ed. Addison-Wesley, Massachusettes, 1983.
7. E. Browne and R.B. Firestone, Table of Radioactive Isotopes. John Wiley & Sons, New York, 1986.
8. T.S. Curry, J.E. Dowdey and R.C. Murry Jr. Christensen's Physics of Diagnostic Radiology. 4th ed. Lea & Febiger, Pennsylvania, 1990.
9. <http://www.compepid.tusegee.edu/syllabi/clinical/small/radiology/chapter10.html>. (accessed on June 2012).

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกิตติวิทย์ เอี่ยมสำอางค์ เกิดวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2527 จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาดอนเมือง กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2551 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2553