

การตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี



นายอำเภอ สุขบำรุง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-5353-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INSPECTION OF THERMAL INSULATED PIPES USING THE COMPUTED  
RADIOGRAPHIC TECHNIQUE

Mr.Umpai Sookbumpeng

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

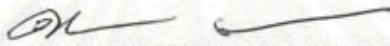
Academic Year 2005

ISBN 974-17-5353-5

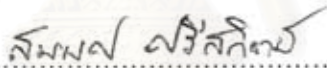
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจสอบต่อหุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์กราฟิ
โดย	นายอำเภอ สุขบำเพ็ญ
สาขาวิชา	นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว


---

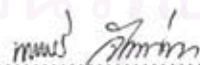
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

อำเภอ สุขบำเพ็ญ : การตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อน โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟฟี (INSPECTION OF THERMAL INSULATED PIPES USING THE COMPUTED RADIOGRAPHIC TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา: ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, 105 หน้า.ISBN 974-17-5353-5

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนขนาดมาตรฐาน 3 - 6 นิ้ว ในสภาพมีฉนวนหุ้ม ด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟฟี (Computed Radiography) โดยใช้แผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) ของบริษัทฟูจิฟิล์มรุ่น BAS-MS ร่วมกับฉากตะกั่วเพิ่มความเข้มรังสีความหนา 0.25 มม. และประยุกต์ใช้พอดเดอ์-บั๊กกีกกริด (Potter-Bucky grid) เพื่อลดผลการรบกวนของรังสีกระเจิงด้านหน้าแผ่นบันทึกภาพ พร้อมทั้งพัฒนาโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อจากภาพถ่ายรังสี ในการถ่ายภาพใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากอิริเดียม-192 ความแรง 32 คูรี เปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดแรงดันไฟฟ้าสูงคงที่ 160 กิโลโวลต์ ขนาดโฟกัส 400 ไมโครเมตร

ผลการทดลองพบว่า ภาพถ่ายรังสีของท่อหุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้รังสีแกมมาจาก Ir-192 มีความชัดเจนมากกว่าการใช้รังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ จากหลอดรังสีเอกซ์ การใช้แผ่นบันทึกภาพให้คุณภาพของภาพถ่ายทัดเทียมกับฟิล์มถ่ายภาพ และมีข้อได้เปรียบในส่วน of สัญญาณภาพระบบเชิงเลข ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพของภาพและใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความหนาของผนังท่อเพื่อแสดงค่าความหนาทันที จากการใช้โปรแกรมประเมินความหนาที่พัฒนาขึ้นและเลือกอ่านค่าความหนาบริเวณภาพผนังท่อที่ชัดเจน พบว่ามีความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าน้อยกว่า 5%

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....  
สาขาวิชา ..นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....  
ปีการศึกษา ..2548.....

ลายมือชื่อนิสิต.....*ใน กัทมร*.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*ปิ๋ว*.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*นพ. สอน*.....

## 4570653921 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD : IMAGING PLATE / PHOTOSTIMULABLE LUMINESCENCE / INDUSTRIAL RADIOGRAPHY / COMPUTED RADIOGRAPHY

UMPAI SOOKBUMPERNG : INSPECTION OF THERMAL INSULATED PIPES USING THE COMPUTED RADIOGRAPHIC TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.SUVIT PUNNACHAIYA, THESIS CO-ADVISOR : ASSOC.PROF. NARES CHANKOW, 105 pp. ISBN 974-17-5353-5

This research was aimed to develop a method for inspection of thermal insulated pipes of 3 – 6 inches standard diameter by using Computed Radiographic technique. The Fujifilm BAS-MS imaging plate combined with a 0.25 mm thick lead intensifying screen was used as the image recorder. To reduce scattered radiation, a Potter-Bucky grid was placed on the film/screen cassette. In addition, a software for evaluation of the pipe wall thickness was also developed. The technique was tested with both x-rays from a 160 kV constant potential x-ray machine with 400  $\mu\text{m}$  focus size and gamma-rays from a 32 Ci  $^{192}\text{Ir}$ .

The result revealed that the radiographic images of thermal insulated pipes from  $^{192}\text{Ir}$  gamma-rays gave the better image quality than those from 160 kV x-rays. It was also showed the image quality from the image plate was comparable to that obtained from a Kodak AA400 industrial x-ray film. The image from the image plate could be further enhanced and analyzed by using the developed software. The error of pipe wall thickness determined by the proposed technique and the developed software was found to be less than 5%.

Department .....Nuclear Technology...

Field of study ....Nuclear Technology...

Academic year ...2005.....

Student's signature.....*Umpai Sookbumpeng*  
Advisor's signature.....*Suvit Punnachaiya*  
Co-Advisor's signature.....*Nares Chankow*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตลอดจนอาจารย์ที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีทุก ๆ ท่านที่ได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในเรื่องต่าง ๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ ที่นี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นฤปวิจักก์ เงินวิจิตร ภาควิชารังสีและไอโซโทป ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องอ่านแผ่นบันทึกภาพในช่วงเวลาเริ่มงานวิทยานิพนธ์ นายสมยศ ปรงเมือง และคุณ โกศล มุมบ้านเช่า สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ให้ความอนุเคราะห์เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาและทำชิ้นงานทดสอบใช้ในการทดลอง รวมทั้ง บริษัท คงศักดิ์ เอ็กซ์เรย์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ สร้างอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทำวิทยานิพนธ์ นางสาวสุธาสิณี หาญชูเกียรติ ช่วยเหลือแนะนำด้านโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อจากภาพถ่ายรังสี นอกจากนี้ นายสุรพงษ์ ขุนทอง บริษัท ปตท. เคมีคอล จำกัด (มหาชน) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ต่อหุ้มฉนวนความร้อน

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนวิจัยวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ พร้อมทั้ง นายนานิตย์ จิตรภักดี นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี และเพื่อน ๆ น้อง ๆ นิสิตทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ มาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณบิดา คุณมารดา ที่ช่วยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมากระทั่งทำให้การดำเนินงานของวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎี.....	5
2.1 หลักการทั่วไปของการถ่ายภาพด้วยรังสี.....	5
2.1.1 เทคนิคการใช้ฟิล์มเป็นอุปกรณ์บันทึกภาพ.....	6
2.1.2 กระบวนการล้างฟิล์ม.....	6
2.1.3 การจัดวางอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ.....	7
2.2 การถ่ายภาพรังสีโดยเทคนิคไม่ใช่ฟิล์ม (Filmless radiography).....	9
2.3 การถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี.....	9
2.3.1 หลักการของเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี.....	9
2.3.2 แผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate).....	12
2.3.3 กระบวนการลบแผ่นบันทึกภาพ.....	14
2.3.4 เปรียบเทียบเทคนิคการถ่ายภาพด้วยฟิล์มกับคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี.....	15
2.4 กริดสำหรับงานถ่ายภาพรังสี (Radiography grid).....	15
3 การพัฒนาวิธีตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี.....	20
3.1 การพัฒนาโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อ.....	20
3.1.1 ข้อมูลเทคนิคเพื่อการพัฒนาโปรแกรม.....	20

บทที่	หน้า
3.1.2 การออกแบบโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อ.....	23
3.1.3 โครงสร้างของโปรแกรม.....	24
3.2 การทดสอบหาเงื่อนไขและเทคนิคการถ่ายภาพ.....	28
3.2.1 เส้นลวดบังซึ่งคุณภาพของภาพ.....	28
3.2.2 เหล็กขั้นบันได (Step wedge).....	29
3.2.3 ชิ้นงานท่อเหล็กขั้นบันได.....	29
3.2.4 ท่อเหล็กคาร์บอนหุ้มฉนวนความร้อน.....	29
3.3 การออกแบบโต๊ะถ่ายภาพรังสี.....	30
3.4 มาตรฐานอ้างอิงรองรับเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี.....	33
4 การวิจัยและผลการวิจัย.....	35
4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	35
4.2 การทดลองเปรียบเทียบความแตกต่างของแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์ม.....	37
4.2.1 การทดสอบคุณลักษณะของย่านตอบสนองความเปรียบต่าง.....	37
4.2.2 การหาค่าเอกซ์โพเซอร์ของเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี.....	38
4.2.3 การหาความไวในการถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวน.....	40
4.2.4 การเสริมคุณภาพของภาพจากการใช้โปรแกรมปรับปรุงคุณภาพของภาพ.....	41
4.3 การหาเงื่อนไขเพื่อการถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวนด้วยรังสีเอกซ์และแกมมา.....	43
4.3.1 การศึกษาผลของแผ่น intensify screen ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และ แกมมา.....	43
4.3.2 การถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวนด้วยรังสีเอกซ์.....	45
4.3.3 การถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวนด้วยรังสีแกมมา.....	45
4.4 การใช้เทคนิค Bucky กับภาพถ่ายรังสีของท่อหุ้มฉนวน.....	46
4.4.1 การถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวนด้วยรังสีเอกซ์ร่วมกับเทคนิค Bucky.....	46
4.4.2 การถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวนด้วยรังสีแกมมาร่วมกับเทคนิค Bucky.....	47
4.5 การอ่านขนาดความหนาผนังท่อด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น.....	48
5 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	52
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.2 วิจารณ์ผล.....	53
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	53



บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก .....	56
ภาคผนวก ก .....	57
ภาคผนวก ข .....	87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ญ

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 ความหนาสูงสุดที่ต้นกำเนิดรังสีสามารถถ่ายภาพ.....	21
ตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนด Class ของแผ่นบันทึกภาพ.....	34
ตารางที่ 4.1 ผลการอ่านความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายรังสีเอกซ์ด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับ ความหนาผนังท่อจริง.....	50
ตารางที่ 4.2 ผลการอ่านความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับ ความหนาผนังท่อจริง.....	51



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ฉ

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบลักษณะภายในชิ้นงาน.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการล้างฟิล์ม.....	7
รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการเกิดความไม่คมชัดจากการจัดระบบการถ่ายภาพ.....	7
รูปที่ 2.4 เทคนิคถ่ายภาพแบบเส้นสัมผัสสวาง และเทคนิคถ่ายภาพความหนาสองด้าน.....	8
รูปที่ 2.5 แผนภาพโครงสร้างแถบพลังงานของสารเรืองแสง.....	10
รูปที่ 2.6 แผนภาพตัดขวางของแผ่นบันทึกภาพแสดงถึงโครงสร้างชั้นสารเรืองแสง.....	12
รูปที่ 2.7 แผนผังโครงสร้างแถบพลังงานของ BaFBr:Eu <sup>+2</sup> .....	13
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี.....	14
รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของกริดตามเทคนิคของ Bucky.....	16
รูปที่ 2.10 รูปแบบของกริดชนิดต่าง ๆ .....	17
รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพนิยามของ Grid ratio.....	17
รูปที่ 2.12 แสดงแผนภาพนิยามของ Grid cutoff.....	18
รูปที่ 2.13 แสดงผลของความเปรียบต่างในการถ่ายภาพโดยใช้กริดกับไม่ใช้กริด.....	18
รูปที่ 3.1 การจัดวางท่อที่หุ้มฉนวนเพื่อถ่ายภาพด้วยเทคนิคTangential.....	22
รูปที่ 3.2 ผังไหลขั้นตอนการใช้โปรแกรม.....	23
รูปที่ 3.3 ผังไหล (flow chart) ของโปรแกรมการอ่านค่าความหนาผนังท่อ.....	25
รูปที่ 3.4 ภาพหน้าจอแสดงการเปิดเพิ่มรูปภาพ.....	26
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงตัวอย่างการใส่ค่าพารามิเตอร์.....	27
รูปที่ 3.6 จอภาพแสดงผลการประเมินหาความหนาจากโปรแกรม.....	27
รูปที่ 3.7 เส้นลวดบ่งชี้คุณภาพ (IQI).....	28
รูปที่ 3.8 เหล็กชั้นบันได.....	29
รูปที่ 3.9 ท่อเหล็กชั้นบันไดที่ใช้ในการทดสอบ.....	29
รูปที่ 3.10 ภาพตัวอย่างท่อหุ้มฉนวนความร้อน.....	30
รูปที่ 3.11 แสดงภาพแผ่น Bucky - grid.....	30
รูปที่ 3.12 โครงสร้างและโต๊ะสำหรับถ่ายภาพรังสี.....	31
รูปที่ 3.13 แสดงระบบ Potter-Bucky grid.....	32
รูปที่ 3.14 ภาพแสดงการปรับระยะโฟกัสและมุมเอียงของหลอดรังสีเอกซ์.....	33
รูปที่ 4.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ชุดขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสี และเครื่องอ่านปริมาณรังสีจากแผ่นบันทึกภาพ.....	36

## สารบัญญภาพ

๗

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายเหล็กขึ้นบันไดเพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองความเปรียบต่าง.....	38
รูปที่ 4.3 เส้นกราฟเอกซ์โพเซอรัของการใช้ Ir – 192 ความแรง 30 คูรี กับแผ่นบันทึกภาพ และฟิล์ม โกดัก AA400 (Type II) .....	39
รูปที่ 4.4 เส้นกราฟเอกซ์โพเซอรัของแผ่นบันทึกภาพและฟิล์ม Type II ในการใช้เครื่องกำเนิด รังสีเอกซ์ของบริษัท Balteau NDT รุ่น XSD 160.....	39
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายท่อและความชัดของเส้นลวดทดสอบจากการถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ 160 kV...	40
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายท่อและความชัดของเส้นลวดทดสอบจากการถ่ายรังสีแกมมาจาก Ir-192 ....	41
รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายก่อนและหลังปรับค่าความเปรียบต่าง.....	42
รูปที่ 4.8 แสดงภาพเปรียบเทียบการใช้ฟังก์ชันลดสัญญาณรบกวน (Noise reduction).....	42
รูปที่ 4.9 ภาพแสดงการเปรียบเทียบการใช้ Edge enhancement.....	43
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี ความหนา 0.25 มม. จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และแกมมา.....	44
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี ความหนา 0.125 มม. จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และแกมมา.....	44
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบผลภาพถ่ายของแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์มจากการถ่ายด้วยรังสีเอกซ์.....	45
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบผลภาพถ่ายของแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์มในการถ่ายด้วยรังสีแกมมา.....	46
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบภาพถ่ายด้วยเทคนิคใช้กริดในการถ่ายรังสีเอกซ์ (160 kV).....	47
รูปที่ 4.15 แสดงเปรียบเทียบภาพถ่ายด้วยเทคนิคใช้กริดในการถ่ายรังสีแกมมา (Ir-192).....	47
รูปที่ 4.16 แสดงหน้าจอภาพในการใส่พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ.....	48
รูปที่ 4.17 แสดงภาพหน้าจอขณะอ่านความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายรังสีเอกซ์.....	49
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายท่อหุ้มฉนวนรูปขึ้นบันไดด้วยรังสีเอกซ์หลังการปรับปรุง คุณภาพของภาพ.....	49
รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายท่อหุ้มฉนวนรูปขึ้นบันได ด้วยรังสีแกมมาหลังการปรับปรุง คุณภาพของภาพ.....	50

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

งานตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนในโรงกลั่นน้ำมันหรือปิโตรเคมี เป็นงานที่ต้องทำเป็นกิจวัตรตามวาระ เพื่อตรวจหาความหนาของผนังท่อบริเวณข้อต่อ หรือรอยต่อหลังการใช้งานไประยะหนึ่ง อาจเกิดการกัดกร่อน (Erosion) หรือการสึกกร่อน (Corrosion) ทำให้ผนังท่อบางลงจนถึงความหนาในระดับหนึ่งและจำเป็นต้องเปลี่ยน หรือบำรุงรักษา ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและความเสียหายที่รุนแรง การตรวจสอบที่นิยมใช้กันทั่วไปเป็นการถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคฟิล์ม ซึ่งต้องการกระบวนการล้างฟิล์มและบุคลากรที่มีความชำนาญเพื่อให้ได้คุณภาพที่สมบูรณ์ ก่อนนำไปวัดขนาดภาพถ่ายบนฟิล์มประกอบการคำนวณเชิงเรขาคณิตเพื่อหาความหนาผนังท่อ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีที่ไม่ใช้ฟิล์ม แต่ใช้แผ่นบันทึกภาพ (Image Plate, IP) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเคลือบสารเรืองแสงในกลุ่ม BaFBr:Eu<sup>+2</sup> มาบันทึกภาพถ่ายรังสีแทนฟิล์มและอ่านข้อมูลภาพด้วยการกระตุ้นให้เกิดแสงเรืองโดยระบบสแกนด้วยแสงเลเซอร์ จากนั้นประมวลข้อมูลภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เรียกเทคนิคการถ่ายภาพรังสีนี้ว่า เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี (Computed Radiography : CR) [1] เทคนิคนี้กำลังเริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้นในด้านการแพทย์ และในงานถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรม เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีความไวสูงกว่าฟิล์ม จึงใช้ปริมาณรังสีต่ำ และใช้เวลาในการถ่ายภาพน้อย ทำให้สะดวกในการควบคุมความปลอดภัยทางรังสี และแผ่นบันทึกภาพไม่ไวต่อแสงสว่างในระดับห้องปฏิบัติการ จึงสามารถจัดเตรียมแผ่นบันทึกภาพโดยไม่ต้องในห้องมืด หลังการอ่านข้อมูลภาพแล้วสามารถลบข้อมูลและนำกลับมาใช้งานใหม่ได้มากกว่า 1000 ครั้ง นอกจากนี้ยังมีการตอบสนองความเปรียบต่างในย่านกว้าง กว่าฟิล์มถ่ายภาพรังสี Type II ถึง 10<sup>3</sup> เท่า ทำให้สามารถถ่ายภาพชิ้นงานที่มีความแตกต่างของความหนาแน่นหรือความหนาได้มาก นอกจากนี้ยังสามารถใช้กระบวนการทางสัญญาณภาพปรับปรุงคุณภาพของภาพ เพื่ออ่านผลความเปรียบต่างภาพได้จากการถ่ายภาพเพียงครั้งเดียว ทำให้ประหยัดเวลาและลดการรับรังสี อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่มีผู้นำเทคนิคการถ่ายภาพแบบคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีมาใช้งานในด้านการทดสอบแบบไม่ทำลาย

ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้กับงานตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของภาพถ่ายกับการถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคฟิล์ม รวมทั้งพัฒนาการถ่ายภาพให้ได้ตามมาตรฐานสากล เนื่องจากเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีเป็นระบบแสดงภาพบนคอมพิวเตอร์ จึงเป็นการง่ายที่จะพัฒนาโปรแกรมประเมินความหนา ด้วยการคำนวณ

เชิงเรขาคณิตประกอบการอ่านความหนาผนังท่อ [2] จากภาพถ่ายรังสีบนคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง ซึ่งจะช่วยให้เกิดความสะดวกในการประเมินผลและสามารถบันทึกประวัติภาพถ่ายได้สะดวก รวดเร็ว

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อประยุกต์เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีโดยใช้วิธีคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีในงาน ตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อน
2. เพื่อพัฒนาวิธีการและโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อ

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ถ่ายภาพด้วยรังสี โดยใช้แผ่นบันทึกภาพ (Image Plate, IP) ชนิดความละเอียดสูง กับเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์และต้นกำเนิดรังสีแกมมา
2. พัฒนาวิธีการและโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อจากภาพถ่ายรังสี
3. ตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนตามขนาดมาตรฐานต่างๆและทดสอบโปรแกรมประเมินความหนา
4. เปรียบเทียบผลระหว่างเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี และเทคนิคฟิล์มซึ่งใช้ฟิล์ม Type II ในแง่ปริมาณรังสี ความคมชัด ความเปรียบต่าง ความไว และเวลาในการถ่ายภาพ เป็นต้น

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. ทดสอบคุณสมบัติของแผ่นบันทึกภาพ
3. ทดลองถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวนความร้อนด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี ให้ได้คุณภาพของภาพถ่ายสูงตามมาตรฐานสากลเปรียบเทียบกับเทคนิคฟิล์ม
4. พัฒนาวิธีการและโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อจากภาพถ่ายรังสี
5. ตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนตามขนาดมาตรฐานต่างๆ และทดสอบโปรแกรมประเมินความหนาผนังท่อ
6. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เทคนิคการตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อน โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี ซึ่งสามารถประเมินความหนาของผนังท่อได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องนำฉนวนความร้อนออก

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Uwe Ewert (1971) ทำวิจัยเรื่อง Upheaval in Industrial Radiography [3] งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์การถ่ายภาพรังสีทางการแพทย์ด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี ซึ่งใช้แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate) เป็นอุปกรณ์รับภาพแทนฟิล์มเอกซเรย์ มาใช้ในงานถ่ายภาพเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้านอุตสาหกรรม ผลการตรวจสอบอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างและองค์ประกอบพิเศษพบว่าเทคนิคนี้เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการถ่ายภาพด้วยรังสีน้อยกว่าฟิล์ม แผ่นบันทึกภาพมีการตอบสนองปริมาณรังสีเป็นเชิงเส้นในย่านกว้างกว่าฟิล์ม และข้อมูลภาพในระบบเชิงเลข ยังสามารถใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพ (Imaging Processing) ทำให้ได้ภาพชัดเจนขึ้น สามารถพัฒนาโปรแกรมประกอบในการสร้างภาพหลายมิติ การวัดความหนา และการตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องได้สะดวกรวดเร็ว

T. WAWRZINEK, U. ZSCHERPEL และ C. BELLON (1997) ทำวิจัยเรื่อง Wall Thickness Determination in Digital Radiography [4] งานวิจัยนี้เป็นการหาค่าประมาณความหนาของผนังชิ้นงานจากฟิล์มเอกซเรย์ด้วยการแปลงความเปรียบต่างภาพเป็นข้อมูลสัญญาณภาพเชิงเลข โดยความหนาของผนังทั้งสองด้านประมาณค่าจากการเปลี่ยนแปลงความดำของฟิล์ม และขอบที่ฉายภาพลงมา รวมทั้งการเปรียบเทียบผลการถ่ายภาพด้วยฟิล์มกับแผ่นบันทึกภาพ ซึ่งแผ่นบันทึกภาพมีข้อดีกว่าฟิล์มในการประเมินความหนาจากค่าความดำ เนื่องจากมีการตอบสนองเป็นเชิงเส้นที่ให้อ่านตอบสนอง (Dynamic range) กว้าง และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลังจากผ่านกระบวนการลบข้อมูลที่ไม่ต้องการออก รวมทั้งมีความไวในการถ่ายภาพรังสีมากกว่า อีกทั้งไม่ต้องใช้ห้องมืดและกระบวนการล้างฟิล์ม แต่ปัจจุบันแผ่นบันทึกภาพยังมีราคาค่อนข้างสูงและมีความไวต่อปริมาณรังสีที่กระเจิงซึ่งต้องป้องกัน

Alexis BLETTNER, Daniel CHAUVEAU และ Franoise GRESSET (2000) ทำวิจัยเรื่อง Results of the First Industrial Applications of the New Generation of Imaging Plate [5] งานวิจัยนี้เป็นการกล่าวถึง ผลของฟิล์มที่ทำให้เกิดภาพโดยอันตรกิริยาของโฟตอนรังสีเอกซ์ กับไอออนของผลึกเงินที่เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มเทียบกับแผ่นบันทึกภาพ (Image Plate) ที่เคลือบด้วยสารเรืองแสง โฟตอนจะถูกดูดกลืนโดยคุณสมบัติของแผ่นบันทึกภาพเกิดภาพแฝงขึ้น และนำมาสร้างภาพในระบบสัญญาณภาพแบบดิจิทัล ผลของการนำแผ่นบันทึกภาพไปทำการทดลองกับอุตสาหกรรม

น้ำมันและโรงงานเคมี เพื่อใช้ในการหาการกัดกร่อน และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการใช้ฟิล์มปรากฏว่า แผ่นบันทึกภาพมีข้อดีคือ ใช้เวลาในการถ่ายภาพสั้น สามารถวิเคราะห์ความหนาได้แม่นยำ ได้ผลที่รวดเร็ว สามารถนำแผ่นบันทึกภาพกลับมาใช้ใหม่ได้อีก และสามารถใช้ปริมาณรังสีต่ำๆ ได้ ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกใหม่ในการใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีอีกวิธีหนึ่ง

U. ZSCHERPEL, I. EINAV, S. INFANZON, และ J. ZIRNHELT (2000) [6] ทำวิจัยเรื่อง Radiographic Evaluation of Corrosion and Deposits งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ประสานงานกันนานาประเทศ โดยมีทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศเป็นหน่วยงานสนับสนุนและประสานงานจึงเกิดเป็น IAEA-TECDOC-1445 ซึ่งงานวิจัยส่วนนี้กล่าวถึงเทคนิคเบื้องต้นในการตรวจวัดการกัดกร่อน และการหาความหนาของผนังท่อเหล็กคาร์บอน หรือเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตมากกว่า 160 มม. ที่เกิดตะกรันและการสึกกร่อนในการใช้งานทั้งด้านในและนอกผนังท่อ ทั้งที่มีและไม่มีฉนวนความร้อนหุ้มท่ออยู่ โดยการถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคฟิล์ม อีกทั้งได้ศึกษาวิจัยถึงข้อจำกัดในการถ่ายภาพด้วย Tangential Method และความไว (Sensitivity) ในการตรวจพบสิ่งบกพร่องที่อยู่ภายในชิ้นงานอีกด้วย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

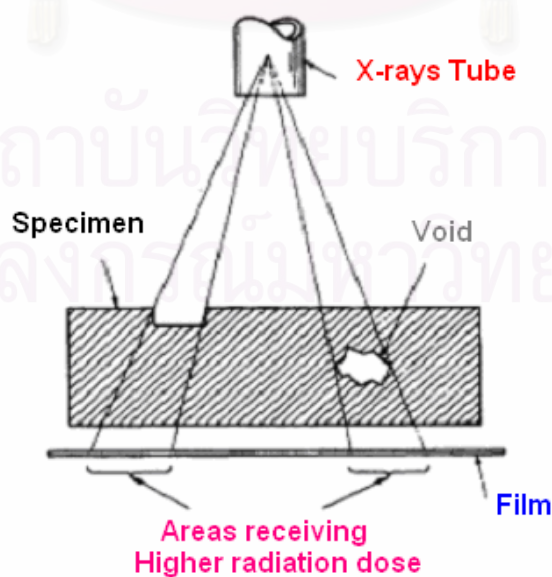


## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 หลักการทั่วไปของการถ่ายภาพด้วยรังสี

การถ่ายภาพด้วยรังสีหรือเรดิโอกราฟี (Radiography) ในงานอุตสาหกรรม เป็นวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (NDT) วิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน กระบวนการถ่ายภาพรังสีเป็นการจัดระบบส่งผ่านรังสีแกมมา รังสีเอกซ์ หรือนิวตรอน เป็นต้นและอาศัยความสามารถในการทะลุทะลวงของรังสีผ่านวัสดุมายังอุปกรณ์บันทึกภาพเพื่อแสดงผลภาพถ่ายรังสี โดยทั่วไปอุปกรณ์บันทึกภาพรังสีจะใช้ฟิล์มถ่ายภาพ (Photographic film) ดังแสดงการจัดระบบในรูปที่ 2.1 ถ้าบริเวณวัสดุหรือชิ้นงานมีสิ่งผิดปกติ หรือสิ่งบกพร่องเกิดขึ้นภายใน จะสามารถมองเห็นได้จากความแตกต่างของปริมาณรังสีแต่ละบริเวณซึ่งแสดงผลบนฟิล์ม เช่นเดียวกับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในทางการแพทย์เพื่อตรวจหรือวินิจฉัยโรคนั่นเอง ในทางอุตสาหกรรมการถ่ายภาพด้วยรังสีสามารถตรวจสอบชิ้นงานทั้งประเภท โลหะ และอโลหะ ที่ผ่านกระบวนการผลิตต่าง ๆ ได้แก่ การเชื่อมโลหะ งานหล่อ งานรีด หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในงานที่ต้องควบคุมความปลอดภัย เช่น ตรวจสอบท่อในโรงกลั่นน้ำมันหรือปิโตรเคมี ชิ้นส่วนอากาศยาน ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ถึงอัดแรงดัน เป็นต้น การถ่ายภาพด้วยรังสี เป็นวิธีการที่สามารถเก็บบันทึกผลการตรวจสอบไว้เป็นหลักฐานได้ อีกทั้งยังสามารถมองเห็นลักษณะภายในของชิ้นงานและความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ครอบคลุมบริเวณถ่ายภาพ



รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบลักษณะภายในชิ้นงาน [2]

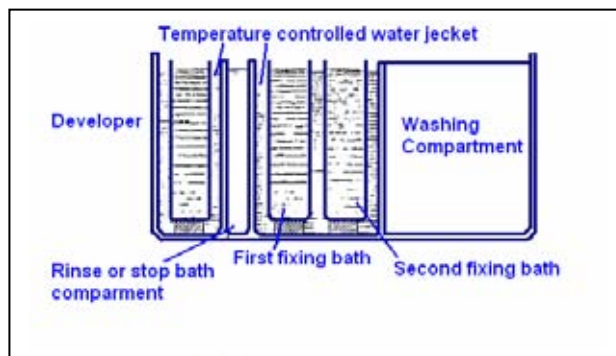
ในกระบวนการถ่ายภาพด้วยรังสี องค์ประกอบทางเทคนิคที่สำคัญสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีสามารถจำแนกได้ดังนี้

### 2.1.1. เทคนิคการใช้ฟิล์มเป็นอุปกรณ์บันทึกภาพ

เทคนิคดั้งเดิมที่คุ้นเคยกันในการถ่ายภาพรังสี ซึ่งต้องการรายละเอียดสูงนั้น นิยมใช้เทคนิคฟิล์มถ่ายภาพ (Photographic film) โดยปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านชิ้นงานตามคุณสมบัติของอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับชิ้นงาน จะทำปฏิกิริยากับฟิล์มซึ่งมีผลึกเงินโบรไมด์ (AgBr) เคลือบอยู่ ทำให้ผลึกของเงินโบรไมด์แตกตัว เกิดภาพแฝง (Latent image) ขึ้นบนฟิล์ม ซึ่งไม่สามารถมองเห็นภาพบนฟิล์มได้ จนกว่าจะนำฟิล์มไปผ่านกระบวนการล้างฟิล์ม (Development) [7] ผลึกเงินโบรไมด์ที่แตกตัวจะถูกรีดิิวซ์ (Reduce) ไปเป็นโลหะเงินซึ่งมีสีดำ โดยส่วนใดของฟิล์มที่ถูกรังสีมากจะมีสีดำเข้ม และส่วนใดที่ถูกรังสีน้อยกว่า ก็จะมีสีดำจางกว่า เมื่อนำฟิล์มไปผ่านในน้ำยาฟิกเซอร์ เงินโบรไมด์ที่ไม่ได้แตกตัวเป็นไอออน จะถูกชะล้างออกจากฟิล์ม ดังนั้นบริเวณใดที่ไม่ได้ถูกรังสีเลยก็จะใส หลังสิ้นสุดกระบวนการจะได้ภาพถ่ายชิ้นงาน โดยบริเวณใดที่มีเนื้อวัสดุบางหรือความหนาแน่นต่ำรังสีจะทะลุผ่านได้มาก ในทางกลับกันบริเวณใดมีเนื้อวัสดุหนาหรือความหนาแน่นสูงรังสีจะทะลุผ่านได้น้อย จึงทำให้เกิดภาพที่แสดงให้เห็นลักษณะของชิ้นงานทั้งภายนอกและภายใน ในลักษณะภาพสองมิติระนาบบนฟิล์ม คุณภาพของภาพถ่ายจะขึ้นกับคุณสมบัติของฟิล์ม และการใช้เอกซ์โพเซเจอร์ที่เหมาะสมแต่ที่สำคัญฟิล์มมีอายุใช้งาน

### 2.1.2 กระบวนการล้างฟิล์ม

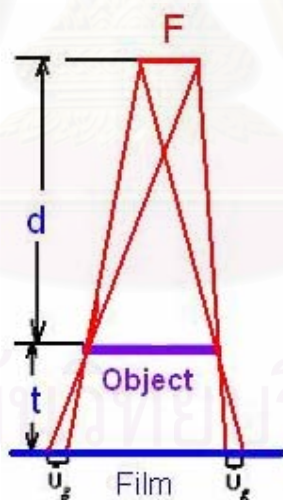
การล้างฟิล์มเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะต้องมีความระมัดระวัง ในเรื่องอายุของน้ำยาล้างฟิล์ม รวมทั้งอุณหภูมิน้ำยาควรอยู่ประมาณ 20 องศาเซลเซียส [7] เนื่องจากมีผลต่อปฏิกิริยาระหว่างน้ำยาล้างฟิล์มและผลึกเงินโบรไมด์ หากอุณหภูมิต่ำเกินไปปฏิกิริยาเกิดได้ช้าถ้าใช้เวลานานเกินไปมีผลให้ฟิล์มดำน้อยไป เรียกว่า “Under development” ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้ฟิล์มดำเกินไป “Over development” อาจทำให้เกิด fog บนฟิล์ม เมื่อเกิดการผิดพลาดจะต้องเสียเวลาถ่ายภาพด้วยรังสีใหม่ ฉะนั้นเทคนิคการถ่ายภาพดังกล่าวต้องอาศัยกระบวนการล้างฟิล์มและอุปกรณ์ในห้องมืด จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญการล้างฟิล์ม ซึ่งขั้นตอนการล้างฟิล์มแสดงดังรูปที่ 2.2 สถานภาพในปัจจุบันการใช้สารเคมีถูกควบคุมด้วยเงื่อนไขของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งอนาคตจะมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น



รูปที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการล้างฟิล์ม [8]

### 2.1.3 การจัดวางอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ

ความคมชัดของภาพขึ้นกับตัวแปรอันเป็นผลจากการจัดวางอุปกรณ์ของระบบถ่ายภาพรังสี ได้แก่ ต้นกำเนิดรังสี ชี้นงาน และฟิล์ม การจัดวางไม่ถูกต้องจะทำให้เกิดความไม่คมชัดของภาพ เรียกว่า “Geometric unsharpness ( $U_g$ )” ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ของระยะของอุปกรณ์และแนวลำรังสีดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพแสดงการเกิดความไม่คมชัดจากการจัดระบบการถ่ายภาพ [8]

ความไม่คมชัดของภาพ ( $U_g$ ) นี้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีถึงตำแหน่งหวังผลชี้นงาน และระยะระหว่างตำแหน่งหวังผลของชี้นงานถึงฟิล์ม โดยอ้างอิงขนาดของต้นกำเนิดรังสีขนาดหนึ่ง ภาพถ่ายจะให้ความคมชัดมากขึ้น ค่า  $U_g$  ต้องน้อยมาก จากรูปที่ 2.3 สามารถใช้หลักการทางเรขาคณิตหาค่า  $U_g$  [8] ได้ดังสมการที่ 2.1

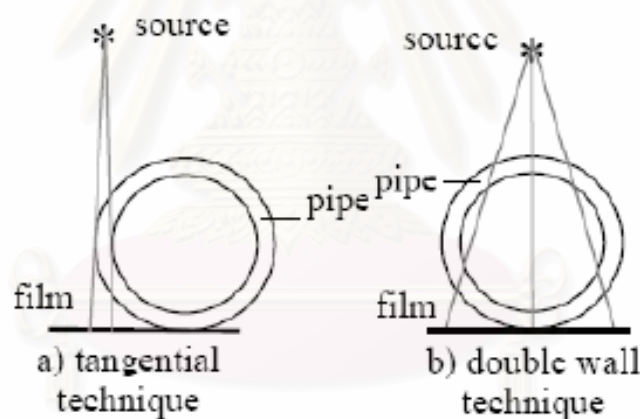
$$U_g = \frac{Ft}{d} \dots\dots\dots(2.1)$$

โดยที่ F = ขนาดของโฟกัสหรือต้นกำเนิดรังสี

t = ระยะจากตำแหน่งหวังผลของชิ้นงานถึงฟิล์ม

d = ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงตำแหน่งหวังผลของชิ้นงาน

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการเกิดความไม่คมชัดของภาพนี้ นำมาซึ่งเทคนิคการถ่ายภาพแบบเส้นสัมผัสผิว (Tangential technique) หรือเทคนิคถ่ายภาพแบบสองความหนา (Double wall technique) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ถ่ายภาพอุปกรณ์ประเภทท่อดังแสดงในรูปที่ 2.4 การวัดขนาดภาพเงาของผนังท่อที่ปรากฏบนฟิล์มจากการถ่ายภาพ สามารถนำไปคำนวณเพื่อประเมินความหนาของผนังท่อ หรือนำเทคนิคนี้ไปถ่ายภาพแนวเชื่อมของท่อที่มีขนาดเล็กกว่า 3.5 นิ้ว เพื่อให้เห็นภาพเงาของแนวเชื่อมขึ้นบนฟิล์มสองแนว ซึ่งเรียกว่า เทคนิคถ่ายภาพวงรี (Ellipse technique) หรือ (Double wall double image)



รูปที่ 2.4 เทคนิคถ่ายภาพแบบเส้นสัมผัสผิว และเทคนิคถ่ายภาพความหนาสองด้าน

การถ่ายภาพด้วยรังสีกับชิ้นงานประเภทท่อเพื่อประเมินหาความหนาในสภาพท่อกำลังใช้งาน จะต้องคำนึงถึงเทคนิคดังนี้

1. สามารถถ่ายภาพด้วยรังสีโดยไม่จำเป็นต้องนำเอาจนวนหุ้มกันความร้อนออก
2. สามารถถ่ายภาพด้วยรังสีโดยไม่จำเป็นต้องทำให้ผิวชิ้นงานเรียบมาก
3. สามารถตรวจสอบและประเมินผลความหนาภายในชิ้นงานที่แตกต่างกันเล็กน้อย
4. สามารถตรวจสอบการกัดกร่อนและตะกรันภายในท่อได้จากภาพถ่าย

## 2.2 การถ่ายภาพรังสีโดยเทคนิคไม่ใช้ฟิล์ม (Filmless radiography)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคที่ไม่ใช้ฟิล์ม ได้แก่ ฟลูออโรสโคปี (Fluoroscopy), อิมเมจแอมพลิฟายเออร์ (Image amplifier) ระบบถ่ายภาพแสดงผลทางจอภาพ โทรทัศน์ (Television radiography) ซีโรเรดิโอกราฟี (Xero radiography) สเตอริโอเรดิโอกราฟี (Stereo radiography) ดิจิทัลเรดิโอกราฟี (Digital radiography) และคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี (Computed radiography) เป็นต้น

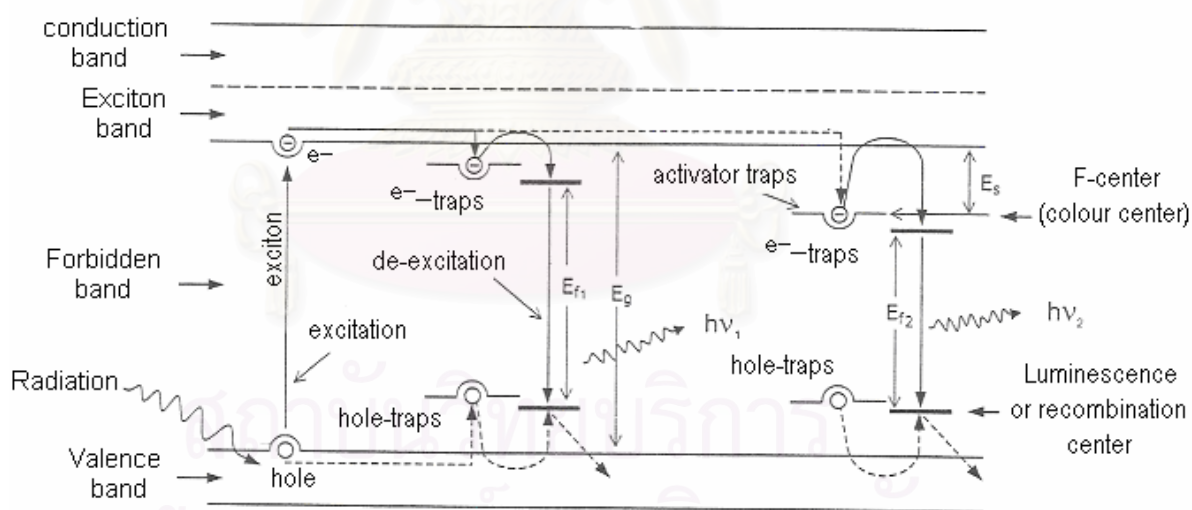
การถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี (Computed radiography : CR) และ ดิจิทัลเรดิโอกราฟี (Digital radiography : DR ) เป็นการถ่ายภาพในระบบภาพเชิงเลข (Digital imaging) ที่ให้รายละเอียดภาพสูงเทียบเท่าฟิล์มถ่ายภาพรายละเอียดสูง การพัฒนาระบบทั้งสองมีการแข่งขันกันในช่วงระยะเวลาด้านคุณภาพของภาพถ่ายและราคาในเชิงพาณิชย์ ขณะนี้ระบบดิจิทัลเรดิโอกราฟียังมีราคาสูงมาก ส่วนระบบคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีเริ่มมีราคาต่ำลงและมีการพัฒนาต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลากว่า 20 ปีแล้ว โดยนักวิจัยของบริษัทผู้ผลิตฟิล์มชั้นนำหลายกลุ่มระบบถ่ายภาพแบบคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีได้มีวิวัฒนาการทางระบบอย่างรวดเร็วทั้งในด้านความไวรังสี ความละเอียดของเกรนสารเรืองแสงและเทคนิคการเคลือบสารบนแผ่นฐาน ตลอดจนความละเอียดของระบบสแกนอ่านข้อมูลภาพรวมถึงกระบวนการปรับคุณภาพของภาพถ่ายรังสีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง ทำให้ระบบถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีเป็นที่นิยมใช้ในวงการแพทย์และงานด้านชีวภาพของสถาบันวิจัยในต่างประเทศมาเป็นเวลากว่า 15 ปีแล้ว นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาระบบถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคนี้ทางอุตสาหกรรมเฉพาะงานด้านการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ในประเทศไทยได้มีการนำระบบถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีมาใช้ในด้านรังสีวินิจฉัยทางการแพทย์และงานวิจัยด้านชีวภาพบ้างแล้วเมื่อไม่กี่ปีมานี้ แต่ในด้านงานทดสอบแบบไม่ทำลายทางอุตสาหกรรมยังไม่มีการนำมาใช้งาน [1]

## 2.3 การถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี

### 2.3.1 หลักการของเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี

การถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี อาศัยหลักการดูดกลืน (Absorption) พลังงานและการเปล่งแสง (Emission) ของสารเรืองแสง ซึ่งสารเรืองแสงนี้จัดอยู่ในประเภทกลุ่ม สารอนินทรีย์ ในงานด้านวิทยาศาสตร์มีการพบสารเรืองแสงหลายชนิด ซึ่งเมื่อได้รับรังสีจะเกิดการดูดกลืนพลังงานและเปล่งแสงออกมาทันที เช่น สารเรืองแสงที่ใช้ทำฉากเรืองรังสีเอกซ์ (Phosphorescent screen) และผลึกซินทิลเลเตอร์ ได้แก่ ZnS, NaI(Tl), CsI(Tl) เป็นต้น กลไก

การเรืองแสงสามารถแสดงได้ด้วยแผนภาพโครงสร้างแถบพลังงาน (Energy band structure) ดังในรูปที่ 2.5 แผนภาพโครงสร้างแถบพลังงานของสารเรืองแสง (ซัลไฟ) แสดงพฤติกรรมของเอ็กซิตอน (ขวา) แสดงบริเวณกับดักเอ็กซิตอน เนื่องจากโครงสร้างผลึกที่ไม่สมบูรณ์ของสารดังกล่าวมีลักษณะพิเศษที่เกิดจากความบกพร่องบริเวณแลตทิซผลึก (Crystal lattice) ก่อให้เกิดบริเวณกับดักอิเล็กตรอน (Electron trap) ที่มีระดับพลังงานต่ำกว่าแถบนำและบริเวณกับดักโฮล (Hole trap) ที่มีระดับพลังงานสูงกว่าแถบวาเลนซ์ขึ้นบริเวณช่องว่างพลังงานในแถบห้าม (Eg) แสดงในรูปที่ 2.5 ด้านซ้าย ซึ่งบางกรณีกับดักนี้อาจเกิดจากการเจือสารบางชนิดลงไปเพื่อกำหนดระดับพลังงานของกับดักที่ใหม่ เรียกว่า “Activator trap” ดังรูปที่ 2.5 ด้านขวา กับดักอิเล็กตรอนเป็นบริเวณที่ทำหน้าที่กักอิเล็กตรอนซึ่งได้รับการยกกระดับพลังงาน (Excitation) จากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบนำ อิเล็กตรอนที่กล่าวถึงเป็นผลมาจากสารเรืองแสงได้รับการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีบริเวณแลตทิซผลึก เกิดการไอออไนซ์ สร้างคู่ของอิเล็กตรอนและโฮลที่เหนี่ยวนำซึ่งกันและกันขึ้น คล้ายกับพฤติกรรมเทียมของไฮโดรเจน (Hydrogen-like pseudo atom) ที่เรียกว่า เอ็กซิตอน (Exciton) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ในแถบพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.5 ด้านซ้าย พฤติกรรมของเอ็กซิตอนมีความแตกต่างจากคู่ของอิเล็กตรอนและโฮล (e-h pair) ที่เกิดขึ้นจากการไอออไนซ์ในสารกึ่งตัวนำซึ่งมีอิสระจากกันและเคลื่อนที่สวนทางกันในแถบพลังงาน



พฤติกรรมของเอ็กซิตอน

บริเวณกับดักเอ็กซิตอน

รูปที่ 2.5 แผนภาพโครงสร้างแถบพลังงานของสารเรืองแสง [1]

ขณะที่เกิดการไอออไนซ์หลังการถ่ายโอนพลังงานของรังสี อิเล็กตรอนจะถูกยกกระดับพลังงานขึ้นสู่แถบนำ เหนี่ยวนำกับโฮล (Hole) หรือหลุมว่างบริเวณแถบวาเลนซ์ เกิดเป็นคู่เอ็กซิตอนเคลื่อนที่บริเวณแถบพลังงานในเวลาสั้นมาก จากนั้น เมื่ออิเล็กตรอนในแถบนำลดระดับพลังงานลงเล็กน้อยจะถูกจับในกับดักพร้อมๆ กับโฮลและหยุดการเคลื่อนที่ ปริมาณอิเล็กตรอนที่

ถูกกักอยู่ในกับดักจะก่อบริเวณ Colour Center ขึ้น มีสภาวะกึ่งเสถียร Metastable โดยปริมาณอิเล็กตรอนนี้จะถูกกักอยู่นานเพียงใดขึ้นอยู่กับความต่างระดับพลังงานบริเวณกับดักอิเล็กตรอนและแถบนำ ( $E_g$ ) ในกรณีสารเรืองแสงทั่วไปความต่างระดับพลังงานบริเวณกับดักและแถบนำน้อยมากเพียงแค่พลังงานจากอุณหภูมิแวดล้อม (Ambient temperature) ก็สามารถกระตุ้นให้อิเล็กตรอนที่กักอยู่ในบริเวณกับดักยกระดับพลังงานสู่แถบนำและลดระดับพลังงานมายังสถานะพักก่อนลงสู่ระดับพื้น (Ground state) พร้อมทั้งปลดปล่อยคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นสอดคล้องกับระดับพลังงานของบริเวณที่อิเล็กตรอนถูกกักไว้ตามสมการ

$$E_f = \frac{hc}{\lambda_f} \dots\dots\dots(2.2)$$

- เมื่อ  $E_f$  = พลังงานของคลื่นแสง  
 $h$  = ค่าคงที่ของ Planck  
 $c$  = ความเร็วแสง  
 $\lambda_f$  = ความยาวคลื่นของคลื่นแสง

กลไกของการเปล่งแสงเรืองนี้เรียกว่า ลูมิเนสเซนซ์ (Luminescence) โดยทั่วไปกระบวนการเรืองแสงสามารถแบ่งได้ดังนี้

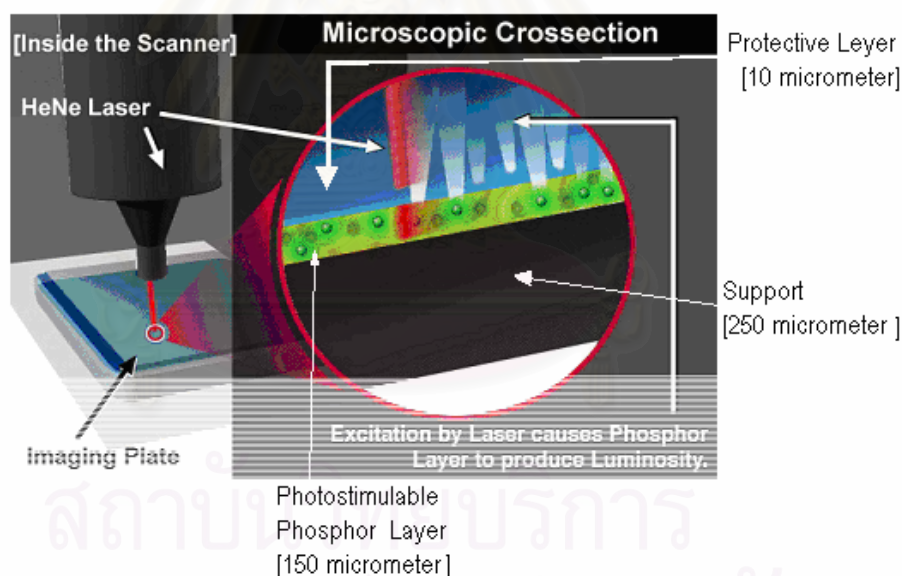
1. กรณีที่สารเรืองแสงมีความต่างระดับพลังงานบริเวณกับดักและแถบนำ ( $E_g$ ) น้อยสามารถเกิดการเรืองแสงด้วยพลังงานกระตุ้นของอุณหภูมิแวดล้อม ซึ่งจำแนกได้ 2 กระบวนการ กล่าวคือ ถ้าอิเล็กตรอนถูกยกพลังงานขึ้นสู่แถบนำและเคลื่อนที่ในแถบนำในเวลาสั้น ประมาณ  $10^{-9}$  วินาที โดยไม่ถูกจับในกับดักแต่ลดระดับพลังงานจากสถานะพักสู่ระดับพื้นพร้อมทั้งปลดปล่อยแสงเรืองทันที เรียกกลไกนี้ว่า ฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence) แต่ถ้าอิเล็กตรอนที่ถูกยกระดับพลังงานสู่แถบนำถูกกักไว้ที่กับดักในสภาวะกึ่งเสถียรเป็นเวลามากกว่า  $10^{-8}$  วินาที ก่อนที่จะได้รับพลังงานกระตุ้นจากอุณหภูมิแวดล้อมให้ยกระดับพลังงานสู่แถบนำอีกครั้ง และลดระดับพลังงานสู่ระดับพื้นพร้อมทั้งปล่อยแสงเรือง เรียกกลไกนี้ว่า ฟอสฟอรัสเซนซ์ (Phosphorescence)

2. กรณีที่สารเรืองแสงมีความต่างระดับพลังงานบริเวณกับดักและแถบนำค่อนข้างมาก อิเล็กตรอนจะถูกกักในบริเวณกับดักได้นานหลายชั่วโมง การกระตุ้น (Stimulation) ให้อิเล็กตรอนที่อยู่บริเวณกับดักยกระดับพลังงานสู่แถบนำจำเป็นต้องใช้พลังงานจากคลื่นแสงหรือคลื่นความร้อนที่มีพลังงานสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อม ก่อนลดระดับพลังงานสู่ระดับพื้นและปล่อยแสงเรือง ในกรณีนี้หากโครงสร้างของผลึกสารเรืองแสงต้องการเพียงพลังงานจากคลื่นแสงกระตุ้นให้เกิดการเรืองแสงจะเรียกกลไกนี้ว่า โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence) แต่ถ้าโครงสร้างผลึกสารเรืองแสงต้องการพลังงานจากคลื่นความร้อนอุณหภูมิสูงกระตุ้นให้เกิดการเรืองแสงเรียกกลไกนี้ว่า เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence) โดยการลงสู่สถานะพื้นของอิเล็กตรอนบริเวณเหนือแถบ

วาเลนซ์ซึ่งเรียกว่า Luminescence center หรือ Recombination center นั้น อิเล็กตรอนจะกลับสู่หลุมว่างเดิมทำให้อะตอมสารเรืองแสงที่มีภาวะไอออนบวกกลับคืนสู่สภาวะเดิม

### 2.3.2 แผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate)

แผ่นบันทึกภาพ เป็นอุปกรณ์สำหรับบันทึกภาพแฝงจากการถ่ายภาพด้วยรังสีแทนฟิล์ม โครงสร้างของแผ่นบันทึกภาพ ประกอบด้วย แผ่นฐานทำด้วยโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ที่มีความอ่อนตัวหนาประมาณ 0.25-1 มม. เคลือบด้วยผลึกสารเรืองแสงกลุ่มแบเรียมฟลูออไรด์เฮไลต์เจีย ยูโรเพียม BaF(Br,Cl,D):Eu<sup>2+</sup> ซึ่งมีขนาดเกรน (Grain) ของสารตามชนิดของงานถ่ายภาพด้วยรังสี โดยมีขนาดประมาณน้อยกว่า 10 ไมโครเมตร ผลึกสารเรืองแสงผสมสารยึดเกาะบนแผ่นฐาน มีความหนาแน่นสูงหนาประมาณ 150 ไมโครเมตร และเคลือบทับด้วยโพลีเอทเทอรีนเทเรพทาเลต (Polyethylene terephthalate) ที่ความหนา 10 ไมโครเมตร บ่มผิวด้วยเทคนิคทางรังสีของลำอิเล็กตรอน (EBC) เพื่อป้องกันผิวหน้าของสารเรืองแสง แผนภาพตัดขวางของแผ่นบันทึกภาพ แสดงให้เห็นถึงชั้นต่างๆ ของแผ่นบันทึกภาพแสดงในรูปที่ 2.6

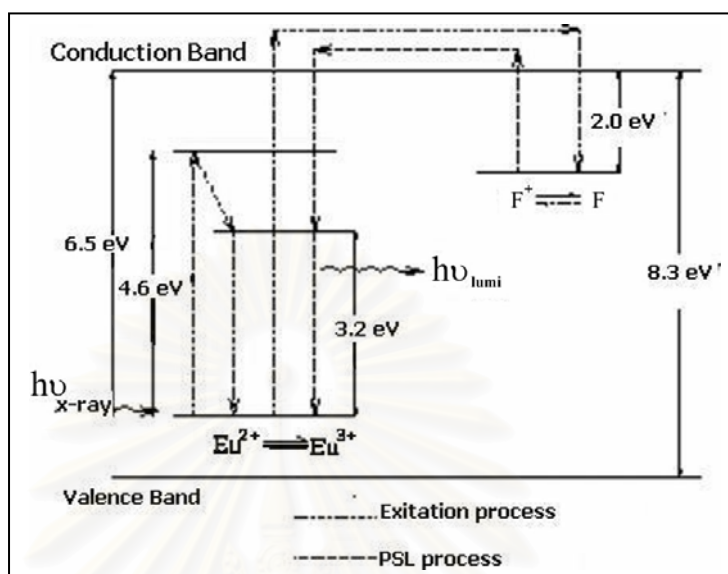


รูปที่ 2.6 แผนภาพตัดขวางของแผ่นบันทึกภาพแสดงถึงโครงสร้างชั้นสารเรืองแสง [9]

สารเรืองแสงที่ใช้อาศัยกระบวนการเรืองแสงโดยการกระตุ้นด้วยแสง เนื่องจากโครงสร้างผลึกของสารเรืองแสง BaFX จะมีความบกพร่องของแลตทิซผลึกด้วยผลของการเจือ Eu<sup>2+</sup> และความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้าง ก่อให้เกิดบริเวณที่พร้อมรับการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีซึ่งมีช่องว่างพลังงาน (Eg) ประมาณ 8.3 eV และมีระดับพลังงานระหว่างสถานะพักและสถานะพื้นประมาณ 3.2 eV เมื่ออิเล็กตรอนถูกยกระดับพลังงานจากแถบวาเลนซ์สู่แถบนำและลดระดับพลังงานลง



เล็กน้อยจะถูกกักไว้บริเวณกับดัก ก่อให้เกิดบริเวณ Colour center หรือ F-center ขึ้นดังแสดงแผนผัง โครงสร้างแถบพลังงานของ BaFBr:Eu<sup>2+</sup> และกลไกของการเปล่งแสงเรือง (PSL) [10] ตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนผังโครงสร้างแถบพลังงานของ BaFBr:Eu<sup>2+</sup> [10]

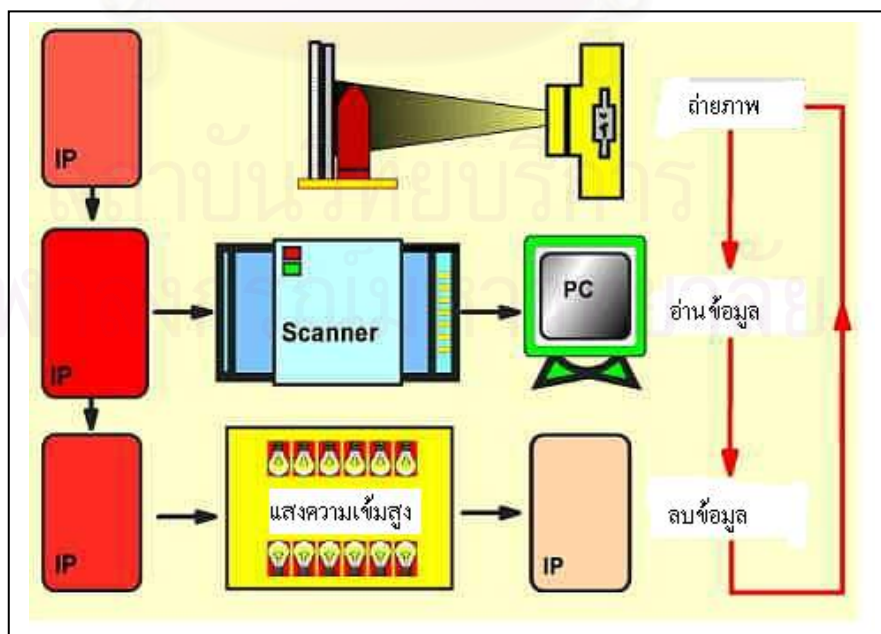
กลไกการทำงานในการบันทึกปริมาณรังสี เริ่มจากสารเรืองแสงได้รับการถ่ายโอนพลังงานจากรังสี บริเวณแถบวาเลนซ์จะเกิดการไอออไนซ์ของ Eu<sup>2+</sup> เป็นไอออนบวก (Eu<sup>3+</sup>) อิเล็กตรอนจะถูกยกระดับพลังงานขึ้นสู่บริเวณแถบนำ ก่อให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอนอิสระ ปริมาณคู่ของอิเล็กตรอนจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ตกกระทบสารเรืองแสง การยกระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ อิเล็กตรอนที่มีระดับพลังงาน ต่ำกว่า 6.5 eV จะยกระดับขึ้นสู่สถานะพักชั่วคราว และจะกลับสู่สถานะพื้น ปล่อยแสงเรืองทันทีโดยคืนสถานะของไอออน Eu<sup>3+</sup> เป็น Eu<sup>2+</sup> ดังเดิม ขณะที่อิเล็กตรอนส่วนที่มีพลังงานสูงกว่า 6.5 eV จะถูกยกระดับถึงบริเวณแถบนำและลดระดับพลังงานสู่บริเวณกับดักอิเล็กตรอนถูกกักไว้ก่ให้เกิดบริเวณ F-center เป็นการบันทึกผลของปริมาณรังสี การอ่านข้อมูลภาพนั้นจะใช้เครื่องสแกนข้อมูลภาพถ่ายรังสี โดยกระตุ้นด้วยลำแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 630 นาโนเมตร ซึ่งมีปลายลำแสงขนาด 50-100 ไมโครเมตร ลำแสงจะถูกสแกนบนผิวแผ่นบันทึกภาพ เพื่อกระตุ้นปริมาณอิเล็กตรอนที่กักเก็บไว้บริเวณ F-Center ให้ลงสู่ระดับพื้น และปลดปล่อยปริมาณแสงที่มีความเข้มเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีตามบริเวณต่างๆของภาพแฝง ซึ่งแสงที่ปลดปล่อยออกมาจะวัดความเข้มของแสงโดยใช้หลอดโฟโตมัลติฟลายเออร์ (PMT) สำหรับกระบวนการในการบันทึกภาพและการอ่านข้อมูลภาพรังสี อาศัยปรากฏการณ์ที่แตกต่างจากการเรืองแสงปกติ เรียกว่า “Photostimulable Luminescence : PSL” ซึ่งมีหลักการคล้ายกับเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence) ทำให้มีความไวต่อรังสีสูงมาก และมีการตอบสนอง

ปริมาณรังสีเป็นเชิงเส้นในช่วงกว้าง มีผลให้สามารถตอบสนองความเปรียบต่างในย่านกว้างมากถึงประมาณ  $10^5$  เท่าในช่วงรังสีพลังงานต่ำ

### 2.3.3 กระบวนการลบแผ่นบันทึกภาพ

กระบวนการถ่ายภาพเริ่มจากการนำแผ่นบันทึกภาพที่ผ่านขั้นตอนการลบ (erase) ข้อมูลปริมาณรังสีที่อาจตกค้างอยู่ให้หมดไปด้วยการฉายแสงความเข้มสูงซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงตอบสนองของสายตา (visible light) จากหลอดโซเดียมความดันสูง (high pressure sodium lamp) หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการกรองแสงในช่วงคลื่นอุตราไวโอเล็ต (UV) ออกแล้ว การลบข้อมูลปริมาณรังสีจะใช้เวลาประมาณ 5 – 10 นาที หรือสั้นกว่านั้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ใช้ หลังจากนั้นแผ่นบันทึกภาพจะนำไปถ่ายภาพ ด้วยรังสีตามระยะเวลาถ่ายภาพ (exposure time) ที่เหมาะสม แล้ว จึงนำแผ่นบันทึกภาพมาอ่านข้อมูลปริมาณรังสีของภาพแฝงที่บันทึกบนสารเรืองแสงของแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้เครื่องสแกนด้วยลำแสงเลเซอร์ (laser scanner) และสร้างสัญญาณภาพตามแนวสแกนของลำเลเซอร์เส้นต่อเส้นจนเต็มกรอบภาพ ข้อมูลสัญญาณดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (Digitizing) ส่งให้กับคอมพิวเตอร์ประมวลข้อมูลสัญญาณดิจิทัลเพื่อแสดงผลภาพ 2 มิติ ทางจอภาพความละเอียดสูง ขั้นตอนการถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เต็ครีโกราฟีแสดงดังรูปที่ 2.8

ภาพถ่ายรังสีหลังการอ่านข้อมูลแล้วจะอยู่ในลักษณะข้อมูลภาพบนคอมพิวเตอร์จึงทำให้สามารถใช้กระบวนการทางภาพ (Image processing) และการวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) ในการประเมินขนาดความหนาและรายละเอียดภาพด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้โดยตรง



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เต็ครีโกราฟี

การนำแผ่นบันทึกภาพมาประยุกต์ใช้ในงานถ่ายภาพด้วยรังสีทางอุตสาหกรรมนั้น ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในขณะนี้ จึงต้องมีความระมัดระวังในการเลือกใช้อุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อให้แผ่นบันทึกภาพมีความไวรังสีย่านพลังงานสูงและลดการรบกวนจากรังสีกระเจิง เช่น การเลือกความหนาของแผ่นกรองรังสีและฉากเพิ่มความไวรังสีที่เหมาะสม และยังคงคำนึงถึงผลของคุณภาพของภาพด้วย

### 2.3.4 เปรียบเทียบเทคนิคการถ่ายภาพด้วยฟิล์มกับคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี

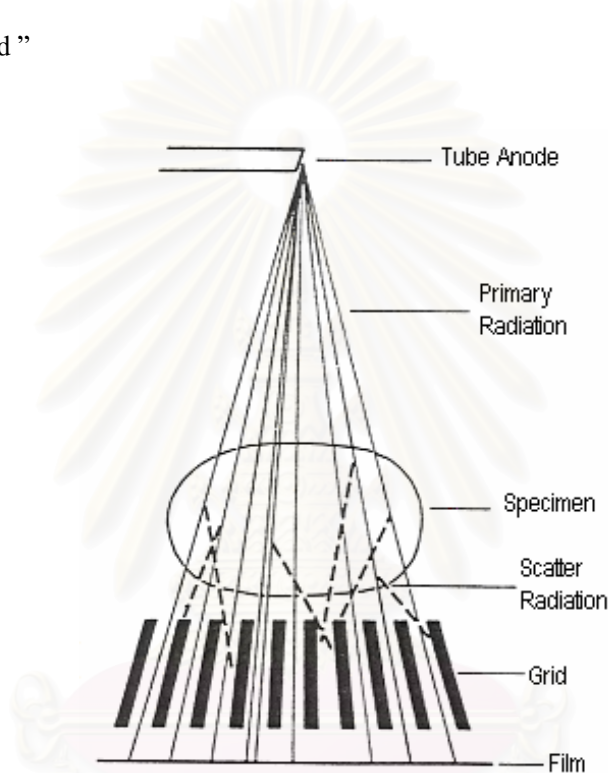
การถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี เมื่อเทียบกับเทคนิคถ่ายภาพด้วยฟิล์มสามารถสรุปความแตกต่างได้ดังนี้

1. แผ่นบันทึกภาพไม่ต้องการกระบวนการล้างฟิล์มเพื่อสร้างภาพถ่ายรังสีจึงไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการทางภาพ ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม
2. มีความไวรังสีสูงกว่าฟิล์มถ่ายภาพ 20 – 100 เท่า จึงสามารถใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงรังสี (activity) ต่ำในการถ่ายภาพรังสีได้ ทำให้มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงานสูง
3. ไม่ไวต่อแสงสว่างในช่วงตอบสนองของสายตาที่มีความส่องสว่างระดับที่ใช้งานกันทั่วไปในห้องปฏิบัติงาน จึงไม่มีความจำเป็นต้องปฏิบัติงานในห้องมืด
4. ตอบสนองปริมาณรังสีเป็นเชิงเส้นในย่านกว้าง และให้ผลต่อการตอบสนองความเปรียบต่างภาพกว้างถึง  $10^5$  เท่า ทำให้สามารถถ่ายภาพชิ้นงานที่มีความแตกต่างของความหนาหรือความหนาแน่นมาก ๆ ได้
5. สามารถลบข้อมูลปริมาณรังสีที่ตกค้างในแผ่นบันทึกภาพด้วยเวลาไม่นานนักก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ได้มากกว่า 1,000 ครั้ง ในขณะที่ฟิล์มไม่สามารถลบสิ่งรบกวนจากผลของรังสีเมื่อทิ้งไว้นานก่อนใช้งานได้ จึงมีปัญหาเรื่องความมัว (Fog) บนแผ่นฐานฟิล์ม
6. ระบบการอ่านข้อมูลมีขนาดกะทัดรัด (Compact) จึงสามารถประยุกต์ใช้กับงานถ่ายภาพรังสีภาคสนาม ซึ่งต้องการระบบที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก (mobile system)

## 2.4 กริดสำหรับงานถ่ายภาพรังสี (Radiographic grid)

การลดปริมาณรังสีกระเจิงที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาของลำรังสีปฐมภูมิกับชิ้นงานที่มีองค์ประกอบธาตุเบาหรือชิ้นงานที่มีวัสดุธาตุเบาหุ้มอยู่เป็นสิ่งจำเป็นที่จะช่วยให้เกิดการปรับปรุงผลของความเปรียบต่าง (Contrast) ให้ดีขึ้น สำหรับเทคนิคของการลดการรบกวนของรังสีกระเจิงที่รู้จักกันดีในการถ่ายภาพรังสีด้านการแพทย์ คือ เทคนิคของ Bucky ซึ่งพัฒนาโดย Dr. Gustave

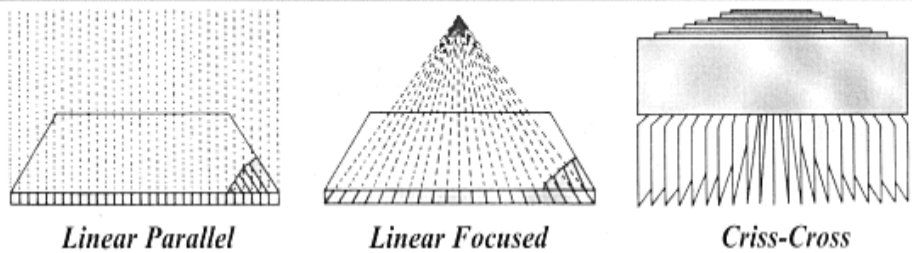
Bucky เมื่อปี ค.ศ. 1913 [11] โดยมีหลักการดัดแปรภาพในรูปที่ 2.9 แผ่นกริดที่ประกอบด้วยแผ่นซี่ตะกั่วประกบด้วยอลูมิเนียมหรือวัสดุประเภทสารอินทรีย์ที่ยอมให้รังสีผ่านได้สะดวก จะทำหน้าที่ช่วยกรองเฉพาะรังสีปฐมภูมิหลังทำอันตรกิริยากับชิ้นงานให้ผ่าน บันทึกลงแผ่นฟิล์ม ขณะที่รังสีกระเจิงจะถูกกันไว้ทำให้ภาพแฝงที่เกิดบนฟิล์มมีคุณภาพดีขึ้น กริดสำหรับถ่ายภาพรังสีชนิดวางนิ่ง (Stationary) นี้ เรียกว่า “Bucky grid” ในการใช้งานจะเกิดลายแนวลอนของซี่กริดปรากฏอยู่บนฟิล์มด้วย ต่อมาปี ค.ศ. 1920 Dr.Hollis E. Potter ได้เสนอเทคนิคส่ายแผ่นกริด (Reciprocating) ขณะถ่ายภาพ เพื่อมิให้เกิดลายแนวลอนของซี่กริดบนแผ่นฟิล์มจึงเรียกกริดในงานถ่ายภาพรังสีนี้ว่า “Potter-Bucky grid ”



รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของกริดตามเทคนิคของ Bucky [11]

การออกแบบกริดเพื่อใช้ในการถ่ายภาพรังสีมีหลายรูปแบบ เช่น แบบแนวขนาน (Parallel) แบบทำมุม (Focused grid) และแบบไขว้กัน (Crisscross) เป็นต้น ขึ้นกับลักษณะของงาน โครงสร้างของแผ่นกริดชนิดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 2.10 ก. ข. และ ค. ตามลำดับ

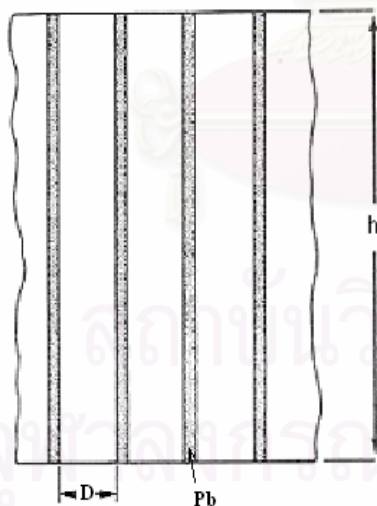
**Three Types of Lead Strip Positioning**



(ก) กริดแบบแนวขนาน Linear Parallel grid      (ข) กริดแบบทำมุม Linear Focused grid      (ค) กริดแบบไขว้กัน criss-cross grid

รูปที่ 2.10 รูปแบบของกริดชนิดต่าง ๆ

การเลือกใช้กริดจะต้องคำนึงถึง อัตราส่วน (Grid ratio) ซึ่งนิยามถึง ความหนาของแผ่นกริด หรือซี่ตะกั่วต่อระยะห่างของซี่ตะกั่ว ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และสมการที่ 2.3 แผ่นกริดโดยทั่วไปจะมีค่า Grid ratio ประมาณ 4:1-16:1 เลือกใช้ตามพลังงานที่แตกต่างกัน ในทางปฏิบัติแผ่นกริด ที่มี Grid ratio 8:1 จะใช้ที่พลังงานของรังสีเอกซ์ต่ำกว่า 90 kVp ลงไป ขณะที่แผ่นกริดที่มี Grid ratio 12:1 จะใช้ที่พลังงานของรังสีเอกซ์สูงกว่า 90 kVp



$$r = \frac{h}{D} \dots\dots\dots(2.3)$$

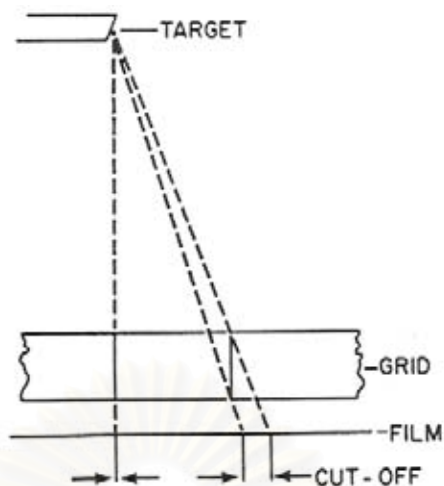
r = grid ratio

h = height of lead strips

D = distance between lead strips

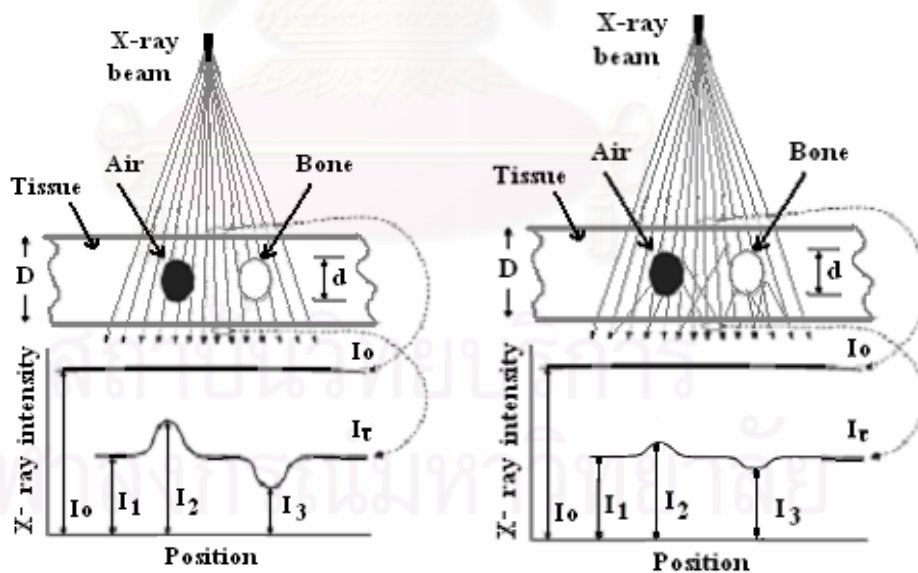
รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพนิยามของ Grid ratio

นอกจากนี้การใช้แผ่นกริดยังต้องคำนึงถึง กริดคัทออฟ (Grid cutoff) ซึ่งนิยามถึง บริเวณจุดอับรังสีที่เกิดจากการก้ำบังรังสีของแนวซี่ตะกั่วของกริด ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งบริเวณกริดคัทออฟ จะขึ้นกับรูปแบบของกริดและระยะโฟกัสระหว่างต้นกำเนิดรังสีเอกซ์กับระนาบแผ่นกริด



รูปที่ 2.12 แสดงแผนภาพนิยามของ Grid cutoff

ในรูปที่ 2.13 แสดงผลของความเปรียบต่างที่ได้รับจากการถ่ายภาพรังสีเปรียบเทียบกับระหว่างการถ่ายภาพรังสีโดยใช้กริดและไม่ใช้ การสูญเสียความเปรียบต่างเกิดจากการรบกวนของรังสีกระเจิงดังผลของสัญญาณภาพ (X-ray intensity) ในรูปที่ 2.13 ข ขณะที่ผลของสัญญาณเมื่อใช้แผ่นกริดจะช่วยลดผลการรบกวนของรังสีกระเจิง มีผลให้สัญญาณหรือความเปรียบต่างภาพเด่นชัดขึ้น ดังในรูปที่ 2.13 ก



ก. ใช้กริด

ข. ไม่ใช้กริด

รูปที่ 2.13 แสดงผลของความเปรียบต่างในการถ่ายภาพโดยใช้กริดกับไม่ใช้กริด

ดังนั้นการนำแผ่นกริดในการถ่ายภาพรังสีทางการแพทย์มาใช้ในงานถ่ายภาพอุตสาหกรรม  
ในกรณีที่ชิ้นงานมีวัสดุธาตุเบาห่อหุ้มอยู่จะช่วยลดผลการรบกวนของรังสีกระเจิงต่อภาพถ่ายรังสี  
อันจะเป็นการช่วยปรับปรุงคุณภาพของภาพได้ ซึ่งต้องมีการออกแบบการติดตั้ง Potter-Bucky grid  
ให้ทำงานทั้งแนวอนและแนวตั้งตามลักษณะงานถ่ายภาพในงานอุตสาหกรรม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### การพัฒนาวิธีตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อน โดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี

การตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนในโรงกลั่นน้ำมันหรือโรงงานปิโตรเคมีต่างๆ เป็นงานที่ต้องทำเป็นกิจวัตรตามวาระที่กำหนด ในการตรวจสอบความผิดปกติภายในท่อ ซึ่งอาจเกิดการกัดกร่อน หรือเกิดตะกรัน มีผลให้ผนังท่อบางลงหรือเกิดการอุดตัน โดยเฉพาะบริเวณข้อต่อและข้องอ เพื่อประเมินผลสำหรับวางแผนการซ่อมบำรุงบริเวณก่อก่อที่เกิปัญหา ในการตรวจสอบท่อที่มีฉนวนความร้อนหุ้มอยู่ หรือทำงานในขณะที่กำลังเดินเครื่องที่สภาพท่อบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไม่สามารถจะใช้เทคนิคการตรวจสอบแบบกระแสไหลวน (Eddy current) หรือการตรวจสอบโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonic) ได้ จึงต้องอาศัยการตรวจสอบด้วยวิธีถ่ายภาพรังสี งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการพัฒนาวิธีการตรวจสอบท่อหุ้มฉนวนความร้อนด้วยการถ่ายภาพรังสี เพื่อการศึกษาและทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยเลือกเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี ถ่ายภาพให้ได้คุณภาพของภาพถ่ายรังสีที่มีความไวต่อการตรวจพบ และมีความแม่นยำในการประเมินความหนาของผนังท่อ และสามารถดำเนินการตรวจสอบในขณะที่เดินเครื่อง ซึ่งขั้นตอนของการศึกษานี้ประกอบด้วย

1. การพัฒนาโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อ
2. การทดลองหาเงื่อนไขและวิธีถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี
3. การศึกษามาตรฐานรับรองการถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี

#### 3.1. การพัฒนาโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อ

##### 3.1.1 ข้อมูลเทคนิคเพื่อการพัฒนาโปรแกรม

โดยทั่วไปการถ่ายภาพรังสีของชิ้นงานประเภทท่อ 3-6 นิ้ว เพื่อประเมินความหนาผนังท่อ จะใช้วิธีการจัดระบบถ่ายภาพแบบเส้นสัมผัสสวาง (Tangential exposure method) การประเมินความหนาใช้วิธีการวัดขนาดของภาพเงาที่เกิดบนระนาบของแผ่นบันทึกภาพ และอ้างอิงเทียบกับขนาดของชิ้นงาน โดยใช้การตัดสินใจของผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นความแม่นยำของการตรวจสอบจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพและประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน ด้วยเหตุนี้การประยุกต์เทคนิคของกระบวนการถ่ายภาพรังสีเชิงเลข (Digital radiography) จึงถูกนำมาใช้เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเกิดความสะดวกในการใช้งาน การพัฒนาโปรแกรมจะต้อง



มีข้อมูลทางเทคนิคในการกำหนดกระบวนการของโปรแกรม เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพที่ชัดเจน และประเมินความหนาได้ถูกต้องดังนี้

ก. การเลือกพลังงานและต้นกำเนิดรังสี

การเลือกพลังงานที่จะนำมาใช้ในการถ่ายภาพ พิจารณาจากความหนาของผนังท่อ สูงสุด ( $L_{max}$ ) ที่แนวลำรังสีผ่านแล้วเกิดภาพเงาของผนังท่อ ซึ่งความหนาบริเวณนี้จะมากกว่า ความหนาของผนังท่อทั้งสองรวมกัน โดยปกติในการถ่ายด้วยเทคนิค Double wall หลังจากได้ภาพถ่าย รังสีแล้ว จะนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นี้ไปใช้ในการคำนวณหาขนาดความหนาผนังท่อดังสมการที่ 3.2 ดังนั้นการถ่ายภาพรังสีเอกซ์และแกมมาของท่อหุ้มฉนวน ในการเลือกพลังงานของต้นกำเนิด รังสีจึงขึ้นอยู่กับความหนาสูงสุดที่รังสีจะสามารถทะลุผ่าน ( $L_{max}$ ) โดยสามารถคำนวณได้จาก สมการ [12]

$$L_{max} = 2W \sqrt{\frac{D_a}{W} - 1} \dots\dots\dots(3.1)$$

- โดยที่ W = ความหนาผนังท่อ
- $D_a = 2r =$  ขนาดด้านนอกท่อ
- r = รัศมีของท่อ

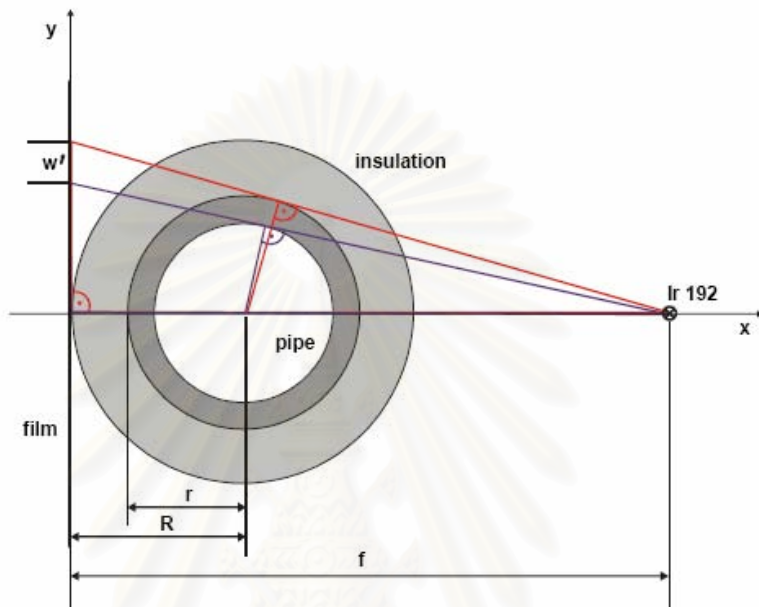
ในตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีที่ได้จากต้นกำเนิดรังสีชนิดต่างๆ สำหรับใช้กับความหนาสูงสุดที่สามารถถ่ายภาพผนังท่อเหล็กคาร์บอนขนาด 1 นิ้ว (25.4 มม.) ถึง 24.8 นิ้ว (630 มม.) ได้เหมาะสม

ตารางที่ 3.1 ความหนาสูงสุดที่ต้นกำเนิดรังสีสามารถถ่ายภาพ [2]

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกท่อ (มม.)	25	50	75	114	159	219	426	630
ความหนาผนังท่อ (มม.)	4	4	6	10	14	20	14	20
ความหนาสูงสุดที่สามารถถ่ายได้ (มม.)	16	28	40	62	90	126	150	270
ชนิดของต้นกำเนิดรังสีที่เลือกใช้	X rays							
	Se-75, Ir-192							
					Co-60			
					Linear accelerator			

ข. การจัดระบบถ่ายภาพผนังท่อหุ้มฉนวน

ในการจัดระบบถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวนดังแผนภาพในรูปที่ 3.1 นั้น ภาพที่ปรากฏอยู่ด้านข้างของตำแหน่งเส้นรอบวงของท่อ ( $w'$ ) จะนำมาแปลผลเพื่อหาความหนาของผนังท่อที่แท้จริง ส่วนภาพอยู่ส่วนกลางของภาพถ่ายท่อจะไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างของความหนา



รูปที่ 3.1 การจัดวางท่อที่หุ้มฉนวนเพื่อถ่ายภาพด้วยเทคนิคTangential [12]

การคำนวณเพื่อประเมินความหนาของผนังท่ออาศัยความสัมพันธ์ของข้อมูลจากภาพถ่ายซึ่งงานบนฟิล์มที่เกิดจากภาพฉายทางเรขาคณิตของการจัดระบบถ่ายภาพรังสีได้แก่ ระยะจากกึ่งกลางท่อถึงฟิล์ม ระยะจากกึ่งกลางท่อถึงผนังด้านนอกของท่อ และระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนสมการประเมินความหนาของผนังท่อ ( $w$ ) ได้เป็น [12]

$$w = r - \frac{(f - R) \left( \frac{r}{\sqrt{(f - R)^2 - r^2}} - \frac{w'}{f} \right)}{\sqrt{1 + \left( \frac{r}{\sqrt{(f - R)^2 - r^2}} - \frac{w'}{f} \right)^2}} \dots\dots\dots(3.2)$$

โดยที่  $w'$  = ภาพเงาของความหนาผนังท่อที่ได้จากการถ่ายภาพปรากฏบนฟิล์ม  
 $r$  = ระยะทางจากกึ่งกลางผนังท่อถึงด้านนอก

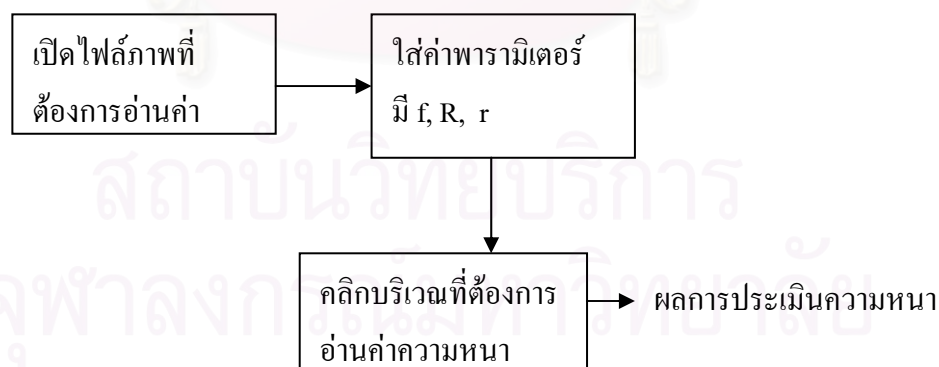
$R$  = ระยะทางจากกึ่งกลางท่อดึงถึงฟิล์ม

$f$  = ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม

การประเมินความหนาจริงจากโปรแกรมที่ได้จากภาพถ่ายนั้น ความคลาดเคลื่อนของความหนาที่ได้เกิดขึ้นจากการถ่ายภาพที่มีรายละเอียดของภาพน้อย ความชัดของภาพและความเปรียบต่างของภาพต่ำ ดังนั้นเงื่อนไขการถ่ายภาพด้วยรังสีที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ

### 3.1.2 การออกแบบโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้โปรแกรม Visual Basic ออกแบบให้สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ของไมโครคอมพิวเตอร์ การใช้งานผู้ใช้สามารถเปิดไฟล์ที่เป็นตระกูลภาพ เช่น Picture Files, Bitmap Files, Gif Files, JPEG Files เป็นต้น จากนั้นจะต้องกรอกพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น ค่าระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงแผ่นบันทึกภาพ ( $f$ ) ค่าขนาดของรัศมีท่อ ( $R$ ) และค่ารัศมีจากกึ่งกลางท่อดึงถึงผนังด้านนอก ( $r$ ) เพื่อให้โปรแกรมพร้อมคำนวณ เมื่อผู้ใช้เลือก (click) บริเวณที่ต้องการประเมินความหนาของผนังท่อ โปรแกรมจะวิเคราะห์ผลและแสดงค่าความหนาให้ทราบทันที พร้อมทั้งสามารถเก็บบันทึกเป็นไฟล์ไว้เป็นหลักฐานรวมทั้งพิมพ์แสดงผลการวิเคราะห์ตามแบบฟอร์มของงานที่ออกแบบไว้ ผังไหล (Flow chart) ดังแสดงการใช้งานในรูปที่ 3.2



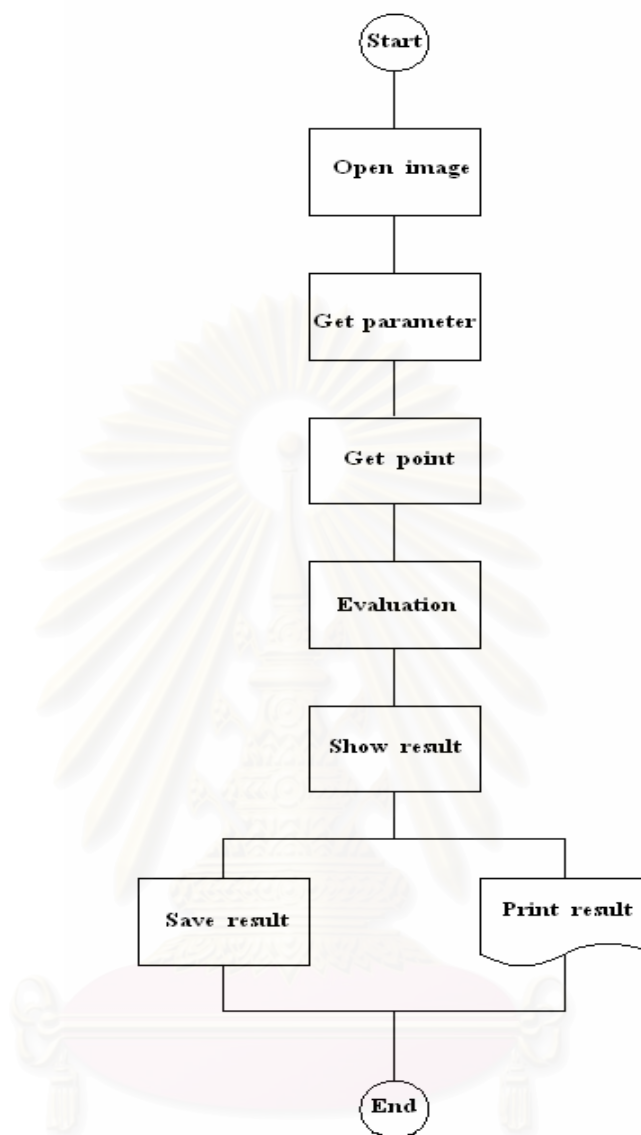
รูปที่ 3.2 ผังไหลขั้นตอนการใช้โปรแกรม

จากผังไหลการทำงานของงานสามารถกำหนดขั้นตอนของการทำงานเพื่อออกแบบโปรแกรมได้ดังนี้

1. ผู้ใช้โปรแกรมต้องการประเมินความหนาแน่นที่จะต้องเปิดแฟ้มภาพที่ต้องการ
2. ระบุค่าตัวแปรคงที่เพื่อใช้ประกอบการคำนวณความหนาแน่นต่อตามสมการที่ 3.2 ได้แก่  
 $w'$  = ความหนาที่ปรากฏบนภาพถ่าย โดยเครื่องจะระบุความหนานี้ให้หลังจากคลิกภาพบริเวณที่ต้องการอ่านความหนา  
 $f$  = ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงแผ่นบันทึกภาพ  
 $R$  = รัศมีที่รวมจนวนความร้อน
3. กำหนดตำแหน่งในรูปที่ต้องการประเมินโดยการคลิกเมาส์
4. ระบบจะค้นหาตำแหน่งเริ่มต้น และ ตำแหน่งสุดท้ายเพื่อหาความหนาของท่อ
5. แสดงผลการประเมินที่หน้าจอ ประกอบไปด้วย ตำแหน่งที่ผู้ต้องการประเมิน กำหนด ในครั้งแรกและตำแหน่งเริ่มต้นตำแหน่งสุดท้าย พร้อมแสดงรายละเอียด ภายในภาพเพื่อให้ทราบถึงตำแหน่ง บนภาพ และแสดง ค่าความหนาเป็น หน่วย Pixel และ ความหนาเป็นมิลลิเมตร
6. ผู้ต้องการผลประเมินสามารถ บันทึก ภาพพร้อมรายละเอียดของผลการประเมินความหนา ลงใน แฟ้มเดิม หรือ แฟ้มใหม่ได้
7. ผู้ต้องการผลประเมิน สามารถพิมพ์ภาพพร้อมรายละเอียดของผลการประเมินความหนาออกทางเครื่องพิมพ์ได้

### 3.1.3 โครงสร้างของโปรแกรม

จากเทคนิคการถ่ายภาพแบบเส้นสัมผัสแสงและแผนผังขั้นตอนการทำงานของงานซึ่งเป็นข้อมูลทางเทคนิคประกอบการออกแบบโปรแกรมที่กล่าวมาแล้ว สามารถวางอัลกอริทึม (Algorithm) ของโปรแกรมเป็นขั้นตอนต่างๆ เป็น 4 ส่วน คือ ส่วนรับ/ส่งข้อมูล ส่วนประมวลผล ส่วนแสดงผล และส่วนเชื่อมโยงการทำงานกับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ดังแสดงตามผังไหล (Flow chart) ในรูปที่ 3.3 เพื่อกำหนดเป็นรายละเอียดใน use case template ในภาคผนวก ก.1 และพัฒนาโปรแกรมประเมินความหนาแน่นท่อได้ดังในภาคผนวก ก.2



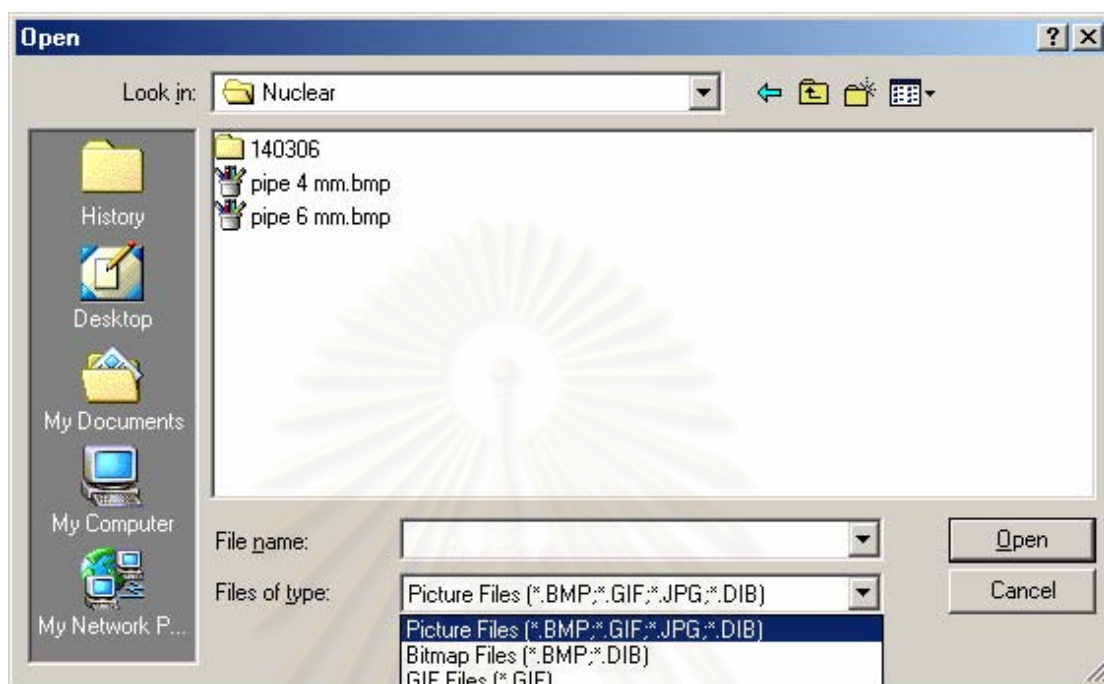
รูปที่ 3.3 ฟังไหล (flow chart) ของโปรแกรมการอ่านค่าความหนาผนังท่อ

ลักษณะ การทำงานของโปรแกรมมีการทำงานหลักอยู่ 3 ส่วนตามฟังไหลรูปที่ 3.3 โดยแต่ละส่วนมีรูปแบบและรายละเอียดการทำงานดังนี้

#### ก. การเปิดไฟล์รูปภาพ (Open image file)

การเปิดไฟล์รูปภาพ ที่ต้องการตรวจสอบขนาดความหนาของผนังท่อ สามารถเปิดแฟ้มที่เป็นรูปแบบของรูปภาพได้ทั้งหมด ไม่จำกัดขนาด รูปแบบของภาพ แสดงหน้าจอภาพในรูปที่ 3.4

ซึ่งเป็นรูปแบบของการเปิดแฟ้มใช้งาน เช่น Picture Files, Bitmap Files, Gif Files, JPEG Files เป็นต้น และเชื่อมต่อการทำงานกับโปรแกรมประเมินความหนาของท่อ



รูปที่ 3.4 ภาพหน้าจอแสดงการเปิดแฟ้มรูปภาพ

#### ข. การระบุค่าตัวแปร (Post parameter)

ในการ ประเมินความหนาของท่อ มีตัวแปรหลักที่ใช้ในการประเมินตามสมการที่ 3.2 ดังนี้

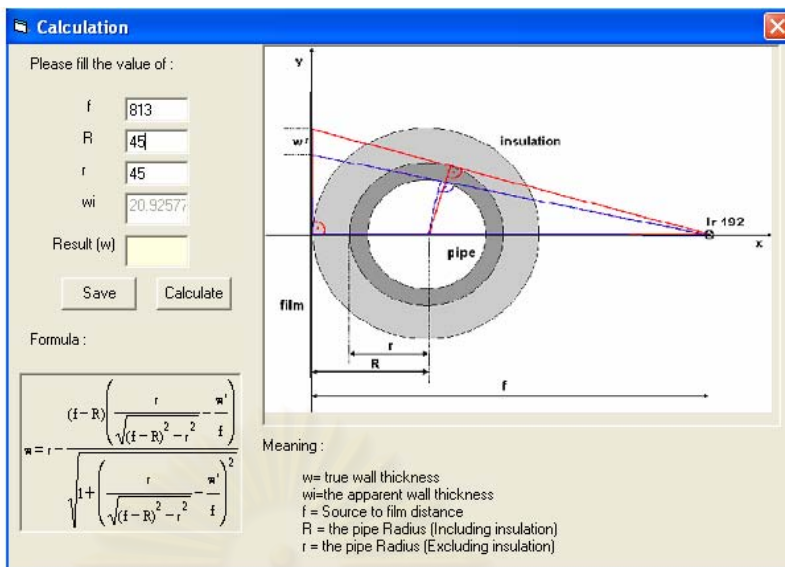
$w'$  = ความหนาที่ปรากฏบนภาพถ่าย

$f$  = ระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงแผ่นบันทึกภาพ

$R$  = รัศมีที่รวมจนวนความร้อน

$r$  = รัศมีท่อ

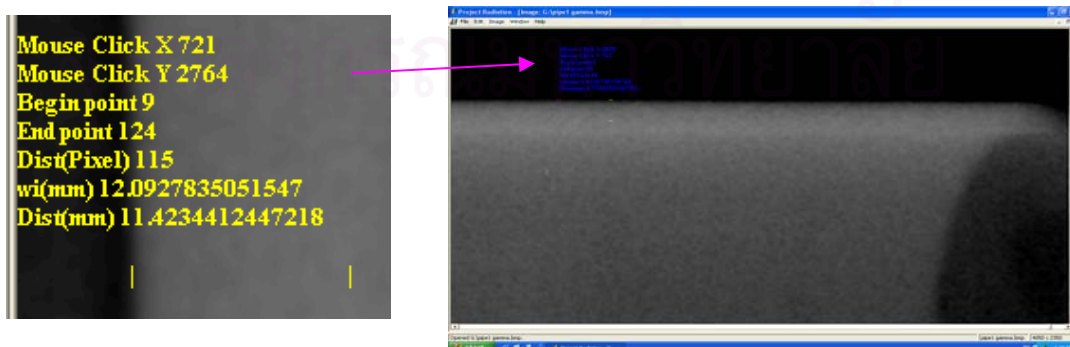
การระบุค่าตัวแปร ทำได้โดยผู้ใช้ระบุค่าตัวแปรเบื้องต้นก่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นภาพแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะต้องระบุก่อนแล้วจึงทราบค่าความหนา โดยที่ระบบจะจำค่าตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรถาวรในการประเมินหาความหนาของ ภาพนั้นๆ



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงตัวอย่างการใส่ค่าพารามิเตอร์

ค. การประเมินความหนาของผนังท่อ (Projection)

การประเมินความหนาของผนังท่อ เป็นขั้นตอนหลังจากที่ผู้ใช้เปิดเพิ่มภาพ และระบุค่าตัวแปรเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ระบบจะรอรับตำแหน่งที่ต้องการประเมินโดยการเลือกตำแหน่งจากการคลิกเมาส์ 1 ครั้ง จากนั้น ระบบจะหาขอบของภาพ และแนวท่อด้านใน เพื่อประมวลจำนวนพิกเซลภาพและแสดงผลทางจอภาพพร้อมทั้ง ระบุตำแหน่งที่ระบบประเมินความหนาใช้เป็นจุดเริ่มต้น และ จุดสุดท้ายในการประเมินชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ซึ่งเป็นภาพหน้าจอขณะแสดงผลของการประเมินหาความหนาจากโปรแกรม ในการนี้ผู้ใช้สามารถเลื่อนคลิกเมาส์ ไปตามจุดต่างๆของรูปภาพได้ เพื่อที่จะเลือกบริเวณความหนาที่แน่นอน ผลการประเมินความหนาผนังท่อจะถูกต้องเพียงใดขึ้นกับคุณภาพของภาพ ซึ่งจะต้องมีความละเอียดและความชัดเจนค่อนข้างสูงและปราศจากสิ่งรบกวนจากรังสีกระเจิง



รูปที่ 3.6 จอภาพแสดงผลการประเมินหาความหนาจากโปรแกรม

### 3.2. การทดสอบหาเงื่อนไขและเทคนิคการถ่ายภาพ

การพัฒนาวิธีการถ่ายภาพรังสีท่อมุมฉนวนความร้อนด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์กราฟิกร่วมจำเป็นต้องมีการศึกษาและทดลองหาเงื่อนไขและความไวความเปรียบต่างของระบบ จึงต้องเลือกอุปกรณ์และออกแบบชิ้นงานทดสอบต่างๆ ที่ประกอบการทดลองได้แก่

- ก. เส้นลวดบ่งชี้คุณภาพ (IQI) สำหรับทดสอบความไวความเปรียบต่างของภาพที่ความหนาใดๆ ของท่อที่ต้องการถ่ายภาพ
- ข. เหล็กชั้นบันได สำหรับทดสอบการตอบสนองความเปรียบต่างของแผ่นบันทึกรูปภาพ
- ค. ท่อเหล็กชั้นบันได สำหรับทดสอบความชัดเจนของภาพและประเมินการอ่านค่าความหนาด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
- ง. ท่อเหล็กหุ้มฉนวนความร้อนที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทดลองถ่ายภาพ

#### 3.2.1 เส้นลวดบ่งชี้คุณภาพของภาพ

เส้นลวดบ่งชี้คุณภาพ เป็นตัวชี้ ถึงความสามารถที่จะตรวจสอบพบรอยบกพร่องได้ในการถ่ายภาพรังสี ซึ่งวัสดุที่ใช้เป็นเส้นลวดนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุที่ตรวจสอบ หากตรวจสอบวัสดุใด เส้นลวดบ่งชี้คุณภาพก็ต้องเป็นวัสดุชนิดนั้น แต่ละชุดจะมีเส้นลวดจำนวน 7 เส้น แต่ละเส้นมีขนาดแตกต่างกัน ดังรูปที่ 3.7 ในการทดลองนี้เลือกใช้ IQI มาตรฐาน DIN 6 FE, DIN 10 FE



รูปที่ 3.7 เส้นลวดบ่งชี้คุณภาพ (IQI)



### 3.2.2 เหล็กขั้นบันได (Step wedge)

เหล็กขั้นบันไดที่สร้างขึ้นนอกแบบตามมาตรฐาน IIW (Intutional Institute of Welding) ใช้เหล็กกล้าขนาดกว้าง 25.4 มม. ยาว 304.8 มม. หนา 20 มม. นำเข้าเครื่องกัดผิวโลหะ (milling machine) เพื่อกัดเนื้อเหล็กออกให้มีความหนาเป็นขั้นขนาด 2 มม.ต่อขั้น (mm/step) จำนวน 10 ขั้น เริ่มจากความหนา 2 มม. เหล็กขั้นบันไดที่สร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เหล็กขั้นบันได

### 3.2.3 ชิ้นงานท่อเหล็กขั้นบันได

ท่อเหล็กขั้นบันไดนี้ สร้างจากท่อเหล็กคาร์บอนมาตรฐานที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาด 3 นิ้ว กัดปาดเนื้อเหล็กออกให้บางเป็นขั้นๆ ความหนาชั้นละ 2 มม. จำนวน 5 ชั้น เพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของภาพถ่ายรังสีและความถูกต้องของการอ่านค่าความหนาท่อโลหะที่ขนาดต่างๆ ท่อเหล็กที่ออกแบบและสร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ท่อเหล็กขั้นบันไดที่ใช้ในการทดสอบ

### 3.2.4 ท่อเหล็กคาร์บอนหุ้มฉนวนความร้อน

ชิ้นงานทดสอบที่เป็นท่อเหล็กหุ้มฉนวนความร้อนมาตรฐานในงานอุตสาหกรรม ซึ่งตัดมาใช้งานทดลอง ขนาดความยาว 300 มม. ดังภาพตัวอย่างท่อในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ภาพตัวอย่างท่อหุ้มฉนวนความร้อน

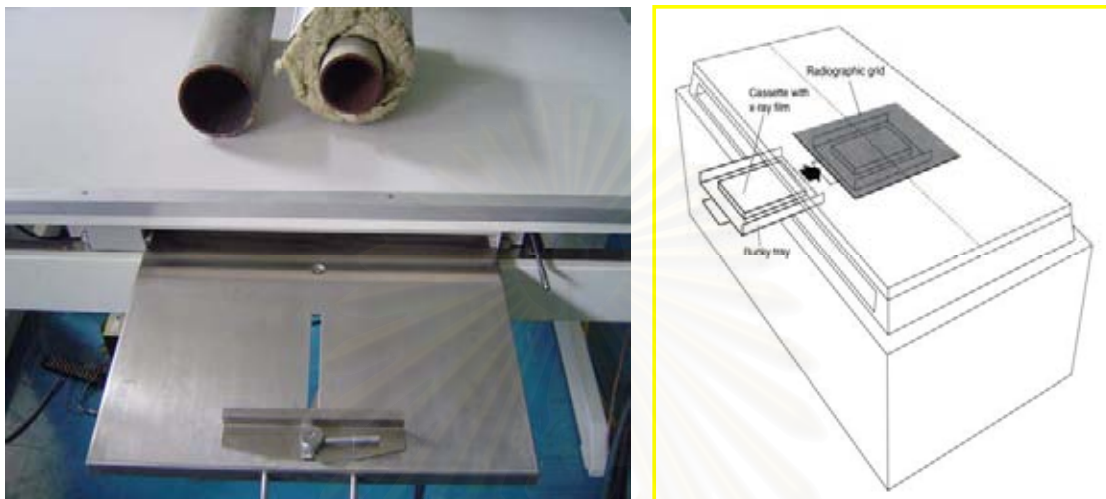
### 3.3 การออกแบบโต๊ะถ่ายภาพรังสี

จากที่กล่าวแล้วว่า การถ่ายภาพรังสี ด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์โอกราฟีนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากคือ ผลของรังสีกระเจิงที่เกิดขึ้นจากชิ้นงาน เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีคุณสมบัติไวต่อรังสีพลังงานต่ำมากกว่า ดังนั้นการลดผลการรบกวนของรังสีกระเจิง นอกจากการใช้แผ่นตะกั่วกันด้านหน้าแผ่นบันทึกภาพ ตามคำแนะนำจากเอกสารมาตรฐาน รหัส E2446-05 แล้ว งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการลดปริมาณรังสีกระเจิงทางการแพทย์มาใช้ด้วย เทคนิคดังกล่าวคือ การใช้ Potter-Bucky grid ซึ่งลักษณะของแผ่นกริดแสดงในรูปที่ 3.11 แผ่น Bucky grid ที่เลือกใช้เป็นชนิด Parallel grid ขนาด 15 นิ้ว X 18 นิ้ว มี grid ratio 8:1 และ 12:1 ซึ่งมีระยะโฟกัส 26-32 นิ้ว และ 34-44 นิ้ว ตามลำดับ



รูปที่ 3.11 แสดงภาพแผ่น Bucky - grid

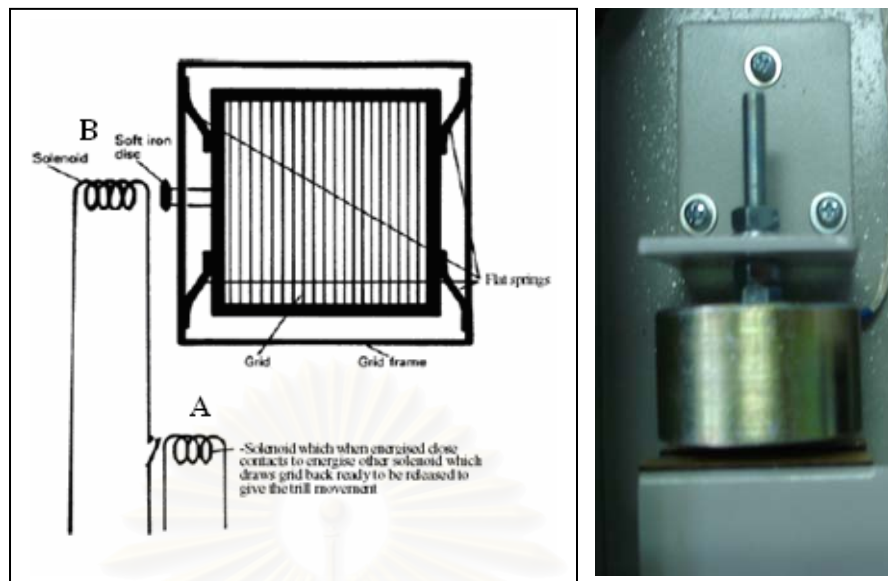
Bucky grid จะต้องติดตั้งบนโครงที่สามารถเลื่อนไหวในลักษณะการส่ายตามแนวได้อิสระ และวางอยู่บนแผ่นบันทึกภาพ ดังนั้นจึงต้องออกแบบโต๊ะถ่ายภาพรังสี ซึ่งสามารถใช้ในการทดลองในงานวิจัยได้สะดวกดังโครงสร้างในรูปที่ 3.12 ซึ่งแสดงการยึดถาดคัลกแผ่นบันทึกภาพและระบบสายแผ่นกริด



รูปที่ 3.12 โครงสร้างและโต๊ะสำหรับถ่ายภาพรังสี

โดยยึดแผ่น Bucky grid ประกอบด้วยชุดสปริงชนิดแผ่น 2 ด้าน ที่ยึดแผ่นกริดให้ลอยตัวส่ายได้อิสระบนกรอบโครงยึด กรอบแผ่นกริดจะต่อกันเหล็กซึ่งสามารถดึงให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดโซลินอยด์ (Solenoid) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 การทำงานของ Potter-Bucky grid เริ่มจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดรีเลย์ A เพื่อให้โซลินอยด์ B เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและดูดก้านเหล็กเพื่อเคลื่อนแผ่นกริดให้ชนขอบโครง เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าแผ่นกริดจะถูกสปริงดึงกลับเคลื่อนไปมาด้วยแรงเฉื่อยในสปริงเป็นเวลานานกว่า 30 วินาที ซึ่งเพียงพอต่อการถ่ายภาพรังสีแต่ละครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ขดลวดโซลินอยด์

รูปที่ 3.13 แสดงระบบ Potter-Bucky grid

อีกส่วนหนึ่งของโต๊ะถ่ายภาพรังสี คือ เสายึดหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) หรือต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซึ่งออกแบบให้ปรับระยะโฟกัสระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับแผ่นบันทึกภาพได้ดังแสดงในรูป 3.14 ก และยังสามารถปรับมุมเอียงของหลอดกำเนิดรังสีให้เหมาะสมกับมุมสำหรับถ่ายภาพชิ้นงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 ข



ตำแหน่งระยะโฟกัสสูงสุด



ระยะโฟกัสต่ำสุด

ก. แสดงการปรับระดับตำแหน่งของหลอดรังสีเอกซ์



ปรับมุมเอียงแนวราบ



ปรับมุมเอียงแนวขวาง

### ข. แสดงการปรับมุมเอียงของหลอดรังสีเอกซ์

รูปที่ 3.14 ภาพแสดงการปรับระยะ โฟกัสและมุมเอียงของหลอดรังสีเอกซ์

## 3.4 มาตรฐานอ้างอิงรองรับเทคนิคคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี

องค์กรสากลที่เกี่ยวข้องกับการดูแลควบคุมมาตรฐานและเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายชนิดต่างๆ ทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกาและกลุ่มสหภาพยุโรป ได้มีการร่างมาตรฐานของการตรวจสอบโดยการถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี และสมาคมทดสอบวัสดุมาตรฐานสหรัฐอเมริกา (American Society Testing Material; ASTM) ได้จัดทำเป็นข้อกำหนดมาตรฐานขึ้นมาอ้างอิง ตามรหัสเอกสาร E 2445-05 และ E2446-06 ซึ่งในรหัส E2445-05 กล่าวถึงมาตรฐานที่เกี่ยวกับแนวปฏิบัติการรับรอง และความเสถียรของเทคนิคคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี โดยมีข้อเสนอแนะถึงพารามิเตอร์เบื้องต้น เพื่อใช้อ้างอิงถึงการนำเทคนิคมาใช้ในการประเมินเพื่อรับรองในงานถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรม ทั้งในแง่ความน่าเชื่อถือ การตรวจสอบของชิ้นงานทดสอบ และคุณภาพของภาพถ่ายรังสี

คุณภาพของภาพถ่ายรังสีด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี ขึ้นกับคุณลักษณะของแผ่นบันทึกภาพ ความละเอียดในการสแกนภาพของเครื่องอ่านข้อมูลสัญญาณภาพ การใช้ Intensify screen ในการเพิ่มความไวรังสีที่พลังงานสูง และลดผลการกระเจิงรังสีของรังสีด้านหน้าแผ่นบันทึกภาพ รวมถึงการกรองรังสีพลังงานต่ำจากแหล่งกำเนิดรังสีเพื่อให้เกิดความเปรียบต่างที่ดี มีความไวความเปรียบต่างสูง ซึ่งสิ่งเหล่านี้อ้างอิงถึงรหัสเอกสารประกอบที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. E-1316 ซึ่งจะกล่าวถึงคำจำกัดความของการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

2. E1647 หลักปฏิบัติ ในการหา ค่าความไวความเปรียบต่างของ เรดิโอสโคปี (radioscopy)
3. E-2002 หลักปฏิบัติในการหาค่าความไม่คมชัดของภาพถ่ายด้วยรังสี
4. E-2007 แนวทางสำหรับเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีซึ่งอ้างถึงวิธีการทางสัญญาณ ลูมิเนสเซนซ์ (PSL Method)
5. E-2033 หลักการปฏิบัติสำหรับเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีซึ่งอ้างถึงวิธีการทาง สัญญาณลูมิเนสเซนซ์ (PSL Method)
6. E-2446 หลักปฏิบัติสำหรับการแยกประเภทของแผ่นบันทึกภาพ

ในรหัสเอกสาร E2446-05 อ้างอิงการใช้ตัวบ่งบอกคุณภาพ (Image Quality Indicator, IQI) ของภาพถ่ายรังสีด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี ลักษณะตัวบ่งชี้จะใช้พิจารณาความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดภาพ โดยใช้ duplex wire ถ่ายภาพร่วมกับชิ้นงาน โดยวางท่ามุม 5 องศา กับแนวสแกนข้อมูลภาพ และใช้สัญญาณ PSL จากแนวสแกนคำนวณหาค่า MTF (Modulation Transfer function) สำหรับประเมินระบบในงานถ่ายภาพที่ตรวจสอบภาพความละเอียดสูงและยังมีการออกแบบอุปกรณ์ทดสอบคุณภาพของภาพในหลายรูปแบบ

นอกจากนี้ยังมีการกำหนดระดับชั้น (Class) ของแผ่นบันทึกภาพ โดยแบ่งตามอัตรา สัญญาณต่อสัญญาณที่อ่านค่าได้จากข้อมูลภาพ ดังข้อมูลในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนด Class ของแผ่นบันทึกภาพ

Class ของแผ่นบันทึกภาพ (CR/ Classification)	อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (SNR)
ASTM IP Special /Y	130
ASTM IP I/Y	65
ASTM IP II/Y	52
ASTM IP III/Y	43

รายละเอียดของเนื้อความในเอกสารกำหนดมาตรฐานของเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี รหัสเอกสาร E -2445-05 และ E-2446-05 ปรากฏในภาคผนวก ข

## บทที่ 4

### การวิจัยและผลการวิจัย

การนำเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีมาใช้ในงานถ่ายภาพรังสีด้านอุตสาหกรรมเป็นงานค่อนข้างใหม่ จึงมีข้อมูลทางเทคนิคน้อย จำเป็นต้องมีการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับชิ้นงานต่างๆ เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากฟิล์มถ่ายภาพรังสีมาก ด้วยเหตุที่ฟิล์มถ่ายภาพรังสี เป็นอุปกรณ์บันทึกภาพดั้งเดิมที่มีการใช้งานกันมานาน และมีข้อมูลทางเทคนิคสมบูรณ์ ดังนั้นในการพัฒนาเทคนิคถ่ายภาพรังสียุคใหม่ จึงอ้างอิงเปรียบเทียบกับฟิล์มเสมอ เพื่อเป็นการพัฒนาเทคนิคการถ่ายภาพรังสี โดยใช้แผ่นบันทึกภาพ งานวิจัยนี้จึงได้แบ่งขั้นตอนทดลองดังนี้

1. การทดลองเปรียบเทียบความเปรียบต่างของแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์ม
2. การหาเงื่อนไข เพื่อถ่ายภาพท่อหุ้มฉนวนด้วยรังสีเอกซ์ และแกมมา
3. การใช้เทคนิคกริดกับการถ่ายภาพรังสีของท่อหุ้มฉนวนความร้อน
4. การอ่านขนาดความหนาผนังท่อผนังท่อด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

#### 4.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

- 4.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์เรย์ ของบริษัท Balteau NDT รุ่น XSD 160 ซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 160 kV กระแสสูงสุด 4 mA และขนาดของโฟกัส 400 ไมโครเมตร มีแหล่งจ่ายแรงดันสูงเป็นแบบ constant potential ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ก.
- 4.1.2 ต้นกำเนิดรังสีแกมมาอิริเดียม-192 พร้อมทั้งชุดขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสี ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ค. และ ง. ตามลำดับ สำหรับงานถ่ายภาพรังสีความแรง 32 คูรี
- 4.1.3 แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate) ของบริษัท ฟุจิฟิล์ม รุ่น BAS-MS และ BAS-SR
- 4.1.4 ก๊อปปี้บรรจุแผ่นบันทึกภาพ (Cassette)
- 4.1.5 เครื่องอ่านปริมาณรังสีจากแผ่นบันทึกภาพ ของบริษัท ฟุจิฟิล์ม รุ่น FLA-5100 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ข.
- 4.1.6 เครื่องลบข้อมูลภาพแฝงที่ตกค้างอยู่บนแผ่นบันทึกภาพ
- 4.1.7 เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อประเมินความหนาท่อ
- 4.1.8 แผ่นฟิล์มอุตสาหกรรม Type II ของบริษัท โกดัก รุ่น AA400

- 4.1.9 แผ่นฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี (Lead intensify screen) ที่มีความหนา 0.25 มม. และ 0.125 มม.
- 4.1.10 แผ่น Bucky grid ขนาด 15 นิ้ว X 18 นิ้ว 2 แผ่น ซึ่งมี grid ratio 8:1 และ 12:1
- 4.1.11 ตัวอย่างท่อหุ้มฉนวนความร้อน และตัวอย่างท่อที่กลิ้งปาดผนังให้บางเป็นชั้นบันได
- 4.1.12 แผ่นชิ้นงานทดสอบที่เป็นชั้นบันได (Step wedge)
- 4.1.13 โต้ะทดสอบสำหรับใช้ยึดหลอดรังสีเอกซ์ และ Grid พร้อมทั้งใช้วางชิ้นงานทดสอบ



ก. เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

ข. เครื่องอ่านปริมาณรังสีจากแผ่นบันทึกภาพ



ค. เครื่องโปรเจกเตอร์รังสีแกมมา

ง. ชุดขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสี

รูปที่ 4.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ชุดขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสี และ เครื่องอ่านปริมาณรังสีจากแผ่นบันทึกภาพ

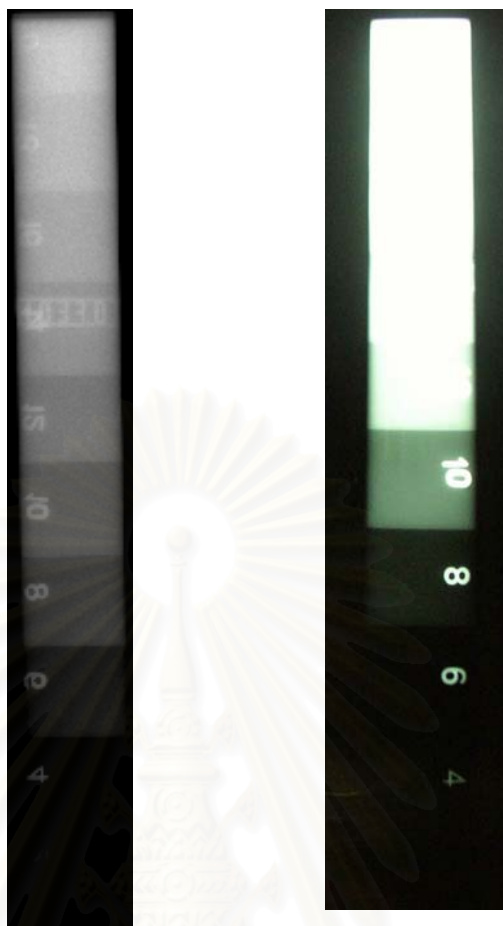


## 4.2 การทดลองเปรียบเทียบความเปรียบต่างของแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์ม

### 4.2.1. การทดสอบคุณลักษณะของย่านตอบสนองความเปรียบต่าง

การทดลองใช้แผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-MS 2040 กับเครื่องอ่านข้อมูลภาพรุ่น BAS Series FLA 5100 ของบริษัทฟูจิฟิล์ม จำกัด ทำการปรับเทียบความเปรียบต่างด้วยเหล็กขั้นบันได (Step Wedge) และถ่ายภาพท้อเหล็กรุ่น 6 มม. ด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ของบริษัท Balteau NDT รุ่น XSD160 เพื่อเปรียบเทียบผลของภาพถ่ายกับการถ่ายภาพรังสีด้วยฟิล์มของ Kodak รุ่น AA 400 (type II) โดยเงื่อนไขของการถ่ายภาพจากเส้นกราฟเอกโพเซอร์ จะใช้ศักดาไฟฟ้าสูงในการกำเนิดรังสีเอกซ์ ที่ 160 kV กระแส 4 mA เวลาในการถ่ายภาพ 10 นาที 30 วินาที หรือ เอกซ์โพเซอร์เท่ากับ 42 mA – min ในการทดสอบความไวรังสีของแผ่นบันทึกภาพ จะบรรจุแผ่นบันทึกภาพในช่องพลาสติก เพื่อป้องกันผิวหน้าของแผ่นบันทึกภาพในเวลาถ่ายภาพ

ผลการทดสอบคุณภาพของความเปรียบต่าง พบว่าแผ่นบันทึกภาพให้การตอบสนองคุณภาพความเปรียบต่างได้ดีกว่าฟิล์มถ่ายภาพรังสี ดังปรากฏตามภาพถ่ายเหล็กขั้นบันไดในรูปที่ 4.2 ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะการตอบสนองปริมาณรังสีของผลึกเรืองแสงในแผ่นบันทึกภาพที่มีการตอบสนองเป็นเชิงเส้นและย่านตอบสนอง (Dynamic range) กว้าง



ก. แผ่นบันทึกภาพ BAS-MS      ข. ฟิล์ม Kodak AA400

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายหลักขั้นบันไดเพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองความเปรียบต่าง

#### 4.2.2 การหาค่าเอกซ์โพเชอร์ของเทคนิคคอมพิวเตอร์แอกกราฟี

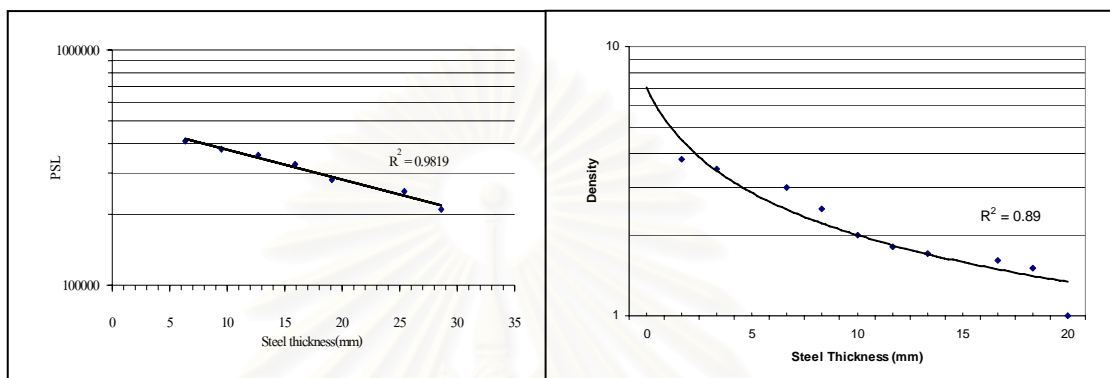
การถ่ายภาพรังสีมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างกราฟเอกซ์โพเชอร์ซึ่งเป็นการสัมพันธ์ระหว่างความหนาขั้นบันไดกับค่าความสว่างของสารเรือง (PSL) โดยได้ทำการทดลองดังนี้

ก. การทดลองถ่ายภาพรังสีแกมมาจาก Ir-192 ความแรง 32 คูรี สำหรับแผ่นบันทึกภาพ ใช้เวลาในการถ่าย 10 วินาที โดยบรรจุในถักพร้อมทั้งมีแผ่น Intensify screen หนา 0.25 มม. ระยะตั้งกำเนิดรังสีถึงแผ่นบันทึกภาพ 32 นิ้ว ได้กราฟเอกซ์โพเชอร์ในรูปที่ 4.3 ก.

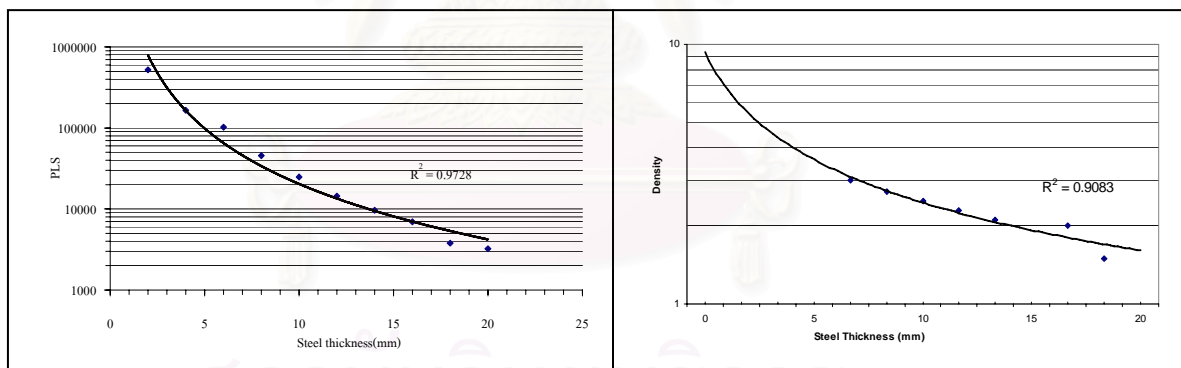
ข. การทดลองถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 kV 4 mA ใช้เวลาในการถ่าย 20 วินาที บรรจุแผ่นบันทึกภาพในถักมีแผ่น Intensify screen หนา 0.25 มม. ระยะตั้งกำเนิดรังสีถึงแผ่นบันทึกภาพ 32 นิ้ว จะได้กราฟเอกซ์โพเชอร์ในรูปที่ 4.4 ก

ค. การถ่ายภาพรังสีแกมมาจาก Ir-192 ความแรง 32 คูรี สำหรับแผ่นฟิล์ม ใช้เวลา 10 วินาที โดยใช้แผ่น Intensify screen หนา 0.25 มม. ระยะ 36 นิ้ว ได้กราฟเอกซ์โพเซอร์ ดังรูปที่ 4.3 ข.

ง. ถ่ายภาพรังสีเอกซ์พลังงานต่ำใช้ Intensify screen หนา 0.25 มม. ระยะ 32 นิ้ว ได้กราฟเอกซ์โพเซอร์ ในรูปที่ 4.4 ข.



ก. กราฟเอกซ์โพเซอร์ของแผ่นบันทึกภาพ      ข. กราฟเอกซ์โพเซอร์ของฟิล์ม  
รูปที่ 4.3 เส้นกราฟเอกซ์โพเซอร์ของการใช้ Ir-192 ความแรง 30 คูรี กับแผ่นบันทึกภาพ (ก) และฟิล์ม โคดก AA400 (Type II) (ข)



ก. กราฟเอกซ์โพเซอร์ของแผ่นบันทึกภาพ      ข. กราฟแสดงเอกซ์โพเซอร์ของฟิล์ม

รูปที่ 4.4 เส้นกราฟเอกซ์โพเซอร์ของแผ่นบันทึกภาพและฟิล์ม Type II ในการใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ของบริษัท Balteau NDT รุ่น XSD 160

ผลของการอ่านค่า PSL เหล็กชั้นบันไดจากแผ่นบันทึกภาพ จะเห็นว่าความแปรปรวนของภาพย่านกว้าง และสามารถปรับ Contrast ใดๆ ความหนาได้ แต่ตำแหน่งที่เหมาะสมจะอยู่บริเวณช่วงกลางของเส้นกราฟเอกซ์โพเซอร์ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่มีค่าความเหมาะสม

#### 4.2.3 การหาความไวในการถ่ายภาพทอหุ้มฉนวน

การทดสอบความไวในการถ่ายภาพรังสีของท่อที่มีความหนา 6 มม. ด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี ด้วยรังสีแกมมา และรังสีเอกซ์ โดยใช้เส้นลวดทดสอบมาตรฐาน (IQI) DIN FE6/12 วางบนท่อที่หุ้มฉนวนความร้อนมีขั้นตอนดังนี้

ก. ถ่ายภาพทอหุ้มฉนวนด้วยรังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 kV ใช้เอกซ์โพเชอร์ 4 mA 20 วินาที เปรียบเทียบกันระหว่างการใช้แผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-MS 2040 และฟิล์ม AA400 (Type II) ที่เอกซ์โพเชอร์ 4 mA 2.25 นาที ได้ผลของการถ่ายภาพดังรูปที่ 4.5

ข. ถ่ายภาพทอหุ้มฉนวนด้วยรังสีแกมมาจากต้นกำเนิดรังสี Ir-192 ด้วยเอกซ์โพเชอร์ 32 คูรี 10 วินาที เปรียบเทียบระหว่างแผ่นบันทึกภาพรุ่น BAS-MS 2040 และฟิล์ม AA400 (Type II) ด้วยเอกซ์โพเชอร์ 32 คูรี 2 นาที ได้ผลของการถ่ายภาพดังรูปที่ 4.6

ผลจากการอ่านความไวของภาพ การมองเห็นเส้นลวดทดสอบในการถ่ายภาพรังสีเอกซ์จะมองเห็นเส้นลวดน้อยกว่าฟิล์ม เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีความไวต่อพลังงานต่ำและปริมาณรังสีกระเจิง สูงกว่าฟิล์ม รังสีกระเจิงที่เกิดขึ้นจึงทำให้ภาพขาดรายละเอียดไป ส่วนการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาซึ่งมีพลังงานสูง แผ่นบันทึกภาพให้ได้ภาพซึ่งสามารถมองเห็นเส้นลวดเทียบเท่าฟิล์ม ที่ค่าความไวได้ 2 %



ก. แผ่นบันทึกภาพ BAS-MS



ค. ฟิล์ม Kodak AA400

รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายท่อและความชัดของเส้นลวดทดสอบจากการถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ 160 kV



ก. แผ่นบันทึกภาพ BAS-MS

ค. ฟิล์ม Kodak AA400

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายทอและความชัดของเส้นลวดทดสอบจากการถ่ายภาพรังสีแกมมาจาก Ir-192

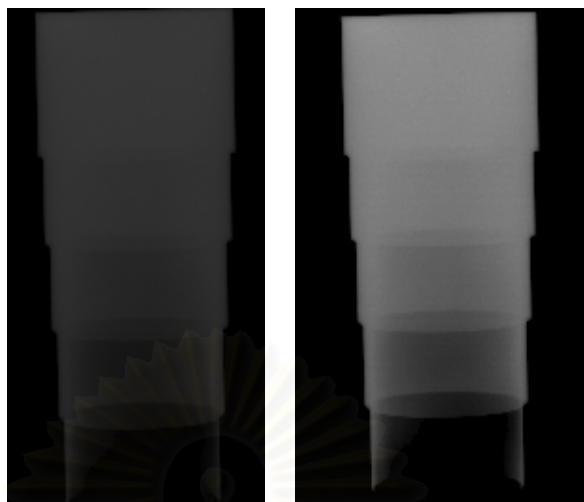
#### 4.2.4 การปรับปรุงคุณภาพจากการใช้โปรแกรมปรับปรุงคุณภาพของภาพ

เนื่องจากโปรแกรมอ่านข้อมูลปริมาณรังสีจากแผ่นบันทึกภาพ ให้ข้อมูลภาพในระบบเชิงเลข เมื่อภาพถ่ายรังสี มีความเปรียบต่างหรือรายละเอียดบางส่วนไม่ชัดเจน โปรแกรมอ่านข้อมูลสามารถใช้ฟังก์ชันภายในโปรแกรมเพื่อเสริมคุณภาพของภาพถ่ายให้ดีขึ้น การทดลองนี้ได้ถ่ายภาพทอรูปขึ้นบันไดด้วยรังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 kV เอกซ์โพเชอร์ 4 mA 20 วินาที และใช้ฟังก์ชันต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. การปรับความเปรียบต่างของภาพ เปรียบเทียบระหว่างภาพถ่ายก่อนและหลังการใช้ ให้ผลของภาพ ดังรูปที่ 4.7 จะเห็นภาพภายหลังการปรับระดับความเปรียบต่างในรูป 4.7 ข ให้ความเปรียบต่างดีขึ้นและความชัดของภาพสูงกว่า

ข. การใช้เทคนิคลดสิ่งรบกวน (Noise reduction) เปรียบเทียบระหว่างภาพถ่ายก่อนและหลังการใช้ให้ผลดังรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าภาพหลังการใช้เทคนิคลดสิ่งรบกวน ในรูปที่ 4.8 ข ไม่ได้ปรับความเปรียบต่าง แต่ให้ภาพชัดเจนขึ้นเช่นกัน

ค. การใช้ Edge enhancement เพื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพถ่ายก่อนและหลังการใช้ให้ผลดังรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าภาพหลังการใช้ Edge enhancement ในรูปที่ 4.9 ข แล้วจะให้ภาพชัดเจนขึ้น โดยที่ไม่ต้องปรับความเปรียบต่าง



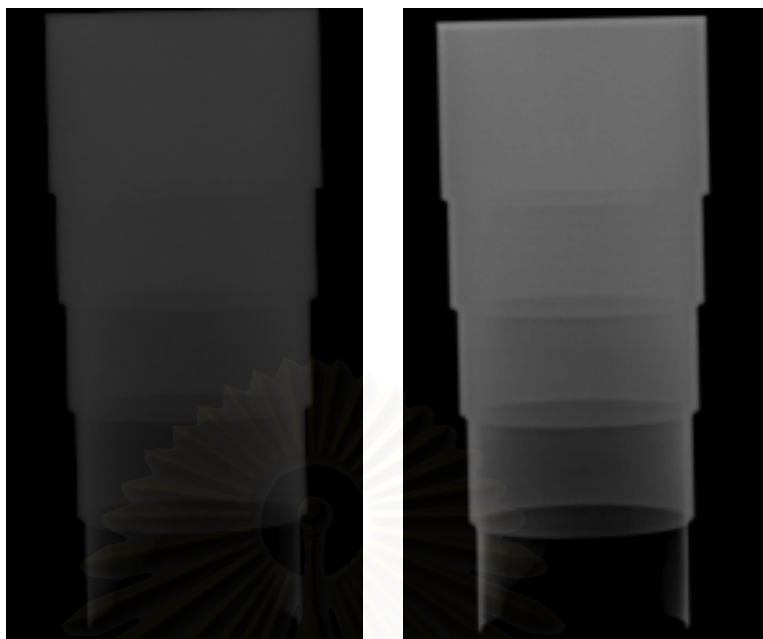
ก. แสดงภาพก่อนปรับ Contrast ข. ภาพหลังจากการปรับ Contrast

รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายก่อนและหลังปรับค่าความเปรียบต่าง



ก. ภาพก่อน Noise reduction ข. ภาพหลังการใช้ Noise reduction

รูปที่ 4.8 แสดงภาพเปรียบเทียบการใช้ฟังก์ชันลดสัญญาณรบกวน (Noise reduction)



ก. แสดงภาพก่อนทำ Edge enhancement ข. ภาพแสดงการทำ Edge enhancement

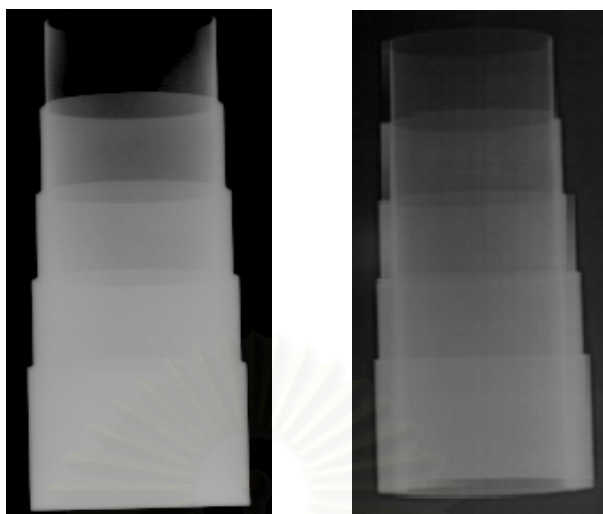
รูปที่ 4.9 ภาพแสดงการเปรียบเทียบการใช้ Edge enhancement

#### 4.3 การหาเงื่อนไขเพื่อการถ่ายภาพทอหุ้มฉนวนด้วยรังสีเอกซ์และแกมมา

##### 4.3.1 การศึกษาผลของแผ่น intensify screen ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และแกมมา

การทดลองประกอบแผ่นบันทึกภาพด้านหน้าและหลังบรรจุในถาดบันทึกภาพเพื่อถ่ายภาพทอ โดยใช้ฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี (Lead intensify screen) ในการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 กิโลโวลต์ ความหนา 0.125 มม. และ 0.25 มม. โดยใช้รูปแบบและเงื่อนไขการถ่ายภาพ รวมทั้งศึกษาผลของการลดการรบกวนของรังสีกระเจิงด้วยการใช้ฉากตะกั่วมีชั้นตอนทดลองดังนี้

ก. การใช้ฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี ความหนา 0.25 มม. ประกอบแผ่นบันทึกภาพเพื่อเพิ่มความไวรังสีเอกซ์พลังงานสูง (160 kV) 4 mA ใช้เวลา 20 วินาที และใช้รังสีแกมมาจาก Ir-192 ความแรง 32 คูรี เวลาในการถ่าย 10 วินาที ให้ผลภาพถ่ายในรูปที่ 4.10 ก และ ข ตามลำดับ ผลของการถ่ายภาพจากรังสีแกมมาจะให้ความคมชัดมากกว่า



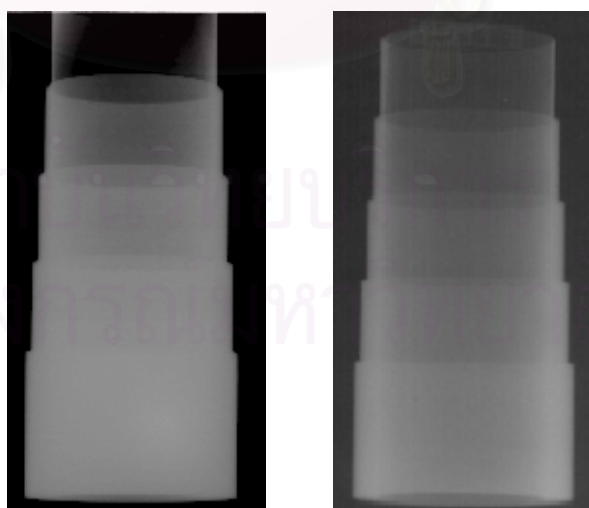
ก. ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

ข. ถ่ายด้วยรังสีแกมมา

รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง ฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี ความหนา 0.25 มม.

จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และแกมมา

ข. การใช้ฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี ความหนา 0.125 มม. ประกอบแผ่นบันทึกภาพ เพื่อเพิ่มความไวรังสีเอกซ์พลังงานสูง (160 kV) 4 mA ใช้เวลา 20 วินาที และใช้รังสีแกมมาจาก Ir-192 ความแรง 32 คูรี เวลาในการถ่าย 10 วินาที ให้ผลภาพถ่ายในรูปที่ 4.11 ก และ ข ตามลำดับ ผลของการถ่ายภาพจากรังสีแกมมาให้ความชัดมากกว่าการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์เช่นเดียวกับการ ฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี ความหนา 0.25 มม.



ก. ถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

ข. ถ่ายด้วยรังสีแกมมา

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสี ความหนา 0.125 มม.

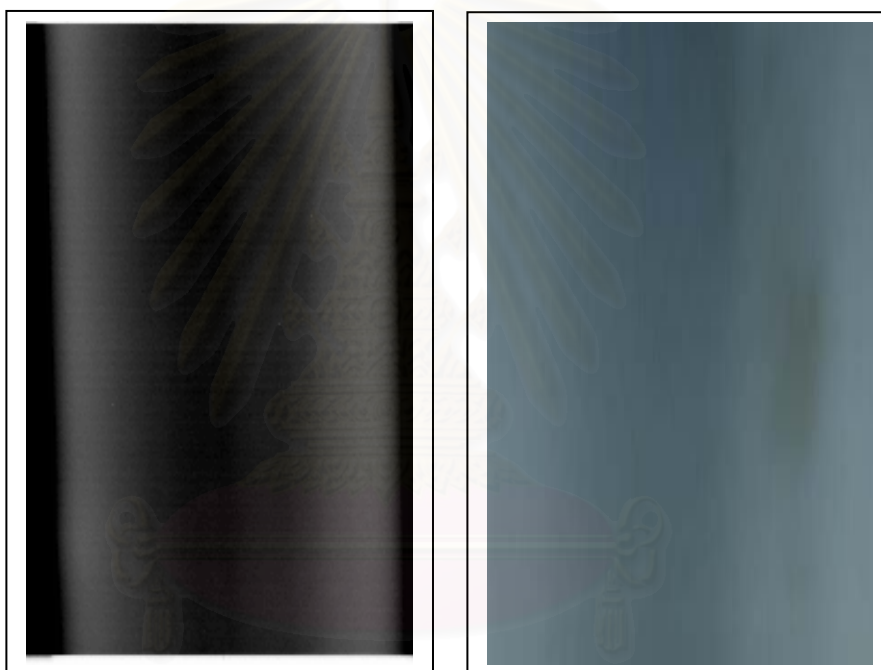
จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และแกมมา



ผลจากการใช้ฉากตะกั่วเพิ่มความไวรังสีต่างชนิดกัน ปรากฏว่า ชนิด 0.25 มม. และถ่ายกับรังสีแกมมา มีความคมชัดดีกว่า 0.125 มม.

#### 4.3.2 การถ่ายภาพทอหุ้มฉนวนด้วยรังสีเอกซ์

การทดลองถ่ายทอหุ้มฉนวนด้วยรังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 kV เอกซ์โพเชอร์ 4 mA 20 วินาที เปรียบเทียบแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ผลที่ได้แผ่น บันทึกภาพ จะได้ภาพที่มีความเปรียบเทียบมากกว่า



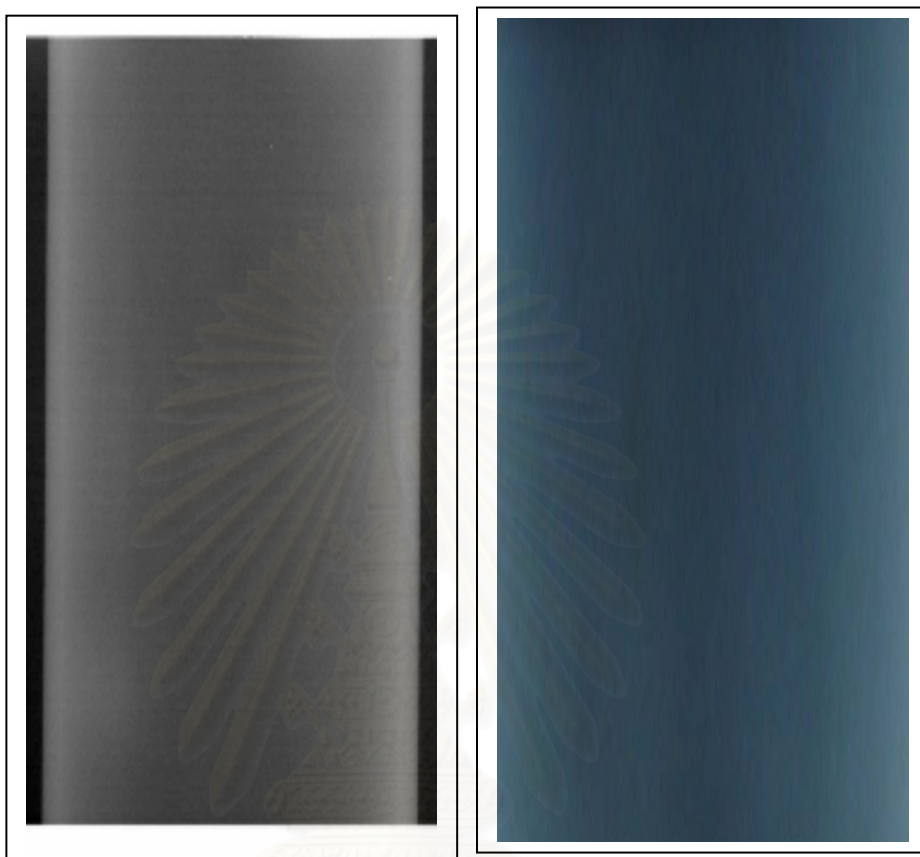
(ก.) ภาพถ่ายด้วยแผ่นบันทึกภาพ

(ข.) ภาพถ่ายด้วยฟิล์ม

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบผลภาพถ่ายของแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์มจากการถ่ายด้วยรังสีเอกซ์

#### 4.3.3 การถ่ายภาพทอหุ้มฉนวนด้วยรังสีแกมมา

การถ่ายทอหุ้มฉนวนด้วยรังสีแกมมา Ir-192 ความแรง 32 คูรี ใช้เวลาในการถ่าย 10 วินาที จะเห็นว่าแผ่นบันทึกภาพ จะได้ภาพที่มีรายละเอียดมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ภาพแสดง เปรียบเทียบจากการถ่ายรังสีแกมมากับแผ่นบันทึกภาพและฟิล์ม



(ก.) ภาพถ่ายด้วยแผ่นบันทึกภาพ (ข.) ภาพถ่ายด้วยฟิล์ม

รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบผลภาพถ่ายของแผ่นบันทึกภาพกับฟิล์มในการถ่ายด้วยรังสีแกมมา

#### 4.4 การใช้เทคนิค Bucky กับการถ่ายภาพรังสีของท่อนุ้มนวน

##### 4.4.1 การถ่ายภาพท่อนุ้มนวนด้วยรังสีเอกซ์ร่วมกับเทคนิค Bucky

สำหรับการทดลองนี้ใช้กริดสองชนิด คือ กริดชนิด 8:1 และ 12:1 เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของภาพถ่ายที่ใช้กริดทั้งสองชนิดกับไม่ใช้กริดในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์กับท่อ โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันที่แรงดันไฟฟ้า 160 kV 4 mA เวลา 20 วินาที ผลของภาพถ่ายแสดงในรูปที่ 4.14 (ก) การถ่ายท่อไม่ใช้กริด (ข) ภาพถ่ายใช้กริดชนิด 8:1 และ (ค) ภาพถ่ายใช้กริดชนิด 12:1 จะเห็นว่าภาพถ่ายที่ใช้กริดชนิด 12:1 มีคุณภาพของภาพชัดเจนกว่า



(ก) ภาพถ่ายไม่ใช้กริด (ข) ภาพถ่ายหลังกริด 8:1 (ค) ภาพถ่ายที่หลังกริด 12:1

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบภาพถ่ายด้วยเทคนิคใช้กริดในการถ่ายภาพรังสีเอกซ์ (160 kV)

#### 4.4.2 การถ่ายภาพท่อน้ำร้อนด้วยรังสีแกมมาพร้อมกับเทคนิค Bucky

การถ่ายภาพรังสีโดยใช้แกมมาจาก Ir-192 ความแรง 32 Ci เวลาถ่ายภาพ 2 นาที เปรียบเทียบเทคนิคการใช้กริดชนิด 8:1 และ 12:1 ได้ผลภาพถ่ายดังแสดงในรูปที่ 4.15 โดย (ก) เป็นภาพไม่ใช้กริดในการถ่าย (ข) ภาพถ่ายใช้กริด 8:1 และ (ค) ภาพถ่ายใช้กริด 12:1 จะเห็นว่าภาพถ่ายที่ใช้กริด 12:1 มีความชัดเจนกว่า



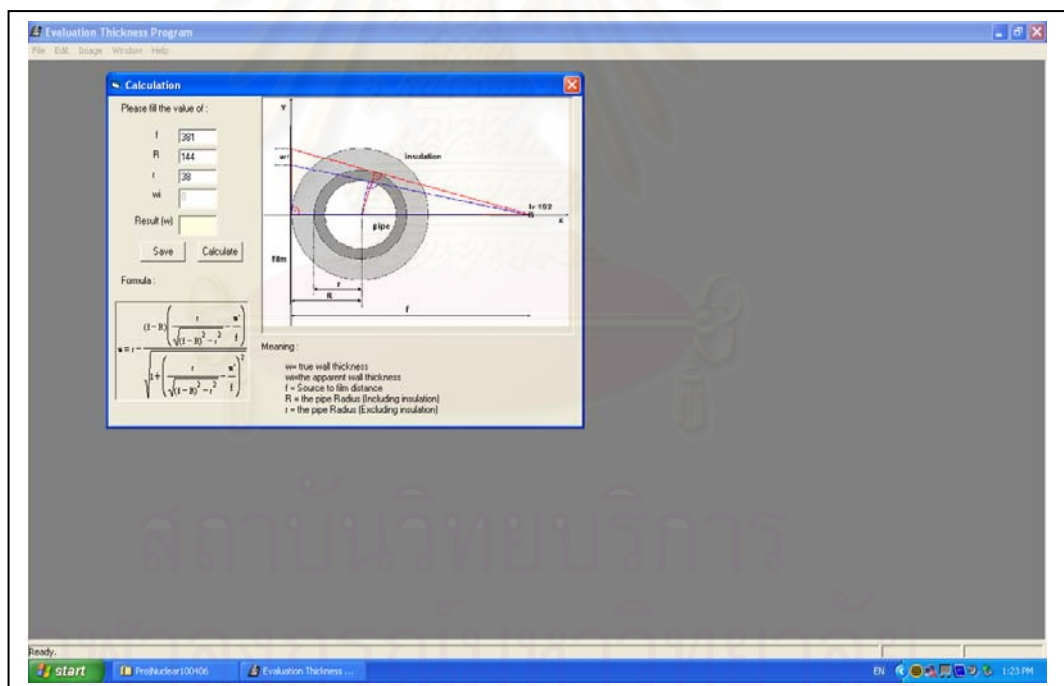
(ก) ภาพถ่ายไม่ใช้กริด (ข) ภาพถ่ายหลังกริด 8:1 (ค) ภาพถ่ายที่หลังกริด 12:1

รูปที่ 4.15 แสดงเปรียบเทียบภาพถ่ายด้วยเทคนิคใช้กริดในการถ่ายภาพรังสีแกมมา (Ir-192)

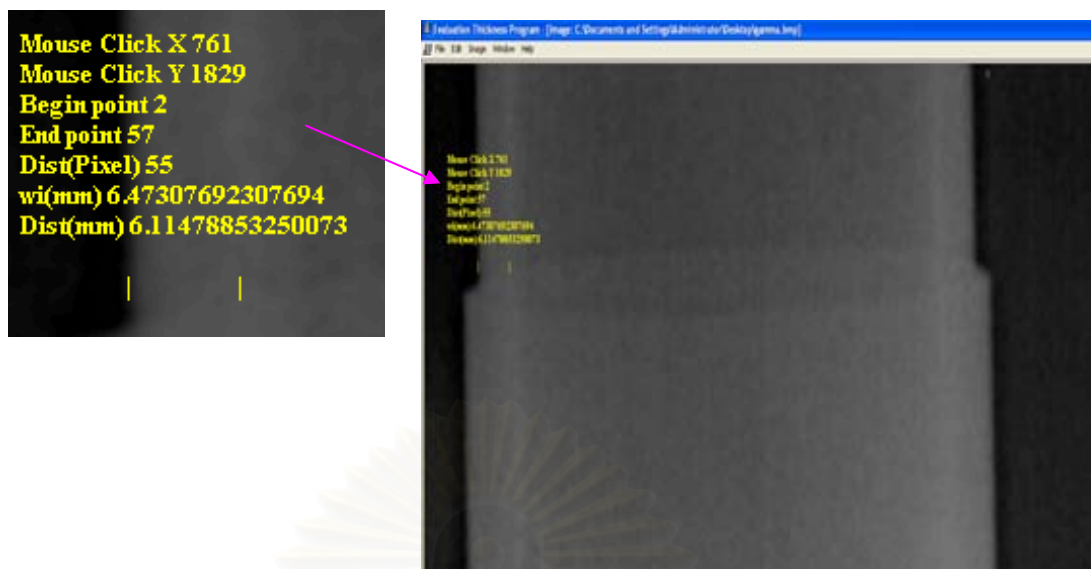
จากรูปจะเห็นว่าภาพที่ใช้เทคนิคกริดกับภาพที่ไม่ใช้มีความแตกต่างกันในด้านความชัดเจนอันเนื่องมาจาก เมื่อใช้เทคนิคกริดจะช่วยกำจัดรังสีกระเจิงออกไป ก็จะทำให้ภาพชัดเจนขึ้น และจากรูปที่ 4.14(ค) และ 4.15(ค) ภาพถ่ายท่อที่ใช้กริดชนิด 12:1 นั้น ผลของภาพถ่ายที่ใช้รังสีแกมมาจาก Ir-192 จะให้คุณภาพของภาพสูงกว่าการใช้รังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 kV

#### 4.5 การอ่านขนาดความหนาผนังท่อด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบ โปรแกรมการอ่านค่าความหนาของท่อที่พัฒนาขึ้นเริ่มจากการเปิดไฟล์ภาพที่ต้องการอ่านค่าความหนาผนังท่อ ใส่ค่าพารามิเตอร์ ที่เรียกหาจากหน้าจอ ดังแสดงรูปที่ 4.16 โดยค่า  $f$  เป็นค่าระยะจากต้นกำเนิดถึงแผ่นบันทึกภาพ ส่วน  $R$  ค่ารัศมีของท่อรวมทั้งจำนวนความร้อน และ  $r$  รัศมีของท่อ ซึ่งหน่วยเป็นมิลลิเมตร และไฟล์ที่สามารถเปิดใช้งานได้เป็นตระกูลของ Picture Files, Bitmap Files, Gif Files, JPEG Files และเมื่อต้องการความหนาจะคลิกบริเวณที่ต้องการ โปรแกรมจะคำนวณผลความหนาของบริเวณที่เลือกอ่านค่าดังแสดงรูปที่ 4.17



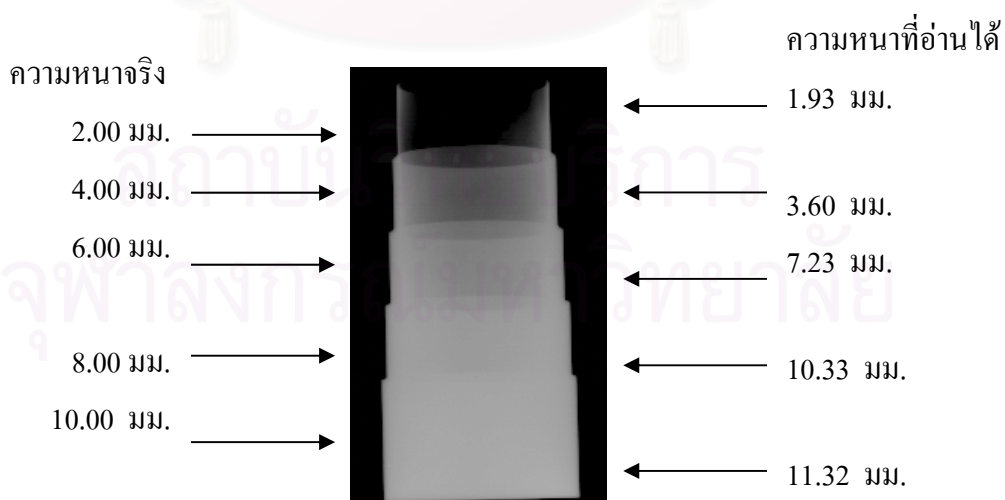
รูปที่ 4.16 แสดงหน้าจอภาพในการใส่พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ



รูปที่ 4.17 แสดงภาพหน้าจอขณะอ่านความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายรังสีเอกซ์

การทดลองใช้โปรแกรมอ่านค่าความหนาผนังท่อที่พัฒนาขึ้น อ่านค่าความหนาท่อหุ้มฉนวนความร้อนจากไฟล์ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี และทำการปรับปรุงคุณภาพของภาพแล้ว เพื่อทดสอบความแม่นยำในการอ่านค่าความหนาผนังท่อขนาดต่างๆ ให้ผลดังนี้

ก. การทดลองอ่านค่าความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายรังสีเอกซ์ ที่ถ่ายภาพด้วยแรงดันไฟฟ้า 160 kV กระแส 4 mA เวลาในการถ่าย 20 วินาที และใช้เทคนิคปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อเสริมคุณภาพของภาพให้ผลการอ่านค่าความหนาผนังท่อดังรูปที่ 4.18 และตารางที่ 4.1

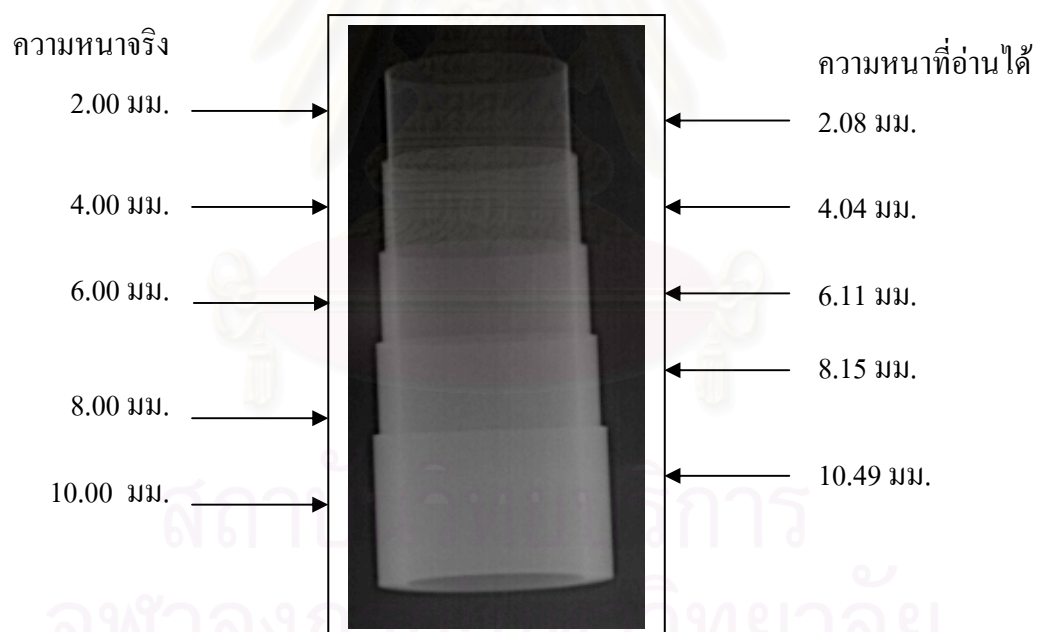


รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายท่อหุ้มฉนวนรูปขั้นบันไดด้วยรังสีเอกซ์หลังการปรับปรุงคุณภาพของภาพ

ตารางที่ 4.1 ผลการอ่านความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายรังสีเอกซ์ด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับความหนาผนังท่อจริง

ความหนาจริง (มม.)	ความหนาที่วัดได้ (มม.)	ความคลาดเคลื่อน (%)
2.00	1.93	4 %
4.00	3.60	10 %
6.00	7.23	21 %
8.00	9.33	17 %
10.00	11.32	13 %

ค. การทดลองอ่านค่าความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายรังสีแกมมาของ Ir-192 ความแรงรังสี 30 คูรี เวลาในการถ่ายภาพ 20 วินาที และใช้เทคนิคปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อเสริมคุณภาพของภาพ ให้ผลการอ่านค่าความหนาผนังท่อ ดังรูปที่ 4.19 และตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายท่อหุ้มฉนวนรูปขั้นบันได ด้วยรังสีแกมมาหลังการปรับปรุงคุณภาพของภาพ

ตารางที่ 4.2 ผลการอ่านความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายรังสีแกมมาด้วยโปรแกรมเปรียบเทียบกับ  
ความหนาผนังท่อจริง

ความหนาจริง (มม.)	ความหนาที่วัดได้ (มม.)	ความคลาดเคลื่อน (%)
2.00	2.08	4 %
4.00	4.04	1 %
6.00	6.11	2 %
8.00	8.15	2 %
10.00	10.49	5 %

ผลการอ่านค่าความหนาด้วยโปรแกรมพบว่า การอ่านค่าความหนาผนังท่อจากภาพถ่ายด้วยรังสีแกมมา (Ir-192) โดยเฉลี่ยให้ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ (160 kV) การปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยเทคนิคการเสริมคุณภาพของภาพถ่ายให้ชัดเจน มีผลให้ลดความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าความหนาผนังท่อด้วยโปรแกรมเป็นอย่างมาก ดังนั้นการศึกษาเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายจึงเป็นสิ่งจำเป็น

## บทที่ 5

### สรุปวิจารณ์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีถ่ายภาพทอหุ้มฉนวนความร้อนด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์กราฟิ พบว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการถ่ายภาพทอหุ้มฉนวนความร้อนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมขณะเดินเครื่องได้ และมีแนวโน้มที่จะมีความนิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายมากขึ้น เนื่องจากมีการกำหนดมาตรฐานสากล ASTM รับรองแล้ว ตามรายละเอียดของรหัสเอกสาร E2445-05 และ E2446-05 ผลการวิจัยนี้สามารถสรุปในแง่มุมต่าง ๆ ได้ดังนี้

5.1.1 การใช้แผ่นบันทึกภาพถ่ายของรังสีมีความสะดวก ไม่ต้องการกระบวนการล้างฟิล์ม ใช้เวลาถ่ายภาพรังสีน้อย ใช้ปริมาณรังสีต่ำ มีขั้นตอนสนองความเปรียบต่างกว้าง เหล่านี้ล้วนเป็นข้อดีในแง่การปฏิบัติงาน แต่แผ่นบันทึกภาพมีความไวต่อปริมาณรังสีกระเจิง จึงต้องระมัดระวังในการใช้งาน และตรวจสอบเทคนิคการปรับแก้ตาม class ของแผ่นบันทึกภาพที่ชี้แนะไว้ตามมาตรฐาน ASTM

5.1.2 ระบบถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์กราฟิมีกระบวนการสร้างภาพในระบบเชิงเลข จึงมีข้อดีกว่าเทคนิคฟิล์ม เนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณภาพของภาพให้เกิดความชัดเจนด้วยเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพ และยังสามารถใช้โปรแกรมประเมินความหนาวิเคราะห์ความหนาของผนังท่อได้

5.1.3 คุณภาพของภาพถ่ายทอหุ้มฉนวนความร้อนที่ถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีแกมมา (Ir-192) ให้คุณภาพดีกว่าภาพถ่ายด้วยเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 kV แม้ว่าจะเลือกหลอดรังสีเอกซ์ที่มีจุดโฟกัสเล็ก (400  $\mu\text{m}$ ) และระบบแหล่งจ่ายแบบ constant potential

5.1.4 การใช้ Bucky grid ในการถ่ายภาพรังสีทางอุตสาหกรรมช่วยให้คุณภาพของภาพที่มีความเปรียบต่างภาพสูงขึ้น การใช้งานจะต้องเลือก grid ratio ให้เหมาะสมกับพลังงานและจัดระยะโฟกัสให้เหมาะสม หากไม่ถูกต้องจะมีผลให้สูญเสียคุณภาพของภาพจากผลความไม่สม่ำเสมอของปริมาณรังสีครอบคลุมพื้นที่ถ่ายภาพ

5.1.5 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถอ่านค่าความหนาผนังท่อได้โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5% ความถูกต้องขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพถ่ายรังสี ซึ่งจะต้องใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพของภาพถ่ายรังสีช่วย



5.1.6 การใช้แผ่นบันทึกภาพต้องระวังเรื่องการเกิด over exposure เนื่องจากภาพแฟงที่บันทึกไม่สามารถลบออกได้ด้วยวิธีปกติ จะต้องเสียเวลาในการอ่านค่าปริมาณรังสีซ้ำหลายรอบและจากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณรังสีของภาพแฟงที่ให้ค่า PSL เกินกว่า 1000000 จะเกิดกรณีดังกล่าว

## 5.2 วิจารณ์ผล

5.2.1 ผลการวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีตรวจสอบต่อหุ้มฉนวนความร้อนพบว่า การถ่ายภาพรังสีด้วย Ir-192 ให้คุณภาพของภาพดีกว่าการใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่แรงดันไฟฟ้า 160 kV เป็นข้อดีเนื่องจากการตรวจสอบต่อหุ้มฉนวนในโรงกลั่นซึ่งมีวัสดุไวไฟไม่อนุญาตให้ใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ในอีกแง่มุมหนึ่ง Ir-192 มีอายุใช้งานสั้นและมีราคาสูง แต่ในการตรวจสอบต่อหุ้มฉนวนที่อยู่ระหว่างงานซ่อมบำรุง การใช้เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ยังมีความประหยัดกว่า

5.2.2 การใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟียังมีราคาสูงและยังมีปัญหาเรื่องการแก้ปัญหาผลการรบกวนของรังสีกระเจิงและการตอบสนองพลังงานสูง จึงยังไม่อยู่ในความนิยม ดังนั้นแนวโน้มในอนาคต เมื่อการใช้ฟิล์มมีข้อจำกัดเรื่องปัญหาสิ่งแวดล้อม ความไม่สะดวก และความนิยมลดลง การใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟีจะเข้ามาแทนที่ และราคาของระบบจะลดลง

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรมีการศึกษาเงื่อนไขการลดปริมาณรังสีกระเจิงตามคำแนะนำของมาตรฐานการถ่ายภาพเรื่องการกรองรังสีพลังงานต่ำ และ การใช้ Bucky grid เพื่อเพิ่มคุณภาพของภาพถ่ายรังสีด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี

5.3.2 ควรศึกษาการใช้รังสีเอกซ์พลังงานสูงกว่า 160 kV ในงานถ่ายภาพต่อหุ้มฉนวนความร้อน เนื่องจากพบว่ามีผู้วิจัยที่ใช้พลังงานรังสีสูงในระดับ 200 kV ให้ผลของคุณภาพของภาพถ่ายรังสีด้วยแผ่นบันทึกภาพดีทัดเทียมกับการใช้ Ir-192 [12]

5.3.3 เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพมีความไวรังสีสูงและตอบสนองรังสีย่านอัลตราไวโอเล็ต ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงการใช้งานกลางแจ้ง เนื่องจากจะมีผลต่อการเกิด fog หรือการเลือนหายของข้อมูล

5.3.4 จากโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อ เมื่อทำการเปิดไฟล์ภาพ จะเห็นว่าภาพมีขนาดโตมาก จำเป็นต้องใช้แถบเลื่อนภาพ (Scroll bar) เพื่อหาดำแหน่งของภาพที่จะทราบความหนา หากเขียนโปรแกรมให้มีภาพสมบูรณ์จำลองขนาดเล็กอยู่ด้านบนซ้ายและเมื่อต้องการหาความ

หนาบริเวณใดๆ ก็ใช้ตัวชี้ บริเวณที่ต้องการในภาพจำลองนั้น ภาพใหญ่ก็จะแสดงเฉพาะบริเวณที่ต้องการดูเท่านั้นจะสะดวกต่อการใช้งาน

5.3.5 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบของความหนาที่ต้องการทราบ ควรเขียนโปรแกรมให้แสดงผลการอ่านความหนามากกว่า 1 ข้อมูล แต่ละจุดที่ใช้เมาส์คลิกนั้น ยังคงแสดงค่าความหนาไว้ ซึ่งอาจจะแสดงเป็นตาราง เพื่อสะดวกต่อการทำรายงานผล



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และคณะ. 2546 การถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี. วารสารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 11, 1 (มิถุนายน 2546)
2. IAEA-TECDOC-1445. 2005. Development of protocols for corrosion and deposits evaluation in pipes by radiography [online].
3. Uwe Zscherpel, Yener Onel and Uwe Ewert. Corrosion Inspection of Pipelines by Digital Industrial Radiography. [online] Available from: [www.ndt.net](http://www.ndt.net)
4. Fuji film Co. Ltd., N.D. Science imaging systems. What is imaging plate?. [online] Available from: [www.home.fujifilm.com](http://www.home.fujifilm.com)
5. Alexis BLETTNER, Daniel CHAUVEAU, Franoise GRESSET France. Results of the First Industrial Application of the New Generation of Imaging Plates. [online] Available from: [www.ndt.net/article/wcndt00/papers/ind175/idn175.htm](http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/ind175/idn175.htm)
6. Uwe Ewert, Uwe Zscherpel BAM-berlin Germany Mike Horkey, Jim Kennedy Hutchinson. Boeing USA A New computer Based Concept for Digital Radiographic Reference image. [online] Available from: [www.ndt.net/article/ecndt02/268/268.htm](http://www.ndt.net/article/ecndt02/268/268.htm)
7. นเรศร์ จันทน์ขาว. 2528 การตรวจสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี. เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการ: ชมรมการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย. (ม.ป.ท.,ม.ป.ป.)
8. Staff of IAEA. 1992. Industrial radiography. Training course series No.3 IAEA-TECDOC-628.
9. J. Beckmann, H.J. Malitte, K. Osterloh, U. Ewert. 1994. Radiographic Imaging for Assessment of UXO, Suspected of Chemical Warfare Material. Germany:Federal Institute for Material Research and Testing.
10. Thomas S. Curry III M.D., James E. Dowdey PH.D., Robert C. Murry. Jr. Ph.D. 1990. Christensen's physics of Diagnostic Radiology. 4<sup>th</sup> Edition.
11. S. Ekinci, N. Bas, M. Aksu, A. Yildirim, M. Binggoldag, T. Kurtcebe, M. Dogruoz, S. Saricam and N. Yilmaz. 1998. Corrosion and deposit measurements in pipes by radiographic technique. Insight: Vol. 40, No.9.
12. U. Zscherpel, I. Einav, S. Infanzon and J. Zirnheldt. Radiographic Evaluation of Corrosion and peosits. [online] Available from: <http://www.aeende.org.ar/sitio/biblioteca/material/t-057.pdf>



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก.1

รายละเอียดรูปแบบในการประเมินความหนา (Use Case Template)

รายละเอียดของการทำงานในแต่ละกรณีการใช้งาน (Use Case) ซึ่งใช้สำหรับการพัฒนาโปรแกรมใช้ในระบบประเมินความหนาต่อ ประกอบด้วย 3 กรณีการใช้งานหลักได้แก่ การเปิดไฟล์ภาพ การระบุตัวแปร และการประเมินความหนาของผนังท่อ ดังรายละเอียดของแต่ละกรณีดังนี้

Use case name : การเปิดรูปภาพ	ID : 1	Importance level : High
Primary actor : ผู้ต้องการผลประเมิน	Use Case type : Detail, essential	
Stakeholders and interests :	ผู้ต้องการผลประเมิน	
Brief description :	ขั้นตอนการเปิดไฟล์รูปภาพ	
Trigger :	เพิ่มภาพ	
Type :	External	
Relationship :		
Association :	ผู้ต้องการผลประเมิน	
Include :	เปิดรูปภาพ	
Extend :	ประเมินความหนาของผนังท่อ	
Generation :	-	
Normal flow of event :	1. เปิดเพิ่มภาพที่ต้องการที่อยู่ในรูปแบบภาพ	
Subflows :	S-1: จัดเก็บประวัติการเปิดเพิ่ม 1. บันทึกเพิ่มที่ผ่านการเปิดด้วยระบบ เพื่อสะดวกในการเปิดเพิ่มเดิมครั้งถัดไป 2. ระบบจะจัดเก็บ 4 เพิ่ม ล่าสุดเท่านั้น	
Alternate/exception flows :		

Use case name : การระบุนค่าตัวแปร	ID : 2	Importance level : High
Primary actor : ผู้ต้องการผลประเมิน	Use Case type : Detail, essential	
Stakeholders and interests :	ผู้ต้องการผลประเมิน	
Brief description :	บันทึกค่าตัวแปร ณ ขณะที่เปิด เพิ่มภาพ	
Trigger :	ระบุนค่าตัวแปร	
Type :	External	
Relationship :		
Association :	ผู้ต้องการผลประเมิน	
Include :	ระบุนค่าตัวแปร	
Extend :	-	
Generation :	-	
Normal flow of event :	1. ระบุนค่าตัวแปรหลักในการประเมิน	
Subflows :	S-1: จัดเก็บค่าตัวแปร 1. บันทึกค่าตัวแปรในขณะที่ใช้งานนั้นๆ 2. สามารถใช้ค่าตัวแปรจนบันทึกผลและจัดเก็บ เพิ่มภาพที่แสดงผลเรียบร้อยแล้ว	
Alternate/exception flows :		

Use case name : การประเมินความหนาของผนังท่อ	ID : 3	Importance level : High
Primary actor : ผู้ต้องการผลประเมิน	Use Case type : Detail, essential	
Stakeholders and interests :	ผู้ต้องการผลประเมิน	
Brief description :	ประเมินความหนาของผนังท่อ	
Trigger :	ต้องการผลของการประเมิน	
Type :	External	
Relationship :		
Association :	ผู้ต้องการผลประเมิน	
Include :	ประเมินความหนาของผนังท่อ	
Extend :	-	
Generation :	-	
Normal flow of event :	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. รับตำแหน่งที่ต้องการประเมิน</li> <li>2. ระบบจัดหา ตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้าย</li> <li>3. ประเมินหาความหนาของท่อ โดยพิจารณา รวมกับค่าตัวแปรที่จัดเก็บไว้ก่อนหน้านี้</li> </ol>	
Subflows :	S-1: แสดงผล <ol style="list-style-type: none"> <li>1. แสดงค่า ขนาดของท่อที่ได้จากการประเมิน</li> <li>2. แสดงค่า ตำแหน่งที่ประเมิน</li> <li>3. แสดงสัญลักษณ์ ระบุตำแหน่งที่ชัดเจนบน ภาพ เพื่อระบุให้ทราบถึง จุดเริ่มต้น และ จุดสุดท้าย ที่ใช้ในการประเมิน</li> </ol>	
Alternate/exception flows :		

## ภาคผนวก ก.2

โปรแกรมการประเมินความหนาของผนังท่อ

Option Explicit

Private m\_cMRU As New cMRUFileList

Private m\_bInIDE As Boolean

Private Declare Function GetTempPath Lib "kernel32" Alias "GetTempPathA" (ByVal  
nBufferLength As Long,

ByVal lpBuffer As String) As Long

Private Declare Function GetTempFileName Lib "kernel32" Alias "GetTempFileNameA" (ByVal  
lpzPath As String,

ByVal lpPrefixString As String, ByVal wUnique As Long, ByVal lpTempFileName As  
String) As Long

Private Declare Function GetDeviceCaps Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal nIndex As  
Long) As Long

Private Declare Function GetDC Lib "user32" (ByVal hwnd As Long) As Long

Private Declare Function GetDesktopWindow Lib "user32" () As Long

Private Declare Function ReleaseDC Lib "user32" (ByVal hwnd As Long, ByVal hdc As Long)  
As Long

Private Const BITSPIXEL = 12 ' Number of bits per pixel

Private Declare Function ShellExecute Lib "shell32.dll" Alias "ShellExecuteA" (ByVal hwnd As  
Long,

ByVal lpOperation As String, ByVal lpFile As String, ByVal lpParameters As String, ByVal  
lpDirectory As String,

ByVal nShowCmd As Long) As Long

Private Declare Function ShellExecuteForExplore Lib "shell32.dll" Alias "ShellExecuteA"  
(ByVal hwnd As Long,

ByVal lpOperation As String, ByVal lpFile As String, lpParameters As Any, lpDirectory As  
Any, ByVal nShowCmd As Long) As Long

Public Enum EShellShowCons

tants



```

essSW_HIDE = 0
essSW_MAXIMIZE = 3
essSW_MINIMIZE = 6
essSW_SHOWMAXIMIZED = 3
essSW_SHOWMINIMIZED = 2
essSW_SHOWNORMAL = 1
essSW_SHOWNOACTIVATE = 4
essSW_SHOWNA = 8
essSW_SHOWMINNOACTIVE = 7
essSW_SHOWDEFAULT = 10
essSW_RESTORE = 9
essSW_SHOW = 5
End Enum

Private Const ERROR_FILE_NOT_FOUND = 2&
Private Const ERROR_PATH_NOT_FOUND = 3&
Private Const ERROR_BAD_FORMAT = 11&
Private Const SE_ERR_ACCESSDENIED = 5 ' access denied
Private Const SE_ERR_ASSOCINCOMPLETE = 27
Private Const SE_ERR_DDEBUSY = 30
Private Const SE_ERR_DDEFAIL = 29
Private Const SE_ERR_DDETIMEOUT = 28
Private Const SE_ERR_DLLNOTFOUND = 32
Private Const SE_ERR_FNF = 2 ' file not found
Private Const SE_ERR_NOASSOC = 31
Private Const SE_ERR_PNF = 3 ' path not found
Private Const SE_ERR_OOM = 8 ' out of memory
Private Const SE_ERR_SHARE = 26

Private Const MAX_PATH = 260

Public Function ShellEx( _
    ByVal sFile As String, _
    Optional ByVal eShowCmd As EShellShowConstants = essSW_SHOWDEFAULT, _

```

```

Optional ByVal sParameters As String = "", _
Optional ByVal sDefaultDir As String = "", _
Optional sOperation As String = "open", _
Optional Owner As Long = 0 _
) As Boolean
Dim IR As Long
Dim lErr As Long, sErr As Long
If (InStr(UCase$(sFile), ".EXE") <> 0) Then
    eShowCmd = 0
End If
On Error Resume Next
If (sParameters = "") And (sDefaultDir = "") Then
    IR = ShellExecuteForExplore(Owner, sOperation, sFile, 0, 0, essSW_SHOWNORMAL)
Else
    IR = ShellExecute(Owner, sOperation, sFile, sParameters, sDefaultDir, eShowCmd)
End If
If (IR < 0) Or (IR > 32) Then
    ShellEx = True
Else
    ' raise an appropriate error:
    lErr = vbObjectError + 1048 + IR
    Select Case IR
    Case 0
        lErr = 7: sErr = "Out of memory"
    Case ERROR_FILE_NOT_FOUND
        lErr = 53: sErr = "File not found"
    Case ERROR_PATH_NOT_FOUND
        lErr = 76: sErr = "Path not found"
    Case ERROR_BAD_FORMAT
        sErr = "The executable file is invalid or corrupt"
    Case SE_ERR_ACCESSDENIED
        lErr = 75: sErr = "Path/file access error"
    
```

Case SE\_ERR\_ASSOCINCOMPLETE

sErr = "This file type does not have a valid file association."

Case SE\_ERR\_DDEBUSY

lErr = 285: sErr = "The file could not be opened because the target application is busy.

Please try again in a moment."

Case SE\_ERR\_DDEFAIL

lErr = 285: sErr = "The file could not be opened because the DDE transaction failed.

Please try again in a moment."

Case SE\_ERR\_DDETIMEOUT

lErr = 286: sErr = "The file could not be opened due to time out. Please try again in a moment."

Case SE\_ERR\_DLLNOTFOUND

lErr = 48: sErr = "The specified dynamic-link library was not found."

Case SE\_ERR\_FNF

lErr = 53: sErr = "File not found"

Case SE\_ERR\_NOASSOC

sErr = "No application is associated with this file type."

Case SE\_ERR\_OOM

lErr = 7: sErr = "Out of memory"

Case SE\_ERR\_PNF

lErr = 76: sErr = "Path not found"

Case SE\_ERR\_SHARE

lErr = 75: sErr = "A sharing violation occurred."

Case Else

sErr = "An error occurred occurred whilst trying to open or print the selected file."

End Select

Err.Raise lErr, , App.EXENAME & ".GShell", sErr

ShellEx = False

End If

End Function

```

Public Property Get TempDir() As String
Dim sRet As String, c As Long
    sRet = String$(MAX_PATH, 0)
    c = GetTempPath(MAX_PATH, sRet)
    If c = 0 Then Err.Raise Err.LastDllError
    TempDir = Left$(sRet, c)
End Property

Public Property Get TempFileName( _
    Optional ByVal sPrefix As String, _
    Optional ByVal sPathName As String) As String
Dim iPos As Long
    If sPrefix = "" Then sPrefix = ""
    If sPathName = "" Then sPathName = TempDir
    Dim sRet As String
    sRet = String(MAX_PATH, 0)
    GetTempFileName sPathName, sPrefix, 0, sRet
    If (Err.LastDllError <> 0) Then Err.Raise Err.LastDllError
    iPos = InStr(sRet, Chr$(0))
    If (iPos <> 0) Then
        TempFileName = Left$(sRet, (iPos - 1))
    Else
        TempFileName = sRet
    End If
End Property

Private Function InIDECheck() As Boolean
    m_bInIDE = True
    InIDECheck = True
End Function

Public Sub AddMRUFile(ByVal sFile As String)
    m_cMRU.AddFile sFile
    pShowMRU
End Sub

```

```

Public Property Let ProgressMax(ByVal lMax As Long)
    prgMain.Max = lMax
End Property

Public Property Let ProgressValue(ByVal lValue As Long)
    prgMain.Position = lValue
End Property

Public Property Let ShowProgress(ByVal bShow As Boolean)
    prgMain.Visible = bShow
End Property

Public Sub SetStatus( _
    Optional ByVal sMain As String = "#", _
    Optional ByVal sImage As String = "#", _
    Optional ByVal sSize As String = "#" _
)
    If (sMain <> "#") Then
        lblStatus.Caption = " " & sMain
    End If
    If (sImage <> "#") Then
        lblImage.Caption = " " & sImage
    End If
    If (sSize <> "#") Then
        lblSize.Caption = " " & sSize
    End If
End Sub

Private Function GetActiveform(ByRef f As frmImage) As Boolean
    If Not (Me.ActiveForm Is Nothing) Then
        If (Me.ActiveForm.Name = "frmImage") Then
            Set f = Me.ActiveForm
            GetActiveform = True
        Else
            MsgBox "Please select an Image to process.", vbInformation
        End If
    End If

```

```

Else
    MsgBox "Please select an Image to process.", vbInformation

End If

End Function

Private Sub pOpen(Optional ByVal sFile As String = "")
Dim c As New GCommonDialog
Dim bContinue As Boolean

Result = 0
bContinue = True
If (sFile = "") Then
    ' Get a new file:
    bContinue = False

    If (c.VBGetOpenFileName(sFile, , , , "Picture Files
(*.BMP;*.GIF;*.JPG;*.DIB)|*.BMP;*.GIF;*.JPG;*.
DIB|Bitmap Files (*.BMP;*.DIB)|*.BMP;*.DIB|GIF Files (*.GIF)|*.GIF|JPEG Files
(*.JPG)|*.JPG|All Files (*.*)|*.*", 1,
, , "BMP", Me.hwnd)) Then
        bContinue = True
    End If
End If

If (bContinue) Then
    Dim f As New frmImage
    If (f.OpenFile(sFile)) Then
        f.Show
    Else
        Unload f
    End If
End If

Calculation.Show
End Sub

```

```

Private Sub pSave()
Dim f As frmImage
  If (GetActiveform(f)) Then
    f.SaveFile
  End If
End Sub

Private Sub pPrint()
Dim wid As Single
Dim hgt As Single
Dim f As frmImage
If (GetActiveform(f)) Then
  ' Make the current image with the text
  ' a permanent part of the image.
  f.Picture = f.Image
  ' Set the PictureBox's ScaleMode to pixels to
  ' make things interesting.
  f.ScaleMode = vbPixels
  ' Print the picture.
  Printer.PaintPicture f.Picture, _
    1440, 1440
  ' Get the picture's dimensions in the printer's
  ' scale mode.
  "wid = ScaleX(f.ScaleWidth, f.ScaleMode, Printer.ScaleMode)
  "hgt = ScaleY(f.ScaleHeight, f.ScaleMode, Printer.ScaleMode)
  ' Draw the box.
  "Printer.Line (1440, 1440)-Step(wid, hgt), , B
  ' Finish printing.
  Printer.EndDoc
  MsgBox "Done"
End If
End Sub

Private Sub pShowMRU()

```

```

Dim i As Long
For i = 1 To m_cMRU.FileCount
    If (m_cMRU.FileExists(i)) Then
        mnuFile(i + 4).Visible = True
        mnuFile(i + 4).Caption = m_cMRU.MenuCaption(i)
    End If
Next i
mnuFile(9).Visible = (m_cMRU.FileCount > 0)
End Sub

Private Sub MDIForm_Load()
Dim cR As New cRegistry
Dim IHDC As Long
Dim lhWNd As Long
Dim sMsg As String
    m_cMRU.MaxFileCount = 4
    cR.ClassKey = HKEY_CURRENT_USER
    cR.SectionKey = "Software\vbAccelerator\vbImageProc"
    m_cMRU.Load cR
    pShowMRU
    Me.Show
    Debug.Assert (InIDECheck = True)
    'If (m_bInIDE) Then
        ' MsgBox "You are running this sample in the VB IDE." & vbCrLf & vbCrLf & "
        ' Please note that the Image Processing functions run 25 - 50x quicker when compiled to
        ' Native Code.",
        ' vbInformation
    'End If
    lhWNd = GetDesktopWindow()
    IHDC = GetDC(lhWNd)
    If (GetDeviceCaps(IHDC, BITSPIXEL) <= 8) Then
        sMsg = "Screen colour depths below 16 bits/pixel are not supported by this sample."
        If (m_bInIDE) Then

```



```

    sMsg = sMsg & vbCrLf & vbCrLf & "You must exit out of VB, change colour depth
    and re-load in VB to get it to work."
End If

MsgBox sMsg, vbExclamation

End If

ReleaseDC lhWNd, lHDC

End Sub

Private Sub MDIForm_QueryUnload(Cancel As Integer, UnloadMode As Integer)

Dim i As Long

If UnloadMode <> vbAppWindows And UnloadMode <> vbAppTaskManager Then

    For i = 0 To Forms.Count - 1

        If (Forms(i).Name = "frmImage") Then

            If (Forms(i).Dirty) Then

                If Not (Forms(i).QuerySave()) Then

                    Cancel = True

                    Exit Sub

                End If

            End If

        End If

    Next i

End If

Dim cR As New cRegistry

cR.ClassKey = HKEY_CURRENT_USER

cR.SectionKey = "Software\vbAccelerator\vbImageProc"

m_cMRU.Save cR

End Sub

Private Sub mnuEdit_Click(Index As Integer)

Dim f As frmImage

Dim sName As String

Select Case Index

Case 1

    If (GetActiveform(f)) Then

```

```

        f.CopyImage
    End If
Case 2
    On Error GoTo PasteImageError
    Dim sPic As New StdPicture
    Set sPic = Clipboard.GetData(vbCFBitmap)
    sName = TempFileName("VBIM")
    SavePicture sPic, sName
    Dim fN As New frmImage
    If (fN.OpenFile(sName, True)) Then
        fN.Show
    Else
        Unload fN
    End If
    On Error Resume Next
    Kill sName
Case 3
    Calculation.Show
End Select
Exit Sub
PasteImageError:
    MsgBox "An error occured whilst trying to paste this image: " & Err.Description,
vbExclamation
    On Error Resume Next
    Kill sName
    Exit Sub
End Sub
Private Sub mnuFile_Click(Index As Integer)
    Select Case Index
    Case 0
        Calculation.Show
        pOpen

```

```

Case 1
    pSave
Case 3
    pPrint
    'MsgBox "Left as an exercise...", vbInformation
Case 5 To 8
    pOpen m_cMRU.file(Index - 4)
Case 10
    Unload Me
End Select
End Sub

Private Sub mnuHelp_Click(Index As Integer)
    'Select Case Index
    'Case 0
    ' shell
    ' ShellEx "http://www.dogma.demon.co.uk", , , , Me.hwnd
    'Case 2
    ' frmAbout.Show vbModal, Me
    'End Select
    'frmAbout.Show vbModal, Me
    frmAbout.Show
End Sub

Private Sub mnuImage_Click(Index As Integer)
Dim f As frmImage
If (GetActiveform(f)) Then
    Select Case Index
    Case 0
        f.ProcessImage eSoften
    Case 1
        f.ProcessImage eSoftenMore
    Case 2

```

```
f.ProcessImage eBlur
```

```
Case 3
```

```
f.ProcessImage eBlurMore
```

```
Case 5
```

```
f.ProcessImage eSharpen
```

```
Case 6
```

```
f.ProcessImage eSharpenMore
```

```
Case 7
```

```
f.ProcessImage eUnSharp
```

```
Case 9
```

```
f.ProcessImage eEmboss
```

```
Case 11
```

```
pCustomFilter f
```

```
End Select
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Function pCustomFilter(ByRef f As frmImage) As Boolean
```

```
Dim fC As New frmCustomFilter
```

```
fC.Show vbModal, Me
```

```
If Not (fC.Cancelled) Then
```

```
f.LoadCustomFilter fC.ImageProcess
```

```
f.ProcessImage eCustom
```

```
End If
```

```
End Function
```

```
Private Sub picStatus_Resize()
```

```
Dim IW As Long
```

```
On Error Resume Next
```

```
IW = lblImage.Width + 2 * Screen.TwipsPerPixelX + lblSize.Width + 2 *
```

```
Screen.TwipsPerPixelX
```

```
If (Me.ScaleWidth - IW < 64 * Screen.TwipsPerPixelX) Then
```

```
lblStatus.Width = Me.ScaleWidth - lblStatus.Left * 2
```

```
prgMain.Width = lblStatus.Width
```

```

lblSize.Visible = False
lblImage.Visible = False
Else
    lblSize.Visible = True
    lblImage.Visible = True
    lblStatus.Width = Me.ScaleWidth - lblStatus.Left * 2 - IW
    prgMain.Width = lblStatus.Width
    lblImage.Left = lblStatus.Left * 2 + lblStatus.Width + 2 * Screen.TwipsPerPixelX
    lblSize.Left = lblImage.Left + lblImage.Width + 2 * Screen.TwipsPerPixelX
End If
End Sub
-----
Option Explicit

Public m_sFileName As String
Public m_sFileTitle As String
Private m_bDirty As Boolean

Dim XPoint(500) As String
Dim xx As Integer
Dim yy As Integer
Dim TMin As Double
Dim TMax As Double
'left
Dim LBegin As Integer
Dim LEnd As Integer
Dim Lreng As Integer
'Right
Dim RBegin As Integer
Dim REnd As Integer
Dim Rreng As Integer
'Buttom

```

```

Dim BBegin As Integer
Dim BEnd As Integer
Dim Breng As Integer
'Top
Dim TBegin As Integer
Dim TEnd As Integer
Dim Treng As Integer
Private WithEvents m_cImage As cImageProcess
Public Sub CopyImage()
    Clipboard.Clear
    Clipboard.SetData picImage.Picture, vbCFBitmap
End Sub
Public Sub ProcessImage(ByVal eType As EFilterTypes)
    With m_cImage
        .FilterType = eType
        .ProcessImage picImage, picBuff
        m_bDirty = True
    End With
End Sub
Public Sub LoadCustomFilter(ByRef cI As cImageProcess)
    Dim i As Long, j As Long
    With m_cImage
        .FilterType = eCustom
        .FilterWeight = cI.FilterWeight
        .FilterArraySize = cI.FilterArraySize
        For i = -cI.FilterArraySize \ 2 To cI.FilterArraySize \ 2
            For j = -cI.FilterArraySize \ 2 To cI.FilterArraySize \ 2
                .FilterValue(i, j) = cI.FilterValue(i, j)
            Next j
        Next i
    End With
End Sub

```

```

Public Property Get Dirty() As Boolean
    Dirty = m_bDirty
End Property

Public Function QuerySave() As Boolean
Dim eR As VbMsgBoxResult
    eR = MsgBox("The image " & m_sFileTitle & " has been changed." & vbCrLf & vbCrLf &
"Do you want to save it?",
    vbYesNoCancel Or vbQuestion)
    Select Case eR
    Case vbYes
        If (SaveFile()) Then
            QuerySave = True
        End If
    Case vbNo
        QuerySave = True
    Case vbCancel
        ' cancel..
    End Select
End Function

Public Function OpenFile(ByVal sFile As String, Optional ByVal bIsTemp As Boolean = False)
As Boolean
On Error GoTo OpenFileError
    mfrmMain.SetStatus "Opening " & sFile & "... "
    picImage = LoadPicture(sFile)
    picBuff = LoadPicture(sFile)
    If Not (bIsTemp) Then
        Caption = "Image: " & sFile
        Filename = sFile
        mfrmMain.SetStatus "Opened " & sFile & ". ", FileTitle, picImage.Width \
Screen.TwipsPerPixelX & " x "

```

```

    & picImage.Height \ Screen.TwipsPerPixelY
    mfrmMain.AddMRUFile sFile
End If

picImage.Refresh

picScrollBar_Resize

OpenFile = True

Exit Function

OpenFileError:
    MsgBox "An error ocured trying to open this file: " & Err.Description, vbExclamation
    Exit Function

End Function

Public Function SaveFile() As Boolean
    Dim sName As String
    Dim iPos As Long
    Dim i As Long
    Dim c As New GCommonDialog
    On Error GoTo SaveFileError
    ' Strip extenstion:
    For i = Len(m_sFileName) To 1 Step -1
        If (Mid$(m_sFileName, i, 1) = ".") Then
            iPos = i - 1
            Exit For
        End If
    Next i
    If (iPos > 1) Then
        sName = Left$(m_sFileName, iPos) & ".bmp"
    Else
        sName = m_sFileName & ".bmp"
    End If

    ' Ask to save:

```



```

If c.VBGetSaveFileName(sName, , , "Bitmap Files (*.BMP)|*.BMP|All Files (*.*)|*.*", , , ,
"BMP", Me.hwnd) Then
    SavePicture picImage.Image, sName
    Filename = sName
    mfrmMain.AddMRUFile sName
    Caption = "Image: " & sName
    m_bDirty = False
End If
Exit Function

SaveFileError:
    MsgBox "An error occurred trying to save this file: " & Err.Description, vbExclamation
    Exit Function

End Function

Public Property Let Filename(ByVal sName As String)
    Dim i As Long, iPos As Long
    m_sFileName = sName
    For i = Len(sName) To 1 Step -1
        If Mid$(sName, i, 1) = "\" Then
            iPos = i + 1
            Exit For
        End If
    Next i
    If (iPos > 0) Then
        m_sFileTitle = Mid$(sName, iPos)
    Else
        m_sFileTitle = sName
    End If

End Property

```

```

Public Property Get Filename() As String
    Filename = m_sFileName
End Property

Public Property Get FileTitle() As String
    FileTitle = m_sFileTitle
End Property

Private Sub Form_Activate()
    mfrmMain.SetStatus , Me.FileTitle, picImage.Width \ Screen.TwipsPerPixelX & " x "
    & picImage.Height \ Screen.TwipsPerPixelY
End Sub

Private Sub Form_Load()
    '
    Set m_cImage = New cImageProcess
End Sub

Private Sub Form_Resize()
    If Me.WindowState <> vbMinimized Then
        picScrollBar.Move 2 * Screen.TwipsPerPixelX, 2 * Screen.TwipsPerPixelY,
        Me.ScaleWidth - 4 * Screen.
        TwipsPerPixelX, Me.ScaleHeight - 4 * Screen.TwipsPerPixelY
    End If
End Sub

Private Sub hscScroll_Change()
    picImage.Left = -Screen.TwipsPerPixelY * hscScroll.Value
End Sub

Private Sub hscScroll_Scroll()
    hscScroll_Change
End Sub

Private Sub m_cImage_Complete(ByVal ITimeMs As Long)
    mfrmMain.ShowProgress = False
    mfrmMain.SetStatus "Complete. Time = " & ITimeMs
End Sub

```

```

Private Sub m_cImage_InitProgress(ByVal lMax As Long)
    mfrmMain.ProgressMax = lMax
    mfrmMain.ProgressValue = 0
    mfrmMain.ShowProgress = True
End Sub

Private Sub m_cImage_Progress(ByVal lPosition As Long)
    mfrmMain.ProgressValue = lPosition
End Sub

Private Sub picImage_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, CX As Single, CY As
Single)
    Dim X As Double
    TMin = 0
    TMax = 0
    '1. left to right Left >>>>> Right
    For xx = 0 To 100
        XPoint(xx) = picImage.Point(CX + xx, CY)
        If Int(XPoint(xx)) <= 100000 Then
            TMin = Int(XPoint(xx))
            LBegin = xx + 1
        ElseIf XPoint(xx) >= TMax Then
            TMax = Int((XPoint(xx)))
            LEnd = xx
            ElseIf XPoint(xx) < TMax Then xx = 100
        End If
    Next
    Lreng = LEnd - LBegin
    If Lreng > 0 Then
        link_wi = Lreng * 0.1025641025641
    End If
    '2. right to left Left <<<<< Right
    For xx = 0 To 100
        XPoint(xx) = picImage.Point(CX - xx, CY)
    
```

```

If Int(XPoint(xx)) <= 100000 Then
    TMin = Int(XPoint(xx))
    RBegin = xx + 2
ElseIf XPoint(xx) >= TMax Then
    TMax = Int((XPoint(xx)))
    REnd = xx
    ElseIf XPoint(xx) < TMax Then xx = 100
End If
Next
Rreng = REnd - RBegin
If Rreng > 0 Then
link_wi = Rreng * 0.1025641025641
End If
'3. Top to Buttom      Top >>>>> Buttom
For yy = 0 To 50
    XPoint(yy) = picImage.Point(CX, CY + yy)
    If Int(XPoint(yy)) <= 100000 Then
        TMin = Int(XPoint(yy))
        TBegin = yy - 12
    ElseIf XPoint(yy) >= TMax Then
        TMax = Int((XPoint(yy)))
        TEnd = yy - 12
    ElseIf XPoint(yy) < TMax Then
        yy = 100
    End If
Next
Trenge = TEnd - TBegin
If Trenge > 0 Then
link_wi = Trenge * 0.1025641025641
End If
'3. Buttom to Top      Buttom >>>>> Top

```

```

For yy = 0 To 50
  XPoint(yy) = picImage.Point(CX, CY - yy)
  If Int(XPoint(yy)) <= 100000 Then
    TMin = Int(XPoint(yy))
    BBegin = yy + 12
  ElseIf XPoint(yy) >= TMax Then
    TMax = Int((XPoint(yy)))
    BEnd = yy + 12
  ElseIf XPoint(yy) < TMax Then
    yy = 100
  End If
Next
Brenge = BEnd - BBegin
If Brenge > 0 Then
  link_wi = Brenge * 0.1025641025641
End If
'**** Calculate Result ****
  Result = link_wi * (Resultf - Resultr) / Resultf
'****Print Result****
picImage.AutoRedraw = True
picImage.ForeColor = vbBlue
picImage.BackColor = vbBlack
picImage.Font.Name = "Times New Roman"
picImage.Font.Size = 10
picImage.Font.Bold = True
'Picture1.CurrentX = (picFrom.ScaleWidth - picFrom.TextWidth("Cats")) / 2
picImage.CurrentX = 0
picImage.CurrentY = 30
'*** For Left to right
If Lrenge > 0 Then
  picImage.CurrentX = 0
  picImage.CurrentY = CY - 100

```

```

picImage.Print "Mouse Click X"; CX
picImage.Print "Mouse Click Y"; CY
picImage.Print "Begin point"; LBegin
picImage.Print "End point"; LEnd
picImage.Print "Dist(Pixel)"; Lreng
picImage.Print "wi(mm)"; link_wi
picImage.Print "Dist(mm)"; Result
' mark point begin
picImage.ForeColor = vbYellow
picImage.CurrentX = CX + LBegin
picImage.CurrentY = CY
picImage.Print "|";
' mark point end
picImage.ForeColor = vbYellow
picImage.CurrentX = CX + LEnd
picImage.CurrentY = CY
picImage.Print "|";
'after Mouse Point in to the picture *****
End If
*** For right to left
If Rreng > 0 Then
picImage.CurrentX = 0
picImage.CurrentY = CY - 100
picImage.Print "Mouse Click X"; CX
picImage.Print "Mouse Click Y"; CY
picImage.Print "Begin point"; RBegin
picImage.Print "End point"; REnd
picImage.Print "Dist(Pixel)"; Rreng
picImage.Print "wi(mm)"; link_wi
picImage.Print "Dist(mm)"; Result

```

```

' mark point begin
picImage.ForeColor = vbYellow
picImage.CurrentX = CX - RBegin
picImage.CurrentY = CY
picImage.Print "|";
' mark point end
picImage.ForeColor = vbYellow
picImage.CurrentX = CX - REnd
picImage.CurrentY = CY
picImage.Print "|";
'after Mouse Point in to the picture *****
End If
*** For Top to Buttom
If Treng > 0 Then
picImage.CurrentX = 0
picImage.CurrentY = CY - 100
picImage.Print "Mouse Click X"; CX
picImage.Print "Mouse Click Y"; CY
picImage.Print "Begin point"; TBegin + 12
picImage.Print "End point"; TEnd + 12
picImage.Print "Dist(Pixel)"; Treng
picImage.Print "wi(mm)"; link_wi
picImage.Print "Dist(mm)"; Result
' mark point begin
picImage.ForeColor = vbYellow
picImage.CurrentX = CX
picImage.CurrentY = CY + TBegin
picImage.Print "_";
' mark point end
picImage.ForeColor = vbYellow
picImage.CurrentX = CX
picImage.CurrentY = CY + TEnd

```

```

picImage.Print "_ ";
'after Mouse Point in to the picture *****
End If

'*** For Buttom to Top
If Breng > 0 Then
picImage.CurrentX = 0
picImage.CurrentY = CY - 100
picImage.Print "Mouse Click X"; CX
picImage.Print "Mouse Click Y"; CY
picImage.Print "Begin point"; BBegin - 12
picImage.Print "End point"; BEnd - 12
picImage.Print "Dist(Pixel)"; Breng
picImage.Print "wi(mm)"; link_wi
picImage.Print "Dist(mm)"; Result
' mark point begin
picImage.ForeColor = vbRed
picImage.CurrentX = CX
picImage.CurrentY = CY - BBegin
picImage.Print "-";
' mark point end
picImage.ForeColor = vbRed
picImage.CurrentX = CX
picImage.CurrentY = CY - BEnd
picImage.Print "-";
'after Mouse Point in to the picture *****
End If

End Sub

Private Sub picScrollBar_Resize()
On Error Resume Next
hscScroll.Visible = (picScrollBar.ScaleWidth - vscScroll.Width < picImage.Width)
vscScroll.Visible = (picScrollBar.ScaleHeight - hscScroll.Height < picImage.Height)
If (hscScroll.Visible) Then

```



```

    hscScroll.Max = (picImage.Width - picScrollBar.ScaleWidth + vscScroll.Width *
Abs(vscScroll.Visible))
    \ Screen.TwipsPerPixelX
    hscScroll.SmallChange = 32
    hscScroll.Move 0, picScrollBar.ScaleHeight - hscScroll.Height, picScrollBar.ScaleWidth -
    (vscScroll.Width * Abs(vscScroll.Visible))
End If
If (vscScroll.Visible) Then
    vscScroll.Max = (picImage.Height - picScrollBar.ScaleHeight + hscScroll.Height *
Abs(hscScroll.Visible))
    \ Screen.TwipsPerPixelY
    vscScroll.SmallChange = 32
    vscScroll.Move picScrollBar.ScaleWidth - vscScroll.Width, 0, vscScroll.Width,
picScrollBar.ScaleHeight -
    (hscScroll.Height * Abs(hscScroll.Visible))
End If
End Sub
Private Sub vscScroll_Change()
    picImage.Top = -Screen.TwipsPerPixelY * vscScroll.Value
End Sub
Private Sub vscScroll_Scroll()
    vscScroll_Change
End Sub
-----
Dim f As Double
Dim r As Double
Dim rr As Double
Dim wi As Double
    On Error GoTo CalculateError
    f = CDBl(Var_f.Text)
    r = CDBl(Var_R.Text)
    rr = CDBl(Var_rr.Text)

```

```
wi = link_wi
'Var_Wi.Text = wi
'wi = Lrenge
' Formula
Result = wi * (f - r) / f
Resultf = f
Resultr = r
Resultrr = rr
TResult.Text = Result
Unload Me
Exit Sub
CalculateError:
    TResult.Text = "***Error**"
End Sub
Private Sub Form_Load()
'wi = link_wi
Var_Wi.Text = link_wi
End Sub
```



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# Standard Practice for Qualification and Long-Term Stability of Computed Radiology Systems<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 2445; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope

1.1 This practice specifies the fundamental parameters of computed radiography systems to assure satisfactory and repeatable results for nondestructive testing.

1.2 This practice describes the evaluation of Computed Radiology (CR) systems for industrial radiography. It is intended to ensure that the evaluation of image quality, as far as this is influenced by the scanner/IP system, meets the needs of users and enables the test of long-term stability.

1.3 Each of the tests described may be performed with individual gages specified. The user shall decide which tests shall be used for system control using individual test objects or the CR test phantom<sup>2</sup> (Appendix X1). The computed radiological tests, specified as “user tests” in this practice, may be utilized at appropriate intervals determined by the user, based on the application of the examination operations. The tests shall be appropriate for the materials and range of use of the system. Fading, uniformity, and erasure tests shall also be part of the control system. All other tests for qualification and capability are to be performed and certified by the CR equipment manufacturer.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Values in inch-pound units are for information purposes.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E07 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.01 on Radiology (X and Gamma) Method.

Current edition approved June 1, 2005. Published June 2005.

<sup>2</sup> The sole source of supply of the apparatus known to the committee at this time is Nuclear Associates, A Division of Cardinal Health, 120 Andrews Road, Hicksville, NY 11801, Phone: 1-888-466-8257, Catalog Number: 07-605-2435. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,<sup>1</sup> which you may attend.

## 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>3</sup>

E 1316 Terminology for Nondestructive Testing

E 1647 Practice for Determining Contrast Sensitivity in Radioscopy

E 2002 Practice for Determining Total Image Unsharpness in Radiology

E 2007 Guide for Computed Radiology (PSL Method)

E 2033 Practice for Computed Radiology (PSL Method)

E 2446 Practice for Classification of Computed Radiography Systems

## 3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definition of terms relating to gamma- and X-radiology, which appear in Terminology E 1316, Guide E 2007, and Practice E 2033 shall apply to the terms used in this practice.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *aliasing*—pre-sampled high spatial frequency signals beyond the Nyquist frequency (given by the pixel distance) reflected back into the image at lower spatial frequencies.

3.2.2 *computed radiology system (CR system)*—a complete system of a storage phosphor imaging plate (IP) and corresponding read out unit (scanner or reader), which converts the information of the IP into a digital image (see also Guide E 2007).

3.2.3 *computed radiology system class*—a particular group of storage phosphor imaging plate systems, which is characterized by a SNR (Signal-to-Noise Ratio) range shown in Table 1 and by a certain unsharpness range (for example,  $MTF_{20}$ -value) in a specified exposure range.

3.2.4 *CR phantom*—a device containing an arrangement of test targets to evaluate the quality of a CR system, as well as monitoring the quality of the chosen system.

<sup>3</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

3.2.5 *gain/amplification*—opto-electrical gain setting of the scanning system.

3.2.6 *ISO speed  $S_{IP,x}$* —defines the speed of a CR system and is calculated from the reciprocal dose value, measured in Gray, which is necessary to obtain a specified minimum SNR of a CR system.

3.2.7 *laser beam jitter*—a lack of smooth movement of the imaging plate/laser scanning device, which results in lines of the image, which consist of a series of steps.

3.2.8 *linearized signal intensity*—a numerical signal value of a picture element (pixel) of the digital image, which is proportional to the radiation dose. The linearized signal intensity is zero, if the radiation dose is zero.

3.2.9 *long-term stability*—performance measurements of a CR system over the life-cycle of the devices, used to evaluate relative system performance over time.

3.2.10 *scanner slippage*—the slipping of an IP in a scanner transport system resulting in fluctuation of intensity of horizontal image lines.

3.2.11 *signal-to-noise ratio (SNR)*—quotient of mean value of the linearized signal intensity and standard deviation of the noise (intensity distribution) at this signal intensity. The SNR depends on the radiation dose and the CR system properties.

#### 4. Significance and Use

4.1 There are several factors affecting the quality of a CR image including the spatial resolution of the IP system, geometrical unsharpness, scatter and contrast sensitivity (signal/noise ratio). There are several additional factors (for example, scanning parameters), which affect the accurate reading of images on exposed IPs using an optical scanner.

4.2 The quality factors can be determined most accurately by the CR equipment manufacturer tests as described in Practice E 2446. Individual test targets, which are recommended for practical user tests, are described for quality assurance. These tests can be carried out either separately or by the use of the CR phantom (Appendix X1). This CR phantom incorporates many of the basic quality assessment methods and those associated with the correct functioning of a CR system, including the scanner, for reading exposed plates and incorrectly erasing IPs for future use of each plate.

4.3 This practice is for users of industrial CR systems. This practice defines the tests to be performed, by users of CR systems, periodically to evaluate the CR systems to prove proper performance over the life-cycle of the system.

##### 4.4 *Application of Various Tests and Test Methods*

4.4.1 *Tests after Repair, Upgrade or the Use of Another IP Type:*

Since modifications, such as repair or upgrade of the CR scanner and improved IP may improve the functionality of the system, specialized tests are required to prove the proper performance of the CR system.

4.4.1.1 *User Tests for Long-term Stability*—Quality assurance in test laboratories requires periodical tests of the CR system to prove the proper performance of the system. The time interval depends on the degree of usage of the system and shall be defined by the user and consideration of the CR equipment manufacturer's information.

4.4.1.2 The tests described in 6.2.1 through 6.2.6 require usage of quality indicators of 5.1 or the CR test phantom shall be used regularly at user-defined intervals to test the basic performance. The documentation shall contain:

- (1) Spatial resolution (by duplex-wire method, optional converging line pairs),
- (2) Contrast (recognized contrast percentage of the material to examine),
- (3) Slipping (yes/no),
- (4) Jitter (yes/no),
- (5) Shading (percentage at selected distance),
- (6) Radiation parameters of the performed tests, and
- (7) Date and operator name.

4.4.1.3 Fading tests should be performed only if the scanner or IP-brand is changed without data from the CR equipment manufacturer, or the system is used under extreme (beyond manufacturer's recommendation) temperature conditions. The fading should be less than 50 % in the expected period between exposure and scan.

4.4.1.4 The IPs shall be checked for artifacts (6.2.7) and proper erasure (6.2.6).

4.4.1.5 Degradation of IPs or photo multipliers in the scanner may reduce the system sensitivity after extensive usage. For this reason, the SNR should be measured at longer intervals (for example, annual period) by the user or service personnel. The SNR shall not be less than 90 % of the original value. The increase of the SNR can be accepted without limits, if the system unsharpness is not increased.

#### 5. Apparatus—CR Quality Indicators

5.1 *Description of CR Quality Indicators for User Tests*—The following is a description of CR quality indicators, which will be identified by reference to this practice.

##### 5.1.1 *Contrast Sensitivity Quality Indicator:*

5.1.1.1 The description of the contrast sensitivity target corresponds to Practice E 1647. For use with this practice, three targets are made from aluminum (Material Group 02), copper (Material Group 4) and stainless steel (Material Group 1). The target thickness is 12.5 mm (0.50 in.) aluminum, 6.3 mm (0.25 in.) copper and stainless steel. Each target contains a contrast area for 1, 2, 3, and 4 % wall-thickness contrast sensitivity.

##### 5.1.2 *Duplex Wire Quality Indicator:*

5.1.2.1 The description of the duplex wire quality indicator corresponds to Practice E 2002. The gage shall be oriented at a 5° angle to the direction of the scanned lines (fast-scan direction) or the perpendicular direction (slow-scan-direction).

##### 5.1.3 *Converging Line Pair Quality Indicator:*

5.1.3.1 The target consists of five converging strips of lead (0.03 mm (0.001 in.) thickness), which can be used for a spatial resolution test by reading the limit of recognizable line pairs. It shall cover a range from 1.5 to 20 line pairs per mm (lp/mm). Two quality indicators shall be used, one in parallel with the scanned lines and the other one oriented in the perpendicular direction.

##### 5.1.4 *Linearity Quality Indicators:*

5.1.4.1 Rulers of high-absorbing materials are located on the perimeter of the scanned range. Two quality indicators shall be used, one parallel with the scanned lines and the other one

oriented in the perpendicular direction. The scaling should be at least in mm or tenths of inches.

#### 5.1.5 *T-target:*

5.1.5.1 This CR quality indicator consists of a thin plate of brass or copper ( $\leq 0.5$  mm ( $\leq 0.02$  in.)) thick with sharp edges. This plate is manufactured in a T-shape with 0.5 mm (0.2 in.) wide segments. The T should have a size of at least 50 by 70 mm (2 by 2<sup>3</sup>/<sub>4</sub> in.). It shall be aligned perpendicular and parallel to the direction of the scanned lines and is used to check for laser jitter and may be used to measure a modulation transfer function of the complete system (see Fig. X1.1).

#### 5.1.6 *Scanner Slipping Quality Indicator:*

5.1.6.1 The quality indicator consists of a homogeneous strip of aluminum 0.5 mm (0.02 in.) in thickness. The quality indicator has the shape of a rectangle (see Fig. X1.1) and shall be aligned perpendicular and parallel to the direction of the scanned lines.

#### 5.1.7 *Shading Quality Indicator:*

5.1.7.1 Different shading quality indicators may be used. One type is based on the homogeneous exposure of an imaging plate (IP) with a thin Al-plate 0.5 to 1.0 mm (0.06 to 0.04 in.) above the IP. The exposure shall be made with low-energy radiation (50 to 100 keV).

5.1.7.2 Another type is the shading quality indicator of the CR test phantom (see X1.1).

#### 5.1.8 *Central Beam Alignment Quality Indicator (BAM-snail):*

5.1.8.1 The alignment quality indicator consists of a roll 1.5 to 2.0 mm high (0.06 to 0.08 in.) of thin lead foil separated by a spacer of 0.1 to 0.2 mm (0.004 to 0.008 in.) of low-absorbing material (see X1.2).

5.2 *Application Procedures for CR Quality Indicators*—The CR quality indicators provide an evaluation of the quality of a CR system as well as for a periodical quality control. Arrangement of the CR quality indicators shall be in accordance with this practice, or as specified by the cognizant engineering organization.

#### 5.2.1 *Exposure of CR Quality Indicators (User Test):*

5.2.1.1 The CR quality indicators can be applied separately or all together in the CR phantom. The selected set of CR quality indicators or the CR phantom is placed on the cassette, which contains an imaging plate. The radiation source is set at a distance of 1 m (39 in.) or greater and the beam is aligned with the center of the plate. Above radiation energy of 100 keV, a lead screen of 0.1 mm (0.004 in.) shall be applied between CR quality indicators or CR phantom and the IP to reduce scattered radiation. Test exposures are made and the radiation and CR system functions are optimized. The final image for evaluation is to be agreed among contracting parties.

5.2.1.2 The exposure time and the parameter setting of the CR scanning unit determine the image quality as well as the type of imaging plate to use. These values, the X-ray settings, and the type of IP have to be documented and agreed, as well as the radiation energy (keV, gamma-source type), dose (for example, in mAs) and quality (prefilters, tube type and tube window).

NOTE 1—High exposure time and low gain settings yield high contrast resolution and SNR. Furthermore, the contrast sensitivity is higher for

large pixel size settings (high unsharpness) than for small pixel size setting (low unsharpness).

#### 5.2.2 *Initial Assessment of CR Quality Indicators:*

5.2.2.1 For initial quality assessment, examine the radiographic image(s) of the CR phantom or the separated quality indicators on the monitor (or hard copy) for the features described in 5.1.1 to 5.1.8 and 6.2.1 to 6.2.8. The results can provide the basis of agreement between contracting parties.

#### 5.3 *Periodical Control:*

5.3.1 The CR quality indicators of 5.1.1 through 5.1.7 (alignment by 5.1.8) or the CR phantom shall be exposed and the results examined at any interval agreed between the contracting parties. For periodical control, ensure that the agreed quality values of the tests 6.1.3 and 6.2.1 to 6.2.8 are achieved.

#### 5.4 *Imaging Plate Fading:*

5.4.1 The intensity of the stored image in the imaging plate will decrease over time (called “fading”). The measurement of fading characteristic shall be done by performing the following steps:

5.4.1.1 Expose a plate homogeneously using typical exposure conditions. For documentation, the following parameters shall be recorded: kV, mAs, SDD, pre-filter and plate material, and thickness. The exposed image shall have an intensity between 70 and 90 % of the maximum possible intensity of the CR reader at lowest gain and under linearized condition.

5.4.1.2 Readout the imaging plate five minutes after exposure.

5.4.1.3 Set the linearized read-out intensity of this measurement as reference (=100 %).

5.4.1.4 Always expose the imaging plate with the same X-ray parameters (kV, mAs, and distance).

5.4.1.5 Change the time between exposure and read-out. The time interval between exposure and readout will be doubled for every measurement; steps are 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, and so forth, up to 4 days or as needed to match application requirement for read-out.

5.4.1.6 Plot the linearized read-out intensity (gray value) versus time between exposure and read-out of the imaging plate.

5.4.2 The fading effect needs to be considered to ensure correct exposure conditions.

5.4.3 To enable reproducible test results, it is important to consider fading effects, which influence the required exposure time. The time between exposure and read-out for all tests shall correspond to the typical application of the CR system.

## 6. *Qualification and Long-Term Stability Test of CR Systems*

### 6.1 *Determination of Contrast, Unsharpness, and Basic Spatial Resolution*

#### 6.1.1 *Contrast Sensitivity Measurement:*

6.1.1.1 Practice E 1647 contrast sensitivity gages are useful for visual and computer aided determination of contrast sensitivity for a selected wall thickness. Four levels of contrast sensitivity can be measured: 1 %, 2 %, 3 % and 4 %, independent of the imaging spatial resolution limitations. For interpretation, see Practice E 1647. If image processing is available, a profile (width = 1 pixel) shall be taken through the target. The

average noise of the profile shall be less than or equal to the difference in the intensity between the full and reduced wall thickness at the read-out percentage. The exposure conditions (kV, mAs, filters, distance, exposure time, date) and CR system settings and type shall be documented.

#### 6.1.2 Determination of Unsharpness and Basic Spatial Resolution by the Duplex-Wire Method:

6.1.2.1 For testing of the basic spatial resolution, the duplex-wire gage corresponding to Practice E 2002 can be applied. The exposure shall be performed in a distance of 1 m (39 in.) or greater with a focal spot size  $\leq 1$  mm. Focal spot size and focus detector distance shall be selected for a geometric unsharpness of less than 10 % of the total measured unsharpness. The duplex-wire gage shall be positioned directly on the cassette with the IP and lead screen. The measurement shall be performed perpendicular and parallel to the scanning direction of the laser beam. This requires two exposures with one gage or one exposure with two gages. The duplex-wire gage shall be used in an angle of about  $5^\circ$  to the scanning direction of the laser beam and  $5^\circ$  to the perpendicular direction.

6.1.2.2 The measurement of unsharpness may depend on the radiation quality. For applications above 160 kV the test shall be performed with 220 kV (X-ray tube with beryllium window, tungsten target and no pre-filtering). For low energy applications the radiation quality shall be 90 kV (X-ray tube with Beryllium window, Tungsten target and no pre-filtering).

6.1.2.3 The first unresolved wire pair shall be taken for determination of the unsharpness value corresponding to Practice E 2002. This is the first wire pair, which is projected with a dip between the wires of less than 20 % (see Fig. 1). The basic spatial resolution SR corresponds to one half of the measured unsharpness.

6.1.2.4 The duplex-wire read-out shall be documented and used for long-term stability test of the system.

6.1.2.5 The duplex-wire method allows the read-out of stepped unsharpness values only (see table in Practice E 2002).

#### 6.1.3 Use of Converging Line Pair Quality Indicators:

6.1.3.1 Converging line pair quality indicators shall be read both parallel and perpendicular to the scanned lines. If a converging line pair target is located  $45^\circ$  to the scanning direction, the read-out value must be divided by 1.414.

6.1.3.2 These quality indicators consist of converging line pairs and a scale in lp/mm. The read-out value in lp/mm is either taken (case “a”) at the location between separated and unseparated line pairs or (case “b”) at the location, where the number of lines is reduced by one or more.

6.1.3.3 In case “a,” the basic spatial resolution (SR) is calculated by  $1 / [2 \cdot \text{read-out (in lp/mm)}]$ . In case “b,” the gages determine at what resolution aliasing (pre-sampled high-frequency signals beyond the Nyquist frequency reflected back into the image at lower spatial frequencies) occurs. Usually this corresponds to the pixel size of the scanner. It is also calculated by  $1 / [2 \cdot \text{read-out (in lp/mm)}]$ .

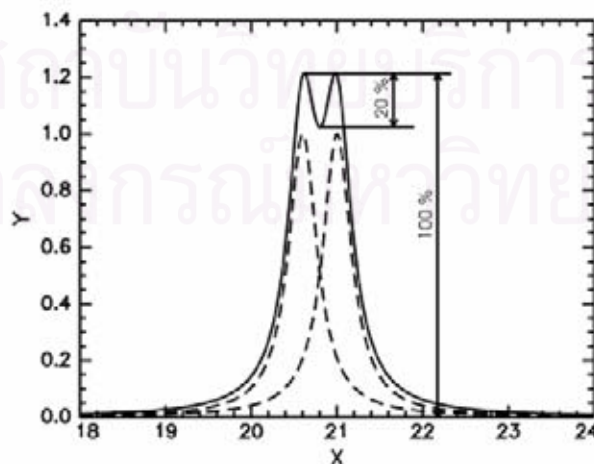
6.1.3.4 The recommended quality assurance schedule shall be agreed between the contacting parties. However, the resolution test should also be assessed after any servicing of the optics of the CR reader and usage of new IP types.

6.1.3.5 The accuracy of the converging line pair method depends on the SNR of the exposure, the radiation quality and the geometrical conditions as well as scatter effects in the cassette/IP/screen system. For high SNR ( $>100$ ) and negligible geometrical unsharpness the standard deviation of this method between 1 and 10 lp/m is about  $\pm 0.2$  lp/mm. If there are differences between the method in accordance with 6.1.2 and 6.1.3 the value of 6.1.2 shall be taken (in agreement with Practice E 2002).

#### 6.2 Other Evaluations

##### 6.2.1 Geometric Distortions:

6.2.1.1 The spatial linearity of the CR system shall be checked by exposing a spatial linearity quality indicator (mm-scale or finer), which is made from high-absorbing material) in x- and y-direction. The IP transport system should not allow the IP to tilt or twist during the scan resulting in a



x – length in mm  
y – signal intensity in arbitrary units

NOTE—The two wires of a wire pair are resolved if the dip between the line maxima is greater than 20 % of the maximum intensity.

FIG. 1 Resolution Criterion for the Evaluation of Duplex-Wire Profiles

geometrical image distortion. The measured spatial non-linearities shall be less than 5 %.

#### 6.2.2 *Laser Beam Function:*

6.2.2.1 Laser beam scan line integrity, beam jitter, signal dropout, and focus are evaluated in this test.

6.2.2.2 Expose a T-target from high-absorbing material (see 5.1.5). Laser beam jitter is evaluated by examining the edges of the “T” on the image. The “T” edges should be straight and continuous. Under- or over-shoot of the scan lines in light to dark transitions along the “T” edge indicates a timing error, or laser beam modulation problem. View the image scan lines with a 10× (or greater magnification) on the computer screen, or the printed film (with a magnifying glass) in various areas across the image to check for uniform spacing. The “stair step” characteristics of the straight edge are normal due to digitization effects. Scan line dropout is detectable as a lucent straight line in the open field and likely represents dust/dirt particles on the pickup light guide, a fairly common artifact.

6.2.2.3 Image artifacts indicate sub-optimal performance and necessitate corrective action by service personnel.

6.2.2.4 This process can be utilized to determine laser beam function in the CR system. The comparison of the computer image and the printed hard copy permits the evaluation of the hardcopy device.

#### 6.2.3 *Blooming or Flare:*

6.2.3.1 Examine the computed radiographs of the T-target for the evidence of intensity overshoot or streaking in areas with high density contrast, which can be caused by saturation of the light detector, or intensity transfer from regions with high light intensities into dark regions with a low intensity. This test shall be done in comparison of an exposure with low exposure intensity (high read-out gain) and high exposure intensity (low read out gain), but with no saturation of the electronic system.

#### 6.2.4 *Scanner Slipping:*

6.2.4.1 Slipping of imaging plates in the scanner or any distortion in the homogeneity of the scanning and reading system leads to different intensities between the read lines of a homogeneous exposed area. For this reason, the computed radiograph of the scanner-slipping target shall be inspected for deviations in the intensity of the scanned lines. The deviation between the line intensities shall be less than (or equal to) the noise, measured inside one of these lines. A possible test target, to detect slipping, is shown in the CR phantom (Appendix X1).

#### 6.2.5 *Shading:*

6.2.5.1 This test is used to ensure that the scanning laser intensity is uniform across the scanning width of the imaging plate as well as checking for proper alignment of the light guide/photo-multiplier tube assembly.

6.2.5.2 An IP is exposed homogeneously to a source from large distance >5 m (>16 ft) as a CR equipment manufacturer test. Users may apply this test for testing of the long-term stability with a SDD  $\geq 1$  m ( $\geq 39$  in.). On the computer, the average pixel value of the center and the edges of the IP is measured for a linearized intensity. On a printed film, the film density is measured with a densitometer. The outside areas should not have a pixel intensity value, or density, exceeding  $\pm 10$  % of the central area of the IP. The user may realize that

the shading of an exposure with a SDD of 1 m (39 in.) has an inherent shading of up to 8 %. Therefore, users should allow  $\pm 15$  % shading. The recommended quality assurance schedule for the application of this test is agreed by the contracting parties. However, shading correction, if necessary, should be assessed following any service to the optical system. The CR phantom of Appendix X1 contains quality indicators for a specialized shading test, which fulfils the above requirements.

#### 6.2.6 *Erasure:*

6.2.6.1 Upon completion of all the tests, the erased imaging plate shall be processed through the CR reader without any exposure. If the CR system is used for a particular application (for example, high-energy X-rays or gamma sources), an object of high absorption (for example, tungsten or lead) shall be exposed in such a way, that the acquired image contains the projection of the object and an unabsorbed radiation area. For this application, the IP shall be erased and processed without exposure. If a latent image exists, the erasure time is not long enough or the erasure unit is malfunctioning. Possible ghost images shall have an intensity of less than 1 % of the maximum intensity after image conversion to a linearized intensity (gray level). The recommended quality assurance schedule for the application of this test shall be agreed between the contracting parties.

#### 6.2.7 *IP Artifacts:*

6.2.7.1 For the following tests, all parameters, including scanning parameters and radiation conditions shall be recorded.

6.2.7.2 All IPs in inventory should be serialized. Special attention and identification should be made for IPs that come into contact with unprotected lead screens.

6.2.7.3 Expose each IP to the lowest kV used in examination. Use sufficient exposure conditions (for example, mAs) to produce uniform exposure intensity (see also 6.2.5). Scan the IP and store the corresponding image file. A CR image file of each IP should be saved regularly to identify possible artifacts and be allocated with the IP serial number of the IP.

NOTE 2—Interpreters should have access to the CR IP artifact image files to avoid problems in interpretation.

#### 6.2.8 *Measurement of the Normalized SNR:*

6.2.8.1 A system of cassette and imaging plate shall be uniformly exposed. The IP, with front and back lead screens of 0.1 mm (0.004 in.) thickness in the typical exposure cassette, shall be positioned in front of an X-ray tube with tungsten anode. Make the exposures with an 8 mm (0.32 in.) copper filter at the X-ray tube. The kilovoltage setting shall be 220 kV.

6.2.8.2 For low-energy applications the radiation quality shall be 90 kV and the filter shall be of aluminum 32.5 mm (1.2795 in.) in thickness. No front and back screens of lead are required.

6.2.8.3 The SNR shall be measured at  $90 \pm 5$  % intensity of the maximum possible intensity of the reader imaging plate system at lowest gain and linearized characteristic curve. The value of 90 % intensity shall be achieved by adjustment of mA and exposure time and, if necessary, by lengthening the SDD. The SDD shall be at least 1 m (39 in.). Use no lead or any other material behind the cassettes. Leave free space of at least 1 m (39 in.) behind the cassettes.

6.2.8.4 The signal intensity  $I_{meas}$  and standard deviation  $\sigma_{PSL}$  shall be calculated from a data set of 1100 values or more of the central IP area. No major scratches or dust and no shading shall be visible in the measurement area. The data set shall be subdivided into 55 groups or more with 20 values per group. For each group with index  $i$ , the value  $I_{meas_i}$  is calculated as the mean of the unfiltered group values and also the value  $\sigma_{PSLi}$  is calculated from the corresponding group values.

6.2.8.5 The final value  $I_{meas}$  is obtained by the median of all  $I_{meas_i}$  values. The final  $\sigma_{PSL}$  value is obtained by the median of all  $\sigma_{PSLi}$  values.  $\sigma_{PSL}$  shall be calculated as reference value to a resolution of 100  $\mu\text{m}$ , measured with a circular aperture, or 88.6  $\mu\text{m}$  measured with a squared aperture. The final value  $\sigma_{PSL100}$  is calculated by:

$$\sigma_{PSL100} = \sigma_{PSL} \cdot \left( \frac{SR_{max}}{88.6} \right) \quad (1)$$

where:

$SR_{max}$  = maximum value of basic spatial resolution in  $\mu\text{m}$ .

6.2.8.6 The basic spatial resolution is half of the unsharpness value, measured in accordance with Practice E 2002 (see description in 6.1.2). The basic spatial resolution shall be measured both perpendicular and parallel to the scanning direction of the laser. The higher value of both SR-values in  $\mu\text{m}$  shall be used for normalization in Eq 2. The values shall be calculated in  $\mu\text{m}$ .

6.2.8.7 The normalized  $SNR_N$  is calculated by:

$$SNR_N = \frac{I_{meas}}{\sigma_{PSL100}} \quad (2)$$

6.2.8.8 The measured and normalized SNR shall be documented. This procedure (consisting of, for example, software, system setting and exposure data) should be provided by the CR equipment manufacturer for the user. The user or service technician does the exposure and applies the software for SNR-measurement.

6.2.8.9 The test shall be performed with the same radiation quality (voltage and pre-filter), the same distances and collimation. All parameters and results shall be documented.

## 7. Report

7.1 The user shall document all tests its conditions and results. The period of testing shall be documented in the company's written procedure or agreed between the contracting parties.

7.2 The results shall be summarized in [Table 1](#).

## 8. Precision and Bias

8.1 No statement is made about the precision or bias of this practice. The results merely state whether there is conformance to the criteria for success, specified in the procedure.



**TABLE 1 Test Report of CR Systems**

CR System				
Construction Year				
Last Service				
Used IPs				
Date of Tests				
Tests			Result	Remark
	Basic Spatial Resolution	Duplex Wire E 2002		
		Converging Line Pairs		
	$SNR_N$			
	Geometric Distortions			
	Laser Beam Function			
	Blooming or Flare			
	Scanner Slipping			
	Shading			
	Erasure			
	IP Artifacts			
Conclusion				
Operator				

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### X1. CR TEST PHANTOM

##### X1.1 Location and Alignment of CR Quality Indicators in a CR Phantom

X1.1.1 All described CR quality indicators (see 5.1) are located in a convenient test object, called a CR phantom. It consists of a carrier plate of low-absorbing material (for example, Lucite). Fig. X1.1 shows the arrangement. The CR quality indicators shall be located on the IP side. If desired, individual test gages may be utilized to determine specific results.

X1.2 *Shading Test*—Different shading tests are possible. The CR phantom uses the following target and procedure:

##### X1.2.1 *Shading Quality Indicator:*

X1.2.1.1 The quality indicator consists of a set of three holes of 19 mm (0.75 in.) diameter and 0.3 mm (0.01 in.) depth in a Lucite plate (of the CR phantom). These holes shall be separated by at least 10 cm (3.93 in.). The holes shall be aligned parallel to the scanning direction of the laser beam.

##### X1.2.2 *Procedure:*

X1.2.2.1 There are three holes (EL, EC, and ER) in the CR phantom, measuring 19 mm (0.75 in.) in diameter and 0.3 mm (0.01 in.) deep. These holes are used to ensure that the scanning laser intensity is uniform across the scanning width of the

imaging plate as well as checking for proper alignment of the light guide/photo-multiplier tube assembly. On the computer, the pixel value of the holes is measured as gray value of the pixel or on a printed film as density value. The outside circles (EL and ER) should not have a pixel value or density exceeding the value of the circle EC by  $\pm 10\%$ . The recommended quality assurance schedule for the application of this test is to be agreed by the contracting parties. However, shading correction, if necessary, should be assessed following any service to the light guide/photo-multiplier tube assembly.

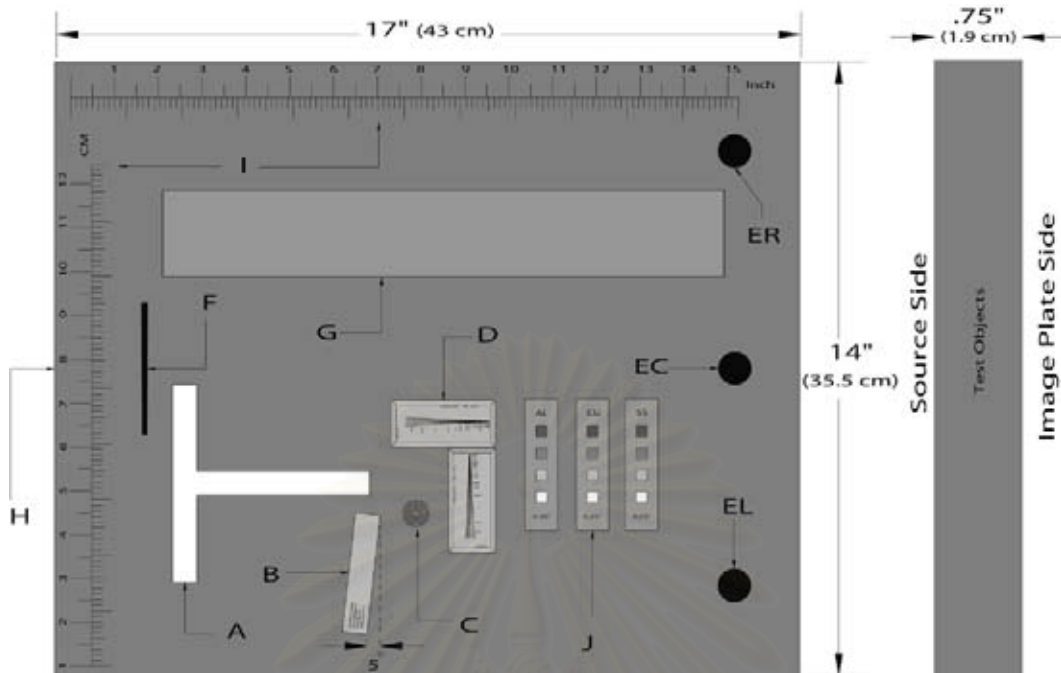
##### X1.3 *Central Beam Alignment*

##### X1.3.1 *CR Alignment Quality Indicator (BAM-snail):*

X1.3.1.1 The target consists of a section of a roll 0.3 to 0.5 mm thick (0.01 to 0.02 in.) of thin lead foil separated by a spacer of 0.1 mm of low absorbing material (see Fig. X1.2). Honeycomb material may also be used.

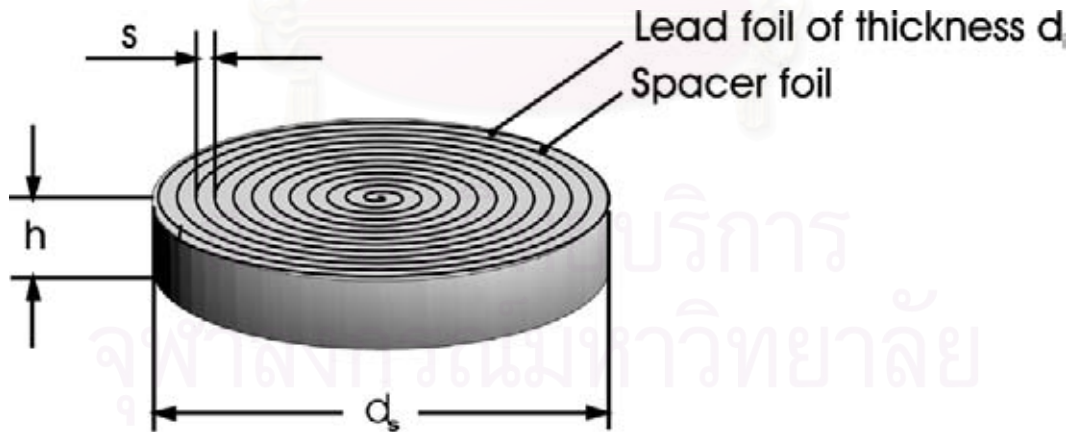
##### X1.3.2 *Procedure:*

X1.3.2.1 The radiation beam shall be aligned perpendicular to the center of the alignment quality indicator (BAM-snail) within the CR phantom. The resulting computed radiographic image, consisting of a regularly spaced spiral, indicates that alignment is correct.



- A: T-target for Laser Jitter Test Length 114 by 5 mm H (4.48 by 0.2 in.), Brass
- B: Duplex-Wire Image Quality Indicator; in accordance with Practice E 2002
- C: Central Beam Alignment (BAM-snail)
- D: Converging Line Pair Quality Indicators
- E: EL, EC, ER: Measuring Points for Shading Correction 19 mm (0.75 in.) Diameter, 0.3 mm (0.1 in.) Acrylic Removed
- F: Cassette Positioning Locator (does not appear on radiographic image)
- G: Homogeneous Strip: Al, 0.5 mm (0.02 in.)
- H: Lucite Plate
- I: Inch/cm Ruler for Linearity Check
- J: Contrast Sensitivity Quality Indicators
- Aluminum: 12.7 mm (0.50 in.)
- Copper: 6.35 mm (0.25 in.)
- Stainless Steel: 6.35 mm (0.25 in.)

FIG. X1.1 CR Phantom Containing CR Quality Indicators for Qualification of Computed Radiography Systems



NOTE 1—Its radiographic image indicates deviations from the perpendicular position of the radiation source above the BAM-snail.

NOTE 2—The following dimensions are recommended:  $h = 1.5$  to  $2$  mm ( $0.06$  to  $0.08$  in.,  $s = h/11.5$  mm ( $0.45$  in.)) (structure disappears at deviations  $>5^\circ$ ),  $d_s > 8$  mm ( $0.31$  in.),  $d_1 = 0.02$  to  $0.1$  mm ( $0.0008$  to  $0.0004$  in.).

FIG. X1.2 Alignment Quality Indicator and Source Position Indicator “BAM-snail”



ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## Standard Practice for Classification of Computed Radiology Systems<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 2446; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This practice describes the evaluation and classification of a computed radiography (CR) system, a particular phosphor imaging plate (IP), system scanner and software, in combination with specified metal screens for industrial radiography. It is intended to ensure that the evaluation of image quality, as far as this is influenced by the scanner/IP system, meets the needs of users.

1.2 The practice defines system tests to be used to classify the systems of different suppliers and make them comparable for users.

1.3 The CR system performance is described by signal and noise parameters. For film systems, the signal is represented by gradient and the noise by granularity. The signal-to-noise ratio is normalized by the basic spatial resolution of the system and is part of classification. The normalization is given by the scanning aperture of 100  $\mu\text{m}$  diameter for the microphotometer, which is defined in Test Method E 1815 for film system classification. This practice describes how the parameters shall be measured for CR systems.

1.4 The values stated in SI are to be regarded as the standard.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and to determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- E 1316 Terminology for Nondestructive Testing
- E 1815 Test Method for Classification of Film Systems for Industrial Radiography
- E 2002 Practice for Determining Total Image Unsharpness in Radiology

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E07 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.01 on Radiology (X and Gamma) Method.

Current edition approved June 1, 2005. Published June 2005.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- E 2007 Guide for Computed Radiology (PSL Method)
- E 2033 Practice for Computed Radiology (PSL Method)
- E 2445 Practice for Qualification of Computed Radiography Systems

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definition of terms relating to gamma- and X-radiology, which appear in Terminology E 1316, Guide E 2007, and Practice E 2033, shall apply to the terms used in this practice.

#### 3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *computed radiology system (CR system)*—A complete system of a storage phosphor imaging plate (IP), a corresponding read out unit (scanner or reader) and software, which converts the information of the IP into a digital image (see also Guide E 2007).

3.2.2 *computed radiology system class*—A particular group of storage phosphor imaging plate systems, which is characterized by a SNR (signal-to-noise ratio) range shown in Table 1 and by a certain unsharpness range in a specified exposure range.

3.2.3 *ISO speed  $S_{IPx}$* —Defines the speed of a CR system and is calculated from the reciprocal dose value, measured in gray, which is necessary to obtain a specified minimum SNR of a CR system.

3.2.4 *signal-to-noise ratio (SNR)*—Quotient of mean value of the linearized signal intensity and standard deviation of the noise (intensity distribution) at this signal intensity. The SNR depends on the radiation dose and the CR system properties.

3.2.5 *modulation transfer function (MTF)*—The normalized magnitude of the Fourier-transform (FT) of the differentiated edge spread function (ESF) of the linearized PSL (photo stimulated luminescence) intensity, measured perpendicular to a sharp edge. MTF describes the contrast transmission as a function of the object size. In this practice, the MTF characterizes the unsharpness of the CR system. This depends on the scanning system itself and IP-type and cassette employed.

3.2.6 *gain/amplification*—Opto-electrical gain setting of the scanning system.

3.2.7 *linearized signal intensity*—a numerical signal value of a picture element (pixel) of the digital image, which is proportional to the radiation dose. The linearized signal intensity is zero, if the radiation dose is zero.

TABLE 1 CR System Classification

CR System Classification	Minimum Signal-Noise Ratio
ASTM IP Special/Y	130
ASTM IP I/Y	65
ASTM IP II/Y	52
ASTM IP III/Y	43

3.2.8 *basic spatial resolution*—the read-out value of unsharpness measured with duplex wire IQI in accordance with Practice E 2002 divided by 2 as effective pixel size of the CR system.

#### 4. Significance and Use

4.1 There are several factors affecting the quality of a CR image including the spatial resolution of the IP system, geometrical unsharpness, scatter and contrast sensitivity (signal-to-noise ratio), as well as software. There are several additional factors (for example, scanning parameters), which affect the accurate reading of images on exposed IPs using an optical scanner.

4.2 This practice is to be used to establish a classification of CR system classes on the basis of a normalized SNR. Due to the difference between the methods, it is required to specify the CR system classes with spatial resolution values. The CR system classes in this document do not refer to any particular manufacturers' imaging plates. A CR system class results from the use of a particular imaging plate together with the exposure conditions, particularly total exposure, the scanner type and software and the scanning parameters. This classification system provides a means to compare differing CR technologies, as is common practice with film systems, which guides the user to the appropriate configuration, IP and technique for the application at hand. The class selected may not match the imaging performance of a corresponding film class due to the difference in the spatial resolution and scatter sensitivity.

Therefore, the practice should always use IQIs for proof of contrast sensitivity and spatial resolution.

4.3 The quality factors can be determined most accurately by the tests described in this practice. Some of the system tests require special tools, which may not be available in user laboratories. Simpler tests are described for quality assurance in Practice E 2445, which are designed for a fast test of the quality of CR systems and long-term stability and are recommended as practical user tests, should the user not have the special tools available as needed for the tests in this practice.

4.4 Manufacturers of industrial CR systems will use this practice. Users of industrial CR systems may also perform the tests and measurements outlined in this practice, provided that the required test equipment is used and the methodology is strictly followed. Any alternative methods may be applied if equivalence to the methods of this practice is proven to the appropriate Cognizant Engineering Organization.

4.5 The publication of CR system classes will enable specifying bodies and contracting parties to agree to particular system class, as a first step in arriving at the appropriate settings of a system, or the selection of a system. Confirmation of necessary image quality shall be achieved by using Practice E 2033.

#### 5. Apparatus

5.1 CR system evaluation depends on the combined properties of the phosphor imaging plate (IP) type, the scanner and software used, and the selected scan parameters. Therefore, documentation for each test shall include the IP type, scanner, software and scan parameters, and the results shall be calculated and tabulated prior to arriving at a class assignment. The applied test equipment for SNR measurement (Fig. 1) and algorithm 6.1.1 correspond to Test Method E 1815. The recommended thickness for aperture test object (diaphragm) is 10.2-mm (0.4 in.) of Pb. The SDD shall be at least 1 m (39 in.).

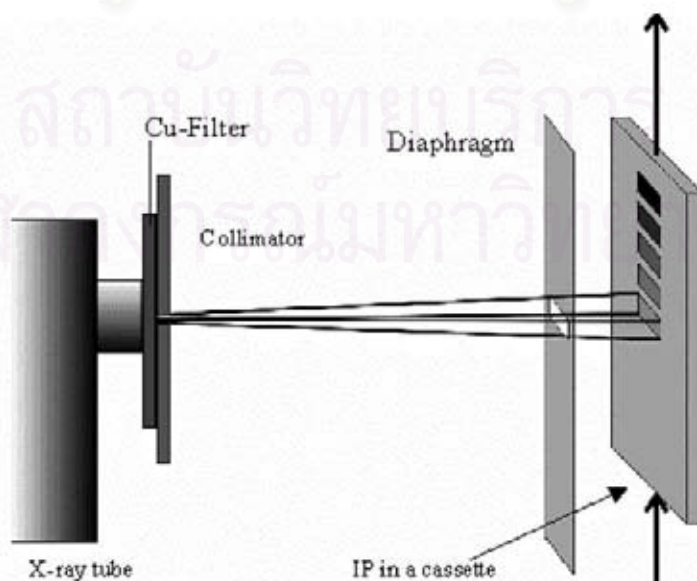


FIG. 1 Scheme of Experimental Arrangement for the Step Exposure Method

Do not use any material (for example, lead) behind the cassette and leave a free space of at least 1 m (39 in.) behind the cassette.

5.2 The step wedge method (Fig. 2) describes a simpler procedure for SNR measurement than described in Test Method E 1815, which permits obtaining similar results with less expense, and less accuracy.

## 6. Procedure for quantitative measurement of image quality parameters

### 6.1 Measurement of the Normalized Signal-to-Noise Ratio (SNR)

6.1.1 *Step Exposure Method*—For measurement of the SNR, the following steps are taken (see also Test Method E 1815):

6.1.1.1 The IP, with front and back lead screens of 0.1 mm (0.004 in.) thickness in the typical exposure cassette, shall be positioned in front of an X-ray tube with tungsten anode. Make the exposures with an 8 mm (0.32 in.) copper filter at the X-ray tube and the kilovoltage set such that the half value layer in copper is 3.5 mm (0.14 in.). The kilovoltage setting will be approximately 220 kV.

6.1.1.2 Determine the required exact kilovoltage setting by making an exposure (or an exposure rate) measurement with the detector placed at a distance of at least 750 mm (29.5 in.) from the tube target and an 8 mm (0.32 in.) copper filter at the tube. Then make a second measurement with a total of 11.5 mm (0.45 in.) of copper at the tube. These filters should be made of 99.9 % pure copper.

6.1.1.3 Calculate the ratio of the first and second readings. If this ratio is not 2, adjust the kilovoltage up or down and repeat the measurements until a ratio of 2 (within 5 %) is obtained. Record the setting of kilovoltage for use with the further IP tests.

6.1.1.4 The sensitive layer of the IP shall face the X-ray source. For gamma radiography with Ir-192, the measurements shall be carried out with 0.3 mm lead screens in front and behind the IP. Also 8 mm Cu shall be used for pre-filtering (see Fig. 1).

6.1.1.5 The scanner shall read with a dynamic range of  $\geq 12$  bit and operate at its highest spatial resolution or a spatial resolution for which the classification shall be carried out. Background and anti-shading correction may be used before the analysis of data, if it relates to the standard measurement procedure for all measurements. The procedure shall be carried out and documented for all sensitivity and latitude ranges and all read-out pixel sizes if any of these parameters change the SNR-analysis.

6.1.1.6 IPs are exposed in a similar way to film radiography and under the conditions described: signal and noise ( $\sigma_{\text{PSL}}$ ) or SNR over dose curve shall be measured. It is especially important that the exposure of the IP for the SNR measurements be spatially uniform. Any nonuniformities in X-ray transmission of the cassette front, or defects in the Pb foil or in the phosphor itself could influence the SNR measurement. No major scratches or dust shall be visible in the measurement area. Therefore, exercise considerable care in selection and placement of the aperture, and selection and maintenance of the cassette, the lead screens and the phosphor screen. To achieve a uniform region of interest on to the IP, the following standard protocol is recommended. Other approaches may be used as long as a uniform exposure is created. At least twelve areas (test areas) of  $\geq 400 \text{ mm}^2$  (0.62 in.<sup>2</sup>) are evenly exposed on the same IP over the full working range of dose. Due to the different construction principles of scanners, the measurement shall be performed for all possible pixel sizes, if the results change. The digital read-out intensity values (gray values) shall be calibrated in such a way, that they are linear in relation to the radiation dose, which corresponds to the photo stimulated luminescence (PSL) intensity of the exposed IPs. These calibrated gray values shall be used for the calculation of the SNR. In order to get a reliable result at least six measurements shall be made on different samples, and the results are to be averaged for each of the twelve or more dose levels measured.

6.1.1.7 The signal (intensity  $I_{\text{meas}}$ ) and noise (standard deviation  $\sigma_{\text{PSL}}$ ) shall be computed from a region without shading or artifacts. Sample SNR values shall be taken in different regions of the image area under test to ensure that

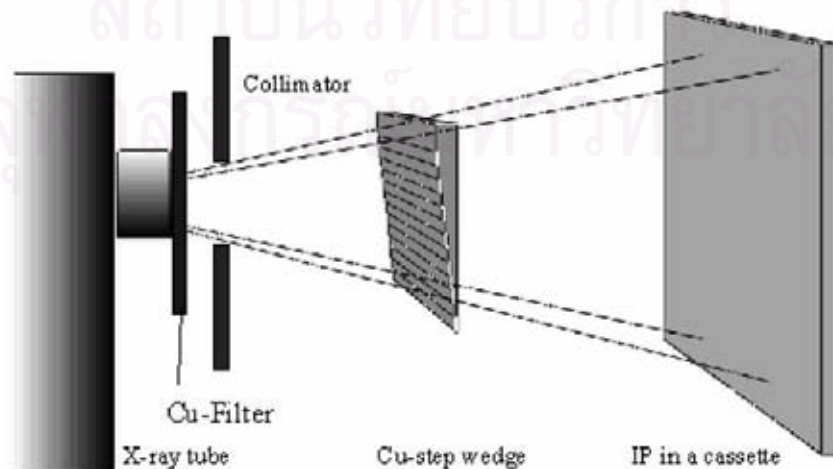


FIG. 2 Scheme for the Measurement of the SNR by the Step Wedge Method

SNR values are within 10 % stable. The size of the ROI used to measure the mean signal and noise shall be at least 20 by 55 pixels and it should be an area ROI. An example technique for assuring reliable signal-to-noise measurements is described below. This can be achieved using a commonly available image processing tool. The signal and noise shall be calculated from a data set of 1100 values or more per exposed area. The unfiltered data set is subdivided into 55 groups or more with 20 values per group. For each group with index  $i$ , the value  $I_{\text{meas}_i}$  is calculated as the mean of the unfiltered group values and the value  $\sigma_{\text{PSLi}}$  is calculated from the same group values. An increased number of groups yields a better (lower) uncertainty of the result. Due to the filtering effect of this grouping procedure, the  $\sigma_{\text{PSLi}}$ -values shall be corrected by the following equation:

$$\sigma_{\text{PSLi}_{\text{corr}}} = 1.0179 \cdot \sigma_{\text{PSLi}} \quad (1)$$

NOTE 1—The values  $\sigma_{\text{PSLi}}$  are multiplied with 1.0179 to correct for the following median unbiased estimation. Assume  $k$  is the number of consecutive observations within a group and  $C$  is the critical value of the chi-square distribution for  $\alpha = 0.5$  with  $k-1$  degrees of freedom. In case of 20 observations the values  $\sigma_{\text{PSLi}}$  shall be multiplied with 1.0179 for statistical correction (see also ISO/DIS 10505). The factor 1.0179 corresponds to the correction  $\sqrt{((k-1)/c)}$  of ISO/WD 10505 for grouping with a group size of 20 elements ( $k = 20$ ) for application of a median procedure ( $c = 18.33765$ ).

6.1.1.8 The final value  $I_{\text{meas}}$  is obtained by the median of all  $I_{\text{meas}_i}$  values. The final  $\sigma_{\text{PSL}}$  value is obtained by the median of all  $\sigma_{\text{PSLi}_{\text{corr}}}$  values.  $\sigma_{\text{PSL}}$  shall be calculated as reference value to a resolution of 100  $\mu\text{m}$ , measured with a circular aperture, or 88.6  $\mu\text{m}$  measured with a squared aperture. The final value  $\sigma_{\text{PSL100}}$  is calculated by

$$\sigma_{\text{PSL100}} = \sigma_{\text{PSL}} \cdot (\text{SR}_{\text{max}}/88.6) \quad (2)$$

$\text{SR}_{\text{max}}$  = Maximum value of basic spatial resolution in  $\mu\text{m}$  as measured in 6.3.

NOTE 2—Test Method E 1815 requires the use of a micro-photo densitometer with circular aperture of 100  $\mu\text{m}$ \* diameter for the measurement of granularity  $\sigma_D$ . Because the pixels in digital images are organized in squares, the corresponding pixel size is calculated by  $\sqrt{((100 \mu\text{m})^2 \pi / 4)} = 88.6 \mu\text{m}$   
with: \*1 $\mu\text{m} = 3.93701\text{E-}05$  in.

6.1.1.9 The normalized SNR is calculated by

$$\text{SNR} = I_{\text{meas}} / \sigma_{\text{PSL100}} \quad (3)$$

6.1.2 *Step Wedge Method (Manufacturer Test and Enhanced User Test)*

The measurement of the SNR can be performed with less accuracy using a step wedge, as shown in Fig. 2. This method, if approved by the Cognizant Engineering Organization, may be of interest for users to determine the contrast sensitivity quantitatively:

6.1.2.1 For that purpose, a step wedge of Cu, with at least twelve equally increasing steps, may be used as in the arrangement shown in Fig. 2. The maximum thickness of the step wedge shall absorb 90 % of the radiation of the central beam, which requires a thickness of 11.7 mm (0.46 in.). To cover a range of two or more orders of magnitude of the radiation dose at least two suitable and different exposures,

with adequate exposure time or tube current (mA), shall be made. The distance between step wedge and IP shall be  $\geq 500$  mm (19.69 in.) to reduce the influence of scattered radiation. A magnification of 2 $\times$  is recommended. A beam collimator shall be used. X-ray voltage and filtering shall be selected in accordance with 6.1.1.1.

NOTE 3—X-ray penetration through Cu-steps of different thickness is distorted by beam hardening and suitable adjustment of exposure is required.

6.1.2.2 The projected area of each step shall be about 20 by 20 mm ( $\geq 400 \text{ mm}^2$ ). No values of at least two times the geometric unsharpness shall be taken from areas near the step edges.

6.1.2.3 All details for the measurement of the SNR shall correspond to 6.1.1.2-6.1.1.5. The graphical analysis shall be based on the plot of  $\text{SNR} = f(\log(\text{Exposure}) - \mu_{\text{Cu}} \cdot w_{\text{Cu}})$ , where  $\mu_{\text{Cu}}$  is the absorption coefficient,  $w_{\text{Cu}}$  is the wall thickness of the corresponding step of the step wedge and the value “Exposure” is calculated from exposure time (seconds), multiplied by tube current (mA); see also Annex A1.

NOTE 4—For accurate plots, it is necessary to consider the wall thickness dependence of  $\mu_{\text{Cu}}$  on the wall thickness (beam hardening). The influence of scattered radiation should be reduced by exact collimation. Different exposures with different exposure time or mA-settings are recommended for the required plot. The exposure value (mAs) of the different exposures should deviate between five to eight times to allow an overlap of the measured data. A waiting time of 30 minutes is recommended between exposure and scan of the IPs to avoid distortions by fading effects.

6.2 *Measurement of Reference Minimum Read-Out Intensity Values of Computed Radiographs*

6.2.1 The normalized SNR is a measure for the contrast sensitivity of a CR system. This is one of the reasons for the classification due to the normalized SNR, in addition to the basic spatial resolution as described below. Since it is difficult to determine the SNR in a computed radiograph of a complicated object, “reference read-out intensities” shall be determined from test exposures. Under consideration of the gain, latitude and resolution settings “reference read-out values”  $I_{\text{IPx}}$  can be assigned to certain “normalized SNR values”  $\text{SNR}_{\text{IPx}}$ . These reference read-out values correspond to a minimum optical density in film radiography.

6.2.2 Finally, the minimum  $\text{SNR}_{\text{IPx}}$ -values in the computed radiographs shall be achieved by the application of minimum read-out intensities  $I_{\text{IPx}}$ .

NOTE 5—The classical quality assurance procedure in film radiography is based on the measurement of the film density. Exposed films are accepted only if they have a minimum optical density. A similar procedure can be applied in CR. Each CR system (or any digital imaging system) provides intensity values or gray values of each picture element (pixel). All pixels in the region of interest (ROI) which are to be evaluated, should exceed a minimum intensity (or gray value), in a similar way as minimum optical density in film radiography. This value is the reference minimum read-out intensity. This procedure permits basic quality assurance in CR in relation to contrast sensitivity.

6.2.3 System evaluations corresponding to Table 1 depend on the combined properties of the imaging plate (IP) type, the scanner and software used and the selected scan parameters.

Therefore, all measurements must be performed with the same IP type, scanner and software with its parameters.

6.2.4 The determination of the read-out intensities is based on the step exposures as in 6.1.1 or on the step wedge exposures, with less accuracy, as described in 6.1.2. The determination of read-out values shall be performed by the following steps:

6.2.4.1 The linearized signal (intensity  $I_{\text{meas}}$ ) and noise (standard deviation  $\sigma_{\text{PSL}}$ ) shall be measured and calculated as in 6.1.

6.2.4.2 The final value  $I_{\text{IPx}}$  for IP scanner evaluation corresponds to the linearized signal intensity  $I_{\text{IPx}} = I_{\text{meas}}$  for  $I_{\text{meas}}/\sigma_{\text{DPSL100}}$  at the selected  $\text{SNR}_{\text{IPx}}$  value of Table 1 and for the selected scanner parameters.

6.2.4.3 The manufacturer shall provide the read-out values to the user in the original, or applied system response function, or both.

6.2.5 A detailed description of the procedure is given in Annex A1.

6.3 *Determination of Unsharpness and Basic Spatial Resolution*—Differences in spatial resolution of X-ray films and CR systems may be observed. This image quality difference may be due to limitations in CR sharpness.

#### 6.3.1 Duplex-Wire Method

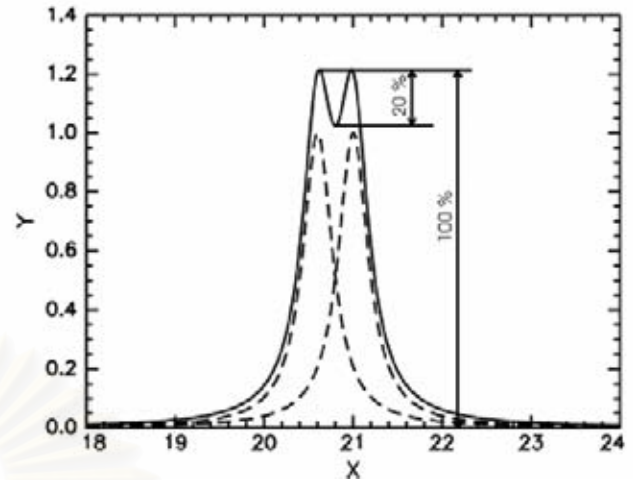
6.3.1.1 For testing of the basic spatial resolution, the duplex-wire gage corresponding to Practice E 2002 can be applied. The exposure shall be performed in a distance of 1 m (39 in.) or greater with a focal spot size  $\leq 1$  mm. Focal spot size and focus detector distance shall be selected for a geometric unsharpness of less than 10 % of the total measured unsharpness. The duplex-wire gage shall be positioned directly on the cassette with the IP and lead screen. The measurement shall be performed perpendicular and parallel to the scanning direction of the laser beam. This requires two exposures with one gage or one exposure with two gages. The duplex-wire gage shall be used in an angle of about  $5^\circ$  to the scanning direction of the laser beam and  $5^\circ$  to the perpendicular direction.

6.3.1.2 The measurement of unsharpness may depend on the radiation quality. For classification and applications above 160 kV the test shall be performed with 220 kV (X-ray tube with beryllium window, tungsten target and no pre-filtering). For low energy applications the radiation quality shall be 90 kV (X-ray tube with beryllium window, tungsten target and no pre-filtering).

6.3.1.3 The first unresolved wire pair shall be taken for determination of the unsharpness value corresponding to Practice E 2002. This is the first wire pair, which is projected with a dip between the wires of less than 20 % (see Fig. 3). The basic spatial resolution SR corresponds to one half of the measured unsharpness.

6.3.1.4 The basic spatial resolution shall be measured both perpendicular and parallel to the scanning direction of the laser. The higher value of both SR-values ( $\text{SR}_{\text{max}}$ ) shall be used as maximum basic spatial resolution for classification. It should be rounded to the next 10  $\mu\text{m}$  step.

NOTE 6—If a system has a basic spatial resolution of 200  $\mu\text{m}$  in scan direction of the laser, and 100  $\mu\text{m}$  perpendicular to the scan direction, then the final maximum basic spatial system resolution is  $\text{SR}_{\text{max}} = 200 \mu\text{m}$ .



x-length in mm  
y-signal intensity in arbitrary units

**FIG. 3 Resolution Criterion for the Evaluation of Duplex-Wire Profiles (The two wires of a wire pair are resolved if the dip between the line maxima is greater than 20 % of the maximum intensity.)**

6.3.1.5 The duplex-wire method allows the read-out of stepped unsharpness values only (see table in Practice E 2002). The overall accuracy of this method may be not better than  $\pm 1$  wire pair due to scatter and differences in the radiation quality.

#### 6.4 Other Evaluations

6.4.1 When making radiographs for CR system classification, the manufacturer will follow guidelines given to users to ensure that image quality is as high as possible. All tests, described in Practice E 2445 under “Other Tests” shall be passed without findings. This means, there will be minimum geometric distortion. The characteristics of the laser beam in the scanner will be optimized, with no beam jitter, signal dropout and with best LASER focus. There will be minimum blooming or flare. The CR plates will be transported without slipping. The image shading will be within limits of  $\pm 5$  %. The plates used will be correctly erased and will be free from artifacts. Fading effects are described in the manual and are below 50 % over 3 days.

## 7. Interpretation of Results and Classification

7.1 Depending on the results of the previous tests, the CR system shall be classified in accordance with Table 1.

### 7.2 Range of CR System Classification

7.2.1 For computed radiographic examination, CR system classes will be determined by the following procedures:

7.2.2 The CR system classification is defined by minimum normalized SNR-values ( $\text{SNR}_{\text{IPx}}$ ) shown in Table 1 and the value of the achievable maximum basic spatial system resolution  $\text{SR}_{\text{max}}$  in  $\mu\text{m}$ .

7.2.3 The classification statement consists of two values:

7.2.3.1 The assignment to an IP-class in agreement with Table 1, The measured normalized SNR shall be greater or equal to the assigned value of the minimum normalized SNR in Table 1.

7.2.3.2 The measured maximum basic spatial resolution, rounded to the nearest 10  $\mu\text{m}$ .



7.2.4 The statement shall be given in the following form:  
IP\_X/Y.

NOTE 7—For example, a system classified as IP\_II/100 is characterized by a normalized SNR  $\geq 52$  (see Table 1) and a maximum basic spatial resolution  $\leq 100 \mu\text{m}$ .

7.2.5 The basic spatial resolution shall be determined with the duplex wire method (see 6.3.1) and the normalized SNR shall be calculated in accordance with Eq 3.

7.2.6 All tests under Practice E 2445, other evaluations, shall be positive for systems classification. They shall fulfill the requirements and shall show no deviations from the described properties.

### 7.3 Determination of ISO Speed (Manufacturer Procedure)

7.3.1 The ISO speed  $S_{\text{ISO}}$  is calculated by the dose  $K_s$ , which is needed for exposure of an IP with the intensity value  $I_{\text{IPx}}$  by  $S_{\text{ISO}} = K_s^{-1}(K_s \text{ in gray})$ . The ISO speed shall be given corresponding to each system class, which can be achieved with a system.

NOTE 8—For the same CR system, different ISO speeds are given for different system classes.

7.3.2 The CR system manufacturer will provide the ISO speeds and the  $I_{\text{IPx}}$ -values depending on the imaging plate type, the scanner and software used and its parameters. The ISO speed may be determined in steps corresponding to the values of Table 2.

## 8. Precision and Bias

8.1 No statement is made about either the precision or bias of this practice for measuring classification of CR systems. The results merely state whether there is conformance to the criteria for success specified in the procedure.

## 9. Keywords

9.1 basic spatial resolution.; classification; computed radiology; CR; film system classification; normalized SNR; photo-stimulated luminescence; PSL

**TABLE 2 Determination of ISO Speed  $S_{\text{ISO}}$  from Dose  $K_s$  (in Gray) Needed for an IP Read-Out Intensity of  $I_{\text{IPx}}$**

Log <sub>10</sub> $K_s$		ISO Speed $S_{\text{ISO}}$
From	To	
-4.66	-4.56	40000
-4.55	-4.46	32000
-4.45	-4.36	25000
-4.35	-4.26	20000
-4.25	-4.16	16000
-4.15	-4.06	12500
-4.05	-3.96	10000
-3.95	-3.86	8000
-3.85	-3.76	6300
-3.75	-3.66	5000
-3.65	-3.56	4000
-3.55	-3.46	3200
-3.45	-3.36	2500
-3.35	-3.26	2000
-3.25	-3.16	1600
-3.15	-3.06	1250
-3.05	-2.96	1000
-2.95	-2.86	800
-2.85	-2.76	640
-2.75	-2.66	500
-2.65	-2.56	400
-2.55	-2.46	320
-2.45	-2.36	250
-2.35	-2.26	200
-2.25	-2.16	160
-2.15	-2.06	125
-2.05	-1.96	100
-1.95	-1.86	80
-1.85	-1.76	64
-1.75	-1.66	50
-1.65	-1.56	40

## ANNEX

## (Mandatory Information)

A1. Example for  $I_{IPx}$  measurement

A1.1 The IP system classes below do not refer to any specific manufacturer's phosphor imaging plates. These different IP classes from IP Special/Y to IP III/Y refer to what is required (in performance parameters) of any manufacturer's CR system to qualify under these four specific classes.

A1.2 For example, it is possible that a single IP or CR system, supplied by one manufacturer, could qualify to meet all four classes. With "film radiography" each specific film type/system falls into only one system class (see Test Method E 1815). With computed radiography, the same IP could theoretically qualify for all four classes. This is due to the wide dynamic range of computed radiography versus that of a normal film/screen system. Short exposure can be compensated by a sensitive read-out scan. The classification is usually low (for example, IP III/Y). The same plate could be given more exposure and be scanned with low gain of the electronic system. The thickness contrast sensitivity will be improved just by selection of these two parameters. The system can now be classified higher (for example, IP I/Y).

A1.3 This practice shall provide a guide for the user to check the image quality and classification of a CR system by providing reference minimum read-out intensities for exposed and scanned IP images (read-out value:  $I_{IPx}$  also called gray value). This is similar to the measurement of the optical density in film radiography. The reference read out values in Table A1.1 correspond to values of comparable exposed and developed X-ray film systems having an optical density of  $\geq 2.0$  over fog in the region of interest. Now, the user can assume that he obtains comparable image quality with IP's on analogy to film systems, classified by Test Method E 1815. If the user still observes differences in the image quality (for example, by IQI sensitivity), this may be basically due to differences in the spatial resolution and scatter sensitivity of X-ray film systems and CR systems. This is also the reason why CR classification is extended by the basic spatial resolution value. Fine defects

**TABLE A1.1 Examples of Minimum Reference Read-Out Intensities for CR-System Classes of the System Manufacturer A, System ABC 123, Tested at Certain Date and Valid Up to the Next Calibration Date**

CR system class	Minimum Signal/noise ratio $SNR_{IPx}$	Minimum linear Reference Read-out intensity $I_{IPx}$	System parameters
ASTM IP Special /140	130	$7.30 \cdot 10^6$	All gains, basic spatial resolution 140 $\mu\text{m}$ , scan speed: 10 $\mu\text{s}$ /pixel
ASTM IP I/140	65	$0.37 \cdot 10^6$	
ASTM IP II/140	52	$0.20 \cdot 10^6$	
ASTM IP III/140	43	$0.14 \cdot 10^6$	

below this value are not detected or found with lower SNR than with film systems.

A1.4 For clarification of the algorithm of determination of  $I_{IPx}$ -values (reference read-out values), the following procedure is presented, based on a measurement example:

A1.4.1 Measure the *log (intensity) versus log (exposure)* curve and the normalized *SNR versus log (exposure)* curve corresponding to Fig. A1.1 and Fig. A1.2. For gamma sources the exposure values are determined by *source activity · time* and for X-rays by *tube current · time*. The SDD shall be always constant (for example, 1000 mm (40 in.)).

A1.4.2 Take from the normalized *SNR versus log (exposure)* the exposure values for the IP classes: IP Special/Y to IP III/Y (see Fig. A1.1).

A1.4.3 Measure from the determined exposure values the  $I_{IPx}$  values in the *log (intensity) versus log (exposure)* (Fig. A1.2).

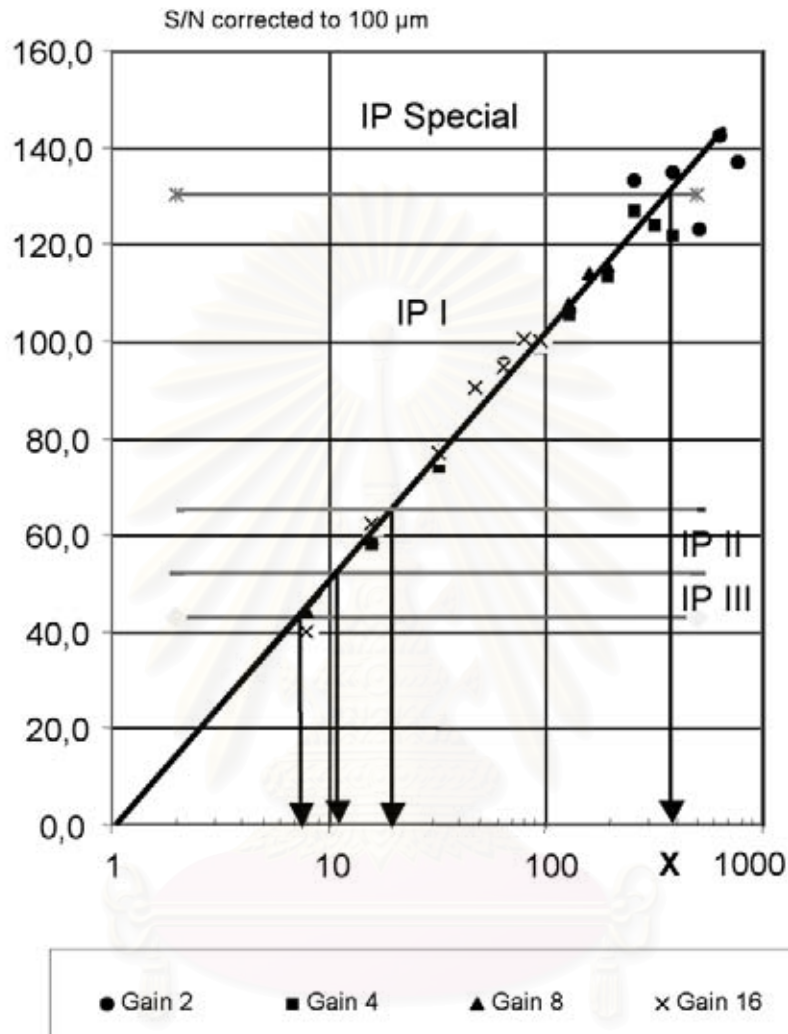
A1.4.4 Read the  $I_{IPx}$  values and document them in a table. Table A1.1 shows a typical example, which is based on Figs. A1.1 and A1.2.

NOTE A1.1—The optimum scaling of the axis of diagrams corresponding to Fig. A1.1 in linear, logarithmic or another way may depend on the scanner type and manufacturer.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### Normalized Signal To Noise Ratio

a)



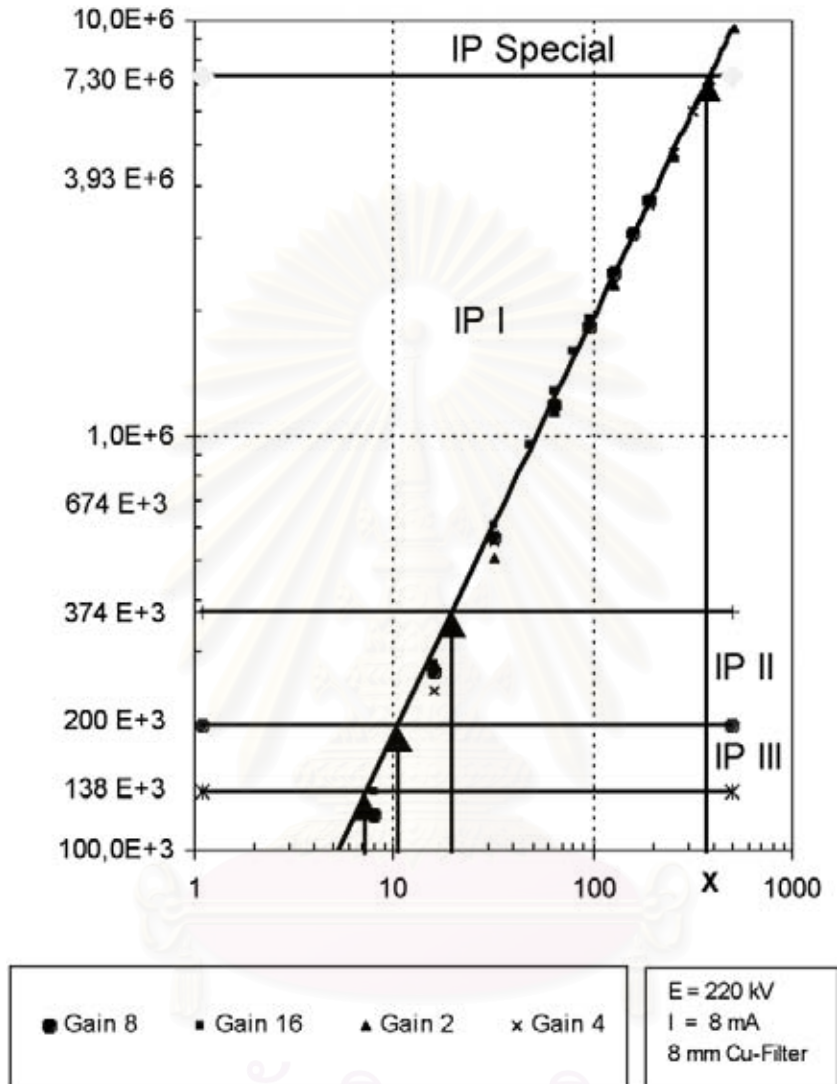
Step exposure method in accordance with 6.1.1.

X-log (exposure time  $\times$  tube current) in mAs or log(Dose).

**FIG. A1.1** Scheme for the determination of minimum reference read-out intensities  $I_{IPx}$  for CR systems. The X-values for the different classes are determined from the intersections of the SNR-curve with the  $SNR_{IPx}$ -values of **Table 1**.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

b) **Determination of Read-Out Intensity**



Step exposure method in accordance with 6.1.1.  
 X-log (exposure time · tube current) in mAs or log(Dose).

**FIG. A1.2** Scheme for the determination of reference minimum read-out intensities  $I_{IPx}$  for CR systems. The  $I_{IPx}$ -values are measured from the intersections of the intensity curve with X-value arrows taken from Fig. A1.1.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอำเภอ สุขบำเพ็ญ เกิดวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2506 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาปริญญาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ในปีการศึกษา 2544 เริ่มเข้ารับราชการเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2529 ที่กองปฏิบัติการปฏิบัติตำแหน่งนายช่างอิเล็กทรอนิกส์ จากนั้นได้เข้ารับการศึกษาต่อ ระดับปริญญาโท สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2545 ระหว่างทำงานได้เข้ารับการศึกษาหลักสูตรการตรวจสอบโดยวิธีถ่ายภาพด้วยรังสี ระดับ 1 และ 2 รวมทั้งหลักสูตรการตรวจสอบโดยไม่ทำลายสาขาอื่น ๆ จนปัจจุบันรับราชการที่ โครงการป้องกันภัยจากนิวเคลียร์และรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย