

การพัฒนาระบบสแกนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี  
โดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา



นางสาวรัตติยา คุณากร

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

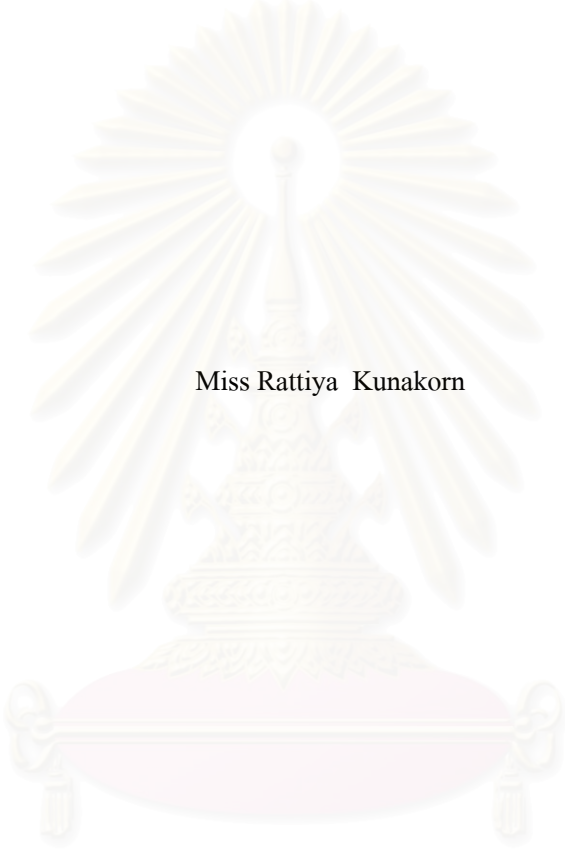
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1468-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A COMPUTED TOMOGRAPHY SCANNING SYSTEM USING  
GAMMA-RAY SCATTERING TECHNIQUE



Miss Rattiya Kunakorn

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 2004

ISBN 974-53-1468-4



นางสาวรัตติยา คุณากร : การพัฒนาระบบสแกนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา (DEVELOPMENT OF A COMPUTED TOMOGRAPHY SCANNING SYSTEM USING GAMMA-RAY SCATTERING TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์, 79 หน้า. ISBN 974-53-1468-4.

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบสแกนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา ซึ่งใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย โดยออกแบบให้ระบบสแกนสามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของรังสีแกมมา แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างภาพตัดขวางของชิ้นงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีแกมมาเอเมริเซียนม-241 ความแรงรังสี 100 มิลลิวูรี่ หัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์(ทลเลียม) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว จัดระบบวัดรังสีโดยมีอุปกรณ์บังคับลำรังสีให้เป็นลำแคบ ขนาดลำรังสี 2 มิลลิเมตร เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวที่ควบคุมการทำงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ โดยการคำนวณสร้างภาพนั้นใช้เทคนิคสร้างภาพแบบคอนโวลูชัน แบคโปรเจกชัน ระบบนี้สามารถใช้กับชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 20 เซนติเมตรและหนักไม่เกิน 2 กิโลกรัม สำหรับขีดความสามารถในการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จากชิ้นงานทดสอบมีขนาด 16 ซม. x 16 ซม. ซึ่งจำนวนโปรไฟล์ที่เพียงพอต่อการคำนวณสร้างภาพนั้นเท่ากับ 50 โปรไฟล์ มุมที่หมุนเปลี่ยนไปที่ละ 7.2 องศา ระยะห่างระหว่างระหว่างเรย์ซัมของการเคลื่อนที่นั้นเท่ากับ 2 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 12 ชั่วโมง ข้อมูลโปรไฟล์ที่เก็บได้จะอยู่ในหน่วยความจำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์อย่างอัตโนมัติ เพื่อนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป

จากการทดสอบด้วยชิ้นงานทดสอบต่างๆพบว่า การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมาให้ภาพที่มีผลตอบสนองต่อชิ้นงานที่เป็นธาตุเบาดีกว่าธาตุหนัก โดยมีค่ารีโซลูชันประมาณ 1 เซนติเมตร

|            |                     |                                     |
|------------|---------------------|-------------------------------------|
| ภาควิชา    | นิวเคลียร์เทคโนโลยี | ลายมือชื่อนิสิต.....                |
| สาขาวิชา   | นิวเคลียร์เทคโนโลยี | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....     |
| ปีการศึกษา | 2547                | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... |

## 4470489221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: SCATTERING CT / COMPUTED TOMOGRAPHY

RATTIYA KUNAKORN : DEVELOPMENT OF A COMPUTED TOMOGRAPHY  
SCANNING SYSTEM USING GAMMA-RAY SCATTERING TECHNIQUE.  
THESIS ADVISOR : ASSOCIATE . PROF . SOMYOT SRISATIT, THESIS CO-  
ADVISOR : ASSIST . PROF . ATTAPORN PATTARASUMUNT, 79 pp.  
ISBN 974-53-1468-4.

The purpose of this research is to develop the scattering technique for computed tomography which would be useful for nondestructive inspection by development of a gamma-ray scattering scanning system for reconstruction of the specimens. This system consists of a 100 mCi Am-241 gamma-ray source. A 2" x 2" NaI(Tl) scintillation detector with 2 mm beam diameter and a single channel analysis (SCA) were used in measuring the scattered photons. The data acquisition system was continuously controlled by a microcomputer via the interface card. In particular the reconstruction uses the convolution filter back projection technique. The maximum dimension and weight of the specimen that could be tested by this system were 20 cm in diameter and 2 kg respectively. The capability of a scanning system can be used for 16 cm x 16 cm specimens. The number of profile needed for an acceptable reconstruction is 50, and the interval of projection angles is 7.2 degree. The interval of ray-sums is 2 mm. When the collection time of each ray-sum is set to 5 sec, the collection time to require for a CT image is about 12 hours. The collected profile data are stored in the microcomputer memory for reconstruction of CT image.

From the test specimens, it was found that the obtained CT images from gamma-ray scattering technique were improved with light element better than heavy element and the resolution was approximately 1 cm.

|                |                    |                             |
|----------------|--------------------|-----------------------------|
| Department     | Nuclear Technology | Student's signature.....    |
| Field of study | Nuclear Technology | Advisor's signature.....    |
| Academic year  | 2004               | Co-advisor's signature..... |

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือของบุคคลหลายฝ่าย ผู้เขียนจึงขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำทั้งทางด้านการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิจัยนี้และการเขียนวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมันต์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดมาทั้งทางด้านการวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว ที่แนะนำแนวทางต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิจัย นอกจากนี้ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ แนวคิด และแนวทางแก้ปัญหา ให้แก่ผู้เขียนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณบัญชา อุณพานิช ที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างมากในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยีทุกท่าน โดยเฉพาะเพื่อนๆ ในชั้นปีทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมา รวมทั้งรุ่นพี่อีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ที่ให้คำแนะนำดีๆ และแนวทางในการทำวิจัย และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยนี้

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ๆ ที่สนับสนุนในทุกๆ ด้าน และเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา จึงขอแสดงความกตัญญูมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
| สารบัญ.....   | ช    |
| สารบัญตาราง.....  | ฌ    |
| สารบัญภาพ.....  | ญ    |
| บทที่   |      |
| 1. บทนำ.....  | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....  | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....  | 2    |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานวิจัย.....   | 2    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....  | 2    |
| 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 3    |
| 2. ทฤษฎี.....   | 4    |
| 2.1 รังสีแกมมา.....   | 4    |
| 2.2 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา.....   | 5    |
| 2.3 เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา.....  | 10   |
| 2.4 หลักการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับเทคนิคการกระเจิงของ<br>คอมป์ตัน.....                     | 11   |
| 2.5 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี.....   | 16   |
| 2.6 คุณภาพของภาพโทโมกราฟี.....  | 22   |
| 3. การพัฒนาระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับเทคนิคการ<br>กระเจิงของรังสีแกมมา.....   | 24   |
| 3.1 การออกแบบระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับ<br>เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา..... | 24   |
| 3.2 ระบบวัดรังสีแกมมาพร้อมชุดกำลังรังสี.....  | 26   |
| 3.3 ระบบขับเคลื่อน.....   | 28   |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 3.4 ระบบวัดนิวเคลียร์.....  | 31   |
| 3.5 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ.....  | 33   |
| 3.6 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์.....  | 38   |
| 3.7 โปรแกรมควบคุมการสแกน.....   | 38   |
| 4. วัสดุ อุปกรณ์และการทดสอบระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี<br>โดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา..... | 46   |
| 4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....  | 46   |
| 4.2 การทดสอบระบบสแกนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้<br>เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา.....               | 47   |
| 4.3 การทดสอบคุณภาพของภาพ CT ด้วยวิธี Edge Spread Function.....  | 64   |
| 4.4 การทดสอบคุณภาพของภาพ CT ด้วยกราฟ PDF.....   | 65   |
| 4.5 การทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานอุตสาหกรรมบางชนิด.....   | 66   |
| 5. สรุป วิเคราะห์ผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....   | 70   |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....   | 70   |
| 5.2 วิเคราะห์ผลการวิจัย.....  | 72   |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ.....   | 72   |
| รายการอ้างอิง.....  | 74   |
| ภาคผนวก .....   | 75   |
| ภาคผนวก ก.....  | 76   |
| ประวัติผู้เขียนผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....   | 79   |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า  |
|----------|---|
| 3.1      | แสดงหมายเลขพอร์ตเมื่อเลือก Base Address ต่างๆ..... 34                 |
| 3.2      | แสดงการจัดพอร์ตต่างๆของแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ..... 35                |
| 4.1      | แสดงรายละเอียดของภาพชิ้นงานก่อนพัฒนาระบบขั้นที่ 1..... 51             |
| 4.2      | แสดงรายละเอียดของภาพชิ้นงานก่อนพัฒนาระบบขั้นที่ 2..... 52             |
| 4.3      | แสดงรายละเอียดของภาพที่ระยะเรย์ซั่มเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร..... 53      |
| 4.4      | แสดงรายละเอียดของภาพที่ระยะเรย์ซั่มเท่ากับ 0.2 เซนติเมตร..... 54      |
| 4.5      | แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อหมุนที่ละ 3.6 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์..... 56  |
| 4.6      | แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อหมุนที่ละ 1.8 องศา จำนวน 100 โปรไฟล์..... 57 |
| 4.7      | แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อหมุนที่ละ 7.2 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์..... 58  |
| 4.8      | แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อหมุนที่ละ 3.6 องศา จำนวน 100 โปรไฟล์..... 59 |
| 4.9      | แสดงรายละเอียดของภาพที่ประกอบด้วยวัตถุ 3 ชิ้น..... 61                 |
| 4.10     | แสดงรายละเอียดของชิ้นงานอุตสาหกรรมขั้นที่ 1..... 67                   |
| 4.11     | แสดงรายละเอียดของชิ้นงานอุตสาหกรรมขั้นที่ 2..... 68                   |
| 4.12     | แสดงรายละเอียดของชิ้นงานอุตสาหกรรมขั้นที่ 3..... 69                   |

## สารบัญภาพ

| รูปที่ |  | หน้า |
|--------|--|------|
| 2.1    | การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์.....   | 5    |
| 2.2    | การเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตัน.....   | 6    |
| 2.3    | ค่า $\sigma_c$ ที่พลังงานของรังสีแกมมาต่างๆ.....   | 7    |
| 2.4    | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาคตัดขวางของ Klein-Nishina ที่กระเจิงเป็นมุม $\theta$ จาก<br>รังสีแกมมาที่แต่ละพลังงาน.....                 | 8    |
| 2.5    | การเกิดเพอร์โฟรคชัน.....   | 9    |
| 2.6    | โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่พลังงานสัมพันธ์กับเลขอะตอมของ<br>ตัวกลาง.....   | 10   |
| 2.7    | วิธีการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีแคบสำหรับเทคนิคการกระเจิงของ<br>คอมป์ตัน.....  | 12   |
| 2.8    | แสดงรูปของการกระเจิงในรูปแบบทั่วไป.....  | 13   |
| 2.9    | แสดงรูปของการกระเจิงแบบคอมป์ตัน.....   | 14   |
| 2.10   | แสดงเรขาคณิตของลำรังสีแกมมาที่เดินทางผ่านตัวกลาง 3 แบบ.....  | 17   |
| 2.11   | แสดงแผนภาพของการสร้างภาพโทโมกราฟี.....   | 19   |
| 2.12   | การเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงของรังสีแกมมาลำแคบตัดผ่านในระนาบของวัตถุที่มี<br>มุม $\phi$ ใดๆ หัววัดจะบันทึกข้อมูลไว้ 1 โปรไฟล์..... | 20   |
| 2.13   | ตัวอย่างการหาค่า PDF.....  | 23   |
| 3.1    | แผนภาพของระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงของรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้าง<br>ภาพ CT.....  | 25   |
| 3.2    | แสดงสเปกตรัมของ Am-241.....  | 26   |
| 3.3    | แสดงสเปกตรัมของ Am-241 ขณะทดลอง.....   | 27   |
| 3.4    | แสดงอุปกรณ์กำบังรังสีและบังค้ำลำรังสี.....   | 27   |
| 3.5    | ภาพถ่ายระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน.....  | 28   |
| 3.6    | วงจรขับสเต็ปมอเตอร์.....   | 29   |
| 3.7    | แสดงวงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น.....  | 30   |
| 3.8    | แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์.....   | 31   |
| 3.9    | แสดงระบบวัดรังสีเฉพาะพลังงาน.....  | 32   |
| 3.10   | แสดงภาพถ่ายของระบบวัดรังสีเฉพาะพลังงาน.....  | 32   |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า  |    |
|--------|---|----|
| 3.11   | แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....   | 33 |
| 3.12   | แสดงลักษณะการใช้งานพอร์ต PCI8255.....   | 33 |
| 3.13   | ความหมายของบิตต่างๆในรหัสควบคุม.....  | 34 |
| 3.14   | แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างชุดขับเคลื่อนชิ้นงาน วงจรตรวจสอบตำแหน่ง<br>เริ่มต้นกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์..... | 36 |
| 3.15   | แสดงลักษณะการกระตุ้นสเต็ปมอเตอร์แบบสองเฟส.....  | 36 |
| 3.16   | แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบวัดนิวเคลียร์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์  | 37 |
| 3.17   | แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา.....  | 37 |
| 3.18   | แผนภาพเวลาของสัญญาณจากอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา.....   | 38 |
| 3.19   | แสดงเมนูหลักทางหน้าจอของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์.....  | 39 |
| 3.20   | แผนผังรายการของเมนูหลักและเมนูย่อยต่างๆของโปรแกรม.....  | 40 |
| 3.21   | แสดงฟังก์ชันเลือกรายการของโปรแกรมบนจอภาพไมโครคอมพิวเตอร์.....   | 41 |
| 3.22   | แสดงฟังก์ชันเพื่อเลือกรูปแบบของการขับเคลื่อน.....   | 41 |
| 3.23   | Flow chart ของฟังก์ชันสแกนหาตำแหน่งของการจัดระบบสแกน.....   | 42 |
| 3.24   | Flow chart ของฟังก์ชันสแกนข้อมูล.....   | 43 |
| 3.25   | แสดงฟังก์ชันการจัดเรียงข้อมูล.....  | 44 |
| 3.26   | Flow chart ของฟังก์ชันการจัดเรียงข้อมูล.....  | 44 |
| 4.1    | แสดงการจัดวางตำแหน่งแบบ Forward Scattering .....  | 47 |
| 4.2    | กราฟแสดงโปรไฟล์ของข้อมูลที่มุม $45^{\circ}$ .....   | 48 |
| 4.3    | แสดงการจัดวางตำแหน่งแบบ Backward Scattering .....   | 49 |
| 4.4    | กราฟแสดงโปรไฟล์ของข้อมูลที่มุม $135^{\circ}$ .....  | 49 |
| 4.5    | แสดงข้อมูลโปรไฟล์จากแท่งโพลิเอทิลีน.....  | 62 |
| 4.6    | แสดงข้อมูลโปรไฟล์จากแท่งอะลูมิเนียม.....  | 62 |
| 4.7    | แสดงข้อมูลโปรไฟล์จากแท่งทองเหลือง.....  | 63 |
| 4.8    | โปรไฟล์ของการทดสอบสำหรับวิธี Edge Spread Function.....  | 64 |
| 4.9    | กราฟ PDF ของภาพโทโมกราฟี.....   | 65 |
| 4.10   | แสดงภาพชิ้นงานทางอุตสาหกรรมบางชนิด.....   | 66 |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการสร้างภาพโทโมกราฟี หรือภาพในลักษณะของภาพตัดขวางสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความบกพร่องโดยไม่ทำลายชิ้นงานได้เป็นอย่างดี จึงเป็นที่ใช้ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง ในด้านกระบวนการสร้างภาพที่ผ่านมาแล้วใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีใช้ในงานตรวจสอบ แต่ก็มีข้อจำกัดเมื่อนำมาตรวจสอบกับชิ้นงานที่เป็นธาตุเบา เพราะรังสีจะทะลุผ่านชิ้นงาน ทำให้ภาพที่ได้มีความเปรียบต่างต่ำไม่เหมาะสมมาใช้ในงานตรวจสอบ ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเอาเทคนิคการกระเจิงคอมป์ตันของรังสีแกมมา มาประยุกต์ใช้ในงานตรวจสอบชิ้นงาน ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อได้เปรียบเมื่อใช้ตรวจสอบชิ้นงานที่เป็นธาตุเบา เพราะใช้การกระเจิงของรังสีมาใช้ในการสร้างภาพแทน ภาพที่ได้จะมีความเปรียบต่างสูงกว่า และสามารถนำเทคนิคนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมได้

ในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งที่จะศึกษาและพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสร้างภาพโทโมกราฟีโดยอาศัยหลักการกระเจิงคอมป์ตันของรังสีแกมมาและประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีจากอุปกรณ์วัดรังสีด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีระบบวัดนิวเคลียร์มาตรฐาน NIM ที่มีอยู่ ผสมกับการออกแบบสร้างเครื่องสแกนสำหรับเก็บข้อมูลวัดรังสีร่วมกับวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ และพัฒนาโปรแกรมในส่วน of ระบบขับเคลื่อนต่อไป

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมาสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 พัฒนาระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมาสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

1.3.2 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

1.3.3 ทดสอบคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีจากชิ้นงานตัวอย่าง

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบและสร้างระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์

1.4.3 ทดสอบและปรับปรุงระบบสแกน

1.4.4 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการเก็บข้อมูลโปรไฟล์

1.4.5 ทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีกับชิ้นงานตัวอย่าง

1.4.6 สรุปผลการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

ได้ระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยใช้วิธีการกระเจิงของรังสีแกมมาสำหรับการสร้างภาพโทโมกราฟี ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.1 สราพรรณ พงษ์ชนะชัย ได้ศึกษาและทำการตรวจสอบสภาพการกัดกร่อนของเหล็กเส้นในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลแกมมาเรย์สแกตเทอริงสเปกโทรสโคปี เพื่อเปรียบเทียบชิ้นงาน 2 ชิ้นว่าเหมือนกันหรือไม่จากดิฟเฟอเรนเชียลสเปกตรัมที่ได้ ระบบที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137 ความแรง 5 มิลลิวูรี ซึ่งวางท่ามุมฉากกับหัววัดรังสีบีสมัทเจอร์มานิต ลำรังสีตกกระทบถูกบังคับให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตร ส่วนหัววัดรังสีถูกกำบังรังสีเฉพาะด้านข้าง เพื่อให้รังสีแกมมากระเจิงจากชิ้นงานสามารถเข้าสู่ด้านหน้าของหัววัดรังสีจากมุมต่าง ๆ กัน ได้ทำการทดสอบเทคนิคนี้กับตัวอย่างเสาคอนกรีตขนาด 20 ซม. x 20 ซม. x 20 ซม. ซึ่งมีเหล็กเส้นอยู่ที่มุมทั้งสี่ ผลการวิจัยพบว่า ผลรวมของดิฟเฟอเรนเชียลสเปกตรัมเปลี่ยนแปลงตามขนาดและตำแหน่งของเหล็กเส้นที่อยู่ใกล้ต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี นอกจากนี้ยังพบว่าผลรวมของดิฟเฟอเรนเชียลสเปกตรัมเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของเหล็กที่สึกกร่อนจากภาวะการสึกกร่อน

1.6.2 สุพร กุลวัฒน์ชัย ได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน เพื่อใช้ตรวจสอบชิ้นส่วนอุตสาหกรรมบางชนิด โดยใช้ อิริเดียม-192 ความแรง 37,000 เมกกะเบคเคอเรล เป็นต้นกำเนิดรังสี การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานตัวอย่าง 3 ชิ้น และชิ้นงานอุตสาหกรรม 1 ชิ้น โดยรังสีแกมมาพลังงาน 317, 468 และ 613 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ผลการทดสอบพบว่าสามารถแสดงภาพโทโมกราฟีทางจอภาพของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ได้อย่างชัดเจน ภาพโทโมกราฟีโดยรังสีพลังงาน 317 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์แสดงความเปรียบต่างได้ดีที่สุด โดยเฉพาะกับวัตถุที่มีค่าความหนาแน่นต่ำ ส่วนค่ารีโซลูชันของภาพโทโมกราฟีทุกพลังงานพบว่ามีความประมาณ 4 มิลลิเมตร

1.6.3 มงคล วรรณประภา ได้ทำการศึกษาและออกแบบสร้างระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ซีเซียม-137 ความแรง 1110 เมกกะเบคเคอเรลเป็นต้นกำเนิดรังสี หาดำแหน่งและขนาดของเหล็กเส้นในเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก การคำนวณสร้างภาพใช้เทคนิคการสร้างภาพแบบคอนโวลูชัน แบคโปรเจกชัน ใช้ตัวอย่างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 20 ซม. X 20 ซม. จำนวนข้อมูลโปรเจกชันเท่ากับ 18 โปรไฟล์ มุมที่หมุนเปลี่ยนไปที่ละ 10 องศา ระยะห่างระหว่างเรย์ซันเท่ากับ 3 มม. ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลประมาณ 4 ชั่วโมง พบว่าสามารถมองเห็นเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 8 มม. ขึ้นไปได้อย่างชัดเจน

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 รังสีแกมมา

รังสีแกมมาเป็นรังสีชนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ไม่มีประจุ ไม่มีมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้า เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสง พลังงานของรังสีแกมมาจะมีความสัมพันธ์กับความถี่ ดังต่อไปนี้

$$E = h\nu \quad \dots(2.1)$$

$$E = \frac{1.240 \times 10^{-6}}{\lambda} \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ  $E$  คือ พลังงานของรังสีแกมมา (eV)

$h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant =  $4.135 \times 10^{-15}$  eV.s)

$\nu$  คือ ความถี่ของคลื่น ( $\text{sec}^{-1}$ )

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่น (m)

รังสีแกมมาเกิดขึ้นจากนิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสี เมื่อนิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ นิวเคลียสจะอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) การลดระดับพลังงานลงมาอยู่ในสถานะพื้น (ground state) จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในรูปรังสีแกมมา ถ้าให้สถานะเริ่มต้นนิวเคลียสมีระดับพลังงาน  $E_i$  (สถานะกระตุ้น) และ  $E_f$  เป็นสถานะสุดท้าย ถ้าสถานะสุดท้ายเป็นสถานะพื้น การลดระดับพลังงานจะสิ้นสุด แต่ถ้าสถานะสุดท้ายยังเป็นสถานะกระตุ้นอยู่ การลดระดับพลังงานก็จะเกิดขึ้นอีกจนกระทั่งเป็นสถานะพื้น พลังงานของรังสีแกมมาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของสถานะเริ่มต้นกับพลังงานของสถานะสุดท้าย ดังนี้

$$h\nu = \Delta E = E_i - E_f \quad \dots(2.3)$$

## 2.2 อันตรกิริยาของรังสีแกมมา

### 2.2.1 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ (Photoelectric effect)<sup>[6], [7], [8]</sup>

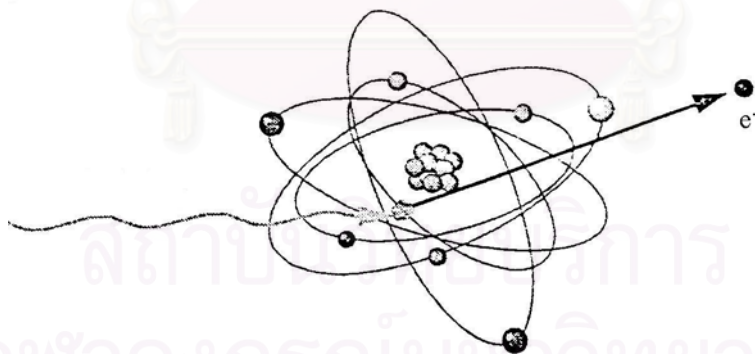
ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ เกิดจากรังสีแกมมาพลังงานต่ำแต่มากกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนในวงโคจร เมื่อรังสีแกมมาเคลื่อนเข้าชนอะตอมจะถ่ายเทพลังงานทั้งหมดให้อิเล็กตรอนดังรูปที่ 2.1 ทำให้รังสีแกมมาหายไปและอิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมอิเล็กตรอนอยู่ในวงโคจรด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวจำนวนหนึ่ง ดังนั้น พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจึงมีค่าเท่ากับพลังงานของรังสีแกมมาลบด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน ดังสมการ (2.4)

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad \dots(2.4)$$

เมื่อ  $E_e$  คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากอะตอม

$E_\gamma$  คือ พลังงานของรังสีแกมมาที่วิ่งเข้าชนอะตอม

$E_b$  คือ พลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.1 การเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์<sup>[9]</sup>



## 2.2.2 ปราณุกการณ์คอมป์ตัน (The Compton Effect)<sup>[6],[7],[8],[10]</sup>

เมื่อรังสีแกมมาเข้าชนกับอะตอมของตัวกลางจะถ่ายเทพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา ส่วนรังสีแกมมาจะกระเจิงทำมุม  $\theta$  กับแนวการเคลื่อนที่เดิมดังรูปที่ 2.2



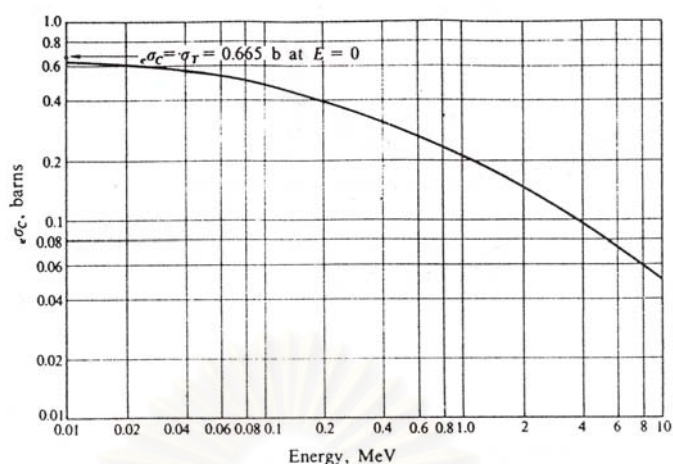
รูปที่ 2.2 การเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตัน<sup>[9]</sup>

เนื่องจากปรากฏการณ์คอมป์ตันเกิดขึ้นเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมา กับอิเล็กตรอนในอะตอม ดังนั้นค่าภาคตัดขวางของการเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตันต่ออะตอม ( $\sigma_c$ ) จึงเป็นค่าภาคตัดขวางการกระเจิงคอมป์ตันต่ออิเล็กตรอน ( $\sigma_e$ ) ซึ่ง

$$\sigma_c = \sigma_s + \sigma_a \quad \dots(2.5)$$

เมื่อ  $\sigma_s$  คือ ภาคตัดขวางคอมป์ตันต่ออิเล็กตรอนในการกระเจิงพลังงานของรังสีแกมมา

$\sigma_a$  คือ ภาคตัดขวางคอมป์ตันต่ออิเล็กตรอนในการดูดกลืนพลังงานโดยอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.3 ค่า  ${}_{e}\sigma_{c}$  ที่พลังงานของรังสีแกมมาต่างๆ <sup>[6]</sup>

และค่าภาคตัดขวางนี้จะลดลงเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาเพิ่มขึ้นจากที่สูงสุด 0.655 บาร์น (barns) ที่พลังงาน 0 MeV ซึ่งเรียกว่าภาคตัดขวางทอมสัน (Thomson cross section,  $\sigma_T$ ) ดังรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าที่รังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงขึ้นจน  $E_\gamma \gg E_e$  ค่า  ${}_{e}\sigma_{c}$  จะแปรผันตรงตามค่า  $E^{-1}$  และค่าภาคตัดขวางการกระเจิงคอมป์ตันต่ออะตอม ( $\sigma_c$ ) จะขึ้นอยู่กับเลขอะตอมของตัวดูดกลืน ดังสมการ

$$\sigma_c = Z_e \sigma_{e,c} \quad \dots(2.6)$$

$${}_{e}\sigma_{c} \propto E_\gamma^{-1} \quad \dots(2.7)$$

ดังนั้น โอกาสของการเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตันเอฟเฟกต์จึงขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอมของตัวดูดกลืน และจะเกิดได้ดีกับสารที่มีเลขอะตอม,  $Z$  สูง และจะลดลงเมื่อพลังงานของรังสีแกมมา,  $E_\gamma$  สูงขึ้นจึงประมาณโอกาสของการเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตันเอฟเฟกต์ได้ว่า

$$\sigma_c \approx \frac{Z}{E_\gamma} \quad \dots(2.8)$$

ค่าภาคตัดขวางจุลภาคของการกระเจิง ที่กระเจิงเป็นมุมต่าง ๆ สามารถคำนวณหาได้จากสูตรของ Klein-Nishina ดังสมการ

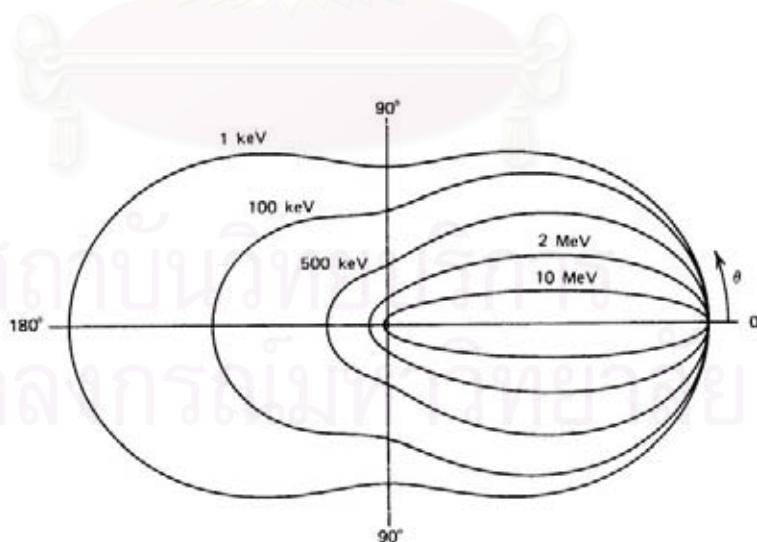
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = Zr_0^2 \left( \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos\theta)} \right)^2 \left( \frac{1 + \cos^2\theta}{2} \right) \left( 1 + \frac{\alpha^2(1 - \cos\theta)^2}{(1 + \cos^2\theta)[1 + \alpha(1 - \cos\theta)]} \right) \dots (2.9)$$

เมื่อ  $r_0$  คือ classical electron radius =  $2.82 \times 10^{-13}$  cm

$$\alpha = \frac{E_\gamma}{m_0c^2} = \frac{662 \text{ keV}}{511 \text{ keV}} = 1.29 \quad \text{for } ^{137}\text{Cs}$$

$\theta$  คือ มุมกระเจิง

ค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงจากโฟตอนระดับพลังงานต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.4 จากสมการของ Klein-Nishina เมื่อพลังงานของรังสีตกกระทบยิ่งสูงมาก การกระเจิงส่วนใหญ่จะเป็นการกระเจิงไปข้างหน้า (forward scattering) และที่พลังงานต่ำ ๆ  $E \approx E_0$  สมการ (2.7) จะลดรูปเหลือเป็น  $(1 + \cos^2\theta)$  ซึ่งจะสมมาตรที่มุม  $90^\circ$



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาคตัดขวางของ Klein-Nishina ที่กระเจิงเป็นมุม  $\theta$  จากรังสีแกมมาที่แต่ละพลังงาน<sup>[7]</sup>

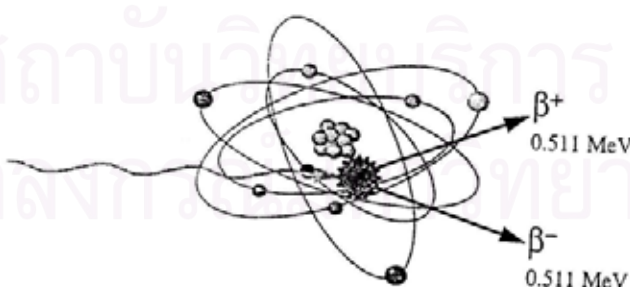
ข้อแตกต่างระหว่างปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์และปรากฏการณ์คอมป์ตันเอฟเฟกต์ก็คือ ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์เป็นการดูดกลืนโฟตอนทั้งหมดที่ตกกระทบกับอิเล็กตรอน แต่ในกระบวนการเกิดปรากฏการณ์คอมป์ตันเอฟเฟกต์นั้นเพียงแต่ลดขนาดพลังงานเดิมของโฟตอน เกิดโฟตอนใหม่ที่มีพลังงานลดลงและอิเล็กตรอนที่มีพลังงานค่านึง หลังจากการเกิดคอมป์ตันแล้วโฟตอนที่มีพลังงานต่ำลงก็อาจจะทำอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนตัวอื่นทำให้เกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกต์ได้อีก

### 2.2.3 แพร่โปรดักชัน (pair production) <sup>[6],[7],[8]</sup>

ปรากฏการณ์นี้ จะเกิดขึ้นเมื่อรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงกว่า 1.02 MeV เคลื่อนผ่านสนามไฟฟ้าของอิเล็กตรอนในอะตอม รังสีแกมมาจะหายไปกลายเป็นอิเล็กตรอนและโพสิตรอน อันตรกิริยานี้เป็นตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงพลังงานไปเป็นมวล ดังนั้นพลังงานเริ่มต้นจะต้องมีค่าอย่างน้อยเท่ากับมวลนิ่ง (rest mass energy) ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน นั่นคือ 1.02 MeV

$$h\nu = e^+ + e^- + 2E_k \quad \dots(2.10)$$

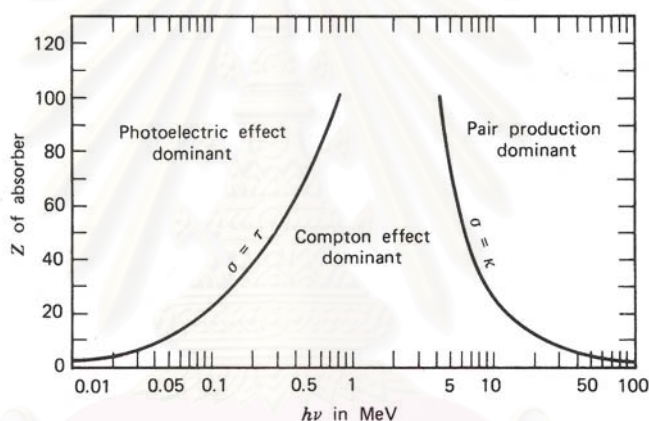
เมื่อ  $2E_k$  คือพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน



รูปที่ 2.5 การเกิดแพร่โปรดักชัน<sup>[9]</sup>

ถ้าพลังงานของรังสีแกมมาที่ทำให้เกิดอันตรกิริยาแบบแฟร์โพรดักชันมีค่ามากกว่า 1.02 MeV พลังงานที่เหลือจะกลายเป็นพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนและโพสิตรอน โพสิตรอนที่เกิดขึ้นก็จะสามารถไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนทำให้เกิดโฟตอน 2 ตัวที่มีพลังงานแต่ละตัว 0.511 MeV เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ในการเกิดอันตรกิริยาทั้ง 3 แบบ จะพบว่าโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาแต่ละแบบนี้จะมีความสัมพันธ์กับพลังงานของรังสีแกมมาและตัวกลางที่รังสีแกมมาไปทำอันตรกิริยาดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาของรังสีแกมมาที่พลังงานสัมพันธ์กับเลขอะตอมของตัวกลาง<sup>[7]</sup>

### 2.3 เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา<sup>[1]</sup>

จากหลักการส่งผ่านรังสีจะเกี่ยวข้องกับกลไกการลดทอนรังสีของปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกและปรากฏการณ์การกระเจิงของคอมป์ตัน สำหรับกรณีของวัสดุที่มีค่าเลขอะตอมต่ำ (low-Z) ที่พลังงานของรังสีประมาณ 50 keV ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตริกจะเป็นส่วนสำคัญของกลไกการลดทอนรังสี แต่เมื่อรังสีแกมมามีพลังงานสูงขึ้น (ช่วงพลังงาน 50 keV ถึง 1 MeV) ปรากฏการณ์การกระเจิงของคอมป์ตันจะเริ่มมีบทบาทและมีความสำคัญในกลไกการลดทอนของรังสีแกมมาสำหรับมุมกระเจิงมากๆ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า atomic number (Z) และพลังงานของรังสีแกมมาที่ตกกระทบในแต่ละปรากฏการณ์เป็นดังนี้

|                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก        | $Z^5 / E^{7/2}$                 |
| ปรากฏการณ์การกระเจิงของคอมป์ตัน | $Z / E$                         |
| ปรากฏการณ์แพร่โปรดักชัน         | $Z^2 (\ln E - \text{constant})$ |

พลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิงไปเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$E' = \frac{E_0}{1 + \left(\frac{E_0}{m_e C^2}\right)(1 - \cos \theta)} \quad \dots(2.11)$$

โดยที่  $E_0$  = พลังงานของรังสีแกมมาก่อนเกิดอันตรกิริยา

$E'$  = พลังงานของรังสีแกมมาที่กระเจิง

$m_e C^2$  = มวลนิ่งของอิเล็กตรอน = 0.511 MeV

$\theta$  = มุมที่กระเจิง

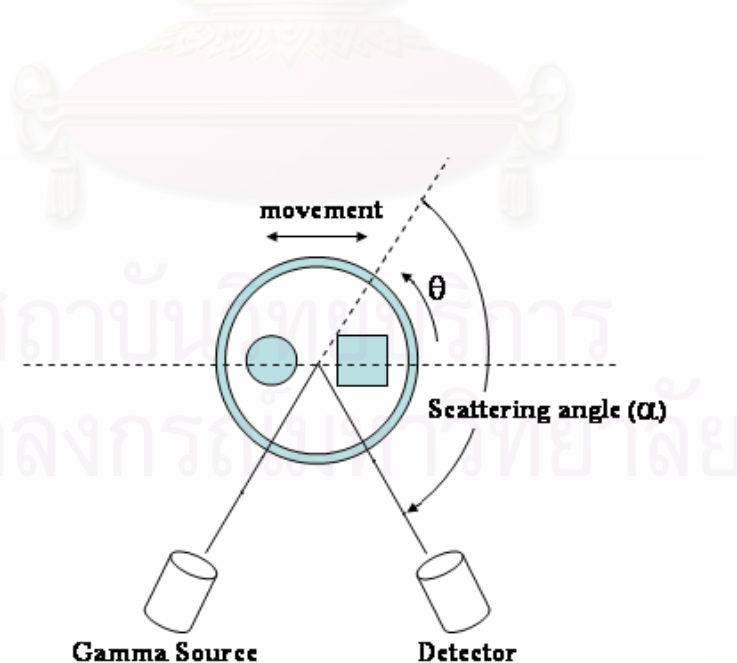
## 2.4 หลักการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับเทคนิคการกระเจิงของคอมป์ตัน

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยทั่วไปไม่ว่าจะเป็นเทคนิคการส่งผ่านรังสี การแผ่รังสี หรือการกระเจิงของคอมป์ตันก็ตาม จะใช้หลักการทะลุผ่านรังสีของชิ้นงาน ซึ่งเมื่อเก็บข้อมูลจากวิธีการต่างๆแล้วจึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาประมวลผลด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงและแสดงผลเป็นภาพในลักษณะของภาพตัดขวางโดยการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ สำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสามารถจำแนกได้เป็น 3 วิธี คือ

- 2.4.1 วิธีสแกนแบบลำรังสีแคบ (narrow beam)
- 2.4.2 วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปพัด (fan beam)
- 2.4.3 วิธีสแกนแบบลำรังสีรูปกรวย (cone beam)

ในการวิจัยขอกล่าวรายละเอียดเฉพาะวิธีสแกนแบบลำรังสีแคบเนื่องจากเป็นวิธีการสแกนแบบที่เหมาะสมกับการเก็บข้อมูล โดยการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยวิธีสแกนแบบลำรังสีแคบสำหรับเทคนิคการกระเจิงของคอมป์ตันมีรายละเอียดดังนี้

เทคนิคการกระเจิงของคอมป์ตันเป็นการทดสอบชิ้นงานบกพร่องโดยไม่ทำลาย ลักษณะการทำงานของวิธีสแกนแบบลำรังสีแคบนี้คือการใช้ลำรังสีพุ่งออกจากต้นกำเนิดรังสีซึ่งจำกัดขนาดให้เป็นลำแคบยิงทะลุผ่านเข้าไปภายในชิ้นงาน เมื่อรังสีกระทบกับวัตถุชิ้นงานจะเกิดการกระเจิงบางส่วนจะยังคงเคลื่อนที่ตามแนวทางเดิมและบางส่วนจะกระเจิงเข้าสู่หัววัดรังสีที่เตรียมไว้ที่มุมต่างๆ ซึ่งวางอยู่ตำแหน่งด้านเดียวกับต้นกำเนิดรังสีที่จำกัดขนาดลำรังสีเช่นเดียวกันดังรูปที่ 2.7 การสแกนด้วยวิธีนี้กำหนดให้วัตถุชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านลำรังสีไปจนตลอดความกว้างของชิ้นงาน จากนั้นชิ้นงานจะหมุนไปด้วยมุมที่กำหนดไว้แล้วสแกนย้อนกลับมาที่จุดเดิม ระยะห่างของแต่ละจุดที่สแกนเป็นเส้นตรงขณะทำการวัดรังสีกำหนดให้ห่างกันเท่ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำรังสีแคบนั้น เรียกปริมาณรังสีแต่ละจุดว่า “เรย์ซัม (ray-sum)” การสแกนผ่านชิ้นงานต่อการหมุนของวัตถุชิ้นงานด้วยมุนน้อยๆ นั้นประกอบไปด้วยหลายๆ เรย์ซัมเรียกว่า “โปรไฟล์ (profile)” หรือ “โปรเจกชัน (projection)” การสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์นั้นจะต้องกำหนดให้ชิ้นงานหมุนจากมุม 0-360 องศา



รูปที่ 2.7 วิธีการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์แบบลำรังสีแคบสำหรับเทคนิคการกระเจิงของคอมป์ตัน

เมื่อพิจารณาลำรังสีที่ตกกระทบกับวัตถุชิ้นงานซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ  $\rho$  ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงรูปของการกระเจิงในรูปแบบทั่วไป<sup>[2]</sup>

อัตราการนับโดยเฉลี่ย (count rate) ที่ตำแหน่งใดๆที่หัววัดนับได้แสดงได้ดังสมการที่ 2.12

$$dN(\alpha) = F \frac{d\sigma}{d\Omega}(\alpha) \rho dV d\Omega \quad \dots(2.12)$$

เมื่อ  $dN(\alpha)$  คือ อัตราการนับโดยเฉลี่ยที่หัววัดนับวัดค่าที่ได้จากการกระเจิงที่มุมกระเจิง  $\alpha$

$F$  คือ ฟลักซ์ของลำรังสีตกกระทบ

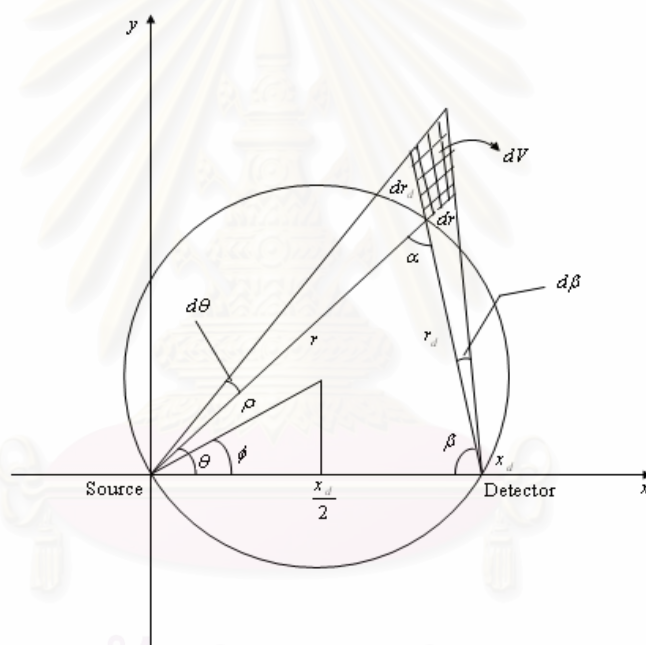
$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\alpha)$  คือ ค่าดิฟเฟอเรนเชียลของภาคตัดขวางของการเกิดการกระเจิงที่มุมกระเจิง  $\alpha$

$d\Omega$  คือ solid angle ระหว่างจุดที่เกิดการกระเจิงกับพื้นผิวหน้าหัววัด

จากสมการที่ (2.12) จะเห็นว่าค่าดิฟเฟอเรนเชียลของภาคตัดขวางของการกระเจิงจะแทนด้วยผิวหน้าที่ตั้งฉากกับลำรังสีซึ่งในแต่ละอนุภาคที่วิ่งเข้าชนกับบริเวณผิวหน้าจะแสดงถึงจำนวนลำรังสีต่อหน่วย solid angle ที่มุม  $\alpha$



กระบวนการทางกายภาพในหลายๆกรณีมักจะเกิดขึ้นระหว่างโฟตอนและอิเล็กตรอน ในกรณีที่รังสีแกมมาพลังงาน 0.1 ถึง 1 MeV และวัตถุมีค่า  $Z$  ต่ำ การกระเจิงของคอมป์ตันจะมีส่วนสำคัญต่ออันตรกิริยาทั้งหมดระหว่างโฟตอนและอิเล็กตรอนเช่นกระบวนการเกิดการกระเจิงรูปแบบทั่วไปดังที่กล่าวข้างต้น อีกกรณีที่จะได้กล่าวต่อไปคือ กรณีการตอบสนองของหัววัดเมื่อไม่มีการลดทอนของทั้งรังสีตกกระทบและรังสีกระเจิงมาเกี่ยวข้องจะสนใจแต่รังสีที่กระเจิงเข้าสู่หัววัดเพียงอย่างเดียว โดย  $E_0$  เป็นรังสีตกกระทบ จะให้อัตรานับโดยเฉลี่ยของโฟตอน  $dN(r, \theta, x_d)$  ของหัววัดให้เป็นจุด  $(r, \theta)$  ในระบบ polar system ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงรูปของการกระเจิงแบบคอมป์ตัน<sup>[2]</sup>

จะได้ว่า

$$dN(r, \theta, x_d) = F(\theta) \frac{d\sigma}{d\Omega} [E_0, \alpha(r, \theta, x_d)] \rho_e(r, \theta) dV \Delta\Omega \quad \dots(2.13)$$

- เมื่อ  $F(\theta)$  คือ ฟังก์ชันของโฟตอนที่มุม  $\theta$
- $\rho_e(r, \theta)$  คือค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ตำแหน่ง  $(r, \theta)$
- $dV$  คือวัตถุปริมาตรเล็กๆ
- $\alpha(r, \theta, x_d)$  คือมุมกระเจิง
- $\frac{d\sigma}{d\Omega}(E_0, \alpha)$  คือค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงจากสมการของ Klein-Nishina

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(E_0, \alpha) = \frac{r_e^2}{2} \left[ \frac{1}{[1 + k(1 - \cos \alpha)]^2} \times \left( 1 + \cos^2 \alpha + \frac{k^2(1 - \cos \alpha)^2}{1 + k(1 - \cos \alpha)} \right) \right] \quad \dots(2.14)$$

เมื่อ  $k = \frac{E_0}{m_0 c^2}$  ,  $m_0$  คือค่ามวลนิ่งของอิเล็กตรอน

$c$  คือค่าความเร็วแสงในสุญญากาศ

$\Delta\Omega$  คือ solid angle ที่วัดจากผิวหน้าของหัววัดจนถึงจุดที่เกิดการกระเจิง  
จะได้ว่า

$$\Delta\Omega = \frac{\nabla A \sin \beta}{r_d^2} \quad \dots(2.15)$$

เมื่อ  $\nabla A$  คือ บริเวณผิวหน้าของหัววัดที่ตำแหน่ง  $x_d$

$r_d^2$  คือ ระยะห่างระหว่างหัววัดและจุดที่เกิดการกระเจิง

$\beta$  คือ มุมระหว่างแกน  $x$  และ  $r_d$

จากรูปที่ 2.9 ปริมาตรของวัตถุสามารถกำหนดได้ว่า

$$dV = r d\theta dr \Delta z \quad \dots(2.16)$$

เมื่อ  $\Delta z$  คือความหนาของชิ้นงานเมื่อตัดเป็นแผ่นบางๆ ในแกน  $z$

จะให้ลำรังสีอยู่ในระนาบและมีขอบเขตที่แน่นอนเป็นฟังก์ชัน  $S(\theta)$  ซึ่งสามารถเขียนในรูปของฟังก์ชันที่มุม  $\theta$  ได้ว่า

$$F(\theta) = \frac{S(\theta)d\theta}{rd\theta\Delta z} = \frac{S(\theta)}{r\Delta z} \quad \dots(2.17)$$

แทนสมการ (2.16) และ (2.17) ในสมการ (2.13) อัตรานับโดยเฉลี่ยของหัววัดจะเขียนใหม่ได้ว่า

$$dN(r, \theta, x_d) = S(\theta)d\theta \frac{d\sigma}{d\Omega} [E_0, \alpha(r, \theta, x_d)] \rho_e(r, \theta) dr \Delta\Omega \quad \dots(2.18)$$

## 2.5 ทฤษฎีการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

การคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีทั้งเทคนิคการส่งผ่านรังสี การแผ่รังสี และการกระเจิงของคอมป์ตันนั้นมีหลักการคำนวณสร้างภาพคล้ายกัน โดยต่างกันที่ที่มาของข้อมูลโปรไฟล์ของแต่ละเทคนิคตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น หลังจากที่ได้ข้อมูลมาแล้วสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการคณิตศาสตร์ขั้นสูงซึ่งมีอยู่หลายวิธีได้แก่ วิธีแบคโปรเจกชัน (Back-projection) วิธีอิตเทอเรชัน (Iteration) และวิธีคอนโวลูชันฟิลเตอร์แบคโปรเจกชัน (Convolution filter back-projection) เป็นต้น สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการคำนวณสร้างภาพ (reconstruction) แบบคอนโวลูชันฟิลเตอร์แบคโปรเจกชัน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

### 2.5.1 สัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแกมมา

จากแนวความคิดที่ว่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอนของปริมาณความเข้มของลำรังสีแกมมาเชิงเส้นในตัวกลางต่างชนิดกันจะไม่เท่ากันในระนาบที่สนใจ สามารถหาได้โดยการนำเอาปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านตัวกลางในระนาบต่างๆมาคำนวณสร้างภาพตัดขวาง

รังสีแกมมาซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงสามารถทะลุผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงได้จะเกิดการลดทอนลงทำให้ความเข้มของรังสีแกมมาลดลงดังสมการ 2.19

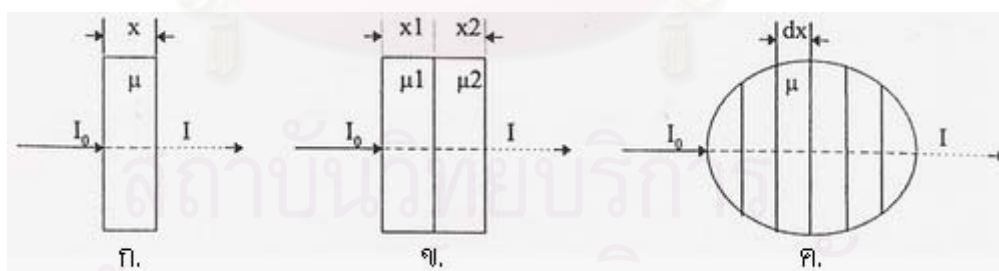
$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots(2.19)$$

เมื่อ  $I_0$  และ  $I$  คือ ความเข้มของรังสีแกมมาก่อนและหลังทะลุผ่านตัวกลาง

$\mu$  คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสี

$x$  คือ ความหนาของชิ้นงาน

จากความสัมพันธ์จะเห็นว่า ความเข้มของปริมาณรังสีแกมมาที่เดินทางผ่านตัวกลางออกมาจะขึ้นกับพลังงานของต้นกำเนิดรังสี ความหนาของตัวกลางและค่าสัมประสิทธิ์ของตัวกลางนั้นๆ ซึ่งแสดงการลดทอนในทอม  $e^{-\mu x}$  ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงเรขาคณิตของลำรังสีแกมมาที่เดินทางผ่านตัวกลาง 3 แบบ<sup>[4]</sup>

- ก. ตัวกลางที่มีเนื้อเดียวตลอด
- ข. ตัวกลางที่มีเนื้อต่างกันสองชนิด
- ค. ตัวกลางที่มีเนื้อต่างกันหลายชนิด

กรณีที่ตัวกลางประกอบด้วยสารสองชนิด หนา  $x_1$  และ  $x_2$  ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแกมมาของตัวกลางทั้งสองเป็น  $\mu_1$  และ  $\mu_2$  ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.10 (ข) จะได้

$$I = I_0 e^{-\mu_1 x_1 - \mu_2 x_2} \quad \dots(2.20)$$

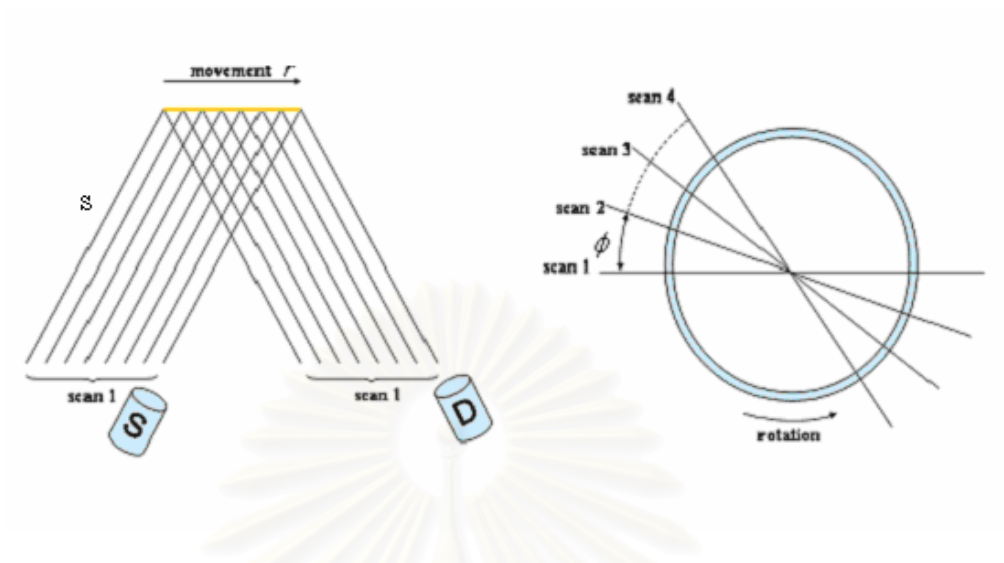
แต่ถ้าตัวกลางที่มีสารประกอบหลายชนิดในการคิดการดูดกลืนรังสี จำเป็นต้องแบ่งตัวกลางออกเป็นแถบเล็กๆ ขนาดความหนา  $dx$  เท่ากันจำนวนมากดังรูปที่ 2.10 (ค) ความหนาของแถบเล็กๆนั้นเล็กมากจนสามารถคิดได้ว่าแถบเล็กๆนั้นประกอบด้วยสารเนื้อเดียวตลอด

กรณีนี้ ความสัมพันธ์ระหว่าง  $I, I_0, \mu$  และความหนา ( $x$ ) ของตัวกลางจะเป็นไปตามสมการ

$$I = I_0 \exp\left[\int -\mu dx\right] \quad \dots(2.21)$$

### 2.5.2 นิยามของเรย์ซัม (Ray-sum)

สมการ 2.21 เป็นสมการที่อธิบายความเข้มของรังสีแกมมาที่ผ่านตัวกลางซึ่งประกอบด้วยสารหลายชนิด เทอมที่แสดงการลดลงของรังสีแกมมาเปลี่ยนจากการรวมกันแบบธรรมดาตามสมการ 2.19 มาเป็นการอินทิเกรตตามเส้นทาง (Line integral) แต่จะเป็นจริงเฉพาะรังสีแกมมาที่มีพลังงานเดียวเท่านั้น ในทฤษฎีการสร้างภาพจะใช้สมการ 2.21 เพื่อความสะดวกจะกำหนดโคออร์ดิเนต (Coordinate) ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพของการสร้างภาพโทโมกราฟี

จากรูปที่ 2.11 ทุกจุดบนเส้นระนาบนี้อธิบายด้วยโคออร์ดิเนต  $(x, y)$  รัศมีลำแคบพุ่งออกทำมุม  $\phi$  กับแกน  $y$  โดยให้ลำรังสีแทนด้วยโคออร์ดิเนต  $(r, s)$  และแต่ละลำของลำรังสีแทนด้วยโคออร์ดิเนต  $(r, \phi)$  ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะลำรังสีแอมมาลำแคบหนึ่งๆเท่านั้น สมการที่สามารถอธิบายความเข้มที่ทะลุผ่านออกมาจะคล้ายกับสมการที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยจะเป็น

$$I = I_0 \exp\left[-\int_{r, \phi} \mu(x, y) dx\right] \quad \dots(2.22)$$

โดยในเทอมในวงเล็บหมายถึงการอินทิเกรตตามเส้นทางที่ถูกกำหนดด้วยโคออร์ดิเนต  $(r, s)$  สำหรับ  $\phi$  ใดๆ มุมหนึ่งเท่านั้น สมการ 2.22 อาจเขียนใหม่ได้ว่า

$$P(r, \phi) = \int \mu(x, y) ds \quad \dots(2.23)$$

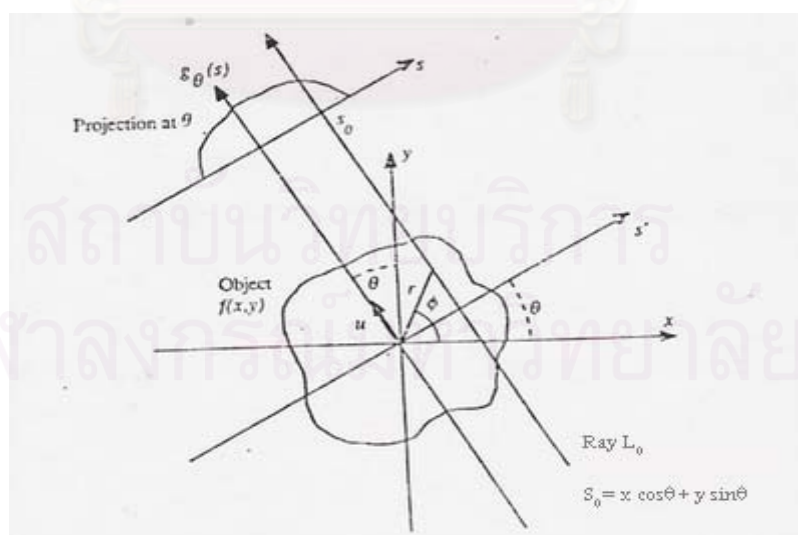
$$P(r, \phi) = -\ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \int_{r, \phi} \mu(x, y) ds \quad \dots(2.24)$$

เทอม  $P(r, \phi)$  คือข้อมูลโปรเจกชัน (Projection data) เป็นเทอมที่กำหนดขึ้น เรียกว่า “เรย์ซัม (Ray-sum)” หลายๆเรย์ซัม โดยแต่ละเรย์ซมนิยามว่าเป็นการอินทิเกรต  $\mu(x, y)$  ตามเส้นทางของรังสีแกมมาลำแคบที่มีโคออร์ดิเนต  $(r, \phi)$  ซึ่ง  $\phi$  คือมุมที่เครื่องสแกนหมุนมีค่าระหว่าง  $0 < \phi < 2\pi$   $r$  คือเรย์ซัมมีค่าระหว่าง  $-\infty < r < \infty$

ข้อมูลโปรไฟล์ที่ได้จากสมการที่ (2.24) ยังไม่สามารถนำไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีได้ เนื่องจากข้อมูลที่ได้ยังไม่ใช่ข้อมูลการลดทอนรังสีแกมมาต่อวัตถุอย่างแท้จริง จึงต้องมีการปรับแก้ค่าใหม่ (data correction) โดยการปรับแก้ค่าจากความแรงรังสีพื้นฐาน (background ; B) ดังสมการที่ (2.25)

$$P'(r, \phi) = \ln \left( \frac{I_0 - B}{I - B} \right) \quad \dots(2.25)$$

ที่มุม  $\phi$  ใดๆ การเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรง (Translation) หมายถึง การเปลี่ยนค่า  $r$  จะได้กลุ่มข้อมูลของเรย์ซัม และเมื่อมีการหมุนรอบแกน (Rotation) จะได้กลุ่มข้อมูลโปรไฟล์ (Profile) หรือ โปรเจกชัน (projection) ดังรูปที่ 2.12 ประกอบ



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่ตัดในแนวเส้นตรงของรังสีแกมมาลำแคบตัดผ่านในระนาบของวัตถุที่มีมุม  $\phi$  ใดๆ หัววัดจะบันทึกข้อมูลไว้ 1 โปรไฟล์<sup>[3]</sup>

ความสัมพันธ์ระหว่างโคออร์ดิเนต  $(x, y)$  และ  $(r, \phi)$  คือ

$$r = x \cos \phi + y \sin \phi \quad (a) \quad x = r \cos \phi - s \sin \phi \quad (b)$$

$$s = -x \sin \phi + y \cos \phi \quad (c) \quad y = r \sin \phi + s \cos \phi \quad (d) \quad \dots(2.25)$$

จากสมการ 2.24 เมื่อประยุกต์ใช้การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transform) และทฤษฎีการคอนโวลูชัน (Convolution Theorem) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\mu(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P(x \cos \phi + y \sin \phi) d\phi \quad \dots(2.26)$$

$$\text{โดย} \quad P(x \cos \phi + y \sin \phi) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} P(r, \phi) * H(r - r') dr' \quad \dots(2.27)$$

เมื่อ  $H(r)$  คือ ฟังก์ชัน (Filter function) ซึ่งฟังก์ชันจะทำหน้าที่ปรับปรุงรายละเอียดของข้อมูลโปรไฟล์ ทำให้ได้ข้อมูลโปรไฟล์ที่สามารถแยกแยะรายละเอียดของข้อมูลให้เห็นเด่นชัดมากขึ้นและได้ภาพโทโมกราฟีที่มีคุณภาพดีขึ้น ในที่นี้เลือกใช้ฟังก์ชันของ Shapp-Logan ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.28) และวิธีการคำนวณแบบนี้เรียกว่า “คอนโวลูชัน ฟังก์ชันแบคโปรเจกชัน” (convolution filter back-projection)

$$H(r) = \frac{2}{\pi^2 d(1 - 4x^2)} \quad \dots(2.28)$$

เมื่อ  $d$  คือ ระยะห่างระหว่างเรย์ซัม

$x$  คือ เลขจำนวนเต็ม ได้แก่  $0, \pm 1, \pm 2, \dots$

ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีแกมมา  $\mu(x, y)$  เป็นค่าคงที่ของตัวกลางหนึ่งๆ ตรงจุด  $(x, y)$  ในระนาบที่สนใจ ถ้า  $\mu(x, y)$  มีค่าสูงแสดงว่าตัวกลางมีความหนาแน่นมากและ



สามารถคัดลอกสีรังสีเกมมาได้ดี ในทำนองเดียวกัน ถ้า  $\mu(x, y)$  มีค่าต่ำแสดงว่าตัวกลางนั้นมีความหนาแน่นน้อยและคัดลอกสีรังสีเกมมาได้น้อย ดังนั้นในระนาบใดๆ ของตัวกลางใดๆ ถ้าสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของรังสีเกมมาบนทุกๆ จุดในระนาบนั้นได้ ก็สามารถสร้างภาพด้วยการใช้ค่า  $\mu(x, y)$  ที่คำนวณได้มาเรียงตามตำแหน่งที่สอดคล้องกับตำแหน่งบนระนาบจริงๆ

เมื่อได้ข้อมูล โปรไฟล์ที่ปรับแก้ค่าเบคกราวด์และปรับปรุงรายละเอียดของข้อมูลด้วยการคูณกับฟิลเตอร์ฟังก์ชันแล้ว จะได้ข้อมูล โปรไฟล์ใหม่ที่เหมาะสมสำหรับไปคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี

## 2.6 คุณภาพของภาพโทโมกราฟี (Quality of Computed Tomography Image)

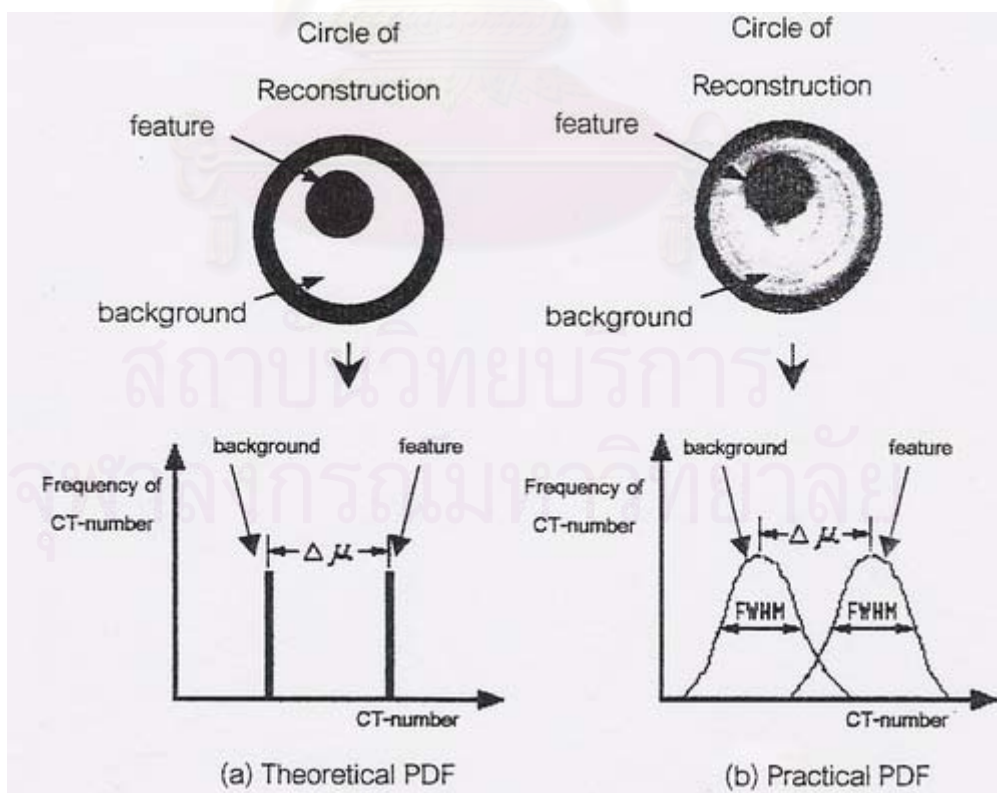
จุดประสงค์ของการสร้างภาพโทโมกราฟีก็เพื่อสร้างภาพตัดขวางที่สามารถแสดงองค์ประกอบภายในของวัตถุได้โดยไม่ต้องทำลาย ภาพโทโมกราฟีที่ดีจึงหมายถึงภาพที่สามารถแสดงรายละเอียดภายในของวัตถุได้ถูกต้องและชัดเจน การตรวจสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการบ่งบอกถึงภาพโทโมกราฟีที่ดี และภาพโทโมกราฟีที่ดียังหมายถึงความถึงระบบการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีที่ดีด้วย การตรวจสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีมีหลายวิธี แต่ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ วิธี Probability Distribution Function (PDF)

PDF<sup>[5][6]</sup> เป็นกราฟแจกแจงความถี่ที่แสดงค่าความถี่ที่ค่า CT-number ต่างๆ จากตัวอย่างของกราฟ PDF ในรูปที่ 2.13 (a) เป็นกราฟ PDF ของภาพโทโมกราฟีในทางทฤษฎี เห็นได้ว่าความถี่ของ CT-number มีเพียงสองค่าซึ่งเป็นค่าความถี่ที่ CT-number ของวัตถุ (feature ;  $\mu_{\text{feature}}$ ) และของแบคกราวด์ (background ;  $\mu_{\text{background}}$ ) ข้อมูลทั้งสองนี้สามารถนำมาคำนวณหาค่าความเปรียบต่าง (Contrast ;  $\Delta\mu$ ) ได้ดังสมการที่ (2.29)

$$\Delta\mu = \mu_{\text{feature}} - \mu_{\text{background}} \quad \dots(2.29)$$

ในทางปฏิบัติกราฟ PDF ไม่ได้เหมือนกับในทางทฤษฎี เนื่องจากกระบวนการต่างๆในการสร้างภาพโทโมกราฟีทำให้เกิดความมัว (blurring) ในภาพโทโมกราฟีที่สร้างขึ้น ด้วยปัจจัยต่างๆทำให้ภาพโทโมกราฟีและกราฟ PDF มีลักษณะดังตัวอย่างในรูปที่ 2.13 (b) ซึ่งเห็นได้ว่ากราฟ PDF จะมีการกระจายตัวมากกว่าในทางทฤษฎี โดยในการเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลสามารถวัดได้จากความกว้างของค่า CT-number ที่ค่าความถี่เป็นครึ่งหนึ่งของค่าความถี่สูงสุด หรือ FWHM (Full Width at Half Maximum) ที่เนื้อสารเดียวกันดังรูปที่ 2.13 (b) สำหรับการหาค่าความเปรียบต่างของกราฟ PDF ในทางปฏิบัติ จะใช้ค่า CT-number ที่มีค่าความถี่สูงสุดของทั้งวัตถุและแบกกราวด์ในกราฟ PDF

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่ากราฟ PDF สามารถบอกค่าความเปรียบต่างของภาพโทโมกราฟีและการกระจายตัวของค่า CT-number ในภาพได้โดยวัดจากค่า FWHM ซึ่งค่า FWHM จะสื่อให้เห็นถึงความมัวของภาพโทโมกราฟีได้ ถ้าค่า FWHM มีค่ามากแสดงว่าภาพโทโมกราฟีมีความมัวมาก ในทางกลับกันถ้าค่า FWHM มีค่าน้อยแสดงว่า ภาพโทโมกราฟีมีความมัวน้อยหรือมีคุณภาพที่ดีนั่นเอง



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการหาค่า PDF<sup>[5]</sup>

## บทที่ 3

### การพัฒนาระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี สำหรับเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา

ระบบสแกนเก็บข้อมูลสำหรับเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อการศึกษาและทดสอบความเป็นไปได้ในการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับเทคนิคการกระเจิงแบบคอมป์ตัน โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา ระบบสแกนจะทำการบันทึกความเข้มรังสีที่กระเจิงวัดออกมาที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อนำไปผ่านกระบวนการสร้างภาพ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

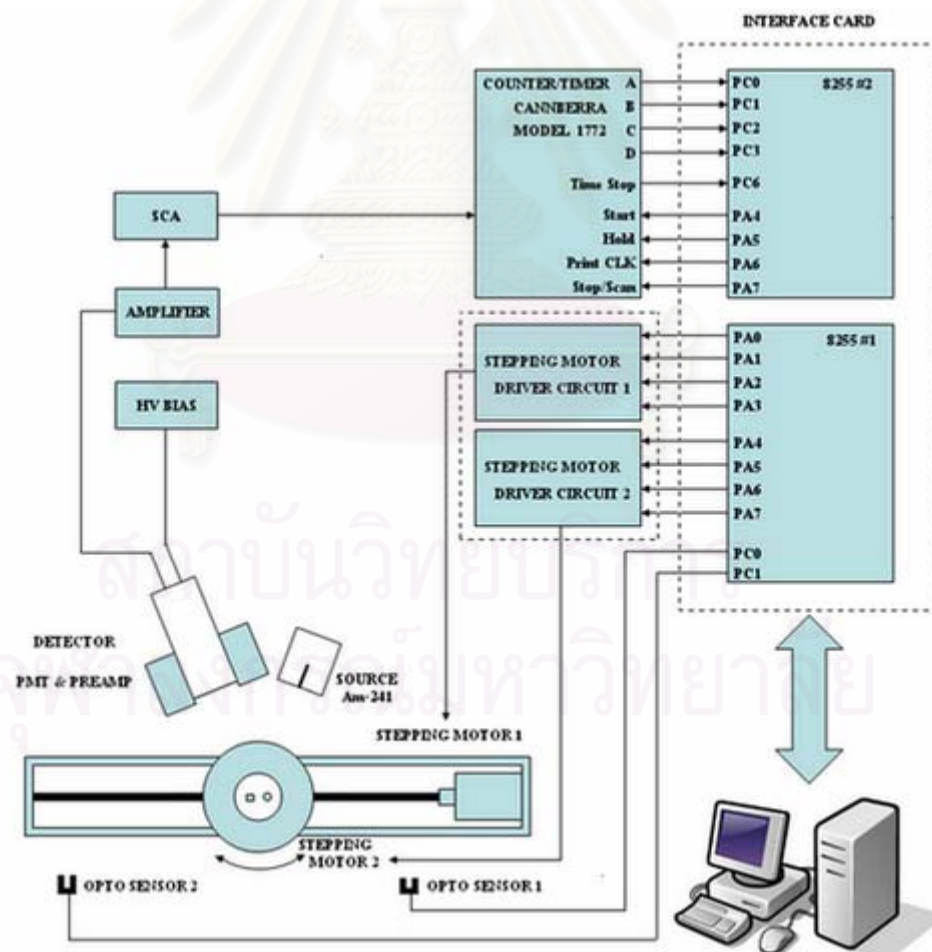
#### 3.1 การออกแบบระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา

ในการสแกนเก็บข้อมูลสำหรับเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา เพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีนี้ประกอบด้วย 6 ส่วนหลักๆ ดังนี้

- ก. ระบบวัดรังสีแกมมาพร้อมชุดกำลังรังสี ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการถ่ายภาพด้วยรังสีและทำให้การถ่ายภาพด้วยรังสีมีความสะดวกและปลอดภัย
- ข. ระบบขับเคลื่อน เป็นส่วนขับเคลื่อนวัตถุชิ้นงานให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งต่างๆ ในระนาบ X, Y
- ค. ระบบวัดนิวเคลียร์ ทำหน้าที่วัดความเข้มของรังสีแล้วแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขแล้วส่งข้อมูลนับรังสีเข้าสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อแสดงข้อมูลโปรไฟล์และเก็บบันทึกต่อไป
- ง. แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณต่างๆ เพื่อควบคุมระบบขับเคลื่อน รับสัญญาณจากวงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นและรับ-ส่งข้อมูลระหว่างระบบวัดนิวเคลียร์
- จ. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบขับเคลื่อน การรับ-ส่งสัญญาณของระบบวัดนิวเคลียร์ การตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นของวงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น รวมถึงการโอนถ่ายข้อมูลการนับรังสีโดยผ่านแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณและเก็บไว้บนหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์

จ. โปรแกรมควบคุมระบบสแกน เป็นชุดคำสั่งต่างๆ เพื่อควบคุมให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานตามลำดับขั้นตอนและทำการเก็บบันทึกในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์

การทำงานของระบบสแกนเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสำหรับเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมาจะทำงานสัมพันธ์กันโดยอาศัยโปรแกรมควบคุม ซึ่งจะส่งชุดคำสั่งต่างๆ จากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ เพื่อควบคุมการทำงานของระบบสแกนเก็บข้อมูล โดยระบบสแกนจะเริ่มขับเคลื่อนวัตถุชิ้นงานไปยังตำแหน่งพิกัด (x,y) ที่ (0,0) เพื่อทำการตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นโดยอาศัยวงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น จากนั้นระบบสแกนจะเริ่มทำการสแกนข้อมูลการกระเจิงของรังสีจากวัตถุตัวอย่าง ซึ่งเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณควบคุมระบบขับเคลื่อนผ่านแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณและวงจรขับสเต็ปมอเตอร์เพื่อทำการนับรังสีในตำแหน่งพิกัด (x,y) และรับข้อมูลการนับรังสีตามตำแหน่งต่างๆ จากระบบวัดนิวเคลียร์เพื่อบันทึกเป็นข้อมูลโปรไฟล์ก่อนนำไปทำการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป

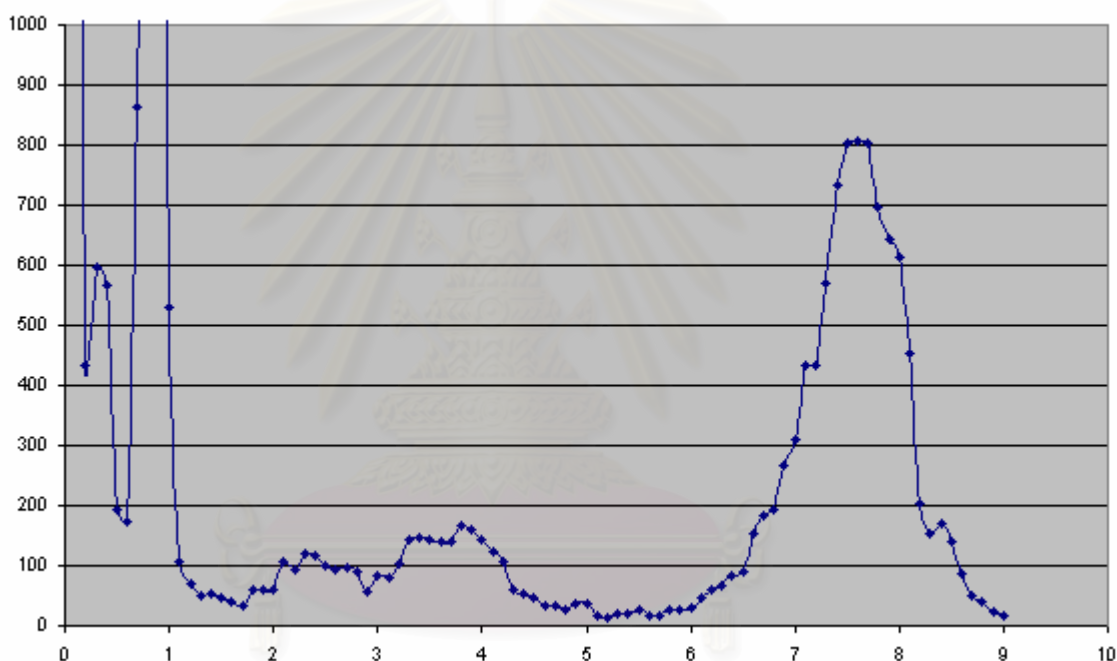


รูปที่ 3.1 แผนภาพของระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงของรังสีแกมมาเพื่อการคำนวณสร้างภาพ CT

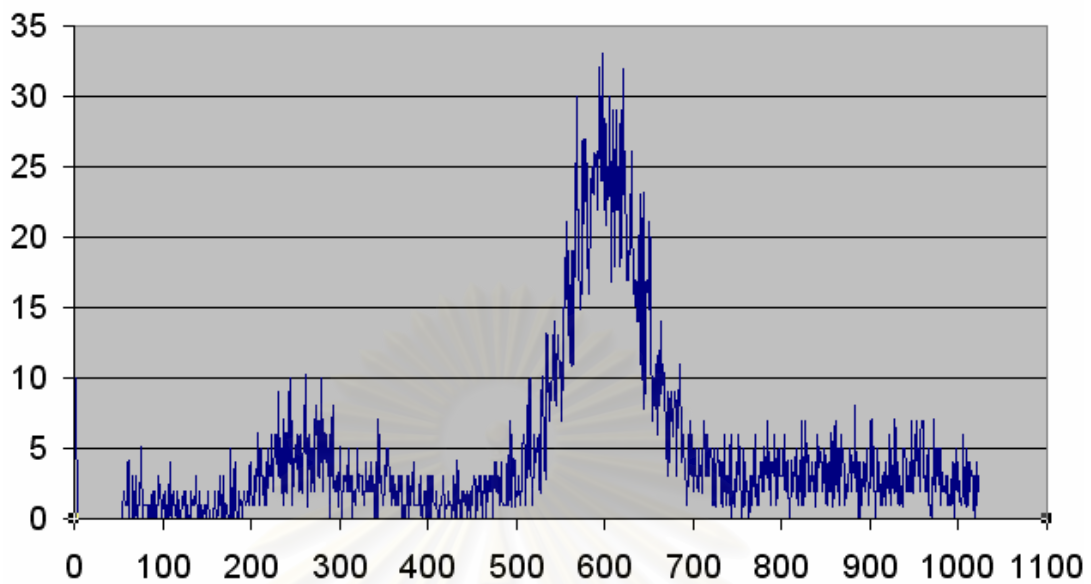
### 3.2 ระบบวัดรังสีแกมมาพร้อมชุดกำบังรังสี

#### 3.2.1 ต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี

ในงานวิจัยนี้ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  เนื่องจากเป็นต้นกำเนิดรังสีที่ให้รังสีแกมมาพลังงานเดี่ยว (monoenergetic gamma-ray) ที่ 60 keV ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  ที่ใช้มีความแรงรังสี 100 มิลลิวูโรโดยประมาณ และใช้หัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 2 x 2 นิ้ว วัดรังสีเฉพาะพลังงานช่วงคอมป์ตันของ  $^{241}\text{Am}$



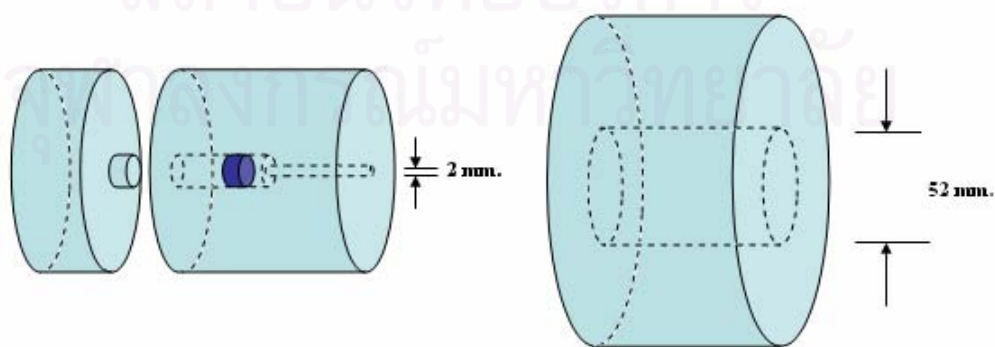
รูปที่ 3.2 แสดงสเปกตรัมของ Am-241



รูปที่ 3.3 แสดงสเปกตรัมของ Am-241 ขณะทดลอง

### 3.2.2 อุปกรณ์กำบังรังสีและลำรังสี

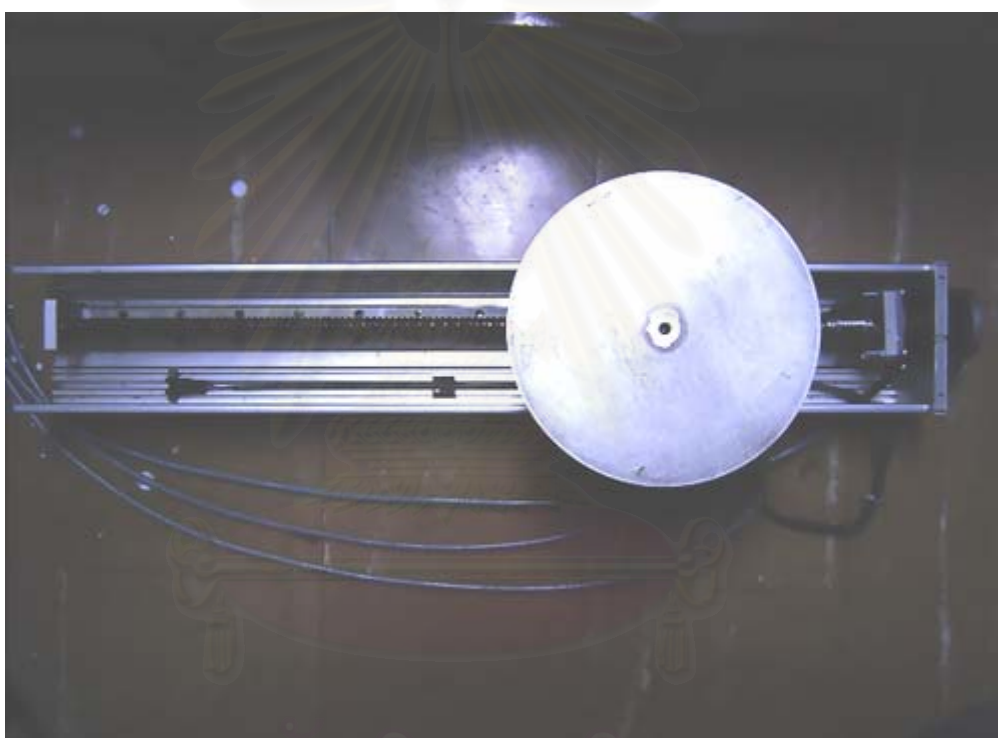
วัสดุที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์กำบังรังสีและบังค้ำลำรังสีสำหรับต้นกำเนิดรังสีคือเหล็ก โดยที่ต้นกำเนิดรังสีจะบรรจุอยู่ในอุปกรณ์กำบังรังสีที่ออกแบบให้ลำรังสีพุ่งในทิศทางที่ต้องการ โดยมีขนาดช่องบังค้ำลำรังสีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และอุปกรณ์กำบังรังสีสำหรับหัววัดรังสีทำด้วยตะกั่ว เปิดรับรังสีจากทางด้านหน้า แต่ปิดบริเวณด้านข้างและมีความลึกจากด้านหน้าเข้าไป 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์กำบังรังสีและบังค้ำลำรังสี

### 3.3 ระบบขับเคลื่อน

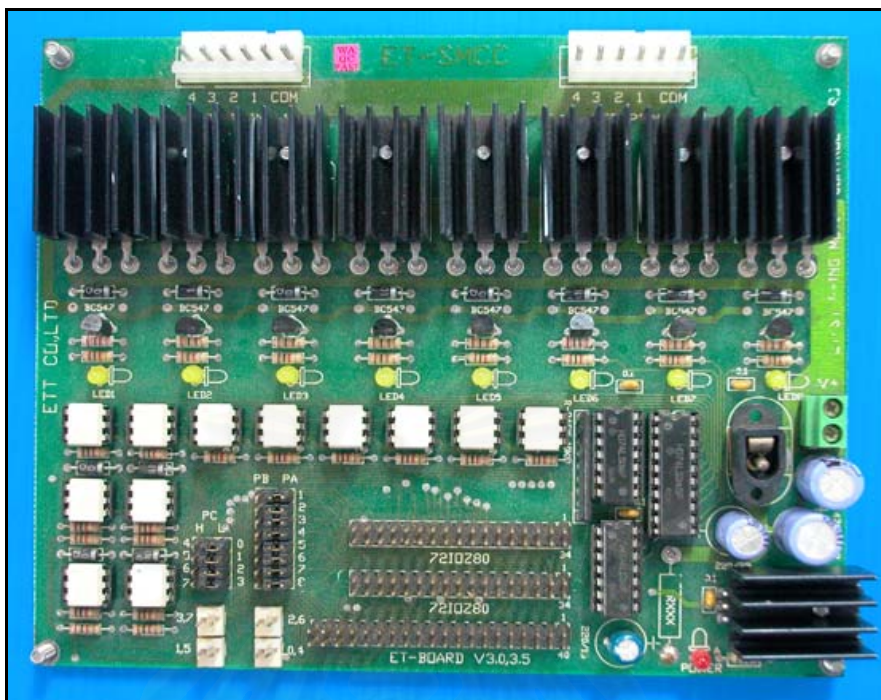
ระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน เป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบสแกนเก็บข้อมูลสำหรับเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งพิกัด (x,y) ที่ต้องการ จึงเลือกใช้สเต็ป핑มอเตอร์ (Stepping motor) แบบ 4 เฟส ที่มีความละเอียดของสเต็ปเท่ากับ 1.8 องศา ระบบขับเคลื่อนชิ้นงานจะทำงาน โดยอาศัยสัญญาณคำสั่งควบคุมที่ส่งมาจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ระบบขับเคลื่อนชิ้นงานประกอบด้วย วงจรขับสเต็ป핑มอเตอร์ วงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นและแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์



รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน

#### 3.3.1 วงจรขับสเต็ป핑มอเตอร์ (Stepping motor driver)

แผ่นวงจรขับสเต็ป핑มอเตอร์ ทำหน้าที่ขับสเต็ป핑มอเตอร์ โดยแผ่นวงจรที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นวงจรของบริษัท อีทีที จำกัด model SMCC ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งสามารถใช้ขับสเต็ป핑มอเตอร์ได้ทั้ง 2 แกน และสามารถตั้งค่าพอร์ตให้สอดคล้องกับแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณได้ดังตารางที่ 3.2

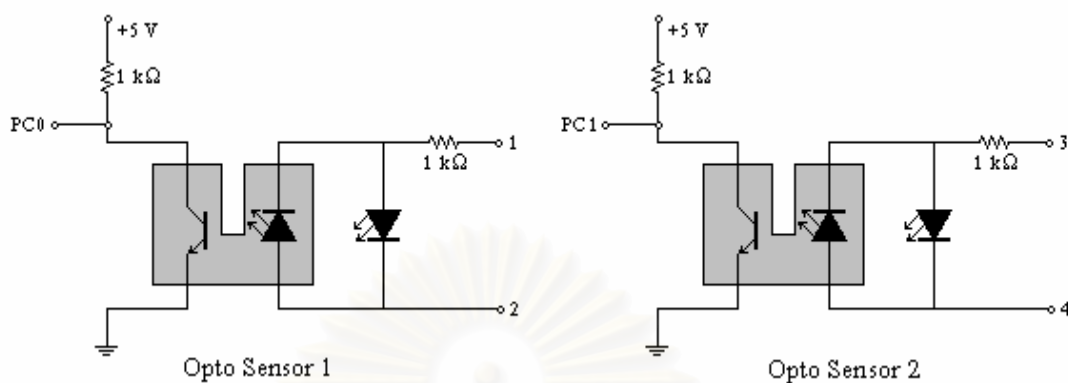


รูปที่ 3.6 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

### 3.3.2 วงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น

ในการถ่ายภาพด้วยรังสีเพื่อตรวจสอบหารอยบกพร่อง จำเป็นที่จะต้องหาดำแหน่งของรอยบกพร่องที่แน่นอน จึงต้องมีการสร้างตำแหน่งอ้างอิงขึ้นเพื่อเทียบกับตำแหน่งของรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นระบบสแกนจะต้องทำการตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นของระบบทุกครั้งเพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบกับตำแหน่งของอคูมิเนียมหรือวัตถุอื่นใดที่อยู่ภายในชิ้นงาน ตัวอย่าง สำหรับระบบสแกนที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้วงจรสวิทซ์แสง 2 ชุดต่อตามวงจร ดังรูปที่ 3.7 เพื่อทำการตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นของระบบ โดยให้ตำแหน่งพิกัดเริ่มต้นในระนาบ (x,y) คือที่จุด (0,0)



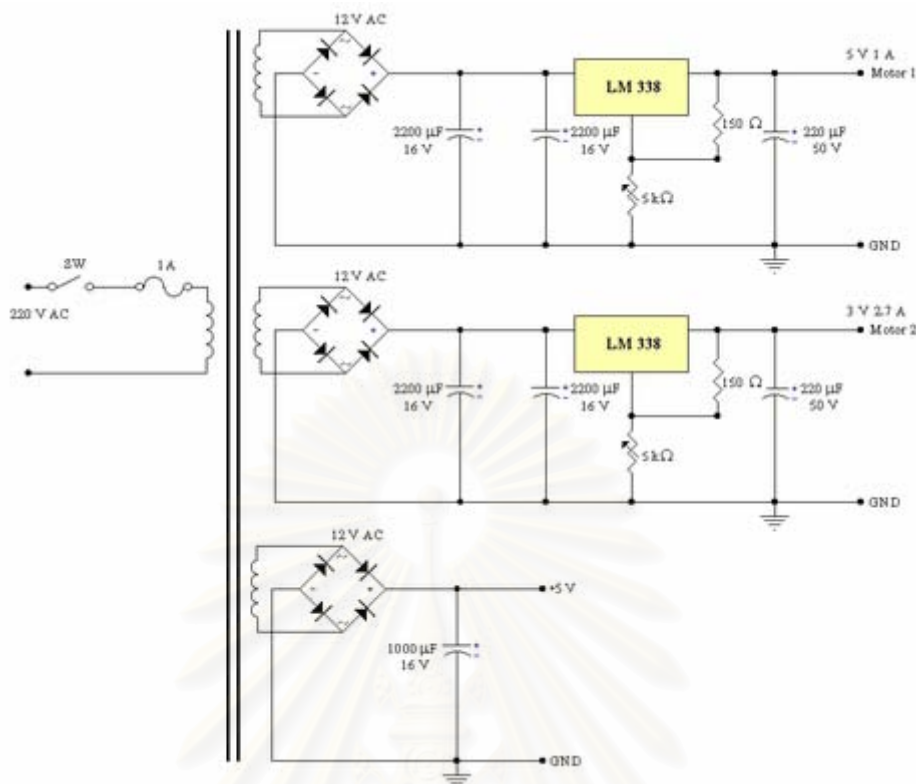


รูปที่ 3.7 แสดงวงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น

### 3.3.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาต่ำ

แหล่งจ่ายไฟฟ้้าศักดาต่ำประกอบด้วยแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้้า 3 ชุด ชุดที่ 1 จ่ายกระแสไฟฟ้้าให้แก่สตั๊ปปิงมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ และกระแสไฟฟ้้าสูงสุด 1 แอมแปร์ ส่วนชุดที่ 2 จ่ายกระแสไฟฟ้้าให้แก่สตั๊ปปิงมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้้ากระแสตรงขนาด 3 โวลต์ และกระแสไฟฟ้้าสูงสุด 2.7 แอมแปร์ และชุดที่ 3 จ่ายกระแสไฟฟ้้าให้แก่วงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นและวงจรขับสตั๊ปปิงมอเตอร์ โดยจะจ่ายแรงดันไฟฟ้้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ และกระแสไฟฟ้้าสูงสุด 1 แอมแปร์ ดังรูปที่ 3.8

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

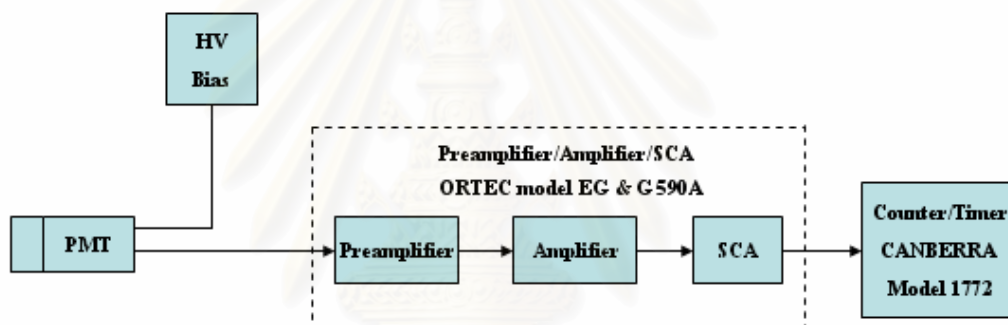
### 3.4 ระบบวัดนิวเคลียร์

ระบบวัดนิวเคลียร์สำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ระบบวัดรังสีแบบวิเคราะห์รังสีพลังงานเดี่ยว (Single channel analyzer; SCA) เพื่อทำการเลือกวัดรังสีเฉพาะพลังงานของรังสีในช่วงคอมปีตัน จากต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  โดยทำการปรับเทียบระบบให้เลือกวัดรังสีเฉพาะช่วงพลังงานคอมปีตันของ  $^{241}\text{Am}$  ที่ตำแหน่งมุม 135 องศา กับแนวการกระเจิงของรังสีแกมมา ก่อนที่จะทำการทดลองทุกครั้ง ระบบวัดรังสีพลังงานเดี่ยวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

- ก. ชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ามาตรฐาน NIM BIN ของ EG&G ORTEC model 4001C
- ข. แหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์สูง (High Voltage Power Supply) ของบริษัท ORTEC model 456
- ค. หัววัดรังสี ใช้หัววัดรังสีแกมมาแบบเรืองแสงชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) : NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว พร้อมหลอดทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์ (PMT) BICRON model 2M2/2PB

- ง. อุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า อุปกรณ์ขยายสัญญาณหลักและอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (Preamplifier/amplifier/SCA) ของบริษัท ORTEC model 2023
- จ. อุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา (Counter/Timer) ของบริษัท CANBERRA model 1772

หัววัดรังสีจะแปลงความเข้มของรังสีเป็นสัญญาณเชิงอนาล็อก แล้วผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณส่วนหน้า อุปกรณ์ขยายสัญญาณหลักเพื่อขยายสัญญาณและผ่านอุปกรณ์วิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว เพื่อเลือกวัดพลังงานในช่วงคอมป์ตันแล้วจึงแปลงสัญญาณเชิงอนาล็อกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข เพื่อให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่สามารถบันทึกได้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะทำการอ่านค่าการนับรังสีจากอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา



รูปที่ 3.9 แสดงระบบวัดรังสีเฉพาะพลังงาน



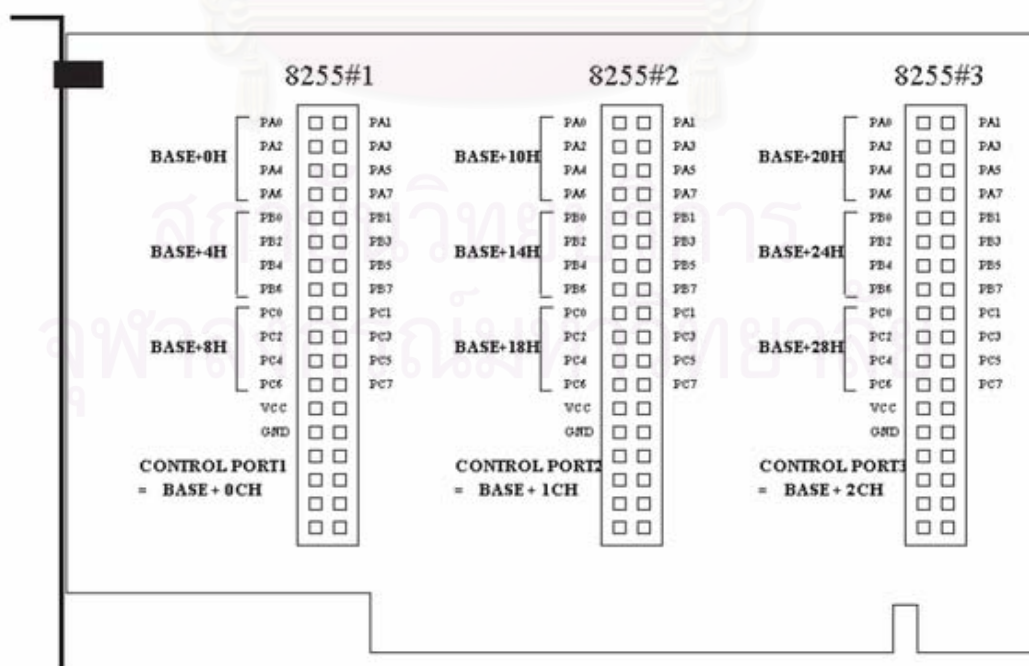
รูปที่ 3.10 แสดงภาพถ่ายของระบบวัดรังสีเฉพาะพลังงาน

### 3.5 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณต่างๆ ระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน ระบบวัดนิวเคลียร์และวงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น โดยอาศัยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการสแกนและการเก็บข้อมูลจากการนับรังสี สำหรับแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นวงจรของบริษัท อีทีที จำกัด model PCI8255 เป็น Card I/O แบบ PCI Bus ที่มาแทนที่ card แบบเดิมที่เป็น ISA Bus ประกอบด้วยพอร์ต 9 พอร์ต ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.12 แสดงลักษณะการใช้งานพอร์ต PCI8255

หลังจากปรับคิวิตซ์เลือก Base Address แล้วนำค่า Base Address ไปบวกกับค่าคงที่ตามรูปที่ 3.12 ก็จะได้หมายเลขพอร์ตดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงหมายเลขพอร์ตเมื่อเลือก Base Address ต่างๆ

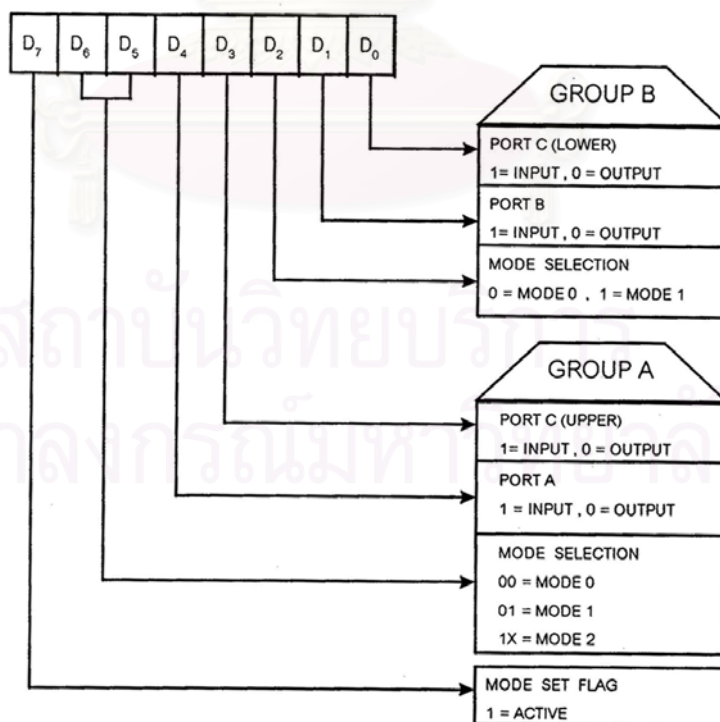
| BASE ADDRESS=F300H |       |         |       |         |       |
|--------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 8255#1             |       | 8255#2  |       | 8255#3  |       |
| PORT A             | F300h | PORT A  | F310h | PORT A  | F320h |
| PORT B             | F304h | PORT B  | F314h | PORT B  | F324h |
| PORT C             | F308h | PORT C  | F318h | PORT C  | F328h |
| CONTROL            | F30Ch | CONTROL | F31Ch | CONTROL | F32Ch |

| BASE ADDRESS=F200H |       |         |       |         |       |
|--------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 8255#1             |       | 8255#2  |       | 8255#3  |       |
| PORT A             | F200h | PORT A  | F210h | PORT A  | F220h |
| PORT B             | F204h | PORT B  | F214h | PORT B  | F224h |
| PORT C             | F208h | PORT C  | F218h | PORT C  | F228h |
| CONTROL            | F20Ch | CONTROL | F21Ch | CONTROL | F22Ch |

| BASE ADDRESS=F100H |       |         |       |         |       |
|--------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 8255#1             |       | 8255#2  |       | 8255#3  |       |
| PORT A             | F100h | PORT A  | F110h | PORT A  | F120h |
| PORT B             | F104h | PORT B  | F114h | PORT B  | F124h |
| PORT C             | F108h | PORT C  | F118h | PORT C  | F128h |
| CONTROL            | F10Ch | CONTROL | F11Ch | CONTROL | F12Ch |



รูปที่ 3.13 ความหมายของบิตต่างๆในรหัสควบคุม

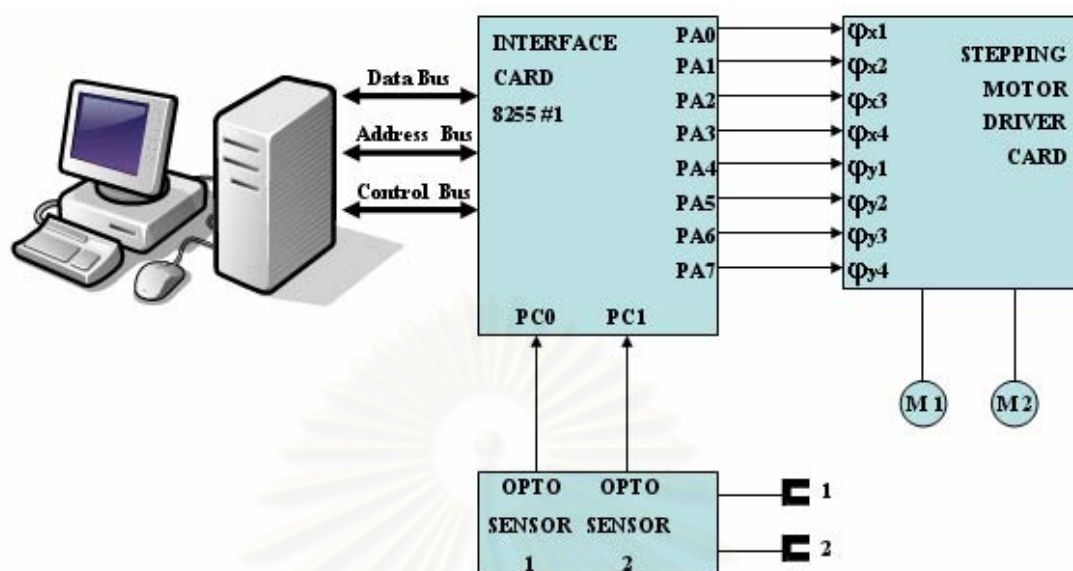
ตารางที่ 3.2 แสดงการจัดพอร์ตต่างๆของแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

| หมายเลขพอร์ต | ขาสัญญาณ | ชนิดสัญญาณ | หน้าที่                             |
|--------------|----------|------------|-------------------------------------|
| F300H        | PA0-PA3  | เอาต์พุต   | ควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ Translation   |
| F300H        | PA4-PA7  | เอาต์พุต   | ควบคุมสเต็ปปีงมอเตอร์ Rotation      |
| F318H        | PC0-PC3  | อินพุต     | รับค่านับรังสีจากขา A,B,C,D ของ C/T |
| F308H        | PC0      | อินพุต     | รับค่าเพื่อตรวจสอบจุดเริ่มต้นแกน X  |
| F308H        | PC1      | อินพุต     | รับค่าเพื่อตรวจสอบจุดเริ่มต้นแกน Y  |
| F318H        | PC6      | อินพุต     | รับสัญญาณ Time Stop จาก C/T         |
| F318H        | PA4      | เอาต์พุต   | ส่งสัญญาณ Start ไปยัง C/T           |
| F318H        | PA5      | เอาต์พุต   | ส่งสัญญาณ Hold ไปยัง C/T            |
| F318H        | PA6      | เอาต์พุต   | ส่งสัญญาณ Print Clock ไปยัง C/T     |
| F318H        | PA7      | เอาต์พุต   | ส่งสัญญาณ Stop/Scan ไปยัง C/T       |

หมายเหตุ C/T = COUNTER/TIMER ORTEC MODEL 1772

### 3.5.1 การเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบขับเคลื่อนชิ้นงานกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

ระบบขับเคลื่อนจะทำงานได้จำเป็นต้องอาศัยสัญญาณคำสั่งต่างๆจากคอมพิวเตอร์ โดยผ่านแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของสเต็ปปีงมอเตอร์โดยอาศัยการกระตุ้นเฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์ในลักษณะของการส่งสัญญาณเป็นลอจิก เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการ โดยการเคลื่อนที่ในแบบ Translation จะส่งสัญญาณผ่านทางพอร์ต PA0-PA3 ของ 8255#1 และการเคลื่อนที่ในแบบ Rotation จะส่งสัญญาณผ่านทางพอร์ต PA4-PA7 ของ 8255#1 ระบบสแกนที่พัฒนาขึ้นนี้จะให้การกระตุ้นแบบสองเฟส (Two phase excitation) เพื่อให้สเต็ปปีงมอเตอร์มีแรงบิดสูงขึ้น ลักษณะการส่งสัญญาณกระตุ้นเฟสของสเต็ปปีงมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.15 และเมื่อเริ่มทำการสแกนเก็บข้อมูล ระบบสแกนจะต้องทำการตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นโดยผ่านวงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นทั้งสองแกนผ่านพอร์ต PC0 และ PC1 ของ 8255#1



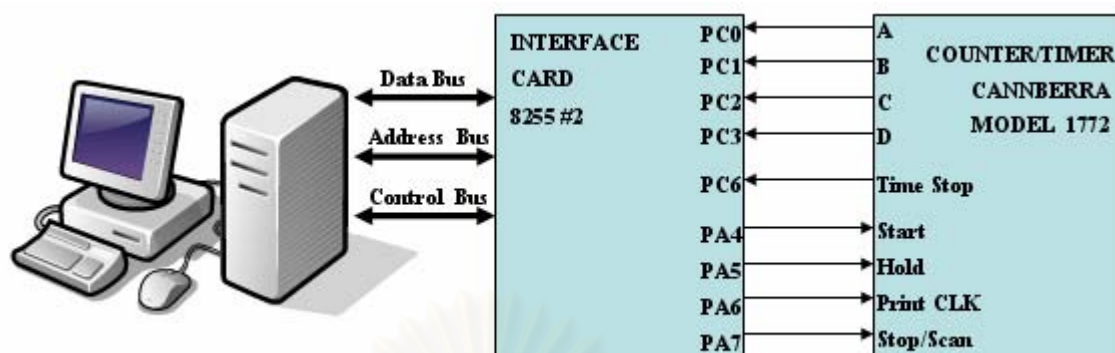
รูปที่ 3.14 แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างชุดขับเคลื่อนชิ้นงาน วงจรตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

| $\phi_1$ | $\phi_2$ | $\phi_3$ | $\phi_4$ |
|----------|----------|----------|----------|
| 1        | 1        | 0        | 0        |
| 0        | 1        | 1        | 0        |
| 0        | 0        | 1        | 1        |
| 1        | 0        | 0        | 1        |

รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะการกระตุ้นสเต็ปมอเตอร์แบบสองเฟส

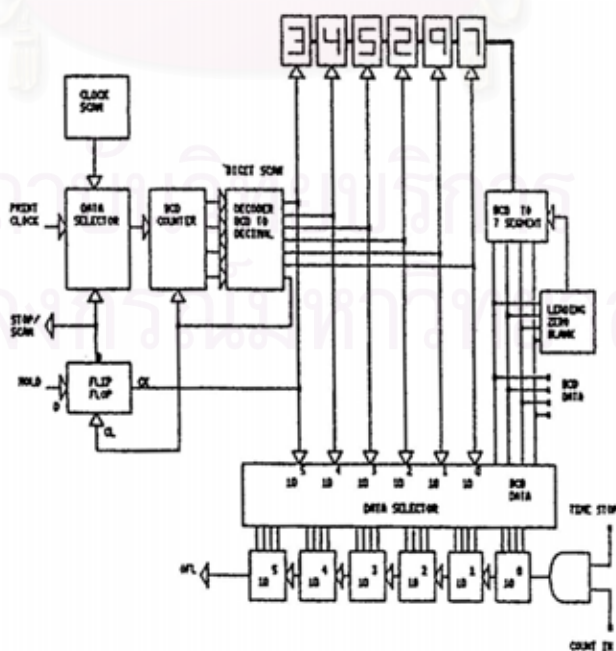
### 3.5.2 การเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบวัดนิวเคลียร์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

ระบบวัดนิวเคลียร์จะอาศัยเครื่องนับรังสีและตั้งเวลาเป็นอุปกรณ์เชื่อมโยงกับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ ดังรูปที่ 3.16



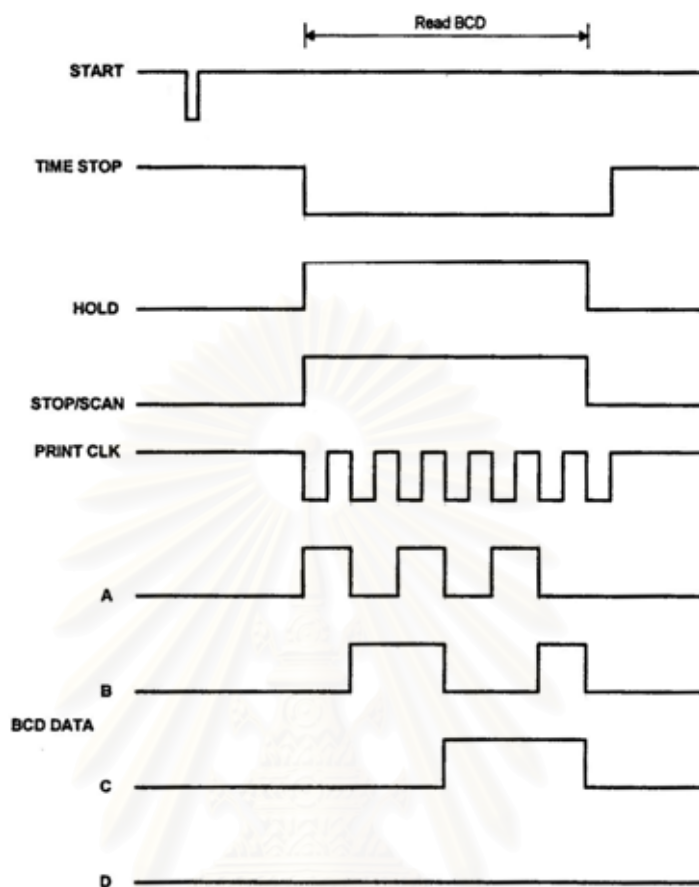
รูปที่ 3.16 แสดงการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างระบบวัดนิวเคลียร์กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

อุปกรณ์นับรังสีจะส่งข้อมูลออกมาในรูปของ BCD (Binary Coded Decimal) จำนวน 6 หลัก โดยมีแผนภาพการทำงานและแผนภาพเวลาของสัญญาณ ดังรูป 3.17 และรูป 3.18 ตามลำดับ เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณลอจิก “0” ให้แก่ขาสัญญาณต่างๆ เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนับรังสี จากนั้นจึงส่งสัญญาณลอจิก “0” ผ่านขา START และขา HOLD อุปกรณ์นับรังสีจะเริ่มทำการนับรังสีและเริ่มจับเวลาในการนับรังสี และจะส่งสัญญาณลอจิก “1” ที่ขา TIME STOP จนครบเวลาที่ตั้งไว้ จากนั้นอุปกรณ์นับรังสีจะส่งลอจิก “0” ที่ขา TIME STOP เพื่อให้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์รับรู้สถานะการทำงาน และจะต้องทำการส่งสัญญาณ PRINT CLOCK ครั้งละ 1 ลูกสัญญาณ เพื่ออ่านค่าและเลื่อนตำแหน่งข้อมูล BCD จนครบ 6 หลัก



รูปที่ 3.17 แผนภาพการทำงานของอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา





รูปที่ 3.18 แผนภาพเวลาของสัญญาณจากอุปกรณ์นับรังสีและตั้งเวลา

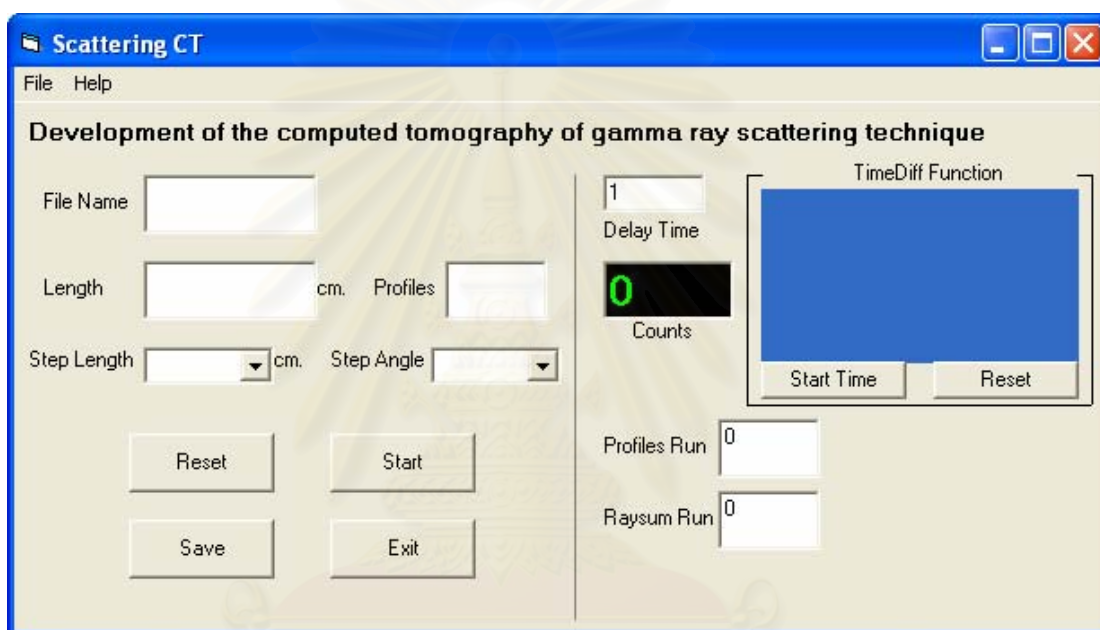
### 3.6 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการสแกนเก็บข้อมูลสำหรับเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมาและการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี รวมทั้งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ให้ทำงานสอดคล้องกัน โดยอาศัยชุดคำสั่งต่างๆ จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นผ่านแผ่นวงจรเชื่อมโยงสัญญาณ

### 3.7 โปรแกรมควบคุมระบบสแกน

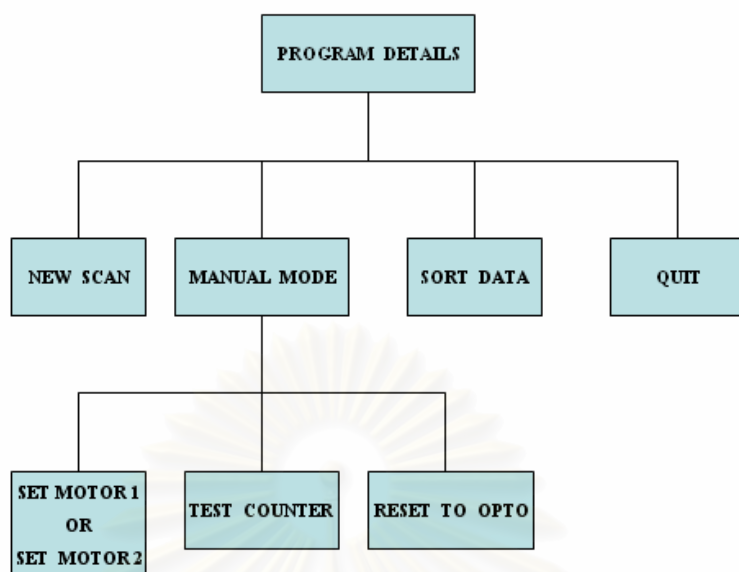
การทำงานของระบบสแกนด้วยการกระเจิงของรังสีเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี นอกจากจะอาศัยระบบต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว ยังมีส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ โปรแกรมควบคุม

การทำงานของระบบขับเคลื่อนและระบบเก็บข้อมูล สำหรับ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ใช้ ภาษา VISUAL BASIC รุ่น 6.0 โดยทำหน้าที่ ควบคุมการเคลื่อนที่ของชิ้นงานไปยังตำแหน่งต่างๆ เพื่อทำการวัดค่ากระเจิงของรังสีแกมมาจากชิ้นงานตัวอย่าง โดยแต่ละตำแหน่งจะส่งคำสั่งให้อุปกรณ์นับรังสีทำการนับรังสี จากนั้นจะแสดงค่าบนหน้าจอคอมพิวเตอร์และเก็บบันทึกลงบนหน่วยความจำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และเพื่อให้สะดวกในการใช้งานจึงได้สร้างฟังก์ชันเมนูหลักขึ้น โดยมีเมนูย่อยต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงเมนูหลักทางหน้าจอของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



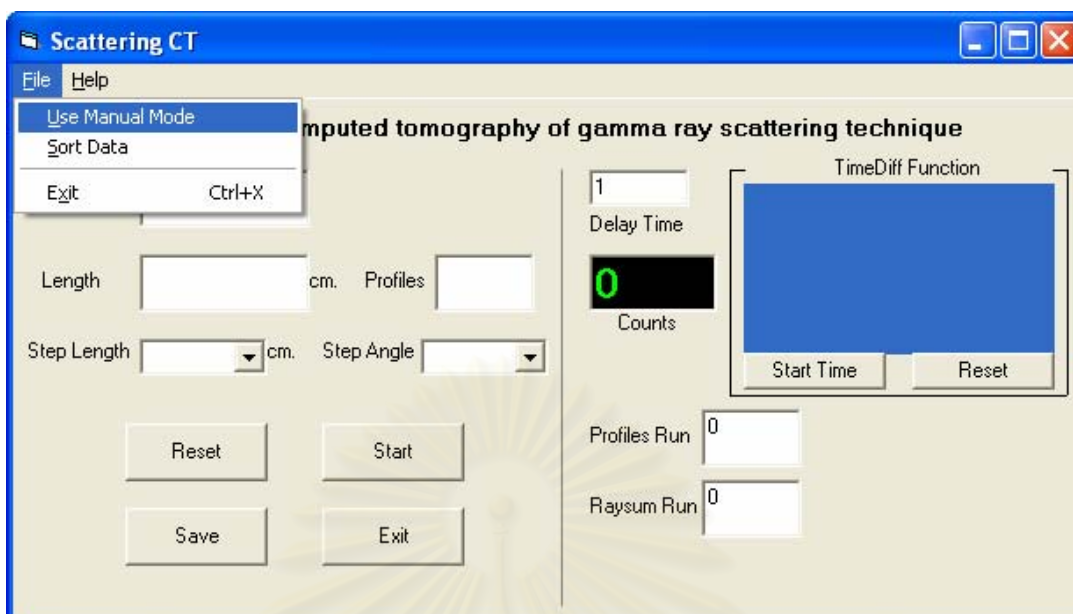
รูปที่ 3.20 แผนผังรายการของเมนูหลักและเมนูย่อยต่างๆของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.20 ซึ่งแสดงโครงสร้างของโปรแกรมควบคุมระบบสแกนเก็บข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 5 ฟังก์ชัน ดังนี้

- ก. ฟังก์ชันเลือกรายการ (File Menu)
- ข. ฟังก์ชันสแกนหาตำแหน่งของการจัดระบบสแกน (Manual Pre-Scan)
- ค. ฟังก์ชันสแกนข้อมูล (New Scan)
- ง. ฟังก์ชันการจัดเรียงข้อมูล (Sort Data)
- จ. ฟังก์ชันช่วยเหลือ (Help)

### 3.7.1 ฟังก์ชันเลือกรายการ

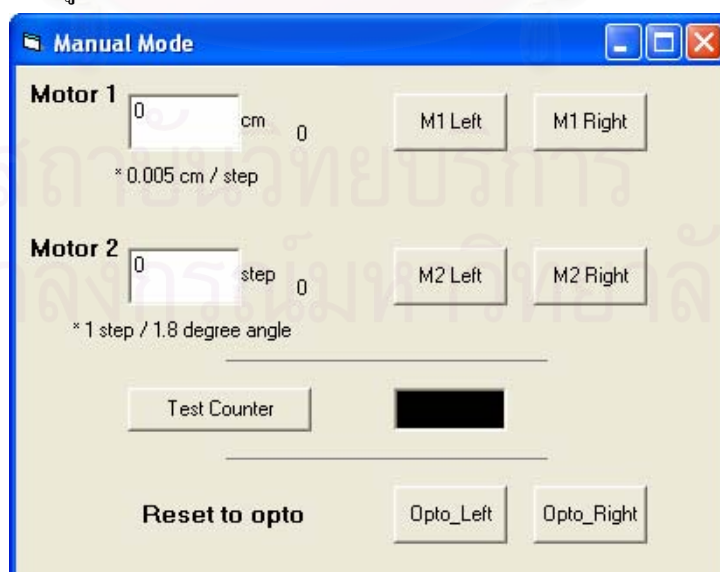
ฟังก์ชันเลือกรายการ เป็นส่วนของโปรแกรมที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเลือกรายการในการทำงานได้สะดวกขึ้น โดยมีรายการต่างๆ ดังรูปที่ 3.21



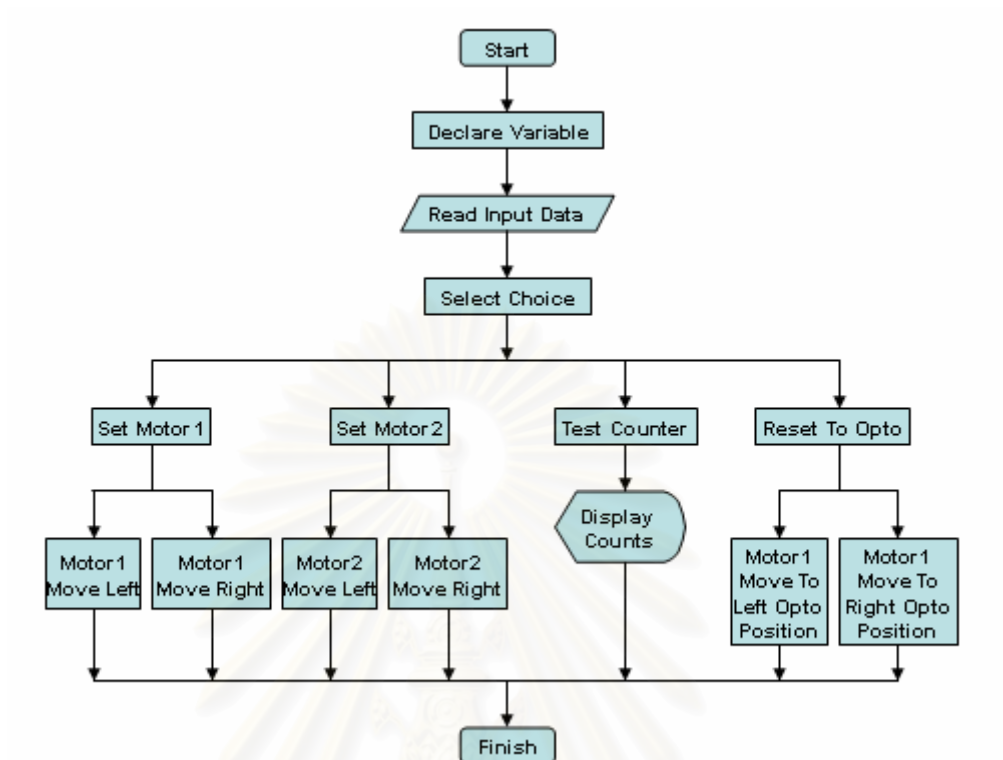
รูปที่ 3.21 แสดงฟังก์ชันเลือกรายการของโปรแกรมบนจอภาพไมโครคอมพิวเตอร์

### 3.7.2 ฟังก์ชันสแกนหาตำแหน่งของการจัดระบบสแกน

ในการสแกนเก็บข้อมูลเพื่อคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี จำเป็นต้องทำการเลือกตำแหน่งที่อยู่ตรงกลางชิ้นงานซึ่งเป็นจุดตัดระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีพอดีเพื่อจัดระบบสแกน โดยฟังก์ชันนี้จะแสดงรายการเพื่อให้ผู้ใช้เลือกทำการขับเคลื่อนระบบได้ทั้งแบบ Translation และแบบ Rotation ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงฟังก์ชันเพื่อเลือกรูปแบบของการขับเคลื่อน

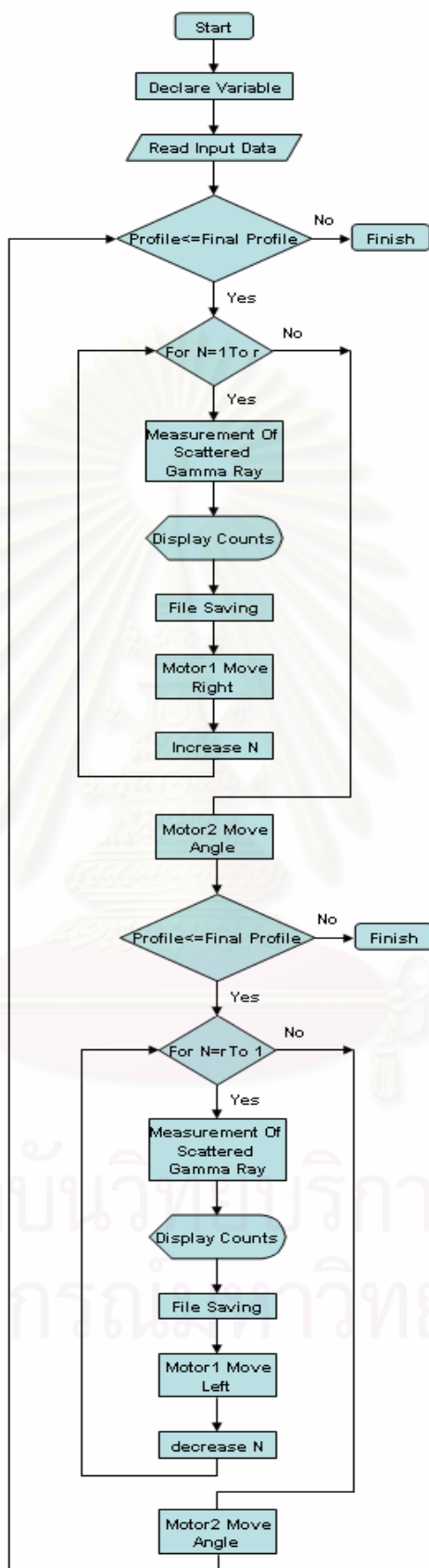


รูปที่ 3.23 Flow chart ของฟังก์ชันสแกนหาตำแหน่งของการจัดระบบสแกน

### 3.7.3 ฟังก์ชันสแกนข้อมูล

ฟังก์ชันสแกนข้อมูล เป็นโปรแกรมส่วนที่ใช้ควบคุมระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน เพื่อทำการสแกนเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยอัตโนมัติและบันทึกค่าของข้อมูลแต่ละตำแหน่งในหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ โดยมีการทำงานตามลำดับ ดังรูปที่ 3.24

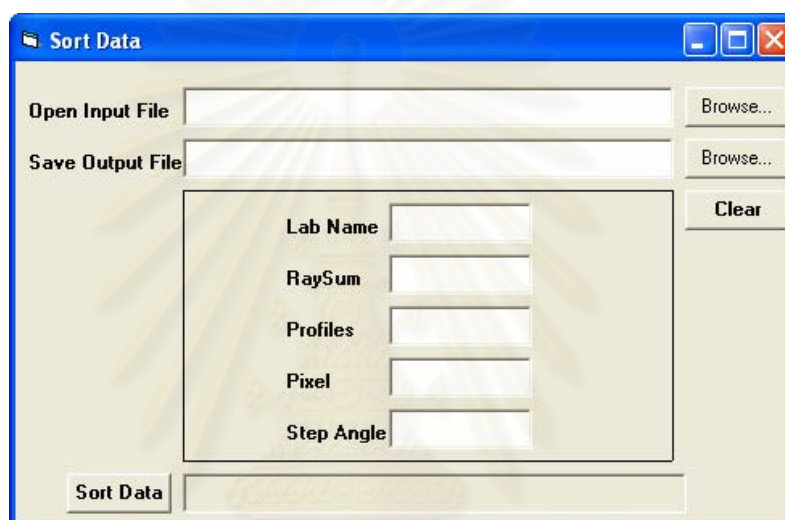
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



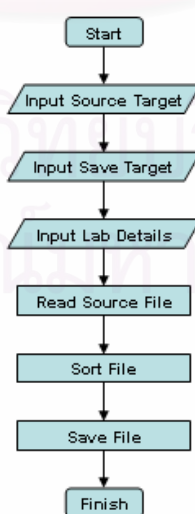
รูปที่ 3.24 Flow chart ของฟังก์ชันสแกนข้อมูล

### 3.7.4 ฟังก์ชันการจัดเรียงข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการสแกนเก็บข้อมูลมีลักษณะเป็นลำดับที่ยังไม่ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะว่าในการสแกนจะเป็นการสแกนไป-กลับ ข้อมูลที่ได้จะมีการสลับตำแหน่งกันอยู่ ฟังก์ชันการจัดเรียงข้อมูลนี้จึงเป็นโปรแกรมที่ช่วยให้มีการกลับตำแหน่งข้อมูลให้ถูกต้อง ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี มีการทำงานดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แสดงฟังก์ชันการจัดเรียงข้อมูล



รูปที่ 3.26 Flow chart ของฟังก์ชันการจัดเรียงข้อมูล

### 3.7.5 ฟังก์ชันช่วยเหลือ

ฟังก์ชันช่วยเหลือ เป็นฟังก์ชันแนะนำผู้ใช้ให้ทำงานแต่ละขั้นตอนอย่างถูกต้องซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.7.5.1 ก่อนทำการสแกนเก็บข้อมูล สามารถทำการ Pre-scan ได้โดยใช้โปรแกรมที่อยู่ในส่วนของ Manual Mode เพื่อทำการปรับตำแหน่งให้เหมาะสมกับการสแกน

3.7.5.2 ใน Normal Mode ให้ใส่ค่าข้อมูลต่างๆให้ครบคือ ใส่ Filename, Length, Profiles, Step length, Step Angle เมื่อใส่ข้อมูลครบถ้วนแล้วจึงเริ่มทำการสแกนโดยกดปุ่ม Start โปรแกรมให้จะทำการ Save file ที่จะเก็บข้อมูลอยู่ในรูป Text file

3.7.5.3 เมื่อโปรแกรมทำการเก็บข้อมูลโปรไฟล์จนครบแล้วจะแสดงข้อความ FINISH!!!

3.7.5.4 ข้อมูลที่ได้จาก 3.7.5.3 เป็นข้อความที่ยังไม่ได้จัดเรียง (เนื่องจากโปรแกรมเก็บข้อมูลไปและกลับ) สามารถนำข้อมูลที่ได้มาเรียงในส่วนของ Sort Data

3.7.5.5 ใน Sort Data Mode ให้ใส่ค่าข้อมูลต่างๆให้ครบคือ Target Input File, Target Output File, Lab Name, Ray-sum, Profiles, Pixel, Step Angle เมื่อใส่ข้อมูลครบแล้วจึงเริ่มทำการจัดเรียงข้อมูลโดยกดปุ่ม Sort Data เมื่อโปรแกรมเรียงเสร็จแล้วจะแสดงข้อความ FINISH!!! หากต้องการจัดเรียงข้อมูลอื่นอีกให้กด Clear ก่อนแล้วจึงทำตามขั้นตอนข้างต้น

3.7.5.6 เมื่อเสร็จกระบวนการข้างต้นแล้วจะได้ไฟล์ข้อมูลที่สามารถนำไปสร้างภาพโทโมกราฟีต่อไป



## บทที่ 4

### วัสดุ อุปกรณ์และการทดสอบระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา

#### 4.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

- 4.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา  $^{241}\text{Am}$  ความแรงรังสี 100 มิลลิวูรี
- 4.1.2 หัววัดรังสีแกมมาแบบซินทิลเลชันชนิดโซเดียมไอโอไดด์ (ทึบเลียม) : NaI (TI) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว พร้อมหลอดทวิคูณอิเล็กทรอนิกส์ (PMT) BICRON model 2M2/2PB
- 4.1.3 ฐานหลอด (Tube base) พร้อมภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier) ORTEC model 276 สำหรับหัววัด NaI (TI) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว ORTEC
- 4.1.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง ( High Voltage Power Supply ) สำหรับหัววัดรังสีแกมมา ORTEC model 556
- 4.1.5 เครื่องวิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analysis : SCA) CANBERRA model 2023
- 4.1.6 เครื่องนับสัญญาณเชิงตัวเลขและตั้งเวลานับ (Counter/Timer) CANBERRA model 1772
- 4.1.7 ภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) ORTEC model 575A
- 4.1.8 NIM BIN และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า EG&G ORTEC model 4001C
- 4.1.9 ไมโครคอมพิวเตอร์
- 4.1.10 สเต็ปป์มอเตอร์และวงจรขับเคลื่อนสเต็ปป์มอเตอร์ (Stepping motor and Stepping motor driver circuit)
- 4.1.11 ระบบสแกนรังสีแกมมา (Gamma-ray scanning system) และตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้นของระบบสแกน
- 4.1.12 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณ (Interface card circuit) สำหรับเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์กับระบบขับเคลื่อน
- 4.1.13 อุปกรณ์บังคับรังสี และกำลังรังสีของต้นกำเนิดรังสีและหัววัด
- 4.1.14 ตัวอย่างชิ้นงานลักษณะต่างๆ

## 4.2 การทดสอบระบบสแกนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา มีปัจจัยต่างๆที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

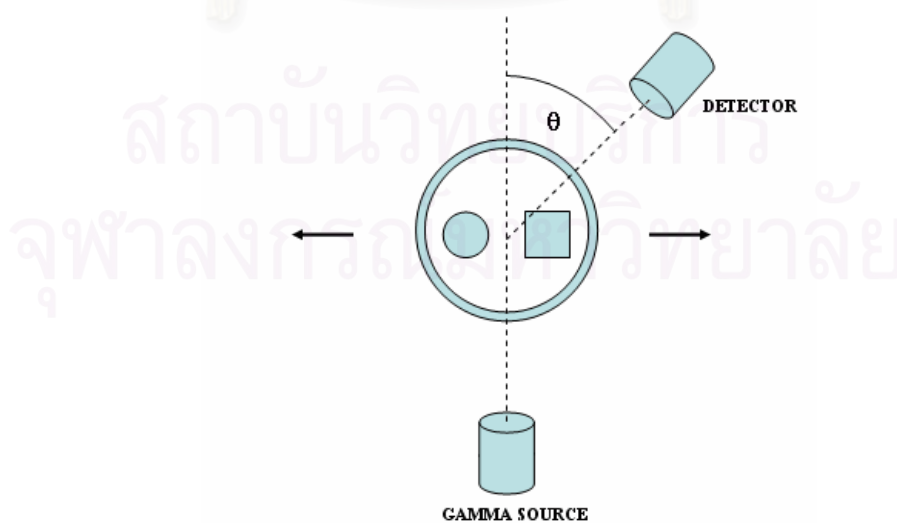
- ก. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตำแหน่งของระบบในการเก็บข้อมูล
- ข. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระยะห่างระหว่างเรย์ซั่ม
- ค. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับจำนวนโปรไฟล์ต่อภาพ โทโมกราฟี
- ง. ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวัสดุที่ประกอบด้วยธาตุหนักและธาตุเบาต่อภาพ โทโมกราฟี

### 4.2.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตำแหน่งของระบบในการเก็บข้อมูล

เนื่องจากระบบสแกนที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบสแกนแบบแยกส่วนระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดรังสี ดังนั้นจึงสามารถปรับวางตำแหน่งของระบบได้อย่างอิสระ ซึ่งจะทำให้สามารถทดสอบเก็บข้อมูลโปรไฟล์ได้ที่มุมต่างๆเพื่อเปรียบเทียบหามุมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบนี้ได้

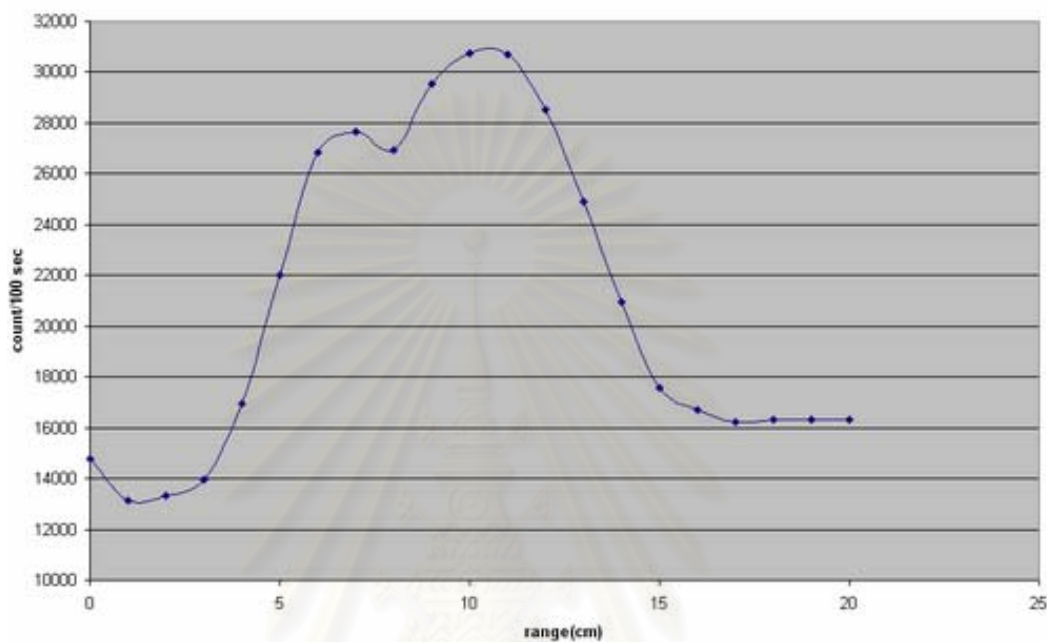
#### 4.2.1.1 การจัดวางมุมสะท้อนที่ตำแหน่ง Forward Scattering

ในการทดลองนี้จัดให้หัววัดรังสีวางทำมุม  $\theta$  กับแนวการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสี แล้วทำการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จำนวน 1 โปรไฟล์ได้ทำการทดลองที่ตำแหน่งดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางตำแหน่งแบบ Forward Scattering

ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อจัดให้หัววัดรังสีวางทำมุม  $45^\circ$  กับแนวการกระเจิง แสดงด้วยกราฟดังรูปที่ 4.2

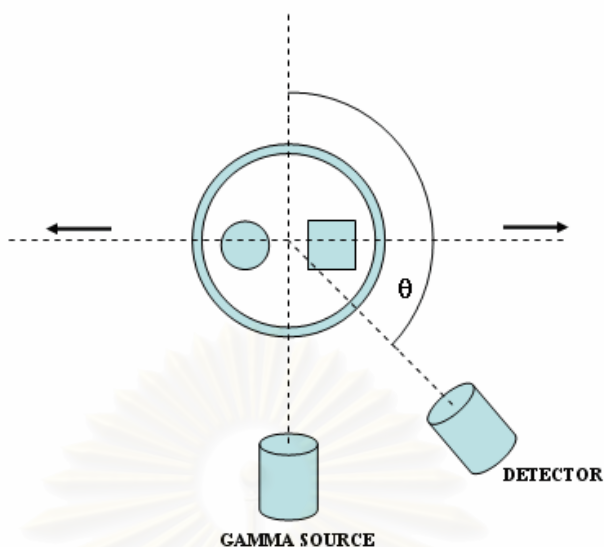


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงโปรไฟล์ของข้อมูลที่มุม  $45^\circ$

#### 4.2.1.2 การจัดวางมุมสะท้อนที่ตำแหน่ง Backward Scattering

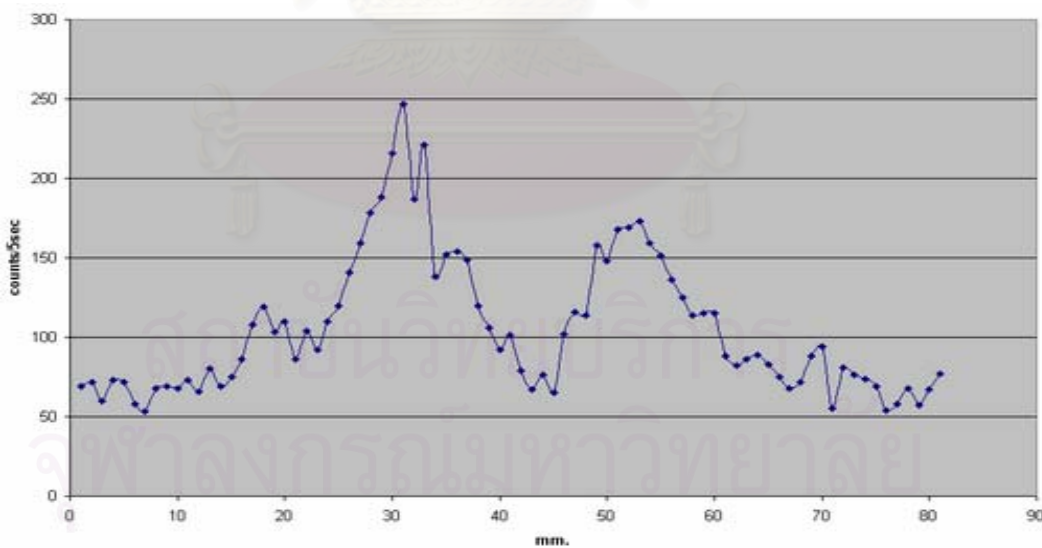
ในการทดลองนี้จัดให้หัววัดรังสีวางทำมุมมากกว่า  $90^\circ$  กับแนวลำรังสีของต้นกำเนิดรังสี แล้วทำการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์จำนวน 1 โปรไฟล์ได้ทำการทดลองที่ตำแหน่งดังรูปที่ 4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงการจัดวางตำแหน่งแบบ Backward Scattering

ผลที่ได้จากการทดลองเมื่อจัดให้หัววัดรังสีวางทำมุม  $135^\circ$  กับแนวการกระเจิง แสดงด้วยกราฟดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงโปรไฟล์ของข้อมูลที่มุม  $135^\circ$

จากกราฟที่มีการจัดวางตำแหน่งทั้ง 2 รูป จะเห็นว่ารูปที่เกิดจากการที่หัววัดรังสีวางทำมุม  $135^\circ$  กับแนวการกระเจิงของรังสีจะให้กราฟที่มีความละเอียดบอกลักษณะ

ความแตกต่างภายในชิ้นงานได้ดีกว่าที่ตำแหน่ง  $45^{\circ}$  เมื่อพิจารณาโดยใช้หลักเกณฑ์นี้แล้วจะเห็นว่าที่ตำแหน่งหัววัดรังสียิ่งใกล้ต้นกำเนิดรังสี จะส่งผลให้การกระเจิงของรังสีมีผลต่อภาพโทโมกราฟี กล่าวคือที่มุม  $135^{\circ}$  มีการกระเจิงกลับของรังสีได้ดี ในขณะที่ตำแหน่งมุม  $45^{\circ}$  ไม่มีความชัดเจนเท่ากับมุม  $135^{\circ}$  ทั้งนี้เนื่องจากการจัดวางในลักษณะนี้จะทำให้มีรังสีสะท้อนบางส่วนที่มีทิศทางกระเจิงสะท้อนเข้าสู่หัววัดรังสีถูกดูดกลืนไปก่อนที่จะตกกระทบหัววัด เนื่องจากชิ้นงานเคลื่อนที่บังลำรังสี จึงทำให้ไม่สามารถใช้ข้อมูลสร้างภาพโทโมกราฟีได้ ที่ตำแหน่งมุม  $45^{\circ}$  นี้จึงไม่เหมาะต่อการเก็บข้อมูลโปรไฟล์ แต่ทั้งนี้เนื่องจากระบบที่ทำการวัดมีขีดจำกัด หัววัดรังสีซึ่งมีตะกั่วกำบังรังสีขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าใกล้ต้นกำเนิดรังสีได้มากกว่านี้ จึงสรุปว่าสำหรับระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ที่ตำแหน่งมุม  $135^{\circ}$  เหมาะสมต่อการเก็บข้อมูลโปรไฟล์มากที่สุด

#### 4.2.1.3 ผลจากการทดลองเก็บข้อมูลโปรไฟล์ก่อนพัฒนาระบบสแกนโดยอัตโนมัติ

ก่อนที่จะมีการพัฒนาระบบสแกนโดยอัตโนมัติได้มีการนำระบบสแกนของที่มีอยู่เดิมมาสแกนเก็บข้อมูลด้วยมือ ทั้งนี้ก็เพื่อพิสูจน์ว่าข้อมูลที่นำมาสร้างภาพสามารถใช้ได้กับโปรแกรมการสร้างภาพแบบที่ใช้การส่งผ่านรังสี โดยทั้งสองชิ้นงานมีการจัดวางมุมระหว่างต้นกำเนิดรังสี Am-241 และหัววัดรังสี NaI(Tl) ที่มุม  $135^{\circ}$  มีระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 0.2 เซนติเมตรเท่ากัน ใช้เวลาเก็บ 5 วินาทีต่อหนึ่งเรย์ซัม และหมุนชิ้นงานทีละ  $5^{\circ}$  จำนวนโปรไฟล์เท่ากับ 36 โปรไฟล์เท่ากัน มีการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องวิเคราะห์รังสีแบบหลายช่อง (MCA) ซึ่งข้อมูลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

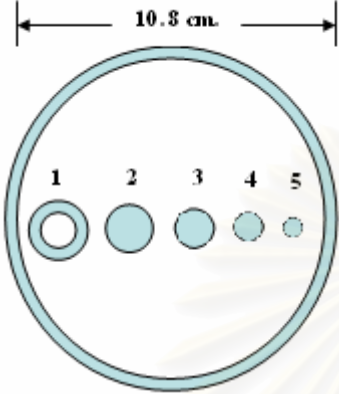
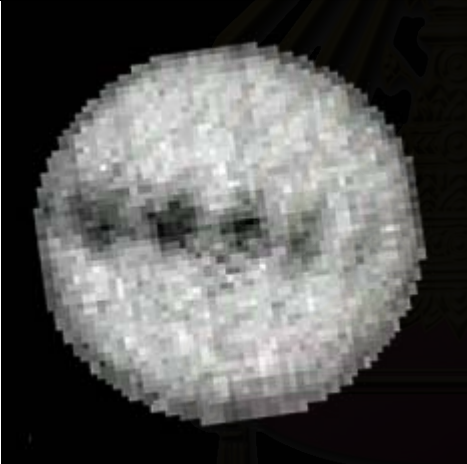
ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของภาพชิ้นงานก่อนพัฒนาระบบชิ้นที่ 1

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ   |
|---|---|
|  <p>The diagram shows a circular workpiece with a diameter of 6.6 cm. Inside the circle, there are two square holes, each with a side length of 6 mm. The holes are positioned symmetrically along a horizontal line through the center of the circle.</p> | <p>ชิ้นงานที่ 1 วัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ขนาด 6.6 เซนติเมตร ภายในเป็นแท่งอะลูมิเนียม สี่เหลี่ยมตันขนาด 6 มม. ทั้ง 2 แท่ง วางตำแหน่ง มาทางขวามือ</p> |
|  <p>The photograph shows the physical workpiece, which is a circular metal ring with two square holes. The holes are positioned symmetrically, matching the diagram above.</p>  | <p>จากภาพจะเห็นชิ้นงานอะลูมิเนียมทั้ง 2 อย่าง ชัดเจนและพอจะเห็นเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม อยู่ใน ตำแหน่งที่ถูกต้องเหมือนกับชิ้นงานจริง</p>             |

ผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 พบว่าการสร้างภาพโทโมกราฟีด้วยเทคนิคการ กระจิงกลับของรังสีแกมมา สามารถประยุกต์ใช้ได้กับโปรแกรมการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี แบบส่งผ่านรังสี ซึ่งจากภาพสามารถเห็นรายละเอียดได้พอสมควร และให้ผลเช่นเดียวกับชิ้นงาน ทดสอบในตารางที่ 4.2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของภาพชิ้นงานก่อนพัฒนาระบบชิ้นที่ 2

| แสดงภาพชิ้นงาน   | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ  |
|--|--|
|   | <p>ชิ้นงานวัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ขนาด 10.8 cm. ภายในเป็นแท่งอะลูมิเนียม 5 แท่งวางเรียงกัน ขนาดของแท่ง Al ทั้ง 5 เป็นดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Al กลวงขนาด 1.3 cm หนา 0.5 cm</li> <li>2. Al ดันขนาด 1 cm</li> <li>3. Al ดันขนาด 0.8 cm</li> <li>4. Al ดันขนาด 0.6 cm</li> <li>5. Al ดันขนาด 0.45 cm</li> </ol> |
|  | <p>จากภาพจะเห็นชิ้นงานอะลูมิเนียมทั้ง 5 แท่ง อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องเหมือนกับชิ้นงานจริง แต่ชิ้นเล็กมองไม่เห็นภาพชัดเจน</p>  |


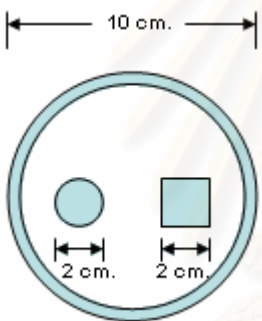
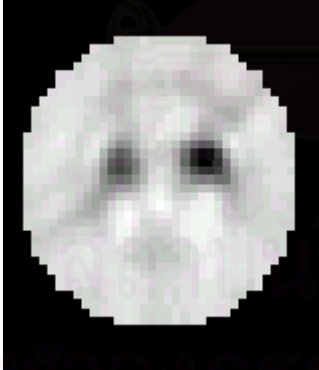
จากนั้นได้พัฒนาระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ด้วยเทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมาโดยอัตโนมัติ และทดสอบสแกนเก็บข้อมูลจากชิ้นงานทดสอบอื่นๆ

#### 4.2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระยะห่างระหว่างเรย์ซัม

ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญภาพโทโมกราฟี ที่ได้จะมีความละเอียดมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเรย์ซัมและจำนวนเรย์ซัมใน 1 โปรไฟล์นั้นๆ ในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบที่ระยะ 0.5 เซนติเมตร และ 0.2 เซนติเมตร ได้ผลดังต่อไปนี้

## 4.2.2.1 ที่ระยะห่างระหว่างเรย์ซั่ม เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร


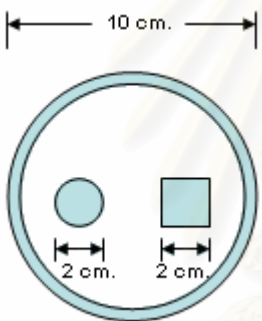

ตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของภาพที่ระยะเรย์ซั่มเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ  |
|---|--|
|    | <p>ชิ้นงานที่ 3 วัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ภายในเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน 2 แท่ง ด้านซ้ายมือเป็นแท่งกลม ด้านขวามือเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดเท่ากัน จัดเรียงในแนวเดียวกัน</p>                                    |
|   | <p>ชิ้นงานที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มีแท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตันขนาด 2 เซนติเมตร และแท่งอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 2 เซนติเมตร วางเรียงกันในพลาสติกทรงกระบอกหนา 1 มิลลิเมตร</p> |
|  | <p>จากภาพจะเห็นแท่งอะลูมิเนียมทั้ง 2 แท่ง แต่ไม่อาจสังเกตเห็นรูปร่างได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะแท่งอะลูมิเนียมด้านขวามือที่เป็นแท่งสี่เหลี่ยม รวมทั้งเกิดริ้วรอยพอสมควร</p>                                |



## 4.2.2.2 ที่ระยะห่างระหว่าง ray-sum เท่ากับ 0.2 เซนติเมตร

ตารางที่ 4.4 แสดงรายละเอียดของภาพที่ระยะเรย์ซัมเท่ากับ 0.2 เซนติเมตร

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ  |
|---|--|
|    | <p>ชิ้นงานที่ 3 วัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ภายในเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน 2 แท่ง ด้านซ้ายมือเป็นแท่งกลม ด้านขวามือเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดเท่ากัน จัดเรียงในแนวเดียวกัน</p>                                    |
|   | <p>ชิ้นงานที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มีแท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตันขนาด 2 เซนติเมตร และแท่งอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 2 เซนติเมตร วางเรียงกันในพลาสติกทรงกระบอกหนา 1 มิลลิเมตร</p> |
|  | <p>จากภาพจะเห็นแท่งอะลูมิเนียมทั้ง 2 แท่ง แต่ไม่อาจสังเกตเห็นรูปร่างได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะแท่งอะลูมิเนียมด้านขวามือที่เป็นแท่งสี่เหลี่ยม สามารถสังเกตเห็นขอบพลาสติกได้ชัดเจนมากขึ้น</p>               |

จะเห็นได้ว่าภาพ โทโมกราฟี ที่สร้างได้จากชิ้นงานที่มีระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 0.2 เซนติเมตร จะให้ภาพที่มีคุณภาพดีกว่าระยะ 0.5 เซนติเมตร แต่ด้วยข้อจำกัดของเวลาทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลโปรไฟล์ที่ระยะ 0.2 เซนติเมตรได้ทุกชิ้น เนื่องจากระบบใช้เวลานานสแกนเก็บข้อมูลแต่ละชิ้นนานเกินไป จึงได้ใช้ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ในการ

สแกนเก็บข้อมูลในครั้งต่อมา และที่ระยะ 0.5 เซนติเมตรภาพโทโมกราฟี ที่ได้มีความละเอียดของภาพพอใช้ได้ จึงเห็นว่าเหมาะสมในการใช้ระยะนี้ในการสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ได้

#### 4.2.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับจำนวนโปรไฟล์ต่อภาพโทโมกราฟี


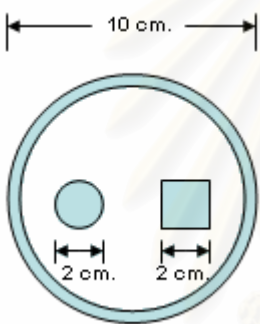
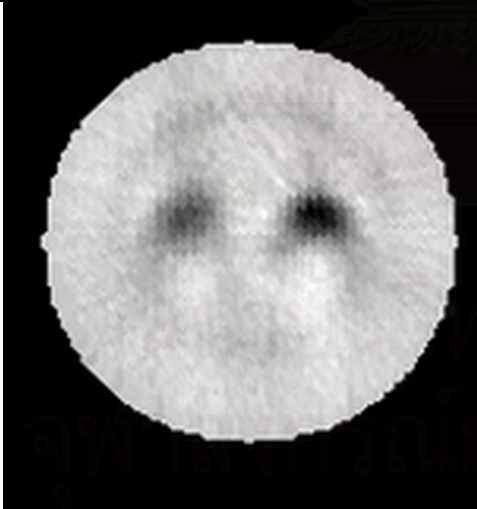
การเพิ่มจำนวนโปรไฟล์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีส่วนช่วยเสริมให้คุณภาพของภาพโทโมกราฟีดีขึ้น ในการทดลองนี้จึงได้เปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นกับจำนวนโปรไฟล์จากการหมุนชิ้นงานตัวอย่างเป็นจำนวนครั้งรอบและการหมุนชิ้นงานตัวอย่างครบรอบ ได้ผลดังต่อไปนี้

##### 4.2.3.1 ผลที่เกิดขึ้นกับจำนวนโปรไฟล์จากการหมุนชิ้นงานตัวอย่างเป็นจำนวนครั้งรอบ

การทดลองนี้ได้ทำการปรับให้มีการหมุนของชิ้นงานด้วยมุมทีละ 3.6 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์ และ หมุนด้วยมุมทีละ 1.8 องศา เป็นจำนวน 100 โปรไฟล์ และมีระยะห่างระหว่าง Ray-sum เท่ากับ 0.2 เซนติเมตรเท่ากัน ได้ผลการทดลองดังนี้


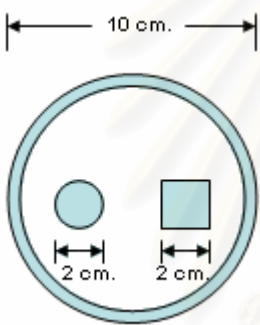
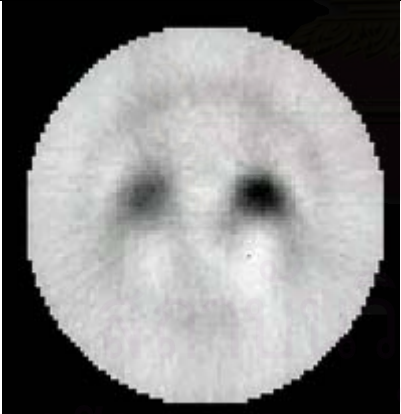
## ก. หมุนด้วยมุมทีละ 3.6 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์

ตารางที่ 4.5 แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อหมุนทีละ 3.6 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ  |
|---|--|
|    | <p>ชิ้นงานที่ 3 วัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ภายในเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน 2 แท่ง ด้านซ้ายมือเป็นแท่งกลม ด้านขวามือเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดเท่ากัน จัดเรียงในแนวเดียวกัน</p>                                    |
|   | <p>ชิ้นงานที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มีแท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตันขนาด 2 เซนติเมตร และแท่งอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 2 เซนติเมตร วางเรียงกันในพลาสติกทรงกระบอกหนา 1 มิลลิเมตร</p> |
|  | <p>จากภาพจะเห็นแท่งอะลูมิเนียมทั้ง 2 แท่ง แต่ไม่อาจสังเกตเห็นรูปร่างได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะแท่งอะลูมิเนียมด้านขวามือที่เป็นแท่งสี่เหลี่ยมสามารถสังเกตเห็นขอบพลาสติกได้ชัดเจน</p>                       |

ข. หมุนด้วยมุมทีละ 1.8 องศา จำนวน 100 โปรไฟล์

ตารางที่ 4.6 แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อหมุนทีละ 1.8 องศา จำนวน 100 โปรไฟล์

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ  |
|---|--|
|    | <p>ชิ้นงานที่ 3 วัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ภายในเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน 2 แท่ง ด้านซ้ายมือเป็นแท่งกลม ด้านขวามือเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดเท่ากัน จัดเรียงในแนวเดียวกัน</p>                                    |
|   | <p>ชิ้นงานที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มีแท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตันขนาด 2 เซนติเมตร และแท่งอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 2 เซนติเมตร วางเรียงกันในพลาสติกทรงกระบอกหนา 1 มิลลิเมตร</p> |
|  | <p>จากภาพจะเห็นแท่งอะลูมิเนียมทั้ง 2 แท่ง แต่ไม่อาจสังเกตเห็นรูปร่างได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะแท่งอะลูมิเนียมด้านขวามือที่เป็นแท่งสี่เหลี่ยมสามารถสังเกตเห็นขอบพลาสติกได้ชัดเจนมากขึ้น</p>                |

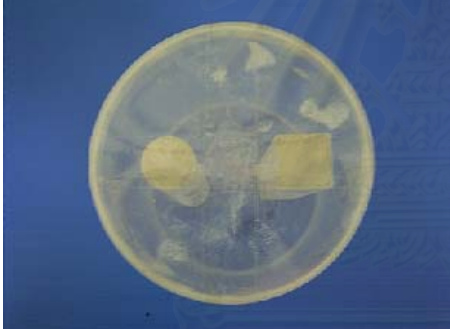
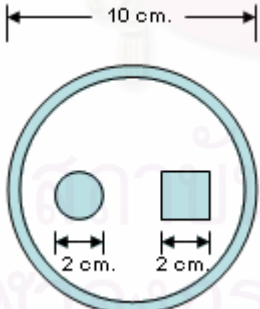
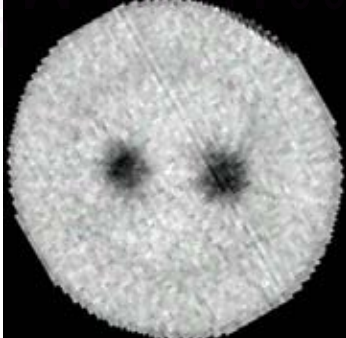
จะเห็นว่าถึงแม้จะเป็นชิ้นงานเดียวกัน แต่จำนวนโปรไฟล์ที่ต่างกันทำให้เกิดภาพโทโมกราฟีที่ต่างกัน ภาพโทโมกราฟีที่จำนวนโปรไฟล์มากกว่าจะให้คุณภาพภาพที่ดีกว่าภาพที่มีจำนวนโปรไฟล์น้อย

4.2.3.2 ผลที่เกิดขึ้นกับจำนวนโปรไฟล์จากการหมุนชิ้นงานตัวอย่างเป็นจำนวนครบรอบ

การทดลองนี้ได้ทำการปรับให้มีการหมุนของชิ้นงานด้วยมุมทีละ 7.2 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์ มีระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 0.2 เซนติเมตรและชิ้นงานเดิมที่หมุนด้วยมุมทีละ 3.6 องศา เป็นจำนวน 100 โปรไฟล์ และมีระยะห่างระหว่าง ray-sum เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ได้ผลการทดลองดังนี้


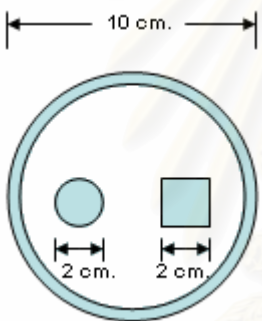

ก. หมุนด้วยมุมทีละ 7.2 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์

ตารางที่ 4.7 แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อหมุนทีละ 7.2 องศาจำนวน 50 โปรไฟล์

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ  |
|---|--|
|   | <p>ชิ้นงานที่ 3 วัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ภายในเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน 2 แท่ง ด้านซ้ายมือเป็นแท่งกลม ด้านขวามือเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดเท่ากัน จัดเรียงในแนวเดียวกัน</p>                                    |
|  | <p>ชิ้นงานที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มีแท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตันขนาด 2 เซนติเมตร และแท่งอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 2 เซนติเมตร วางเรียงกันในพลาสติกทรงกระบอกหนา 1 มิลลิเมตร</p> |
|  | <p>จากภาพจะเห็นแท่งอะลูมิเนียมทั้ง 2 แท่ง แต่สังเกตเห็นรูปร่างได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ไม่สามารถระบุรูปร่างของแท่งขวามือที่เป็นแท่งสี่เหลี่ยมได้ รวมทั้งสังเกตเห็นขอบพลาสติกได้ไม่ชัดเจนนัก</p>           |

ข. หมุนด้วยมุมทีละ 3.6 องศา จำนวน 100 โปรไฟล์

ตารางที่ 4.8 แสดงรายละเอียดของภาพเมื่อหมุนทีละ 3.6 องศา จำนวน 100 โปรไฟล์

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ  |
|---|--|
|    | <p>ชิ้นงานที่ 3 วัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ภายในเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน 2 แท่ง ด้านซ้ายมือเป็นแท่งกลม ด้านขวามือเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดเท่ากัน จัดเรียงในแนวเดียวกัน</p>                                    |
|   | <p>ชิ้นงานที่ 3 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มีแท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตันขนาด 2 เซนติเมตร และแท่งอะลูมิเนียมทรงสี่เหลี่ยมตันขนาด 2 เซนติเมตร วางเรียงกันในพลาสติกทรงกระบอกหนา 1 มิลลิเมตร</p> |
|  | <p>จากภาพจะเห็นแท่งอะลูมิเนียมทั้ง 2 แท่ง แต่สังเกตเห็นรูปร่างได้อย่างชัดเจนมากขึ้น ไม่สามารถระบุรูปร่างของแท่งขวามือที่เป็นแท่งสี่เหลี่ยมได้ รวมทั้งสังเกตเห็นขอบพลาสติกได้ไม่ชัดเจนนัก</p>           |


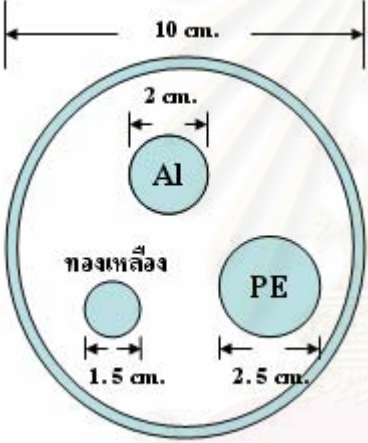
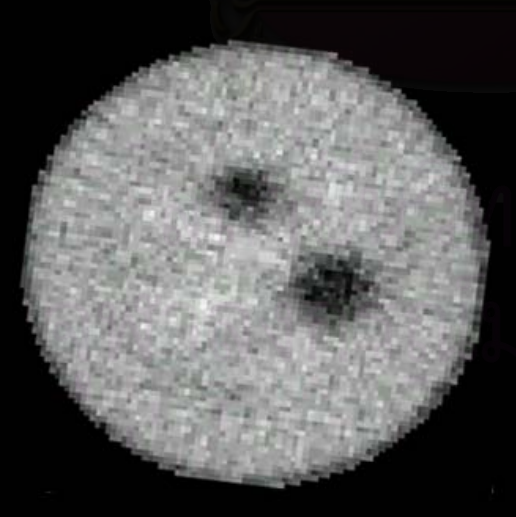
จะเห็นว่าการกำหนดให้ชิ้นงานทดสอบหมุนครบหนึ่งรอบกับครึ่งรอบ โดยเปรียบเทียบระหว่างมุม 7.2 องศา จำนวน 50 โปริไฟล์ และมุม 3.6 องศา จำนวน 50 โปริไฟล์ ตามลำดับ พบว่าภาพโทโมกราฟีจากการสแกนเก็บข้อมูลด้วยมุม 7.2 องศา จำนวน 50 โปริไฟล์ (1 รอบ) ให้รายละเอียดของภาพดีกว่าภาพโทโมกราฟีจากมุม 3.6 องศา จำนวน 50 โปริไฟล์ (ครึ่งรอบ) ดังภาพในตารางที่ 4.7 และ 4.5 ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเห็นว่าการเลือกใช้การหมุนที่มุมทีละ 7.2 องศา จำนวน 50 โปริไฟล์ เหมาะสมต่อระบบนี้

#### 4.2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลจากวัสดุที่ประกอบด้วยธาตุหนักและธาตุเบาต่อภาพโทโมกราฟี

ในการทดลองนี้ได้ทดลองเก็บข้อมูลโปริไฟล์จากการที่ชิ้นงานมีวัสดุอยู่ภายใน ประกอบด้วยธาตุหนักและธาตุเบา เพื่อทดสอบหาความเป็นไปได้ของการกระเจิงกับชิ้นงานต่างๆ ได้ผลการทดลองดังนี้

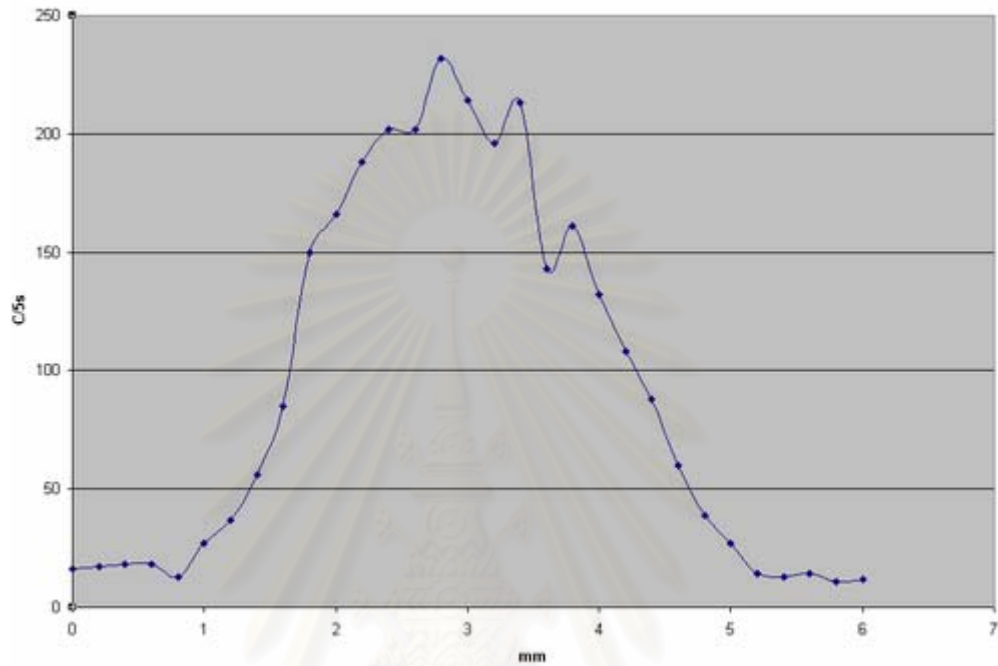
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดของภาพที่ประกอบด้วยวัตถุ 3 ชิ้น

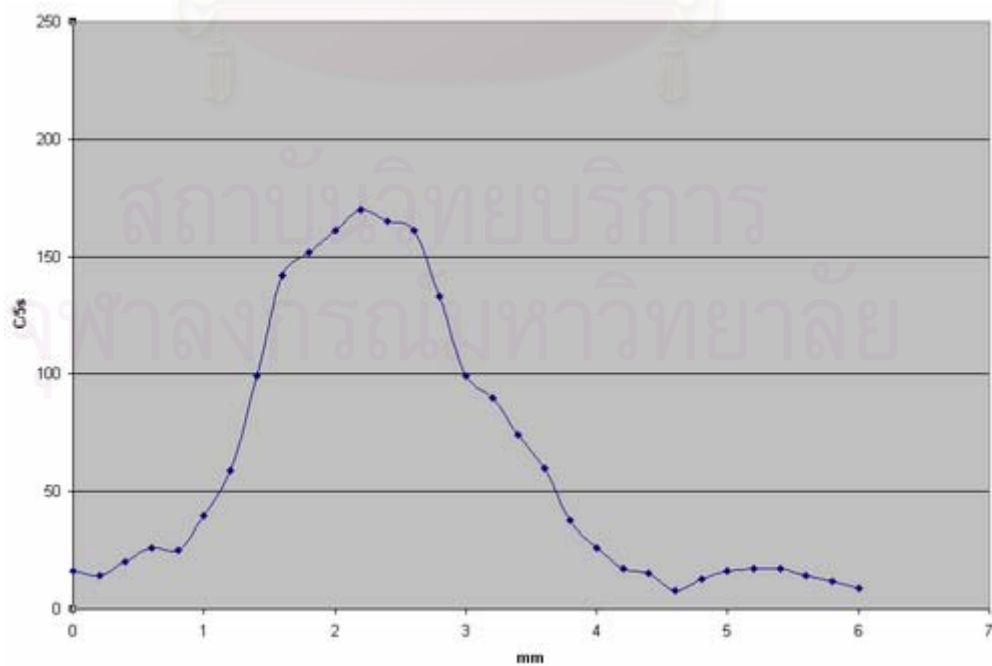
| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ   |
|---|---|
|    | <p>ชิ้นงานที่ 4 วัสดุรอบนอกเป็นพลาสติก ภายในประกอบด้วยแท่งทองเหลืองทรงกระบอกตัน แท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตัน และแท่ง PE ทรงกระบอกตัน จัดวางเป็นลักษณะสามเหลี่ยม</p>  |
|   | <p>ชิ้นงานที่ 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ประกอบด้วยแท่งอะลูมิเนียมทรงกระบอกตันขนาด 2 เซนติเมตร แท่ง Polyethylene ทรงกระบอกตันขนาด 2.5 เซนติเมตร และแท่งทองเหลืองทรงกระบอกตันขนาด 1.5 เซนติเมตร วางเรียงกันในพลาสติกทรงกระบอกหนา 1 มิลลิเมตร</p> |
|  | <p>จากรายละเอียดที่เห็นในภาพจะพบวัตถุเพียง 2 ชนิด คือ แท่งโพลีเอทิลีน และแท่งอะลูมิเนียม ส่วนทองเหลืองไม่สามารถสังเกตเห็นได้ รวมทั้งไม่สามารถสังเกตเห็นขอบพลาสติก</p>   |



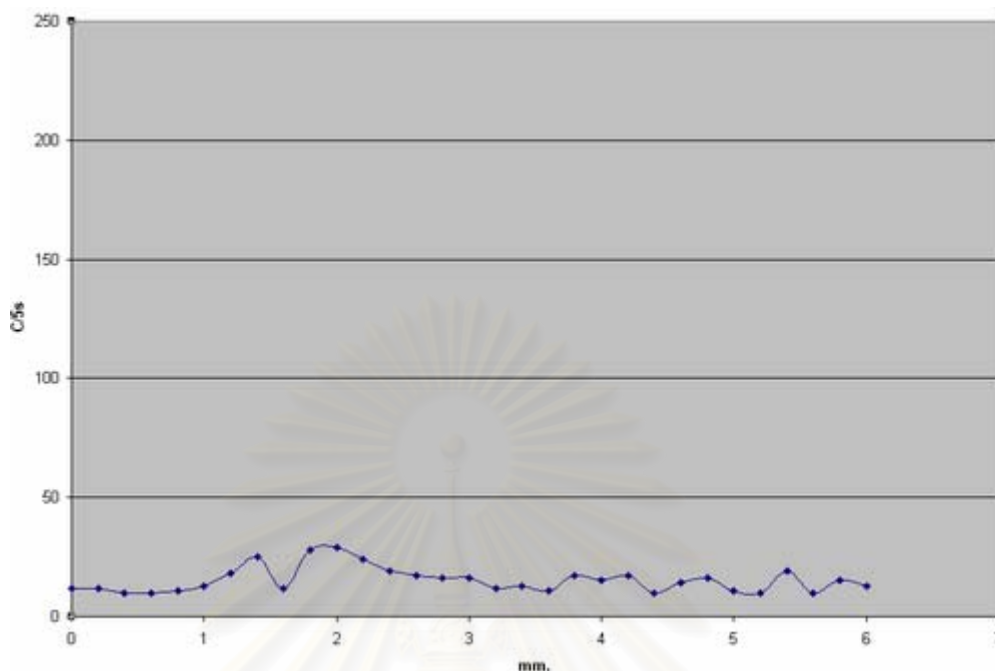
ในที่นี้เพื่อเป็นการยืนยันจากผลที่ได้ จึงได้ทำการทดลองสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์ของแท่งวัตถุชิ้นงานแต่ละชนิดได้แก่ โพลีเอทิลีน อะลูมิเนียม และทองเหลืองดังแสดงในรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลโปรไฟล์จากแท่งโพลีเอทิลีน



รูปที่ 4.6 แสดงข้อมูลโปรไฟล์จากแท่งอะลูมิเนียม



รูปที่ 4.7 แสดงข้อมูลโปรไฟล์จากแท่งทองเหลือง

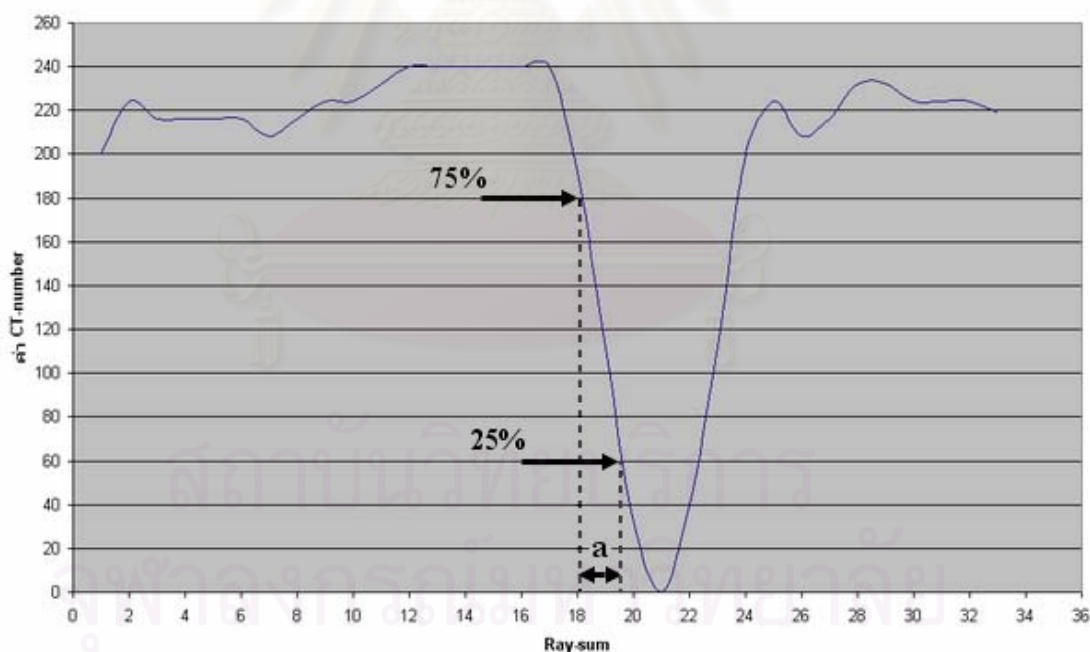
จากรูปที่ 4.5-4.7 พบว่าการกระเจิงกลับของแท่งโพลีเอทิลีนมีมากที่สุด รองลงมาคือแท่งอะลูมิเนียม และน้อยที่สุดคือแท่งทองเหลือง

จากภาพโทโมกราฟีที่ได้พบว่ามีภาพวัตถุอยู่เพียง 2 ชนิด คือ โพลีเอทิลีน ( $Z \approx 1.2$ ) และอะลูมิเนียม ( $Z = 13$ ) ส่วนทองเหลือง ( $Z \approx 29$ ) นั้นจะไม่ปรากฏ จึงพอสรุปได้ว่าธาตุที่มีค่าเลขอะตอมน้อยจะเกิดการสะท้อนกลับของรังสีแกมมาสูงกว่าธาตุที่มีค่าเลขอะตอมมาก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 4.3 การทดสอบคุณภาพของภาพ โทโมกราฟี ด้วยวิธี Edge Spread Function

วิธีที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีมีด้วยกันหลายวิธี และวิธี Edge Spread Function ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้หาค่า ธิโซลูชัน (Resolution) ของระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยอาศัยโปรไฟล์ของข้อมูล CT-number จากตำแหน่งของขอบชิ้นงานทดสอบในภาพโทโมกราฟี จากนั้นหาจำนวนเรย์ซัมที่ค่า CT-number เพิ่มขึ้นจาก 25% ไปถึง 75% ซึ่งค่า Resolution มีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนเรย์ซัมที่เพิ่มขึ้นคูณกับค่า Pixel Interval (สำหรับระบบนี้ค่า Pixel Interval มีค่าเท่ากับ 0.5 มม.ต่อเรย์ซัม) การทดลองอาศัยชิ้นงานที่ 1 ซึ่งเป็นแท่งอะลูมิเนียมตัน 2 แท่ง ขนาดเท่ากันทั้ง 2 แท่ง โดยที่แท่งหนึ่งเป็นทรงกระบอก อีกแท่งเป็นทรงสี่เหลี่ยม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2 เซนติเมตร โปรไฟล์ของข้อมูล CT-number จากภาพโทโมกราฟีชิ้นงานที่ 1 มีระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร หมุนด้วยมุมที่ละ 7.2 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์แสดงดังรูป 4.8

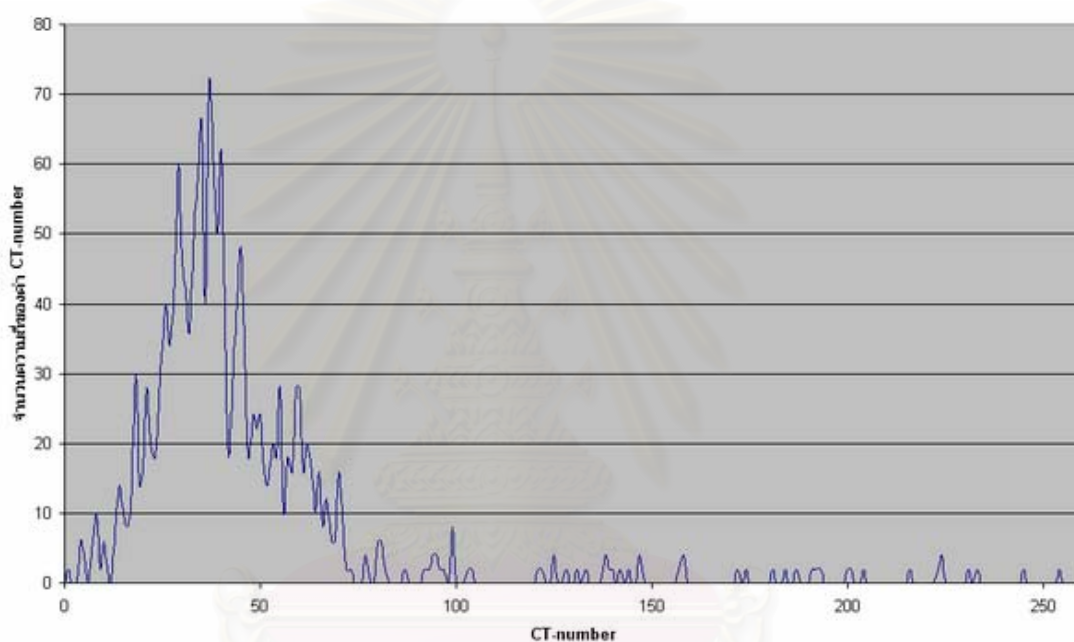


รูปที่ 4.8 โปรไฟล์ของการทดสอบสำหรับวิธี Edge Spread Function

จากโปรไฟล์ในรูปที่ 4.6 จำนวนเรย์ซัมที่ค่า CT-number เพิ่มจาก 25% ไปถึง 75% ประมาณ 2 เรย์ซัม ค่า Resolution ของระบบที่ได้จากวิธี Edge Spread Function มีค่าประมาณ 1 เซนติเมตร

#### 4.4 การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยกราฟ PDF

การทดสอบคุณภาพของภาพโทโมกราฟีด้วยกราฟ PDF ในการทดลองนี้ใช้ระบบเก็บข้อมูลภาพแบบเส้นเดียว จากนั้นนำข้อมูล CT-number จากภาพโทโมกราฟีมาขึ้นงานที่ 1 ซึ่งมีระยะห่างระหว่างเรย์ซั้มเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร หมุนด้วยมุมทีละ 3.6 องศา จำนวน 100 โปรไฟล์ มาเขียนเป็นกราฟ PDF จะได้กราฟดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟ PDF ของภาพโทโมกราฟี

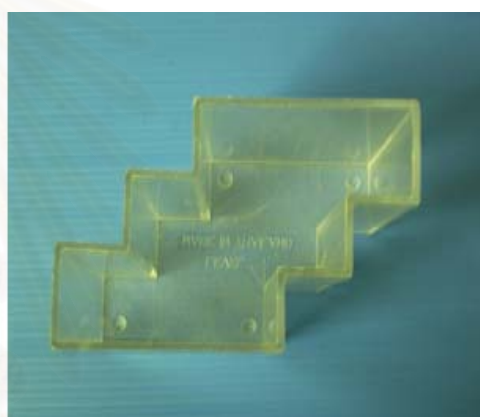
จากผลการทดลองมีการกระจายตัวของข้อมูล CT-number โดยอาศัยข้อมูลจากกราฟ PDF ภาพโทโมกราฟีที่ได้พบว่าข้อมูลภาพแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคืออากาศและวัตถุ ซึ่งส่วนที่เป็นอากาศจะมีช่วงค่า CT-number อยู่ระหว่าง 0-75 สำหรับค่า CT-number ของอะลูมิเนียมมีค่าอยู่ระหว่าง 225-230 แต่เนื่องจากมีความถี่ของข้อมูลน้อยจึงสังเกตได้ไม่ชัดเจน

#### 4.5 การทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทางอุตสาหกรรมบางชนิด

ชิ้นงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในการทดลองนี้มี 3 ชิ้น ชิ้นแรกคือลูกสูบรถจักรยานยนต์ทำจากโลหะชนิดเดียว มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.9 เซนติเมตร สูง 6.2 เซนติเมตร มีรูตรงกลางชิ้นงาน ชิ้นงานที่สองคือโครงพลาสติกมีรูปทรงลักษณะขั้นบันไดกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 2 มิลลิเมตร ชิ้นงานที่สามเป็นท่อ PVC กลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร ภาพของสองชิ้นงานแรกแสดงไว้ดังรูปที่ 4.10



ลูกสูบรถจักรยานยนต์


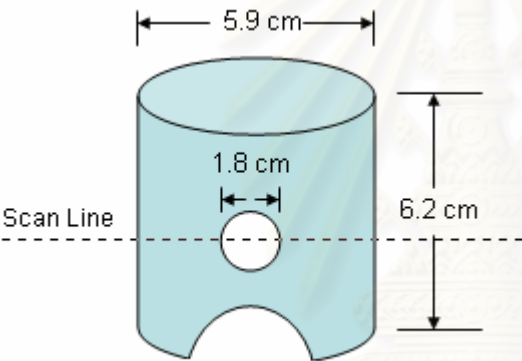



ชิ้นงาน โครงพลาสติกรูปขั้นบันได

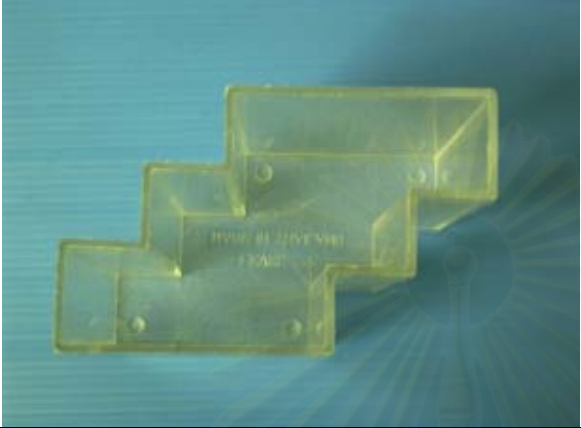
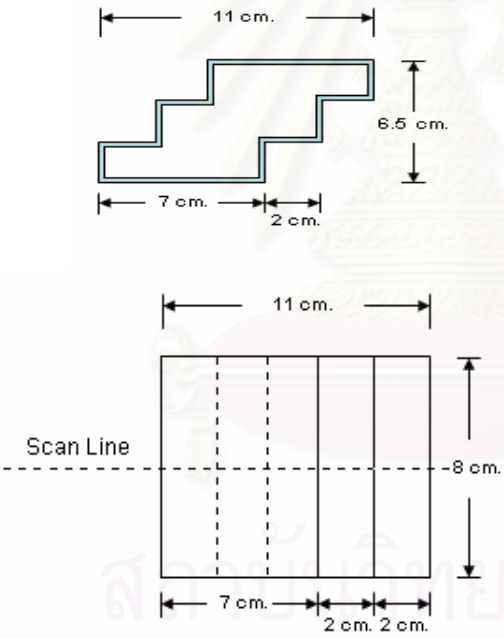
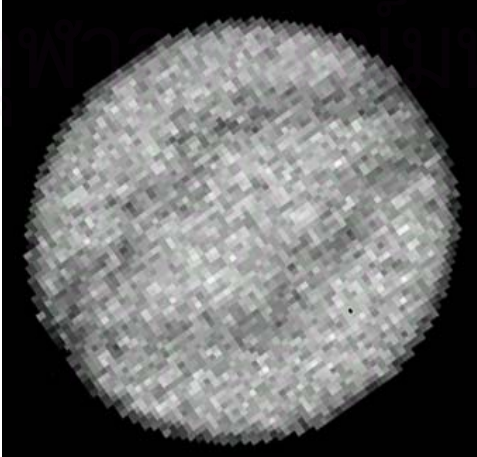
รูปที่ 4.10 แสดงภาพชิ้นงานทางอุตสาหกรรมบางชนิด

การเก็บข้อมูลสำหรับสร้างภาพโทโมกราฟีของชิ้นงานทางอุตสาหกรรมสองชิ้นงานแรกจะมีการหมุนชิ้นงานทดสอบด้วยมุมครึ่งละ 7.2 องศา จำนวน 50 โปรไฟล์ ที่ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 0.2 เซนติเมตร ผลการสร้างภาพโทโมกราฟีของทั้งสองดังอย่างแสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11 ส่วนชิ้นงานที่สามจะมีการหมุนชิ้นงานด้วยมุมครึ่งละ 3.6 องศา จำนวน 100 โปรไฟล์ ที่ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 0.2 เซนติเมตร ผลการสร้างภาพแสดงดังตารางที่ 4.12

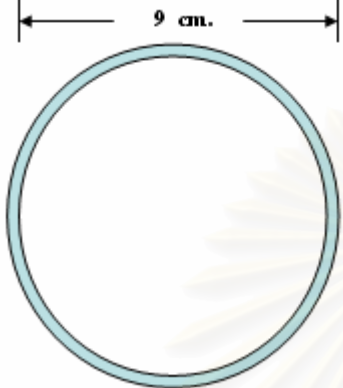
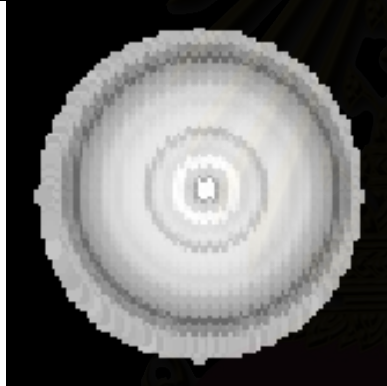
ตารางที่ 4.10 แสดงรายละเอียดของชิ้นงานอุตสาหกรรมชิ้นที่ 1

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ   |
|---|---|
|    | <p>ชิ้นงานที่ 5 เป็นลูกสูบทำจากโลหะชนิดเดียวมีรูตรงกลาง</p>   |
|   | <p>ชิ้นงานที่ 5 เป็นลูกสูบขนาด 5.9 เซนติเมตร สูง 6.2 เซนติเมตร มีรูตรงตำแหน่งกลางขนาด 1.8 เซนติเมตร สามารถมองทะลุได้</p>  |
|  | <p>จากรายละเอียดที่เห็นในภาพจะพบว่า มีรายละเอียดชัดเจนพอสมควร และเนื่องจากการสแกนผ่านแนวตรงกลางรูของชิ้นงานภาพที่ได้จึงเห็นรูตรงกลางที่รังสีทะลุผ่านได้พอดี</p> |

ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดของชิ้นงานอุตสาหกรรมชิ้นที่ 2

| แสดงภาพชิ้นงาน  | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ   |
|---|---|
|    | <p>ชิ้นงานที่ 6 เป็น โครงพลาสติกกลวงรูปขั้นบันได</p>  |
|   | <p>ชิ้นงานที่ 6 เป็น โครงพลาสติกรูปขั้นบันไดกลวงขนาด 11 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร ดังรูป</p> |
|  | <p>จากรายละเอียดที่เห็นในภาพจะพบว่า มีรายละเอียดชัดเจนพอสมควร มองเห็นเป็นรูปขั้นบันไดแม้ขอบจะไม่ชัดเจนนัก</p>   |

ตารางที่ 4.12 แสดงรายละเอียดของชิ้นงานอุตสาหกรรมชิ้นที่ 3

| แสดงภาพชิ้นงาน   | รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ  |
|--|--|
|  <p>A diagram of a circular PVC ring. A horizontal dimension line above the ring indicates a diameter of 9 cm.</p>  | <p>ชิ้นงานที่ 6 เป็นท่อ PVC กลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร และหนา 0.5 เซนติเมตร</p>                 |
|  <p>A grayscale image of the PVC ring, showing concentric circular patterns and some noise, likely from a Fourier transform or similar image processing technique.</p> | <p>จากรายละเอียดที่เห็นในภาพจะพบว่า มีรายละเอียดชัดเจนพอสมควร สามารถสังเกตเห็นขอบของชิ้นงาน แต่เกิดรบกวนบริเวณตรงกลางภาพ</p> |

จากภาพโทโมกราฟีของตัวอย่างชิ้นงานอุตสาหกรรมที่ยกมาสามารถมองเห็นได้ชัดเจนพอสมควรทั้งสามชิ้นงาน แต่คุณภาพของภาพยังไม่มีความคมชัดมากพอ ถ้าปรับความละเอียดให้มีจำนวนโปรไฟล์มากขึ้น ภาพที่ได้จะมีความละเอียดมากกว่าเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### สรุป วิจารณ์ผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบสแกนสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา พอสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.1.1.1 ระบบสแกน ประกอบด้วยชุดขับเคลื่อนและหมุนชิ้นงานตัวอย่าง ควบคุมด้วยระบบเชื่อมโยงสัญญาณผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น

5.1.1.2 ระบบวัดรังสี ประกอบด้วยหัววัดรังสี NaI(Tl) ขนาด 2 นิ้ว x 2 นิ้ว ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Am-241 ตะกั่วกำบังรังสีและชุดวัดรังสี

5.1.2 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Visual Basic 6.0 มีหน้าที่ดังนี้

5.1.2.1 ควบคุมการหมุนของสเต็ปมิ่งมอเตอร์ โดยการส่งสัญญาณควบคุมผ่านทางวงจรเชื่อมโยงสัญญาณที่เชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์

5.1.2.2 เก็บข้อมูลของชิ้นงานในแบบอัตโนมัติ

5.1.3 ในการจัดระบบสแกนเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยจัดวางให้มีการสะท้อนรังสีแบบ Forward Scattering และ Backward Scattering พบว่าการจัดระบบแบบ Forward Scattering นั้นจะมีรังสีสะท้อนบางส่วนถูกดูดกลืนภายในชิ้นงาน เนื่องจากการเคลื่อนที่ของชิ้นงานบังแนวสะท้อนกลับของรังสี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกจัดวางระบบการสะท้อนแบบ Backward Scattering เพื่อหลีกเลี่ยงการเคลื่อนที่บังแนวรังสี

5.1.4 การเก็บข้อมูลด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี ใช้เวลาเก็บข้อมูลประมาณ 12 ชั่วโมง จากข้อมูลจำนวน 50 โปรไฟล์ซึ่งมีการหมุน 7.2 องศา และมีระยะห่างระหว่างเรย์ซัมเท่ากับ 0.2 เซนติเมตร

5.1.5 การเปรียบเทียบระหว่างการเก็บข้อมูลโปรไฟล์โดยกำหนดให้ชิ้นงานหมุนครึ่งรอบและครบรอบ พบว่าภาพที่ได้มีรายละเอียดแตกต่างกัน เนื่องจากภาพโทโมกราฟีจากการเก็บข้อมูลโปรไฟล์เพียงครึ่งรอบให้รายละเอียดที่น้อยกว่า เพราะการกระเจิงกลับของรังสีแกมมาด้านที่อยู่ตรงข้ามของชิ้นงานจะถูกดูดกลืนภายในชิ้นงานไปส่วนหนึ่งก่อนที่จะผ่านออกมาสู่หัววัดรังสี ดังรูปในตารางที่ 4.5 และ 4.6 สำหรับข้อมูลโปรไฟล์ที่สแกนเก็บครบหนึ่งรอบนั้นให้ภาพโทโมกราฟีที่ดีกว่า เพราะการหมุนของชิ้นงานครบหนึ่งรอบจะทำให้ทุกด้านของชิ้นงานสะท้อนรังสีเท่าเทียมกัน ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

5.1.6 จำนวนโปรไฟล์มีผลต่อภาพโทโมกราฟี กล่าวคือจากภาพโทโมกราฟีที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนโปรไฟล์ส่งผลให้ภาพที่ได้มีรายละเอียดดีกว่าและมีริ้วรอย (artifacts) บนภาพน้อยลง แต่ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลที่นานขึ้น ซึ่งการเพิ่มจำนวนโปรไฟล์จาก 50 โปรไฟล์ เป็น 100 โปรไฟล์ ภาพโทโมกราฟีที่ได้มีความแตกต่างกันแต่ใช้เวลานานกว่าเป็นสองเท่า ดังนั้นการทดสอบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการเก็บข้อมูลครั้งละ 50 โปรไฟล์ โดยทำการหมุนวัตถุด้วยมุมทีละ 7.2 องศา

5.1.7 ระยะห่างระหว่างเรย์ซัมมีผลต่อภาพโทโมกราฟี กล่าวคือจากภาพโทโมกราฟีที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเลือกระยะห่างระหว่างเรย์ซัมให้มีความละเอียดขึ้นส่งผลให้ภาพที่ได้มีรายละเอียดดีกว่าและคมชัดกว่า แต่ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลที่นานขึ้น ซึ่งการปรับความละเอียดของระยะห่างระหว่างเรย์ซัมจาก 0.5 เซนติเมตรเป็น 0.2 เซนติเมตร ภาพโทโมกราฟีที่ได้มีความแตกต่างกัน รวมทั้งเวลาที่ใช้ก็มากกว่า ดังนั้นการทดสอบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการเก็บข้อมูลด้วยระยะห่างระหว่างเรย์ซัมที่ 0.5 เซนติเมตร

5.1.8 จากการทดสอบพบว่าระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟี โดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมาที่พัฒนาขึ้นมีค่ารีโซลูชัน ประมาณ 1 เซนติเมตร

5.1.9 จากการทดลองสร้างภาพโทโมกราฟีของวัตถุที่มีเลขมวลต่างชนิดกันพบว่าวัตถุชิ้นงานที่ประกอบด้วยเลขมวลที่มีค่ามากจะมีการกระเจิงกลับของรังสีแกมมาน้อย ในทางตรงกันข้ามวัตถุชิ้นงานที่มีเลขมวลต่ำจะมีการกระเจิงกลับของรังสีแกมมามากกว่า ดังนั้นภาพโทโมกราฟีจากเทคนิคการกระเจิงกลับของรังสีแกมมาจึงแสดงภาพของวัตถุที่มีเลขมวลต่ำได้ดี

## 5.2 วิจัยผลการวิจัย

5.2.1 เวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลก่อนข้างนาน ภาพโทโมกราฟีที่สร้างขึ้นได้ถูกจำกัดด้วยเวลา กล่าวคือข้อมูลที่ได้อาจละเอียดสมบูรณ์มีระยะเวลาในการเก็บข้อมูลนานมากจึงไม่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงเลือกทดสอบเก็บข้อมูลที่มีรายละเอียดหยาบกว่าจึงให้รายละเอียดไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นข้อเสียของระบบนี้ และอีกประการหนึ่งเนื่องจากต้นกำเนิดรังสีมีความแรงค่อนข้างต่ำ จึงใช้เวลาวัดนาน ควรเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีที่มีความแรงเหมาะสม

5.2.2 ข้อดีของระบบที่พัฒนาขึ้นนี้คือมีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายได้สะดวก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานภาคสนามได้ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นเทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมาวิธีเดียว เนื่องจากระบบนี้จัดให้ต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีเป็นอิสระจากระบบ จึงสามารถจัดระบบให้เหมาะสมกับการทำงานได้ทุกรูปแบบ

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยที่ผ่านมาขอเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาระบบเก็บข้อมูลสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมามีดังต่อไปนี้

5.3.1 ควรลดขนาดของตะกั่วกำบังรังสีที่ใช้ประกอบกับหัววัดรังสีที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง เพื่อจะทำให้ระยะระหว่างหัววัดรังสีและชิ้นงานมีระยะทางสั้นลง ซึ่งจะทำให้มีปริมาณรังสีสะท้อนเข้าหัววัดรังสีมากขึ้นและทำให้ใช้เวลาสั้นลง

5.3.2 ควรเลือกเอารังสีแกมมาพลังงานต่างๆมาทดสอบคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีกับวิธีการกระเจิงของรังสีแกมมา ซึ่งจะได้อภาพโทโมกราฟีที่แสดงรายละเอียดได้ครบถ้วน

5.3.3 ควรปรับปรุงเพิ่มเติมระบบขับเคลื่อนในแนวดิ่ง เพื่อปรับปรุงให้ระบบสามารถเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีแบบ 3 มิติได้ เช่น อาจนำระบบนิวเมติกมาใช้ยกชิ้นงานตัวอย่าง เมื่อต้องการเก็บข้อมูลในระนาบถัดไป

5.3.4 การเก็บข้อมูลโปรไฟล์ควรพัฒนาใช้กับระบบวัดแบบเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (multichannel analyzer; MCA) เนื่องจากระบบที่ใช้คือ แบบเครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว (singlechannel analyzer; SCA) ไม่สามารถสังเกตเห็นสเปกตรัมซึ่งบางครั้งสเปกตรัมมีการเลื่อนของข้อมูล จึงทำให้ช่วงพลังงานที่เลือกไว้มีการเปลี่ยนแปลงและไม่เป็นผลดีต่อการเก็บข้อมูล



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. ASTM. X-Ray Compton Scatter Tomography (E1931-97). volume 10.10.1997 Annual Book of ASTM Standards section 3. Easton, MD, USA, 1998.
2. Jiajun Wang, Zheru Chi, Yuanmei Wang. Analytic reconstruction of Compton scattering tomography. Journal of Applied Physics 86 (August 1999):1693-1698.
3. มงคล วรรณประภา. การพัฒนาระบบสแกนด้วยรังสีแกมมาเพื่อคำนวณการสร้างภาพโทโมกราฟีของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
4. สุพร กุลวัฒน์ชัย. การพัฒนาระบบสแกนเพื่อการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้รังสีแกมมาหลายพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
5. ประสิทธิ์ สิริทิพย์รัสมิ. การพัฒนาเทคนิคการเก็บข้อมูลแบบรวมเฟรมสำหรับการคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้ระบบโทรทัศน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
6. John R.Lamarsh. Introduction to Nuclear Engineering. 2<sup>nd</sup> ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1983.
7. Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. 3<sup>rd</sup> ed. New York: John Wiley & sons, 1999.
8. Gilmore Gordon and John D. Hemingway. Practical Gamma-Ray Spectrometry. Chichester: John Wiley & sons, 1995.
9. จรรย์ พรหมสุวรรณ. ปฏิกริยานิวเคลียร์เชิงทฤษฎี. พิษณุโลก : ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2540.
10. ชำรง เมธาศิริ. ฟิสิกส์แผนใหม่: ความรู้พื้นฐานสำหรับนักฟิสิกส์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

วงจรอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบสแกนเก็บข้อมูลสำหรับคำนวณสร้างภาพโทโมกราฟีโดยใช้เทคนิคการกระเจิงของรังสีแกมมา ประกอบด้วย

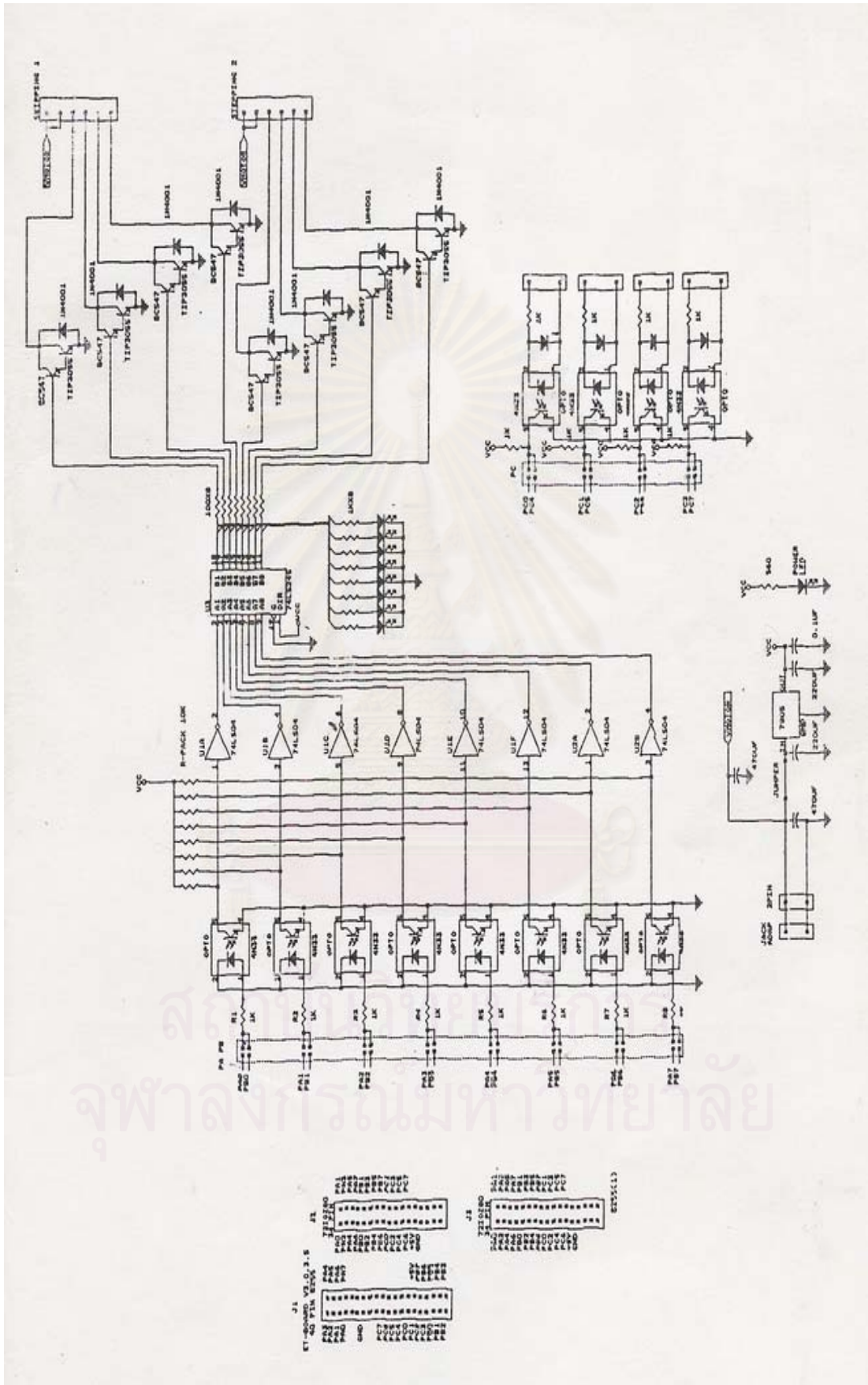
- ก 1 วงจรเชื่อมโยงระบบขับเคลื่อนชิ้นงานกับไมโครคอมพิวเตอร์ (Interface card)
- ก 2 วงจรขับสตีปิงมอเตอร์



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย







รูปที่ 2 วงจรขบสตีปิงมอดอร์

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวรัตติยา कुमार เกิดเมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2523 จังหวัดราชบุรี ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2544 ในสาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย