

การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว



นายคมกฤต มะวิญญธร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4986-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# DEVELOPMENT OF AN X-RAY IMAGE SCANNING SYSTEM USING LINE CIS DETECTOR

Mr. Khomkrit Mawinthorn

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4986-4



คมกฤส มะวิญญูธร : การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว. (DEVELOPMENT OF AN X-RAY IMAGE SCANNING SYSTEM USING LINE CIS DETECTOR) อ. ที่ปรึกษา : อ.เดโช ทองอร่าม, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ; 165 หน้า. ISBN 974-17-4986-4.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสสำหรับใช้เป็นระบบตรวจสอบหีบห่อพัสดุชนิดเคลื่อนย้ายได้ในการตรวจสอบพัสดุไปรษณีย์และบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดไม่เกิน 210 มิลลิเมตร x 297 มิลลิเมตร การพัฒนาแบ่งออกเป็นสี่ส่วนหลักได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตซิงสำหรับหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ทางทันตกรรมขนาด 65 กิโลโวลต์ 7.5 มิลลิแอมแปร์ เทคนิคการเคลือบสารเรืองรังสีบนแผ่นกระจกเพื่อใช้เป็นแถบเรืองรังสีประกอบกับอุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถวในการแปลงสัญญาณภาพถ่ายรังสีระบบสแกนหีบห่อพัสดุ ตลอดจนโปรแกรมควบคุมการสแกนและปรับปรุงคุณภาพของภาพบนไมโครคอมพิวเตอร์

ผลการวิจัยพบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงสามารถจ่ายศักดาไฟฟ้าได้คงที่และสามารถสามารถเคลือบสารเรืองรังสีบนกระจกได้ง่ายและคงทน แต่จากการเปรียบเทียบความสว่างของแสงเรืองกับฉากเสริมความเข้มรังสี (Intensifying Screen) ที่ผลิตในเชิงพาณิชย์ยังให้ประสิทธิภาพด้อยกว่า 82% และ 81% สำหรับแผ่นเรืองรังสีชนิด ZnS และ  $Gd_2O_2S:Tb^{3+}$  ตามลำดับนอกจากนี้ระบบสแกนภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นมีน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายได้สะดวก และให้ผลของภาพถ่ายรังสีที่มีความคมชัดสูง อย่างไรก็ตามยังคงมีสัญญาณรบกวนบนพื้นภาพอันเป็นผลจากการทำอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับอุปกรณ์ซีไอเอส

ภาควิชา            นวัตกรรมเทคโนโลยี  
สาขาวิชา            นวัตกรรมเทคโนโลยี  
ปีการศึกษา            2546

ลายมือชื่อผู้คิด.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

# # 4470238021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

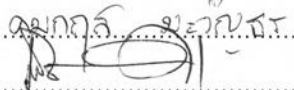
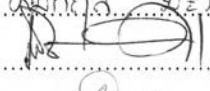
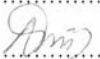
KEY WORD: LINE CIS DETECTOR / X-RAY IMAGE / SCANNING SYSTEM / CONTACT IMAGE SENSOR

KHOMKRIT MAWINTHORN : DEVELOPMENT OF AN X-RAY IMAGE SCANNING SYSTEM USING LINE CIS DETECTOR. THESIS ADVISOR : DECHO THONG-ARAM, THESIS COADVISOR : ASST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, 165 pp. ISBN 974-17-4986-4.

The purpose of this thesis is to develop an X-ray image scanning system using line Contact Image Sensor (CIS) for use as a mobile X-ray parcel inspection system with the maximum size of a parcel of 210 mm x 297 mm. The development includes design and development of 4 main parts i.e., a high voltage switching power supply for supplying a 65 kV 7.5 mA dental X-ray tube, phosphor coating technique using as a fluorescent screen associated with a line CIS for X-ray image signal converting, prototype of image scanning system and digital image signal processing program on microcomputer for improving the obtained X-ray images.

The results indicated that the high voltage power supply could generate satisfactory constant potential and X-ray phosphor was firmly coated on glass. The relative light yield were found to be about 82% and 81% less than commercial intensifying screens for ZnS and  $Gd_2O_2S:Tb^{3+}$  screens, respectively. Furthermore, the developed system has lightweight so it could be conveniently move. The obtained images had good quality, however, interference noise could be seen on the image background resulting from interactions between X-ray and CIS devices.

Department Nuclear Technology  
Field of study Nuclear Technology  
Academic year 2003

Student's signature.....  
Advisor's signature.....  
Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องมาจากความเมตตากรุณาของท่าน อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เดโช ทองอร่าม และท่านอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่ได้คอยสั่งสอนกระผมทั้งทางด้านวิชาความรู้และการใช้ชีวิต และมอบประทีปความรู้ที่ช่วยนำทาง กระผมให้ก้าวต่อไป ทั้งนี้รวมทั้งท่านอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ที่ได้เปิดโลกใหม่ที่น่าศึกษาค้นคว้าต่อไปให้แก่กระผม กระผมขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่มอบความรู้นี้ให้แก่กระผม

ทั้งนี้กระผมขอขอบคุณ คุณกมลทิพย์ พลอยกระจ่าง คุณสิริยาภรณ์ แสงอรุณ คุณเอกรัฐ ฤทธิเนียม รวมทั้งพี่ เพื่อน น้อง ทั้งในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีและศูนย์เชี่ยวชาญ วิศวกรรมเทคโนโลยีสำหรับการวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ ทุกท่านที่คอยช่วยเหลือด้วยความอบอุ่น เสมอมา

ขอขอบคุณ คุณณิชชาภัทร เจริญผล

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณวิศนุ นิเวศน์มรินทร์ และญาติทุกท่าน ที่คอยให้ทั้งกำลังใจ และกำลังใจแก่กระผมด้วยดีเสมอมา ขอกราบขอบพระคุณ

ขอขอบคุณ คุณสุรีพร พรหมแพทย์ ที่คอยให้กำลังใจกระผมตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณวิภาพรณ ผจญวิริยาทร ที่ช่วยเหลือในการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้กระผมขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ทั้งสองรวมทั้งหลาน ทั้งสองของกระผมที่คอยให้กำลังใจและมอบสิ่งที่ดีที่สุดสิ่งนี้ให้แก่กระผมเสมอมา

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ

บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2. หลักการทำงานของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกน.....	5
โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว	
2.1 หลักการทำงานโดยรวมของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกน.....	5
2.2 รายละเอียดการทำงานของระบบ.....	6
2.2.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดหลอดรังสีเอกซ์.....	6
2.2.1.1 หลอดรังสีเอกซ์.....	7
2.2.1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาสูงแบบสวิตชิง.....	9
2.2.1.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาต่ำสำหรับไส้หลอดรังสีเอกซ์(Filament) และวงจรมัลติเพล็กซ์.....	10

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.2.2 ระบบสแกนเพื่อสร้างข้อมูลภาพ.....	11
2.2.2.1 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์.....	11
2.2.2.2 สารเรืองรังสีเอกซ์.....	13
2.2.2.3 หลักการทำงานของ ซีไอเอส.....	16
2.2.3 ระบบประมวลผลภาพแบบดิจิทัล.....	17
2.2.3.1 หลักการทางภาพแบบดิจิทัล.....	17
2.2.3.2 การประมวลผลภาพเชิงดิจิทัล.....	20
2.2.4 ระบบความปลอดภัยทางรังสีและระบบยับยั้งคลื่นนิวตริโน.....	23
3. การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกน.....	24
3.1 การพัฒนาแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับหลอดรังสีเอกซ์.....	24
3.1.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตซิง.....	24
3.1.1.1 วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองแรงดัน.....	24
3.1.1.2 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์.....	26
3.1.1.3 การออกแบบวงจรควบคุม.....	26
3.1.1.4 ขั้นตอนการดัดแปลงและพัฒนาหม้อแปลงไฟฟ้า.....	29
3.1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำสำหรับไส้หลอดรังสีเอกซ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์... ..	32
3.2 การพัฒนาการเคลือบสารเรืองรังสีเอกซ์บนแผ่นกระจก.....	33
3.3 การพัฒนาระบบสแกนภาพด้วยการประยุกต์อุปกรณ์ซีไอเอสแบบแถวและ การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ.....	35
3.4 การพัฒนาโปรแกรมประมวลผลภาพแบบดิจิทัลบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์... ..	37
4. การทดลองและผลการทดลอง.....	41
4.1 การทดสอบระบบจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงแบบสวิตซิงและไฟฟ้าศักดาต่ำสำหรับ หลอดรังสีเอกซ์.....	41
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง.....	41



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	41
4.2 การทดลองเคลือบสารเรืองรังสีเอกซ์.....	44
4.2.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง.....	44
4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	44
4.2.3 ผลการทดลอง.....	45
4.3 การทดลองถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ด้วยหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์.....	47
4.4 การทดลองการเก็บข้อมูลProfileระดับสีเทาและการทำ Probability Distribution Function (PDF) ของภาพที่สแกนได้.....	48
4.4.1 อุปกรณ์สำหรับการทดลอง.....	48
4.4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	48
4.4.3 ผลการทดลอง.....	50
4.5 การทดลองการประมวลผลภาพแบบดิจิทัล.....	53
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	57
5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย.....	58
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	59
รายการอ้างอิง.....	60
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก.....	63
ภาคผนวก ข.....	104
ภาคผนวก ค.....	152
ภาคผนวก ง.....	159
ภาคผนวก จ.....	160
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	165

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติสารเรืองรังสีเอกซ์แบบ P43.....	14
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง DC Voltage Input(V) กับ High Voltage Output (kV).....	42

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำงานของระบบสแกนภาพด้วยซีไอเอส.....	5
รูปที่ 2.2 แสดงภาพรวมของระบบสแกน ภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยใช้อุปกรณ์ซีไอเอสแบบแถว.....	6
รูปที่ 2.3 แสดงภาพหลอดรังสีเอกซ์และส่วนประกอบของหลอด.....	8
รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนที่เกิดการเบี่ยงเบนเนื่องจากสนามไฟฟ้าบริเวณนิวเคลียสและปลดปล่อยรังสีเอกซ์ หรือโฟตอนออกมา.....	8
รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดอันตรกิริยาที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์แบบ Characteristic X-ray.....	9
รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิง.....	10
รูปที่ 2.7 รูปแสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าคัดค้าน้ำเพื่อจ่ายแก๊สให้หลอดรังสีเอกซ์.....	11
รูปที่ 2.8 รูปแสดงรังสีเอกซ์รูปพัดและการสแกนภาพรังสีเอกซ์ด้วยซีไอเอส.....	12
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของการทะลุผ่านของรังสีเอกซ์.....	13
รูปที่ 2.10 แสดงSpectrum ของแสงที่มองเห็นได้และรังสี ที่มีในธรรมชาติ.....	14
รูปที่ 2.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Energy Conversion กับ ค่าความยาวคลื่น....	15
รูปที่ 2.12 แสดงแผ่นกระจกที่ฉาบด้วยสารเรืองรังสีเอกซ์ซึ่งด้านบนจะวางแผ่น ฟิวซี เพื่อช่วยในการสะท้อนแสงกลับไปยังซีไอเอส.....	15
รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบการทำงานของซีไอเอส.....	16
รูปที่ 2.14 แผนภาพอุปกรณ์ตรวจจับภาพแบบซีไอเอส.....	17
รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างภาพของน็อดและสกรูที่ได้จากการสแกนโดยรังสีเอกซ์ ด้วยซีไอเอสซึ่งจะเห็นวงกลมสว่างของรังสีที่ตกกระทบบนแผ่นฉาบสารเรืองรังสีเอกซ์.....	18
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของแกนภาพ โดยที่ด้านบนซ้ายจะเป็นตำแหน่ง (0,0) และแกน x เป็นแกนในแนวนอน แกน y จะไปทางด้านขวา และตำแหน่ง x และ y ของจุดภาพ (Pixel).....	18
รูปที่ 2.17 ก) แสดงภาพต้นแบบที่พิจารณา ข) แสดงส่วนของภาพที่นำมาขยายจะเห็นเป็นจุดภาพกระจายอยู่ ซึ่งจุดภาพเหล่านี้จะเก็บข้อมูลของระดับความเข้มสี ในรูปแบบภาพ Gray Scale (0-255).....	18
รูปที่ 2.18 แสดงระดับความเข้มของภาพในรูปที่ 2.17 ข) เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข.....	19
รูปที่ 2.19 ลักษณะของหน้ากากแบบ 3X3 และลักษณะของจุดภาพข้างเคียง 8 จุดภาพซึ่งจะทาบลงบน Pixel กลาง ( $Z_5$ ) เพื่อทำการประมวลผลจุดภาพ ณ.จุดนั้น แต่ละจุดไปจนครบทั้งภาพ.....	20

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.20 ก) รูปแบบของ Mask แบบ Horizontal ข) แบบของ Mask แบบ Vertical ในการตรวจจับแนวเส้นของภาพ (Line Detection).....	20
รูปที่ 2.21 แสดงการประมวลผลภาพแบบ Negative.....	21
รูปที่ 2.22 แสดงการประมวลผลภาพในการปรับความเปรียบต่างให้สูงขึ้น.....	21
รูปที่ 2.23 แสดง การประมวลผลภาพในการปรับความสว่างของภาพให้เหมาะสม.....	21
รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบการปรับผลจากการผิยของภาพจากการเคลื่อนที่ของสายพาน....	22
รูปที่ 2.25 แสดงการประมวลผลภาพเพื่อตรวจสอบขอบของภาพที่พิจารณา.....	22
รูปที่ 2.26 แสดงหน้ากากที่ใช้ในการประมวลผลแบบ Strong Laplacian Edge Detection.....	22
รูปที่ 2.27 แสดงหน้ากากที่ใช้ในการประมวลผลแบบ Strong High Pass Filter.....	23
รูปที่ 3.1 ผังวงจรเรียงกระแสและกรองแรงดัน.....	24
รูปที่ 3.2 IC UC3844.....	27
รูปที่ 3.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับ IC UC3844.....	28
รูปที่ 3.4 เครื่องพันขดลวด.....	29
รูปที่ 3.5 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบสวิตชิงขนาด 60 กิโลโวลต์ ,Voltage Multiplx5 และหลอดรังสีเอกซ์.....	30
รูปที่ 3.6 ผังวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูงแบบสวิตชิง.....	31
รูปที่ 3.7 ระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูงสำหรับหลอดรังสีเอกซ์ทันตกรรม และ แหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาต่ำสำหรับไส้หลอดรังสีเอกซ์ (Filament).....	31
รูปที่ 3.8 รูปแสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาต่ำเพื่อจ่ายแก่ไส้หลอดรังสีเอกซ์ (Filament).....	32
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์และวัตถุดิบในการเคลือบสารเรืองรังสีเอกซ์บนแผ่นกระจก.....	33
รูปที่ 3.10 แผ่นกระจกเคลือบสารเรืองรังสีเอกซ์ ( Phosphor Screen) ภายหลังติดตั้งแผ่นขาวดำมาตรฐาน.....	34
รูปที่ 3.11 ระบบสแกนภาพโดยใช้อุปกรณ์ซีไอเอสแบบแถวที่ได้พัฒนาขึ้น และส่วนควบคุมการ ทำงานของมอเตอร์.....	35
รูปที่ 3.12 แสดงผังวงจรตัดไฟจ่ายมอเตอร์และส่วนกำเนิดแสงสีเขียวของสแกนเนอร์.....	36
รูปที่ 3.13 TTL สำหรับขับมอเตอร์สายพานและระบบสแกนภาพรังสีเอกซ์โดยรับคำสั่งจาก คอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตขนาน.....	37

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.14 โปรแกรมประมวลผลภาพแบบดิจิทัลที่พัฒนาขึ้น.....	38
รูปที่ 3.15 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรมประมวลผลภาพแบบดิจิทัล.....	39
รูปที่ 3.16 แสดงระบบถ่ายภาพรังสีเอกซ์แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพ ชนิดซีไอเอสแบบแถว.....	40
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์การทดสอบการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาสูงแบบสวิตซิง.....	42
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง DC Voltage Input(V) กับ High Voltage Output(kV).....	43
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของรูปคลื่นของแหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาสูงที่ความถี่ 12.6 kHz.....	43
รูปที่ 4.4 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการสแกน.....	45
รูปที่ 4.5 พัลส์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	45
รูปที่ 4.6 ภาพสแกนที่ได้จากระบบโดยใช้สารเรืองรังสี ZnS (ซ้าย) และ $Gd_2O_2:Tb^{3+}$ (ขวา).....	46
รูปที่ 4.7 ภาพที่สแกนได้ที่ได้จากแผ่นเรืองรังสีเชิงพาณิชย์.....	46
รูปที่ 4.8 ภาพวัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	47
รูปที่ 4.9 ภาพที่สแกนได้จากวัตถุตัวอย่าง.....	47
รูปที่ 4.10 เส้นลวดตรวจสอบความไว ตามมาตรฐาน DIN54 109(1962) แสดงความละเอียดของ แผ่นเรืองรังสีเชิงพาณิชย์.....	48
รูปที่ 4.11 แสดงการเลือกแนวเส้น Profile ระดับสีเทาของแผ่นเรืองรังสีเอกซ์ ZnS, $Gd_2O_2:Tb^{3+}$ และแผ่นเรืองรังสีเอกซ์เชิงพาณิชย์ ดังรูป ก) , ข) และ ค) ตามลำดับ .....	49
รูปที่ 4.12 แสดงเส้น Profile ระดับสีเทาของภาพที่สแกนด้วยแผ่นเรืองรังสีเอกซ์ ZnS.....	50
รูปที่ 4.13 แสดงเส้น Profile ระดับสีเทาของภาพที่สแกนด้วยแผ่นเรืองรังสีเอกซ์ $Gd_2O_2:Tb^{3+}$ ....	50
รูปที่ 4.14 แสดงเส้น Profile ระดับสีเทาของภาพที่สแกนด้วยแผ่นเรืองรังสีเอกซ์เชิงพาณิชย์.....	51
รูปที่ 4.15 แสดงเส้นกราฟ PDF ของภาพที่สแกนด้วยแผ่นเรืองรังสีเอกซ์ ZnS.....	51
รูปที่ 4.16 แสดงเส้นกราฟ PDF ของภาพที่สแกนด้วยแผ่นเรืองรังสีเอกซ์ $Gd_2O_2:Tb^{3+}$ .....	52
รูปที่ 4.17 แสดงเส้นกราฟ PDF ของภาพที่สแกนด้วยแผ่นเรืองรังสีเอกซ์เชิงพาณิชย์.....	52
รูปที่ 4.18 รูปวัตถุตัวอย่างที่ได้จากการสแกนหลังการเพิ่ม Brightness.....	53
รูปที่ 4.19 รูปวัตถุตัวอย่างที่ได้จากการสแกนหลังการเพิ่ม Contrast.....	54
รูปที่ 4.20 รูปวัตถุตัวอย่างที่ได้จากการสแกนหลังการทำเนกาทีฟ.....	54

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 4.21 รูปวัตถุตัวอย่างที่ได้จากการสแกนหลังการทำ Edge Detection โดยวิธี Laplacian Edge Detection.....	55
รูปที่ 4.22 รูปวัตถุตัวอย่างที่ได้จากการสแกนหลังการทำ Low Pass Filter 3x3.....	55
รูปที่ 4.23 รูปวัตถุตัวอย่างที่ได้จากการสแกนหลังการทำ High Pass Filter 3x3.....	56