

การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี  
โดยใช้ซีไอเอสแบบแถว



นายเกรียงไกร ธีบุญนุกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1149-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A PROFILE DATA ACQUISITION SYSTEM  
FOR COMPUTED TOMOGRAPHY USING LINE CIS



Mr. Kreingkrai Tuntananukul

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1149-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพ โทโมกราฟี โดยใช้ซีไอเอสแบบแถว
โดย	นายเกรียงไกร ัญญนนกุล
สาขาวิชา	นิเวศวิทยเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

..... กรรมการ  
(อาจารย์เดโช ทองอร่าม)

เกรียงไกร ธีรัตนกุล : การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ซีไอเอสแบบแถว. (DEVELOPMENT OF A PROFILE DATA ACQUISITION SYSTEM FOR COMPUTED TOMOGRAPHY USING LINE CIS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.สมยศ ศรีสถิตย์ จำนวนหน้า 66 หน้า ISBN 974-53-1149-9.

ได้พัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ซีไอเอสแบบแถวจากเครื่องสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะที่มีขายทั่วไปตามท้องตลาดร่วมกับโปรแกรมควบคุมเพื่อวัดความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านชิ้นงานตัวอย่างออกมาแล้วเปลี่ยนให้เป็นแสงโดยใช้ฉากเรืองรังสีที่ติดอยู่ด้านหน้าของอุปกรณ์รับภาพซีไอเอสบนเครื่องสแกนเนอร์ ข้อมูลโปรไฟล์ทั้งหมดซึ่งแปรผันสัมพันธ์กับความเข้มรังสีเอกซ์ที่ผ่านวัตถุตัวอย่างออกมาในทุก ๆ มุมจะถูกเก็บรวบรวมโดยการหมุนวัตถุตัวอย่างไปที่ละ 0.438 องศา แล้วเปลี่ยนเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข 256 ระดับโดยใช้เวลาทั้งสิ้น 45 วินาที ซึ่งระบบนี้สามารถใช้ทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่มีความกว้างสูงสุดได้ไม่เกิน 215 มิลลิเมตร

จากการทดสอบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ออกแบบขึ้น และตัวอย่างในทางอุตสาหกรรมบางชนิด พบว่าภาพโทโมกราฟีที่ได้มีรีโซลูชัน 0.705 มิลลิเมตร โดยคุณภาพของภาพโทโมกราฟีที่ได้มีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจ เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานที่ไม่ต้องการความละเอียดสูงมากนักแต่ต้องการความสะดวกและรวดเร็วในการทำงานได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... นวัตกรรมเทคโนโลยี..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา..... นวัตกรรมเทคโนโลยี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา..... 2547..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4570223721 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: CIS / FLAT BED SCANNER / COMPUTED TOMOGRAPHY

KREINGKRAI TUNTANANUKUL : DEVELOPMENT OF A PROFILE DATA ACQUISITION SYSTEM FOR COMPUTED TOMOGRAPHY USING LINE CIS.  
 THESIS ADVISOR : ASST.PROF.ATTAPORN PATTARASUMUNT, THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF.SOMYOT SRISATIT, 65 pp. ISBN 974-53-1149-9.

A profile data acquisition system for computed tomography using line CIS was developed by adapting flat bed scanner which available in IT market together with controlling program to measure the intensity of transmitted X-ray intensity from the tested specimen and converted into visible light using fluorescent screen attached in front of the CIS on the scanner. All profile data which proportionally corresponded to the X-ray intensity in every angle were collected by rotated specimen in step angle of 0.438 degree per step and digitized into digital data of 256 levels within 45 seconds. The maximum width of the specimen that can be tested by this system was 215 mm.

The highest resolution of CT images that were reconstructed by this system using so designed and some industrial specimens was determined to be 0.705 mm. The quality of CT images were satisfied for applying in general cases which high resolution was not needed, but required more fast and comfortable for working.

Department.....Nuclear Technology..... Student's signature.....

Field of study..... Nuclear Technology..... Advisor's signature.....

Academic year....2004..... Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง จากผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยดูแลและให้คำชี้แนะตลอดมาทั้งทางด้านการวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำแนะนำด้านเทคนิคการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีและการเขียนวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว, ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวิทย์ ปุณณชัยยะ และอาจารย์เดโช ทองอร่าม ผู้ซึ่งแนะแนวทางต่างๆ แก่ข้าพเจ้า รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี ที่ได้ประสิทธิภาพประสิทธิผลความรู้ แนวคิด และแนวทางในการแก้ปัญหา ซึ่งทำให้ข้าพเจ้าสามารถนำไปใช้ในการทำวิจัยจนสำเร็จ และเข้าใจถึงหลักการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทำงาน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณชมเดือน ศตวุฒิ กรรมการผู้จัดการบริษัทไทย เอ็น ดี ที จำกัด ซึ่งกรุณาให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสทำงานในขณะที่กำลังศึกษาปริญญาโทที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีไปได้พร้อมกัน และยังให้ความกรุณาในการให้ใช้เครื่องเอกซเรย์ของบริษัทฯ ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ คุณสมอ้อย ตั้งจิตต์ถาวรกุล คุณธรรมรัฐ สร้อยสมบูรณ์ และเพื่อนร่วมงานที่บริษัทฯ ทุกท่านที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณบัญชา อุ่นพานิช พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ นิสิตในภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีทุกท่านที่มีส่วนเป็นอย่างมากในการให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกแก่ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณจินตนา รั้งสรรพไพศาล ซึ่งให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัยเป็นอย่างดี ทั้งยังคอยให้กำลังใจข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ถ้าปราศจากบุคคลที่เป็นผู้ให้กำเนิด บิดาและมารดาของข้าพเจ้าซึ่งเป็นผู้ให้ความรัก ความห่วงใยและคอยบ่มสอนให้ข้าพเจ้าเป็นคนดี ข้าพเจ้าคงไม่มีโอกาสมีวันนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง และขอแสดงความกตัญญูมา ณ โอกาสนี้ด้วย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2. แนวคิดและทฤษฎีการสร้างภาพโทโมกราฟี.....	4
2.1 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี.....	4
2.2 สารเรืองรังสี (Scintillator).....	11
2.3 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอส.....	12
3. ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว.....	14
3.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย.....	14
3.2 การทำงานของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอส.....	14
3.3 การพัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับภาพซีไอเอส.....	26
4. การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ.....	36
4.1 การทดสอบการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้พัฒนาขึ้น.....	36
4.2 การทดสอบค่า Resolution ของอุปกรณ์ตรวจจับภาพซีไอเอส.....	37
4.3 การทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีจากระบบที่พัฒนาขึ้น.....	38
4.4 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี.....	50

	หน้า
4.5 การปรับปรุงคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีต่างๆ.....	54
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2 วิจาร์ณผลการวิจัย.....	62
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	63
รายการอ้างอิง.....	64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	66



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงคุณสมบัติของสารเรืองรังสีชนิดต่างๆ..... 12
3.1	แสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องสแกนเนอร์ Microtek SlimScan C3..... 16
3.2	แสดงรายละเอียดต่างๆ ของเฮดเดอร์ที่บันทึกลงไฟล์..... 30
4.1	แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 1..... 39
4.2	แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 2..... 40
4.3	แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 3..... 41
4.4	แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 4..... 42
4.5	แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 5..... 43
4.6	แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 6..... 44
4.7	แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 7..... 45
4.8	แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 8..... 46
4.9	แสดงรายละเอียดการทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีกับลูกสูบรถจักรยานยนต์.... 47
4.10	แสดงรายละเอียดการทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีกับไส้กรองน้ำมันเครื่อง..... 48
4.11	แสดงรายละเอียดการทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีกับฝาครอบวาล์วควบคุม.... 49
5.1	แสดงลักษณะโดยทั่วไปของระบบเก็บข้อมูล..... 61

## สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	4
2.2	5
2.3	5
2.4	6
2.5	7
2.6	8
2.7	9
2.8	10
2.9	11
2.10	13
3.1	15
3.2	16
3.3	17
3.4	17
3.5	18
3.6	18
3.7	20
3.8	21
3.9	22
3.10	23
3.11	23
3.12	25
3.13	26

รูปที่	หน้า
3.14 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมการสแกนเก็บข้อมูล.....	27
3.15 แสดงหน้าต่างโปรแกรมอ่านข้อมูลคุณภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงเลข.....	28
3.16 แผนผังการทำงานของโปรแกรมอ่านข้อมูลคุณภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลเชิงเลข.....	29
3.17 (ก) แสดงข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการอ่านค่าสีจากไฟล์.....	30
(ข) แสดงข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการอ่านค่าสีจากไฟล์.....	31
3.18 แสดงตัวอย่างการเทียบข้อมูลที่จะนำไปใช้ในสมการการปรับแก้ค่า.....	32
3.19 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรมปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์.....	33
3.20 แสดงหน้าจอโปรแกรมแสดงรูปแบบโปรไฟล์.....	34
3.21 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี.....	35
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าข้อมูลเชิงเลขสูงสุดกับพลังงานของรังสีเอกซ์....	36
4.2 แสดงภาพบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นตะกั่วกับอากาศเมื่อฉายด้วยรังสีเอกซ์.....	37
4.3 กราฟแสดงข้อมูลภาพบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นตะกั่วกับอากาศขณะฉายด้วยรังสีเอกซ์.....	38
4.4 แสดงค่า SNR ของวัตถุตัวอย่างที่ 7.....	50
4.5 แสดงเส้นกราฟ PDF ของภาพโทโมกราฟี วัตถุตัวอย่างที่ 3.....	52
4.6 แสดงบริเวณขอบของภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 7 ที่นำมาเขียนกราฟ ESF..	53
4.7 กราฟแสดงค่า CT-number ของภาพวัตถุตัวอย่างที่ 7 เพื่อหา Resolution ด้วยวิธี ESF.....	54
4.8 แสดงลักษณะข้อมูลโปรไฟล์ที่ผ่านการทำ Smoothing Filters ของวัตถุตัวอย่างที่ 3.	55
4.9 แสดงภาพโทโมกราฟีและกราฟ PDF ของวัตถุตัวอย่างที่ 3 จากโปรไฟล์ที่ผ่านการทำ Smoothing Filters .....	56
4.10 แสดงภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 3 หลังจากทำ Window ช่วงต่างๆ.....	57
4.11 แสดงภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 4 ที่ผ่านการทำ Brightness และ Contrast	58
4.12 แสดงภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 5 ที่ผ่านการปรับความคมชัด.....	59

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive testing) ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการอุตสาหกรรม สำหรับการใช้รังสีเพื่องานทางด้าน การตรวจสอบโดยไม่ทำลายที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การถ่ายภาพด้วยรังสี (Radiographic testing) ซึ่งอาศัยความสามารถของรังสีในการทะลุทะลวงผ่านวัสดุ เพื่อตรวจสอบหาความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities) ภายในวัสดุที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำนองเดียวกับการฉายรังสี เอกซ์เพื่อการตรวจวินิจฉัยโรคนั่นเอง ส่วนเทคนิคการถ่ายภาพแบบโทโมกราฟี หรือ CT (Computed tomography) เป็นการถ่ายภาพตัดขวางของวัสดุ เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในทาง การแพทย์ซึ่งสามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ เช่น เครื่อง CT scan ที่ใช้ตาม โรงพยาบาลต่าง ๆ เพื่อการถ่ายภาพตัดขวางของร่างกายตามตำแหน่งที่ต้องการวินิจฉัยโรค ซึ่ง เครื่องดังกล่าวมีราคาสูงมากจึงยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการนำไปใช้งานด้านการตรวจสอบโดยไม่ ทำลายในทางอุตสาหกรรม ซึ่งถ้าเราสามารถหาคำศัพท์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สามารถหาได้ทั่วไป มาดัดแปลงเพื่อใช้ในเทคนิคการถ่ายภาพแบบโทโมกราฟีได้ จะทำให้เราสามารถสร้างระบบ โทโมกราฟีได้ในราคาถูก ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับงานตรวจสอบโดยไม่ทำลายในงานอุตสาหกรรม เป็นอย่างมาก ด้วยเหตุดังกล่าวจึงเป็นที่มาในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ในปัจจุบันได้มีการนำสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะ (Flat Bed Scanner) มาใช้งานกัน อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูก ซึ่งภายในเครื่องสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะจะมีอุปกรณ์ตรวจจับ ภาพชนิดซีไอเอส (Contact Image Sensor; CIS) แบบแถว ซึ่งสามารถรับแสงความยาวคลื่นที่ มนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) จึงได้มีแนวความคิดที่จะนำความสามารถเหล่านี้ของ เครื่องสแกนเนอร์มาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยวางฉาก เรืองรังสีเอกซ์ (Fluorescent Screen) ไว้หน้าอุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถวดังกล่าว เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ผ่านวัตถุตัวอย่างออกมา ไปเป็นแสงช่วงความยาว คลื่นที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ โดยอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นจะทำการเก็บข้อมูลความเข้มของรังสี เอกซ์ที่ผ่านวัตถุตัวอย่างออกมาในแต่ละมุมของการหมุนวัตถุตัวอย่างนั้นเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างเป็นภาพ จากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลภาพไปเป็นข้อมูลโปรไฟล์ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงเลข เพื่อ ใช้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้อุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอสแบบแถว

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ โดยใช้อุปกรณ์รับภาพซีไอเอสแบบแถวเป็นอุปกรณ์ในการวัดความเข้มของรังสี ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของวัตถุ โดยสามารถแยกแยะระดับความแตกต่างได้ไม่น้อยกว่า 256 ระดับ (8 bit)
2. พัฒนาโปรแกรมจัดการข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี
3. ทดลองเก็บสร้างภาพโทโมกราฟีของวัตถุบางชนิด โดยใช้ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้น

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้าน การปรับปรุงเทคนิคการถ่ายภาพด้วยเทคนิคคอมพิวเตอร์เรดิโอกราฟี ให้ได้คุณภาพของภาพถ่ายสูงตามมาตรฐานสากล
2. ออกแบบและพัฒนาระบบการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจรับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว
3. พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการจัดการข้อมูลที่ได้ให้เหมาะสมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี
4. ทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีของวัตถุบางชนิดโดยใช้ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้น
5. สรุปผลการวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้อุปกรณ์ตรวจรับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบวัตถุโดยไม่ทำลายในราคาประหยัด

## 1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรวัฒน์ ประกอบผล (2537) ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลด้วยเทคนิคโทรทัศน์ สำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี” งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ของกล้องโทรทัศน์สำหรับสร้างภาพโทโมกราฟีเพื่อใช้ในงานการตรวจสอบโดยไม่ทำลายซึ่งอาศัยเทคนิคฟลูออโรสโคปีของรังสีเอกซ์และกล้องโทรทัศน์ถ่ายภาพของวัตถุที่มุมต่าง ๆ จากฉากเรื่องรังสีแล้วบันทึกลงเครื่องวีดิทัศน์ จากนั้นนำไปแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ทำงานร่วมกับแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพเป็นข้อมูลภาพต่อไป

นิร ตรีคุณ (2539) ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี” งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากสแกนเนอร์มือถือเจดสีเทา ข้อมูลความดำบนฟิล์มที่อ่านได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของรังสี และจะถูกเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขแล้วบันทึกลงฮาร์ดดิสก์ของไมโครคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ ระบบนี้สามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มที่มีขนาดไม่เกิน 8.4 ซม. X 17 ซม. ด้วยความละเอียดของข้อมูลและระดับความเข้มไม่น้อยกว่า 100 จุด ต่อนิ้ว และ 64 ระดับตามลำดับ

นายสุเมธ ทิพย์ไกรสร (2545) ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพ โทโมกราฟี” งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพ โทโมกราฟี ซึ่งทำให้ภาพโทโมกราฟีที่มีคุณภาพสูงขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบที่มีความบกร่องขนาดเล็กได้

นายคมกฤต มะวิญชร (2546) ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ แบบสแกนโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว” ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิด ซีไอเอสแบบแถวที่อยู่ในเครื่องสแกนเนอร์มาดัดแปลงเพื่อใช้ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ ซึ่งผลของภาพถ่ายด้วยรังสีมีความคมชัดสูง อย่างไรก็ตามยังคงมีสัญญาณรบกวนบนพื้นภาพอันเป็นผลจากการทำอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับอุปกรณ์ตรวจจับภาพซีไอเอส



## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีการสร้างภาพโทโมกราฟี

#### 2.1 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

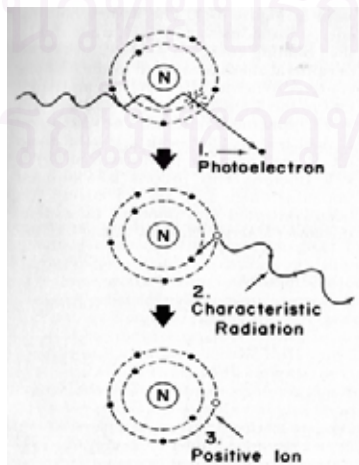
ภาพโทโมกราฟี คือภาพตัดขวางของวัตถุซึ่งเป็นภาพระนาบสองมิติที่จุดภาพแต่ละจุดแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear Attenuation Coefficient) ในการเก็บข้อมูลสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะอาศัยหลักการทะลุผ่านของรังสีต่อวัตถุ ทำการสแกนเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์รับรังสีซึ่งติดตั้งอยู่ด้านตรงข้ามกับต้นกำเนิดรังสี โดยมีวัตถุอยู่ระหว่างกลาง เมื่อหมุนวัตถุไปด้วยมุมน้อย ๆ จนครบรอบหรืออย่างน้อย 180 องศา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นพร้อมทั้งปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลด้วยฟิลเตอร์ฟังก์ชัน และท้ายที่สุดนำข้อมูลที่ได้ออกมาคำนวณด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างภาพโทโมกราฟี

##### 2.1.1 กลไกการสูญเสียพลังงานของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางมีโอกาสที่จะทำอันตรกิริยากับอะตอม และสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมใน 3 รูปแบบที่สำคัญคือ

##### การเกิดโฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Effect)

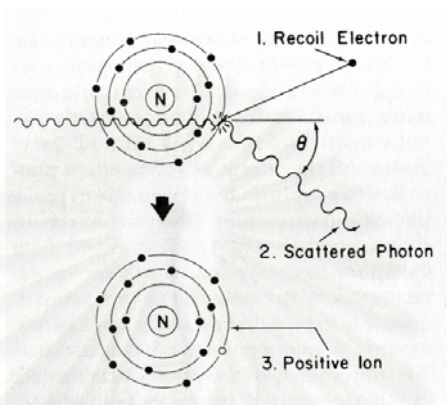
เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียสของอะตอมตัวกลาง ด้วยการชนและถ่ายโอนพลังงานให้อิเล็กตรอนทั้งหมดทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากวงโคจรเป็นอิสระ อะตอมจะกลายเป็นไอออนบวก โดยอิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจากโฟตอนและหลุดออกไปนี้เรียกว่า “โฟโตอิเล็กตรอน” ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์การเกิดโฟโตอิเล็กทริก

### การกระเจิงแบบคอมป์ตัน (Compton Scattering)

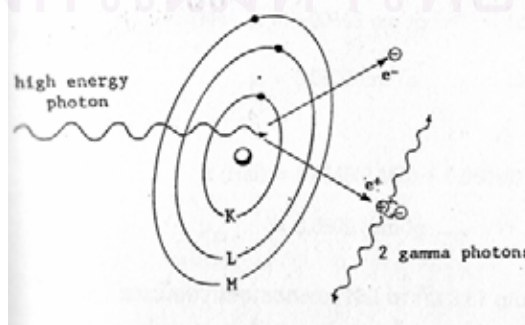
เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่โคจรรอบนิวเคลียส แต่การชนทำให้อิเล็กตรอนได้รับพลังงานบางส่วนจากโฟตอน และกระเจิงออกจากวงโคจรดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การกระเจิงแบบคอมป์ตัน

### การเกิดแพร์โปรดักชัน (Pair Production)

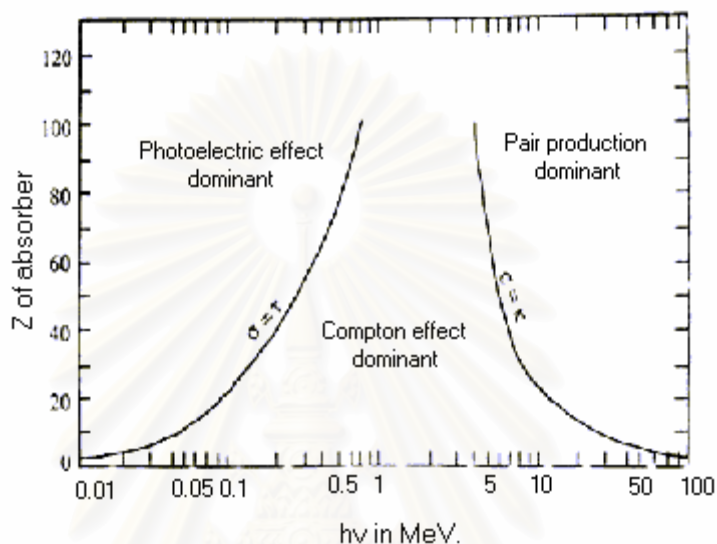
เป็นการทำอันตรกิริยาของโฟตอนกับนิวเคลียส ในกรณีที่โฟตอนมีพลังงานสูงมากกว่า 1.02 MeV. เคลื่อนที่ผ่านบริเวณใกล้นิวเคลียส พลังงานของโฟตอนจะทำให้เกิดแถบพลังงานบริเวณสนามประจุ คู่อิเล็กตรอนที่เกิดในแถบพลังงานที่มีการรับพลังงานเพิ่มและหลุดจากแถบพลังงานพร้อมทั้งรับประจุลบและบวก เกิดเป็นอิเล็กตรอนประจุลบและอิเล็กตรอนประจุบวก (โพสิตรอน) คู่หนึ่ง จากนั้นในช่วงเวลาอันสั้นโพสิตรอนจะจับอิเล็กตรอนอิสระบริเวณใกล้เคียงสลายมวลทันทีทันใด (Annihilation) กลายเป็นรังสีแกมมา 2 ตัว ปลดปล่อยออกมาในทิศทางทำมุม 180 องศา โดยรังสีแกมมาแต่ละตัวมีพลังงานจากการสลายมวล 0.511 MeV. ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเกิดแพร์โปรดักชัน



โอกาสของการเกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 รูปแบบนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางและพลังงานของโฟตอนดังได้แสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อพลังงานของโฟตอนมีพลังงานต่ำจะมีโอกาสเกิดโฟโตอิเล็กทริกได้ดี แต่เมื่อพลังงานสูงขึ้นโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาในอีก 2 รูปแบบจึงจะเพิ่มขึ้น และการเกิดโฟโตอิเล็กทริกก็จะน้อยลง



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับคุณสมบัติของตัวกลางและพลังงานของโฟตอน

### 2.1.2 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ (Linear Attenuation Coefficient of X-ray)

เมื่อพิจารณาจากการเกิดอันตรกิริยาตามหัวข้อ 2.1.1 จะพบว่ารังสีที่ตกกระทบตัวกลางความหนา  $x$  นั้น มิได้เกิดอันตรกิริยากับตัวกลางทั้งหมด แต่บางส่วนมีโอกาสทะลุผ่านตัวกลางโดยไม่เกิดอันตรกิริยาเลย รังสีส่วนนี้เรียกว่า “รังสีทะลุผ่าน (Transmitted radiation)” ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการตามกฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) ดังนี้

$$I = \int \int \{ I_0(E) \exp[-\mu(E,x) dx] \} dE \quad \dots(2.1)$$

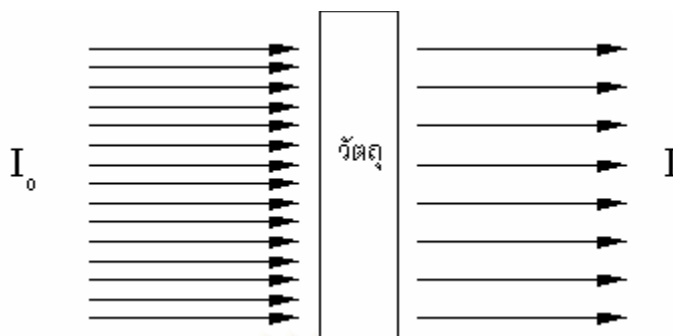
เมื่อ  $I$  = ปริมาณรังสีที่ผ่านตัวกลางความหนา  $x$

$I_0(E)$  = ปริมาณรังสีที่ไม่ผ่านตัวกลาง

$\mu(E,x)$  = สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น

$x$  = ความหนาของตัวกลาง

$E$  = พลังงานของรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการทะลุผ่านของรังสีเอกซ์

จากสมการ 2.1 จะเห็นว่าความเข้มรังสีหลังผ่านตัวกลางเป็นผลรวมจากรังสีที่มีพลังงานแตกต่างกัน ( $\mu(E,x)$  ต่างกัน) ซึ่งในทางปฏิบัติเราสามารถเปลี่ยนสมการที่ 2.1 ให้อยู่ในรูปแบบดังสมการ 2.2 ซึ่งเป็นที่ใช้น้อยกว่าหลายดังนี้

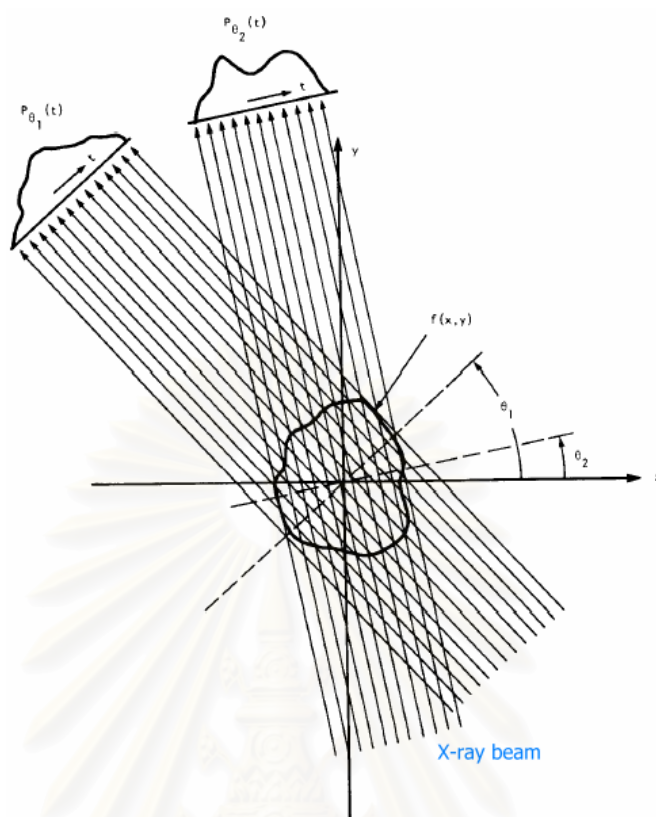
$$I = I_0 \exp[-\mu(E_{eff}) x] \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ  $\mu(E_{eff}) =$  สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นประสิทธิผล

### 2.1.3 ขั้นตอนวิธีในการสร้างภาพโทโมกราฟี (Algorithms for Reconstruction)

#### 2.1.3.1 หลักการเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

ภาพโทโมกราฟีเป็นภาพที่แสดงภาพตัดขวางของวัตถุตัวอย่างซึ่งการเก็บข้อมูลจะไม่เหมือนกับการถ่ายภาพด้วยรังสี การเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะอาศัยการเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์รับรังสีซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกับต้นกำเนิดรังสีโดยมีวัตถุอยู่ระหว่างกลางดังรูปที่ 2.6 ในการเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ขั้นตอนแรกคือการสแกนเก็บข้อมูลโปรเจกชันความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุตัวอย่าง ณ ตำแหน่งเริ่มต้น (ตำแหน่งที่มุม 0 องศา) จากนั้นหมุนวัตถุตัวอย่างไปด้วยมุมคงที่น้อย ๆ แล้วเริ่มสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์อีก จากนั้นทำซ้ำตามกระบวนการดังกล่าวจนได้ข้อมูลครบ



รูปที่ 2.6 ลักษณะการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ในมุมต่าง ๆ กัน  
สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

### 2.1.3.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจากข้อมูลโปรไฟล์ ความเข้มรังสี

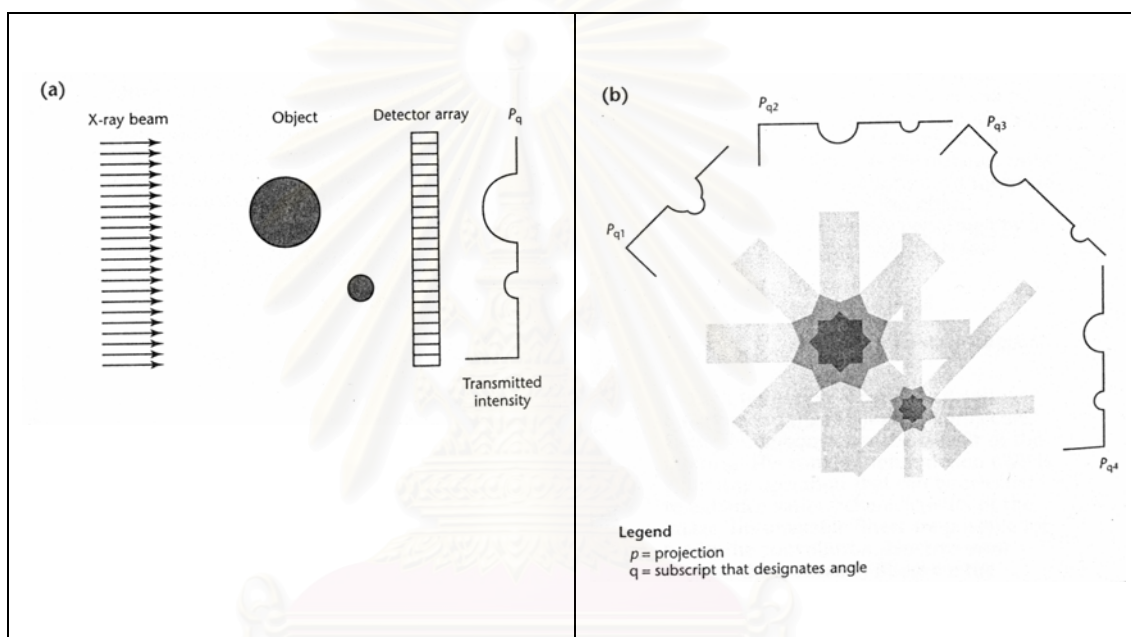
ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากความเข้มรังสีที่กล่าวไว้ดังข้อ 2.1.3.1 ยังไม่สามารถนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้ยังไม่ใช่ข้อมูลของการลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ในวัตถุอย่างแท้จริง จึงต้องมีการปรับแก้ค่า (Shading correction) ก่อน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ในวัตถุตัวอย่าง ซึ่งสามารถปรับแก้ค่าได้ดังสมการที่ 2.3

$$P_q(R) = \ln\left(\frac{I_0 - D}{I - D}\right) = \mu x \quad \dots(2.3)$$

เมื่อ	$P_q(R)$	=	ค่าข้อมูลโปรไฟล์ที่ปรับแก้แล้ว ณ มุม $q$
	$D$	=	Dark current หรือ ข้อมูลในขณะที่ไม่เปิดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์
	$R$	=	ตำแหน่งของข้อมูลบนโปรไฟล์ที่ปรับแก้ค่าแล้ว (เรย์ซัม)

### 2.1.3.3 การแบ็กโปรเจกชัน (Backprojection)

แบ็กโปรเจกชันเป็นวิธีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยอาศัยการนำชุดข้อมูลของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นในแต่ละมุมมาทำการฉายกลับลงบนตำแหน่งเดิมที่รังสีเดินทางผ่านเพื่อสร้างภาพโทโมกราฟี ดังรูปที่ 2.7 แสดงการนำข้อมูลโปรไฟล์ในแต่ละมุมมาทำการฉายกลับลงบนตำแหน่งเดิม บริเวณส่วนที่ข้อมูลโปรไฟล์แต่ละมุมซ้อนทับกันนั้นคือภาพโทโมกราฟีนั่นเอง



รูปที่ 2.7 วิธีการแบ็กโปรเจกชัน

วิธีการแบ็กโปรเจกชันนั้นทำได้โดยอินทิเกรตผลคูณของข้อมูลโปรไฟล์ ( $P_q(R)$ ) กับ ไดเร็กเดลต้าฟังก์ชันทั้งหมด (มุมตั้งแต่ 0 ถึง  $q$ , เรย์ซิมตั้งแต่ 1 ถึง  $R$ ) ดังสมการที่ 2.4

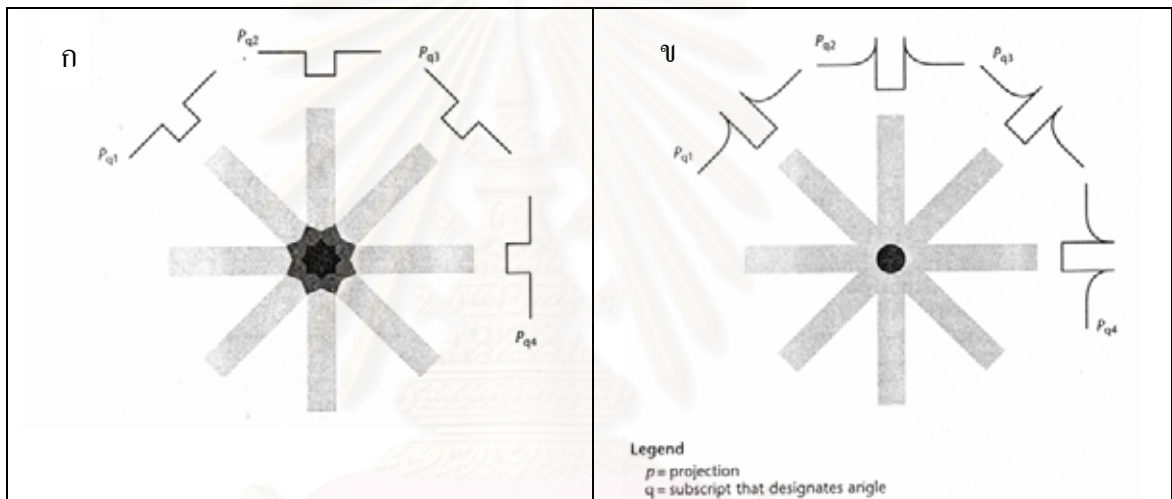
$$f(x, y) = \iint P_q(R) * \delta(x \cos q + y \sin q - R) dR dq \quad \dots(2.4)$$

โดยที่  $\delta$  คือ ไดเร็ก เดลต้า ฟังก์ชัน (Dirac Delta Function)

### 2.1.3.4 การคอนโวลูชัน ฟิลเตอร์แบ็กโปรเจกชัน (Convolution Filter Backprojection)

ข้อมูลที่ได้จากการทำแบ็กโปรเจกชันเป็นข้อมูลภาพโทโมกราฟีที่ยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้ถ้านำมาวาดเป็นภาพโทโมกราฟีภาพที่ได้จะยังมีอยู่เนื่องจากผลของ “Star Effect” ดังแสดงในรูปที่ 2.8(a)

การแก้ปัญหา “Star effect” ทำได้โดยการใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชันปรับปรุงข้อมูลโปรไฟล์ที่จะใช้ในการแบ็กโปรเจกชันทำให้ได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่สามารถแยกแยะรายละเอียดของข้อมูลให้เห็นเด่นชัดมากขึ้นและได้ภาพโทโมกราฟีมีคุณภาพดีขึ้นดังรูปที่ 2.8(b)



รูปที่ 2.8 (ก) ภาพโทโมกราฟีที่ไม่ผ่านฟิลเตอร์ฟังก์ชัน, (ข) ภาพโทโมกราฟีที่ผ่านฟิลเตอร์ฟังก์ชัน

เมื่อใช้ทฤษฎีคอนโวลูชัน (Convolution) และฟิลเตอร์ฟังก์ชัน จะได้สมการการสร้างภาพโทโมกราฟี (Reconstruction formula) เป็น

$$f(x, y) = \iint P_q(R) \Theta C(R) * \delta(x \cos q + y \sin q - R) dR dq \quad \dots(2.5)$$

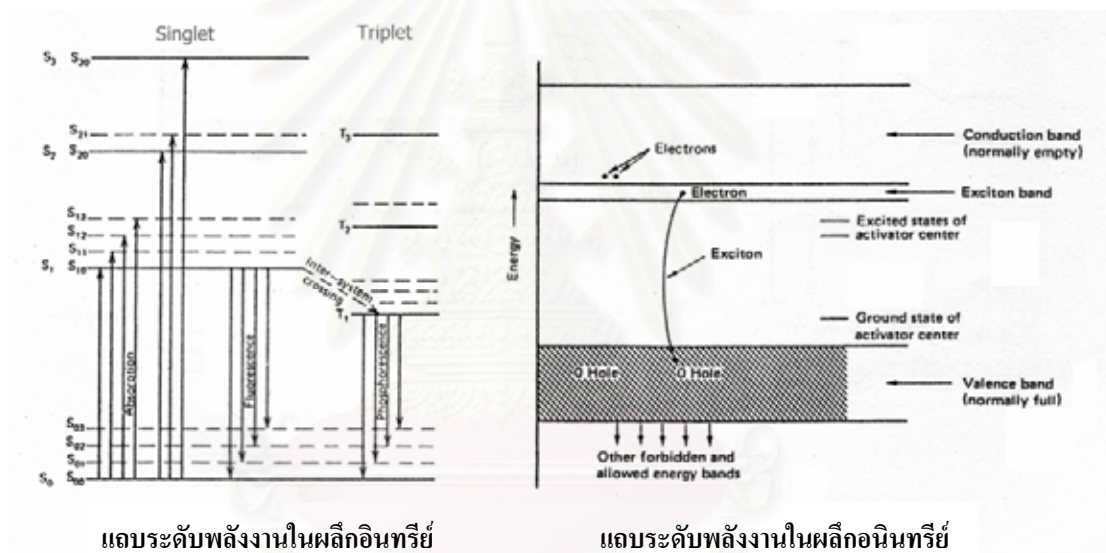
โดย  $C(R)$  คือฟิลเตอร์ฟังก์ชันซึ่งฟิลเตอร์ฟังก์ชันที่เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปคือ “Ramachandran filter function” และ “Shepp & Logan filter function” ในที่นี้เลือกใช้ฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp & Logan ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ 2.6

$$C(R) = \frac{2}{\pi^2 a (1 - 4R^2)} \quad \dots(2.6)$$

เมื่อ  $a$  = ระยะห่างระหว่างเรย์ซิม

## 2.2 สารเรืองรังสี (Scintillator)

สารเรืองรังสี หรือ สารซินทิลเลเตอร์ คือสารที่เมื่อถูกกระตุ้นด้วยรังสี จะดูดกลืนพลังงานจากรังสีแล้วเปล่งประกายออกมาเป็นแสงให้สามารถมองเห็นได้ เรียกว่า “การเรืองแสง (Fluorescence)” สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในสารอินทรีย์ (Organic) และสารอนินทรีย์ (Inorganic) โดยมีกลไกคล้ายกันคือการเกิดเอกซ์ไซเตชัน (Excitation) ของอิเล็กตรอนจากภาวะปกติ สู่ภาวะถูกกระตุ้นที่ระดับพลังงานหนึ่งและกลับลงสู่ภาวะปกติ ด้วยการปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นของแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้หรือใกล้เคียงคลื่นแสงย่านแสงเหนือม่วงออกมา ดังแสดงกลไกการเกิดประกายแสงในรูปที่ 2.9 และประกายแสงที่เปล่งออกมาจากสารเรืองรังสีจากผลของภาวะถูกกระตุ้นของอิเล็กตรอนโดยรังสีนั้นจะสลายตัวแบบเอกซ์โปเนนเชียล



รูปที่ 2.9 แสดงแถบพลังงานของสสารกับการเกิดแสงเรือง

สารเรืองรังสีแต่ละชนิดจะเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่างกัน ตามลักษณะเฉพาะของผลึกและการเติมสารแอกติเวเตอร์ (Activator) ดังตารางที่ 2.1 สำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้สารเรืองรังสีชนิด  $Gd_2O_2S:Tb$  และ Phosphorescent screen:Toshiba 7G09E ซึ่งจะให้ประกายแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 545 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่อยู่ในย่านที่อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสสามารถตรวจจับได้ (ช่วงความยาวคลื่นที่ซีไอเอสสามารถตรวจจับได้อยู่ในช่วงเดียวกับ Visible light ประมาณ 400 – 700 นาโนเมตร)



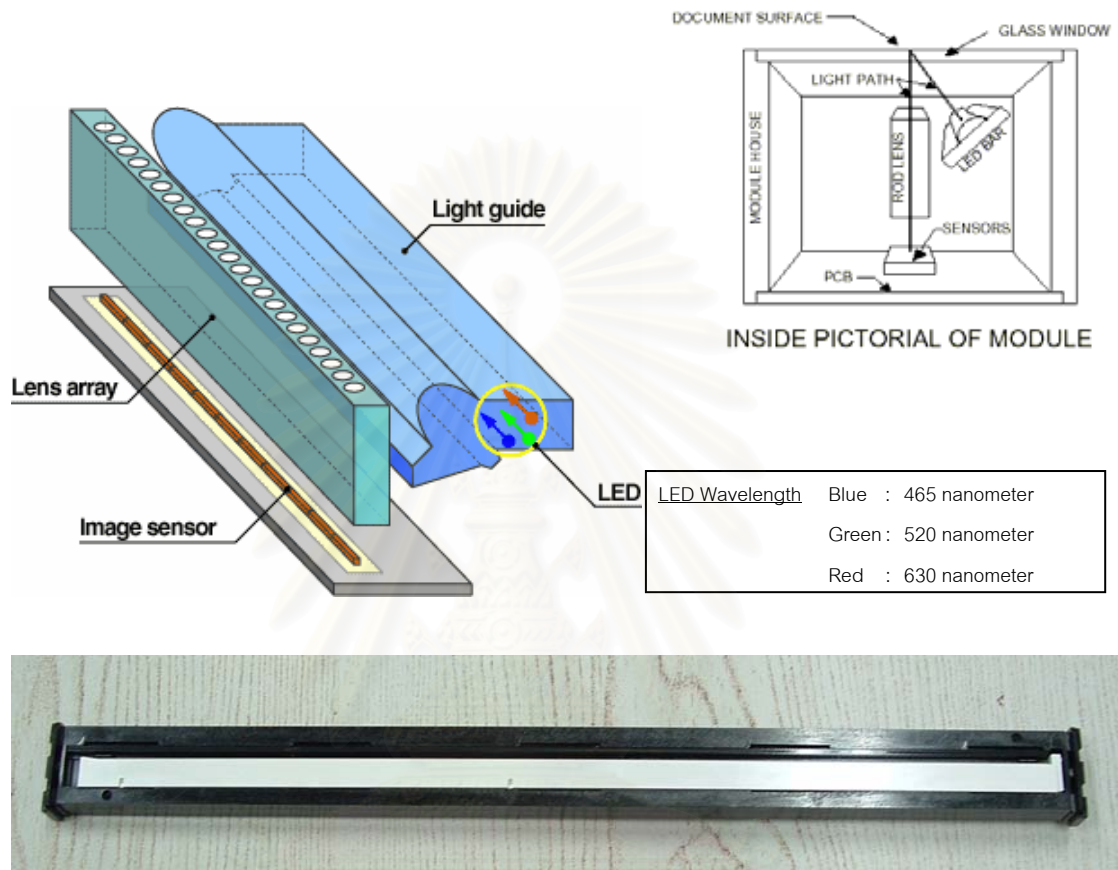
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของสารเรืองรังสีชนิดต่าง ๆ

Phosphor Scintillator	Common name	X-ray	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$e^- / \text{ion}$	neutron (n)	color spectrum type	peak (nm)	decay to 10%	afterglow
Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S:Tb	P43	Yes	Yes	---	---	Yes	Yes	Green	545	1.5ms	low
Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S:Eu		Yes	Yes	---	---	---	Yes	Red	627	850 $\mu$ s	yes
Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S:Pr		Yes	Yes	---	---	---	Yes	Green	513	7 $\mu$ s	no
Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S:Pr,Ce,F		Yes	Yes	---	---	---	Yes	Green	513	4 $\mu$ s	no
CdS:In		---	---	---	Yes	Yes	---	Green	525	< 1ns	no
ZnO:Ga		---	---	---	Yes	Yes	---	Blue	390	< 5ns	no
ZnO:Zn	P15	---	---	---	Yes	Yes	---	Blue	495	8 $\mu$ s	no
(Zn,Cd)S:Cu,Al	P22G	---	---	---	---	Yes	---	Green	565	35 $\mu$ s	low
ZnS:Cu,Al,Au	P22G	---	---	---	---	Yes	---	Green	540	35 $\mu$ s	low
ZnCdS:Ag,Cu	P20	---	---	---	---	Yes	---	Green	530	80 $\mu$ s	low
ZnS:Ag	P11	---	---	Yes	Yes	---	---	Blue	455	80 $\mu$ s	low
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	anthracene	---	---	Yes	Yes	Yes	---	Blue	447	32ns	no
plastic scintillator	EJ-212	---	---	Yes	Yes	Yes	---	Blue	400	2.4ns	no
ZnS:Cu	GS	Yes	---	---	---	---	---	Green	520	mins	long

### 2.3 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจรับภาพชนิดซีไอเอส

หลักการทำงานของอุปกรณ์รับภาพซีไอเอสดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยปกติที่ใช้ในเครื่องสแกนเนอร์นั้นจะใช้วิธีการผสมแสงสีแดง, เขียวและน้ำเงิน รวมกันเพื่อให้ได้แสงขาวซึ่งผ่าน Light guide ไปยังภาพที่ต้องการสแกน ซึ่งแสงที่สะท้อนออกมามีความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไปตามสีของภาพ แล้วแสงนั้นจะถูกบีบให้แคบลงโดยผ่านเลนส์รวมแสง (Lens array) เพื่อให้เข้าสู่ตัวรับภาพ (Image sensor) ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนแสงที่ตกกระทบให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (Photoelectric conversion) โดยอาศัยลักษณะการทำงานของ Photo transistor ความเข้มของสัญญาณภาพแต่ละจุดภาพจะถูกส่งออกมาในลักษณะของข้อมูลแบบอนุกรมเพื่อส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป แต่ในการวิจัยนี้ได้ดัดแปลงตัวซีไอเอส โดยไม่ให้แหล่งกำเนิดแสง (LED) ทำงาน แต่จะใช้รังสีเอกซ์ไปทำให้ฉากรเรืองรังสีที่อยู่บนกระจกหน้าซีไอเอสเปล่งแสง (Visible light) ซึ่งตัวรับภาพที่อยู่ในซีไอเอสสามารถตรวจรับแสงที่มีความยาวคลื่นที่ปลดปล่อยออกมาจากสารเรืองรังสีได้ ซึ่งจุดเด่นของการนำซีไอเอสมาดัดแปลงเป็นตัวตรวจรับรังสีที่ผ่านฉากรเรืองรังสีคือ ในอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอส 1 ตัวจะมีตัวรับภาพพร้อมกับเลนส์รวมแสงหลายชุดเรียงกันเป็นแถว ซึ่งหมายความว่าเราสามารถตรวจรับความเข้มรังสีที่ผ่านฉากรเรืองรังสีได้ครั้งละ

หลาย ๆ ตำแหน่งได้ แต่เนื่องจากซีไอเอสจัดวางอยู่ในลักษณะที่โดนรังสีเอกซ์โดยตรง ซึ่งอันตร  
 กิริยาของรังสีเอกซ์ต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นผลให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้



รูปที่ 2.10 ภาพแสดงโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจรับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 3

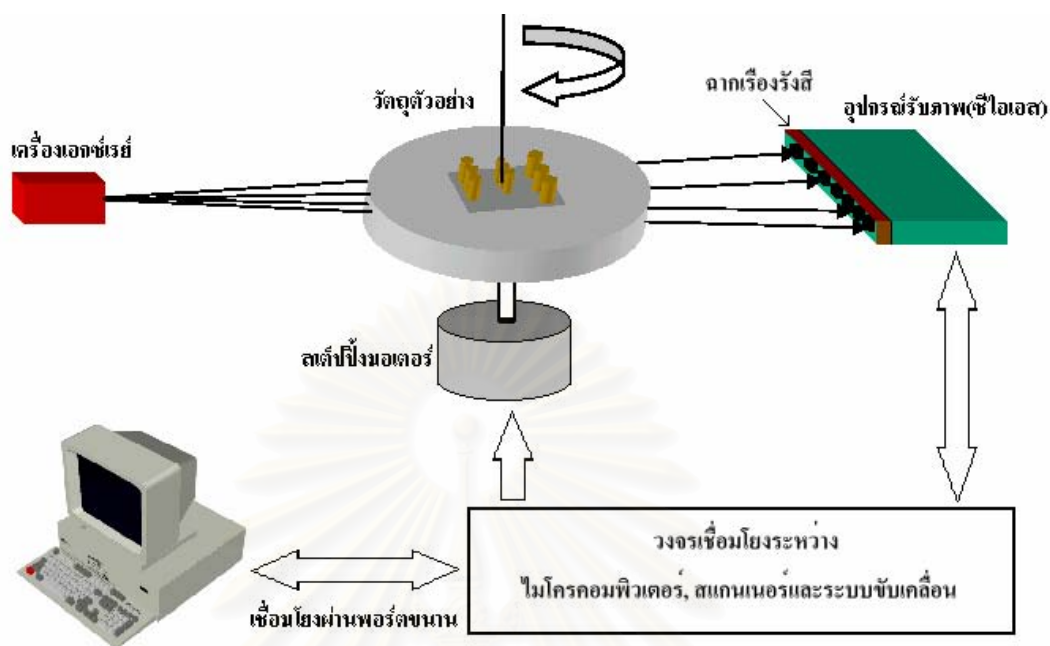
### ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้ซีไอเอสแบบแถว

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

- 3.1.1 เครื่องสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะ Microtek Model: Slim Scan C3
- 3.1.2 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ 200 kV 8 mA (max) ANDREX Model: CMA 402
- 3.1.3 ฉากรเรืองรังสี (Fluorescent screen)
- 3.1.4 ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผล AMD 700 MHz และหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) 128 Mbytes ขึ้นไป
- 3.1.5 วงจรเชื่อมโยง (Interface circuit)
- 3.1.6 สเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor) ชนิด 4 เฟส ขนาด 5.1 โวลต์ 1.0 แอมแปร์ต่อเฟส และความละเอียดในการหมุน 1.8 องศา ต่อสเต็ป
- 3.1.7 สวิตช์สั่งงานด้วยแสง (Opto switch)

#### 3.2 การทำงานของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยอุปกรณ์ตรวจรับภาพชนิดซีไอเอส

ระบบเก็บข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอสแบบแถวสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีมีแผนภาพการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นอาศัยการเก็บข้อมูลความเข้มของรังสีหลังทะลุผ่านวัตถุตัวอย่าง โดยการฉายรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ผ่านวัตถุตัวอย่างไปกระทบฉากเรืองรังสี รังสีเอกซ์จะกระตุ้นสารเรืองรังสีให้ปล่อยแสงออกมาทำให้เกิดเป็นภาพขึ้นบนฉากเรืองรังสี จากนั้นอุปกรณ์ซีไอเอสจะรับภาพจากฉากเรืองรังสีผ่านเลนส์รวมแสง สัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ซีไอเอสจะถูกส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางวงจรเชื่อมโยง จากนั้นวัตถุตัวอย่างจะถูกหมุนด้วยมุมคงที่โดยอัตโนมัติ และสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ลำดับที่สองเช่นเดียวกับมุมแรก ระบบจะทำการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่มุมต่าง ๆ ของวัตถุตัวอย่างจนครบ 360 องศา จากนั้นจึงเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของ Dark Current และข้อมูลโปรไฟล์ความเข้มรังสีขณะไม่มีวัตถุตัวอย่าง เพื่อใช้ในการปรับแก้ข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธี Shading correction ซึ่งข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ทั้งหมดจะอยู่ในรูปของข้อมูลภาพ (Graphic file format) จึงต้องใช้โปรแกรมในการอ่านข้อมูลจุดภาพ (Pixel) แต่ละจุดให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลข (Text file format) ก่อนจึงจะสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้งานได้ หลังจากปรับแก้ข้อมูลเรียบร้อยแล้วก็สามารถนำข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงการทำงานของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยอุปกรณ์รับภาพซีไอเอสแบบแบน

### 3.2.1 เครื่องสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะ

เครื่องสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะ เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในการเก็บข้อมูลภาพเข้าสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งมีราคาประหยัด สามารถสแกนได้ทั้งภาพสีและขาวดำ โดยกำหนดความละเอียดในการสแกนเป็นจำนวนจุดต่อนิ้วหรือ dpi (dot per inch) การกำหนดความละเอียดในการสแกนภาพไว้ที่ค่าสูง ๆ จะช่วยให้รูปที่สแกนได้มีความคมชัด แต่จะขึ้นอยู่กับหน่วยความจำในการเก็บบันทึกข้อมูลสูงด้วย

ในการวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเนอร์ Microtek รุ่น Slim Scan C3 ดังรูปที่ 3.2 สำหรับการเก็บภาพที่ได้จากฉากเรืองรังสีเอกซ์ โดยได้มีการปรับเปลี่ยนระบบขับเคลื่อนและเพิ่มเติมวงจรบางส่วนเพื่อใช้ในการควบคุม



รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของเครื่องสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะ Microtek รุ่น Slim Scan C3

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลจำเพาะของเครื่องสแกนเนอร์ Microtek SlimScan C3

Microtek : SlimScan C3 Specification			
Trade Name	SlimScan C3	Dimensions	10.4" x 1.7" x 16.4"
Model Number	MCS-600CS	Weight	3.5 lb.
Type	Desktop, Flatbed, Single pass	Power Supply	100 V to 240 V (-10% to +10%)
Calibration time	3 sec.(gray) 6 sec.(color)	Warm up time	15 sec. 3 min. for image quality level
Transmission speed	2 Mbytes/s	Power Consumption	12 W max.
Resolution	300dpi(H) x 600dpi(V)	Voltage Frequency	47 Hz to 63 Hz
Sample depth	12 bits per color with Dual Optimization Technology	Scanning Areas	Minimum: 1 line 2 pixels(gray & color), 16 pixels(line-art) Maximum: 215 mm x 296 mm
Scanning speed	In speed mode - Line/gray/color: 6.7 ms/line In quality mode - Line/gray/color: 20 ms/line		

การทำงานของเครื่องสแกนเนอร์นั้น ทุกครั้งก่อนจะเริ่มสแกน เครื่องจะทำการอ่านค่าสีขาว-ดำมาตรฐาน (Calibration bar) บริเวณส่วนต้นของเครื่อง จากนั้นอุปกรณ์ซีไอเอสจึงเลื่อนออกมาเพื่อเก็บภาพ โดยทำการเก็บภาพในรูปแบบโทนสีเทา เครื่องจะทำการเก็บภาพโดยใช้แสงสีเขียวเป็นแสงที่ใช้ในการสแกน ซึ่งเป็นแสงที่ใช้ในการปรับแก้สีขาว-ดำ มาตรฐานด้วยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.3 แสดงแถบสีขาว-ดำมาตรฐานสำหรับการปรับแก้ค่า (Calibration bar)

### 3.2.2 เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้สำหรับงานถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในทางอุตสาหกรรม สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดได้ในช่วง 60 ถึง 200 กิโลโวลต์ ปรับกระแสได้สูงสุดไม่เกิน 8 มิลลิแอมแปร์ และตั้งเวลาเปิดเครื่องได้สูงสุด 12 นาที ภาพของหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และชุดควบคุม แสดงดังในรูปที่ 3.4



หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์

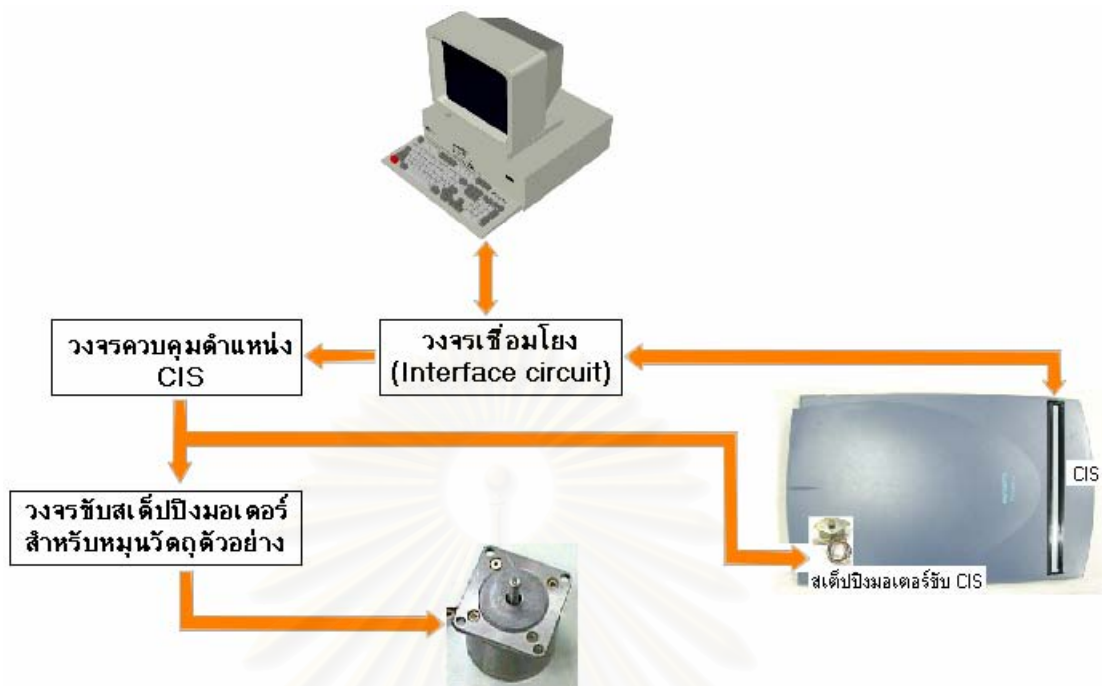


ชุดควบคุมต้นกำเนิดรังสีเอกซ์

รูปที่ 3.4 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์และชุดควบคุม

### 3.2.3 ระบบควบคุมการหมุนวัตถุตัวอย่างและตำแหน่งของอุปกรณ์ซีไอเอส

ระบบหมุนวัตถุตัวอย่างในงานวิจัยนี้เป็นระบบการหมุนที่มีความสัมพันธ์กับจังหวะการอ่านข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจจับภาพซีไอเอส สเต็ปปีงมอเตอร์ที่เลือกใช้สำหรับหมุนวัตถุตัวอย่างจะมีจำนวนเฟสเท่ากับสเต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้ภายในเครื่องสแกนเนอร์ แต่มีขนาดใหญ่และใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่า เนื่องจากต้องใช้แรงบิดสูงในขณะหมุนวัตถุตัวอย่าง ลักษณะการเชื่อมโยงสัญญาณที่ใช้ควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์เพื่อหมุนวัตถุตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 3.5



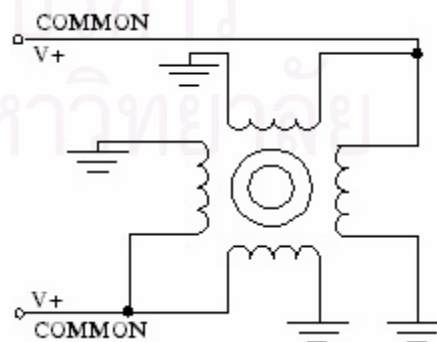
รูปที่ 3.5 แสดงระบบควบคุมการหมุนวัตถุตัวอย่าง

### 3.2.3.1 สเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในรูปที่ 3.6 เป็นสเต็ปป์มอเตอร์แบบแปรค่ารีลักแตนซ์ (VARIABLE RELUCTANCE: VR) 4 เฟส (สายไฟ 6 เส้น) ต้องการแหล่งกำเนิดแรงดันขนาด 5.1 โวลต์ และใช้กระแส 1.0 แอมแปร์ต่อเฟส มีการขับเคลื่อนด้วยพัลส์ (pulse) ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่องโดยจะหมุนเป็นสเต็ป แต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1.8 องศา แต่ในงานวิจัยนี้มีการทรอบการหมุนของสเต็ปป์มอเตอร์-



รูปร่างภายนอกของสเต็ปป์มอเตอร์



โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบ 4 เฟส ชนิดมีสาย 6 เส้น

รูปที่ 3.6 แสดงรูปสเต็ปป์มอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

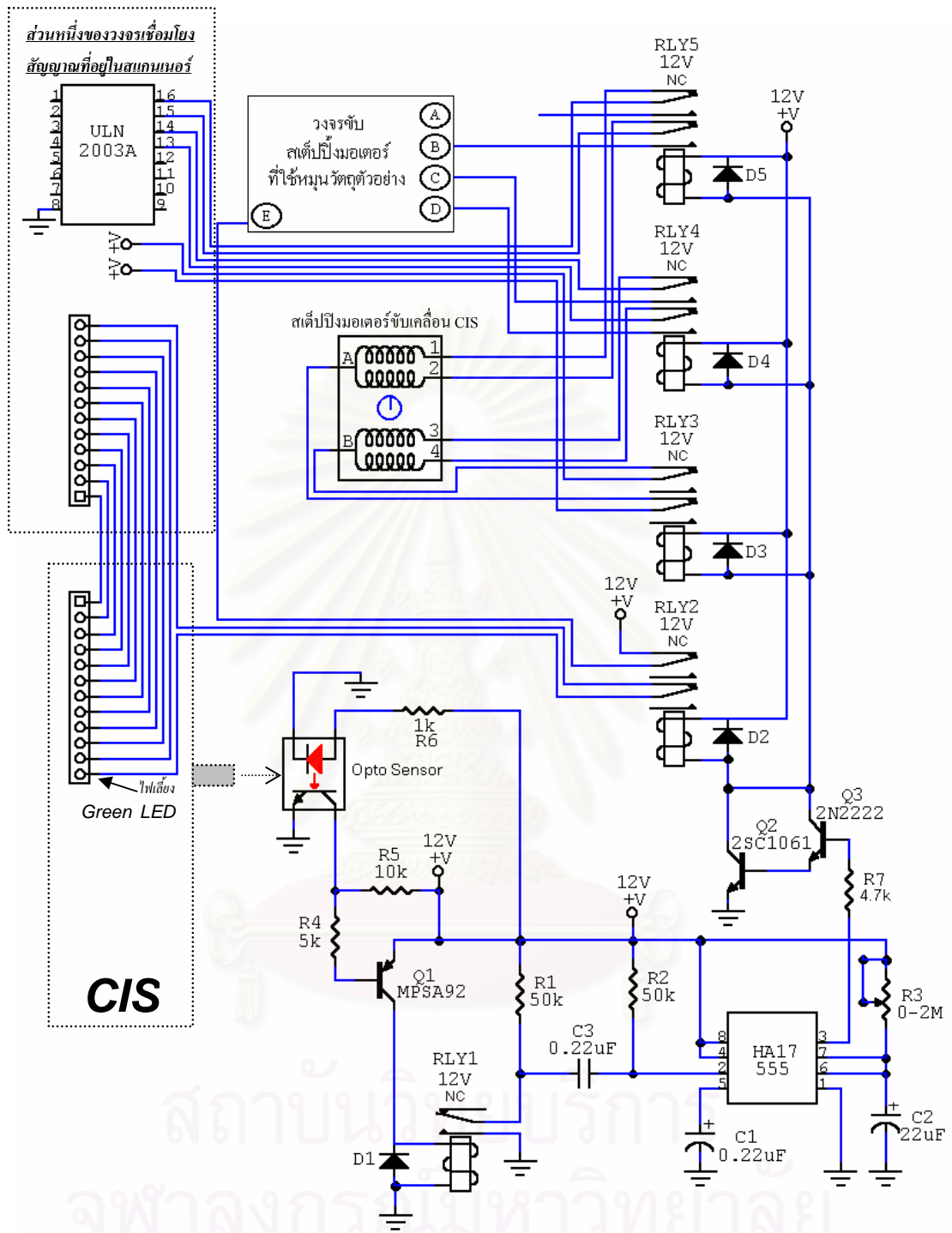


ที่ใช้ขับเคลื่อนวัตถุตัวอย่างเพื่อจำกัดความเร็วในการหมุนให้เหมาะสมกับการเก็บข้อมูล โดยมีการ ทดสอบอยู่ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกสัญญาณจากสเต็ปมอเตอร์ที่อยู่ในสแกนเนอร์ที่มีมุมในการ หมุนต่อสเต็ปสูงส่งไปขับเคลื่อนสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนวัตถุตัวอย่างที่มีมุมในการหมุนต่อสเต็ปต่ำ กว่า ขั้นตอนที่สองระบบเกียร์ทดรอบที่ต่ออยู่กับสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนวัตถุตัวอย่าง ซึ่ง ระบบการทดรอบนี้ทำให้มุมในการหมุนแต่ละสเต็ปของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์นี้เป็น 0.438 องศาต่อสเต็ป

สเต็ปมอเตอร์แบบ VR มีลักษณะเป็นฟันเลื่อย รูปทรงกระบอกโดยจะมีความสัมพันธ์ โดยตรงกับจำนวนโพลในสเตเตอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นจะไปหมุนโรเตอร์ไปในเส้นทาง ของอำนาจแม่เหล็กที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ำที่สุด ตำแหน่งที่จะเกิดแน่นอนและมีเสถียรภาพ แต่จะ เกิดขึ้นได้หลาย ๆ จุด ดังนั้น เมื่อป้อนไฟเข้าขดลวดต่าง ๆ ในมอเตอร์แตกต่างกันไป ก็ทำให้ มอเตอร์ หมุนไปตำแหน่งต่าง ๆ กัน

### 3.2.3.2 วงจรควบคุมตำแหน่งอุปกรณ์ซีไอเอส

ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่นำเครื่อง สแกนเนอร์มาประยุกต์ใช้ จะทำการหยุดการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ ซีไอเอส หลังจากที่เคลื่อนตัวออกมาเพียงระยะหนึ่ง โดยจะมีอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่ง (Opto sensor) เพื่อหยุดการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ที่อยู่ในเครื่องสแกนเนอร์ พร้อมกับปิด LED แสงสีเขียวที่ใช้เป็นต้นกำเนิดแสงที่ใช้ในการสแกนภาพ มาเป็นการรับแสงที่ได้จากฉากเรืองรังสี ชนิด  $Gd_2O_2S:Tb$  และ Phosphorescent screen: Toshiba 7G09E ซึ่งมีแสงสีเขียวเช่นเดียวกัน แทน โดยจะมีวงจรตั้งเวลาในการควบคุมการหยุดของสเต็ปมอเตอร์ในเครื่องสแกนเนอร์ และ การทำงานของต้นกำเนิดแสงเดิมในเครื่องสแกนเนอร์นั้น



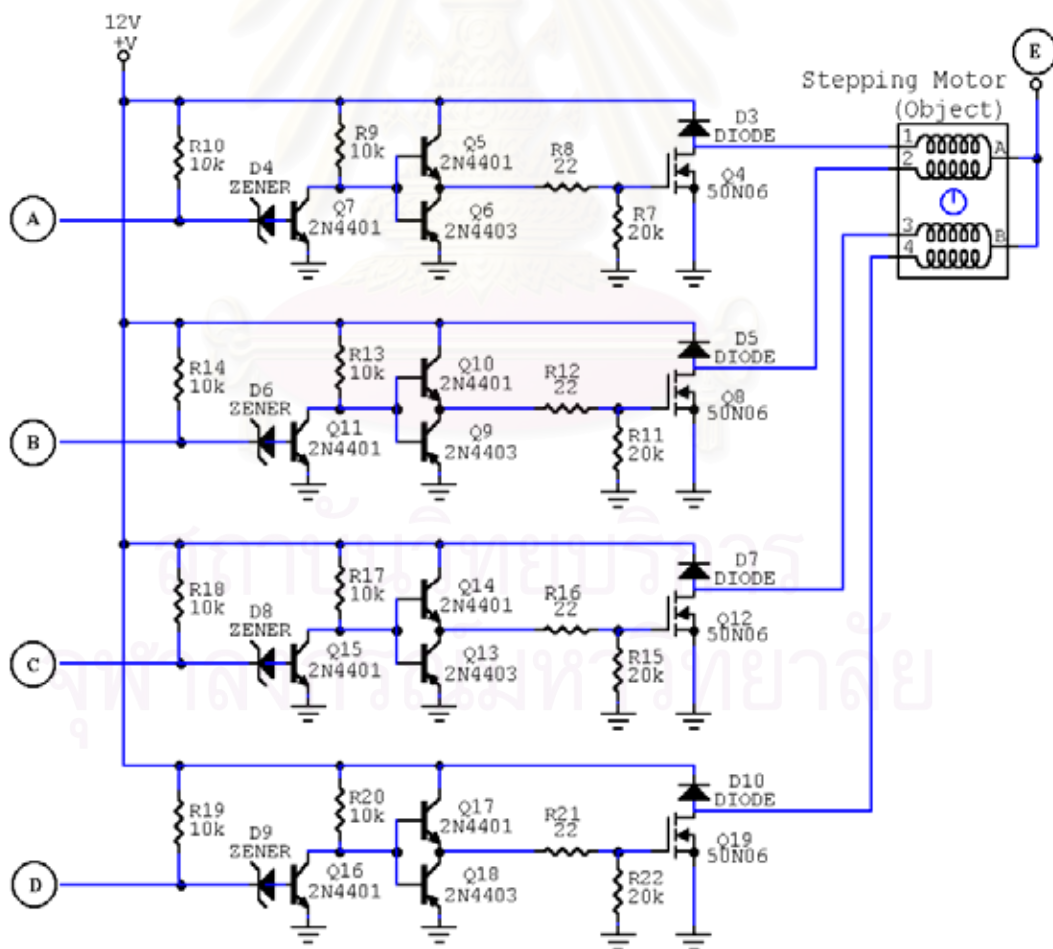
รูปที่ 3.7 แสดงผังวงจรตัดการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์และหลอด LED ในซีไอเอส

รูปที่ 3.7 แสดงผังวงจรตัดการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ซีไอเอสและหลอด LED แสงสีเขียวในเครื่องสแกนเนอร์ โดยการทำงานจะเริ่มเมื่อสวิทช์สั่งการด้วยแสงถูกบังด้วยอุปกรณ์ซีไอเอสจะทำให้ทรานซิสเตอร์ MPSA92 เริ่มทำงานทำให้ Relay เปลี่ยนสถานะเกิดเป็นสัญญาณกระตุ้นไปยังไอซี HA17555 ให้เริ่มตั้งเวลา ตามการปรับตั้งค่าของตัวเก็บ

ประจุ (C) กับตัวต้านทาน (R) ที่ต่ออยู่กับไอซี HA17555 ซึ่งเวลาดังกล่าวเป็นเวลาที่เราเครื่องสแกนเนอร์ใช้ในการทำงานปกติหลังจากทำการปรับแก้ค่าสี่จากแถบขาว-ดำมาตรฐาน จนกระทั่งกลับเข้ามาตรวจจับสีขาว-ดำมาตรฐานอีกครั้งเพื่อหยุดการทำงานมีค่าประมาณ 50 วินาที เมื่อไอซี HA17555 ทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้จะส่งสัญญาณไปยังทรานซิสเตอร์เพื่อเปลี่ยนสถานะ Relay ทำให้สแต็ปมอเตอร์และหลอด LED แสงสีเขียวในเครื่องสแกนเนอร์ทำงานเป็นปกติ

### 3.2.3.3 วงจรขับสแต็ปมอเตอร์สำหรับวัตถุตัวอย่าง

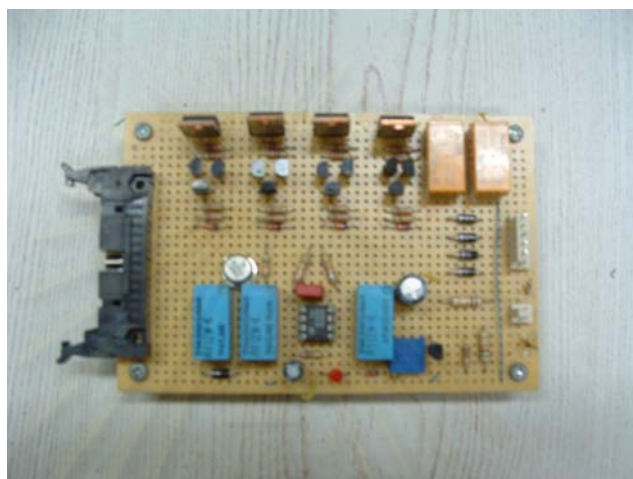
สัญญาณควบคุมการหมุนสแต็ปมอเตอร์ในเครื่องสแกนเนอร์ที่ส่งมาจากวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ไม่สามารถใช้ขับเคลื่อนสแต็ปมอเตอร์หมุนวัตถุได้โดยตรง เนื่องจากสแต็ปมอเตอร์ที่ใช้หมุนวัตถุมีขนาดใหญ่และต้องการกระแสไฟมากกว่าสแต็ปมอเตอร์ในเครื่องสแกนเนอร์มาก จึงต้องมีวงจรขับสแต็ปมอเตอร์สำหรับวัตถุตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรขับสแต็ปมอเตอร์



หลักการการทำงานของวงจรขับสเต็ปมอเตอร์จะใช้สัญญาณควบคุมจากวงจรเชื่อมโยงสัญญาณที่ผ่านไอซี ULN2003A ซึ่งเป็นสัญญาณเดียวกับที่ใช้ในการขับสเต็ปมอเตอร์ในเครื่องสแกนเนอร์มาเป็นสัญญาณกระตุ้นทรานซิสเตอร์ 2N4401 และ 2N4403 ที่ต่อกันแบบ Totem-pole เพื่อให้มอเตอร์ 50N06 สามารถขับสเต็ปมอเตอร์ด้วยกระแสที่สูงขึ้นได้



รูปที่ 3.9 แสดงแผงวงจรรวมจากวงจรในรูปที่ 3.7 และ 3.8 ที่ใช้ในงานวิจัย

### 3.2.4 การติดต่อระหว่างระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์กับไมโครคอมพิวเตอร์

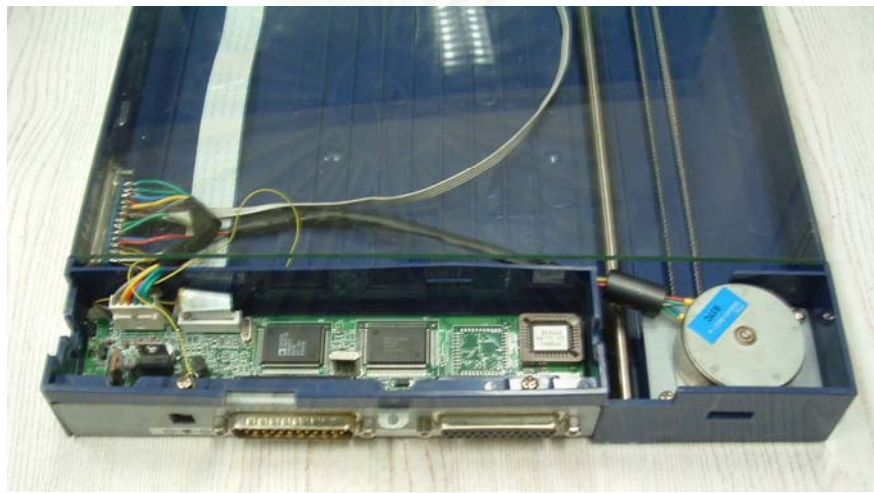
การติดต่อระหว่างเครื่องสแกนเนอร์กับไมโครคอมพิวเตอร์จะใช้ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประกอบกัน โดยฮาร์ดแวร์ในที่นี้คือวงจรเชื่อมโยง ส่วนซอฟต์แวร์จะเป็นมาตรฐานของโปรแกรม (Twain) ที่ใช้ในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์เก็บภาพกับไมโครคอมพิวเตอร์

#### 3.2.4.1 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

วงจรเชื่อมโยงสัญญาณทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอสและสเต็ปมอเตอร์ที่อยู่ในเครื่องสแกนเนอร์กับไมโครคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยการถ่ายโอนข้อมูลผ่านทางพอร์ตขนานชนิด EPP (Enhanced Parallel Port) มีชิปควบคุมการทำงานของเครื่องสแกนเนอร์ (Scanner Controller Chip) CIS9725 เป็นอุปกรณ์สำคัญในการทำงานของวงจรนี้



ก. วงจรเชื่อมต่อโยงสัญญาณ

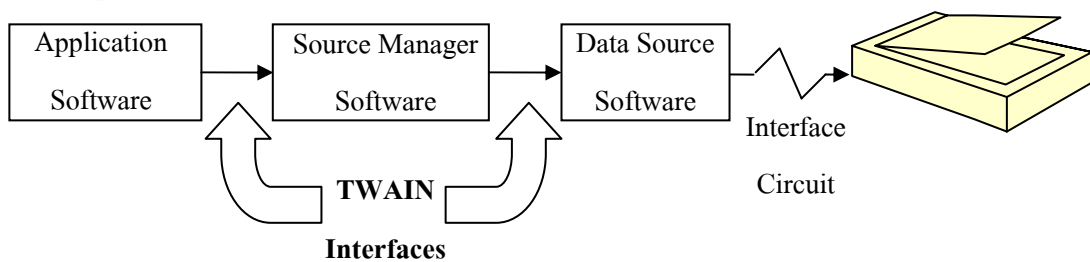


ข. การเชื่อมต่อวงจรเชื่อมต่อโยงสัญญาณในเครื่องสแกนเนอร์

รูปที่ 3.10 แสดงรูปวงจรเชื่อมต่อโยงสัญญาณที่อยู่ในเครื่องสแกนเนอร์

### 3.2.4.2 มาตรฐานโปรแกรมที่ใช้ในการติดต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รับภาพ (Twain standard software protocol)

TWAIN เป็นมาตรฐานของโปรแกรมในการติดต่อระหว่างโปรแกรมประยุกต์ (Application Software) ที่ต้องมีการใช้งานเกี่ยวกับภาพและอุปกรณ์เก็บภาพ (Image acquisition device)



รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ของส่วนต่างๆ กับมาตรฐานโปรแกรม TWAIN

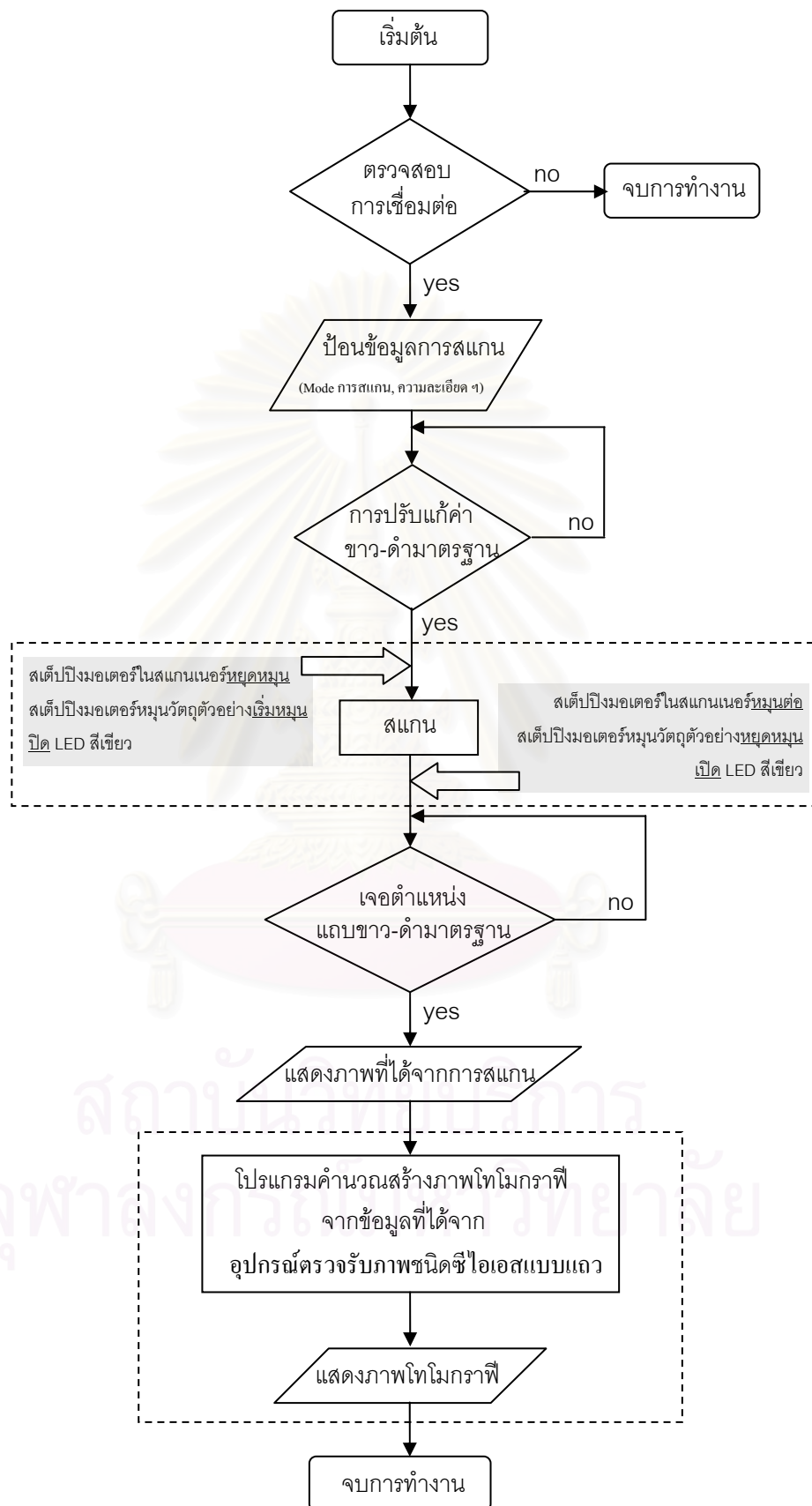
จากรูป 3.11 จะเห็นว่าโปรแกรมประยุกต์ซึ่งในที่นี้ก็คือส่วนหนึ่งของโปรแกรมสร้างภาพโทโมกราฟีที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถติดต่อกับเครื่องสแกนเนอร์ได้โดยมีมาตรฐานโปรแกรม TWAIN เป็นตัวเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างกัน ซึ่งใช้ชุดคำสั่ง DSM\_Entry() และ DS\_Entry() ที่เป็นมาตรฐานของ TWAIN ในการเชื่อมโยงข้อมูล

### 3.2.5 ขั้นตอนการทำงานของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์

รูปที่ 3.12 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องสแกนเนอร์และส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากการทำงานของเครื่องสแกนเนอร์ปกติ (ในสี่เหลี่ยมเส้นประ) ซึ่งภาพที่ได้จากการสแกนจะนำไปแปลงเป็นข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



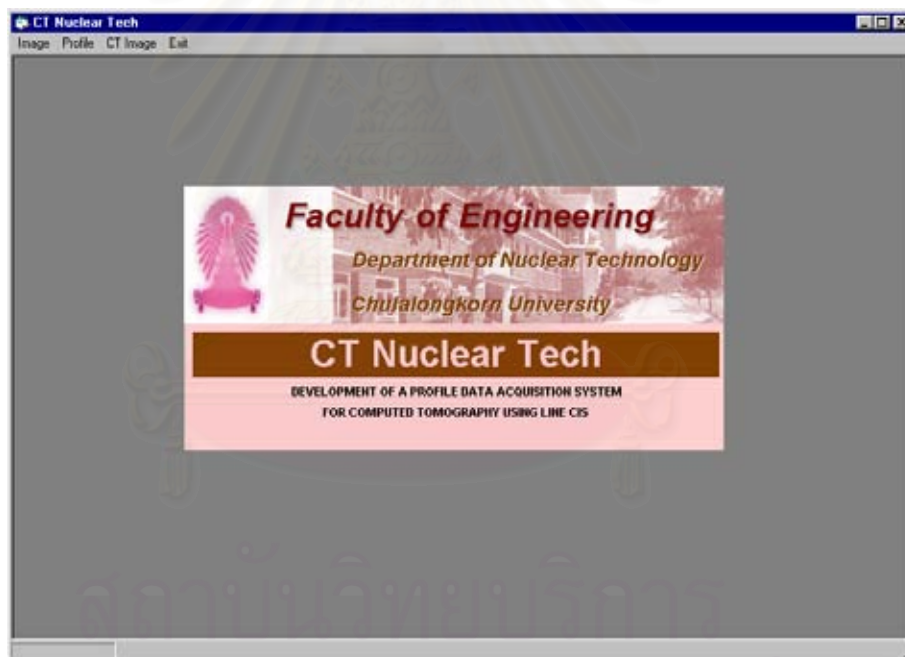
รูปที่ 3.12 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์

### 3.3 การพัฒนาโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอส

โปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอส พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมภาษา Visual Basic version 6.0 บนระบบปฏิบัติการ Windows 98 ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

#### 3.3.1 เมนูหลัก

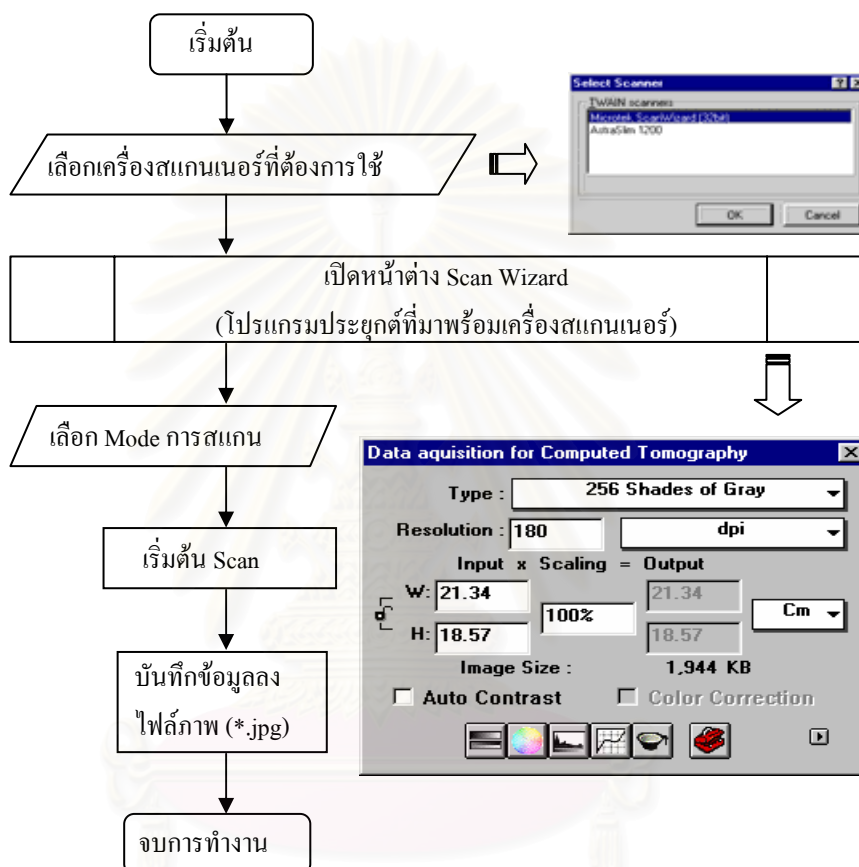
โปรแกรมเมนูหลักเป็นหน้าจอที่ใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งานว่าต้องการเข้าสู่การทำงานใด ซึ่งทุก ๆ ขั้นตอนการทำงานที่ถูกเปิดขึ้นมาจะอยู่ในหน้าต่างของเมนูหลักซึ่งเป็นการสะดวกต่อการใช้งาน



รูปที่ 3.13 แสดงหน้าจอเมนูหลัก

### 3.3.2 โปรแกรมการสแกนเก็บข้อมูล (Data Acquisition)

ในส่วนนี้จะใช้ Component “Kodak Edit Image Control” ที่มีอยู่ใน Visual Basic เพื่อเรียกใช้โปรแกรมมาตรฐาน TWAIN ในการติดต่อกับเครื่องสแกนเนอร์ ดังแผนภาพการทำงานรูปที่ 3.14



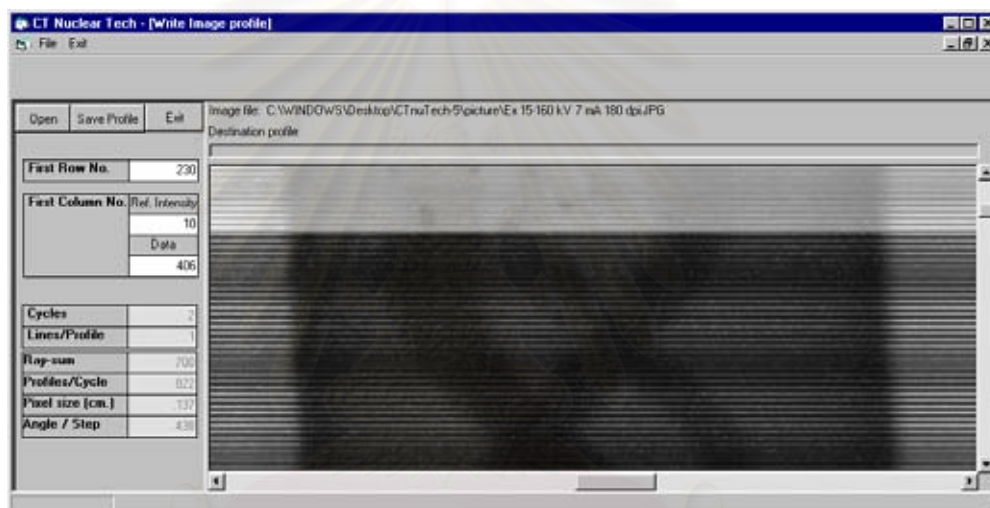
รูปที่ 3.14 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมการสแกนเก็บข้อมูล

การเลือก Mode การสแกนสำหรับงานวิจัยนี้ใช้เป็น Mode Gray Scale ความละเอียด 180 dpi ซึ่งจะทำให้ไฟล์ภาพที่ได้เป็นภาพที่มีโทนสีเทา 256 ระดับและมีขนาดกว้างxยาวเท่ากับ 1,533 x 2,088 พิกเซล

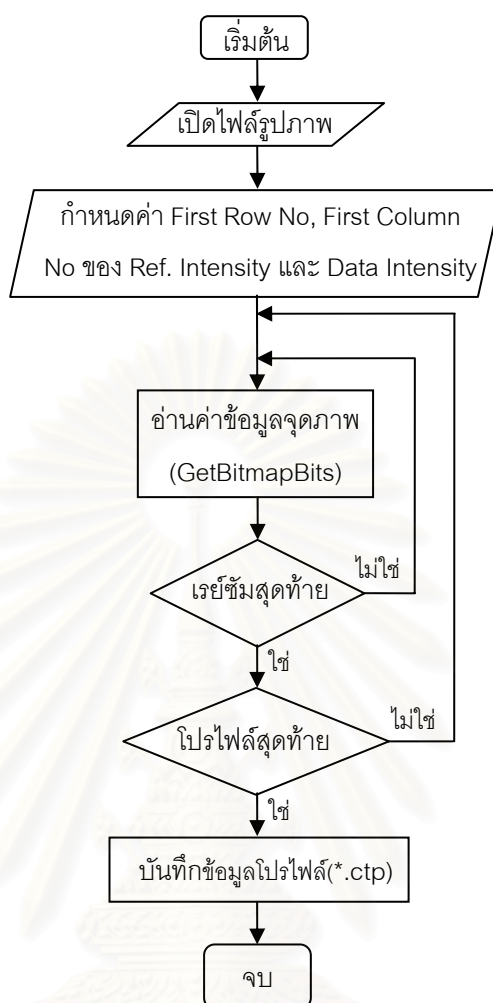


### 3.3.3 โปรแกรมแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงตัวเลข

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการสแกนเป็นไฟล์ภาพซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงต้องทำการอ่านค่าสีของแต่ละพิกเซลในภาพที่สแกนได้ และเก็บเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข ซึ่งในโปรแกรมได้ใช้ฟังก์ชัน API “GetBitmapBits” ในการอ่านค่าสีของแต่ละพิกเซลซึ่งเมื่อแปลงข้อมูลแต่ละพิกเซลเป็นข้อมูลตัวเลขจะมีค่าอยู่ในช่วง 0-255 แตกต่างกันไปตามความเข้มของแต่ละพิกเซล โดยหน้าต่างโปรแกรมอ่านข้อมูลจุดภาพให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงตัวเลขและแผนผังการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 3.15 และ 3.16 ตามลำดับ



รูปที่ 3.15 แสดงหน้าต่างโปรแกรมอ่านข้อมูลจุดภาพให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงตัวเลข



รูปที่ 3.16 แผนผังการทำงานของโปรแกรมอ่านข้อมูลจุดภาพให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงเลข

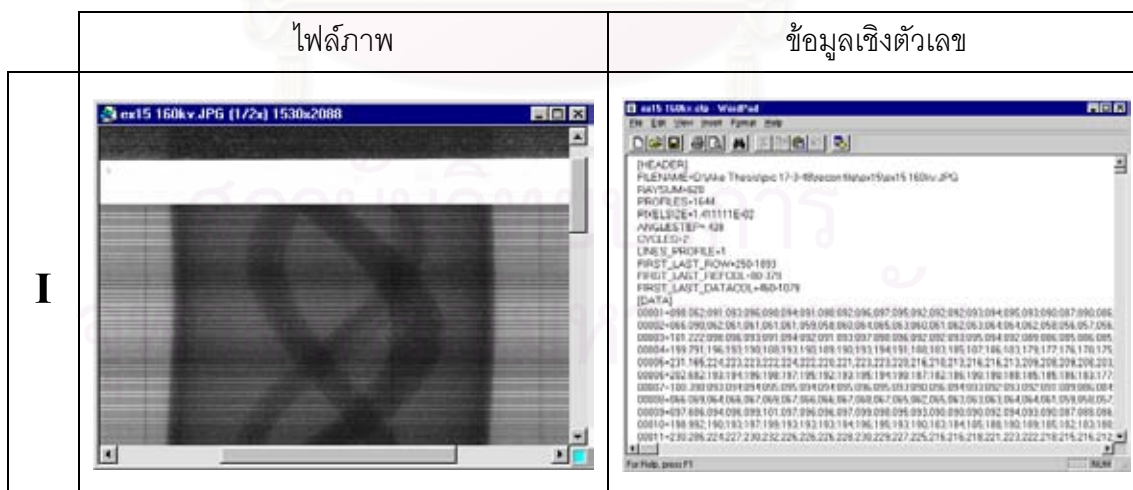
การอ่านข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปข้อมูลเชิงตัวเลขนั้น จะไม่อ่านข้อมูลทั้งหมด เนื่องจากข้อมูลบางส่วนไม่จำเป็นต้องใช้และเป็นการสิ้นเปลืองหน่วยความจำ จึงมีการกำหนด ตำแหน่งของแถวเริ่มต้นที่ต้องการอ่านข้อมูล (First Row No.), คอลัมน์เริ่มต้นที่ต้องการเก็บข้อมูล อ้างอิงความดำเปรียบเทียบ (Ref. Intensity First Column No.) และคอลัมน์เริ่มต้นที่ต้องการอ่าน ข้อมูลโปรไฟล์ (Data First Column No.) ซึ่งข้อมูลที่ทำกรกำหนดต่าง ๆ เหล่านี้จะมีการบันทึกลง เป็นเฮดเดอร์ (Header) ของไฟล์ด้วยดังตารางที่ 3.2



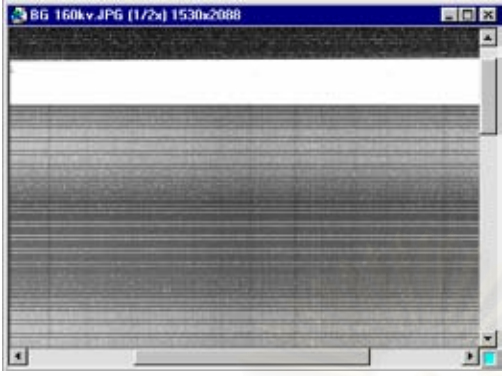
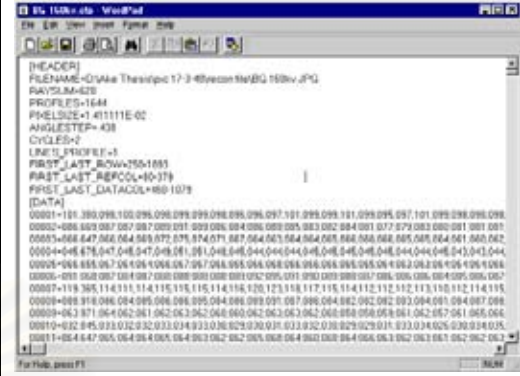

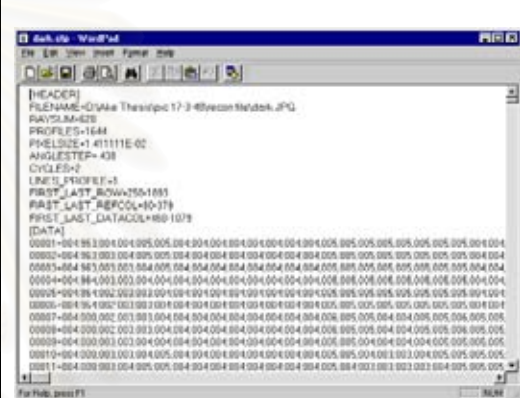
ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดต่าง ๆ ของเฮดเดอร์ที่บันทึกลงไฟล์

แถว	ข้อมูล	คำอธิบาย
1	File name	ไฟล์ภาพต้นฉบับที่ทำการอ่านข้อมูลจุดภาพเป็นข้อมูลตัวเลข
2	Ray-sum	จำนวนเรย์ซัมของแต่ละโปรไฟล์
3	Profiles	จำนวนโปรไฟล์
4	Pixel Size	ความกว้างแต่ละพิกเซลหน่วยเป็น ซม.
5	Angle/Step	มุมที่หมุนแต่ละสแต็ป
6	Cycle(s)	จำนวนรอบการหมุน
7	Line(s)/Profile	จำนวนแถวต่อ 1 โปรไฟล์
8	First-last row	ช่วงแถวที่เก็บข้อมูลโปรไฟล์
9	First-last Refcol	ช่วงคอลัมน์ที่เก็บข้อมูลอ้างอิงความดำเปรียบเทียบมาเฉลี่ย (กำหนดให้เก็บเริ่มจากจุดเริ่มต้นมา 300 คอลัมน์)
10	First-last Datacol	ช่วงคอลัมน์ที่เก็บข้อมูลโปรไฟล์

ในส่วนของข้อมูลจะเริ่มจากแถวที่ 11 เป็นต้นไปโดยในแต่ละแถว ตัวเลขคอลัมน์แรกเป็นตัวบอกว่าเป็นโปรไฟล์ที่เท่าไร คอลัมน์ที่สองเป็นค่าเฉลี่ยความดำเปรียบเทียบที่ได้จากการเก็บข้อมูลส่วนที่อยู่นอกเหนือวัตถุตัวอย่าง 300 ค่า และคอลัมน์ที่สามเป็นต้นไปเป็นข้อมูลของแต่ละเรย์ซัม



รูปที่ 3.17(ก) แสดงข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการอ่านค่าสีจากไฟล์ I

	ไฟล์ภาพ	ข้อมูลเชิงตัวเลข
<b>I<sub>0</sub></b>		
<b>D</b>		

รูปที่ 3.17(ข) แสดงข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการอ่านค่าสีจากไฟล์ I<sub>0</sub> และ D

ในการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปใช้คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะต้องทำการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (I), ข้อมูลของภาพเมื่อฉายรังสี ในขณะที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง (I<sub>0</sub>) และข้อมูลในขณะที่ไม่เปิดเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (D) ดังแสดงตัวอย่างข้อมูลของวัตถุในรูปที่ 3.17(ก,ข) ซึ่งข้อมูลที่บันทึกลงฮาร์ดดิสก์จะมีนามสกุลเป็น ctp

### 3.3.4 โปรแกรมปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์ (Shading correction)

การปรับแก้ค่านี้จะใช้สมการที่ 2.3 ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น แต่เนื่องจากข้อมูลภาพในส่วนของคุณค่าโปรไฟล์ (I) และข้อมูลของภาพเมื่อฉายรังสีขณะที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง (I<sub>0</sub>) ที่สแกนได้มีความไม่สม่ำเสมอของข้อมูล โดยมีแถบขาวสลับแถบดำเป็นระยะดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.17 ซึ่งแถบมืด-สว่างดังกล่าวจะมีตำแหน่งต่างกันในการสแกนแต่ละครั้ง จึงไม่สามารถใช้ค่า I<sub>0</sub> มาใช้ในการปรับแก้ค่า I ในแถวเดียวกันได้

โปรแกรมในส่วนนี้ได้มีการเขียนคำสั่งการทำงานให้มีระบบการค้นหาตำแหน่งของแถวข้อมูล  $I_0$  ที่มีค่าข้อมูลความเข้มเฉลี่ยข้อมูลส่วนที่อยู่นอกวัตถุตัวอย่าง (คอลัมน์ที่ 10 - 309) ใกล้เคียงกันที่สุด เพื่อนำไปใช้เป็นตัวปรับแก้ค่า ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.18

แถว	ค่าเฉลี่ย คอลัมน์ 10-309	ข้อมูล คอลัมน์ (406-1205)						
1	175.472	179	181	170	168	168	172	
2	128.592	132	136	130	127	127	131	
3	<b>93.162</b>	91	94	96	93	89	87	
4	52.992	52	54	53	51	50	50	
5	90.606	85	86	83	82	83	86	
6	127.742	121	121	118	119	120	124	
7	156.873	156	157	156	156	156	159	
8	128.552	128	130	131	130	129	129	
9	90.873	89	92	94	91	89	88	
10	66.998	68	61	63	60	67	65	

(ก) ข้อมูล I

แถว	ค่าเฉลี่ย คอลัมน์ 10-309	ข้อมูล คอลัมน์ (406-1205)						
1	3.439	5	1	3	8	1	7	...
2	1.932	5	2	4	10	2	6	...
3	4.765	10	6	0	6	9	4	...
4	4.77	6	2	2	5	7	4	...
5	4.547	6	3	6	6	5	6	...
6	3.937	4	2	7	4	4	6	...
7	4.155	4	5	6	3	2	4	...
8	4.966	3	5	6	5	4	3	...
9	3.758	0	2	4	6	5	4	...
10	2.062	3	8	1	3	4	3	...

(ข) ข้อมูล D

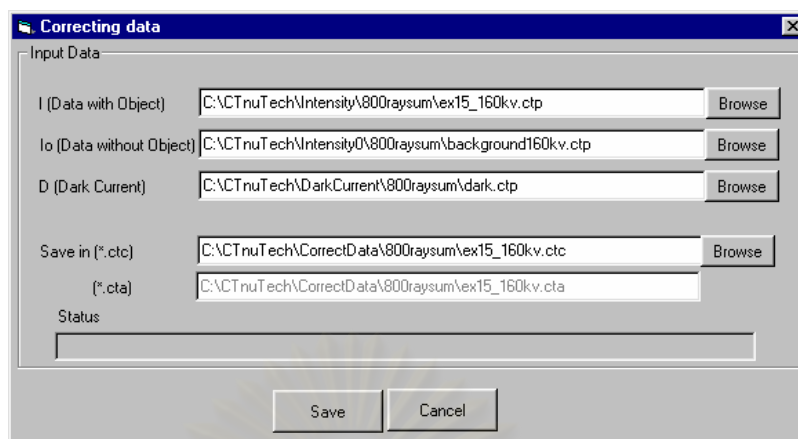
แถว	ค่าเฉลี่ย คอลัมน์ 10-309	ข้อมูล คอลัมน์ (406-1205)						
1	101.38	98	100	96	98	99	99	...
2	86.660	87	87	87	86	91	86	...
3	66.647	66	64	69	72	75	74	...
4	45.675	47	45	47	49	51	51	...
5	66.655	67	64	64	66	67	67	...
6	91.088	87	84	87	88	88	88	...
7	119.305	114	111	114	115	115	115	...
8	<b>93.095</b>	90	87	95	97	89	85	...
9	63.971	64	62	61	62	63	62	...
10	32.845	33	32	32	33	34	33	...

(ค) ข้อมูล  $I_0$

รูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างการเทียบข้อมูลที่จะนำไปใช้ในสมการการปรับแก้ค่า

จากรูปที่ 3.18 ในคำสั่งระบบการค้นหาข้อมูล  $I_0$  โปรแกรมจะทำการอ่านค่าเฉลี่ยของข้อมูลส่วนที่อยู่นอกวัตถุตัวอย่าง (คอลัมน์ที่ 10 - 309) ของข้อมูล I และ  $I_0$  แล้วทำการเปรียบเทียบค้นหาค่าที่ใกล้เคียงกันที่สุด ซึ่งในตัวอย่างนี้ในแถวที่ 3 ข้อมูลเฉลี่ยคอลัมน์ที่ 10-309 ของ I มีค่าเท่ากับ 93.162 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยคอลัมน์ 10 - 309 ของ  $I_0$  คือ 93.085 มากที่สุด ดังนั้นในการคำนวณปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์ในแถวที่ 3 จะมีการอ้างอิงค่า  $I_0$  ในแถวที่ 8 เป็นตัวเลขที่ใช้ในการคำนวณในคอลัมน์เดียวกัน ส่วนข้อมูลในขณะที่ไม่เปิดเครื่องเอกซเรย์ (Dark Current; D) จะใช้ในแถวเดียวกับข้อมูลโปรไฟล์ที่กำลังปรับแก้ค่าอยู่คือแถวที่ 3 ดังที่ได้แรงแงในรูปที่ 3.18

สำหรับขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมการปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์จะเริ่มเมื่อเลือกคำสั่ง "Correct Data" บนเมนูบาร์ของหน้าต่างหลัก เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานจะมีหน้าต่างขึ้นมาดังรูปที่ 3.19 ให้เลือกไฟล์ที่บันทึกข้อมูลโปรไฟล์ (I), ข้อมูลของภาพเมื่อฉายรังสีขณะที่ไม่มีวัตถุตัวอย่าง ( $I_0$ ) และข้อมูลขณะที่ไม่เปิดเครื่องเอกซเรย์ (D) แล้วเลือกชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึกข้อมูล



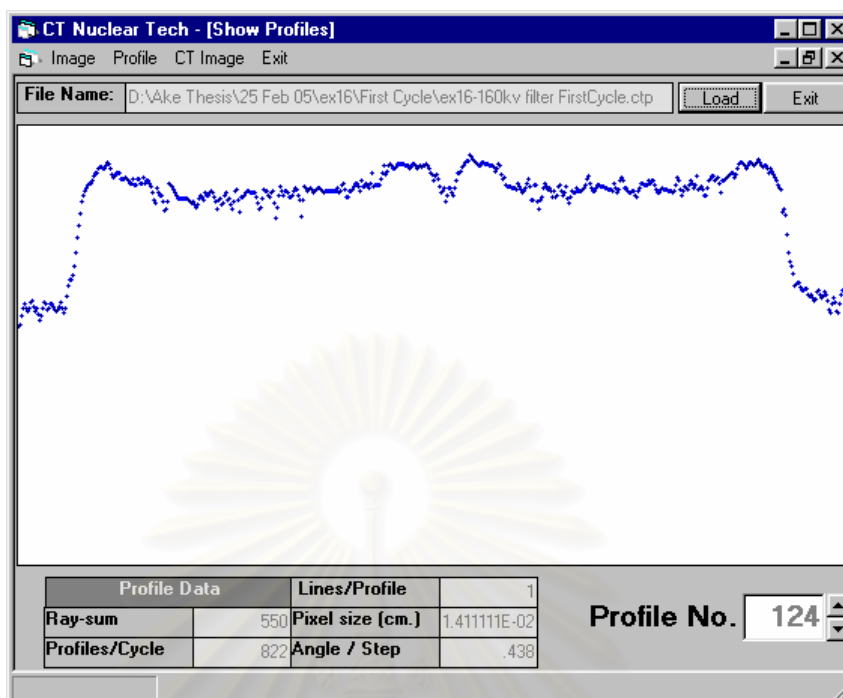
รูปที่ 3.19 แสดงหน้าต่างการทำงานของโปรแกรมปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์

เมื่อโหลดข้อมูลจากทั้งสามไฟล์แล้วโปรแกรมจะนำข้อมูล ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มาคำนวณ Shading correction ตามวิธีที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้นจนได้ข้อมูลครบทุกตำแหน่งแล้วจึงบันทึกข้อมูลที่คำนวณได้ลงบนฮาร์ดดิสก์ โดยที่ข้อมูลที่ทำการบันทึกจะมีนามสกุลเป็น ctc เมื่อบันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้วจึงสิ้นสุดโปรแกรม

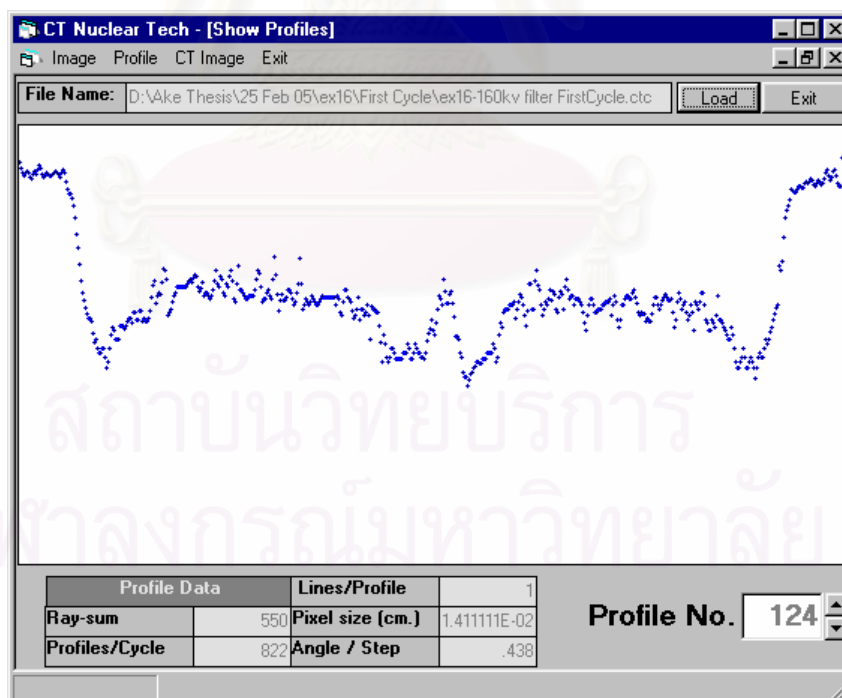
### 3.3.5 โปรแกรมแสดงรูปแบบโปรไฟล์ (Show profile)

โปรแกรมแสดงรูปแบบข้อมูลโปรไฟล์นี้ใช้เพื่อแสดงค่าข้อมูลเรย์ซัมของแต่ละโปรไฟล์โดยการพล็อตจุดค่าข้อมูลแต่ละเรย์ซัมต่อกัน ซึ่งใช้คำสั่ง Pset( ) ในการพล็อตจุดแสดงผลบนหน้าจอดังรูปที่ 3.20 ซึ่งแสดงรูปแบบโปรไฟล์ที่ยังไม่ผ่านการทำ Shading correction กับรูปแบบโปรไฟล์ที่ผ่านการทำ Shading correction แล้ว

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. รูปแบบโปรไฟล์ที่ยังไม่ผ่านการทำ Shading correction



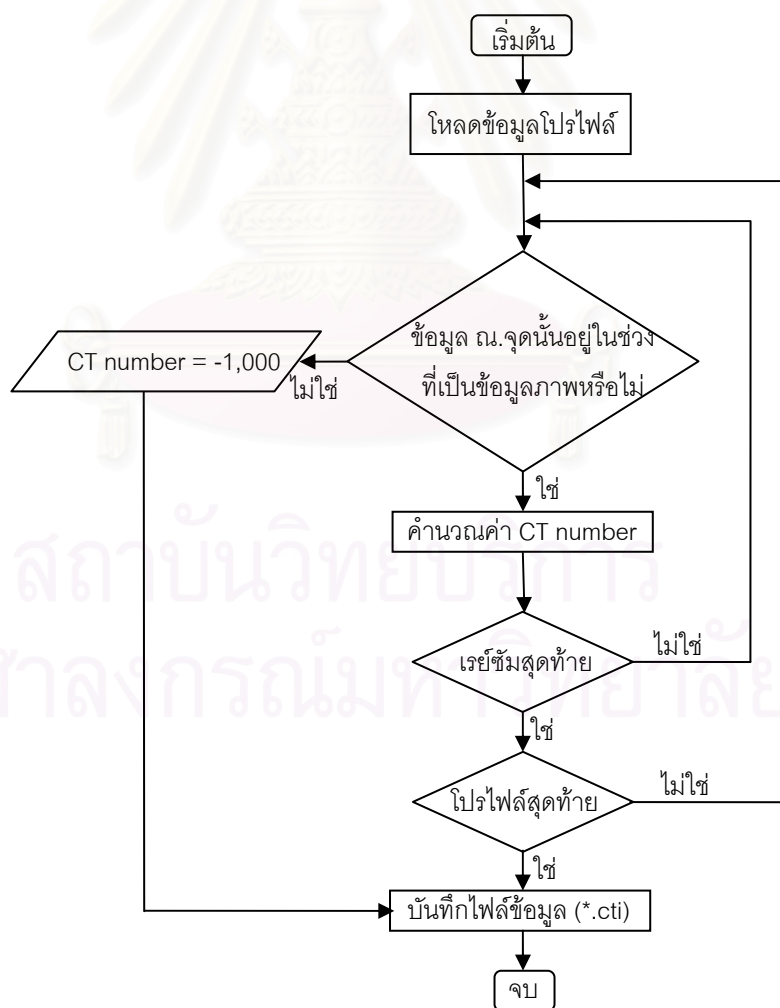
ข. รูปแบบโปรไฟล์ที่ผ่านการทำ Shading correction

รูปที่ 3.20 แสดงหน้าจอโปรแกรมแสดงรูปแบบโปรไฟล์



### 3.3.6 โปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี (Reconstruction)

โปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะใช้การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีฟิลเตอร์แบ็กโปรเจคชันจากข้อมูลโปรไฟล์ที่ผ่านการปรับแก้ค่าโปรไฟล์ (Shading Correction) แล้ว สำหรับการทำงานของโปรแกรมแสดงผังแผนภาพตามรูปที่ 3.21 โปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจะเริ่มเมื่อคำสั่ง “Reconstruction” บนเมนูบาร์บนหน้าต่างหลัก เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานจะมีหน้าต่างปรากฏขึ้นเพื่อเลือกเปิดไฟล์ของข้อมูลโปรไฟล์ และใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึกข้อมูลภาพโทโมกราฟี จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณด้วยการคูณข้อมูลโปรไฟล์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยสมการฟิลเตอร์ฟังก์ชันของ Shepp & Logan แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่า CT number ในแต่ละจุดภาพด้วยวิธีแบ็กโปรเจคชัน จากนั้นบันทึกข้อมูลจนครบทุกตำแหน่งจึงสิ้นสุดโปรแกรม



รูปที่ 3.21 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี



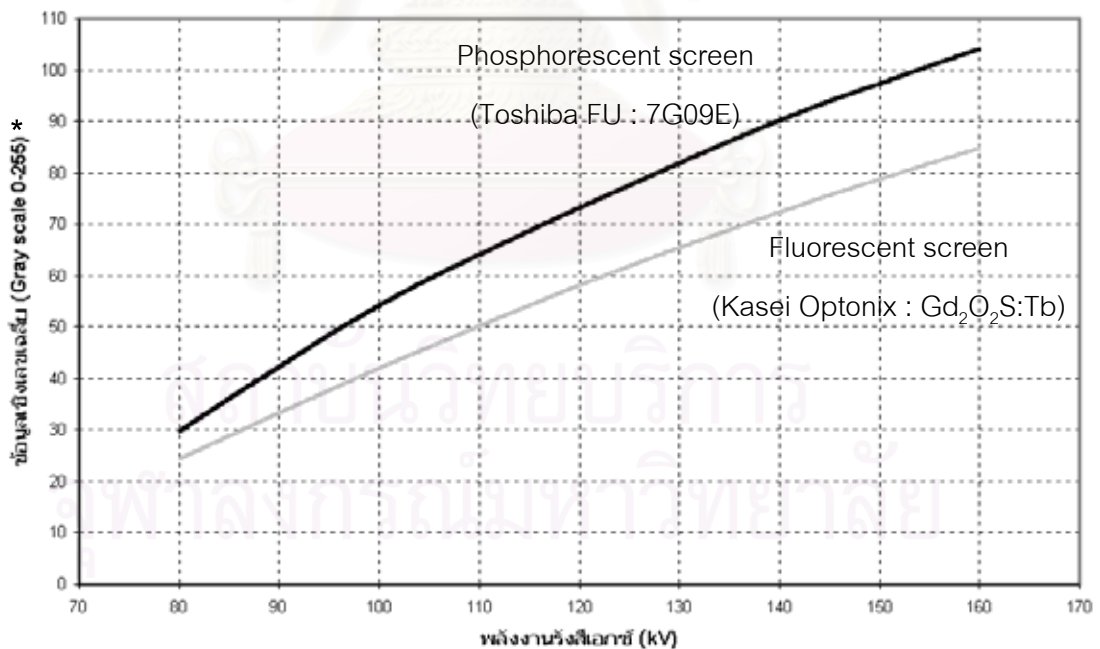
## บทที่ 4

### การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ

#### 4.1 การทดสอบการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้พัฒนาขึ้น

ระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อสร้างภาพโทโมกราฟีที่ได้พัฒนาขึ้น ไม่ได้เก็บข้อมูลความเข้มรังสีที่ทะลุผ่านวัตถุตัวอย่างโดยตรง เนื่องจากระบบนี้ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ที่สามารถรับรังสีเอกซ์ได้โดยตรง แต่อาศัยการรับแสงที่เกิดขึ้นที่แผ่นเรืองรังสีแทน จึงต้องมีการทดสอบความสามารถของอุปกรณ์ซีไอเอสที่ใช้ในการรับแสงที่เกิดจากแผ่นเรืองรังสีว่ามีขีดจำกัดของการรับแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เกิดจากแผ่นเรืองรังสีได้มากน้อยเพียงใด

การทดสอบการตอบสนองต่อรังสีเอกซ์ของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ อาศัยการเก็บภาพเมื่อฉายรังสีในขณะไม่มีวัตถุตัวอย่างที่ได้จากการสแกนเก็บข้อมูล โดยให้กำเนิดรังสีเอกซ์ที่พลังงานและกระแสไฟต่าง ๆ กัน แล้วนำภาพที่ได้ไปอ่านข้อมูลแต่ละจุดภาพ เพื่อเปลี่ยนเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Gray Scale:0 - 255) เพื่อหาค่าข้อมูลเชิงเลขเฉลี่ยสูงสุด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1



\* เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลเชิงเลขเฉลี่ยจาก 300 จำนวน

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าข้อมูลเชิงเลขสูงสุดกับพลังงานของรังสีเอกซ์

กราฟในรูปที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแสงที่เกิดจากแผ่นเรืองรังสีสองชนิด ซึ่งเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้นค่าข้อมูลเชิงเลขเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ระบบการเก็บข้อมูลโปรไฟล์จะสามารถตอบสนองต่อแสงที่เกิดจากแผ่นเรืองรังสีชนิด Phosphorescent screen:Toshiba 7G09E ได้ดีกว่า Fluorescent screen:Kasei Optonix Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Tb สังเกตได้จากการเรืองแสงที่พลังงานต่ำ ๆ จะแตกต่างกันไม่มากนัก แต่จะมีความแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มสูงขึ้น

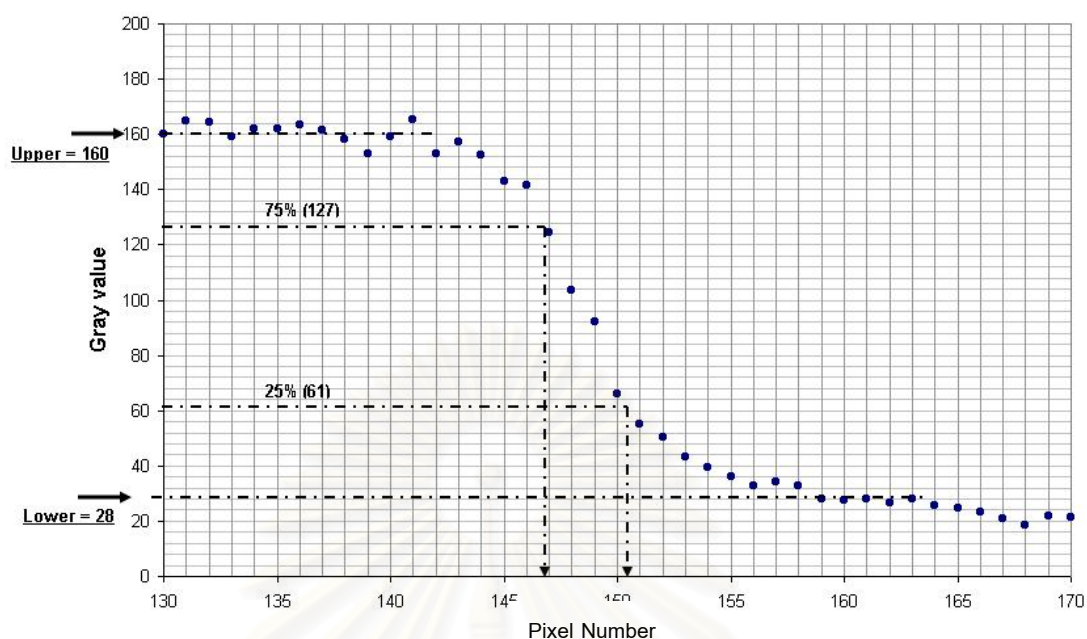
#### 4.2 การทดสอบค่า Resolution ของอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอส

ในการเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากระบบ ส่วนสำคัญที่รับข้อมูลคืออุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอส ซึ่งในการวิจัยได้ทำการหาค่าความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอสโดยใช้แผ่นตะกั่วขอบเรียบและความหนาสม่ำเสมอ วางทับบริเวณกึ่งกลางของอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอส แล้วสแกนเก็บภาพในขณะที่เปิดเครื่องเอกซเรย์อยู่ด้วย ภาพบริเวณรอยต่อแผ่นตะกั่วกับอากาศมีลักษณะดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงภาพบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นตะกั่วกับอากาศเมื่อฉายด้วยรังสีเอกซ์

ภาพที่สแกนได้จะถูกแปลงไปเป็นข้อมูลเชิงเลขแล้วเฉลี่ยค่าของข้อมูล เฉพาะในแถวที่เป็นแถบสว้างจำนวน 100 แถว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำมากขึ้น ซึ่งตามหลักการเมื่อรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านตะกั่วกับอากาศ การลดลงของปริมาณรังสีตกกระทบจะเป็นแบบ discrete แต่เมื่อนำข้อมูลเชิงเลขเฉลี่ยที่ได้ดังกล่าวไปพล็อตกราฟ พบว่าความด่ำจะลดลงเป็นแบบมีความลาดเอียงดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงข้อมูลภาพบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นตะกั่วกับอากาศขณะฉายด้วยรังสีเอกซ์

จากกราฟในรูปที่ 4.3 เมื่อนำมาหาค่า Resolution ของระบบด้วยวิธี ESF ซึ่งจำนวนเรย์ซิมที่ค่า Gray value ลดลงจาก 75% ไปถึง 25% เท่ากับ 3.5 พิกเซล เมื่อนำไปคูณกับขนาดของพิกเซลซึ่งสำหรับระบบนี้ขนาดของแต่ละพิกเซลเท่ากับ 0.0141 ซม. ดังนั้นค่า Resolution ของอุปกรณ์รับภาพซีไอเอสมีค่าเท่ากับ 0.0494 ซม.

#### 4.3 การทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีจากระบบที่พัฒนาขึ้น

ในการทดสอบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของวัตถุตัวอย่างเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี จะต้องเลือกระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ให้เหมาะสมกับวัตถุตัวอย่างแต่ละชิ้น โดยสังเกตจากรูปแบบโปรไฟล์ที่แสดงบนหน้าจอโปรแกรมแสดงรูปแบบข้อมูลโปรไฟล์เพื่อให้ได้รายละเอียดของวัตถุตัวอย่างมากที่สุด วางวัตถุที่ใช้ทดสอบบนระบบหมุนตัวอย่าง จัดแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ให้ได้ระยะลำรังสีตรงกับตำแหน่งวัตถุ สำหรับการทดสอบนี้ได้จัดให้อุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอสอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ 70 เซนติเมตร

วัตถุตัวอย่างที่นำมาทดสอบการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีเป็นวัสดุที่ทำด้วยท่ออลูมิเนียมซึ่งภายในบรรจุแท่งอลูมิเนียมที่มีรูปร่างแตกต่างกัน โดยในการสแกนเก็บข้อมูลจะใช้โหมดการสแกนเป็นแบบเกรย์สเกล ความละเอียด 180 dpi ซึ่งรายละเอียดของการทดสอบแต่ละวัตถุตัวอย่างเป็นดังนี้

### 4.3.1 การทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีกับวัตถุที่ออกแบบขึ้น

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 1

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>• 620 เรย์ซึ่ม/โปรเจคชัน</li> <li>• หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>• มุมการหมุนต่อสแต๊ป 0.438 องศา</li> <li>• 822 โปรเจคชัน/รอบการหมุน</li> <li>• เฉลี่ยข้อมูลโปรเจคชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p><b>ภาพถ่ายวัตถุตัวอย่าง</b></p>
<p><u>รายละเอียดของวัตถุตัวอย่าง</u></p> <p>เป็นท่ออลูมิเนียมภายในบรรจุด้วยแท่งอลูมิเนียมกลมตัน 3 ขนาด ๆ ละ 3 แท่ง จัดวางเรียงเป็นแถวดังรูป</p>	 <p><b>รายละเอียด</b></p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>สามารถแสดงลักษณะของวัตถุที่อยู่ในท่ออลูมิเนียมได้ชัดเจน แต่ผลของ Ring Artifact ทำให้รายละเอียดภาพของแท่งอลูมิเนียมที่อยู่บริเวณใจกลางของท่ออลูมิเนียมมีรูปร่างผิดไป</p>	 <p><b>ภาพโทโมกราฟี</b></p>

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 2

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>• 620 เรย์ซึ่ม/โปรเจคชัน</li> <li>• หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>• มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>• 822 โปรเจคชัน/รอบการหมุน</li> <li>• เฉลี่ยข้อมูลโปรเจคชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p><b>ภาพถ่ายวัตถุตัวอย่าง</b></p>
<p><u>รายละเอียดของวัตถุตัวอย่าง</u></p> <p>เป็นแท่งอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมตัน 6 แท่ง วางกระจายทั่วไปภายในท่ออลูมิเนียมโดยมีบางแท่งวางติดกับผิวภายในของท่ออลูมิเนียม</p>	 <p><b>รายละเอียด</b></p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>ภาพที่ได้สามารถมองเห็นรายละเอียดในบริเวณที่มีแท่งอลูมิเนียมวางอยู่ติดกับผิวในของท่อได้ดีและยังสามารถมองเห็นรูปร่างที่เป็นเหลี่ยมของแท่งอลูมิเนียมที่อยู่ภายในได้ด้วย</p>	 <p><b>ภาพโทโมกราฟี</b></p>



ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 3

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>• 620 เรย์ซึ่ม/โปรเจคชัน</li> <li>• หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>• มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>• 822 โปรเจคชัน/รอบการหมุน</li> <li>• เฉลี่ยข้อมูลโปรเจคชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p><u>ภาพถ่ายวัตถุตัวอย่าง</u></p>
<p><u>รายละเอียดของวัตถุตัวอย่าง</u></p> <p>เป็นแท่งอลูมิเนียมกลม เส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน 4 แท่ง วางเรียงอยู่ภายในท่ออลูมิเนียมหนา 3 มม. โดยมีแท่งอลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 มม. วางอยู่ชิดกับแท่งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มม. เพื่อให้ดูความสามารถในการแสดงรายละเอียดของภาพ</p>	 <p><u>รายละเอียด</u></p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>ภาพที่ได้สามารถแจกแจงรายละเอียดภาพตัดขวางของวัตถุตัวอย่างได้ดี ซึ่งดูได้จากภาพแสดงแท่งอลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. ที่วางอยู่ติดกับแท่งอลูมิเนียมที่มีขนาดใหญ่กว่า ก็ยังสามารถมองเห็นเป็นรูปร่างได้ชัดเจนได้</p>	 <p><u>ภาพโทโมกราฟี</u></p>



ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดการทดสอบวัสดุตัวอย่างที่ 4

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>● 550 เรย์ซัม/โปรเจคชัน</li> <li>● หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>● มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>● 822 โปรเจคชัน/รอบการหมุน</li> <li>● เฉลี่ยข้อมูลโปรเจคชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p><b>ภาพถ่ายวัสดุตัวอย่าง</b></p>
<p><u>รายละเอียดของวัสดุตัวอย่าง</u></p> <p>เป็นฉากอลูมิเนียมเขียวขาวเท่ากัน 2 แห่ง ขนาดเท่ากันวางอยู่ภายในท่ออลูมิเนียมหนา 3 มม. โดยฉากอลูมิเนียมที่บรรจุอยู่ในท่อของวัสดุตัวอย่างนี้ จัดวางอยู่กลางท่อเป็นรูปตัว X</p>	 <p><b>รายละเอียด</b></p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>ภาพที่ได้มีความเปรียบต่างค่อนข้างสูง และแสดงรายละเอียดภายในได้ดีมาก ภาพภายในท่อบางบริเวณที่เป็นอากาศยังมีความไม่สม่ำเสมอของความเข้มอยู่แต่ก็ไม่มากนัก</p>	 <p><b>ภาพโทโมกราฟี</b></p>

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 5

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>● 550 เรย์ซัม/โปรเจคชัน</li> <li>● หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>● มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>● 822 โปรเจคชัน/รอบการหมุน</li> <li>● เฉลี่ยข้อมูลโปรเจคชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p><b>ภาพถ่ายวัตถุตัวอย่าง</b></p>
<p><u>รายละเอียดของวัตถุตัวอย่าง</u></p> <p>เป็นท่ออลูมิเนียมกอลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มม. หนา 1 มม. และแท่งอลูมิเนียมตันเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มม. วางอยู่ภายในท่ออลูมิเนียมหนา 3 มม. ดังรูป</p>	 <p><b>รายละเอียด</b></p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>ภาพที่ได้มีรายละเอียดดี ภาพแสดงท่อกลวงและแท่งอลูมิเนียมตันมีสัดส่วนภาพตรงกับความจริง, ผลของ Ring Artifact มีน้อย ไม่ค่อยรบกวนคุณภาพของภาพโทโมกราฟีมากนัก</p>	 <p><b>ภาพโทโมกราฟี</b></p>

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 6

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>• 550 เรย์ซึ่ม/โปรเจกชัน</li> <li>• หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>• มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>• 822 โปรเจกชัน/รอบการหมุน</li> <li>• เฉลี่ยข้อมูลโปรเจกชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p><b>ภาพถ่ายวัตถุตัวอย่าง</b></p>
<p><u>รายละเอียดของวัตถุตัวอย่าง</u></p> <p>มีท่ออลูมิเนียมและแท่งอลูมิเนียมตันวางซ้อนกันอยู่ในท่ออลูมิเนียมขนาดใหญ่ดังรูป โดยวัตถุตัวอย่างนี้มีจุดประสงค์จะสังเกตถึงความแตกต่างของภาพโทโมกราฟีที่แสดงถึงท่ออลูมิเนียมภายในและภายนอกว่าเป็นอย่างไร</p>	 <p><b>รายละเอียด</b></p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>ภาพที่ได้ค่อนข้างมีความเปรียบเทียบและความคมชัดต่ำ แต่ก็ยังสามารถแสดงรายละเอียดของภาพได้ดี ภาพที่แสดงถึงท่ออลูมิเนียมที่อยู่ภายในและภายนอกซึ่งเป็นส่วนที่มีความหนาเท่ากันมีความเข้มใกล้เคียงกัน</p>	 <p><b>ภาพโทโมกราฟี</b></p>

ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 7

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>● 550 เรย์ซัม/โปรเจกชัน</li> <li>● หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>● มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>● 822 โปรเจกชัน/รอบการหมุน</li> <li>● เฉลี่ยข้อมูลโปรเจกชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p><b>ภาพถ่ายวัตถุตัวอย่าง</b></p>
<p><u>รายละเอียดของวัตถุตัวอย่าง</u></p> <p>เป็นแท่งอลูมิเนียมสีเหลืองมัจจุรัสแท่งเดี่ยววางอยู่กลางท่ออลูมิเนียมตั้งรูป วัตถุตัวอย่างนี้ใช้ประโยชน์ในการทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีที่สร้างขึ้นด้วยวิธี ESF ได้</p>	 <p><b>รายละเอียด</b></p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>จุดกึ่งกลางภาพเกิด Ring Artifact ทำให้เห็นภาพของแท่งสี่เหลี่ยมที่อยู่ภายในท่อเหมือนไม่เป็นเนื้อเดียวกัน</p>	 <p><b>ภาพโทโมกราฟี</b></p>

## ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดการทดสอบวัตถุตัวอย่างที่ 8

### ข้อมูลการทดสอบ

- รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.
- 550 เรย์ซึ่ม/โปรเจคชัน
- หมุน 360 องศา 2 รอบ
- มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา
- 822 โปรเจคชัน/รอบการหมุน
- เฉลี่ยข้อมูลโปรเจคชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ

### รายละเอียดของวัตถุตัวอย่าง

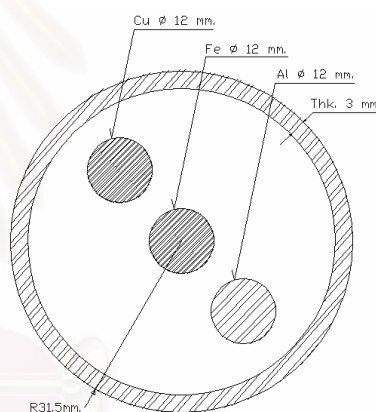
เป็นวัตถุตัวอย่างที่ประกอบไปด้วยวัสดุต่างกัน 3 ชนิดคือ ทองแดง เหล็ก และอลูมิเนียม เป็นแท่งกลมตันวางเรียงเป็นเส้นตรงอยู่ภายในท่ออลูมิเนียมดังรูป

### รายละเอียดภาพโทโมกราฟี

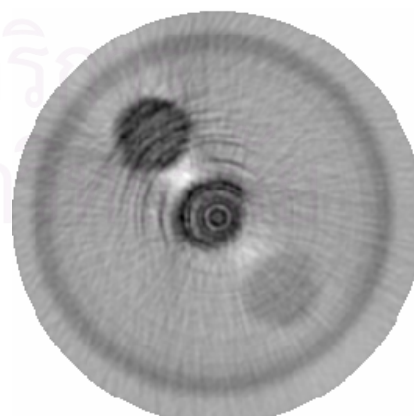
เนื่องจากวัตถุตัวอย่างนี้มีความแตกต่างของความหนาแน่นของวัสดุมาก ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดต่ำ, พลังงานของรังสีเอกซ์ไม่เพียงพอที่จะทะลุผ่านทองแดงและเหล็กในขณะที่หมุนมาอยู่ในแนวรังสีเอกซ์ตรงกันทำให้ภาพของแท่งเหล็กตรงกลางไม่สมบูรณ์, ภาพที่ได้สามารถแยกความแตกต่างของอลูมิเนียมกับทองแดงและเหล็กได้ แต่ระหว่างทองแดงกับเหล็กไม่สามารถบอกความแตกต่างได้เนื่องจากความหนาแน่นของทองแดงและเหล็กมีค่าไม่ต่างกันมาก, ภาพที่ได้มี Ring Artifact รอบวงค่อนข้างมาก



**ภาพถ่ายวัตถุตัวอย่าง**



**รายละเอียด**



**ภาพโทโมกราฟี**



#### 4.3.2 การทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีกับวัตถุทางอุตสาหกรรมบางชนิด

ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดการทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีกับลูกสูบรถจักรยานยนต์



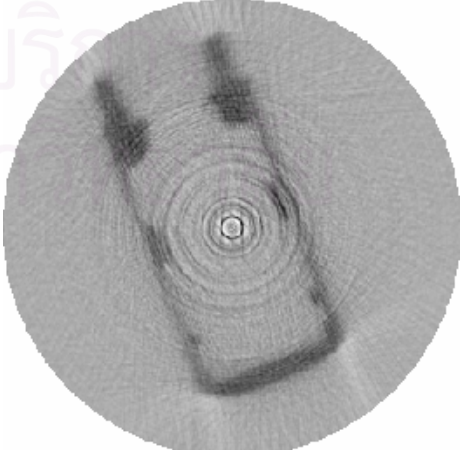
<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>● 530 เรย์ซึ่ม/โปรเจกชัน</li> <li>● หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>● มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>● 822 โปรเจกชัน/รอบการหมุน</li> <li>● เฉลี่ยข้อมูลโปรเจกชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p>ภาพถ่ายลูกสูบรถจักรยานยนต์</p>
<p><u>รายละเอียดของลูกสูบรถจักรยานยนต์</u></p> <p>มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีรูตรงกลาง วัตถุและโค้งเว้าต่าง ๆ ดังรูป เนื้อวัสดุทำจากโลหะชนิดเดียวกัน</p>	 <p>ตำแหน่งอ่านข้อมูลโปรไฟล์</p> <p>ตำแหน่งในการเก็บภาพ</p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>ภาพที่ได้มี Ring Artifact รอบวง เมื่อนำภาพโทโมกราฟีที่ได้ไปเปรียบเทียบกับของจริงพบว่าสามารถแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ในตำแหน่งที่เก็บภาพได้ครบถ้วน</p>	 <p>ภาพโทโมกราฟี</p>



ตารางที่ 4.10 แสดงรายละเอียดการทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีกับไส้กรองน้ำมันเครื่อง

<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>• 620 เรย์ซึ่ม/โปรเจคชัน</li> <li>• หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>• มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>• 822 โปรเจคชัน/รอบการหมุน</li> <li>• เฉลี่ยข้อมูลโปรเจคชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p>ภาพถ่ายไส้กรองน้ำมันเครื่อง</p>
<p><u>รายละเอียดของไส้กรองน้ำมันเครื่อง</u></p> <p>เป็นไส้กรองน้ำมันเครื่องที่ใช้สำหรับรถยนต์ยี่ห้อ Toyota เครื่อง 16 วาล์ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6.5 ซม. ภายในมีกระดาษกรองล้อมรอบแกนเหล็ก</p>	 <p>รายละเอียดภายในไส้กรองน้ำมันเครื่อง</p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>ภาพที่ได้สามารถแสดงรายละเอียดสิ่งที่อยู่ภายในไส้กรองน้ำมันเครื่องเฉพาะวัสดุที่เป็นโลหะเท่านั้น โดยส่วนที่เป็นกระดาษกรองที่ขุดอยู่ภายในไม่สามารถเห็นได้เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นต่ำ</p>	 <p>ภาพโทโมกราฟี</p>

ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดการทดสอบการสร้างภาพโทโมกราฟีกับฝาคอบวาล์วควบคุม

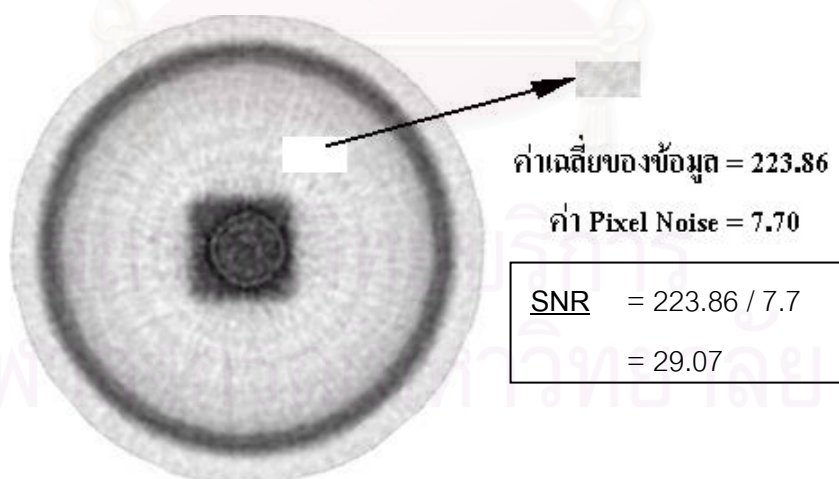
<p><u>ข้อมูลการทดสอบ</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• รังสีเอกซ์ 160 kV. 7 mA.</li> <li>• 620 เรย์ซึ่ม/โปรเจคชัน</li> <li>• หมุน 360 องศา 2 รอบ</li> <li>• มุมการหมุนต่อสแต็ป 0.438 องศา</li> <li>• 822 โปรเจคชัน/รอบการหมุน</li> <li>• เฉลี่ยข้อมูลโปรเจคชันจากการหมุน 2 รอบ ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพ</li> </ul>	 <p><u>ภาพถ่ายฝาคอบวาล์วควบคุม</u></p>
<p><u>รายละเอียดของฝาคอบวาล์วควบคุม</u></p> <p>เป็นโลหะหล่อเนื้อเดียวกัน รูปทรงสี่เหลี่ยม ขนาด กว้าง x ยาว x สูง ประมาณ 5.0 x 2.8 x 3.2 ซม.</p>	 <p>ตำแหน่งอ่านข้อมูลโปรไฟล์</p> <p><u>ตำแหน่งในการเก็บภาพ</u></p>
<p><u>รายละเอียดภาพโทโมกราฟี</u></p> <p>ภาพที่ได้มี Ring Artifact อยู่มาก แต่สามารถแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ได้ค่อนข้างชัดเจน</p>	 <p><u>ภาพโทโมกราฟี</u></p>

#### 4.4 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี

การสร้างภาพโทโมกราฟีมีจุดประสงค์เพื่อสร้างภาพตัดขวางที่สามารถแสดงองค์ประกอบภายในของวัตถุได้โดยไม่ทำลาย ภาพโทโมกราฟีที่ดีจึงหมายถึงภาพที่สามารถแสดงรายละเอียดภายในของวัตถุได้ถูกต้องและชัดเจน การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการบ่งบอกถึงภาพโทโมกราฟีที่ดี การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีในการทดลองนี้จะใช้วัตถุตัวอย่างที่ 3 มาทดสอบ โดยทำการทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟี 3 วิธี ดังนี้

##### 4.4.1 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยการหา Signal to Noise Ratio (SNR)

การหาค่า SNR เป็นการหาค่าสิ่งรบกวนของระบบ สามารถคำนวณได้จากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ CT-number บริเวณหนึ่งของภาพโทโมกราฟีที่มีเนื้อสารชนิดเดียวกัน โดยแสดงอยู่ในรูปของค่า Pixel noise ซึ่งในที่นี้ใช้วัตถุตัวอย่างที่ 7 เป็นตัวอย่างในการทดสอบหาค่า SNR โดยเลือกข้อมูล CT-number จากบริเวณที่เป็นอากาศภายในท่ออลูมิเนียมมาจำนวน 100 จุดภาพ นำมาหาค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่า CT-number ซึ่งก็คือค่า Pixel noise ณ บริเวณที่เลือก จากนั้นจึงนำมาหา SNR



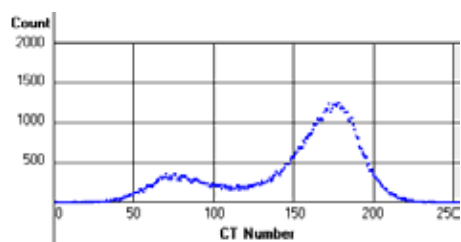
รูปที่ 4.4 แสดงค่า SNR ของวัตถุตัวอย่างที่ 7

#### 4.4.2 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยกราฟ Probability Distribution Function (PDF)

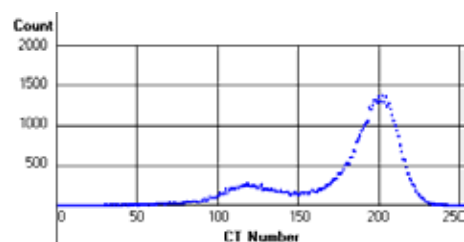
กราฟ PDF เป็นกราฟแจกแจงความถี่ที่ค่า CT-number ต่าง ๆ สามารถบอกค่าความเปรียบต่างของภาพโทโมกราฟี โดยคำนวณได้จากผลต่างของค่าความถี่ที่ CT-number ของวัตถุกับค่าความถี่ที่ CT-number ของ Background และการกระจายตัวของค่า CT-number สามารถหาได้จาก Full Width at Half Wave Maximum (FWHM) ซึ่งค่า FWHM จะสื่อให้เห็นถึงความมัวของภาพโทโมกราฟีได้ ถ้าค่ามากแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวมาก ในทางกลับกัน ถ้าค่า FWHM น้อยแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวน้อยหรือมีคุณภาพที่ดีนั่นเอง ซึ่งได้แสดงกราฟ PDF ของวัตถุตัวอย่างดังรูปที่ 4.5



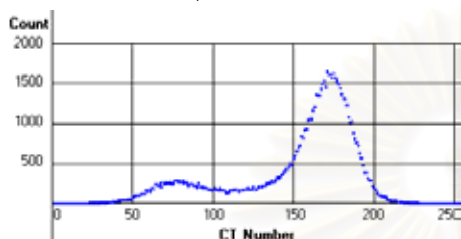
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



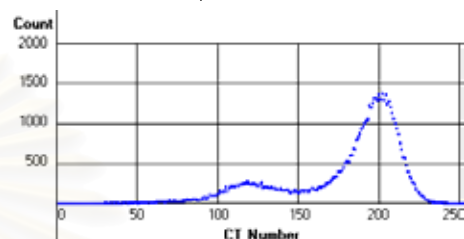
วัตถุตัวอย่างที่ 1



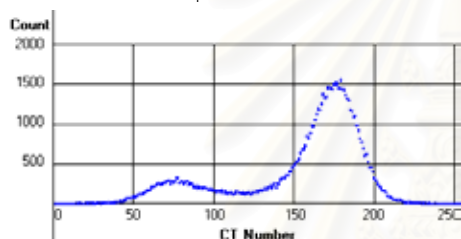
วัตถุตัวอย่างที่ 7



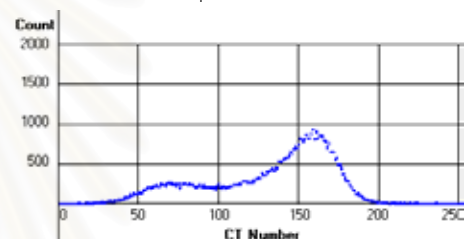
วัตถุตัวอย่างที่ 2



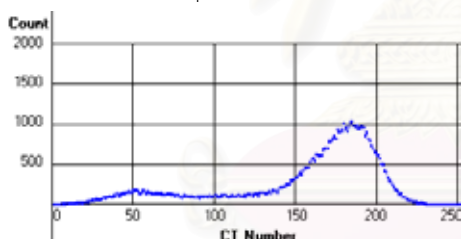
วัตถุตัวอย่างที่ 8



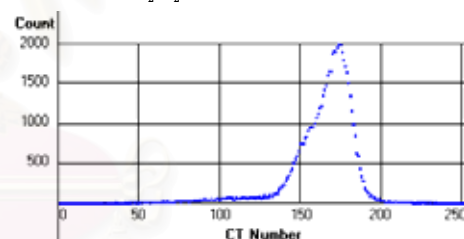
วัตถุตัวอย่างที่ 3



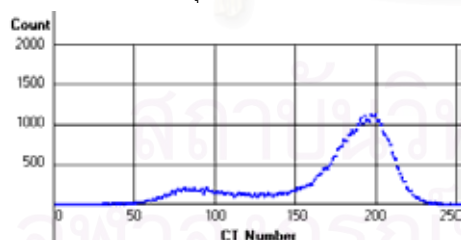
ลูกสุบรอดจิกยานยนต์



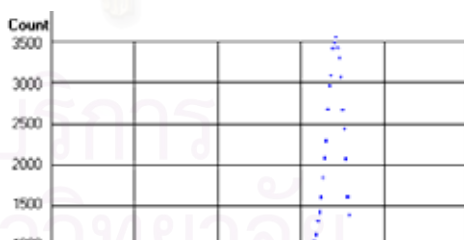
วัตถุตัวอย่างที่ 4



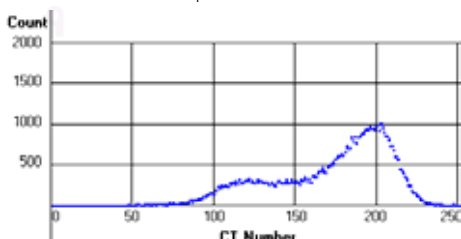
ไม้กระรอน้ำมัน



วัตถุตัวอย่างที่ 5



ฝาคอบจาล์วควบคุม



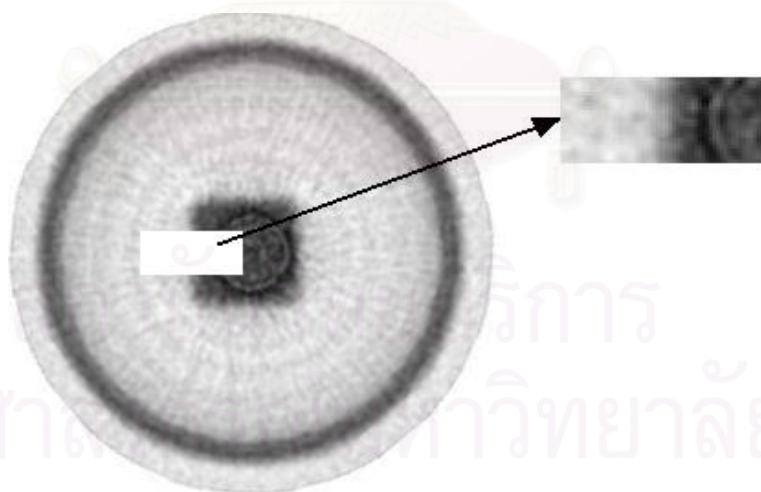
วัตถุตัวอย่างที่ 6

รูปที่ 4.5 แสดงเส้นกราฟ PDF จากภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาจากกราฟ PDF จะเห็นได้ว่าความเบี่ยงต่างของภาพโทโมกราฟีในแต่ละวัตถุตัวอย่างมีค่าไม่เท่ากันและค่าความถี่ของ CT-number ซึ่งในทางทฤษฎีควรจะมีเพียงค่าของความถี่ที่ CT-number ของอากาศกับวัตถุ แต่ในทางปฏิบัติกราฟ PDF ไม่ได้เหมือนในทฤษฎีเนื่องจากกระบวนการต่าง ๆ ในการสร้างภาพโทโมกราฟี ทำให้เกิดความมัวในภาพโทโมกราฟีที่สร้างขึ้น

#### 4.4.3 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยวิธี Edge Spread Function (ESF)

การทดสอบโดยวิธี ESF ใช้เพื่อหาค่าความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของภาพโทโมกราฟีจากระบบที่พัฒนาขึ้น (System Resolution) โดยใช้โปรไฟล์ของข้อมูล CT-number จากตำแหน่งบริเวณขอบของวัตถุตัวอย่างในภาพโทโมกราฟีมาเขียนเป็นกราฟระหว่างค่า CT-number กับเรย์ซั่มต่าง ๆ (บริเวณขอบ) จากนั้นหาจำนวนเรย์ซั่มที่ค่า CT-number เพิ่มขึ้นจาก 25% ไปถึง 75% ซึ่งค่า Resolution มีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนเรย์ซั่มที่เพิ่มขึ้นคูณกับขนาดพิกเซล (ระยะห่างระหว่างจุดสแกน)

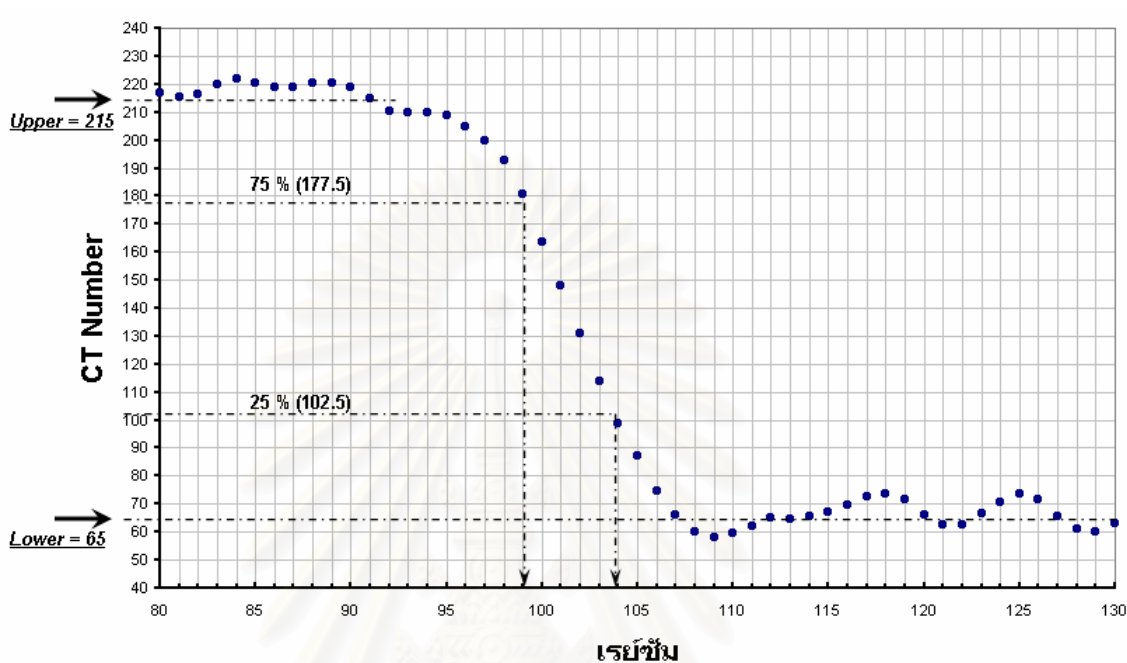


รูปที่ 4.6 แสดงบริเวณขอบของภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 7 ที่นำมาเขียนกราฟ ESF

สำหรับในที่นี้ใช้ภาพที่ขอบของแท่งอลูมิเนียมกับอากาศของวัตถุตัวอย่างที่ 7 ดังรูปที่ 4.6 ในการทดสอบด้วยวิธี ESF ซึ่งในอุดมคติบริเวณที่เป็นรอยต่อของวัตถุการลดลงของกราฟ ESF จะเป็นแบบ Discrete แต่เมื่ออ่านข้อมูลโปรไฟล์ของข้อมูล CT-number บริเวณขอบของวัตถุ



ตัวอย่างจะพบว่าบริเวณรอยต่อดังกล่าวค่า CT-number จะลดลงแบบมีความลาดเอียงดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า CT-number ของภาพวัตถุตัวอย่างที่ 7 เพื่อหา Resolution ด้วยวิธี ESF

จากกราฟในรูปที่ 4.7 นำมาหาค่า Resolution ของระบบด้วยวิธี ESF ซึ่งจำนวนเรย์ซิมที่ค่า CT-number ลดลงจาก 75% ไปถึง 25% เท่ากับ 5 เรย์ซิม เมื่อนำไปคูณกับขนาดของพิกเซลซึ่งสำหรับระบบนี้ขนาดของแต่ละพิกเซลเท่ากับ 0.141 มม. ดังนั้นค่า Resolution ของระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ได้พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.705 มม.

#### 4.5 การปรับปรุงคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีต่าง ๆ

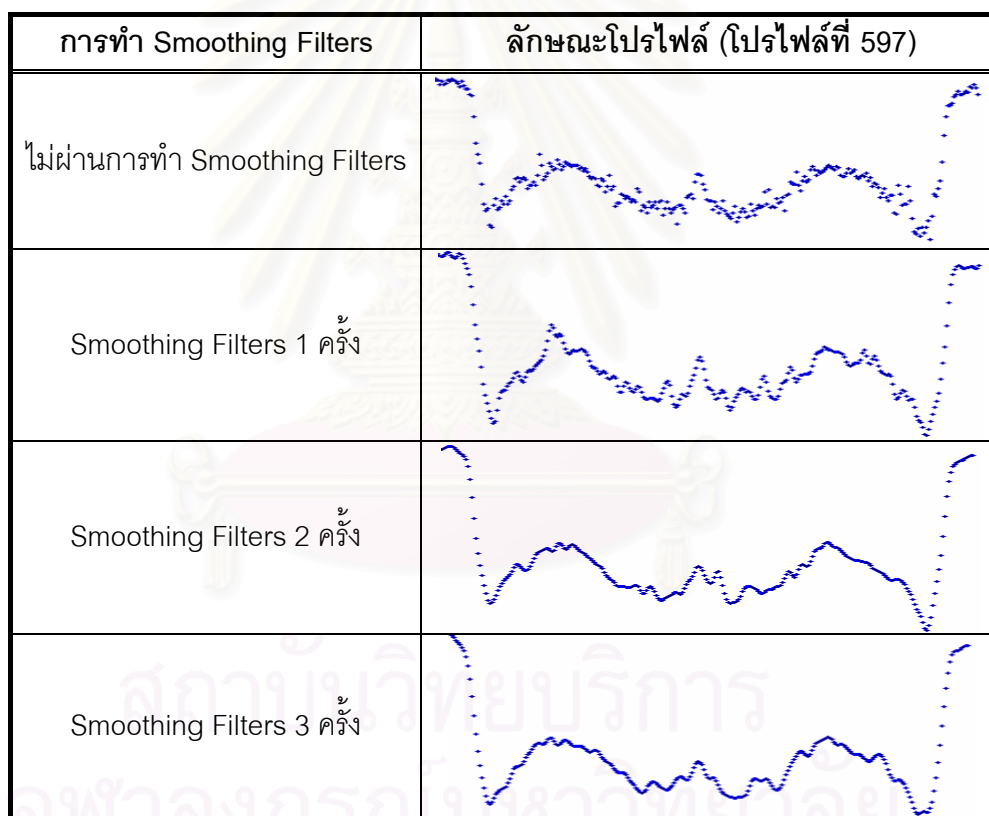
##### 4.5.1 การปรับปรุงคุณภาพของภาพโทโมกราฟีโดยผ่าน Smoothing Filters ข้อมูลโปรไฟล์ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

การทำ Smoothing Filters ข้อมูลโปรไฟล์ ช่วยในการลดผลจากสิ่งรบกวน (Noise) และทำให้ข้อมูลโปรไฟล์เรียบขึ้น โดยการคำนวณข้อมูลโปรไฟล์ใหม่จากข้อมูลโปรไฟล์เดิมด้วยสมการที่ 4.1

$$X'_n = \left( \frac{X_n + 4X_{n+1} + 6X_{n+2} + 4X_{n+3} + X_{n+4}}{16} \right) \quad \dots(4.1)$$

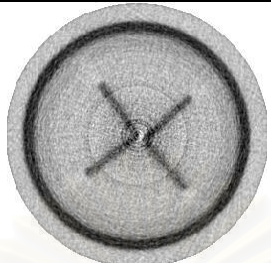
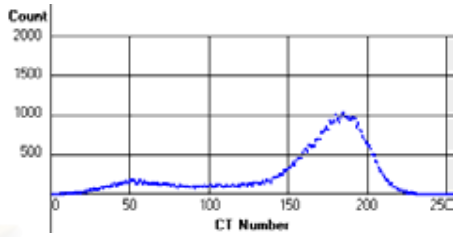

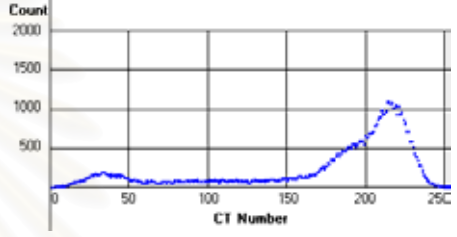

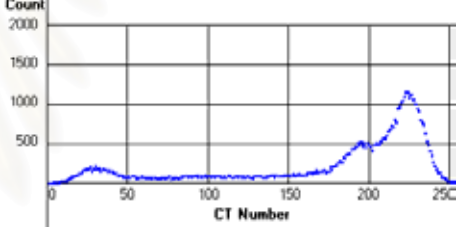

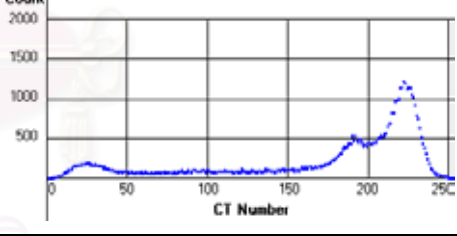
เมื่อ  $X$  = ข้อมูลเรย์ซั่มจากโปรไฟล์เดิม  
 $X'$  = ข้อมูลเรย์ซั่มของโปรไฟล์ที่ผ่าน Smoothing Filters แล้ว  
 $n$  = ตำแหน่งของข้อมูลเรย์ซั่ม

ในที่นี้ใช้ข้อมูลโปรไฟล์ของวัตถุตัวอย่างที่ 3 มาผ่านการทำ Smoothing Filters ซึ่งโปรไฟล์ที่ผ่าน Smoothing Filters จะมีลักษณะเรียบขึ้นดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะข้อมูลโปรไฟล์ที่ผ่านการทำ Smoothing Filters ของวัตถุตัวอย่างที่ 3

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าเมื่อข้อมูลโปรไฟล์ผ่านการทำ Smoothing Filters มากขึ้น ลักษณะโปรไฟล์จะเรียบมากขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อนำโปรไฟล์เหล่านี้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี จะได้ภาพโทโมกราฟีและกราฟ PDF ดังรูปที่ 4.9

การทำ Smoothing Filters	ภาพโทโมกราฟี	กราฟ PDF
ไม่ผ่านการทำ Smoothing Filters		
Smoothing Filters 1 ครั้ง		
Smoothing Filters 2 ครั้ง		
Smoothing Filters 3 ครั้ง		

รูปที่ 4.9 แสดงภาพโทโมกราฟีและกราฟ PDF ของวัตถุตัวอย่างที่ 3 จากโปรไฟล์ที่ผ่านการทำ Smoothing Filters

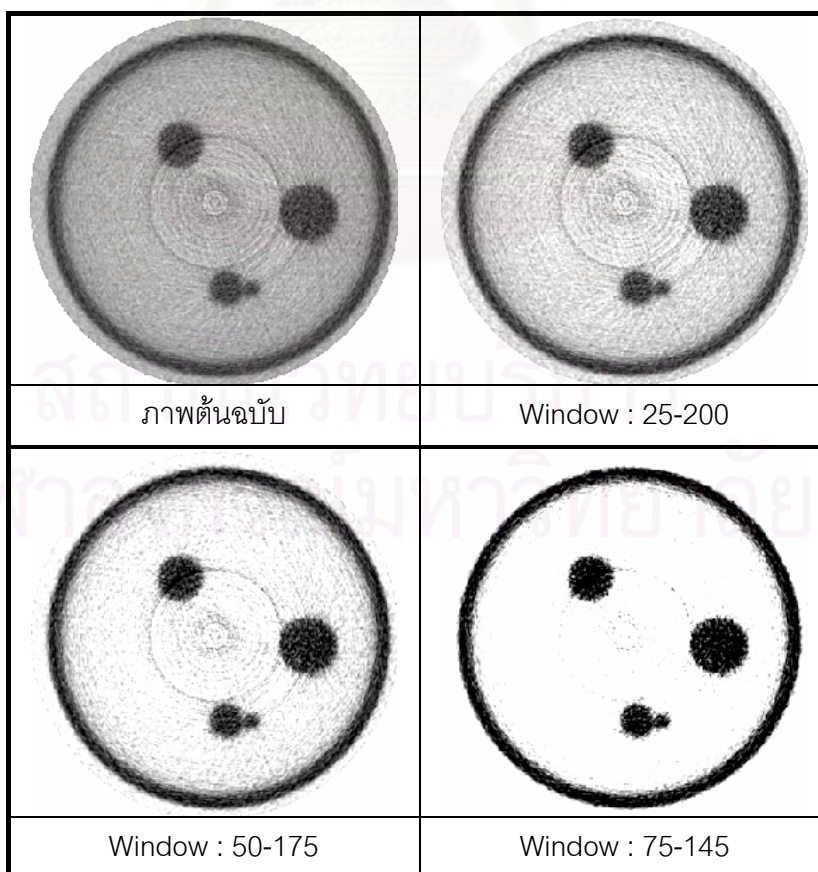
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าภาพโทโมกราฟีจากโปรไฟล์ที่ผ่านการทำ Smoothing Filters หลายครั้งไม่ได้ทำให้คุณภาพของภาพโทโมกราฟีดีขึ้นตลอด สังเกตได้จากกราฟ PDF ที่แสดงถึงความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดและความมัวของภาพ ซึ่งภาพที่ผ่านการทำ Smoothing Filters ครั้งแรกมีความเปรียบต่างสูงขึ้นพอสมควร แต่เมื่อผ่านการทำ Smoothing Filters ครั้งที่สองและสาม ภาพที่ได้ไม่ค่อยเห็นความเปลี่ยนแปลงและกราฟ PDF ก็แสดงถึงข้อมูลความถี่ของค่า CT number ออกเป็น 3 กลุ่ม ซึ่งผิดจากความเป็นจริง

#### 4.5.2 การปรับปรุงคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยวิธีทาง Image Processing

การปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการทาง Image Processing ที่กล่าวถึงในหัวข้อนี้ เป็นการปรับปรุงโดยเข้าไปจัดการกับภาพโทโมกราฟีโดยตรง เพื่อให้ภาพที่ได้สามารถแสดงรายละเอียดต่าง ๆ ที่ต้องการได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งเทคนิคทาง Image Processing มีหลากหลายวิธีและแต่ละวิธีจะเหมาะสมกับงานต่างกัน โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเทคนิคบางอย่างเท่านั้น ดังนี้

##### 4.5.2.1 Windowing

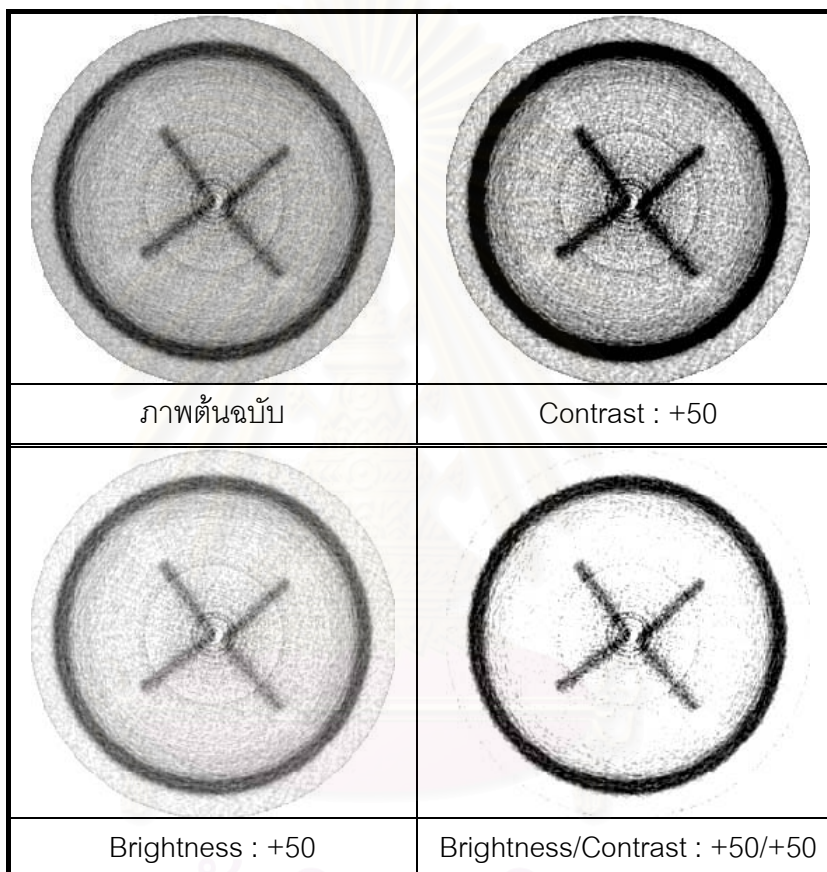
ใช้สำหรับปรับการกระจายตัวของพิกเซล เพื่อให้ภาพโดยรวมมีคุณภาพดีขึ้น คือมีความมืด-สว่างของแต่ละบริเวณที่เหมาะสม มองเห็นรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ มากและชัดเจนขึ้น การปรับ Window จะต้องกำหนดช่วงของระดับสีเทาเพื่อให้ภาพที่ได้ มีการกระจายตัวของระดับสีเทาในช่วงที่กำหนด เช่นในรูปที่ 4.10 ช่วง CT Number ที่ทำ Window 25 - 200 หมายความว่าทุกพิกเซลที่มี CT Number ต่ำกว่า 25 จะถูกกำหนดให้เป็น 0 ส่วนระดับสีเทาที่มากกว่า 200 จะถูกกำหนดให้เป็น 255 ซึ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มความต่างระหว่างส่วนมืดกับสว่างของภาพนั่นเอง



รูปที่ 4.10 แสดงภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 3 หลังจากทำ Window ช่วงต่าง ๆ

#### 4.5.2.2 Brightness/Contrast

เป็นการปรับความสว่างและความเปรียบต่างโดยรวมของภาพ โดยจะส่งผลกระทบต่อทุกพิกเซลเท่า ๆ กัน ดังนั้นจึงอาจไม่เหมาะสมสำหรับงานคุณภาพสูงเพราะอาจทำให้สูญเสียรายละเอียดของภาพบางส่วนไป



รูปที่ 4.11 แสดงภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 4 ที่ผ่านการทำ Brightness และ Contrast

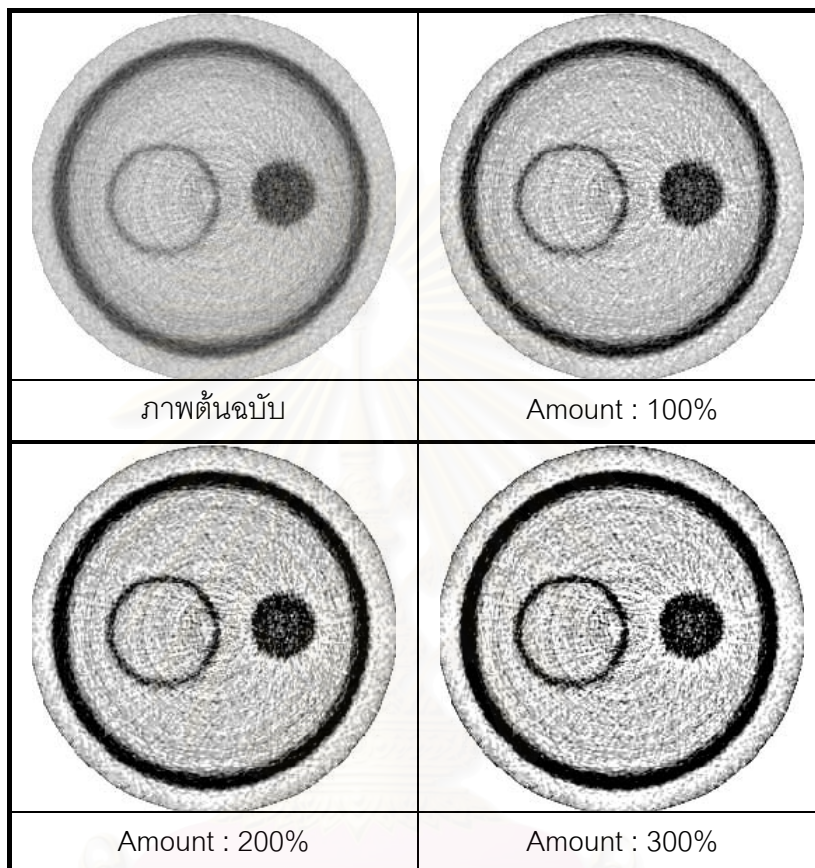
#### 4.5.2.3 Sharpen

เป็นการเพิ่มความคมชัดให้กับภาพโดยจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการปรับความคมชัด ซึ่งประกอบด้วย

- Amount กำหนดระดับขนาดความคมชัดที่ต้องการเพิ่ม
- Radius กำหนดระยะจากแนวขอบของระดับสีเทาที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นส่วนที่จะได้รับผลจากการปรับ



- Threshold กำหนดความแตกต่างของระดับสีเทาที่จะให้ถือว่าเป็นแนวขอบที่ต้องถูกปรับ



Radius : 10  
Threshold : 10

รูปที่ 4.12 แสดงภาพโทโมกราฟีของวัตถุตัวอย่างที่ 5 ที่ผ่านการปรับความคมชัด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้ อุปกรณ์ตรวจรับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถวที่ได้พัฒนาขึ้น และจากผลการทดสอบการทำงานต่างๆ ของระบบ ทำให้สามารถสรุปลักษณะต่าง ๆ และขีดความสามารถของระบบได้ดังนี้

5.1.1 การทำงานของระบบสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

5.1.1.1 ส่วนการรับข้อมูล เป็นการรับข้อมูลความเข้มแสง ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนรังสีเอกซ์ซึ่งผ่านวัตถุตัวอย่างมากระทบกับแผ่นเรืองรังสีเพื่อเปลี่ยนเป็นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่อุปกรณ์ซีไอเอสสามารถตรวจรับได้

5.1.1.2 ส่วนขับเคลื่อนวัตถุตัวอย่าง เป็นการหมุนวัตถุตัวอย่างที่ต้องการสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้สเต็ปมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนและควบคุมจังหวะการหมุนโดยสัญญาณที่ส่งมาจากแผงวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ซึ่งสัญญาณควบคุมดังกล่าวจะทำงานตรงกับจังหวะการรับภาพของอุปกรณ์ซีไอเอสในแต่ละแถว

5.1.1.3 ส่วนประมวลผลข้อมูล เป็นการรับข้อมูลภาพที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจรับภาพ ซีไอเอสเข้าสู่ไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้มาตรฐานโปรแกรม TWAIN เป็นตัวกลางในการติดต่อ แล้วใช้โปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบในการนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

### 5.1.2 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบเก็บข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของระบบเก็บข้อมูล

ขนาดของระบบเก็บข้อมูล	กว้าง x ยาว x สูง : 25 x 40 x 40 เซนติเมตร
น้ำหนักของระบบเก็บข้อมูล (ไม่รวมเครื่องเอกซ์เรย์และไมโครคอมพิวเตอร์)	6 กก.
ความกว้างสูงสุดของวัตถุที่สามารถใช้กับระบบเก็บข้อมูลได้	215 มิลลิเมตร
เวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	20 มิลลิวินาที / โปรไฟล์
มุมที่ใช้ในการหมุนวัตถุตัวอย่าง	0.438 องศา / สเต็ป
ความละเอียดของการเก็บข้อมูล	180 จุดภาพ / นิ้ว
ไมโครคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ได้	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีระบบ Plug &amp; Play (แนะนำ Pentium ขึ้นไป)</li> <li>- หน่วยความจำสำรองไม่น้อยกว่า 64 MB.</li> <li>- ฮาร์ดดิสก์มีเนื้อที่ว่างมากกว่า 15 MB.</li> </ul>

### 5.1.3 โปรแกรมสนับสนุนการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม Visual Basic 6.0 มีหน้าที่ดังนี้

5.1.3.1 เป็นหน้าต่างในการติดต่อระหว่างผู้ใช้กับระบบเก็บข้อมูลเพื่อเลือกโหมดการสแกนให้เหมาะสมกับความต้องการ

5.1.3.2 เปลี่ยนข้อมูลภาพให้เป็นข้อมูลโปรไฟล์ซึ่งอยู่ในรูปข้อมูลเชิงเลข

5.1.3.3 ปรับแก้ค่าข้อมูลโปรไฟล์ก่อนนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

5.1.3.4 แสดงกราฟของข้อมูลแต่ละโปรไฟล์

5.1.3.5 คำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีพร้อมแสดงภาพโทโมกราฟีและกราฟ PDF. ที่ได้บนจอมอนิเตอร์

5.1.4 จากการทดลองปรับปรุงข้อมูลโปรไฟล์ด้วยการทำ Smoothing ในจำนวนครั้งที่เหมาะสมกับแต่ละภาพโทโมกราฟี พบว่าข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้มีการกระจายลดลงซึ่งทำให้ได้ภาพโทโมกราฟีที่สร้างขึ้นมีคุณภาพดีขึ้น

5.1.5 จากการทดสอบพบว่าระบบเก็บข้อมูลที่พัฒนาขึ้นมีค่า Resolution ของอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอส ประมาณ 0.494 มิลลิเมตร และภาพโทโมกราฟีที่ได้มีค่า Resolution ประมาณ 0.705 มิลลิเมตร

## 5.2 วิจารณ์ผลจากการวิจัย

5.2.1 เนื่องจากเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้เป็นชนิดที่มีแหล่งจ่ายไฟแบบ Full-Wave Rectification ซึ่งมีปริมาณของรังสีเอกซ์ที่ปลดปล่อยออกมาที่เวลาต่าง ๆ มีค่าไม่คงที่ ทำให้ภาพข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้มีลักษณะไม่สม่ำเสมอคือมีแถบมืดสลับกับแถบสว่างอยู่ตลอดทั้งข้อมูล แต่เมื่อมีการปรับปรุงข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ก่อนนำไปสร้างภาพโทโมกราฟี ทำให้ได้ภาพโทโมกราฟีที่มีความสามารถแยกแยะรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดีพอสมควร

5.2.2 ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ใช้หลักการ Array Detector ทำให้ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลค่อนข้างน้อย สะดวกต่อการใช้งาน แต่จากการที่ระบบขับเคลื่อนวัตถุตัวอย่างมีการหมุนวัตถุตัวอย่างไปในมุมแต่ละสเต็ปเร็วมาก ทำให้ซีไอเอสมีการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ในขณะที่สเต็ปมอเตอร์ขับเคลื่อนวัตถุตัวอย่างยังไม่หยุดนิ่ง (ยังมีการแกว่งอยู่) ซึ่งเป็นสาเหตุให้ภาพโทโมกราฟีที่ได้ไม่คมชัดเท่าที่ควร

5.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการเก็บข้อมูลมีขนาดเล็ก, น้ำหนักเบาและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก นอกจากนี้อุปกรณ์ทั้งหมดเป็นอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปซึ่งมีราคาถูก

5.2.4 ภาพข้อมูลโปรไฟล์ที่สแกนได้จากระบบมีสัญญาณรบกวนอันเป็นผลมาจากการที่รังสีเอกซ์ทำอันตรกิริยากับซีไอเอสโดยตรง จึงทำให้ภาพข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้ปรากฏลักษณะของสัญญาณรบกวนปรากฏเป็นจุดขาว-ดำ (Salt and Pepper Noises) บนภาพ สังเกตได้จากระดับสีเทาของภาพในจุดที่มีค่าสูง-ต่ำผิดปกติ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิด Ring artifact

5.2.5 โปรแกรมที่ใช้ในระบบนี้ได้รับการรวมการทำงานตั้งแต่การเก็บข้อมูลโปรไฟล์จนถึงการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีพร้อมด้วย กราฟ PDF ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยระบบที่ได้พัฒนาขึ้นซึ่งยังมีข้อจำกัดของการใช้งานอยู่บ้าง ทั้งนี้ ถ้าจะปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถใช้งานได้ดียิ่งขึ้นควรมีการปรับปรุงระบบ ดังนี้

5.3.1 การนำเครื่องสแกนเนอร์ชนิดที่ใช้ซีไอเอสเป็นอุปกรณ์รับภาพที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องการควบคุมทำงานของอุปกรณ์ตรวจรับภาพซีไอเอส ทำให้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานของสแกนเนอร์ให้เหมาะสมกับงานวิจัยได้ทั้งหมด ซึ่งถ้าเราซื้อเฉพาะซีไอเอสและไอซีที่ต้องใช้ในการควบคุมมาประยุกต์ให้เหมาะสมกับระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ เราจะสามารถควบคุมจังหวะการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ให้ซิงโครไนส์ (Synchronize) กับความเข้มของรังสีเอกซ์ ณ ตำแหน่งพีคของรังสีเอกซ์ที่ใช้แหล่งจ่ายไฟแบบที่ไม่ใช่ Constant voltage และให้มีการเก็บข้อมูลหลาย ๆ โปรไฟล์ ณ สเต็ปเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้มีคุณภาพดี สามารถกำจัดความไม่สม่ำเสมอของข้อมูลโปรไฟล์ได้

5.3.2 เนื่องจากภายในซีไอเอสมีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องใช้ประกอบการทำงาน จึงควรหาวิธีในการลดปริมาณรังสีที่จะฉายโดนอุปกรณ์เหล่านั้นโดยไม่ไปบดบังการรับแสงของซีไอเอส

5.3.3 ควรมีการเพิ่มขีดความสามารถของระบบเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการตรวจสอบโดยไม่ทำลายได้ในบางกรณี โดยการพัฒนาระบบการขับเคลื่อนจากการขับเคลื่อนวัตถุตัวอย่างให้สามารถขับเคลื่อนต้นกำเนิดรังสีและอุปกรณ์รับภาพได้ด้วย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- นิเวศ ศรีคุณ การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากภาพถ่ายรังสีบนฟิล์มสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539
- ประสิทธิ์ สิริทิพย์รัศมี การพัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรทัศน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544
- สุเมธ ทิพย์ไกรสร การพัฒนาระบบสแกนอ่านค่าความดำรายละเอียดสูงสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- สุวิทย์ ปุณณชัยยะ เอกสารการสอนวิชา 2111606 การตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์. ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (ม.ป.ป)

### ภาษาอังกฤษ

- Applied Scintillation Technologies. Phosphors, Technical summary & Usage . Available from : <http://www.apace-science.com/ast/phosphor.htm>, 2004.
- ASTM. Metal Test Method and Analytical procedure (E 1441-97). Volume 03.03. 1998 Annual Book of ASTM Standard section 3. Easton, MD, USA, 1998.
- Avinash C Kak. Principles of Computerized Tomographic Imaging . Electronic Copy Edition. IEEE PRESS, USA, 1999.
- David C. Kay, John R. Levine. Graphics File Formats. USA : Windcrest Books/McGraw-Hill, 1992.
- Patrick O.Moore. Nondestructive testing HANDBOOK. 3rd.ed. Volume 4 Radiographic Testing. American Society for Nondestructive Testing, USA
- Steven, W.S. Visual Basic Graphics Programming : Hand-on Application and Advanced Color Development. 2nd.ed. New York : Wiley Computer Publishing, 1999.
- Thomas S. Curry III et. Christiensen's Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology. 3rd.ed. Philadelphia : Lea & Febiger, 1984.

TWAIN Working Group Committee. TWAIN Specification Version 1.9. Available from :  
<http://www.twain.org/download.htm>, 2000.

Willi A. Kalender. Computerized Tomography. Munich : Publics MCD Webeagentur,  
2000.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกรียงไกร ธีญธนนุกูล เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2521 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2543 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตที่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปี พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย