

การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอน
โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน



นายนายณัฏฐ์ รัตนไพโรจน์ขจี

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

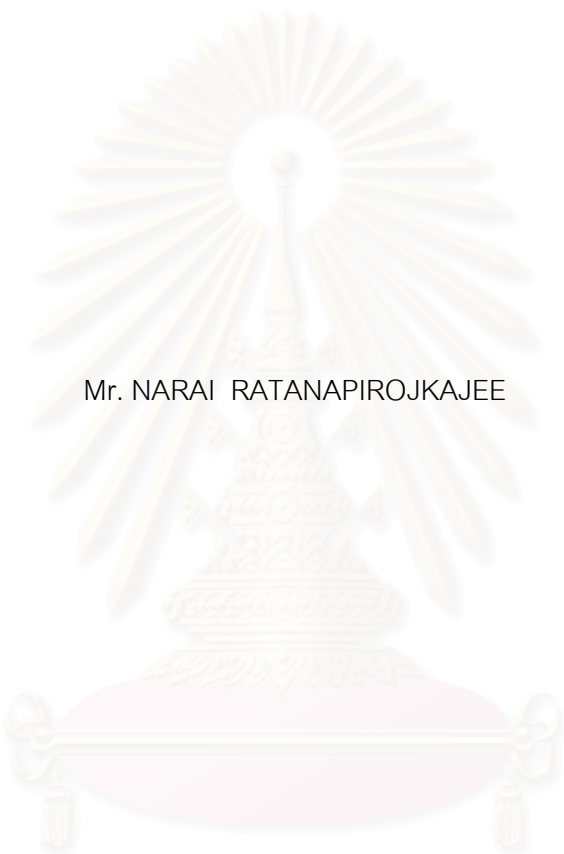
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0361-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A DATA ACQUISITION SYSTEM FOR NEUTRON COMPUTED
TOMOGRAPHY USING NEUTRON IMAGING SCOPE



Mr. NARAI RATANAPIROJKAJEE

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0361-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน
โดย	นายณรายณ์ รัตนไพโรจน์ขจี
สาขาวิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรณพ ภัทรสุมันต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรณพ ภัทรสุมันต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

นารายณ์ รัตนไพโรจน์ขจี : การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพ
โทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน. (DEVELOPMENT OF A DATA
ACQUISITION SYSTEM FOR NEUTRON COMPUTED TOMOGRAPHY USING
NEUTRON IMAGING SCOPE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.สมยศ ศรีสถิตย์, อ. ที่ปรึกษาร่วม :
ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์ , 89 หน้า. ISBN 974-03-0361-7.

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนเพื่อการ
คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งออกแบบชุดอุปกรณ์เป็นสองส่วน ส่วนแรก คือ ระบบถ่ายภาพ
นิวตรอน ประกอบด้วยชุดหมุนชิ้นงานควบคุมระยะไกล และกล้องมองภาพนิวตรอน ส่วนที่สอง
คือ ระบบแสดงภาพ และเก็บบันทึกสัญญาณภาพประกอบด้วยไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมด้วย
ระบบเชื่อมโยงสัญญาณภาพ และเครื่องบันทึกวิดีโอ การเก็บข้อมูลโปรไฟล์นั้นกำหนดให้ชิ้น
งานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 3 เซนติเมตร หมุนด้วยมุมทีละ 1.8 หรือ 3.6 องศา โดยใช้
เทอร์มินัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 เดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ พบว่า
คุณภาพของข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนการเก็บแบบรวมเฟรม และภาพโทโมกราฟีที่ได้มี
คุณภาพดีขึ้นเมื่อเลือกเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมตั้งแต่ 300 เฟรมขึ้นไป ได้ค่ารีโซลูชันของภาพ
โทโมกราฟีเท่ากับ 200 ไมครอน

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิเวศวิทยเทคโนโลยี
สาขาวิชา นิเวศวิทยเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

##4170370921 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: COMPUTED TOMOGRAPHY / TELEVISION TECHNIQUE / NEUTRON IMAGING SCOPE

NARAI RATANAPIROJKAJEE: DEVELOPMENT OF A DATA ACQUISITION SYSTEM FOR NEUTRON COMPUTED TOMOGRAPHY USING NEUTRON IMAGING SCOPE. THESIS ADVISOR ; ASSOCIATE PROF.SOMYOT SRISATIT, THESIS COADVISOR : ASSIST. PROF.ATTAPORN PATTARASUMUNT, 89 PP. ISBN 974-03-0361-7.

Neutron radiography using neutron imaging scope was developed for computed tomography in this research. The designed equipment was divided into two parts. The first part was the neutron radiography system which composed of a remotely controlled rotator and neutron imaging scope. The second part was an image recorder and display system which composed of a microcomputer with a video capture card and a video recorder. The data acquisition system was designed to rotate the specimen with the maximum diameter of 3 centimetres at a step angle of 1.8 or 3.6 degrees. By using thermal neutrons from the Thai Research Reactor TRR-1/M1 operated at 1200 kilowatts. It was found that, the quality of profile data depended on the number of frame integrals. The quality of the CT images were improved when at least 300 frame integrals were used. The resolution of the CT image was found to be 200 micron.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department	Nuclear Technology	Student's signature.....
Field of study	Nuclear Technology	Advisor's signature.....
Academic year	2001	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของท่านรองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งคอยดูแลให้คำปรึกษาในการทำวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูล และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ บริษัท LIXI ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการขายกล้องมองภาพนิวตรอนแก่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีในราคาพิเศษ เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ คุณรุ่งโรจน์ แคนยุกต์ หัวหน้าฝ่ายวิชาการ รวมทั้งบุคลากรและเจ้าหน้าที่กองฟิสิกส์ กองการวัด และกองปฏิบัติการปฏิบัติทุกท่านสำหรับคำแนะนำและการอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณบุญนาถ บัวมีศิลป์ ที่ให้คำแนะนำในการจัดเตรียมชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณประสิทธิ์ สิริทิพย์รัศมี ผู้พัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณบัญชา อุนพานิช คุณอุริช อัครชโคสิต คุณภานุพันธ์ เข็มหนู เรืออากาศตรีนพดล นาคเงิน และเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำดี ๆ ในทำวิทยานิพนธ์นี้

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณอย่างสูงที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านด้วยดีมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2. ทฤษฎี.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.1.1 คุณสมบัติของนิวตรอน.....	6
2.1.2 ชนิดของนิวตรอน.....	6
2.1.3 ต้นกำเนิดนิวตรอน.....	7
2.1.3.1 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย.....	7
2.1.3.2 เครื่องเร่งอนุภาค.....	8
2.1.3.3 ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป.....	10
2.1.4 อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสาร.....	11
2.1.5 ภาคตัดขวางของนิวตรอน.....	15
2.2 การคำนวณสร้างภาพแบบคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบบโปรเจคชัน.....	18
2.2.1 วิธีการกรองด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan.....	20
2.2.2 วิธีการแบบโปรเจคชัน.....	20
2.3 เทคนิคการเก็บข้อมูลโปรไฟล์.....	21

3. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย.....	24
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	24
3.2 การทำงานของระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน.....	25
3.3 ต้นกำเนิดนิวตรอน.....	26
3.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา.....	27
3.5 กล้องมองภาพนิวตรอน.....	28
3.6 แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพ.....	31
3.7 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้อง มองภาพนิวตรอน.....	31
3.7.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	33
3.7.2 วงจรกำเนิดสัญญาณเสียง.....	35
3.7.3 วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์.....	36
3.7.4 สเต็ปปีงมอเตอร์.....	37
3.7.5 วงจรแสดงตัวเลขบอกโปรไฟล์.....	37
3.7.6 แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง.....	38
3.7.7 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูล.....	39
3.7.8 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลโปรไฟล์.....	40
4. วิธีดำเนินการวิจัยและผลการทดสอบ.....	43
4.1 การทดสอบเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายนิวตรอนด้วยเทคนิคโททัศน์.....	43
4.2 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี.....	47
4.3 การออกแบบชิ้นงานทดสอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน.....	53
4.4 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้อง มองภาพนิวตรอน.....	55
4.5 การทดสอบเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายรังสีแกมมาด้วยเทคนิคโททัศน์.....	58
4.6 การออกแบบชิ้นงานทดสอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา.....	60
4.7 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมาโดยใช้กล้อง มองภาพนิวตรอน.....	61

4.8 การทดสอบเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายรังสีแกมมาและนิวตรอนนิวตรอนด้วย เทคนิคโทรทัศน์.....	63
4.9 การออกแบบชิ้นงานทดสอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอน.....	63
4.10 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอน โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน.....	64
4.11 การทดสอบหาค่ารีโซลูชัน (Resolution) เพื่อหาความสามารถในการแจกแจง รายละเอียดของระบบเก็บข้อมูล.....	65
5. สรุปผลการวิจัย วิจัยกรณีผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	67
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	67
5.2 วิจัยกรณีผลการวิจัย.....	68
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก.....	74
ภาคผนวก ข.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	89

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของนิวตรอนตามระดับพลังงาน	7
ตารางที่ 2.2 อันตรกิริยาของนิวตรอนแบบต่าง ๆ.....	14
ตารางที่ 3.1 ความหมายและหน้าที่ของรหัสควบคุมที่ใช้กับไอซีเบอร์ 8255.....	34
ตารางที่ 4.1 ชิ้นงานทดสอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน.....	53
ตารางที่ 4.2 ผลภาพนิวตรอนโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบด้วยจำนวนเฟรม 300 เฟรม.....	55
ตารางที่ 4.3 ชิ้นงานทดสอบสำหรับการเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมา	60
ตารางที่ 4.4 ผลภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบเมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา.....	61
ตารางที่ 4.5 ชิ้นงานทดสอบที่เก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมา และนิวตรอน	63
ตารางที่ 4.6 ผลภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานจากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนและรังสีแกมมา.....	64



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 กราฟความสัมพันธ์ของ mass attenuation coefficient กับ atomic number ของธาตุต่าง ๆ สำหรับ รังสีเอกซ์ และนิวตรอน	1
รูปที่ 2.1 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1	8
รูปที่ 2.2 เครื่องเร่งอนุภาคแบบ แวนเดอกราฟฟ์	10
รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางต้นกำเนิดอนุภาคนิวตรอน	11
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการตกกระทบเป้าของลำนิวตรอน	15
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงโปรไฟล์ของชิ้นงานจากการส่งผ่านรังสี	18
รูปที่ 2.6 แผนภาพวิธีการแบคโปรเจกชัน (backprojection)	21
รูปที่ 2.7 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบรังสีลำแคบ	22
รูปที่ 2.8 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีรูปพัด	22
รูปที่ 2.9 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีรูปกรวย	23
รูปที่ 3.1 แผนภาพการจัดระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอน	25
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบภายในพ่อนิวตรอน	27
รูปที่ 3.3 ภาพขณะบรรจุต้นกำเนิดรังสี อเมริเซียม-241 (Am-241)	28
รูปที่ 3.4 กล้องมองภาพนิวตรอน	29
รูปที่ 3.5 ชุดถ่ายภาพนิวตรอน และอุปกรณ์หมุนชิ้นงานควบคุมจากระยะไกล	30
รูปที่ 3.6 แผนภาพส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในกล้องมองภาพเมื่อเชื่อมต่อกับกล้องโทรทัศน์....	30
รูปที่ 3.7 แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพ	31
รูปที่ 3.8 การควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	32
รูปที่ 3.9 วงจรกำเนิดสัญญาณเสียงบอกโปรไฟล์	35
รูปที่ 3.10 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์	36
รูปที่ 3.11 วงจรแสดงตัวเลขบอกโปรไฟล์	37
รูปที่ 3.12 แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง	38
รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูล.....	39
รูปที่ 3.14 โปรแกรมการรวมเฟรมที่แสดงผลทางหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์	40
รูปที่ 3.15 ด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับวงจรสเต็ปมอเตอร์	41

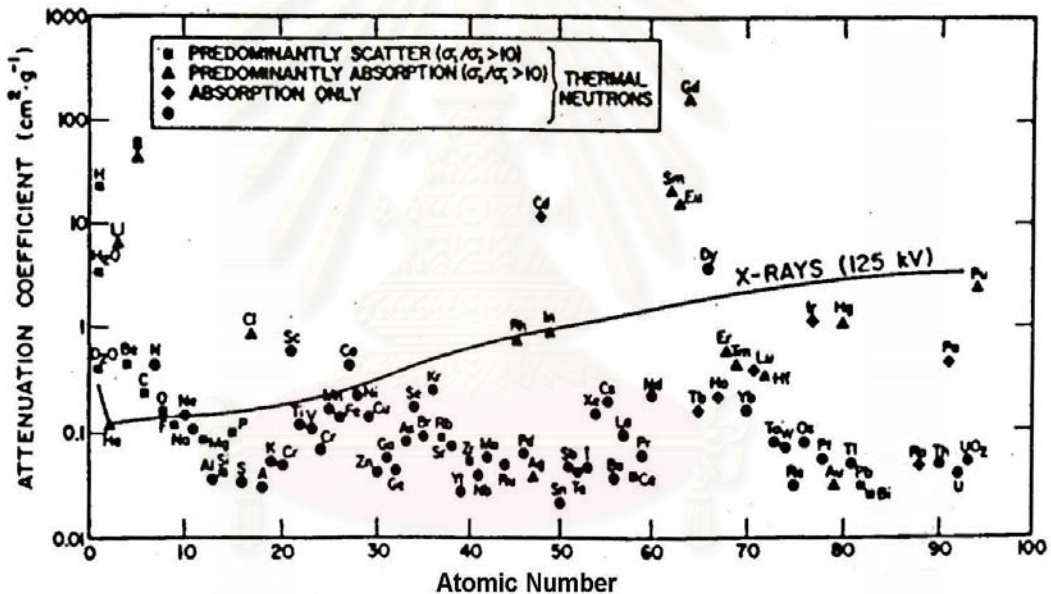
รูปที่ 3.16 ด้านในของอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ วงจรถับสัญญาณ 41	41
รูปที่ 3.17 ด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรถับสัญญาณ กับชุดอุปกรณ์หมุนชิ้นงานตัวอย่าง 42	42
รูปที่ 3.18 ด้านในของอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรถับสัญญาณ กับชุดอุปกรณ์หมุนชิ้นงานตัวอย่าง 42	42
รูปที่ 4.1 ระบบเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคโทมografi สำหรับส่วนที่ ติดตั้งภายในห้องกำบังรังสี 44	44
รูปที่ 4.2 ระบบเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคโทมografi สำหรับส่วนที่ ติดตั้งภายนอกห้องกำบังรังสี 44	44
รูปที่ 4.3 ภาพลำดับการปรับแก้ข้อมูลโปรไฟล์..... 46	46
รูปที่ 4.3.ก ภาพถ่ายด้วยรังสีและข้อมูลโปรไฟล์ของชิ้นงานทดสอบ..... 46	46
รูปที่ 4.3.ข ภาพถ่ายด้วยรังสีและข้อมูลโปรไฟล์เมื่อไม่มีชิ้นงานทดสอบ (Shading)..... 46	46
รูปที่ 4.3.ค ภาพและข้อมูลโปรไฟล์เมื่อไม่มีรังสี (Dark Current)..... 46	46
รูปที่ 4.3.ง ข้อมูลโปรไฟล์ที่ผ่านการปรับแก้ค่าแล้ว..... 46	46
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบข้อมูลโปรไฟล์ที่ปรับแก้แล้วที่จำนวนต่าง ๆ..... 48	48
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมของภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 4..... 49	49
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมของภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 5..... 50	50
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมของภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 6..... 51	51
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pixel noise กับจำนวนเฟรม..... 52	52
รูปที่ 4.9 การจัดระบบเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมาโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน..... 59	59
รูปที่ 4.10 โปรไฟล์ของการทดสอบแบบ Edge-Spread function (ESF)..... 65	65
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงโปรไฟล์ผลการทดสอบของการทดสอบแบบ Edge-Spread function (ESF)..... 66	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนต่างกับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และรังสีเอกซ์ เนื่องจากรังสีทั้งสองนั้นเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมากับสสารเกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม สัมประสิทธิ์การลดทอนของธาตุต่าง ๆ จึงขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุนั้น ส่วนนิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสารเกิดขึ้นที่นิวเคลียสของอะตอม สัมประสิทธิ์การลดทอนของนิวตรอนจึงขึ้นกับภาคตัดขวางของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับนิวไคลด์ของแต่ละธาตุ ซึ่งไม่ขึ้นกับเลขอะตอม ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กราฟความสัมพันธ์ของ mass attenuation coefficient กับ atomic number ของธาตุต่างๆสำหรับ รังสีเอกซ์ และนิวตรอน

ดังนั้น การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจึงให้รายละเอียดของภาพแตกต่างไปจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา เช่น ในกรณีที่ถ่ายภาพวัสดุที่มีองค์ประกอบของธาตุเบาอยู่ปะปนหรือถูกห่อหุ้มด้วยธาตุน้ำหนัก การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ จะให้รายละเอียดของส่วนที่ประกอบด้วยธาตุเบาไม่ดีนัก สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนนั้น สามารถให้รายละเอียดของภาพถ่ายด้วยรังสีในส่วนที่เป็นธาตุเบาสมบูรณ์ชัดเจนกว่ามาก แม้จะอยู่ปะปนหรือถูกห่อหุ้ม

ด้วยเหตุนี้ก็ตาม จากข้อดีและคุณสมบัติพิเศษบางประการของรังสีนิวตรอนรวมทั้งข้อจำกัดบางประการของการใช้รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา จึงมีการพัฒนาการใช้รังสีนิวตรอนในการถ่ายภาพ

เนื่องจากภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้พัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีหรือภาคตัดขวางของวัตถุชิ้นงาน จากหลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ การสแกนด้วยรังสีแกมมา การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และอื่น ๆ ซึ่งได้ผลดีเป็นน่าพอใจระดับหนึ่ง สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนและการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น ทางภาควิชาฯ เห็นว่าเป็นวิธีที่สามารถให้รายละเอียดของภาพถ่ายชิ้นงานบางชนิดที่มีส่วนประกอบทั้งธาตุหนัก และธาตุเบาอยู่รวมกันในชิ้นงานเดียวกัน และได้มีการพัฒนาวิธีการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยนิวตรอน รวมทั้งการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคฟิล์ม แต่ทั้งสองเทคนิคนั้นการเก็บข้อมูลต้องใช้เวลาานานมาก และจำนวนโปรไฟล์ยังไม่มากพอ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนซึ่งแสดงผลภาพบนจอคอมพิวเตอร์ หรือเรียกว่า “Real – Time Imaging System” การอ่านข้อมูลสามารถทำได้ทันทีและรวดเร็วสำหรับคุณภาพของภาพถ่ายด้วยนิวตรอนจากเทคนิคนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของกล้องมองภาพนิวตรอน และระบบอ่านข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าขีดความสามารถในการถ่ายภาพชิ้นงานทดสอบจะขึ้นอยู่กับระบบดังกล่าวก็ตาม แต่งานวิจัยนี้ประสงค์ที่จะเสนอแนวความคิดที่แสดงให้เห็นถึงวิธีการที่สะดวกและรวดเร็ว รวมทั้งจำนวนข้อมูลโปรไฟล์ที่มากขึ้นอันจะทำให้ได้ภาพที่มีรายละเอียดดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างระบบเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างระบบเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยนิวตรอนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี
- 1.3.2 เก็บข้อมูลภาพจากตัวอย่างบางชนิด โดยใช้นิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

- 1.3.3 สร้างภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลภาพที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของภาพแล้ว

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างระบบหมุนชิ้นงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม
- 1.4.3 ออกแบบและจัดระบบสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน
- 1.4.4 ทดลองเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของชิ้นงานบางชนิดเพื่อสร้างภาพโทโมกราฟี
- 1.4.5 หาวิธีที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บเพื่อให้มีคุณภาพดีขึ้น
- 1.4.6 ทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลโปรไฟล์ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว
- 1.4.7 สรุปผลการวิจัย และเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี พ.ศ. 2537 อธิวัฒน์ ประกอบผล ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคโทรทัศน์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี เพื่อใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบวัตถุอุตสาหกรรมโดยไม่ทำลาย โดยอาศัยเทคนิคฟลูออโรสโคปีของรังสีเอกซ์และใช้กล้องโทรทัศน์ถ่ายภาพของวัตถุที่มุมต่าง ๆ จากฉากเรืองรังสีแล้วบันทึกลงเครื่องวัดทัศน จากนั้นนำไปแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำงานร่วมกับแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพ โดยผู้ใช้สามารถเลือกสร้างภาพโทโมกราฟีที่ตำแหน่งใด ๆ ของวัตถุได้

2. ปี พ.ศ. 2541 นพดล นาคเงิน ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน โดยระบบถ่ายภาพนี้เป็นแบบแสดงผลทันทีบนไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน กล้องมองภาพนิวตรอนประกอบด้วยฉากสังกะสีซิลไฟด์ (เงิน) และลิเทียม-6 ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์ที่วัดความเข้มของภาพและกล้องโทรทัศน์ความไวสูง ซึ่งใช้ได้กับรังสีแกมมาพลังงานต่ำ รังสีเอกซ์ และเทอร์มัลนิวตรอนที่มีความเข้มต่ำ ภาพที่ได้สามารถดูได้จากจอภาพของไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็น

ข้อมูลภาพซึ่งติดตั้งบนไมโครคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์กลจับเคลื่อนชิ้นงานที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มความปลอดภัย

3. ปี ค.ศ. 1994 P. Chirco , P. Partemi , M. Zanarini , G. Baldazzi , G. Guidi , E. Querzola , M. Rossi , M.G. Scannavini , F. Casali , A. Garagnani , R. Rosa and A. Festinesi ได้ทำการวิจัยเรื่อง A NEUTRON TOMOGRAPHIC SYSTEM DEVELOPED AT THE ROME RESEARCH REACTOR ในงานวิจัยนี้กล่าวถึงการตรวจสอบแบบไม่ทำลายกับชิ้นงานตัวอย่างที่มีสารประกอบไฮโดรเจนอยู่ปริมาณน้อย ๆ โดยใช้เทอร์มอลนิวตรอน $2 \times 10^5 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ที่ผลิตจากเตาปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ENEA TRIGA RC II ณ กรุงโรม ประเทศอิตาลี เป็นต้นกำเนิดรังสี เมื่อเดินเครื่องที่ 1MW และคอลลิเมเตอร์มีค่า L/D เท่ากับ 30 ในการทดลองชิ้นงานจะถูกจับภาพผ่าน Thomson CSF neutron image intensifier ที่ต่อกับกล้อง CCD ซึ่งอุปกรณ์ชุดนี้ทำหน้าที่เสมือนหัววัดนิวตรอน ส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการตรวจสอบประมาณ 90 นาที (จำนวนข้อมูลประมาณ 120 โปรเจคชัน) แต่ในปัจจุบันได้มีการทดลองโดยใช้เวลาเพียง 60 นาทีสำหรับจำนวนข้อมูล 165 โปรเจคชัน เมื่อใช้ standard Solbourne SPARC 4 multi-user workstation

4. G. Matsumoto , K. Ohkubo and Y. Ikeda ได้ทำการวิจัยเรื่อง REAL-TIME IMAGING WITH LESS INTENSE NEUTRON BEAM ในการทดลองใช้ต้นกำเนิดรังสีที่ความแรงรังสีต่ำในการถ่ายภาพ real-time โดยใช้กล้อง orthicon tube เป็นตัวจับภาพ นิวตรอนฟลักซ์ที่ใช้อยู่ในช่วง 3×10^3 ถึง 3×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ผลจากการทดสอบพบว่าภาพเคลื่อนไหวของตัวอย่างที่ได้มีคุณภาพดีพอสมควรที่ระดับนิวตรอนฟลักซ์ 10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ขึ้นไป

5. ปี ค.ศ. 1988 Y. Ikeda , H. Sakai , K. Ohkubo and G. Matsumoto ได้ทำการวิจัยเรื่อง NEUTRON COMPUTED TOMOGRAPHY WITH A HIGH-SPEED IMAGE PROCESSOR ในงานวิจัยนี้ใช้ image processor ความเร็วสูงในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยข้อมูลที่ใช้เป็นภาพถ่าย radiography แบบ real-time ในการคำนวณสร้างจากข้อมูล 50-100 โปรเจคชัน ใช้เวลาประมาณ 20 นาที โดยภาพ CT ที่ได้มีวิโซลูชัน 1 มม.

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางในการพัฒนาการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน ซึ่งเป็นประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้ใช้นิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยของสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ปปว-1/1 เป็นต้นกำเนิดรังสีในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเพื่อเก็บข้อมูลเป็นหลัก มีบางกรณีที่ใช้รังสีแกมมาพลังงานต่ำในการถ่ายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้นิวตรอน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาคุณสมบัติและข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับนิวตรอนเสียก่อน โดยในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึงนิวตรอนโดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้ คุณสมบัติของนิวตรอน ชนิดของนิวตรอน ต้นกำเนิดนิวตรอน อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสาร และภาคตัดขวางของนิวตรอน

2.1.1 คุณสมบัติของนิวตรอน

อนุภาคนิวตรอนถูกค้นพบในปี ค.ศ.1932 โดย นายเจมส์ แชดวิก (James Chadwick) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ซึ่งทดลองนำพอลโลเนียม (Polonium) มาไว้ร่วมกับเบริลเลียม (Beryllium) เมื่ออนุภาคอัลฟาที่ปลดปล่อยออกจากพอลโลเนียมชนกับแผ่นเบริลเลียม จะมีการปลดปล่อยอนุภาคพลังงานสูงชนิดหนึ่งออกมา โดยตั้งชื่ออนุภาคชนิดใหม่นี้ว่า “นิวตรอน” อนุภาคนิวตรอน ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย n หรือ ${}_0^1n$ มีมวลประมาณ 1.0086654 หน่วยมวลอะตอม (atomic mass unit , amu) หรือ 1.67492×10^{-24} กรัม ซึ่งมากกว่าโปรตอนเล็กน้อย

2.1.2 ชนิดของนิวตรอน

เนื่องจากนิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ จึงไม่สามารถเร่งให้มีพลังงานสูงขึ้นได้ แต่สามารถเลือกช่วงพลังงานในการใช้งานได้ด้วยกระบวนการหน่วงนิวตรอน (Neutron moderation) ซึ่งเป็นการลดพลังงานของนิวตรอนจากพลังงานตั้งต้น โดยการให้นิวตรอนชนกับอะตอมของวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การกระเจิงต่อนิวตรอนสูง เช่น น้ำ น้ำมวลหนัก แกรไฟต์ และโพลีเอทิลีน เป็นต้น และเพื่อให้เข้าใจลักษณะการเกิดอันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสาร จำเป็นต้องจำแนกชนิดของนิวตรอนตามระดับพลังงาน ซึ่งอาจมีช่วงของพลังงานที่เหลื่อมกัน อนุภาคนิวตรอนแบ่งตามระดับพลังงานหรือช่วงของพลังงาน ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งชนิดของนิวตรอนตามระดับพลังงาน^[1]

ชนิดของนิวตรอน	ระดับพลังงาน
นิวตรอนช้า (Slow Neutron)	0.00 eV ถึง 10^3 eV
นิวตรอนเย็น (Cold Neutron)	< 0.01 eV
เทอร์มอลนิวตรอน (Thermal Neutron)	0.01 eV ถึง 0.3 eV
เอพิเทอร์มอลนิวตรอน (Epithermal Neutron)	0.3 eV ถึง 10^4 eV
เรโซแนนซ์นิวตรอน (Resonance Neutron)	1 eV ถึง 10^2 eV
นิวตรอนเร็ว (Fast Neutron)	10^3 eV ถึง 20 MeV
นิวตรอนสัมพัทธภาพ (Relativistic Neutron)	> 20 MeV

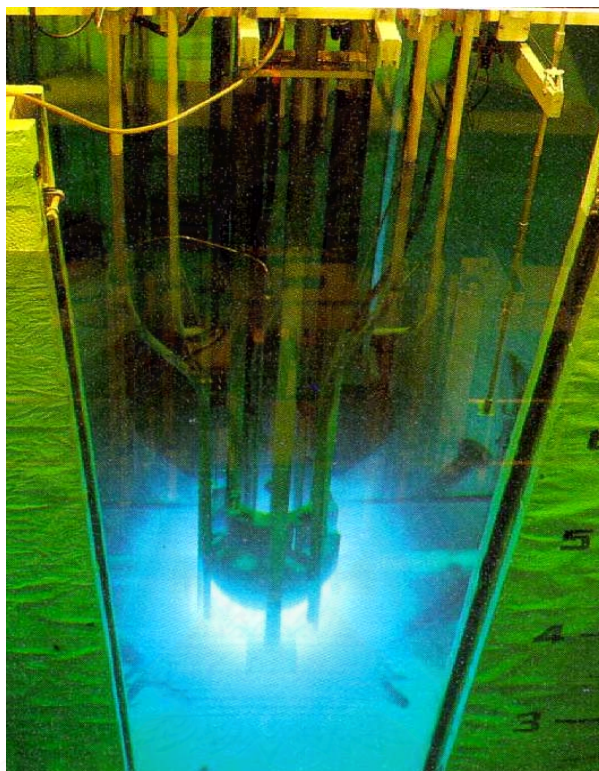
2.1.3 ต้นกำเนิดนิวตรอน

ในธรรมชาติจะมีนิวตรอนที่เกิดจากรังสีคอสมิก (Cosmic ray) ในอวกาศที่ผ่านชั้นบรรยากาศเข้าสู่โลกอยู่บ้าง โดยอนุภาคนิวตรอนอิสระที่เกิดขึ้นในบรรยากาศนั้นส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างอนุภาคโปรตอนพลังงานสูงซึ่งเป็นอนุภาคปฐมภูมิในรังสีคอสมิกกับนิวเคลียสของธาตุต่าง ๆ ในบรรยากาศ เช่น ไนโตรเจน และออกซิเจน อนุภาคนิวตรอนเหล่านี้จะพบได้มากแต่มีความเข้มข้นและพลังงานที่ไม่เหมาะสมจึงไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ สำหรับต้นกำเนิดนิวตรอนที่นิยมนำมาใช้งานนั้นแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

2.1.3.1. เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (Nuclear Research Reactor)

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยจากสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ปปว-1/1 เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน โดยนิวตรอนที่ได้เกิดจากปฏิกิริยาแตกตัวของ ยูเรเนียม-235 ซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบลูกโซ่ (Chain Reaction) พลังงานของนิวตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาแตกตัวมีค่าประมาณ 2 MeV แล้วถูกลดพลังงานลงมาเป็นเทอร์มอลนิวตรอนโดยมีน้ำเป็นตัวหน่วงพลังงานของนิวตรอน ในการควบคุมปริมาณนิวตรอนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์สามารถทำได้โดยการสอดแท่งควบคุมซึ่งทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนนิวตรอนสูงเข้าไปในแกนปฏิกรณ์เพื่อควบคุมปฏิกิริยาลูกโซ่ และทำการปรับระยะการใส่แท่งควบคุมให้เหมาะสมเพื่อรักษากำลังของเครื่องปฏิกรณ์ให้สม่ำเสมอ ความเข้มข้นนิวตรอนหรือนิวตรอนฟลักซ์ในเครื่องปฏิกรณ์ 10^{12} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที เมื่อเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดนิวตรอนประเภทอื่นแล้ว เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ให้ความเข้มข้นนิวตรอนสูงที่สุด

สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนเนื่องจากสามารถนำนิวตรอนเข้าในช่วงความเข้มสูง คือ $10^5 - 10^8$ นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที มาใช้ในการถ่ายภาพจึงใช้เวลาในการถ่ายภาพสั้นและให้ความคมชัดของภาพสูง โดยรายละเอียดอื่น ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1 ได้แสดงไว้ในบทที่ 3



รูปที่ 2.1 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1

2.1.3.2. เครื่องเร่งอนุภาค (Accelerator)

เป็นเครื่องผลิตนิวตรอนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยอุปกรณ์ชนิดนี้ ใช้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในการเร่งอนุภาคที่มีประจุหรือนิวเคลียสชนิดหนึ่งให้มีพลังงานสูงเพื่อให้ไปชนกับนิวเคลียสของอีกธาตุหนึ่งที่เป็นเป้า (Target) แล้วทำให้เกิดการปลดปล่อยนิวตรอนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาออกมา ปฏิกิริยาที่สำคัญได้แก่



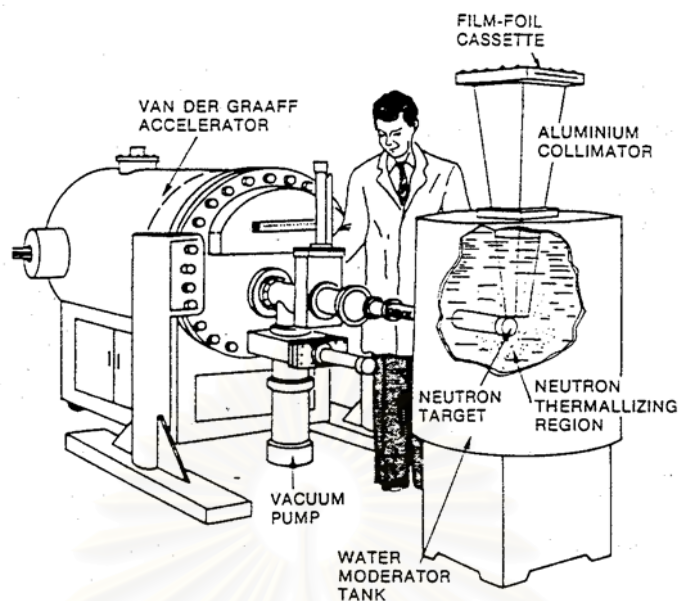


เครื่องเร่งอนุภาคหลายประเภทถูกนำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดนิวตรอน (Neutron Generator) เครื่องเร่งอนุภาคที่เป็นพื้นฐานของระบบถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดนิวตรอนเร็ว (Fast Neutron Generator) และอุปกรณ์สำหรับห้วงนิวตรอนเร็ว และนิวตรอนคอลลิเมเตอร์ (Neutron Collimator) สำหรับบังคับลำนิวตรอน เพื่อให้ได้ลำนิวตรอนที่เหมาะสมในการใช้ถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

เครื่องเร่งอนุภาคที่นิยมใช้ในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนมากที่สุด ได้แก่

- เครื่องเร่งอนุภาคศักดาไฟฟ้าต่ำ (Low Voltage Accelerator)
- เครื่องเอกซเรย์พลังงานสูง (High Energy X-ray Machine)
- เครื่องเร่งอนุภาคแวนเดอกราฟฟ์ (Van de Graaff Accelerator)
- เครื่องเร่งอนุภาคเชิงเส้นพลังงานสูง (High Energy Linear Accelerator) และไซโคลตรอน (Cyclotrons)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 เครื่องเร่งอนุภาคแบบแวนเดอกราฟฟ์

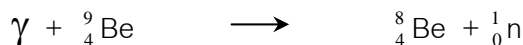
2.1.3.3. ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป (Isotropic Neutron Source)

ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทปรังสี แบ่งตามกระบวนการปลดปล่อยนิวตรอน ออกมาได้เป็น 3 ประเภท คือ

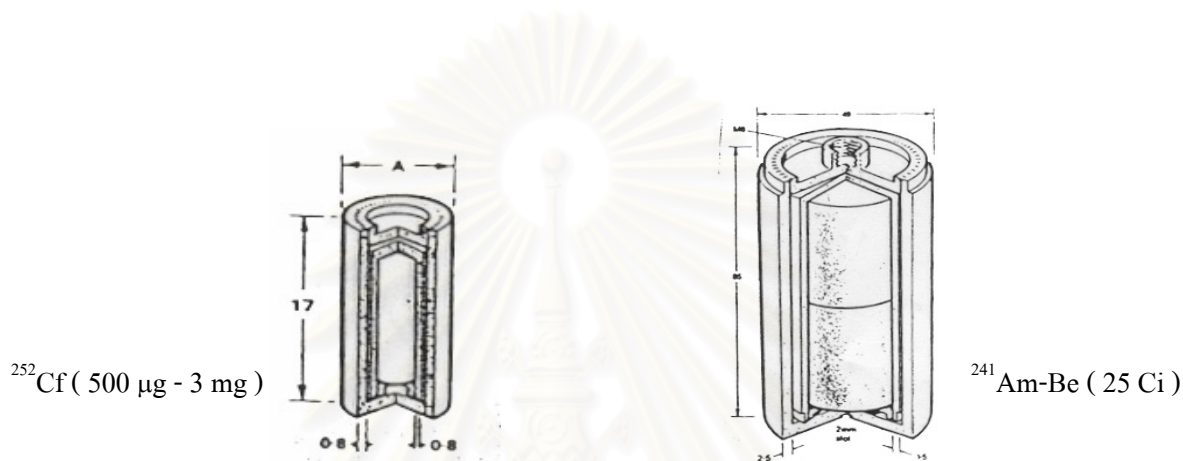
2.1.3.3.1 ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ได้จากไอโซโทปที่สลายตัวให้อนุภาคอัลฟา (Alpha Emitter Source) เป็นต้นกำเนิดนิวตรอนที่ผลิตนิวตรอนจากปฏิกิริยา (α, n) ซึ่งประกอบด้วยไอโซโทปรังสีที่สลายตัวให้อนุภาคอัลฟา เช่น เรเดียม-226 (^{226}Ra) พลูโตเนียม-238 (^{238}Pu) อะเมริเชียม-241 (^{241}Am)



2.1.3.3.2 ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ผลิตนิวตรอนจากปฏิกิริยาแกมมา-นิวตรอน (γ, n) นิวตรอนจากปฏิกิริยานี้ เป็นการผสมต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยรังสีแกมมาพลังงานสูงกว่า 1.67 MeV กับเบริลเลียม-9 เมื่อรังสีแกมมาชนนิวเคลียสของเบริลเลียม-9จะทำให้นิวตรอนหลุดออกมา



2.1.3.3.3 ต้นกำเนิดนิวตรอนที่ผลิตนิวตรอนจากปฏิกิริยาแตกตัวเอง (Self Fission หรือ Spontaneous Fission) เป็นต้นกำเนิดที่เกิดจากธาตุหนักบางชนิดตั้งแต่ ทอเรียมขึ้นไปเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน แตกตัวแบ่งนิวเคลียสเป็น 2 ส่วนได้เอง ลักษณะการแตกตัวจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง เช่น แคลิฟอร์เนียม-252 (Californium-252 , ${}^{252}\text{Cf}$)



รูปที่ 2.3 ภาพตัดขวางต้นกำเนิดอนุภาคนิวตรอน

2.1.4 อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสาร

นิวตรอนเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง เมื่อชนกับอะตอมจึงไม่ได้รับผลจากอิเล็กตรอนในอะตอมหรือจากประจุบวกของนิวเคลียส ดังนั้นนิวตรอนจึงทะลุผ่านกลุ่มอิเล็กตรอนเข้าทำอันตรกิริยากับนิวเคลียสโดยตรง โดยนิวตรอนสามารถเกิดอันตรกิริยากับตัวกลางได้หลายแบบโดยขึ้นอยู่กับพลังงานจลน์ของนิวตรอน และชนิดของตัวกลางเป็นสำคัญ โดยสรุปนิวตรอนสามารถเกิดอันตรกิริยากับตัวกลางต่าง ๆ ได้หลายแบบดังนี้

1. การกระเจิงแบบยืดหยุ่น (Elastic Scattering) การชนแบบนี้นิวตรอนจะเคลื่อนชนนิวเคลียสของอะตอมตัวกลางที่สภาวะปกติ (Ground State) แล้วนิวตรอนกระเจิง (Scatter) ออกมา โดยที่เปลี่ยนทิศทางและความเร็วไป ส่วนนิวเคลียสที่ถูกชนยังคงอยู่ที่สถานะพื้น การชนกับนิวเคลียสของอะตอมตัวกลางแบบนี้เป็นเพียงการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมเท่านั้น พลังงานจลน์และโมเมนตัมรวมของนิวตรอนและนิวเคลียสของตัวกลางก่อนชนและหลังชนมีค่าคงที่

อันตรกิริยานี้มีความสำคัญในการห้วงพลังงานนิวตรอนเร็วให้เป็นนิวตรอนช้า บางครั้งเรียกว่า "Potential Scattering" สัญลักษณ์ของอันตรกิริยานี้คือ (n, n)

2. การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (Inelastic Scattering) การชนของนิวตรอนกับนิวเคลียสของอะตอมแบบนี้มีลักษณะคล้ายการกระเจิงแบบยืดหยุ่นแต่นิวตรอนจะรวมกับนิวเคลียสที่ถูกชนกลายเป็นนิวเคลียสเชิงประกอบ (Compound Nucleus) แล้วปลดปล่อยนิวตรอนตัวหนึ่งออกมาโดยที่นิวเคลียสของตัวกลางอยู่ในสภาวะกระตุ้น (Excite State) เมื่อนิวเคลียสลดพลังงานกลับสู่สภาวะปกติ จะปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมาในอันตรกิริยานี้ พลังงานจลน์รวมก่อนและหลังชนมีค่าต่างกัน คือ พลังงานจลน์รวมภายหลังการชนที่ค่าลดลงเนื่องจากสูญเสียพลังงานจลน์ส่วนหนึ่งไปในรูปของรังสีแกมมา การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่นเป็น Threshold Reaction คือ นิวตรอนจะต้องมีพลังงานสูงพอที่จะทำให้นิวเคลียสอยู่ในสภาวะกระตุ้นได้ อันตรกิริยานี้จึงเกิดกับนิวตรอนพลังงานสูงและเป็นปฏิกิริยาชนิดดูดกลืนพลังงาน (Endothermic Reaction) ค่า Q ของปฏิกิริยาเป็นลบ เป็นอันตรกิริยาที่มีความสำคัญในการลดพลังงานของนิวตรอนเร็วให้เป็นนิวตรอนช้าเช่นกัน สัญลักษณ์ของอันตรกิริยานี้คือ (n, n')

3. อันตรกิริยาแบบจับนิวตรอน (Neutron Capture) หรือ ปฏิกิริยาดูดกลืนนิวตรอน (Neutron Absorption Reaction) อันตรกิริยานี้ นิวตรอนจะถูกจับโดยนิวเคลียสของตัวกลางกลายเป็นนิวเคลียสเชิงประกอบ (Compound Nucleus) ทำให้นิวเคลียสมีเลขมวลเพิ่มขึ้น 1 และมีพลังงานสูงกว่าสภาวะปกติ จึงปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา เรียกว่า Captured Gamma-rays หรือ Neutron captured Gamma-rays ซึ่งอาจมี 1 ตัวหรือมากกว่า อันตรกิริยาแบบจับนิวตรอนทุกปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาชนิดคายพลังงาน (Exothermic Reaction) ค่า Q ของปฏิกิริยาเป็นบวก เพราะค่าพลังงานยึดเหนี่ยว (Binding Energy) ของนิวเคลียสใหม่มากกว่าพลังงานนิวเคลียสเดิมรวมกับนิวตรอนเสมอ อันตรกิริยานี้มีความสำคัญในการผลิตไอโซโทปรังสีและการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคนิวตรอนแอกติเวชัน (Neutron Activation Analysis ; NAA) สัญลักษณ์ของอันตรกิริยานี้ คือ (n, γ)

4. ปฏิกิริยาแตกตัวหรือปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อนิวตรอนชนกับนิวเคลียสของธาตุหนักบางชนิด เช่น ยูเรเนียม-233 ยูเรเนียม-235 ยูเรเนียม-238 และรวมตัวเป็นนิวเคลียสเชิงประกอบที่มีพลังงานของนิวตรอนตัวสุดท้ายสูงกว่าพลังงานขีดเริ่มของการแตกตัวของนิวเคลียสเชิงประกอบ จึงทำให้นิวเคลียสเชิงประกอบแตกตัว

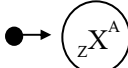

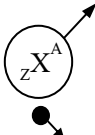
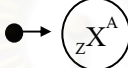

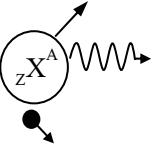
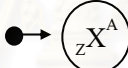

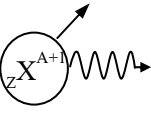
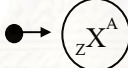

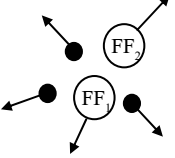
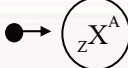

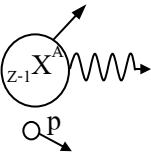
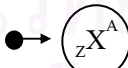

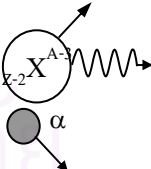
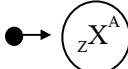

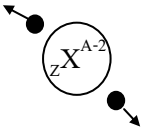
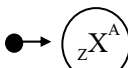

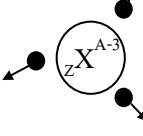
เป็น 2 ส่วน ได้นิวเคลียสที่มีมวลประมาณครึ่งหนึ่งของนิวเคลียสเดิม พร้อมกับให้อนุภาคนิวตรอนออกมา 2-3 ตัว ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาให้พลังงานสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (Nuclear Reactor) นิยมใช้สัญลักษณ์ของปฏิกิริยาเป็น (n, f)

5. อันตรกิริยาปลดปล่อยอนุภาคมีประจุ (Charged particle emission) เมื่อนิวตรอนชนกับนิวเคลียสของธาตุบางชนิด และรวมตัวเป็นนิวเคลียสเชิงประกอบแล้วจะปลดปล่อยอนุภาคมีประจุออกมา เช่น อนุภาคอัลฟา โปรตอน ปฏิกิริยาปลดปล่อยอนุภาคที่มีประจุนี้มีทั้งแบบปฏิกิริยาชนิดคายพลังงาน และปฏิกิริยาดูดพลังงาน แต่เกิดปฏิกิริยาชนิดคายพลังงานน้อย สัญลักษณ์ของอันตรกิริยานี้ คือ (n, α) และ (n, p)

6. ปฏิกิริยาผลิตนิวตรอน (Neutron-producing reaction) ปฏิกิริยานี้เกิดกับนิวตรอนพลังงานสูงประมาณ 10 MeV เพราะต้องดึงอนุภาคนิวตรอนออกจากนิวเคลียส เป็นปฏิกิริยาชนิดดูดกลืนพลังงาน ผลของปฏิกิริยาจะได้นิวตรอนมากกว่า 1 ตัว เช่น ปฏิกิริยา $(n, 2n)$ ปฏิกิริยา $(n, 3n)$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 อันตรกิริยาของนิวตรอนแบบต่าง ๆ

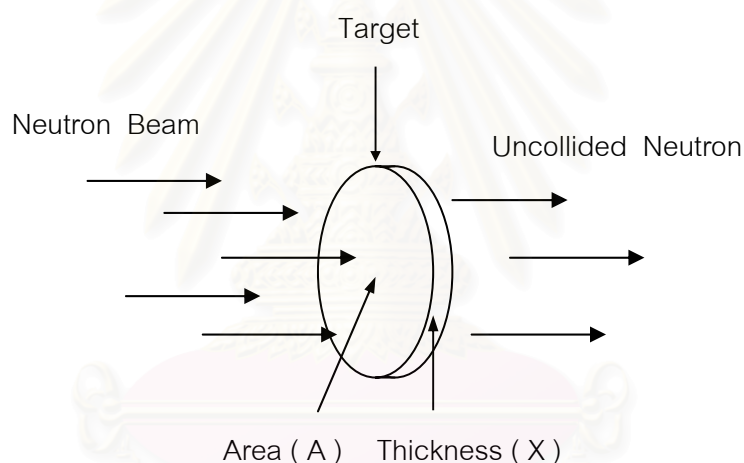
<u>Reaction</u>	<u>Before</u>	<u>Intermediate</u>	<u>After</u>
1. Elastic Scattering (n , n)			
2. Inelastic Scattering (n , n') or (n , n' γ)			
3. Capture (Radiative Capture) (n , γ) or (n , n' γ)			
4. Fission (n , f)			
5. Charged Particle Emission (n , p)			
Charged Particle Emission (n , α)			
6. Neutron Production (n , 2n)			
Neutron Production (n , 3n)			

2.1.5 ภาคตัดขวางของนิวตรอน (Neutron cross section)

โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับนิวเคลียสของตัวกลาง นิยมแสดงในเทอมของปริมาณที่เรียกว่า “ภาคตัดขวาง” (Cross Section) อธิบายได้โดย พิจารณาแผ่นวัสดุบางชนิดหนึ่ง มีพื้นที่หน้าตัด A มีความหนา X และมีความหนาแน่นอะตอม N อะตอมต่อหน่วยปริมาตร โดยที่มีลำนิวตรอน (Neutron Beam) ตกกระทบดังรูปที่ 2.4 ถ้ามีนิวตรอนจำนวน n นิวตรอนต่อหน่วยปริมาตร และมีความเร็ว v ดังนั้น

$$I = nv \quad (2.1)$$

เมื่อ I คือ ความเข้มของลำนิวตรอน (Intensity of Neutron Beam)



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการตกกระทบเป้าของลำนิวตรอน

ถ้า n มีหน่วยเป็นจำนวนนิวตรอนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร v มีหน่วยเป็นเซนติเมตรต่อวินาที ดังนั้น I จะมีหน่วยเป็น จำนวนนิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที

จำนวนนิวตรอนที่เคลื่อนผ่านเป้าพื้นที่ A ต่อวินาที เท่ากับ IA แต่จำนวนนิวตรอนที่เคลื่อนผ่านเป้าไม่ได้ทำอันตรกิริยากับอะตอมของเป้าทุกตัว ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอะตอม (N) ความหนาของเป้า (X) และค่าภาคตัดขวางจุลภาคของนิวตรอน (σ) ดังนั้นจำนวนอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นคำนวณได้จาก

$$\text{จำนวนอันตรกิริยาต่อวินาที} = IN\sigma AX \quad (2.2)$$

โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับนิวเคลียสของตัวกลาง หรือที่เรียกว่า ภาคตัดขวาง (Cross section) แบ่งความหมายได้ดังนี้

1. ภาคตัดขวางจุลภาค (Microscopic cross section ; σ) นิยมใช้เทอมนี้เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นเป้าบาง ภาคตัดขวางจุลภาค หมายถึง โอกาสที่นิวตรอนจะเกิดอันตรกิริยากับนิวเคลียสของตัวกลางต่อพื้นที่ มีหน่วยเป็นบาร์น (barn) โดย 1 บาร์น เท่ากับ 10^{-24} ตารางเซนติเมตร

เนื่องจากอันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสารมีหลายแบบดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นค่าภาคตัดขวาง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาของนิวตรอนกับนิวเคลียสของอะตอมจึงมีหลายค่าเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าผลรวมของภาคตัดขวางแต่ละชนิด คือ ภาคตัดขวางรวม

ถ้าให้ ค่าภาคตัดขวางรวม (Total Cross Section) ของนิวเคลียสชนิดหนึ่งต่อนิวตรอนแทนด้วย σ_t จะได้

$$\sigma_t = \sigma_{(n,n)} + \sigma_{(n,n')} + \sigma_{(n,\gamma)} + \sigma_{(n,p)} + \sigma_{(n,\alpha)} + \sigma_{(n,f)} + \dots\dots\dots$$

เมื่อ $\sigma_{(n,n)}$	คือ ภาคตัดขวางของปฏิกิริยาการชนแบบยืดหยุ่น
$\sigma_{(n,n')}$	คือ ภาคตัดขวางของปฏิกิริยาการชนแบบไม่ยืดหยุ่น
$\sigma_{(n,\gamma)}$	คือ ภาคตัดขวางของปฏิกิริยาแบบจับนิวตรอน
$\sigma_{(n,p)}$	คือ ภาคตัดขวางของปฏิกิริยาการเกิดอนุภาคโปรตอน
$\sigma_{(n,\alpha)}$	คือ ภาคตัดขวางของปฏิกิริยาการเกิดอนุภาคอัลฟา
$\sigma_{(n,f)}$	คือ ภาคตัดขวางของปฏิกิริยาแตกตัวหรือปฏิกิริยาฟิชชัน

ค่าภาคตัดขวางรวมประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

- ภาคตัดขวางจุลภาคของการกระเจิง (Microscopic scattering cross section ; σ_s) คือ ผลรวมของภาคตัดขวางจุลภาคของปฏิกิริยาการชนแบบยืดหยุ่น และไม่ยืดหยุ่น
- ภาคตัดขวางจุลภาคของการดูดกลืน (Microscopic absorption cross section ; σ_a) คือ ผลรวมของภาคตัดขวางจุลภาคของปฏิกิริยาการจับนิวตรอน การแตกตัว การปล่อยอนุภาคที่มีประจุ และการผลิตนิวตรอน

2. ภาคตัดขวางมหภาค (Macroscopic cross section ; Σ) หมายถึงโอกาสที่นิวตรอนจะเกิดอันตรกิริยากับนิวเคลียสของตัวกลางต่อระยะทาง มีหน่วยเป็นต่อเซนติเมตร (cm^{-1}) ค่าภาคตัดขวางมหภาคของตัวกลางต่อนิวตรอน มีค่าเทียบได้กับค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านเชิงเส้น (Linear Attenuation Coefficient, μ) ของโฟตอน ดังนั้น ค่า Σ/ρ จึงมีค่าเทียบเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านเชิงมวล (Mass Attenuation Coefficient , Σ/ρ) ของโฟตอน

Σ เป็นค่าเฉพาะสำหรับแต่ละไอโซโทป สำหรับธาตุและวัสดุ ค่า Σ ขึ้นอยู่กับไอโซโทปต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นธาตุหรือวัสดุเหล่านั้น Σ ของแต่ละไอโซโทปสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\Sigma = N\sigma \quad (2.3)$$

เมื่อ N คือ ความหนาแน่นอะตอมของไอโซโทปในหน่วย อะตอม / ซม.³

σ คือ ค่าภาคตัดขวางจุลภาค (Microscopic Cross Section) ของอะตอมของไอโซโทป มีหน่วยเป็น บาร์น (barn , b)

ค่าภาคตัดขวางของวัสดุที่มีส่วนประกอบหลายไอโซโทปและหลายธาตุ สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \Sigma_{\text{mix}} &= \Sigma_1 + \Sigma_2 + \Sigma_3 + \dots \\ \text{เพราะฉะนั้น} \quad \Sigma_{\text{mix}} &= N_1\sigma_1 + N_2\sigma_2 + N_3\sigma_3 + \dots \quad (2.4) \end{aligned}$$

เมื่อ Σ_{mix} คือ ค่าภาคตัดขวางมหภาคของวัสดุ

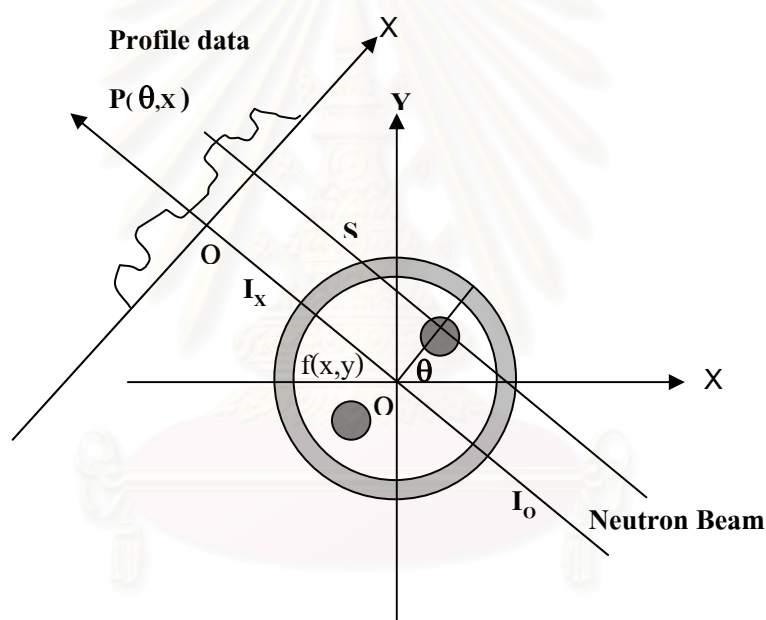
$\Sigma_1, \Sigma_2, \Sigma_3, \dots$ คือ ค่าภาคตัดขวางมหภาคของไอโซโทป หรือธาตุที่ 1, 2, 3, ตามลำดับ

N_1, N_2, N_3, \dots คือ ความหนาแน่นอะตอมของไอโซโทป หรือธาตุที่ 1, 2, 3, ตามลำดับ

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$ คือ ค่าภาคตัดขวางจุลภาคต่ออันตรกิริยาที่สนใจของไอโซโทป หรือธาตุที่ 1, 2, 3, ตามลำดับ

2.2 การคำนวณสร้างภาพแบบคอนโวลูชัน ฟิเตอร์ แบคโปรเจกชัน^[2]

หลักการสร้างภาพโทโมกราฟีนั้นพิจารณาจากคุณสมบัติการทะลุผ่านของรังสีต่อวัตถุ โดยวัตถุสามารถหมุนรอบตัวเองได้ด้วยมุมน้อย ๆ ภาพถ่ายรังสีของวัตถุแต่ละครั้งต่อการหมุนไปด้วยมุมน้อย ๆ นี้ หมายถึง ภาพถ่ายรังสีของวัตถุที่มุมต่าง ๆ กันโดยรอบวัตถุ ข้อมูลค่าความดำที่อ่านได้ของแต่ละภาพ เรียกว่า ข้อมูลโปรไฟล์ (profile data) หรือ ข้อมูลโปรเจกชัน (projection data) แสดงหลักการของการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยการกำหนดให้วัตถุวางบนระนาบ (x,y) และมีจุด 0 เป็นจุดหมุน แนวแกนของวัตถุทำมุมกับแนวแกน x รังสีลำขนานออกจากต้นกำเนิดรังสีตัดผ่านวัตถุถึงอุปกรณ์รับภาพด้วยระยะทาง S จากรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงโปรไฟล์ของชิ้นงานจากการส่งผ่านรังสี

กำหนดให้ I_0 และ I เป็นความเข้มของรังสีก่อนและหลังทะลุผ่านวัตถุตามลำดับ ซึ่งการลดลงของความเข้มของรังสีเป็นไปตามสมการที่ 2.5 ดังต่อไปนี้

$$I = I_0 \exp \left[- \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) ds \right] \quad (2.5)$$

โดยฟังก์ชัน $f(x,y)$ คือสัมประสิทธิ์การลดทอน (attenuation coefficient) ของรังสีที่พลังงานนั้นต่อวัตถุ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนระนาบ (x,y) และจากสมการที่ 2.5 สามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.6 ดังต่อไปนี้

$$p(\theta, X) = \ln \left[\frac{I_0}{I} \right] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x,y) ds \quad (2.6)$$

ในที่นี้ $P(\theta, X)$ คือข้อมูลโปรไฟล์ที่มุมใด ๆ ซึ่งข้อมูลแต่ละจุดบนแนวแกน x ของวัตถุที่เกิดจากรังสีแต่ละเส้นตัดผ่าน เรียกว่า เรย์ซัม (ray-sum)

ข้อมูลโปรไฟล์ของค่าความดำที่อ่านได้นั้น ยังไม่สามารถนำไปเป็นข้อมูลที่จะใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ โดยต้องมีการปรับแก้ค่าใหม่ (data correction) ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอ็กซ์ต่อวัตถุอย่างแท้จริง โดยการปรับแก้ค่าจากความแรงรังสีพื้นฐาน (background, B) ดังสมการที่ 2.7

$$p'(\theta, X) = \ln \left[\frac{I_0 - B}{I - B} \right] \quad (2.7)$$

เมื่อประยุกต์ทฤษฎีของการแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) และการคอนโวลูชัน (convolution) จากสมการที่ 2.6, 2.7 จึงเขียนรูปสมการใหม่ได้เป็นสมการที่ 2.8 ดังต่อไปนี้

$$f(X,Y) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} p'(\theta, X) \cdot H(x-x') d x' d \theta \quad (2.8)$$

โดยฟังก์ชัน $H(X)$ คือ ฟิลเตอร์ฟังก์ชัน (filter function) ในที่นี้เลือกใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp & Logan วิธีการคำนวณแบบนี้เรียกว่า “คอนโวลูชัน ฟิลเตอร์ แบคโปรเจกชัน” (convolution filter backprojection)

2.2.1 วิธีการกรองด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan

สำหรับการกรองข้อมูลโปรไฟล์ด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชันนั้นเป็นการนำข้อมูลโปรไฟล์แต่ละโปรไฟล์มาปรับด้วยการคำนวณสมการของ Shepp-Logan ดังต่อไปนี้

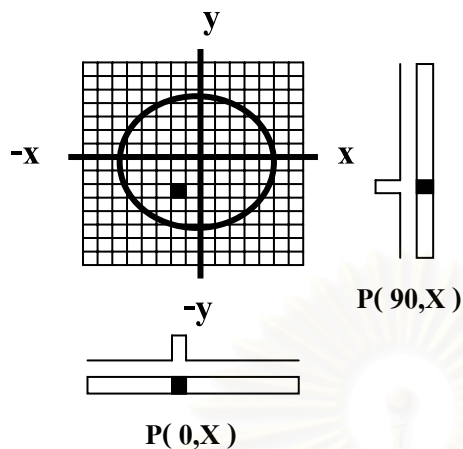
$$H(X) = \left[\frac{2}{\pi^2 d(1-4X^2)} \right] \quad (2.9)$$

เมื่อ d คือ ระยะห่างระหว่างเรย์ซิม และ X คือ เลขจำนวนเต็ม ได้แก่ $0,1,2,\dots$ ดังนั้นเมื่อปรับปรุงข้อมูลโปรไฟล์ $P(\theta, X)$ โดยการคูณด้วยสมการ 2.9 แล้วจึงนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป

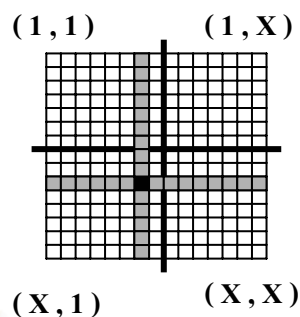
2.2.2 วิธีการแบคโปรเจคชัน (backprojection)

เมื่อเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากการวัดความเข้มของรังสีนิวตรอนที่ทะลุผ่านตัวกลางที่มุ่มต่างๆแล้วนำมาปรับแก้โปรไฟล์ด้วยค่าแบคกราวด์ (background) และเลือกใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp-Logan จะได้โปรไฟล์ใหม่ที่เหมาะสำหรับนำไปคำนวณสร้างภาพตัดขวาง การที่จะสร้างเป็นภาพนั้นมีกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและยุ่งยากพอสมควร เพื่อให้เกิดความเข้าใจพอสังเขป พิจารณารูปที่ 2.6 จากรูปทางด้านซ้ายมือจะเห็นวัตถุตัวอย่างวางอยู่บนระนาบ (x,y) โดยจุดหมุนวางทับจุดกำเนิดของระนาบ ที่ขีดตารางบนระนาบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ด้านล่างมีลำรังสีนิวตรอนทะลุผ่านวัตถุโดยทำมุม 0 องศา กับแนวแกนหมุนของวัตถุ ดังนั้นจึงได้ข้อมูลโปรไฟล์ของแต่ละมุมเป็น $P(0,X)$ และ $P(90,X)$ ตามลำดับ เรียกกรุปทางด้านซ้ายมือนี้ว่า “ระบบโพลีชัน (position system)” พิจารณารูประนาบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทางด้านขวามือซึ่งแบ่งเป็นตารางที่มีขนาดและจำนวนเท่ากับรูปทางขวามือ แต่ละจุดบนระนาบกำหนดตำแหน่งโดยเรียงลำดับจากมุมบนด้านซ้าย เริ่มจาก $(1,1)$ สุดขอบทางด้านขวาที่จุด $(1,X)$ สุดขอบซ้ายด้านล่างที่จุด $(X,1)$ สุดขอบทางด้านขวาล่างที่จุด (X,X) ในที่นี้ X หมายถึง จำนวนเรย์ซิมในหนึ่งโปรไฟล์ เมื่อนำข้อมูลเรย์ซิมแต่ละจุดที่ตรงกัน ณ มุมต่างๆ มารวมกันก็จะเกิดเป็นภาพขึ้นมา ระบบที่ทำให้เกิดเป็นภาพโทโมกราฟีทางด้านขวามือเรียกว่า “ระบบเมตริกซ์ (matrix system)” ดังนั้นวิธีแบคโปรเจคชันจึงเป็นการแปลงจากระบบโพลีชันไปเป็นระบบเมตริกซ์นั่นเอง

Position System



Matrix System



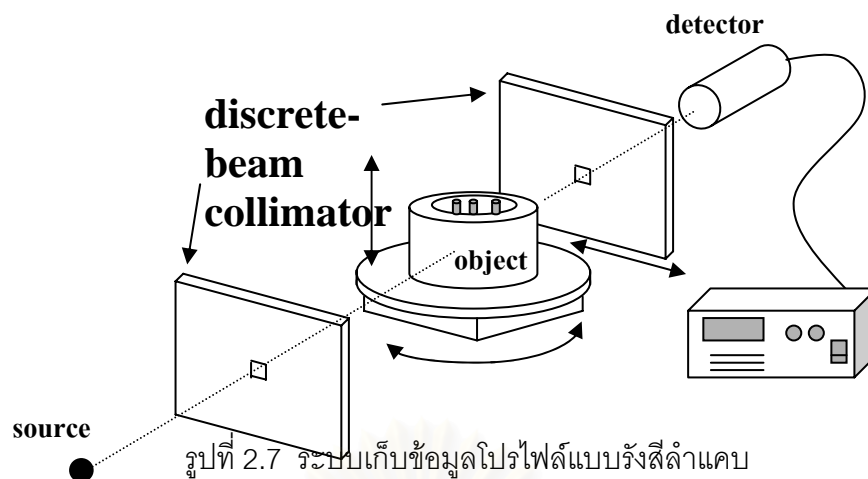
รูปที่ 2.6 แผนภาพวิธีการแบคโปรเจคชัน (backprojection)

2.3 เทคนิคการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีอาจจัดระบบการเก็บข้อมูลได้ 3 วิธี ดังนี้

2.3.1. วิธีสแกนแบบรังสีลำแคบ (narrow beam)

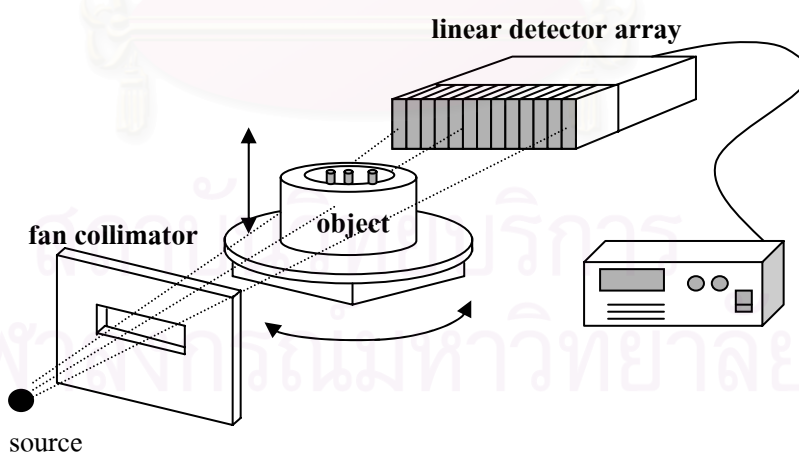
ลักษณะการทำงานของวิธีสแกนแบบรังสีลำแคบนี้ คือ การใช้ลำรังสีที่พุ่งออกจากแหล่งกำเนิดรังสีซึ่งจำกัดขนาดให้เป็นลำแคบ ทะลุผ่านวัตถุแล้วตกกระทบหัววัดรังสีซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามและจำกัดขนาดลำรังสีเช่นกัน การสแกนด้วยวิธีนี้กำหนดให้วัตถุเคลื่อนที่ผ่านลำรังสีไปจนสุดขอบของวัตถุ จากนั้นหมุนวัตถุไปด้วยมุมน้อย ๆ จึงสแกนย้อนกลับมาที่จุดเดิม ระยะห่างของแต่ละจุดที่สแกนเป็นเส้นตรงขณะทำการวัดรังสีกำหนดให้ห่างกันเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรังสีลำแคบนั้น ๆ เรียกปริมาณรังสีแต่ละจุดว่า “เรย์ซิม” การสแกนผ่านวัตถุต่อการหมุนของวัตถุด้วยมุมน้อย ๆ นั้นประกอบไปด้วยหลาย ๆ เรย์ซิม เรียกว่า “โปรไฟล์” การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์นั้นจะต้องกำหนดให้วัตถุหมุนจากมุม 0-180 องศา เป็นอย่างน้อย



รูปที่ 2.7 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบรังสีลำแคบ

2.3.2. วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัด (fan beam)

เนื่องจากวิธีสแกนแบบรังสีลำแคบ ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างนาน จึงได้มีการพัฒนาวิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัดขึ้นมา เพื่อลดเวลาในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ให้น้อยลง โดยใช้ลำรังสีเป็นรูปพัด และหัววัดรังสีเป็นแบบแถว (linear detector array) หลักการทำงานจะคล้าย ๆ กับวิธีแรก แตกต่างกันตรงที่เมื่อวัตถุหมุนไปแต่ละครั้งจะสามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์ได้เลยจึงเป็นผลให้วิธีนี้ใช้เวลาสั้นลง ส่วนในการออกแบบสร้างเป็นระบบเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้ สามารถออกแบบให้วัตถุตัวอย่างหมุนรอบตัวเพียงอย่างเดียว โดยต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสียึดอยู่กับที่หรือออกแบบให้วัตถุตัวอย่างยึดอยู่กับที่ แต่ต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสีหมุนรอบวัตถุ

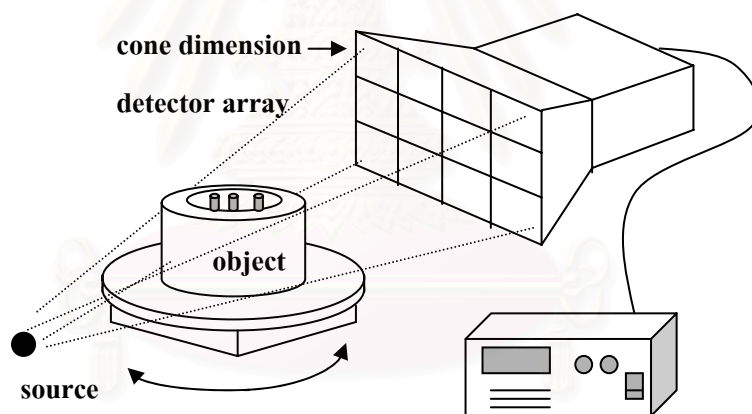


รูปที่ 2.8 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีรูปพัด

2.3.3. วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย (cone beam)

การเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้เป็นการถ่ายภาพวัตถุซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดทั้งในแนวแกนนอนกับแกนตั้ง ซึ่งลำรังสีที่ใช้นั้นมีลักษณะเป็นรูปกรวยที่ออกจากต้นกำเนิดรังสี สำหรับส่วนรับข้อมูลนั้นอาจใช้เป็นหัววัดรังสีที่มีลักษณะเรียงกันเป็นแถว หลาย ๆ แถว หรืออาจใช้แผ่นเรืองแสงรับภาพโดยมีกล้องโทรทัศน์จับภาพ และแสดงภาพบนจอมอนิเตอร์ จึงทำให้ได้ภาพถ่ายของวัตถุทั้งชิ้นในการถ่ายภาพหนึ่งครั้งต่อหนึ่งมุม โดยข้อมูลภาพถ่ายที่ได้สามารถนำไปเลือกช่วงแถว (row) ข้อมูลที่ต้องการนำไปสร้างภาพโทโมกราฟีได้ และถ้าหากต้องการเปลี่ยนช่วงแถว ข้อมูลที่สนใจก็สามารถทำได้โดยไม่ต้องทำการเก็บข้อมูลใหม่ จึงทำให้การเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้ใช้เวลาน้อยกว่าสองวิธีข้างต้น ซึ่งอาจเรียกระบบนี้ว่า “ระบบโทรทัศน์ (television system)”

โดยงานวิจัยนี้ได้นำหลักการของระบบโทรทัศน์มาใช้ในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของภาพ เพื่อนำไปสร้างภาพโทโมกราฟี และศึกษาเทคนิคการเก็บข้อมูลเพื่อสำหรับพัฒนาระบบเก็บข้อมูลให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น



รูปที่ 2.9 ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีรูปกรวย

บทที่ 3

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย

3.1.1.1 เทอร์มัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ

3.1.1.2 ต้นกำเนิดรังสี Am-241 ความแรงแรังสี 100 มิลลิวูรี

3.1.2 ชุดอุปกรณ์มองภาพนิวตรอน ประกอบด้วย

3.1.2.1 กล้องมองภาพนิวตรอน

3.1.2.2 กล้องโทรทัศน์

3.1.3 หน่วยประมวลผล ประกอบด้วย

3.1.3.1 ไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel PentiumIII 733 MHz พร้อมจอภาพ VGA และการ์ดแสดงผล NVIDIA TNT2 Model 64

3.1.3.2 แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพเลือกใช้ชนิด PixelView Play TVpro ของ PROLINK

3.1.4 ชุดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วย

3.1.4.1 อุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับชุดขับสเต็ปมอเตอร์

3.1.4.2 อุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรขับสเต็ปมอเตอร์กับชุดอุปกรณ์หมุนชิ้นงานตัวอย่าง

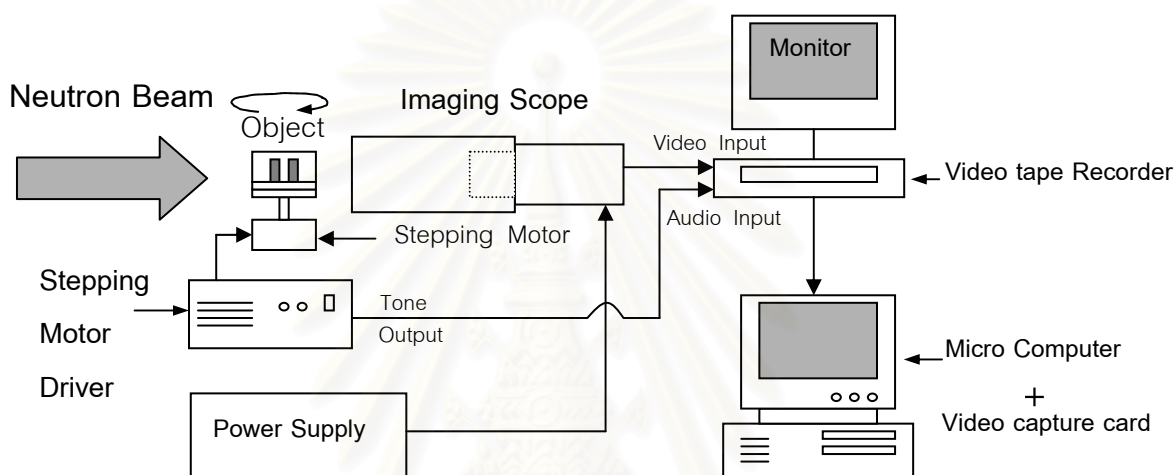
3.1.5 ชุดอุปกรณ์หมุนชิ้นงานตัวอย่าง

3.1.6 เครื่องวัดทัศน และเทปบันทึกภาพ

3.1.7 ชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 การทำงานของระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอน โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

ระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนที่พัฒนาขึ้น ได้ออกแบบให้สามารถถ่ายภาพชิ้นงานตัวอย่างที่มีขนาดเล็กด้วยเทอร์มินัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย พร้อมกับเก็บข้อมูลแบบ Real-Time ลงในเทปบันทึกภาพ และแสดงผลบนจอภาพของไมโครคอมพิวเตอร์ในขณะเดียวกัน โดยแผนภาพของระบบเก็บข้อมูลแสดงไว้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการจัดระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอน

การทำงานของระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน แบ่งออกเป็นสองส่วน

ส่วนแรกเป็นการจัดระบบเก็บข้อมูลโดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ผ่านลำบั้งคืบนิวตรอนไปยังชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ นิวตรอนที่ทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่างจะมีความเข้มลดลง เนื่องจากการดูดกลืนและการกระเจิงของนิวตรอนในชิ้นงานตัวอย่าง นิวตรอนที่ผ่านชิ้นงานตัวอย่างออกมานี้จะเกิดอันตรกิริยากับ Li-6 ในฉากเรืองรังสีชนิด (ZnS(Ag))/Li ที่อยู่ด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอน แล้วให้อนุภาคอัลฟา ออกมา จากนั้นอนุภาคอัลฟาที่ได้ก็จะทำปฏิกิริยากับ ZnS(Ag) เกิดการเรืองแสงขึ้น อุปกรณ์ทวีความเข้มแสง (Image Intensifier) จะเพิ่มความเข้มแสงให้มากพอที่จะทำให้เกิดภาพ บนจอมมองภาพ (Phosphor Screen) ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นภาพดังกล่าวจะถูกจับด้วยกล้องโทรทัศน์และบันทึกสัญญาณภาพลงในแถบวิดีโอและแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์ ในการเก็บ

ข้อมูลของชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้นนั้น ชิ้นงานจะถูกหมุนด้วยชุดอุปกรณ์หมุนชิ้นงานตัวอย่างที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้หมุนไปเป็นมุมทีละน้อย จนครบอย่างน้อย 180 องศา โดยในแต่ละมุมระบบจะบันทึกสัญญาณภาพจำนวน 1 เฟรม และสัญญาณเสียงบอกลำดับของโปรไฟล์ที่สอดคล้องกับการหมุนในแต่ละครั้งควบคู่ไปด้วย

ในส่วนที่สองจะเป็นการแปลงสัญญาณภาพที่ได้จากแถบวิดีโอให้เป็นข้อมูลภาพที่มีความละเอียด 384 x 288 พิกเซล (pixel) โดยใช้แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพ (Video Capture Card) ที่ติดตั้งบนไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อเลือกตำแหน่งและช่วงของข้อมูลภาพที่ต้องการนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยผ่านกระบวนการรวมเฟรม (frame integral) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลโปรไฟล์ในแต่ละมุม แล้วเก็บบันทึกข้อมูลดังกล่าวลงบนหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีบนไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไป

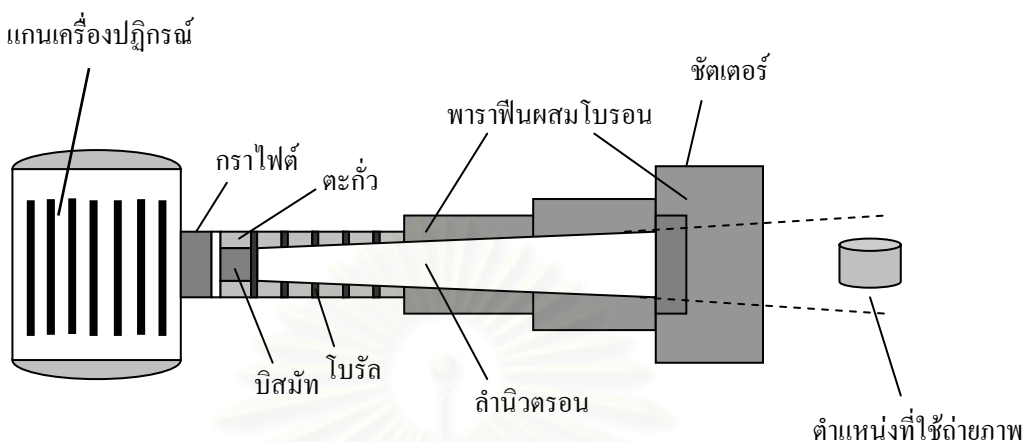
3.3 ต้นกำเนิดนิวตรอน

นิวตรอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากปฏิกิริยาแตกตัว (Fission) ของยูเรเนียม - 235 ในแท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ซึ่งติดตั้งที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูรุ่น TRIGA MARK III มีกำลังในการเดินเครื่องสูงสุด 2 เมกกะวัตต์

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ในขณะที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ ซึ่งมีความเข้มนิวตรอนภายในแกนปฏิกรณ์ 2.9×10^{13} นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที โดยตำแหน่งที่ใช้ถ่ายภาพอยู่ห่างจากปลายท่อแนะนำนิวตรอน 50 เซนติเมตร ซึ่งลำนิวตรอนที่ส่งผ่านออกมาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20 เซนติเมตร x 17 เซนติเมตร ที่มีความเข้มของนิวตรอนประมาณ 5.55×10^5 นิวตรอนต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที

เทอร์มัลนิวตรอนที่ใช้ในการถ่ายภาพได้จากการลดพลังงานของนิวตรอนจากปฏิกิริยาแตกตัว โดยอะตอมไฮโดรเจนที่เป็นองค์ประกอบของน้ำภายในแกนปฏิกรณ์ และถูกส่งผ่านไปบริเวณที่ใช้ทำการทดลองถ่ายภาพทางท่อนำนิวตรอน โดยท่อนำนิวตรอนนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว และมีความยาว 265 เซนติเมตร ซึ่งภายในท่อประกอบไปด้วย กราไฟต์ สำหรับลดพลังงานของนิวตรอน บิสมัทสำหรับลดปริมาณของรังสีแกมมา และ โบรล (Boral) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างอลูมิเนียมและโบรอน สำหรับบังคับลำนิวตรอน ปลายด้านนอกของท่อมีซีต-เตอร์ สำหรับเปิดปิดท่อนำนิวตรอน ทำด้วยโพลีเอทิลีน (Polyethylene) หุ้มด้วยเหล็ก โดยมี

อัตราส่วนความยาวของท่อนำนิวตรอนต่อความกว้างของช่องเปิดด้านในของท่อ (L/D Ratio) มีค่า 50 และ 60



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบภายในท่อนำนิวตรอน

3.4 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

ต้นกำเนิดรังสีแกมมาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ต้นกำเนิดรังสี อเมริเซียม-241 (Am-241) โดยเป็นต้นกำเนิดรังสีแบบจุด สลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 60 keV มีความแรงรังสี 100 มิลลิวูรี่ (3.7×10^9 เบคเคอเรล) ในการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมานั้นมีหลักการเหมือนกับการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แต่จะแตกต่างกับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ตรงที่สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาขึ้นกับเลขอะตอม แต่สัมประสิทธิ์การลดทอนของนิวตรอน ขึ้นกับภาคตัดขวางของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับนิวไคลด์ของธาตุนั้นๆซึ่งไม่ขึ้นกับเลข อะตอม

เนื่องจาก ต้นกำเนิดรังสี อเมริเซียม-241 (Am-241) ไม่สามารถปรับค่าพลังงานได้ ดังนั้นในการถ่ายภาพจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของภาพ ทั้งเรื่องของความคมชัดและความเปรียบต่าง อันได้แก่ เลขอะตอมและความหนาของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานตัวอย่าง รวมทั้งระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับอุปกรณ์รับภาพ ซึ่งในที่นี้ก็คือ กล้องมองภาพนิวตรอน



รูปที่ 3.3 ภาพขณะบรรจุต้นกำเนิดรังสี อเมริเซียม-241 (Am-241)

3.5 กล้องมองภาพนิวตรอน

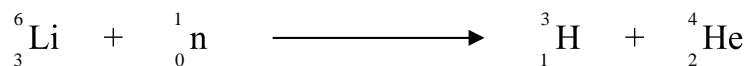
กล้องมองภาพนิวตรอนถือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากสำหรับงานวิจัยนี้ โดยพื้นที่ด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนมีลักษณะเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตรโดยขนาดของชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบนั้นจะต้องมีทั้งขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงไม่เกิน 3 เซนติเมตร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเทคนิคการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ เป็นการถ่ายภาพของชิ้นงานทั้งชิ้นในแต่ละมุม เพื่อจะได้ข้อมูลภาพที่สามารถเลือกตำแหน่งของชิ้นงานที่สนใจไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้

หลักการเกิดภาพของกล้องมองภาพนิวตรอน คือ เมื่อดำนิวตรอนตกกระทบบนชิ้นงานตัวอย่างแล้ว ความเข้มของนิวตรอนจะถูกลดทอนลงไป เนื่องจากอันตรกิริยาการดูดกลืน (Absorption) และการกระเจิง (Scattering) โดยนิวตรอนที่ทะลุผ่านออกมาจะไปเกิดอันตรกิริยากับลิเทียม-6 ใน ฉากรังสีชนิด ZnS(Ag) / Li ที่อยู่บริเวณด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนแล้วให้อนุภาคอัลฟาออกมา โดยอนุภาคอัลฟาที่ได้จะเกิดอันตรกิริยากับสังกะสีซัลไฟด์เกิดการเรืองแสงขึ้น แต่เนื่องจากแสงที่ได้มีความเข้มต่ำจึงต้องผ่านอุปกรณ์ทวีความเข้มของภาพ (Image Intensifier) เพื่อให้ภาพที่ปรากฏบนจอมองภาพของกล้องมองภาพนิวตรอนมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงใช้กล้องโทรทัศน์จับภาพจากจอมองภาพ เพื่อแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ต่อไป

ลักษณะเด่นของกล้องชนิดนี้ คือ สามารถมองเห็นภาพในขณะที่เก็บข้อมูลได้ทันที หรือที่เรียกว่า แบบ Real-Time ตัวกล้องมองภาพนิวตรอนมีลักษณะที่สามารถเคลื่อนย้ายหรือพกพาไปได้สะดวกจึงสามารถนำไปใช้ในการถ่ายภาพรังสีในภาคสนามได้และกล้องชนิดนี้ยังสามารถ ใช้ ถ่ายภาพด้วยต้นกำเนิดรังสีทั้งจากรังสีแกมมาและนิวตรอน

ส่วนประกอบของกล้องมองภาพนิวตรอนแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. ฉากรังสีชนิดสังกะสีซัลไฟด์ (ZnS(Ag)) ผสม ลิเทียม-6 (Li-6) ที่อยู่บริเวณด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรังสีแกมมาหรือนิวตรอนที่ทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่างออกมาให้เป็นแสงเพื่อที่จะทำปฏิกิริยากับอุปกรณ์รับภาพได้ โดย ลิเทียม-6 ทำหน้าที่ในการดูดกลืนนิวตรอนแล้วให้อนุภาคอัลฟาพลังงานสูงแต่พิสัยต่ำ ดังปฏิกิริยา

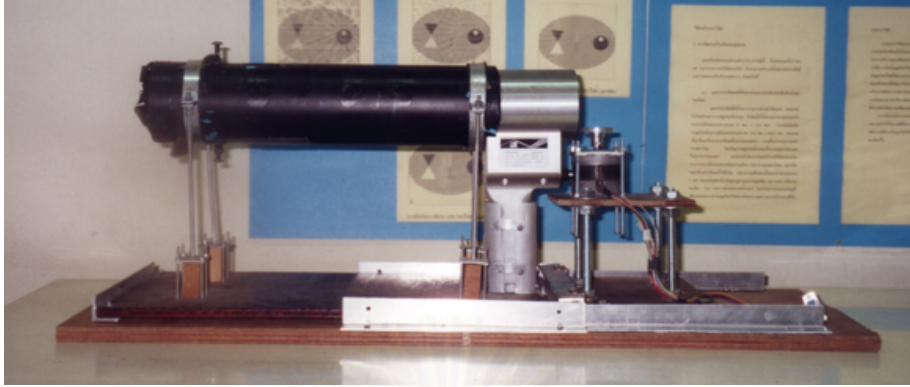


ส่วนสังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) เป็นสารเรืองแสง ซึ่งจะให้แสงออกมาในช่วงแสงสีน้ำเงิน ความยาวคลื่นประมาณ 450 นาโนเมตร^[3] ภายหลังจากการถูกกระตุ้นด้วยอนุภาคอัลฟา

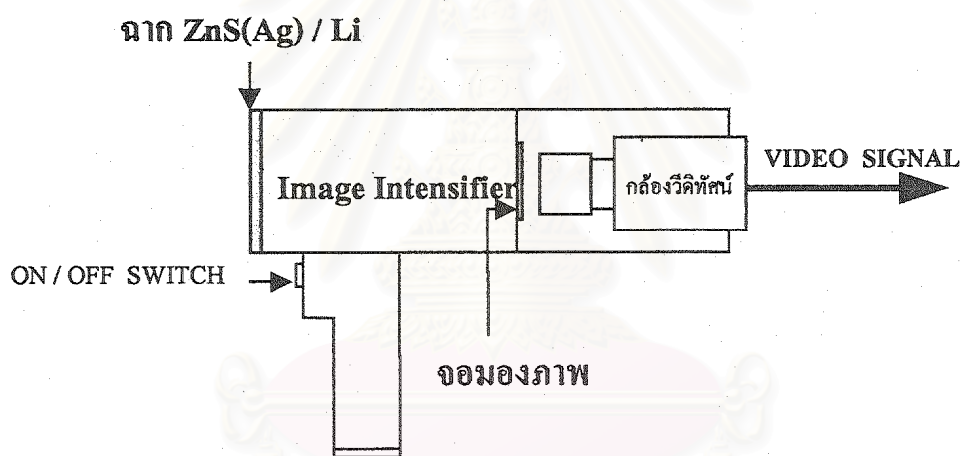
2. อุปกรณ์ทวีความเข้มแสง (Image Intensifier) ทำหน้าที่ในการเพิ่มความเข้มของแสงที่ได้จากฉากเรืองสีให้มีความเข้มมากขึ้นเพื่อให้ได้ภาพไปปรากฏบนจอมมองภาพ (Phosphor Screen) ของกล้องมองภาพนิวตรอนได้



รูปที่ 3.4 กล้องมองภาพนิวตรอน



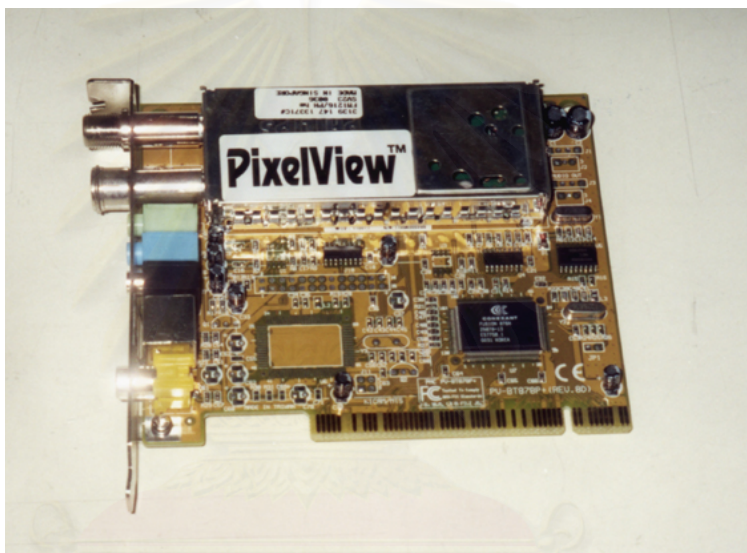
รูปที่ 3.5 ชุดถ่ายภาพนิวตรอน และอุปกรณ์หมุนขึ้นงานควบคุมจากระยะไกล



รูปที่ 3.6 แผนภาพส่วนประกอบต่างๆ ภายในกล้องมองภาพเมื่อเชื่อมต่อกับกล้องวิดีโอ

3.6 แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพ

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพ PixelView Play TV pro ของ PROLINK ในการนำสัญญาณภาพที่ได้เป็นจากแถบวิดีโอที่คนไปแปลงเป็นข้อมูลภาพโดยผ่านแผงวงจรดังกล่าว เพื่อนำข้อมูลภาพที่ได้ไปแสดงผลยังจอภาพบนไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงเลือกช่วงข้อมูลโปรไฟล์ที่สนใจ โดยโปรแกรมเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมแล้วนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยไม่ต้องบันทึกไฟล์ภาพทั้งไฟล์เหมือนวิธีก่อน ๆ ซึ่งจะเป็นการประหยัดหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลให้มากขึ้น

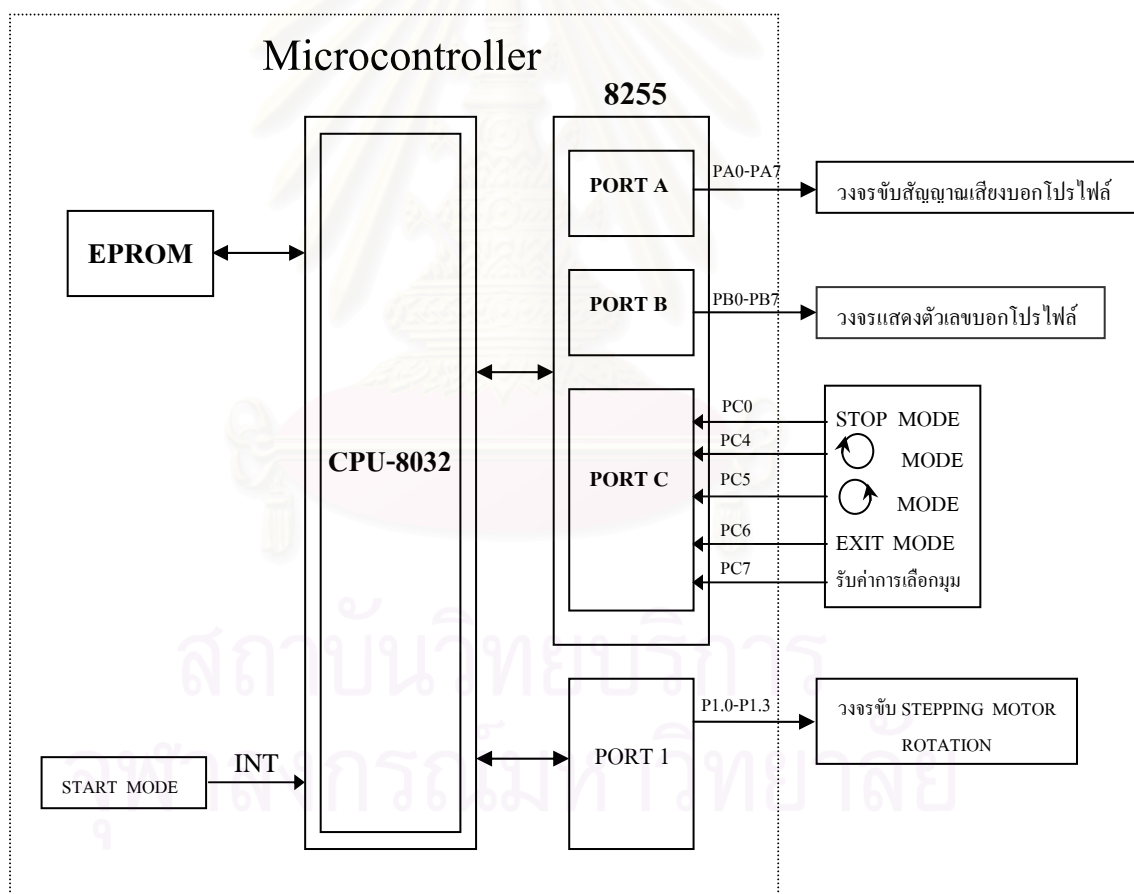


รูปที่ 3.7 แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพ

3.7 อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

การทำงานของระบบเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนเป็นระบบเก็บข้อมูลที่อุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ทำงานร่วมกันโดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ส่งสัญญาณคำสั่งไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องตามขั้นตอนคำสั่งที่อยู่ในโปรแกรมควบคุม โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

ระบบเก็บข้อมูลจะเริ่มต้นการทำงาน เมื่อปุ่ม RESET ถูกกด เพื่อให้ระบบตั้งต้นลำดับการทำงานใหม่ทั้งหมด พร้อมกับแสดงค่ามุมที่เลือกใช้ในการเก็บข้อมูลเป็นตัวเลขบนหน้าปัทม์ จากนั้นระบบจะเข้าสู่โหมดทดสอบการหมุน เพื่อทดสอบให้แน่ใจว่าชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบได้ถูกติดตั้งไว้อย่างมั่นคงและอยู่ในแนวสมมาตรกึ่งกลาง ไม่เอียงหรือส่ายไปทางใดทางหนึ่ง โดยสังเกตจากจอมอนิเตอร์ในขณะที่ทำการทดสอบ เมื่อทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม EXIT เพื่อออกจากโหมดทดสอบการหมุน จากนั้นระบบจะเริ่มเข้าสู่โหมดของการเก็บข้อมูล โดยให้กดปุ่ม START เพื่อเริ่มการทำงาน ระบบจะเริ่มเก็บข้อมูลโดยอัตโนมัติ โดยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับสเต็ปมอเตอร์เพื่อหมุนชิ้นงานตัวอย่าง พร้อมกับส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรถักกำเนิดเสียง เพื่อขับสัญญาณเสียงที่ขับออกลำดับโปรไฟล์ของภาพให้สอดคล้องกับการหมุนของชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 3.8 การควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ระบบเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนนี้ ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ ดังนี้

3.7.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์นับเป็นอุปกรณ์สำคัญของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ เนื่องจากทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของแผงวงจรส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยในการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างวงจรมานอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะกระทำผ่านทางไอซีเบอร์ 8255 ซึ่งภายในไอซีชนิดนี้ประกอบด้วยพอร์ท อินพุต/เอาต์พุต 3 พอร์ท คือ พอร์ท A พอร์ท B พอร์ท C โดยทั้ง 3 พอร์ท สามารถทำหน้าที่เป็นได้ทั้ง พอร์ทอินพุต หรือเอาต์พุต ก็ได้ขึ้นอยู่กับการใส่รหัสควบคุม^[4] (Control Word) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยรหัสควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ 137(89H) ซึ่งเป็นการกำหนดให้ พอร์ท A และพอร์ท B เป็นพอร์ทเอาต์พุต ในขณะที่พอร์ท C บน และ C ล่าง เป็นพอร์ทอินพุต

โดยแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็น รุ่น CP-32 ของ บริษัท ETT ที่มีหน่วยประมวลผลกลางเบอร์ 8032 เป็นตัวควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ ของระบบเก็บข้อมูลผ่านทางสายสัญญาณ โดยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะทำงานเป็นลำดับขั้นตอนตามคำสั่งของโปรแกรมที่เขียนด้วย ภาษา ETT Basic version 2.0 ซึ่งถูกบันทึกไว้ในหน่วยความจำ EPROM บนแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ 3.1 ความหมายและหน้าที่ของรหัสควบคุมที่ใช้กับไอซีเบอร์ 8255^[4]

CONTROL WORD

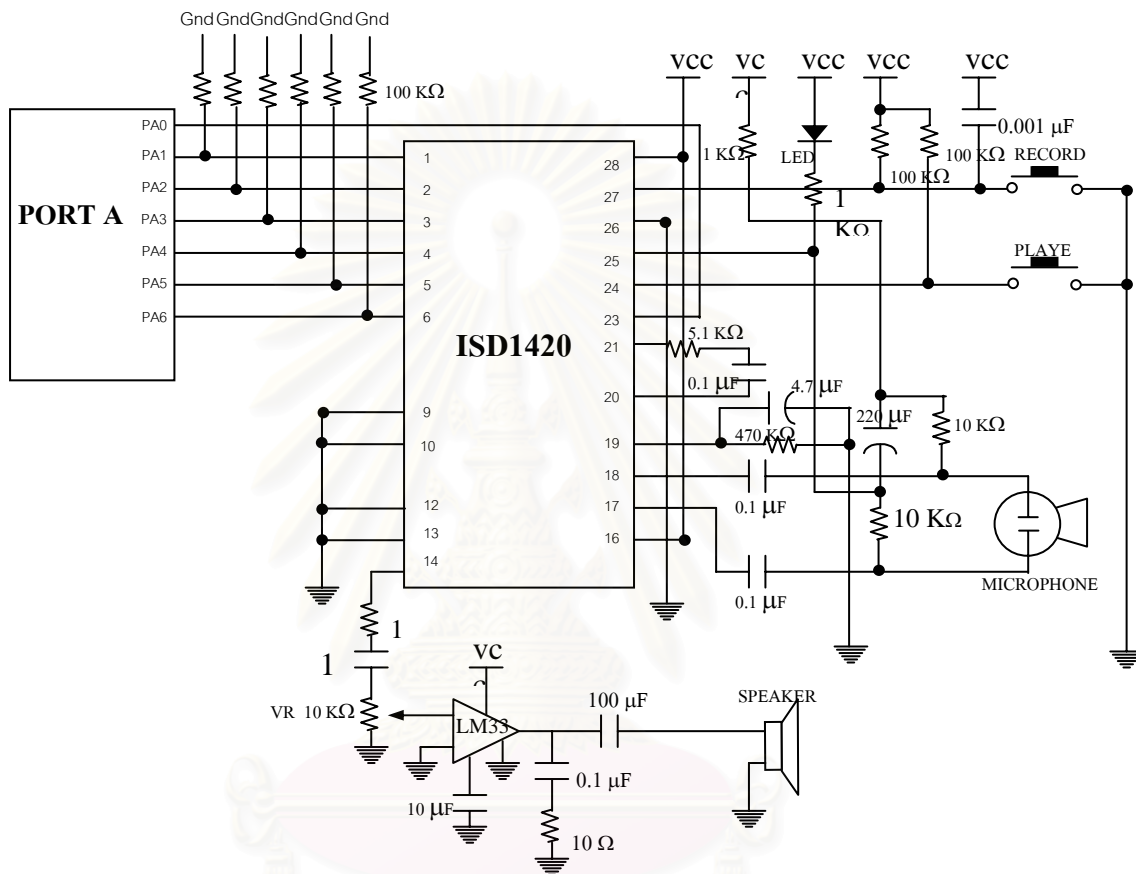
$$\begin{array}{|c|c|c|c|c|c|c|c|}
 \hline
 \text{D7} & \text{D6} & \text{D5} & \text{D4} & \text{D3} & \text{D2} & \text{D1} & \text{D0} \\
 \hline
 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\
 \hline
 \end{array} = 137(89\text{H})$$

บิตที่	กลุ่ม	ความหมาย
D7		โหมดเซตแอดทีฟ 1 = แอดทีฟ
D6	A	เลือกโหมดพอร์ท 00 = โหมด 0
D5		01 = โหมด 1 1x = โหมด 2
D4	A	พอร์ท A 1 = อินพุต 0 = เอาต์พุต
D3	A	พอร์ท C บน 1 = อินพุต 0 = เอาต์พุต
D2	B	เลือกโหมด 1 = โหมด 0 0 = โหมด 1
D1	B	พอร์ท B 1 = อินพุต 0 = เอาต์พุต
D0	B	พอร์ท C ล่าง 1 = อินพุต 0 = เอาต์พุต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7.2 วงจรกำเนิดสัญญาณเสียง

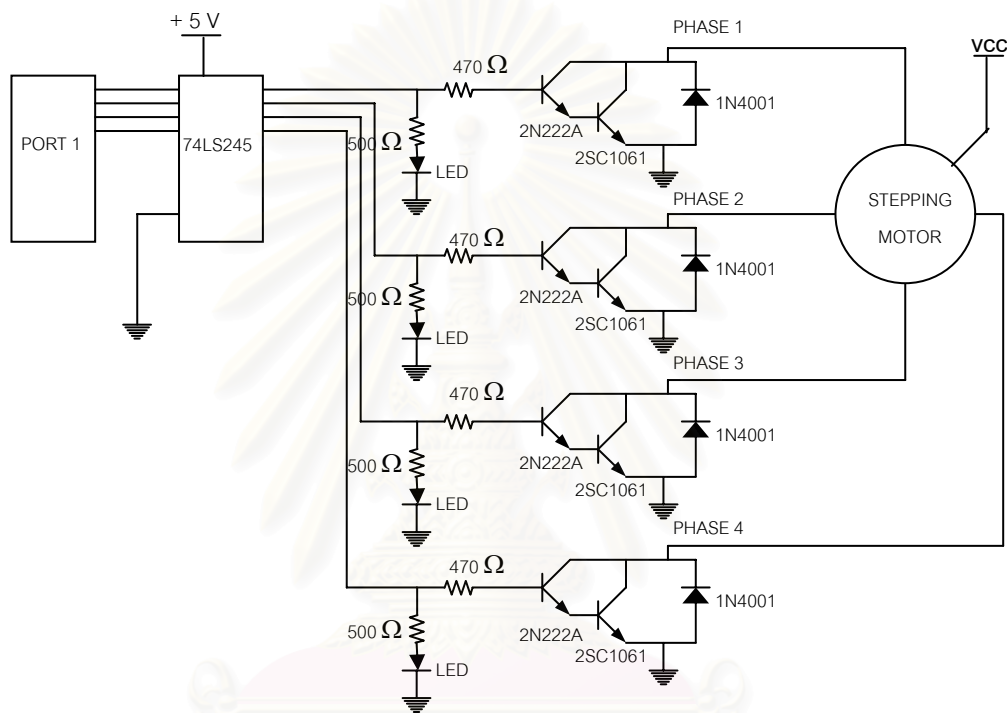
วงจรกำเนิดสัญญาณเสียงบอกลำดับโปรไฟล์ จะส่งสัญญาณเสียงที่ใช้บอกลำดับโปรไฟล์ของภาพให้สอดคล้องกับการหมุนชิ้นงานไปบันทึกลงในแถบวีดีทัศน์ เพื่อให้สะดวกต่อการนำข้อมูลภาพที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพเทโมกราฟีในภายหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรกำเนิดสัญญาณเสียงบอกโปรไฟล์

3.7.3 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor Driver)

เนื่องจากสัญญาณที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านไอซี 8255 เป็นสัญญาณลอจิก ขนาด 5 โวลต์ ซึ่งไม่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางรับคำสั่งจากชุดควบคุมการทำงานแล้ว ส่งผ่านสัญญาณเข้าไปขับให้มอเตอร์หมุนขึ้นงานตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

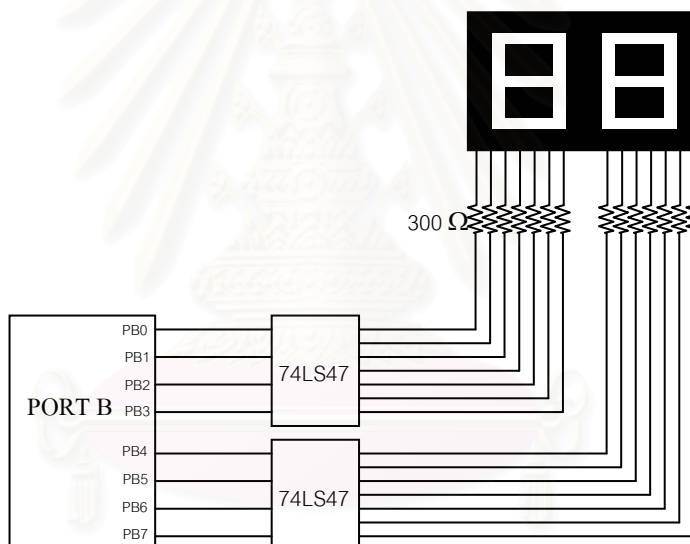
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7.4 สเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping Motor)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สเต็ปป์มอเตอร์แบบ 4 เฟส ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ และมีความละเอียดในการหมุนต่อ 1 สเต็ป เท่ากับ 1.8 องศา เป็นตัวหมุนชิ้นงานตัวอย่างในขณะที่เก็บข้อมูล ด้วยมุมที่กำหนด คือ 1.8 และ 3.6 องศา จนเป็นมุมอย่างน้อย 180 องศา และเพื่อเป็นการเพิ่มแรงขับต่อชิ้นงานตัวอย่างให้แก่มอเตอร์ จึงเลือกใช้การขับแบบกระตุ้นที่ละ 2 เฟส

3.7.5 วงจรแสดงตัวเลขบอกโปรไฟล์

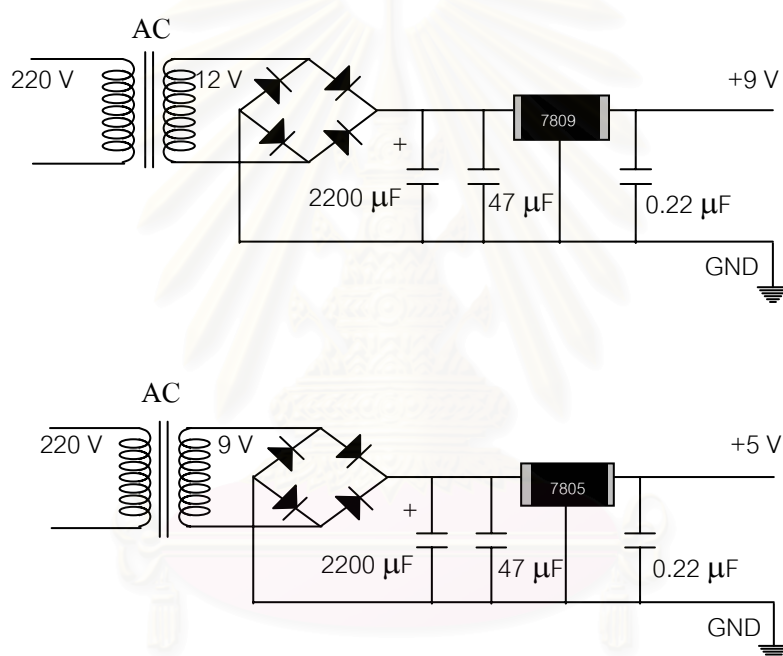
วงจรแสดงตัวเลขบอกโปรไฟล์ จะแสดงตัวเลขบอกโปรไฟล์ของภาพในขณะที่ปฏิบัติงานผ่านทาง LED 7-Segment ให้สอดคล้องกับสัญญาณเสียงบอกโปรไฟล์และการหมุนของชิ้นงาน



รูปที่ 3.11 วงจรแสดงตัวเลขบอกโปรไฟล์

3.7.6 แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง (Power Supply)

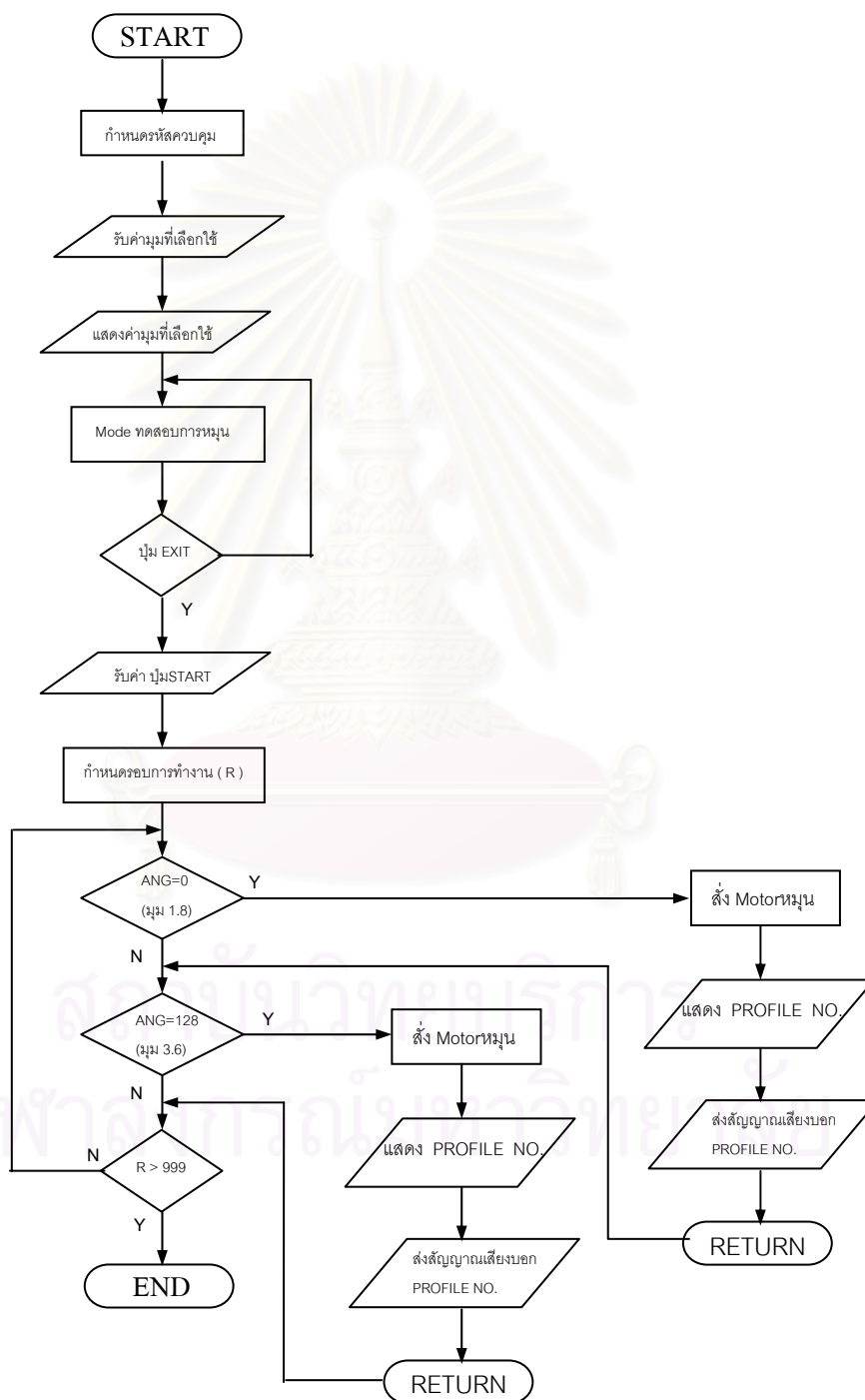
เป็นแหล่งจ่ายไฟไปที่อุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ โดยประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่ปรับแรงดันจาก 220 โวลต์ เป็น 12 โวลต์ และ 9 โวลต์ และวงจรปรับแรงดันสัญญาณไฟทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมปรับค่าแรงดันให้ตรงตามความต้องการของอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ โดยภายในวงจรประกอบด้วย วงจรบริดจ์ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากนั้น ผ่านตัวเก็บประจุ เพื่อกรองสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้เรียบขึ้น และไอซีเรกูเลเตอร์หมายเลข 7809, 7805 เพื่อรักษาระดับแรงดันให้อยู่ที่ 9 โวลต์ และ 5 โวลต์ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง

3.7.7 โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูล

เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูล เขียนด้วยภาษา ETT Basic version 2.0 โดยโปรแกรมจะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณคำสั่งและควบคุมการทำงานของพอร์ต อินพุต/เอาต์พุต ผ่านทางไอซีเบอร์ 8255 ที่อยู่บนแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งลำดับขั้นตอนการทำงานทั้งหมด แสดงดังแผนผังในรูปที่ 3.13

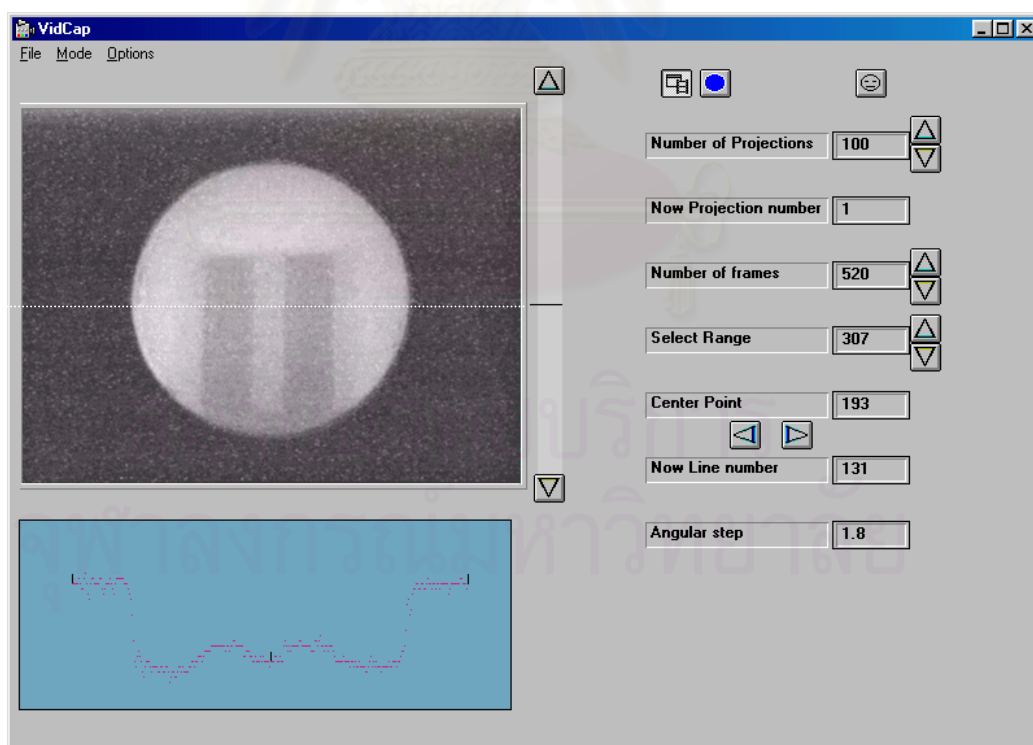


รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูล

3.8 กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลโปรไฟล์

ข้อมูลที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ จะถูกบันทึกในแถบวิดีโอที่สั้นในรูปแบบของสัญญาณภาพที่สอดคล้องกับสัญญาณเสียงบอกโปรไฟล์ ซึ่งเมื่อต้องการนำข้อมูลภาพดังกล่าวไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะต้องผ่านการแปลงสัญญาณภาพให้เป็นข้อมูลภาพเสียก่อน จากนั้นจึงนำข้อมูลภาพที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ด้วยโปรแกรมที่ทางภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีได้พัฒนาขึ้น แต่เนื่องจากการแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพนั้น เป็นการดึงข้อมูลจากภาพเฟรมเดียวเท่านั้น จึงทำให้ข้อมูลที่ได้มีการกระเจิงและความแปรปรวนสูง ซึ่งทำให้ภาพโทโมกราฟีที่ได้มีคุณภาพต่ำตามไปด้วย ดังนั้นจึงได้มีการนำเทคนิคการรวมเฟรม (frame integral) มาใช้เพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลลงส่งผลให้คุณภาพของภาพโทโมกราฟีดีขึ้นตามไปด้วย โดยคุณภาพของภาพจะแปรผันตามจำนวนเฟรมที่นำมาเฉลี่ย แต่จะเริ่มคงที่ ณ จำนวนเฟรมค่าหนึ่ง

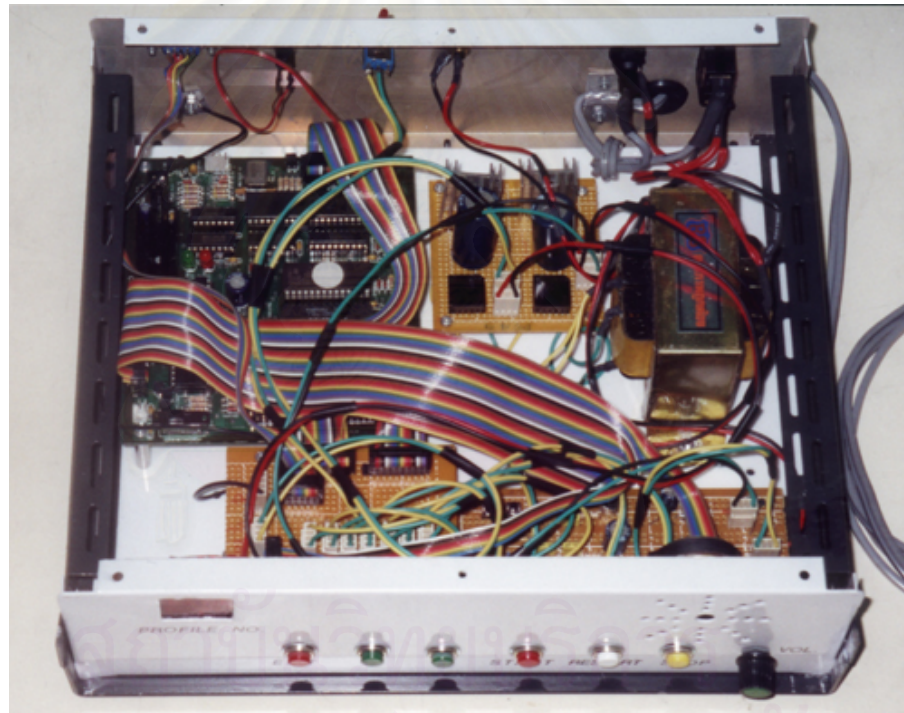
โดยในขณะที่ทำการรวมเฟรม โปรแกรมจะแสดงค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ และแสดงข้อมูลโปรไฟล์ของภาพจากช่วงและแถวข้อมูลที่เลือกใช้ ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 โปรแกรมการรวมเฟรมที่แสดงผลทางหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์



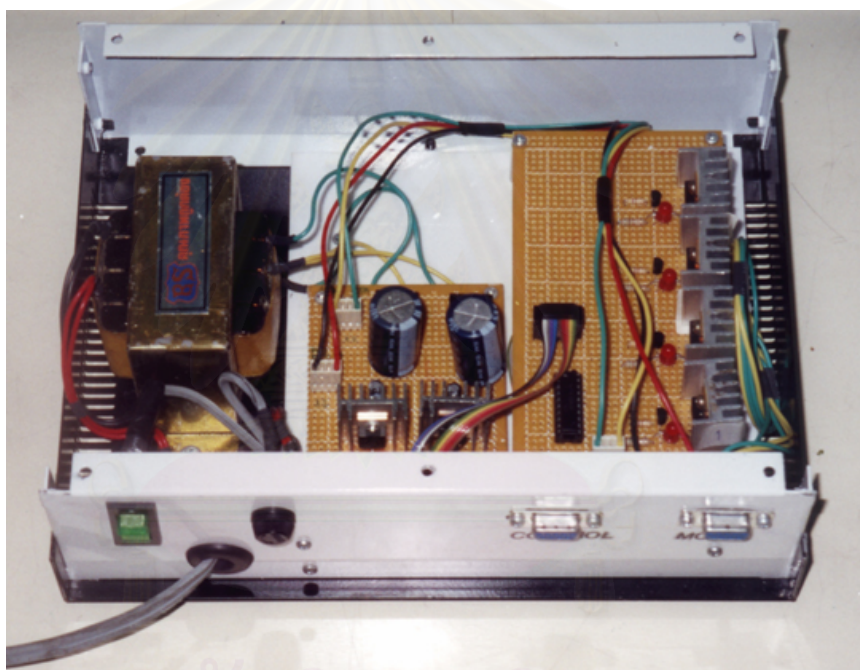
รูปที่ 3.15 ด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับวงจรตีปึงมอเตอร์



รูปที่ 3.16 ด้านในของอุปกรณ์เชื่อมโยงสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับวงจรตีปึงมอเตอร์



รูปที่ 3.17 ด้านหน้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อโยงสัญญาณระหว่างวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ กับชุดอุปกรณ์หมุนชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 3.18 ด้านในของอุปกรณ์เชื่อมต่อโยงสัญญาณระหว่างวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ กับชุดอุปกรณ์หมุนชิ้นงานตัวอย่าง

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัยและผลการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลจากทั้งต้นกำเนิดรังสีแกมมา และต้นกำเนิดนิวตรอน ด้วยกล้องมองภาพนิวตรอน (Neutron Imaging Scope) โดยขั้นตอนในการเก็บข้อมูลทั้งหมดจนกระทั่งได้ข้อมูลภาพเพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่หนึ่ง คือ การบันทึกภาพถ่ายด้วยรังสีลงบนแถบวีดิทัศน์ ขณะหมุนชิ้นงานทดสอบไปด้วยมุมน้อย ๆ จนครบ 180 องศา โดยเริ่มต้นจากการเลือกมุมที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล จากนั้นจึงเริ่มเข้าสู่การเก็บข้อมูลโปรไฟล์ โดยการบันทึกสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องโทรทัศน์ซึ่งจับภาพมาจากจอมองภาพ (Phosphor Screen) ของกล้องมองภาพนิวตรอนในการหมุนแต่ละครั้ง พร้อมกับบันทึกสัญญาณเสียงบอกลำดับของโปรไฟล์ภาพที่ส่งมาจากอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบหมุนชิ้นงานลงในแถบวีดิทัศน์

ส่วนที่สอง คือ การนำข้อมูลสัญญาณภาพมาแปลงเป็นข้อมูลภาพ โดยให้ลำดับโปรไฟล์สอดคล้องและถูกต้องตามสัญญาณเสียงที่บันทึกไว้ในแถบวีดิทัศน์ ใช้แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพ (Video Capture Card) ที่ติดตั้งบนไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมกับเลือกตำแหน่ง และขนาดของข้อมูลภาพที่ต้องการนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี และใช้เทคนิคการรวมเฟรม (frame integral) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพที่ได้ ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น^[5] แล้วจึงบันทึกข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ลงบนหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป จากนั้นจึงนำผลของภาพโทโมกราฟีทั้งที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพแล้ว และที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพมาเปรียบเทียบถึงความแตกต่าง

4.1 การทดสอบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายนิวตรอนด้วยเทคนิคโทรทัศน์

ในการเก็บข้อมูลชิ้นงานทดสอบด้วยนิวตรอนสำหรับนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนั้น ใช้เทอร์มินัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ การจัดระบบเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอนนี้ ติดตั้งอุปกรณ์เป็น สองส่วน โดยอุปกรณ์ส่วนแรกจะอยู่ภายในห้องกำบังรังสีซึ่งเป็นบริเวณที่จัดเตรียมให้

สำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน ประกอบด้วย ชุดกล้องมองภาพนิวตรอนที่เชื่อมต่อกับกล้องโทรทัศน์พร้อมฐานรอง และชุดอุปกรณ์หมุนชิ้นงาน โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกจัดวางให้อยู่ห่างจากปากท่อนิวตรอนเป็นระยะ 50 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคโทรทัศน์ สำหรับส่วนที่ติดตั้งภายในห้องกำบังรังสี

อุปกรณ์อีกส่วนหนึ่งติดตั้งอยู่บริเวณด้านนอกของห้องกำบังรังสี โดยประกอบด้วย ชุดควบคุมการทำงานของระบบหมุนชิ้นงาน ไมโครคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ระบบเก็บข้อมูลภาพถ่ายด้วยนิวตรอนโดยเทคนิคโทรทัศน์ สำหรับส่วนที่ติดตั้งภายนอกห้องกำบังรังสี

ในการทดสอบเก็บข้อมูล เมื่อนำชิ้นงานที่ต้องการทดสอบไปติดตั้งกับชุดอุปกรณ์
หมุนชิ้นงานเรียบร้อยแล้วจะต้องมีการตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นงานก่อนเริ่มการเก็บข้อมูลทุกครั้ง
ว่าชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบได้ถูกติดตั้งไว้อย่างมั่นคงและอยู่ในแนวศูนย์กลางของจอภาพโดย
สังเกตจากจอภาพขณะสั่งให้สแต็ปปีงมอเตอร์หมุนชิ้นงานทดสอบ

การเก็บข้อมูลจะเลือกทำการหมุนชิ้นงานด้วยมุมทีละ 1.8 องศา โดยระบบจะ
ทำงานอัตโนมัติตามคำสั่งของโปรแกรมควบคุมการทำงาน จนครบ 180 องศา ซึ่งจะได้ข้อมูลโปร-
ไฟล์ทั้งสิ้น 100 โปรไฟล์ โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้จะถูกบันทึกอยู่ในรูปของสัญญาณภาพ และ
สัญญาณเสียงบอกลำดับของโปรไฟล์ที่สอดคล้องกันลงในแถบวีดีทัศน์ แต่ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ยังไม่
สามารถนำไปใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ เนื่องจากต้องมีการปรับแก้ข้อมูลเสียก่อน
เพื่อให้ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีที่ใช้ในการเก็บข้อมูล
โดยค่าที่ใช้เข้าไปปรับแก้กับข้อมูลโปรไฟล์เป็นการเก็บข้อมูลของเทอร์มัลนิวตรอนที่ใช้ในขณะที่ไม่
มีชิ้นงาน เรียกว่า “Shading” (I_0) และข้อมูลโปรไฟล์ขณะปิดชุดเตอร์ก้าบั้งรังสี หรือที่เรียกว่า
“Dark Current” (background)

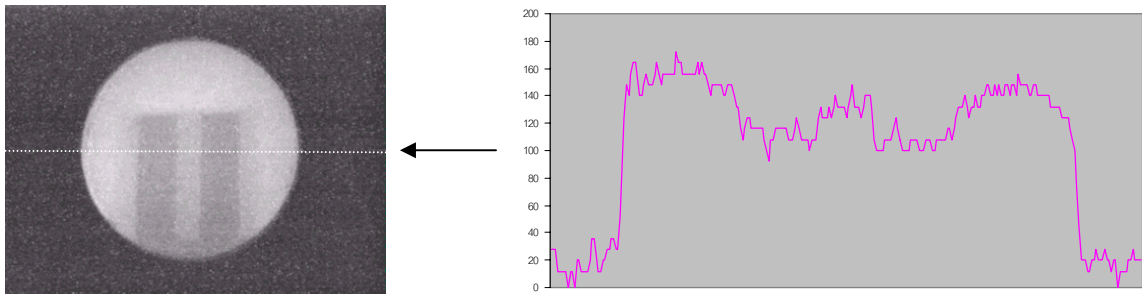
$$P'(\theta, X) = \ln \left(\frac{I_0 - D}{I - D} \right) \quad (4.1)$$

โดย $P'(\theta, X)$ คือ ข้อมูลโปรไฟล์ที่ปรับแก้ค่าแล้ว

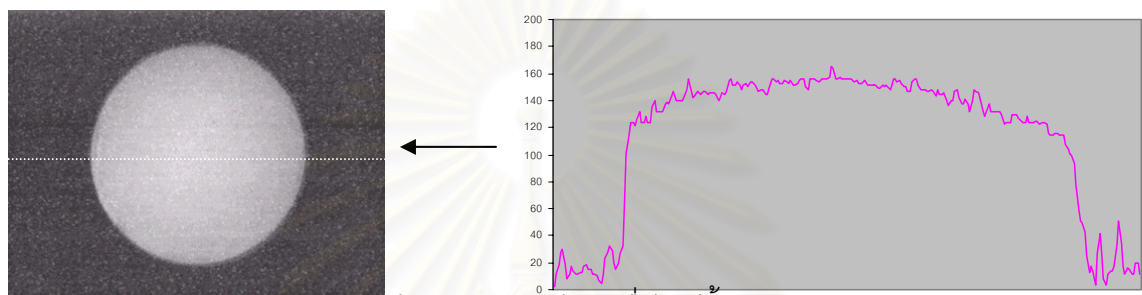
I_0 คือ ข้อมูลโปรไฟล์ ขณะไม่มีชิ้นงาน (shading)

D คือ ข้อมูลโปรไฟล์เมื่อไม่มีรังสี (dark current)

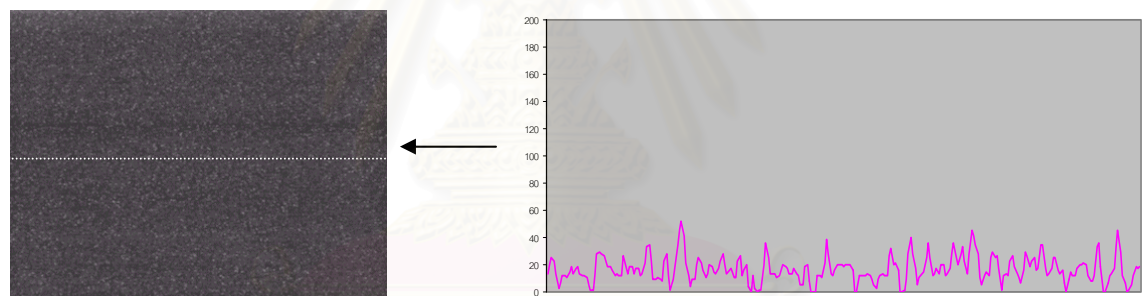
โดยขั้นตอนในการเก็บข้อมูลทั้งหมดจะใช้เวลาประมาณ 20 นาที ต่อ 1 ชิ้นงาน
ซึ่งในขณะที่เก็บข้อมูลนั้น ผู้ปฏิบัติงานสามารถควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบเก็บข้อมูลจาก
ภายนอกบริเวณห้องกำบังรังสี ทั้งนี้ก็เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานที่อาจจะได้รับในขณะ
เก็บข้อมูล



(ก) ภาพถ่ายด้วยรังสีและข้อมูลโปรไฟล์ของชิ้นงานทดสอบ, I



(ข) ภาพถ่ายด้วยรังสีและข้อมูลโปรไฟล์เมื่อไม่มีชิ้นงานทดสอบ (Shading), I_0



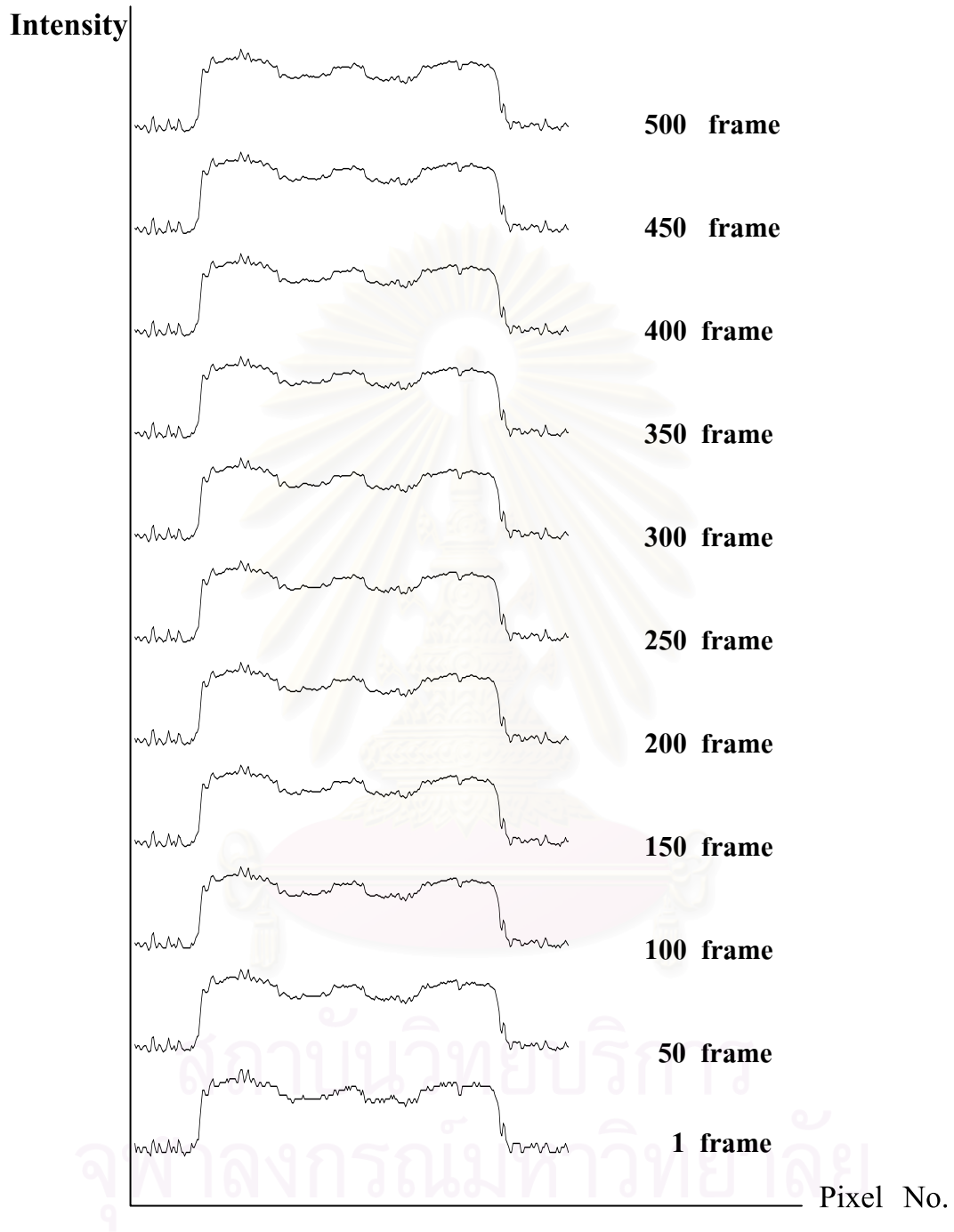
(ง) ข้อมูลโปรไฟล์ที่ผ่านการปรับแก้ค่าแล้ว, $P'(\theta, X)$

รูปที่ 4.3 ภาพลำดับการปรับแก้ข้อมูลโปรไฟล์

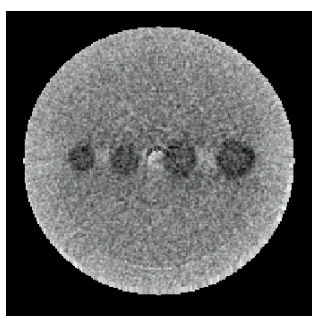
4.2 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี

คุณภาพของภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการเก็บข้อมูลชิ้นงานทดสอบนับเป็นสิ่งสำคัญ โดยคุณภาพของภาพโทโมกราฟีที่ได้จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงขีดความสามารถของระบบเก็บข้อมูลที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบเก็บข้อมูลแบบเฟรมเดียว ปรากฏว่าคุณภาพของภาพโทโมกราฟีอยู่ในระดับพอใช้ เนื่องจากข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้มีความแปรปรวนสูงและปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยมีผลทำให้ภาพโทโมกราฟีขาดความคมชัด และมีความเปรียบต่างน้อย และยังส่งผลให้เกิดอาร์ติแฟค (artifact) ได้หลายกรณี ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกเทคนิคการรวมเฟรมมาใช้ปรับปรุงคุณภาพของภาพโทโมกราฟี โดยเมื่อข้อมูลโปรไฟล์ผ่านกระบวนการรวมเฟรมแล้ว ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จะมีความแปรปรวนลดลง ดังรูปที่ 4.4 และเมื่อนำข้อมูลโปรไฟล์ที่ผ่านการรวมเฟรมที่จำนวนเฟรมต่าง ๆ ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะทำให้ภาพโทโมกราฟีมีคุณภาพดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5-4.7

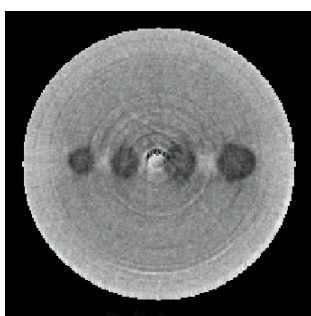
จากรูปที่ 4.5-4.7 เป็นภาพเปรียบเทียบภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบจากหลาย ๆ เฟรม พบว่า เมื่อจำนวนเฟรมน้อย ๆ ภาพจะขาดรายละเอียดไปมากทั้งนี้ เนื่องจากมีความแปรปรวนของข้อมูลโปรไฟล์ อีกทั้งกล้องมองภาพนิวตรอนที่ใช้ในการทดลองมีคุณภาพไม่ดีนัก แต่เมื่อเพิ่มจำนวนเฟรมขึ้นเรื่อย ๆ จะเห็นว่าภาพโทโมกราฟีให้รายละเอียดที่ดีขึ้นกว่าเดิมมาก เนื่องจาก ความแปรปรวนของข้อมูลลดลง



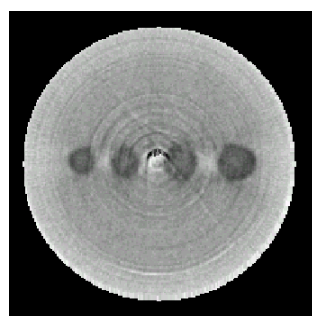
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบข้อมูลโปรไฟล์ที่ปรับแก้แล้วที่จำนวนเฟรมต่างๆ



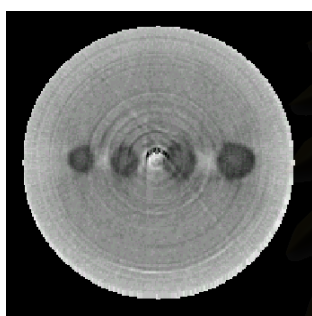
1 frame



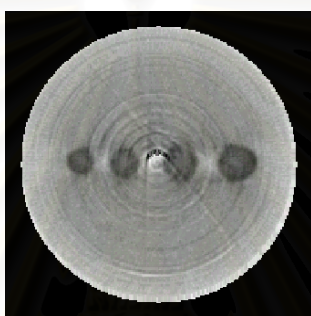
50 frame



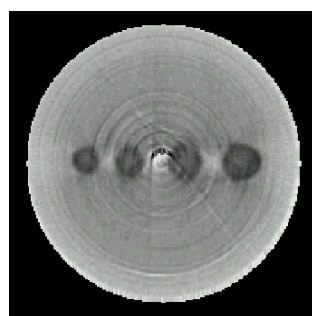
100 frame



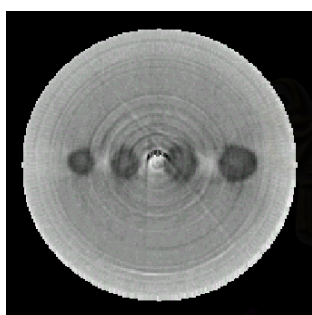
150 frame



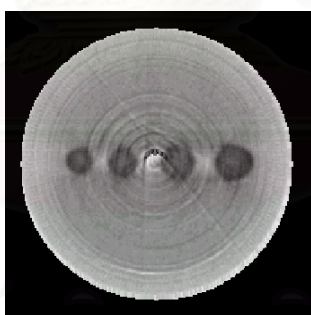
200 frame



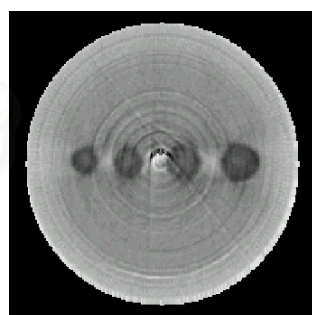
250 frame



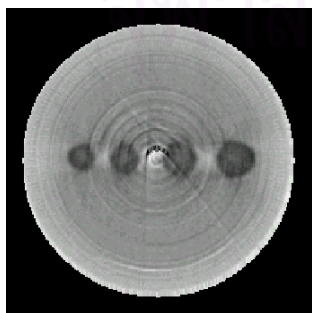
300 frame



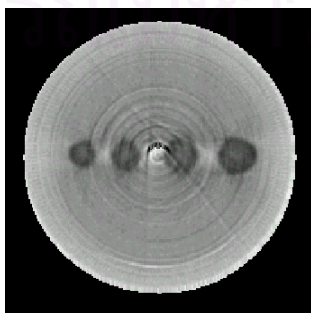
350 frame



400 frame

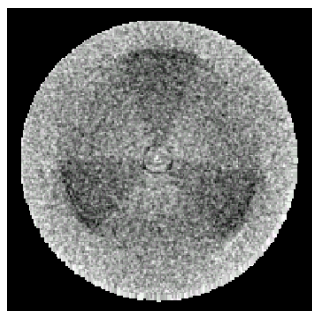


450 frame

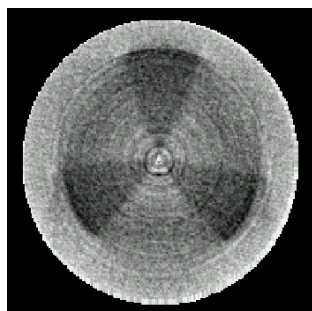


500 frame

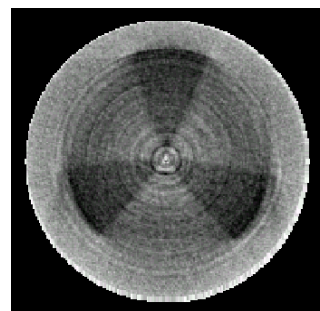
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมของภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 4



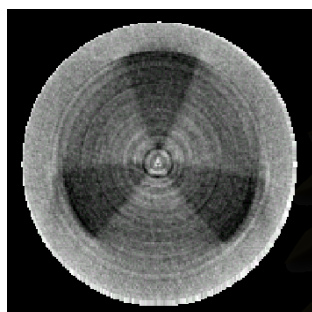
1 frame



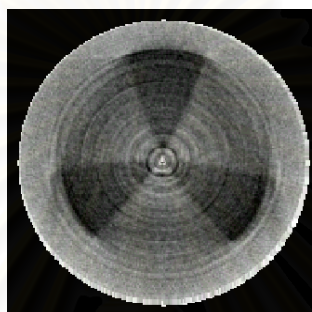
50 frame



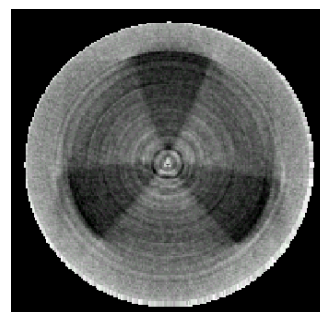
100 frame



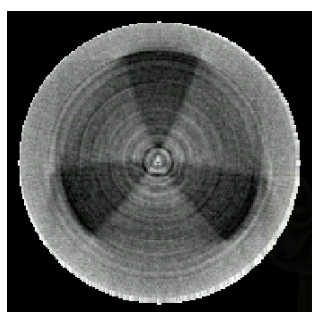
150 frame



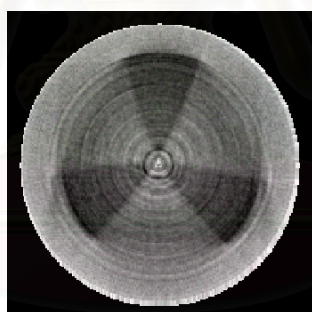
200 frame



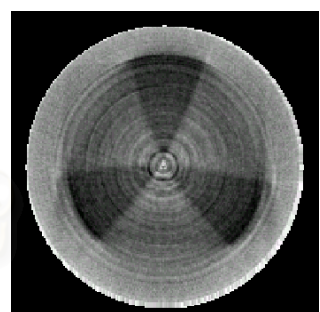
250 frame



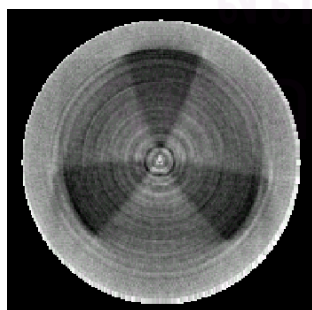
300 frame



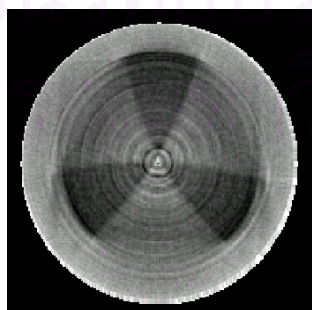
350 frame



400 frame

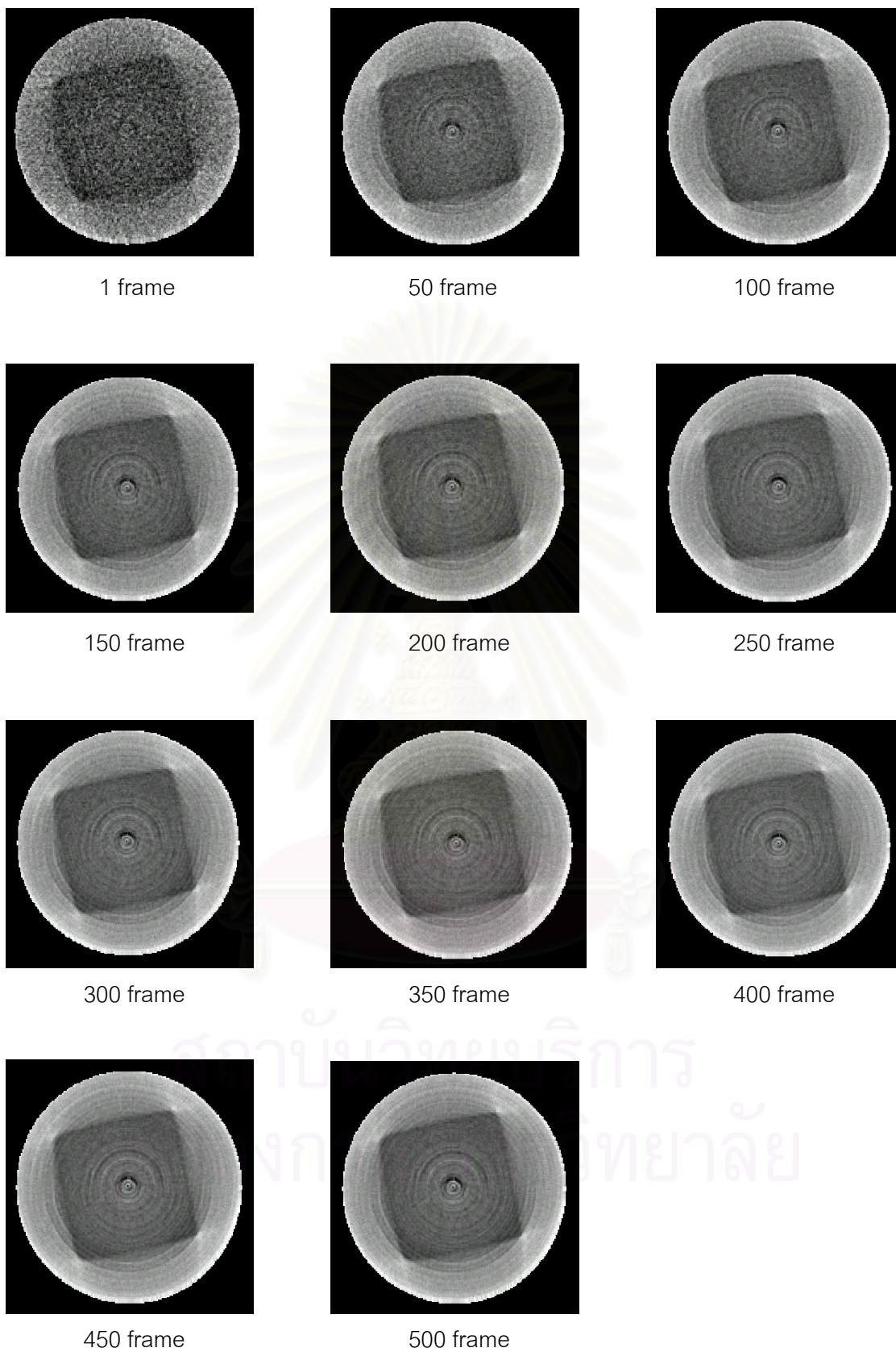


450 frame



500 frame

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมของภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 5



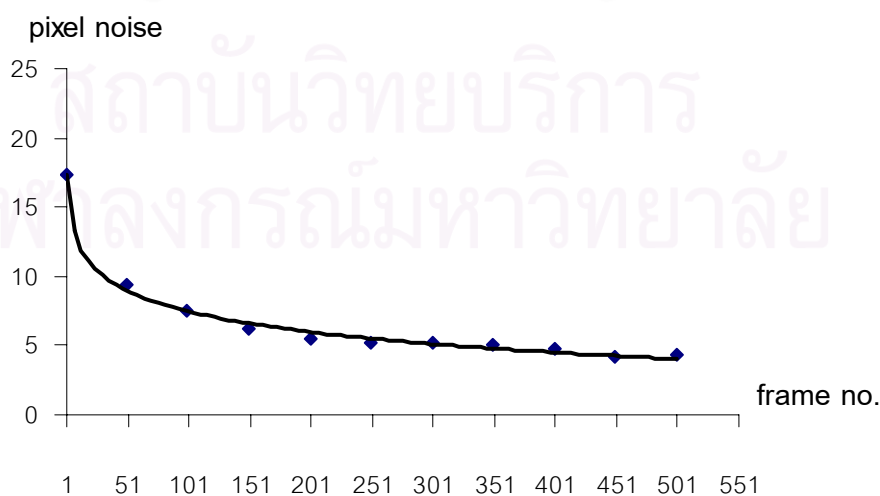
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบจำนวนเฟรมของภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 6

จากรูปดังกล่าวจะเห็นว่าภาพโทโมกราฟีที่มีจำนวนเฟรมมากขึ้นจะให้รายละเอียดดีขึ้น แต่ในการเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมนั้น ยิ่งจำนวนเฟรมมากขึ้นเวลาที่ใช้ก็จะนานขึ้นไป ด้วย ดังนั้นจึงต้องหาระยะเวลาที่เหมาะสม และในทำนองเดียวกัน คุณภาพของภาพจะต้องดีด้วย ในที่นี้จึงเลือกภาพโทโมกราฟีจากรูปที่ 4.5 และสุ่มค่าข้อมูล CT-number^[6] จำนวน 100 จุด ภายในบริเวณเดียวกัน เพื่อคำนวณค่า Pixel noise^[7] (σ) ดังสมการ

$$\sigma^2 = \frac{1}{(N-1)} \cdot \sum_{i=1}^N \left(I_i - \bar{I} \right)^2 \quad (4.2)$$

โดย σ คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) หรือ Pixel noise
 N คือ ข้อมูลพิกเซล (pixel) ที่ใช้สุ่มทดสอบ
 \bar{I} คือ ค่าเฉลี่ยของ CT-number ที่สุ่มมา
 I_i คือ ค่า CT-number ณ ตำแหน่งพิกเซลใดๆ

ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่า Pixel noise กับจำนวนเฟรมที่เพิ่มขึ้น แสดงไว้ ดังรูปที่ 4.8 จากรูปพบว่า ค่า Pixel noise เริ่มคงที่ที่จำนวนเฟรมประมาณ 300 ดังนั้นจึงเลือกภาพโทโมกราฟีที่สร้างจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบรวมเฟรมจำนวน 300 เฟรม ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้และได้คุณภาพของที่ดี

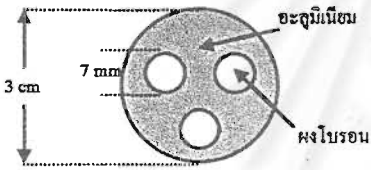
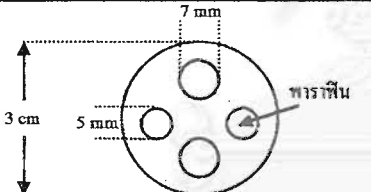
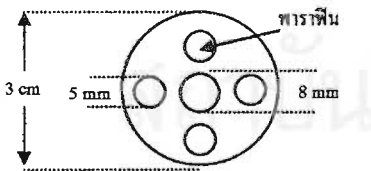
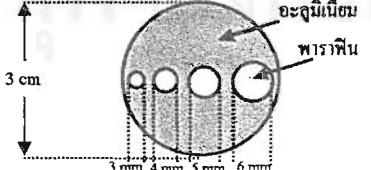


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pixel noise กับ จำนวนเฟรม

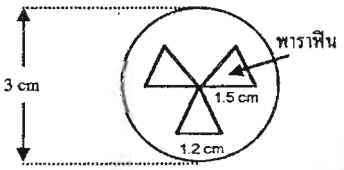
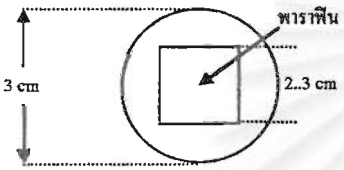
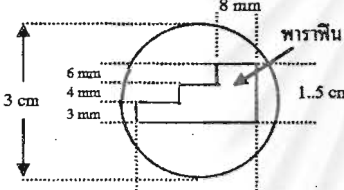
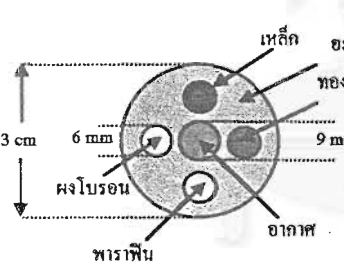
4.3 การออกแบบชิ้นงานทดสอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

ในการทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนนั้น ได้ออกแบบชิ้นงานทดสอบที่มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าขีดความสามารถของระบบถ่ายภาพด้วยนิวตรอนนั้นมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด ซึ่งได้ออกแบบชิ้นงาน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชิ้นงานทดสอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน

ชิ้นงานทดสอบที่	แผนภาพชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะชิ้นงานทดสอบ
1		ชิ้นงานเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร เจาะรูขนาด 7 มิลลิเมตร จำนวน สามรู ภายในแต่ละรูอัดแน่นด้วยผงโบรอน
2		ชิ้นงานเป็นแท่งพาราฟินรูปทรงกลมที่มีขนาด 7 มิลลิเมตร จำนวน สองแท่ง และขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวนสองแท่ง จัดเรียงบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร
3		ชิ้นงานเป็นแท่งพาราฟินรูปทรงกลมที่มีขนาด 5 มิลลิเมตร จำนวนสี่แท่ง และขนาด 8 มิลลิเมตร จำนวน หนึ่งแท่ง จัดเรียงบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร
4		ชิ้นงานเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร เจาะรูขนาด 3, 4, 5, 6 มิลลิเมตร ภายในแต่ละรูบรรจุด้วยพาราฟิน

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

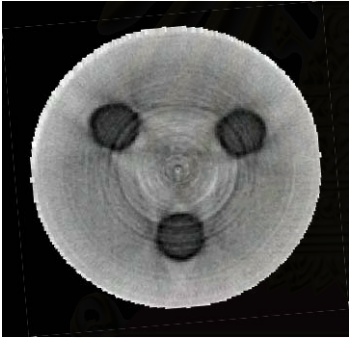
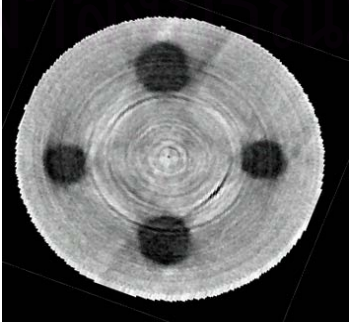
ชิ้นงาน ทดสอบที่	แผนภาพชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะชิ้นงานทดสอบ
5		ชิ้นงานเป็นแท่งพาราฟินรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่มีขนาดเท่ากัน จำนวนสามแท่ง จัดเรียงบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร
6		ชิ้นงานเป็นแท่งพาราฟินรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีความกว้างแต่ละด้านเท่ากับ 2.3 เซนติเมตร จำนวน หนึ่งแท่ง จัดเรียงบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร
7		ชิ้นงานเป็นแท่งพาราฟินรูปขั้นบันไดที่มีขนาดดังรูป จำนวนหนึ่งแท่ง จัดเรียงบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร
8		ชิ้นงานเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร เจาะรูขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวนสี่รู ภายในรูบรรจุด้วยวัตถุตัวอย่าง 4 ชนิด ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตรเท่ากัน คือ แท่งเหล็กทรงกระบอก แท่งทองเหลืองทรงกระบอก พาราฟิน และผงโบรอน และรูขนาด 9 มิลลิเมตร จำนวนหนึ่งรูไว้ตรงกลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


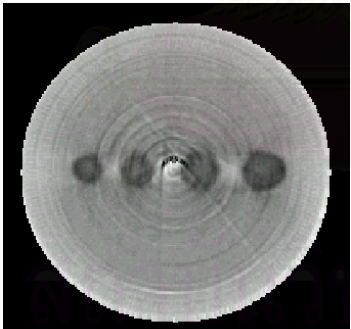
4.4 ผลการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

ภาพโทโมกราฟีของการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนของชิ้นงานทดสอบที่ได้ออกแบบไว้ โดยการเก็บข้อมูลภาพแบบรวมเฟรมจำนวน 300 เฟรม แสดงผลและรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.2

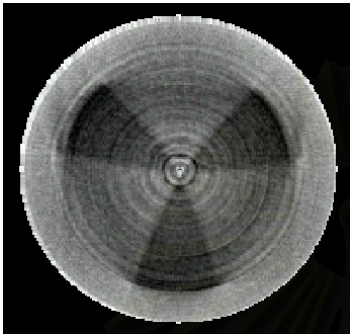
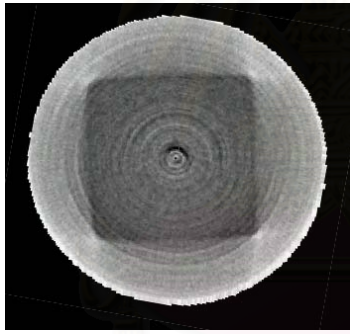
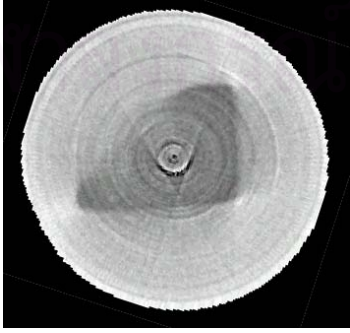
ตารางที่ 4.2 ผลภาพนิวตรอนโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบด้วยจำนวนเฟรม 300 เฟรม

ชิ้นงานทดสอบที่	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ
1		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบวงกลมสีดำสามวงซึ่งก็คือผงโบรอนที่บรรจุภายในแท่งอลูมิเนียมตันที่เจาะรูขนาด 7 มิลลิเมตร ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้งตำแหน่ง และรูปร่าง ของวัตถุตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง โดยบริเวณที่เป็นผงโบรอนจะมีความเข้มมากกว่าบริเวณด้านนอกที่เป็นอลูมิเนียม เนื่องจากโบรอนมีค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอนสูงกว่าอลูมิเนียม และนิวตรอนทะลุผ่านอลูมิเนียมเป็นส่วนใหญ่จึงเห็นรายละเอียดของอลูมิเนียมไม่ชัดเจนนัก มีแถบสีขาวที่เชื่อมระหว่างวัตถุตัวอย่างทั้งสาม เป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งอาจเกิดจากการกระเจิงของลำนิวตรอนภายในวัตถุตัวอย่าง</p>
2		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบวงกลมสีดำสี่วงซึ่งก็คือแท่งพาราฟินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 และ 5 มิลลิเมตร อย่างละสองแท่ง ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง รูปร่าง และความแตกต่างของขนาดวัตถุตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง โดยภาพชิ้นงานทดสอบนี้ จะมีการกระเจิงของรังสีอยู่เล็กน้อย</p>

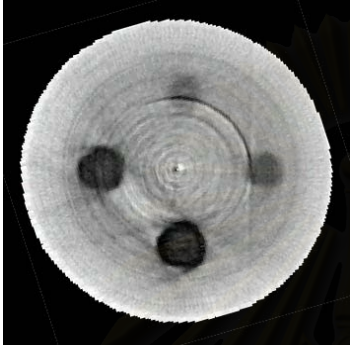
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชิ้นงานทดสอบที่	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ
3		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบวงกลมสีดำห้าวงซึ่งก็คือแท่งพาราฟินที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร จำนวนหนึ่งแท่ง และ 5 มิลลิเมตร จำนวนสี่แท่ง ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง รูปร่าง และความแตกต่างของขนาดวัตถุตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง โดยภาพชิ้นงานทดสอบนี้จะมีการสัญญาณรบกวนมากโดยเฉพาะที่บริเวณกลางโปรไฟล์ข้อมูล จึงทำให้เห็นเป็นจุด artifact ที่กลางภาพ และเป็นวงโดยรอบหรือที่เรียกว่า ring artifact ซึ่งทั้งนี้อาจแก้ไขด้วยการเปลี่ยนช่วงและแถวข้อมูลที่เลือกนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีใหม่</p>
4		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบวงกลมสีดำสี่วงซึ่งก็คือพาราฟินที่บรรจุภายในแท่งอลูมิเนียมตันที่เจาะรูขนาด 3 , 4 , 5 และ 6 มิลลิเมตร ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง รูปร่าง และความแตกต่างของขนาดวัตถุตัวอย่างได้อย่างชัดเจน โดยบริเวณที่เป็นพาราฟินจะมีความเข้มมากกว่าบริเวณด้านนอกที่เป็นอลูมิเนียมเนื่องจาก พาราฟินมีค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอนสูงกว่าอลูมิเนียม และมีแถบสีขาวที่เชื่อมระหว่างวัตถุตัวอย่างทั้งสี่ เป็นแนวเส้นตรง ซึ่งอาจเกิดจากลำรังสีบางส่วนไม่สามารถทะลุเนื่องจากการกระเจิงของรังสี โดยภาพชิ้นงานทดสอบนี้มีสัญญาณรบกวน จึงทำให้เกิด artifact เป็นจุดที่กลางภาพ เช่นเดียวกับภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 4</p>

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชิ้นงานทดสอบที่	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ
5		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบรูปสามเหลี่ยมสีดำสามแท่ง ซึ่งก็คือ แท่งพาราฟิน ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง และรูปร่าง ได้อย่างถูกต้อง โดยบริเวณตรงกลางของภาพจะมีความเข้มของภาพต่ำกว่าด้านนอก เพราะมีความหนาของพาราฟินน้อยกว่าบริเวณรอบนอกนิวตรอนทะลุผ่านได้มาก โดยภาพชิ้นงานทดสอบนี้มีจุด artifact ที่กลางภาพ และเป็นวงโดยรอบเช่นกัน รวมถึงแถบสีดำที่ลากเชื่อมระหว่างชิ้นงานสามเหลี่ยม เนื่องจากการกระเจิงของนิวตรอน</p>
6		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบรูปสี่เหลี่ยมสีดำซึ่งก็คือ แท่งพาราฟินซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง และรูปร่าง ได้ถูกต้อง โดยที่บริเวณแต่ละมุมของวัตถุตัวอย่างจะมีจุดสีขาวอันเนื่องมาจากการกระเจิงของนิวตรอน ส่วนจุดขาวที่อยู่ตรงกลางภาพเกิดจากข้อมูลความแปรปรวนของ Dark current เมื่อปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์แล้วจะทำให้เกิดความเบี่ยงเบน ตำแหน่งจุดกลางพอดี ซึ่งพบว่าในทุกภาพ เพราะใช้ข้อมูล Dark current อันเดียวกัน</p>
7		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบรูปเหลี่ยมสีดำที่มีลักษณะคล้ายเป็นชั้นบันได ซึ่งก็คือพาราฟิน ซึ่งจากภาพที่ได้ยังบอกรูปร่างของวัตถุตัวอย่างได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควรเนื่องจากข้อจำกัดของประสิทธิภาพในการแยกความหนาของกล้องมองภาพนิวตรอน และความหนาของชิ้นงานทดสอบที่หนาเกินกว่านิวตรอนจะทะลุผ่านได้ จึงทำให้ส่วนกลางของภาพมีลักษณะมัวมองไม่เห็นเป็นชั้นได้อย่างชัดเจน โดยที่บริเวณแต่ละมุมของวัตถุตัวอย่างจะมีจุดสีขาว เนื่องมาจากการกระเจิงของนิวตรอน เช่นเดียวกับภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ 6</p>

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชิ้นงานทดสอบที่	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ
8		<p>จากภาพโทโมกราฟีจะพบวงกลมสีดำสี่วงระดับความต่าง ๆ กัน ซึ่งก็คือ ผงโบรอนพาราฟิน และผงโบรอนแท่งเหล็ก แท่งทองเหลือง ที่บรรจุภายในแท่งอลูมิเนียมตันที่เจาะรูขนาด รูขนาด 6 มิลลิเมตร ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง และรูปร่างของวัตถุตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง โดยบริเวณที่เป็นผงโบรอนและพาราฟินจะมีความเข้มมากกว่าบริเวณที่เป็นแท่งเหล็กและแท่งทองเหลือง เนื่องจากโบรอนมีค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอนมากกว่าเหล็กและทองเหลือง แต่บริเวณตรงกลางภาพซึ่งเจาะรูขนาด 9 มิลลิเมตร ไม่สามารถบอกรายละเอียดของภาพได้เพราะค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอนต่ำมาก</p>

4.5 การทดสอบเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายรังสีแกมมาด้วยเทคนิคโทรทัศน์

เนื่องจากกล้องมองภาพนิวตรอนสามารถใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำได้ จึงเลือกต้นกำเนิดรังสี อเมริเซียม-241 (Am-241) มาใช้ร่วมกับระบบเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ เพื่อการเปรียบเทียบความแตกต่างของการถ่ายภาพด้วยนิวตรอน และรังสีแกมมาด้วยกล้องมองภาพนิวตรอน

ในการทดลองเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมาโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน เลือกใช้ต้นกำเนิดรังสี อเมริเซียม-241 ซึ่งเป็นต้นกำเนิดรังสีแบบจุด (Point Source) ที่สลายตัวให้รังสีแกมมาพลังงาน 60 keV ความแรงแรังสี 100 มิลลิวินาที การจัดระบบเก็บข้อมูลสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาแสดงในรูปที่ 4.9 โดยวิธีการและลำดับขั้นตอนรวมทั้งลำดับการทำงานของระบบเก็บข้อมูลเหมือนกับการเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอน เนื่องจากใช้อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลชุดเดียวกัน



รูปที่ 4.9 การจัดระบบเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมาโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

เพื่อให้ภาพถ่ายที่ได้มีความคมชัด (sharpness definition) ความเปรียบต่างสูง (high contrast) ความดำที่พอเหมาะ (adequate density) และมีการบิดเบือนของภาพน้อยที่สุด (minimum distortion) ในการเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมา จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของภาพถ่าย เช่น

- การจัดวางตำแหน่งของชิ้นงาน ต้นกำเนิดรังสีแกมมา และกล้องมองภาพนิวตรอน ให้อยู่ในแนวศูนย์กลางเดียวกัน รวมถึงการวางตำแหน่งของชิ้นงานให้อยู่ใกล้ด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนมากที่สุด เพื่อให้ภาพถ่ายที่ได้มีความคมชัด และบิดเบือนน้อยที่สุด

- การปรับช่องรับแสงของกล้องโทรทรรศน์ให้พอดี โดยไม่สว่างหรือมืดจนไม่เห็นรายละเอียดของภาพถ่ายจากชิ้นงาน

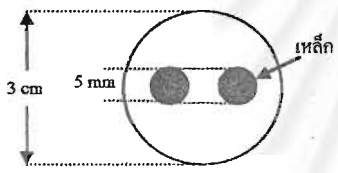
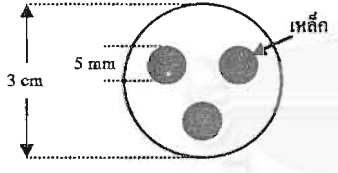
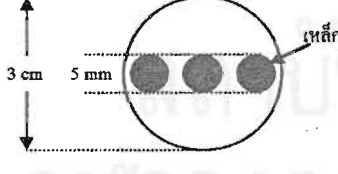
- เนื่องจากต้นกำเนิดรังสี อเมริเชียม-241 ที่ใช้มีพลังงานต่ำ ดังนั้นการจัดวางต้นกำเนิดรังสีให้อยู่ในระยะที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะการวางต้นกำเนิดรังสีให้อยู่ใกล้ชิ้นงานมากเกินไปจะทำให้ภาพถ่ายที่ได้เกิดการบิดเบือนอันเนื่องมาจากขอบภาพที่มืด (penumbra) ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้ภาพถ่ายที่ได้ดูใหญ่กว่าวัตถุจริง และยังส่งผลต่อความดำที่พอเหมาะของภาพอีกด้วย

จากการทดสอบปรับระยะเพื่อหาระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับต้นกำเนิดรังสีที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อภาพถ่ายดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น พบว่าที่ระยะห่างระหว่างตัวชิ้นงานที่ใช้ทำการทดสอบถึงต้นกำเนิดรังสีเป็นระยะ 4 เซนติเมตร เป็นระยะที่เหมาะสมที่สุด

4.6 การออกแบบชิ้นงานทดสอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา

ในการทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยรังสีแกมมานั้นได้ออกแบบชิ้นงานทดสอบให้มีลักษณะรูปร่างแบบง่าย ๆ เพื่อเป็นการทดสอบว่าระบบเก็บข้อมูลภาพ โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอนจะสามารถถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาแล้วนำไปคำนวณสร้างภาพได้เช่นกัน

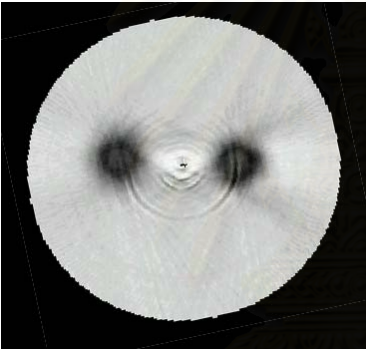
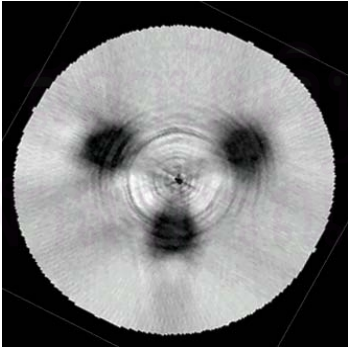
ตารางที่ 4.3 ชิ้นงานทดสอบสำหรับการเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมา

ชิ้นงานทดสอบที่	แผนภาพชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะชิ้นงานทดสอบ
9		ชิ้นงานเป็นแท่งเหล็กทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สูง 3 เซนติเมตร จำนวนสองแท่ง จัดเรียงบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร
10		ชิ้นงานเป็นแท่งเหล็กทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สูง 3 เซนติเมตร จำนวนสามแท่ง จัดเรียงบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร
11		ชิ้นงานเป็นแท่งเหล็กทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร สูง 3 เซนติเมตร จำนวนสามแท่ง จัดเรียงบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร สูง 0.5 เซนติเมตร

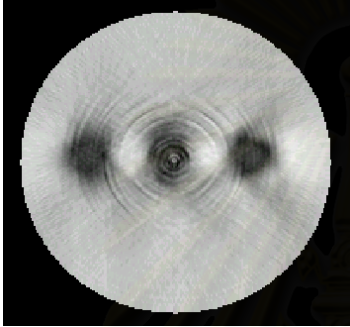
4.7 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมาโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบเมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจากพลังงาน 60 keV จากอเมริเซียม-241 และเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบรวมเฟรมจำนวน 300 เฟรม พบว่า ได้ภาพที่มีรายละเอียดใกล้เคียงกับชิ้นงานทดสอบจริง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบเมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

ชิ้นงานทดสอบที่	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ
9		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบวงกลมสีดำสองวงซึ่งก็คือแท่งเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง และรูปร่างของวัตถุตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง แต่บริเวณขอบภาพของวัตถุยังไม่คมชัด</p>
10		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบวงกลมสีดำสามวงเรียงตัวเป็นรูปสามเหลี่ยมซึ่งก็คือ แท่งเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาด 5 มิลลิเมตร ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง และรูปร่าง ของวัตถุตัวอย่างได้ดี แต่บริเวณขอบภาพของวัตถุยังไม่คมชัดจึงทำให้มองเห็นขอบภาพไม่กลมเท่าที่ควร จึงทำให้ไม่สามารถแยกความหนาความแตกต่างของรูปร่างวัตถุตัวอย่างได้ และจะมีแถบสีขาวที่เชื่อมระหว่างวัตถุตัวอย่างทั้งสาม เป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งอาจเกิดจากเนื่องจากการกระเจิงของรังสีแกมมา</p>

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ชิ้นงานทดสอบที่	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ
11		<p>จากภาพโทโมกราฟี จะพบวงกลมสีดำสามวงเรียงตัวเป็นแนวเส้นตรงซึ่งก็คือแท่งเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาด 5 มิลลิเมตร ซึ่งจากภาพที่ได้สามารถบอกทั้ง ตำแหน่ง และรูปร่าง ของวัตถุตัวอย่างได้ดี แต่บริเวณขอบภาพของวัตถุค่อนข้างมีวจนขอบภาพไม่เป็นวงกลม เนื่องจากความหนาของวัตถุตัวอย่างมากเกินไปจนลำรังสีไม่สามารถทะลุผ่านไปได้ จึงทำให้ไม่สามารถแยกความหนาความแตกต่างของรูปร่างวัตถุตัวอย่างได้ และจะมีแถบสีขาวที่เชื่อมระหว่างวัตถุตัวอย่างทั้งสาม เป็นแนวเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งอาจเกิดจากลำรังสีเนื่องจากการกระเจิงของรังสีแกมมา</p>

4.8 การทดสอบเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายรังสีแกมมาและนิวตรอนนิวตรอนด้วยเทคนิคโทรทัศน์

การเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอนด้วยกล้องมองภาพนิวตรอนนั้นมีการจัดระบบเช่นเดียวกับสองหัวข้อที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่จะกระทำที่ชิ้นงานทดสอบเดียวกัน กล่าวคือ เปลี่ยนแค่ระบบการเก็บข้อมูล เพื่อจะนำผลภาพที่ได้ไปศึกษาเปรียบเทียบถึงความแตกต่างจากถ่ายภาพด้วยรังสีทั้งสองแบบ

4.9 การออกแบบชิ้นงานทดสอบสำหรับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอน

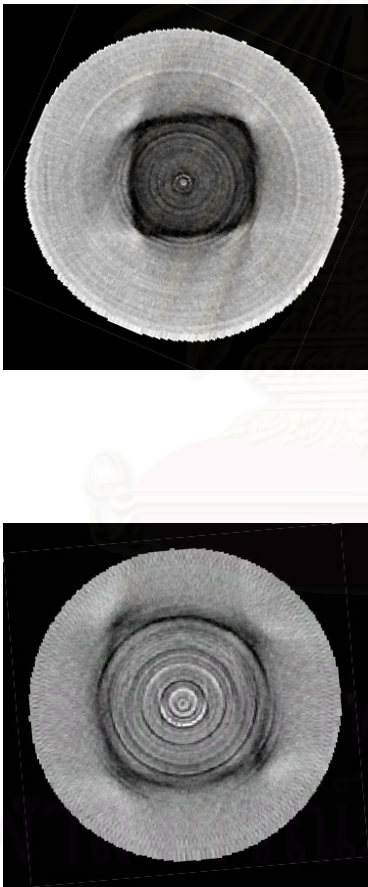
ในการทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยรังสีแกมมา และนิวตรอนนั้น ได้ออกแบบให้ภายในชิ้นงานประกอบไปด้วยวัตถุตัวอย่างหลายชนิด เพื่อศึกษาความแตกต่างของระบบเก็บข้อมูลในการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา และนิวตรอน โดยได้ออกแบบชิ้นงานทดสอบดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ชิ้นงานทดสอบที่เก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมา และนิวตรอน

ชิ้นงานทดสอบที่	แผนภาพชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะชิ้นงานทดสอบ
12		ชิ้นงานเป็นท่อเหล็กทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ภายในบรรจุผงโบรอน มีความกว้างแต่ละด้านเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร หนา 1 มิลลิเมตร สูง 3 เซนติเมตร จำนวนหนึ่งแท่ง วางบนฐานพลาสติกใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

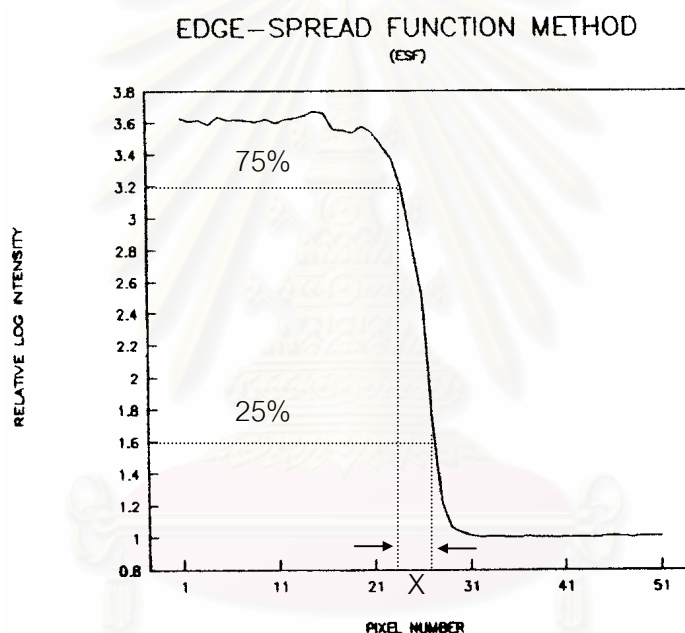
4.10 การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

ตารางที่ 4.6 ผลภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานจากการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนและรังสีแกมมา

ชิ้นงานทดสอบที่	ภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ	คำอธิบายลักษณะภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบ
12		<p>จากภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอน พบว่าขอบท่อเหล็กสี่เหลี่ยมเป็นสีดำชัดเจน ภายในซึ่งบรรจุด้วยผงโบรอน โดยจากภาพไม่สามารถแสดงรายละเอียดของบริเวณขอบท่อเหล็กได้ เนื่องจากค่าภาคตัดขวางของการดูดกลืนนิวตรอนของโบรอนจะสูงกว่าเหล็ก</p> <p>จากภาพโทโมกราฟีด้วยรังสีแกมมา พบว่าเห็นขอบท่อเหล็กสี่เหลี่ยมเป็นสีดำอ่อนๆ โดยไม่สามารถแสดงรายละเอียดด้านในที่เป็นผงโบรอนได้ เนื่องจากแล้วค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของโบรอนต่อรังสีแกมมามีค่าต่ำกว่าเหล็กมาก และท่อเหล็กก็มีความหนาเพียง 1 มิลลิเมตร จึงทำให้รังสีแกมมาทะลุไปเสียส่วนใหญ่</p>

4.11 การทดสอบหาค่ารีโซลูชัน (Resolution) เพื่อหาความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของระบบเก็บข้อมูล

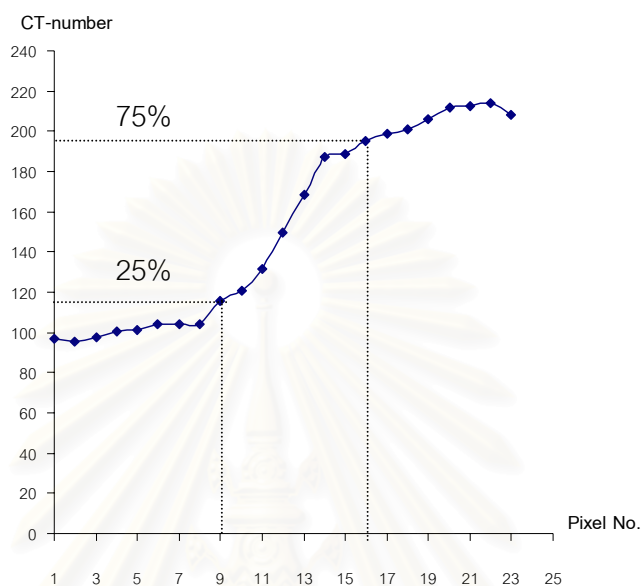
ในการหาค่ารีโซลูชันเพื่อหาความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของภาพโทโมกราฟีจากระบบเก็บข้อมูล โดยการอ่านค่า โปรไฟล์ของ ค่า CT-Number จากภาพโทโมกราฟี ณ บริเวณรอยต่อระหว่างวัตถุตัวอย่างกับอากาศซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วัตถุตัวอย่างเป็นพาราฟิน การบอกขีดความสามารถในการแยกรายละเอียดของระบบเก็บข้อมูลใช้วิธี Edge-Spread Function ในการตรวจสอบ



กราฟที่ 4.10 โปรไฟล์ของการทดสอบแบบ Edge-Spread function (ESF)

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า CT-number กับค่า pixel number ของภาพโทโมกราฟี พบว่าที่บริเวณที่เป็นอากาศ และบริเวณค่า CT-number ต่ำ ๆ หมายถึง บริเวณที่เป็นชิ้นงาน โดยระหว่างบริเวณรอยต่อนั้นค่า CT-number จะลดลงอย่างรวดเร็ว การจะตรวจสอบถึงคุณภาพของภาพโทโมกราฟีนั้นสามารถอ่านได้จากค่ารีโซลูชัน (resolution) โดยกำหนดความกว้างของ pixel number ระหว่างค่า CT-number จาก 25% และ 75% ของค่า CT-number สูงสุด พบว่า มีค่ารีโซลูชันเป็น X มิลลิเมตร จากรูปพบว่า การลดลงของลำนิวตรอน

เมื่อเคลื่อนผ่านจากส่วนที่เป็นอากาศเข้าสู่วัตถุตัวอย่างโดยตามหลักการแล้วการลดลงจะเป็นแบบ discrete แต่ในทางปฏิบัติการลดลงจะเป็นแบบมีความลาดเอียง



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงโปรไฟล์ผลการทดสอบของการทดสอบแบบ Edge-Spread function (ESF)

ซึ่งผลจากการทดสอบหาค่ารีโซลูชัน ที่แสดงดังรูปที่ 4.11 จากขนาดของพิกเซลของอุปกรณ์รับภาพมีค่าเท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร โดยค่าที่อ่านได้จากกราฟมีค่าเท่ากับ 8 พิกเซล ดังนั้นจึงได้ค่ารีโซลูชันเท่ากับ 200 ไมครอน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย วิจัยกรณีผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยการพัฒนากระบวนการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ บันทึกสัญญาณภาพในแถบวีดิทัศน์ แล้วจึงนำมาแปลงเป็นข้อมูลโปรไฟล์ลงในฮาร์ดดิสก์แล้วนำไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยเทคนิคการรวมเฟรมก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี พอสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 กล้องมองภาพนิวตรอนเป็นอุปกรณ์แปลงสัญญาณรังสีเป็นสัญญาณภาพสำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ ฉากรังสีชนิดสังกะสีซัลไฟด์ (ZnS (Ag)) ผลสมลิเทียม-6 (Li-6) ทำหน้าที่ในการดูดกลืนนิวตรอนแล้วให้อนุภาคอัลฟา ส่วนสังกะสีซัลไฟด์ (เงิน) เป็นสารเรืองแสง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยอนุภาคอัลฟา และอุปกรณ์ทวีความเข้มแสง (Image Intensifier) ทำหน้าที่ในการเพิ่มความเข้มของแสงที่ได้จากฉากรังสีให้มีความเข้มมากขึ้นเพื่อให้ได้ภาพไปปรากฏบนจอมมองภาพ (Phosphor Screen)

5.1.2 ระบบหมุนชิ้นงานทดสอบ เป็นชุดอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อหมุนชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงไม่เกิน 3 เซนติเมตร เนื่องจากข้อจำกัดของฉากรังสีที่อยู่ด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอน ประกอบด้วย

5.1.2.1 อุปกรณ์หมุนชิ้นงาน เป็นอุปกรณ์สำหรับหมุนชิ้นงานทดสอบที่ควบคุมการทำงานด้วยอุปกรณ์ควบคุมการหมุนชิ้นงาน สามารถเลือกหมุนชิ้นงานด้วยมุมที่ละ 1.8 หรือ 3.6 องศา

5.1.2.2 อุปกรณ์ควบคุมระบบหมุนชิ้นงาน ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบหมุนชิ้นงาน โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ส่งสัญญาณคำสั่งไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ โดยใช้เวลาในการเก็บข้อมูลต่อหนึ่งชิ้นงานประมาณ 15 นาที

5.1.2.3 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบเก็บข้อมูลผ่านทางแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ พัฒนาโดยใช้ภาษาซีที่เบสิก เวอร์ชัน 2.0

5.1.3 โปรแกรมรวมเฟรม^[5] ใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพของภาพโทโมกราฟี ทดสอบการรวมเฟรมที่ จำนวน 1 , 50 , 100 , 150 , 200 , 250 , 300 , 350 , 400 ,450 และ500 เฟรม โดยใช้เวลาในการรวมเฟรมจากข้อมูล 181 เรย์ซิม ในแต่ละโปรไฟล์ เท่ากับ 3.5 วินาที

5.1.4 ผลการทดสอบหาค่ารีโซลูชัน (Resolution) เพื่อหาความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของระบบเก็บข้อมูล พบว่า ได้ค่ารีโซลูชันเท่ากับ 200 ไมครอน ซึ่งหมายถึงระบบเก็บข้อมูลนี้สามารถแสดงภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างมีขนาดเล็กที่สุดเท่ากับ 200 ไมครอน

5.2 วิจัยผลการวิจัย

5.2.1 การทดสอบเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายนิวตรอนด้วยเทคนิคโทราทัศน์ โดยใช้เทอร์มัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เดินเครื่องที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์ พบว่าภาพโทโมกราฟีที่เก็บข้อมูลแบบเฟรมเดียวได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยสามารถระบุ ขนาด รูปร่าง ตำแหน่ง ชนิดของวัตถุตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง แต่ยังมีปัญหาเรื่องความคมชัดและความเบี่ยงเบนอยู่บ้าง เนื่องจากการกระเจิงของนิวตรอนภายในวัตถุตัวอย่างและสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ทำให้ข้อมูลโปรไฟล์มีความแปรปรวนสูง ส่งผลให้เกิด artifact บนภาพโทโมกราฟีที่ได้ แต่เมื่อนำข้อมูลโปรไฟล์ไปผ่านเทคนิคการรวมเฟรมเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลโปรไฟล์ ปรากฏว่าภาพโทโมกราฟีที่ได้จากเทคนิคการรวมเฟรมตั้งแต่ 300 เฟรม ขึ้นไป มีความคมชัดดีขึ้น

5.2.2 การทดสอบเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายรังสีแกมมาด้วยเทคนิคโทราทัศน์ เป็นการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยต้นกำเนิดรังสี อเมริเซียม-241 (Am-241) พบว่าภาพโทโมกราฟีที่ได้จากการเก็บข้อมูลแบบเฟรมเดียว พบว่าสามารถระบุตำแหน่ง รูปร่างได้อย่างถูกต้อง แต่ยังมีปัญหาเรื่องขอบภาพมัวอยู่เล็กน้อยทำให้ขนาดภาพมีขนาดใหญ่กว่าวัตถุจริง และมองเห็นภาพรูปร่างของวัตถุตัวอย่างผิดไปจากรูปร่างจริง เนื่องจากชิ้นงานทดสอบมีความหนาแน่นของวัตถุตัวอย่างมากเกินไปทำให้รังสีแกมมาไม่สามารถทะลุผ่านได้ และปัญหาขอบภาพมัวที่เกิดจากการวางต้นกำเนิดรังสีไว้ใกล้ชิ้นงานทดสอบมากเกินไป รวมถึงปัญหาการกระเจิงของรังสีแกมมาภายในวัตถุตัวอย่างและสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ซึ่งส่งผลให้เกิด artifact บนภาพโทโมกราฟีที่ได้ แต่เมื่อนำข้อมูลโปรไฟล์ไปผ่านเทคนิคการรวมเฟรมเพื่อลดความแปรปรวนของข้อมูลโปรไฟล์ ปรากฏว่าภาพโทโมกราฟีที่ผ่านเทคนิคการรวมเฟรมตั้งแต่ 300 เฟรม ขึ้นไป มีความคมชัดดีขึ้น

5.2.3 การทดสอบเก็บข้อมูลจากภาพถ่ายด้วยนิวตรอนและรังสีแกมมาโดยเทคนิคโทรทัศน์ ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลแบบเดียวกับสองวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเพียงแต่ใช้ชิ้นงานทดสอบร่วมกัน เพื่อนำผลของภาพโทโมกราฟีที่ได้จากทั้งสองวิธีมาศึกษาเปรียบเทียบ ซึ่งจากผลของภาพโทโมกราฟีแบบเฟรมเดี่ยวที่ได้ พบว่าสามารถระบุตำแหน่ง รูปร่างได้อย่างถูกต้อง แต่ยังคงขาดความคมชัด และความเปรียบต่างดังเช่นสองหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว แต่เมื่อได้นำข้อมูลไปไฟล์ไปผ่านเทคนิคการรวมเฟรมที่จำนวน 300 เฟรม ปรากฏว่าภาพโทโมกราฟีที่ได้มีความคมชัดดีขึ้นและเมื่อนำผลภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการเก็บข้อมูลทั้งสองวิธีมาศึกษาเปรียบเทียบ ปรากฏว่าให้ผลของภาพโทโมกราฟีถูกต้องตามหลักการการถ่ายภาพด้วยรังสี โดยสัมพันธ์กับการลดทอนของรังสีแกมมาของธาตุต่าง ๆ ขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุนั้น ในขณะที่สัมพันธ์กับการลดทอนของนิวตรอนขึ้นกับภาคตัดขวางของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับนิวไคลด์ของแต่ละธาตุ ซึ่งไม่ขึ้นกับเลขอะตอม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลด้วยนิวตรอนและรังสีแกมมาโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน เป็นการนำนิวตรอนมาใช้ในการทดสอบชิ้นงานเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม แต่ระบบเก็บข้อมูลยังมีขีดจำกัดของการใช้งานอยู่ ดังนั้นจึงขอเสนอสิ่งที่ควรปรับปรุงเพื่อปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยนี้ คือ

5.3.1 ควรพัฒนาและปรับปรุงระบบเก็บข้อมูลให้สามารถถ่ายภาพของชิ้นงานด้วยนิวตรอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ ซึ่งอาจปรับปรุงหรือจัดหาอุปกรณ์แปลงสัญญาณรังสีเป็นสัญญาณภาพที่มีประสิทธิภาพที่ดีให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

5.3.2 ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อบังคับลำนิวตรอนบริเวณด้านหน้าของชิ้นงานเพื่อลดการรบกวนอันเนื่องมาจากการกระเจิงของนิวตรอน ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญในการถ่ายภาพ

5.3.3 ควรมีการพัฒนาหรือจัดหาอุปกรณ์รับภาพที่มีความไวแสงต่ำกว่าที่ใช้ในงานวิจัย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกแยะระดับความเข้มของภาพ และทำให้สามารถแยกความแตกต่างของขนาด และรูปร่างวัตถุตัวอย่างที่มีขนาดใกล้เคียงกันได้ดียิ่งขึ้น

5.3.4 ควรพัฒนาระบบแสดงภาพถ่ายด้วยรังสีให้ได้ภาพที่มีรายละเอียด และความคมชัดมากขึ้น ได้แก่ ระบบ image processing

5.3.5 ควรมีการนำการเฉลี่ยค่าข้อมูลโปรไฟล์จากหลายแถวมาใช้แก้ปัญหาการเกิด ring artifact

รายการอ้างอิง

- [1]. ภาณุพันธ์ เข็มหนู. การพัฒนาระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [2]. สมยศ ศรีสถิตย์ , อรรถพร ภัทรสุมันต์. การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคฟิล์มเพื่อการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย. สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร, 2538.
- [3]. เรืออากาศตรี นพดล นาคเงิน. การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [4]. ชีรวัดณ์ ประกอบผล. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), พฤศจิกายน 2541.
- [5]. ประสิทธิ์ สิริทิพย์รัศมี. การพัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรทัศน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [6]. ASTM. Metal Test Methods and Analytical procedure (E 1441 – 97). Volume 03.03.1998 Annual Book of ASTM Standards section 3. Easton, MD, USA, 1998.
- [7]. Willi A. Kalender. Computed Tomography. Munich: Publicis MCD Webeagentur GmbH, 2000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคโทรทัศน์สำหรับคำนวณสร้างภาพ
โทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- นเรศร์ จันทร์ขาว. การถ่ายภาพด้วยรังสีในอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการเรียนวิชาการ
ประยุกต์ใช้รังสีและไอโซโทปรังสีในทางอุตสาหกรรม, ตุลาคม 2540.
- มานัส มงคลสุข. พื้นฐานทางฟิสิกส์ของCT และ MRI. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไพศาล
ศิลป์การพิมพ์, 2532.
- วิเชียร รตนธงชัย. การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนโดยใช้ฉากเปลี่ยนนิวตรอนบีตี่-10. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2540

ภาษาอังกฤษ

- Fujine S. Collected Papers of Research Activities on Neutron Radiography in Japan.
Research Reactor Institute: Kyoto University, 1990
- Knoll Glenn F. Radiation Detection and Measurement. New York: John Wiley&Sons
company, 1979
- Lamarsh J.R. Introduction to Nuclear Engineering. New York: Addison-wesley
publishing company, 1982
- Keiji Kanda, Shigenori Fujine, and Kenji Yoneda. Neutron Computed Tomography using
the Neutron Television System. 1994



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ได้ถูกนำเสนอใน “ การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิเวศวิทยุ ครั้งที่ 8 “ ที่จัดโดย สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับ สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย ณ ห้องประชุม อาคารสารนิเทศ 50 ปี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อวันที่ 20-21 มิถุนายน พ.ศ. 2544 ได้รับการตีพิมพ์ในเอกสารดังกล่าวในหน้าที่ 217 ถึง 227



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วย นิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

นารายณ์ รัตนไพโรจน์ขจี สมยศ ศรีสฤติย์ และ อรรถพร ภัทรสมันต์

ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทรศัพท์ 218-6782 โทรสาร 218-6770

บทคัดย่อ

ได้พัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายด้วยนิวตรอนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเพื่อใช้ประโยชน์ในการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ กล้องมองภาพนิวตรอนและระบบหมุนชิ้นงานควบคุมจากระยะไกล โดยกล้องมองภาพนิวตรอนประกอบด้วย ฉากรังกะสีซัลไฟด์(เงิน) และลิเทียม-6 ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์ที่วัดความเข้มแสง และกล้องโทรทัศน์ความไวสูงสามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์ได้จากภาพถ่ายนิวตรอนที่แสดงบนจอมอนิเตอร์ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณภาพโดยตรงจากกล้องโทรทัศน์หรือจากเครื่องวัดที่บันทึกข้อมูลภาพไว้ด้วยระบบเก็บข้อมูลภาพ สำหรับระบบหมุนชิ้นงานนี้ออกแบบให้สามารถรองรับชิ้นงานตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 3 เซนติเมตร กำหนดให้หมุนด้วยมุมทีละ 1.8 หรือ 3.6 องศา

จากการทดสอบระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยการถ่ายภาพด้วยเทอร์มินัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1 ที่เดินเครื่องด้วยกำลัง 700 และ 1000 กิโลวัตต์ กับชิ้นงานตัวอย่างพบว่าได้ผลการทดสอบเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง โดยภาพโทโมกราฟีที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานตรวจสอบแบบไม่ทำลายได้ แต่ถ้าต้องการปรับปรุงคุณภาพของภาพโทโมกราฟีให้ดียิ่งขึ้นสามารถกระทำได้โดยการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพ โดยใช้เทคนิคการรวมเฟรมและเลือกจำนวนเฟรมที่เหมาะสมจะทำให้ภาพโทโมกราฟีที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น

Development of a Data Acquisition System for Neutron Computed Tomography using The Neutron Imaging Scope

Narai ratanapirojkajee, Somyot Srisatit and Attaporn Pattarasumant

Department of Nuclear Technology , Faculty of Engineering , Chulalongkorn

University Tel. 2186782 Fax 218-6770

ABSTRACT

The projection data acquisition system from neutron radiography was developed for a computed tomography (CT) application in non-destructive testing. The main parts of the system included a neutron imaging scope and a rotational system with a remote control device. The neutron imaging scope, which was composed of ZnS (Ag) and Li-6 screen connected to the image intensifier and television camera. The projection data could be collected from the image data directly or from the recorded image on video tape using a video capture card. The data acquisition system was designed to operate any specimen with the maximum diameter of 3 centimeters with an step angle of 1.8 or 3.6 degrees.

Different specimens were test using thermal neutrons from the Thai research reactor TRR-1/M1, which operated at 700 and 1000 kW. The results were rather satisfied . The tomography can apply to use with non-destructive testing(NDT).However, the tomography was improved by improve the image data by using the frame integral technique with a sufficient number of frames, the radiograph was improved and the CT images were finally improved.

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราการแข่งขันและการขยายตัวทางอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุและผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาตรฐานในการผลิต ทั้งในเรื่องของความปลอดภัย ความประหยัด และเพื่อเป็นการรับรองคุณภาพของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์นั้นๆ จึงได้มีการประยุกต์เทคนิคทางรังสีเพื่อพัฒนางานทางด้านอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะ การตรวจสอบหาสิ่งบกพร่องหรือสิ่งผิดปกติในชิ้นงาน โดยใช้วิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiography) โดยวิธีนี้เป็นการอาศัยคุณสมบัติในการทะลุทะลวงของรังสีผ่านวัสดุในการถ่ายภาพซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพแบบระนาบ 2 มิติ โดยเทคนิคที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างภาพตัดขวางของวัสดุชิ้นงาน หรือที่เรียกกันว่า ภาพโทโมกราฟี (Tomography) ซึ่งเป็นวิธีตรวจสอบวัสดุโดยไม่ทำลาย (Non Destructive Testing ; NDT) ที่นิยมใช้กันวิธีหนึ่ง

โดยในการถ่ายภาพด้วยนิวตรอนต่างกับการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมา รังสีเอกซ์ เนื่องจากรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อันตรกิริยาของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา กับสสารเกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม สัมประสิทธิ์การลดทอนของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาของธาตุต่างๆ จึงขึ้นกับเลขอะตอมของธาตุนั้น ส่วนนิวตรอนเป็นอนุภาคที่ไม่มีประจุ อันตรกิริยาของนิวตรอนกับสสารเกิดขึ้นที่นิวเคลียสของอะตอม สัมประสิทธิ์การลดทอนของนิวตรอนจึงขึ้นกับภาคตัดขวางของการเกิดอันตรกิริยาระหว่างนิวตรอนกับนิวไคลด์ของแต่ละธาตุ ซึ่งไม่ขึ้นกับเลขอะตอม

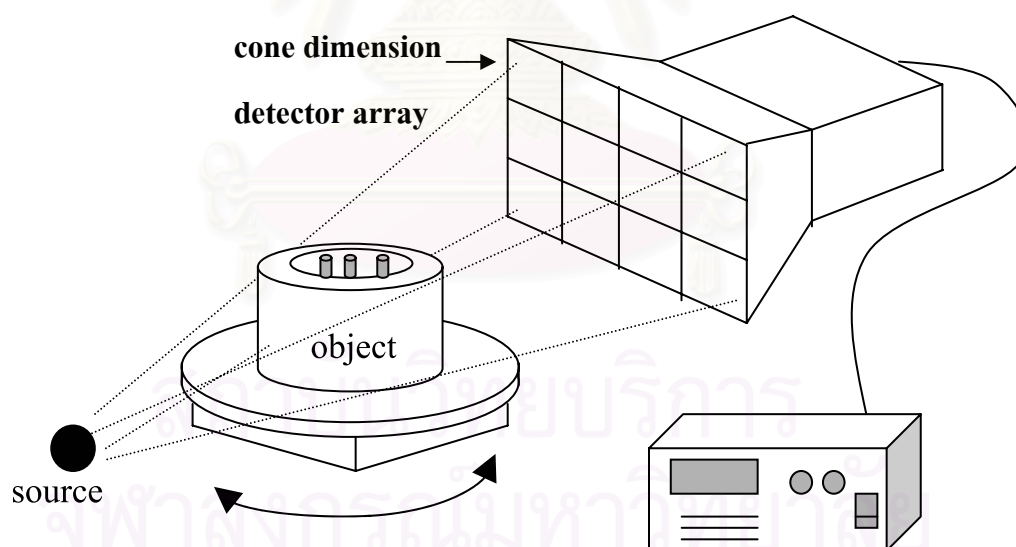
ดังนั้น การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนจึงให้รายละเอียดของภาพและคุณสมบัติการใช้งานแตกต่างจากการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์และด้วยข้อจำกัดในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และการถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาบางประการ เช่น ในกรณีที่มีวัสดุที่มีองค์ประกอบของธาตุเบาอยู่ปะปนหรือถูกห่อหุ้มด้วยธาตุหนัก การถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ จะไม่สามารถเห็นภาพในส่วนที่ของวัสดุที่มีองค์ประกอบเป็นธาตุเบาได้ หรือเห็นได้ไม่ดี การถ่ายภาพด้วยนิวตรอนสามารถช่วยให้ภาพถ่ายด้วยรังสีในส่วนที่เป็นธาตุเบาสมบูรณ์ชัดเจนขึ้นมาก แม้จะอยู่ปะปนหรือถูกห่อหุ้มด้วยธาตุหนัก

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

1. ระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีรูปกรวย (cone beam)

การเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้เป็นการถ่ายภาพวัตถุซึ่งสามารถทราบรายละเอียดทั้งในแนวแกนนอนกับแกนตั้ง ซึ่งลำรังสีที่ใช้มีลักษณะเป็นรูปกรวยที่ออกจากต้นกำเนิดรังสี สำหรับส่วนรับข้อมูลหรือหัววัดรังสีนั้นจะมีลักษณะเรียงกันเป็นแถวหลายๆแถว หรืออาจใช้แผ่นเรืองแสงรับภาพโดยมีกล้องโทรทัศน์จับภาพ และแสดงภาพบนจอคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่2 การเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธีนี้ใช้เวลาที่น้อยที่สุดซึ่งอาจเรียกว่า “ระบบโทรทัศน์ (television system)”

โดยงานวิจัยนี้ได้นำหลักการของระบบโทรทัศน์มาใช้ในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของภาพ เพื่อนำไปสร้างภาพโทโมกราฟี และศึกษาเทคนิคการเก็บข้อมูลเพื่อสำหรับพัฒนาระบบเก็บข้อมูลให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น



รูปที่2 ระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีรูปกรวย

2. ต้นกำเนิดนิวตรอน

นิวตรอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากปฏิกิริยาแตกตัว (Fission) ของยูเรเนียม - 235 ในแท่งเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย (ปปว-1/1) ซึ่งติดตั้งที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูรุ่น TRIGA MARK III มีกำลังในการเดินเครื่องสูงสุด 2 เมกกะวัตต์

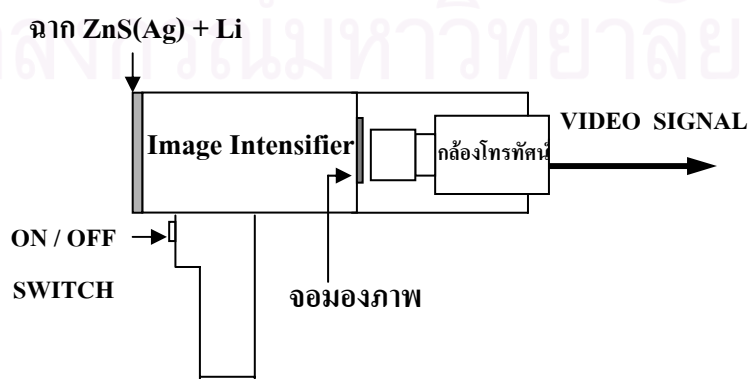
3. กล้องมองภาพนิวตรอน

กล้องมองภาพนิวตรอนถือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากสำหรับงานวิจัยนี้ โดยพื้นที่ด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนมีลักษณะเป็นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตรโดยที่ขนาดของชิ้นงานที่จะนำมาทดสอบนั้นจะต้องมีทั้งขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงไม่เกิน 3 เซนติเมตรโดยประมาณ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเทคนิคการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นการถ่ายภาพของชิ้นงานทั้งชิ้นในแต่ละมุม เพื่อจะได้ข้อมูลภาพที่สามารถเลือกตำแหน่งของชิ้นงานที่สนใจไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้

ส่วนประกอบของกล้องมองภาพนิวตรอนแสดงดังรูปที่ 4 โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. ฉากรังสีชนิดสังกะสีซัลไฟด์ (ZnS(Ag)) ผสม ลิเทียม-6 (Li-6) ที่อยู่บริเวณด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรังสีแกมมาหรือนิวตรอนที่ทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่างออกมาให้เป็นแสงเพื่อที่จะทำปฏิกิริยากับอุปกรณ์รับภาพได้

2. อุปกรณ์ทวีความเข้มแสง (Image Intensifier) ทำหน้าที่ในการเพิ่มความเข้มของแสงที่ได้จากฉากรังสีให้มีความเข้มมากขึ้นเพื่อให้ได้ภาพไปปรากฏบนจอมมองภาพ (Phosphor Screen) ของกล้องมองภาพนิวตรอนได้

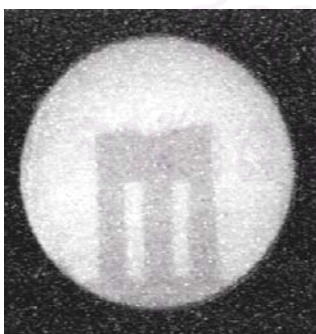


รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของกล้องมองภาพนิวตรอน

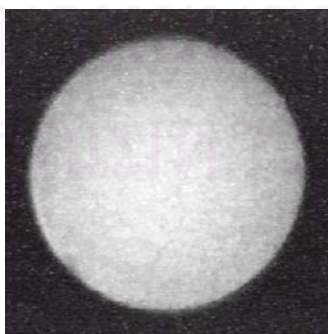
การออกแบบระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคโทรทัศน์

หลักการการทำงานของระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยนิวตรอน โดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน เป็นการจัดระบบเก็บข้อมูลดังรูปที่ 8 โดยใช้ต้นกำเนิดนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว.1/1 ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ผ่านลำบังคั้นนิวตรอนไปยังชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ เมื่อนิวตรอนทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่างไปกระทบกับด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนซึ่งด้านหน้าของกล้องมองภาพนิวตรอนเป็นฉากเรืองรังสีชนิด ZnS(Ag) ผสม Li ทำหน้าที่เปลี่ยนนิวตรอนให้เป็นแสง โดยนิวตรอนจะทำปฏิกิริยากับ Li และให้อนุภาค อัลฟา (α) และทริตอน (^3H) และจากปฏิกิริยาดังกล่าวอนุภาคอัลฟาที่ได้ก็จะไปทำปฏิกิริยากับ ZnS(Ag) ทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นแต่เนื่องจากแสงที่ได้มีความเข้มต่ำจึงต้องมี อุปกรณ์ทวีความเข้มแสง (Image Intensifier) เพื่อทำหน้าที่ เป็นตัวเพิ่มความเข้มแสงจนทำให้ปรากฏภาพขึ้นบนจอมมองภาพ (Phosphor Screen) ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ส่วนด้านหลังของกล้องมองภาพนิวตรอนเป็นกล้องโทรทัศน์ซึ่งทำหน้าที่จับภาพที่ได้จากจอมมองภาพของกล้องมองภาพนิวตรอนไปแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ (ลักษณะภาพที่แสดงผลบนมอนิเตอร์นี้เรียกว่า "Radiograph" ดังรูปที่ 5) จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลภาพที่ได้ลงในแถบวิดีโอทัศน์ โดยในการเก็บข้อมูลภาพนั้นจะเก็บข้อมูลภาพในแต่ละมุมจำนวน 1 ภาพพร้อมกับทำการหมุนชิ้นงานตัวอย่างด้วยมุมที่กำหนดขึ้นไปจนเป็นมุมอย่างน้อย 180 องศา โดยอุปกรณ์หมุนชิ้นงานตัวอย่างจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และในขณะที่หมุนชิ้นงานแต่ละมุมจะทำการบันทึกสัญญาณเสียงที่ใช้บอกโปรไฟล์ของข้อมูลภาพที่สอดคล้องกับการหมุนในแต่ละมุมควบคุมไปด้วย



รูปที่ 5 Radiograph ของชิ้นงานทดสอบ

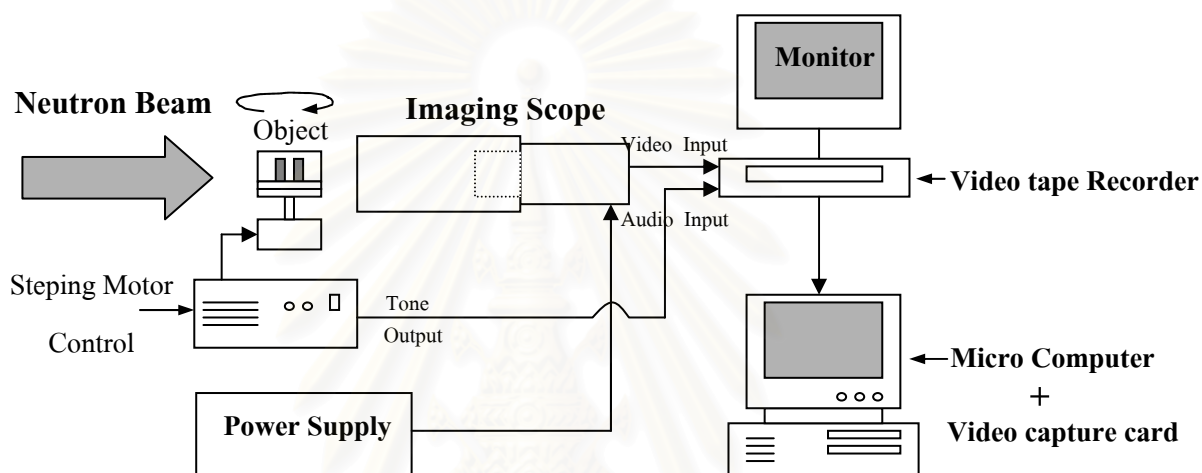


รูปที่ 6 Shading



รูปที่ 7 Dark Current

จากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้จากแถบวิดีโอให้เป็นข้อมูลภาพโดยใช้แผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพ (Video Capture Card) ที่ติดตั้งบนไมโครคอมพิวเตอร์แล้ว เก็บบันทึกข้อมูลภาพลงบนหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ โดยในขั้นตอนของการคำนวณสร้างภาพจะต้องมีการนำค่า Shading และ Dark Current ดังรูป 6 และ 7 ตามลำดับ ไปคิดคำนวณด้วยเพื่อให้ได้ภาพโทโมกราฟีที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น จากนั้นจึงนำข้อมูลภาพที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ไมโครคอมพิวเตอร์ต่อไป



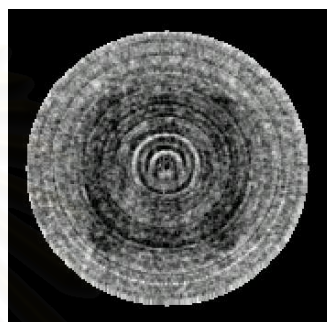
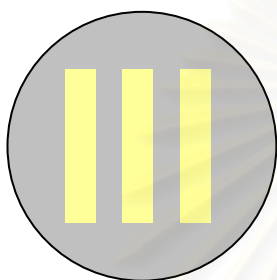
รูปที่ 8 แสดงระบบเก็บข้อมูลเพื่อสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน

ผลการศึกษาวิจัย

การทดสอบเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบวัตถุทดสอบเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยเลือกศึกษาชิ้นงานทดสอบจำนวน 3 แบบ ดังต่อไปนี้

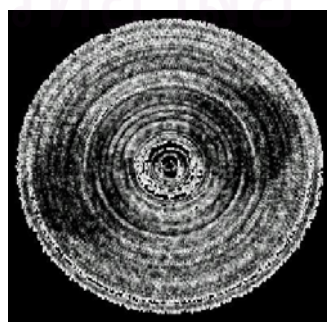
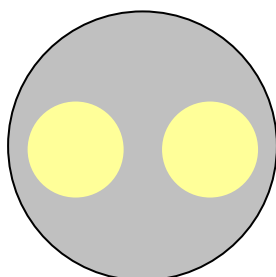
ชิ้นงานทดสอบที่ 1 วัตถุทดสอบทำจากโบเรตเตตพาราฟินรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาด 0.5x2.3 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร วางบนฐานอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 3 แท่งวางเรียงกันดังรูป ภาพที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลวิธีนี้มีความละเอียด 320 x 240 pixel เมื่อทำการหมุนวัตถุทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลด้วยมุม 1.8 องศา โดยมีระยะห่างระหว่างเรย์ซั่มเท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร จำนวน 175 เรย์ซั่มได้ข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมด 100 โปรไฟล์ โดยใช้เวลากักเก็บข้อมูลในแต่ละมุมประมาณ 7 วินาที



รูปที่ 9 (ก) แผนภาพชิ้นงานทดสอบที่ 1

(ข) ภาพโทโมกราฟี

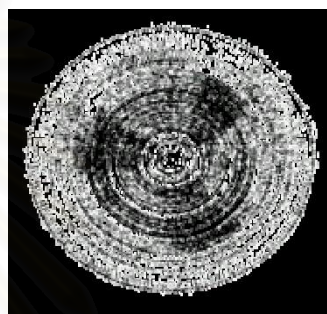
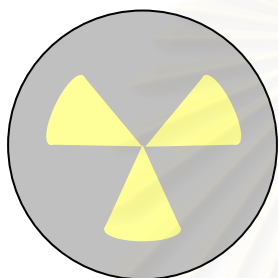
ชิ้นงานทดสอบที่ 2 วัตถุทดสอบทำจากพาราฟินทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตรวางบนฐานอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 2 แท่งวางเรียงกันดังรูป ภาพที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลวิธีนี้มีความละเอียด 320 x 240 pixel เมื่อทำการหมุนวัตถุทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลด้วยมุม 1.8 องศา โดยมีระยะห่างระหว่างเรย์ซั่มเท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร จำนวน 185 เรย์ซั่มได้ข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมด 100 โปรไฟล์ โดยใช้เวลากักเก็บข้อมูลในแต่ละมุมประมาณ 7 วินาที



รูปที่ 10 (ก) แผนภาพชิ้นงานทดสอบที่ 2

(ข) ภาพโทโมกราฟี

ชิ้นงานทดสอบที่ 3 วัตถุทดสอบทำจากพาราฟินรูปทรงสามเหลี่ยมด้านเท่าที่มีความยาวแต่ละด้าน 1.5 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตรวางบนฐานอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร จำนวน 3 แท่งวางเรียงกันมีลักษณะเป็นใบพัดตั้งรูป ภาพที่ได้จากระบบเก็บข้อมูลวิธีนี้มีความละเอียด 320 x 240 pixel เมื่อทำการหมุนวัตถุทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลด้วยมุม 1.8 องศา โดยมีระยะห่างระหว่างเรย์ซึ่มเท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร จำนวน 187 เรย์ซึ่มได้ข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมด 100 โปรไฟล์ โดยใช้เวลาเก็บข้อมูลในแต่ละมุมประมาณ 7 วินาที



รูปที่ 11 (ก) แผนภาพชิ้นงานทดสอบที่ 3

(ข) ภาพโทโมกราฟี

บทวิจารณ์และสรุปผล

จากการทดลองเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทอร์มินัลนิวตรอนจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัยที่พลังงานต่าง ๆ กัน สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี พบว่าผลของภาพโทโมกราฟีที่ได้เป็นที่พอใจในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากความเข้มของข้อมูลภาพที่ได้มีค่าต่ำ และความแปรปรวนของข้อมูลภาพที่ได้อาจมีค่าน้อย เนื่องจากข้อจำกัดในการออกแบบชิ้นงาน รวมทั้งปัญหาของสัญญาณรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพของภาพโทโมกราฟีให้ดียิ่งขึ้น โดยการนำข้อมูลภาพที่ได้ไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลภาพแบบการรวมเฟรม พบว่าชุดข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้มีการกระเจิงของข้อมูลลดน้อยลง หรืออีกนัยหนึ่งก็คือข้อมูลโปรไฟล์มีความเรียบมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ภาพโทโมกราฟีที่ได้มีความคมชัดมากขึ้นซึ่งทำให้สามารถมองเห็นลักษณะของส่วนที่เป็นแท่งชิ้นงานได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รวมทั้งอาจารย์ประจำภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ทุกท่านซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของงานวิจัยมาด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนบางส่วนสำหรับการวิจัย และทำให้งานวิจัยดำเนินไปด้วยดี

ขอขอบคุณสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ รวมทั้งบุคลากรและเจ้าหน้าที่กองฟิสิกส์และกองปฏิบัติการปฏิบัติทุกท่านที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Lamarh, John.R. Introduction to Nuclear Engineering. New York: Addison – Wiley publishing company, 1975.
2. Knoll Glenn F. Radiation Detection and Measurement. New York: John Wiley & Sons company, 1979.
3. Keiji Kanda, Shigenori Fujine, and Kenji Yoneda. "Neutron Computed Tomography using the Neutron Television System" Japan : Kyoto University, 1993
4. มานัส มงคลสุข. พื้นฐานทางฟิสิกส์ของ CT และ MRI. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไพศาลศิลป์การพิมพ์, 2532.
5. ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคโทรทัศน์สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
6. นพดล นาคเงิน. การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีแกมมาและนิวตรอนโดยใช้กล้องมองภาพนิวตรอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชานิวเคลียร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบเก็บข้อมูล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
10 CLEAR S
20 PA=0E0E0H : PB=0E0E1H : PC=0E0E2H
30 XBY(0E0E3H)=137
40 PORT1=9
50 ANG=(XBY(PC).AND.128)
60 IF ANG=0 THEN XBY(PB)=24
70 IF ANG=128 THEN XBY(PB)=54
80 TEST=(XBY(PC).AND.112)
90 IF TEST=96 THEN GOSUB 1100
100 IF TEST=80 THEN GOSUB 1150
110 IF TEST=48 THEN GOSUB 1200 : GOTO 130
120 GOTO 80
130 ONEX1 210
140 IDLE
150 N=1
160 FOR R=1 TO 999
170 IF ANG=0 THEN GOSUB 300
180 IF ANG=128 THEN GOSUB 350
190 NEXT R
200 END
210 RETI
300 PORT1=3 : FOR X=1 TO 100 : NEXT X : GOSUB 600 : GOSUB 490
310 PORT1=6 : FOR X=1 TO 100 : NEXT X : GOSUB 600 : GOSUB 490
320 PORT1=12 : FOR X=1 TO 100 : NEXT X : GOSUB 600 : GOSUB 490
330 PORT1=9 : FOR X=1 TO 100 : NEXT X : GOSUB 600 : GOSUB 490
340 RETURN
350 READ A,B
360 PORT1=A : FOR X=1 TO 200 : NEXT X
370 PORT1=B : FOR X=1 TO 100 : NEXT X
380 GOSUB 600
400 IF B=9 THEN RESTORE
410 GOSUB 490
420 DATA 3,6,12,9
430 RETURN
490 SW=(XBY(PC).AND.15)
```

```
500 IF SW=14 THEN IDLE
510 IF SW=13 THEN GOTO 10
520 RETURN
600 N1=INT(N/100)
610 N2=INT((N-(N1*100))/10)
620 N3=N-(N1*100)-(N2*10)
630 XBY(PA)=120 : XBY(PA)=0
640 GOSUB 900
645 FOR X=1 TO 680 : NEXT X
650 P=N1 : GOSUB 700 : XBY(PA)=P : XBY(PA)=0
655 FOR X=1 TO 490 : NEXT X
660 P=N2 : GOSUB 700 : XBY(PA)=P : XBY(PA)=0
665 FOR X=1 TO 490 : NEXT X
670 P=N3 : GOSUB 700 : XBY(PA)=P : XBY(PA)=0
675 FOR X=1 TO 500 : NEXT X
680 N=N+1 : FOR X=1 TO 5000 : NEXT X
690 RETURN
700 REM*****voice*****
710 IF P=0 THEN P=110
720 IF P=1 THEN P=65
730 IF P=2 THEN P=70
740 IF P=3 THEN P=75
750 IF P=4 THEN P=80
760 IF P=5 THEN P=85
770 IF P=6 THEN P=90
780 IF P=7 THEN P=95
790 IF P=8 THEN P=100
800 IF P=9 THEN P=105
810 RETURN
900 REM***display***
910 IF N2=0 THEN N10=0
920 IF N2=1 THEN N10=16
930 IF N2=2 THEN N10=32
940 IF N2=3 THEN N10=48
950 IF N2=4 THEN N10=64
```

```
960 IF N2=5 THEN N10=80
970 IF N2=6 THEN N10=96
980 IF N2=7 THEN N10=112
990 IF N2=8 THEN N10=128
1000 IF N2=9 THEN N10=144
1010 T=N10+N3
1020 XBY(PB)=T
1030 RETURN

1100 PORT1=3 : FOR X=1 TO 10 : NEXT X
1110 PORT1=6 : FOR X=1 TO 10 : NEXT X
1120 PORT1=12 : FOR X=1 TO 10 : NEXT X
1130 PORT1=9 : FOR X=1 TO 10 : NEXT X
1140 RETURN

1150 PORT1=9 : FOR X=1 TO 10 : NEXT X
1160 PORT1=12 : FOR X=1 TO 10 : NEXT X
1170 PORT1=6 : FOR X=1 TO 10 : NEXT X
1180 PORT1=3 : FOR X=1 TO 10 : NEXT X
1190 RETURN

1200 FOR X=1 TO 500 : NEXT X
1210 XBY(PB)=3
1220 FOR X=1 TO 300 : NEXT X
1230 XBY(PB)=2
1240 FOR X=1 TO 300 : NEXT X
1250 XBY(PB)=1
1260 FOR X=1 TO 300 : NEXT X
1270 XBY(PB)=0
1280 RETURN
```

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณารายณ์ รัตน์ไพโรจน์ขจี เกิดเมื่อวันที่ 6 สิงหาคม พ.ศ. 2519 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2540 จากนั้นเข้ารับการศึกษาระดับที่ ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย