

การพัฒนาระบบสแกนรังสีกระเจิงกลับเพื่อแสดงภาพสองมิติ



นาย สุภสิทธิ์ คณะวิรัตน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี

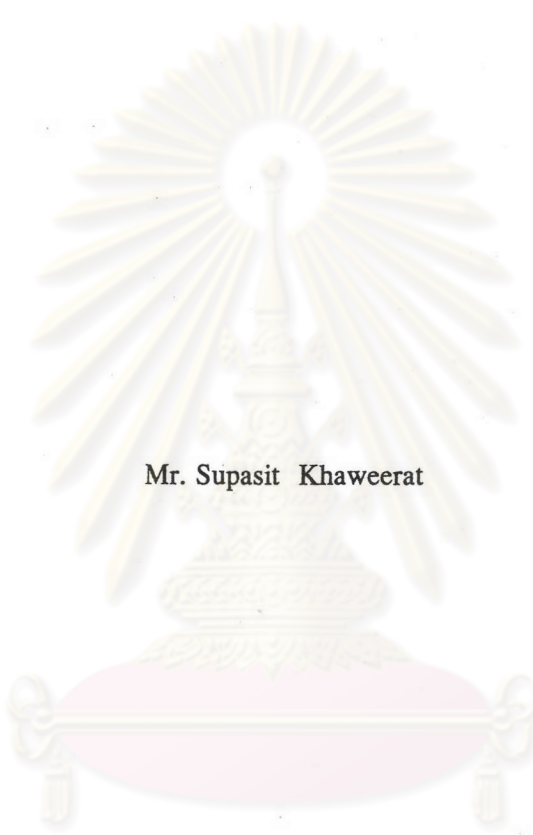
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-848-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A RADIATION BACKSCATTER SCANNING SYSTEM
FOR TWO-DIMENSIONAL IMAGING



Mr. Supasit Khaweerat

ศูนย์วิทยุโทรทรรศน์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Graduate School


Chulalongkorn University

Academic Year 1996

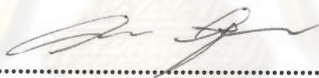
ISBN 974-636-848-6

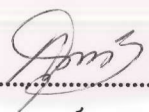
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบสแกนรังสีกระเจิงกลับเพื่อแสดงภาพสองมิติ
โดย นายสุภสิทธิ์ คะวีรัตน์
ภาควิชา นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)


.....กรรมการ
(อาจารย์ เคโซ ทองอร่าม)



สุภลิตี คะวีรัตน์ : การพัฒนาระบบสแกนรังสีกระเจิงกลับเพื่อแสดงภาพสองมิติ
(DEVELOPMENT OF A RADIATION BACKSCATTER SCANNING SYSTEM FOR TWO-
DIMENSIONAL IMAGING) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.
นเรศร์ จันทน์ขาว , 119 หน้า, ISBN 974-636-848-6

การตรวจสอบสิ่งบกพร่องภายในเนื้อโลหะเคลือบผิว โดยใช้เทคนิคการกระเจิงกลับของรังสี สามารถจัดต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีไว้ด้านเดียวกันบนระนาบชิ้นงานได้ ทำให้มีข้อได้เปรียบว่า เทคนิคการส่งผ่านรังสี งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงกลับของรังสีบีตาเพื่อสร้าง ภาพสองมิติจากข้อมูลภาพเชิงตัวเลขแสดงผลทันทีบนจอโทรทัศน์ในระบบแกนแบบเรียงเส้น ออกแบบ ระบบกลขับเคลื่อน โพรบวัดรังสีกระเจิงกลับให้เคลื่อนที่บนพื้นที่ขนาด 40X30 ตารางเซนติเมตร มีความละเอียดในการเคลื่อนที่สเต็ปละ 1 มิลลิเมตร โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-AT32 ควบคุม การเก็บข้อมูลภาพ การแสดงภาพทางจอโทรทัศน์และการโอนถ่ายข้อมูลภาพไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ ระบบสร้างข้อมูลภาพนี้มีความละเอียดภาพ 400X300 จุดภาพ ให้ความเปรียบต่างภาพ 256 ระดับ และสามารถเก็บข้อมูลภาพได้ 2 ภาพบนหน่วยความจำขนาด 320 กิโลไบต์

จากผลการใช้ต้นกำเนิดรังสีบีตาของไอโซโทป Pm-147 ซึ่งมีพลังงาน 223 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ ความแรง 3.85 เมกกะเบคเคอเรล และหัววัดไกเกอร์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร จัดโพรบวัดแบบโคแอกเซียล โดยมีช่องบังคับลำรังสีขนาด 1 มิลลิเมตร สแกนข้อมูลภาพด้วยอัตรา เร็ว 230 วินาทีต่อเส้นภาพ พบว่า ระบบเก็บข้อมูลภาพทำงานได้ดี สามารถแสดงภาพสิ่งบกพร่อง จากผลของรังสีกระเจิงกลับบนชิ้นงานที่เคลือบผิวบาง ด้วยการแจกแจงรายละเอียดภาพได้ขนาด 2 มิลลิเมตรและมีความเปรียบต่างของภาพดี ถ้าเปลี่ยนต้นกำเนิดรังสีให้มีพลังงานสูงขึ้น จะสามารถ ตรวจสอบสิ่งบกพร่องในชิ้นผิวได้ลึกกว่านี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2539.....

ลายมือชื่อนิสิต สุภลิตี คะวีรัตน์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นเรศร์ จันทน์ขาว

C618761 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: BETA BACKSCATTER / TWO DIMENSIONAL IMAGING / SCANNING SYSTEM

SUPASIT KHAWEERAT : DEVELOPMENT OF A RADIATION BACKSCATTER SCANNING SYSTEM FOR TWO-DIMENSIONAL IMAGING. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. SUVIT PUNNACHAIYA, M.Eng. THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. NARES CHANKOW, M.Eng. 119 pp. ISBN 974-636-848-6

The use of radiation backscattering technique for inspection of defects in coated-sheet metal gives better advantage than the transmission technique because a set of radiation source and detector can be fixed at the same side of the object. A radiation backscatter scanning system for two dimensional imaging is developed with digital real time displaying on non-interlace scanning system television. The backscattering probe driving mechanism is designed for scanning $40 \times 30 \text{ mm}^2$ surface area with 1 mm step resolution. The CP-AT32 microcontroller is employed to control the imaging data collection, real time imaging display on television and data transferring to PC-microcomputer. This scanning system provides an image resolution of 400×300 pixels with 256 contrast levels and can be stored 2 images on 320 kbyte memory capacity.

The Pm-147 beta source of 3.85 MBq activity, 223 keV of energy and a 2.5 cm diameter of end-window GM counter are coaxially arranged with 1 mm collimator as a backscatter probe for imaging data collection at a scanning rate of 230 s/scan line. The result reveals that the scanning system is properly operated with 2 mm image resolution and with good contrast. The beta source with higher energy can be used to inspect the deeper defects in coated-sheet metal.

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา.....2539

ลายมือชื่อนิสิต.....*สุกัญญา* *ดร.วิรัตน์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....*[Signature]*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....*รพพร วัฒน*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความกรุณาและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ และอาจารย์ เคโซ ทองอร่าม ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การอุดหนุนทุนวิจัยบางส่วนในการทำวิจัยครั้งนี้และ ขอขอบคุณบริษัท ฟายน์สเปก จำกัด นอกจากนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรม โลหการ ที่ให้ความช่วยเหลือในการสร้างชุดอุปกรณ์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของภาควิชานิวเคลียร์ เทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกต่างๆในการทำวิจัย รวมทั้งนิสิตภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีทุก ท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบคุณคุณศศิพันธุ์ ณ สงขลา ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ มาตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการเงิน ให้ ขอคิดเห็นและเป็นกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้.....	3
2. การสร้างภาพจากการกระเจิงกลับของรังสีบีตา.....	4
2.1 อันตรกิริยาของอนุภาคบีตากับสสาร.....	4
2.2 หลักการกระเจิงกลับของรังสีบีตา.....	7
2.3 หลักการสร้างภาพจากการกระเจิงกลับของรังสีบีตา.....	11
2.3.1 ความละเอียดของภาพ.....	12
2.3.2 ความชัดเจนของภาพ.....	13
2.4 การแสดงภาพทางจอโทรทัศน์.....	14
2.4.1 องค์ประกอบของภาพโทรทัศน์.....	14
2.4.2 ลักษณะของสัญญาณภาพพร้อมองค์ประกอบ.....	16
2.5 มาตรฐานระดับของสัญญาณภาพ.....	19
2.6 การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเก็บข้อมูลภาพ.....	20

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3. การพัฒนาระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงกลับของรังสีบีตา เพื่อสร้างภาพสองมิติ.....	23
3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงกลับของรังสี เพื่อสร้างภาพสองมิติ.....	23
3.2 การออกแบบระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงกลับของรังสี เพื่อสร้างภาพสองมิติ.....	24
3.3 การออกแบบระบบวัดนิวเคลียร์.....	26
3.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง.....	26
3.3.2 วงจรหัววัดรังสี.....	28
3.3.3 วงจรแต่งรูปสัญญาณ.....	28
3.3.4 วงจรเรตมิเตอร์.....	29
3.3.5 วงจรขยายสัญญาณ.....	30
3.4 การออกแบบระบบเก็บข้อมูลและแสดงภาพทางจอโทรทัศน์.....	31
3.4.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข.....	33
3.4.2 วงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณอนาลอก.....	34
3.4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะ.....	35
3.4.4 วงจรเลือกสัญญาณกำหนดตำแหน่ง.....	41
3.4.5 วงจรหน่วยความจำ.....	42
3.4.6 วงจรสร้างสัญญาณภาพพร้อมองค์ประกอบ.....	45
3.5 การออกแบบวงจรเชื่อมโยงสัญญาณข้อมูลภาพ และสัญญาณควบคุมกับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	46
3.6 การเชื่อมโยงไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบขับเคลื่อนทางกล.....	49
3.7 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ.....	51
3.8 ระบบเชื่อมโยงสัญญาณมาตรฐาน RS-232C.....	52
3.9 ระบบรับคำสั่งจากคีย์บอร์ดและแสดงผลบนจอผลึกเหลว.....	53
3.10 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนข้อมูลภาพ.....	54

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลทดสอบการทำงานของระบบสแกนข้อมูลภาพ.....	57
4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ.....	57
4.2 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์.....	58
4.3 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข.....	59
4.4 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลข เป็นสัญญาณอนาลอก.....	61
4.5 ผลทดสอบการตอบสนองอัตรานับรังสีกระเจิงกลับต่อชิ้นงาน ที่มีเลขอะตอมต่างกัน.....	62
4.6 การทดสอบความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดภาพ จากรังสีกระเจิงกลับ.....	63
4.7 การทดสอบระบบสแกนภาพด้วยการกระเจิงกลับของรังสี เพื่อแสดงภาพสองมิติ.....	65
5. สรุปผลการวิจัยและขอเสนอแนะ.....	68
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	68
5.2 ขอเสนอแนะ.....	69
รายการอ้างอิง.....	70
บรรณานุกรม.....	71
ภาคผนวก ก.....	72
ภาคผนวก ข.....	74
ภาคผนวก ค.....	81
ภาคผนวก ง.....	82
ภาคผนวก จ.....	109
ภาคผนวก ฉ.....	112
ประวัติผู้วิจัย.....	119

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า	
2.1	แผนภาพการทำอันตรกิริยาของอนุภาคบีตากับแผ่นทองแดง.....	6
2.2	เส้นกราฟเปรียบเทียบอันตรกิริยาของอนุภาคบีตากับตัวกลางซึ่งเป็นแผ่นทองแดง ที่มีความหนาต่างกัน.....	7
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของรังสีบีตาและเลขอะตอม ของธาตุในชิ้นงาน เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีบีตาต่างๆกัน.....	8
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของรังสี กับความหนาของชิ้นงาน.....	9
2.5	การจัดอุปกรณ์สำหรับสร้างภาพจากการกระเจิงกลับของรังสีบีตา.....	11
2.6	แสดงภาพเปรียบเทียบรายละเอียดของคุณภาพขนาดต่างๆ.....	12
2.7	ความชัดเจนของภาพเชิงตัวเลข.....	13
2.8	แสดงภาพการสแกนลำอิเล็กตรอนของระบบเรียงเส้น.....	15
2.9	แสดงภาพการสแกนลำอิเล็กตรอนในระบบอินเตอร์เลส.....	15
2.10	รูปแสดงลักษณะของสัญญาณภาพพร้อมองค์ประกอบ.....	16
2.11	แสดงภาพเปรียบเทียบสัญญาณความส่องสว่างและภาพที่ปรากฏบนจอภาพ.....	17
2.12	แสดงรายละเอียดของสัญญาณภาพพร้อมองค์ประกอบบริเวณสัญญาณ อิกวอไลซิงพลัส.....	18
2.13	มาตรฐานระดับของสัญญาณภาพพร้อมองค์ประกอบ.....	19
2.14	แสดงแผนภาพของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	20
2.15	แสดงภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงเลขขนาด 8 บิตกับสัญญาณ ความส่องสว่าง.....	21
2.16	แผนภาพการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบการสร้างภาพจากข้อมูล การกระเจิงกลับของรังสี.....	22
3.1	ภาพโครงสร้างของโปรบวัดที่ใช้กับต้นกำเนิดรังสี Pm - 147.....	23
3.2	แผนภาพของระบบสแกนรังสีกระเจิงกลับเพื่อสร้างภาพสองมิติ.....	25
3.3	แผนภาพส่วนประกอบของระบบวัดนิวเคลียร์.....	26
3.4	แสดงแผนภาพส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง.....	27

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 วงจรของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง.....	27
3.6 วงจรหัววัดครึ่งสี่.....	28
3.7 วงจรแต่งรูปสัญญาณ.....	29
3.8 วงจรเรตมิเตอร์ใช้ไอซี LM2917.....	30
3.9 วงจรขยายสัญญาณศักดาไฟฟ้า.....	31
3.10 แผนภาพของระบบเก็บข้อมูลและแสดงภาพทางจอโทรทัศน์.....	33
3.11 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข.....	34
3.12 วงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณอนาลอก.....	34
3.13 แผนภาพการกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะ.....	35
3.14 แผนภาพของการกำเนิดความถี่ของสัญญาณเข้าจังหวะ.....	36
3.15 แผนภาพเวลาของสัญญาณเข้าจังหวะแนวอน.....	37
3.16 แผนภาพเวลาของสัญญาณเข้าจังหวะแนวตั้ง.....	38
3.17 วงจรกำหนดสัญญาณเข้าจังหวะสำหรับสัญญาณภาพ.....	39
3.18 แสดงหลักการเลือกสัญญาณกำหนดตำแหน่ง.....	41
3.19 แผนภาพวงจรเลือกสัญญาณกำหนดตำแหน่ง.....	41
3.20 แผนภาพตำแหน่งของข้อมูลเชิงตัวเลขในหน่วยความจำเพื่อแสดงภาพบน จอโทรทัศน์.....	43
3.21 แผนภาพเวลาการทำงานของหน่วยความจำแต่ละตัว.....	43
3.22 วงจรหน่วยความจำและวงจรเลือกหน่วยความจำ.....	44
3.23 วงจรรวมสัญญาณภาพโทรทัศน์.....	45
3.24 แผนภาพเวลาจากวงจรรวมสัญญาณภาพโทรทัศน์.....	46
3.25 แสดงรายละเอียดการเชื่อมโยงสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	47
3.26 หลักการสร้างสัญญาณกำหนดตำแหน่งขนาด 24 บิต.....	48
3.27 วงจรการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบ เก็บข้อมูลภาพ.....	48

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.28 แผนภาพการเชื่อมโยงระบบขับเคลื่อนทางกลกับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	50
3.29 วงจรควบคุมจุดเริ่มต้นของมอเตอร์.....	51
3.30 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์.....	52
3.31 แผนภาพการเชื่อมโยงอุปกรณ์แสดงผลและเป็นกคเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	54
3.32 โฟลวชาร์ตของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนภาพ.....	55
3.33 ภาพถ่ายระบบขับเคลื่อน โปรบวัคริงสี.....	56
3.34 ภาพถ่ายระบบสแกนข้อมูลภาพ.....	56
4.1 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเรตมิเตอร์.....	58
4.2 เส้นกราฟความสัมพันธ์ของอัตรานับพัลส์และสัญญาณศักดาทางออก.....	59
4.3 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณ อนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข.....	59
4.4 เส้นกราฟความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณ เชิงตัวเลข.....	60
4.5 แผนภาพการจับอุปกรณ์ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัว เลขเป็นสัญญาณอนาลอก.....	61
4.6 เส้นกราฟความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณตัวเลขเป็นสัญญาณ อนาลอก.....	62
4.7 แผนภาพการจับอุปกรณ์เพื่อทดสอบการตอบสนองของอัตรานับรังสีกระเจิงของ ชิ้นงานที่มีเลขอะตอมต่างกัน.....	62
4.8 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกระเจิงกลับและเลขอะตอมของ ชิ้นงาน.....	63
4.9 ภาพวาดชิ้นงานทดสอบความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดภาพ.....	64
4.10 ภาพจากการทดสอบความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดภาพจากข้อมูล รังสีกระเจิงกลับซึ่งใช้ต้นกำเนิดรังสี Pm-147.....	64

รูปที่

4.11 ภาพจากการทดสอบระดับคอนทราสต์ของภาพจากข้อมูลรังสีกระเจิงกลับ ซึ่งใช้ต้นกำเนิดรังสี Pm-147.....	65
4.12 ภาพถ่ายของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ.....	66
4.13 ภาพจากการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่เจาะช่องไว้.....	66
4.14 ภาพถ่ายของชิ้นงานทดสอบการสุกร่อน.....	67
4.15 ภาพจากการทดสอบชิ้นงานที่สุกร่อน.....	67
5.1 แสดงโปรบวัดรังสีที่พัฒนาขึ้น.....	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สัมประสิทธิ์การกระเจิงกลับของรังสีบีตาสำหรับธาตุต่างๆ.....	8
3.1 การกำหนด Timer 1 ในการสร้างอัตราความเร็วของการส่งข้อมูล.....	53
4.1 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเรคมิเตอร์.....	58
4.2 ผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณ เชิงตัวเลข.....	60
4.3 ผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณ อนาลอก.....	61
4.4 ผลทดสอบการตอบสนองอัตรานับรังสีการกระเจิงกลับของชิ้นงานที่มีเลขอะตอม ต่างกัน.....	63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย