

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟี
จากข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บบันทึกโดยแผนบันทึกภาพ



นายมงคล ไร่นุ่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING TOMOGRAPHIC IMAGE QUALITY
FROM PROFILE DATA COLLECTED BY IMAGING PLATE



Mr.Mongkol Rainoon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟี
จากข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บบันทึกโดยแผ่นบันทึกภาพ

โดย

นายมงคล ไช่หนุ่ม

สาขาวิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทร์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสมันต์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ประสิทธิ์ สิริทิพย์วิวัฒน์)

มงคล ไร่หนุ่ม: การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บบันทึกโดยแผ่นบันทึกภาพ. (ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING TOMOGRAPHIC IMAGE QUALITY FROM PROFILE DATA COLLECTED BY IMAGING PLATE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.สมยศ ศิริสถิตย์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, 93 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บบันทึกโดยแผ่นบันทึกภาพ ซึ่งในการสร้างภาพโทโมกราฟีนั้นจะใช้วิธีการเช่นเดียวกับการสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยแผ่นบันทึกภาพสามารถปรับเปลี่ยนค่าต่างๆ ได้ ได้แก่ ค่าความเบี่ยงต่าง ค่าความสว่าง และขนาดพิกเซล เป็นต้น นอกจากนี้ค่าความต่างศักย์ และค่ากระแสที่ใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บบันทึกโดยแผ่นบันทึกภาพด้วยเช่นกัน

ผลการวิจัยพบว่า การปรับเปลี่ยน ค่าความสว่าง ค่าความเบี่ยงต่าง ขนาดพิกเซล และค่าความต่างศักย์กับค่ากระแสที่ใช้ในการถ่ายภาพ ส่งผลให้คุณภาพของภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยแผ่นบันทึกภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี.....
ปีการศึกษา.....2553.....

ลายมือชื่อนิสิต.....มงคล ไร่หนุ่ม.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....สิริสถิตย์.....
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....สุวิทย์.....

5170430121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS : TOMOGRAPHIC IMAGE / IMAGING PLATE / NONDESTRUCTIVE TESTING

MONGKOL RAINOON : ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING TOMOGRAPHIC IMAGE QUALITY FROM PROFILE DATA COLLECTED BY IMAGING PLATE. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.SOMYOT SRISATIT, THESIS CO-ADVISOR : ASST.PROF.SUVIT PUNNACHAIYA, 93 pp.

In this research, analysis of factors affecting tomographic image quality from profile data collected by imaging plate was investigated. The process of image reconstruction was similar to tomographic image from profile data collected using film technique. The factors affecting tomographic image quality such as contrast, brightness and pixel size could be adjusted. In addition, voltage and current of x-ray machine could also affect tomographic image quality.

The result indicated that, changing of contrast, brightness, pixel size, voltage and current of x-ray machine significantly affected the tomographic image quality from the profile data collected by the imaging plate.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : ..Nuclear Technology.....	Student's Signature .. <i>มณฑล ไร่บุญ</i>
Field of Study : ..Nuclear Technology.....	Advisor's Signature .. <i>สมยศ สรัสจันทร</i>
Academic Year : ..2010.....	Co-Advisor's Signature .. <i>สมยศ</i>

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จลงได้หากปราศจากคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และการถ่ายทอดวิทยาการความรู้จาก รศ. สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รวมทั้งได้ตรวจแก้ไขต้นฉบับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ คณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลต่างๆ รวมทั้งคำแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ รศ. ศิวลี สุริยาปี ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องสแกนฟิล์ม Vdar VXR-16 DosimetryPro film scanner

ขอขอบคุณคุณเฉลิมพงษ์ โพธิ์ลี และคุณธรรมวัตร ยันตะพลา ที่ให้ความรู้ในการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน และการสนับสนุนทางการศึกษา ข้าพเจ้าหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจจะศึกษาและทำการพัฒนาต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
2. ทฤษฎี.....	5
2.1 หลักการเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี.....	5
2.1.1 วิธีการสแกนแบบรังสีลำแคบ.....	5
2.1.2 วิธีการสแกนแบบรังสีรูปพัด.....	5
2.1.3 วิธีการสแกนแบบรังสีรูปกรวย.....	6
2.2 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี.....	6
2.2.1 สมบัติการลดทอนของรังสีเอกซ์.....	7
2.2.2 เรย์ซัม (Ray-sum).....	9
2.2.3 โปรไฟล์ (Profile).....	9
2.2.4 แคมโปรเจกชัน (Back-Projection).....	9
2.2.5 ฟิลเตอร์แคมโปรเจกชัน (Filter Back-Projection).....	11
2.2.6 วิธีการกรองด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan.....	12
2.3 ค่าเลขซีที (CT Number).....	13
2.4 คุณภาพของภาพโทโมกราฟี.....	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.5 แผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate).....	16
2.5.1 สารเรืองแสงจากการกระตุ้นด้วยรังสี.....	16
2.5.2 หลักการของแผ่นบันทึกภาพ.....	17
2.5.3 ลักษณะเด่นของแผ่นบันทึกภาพ.....	20
3. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	21
3.2 การออกแบบวัตถุตัวอย่างทดสอบ.....	23
3.3 การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	25
3.4 การเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยแผ่นบันทึกภาพ.....	27
3.5 การพัฒนาโปรแกรมในการอ่านค่าเลขซีที.....	29
4. ผลการวิจัย และอภิปรายผล.....	32
4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเชอร์.....	33
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์.....	34
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าเอกซ์โพเชอร์.....	37
4.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดพิกเซล.....	40
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและความเปรียบต่าง.....	43
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง.....	46
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่าง.....	49
4.4 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี.....	53
4.4.1 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วย Pixel noise.....	53
4.4.2 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยกราฟ PDF.....	55
5. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	65
5.1.1 การออกแบบและสร้างวัตถุตัวอย่าง.....	65
5.1.2 การพัฒนาโปรแกรมอ่านค่าเลขซีที.....	65
5.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเชอร์.....	65
5.1.4 การเปลี่ยนแปลงขนาดพิกเซล.....	66

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและความเปรียบต่าง.....	66
5.1.6 การเปรียบเทียบการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงและความละเอียดสูง....	67
5.1.7 การเปรียบเทียบการใช้แผ่นบันทึกภาพและแผ่นฟิล์ม.....	67
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
รายการอ้างอิง.....	69
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก.....	72
ภาคผนวก ข.....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
4.1	การเลือกค่าเอกซโพเชอร์ในแต่ละค่าความต่างศักย์จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	33
4.2	การเลือกค่าเอกซโพเชอร์ในแต่ละค่าความต่างศักย์จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	33
4.3	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีที่ค่าความต่างศักย์ต่าง ๆ.....	35
4.4	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีที่ค่าเอกซโพเชอร์ต่าง ๆ.....	38
4.5	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีเมื่อเปลี่ยนขนาดฟอกเซล.....	41
4.6	ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีจากการปรับค่าความสว่าง.....	47
4.7	ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีจากการปรับความเปรียบต่าง.....	50
4.8	ค่า FWHM ที่ได้จากกราฟ PDF ที่แต่ละค่าความต่างศักย์และค่าเอกซโพเชอร์ต่างๆของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	56
4.9	ค่า FWHM ที่ได้จากกราฟ PDF ที่แต่ละค่าความต่างศักย์และค่าเอกซโพเชอร์ต่างๆของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	56
4.10	ค่า FWHM ของกราฟ PDF ของแต่ละขนาดฟอกเซลที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง ที่ความต่างศักย์ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV.....	57
4.11	ค่า FWHM ของกราฟ PDF ของแต่ละขนาดฟอกเซลที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง ที่ความต่างศักย์ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV.....	58

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.12	ค่า FWHM ของกราฟ PDF จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความต่างศักย์ต่างๆ.....	59
4.13	ค่าFWHMของกราฟPDFจากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความต่างศักย์ต่างๆ.....	61
ก.1	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์แต่ค่าเอกซ์โพเซอร์คงที่ที่ 5, 10, 15 และ 20 mAs จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	74
ก.2	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์แต่ค่าเอกซ์โพเซอร์คงที่ที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 mAs จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	75
ก.3	ค่าเลขชี้ทีและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าเอกซ์โพเซอร์แต่ค่าความต่างศักย์คงที่ที่ 40 kV, 50 kV และ 60 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	76
ก.4	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าเอกซ์โพเซอร์แต่ค่าความต่างศักย์คงที่ที่ 40 kV, 50 kV และ 60 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	76
ก.5	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดฟอกเซลที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลโวลต์ (kV).....	77
ก.6	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดฟอกเซลที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลโวลต์ (kV).....	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.7	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างที่ค่าความเปรียบต่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	79
ก.8	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างที่ค่าความเปรียบต่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์....	80
ก.9	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	81
ก.10	ค่าเลขชี้ทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์....	86

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	วิธีสแกนแบบรังสีลำแคบ.....	5
2.2	วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัด.....	6
2.3	วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย.....	6
2.4	ภาพของทางเดินรังสีเอกซ์ที่ผ่านตัวกลาง 3 ชนิด.....	8
2.5	การเกิดภาพตามวิธีการแบคโปรเจกชัน.....	10
2.6	การเกิดอาร์ติแฟกต์.....	11
2.7	การปรับปรุงโปรไฟล์.....	12
2.8	ขั้นตอนของกระบวนการสร้างภาพโทโมกราฟีและค่าเลขซีที.....	13
2.9	การกำหนดเจดซีให้ข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผลค่าเลขซีที.....	14
2.10	ตัวอย่างกราฟ PDF.....	16
2.11	โครงสร้างและส่วนประกอบของ Imaging plate.....	17
2.12	การสแกนเพื่ออ่านภาพตามปริมาณรังสีจาก Imaging plate.....	18
2.13	กระบวนการใช้งาน Imaging plate ประกอบด้วย การอ่าน การลบและการนำกลับมาใช้ใหม่.....	19
2.14	กลไกการเรืองแสงของ Imaging plate.....	20
2.15	เปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นบันทึกกับฟิล์มรังสีเอกซ์ทั่วไป.....	20
3.1	ชุดอุปกรณ์กำลังรังสีสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	21
3.2	แผ่นบันทึกภาพและกลไกบรรจุแผ่นบันทึกภาพ.....	21
3.3	เครื่องอ่านภาพจากแผ่นบันทึกภาพและเครื่องลบข้อมูลภาพแฝงที่ตกค้างบนแผ่นบันทึกภาพ.....	22
3.4	ชิ้นงานทดสอบรูปทรงขั้นบันได (step wedge).....	22
3.5	เครื่องอ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม (Densitometer).....	23
3.6	เครื่องสแกนฟิล์ม Vdar VXR-16 Dosimetry Pro film scanner.....	23
3.7	ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 1.....	24
3.8	ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 2.....	24
3.9	ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 3.....	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.10	ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 4.....	25
3.11	แผนภาพการจัดระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	26
3.12	การจัดระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	26
3.13	การเลือกขนาดฟิสิกเซลที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพ.....	27
3.14	การปรับค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่าง.....	28
3.15	ตัวอย่างการอ่านข้อมูลความดำด้วยโปรแกรม ProSIM	28
3.16	ตัวอย่างการหาค่า FWHM ของกราฟ PDF	29
3.17	โปรแกรมอ่านค่าเลขซีทีที่พัฒนาขึ้น.....	30
4.1	ภาพตัดขวางที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพของวัตถุตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง.....	32
4.2	ตำแหน่งในการอ่านค่าเลขซีทีบนภาพโทโมกราฟี.....	34
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และค่าเลขซีที.....	36
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกซ์โพเซอร์และค่าเลขซีที.....	39
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดฟิสิกเซลที่ใช้อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพและค่าเลขซีที.....	42
4.6	ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำก่อนที่จะทำการปรับค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่าง.....	44
4.7	การปรับระดับค่าความสว่าง.....	44
4.8	การปรับระดับค่าความเปรียบต่าง.....	45
4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและค่าเลขซีที.....	48
4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเปรียบต่างและค่าเลขซีที ที่ความต่างศักย์ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV.....	51
ข.1	ภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการประยุกต์ใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์เพื่อพัฒนางานทางด้านอุตสาหกรรมและด้านการแพทย์ซึ่งกำลังมีใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การถ่ายภาพด้วยรังสี ซึ่งเป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายที่ให้ผลรวดเร็วถูกต้องและแม่นยำ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผู้ตรวจสอบต้องมีความรู้ความชำนาญ รวมทั้งมีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากรังสี ตลอดจนสามารถวิเคราะห์ผลการตรวจสอบได้ด้วย การถ่ายภาพวัตถุด้วยรังสีจากหลายๆระนาบ เมื่อนำข้อมูลความดำที่อ่านได้จากภาพถ่ายมาคำนวณสร้างภาพ ภาพที่ได้จะเป็นภาพตัดขวางของวัตถุเรียกภาพนั้นว่า “ภาพโทโมกราฟี (tomography)” ภาพโทโมกราฟีที่ได้นั้น ต้องมีกรรมวิธีในการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อนเพราะต้องนำข้อมูลไปประมวลด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงด้วยเครื่องมือคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูง ตลอดทั้งการแสดงภาพทางจอที่มีความละเอียดสูงเช่นกัน ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องมีประสิทธิภาพสูงและราคาแพง ที่สำคัญต้องมีโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่พัฒนาให้สามารถใช้งานได้สะดวกและให้ผลที่ถูกต้องรวดเร็ว

มีงานวิจัยในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย[1] โดยใช้อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณการสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งประกอบไปด้วยชุดกำลังรังสีที่เจาะช่องเล็กๆให้ลำรังสีไปตกกระทบแผ่นฟิล์มที่อยู่ด้านหลัง ซึ่งสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ โดยการควบคุมด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ นอกจากนี้ยังมีชุดอ่านข้อมูลความดำของฟิล์มและประมวลผลเพื่อแสดงภาพออกมา งานวิจัยข้างต้นจะใช้ฟิล์มในการนำมาคำนวณการสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งแผ่นฟิล์มที่ได้ต้องผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้วนำมาอ่านค่าความดำด้วยเครื่องอ่านความดำก่อน จึงจะสามารถนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ต่อไป

สำหรับงานวิจัยนี้ได้้นำแผ่นบันทึกภาพ มารับลำรังสีแทนแผ่นฟิล์ม เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพ ไม่ต้องผ่านกระบวนการล้างฟิล์มและสแกนอ่านค่าความดำด้วยเครื่องอ่านค่าความดำ ทำให้การสร้างภาพโทโมกราฟีมีความรวดเร็วและสะดวกในการใช้งานยิ่งขึ้น และนอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสามารถศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟี ได้แก่ การปรับค่าความเปรียบต่าง ความสว่าง เป็นต้น เนื่องจากสัญญาณภาพที่ได้จากแผ่นบันทึกภาพสามารถที่จะนำมาปรับเปลี่ยนค่าต่างๆได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บบันทึกโดยแผ่นบันทึกภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างชิ้นงานตัวอย่างในการนำมาสร้างภาพโทโมกราฟี

1.3.2 ใช้อุปกรณ์ถ่ายภาพเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ เพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

1.3.3 ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟีโดยใช้แผ่นบันทึกภาพ ได้แก่ การปรับความเปรียบต่าง ความสว่าง เป็นต้น

1.3.4 พัฒนาโปรแกรมในการอ่านค่าเลขซีที

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 จัดเตรียมและทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.3 ออกแบบชิ้นงานและถ่ายภาพเพื่อเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ

1.4.4 ปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ แล้วนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

1.4.5 พัฒนาโปรแกรมในการอ่านค่าเลขซีทีและอ่านค่าเลขซีทีที่ได้

1.4.6 เปรียบเทียบค่าเลขซีทีและทดสอบคุณภาพของภาพที่ได้จากการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ

1.4.7 สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้รู้ผลของปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟี และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บบันทึกโดยแผ่นบันทึกภาพ

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 สมยศ ศรีสถิตย์ และ อรรถพร ภัทรสุมันต์ [1] ได้ศึกษาเรื่อง การคำนวณการสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ลงบนฟิล์มที่ละลายทุกระนาบ โดยแต่ละระนาบหมายถึงการหมุนที่ละ 3.6 องศา จาก 0

จนถึง 180 องศาเป็นอย่างต่ำ ภาพเอกซเรย์ที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการล้างฟิล์มแล้วจะถูกนำไปอ่านค่าความดำด้วยเครื่องอ่านความดำอัตโนมัติที่ออกแบบให้ทำงานโดยอัตโนมัติ ควบคุมด้วยระบบไมโครคอมพิวเตอร์และข้อมูลโปรไฟล์ที่อ่านได้ จะถูกบันทึกไว้บนแผ่นดิสก์ ซึ่งพร้อมที่จะนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC รุ่น 80486 จอภาพสี VGA วิธีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น ใช้หลักการคอนโวลูชัน ฟิเตอร์ แบคโปรเจกชัน(Convolution Filter Back-Projection) โดยเลือกใช้ฟิลเตอร์ของ Shepp-Logan ผลการวิจัยพบว่าภาพโทโมกราฟีของวัตถุที่ได้มีความคมชัดและให้รายละเอียดเป็นที่น่าพอใจ

1.6.2 นิรว ศรีคุณ [2] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี การศึกษานี้เป็นการพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากสแกนเนอร์มือถือเอ็ดเจสตีทา ข้อมูลความดำบนฟิล์มที่อ่านได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มรังสี และจะถูกเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข แล้วบันทึกลงฮาร์ดดิสก์ของไมโครคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ ระบบนี้สามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มที่มีขนาดไม่เกิน 8.4 ซม. x 17 ซม. ด้วยความละเอียดของข้อมูลและระดับความเข้มไม่น้อยกว่า 100 จุด ต่อนิ้วและ 64 ระดับตามลำดับ

1.6.3 นารายณ์ รัตนไพโรจน์ขจี [3] ได้ทำการศึกษาพัฒนาการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนเพื่อการคำนวณการสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งออกแบบชุดอุปกรณ์ ระบบถ่ายภาพนิวตรอนประกอบด้วยชุดหมุนชิ้นงานควบคุมระยะไกล และกล้องมองภาพนิวตรอน และเก็บบันทึกสัญญาณภาพด้วยระบบไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมด้วยระบบเชื่อมโยงสัญญาณภาพและเครื่องบันทึกวิดีโอ โดยจะใช้เทอร์มินัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย เก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยให้วัตถุหมุนมุม 1.8 องศาและ 3.6 องศา

1.6.4 รัตติยา คุณากร [4] ได้ทำการศึกษาพัฒนาระบบสแกนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา โดยออกแบบให้ระบบสแกนสามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของรังสีแกมมาแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างภาพตัดขวางของชิ้นงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีแกมมาเอมิสซีแอม 241 หัววัดรังสีแกมมาแบบซิลิลเลชัน จักรระบบวัดรังสีโดยมีอุปกรณ์บังคับลำรังสีให้เป็นลำแคบเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวที่ควบคุมการทำงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

1.6.5 เกรียงไกร ธีบุญนนุถ [5] ได้ทำการศึกษาพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ซีไอเอสแบบแถวจากเครื่องสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะร่วมกับ

โปรแกรมควบคุมเพื่อวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านชิ้นงานตัวอย่างออกมาแล้วเปลี่ยนให้เป็นแสงโดยใช้ฉากรังสีที่ติดอยู่ด้านหน้าของอุปกรณ์รับภาพซีเอสไอที่ติดอยู่บนเครื่องสแกนเนอร์

1.6.6 อัมไพ สุขบำเพ็ง [6] ได้ทำการศึกษาดูตรวจสอบต่อหุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้เทคนิคคอมพิวเต็ดเรดิโอกราฟี โดยใช้แผ่นบันทึกภาพร่วมกับฉากตะกั่วเพิ่มความเข้มรังสีและประยุกต์ใช้พอดเตอร์-บั๊กก็กริด เพื่อลดผลรบกวนของรังสีกระเจิงด้านหน้าแผ่นบันทึกภาพพร้อมทั้งพัฒนาโปรแกรมประเมินความหนาของผนังท่อจากการถ่ายภาพรังสี

1.6.7 ฉัตรชัย ชูติรัตนานันท์ [7] ได้ทำการศึกษารูปเปรียบเทียบค่าเลขซีทีจากภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม โดยการสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคฟิล์ม จะทำการถ่ายภาพชิ้นงานที่มีความหนาแน่นต่างกันหลายชิ้น แล้วอ่านค่าเลขซีที และสร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขซีทีกับตัวแปรและพลังงานต่างๆ เช่นความหนาแน่น และขนาดของวัตถุ ซึ่งพบว่าวัสดุชนิดเดียวกันขนาดเท่ากันค่าเลขซีทีจะใกล้เคียงกัน วัสดุชนิดเดียวกันขนาดต่างกันวัสดุเล็กจะมีค่าเลขซีทีมากกว่าวัสดุขนาดใหญ่ และวัสดุต่างชนิดกันขนาดเท่ากันวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีค่าเลขซีทีมากกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก

1.6.8 D.H. Phillips, J.J. Lannutti [8] ได้ทำการศึกษาวัดความหนาแน่นทางกายภาพด้วยภาพโทโมกราฟีในวัสดุ ซึ่งจะสามารถหาได้จากการแปลงค่าเลขซีทีให้เป็นค่าความหนาแน่นโดยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของวัสดุ พัฒนาและสร้างค่าความหนาแน่นมาตรฐาน เพื่อนำค่าเลขซีทีมาเป็นตัวหาค่าความหนาแน่นในวัสดุ

1.6.9 D.V.Rao, R.Cesareo, A.Brunetti, G.E.Gigante [9] ได้ทำการศึกษารูปสร้างภาพโทโมกราฟีด้วย Image Intensifier เพื่อการตรวจสอบโดยไม่ทำลายในวัตถุที่มีขนาดเล็ก โดยจะใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์เรย์และใช้กล้องซีซีดี (CCD, Charge Coupled Device) ในการรับภาพ วัตถุที่ใช้เป็นพลาสติกและมีส่วนของรอยความบกพร่องอยู่ภายในวัตถุ ผลการศึกษาพบว่าภาพที่ได้มีรายละเอียดของภาพและค่าความเปรียบต่างที่ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

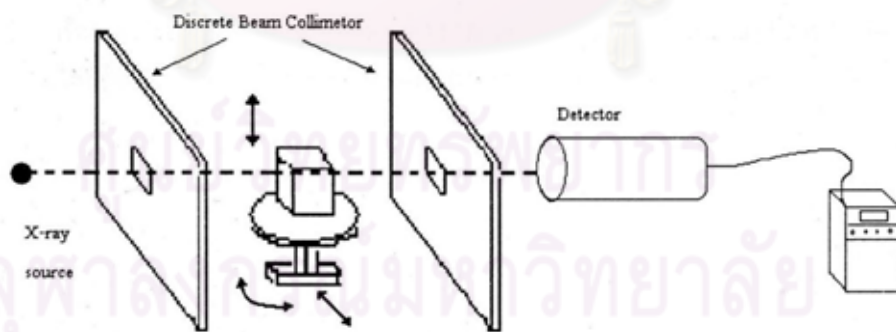
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อสร้างภาพคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

โดยทั่วไปการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น ใช้หลักการทะลุผ่านของรังสีต่อวัตถุตัวอย่าง ซึ่งเมื่อเก็บข้อมูลด้วยวิธีการต่างๆแล้วนำข้อมูลมาประมวลผลด้วยการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง และแสดงผลเป็นภาพในลักษณะของภาพตัดขวาง เทคนิคการเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบส่งผ่าน (Transmission Tomography) มีอยู่ 3 วิธี ได้แก่

2.1.1 วิธีการสแกนแบบรังสีลำแคบ (narrow beam)

ลักษณะการทำงานของวิธีสแกนแบบรังสีลำแคบนี้ คือการใช้ลำรังสีที่พุ่งออกจากแหล่งกำเนิดรังสีซึ่งจำกัดขนาดให้เป็นลำแคบ ทะลุผ่านวัตถุแล้วตกกระทบหัววัดรังสีซึ่งอยู่ด้านตรงกันข้ามและจำกัดขนาดลำรังสีเช่นกัน การสแกนด้วยวิธีนี้กำหนดให้วัตถุเคลื่อนผ่านลำรังสีไปจนสุดขอบของวัตถุ จากนั้นหมุนวัตถุไปด้วยมุมน้อยๆ จึงสแกนย้อนมาที่จุดเดิม ระยะห่างของแต่ละจุดที่สแกนเป็นเส้นตรงขณะทำการวัดรังสี กำหนดให้ห่างกันเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรังสีลำแคบนั้นๆ เรียกปริมาณรังสีแต่ละจุดว่า “เรย์ซั่ม (raysum)” การสแกนผ่านวัตถุต่อการหมุนของวัตถุด้วยมุมน้อยๆนั้น ประกอบไปด้วยหลายๆเรย์ซั่ม เรียกว่า “โปรไฟล์ (profile)” หรือ “โปรเจกชัน (projection)” การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์นั้นจะต้องกำหนดให้วัตถุหมุนจากมุม 0-180 องศาเป็นอย่างน้อย ดังภาพที่ 2.1

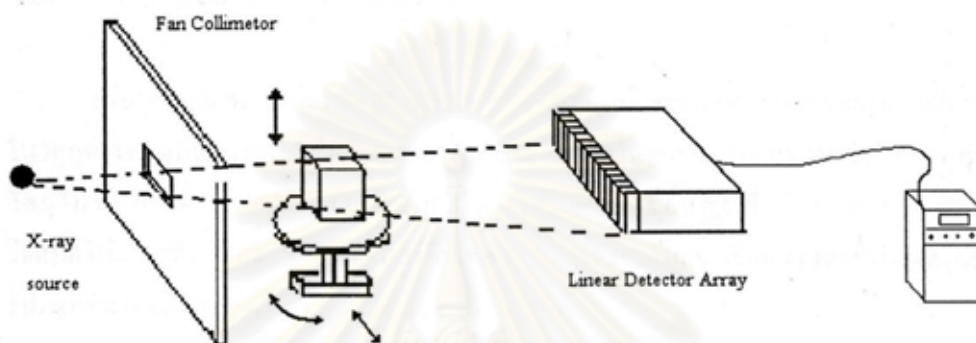


ภาพที่ 2.1 วิธีการสแกนแบบรังสีลำแคบ

2.1.2 วิธีการสแกนแบบลำรังสีรูปพัด (fan beam)

เนื่องจากวิธีการสแกนแบบรังสีลำแคบใช้เวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างนานมาก จึงได้มีการพัฒนาวิธีการสแกนแบบลำรังสีรูปพัดขึ้นมา เพื่อลดเวลาในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ให้น้อยลง โดยใช้ลำรังสีเป็นรูปพัด และหัววัดรังสีแบบแถว (Linear detector array) หลักการทำงานจะคล้าย

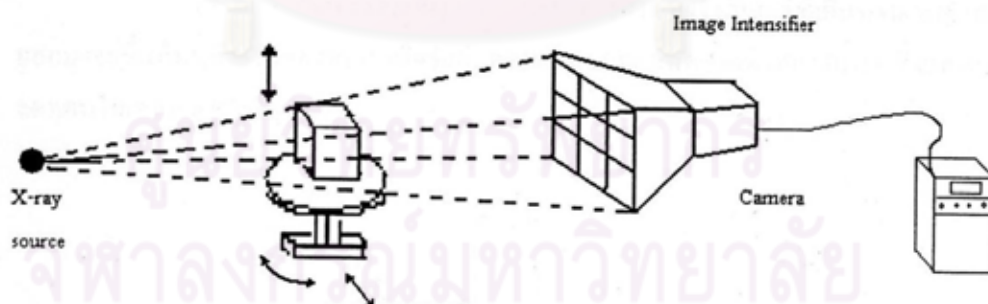
กับวิธีแรก แตกต่างกันตรงที่เมื่อหมุนวัตถุไปแต่ละครั้งจะสามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์ได้เลย จึงเป็นผลให้วิธีนี้ใช้เวลาเฉลี่ยน้อยลง ส่วนในการออกแบบสร้างเป็นระบบข้อมูลด้วยวิธีนี้สามารถออกแบบให้วัตถุหมุนรอบตัวเพียงอย่างเดียว โดยต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสียึดอยู่กับที่ และในทางกลับกันก็สามารถออกแบบให้วัตถุตัวอย่างยึดติดอยู่กับที่ แต่ต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสีหมุนรอบวัตถุ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัด

2.1.3 วิธีการสแกนแบบรังสีรูปกรวย (cone beam)

การเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้ เป็นการถ่ายภาพวัตถุซึ่งสามารถทราบรายละเอียดทั้งในแนวแกนนอนกับแกนตั้ง ซึ่งลำรังสีที่ใช้มีลักษณะเรียงกันเป็นแถว หลายๆแถว หรืออาจใช้แผ่นเรืองแสงรับภาพ โดยมีกล้องโทรทัศน์จับภาพ และแสดงภาพบนจอคอมพิวเตอร์ การเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธีนี้ ใช้เวลาน้อยที่สุดซึ่งอาจเรียกว่า “ระบบโทรทัศน์ (television system)” ดังภาพ 2.3



ภาพที่ 2.3 วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย

2.2 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี [10]

เนื่องจากแนวความคิดที่ว่า สัมประสิทธิ์การลดทอนของปริมาณความเข้มของลำรังสีเอกซ์ในวัตถุต่างชนิดกันในระยะนาบใดระยะนาบหนึ่งสามารถหาได้โดยการนำเอาปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุในทิศทางต่างๆ มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ วิธีแบบ-

โปรเจคชัน (Back-Projection) วิธีอิตเทอเรชัน (Iteration) และวิธีคอนโวลูชันฟิลเตอร์แบค-โปรเจคชัน (Convolution Filter Back-Projection) เป็นต้น

2.2.1 สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์

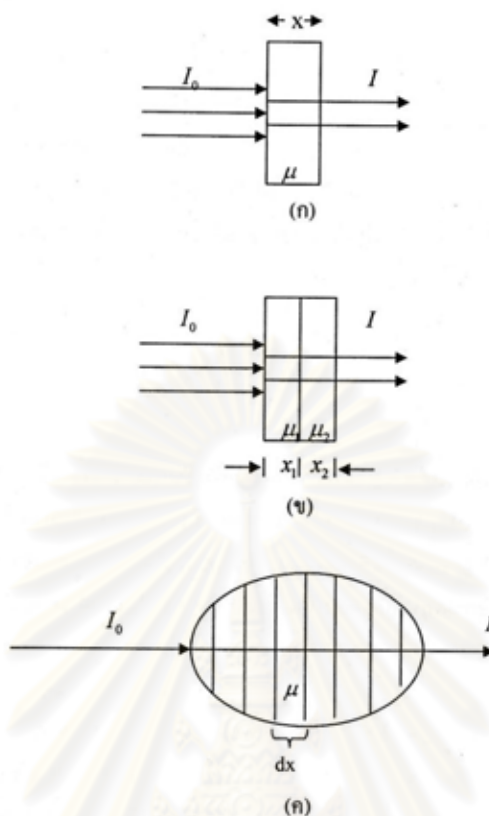
รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงสามารถทะลุผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงได้ และเป็นรังสีที่สามารถทำให้อะตอมของตัวกลางแตกตัวขณะที่มันเคลื่อนที่ผ่านในตัวกลางนั้น ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านวัตถุจะเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับวัตถุ ได้แก่ การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) คอมป์ตัน (compton effect) และแพริโปรดักชัน (pair production) ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้มีผลทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ลดลง โดยมีความสัมพันธ์กับสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ I_0 และ I คือความเข้มของรังสีก่อน และหลังทะลุผ่านตัวกลางตามลำดับ
 μ คือสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ที่พลังงานใดๆต่อวัตถุตัวกลาง
 x คือความหนาของตัวกลาง

จากความสัมพันธ์จะเห็นว่า ความเข้มของปริมาณรังสีเอกซ์ที่เดินทางผ่านตัวกลางออกมาจะขึ้นกับพลังงานของต้นกำเนิดรังสี ความหนา และชนิดของตัวกลางนั้นๆซึ่งแสดงการลดทอนในเทอมของ $e^{-\mu x}$ ดังภาพที่ 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.4 ภาพของทางเดินรังสีเอกซ์ที่ผ่านตัวกลาง 3 ชนิด
 (ก) ตัวกลางที่มีชนิดเดียว (ข) ตัวกลางที่มี 2 ชนิด (ค) ตัวกลางที่มีหลายชนิด

ถ้ากรณีในตัวกลางประกอบไปด้วยสาร 2 ชนิดหนา x_1 และ x_2 ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ของตัวกลางทั้งสองเป็น μ_1 และ μ_2 ตามลำดับดังภาพที่ 2.4(ข) จะได้

$$I = I_0 e^{-[\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2]} \dots \dots \dots (2.2)$$

แต่ถ้าตัวกลางประกอบไปด้วยสารประกอบหลายชนิดในการคำนวณหารอดูกลิ้นรังสีจำเป็นต้องแบ่งตัวกลางออกเป็นส่วนๆ ขนาดความหนา dx เท่าๆกันดังภาพที่ 2.4(ค) ความหนาของส่วนที่แบ่งออกนั้นเล็กจนสามารถสมมติได้ว่าส่วนเล็กๆ ที่แบ่งออกนั้น ประกอบด้วยสารเนื้อเดียวตลอด กรณีนี้ความสัมพันธ์ระหว่าง I, I_0, μ และความหนา(x) ของตัวกลางจะเป็นไปตามสมการ

$$I = I_0 e^{-\int \mu dx} \dots \dots \dots (2.3)$$

2.2.2 เรย์ซัม (Ray-sum)

สมการที่ 2.3 เป็นสมการที่มีความสำคัญต่อการคำนวณการสร้างภาพ เพื่อความสะดวกจึงเขียนสมการที่ 2.3 ใหม่ โดยเขียนให้อยู่ในรูปของลอการิทึมธรรมชาติ (natural logarithm)

$$P(r, \phi) = -\ln I/I_0 = \int_{r, \phi} \mu dx \dots\dots\dots(2.4)$$

เมื่อ P คือ เรย์ซัมหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเรย์โปรเจกชัน (ray-projection) หมายถึงอินทิกรัลเชิงเส้นตามเส้นทางของรังสีเอกซ์ที่ยิงผ่านเข้าไปในตัวกลาง เรย์ซัมสะท้อนให้เห็นถึงการดูดกลืนรังสีเอกซ์ของตัวกลางตามเส้นทางที่รังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านไป ถ้าเรย์ซัมมีค่ามากแสดงว่ามีการดูดกลืนรังสีเอกซ์มาก และในทางกลับกันถ้าเรย์ซัมมีค่าน้อยแสดงว่ามีการดูดกลืนรังสีเอกซ์น้อย

2.2.3 โปรไฟล์ (Profile)

เพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจ จะพิจารณาการเก็บข้อมูลของซีทรูหนึ่งซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบเลื่อนและหมุนผสมกันเมื่อหลอดรังสีเอกซ์ปล่อยรังสีลำแคบออกมาแล้วเคลื่อนที่แบบตัดผ่านระนาบที่ต้องการสร้างภาพ เมื่อหัววัดรังสีเอกซ์อ่านค่าความเข้มของรังสีเอกซ์ แล้วจะถูกเปลี่ยนให้เป็นเรย์ซัม เมื่อนำค่าเรย์ซัมที่ได้มาพิจารณาเทียบกับระยะทางที่หลอดรังสีเอกซ์และหัววัดรังสีเอกซ์เคลื่อนที่แบบเลื่อนแล้วจะได้ความสัมพันธ์เป็นเซตของเรย์ซัมที่นำมาเรียงกันนี้เรียกว่า โปรไฟล์ หรือ โปรเจกชัน

2.2.4 แบคโปรเจกชัน (Back-Projection)

การคำนวณการสร้างภาพมีอยู่หลายวิธี ขั้นตอนวิธีการคำนวณการสร้างภาพที่จะกล่าวถึงในที่นี้คือ แบคโปรเจกชัน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ความยุ่งยากในทางคณิตศาสตร์มีน้อย คูห์ล (Kuhl) และเอดเวิร์ดส (Edwards) เป็นสองคนแรกที่น่าวิธีนี้ไปสร้างภาพของระนาบในตัวผู้ป่วยได้สำเร็จ

การที่รังสีเอกซ์ลำแคบเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงไปในระนาบของตัวกลางใดๆ 1 ครั้งจะได้ 1 โปรไฟล์ ซึ่งประกอบด้วยเรย์ซัม หรือ $P(r, \phi)$ จำนวนหนึ่ง ถ้าบิดแนวรังสีเอกซ์ไปจากแนวเดิมทีละ 1 องศา จนครบ 180 องศา โดยที่แต่ละองศาให้รังสีเอกซ์ลำแคบเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงผลลัพธ์จะได้ 180 โปรไฟล์ ซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับนำไปสร้างภาพ

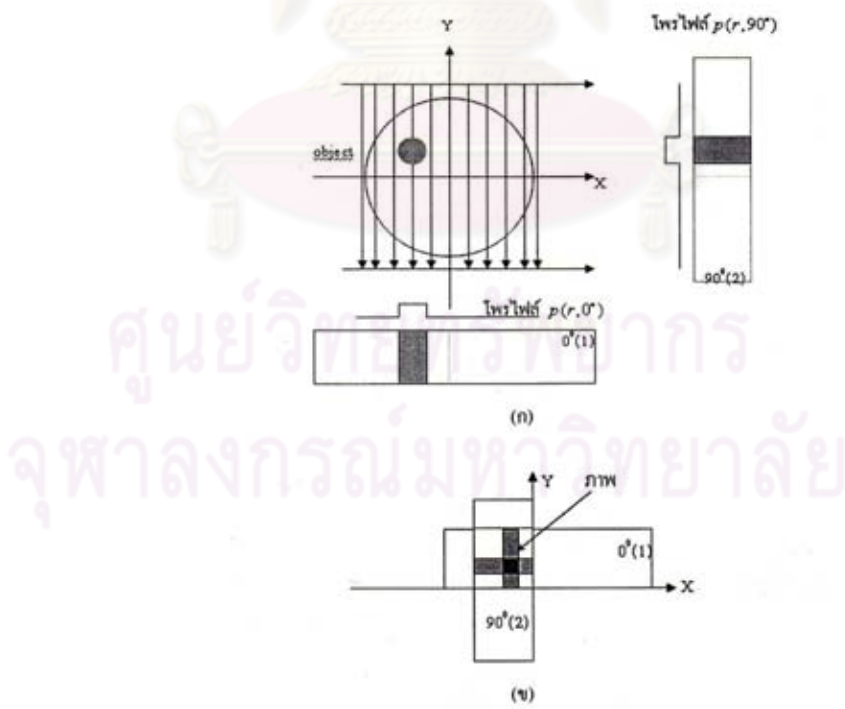
การคำนวณการสร้างภาพตามวิธีการนี้ไม่ได้คำนวณการจำแนกของสัมประสิทธิ์การลดทอนในระนาบที่สนใจ แต่เป็นการคำนวณการจำแนกของ μ แทน โดยที่

$$\mu(x,y) = \sum_{j=1}^m p(r_j, \theta_j) \Delta\theta \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อ $r_j = x \cos\theta_j + y \sin\theta_j \dots\dots\dots(2.6)$

ในสมการที่ 2.5 m คือ จำนวนโปรไฟล์ทั้งหมด θ_j คือมุมของโปรไฟล์ที่ j , $\Delta\theta$ เรียกว่า ระยะห่างเชิงมุม (angular distance) ระหว่างโปรไฟล์ มีค่าเท่ากับ π/m ส่วน $\mu(x,y)$ ไม่ใช่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของตัวกลางจริงๆ แต่การพิจารณาการจำแนกของมันบนระนาบ x,y ที่กำหนดขึ้นจะสามารถจำลองภาพขึ้นได้เหมือนจริงมาก

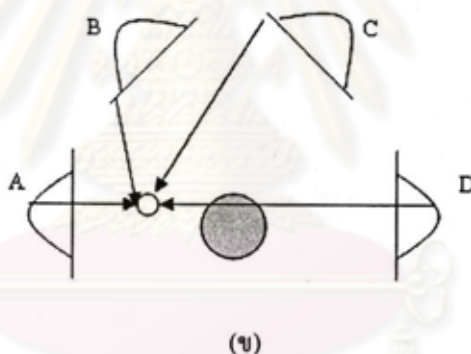
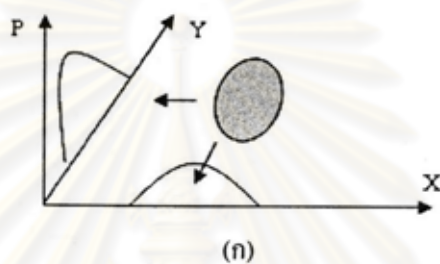
เพื่อความเข้าใจที่ชัดเจนขึ้นจะพิจารณาตามภาพที่ 2.5(ก) สมมุติว่าการเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงครั้งแรกมุม $\theta = 0^\circ$ จะได้โปรไฟล์หนึ่งชุด หรือได้ $p(r,0^\circ)$ การเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงครั้งที่สองที่ทำมุม $\theta = 90^\circ$ จะได้โปรไฟล์อีกหนึ่งชุด หรือได้ $p(r,90^\circ)$ เมื่อโปรไฟล์ทั้งสองมาซ้อนทับกันอย่างเหมาะสมดังภาพที่ 2.5(ข) จะเห็นว่าตรงตำแหน่งที่สอดคล้องกับตำแหน่งของวัตถุ $p(r,0^\circ)$ และ $p(r,90^\circ)$ ที่มีค่าสูงมากจะรวมกันหรือเสริมกันทำให้เห็นเด่นเป็นภาพของวัตถุขึ้น แนวความคิดแบบนี้จึงเกิดเป็นสมการที่ 2.5 ซึ่งนำเอา $p(r,\theta)$ ที่มี r และ θ ที่เหมาะสมมารวมกันตรงตำแหน่ง (x,y) ใดๆในระนาบ xy ที่จะสร้างภาพ



ภาพที่ 2.5 การเกิดภาพตามวิธีการแบคโปรเจกชัน

- (ก) โปรไฟล์ของวัตถุที่บันทึกได้ในสองทิศทางคือ $0^\circ(1)$ และ $90^\circ(2)$ วัดเทียบแกน Y
- (ข) โปรไฟล์ในรูป ก. นำมาซ้อนกันอย่างเหมาะสมเพื่อสร้างภาพ

แบบคโปรเจกชันไม่ใช่วิธีการที่ดีในการนำข้อมูลที่หัววัดรังสีเอกซ์บันทึกไว้มาสร้างภาพ เพราะแต่ละเรย์ซั่มไม่ได้นำไปรวมกันเฉพาะตรงจุดที่มีความหนาแน่นสูงเท่านั้น แต่จะนำไปรวมกันบนทุกๆ จุดตามเส้นทางของลำรังสีเอกซ์ เหตุนี้เองทำให้ภาพที่สร้างขึ้นไม่คมชัดเท่าที่ควร โดยตรงขอบภาพจะเห็นเป็นแฉกรูปดาว เรียกว่า อาร์ติแฟกต์รูปดาว (star artifact) ตามภาพที่ 2.6 จะเห็นได้ชัดเจนขึ้นว่า จุดที่อยู่นอกภาพของวัตถุจะมีความหนาแน่นสูงซึ่งได้รับอิทธิพลโดยตรงจากโปรไฟล์ A และ D อย่างไรก็ตามแม้วิธีนี้จะมีข้อบกพร่องอยู่บ้างแต่ก็เป็นพื้นฐานของวิธีการสร้างภาพแบบที่ต้องการใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงเข้าช่วย



ภาพที่ 2.6 การเกิดอาร์ติแฟกต์

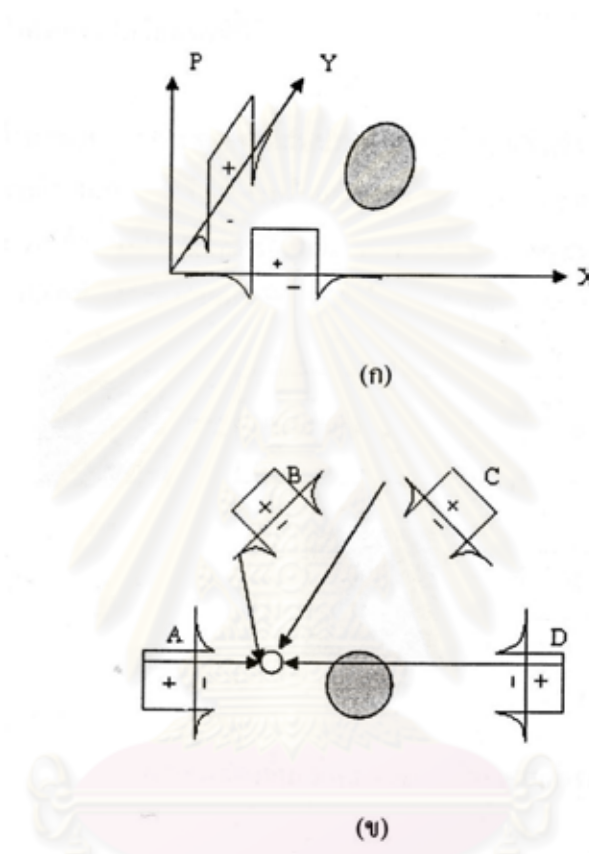
(ก) โปรไฟล์ของวัตถุรูปวงกลมในสองทิศทาง

(ข) โปรไฟล์ A และ D มีส่วนทำให้ความหนาแน่นของจุดที่อยู่นอกภาพของวัตถุมีค่าสูงขึ้น เป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่คมชัด

2.2.5 ฟิลเตอร์แบบคโปรเจกชัน (Filtered Back-Projection)

การสร้างภาพแบบฟิลเตอร์แบบคโปรเจกชัน คล้ายกับการสร้างภาพแบบคโปรเจกชัน จะทำการกรองข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ก่อนดำเนินการทำคโปรเจกชัน ผลลัพธ์ทำให้สามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับความไม่คมชัดของภาพที่เกิดขึ้นในการสร้างภาพแบบคโปรเจกชัน หากปรับปรุงโปรไฟล์ในภาพที่ 2.6 ให้มีซี่กลบเพิ่มขึ้นด้วยขบวนการทางคณิตศาสตร์ดังภาพที่ 2.7(ก) แล้วผลดีที่เกิดขึ้นคืออิทธิพลของเรย์ซั่มที่มีค่าเป็นบวกจะไม่ทำให้ความหนาแน่นของเซลล์ที่อยู่นอกภาพของวัตถุวงกลมเพิ่มสูงมากอีกต่อไป เพราะมีเรย์ซั่มที่มีค่าลบคอยรักษาภาพ

หนาแน่นที่เป็นจริงเอาไว้ ดังภาพที่ 2.7(ข) ทำให้ภาพที่สร้างขึ้นมีความคมชัดมาก การปรับปรุงโปรไฟล์นี้จำเป็นต้องทำอย่างเหมาะสมซึ่งการกรองเชิงคณิตศาสตร์มีหลายวิธี เช่น การกรองแบบฟูเรียร์ (Fourier filtering) การกรองแบบราดอน (Radon filtering) การกรองแบบคอนโวลูชัน (Convolution filtering) เป็นต้น



ภาพที่ 2.7 การปรับปรุงโปรไฟล์

(ก) โปรไฟล์ของวัตถุวงกลมที่ปรับปรุงแล้ว

(ข) โปรไฟล์ A, B และ D มีส่วนทำให้เซลล์ที่อยู่นอกวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น แต่โปรไฟล์ C จะทำให้ความหนาแน่นกลับมาสู่สภาพเป็นจริงทำให้ขอบภาพคมชัดขึ้น

2.2.6 วิธีการกรองด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan

สำหรับการกรองข้อมูลโปรไฟล์ด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันนั้นเป็นการนำข้อมูลโปรไฟล์แต่ละโปรไฟล์มาปรับด้วยการคำนวณจากสมการ Shepp-Logan ดังนี้

$$H(x) = \frac{2}{\pi^2 a(1-4x^2)} \dots \dots \dots (2.7)$$

เมื่อ d คือระยะห่างระหว่างเรย์ซั่ม และ x คือ เลขจำนวนเต็ม ดังนั้นเมื่อปรับข้อมูลโปรไฟล์ $P(\theta, x)$ โดยการคูณด้วยสมการที่ 2.7 แล้วจึงนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีแบคโปรเจกชันต่อไป

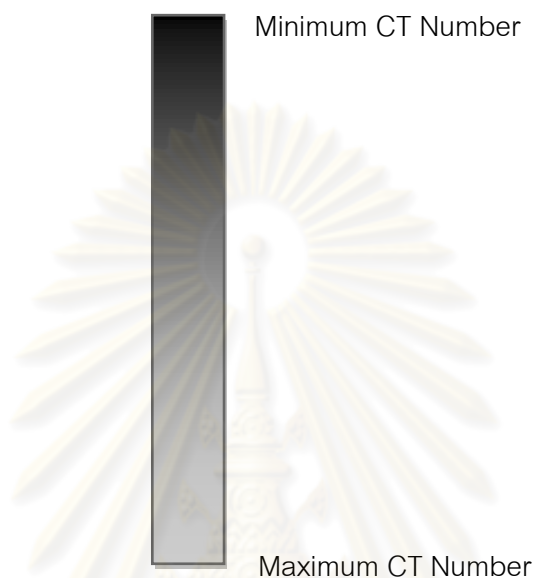
2.3 ค่าเลขซีที (CT Number)

ภาพโทโมกราฟีเป็นภาพที่มีลักษณะเฉพาะต่างไปจากภาพรังสีเอกซ์ทั่วไปเพราะเป็นภาพที่แสดงการจำแนกของสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์ในระนาบหนึ่งในแนวภาคตัดขวาง ในทางปฏิบัติตัวเลขที่ปรากฏที่ตำแหน่งต่างๆ หรือความดำที่ปรากฏบนภาพโทโมกราฟีไม่ใช่สัมประสิทธิ์การลดทอนที่แท้จริง แต่เป็นค่าที่เรียกว่า ค่าเลขซีที (CT Number) ซึ่งในการสร้างภาพโทโมกราฟีนั้นจะเริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ตามด้วยขั้นตอนวิธีการคำนวณสร้างภาพ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นให้เป็นเลขซีทีด้วย



ภาพที่ 2.8 ขั้นตอนของกระบวนการสร้างภาพโทโมกราฟีและค่าเลขซีที

ภาพโทโมกราฟีที่มีความแตกต่างจากภาพรังสีเอกซ์ธรรมดา เมื่อได้ข้อมูลความดำของภาพโทโมกราฟีแล้วนำมาแบ่งเป็นส่วนเล็กๆเท่ากัน เพื่อหาค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ซึ่งส่วนที่แบ่งเป็นส่วนเล็กๆนี้จะบรรจุค่าเลขซีทีไว้ จากนั้นกำหนดให้เลขซีทีสูงสุดแทนด้วยเฉดสีขาวไล่ขึ้นไปเรื่อยๆจนถึงเลขซีทีต่ำสุดแทนด้วยเฉดสีดำ



ภาพที่ 2.9 การกำหนดเฉดสีให้ข้อมูลเพื่อนำไปแสดงผลค่าเลขซีที

2.4 คุณภาพของภาพโทโมกราฟี (Computed Tomography Image Quality)

จุดประสงค์ของการสร้างภาพโทโมกราฟีก็เพื่อสร้างภาพตัดขวางที่สามารถแสดงองค์ประกอบภายในของวัตถุได้โดยไม่ต้องทำลาย ภาพโทโมกราฟีที่ดีจึงหมายถึงภาพที่สามารถแสดงรายละเอียดภายในของวัตถุได้ถูกต้องและชัดเจน การตรวจสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการบ่งบอกถึงภาพโทโมกราฟีที่ดี ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีนั้นมีอยู่หลายวิธี ที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้คือ Pixel noise และ Probability Distribution Function (PDF)

2.4.1 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วย Pixel noise

Pixel Noise เป็นค่าความแปรปรวนอย่างอิสระของเลขซีที เมื่อสแกนผ่านตัวกลางเนื้อเดียว ซึ่งเกิดจากความแปรปรวนทางสถิติของจำนวนโฟตอนที่ถูกกรณัรับรังสีได้รับ ส่งผลทำให้ภาพโทโมกราฟีขาดความคมชัด ซึ่งถือว่าเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของเลขซีทีในสารเนื้อเดียว ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเลขซีทีมีค่ามากแสดงว่าภาพโทโมกราฟีขาดความคมชัด ในทางกลับกันถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเลขซีทีมีค่าน้อยแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความคมชัดดี

2.4.2 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยกราฟ Probability Distribution Function (PDF)

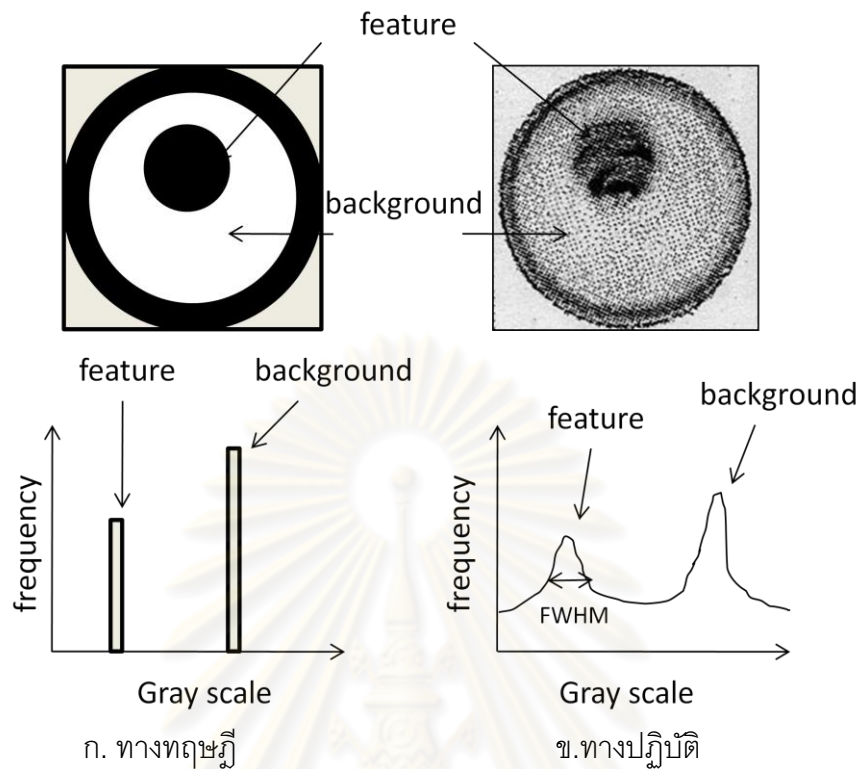
กราฟ PDF เป็นกราฟแสดงการแจกแจงความถี่ของค่าเลขซีที จากตัวอย่างของกราฟ PDF ในรูปที่ 2.10(ก) เป็นกราฟ PDF ของภาพโทโมกราฟีในทางทฤษฎี เห็นได้ว่าความถี่ของค่าเลขซีทีมีเพียงสองค่า ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่เลขซีทีของวัตถุ (feature ; μ_{feature}) และของแบคกราวด์ (background ; $f_{\text{background}}$) ข้อมูลทั้งสองสามารถนำมาคำนวณค่าความเปรียบต่าง (contrast ; $\Delta\mu$) ได้ดังสมการ

$$\Delta\mu = \mu_{\text{feature}} - \mu_{\text{background}} \dots\dots\dots(2.8)$$

ในทางปฏิบัติกราฟ PDF ไม่ได้เหมือนในทางทฤษฎี เนื่องจากกระบวนการต่างๆในการสร้างภาพโทโมกราฟีทำให้เกิดความมัวในภาพโทโมกราฟีที่สร้างขึ้น ด้วยปัจจัยต่างๆทำให้ภาพโทโมกราฟีและกราฟ PDF มีลักษณะดังตัวอย่างในภาพที่ 2.10 (ข) ซึ่งเห็นได้ว่ากราฟ PDF จะมีการกระจายตัวของเลขซีทีมากกว่าในทางทฤษฎี โดยในการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลสามารถวัดได้จากความกว้างของค่าเลขซีทีที่ค่าความถี่เป็นครึ่งของค่าความถี่สูงสุด หรือ FWHM(Full Width at Half Maximum) ที่เนื้อสารเดียวกันดังภาพที่ 2.10(ข) สำหรับการหาค่าความเปรียบต่างของกราฟ PDF ในทางปฏิบัติ จะใช้ค่าเลขซีทีที่ความถี่สูงสุดของทั้งวัตถุและแบคกราวด์ในกราฟ PDF

จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่ากราฟ PDF สามารถบอกค่าความเปรียบต่างของภาพโทโมกราฟีและการกระจายตัวของค่าเลขซีทีได้โดยการวัดจากค่า FWHM ซึ่งค่า FWHM จะสื่อให้เห็นถึงความมัวของภาพโทโมกราฟีได้ ถ้าค่า FWHM มีค่ามากแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวมาก ในทางกลับกันถ้าค่า FWHM มีค่าน้อยแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวของภาพน้อยหรือมีคุณภาพที่ดีนั่นเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.10 ตัวอย่างกราฟ PDF

2.5 แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate)

แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate) เป็นวัสดุบันทึกภาพชนิดใหม่ คล้ายกับฟิล์มที่ใช้บันทึกภาพที่ถ่ายด้วยรังสี ทำจากวัสดุเรืองแสงที่สามารถเก็บพลังงานของรังสีที่ได้รับเอาไว้ แล้วนำมาสแกนด้วยแสงเลเซอร์ ซึ่งจะคายพลังงานโดยเรืองแสงออกมา เทคโนโลยีของสารเรืองแสงนี้มีการประยุกต์ใช้ครั้งแรกทางการแพทย์ ในงานด้านรังสีวินิจฉัย โดยใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ จากนั้นได้มีการประยุกต์ใช้ ในวงกว้างออกไป ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

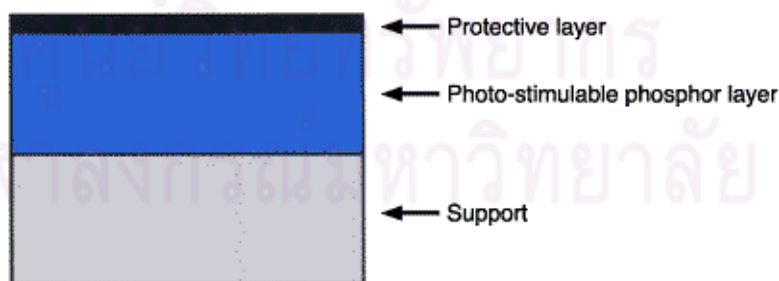
2.5.1 สารเรืองแสงจากการกระตุ้นด้วยรังสี (Photo-Stimulable Phosphor)

วัสดุที่เปล่งแสงออกมาเมื่อได้รับรังสี แสง UV ลำอิเล็คตรอน ความร้อน แรงแกระแทก หรืออาจกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาทางเคมีในบางกรณี โดยทั่วไปวัสดุชนิดนี้ เรียกว่า วัสดุเรืองแสง (fluorescent substances) มีลักษณะเป็นผง ซึ่งสามารถเปล่งแสงออกมาได้ เมื่อถูกกระตุ้นบางอย่าง เช่น รังสี แสงที่เปล่งออกมา จะหมดลงทันทีที่หยุดการกระตุ้น ปฏิกิริยาการกระตุ้นนี้ เรียกว่า "fluorescence" สารเรืองแสงบางชนิด ยังเปล่งแสงออกมาได้ เมื่อหยุดการกระตุ้นแล้ว ซึ่งเรียกว่า "phosphorescence" ส่วนคำว่า "Luminescence" เป็นคำรวมที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ในการเปล่งแสง

ในการพัฒนาสารเรืองแสงนั้น พิจารณาคุณสมบัติในการเรืองแสง (luminescence) ทั้งแบบ fluorescence และแบบ phosphorescence เพื่อให้มีความเหมาะสมกับงานแต่ละประเภท โดยมีการศึกษาวิจัย ทั้งการปรับสัดส่วนองค์ประกอบของสารเรืองแสง และขั้นตอนในกระบวนการผลิต สารเรืองแสงที่ใช้ในการผลิตแผ่นบันทึกภาพ มีคุณสมบัติในการกักอิเล็กตรอนเมื่อรับรังสี และเรืองแสงจากการกระตุ้นด้วยแสงจากภายนอก (photostimulated luminescence, PSL) ซึ่งแตกต่างจาก fluorescent และ phosphorescent ปракฏการณ์ของ PSL ค้นพบโดย Becquerel นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ตอนกลางศตวรรษที่ 19 ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ วัตถุถูกกระตุ้นครั้งแรกด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เช่น รังสี และจะเปล่งแสงออกมา เมื่อถูกกระตุ้นครั้งที่สองด้วยคลื่นที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น ปракฏการณ์ PSL ไม่ได้ได้รับความสนใจ จนกระทั่งปลายสงครามโลกครั้งที่สอง มีการพัฒนาไปใช้ในการตรวจวัดรังสีอินฟราเรด ของนักวิจัยในกองทัพญี่ปุ่น และใช้บันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีในสหรัฐอเมริกา ในปี 1947 แผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate) จึงมีการใช้บันทึกภาพถ่ายรังสีเอกซ์ โดยใช้หลักการพื้นฐาน มาจากปรากฏการณ์ของ PSL ในการเก็บข้อมูลที่มาจากรังสี แล้วคายออกมาในรูปของแสง

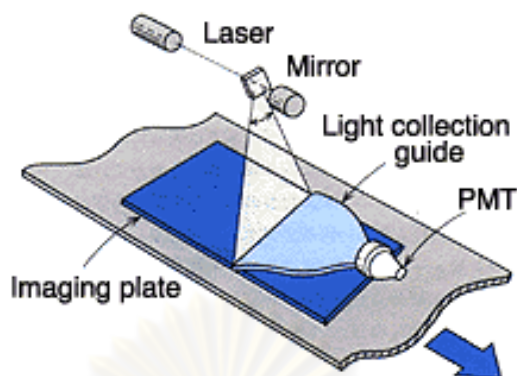
2.5.2 หลักการของแผ่นบันทึกภาพ (Imaging Plate)

Imaging Plate เป็นแผ่นบันทึกภาพที่มีความยืดหยุ่น ประกอบด้วยผลึกสารเรืองแสงขนาดเล็ก (ขนาดผลึกประมาณ $5 \mu\text{m}$) เป็นสารประกอบ barium fluorobromide ที่เจือด้วย bivalent europium เล็กน้อย ทำหน้าที่เป็น luminescence center มีสูตรโมเลกุลเป็น BaFBr:Eu^{2+} เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์ม โพลีเอสเตอร์ (polyester) โดยมีองค์ประกอบดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างและส่วนประกอบของ Imaging plate

การถ่ายภาพชิ้นงานบนแผ่นบันทึกภาพ มีวิธีการคล้ายกับการถ่ายภาพโดยใช้ฟิล์ม แผ่นบันทึกภาพที่ถ่ายภาพแล้ว จะนำไปสแกนด้วยแสงเลเซอร์ โดยมีตัวอ่านความละเอียดสูง เก็บรายละเอียดของแสงที่เปล่งจาก phosphor ดังภาพที่ 2.12

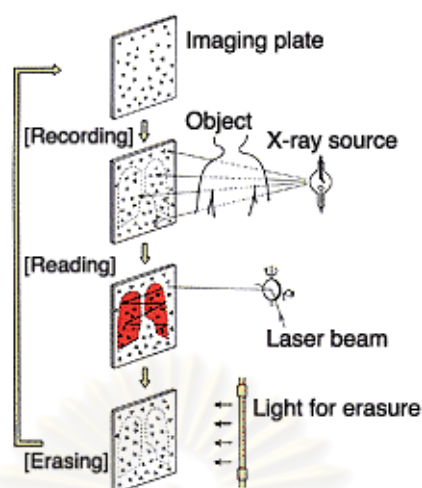


ภาพที่ 2.12 การสแกนเพื่ออ่านภาพตามปริมาณรังสีจาก Imaging plate

แผ่นบันทึกภาพที่ฉายรังสีแล้ว เมื่อสแกนด้วยลำแสงเลเซอร์ แสงที่เปล่งออกมาจะถูกอ่านและส่งผ่าน photomultiplier tube (PMT) ไปยังส่วนอ่านความเข้มแสง และแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

การอ่านความเข้มของแสงที่เปล่งออกมา สามารถปรับค่าความละเอียด ช่วงของความไวของสี (sensitivity range) และความไวของสีในการอ่าน (reading sensitivity) ได้ แสงจาก PSL ที่เปล่งออกมาอยู่ในช่วงแสงสีน้ำเงินม่วง (400 nm) จะถูกอ่านและส่งไปยัง photomultiplier tube (PMT) สัญญาณ PSL ในรูปสัญญาณอนาล็อกจะถูกเปลี่ยนเป็นดิจิตอล ซึ่งปรับค่าได้ระหว่าง 8 - 16 bit สัญญาณภาพที่สแกนจนครบเฟรมจะแสดงบนจอภาพ (CRT) และสามารถใช้โปรแกรม Image analysis และ data processing ปรับแต่งคุณภาพของภาพ

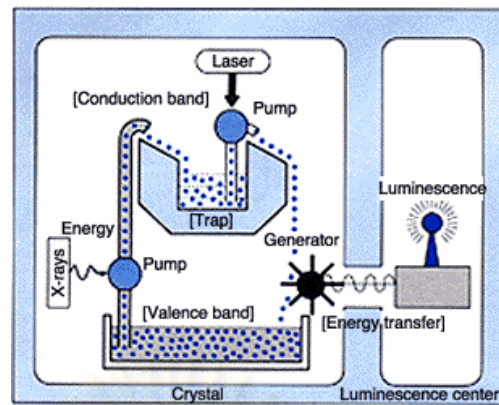
การลบแผ่นบันทึกภาพ ข้อมูลปริมาณรังสีที่ตกค้างอยู่สามารถฉายแสงความเข้มสูงซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงตอบสนองต่อสายตา (visible light) จากหลอดโซเดียมความดันสูง (high pressure sodium lamp) หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีการกรองแสงในช่วงคลื่นอุลตราไวโอเล็ต (UV) ออกแล้ว การลบข้อมูลปริมาณรังสีจะใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที หรือสั้นกว่านั้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ใช้ ซึ่งกระบวนการใช้งานตั้งแต่การอ่านความเข้มแสงไปจนถึงการลบภาพแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ แสดงดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 กระบวนการใช้งาน Imaging plate ประกอบด้วยการอ่าน การลบและการนำกลับมาใช้ใหม่

ผลึก BaFX: Eu^{2+} ($X = \text{Cl, Br or I}$) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ มีโครงสร้างเป็นแบบ tetragonal เมื่อแทนที่ Ba ด้วยไอออนของ Eu^{2+} จะทำให้อยู่ในรูป solid solution เมื่อผลึกนี้ได้รับรังสี อิเล็กตรอนจะถูกจับอยู่ในโครงผลึกที่ว่าง ในส่วนไอออนของ F หรือ X ซึ่งจะทำให้เกิด color centers ขึ้นในผลึกได้ 2 ชนิด ขึ้นกับองค์ประกอบของ F กับ X ส่วนชนิดของ color center สามารถหาได้จากการวัด electron spin resonance (ESR) spectrum จากการทดลองพบว่า ถ้า $X = \text{Br}$ และได้รับปริมาณ X-ray ที่เพียงพอ สเปกตรัมของ PSL จะให้แสง (visible rays) ที่สอดคล้องกับ optical density, light current, ESR intensity และ PSL intensity ของ color center นอกจากนี้ ยังพบว่า ความเข้มของการเรืองสีฟ้า (blue luminescence) แปรตามจำนวนไอออนของ Eu^{2+} ขณะที่การเรืองสีแดง (red luminescence) แปรตามจำนวนไอออนของ Eu^{3+}

จากข้อมูลที่ได้แสดงว่า BaFBr: Eu^{2+} photo-stimulable phosphor มีกลไกการเรืองแสงดังนี้: เมื่อ Phosphor ถูกกระตุ้นจากการได้รับรังสีเอกซ์ ไอออน Eu^{2+} จะเปลี่ยนไปเป็นไอออน Eu^{3+} ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาอยู่ที่ conduction band และถูกจับอยู่ที่ตำแหน่งว่างใน lattices ของผลึก ที่ ตำแหน่ง Br ion ทำให้เกิด color centers ในลักษณะของ metastable state เมื่อ color center ได้รับการกระตุ้นด้วยแสงอีกครั้ง อิเล็กตรอนที่ถูกจับอยู่ จะหลุดออกเป็นอิสระไปอยู่ที่ conduction band อีกครั้ง หรือทำให้ Eu^{3+} ions กลายเป็น Eu^{2+} ion ที่อยู่ในสภาวะเร็ว ซึ่งจะเรืองแสงในรูปแบบ PSL ออกมา กลไกการเรืองแสง แสดงได้ดังภาพที่ 2.14



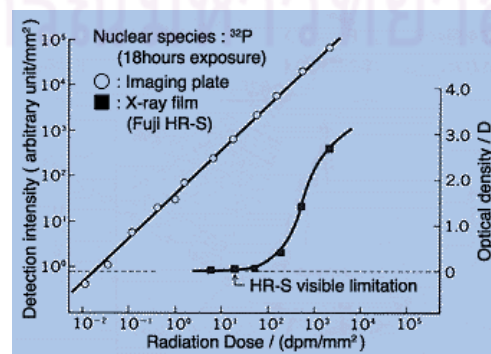
ภาพที่ 2.14 กลไกการเรืองแสงของ Imaging plate

อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้น ถูกจับอยู่ในช่องว่างของโครงสร้างผลึก ตรงส่วนของ halogen ion ทำให้ color center อยู่ในสถานะ metastable state เมื่อฉายด้วยแสงเลเซอร์ และ color center ดูดกลืนไว้ ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นอีกครั้ง และจะกลับลงมาพร้อมกับ hole ของ Eu ion ซึ่งเป็น luminescence center โดยคายพลังงานด้วยการเรืองแสงออกมา

2.5.3 ลักษณะเด่นของแผ่นบันทึกภาพ

การถ่ายภาพรังสีด้วยแผ่นบันทึกภาพเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการถ่ายภาพด้วยแผ่นฟิล์มสามารถสรุปความแตกต่างได้ดังนี้

- 1 แผ่นบันทึกภาพมีความไวสูง โดยมีความไวมากกว่าฟิล์มหลายสิบเท่า หรืออาจไวกว่าหลายพันเท่า ขึ้นกับชิ้นงานหรือตัวอย่าง
- 2 มี dynamic range ที่กว้าง โดยมีช่วงกว้างมากกว่า 10^4 ถึง 10^5 ซึ่งสูงกว่าการใช้ฟิล์มที่มีอยู่ในช่วง 10^2
- 3 มีความเป็นเชิงเส้นดีกว่า มีการเรืองแสงแปรผันโดยตรง ตามปริมาณรังสีตลอดช่วง
- 4 มีการแสดงรายละเอียด (spatial resolution) ได้สูง และมีความหนาแน่นของ pixel สูงกว่า



ภาพที่ 2.15 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นบันทึกกับฟิล์มรังสีเอกซ์ทั่วไป

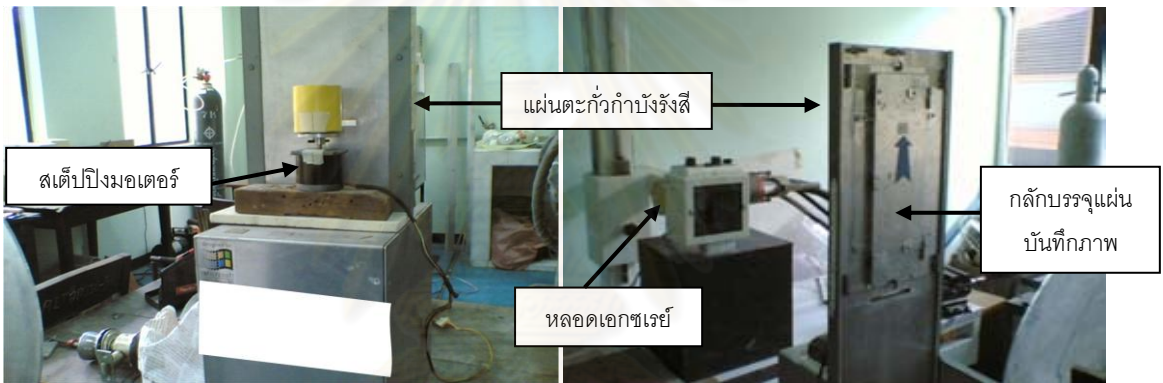
บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ของบริษัท Balteau NDT รุ่น XSD160-LS1 ซึ่งสามารถค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 5 – 160 kV และค่ากระแสอยู่ในช่วง 1 – 40 mA

3.1.2 ชุดอุปกรณ์กำบังรังสีสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ซึ่งออกแบบให้ชิ้นงานตัวอย่างวางอยู่บนแป้นหมุนที่ขับเคลื่อนด้วยสแต็ปมอเตอร์ และติดตั้งไว้ด้านหน้าของแผ่นตะกั่วกำบังรังสีโดยเจาะช่องเล็กๆให้ลำรังสีไปตกกระทบแผ่นบันทึกภาพที่อยู่ด้านหลังและสามารถเคลื่อนลงในแนวตั้งด้วยการขับเคลื่อนของสแต็ปมอเตอร์ได้ ดังภาพที่ 3.1(ก) และ 3.1(ข)



ก. แป้นหมุนที่ขับเคลื่อนด้วยสแต็ปมอเตอร์

ข. ก๊อปปี้บรรจุแผ่นบันทึกภาพ

ภาพที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์กำบังรังสีสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

3.1.3 แผ่นบันทึกภาพ (Imaging plate) ของบริษัท ฟุจิฟิล์ม รุ่น BAS-MS ชนิดความไวสูง (High sensitivity) และ BAS-SR ชนิดความละเอียดสูง (High resolution)

3.1.4 ก๊อปปี้บรรจุแผ่นบันทึกภาพ (cassette)



ภาพที่ 3.2 แผ่นบันทึกภาพและก๊อปปี้บรรจุแผ่นบันทึกภาพ

3.1.5 เครื่องอ่านภาพจากแผ่นบันทึกภาพ ของบริษัทฟูจิฟิล์ม รุ่น FLA-5100

3.1.6 เครื่องลบข้อมูลภาพแฝงที่ตกค้างอยู่บนแผ่นบันทึกภาพ



ภาพที่ 3.3 เครื่องอ่านภาพจากแผ่นบันทึกภาพและเครื่องลบข้อมูลภาพแฝงที่ตกค้างบนแผ่นบันทึกภาพ

3.1.7 ชุดโปรแกรมเก็บข้อมูลโปรไฟล์และประมวลผลภาพโทโมกราฟี ProSIM

3.1.8 แผ่นฟิล์มอุตสาหกรรม Type II ของบริษัท โกดัก รุ่น AA400

3.1.9 แผ่นฉากเพิ่มความไวรังสี (Intensifying screen)

3.1.10 ชุดน้ำยาล้างฟิล์ม Developer, Fixer ของบริษัท โกดัก

3.1.11 ชิ้นงานทดสอบรูปทรงขั้นบันได (step wedge)



ภาพที่ 3.4 ชิ้นงานทดสอบรูปทรงขั้นบันได (step wedge)

3.1.12 เครื่องอ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม (Densitometer) ของบริษัทโคนิกา รุ่น

PDA-81



ภาพที่ 3.5 เครื่องอ่านค่าความดำบนแผ่นฟิล์ม (Densitometer)

3.1.13 เครื่องสแกนแผ่นฟิล์ม รุ่น Vdar VXR-16 ของบริษัท vidar system Crop, Herndon, VA, USA

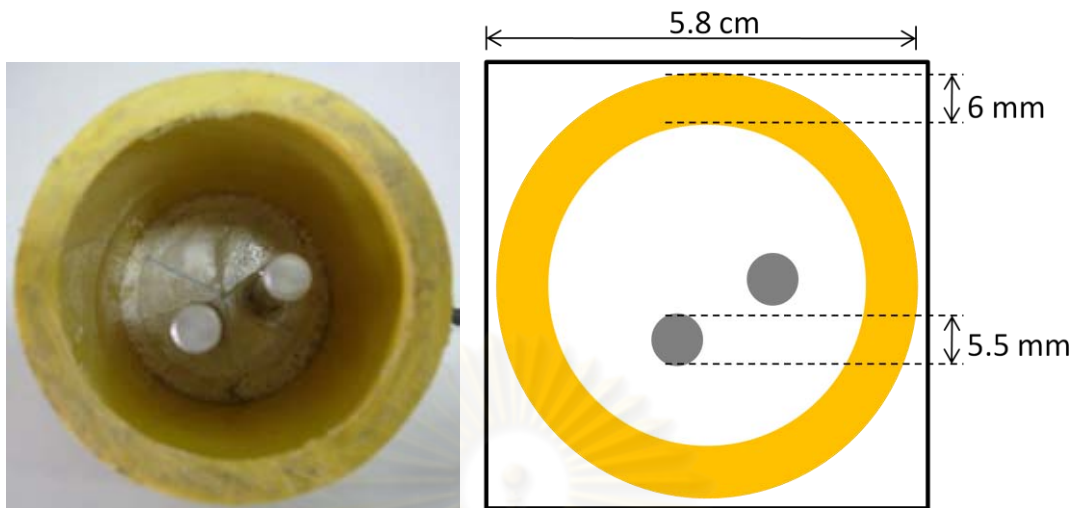


ภาพที่ 3.6 เครื่องสแกนฟิล์ม Vdar VXR-16 Dosimetry Pro film scanner

3.2 การออกแบบวัตถุตัวอย่างทดสอบ

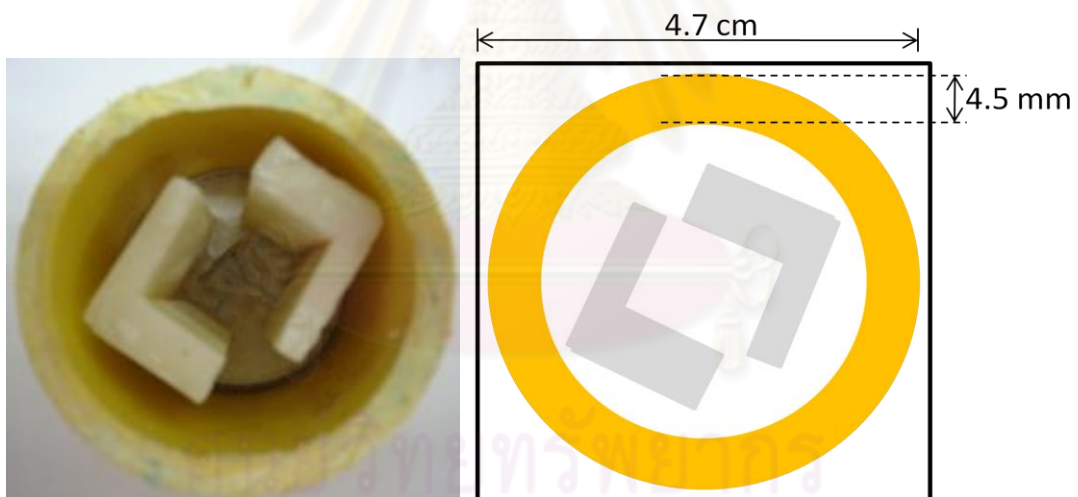
เบื้องต้นจะต้องออกแบบวัตถุตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบความแตกต่างของการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งจะออกแบบวัตถุตัวอย่างออกมา 4 ตัวอย่าง ประกอบด้วย

วัตถุตัวอย่างที่ 1 ท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.8 เซนติเมตร ความหนา 6 มิลลิเมตร ภายในท่อประกอบด้วยแท่งอะลูมิเนียมกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 มิลลิเมตร จำนวน 2 แท่ง ดังภาพที่ 3.7



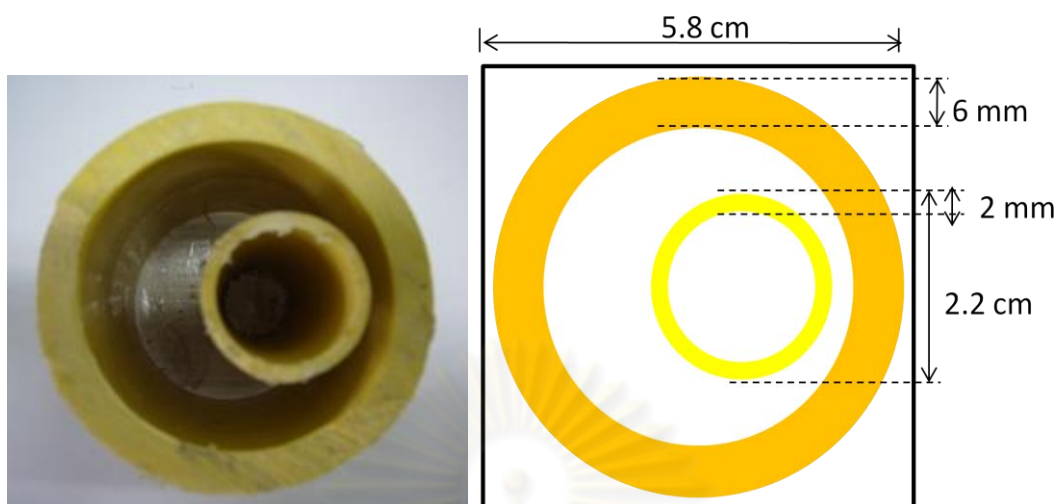
ภาพที่ 3.7 ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 1

วัตถุตัวอย่างที่ 2 ท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร ความหนา 4.5 มิลลิเมตร ภายในประกอบด้วยแท่งพาราฟินรูปมุมฉาก 2 แท่ง ดังภาพที่ 3.8



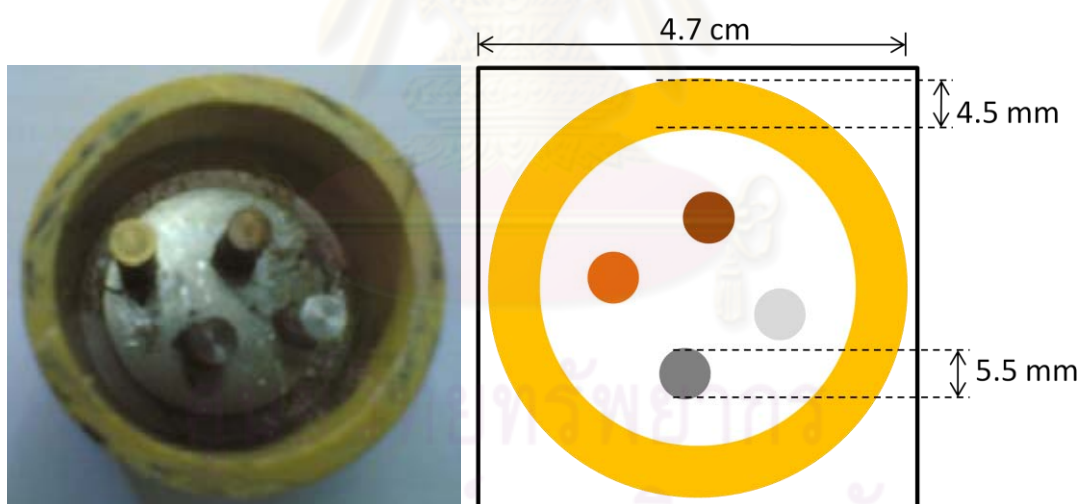
ภาพที่ 3.8 ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 2

วัตถุตัวอย่างที่ 3 ท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.8 เซนติเมตร ความหนา 6 มิลลิเมตร ภายในประกอบด้วยท่อพีวีซี ขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 เซนติเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 3

วัตถุตัวอย่างที่ 4 ท่อพีวีซี เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร ความหนา 4.5 มิลลิเมตร ภายในประกอบด้วยแท่งโลหะอลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง และเหล็ก เส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 มิลลิเมตร อย่างละแท่ง ดังภาพที่ 3.10

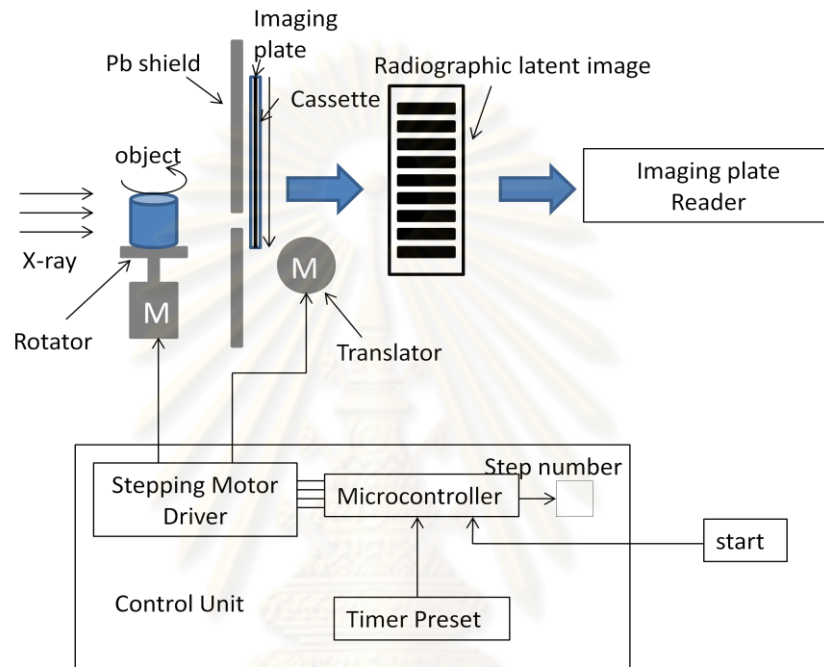


ภาพที่ 3.10 ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 4

3.3 การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

การจัดระบบเพื่อการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์[1]แสดงดังภาพที่ 3.11 และ 3.12 โดยวัตถุตัวอย่างจะวางอยู่บนแป้นหมุนซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหน้าชุดกำกับรังสีเอกซ์ที่ทำด้วยแผ่นตะกั่วเพื่อไม่ให้รังสีเอกซ์ส่วนที่ไม่ต้องการผ่านกระทบแผ่นบันทึกภาพ และเจาะช่องถ่ายภาพไว้ขนาด 8 เซนติเมตร x 0.8 เซนติเมตร เพื่อให้รังสีเอกซ์ทะลุผ่านวัตถุตัวอย่างไปตกกระทบบนแผ่นบันทึกภาพ ระยะจากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ถึงแผ่นบันทึกภาพ (Focus-to-Film Distance, FFD) 80 เซนติเมตร

เนื่องจากเป็นระยะที่ทำให้ขนาดขอบภาพมีความมัวน้อย โดยแผ่นบันทึกภาพจะบรรจุอยู่ในถาดบรรจุแผ่นบันทึกภาพซึ่งเลื่อนลงชั้นละ 1 เซนติเมตร พร้อมกับการหมุนของวัตถุ โดยเป็นหมุนสามารถเลือกให้หมุนได้ครั้งละ 3.6 และ 7.2 องศา งานวิจัยนี้เลือกให้วัตถุหมุนไปด้วยมุมทีละ 3.6 องศา เพราะมุมยิ่งน้อยยิ่งทำให้ได้ภาพโทโมกราฟีที่มีคุณภาพดี ได้จำนวนโปรไฟล์ทั้งหมด 26 โปรไฟล์ ดังนั้นจึงต้องใช้แผ่นบันทึกภาพจำนวน 2 แผ่น เพื่อให้ข้อมูลที่หมุนครบ 180 องศาขึ้นไป



ภาพที่ 3.11 แผนภาพการจาจัดระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์



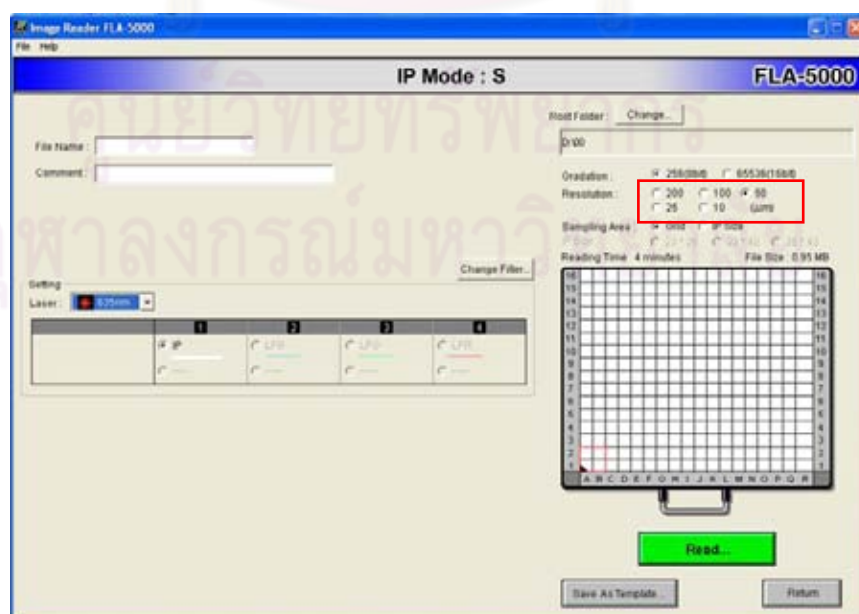
ภาพที่ 3.12 การจาจัดระบบการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

สำหรับต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ของบริษัท Balteau NDT รุ่น XSD160-LS1 ที่ผลิตพลังงานได้อยู่ในช่วง 5 ถึง 160 กิโลโวลต์ (kV) และกระแส

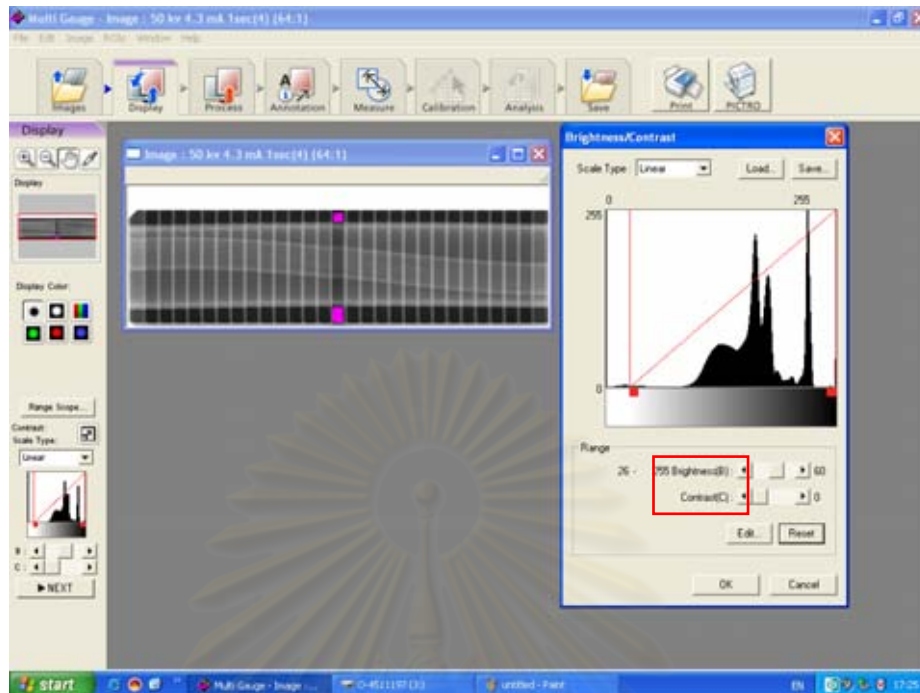
อยู่ในช่วง 1 ถึง 40 มิลลิแอมแปร์ (mA) ซึ่งในการถ่ายภาพของวัตถุด้วยรังสีเอกซ์นั้น จะต้องพิจารณาถึงความหนาและความหนาแน่นของวัตถุด้วย ถ้าวัตถุมีความหนาและความหนาแน่นมากก็ต้องปรับพลังงานรังสีเอกซ์ให้สูงพอเหมาะ เพื่อให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของวัสดุและได้ความเปรียบต่างที่ดีที่สุด รังสีเอกซ์ที่ตกกระทบแผ่นบันทึกภาพทำให้เกิดความดำบนแผ่นบันทึกภาพ และเกิดเป็นภาพแฝงขึ้นมา นอกจากนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาในการฉายรังสีเอกซ์ก็ มีผลอย่างมากต่อความดำบนแผ่นบันทึกภาพ ซึ่งปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบแผ่นบันทึกภาพในระยะเวลาที่กำหนดมีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์วินาที (mAs) หรืออาจเรียกว่า ค่าเอกซ์โพเชอร์ (exposure) ซึ่งในการวิจัยนี้จะศึกษาผลของค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเชอร์ที่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ

3.4 การเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยแผ่นบันทึกภาพ

หลังจากที่ทำการถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์แล้ว แผ่นบันทึกภาพที่ได้ต้องนำมาทำการอ่านภาพด้วยเครื่องอ่านภาพจากแผ่นบันทึกภาพ ของบริษัท ฟุจิฟิล์ม รุ่น FLA-5100 ซึ่งในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพนี้สามารถเลือกขนาดของพิกเซลได้ คือ 10, 25, 50, 100 และ 200 ไมโครเมตร (μm) ดังภาพที่ 3.13 ดังนั้นการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของการเลือกขนาดพิกเซลที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพที่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ นอกจากนั้นเมื่อได้ภาพหลังจากการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพแล้วภาพที่ได้สามารถนำมาปรับค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างได้ดังภาพที่ 3.14 เพื่อทำการศึกษาผลของการปรับค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างที่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟีด้วย

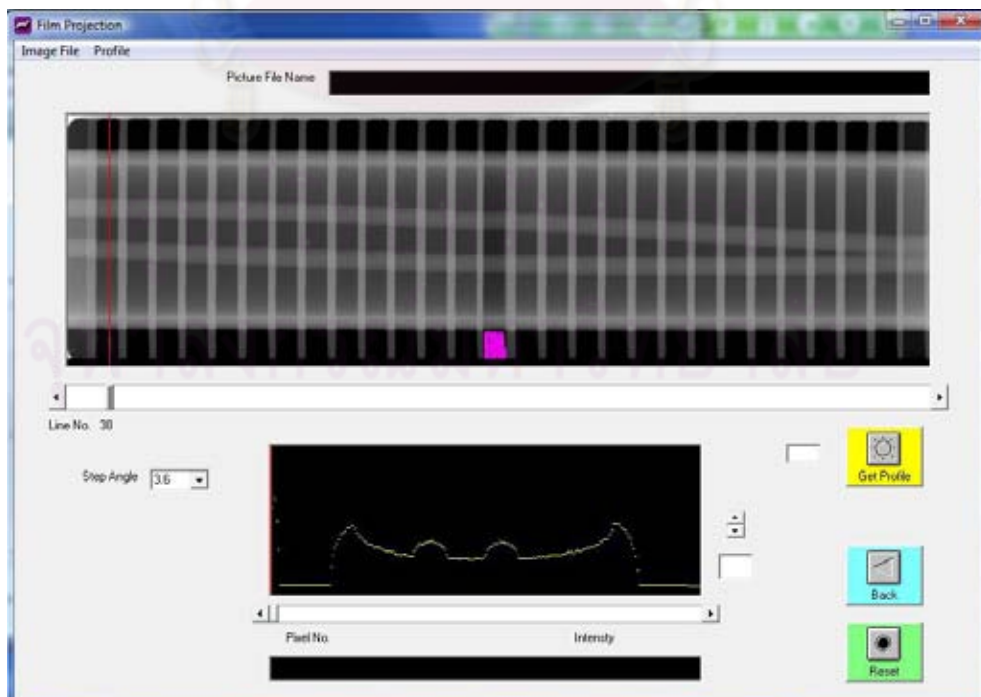


ภาพที่ 3.13 การเลือกขนาดพิกเซลที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพ



ภาพที่ 3.14 การปรับค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่าง

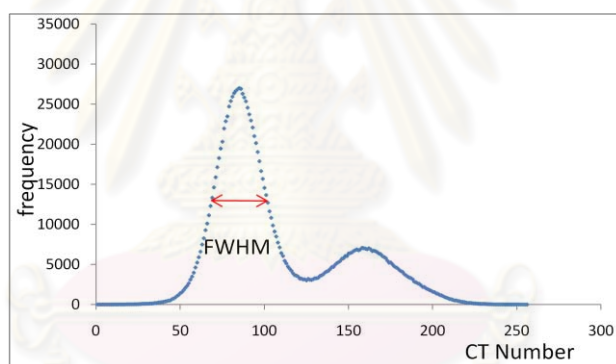
จากนั้นเมื่อได้ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ออกมาแล้วนำมาเก็บข้อมูลโปรไฟล์ และนำข้อมูลที่ได้มาปรับแก้โปรไฟล์ให้ได้จำนวนเรย์ซิมที่เท่ากัน ด้วยโปรแกรม ProSIM ซึ่งจะทำการหาข้อมูลสูงสุดและต่ำสุดเพื่อปรับแก้โปรไฟล์ให้ตรงกึ่งกลางและได้จำนวนเรย์ซิมที่เท่ากันในทุกโปรไฟล์



ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างการอ่านข้อมูลความดำด้วยโปรแกรม ProSIM

เมื่อได้ข้อมูลโปรไฟล์ในแต่ละมุมครบทุกโปรไฟล์ นำข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพตัดขวาง (reconstruction) ด้วยวิธีคอนโวลูชันฟิลเตอร์เบคโพรเจกชัน (Convolution filter back projection)

ภาพโทโมกราฟีที่ได้นำมาอ่านค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเลขซีทีด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟี นอกจากนี้สามารถหาการแจกแจงความถี่ของค่าเลขซีทีที่กระจายอยู่ในภาพโทโมกราฟีหรือ Probability Distribution Function (PDF) โดยแสดงออกมาอยู่ในรูปกราฟ แทนการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนที่บอกรูปร่างของวัตถุ ในทางปฏิบัติภาพโทโมกราฟีที่ได้จะเกิดความมัวบริเวณรอยต่อ ทำให้เกิดค่าเลขซีทีหลายค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเลขซีทีของวัตถุ การกระจายตัวของค่าเลขซีทีสามารถหาได้จาก Full Width at Half Maximum (FWHM) ซึ่งค่า FWHM จะสื่อให้เห็นถึงความมัวของภาพโทโมกราฟีได้ ถ้าค่ามากแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวมาก ในทางกลับกันถ้าค่า FWHM น้อยแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวน้อยหรือมีคุณภาพที่ดีนั่นเอง



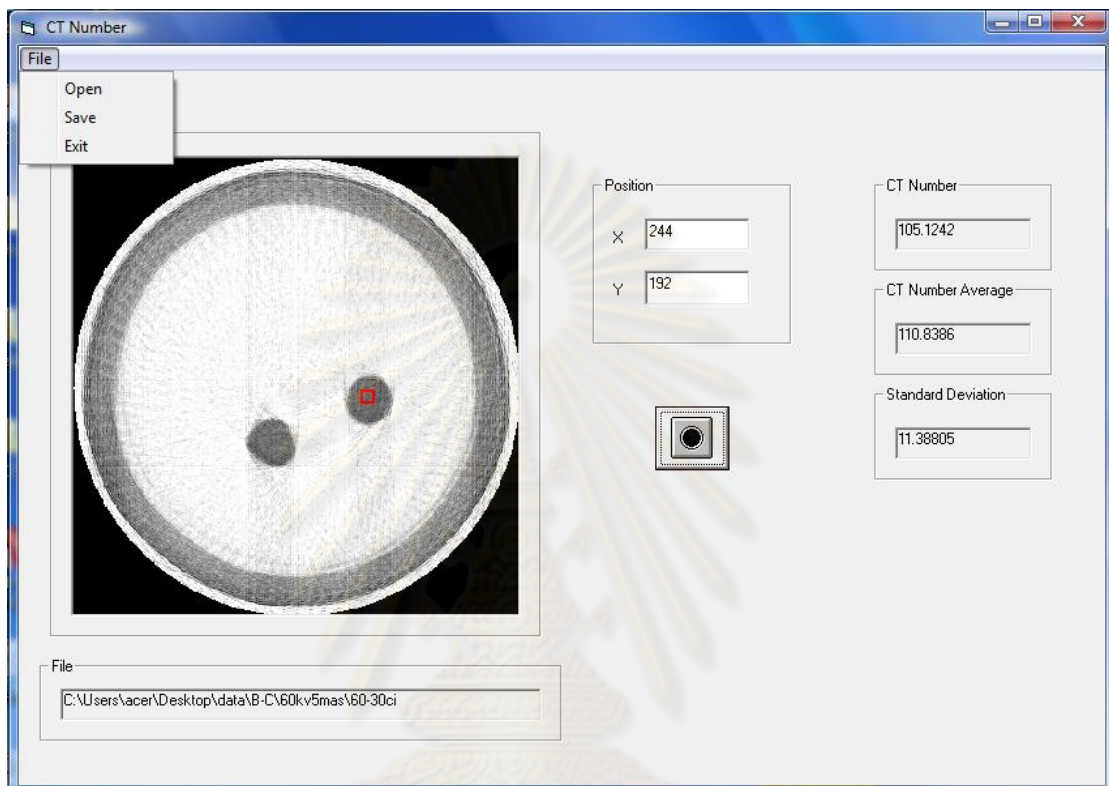
ภาพที่ 3.16 ตัวอย่างการหาค่า FWHM ของกราฟ PDF

3.5 การพัฒนาโปรแกรมในการอ่านค่าเลขซีที (CT Number Program)

ภาพโทโมกราฟีที่ได้นำมาหาค่าเลขซีทีด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อศึกษาความแตกต่างของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ โดยจะแสดงผลค่าเลขซีทีสัมพันธ์กับค่าข้อมูลโปรไฟล์ ซึ่งวัสดุที่มีความหนาหรือความหนาแน่นมาก รังสีเอกซ์ทะลุผ่านได้น้อยค่าเลขซีทีก็จะอ่านค่าได้น้อย ในทางกลับกันวัสดุที่มีความหนาหรือความหนาแน่นน้อย รังสีเอกซ์ทะลุผ่านได้มากค่าเลขซีทีก็จะอ่านค่าได้มาก

โปรแกรมอ่านค่าเลขซีทีพัฒนาต่อเนื่องมาจากโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่มีอยู่แล้ว โดยอาศัยการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีคอนโวลูชันฟิลเตอร์เบคโพรเจกชัน ข้อมูลจะถูกปรับให้เหมาะสมด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan[10] ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จะถูกคำนวณให้เป็นข้อมูลภาพด้วยวิธีเบคโพรเจกชัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การ

ดูคลื่นรังสีเอกซ์ของวัตถุนั้นๆ จากนั้นนำข้อมูลภาพโทโมกราฟีที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลเลขซี-ทีในจุดที่สนใจ โปรแกรมอ่านค่าเลขซีทีที่พัฒนาขึ้นนี้เขียนโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 เมื่อเริ่มรัน (Run) โปรแกรมก็จะปรากฏหน้าจอแสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 โปรแกรมอ่านค่าเลขซีทีที่พัฒนาขึ้น

การทำงานและรายละเอียดของใส่ข้อมูลต่างๆของโปรแกรมอ่านค่าเลขซีที แสดงดังต่อไปนี้


- Open เมื่อเลือกใช้คำสั่งนี้จะเป็นการเรียกไฟล์ข้อมูลภาพโทโมกราฟีที่บันทึกไว้มาแสดงผลเพื่อที่จะคำนวณข้อมูลค่าเลขซีที
- Save เมื่อเลือกใช้คำสั่งนี้จะเป็นการบันทึกรูปภาพโทโมกราฟีในนามสกุลของ bitmap เพื่อที่จะเรียกกลับมาดูอีกครั้งเพื่อคำนวณข้อมูลเลขซีที
- Exit เมื่อเลือกใช้คำสั่งนี้จะเป็นการออกจากการทำงานของโปรแกรมอ่านค่าเลขซีที
- Position เป็นที่แสดงตำแหน่งพิกัด X และ Y ซึ่งสามารถใส่ข้อมูลลงไปได้
- CT Number เป็นช่องที่แสดงข้อมูลเลขซีทีที่ตำแหน่งพิกัด X และ Y ที่เลือกคำนวณข้อมูลเลขซีที

- CT Number Average เป็นช่องที่แสดงข้อมูลเลขซีทีเฉลี่ยภายในพื้นที่ขนาด 100 จุดของข้อมูลเลขซีทีที่ไปทางด้านขวา 10 ตำแหน่งและทางด้านล่าง 10 ตำแหน่งของตำแหน่ง X และ Y ที่เลือกคำนวณข้อมูลเลขซีที

- Standard Deviation เป็นช่องที่แสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากค่าเลขซีทีภายในพื้นที่ 100 จุดของข้อมูลเลขซีทีที่ไปทางด้านขวา 10 ตำแหน่งและทางด้านล่าง 10 ตำแหน่งของตำแหน่ง X และ Y ที่เลือกคำนวณข้อมูลเลขซีที

- File เป็นช่องที่แสดงชื่อของไฟล์ที่นำมาวิเคราะห์ในโปรแกรมอ่านค่าเลขซีที



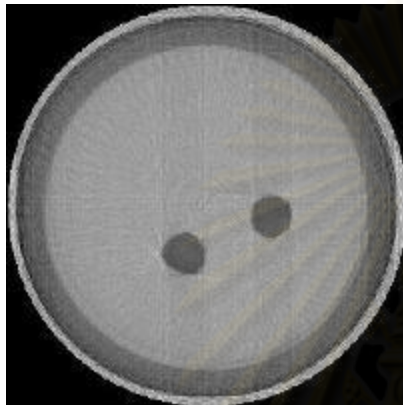
- สัญลักษณ์  เมื่อใส่ตำแหน่ง X และ Y แล้วเลือกใช้สัญลักษณ์นี้จะแสดงค่า CT Number, CT Number Average และ Standard deviation

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

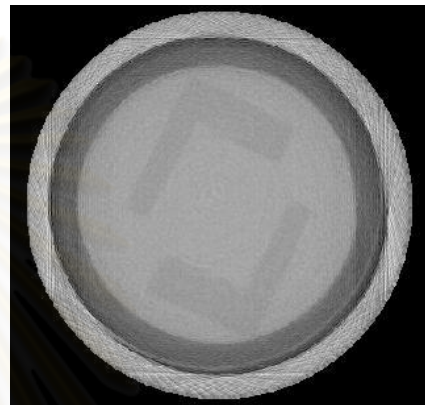
บทที่ 4

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

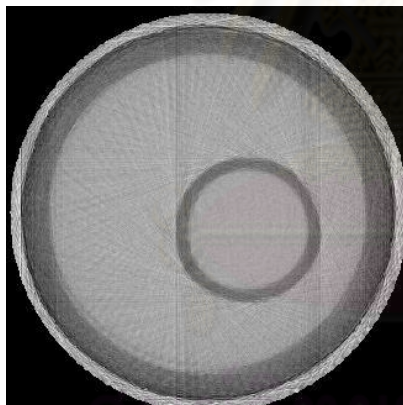
จากวัตถุตัวอย่างในแต่ละชั้น เมื่อนำมาถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นบันทึกภาพแล้ว นำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีคอนโวลูชันฟิลเตอร์เบคโปรเจคชันจะได้ภาพตัดขวางของวัตถุตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 4.1



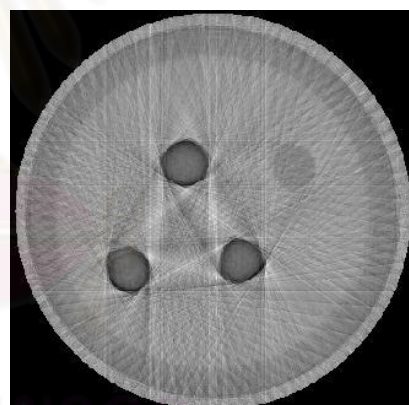
ก. วัตถุตัวอย่างที่ 1



ข. วัตถุตัวอย่างที่ 2



ค. วัตถุตัวอย่างที่ 3



ง. วัตถุตัวอย่างที่ 4

ภาพที่ 4.1 ภาพตัดขวางที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพของวัตถุตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง

จากภาพโทโมกราฟีที่ได้ของวัตถุตัวอย่างทั้ง 4 พบว่า ภาพวัตถุตัวอย่างที่ 3 และ 4 มีค่า Pixel noise มาก ส่วนวัตถุตัวอย่างที่ 2 มีความเบี่ยงต่างน้อยเกินไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วัตถุตัวอย่างที่ 1 มาศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อค่าเลขชี้ที่ของภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ เนื่องจากมีความคมชัดและความเบี่ยงต่างที่เหมาะสม

4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเซเจอร์ (Exposure)

เมื่อทำการถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างที่ 1 ด้วยต้นกำเนิดรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นบันทึกภาพ พบว่าสามารถเลือกใช้ค่าความต่างศักย์ได้ต่ำสุด 40 kV ค่าความต่างศักย์สูงสุด 80 kV จึงเลือกใช้ค่าความต่างศักย์ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ที่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ และในแต่ละค่าความต่างศักย์สามารถเลือกค่าเอกซ์โพเซเจอร์ได้แตกต่างกันไป ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 โดยทำการถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ทั้งการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง (high sensitivity) และความละเอียดสูง (high resolution)

ตารางที่ 4.1 การเลือกค่าเอกซ์โพเซเจอร์ในแต่ละค่าความต่างศักย์จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

	5 mAs	10 mAs	15 mAs	20 mAs	25 mAs	30 mAs
40 kV	✓	✓	✓	✓	✓	✓
50 kV	✓	✓	✓	✓	✓	✓
60 kV	✓	✓	✓	✓		
70 kV	✓	✓				
80 kV	✓					

หมายเหตุ เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ถูกเลือก

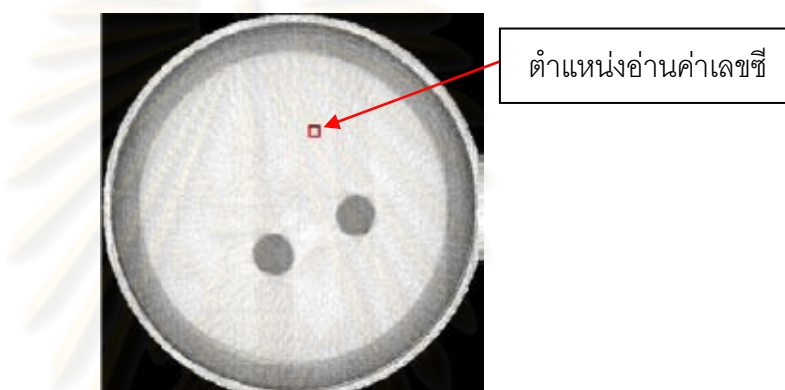
ตารางที่ 4.2 การเลือกค่าเอกซ์โพเซเจอร์ในแต่ละค่าความต่างศักย์จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

	5 mAs	10 mAs	15 mAs	20 mAs	25 mAs	30 mAs
40 kV	✓	✓	✓	✓	✓	✓
50 kV	✓	✓	✓	✓	✓	✓
60 kV	✓	✓	✓	✓	✓	
70 kV	✓	✓				
80 kV	✓					

หมายเหตุ เครื่องหมาย ✓ หมายถึง ถูกเลือก

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า ที่ค่าความต่างศักย์สูงจะสามารถเลือกค่าเอกซโพเชอร์ได้ค่าต่ำๆเท่านั้น เพราะจะทำให้แผ่นบันทึกภาพเกิด over exposure ภาพที่สแกนออกมาจะดำจนขาดรายละเอียด ไม่สามารถนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ เช่น ที่ค่าความต่างศักย์ 70 kV สามารถเลือกค่าเอกซโพเชอร์ได้เพียง 2 ค่าคือ 5 และ 10 mAs

จากนั้นนำภาพที่ได้ในทุกค่าความต่างศักย์และค่าเอกซโพเชอร์มาเก็บข้อมูลโปรไฟล์และคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ภาพโทโมกราฟีที่ได้ในแต่ละภาพนำไปวิเคราะห์อ่านค่าเลขซีทีด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น โดยจะอ่านค่าเลขซีทีที่ตำแหน่งบริเวณอากาศภายในท่อพีวีซีดังภาพที่ 4.2



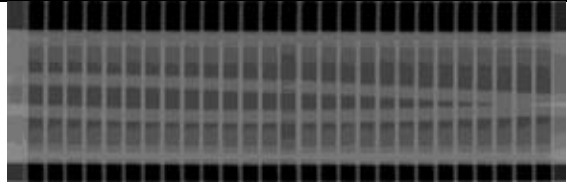
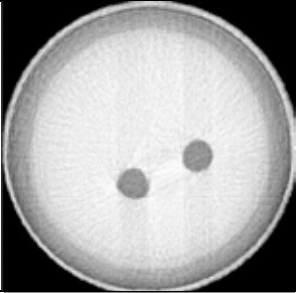
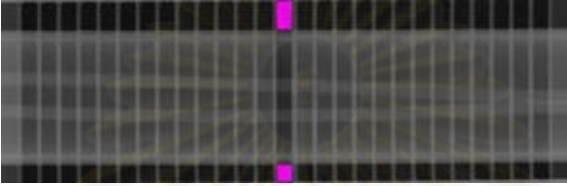
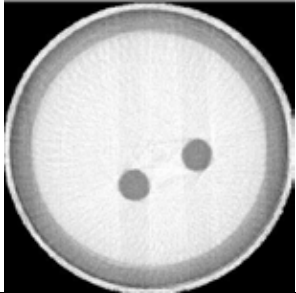
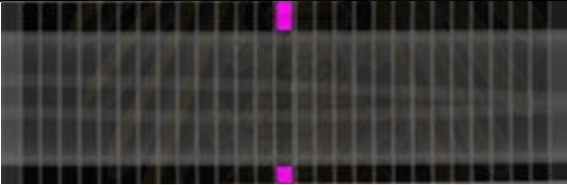
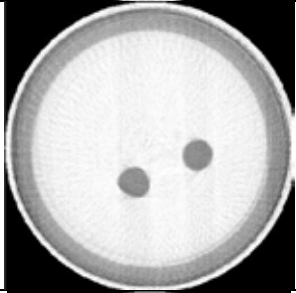
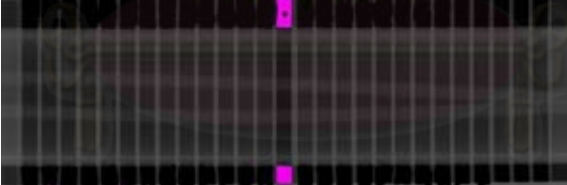
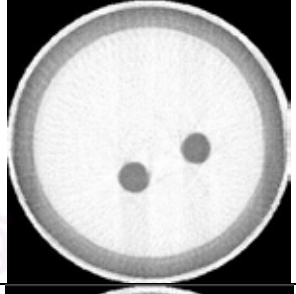
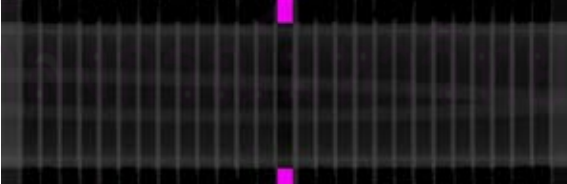
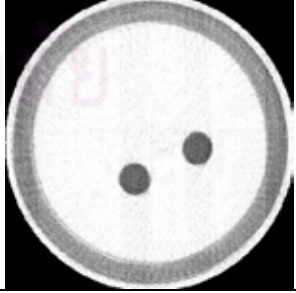
ภาพที่ 4.2 ตำแหน่งในการอ่านค่าเลขซีทีบนภาพโทโมกราฟี

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์

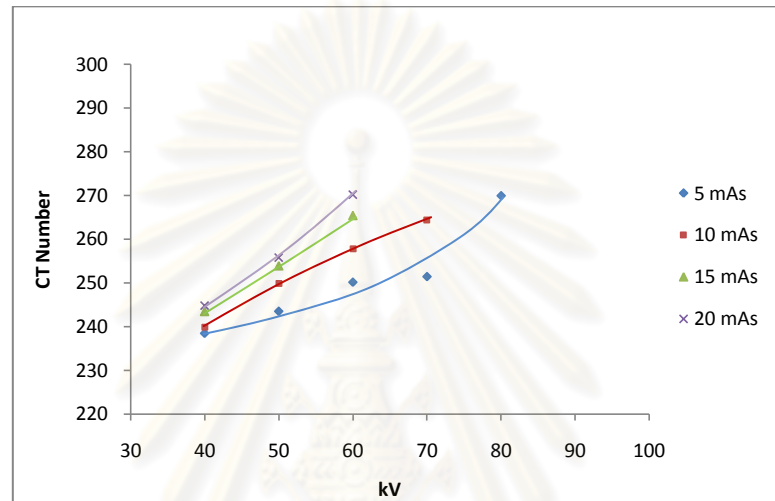
การทดลองนี้กำหนดให้ค่าเอกซโพเชอร์มีค่าคงที่ที่ค่าใดๆแต่ค่าความต่างศักย์มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นบันทึกภาพแล้วนำภาพที่ได้มาเก็บข้อมูลโปรไฟล์และคำนวณสร้างเป็นภาพโทโมกราฟี ซึ่งภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ก่อนนำไปเก็บข้อมูลโปรไฟล์และภาพโทโมกราฟี แสดงดังตารางที่ 4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

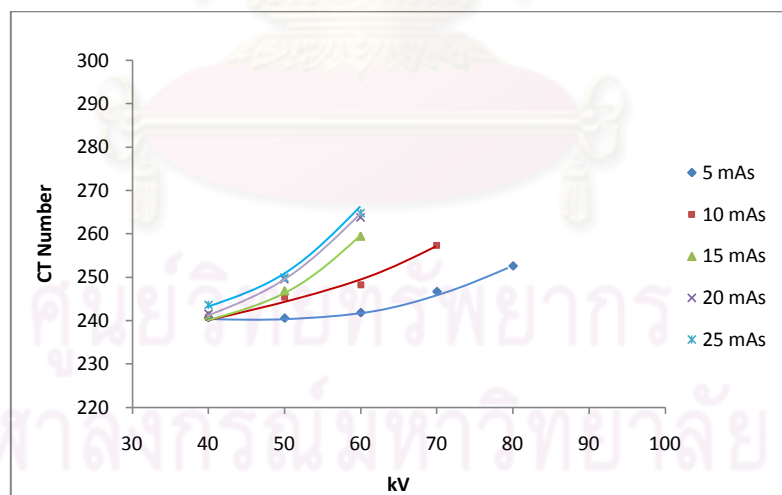
ตารางที่ 4.3 ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีที่ค่าความต่างศักย์ต่างๆ

ความต่างศักย์	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์	ภาพโทโมกราฟี
40 kV		
50 kV		
60 kV		
70 kV		
80 kV		

ภาพโทโมกราฟีที่ได้แต่ละภาพในตารางที่ 4.3 นำไปวิเคราะห์อ่านค่าเลขซีทีโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเลขซีทีที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์โดยค่าเอกซโพเชอร์คิงที่ค่าใดๆ จะอ่านค่าเลขซีทีที่ตำแหน่งบริเวณอากาศภายในท่อพีวีซี ได้ผลค่าเลขซีทีปรากฏดังตารางที่ ก.1 และ ก.2 ในภาคผนวก ก และแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และค่าเลขซีทีดังภาพ 4.3



ก. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง



ข. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง

ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์และค่าเลขซีที

จากผลการทดลอง เมื่อกำหนดให้ค่าเอกซ์โพเนนเชียลที่ค่าใดๆและความต่างศักย์มีการเปลี่ยนแปลง พบว่า ค่าเลขชี้กำลังที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญโดยจะเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป เมื่อเปรียบเทียบค่าเลขชี้กำลังระหว่างแผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิด พบว่า เลขชี้กำลังของแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงมีค่ามากกว่าชนิดความละเอียดสูง

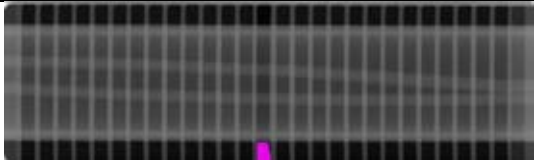
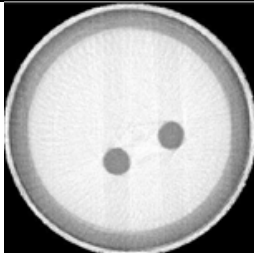
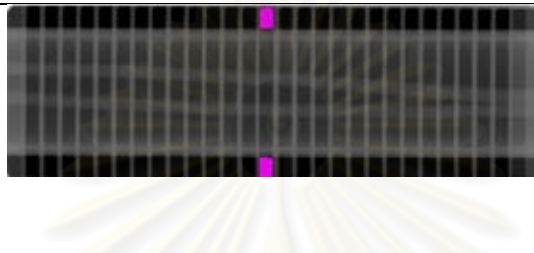
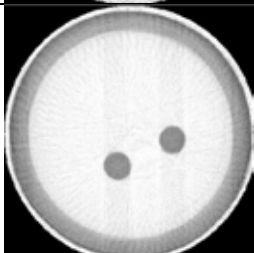
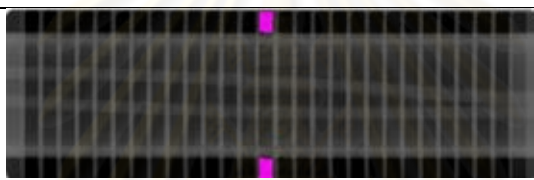
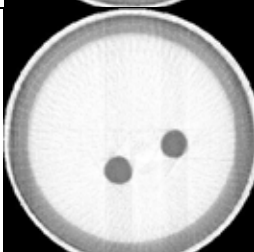

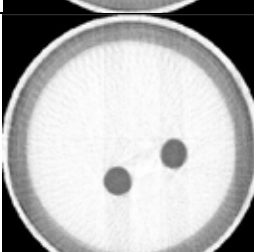

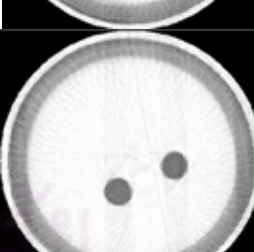

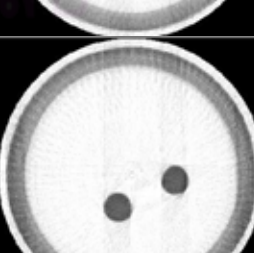
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงค่าเอกซ์โพเนนเชียล

การทดลองนี้กำหนดให้ค่าความต่างศักย์มีค่าคงที่ที่ค่าใดๆแต่ค่าเอกซ์โพเนนเชียลมีค่าเปลี่ยนแปลง เมื่อถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นบันทึกภาพแล้วนำภาพที่ได้มาเก็บข้อมูลโปรไฟล์และคำนวณสร้างเป็นภาพโทโมกราฟี ซึ่งภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ก่อนนำไปเก็บข้อมูลโปรไฟล์และภาพโทโมกราฟี แสดงดังตารางที่ 4.4

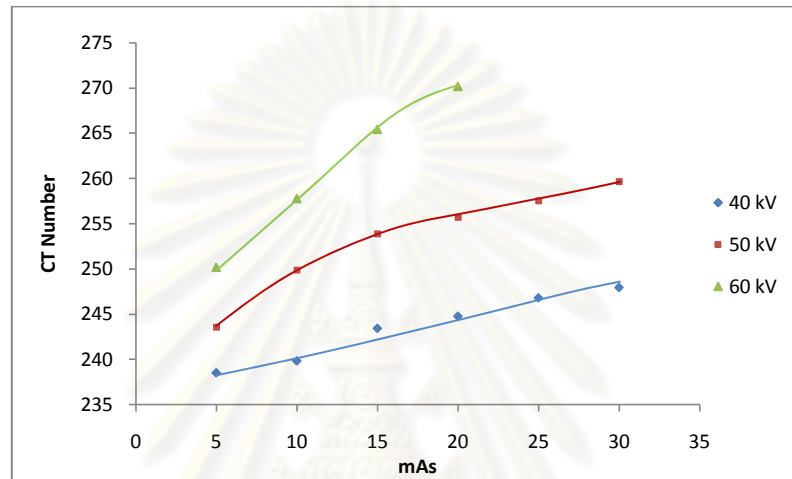


ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

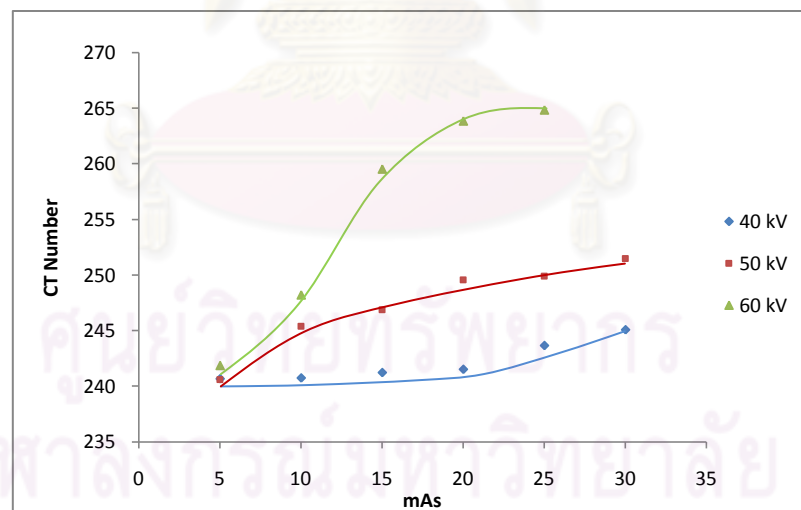
ตารางที่ 4.4 ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีที่ค่าเอกซ์โพเซเจอร์ต่างๆ

ค่าเอกซ์โพเซเจอร์	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์	ภาพโทโมกราฟี
5 mAs		
10 mAs		
15 mAs		
20 mAs		
25 mAs		
30 mAs		

ภาพโทโมกราฟีที่ได้แต่ละภาพในตารางที่ 4.4 นำไปวิเคราะห์อ่านค่าเลขซีทีโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเลขซีทีที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าเอกซโพเชอร์แต่ค่าความต่างศักย์คงที่ จะอ่านค่าเลขซีทีที่ตำแหน่งบริเวณอากาศภายในท่อพีวีซี ได้ผลค่าเลขซีทีปรากฏดังตารางที่ ก.3 และ ก.4 ในภาคผนวก ก และแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกซโพเชอร์และค่าเลขซีทีดังภาพที่ 4.4



ก. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง



ข. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง

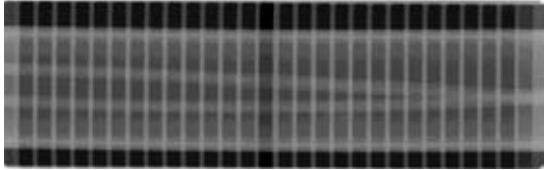
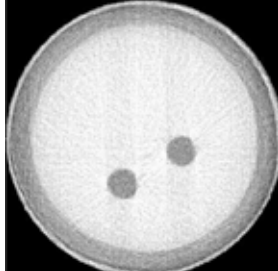
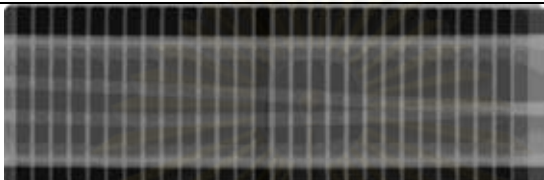


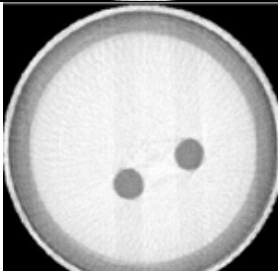


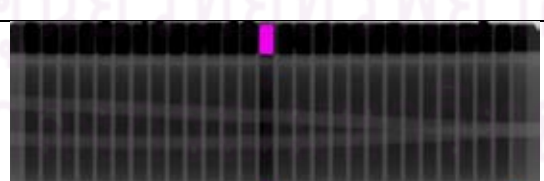
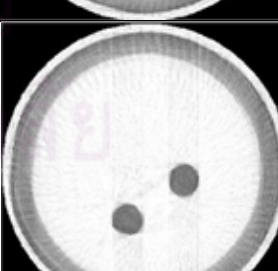
ภาพที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเอกซโพเชอร์และค่าเลขซีที

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อกำหนดให้ค่าความต่างศักย์คงที่ที่ค่าใดๆ โดยเพิ่มค่าเอกซ์โพเซอ์ ค่าเลขซีที่จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ และค่อยๆ ช้าลงจนกระทั่งอิ่มตัว กล่าวคือแม้เพิ่มค่าความต่างศักย์มากขึ้น ค่าเลขซีจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงจะคล้ายกันทั้ง 40, 50 และ 60 kV เมื่อเปรียบเทียบแผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิดพบว่าค่าเลขซีที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน แต่แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงมีค่าเลขซีที่สูงกว่าเล็กน้อย

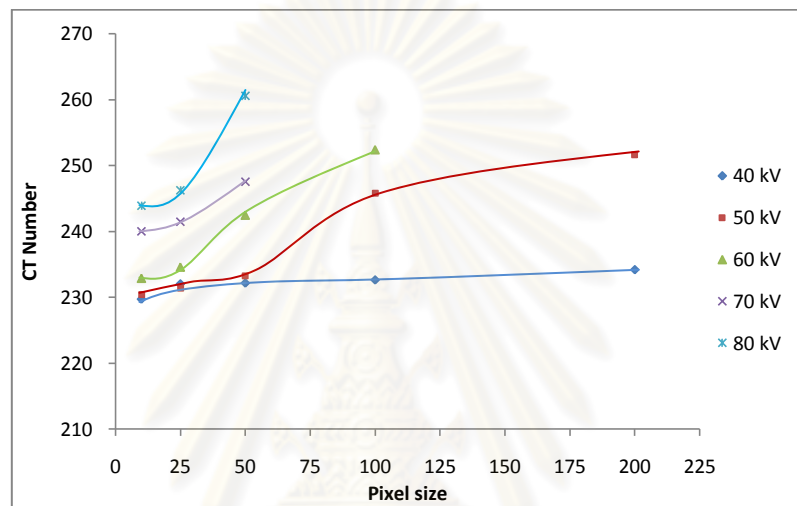
4.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดฟิสิกส์ที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพ

เมื่อถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นบันทึกภาพ ที่ความต่างศักย์ต่างๆ คือ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV และค่าเอกซ์โพเซอ์คงที่ 5 mAs โดยในแต่ละค่าความต่างศักย์จะเลือกใช้ขนาดของฟิสิกส์ที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพเปลี่ยนแปลงไป คือ 10, 25, 50, 100 และ 200 ไมโครเมตร (μm) เมื่อได้ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ขนาดฟิสิกส์ต่างๆ แล้วนำภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์มาเก็บข้อมูลโปรไฟล์แล้วคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟี แสดงดังตารางที่ 4.5

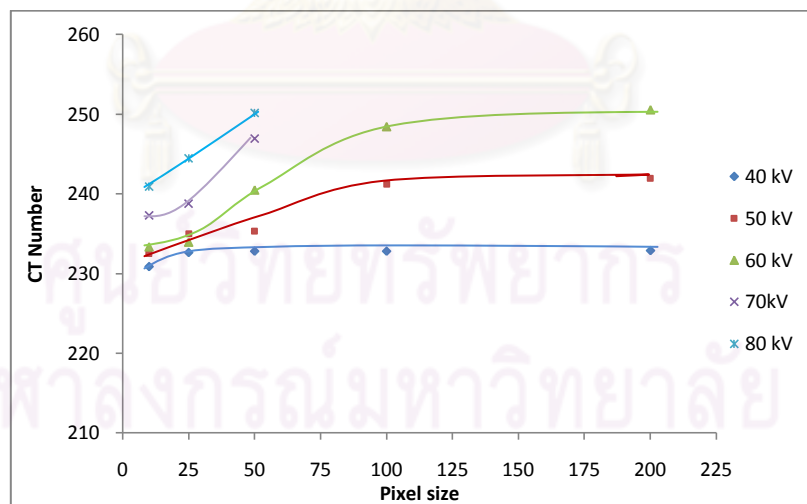
ตารางที่ 4.5 ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีเมื่อเปลี่ยนขนาดพิกเซล

ขนาดพิกเซล	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์	ภาพโทโมกราฟี
10 μm		
25 μm		
50 μm		
100 μm		
200 μm		

ภาพโทโมกราฟีที่ได้แต่ละภาพในตารางที่ 4.5 นำไปวิเคราะห์อ่านค่าเลขซีทีโดยใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเลขซีทีที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดพิกเซลที่ใช้อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพในทุกค่าความต่างศักย์ โดยจะอ่านค่าเลขซีทีที่ตำแหน่งอากาศภายในท่อพีวีซีเช่นเดียวกับในข้อ 4.1 ได้ผลค่าเลขซีทีปรากฏดังตารางที่ ก.5 และ ก.6 ในภาคผนวก ก และแสดงผลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าขนาดพิกเซลที่ใช้อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพและค่าเลขซีที ดังภาพที่ 4.5



ก. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง



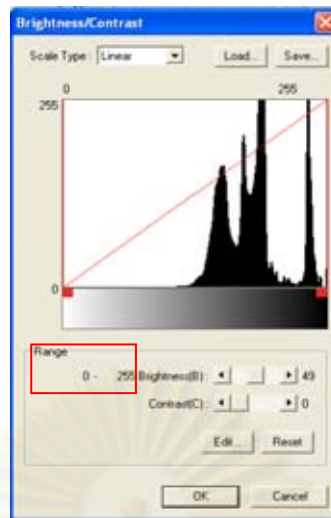
ข. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง

ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพิกเซลที่ใช้อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพและค่าเลขซีที

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงขนาดฟลักเซลที่ใช้อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพ พบว่าเมื่อขนาดฟลักเซลที่ใช้อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเลขซีทีทีจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อขนาดของฟลักเซลที่ใช้อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพเพิ่มขึ้นจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกระตุ้น หลุดออกจากช่องว่างที่อยู่ในโครงสร้างผลึกได้มาก เกิดเปล่งแสงออกมามาก ค่า photostimulated luminescence, PSL จึงมากขึ้นด้วย เมื่อนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีและอ่านค่าเลขซีทีที ทำให้ค่าเลขซีทีทีได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และยังพบว่า การเลือกขนาดของฟลักเซลมีผลต่อการเลือกค่าความต่างศักย์ เพราะที่ความต่างศักย์ต่างๆ สามารถเลือกใช้ขนาดฟลักเซลได้หลายขนาด แต่เมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ให้สูงขึ้นจะสามารถเลือกขนาดฟลักเซลได้ในช่วงต่างๆเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้แผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิด พบว่าแผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิดมีผลการทดลองในการทำงานเหมือนกัน แต่ค่าเลขซีทีทีที่ได้จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงจะมีค่ามากกว่าเล็กน้อย

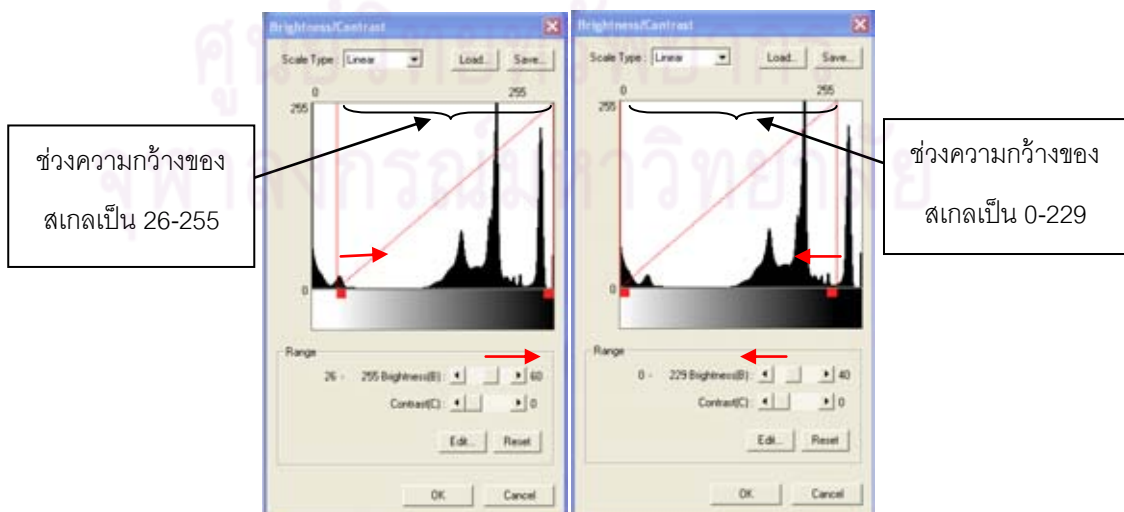
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและความเปรียบต่างของภาพที่เกิดบนแผ่นบันทึกภาพ

ทำการถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์โดยใช้แผ่นบันทึกภาพที่ค่าความต่างศักย์ต่างๆ คือ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV และค่าเอกซ์โพสิเจอร์คงที่ 5 mAs ซึ่งในการทดลองนี้จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างและความเปรียบต่างของภาพที่เกิดบนแผ่นบันทึกภาพ ซึ่งหลังจากทำการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แล้วนำแผ่นบันทึกภาพมาอ่านภาพด้วยเครื่องอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพจะได้ภาพออกมา ก่อนที่จะนำไปเก็บข้อมูลโปรไฟล์สามารถปรับค่าความสว่างและความเปรียบต่างของภาพได้ ซึ่งภาพที่ได้ก่อนที่จะทำการปรับค่าความสว่างและความเปรียบต่าง พบว่าจะมีช่วงความกว้างของสีขาวดำเต็มสเกลคือ 0 – 255 ค่าความสว่างจะอยู่ที่ระดับ 49 และค่าความเปรียบต่างจะอยู่ที่ระดับ 0 ดังภาพที่ 4.6



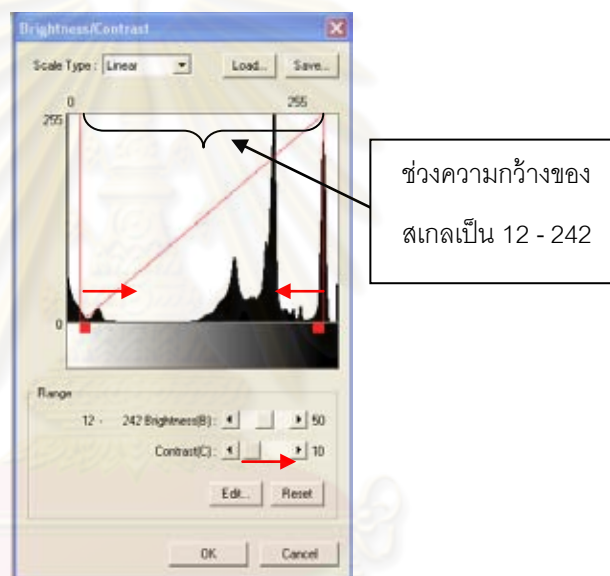
ภาพที่ 4.6 ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำก่อนที่จะทำการปรับค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่าง

การปรับค่าความสว่างสามารถปรับได้ 100 ระดับ ก่อนทำการปรับค่าความสว่าง ค่าความสว่างจะอยู่ที่ระดับ 49 เมื่อเพิ่มค่าระดับความสว่างมากกว่าระดับ 49 ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำจะลดลงทางด้านค่า 0 ของสเกล เช่น ถ้าเพิ่มระดับความสว่างเป็น 59 ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำจะเป็น 26 - 255 ช่วงความกว้างของสเกลลดลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างเต็มสเกลทางด้านค่า 0 และเมื่อลดค่าระดับความสว่างต่ำกว่าระดับ 49 ลงมา ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำจะลดลงทางด้านค่า 255 ของสเกล เช่น ถ้าลดระดับความสว่างเป็น 39 ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำจะเป็น 0 - 229 ช่วงความกว้างของสเกลลดลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างเต็มสเกลทางด้านค่า 255 ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 การปรับระดับค่าความสว่าง

การปรับค่าความเปรียบต่างสามารถปรับได้ 100 ระดับ ก่อนทำการปรับค่าความเปรียบต่าง ค่าความเปรียบต่างจะอยู่ที่ระดับ 0 เมื่อเพิ่มค่าระดับความเปรียบต่าง ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำจะลดลงทั้งทางด้านค่า 0 และค่า 255 ที่เท่ากันทั้งสองด้าน เช่น เมื่อค่าความสว่างคงที่อยู่ที่ระดับ 49 ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำจะเต็มสเกลอยู่ที่ 0 -255 ถ้าปรับค่าความเปรียบต่างเป็น 10 ช่วงความกว้างของสเกลสีขาวดำจะเป็น 13 - 242 ช่วงความกว้างของสเกลลดลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างเต็มสเกล คือลดทางด้านค่า 0 ไป 5 เปอร์เซ็นต์และทางด้านค่า 255 ไป 5 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 4.8 ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ในแต่ละระดับค่าความสว่างที่คงที่จะสามารถปรับค่าความเปรียบต่างได้แตกต่างกันไป



ภาพที่ 4.8 การปรับระดับค่าความเปรียบต่าง

หลังจากที่ปรับระดับค่าความสว่างและระดับค่าความเปรียบต่างของภาพที่ระดับต่างๆกัน แล้ว นำภาพที่ได้มาเก็บข้อมูลโปรไฟล์และคำนวณสร้างเป็นภาพโทโมกราฟี จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลอ่านค่าเลขซีทีต่อไป

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของภาพที่เกิดบนแผ่นบันทึกภาพ

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของภาพที่เกิดบนแผ่นบันทึกภาพ จะให้ค่าความเปรียบต่างคงที่ที่ระดับ 0 แต่ค่าความสว่างเปลี่ยนแปลง เมื่อถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างด้วยรังสีเอกซ์ที่ความต่างศักย์ต่างๆคือ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV และค่าเอกซ์โพเซอร์คงที่ 5 mAs แล้วนำมาปรับระดับค่าความสว่างของภาพที่ระดับต่างๆกัน ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ได้นำมาเก็บข้อมูลโปรไฟล์และคำนวณสร้างเป็นภาพโทโมกราฟี ซึ่งภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการปรับระดับค่าความสว่างจะแสดงดังตารางที่ 4.6

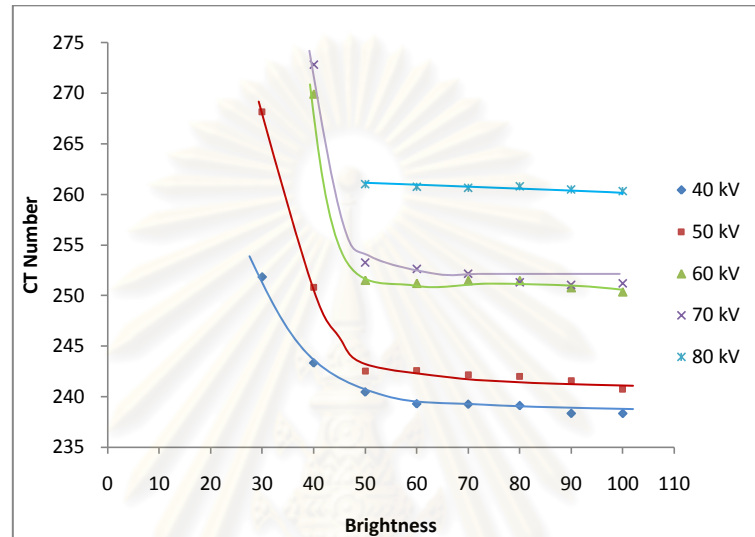


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

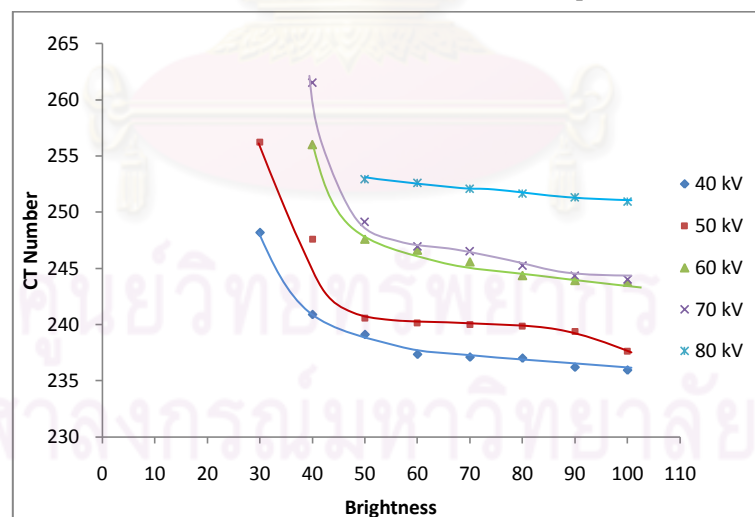
ตารางที่ 4.6 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีจากการปรับค่าความสว่าง

Brightness	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์	ภาพโทโมกราฟี
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		

ภาพโทโมกราฟีที่ได้แต่ละภาพ ในตารางที่ 4.6 นำไปวิเคราะห์หาค่าเลขซีซีที่ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อวิเคราะห์ค่าเลขซีซีที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของภาพที่เกิดบนแผ่นบันทึกภาพ โดยอ่านเลขซีซีที่ตำแหน่งอากาศอยู่ภายในท่อพีวีซี ได้ผลค่าเลขซีซีที่ปรากฏดังตารางที่ ก.7 และ ก.8 ในภาคผนวก ก และแสดงผลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับความสว่างและค่าเลขซีซี ดังภาพที่ 4.9



ก. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความเร็วสูง



ข. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง

ภาพที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่างและค่าเลขซีซีที่

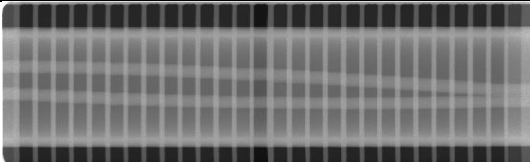
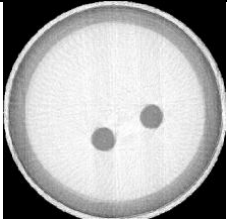
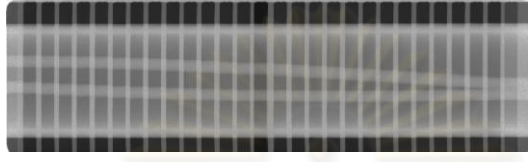
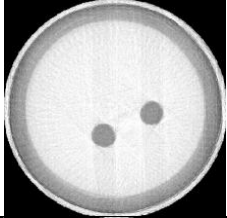
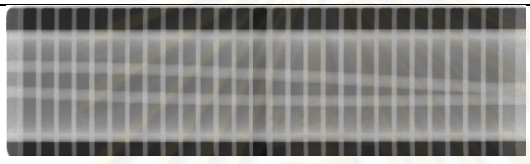
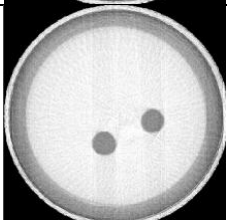
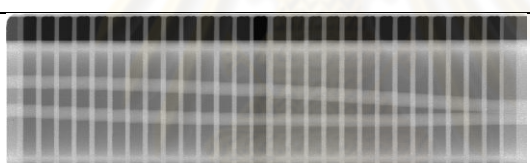
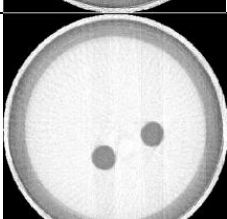
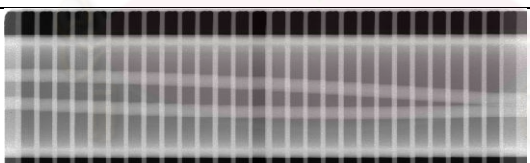
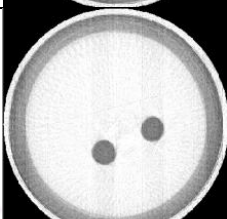
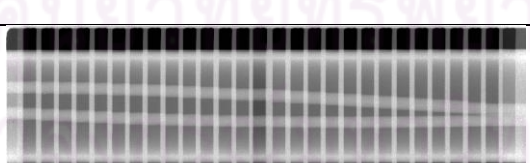
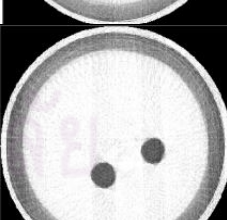
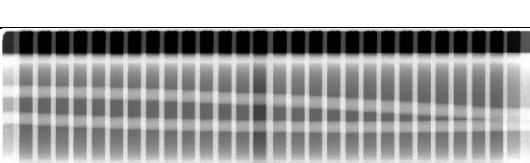
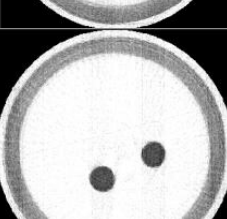
จากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มค่าระดับความสว่างขึ้น ภาพที่ได้หลังจากการสแกน อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพในแต่ละระดับความสว่างที่เพิ่มขึ้นจะมีลักษณะที่ขาวขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 4.6 เมื่อนำภาพที่ได้มาเก็บข้อมูลโปรไฟล์และมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี แล้วทำการอ่านค่าเลขซีทีจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นที่ตำแหน่งอากาศภายในท่อพีวีซีของวัตถุตัวอย่าง พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความสว่างจนถึงระดับ 50 ค่าเลขซีทีจะมีค่าที่ลดลงอย่างรวดเร็วแต่เมื่อเพิ่มระดับความสว่างจากระดับ 50 จนถึง 100 ค่าเลขซีทีจะลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป และยังพบว่า ในแต่ละความต่างศักย์การปรับระดับค่าความสว่างจะสามารถปรับค่าได้แตกต่างกัน โดยที่ค่าความต่างศักย์ 40 และ 50 kV สามารถปรับค่าความสว่างได้ตั้งแต่ 30 ถึง 100 ที่ค่าความต่างศักย์ 60 และ 70 kV สามารถปรับค่าความสว่างได้ตั้งแต่ 40 ถึง 100 และที่ค่าความต่างศักย์ 80 kV สามารถปรับค่าความสว่างได้ตั้งแต่ 50 ถึง 100 เมื่อเปรียบเทียบการใช้แผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิดพบว่าค่าเลขซีทีมีลักษณะในทำนองเดียวกัน แต่ค่าเลขซีทีของแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงจะมีค่าสูงกว่าชนิดความละเอียดสูงเล็กน้อย

4.3.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างของภาพที่เกิดบนแผ่นบันทึกภาพ

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างของภาพที่เกิดบนแผ่นบันทึกภาพ จะให้ค่าความสว่างคงที่แต่ค่าความเปรียบต่างเปลี่ยนแปลง โดยจะถ่ายภาพวัตถุตัวอย่างที่ความต่างศักย์ต่างๆคือ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV และค่าเอกซโพเชอร์คงที่ 5 mAs จากนั้นปรับระดับค่าความเปรียบต่างของภาพที่ระดับต่างๆกัน ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์ที่ได้นำมาเก็บข้อมูลโปรไฟล์และคำนวณสร้างเป็นภาพโทโมกราฟี ซึ่งภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีจากการปรับระดับค่าความเปรียบต่างจะแสดงดังตารางที่ 4.7

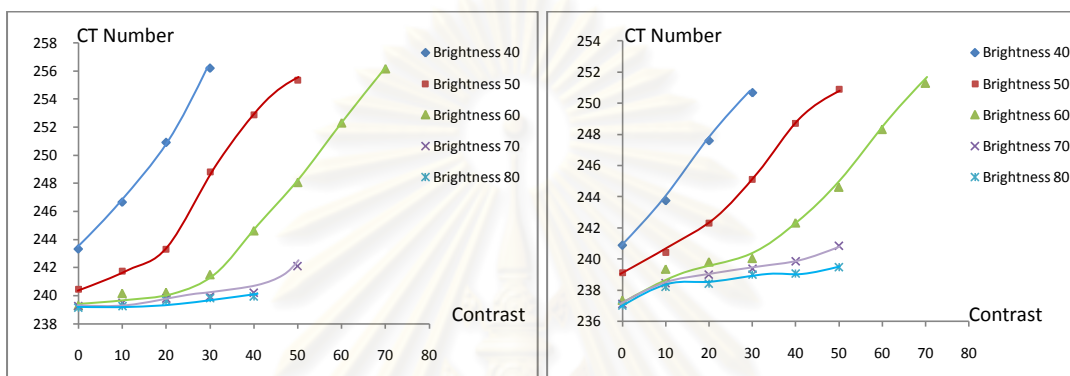
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ภาพถ่ายรังสีเอกซ์ของวัตถุตัวอย่างและภาพโทโมกราฟีจากการปรับความเปรียบต่าง

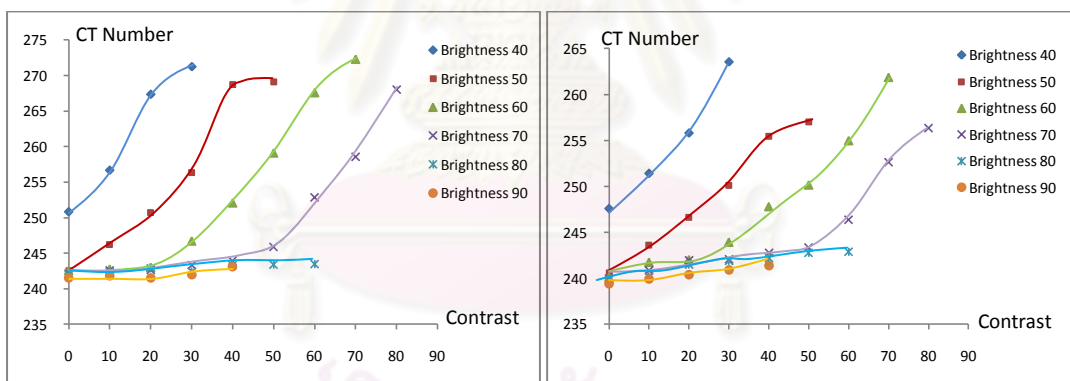
Contrast	ภาพถ่ายด้วยรังสีเอกซ์	ภาพโทโมกราฟี
0		
10		
20		
30		
40		
50		
60		

ภาพโทโมกราฟีที่ได้แต่ละภาพ ในตารางที่ 4.7 นำไปวิเคราะห์หาค่าเลขซีทีที่ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น เพื่อวิเคราะห์ค่าเลขซีทีที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างของภาพที่เกิดบนแผ่นบันทึกภาพที่ความสว่างคงที่ที่ระดับต่างๆ โดยอ่านเลขซีทีที่ตำแหน่งอากาศอยู่ภายในท่อนี้ได้ค่าเลขซีทีดังตารางที่ ก.9 และ ก.10 ในภาพผนวก ก และแสดงผลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเปรียบต่างและค่าเลขซีที ดังภาพที่ 4.10

ความต่างศักย์ 40 kV



ความต่างศักย์ 50 kV

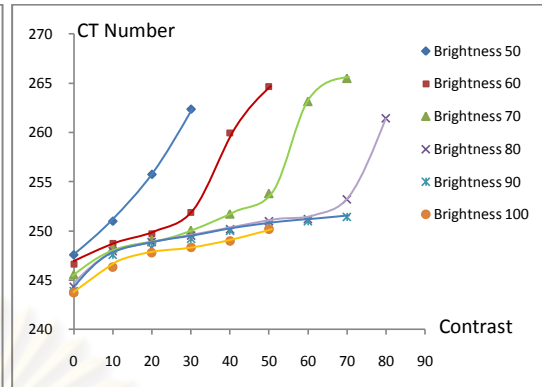
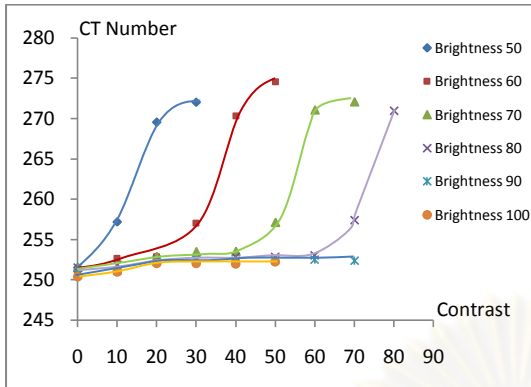


ก. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง

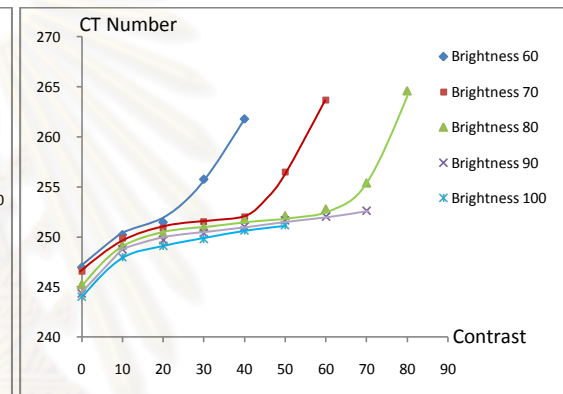
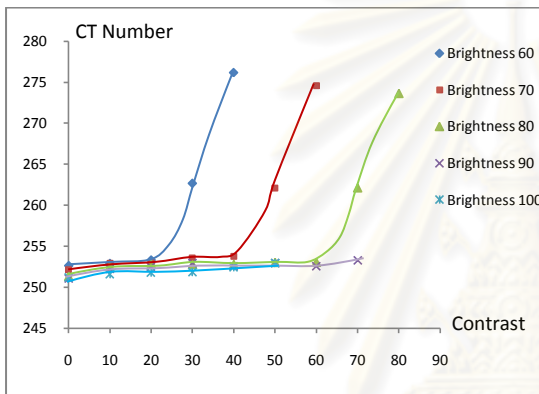
ข. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง

ภาพที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเปรียบต่างและค่าเลขซีที ที่ความต่างศักย์ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV

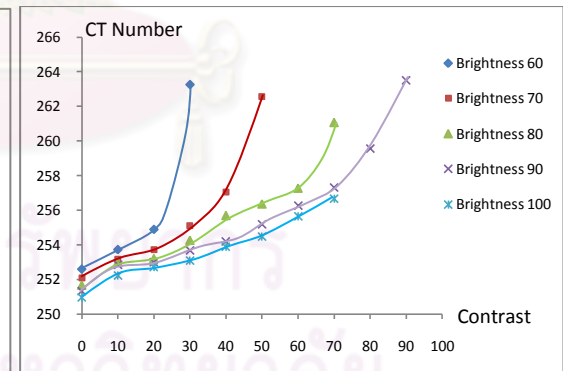
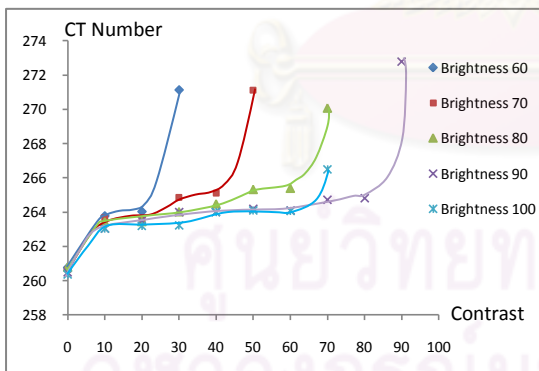
ความต่างศักย์ 60 kV



ความต่างศักย์ 70 kV



ความต่างศักย์ 80 kV



ก. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง

ข. ใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง

ภาพที่ 4.10 (ต่อ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเปรียบต่างและค่าเลขซีที ที่ความต่างศักย์ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV

จากผลการทดลองพบว่า ในแต่ละค่าความสว่างที่คงที่ จะสามารถปรับค่าความเปรียบต่างได้แตกต่างกันไป เช่น ที่ความต่างศักย์ 40 kV เมื่อปรับค่าความสว่างคงที่ที่ระดับ 40 จะสามารถปรับค่าความเปรียบต่างได้ 0 - 30 เมื่อปรับค่าความสว่างคงที่ที่ระดับ 50 จะสามารถปรับค่าความเปรียบต่างได้ 0 - 50 เมื่อปรับค่าความสว่างคงที่ที่ระดับ 60 จะสามารถปรับค่าความเปรียบต่างได้ 0 - 70 เป็นต้น

และจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มค่าระดับความเปรียบต่าง ภาพที่ได้จากเครื่องอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพจะมีความเปรียบต่างเพิ่มมากขึ้นทำให้ภาพบริเวณที่เป็นอากาศในท่อนพีวีซีมีลักษณะที่ดำขึ้นเรื่อยๆ ดังตารางที่ 4.7 เมื่อนำภาพที่ได้มาเก็บข้อมูลโปรไฟล์และนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี แล้วนำมาอ่านค่าเลขซีทีจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น พบว่า เมื่อเพิ่มระดับค่าความเปรียบต่าง ค่าเลขซีทีจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยช่วงแรกค่าเลขซีทีจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในต่อมา

4.4 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี

4.4.1 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วย Pixel Noise

Pixel Noise เป็นค่าความแปรปรวนอย่างอิสระของเลขซีทีที่เมื่อสแกนผ่านตัวกลางเนื้อเดียว ซึ่งเกิดจากความแปรปรวนทางสถิติของจำนวนโฟตอนที่ถูกกรับรังสีได้รับ ส่งผลทำให้ภาพโทโมกราฟีขาดความคมชัด ซึ่งถือว่าเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของเลขซีทีในสารเนื้อเดียว ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเลขซีทีที่มีค่ามากแสดงว่าภาพโทโมกราฟีขาดความคมชัด ในทางกลับกันถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเลขซีทีที่มีค่าน้อยแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความคมชัดดี ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟีจะแสดงดังตารางที่ ก.1 ถึง ก.10 ในภาคผนวก ก

4.4.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซโพเชอร์

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ พบว่า ที่ค่าเอกซโพเชอร์คงที่ 5 mAs ค่าความต่างศักย์ 80 kV มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมี Pixel noise มาก ที่ค่าเอกซโพเชอร์คงที่ 10, 15 และ 20 mAs ค่าความต่างศักย์ 60 และ 70 kV มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก แสดงว่าภาพโทโม-

กราฟที่มี Pixel noise มาก ส่วนการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง พบว่า ที่ค่าเอกซโพเซเจอร์คือ 5 mAs ในทุกค่าความต่างศักย์มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันแสดงมีความคมชัดของภาพโทโมกราฟีพอๆกัน ที่ค่าเอกซโพเซเจอร์คือ 10, 15, 20 และ 25 mAs ค่าความต่างศักย์ 60 และ 70 kV มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมี Pixel noise มาก สรุปได้ว่าการเลือกค่าความต่างศักย์ที่มีค่ามากๆ จะส่งผลให้ภาพโทโมกราฟีเกิด Pixel noise มาก ภาพจึงขาดความคมชัด

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าเอกซโพเซเจอร์และใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ พบว่า ที่ความต่างศักย์คือ 40 และ 50 kV เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเอกซโพเซเจอร์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่ามีความคมชัดของภาพโทโมกราฟีใกล้เคียงกัน ที่ความต่างศักย์คือ 60 kV เมื่อเลือกค่าเอกซโพเซเจอร์ 10, 15 และ 20 mAs ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามาก แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมี Pixel noise มาก ส่วนการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง พบว่า ที่ความต่างศักย์คือ 40 และ 50 kV เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเอกซโพเซเจอร์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่ามีความคมชัดของภาพโทโมกราฟีใกล้เคียงกัน ที่ความต่างศักย์คือ 60 kV เมื่อเลือกค่าเอกซโพเซเจอร์ 15 และ 20 mAs ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามาก แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมี Pixel noise มาก สรุปได้ว่าที่ความต่างศักย์ต่ำเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าเอกซโพเซเจอร์จะไม่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟี แต่ที่ค่าความต่างศักย์สูงเมื่อเลือกค่าเอกซโพเซเจอร์ที่มีค่าสูงด้วยจะส่งผลให้ภาพโทโมกราฟีมี Pixel noise มาก

4.4.1.2 การเปลี่ยนแปลงขนาดฟ็อกเซล

จากการทดลองการเปลี่ยนแปลงขนาดฟ็อกเซลในแต่ละค่าความต่างศักย์คือ พบว่า การเลือกขนาดฟ็อกเซลมีผลกับค่าความต่างศักย์ที่เลือก ที่ค่าความต่างศักย์ต่ำๆเมื่อเลือกขนาดฟ็อกเซลที่มีค่าน้อยด้วยจะได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมี Pixel noise มาก แต่เมื่อเลือกขนาดฟ็อกเซลที่มากขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยลง แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความคมชัดขึ้น และที่ขนาดฟ็อกเซลน้อยๆเมื่อเลือกใช้ค่าความต่างศักย์มากขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยลง แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความคมชัดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการใช้แผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิดพบว่าผลการทดลองลักษณะในทำนองเดียวกัน สรุปได้ว่าขนาดฟ็อกเซลที่มีค่าน้อยเหมาะสม

กับการเลือกค่าความต่างศักย์ที่มีค่ามาก และที่ขนาดพิกเซลที่มีค่ามากเหมาะสมกับการเลือกค่าความต่างศักย์ที่มีค่าน้อย

4.4.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่าง

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างในแต่ละค่าความต่างศักย์คงที่ พบว่าเมื่อปรับระดับความสว่างต่ำกว่าระดับ 49 ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่ามาก แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมี Pixel noise มาก แต่เมื่อปรับระดับความสว่างสูงกว่าระดับ 49 ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความคมชัดใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบการใช้แผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิดพบว่าเมื่อผลการทดลองในลักษณะทำนองเดียวกัน สรุปได้ว่าเมื่อปรับค่าความสว่างต่ำกว่าระดับ 49 ภาพโทโมกราฟีจะเกิด Pixel noise มากนั่นคือภาพขาดความคมชัด แต่เมื่อปรับค่าความสว่างมากกว่าระดับ 49 ไม่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟี

จากการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างเมื่อค่าความสว่างคงที่ ในแต่ละค่าความต่างศักย์คงที่ พบว่า เมื่อค่าความสว่างคงที่และปรับค่าความเปรียบต่างที่ระดับต่างๆ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความคมชัดใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบการใช้แผ่นบันทึกภาพทั้งสองชนิดพบว่าเมื่อผลการทดลองในทำนองเดียวกัน สรุปได้ว่าการปรับค่าความเปรียบต่างไม่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟี เพียงแต่ทำให้ภาพมีความเปรียบต่างมากขึ้น

4.4.2 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยกราฟ Probability Distribution Function (PDF)

กราฟ PDF เป็นการแจกแจงความถี่ของค่าเลขซีซีทีที่กระจายอยู่ในภาพโทโมกราฟี ซึ่งแสดงออกมาอยู่ในรูปกราฟ แทนการกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์การลดลงที่บอกรูปร่างของวัตถุ ในทางปฏิบัติภาพโทโมกราฟีที่ได้จะเกิดความมัวบริเวณรอยต่อ ทำให้เกิดค่าเลขซีซีทีหลายค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเลขซีซีทีของวัตถุ การกระจายตัวของค่าเลขซีซีทีที่สามารถหาได้จาก Full Width at Half Maximum (FWHM) ซึ่งค่า FWHM จะสื่อให้เห็นถึงความมัวของภาพโทโมกราฟีได้ ถ้าค่ามาก แสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวมาก ในทางกลับกันถ้าค่า FWHM น้อยแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวน้อยหรือมีคุณภาพที่ดีนั่นเอง

4.4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพซิเจอร์

กราฟ PDF ที่ได้ของวัตถุตัวอย่างที่ความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพซิเจอร์ต่างๆ โดยใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ นำมาหาค่า FWHM ของแต่ละเส้นกราฟ จะได้ค่า FWHM ของแต่ละค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพซิเจอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่า FWHM ที่ได้จากกราฟ PDF ที่แต่ละค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพซิเจอร์ต่างๆ ของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ความต่างศักย์	ค่า FWHM ที่ค่าเอกซ์โพซิเจอร์ต่างๆ					
	5 mAs	10 mAs	15 mAs	20 mAs	25 mAs	30 mAs
40 kV	32.0	28.3	27.4	27.2	29.0	26.3
50 kV	26.1	24.1	23.2	23.7	23.6	23.7
60 kV	17.9	18.9	22.2	24.0		
70 kV	22.4	23.4				
80 kV	26.2					

กราฟ PDF ที่ได้ของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ในแต่ละค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพซิเจอร์ต่างๆ นำมาหาค่า FWHM ของแต่ละเส้นกราฟ จะได้ค่า FWHM ของแต่ละค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพซิเจอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่า FWHM ที่ได้จากกราฟ PDF ที่แต่ละค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพซิเจอร์ต่างๆ ของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ความต่างศักย์	ค่า FWHM ที่ค่าเอกซ์โพซิเจอร์ต่างๆ					
	5 mAs	10 mAs	15 mAs	20 mAs	25 mAs	30 mAs
40 kV	37.1	34.9	38.8	48.3	50.6	26.1
50 kV	35.8	20.9	19.1	20.1	20.8	20.6
60 kV	31.3	20.5	32.7	38.8	33.1	
70 kV	12.6	37.4				
80 kV	13.8					

จากการหาค่า FWHM ของกราฟ PDF ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเซเจอร์ พบว่า ค่า FWHM ที่ได้มีค่าสูงๆต่ำๆไม่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเซเจอร์ สรุปได้กราฟ PDF ไม่เหมาะสมในการทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเซเจอร์ได้

4.4.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าขนาดพิกเซล

กราฟ PDF ของการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดพิกเซลต่างๆที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ในแต่ละค่าความต่างศักย์ต่างๆ นำมาหาค่า FWHM จะได้ค่า FWHM ที่ขนาดพิกเซลต่างๆที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่า FWHM ของกราฟ PDF ของแต่ละขนาดพิกเซลที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง ที่ความต่างศักย์ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV

ขนาดพิกเซล (μm)	ค่า FWHM ที่ความต่างศักย์ต่างๆ				
	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV
10	39.2	40.9	43.8	38.2	32.6
25	45.6	44.9	43.7	36.4	41.4
50	51.6	39.7	27.9	21.3	26.0
100	42.9	18.9	46.3		
200	29.8	23			

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ที่ความต่างศักย์ 40 kV กราฟ PDF ของขนาดพิกเซล 200 μm มีค่า FWHM น้อยที่สุดแสดงว่ามีความมัวของภาพน้อยที่สุด ที่ความต่างศักย์ 50 kV กราฟ PDF ของขนาดพิกเซล 100 μm มีค่า FWHM น้อยที่สุดแสดงว่ามีความมัวของภาพน้อยที่สุด ที่ความต่างศักย์ 60 kV , 70 kV และ 80 kV กราฟ PDF ของขนาดพิกเซล 50 μm มีค่า FWHM น้อยที่สุดแสดงว่ามีความมัวของภาพน้อยที่สุด และยังพบว่าที่ขนาดพิกเซลที่มีค่าน้อย เมื่อเลือกความต่างศักย์มากขึ้น กราฟ PDF มีค่า FWHM ที่ลดลง แสดงว่ามีความมัวของภาพลดลง สรุปได้ว่าที่ขนาดพิกเซลน้อยจะเหมาะสมกับการเลือกความต่างศักย์ที่มีค่ามาก และที่ขนาดพิกเซลมาก จะเหมาะสมกับการเลือกความต่างศักย์ที่มีค่าน้อย

กราฟ PDF ที่ได้ของการเปลี่ยนแปลงค่าขนาดพิกเซลต่างๆที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพ โดยใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ในแต่ละค่าความต่างศักย์ต่างๆ นำมาหาค่า FWHM จะได้ค่า FWHM ที่ขนาดพิกเซลต่างๆที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่า FWHM ของกราฟ PDF ของแต่ละขนาดพิกเซลที่ใช้ในการอ่านค่าปริมาณรังสีบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูง ที่ความต่างศักย์ 40, 50, 60, 70 และ 80 kV

ขนาดพิกเซล (μm)	ค่า FWHM ที่ค่าความต่างศักย์ต่างๆ				
	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV
10	74.5	52.9	51.5	40.9	26.6
25	72.0	57.5	46.3	42.1	36.6
50	27.3	32.0	20.9	12.6	13.6
100	36.2	20.7	30.3		
200	22.6	29.8	28.6		

จากตารางที่ 4.11 พบว่าที่ความต่างศักย์ 40 kV กราฟ PDF ของขนาดพิกเซล 200 μm มีค่า FWHM น้อยที่สุดแสดงว่ามีความมัวของภาพน้อยที่สุด ที่ความต่างศักย์ 50 kV กราฟ PDF ของขนาดพิกเซล 100 μm มีค่า FWHM น้อยที่สุดแสดงว่ามีความมัวของภาพน้อยที่สุด ที่ความต่างศักย์ 60 kV , 70 kV และ 80 kV กราฟ PDF ของขนาดพิกเซล 50 μm มีค่า FWHM น้อยที่สุดแสดงว่ามีความมัวของภาพน้อยที่สุด และยังพบว่าที่ขนาดพิกเซลที่มีค่าน้อย เมื่อเลือกความต่างศักย์ที่มีค่ามากขึ้น กราฟ PDF มีค่า FWHM ที่ลดลง แสดงว่าภาพมีความมัวลดลงด้วย สรุปได้ว่าที่ขนาดพิกเซลน้อยจะเหมาะสมกับการเลือกความต่างศักย์ที่มีค่ามาก และที่ขนาดพิกเซลมาก จะเหมาะสมกับการเลือกความต่างศักย์ที่มีค่าน้อย เช่นเดียวกับการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง

4.4.2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่าง

กราฟ PDF ที่ได้ของการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่าง ของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงและชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่ค่าความต่างศักย์ต่างๆ นำมาหาค่า FWHM ของแต่ละเส้นกราฟ จะได้ค่า FWHM จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ที่ค่าความต่างศักย์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.12 และจากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงแสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 ค่า FWHM ของกราฟ PDF จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่ค่าความต่างศักย์ต่างๆ

Brightness - Contrast	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV
30 - 0	25.1	29.2			
40 - 0	28.2	31.5	29.5	33.5	
40 - 10	27.8	28.9	37.8		
40 - 20	34.2	30.9			
40 - 30	33.6	30.6			
50 - 0	38.9	26.7	17.6	20.9	23.2
50 - 10	40.7	28.2	19.8	24.9	
50 - 20	38.4	27.7	23.5	25.8	
50 - 30	35.4	27.8	30.7		
50 - 40	34.5	28.3			
50 - 50	34.2	29.3			
60 - 0	34.9	30.9	24.8	23.9	24.7
60 - 10	36.1	29.5	23.0	28.1	27.3
60 - 20	38.3	20.4	25.8	33.7	28.5
60 - 30	36.6	23.6	25.5	33.6	31.6
60 - 40	23.0	25.1	26.3	35.4	
60 - 50	23.2	26.5	30.0		
60 - 60	26.3	27.7			

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ค่า FWHM ของกราฟ PDF จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความต่างศักย์ต่างๆ

Brightness - Contrast	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV
60 - 70	27.1	30.2			
70 - 0	30.3	28.4	20.8	32.3	33.4
70 - 10	46.4	27.2	20.9	29.7	32.3
70 - 20	54.9	18.1	20.1	28.6	31.3
70 - 30	59.0	36.0	21.9	28.7	29.2
70 - 40	61.5	29.0	23.3	29.2	29.1
70 - 50	56.2	25.2	24.9	29.2	30.9
70 - 60		21.9	27.8	32.2	
70 - 70		28.7	31.7		
70 - 80		33.8			
80 - 0	59.2	31.9	28.1	31.0	28.8
80 - 10	56.9	27.1	29.0	31.9	26.2
80 - 20	53.9	25.3	27.0	27.2	27.5
80 - 30	52.0	28.4	26.3	33.7	27.4
80 - 40	52.3	27.6	17.3	30.0	28.2
80 - 50		19.2	18.3	27.5	29.2
80 - 60		27.6	21.5	18.1	29.6
80 - 70			23.3	26.7	31.0
80 - 80			26.2	28.4	
90 - 0	50.4	27.0	17.7	26.2	28.6
90 - 10	49.3	26.4	25.2	27.5	32.4
90 - 20	48.9	29.4	25.5	22.6	31.9
90 - 30		28.0	18.1	27.4	21.2
90 - 40		19.7	32.4	27.0	33.6
90 - 50			28.2	21.5	33.5

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ค่า FWHM ของกราฟ PDF จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความต่างศักย์ต่างๆ

Brightness - Contrast	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV
90 - 60			24.9	18.6	32.2
90 - 70			23.5	29.1	32.7
90 - 80					32.8
90 - 90					33.6
100 - 0	27.3	22.8	23.5	25.6	32.9
100 - 10		23.0	22.7	23.6	32.8
100 - 20		26.3	22.3	22.7	31.9
100 - 30			17.5	22.4	31.6
100 - 40			19.1	22.4	31.6
100 - 50			25.1	23.0	29.2
100 - 60					31.5
100 - 70					31.8

ตารางที่ 4.13 ค่า FWHM ของกราฟ PDF จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความต่างศักย์ต่างๆ

Brightness - Contrast	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV
30 - 0	20.2	25.1			
40 - 0	23.1	24.3	25.0	28.7	
40 - 10	19.4	28.3	28.1		
40 - 20	35.3	27.1			
40 - 30	33.6	33.5			
50 - 0	35.2	31.4	27.9	29.3	26.4
50 - 10	18.2	32.7	30.2	31.5	
50 - 20	17.3	28.9	32.5	31.8	
50 - 30	22.3	30.1	36.1		

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ค่า FWHMของกราฟ PDF จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความต่างศักย์ต่างๆ

Brightness - Contrast	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV
50 - 40	25.7	30.7			
50 - 50	27.4	29.0			
60 - 0	38.5	20.6	39.8	28.6	23.1
60 - 10	36.3	27.4	37.9	32.5	23.3
60 - 20	37.1	26.0	35.5	31.8	25.4
60 - 30	34.8	27.6	34.3	28.8	33.5
60 - 40	29.6	28.1	34.2	33.7	
60 - 50	27.2	29.3	34.8		
60 - 60	30.3	29.6			
60 - 70	32.1	30.7			
70 - 0	32.2	28.7	36.1	33.5	20.5
70 - 10	34.0	28.6	38.2	32.3	23.7
70 - 20	33.3	32.3	36.5	32.6	25.2
70 - 30	37.2	31.8	22.0	32.9	26.6
70 - 40	20.1	33.5	23.3	33.5	27.8
70 - 50	21.3	33.4	26.5	32.8	30.1
70 - 60		32.3	27.2	32.7	
70 - 70		32.6	30.1		
70 - 80		32.8			
80 - 0	23.7	33.5	40.3	28.3	28.3
80 - 10	28.0	32.8	46.7	21.1	27.4
80 - 20	29.9	32.7	47.2	33.2	36.0
80 - 30	31.1	31.8	50.1	32.1	25.2
80 - 40	29.8	31.6	45.3	31.4	29.1
80 - 50	26.2	31.5	47.0	24.2	22.0

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) ค่า FWHMของกราฟ PDF จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่างของการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความต่างศักย์ต่างๆ

Brightness - Contrast	40 kV	50 kV	60 kV	70 kV	80 kV
80 - 60		30.2	46.8	24.8	18.2
80 - 70			44.4	29.0	27.3
80 - 80			42.5	28.9	
90 - 0	25.2	29.3	40.6	30.7	32.9
90 - 10	24.5	31.4	40.3	27.4	27.1
90 - 20	24.3	31.7	41.1	27.5	31.8
90 - 30		32.9	29.7	28.3	28.5
90 - 40		33.3	27.9	29.4	25.4
90 - 50			27.3	29.7	27.7
90 - 60			27.4	31.0	27.6
90 - 70			28.5	29.3	27.0
90 - 80					26.5
90 - 90					29.3
100 - 0	23.1	31.0	25.2	33.2	29.2
100 - 10		31.6	26.7	32.6	31.5
100 - 20		33.1	27.8	31.2	28.8
100 - 30			30.3	29.5	30.7
100 - 40			28.6	29.3	30.6
100 - 50			28.7	30.0	26.8
100 - 60					28.3
100 - 70					27.6

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 พบว่า ค่า FWHM ของกราฟ PDF จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเบี่ยงต่างมีค่าสูงๆต่ำๆไม่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเบี่ยงต่าง แสดงว่า กราฟ PDF ไม่เหมาะสมในการทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเบี่ยงต่าง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การออกแบบและสร้างวัตถุตัวอย่าง

จากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยใช้แผ่นบันทึกภาพเป็นอุปกรณ์รับรังสี ร่วมกับการใช้ชุดอุปกรณ์กำลังรังสี พบว่า ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์นี้เหมาะสมกับวัตถุตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากชุดอุปกรณ์กำลังรังสีที่ใช้มีช่องให้ลำรังสีตกกระทบไปยังแผ่นบันทึกกว้าง 8 เซนติเมตร และวัตถุตัวอย่างที่ใช้ต้องมีความหนาแน่นที่มีค่าไม่มากเกินไป ถ้าวัตถุมีความหนาแน่นมาก จะต้องใช้ค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเชอร์ที่มีค่ามาก ทำให้ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ บริเวณขอบของภาพเกิด over exposure ไม่สามารถนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเลือกใช้วัตถุตัวอย่างตัวอย่างที่มีความหนาแน่นไม่มากนัก

5.1.2 การพัฒนาโปรแกรมอ่านค่าเลขซีที

โปรแกรมอ่านค่าเลขซีทีที่พัฒนาขึ้นสามารถอ่านค่าเลขซีทีสอดคล้องกับข้อมูลของวัตถุและปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยแผ่นบันทึกภาพ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงผลค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการอ่านค่าเลขซีทีที่ขนาดพื้นที่ 100 จุด ในบริเวณที่สนใจ และยังสามารถแสดงผลภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยแผ่นบันทึกภาพ

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเชอร์

จากผลการวิจัยพบว่า ความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเชอร์ส่งผลกระทบต่อภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพ โดยเมื่อค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเชอร์เพิ่มขึ้น ค่าเลขซีทีที่จะเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงและความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ เนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเชอร์มากขึ้นทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์มากขึ้นด้วย ดังสมการ Intensity (I) = K (kV² x mA x Z)[11] โดยที่

I คือ ความเข้มของรังสีเอกซ์

K คือ ค่าคงที่

kV คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

mA คือ ค่ากระแสหลอดเอกซเรย์

Z คือ ค่าเลขอะตอมของเป้าหมายเอกซเรย์

รังสีเอกซ์จึงตกกระทบบนแผ่นบันทึกภาพมากขึ้น เมื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีและอ่านค่าเลขซีทีที่ออกมาจึงทำให้ค่าเลขซีทีที่มากขึ้น

จากการทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี พบว่า ที่ค่าความต่างศักย์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ภาพโทโมกราฟีมีค่า Pixel noise มาก นั่นคือภาพโทโมกราฟีขาดความคมชัด และจากการเปลี่ยนแปลงค่าเอกซโพเชอร์ พบว่า ที่ค่าความต่างศักย์ต่ำคงที่และค่าเอกซโพเชอร์เปลี่ยนแปลงไม่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟี แต่ที่ค่าความต่างศักย์สูงคงที่และค่าเอกซโพเชอร์สูงๆ ภาพโทโมกราฟีจะมีค่า Pixel noise ที่มากขึ้น แสดงว่าภาพโทโมกราฟีขาดความคมชัด

5.1.4 การเปลี่ยนแปลงขนาดของฟิกเซล

จากผลการวิจัยพบว่า พบว่าเมื่อขนาดฟิกเซลที่ใช้อ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเลขซีทีที่มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงและความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ เนื่องจากเมื่อขนาดของฟิกเซลเพิ่มขึ้นจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกระตุ้น หลุดออกจากช่องว่างที่อยู่ในโครงสร้างผลึกของแผ่นบันทึกภาพได้มาก เกิดเปล่งแสงออกมามาก ค่า photostimulate luminescence, PSL จึงมากขึ้นด้วย เมื่อนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีและอ่านค่าเลขซีที ทำให้ค่าเลขซีทีที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และยังพบว่า การเลือกขนาดของฟิกเซลมีผลต่อการเลือกค่าความต่างศักย์โดย เมื่อเลือกค่าขนาดฟิกเซล 10, 25 และ 50 μm จะสามารถเลือกค่าความต่างศักย์ได้ 40-80 kV แต่เมื่อเลือกค่าขนาดฟิกเซลมากขึ้นที่ 100 และ 200 μm จะสามารถเลือกค่าความต่างศักย์ได้ 40, 50 และ 60 kV ทั้งการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงและความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

จากการทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี พบว่า ขนาดฟิกเซลที่มีค่าน้อยเหมาะสมกับการเลือกค่าความต่างศักย์ที่มีค่ามาก และที่ขนาดฟิกเซลที่มีค่ามากเหมาะสมกับการเลือกค่าความต่างศักย์ที่มีค่าน้อย

5.1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างและค่าความเปรียบต่าง

จากผลการวิจัย การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง พบว่า เมื่อเพิ่มระดับความสว่างจนถึงระดับ 50 ค่าเลขซีทีที่มีค่าที่ลดลงอย่างรวดเร็วแต่เมื่อเพิ่มระดับความสว่างจากระดับ 50 จนถึง 100 ค่าเลขซีทีที่ลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป และยังพบว่า ในแต่ละความต่างศักย์การปรับระดับค่าความสว่างจะสามารถปรับค่าได้แตกต่างกัน ทั้งการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงและความละเอียดสูง ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่าง พบว่า เมื่อเพิ่มระดับค่าความเปรียบต่าง ค่าเลขซีทีที่ตำแหน่งบริเวณอากาศภายในท่อนิวทริสจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยช่วงแรกค่าเลขซีทีที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในต่อมา

จากการทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี พบว่า เมื่อปรับค่าความสว่างต่ำกว่าระดับ 49 ภาพโทโมกราฟีจะเกิด Pixel noise มากนั่นคือภาพขาดความคมชัด แต่เมื่อปรับค่าความสว่างมากกว่าระดับ 49 ไม่ส่งผลต่อภาพโทโมกราฟี และการปรับค่าความเปรียบต่างไม่ส่งผลต่อคุณภาพของภาพโทโมกราฟี เพียงแต่ทำให้ภาพมีความเปรียบต่างมากขึ้น

5.1.6 เปรียบเทียบการเลือกใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงและความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

จากผลการวิจัย การใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงและความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ พบว่า ผลที่ได้เป็นไปในทำนองเดียวกันในการศึกษาทุกๆ ปัจจัย แต่จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยในเรื่องของค่าเลขซีทีที่อ่านได้ คือ ในการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ค่าเลขซีทีที่ได้จะมีค่าที่มากกว่าการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ เนื่องจากแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงจะมีคุณสมบัติที่มีความไวต่อรังสีแต่ในแผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงจะมีความไวต่อรังสีต่ำกว่าชนิดความไวสูง ทำให้เมื่อได้รับปริมาณรังสีที่เท่ากัน ภาพที่ได้จากแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงจึงได้รับปริมาณรังสีที่มากกว่าจึงมีความดำมากกว่า เมื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีและอ่านค่าเลขซีทีออกมาจึงได้ค่าเลขซีทีที่มากกว่า

5.1.7 เปรียบเทียบการใช้แผ่นบันทึกภาพและแผ่นฟิล์มในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

เนื่องจากการวิจัยนี้ใช้หลักการในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในลักษณะเดียวกับเทคนิคฟิล์ม ผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยการใช้เทคนิคฟิล์มด้วย ซึ่งจะแสดงในภาคผนวก ผลการวิจัยพบว่า การใช้เทคนิคฟิล์มในการคำนวณสร้างโทโมกราฟีไม่สามารถที่จะนำมาเปรียบเทียบกับการสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยแผ่นบันทึกภาพได้ เนื่องจากการใช้แผ่นฟิล์มในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์นั้นต้องใช้ค่าความต่างศักย์และค่าเอกซ์โพเซอร์ที่สูงกว่ามากในการใช้แผ่นบันทึกภาพในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ดังภาพที่ 2.15

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากขั้นตอนในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์และการปรับแก้จำนวนโปรไฟล์ ก่อนที่จะนำไปคำนวณสร้างภาพออกมาเป็นภาพโทโมกราฟีนั้น จะต้องใช้การทำงานของผู้วิจัยเป็นหลัก ซึ่งอาจมีการผิดพลาดได้ในขั้นตอนดังกล่าว เมื่อเทียบกับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในแบบอื่นๆ ดังนั้นผู้วิจัยต้องมีความแม่นยำในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์และปรับแก้จำนวนโปรไฟล์เพื่อให้ภาพที่ได้มีความถูกต้องและคุณภาพที่ดีที่สุด

5.2.2 งานวิจัยนี้เหมาะกับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในวัตถุมีขนาดเล็กที่มีขนาดกว้างไม่เกิน 8 เซนติเมตร เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้มีข้อจำกัดคือมีรูกว้างเพียง 8 เซนติเมตรให้ลำรังสีผ่านไปได้ ดังนั้นเมื่อต้องการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคนี้ในวัตถุที่มีขนาดใหญ่ควรออกแบบอุปกรณ์ใหม่ให้เหมาะสมกับขนาดของวัตถุ

5.2.3 งานวิจัยนี้เหมาะสมกับการสร้างภาพโทโมกราฟีในวัตถุที่มีความหนาแน่นไม่มากนัก เนื่องจาก เมื่อเลือกวัตถุที่มีความหนาแน่นมากๆ จะต้องใช้ค่าความต่างศักย์และค่าเอกซโพเชอร์ที่มีค่าสูงทำให้บริเวณขอบภาพเกิด over exposure จึงไม่สามารถนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ ถ้าต้องการสร้างภาพโทโมกราฟีในวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงควรพัฒนาโปรแกรมในการปรับแก้ค่าโปรไฟล์บริเวณขอบภาพให้มีค่าเป็น 0 จึงจะสามารถนำมาคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] สมยศ ศรีสถิตย์ และ อรรถพร ภัทรสุมันต์. การคำนวณการสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- [2] นิเวศ ศรีคุณ. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [3] นารายณ์ รัตนไพโรจน์ขจี. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [4] รัตติยา คุณากร. การพัฒนาระบบสแกนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- [5] เกรียงไกร ธีรัตนกุล. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ซีไอเอสแบบแถว. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [6] อัมไพ สุขบำเพ็ญ. การตรวจสอบที่หุ้มฉนวนความร้อนโดยใช้เทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
- [7] ฉัตรชัย ชูดิรัตน์นนท. การปรับเทียบค่าเลขซีทีจากภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- [8] D.H. Phillips, J.J. Lannutti. Measuring physical density with X-ray computed tomography. NDT&E International. 30(July 1996): 339 – 350.
- [9] D.V.Rao, R.Cesareo, A.Brunetti, G.E.Gigante. Computed tomography with image intensifier: potential use for nondestructive testing and imaging of small objects. NDT&E International. 30(2000): 523 -530.
- [10] มานัส มงคลสุข. พื้นฐานทางฟิสิกส์ของ CT และ MRI. กรุงเทพมหานคร: ไทศาลศิลป์การพิมพ์, 2532.

- [11] นเรศร์ จันทน์ขาว. การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาในงานอุตสาหกรรม.
กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2540.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ค่าเลขชี้กำลังและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของภาพโทโมกราฟีจากการศึกษาปัจจัยต่างที่ส่งผล
ต่อภาพโทโมกราฟี



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์แต่ค่าเอกซโพเชอร์คงที่ที่ 5, 10, 15 และ 20 mAs จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ค่าความต่าง ศักย์ไฟฟ้า (kV)	5 mAs		10 mAs		15 mAs		20 mAs	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
40	238.4970	9.8111	239.8117	10.0086	243.4203	8.7363	244.7572	8.6146
50	243.5475	7.6456	249.8698	10.1985	253.8931	10.1502	255.7221	11.0972
60	250.2045	9.9099	257.7883	13.0393	265.4272	17.4873	270.1645	15.8501
70	251.4817	9.6542	264.4136	13.8126				
80	269.9989	13.2915						

ตารางที่ ก.2 ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์แต่ค่าเอกซโพเชอร์คงที่ ที่ 5, 10, 15, 20 และ 25 mAs จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ค่าความต่างศักย์ (kV)	5 mAs		10 mAs		15 mAs		20 mAs		25 mAs	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
40	240.6894	7.4064	240.7621	7.7904	241.2427	7.2838	241.5333	8.2875	243.6532	8.7977
50	240.5813	6.9422	245.3976	7.0779	246.8730	6.9769	249.5753	7.1987	249.9045	7.4857
60	241.8580	7.3244	248.1974	11.2174	259.5133	11.4224	263.8335	14.3910	264.8225	15.7606
70	246.6920	7.0508	257.2923	12.5381						
80	252.5631	7.5995								

ตารางที่ ก.3 ค่าเลขชี้กำลังและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าเอกซโพเชอร์ แต่ค่าความต่างศักย์คงที่ที่ 40 kV, 50 kV และ 60 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ค่าเอกซโพเชอร์ (mAs)	40 kV		50 kV		60 kV	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
5	238.497	9.8111	243.5475	7.6456	250.2045	9.9099
10	239.8117	10.0086	249.8698	10.1985	257.7883	13.0393
15	243.4203	8.7363	253.8931	10.1502	265.4272	17.4873
20	244.7572	8.6146	255.7221	11.0972	270.1645	15.8501
25	246.7914	9.3377	257.5637	12.4343		
30	247.9481	9.2424	259.6866	12.4777		

ตารางที่ ก.4 ค่าเลขชี้กำลังและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าเอกซโพเชอร์แต่ค่าความต่างศักย์คงที่ที่ 40 kV, 50 kV และ 60 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ค่าเอกซโพเชอร์ (mAs)	40 kV		50 kV		60 kV	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
5	240.6894	7.4064	240.5813	6.9422	241.858	7.3244
10	240.7621	7.7904	245.3976	7.0779	248.1974	11.2174
15	241.2427	7.2838	246.873	6.9769	259.5133	11.4224
20	241.5333	8.2875	249.5753	7.1987	263.8335	14.3910
25	243.6532	8.7977	249.9045	7.4857	264.8225	15.7606
30	245.06	9.4094	251.4633	7.9745		

ตารางที่ ก.5 ค่าเฉลี่ยซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดพิกเซลที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูง ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลโวลต์ (kV)

Pixel size (μm)	40 kV		50 kV		60 kV		70 kV		80 kV	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
10	229.7048	24.1308	230.3888	12.2999	232.8744	10.1824	240.0032	9.5924	243.9108	10.9183
25	232.0373	9.7878	231.3704	7.9894	234.5713	8.2519	241.4362	8.7460	246.2407	9.9141
50	232.1742	6.1603	233.2205	8.5629	242.446	8.6926	247.5152	10.5507	260.6073	7.3560
100	232.6464	6.4251	245.7733	7.0696	252.3635	10.3594				
200	234.2216	7.1244	251.6551	7.1793						

ตารางที่ ก.6 ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดพิกเซลที่ใช้ในการอ่านภาพบนแผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลโวลต์ (kV)

Pixel size (μm)	40 kV		50 kV		60 kV		70 kV		80 kV	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
10	230.853	26.0179	232.5455	11.3578	233.365	10.8399	237.2871	11.1140	240.9507	13.4463
25	232.6258	24.6404	234.9928	11.3664	233.961	10.5777	238.7717	9.9880	244.4666	9.3148
50	232.7922	13.3641	235.3523	9.7043	240.5074	9.9252	246.9305	6.0868	250.1714	7.5451
100	232.7904	9.4629	241.2274	9.1512	248.4678	9.9131				
200	232.8727	8.4732	241.9885	7.8281	250.5851	6.7388				

ตารางที่ ก.7 ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างที่ค่าความเปรียบต่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

Brightness	40 kV		50 kV		60 kV		70 kV		80 kV	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
30	251.8141	9.3912	268.1543	16.0964						
40	243.3372	10.5889	250.8250	11.0485	269.9344	14.9771	272.8192	19.8713		
50	240.4711	9.2184	242.5005	9.0631	251.5281	8.7076	253.2730	9.1702	260.9924	9.0190
60	239.3067	9.7288	242.5916	9.1617	251.2300	9.7044	252.6234	10.5353	260.7617	9.2800
70	239.2639	9.3645	242.1614	10.1534	251.4984	8.8953	252.1435	10.2304	260.6628	16.6918
80	239.1314	10.291	242.0101	9.0284	251.4978	8.4452	251.3147	10.1352	260.7964	11.7081
90	238.3631	11.3515	241.5612	9.6803	250.7963	7.8340	251.0592	11.6728	260.4961	16.2438
100	238.3566	8.8661	240.7498	8.7487	250.3803	7.2086	251.2068	8.7827	260.3439	13.1979

ตารางที่ ก.8 ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างที่ค่าความเปรียบต่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

Brightness	40 kV		50 kV		60 kV		70 kV		80 kV	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
30	248.1723	10.7865	256.2154	13.4575						
40	240.8864	10.1132	247.5771	12.2295	256.0145	16.4673	261.5456	17.0962		
50	239.1121	8.5587	240.5742	10.2094	247.5898	10.7156	249.1563	11.5439	252.9461	10.3421
60	237.3472	9.0186	240.1386	9.6836	246.6102	10.2064	246.9350	9.9056	252.5879	10.7154
70	237.1025	8.2338	240.0053	9.5175	245.5673	9.6671	246.5381	10.1175	252.0762	12.0327
80	237.0071	9.9971	239.8767	9.8939	244.3452	10.0687	245.2401	9.8769	251.6577	10.1562
90	236.2043	10.6986	239.3981	10.4226	243.9073	8.5002	244.3453	10.9941	251.3245	13.5469
100	235.9456	9.5673	237.6119	9.6073	243.7531	9.3193	244.0127	9.5543	250.9546	11.3561

ตารางที่ ก.9 ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ก. ความต่างศักย์ 40 kV

Contrast	Brightness 40		Brightness 50		Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	243.3372	10.5889	240.4711	9.2184	239.3067	9.7288	239.2639	9.3645	239.1314	10.2910
10	246.6672	12.1866	241.7359	10.1608	240.1734	9.0592	239.4969	11.4832	239.2567	9.6179
20	250.9142	11.1957	243.3000	12.0178	240.2411	10.3822	239.8053	10.6013	239.6438	10.4759
30	256.1935	17.1355	248.8250	10.2735	241.5087	10.9094	239.9318	9.7703	239.8423	9.3155
40			252.8818	12.3894	244.6286	11.429	240.1928	10.9570	239.9525	10.0044
50			255.3503	14.5045	248.0677	12.1296	242.1070	11.1263		
60					252.3026	12.9235				
70					256.153	15.342				

ตารางที่ ก.9(ต่อ) ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ข. ความต่างศักย์ 50 kV

Contrast	Brightness 40		Brightness 50		Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80		Brightness 90	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	250.825	11.0485	242.5005	9.0631	242.5916	9.1617	242.1614	10.1534	242.0101	9.0284	241.5612	9.6803
10	256.6827	15.3574	246.1909	9.5759	242.7972	9.6488	242.5656	9.4349	242.3470	8.5270	241.8578	10.4784
20	267.3773	19.3767	250.7009	12.8804	243.0378	9.7840	242.6687	9.1048	242.8517	9.6518	241.5345	9.2837
30	271.2707	14.1985	256.3170	15.908	246.7393	9.5213	243.3568	9.3779	242.4398	8.3590	241.9601	9.3992
40			268.7569	19.5636	252.099	12.0765	243.9550	8.8933	243.3003	10.3272	243.1153	9.1539
50			269.0904	15.7668	259.1226	16.4306	245.8876	10.7818	243.4043	9.4198		
60					267.6034	17.4686	252.8543	12.6423	243.4825	9.3559		
70					272.3068	13.3037	258.5768	15.6709				
80							268.0554	19.9004				

ตารางที่ ก.9(ต่อ) ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ค. ความต่างศักย์ 60 kV

Contrast	Brightness 50		Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80		Brightness 90		Brightness 100	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	251.5281	8.7076	251.2300	9.7044	251.4984	8.8953	251.4978	8.4452	250.7963	7.8340	250.3803	7.2086
10	257.1902	9.9662	252.6498	9.3066	251.5347	8.8584	251.8257	7.5374	251.1546	8.6049	251.0157	8.3957
20	269.5378	14.3865	252.8930	7.1241	252.8829	8.9242	252.4832	7.6298	252.2132	8.9559	252.0755	8.1157
30	272.0021	13.0534	257.0089	11.621	253.4926	9.4095	252.6255	9.1828	252.4865	8.4582	252.0702	7.8349
40			270.3422	13.8097	253.5319	9.2353	252.8363	8.2846	252.3640	8.5751	252.0058	8.498
50			274.5748	13.5709	257.1207	12.5749	252.8620	8.4680	252.4480	8.5574	252.2501	8.8593
60					271.0635	13.7923	253.0533	8.1453	252.4811	7.8889		
70					272.0644	12.1994	257.4171	11.3717	252.4082	8.7943		
80							270.9627	16.3658				

ตารางที่ ก.9(ต่อ) ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ง. ความต่างศักย์ 70 kV

Contrast	Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80		Brightness 90		Brightness 100	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	252.6234	10.5353	252.1435	10.2304	251.3147	10.1352	251.0592	11.6728	251.2068	8.7827
10	252.8922	9.4054	252.8907	7.5070	252.5576	8.8652	252.2318	10.0456	251.6083	9.0025
20	253.3125	8.8419	252.9726	9.3440	252.7949	10.4213	252.4617	9.5538	251.7893	9.2501
30	262.6815	14.4780	253.5677	10.3039	252.7448	8.0895	252.9470	10.7521	251.8158	10.6345
40	276.2025	19.7898	253.7691	10.6873	252.7672	9.3896	252.5225	9.4829	252.439	9.2942
50			262.0913	15.5815	253.0148	10.1741	252.9722	9.7760	252.9308	8.2556
60			274.6010	15.3655	253.0352	10.0006	252.5648	8.9865		
70					262.1091	15.6548	253.2732	9.7795		
80					273.6194	16.7550				

ตารางที่ ก.9(ต่อ) ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความไวสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

จ. ความต่างศักย์ 80 kV

Contrast	Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80		Brightness 90		Brightness 100	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	260.7617	9.2800	260.6628	16.6918	260.7964	11.7081	260.4961	16.2438	260.3439	13.1979
10	263.7709	8.7473	263.6860	14.1078	263.4384	14.6722	263.0468	14.9627	263.0298	15.7075
20	264.0253	15.8936	263.5079	11.9923	263.4552	14.2543	263.499	15.3532	263.1841	14.2364
30	271.1204	14.6259	264.8569	15.1792	264.0287	16.0279	263.9993	16.6283	263.2081	13.3222
40			265.0949	16.9667	264.4875	16.5424	264.0138	15.8792	264.0076	14.2178
50			271.1169	14.3517	265.3318	14.7534	264.1753	16.2149	264.0871	16.8802
60					265.4002	15.0228	264.1086	15.5817	264.0575	15.2853
70					270.0891	12.4092	264.7114	15.5775	266.5031	16.6689
80							264.8232	16.4083		
90							272.7938	16.0022		

ตารางที่ ก.10 ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ก. ความต่างศักย์ 40 kV

Contrast	Brightness 40		Brightness 50		Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	240.8864	10.1132	239.1121	8.5587	237.3472	9.0186	237.1025	8.2338	237.0071	9.9971
10	243.7498	13.3466	240.4225	9.2451	239.3478	9.0073	238.4376	10.6895	238.2187	10.2346
20	247.5891	12.4137	242.3210	11.8539	239.8097	11.6972	239.0054	10.1324	238.4161	10.2762
30	250.6674	14.4486	245.1147	11.9763	240.0349	10.0060	239.3787	9.8392	238.998	9.7035
40			248.7253	11.6448	242.3185	12.7523	239.8692	10.0568	239.0768	9.7453
50			250.8997	13.1395	244.6143	10.2976	240.8479	10.5474	239.4661	9.4371
60					248.3262	12.3839				
70					251.2957	14.8841				

ตารางที่ ก.10(ต่อ) ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ข. ความต่างศักย์ 50 kV

Contrast	Brightness 40		Brightness 50		Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80		Brightness 90	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	247.5771	12.2295	240.5742	10.2094	240.1386	9.6836	240.0053	9.5175	239.8767	9.8939	239.3981	10.4226
10	251.4083	12.5397	243.5936	8.7452	241.7348	10.9152	240.8448	9.2245	240.1931	9.9092	239.9375	9.2629
20	255.8012	15.9601	246.6398	10.9787	242.0070	10.0044	241.9703	9.1495	241.4861	9.6792	240.3897	8.3496
30	263.5504	14.1985	250.1153	12.5143	243.9218	10.7923	242.0706	9.6634	241.8945	9.7962	240.9075	9.0201
40			255.4660	17.7563	247.7935	14.6458	242.7391	9.5497	242.1883	10.8833	241.3659	9.7549
50			257.0359	13.4712	250.1537	15.6535	243.3276	11.9891	242.7830	9.0678		
60					254.9803	14.3973	246.3573	10.8175	242.9081	10.4005		
70					261.8759	12.4369	252.6517	15.6709				
80							256.3364	17.4173				

ตารางที่ ก.10(ต่อ) ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ค. ความต่างศักย์ 60 kV

Contrast	Brightness 50		Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80		Brightness 90		Brightness 100	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	247.5898	10.7156	246.6102	10.2064	245.5673	9.6671	244.3452	10.0687	243.9073	8.5002	243.7531	9.3193
10	250.9953	9.3218	248.7662	10.8219	248.2642	9.2143	247.9340	9.7302	247.5902	9.6331	246.3389	8.7811
20	255.7456	12.9435	249.7009	10.5124	249.1231	9.0568	248.8765	8.3781	248.2739	9.8120	247.8092	9.1341
30	262.3514	14.0152	251.9073	12.4412	250.0686	10.8239	249.5239	9.5901	249.2110	9.7450	248.3185	8.3312
40			259.9621	12.2174	251.7293	10.5652	250.1794	9.0046	249.9911	8.6971	249.0041	9.1835
50			264.6413	13.5931	253.8116	11.9483	250.9784	9.6702	250.6573	10.0582	250.1532	8.7151
60					263.1658	14.3780	251.2131	9.8237	251.0004	8.4341		
70					265.5149	13.0382	253.2016	10.0784	251.4383	9.7687		
80							261.4532	15.4116				

ตารางที่ ก.10(ต่อ) ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ง. ความต่างศักย์ 70 kV

Contrast	Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80		Brightness 90		Brightness 100	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	246.935	9.9056	246.5381	10.1175	245.2401	9.8769	244.3453	10.9941	244.0127	9.5543
10	250.1922	10.8735	249.8655	8.9170	249.1727	9.1805	248.7908	11.0067	247.9481	9.4767
20	251.4352	9.3301	250.8790	10.7313	250.3457	9.5351	249.6574	10.7114	249.1095	9.0060
30	255.7346	13.3569	251.4973	11.2562	250.9341	9.1793	250.3572	9.6454	249.8095	10.1314
40	261.7665	15.6991	252.0113	9.4780	251.7708	10.2224	251.0096	8.6549	250.6335	9.3241
50			256.4654	12.7784	252.1321	9.6129	251.6787	8.2122	251.1890	9.5348
60			263.6541	13.7218	252.8075	9.0207	252.0439	9.5349		
70					255.4132	14.4231	252.6109	10.8216		
80					264.6396	14.0982				

ตารางที่ ก.10(ต่อ) ค่าเลขซีทีและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเปรียบต่างที่ค่าความสว่างคงที่ ที่ความต่างศักย์ 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV และ 80 kV จากการใช้แผ่นบันทึกภาพชนิดความละเอียดสูงในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

จ. ความต่างศักย์ 80 kV

Contrast	Brightness 60		Brightness 70		Brightness 80		Brightness 90		Brightness 100	
	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation	CT Number Average	Standard deviation
0	252.5879	10.7154	252.0762	12.0327	251.6577	10.1562	251.3245	13.5469	250.9546	11.3561
10	253.7194	9.7953	253.1563	12.3890	253.0002	11.6592	252.8453	12.8864	252.2327	10.4230
20	254.8862	10.2905	253.7235	13.8230	253.1975	12.0080	252.9994	10.0171	252.7115	9.8831
30	263.2651	12.5906	255.1192	11.6413	254.2568	10.1912	253.6673	9.7656	253.1014	10.4947
40			257.0454	14.4446	255.6892	13.1318	254.2116	12.3603	253.8971	10.4175
50			262.5503	10.6444	256.3573	11.9267	255.1823	13.8561	254.4702	12.1521
60					257.2714	12.9801	256.2670	13.3451	255.6433	11.0045
70					261.0720	9.4452	257.3117	10.1207	256.6573	12.9951
80							259.5677	14.0124		
90							263.4961	11.3657		



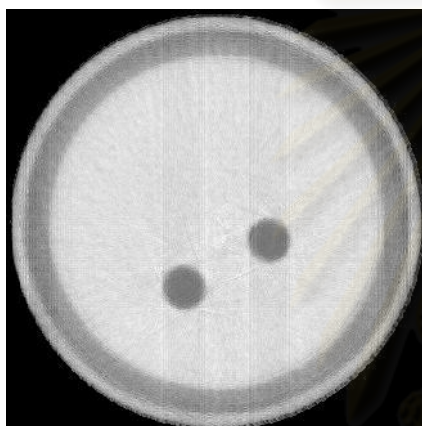
ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคฟิล์ม

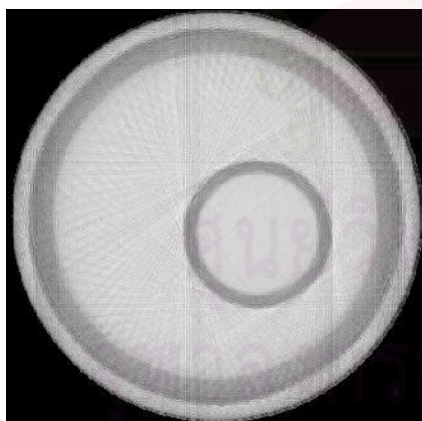
เนื่องจากการวิจัยนี้ใช้หลักการในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในลักษณะเดียวกับเทคนิคฟิล์ม ผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยการใช้เทคนิคฟิล์มด้วย เมื่อทำการถ่ายภาพวัตถุในแต่ละมุมพบว่า สามารถเลือกค่าความต่างศักย์ได้อยู่ในช่วง 90-120 kV และค่าเอกโพสเซอร์อยู่ในช่วง 10-20 mA-sec จากวัตถุตัวอย่างทั้ง 4 ชิ้นที่ใช้ในการสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยแผ่นบันทึกภาพ เมื่อนำมาถ่ายภาพและคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม จะได้ภาพโทโมกราฟีแต่ละภาพ ดังภาพที่ ข.1



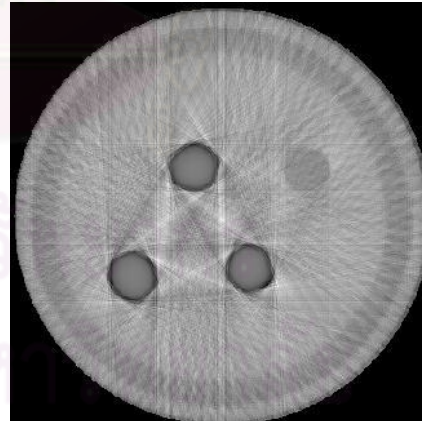
ก. วัตถุตัวอย่างที่ 1



ข. วัตถุตัวอย่างที่ 2



ค. วัตถุตัวอย่างที่ 3



ง. วัตถุตัวอย่างที่ 4

ภาพที่ ข.1 ภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์ม

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายมงคล ไช่รุ่งน เกิดเมื่อวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 จังหวัด สุโขทัย สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2548 และได้ปฏิบัติงานด้านรังสีวินิจฉัยเป็นเวลา 2 ปี หลังจากสำเร็จการศึกษา ต่อมาได้เข้ามาศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย